

分类号: I247.73

单位代码: 10183

研究生学号: 1104202009

密 级: 公开

吉 林 大 学  
博 士 学 位 论 文

微 光 生

2009年4月

获取更多资料

蓝蓝领星球



未经本论文作者的书面授权，依法收存和保管本论文书面版本、电子版本的任何单位和个人，均不得对本论文的全部或部分内容进行任何形式的复制、修改、发行、出租、改编等有碍作者著作权的商业性使用（但纯学术性使用不在此限）。否则，应承担侵权的法律责任。

### 吉林大学博士学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名： 张洪生

日期： 2009年6月6日

## 提 要

本文在梳理相关研究文献的基础上,采取规范分析与实证分析相结合的研究方法,分析我国供热及城市供热评价理论、方法等相关研究现状,综合经济、社会、环境、能耗和热损失等因素,从节约能源、提高能源利用率等角度出发,确定了集中供热与分散供热模式的选择思路。

运用理论移植等方法,提出了以集中供热为基础的源网分开供热模式,界定了源网分开的含义,搭建了城市供热源网分开的供热体系框架,提出了热力市场中的三级市场管理模式,指出源网分开供热模式是城市集中供热发展的必然趋势。

对城市供热的技术、经济、社会、环境等评价的理论和方法的系统内部体系及其对外部环境的影响进行探究,构建了城市供热综合评价体系。

以经济效益、社会效益、生态效益和人文环境效益为准则,运用 AHP、DEA 交叉法和 DEA/AHP 评价方法,对城市供热模式进行了评价,并对三种方法的评价结论进行了比较。进一步揭示了城市供热评价方法的本质和特性,从一般性的角度出发,提出了对城市供热评价具有理论和实际意义的新见解。针对沈阳市的供热现状,明确了沈阳市的供热发展方向,对其应用地源热泵供热模式提出综合评价结论和富有建设性地建议。

获取更多资料 微

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的与意义 .....	7
1.3 研究内容 .....	9
1.4 研究方法 .....	12
1.5 研究技术路线 .....	12
第二章 相关文献研究综述 .....	14
2.1 国内外城市供热评价理论 .....	14
2.1.1 评价理论沿革 .....	14
2.1.2 评价理论视角 .....	15
2.2 国内外社会评价研究 .....	18
2.2.1 社会评价内涵 .....	18
2.2.2 国内社会评价研究现状 .....	19
2.2.3 国外社会评价研究进展 .....	21
2.3 国内外经济评价研究 .....	22
2.3.1 国外经济评价发展现状 .....	22
2.3.2 国内经济评价发展现状 .....	24
2.4 城市供热评价方法研究 .....	25
2.4.1 城市供热评价指标体系研究现状 .....	25
2.4.2 城市供热评价方法研究现状 .....	27
2.4.3 城市供热综合评价方法研究现状 .....	29
2.5 城市供热评价理论与方法存在的问题 .....	32
第三章 国内外城市供热现状分析 .....	35
3.1 我国城市供热发展现状分析 .....	35
3.1.1 集中供热发展现状分析 .....	35
3.1.2 供热热源发展现状分析 .....	35
3.1.3 供热能耗现状分析 .....	36
3.2 我国供热计量现状分析 .....	37
3.2.1 供热计量技术现状分析 .....	37

3.2.2 典型试点城市供热计量收费现状分析 .....	38
3.3 国外供热现状分析 .....	42
3.3.1 以节能与舒适为目标采用不同供热模式 .....	42
3.3.2 集中供热分户计量按热量收费 .....	42
3.4 我国城市供热存在的主要问题 .....	44
3.4.1 供热系统存在的问题 .....	44
3.4.2 供热机制存在的问题 .....	46
3.4.3 供热计量及收费存在的问题 .....	47
<b>第四章 城市供热模式分析与选择 .....</b>	<b>50</b>
4.1 城市供热模式的构成要素 .....	50
4.1.1 热源 .....	50
4.1.2 热网 .....	50
4.1.3 热用户 .....	51
4.2 城市供热模式分析 .....	51
4.2.1 城市集中供热模式 .....	51
4.2.2 区域集中供热模式 .....	53
4.2.3 分户供热模式 .....	58
4.2.4 低温热水地板辐射供热系统 .....	60
4.2.5 新型供热模式 .....	61
4.3 供热模式的定性选择 .....	63
4.3.1 供热模式选择原则 .....	63
4.3.2 集中供热与分散供热模式的选择 .....	64
4.3.3 多热源联网供热模式 .....	66
4.4 源网分开供热体系的构建 .....	69
4.4.1 源网分开供热模式的提出 .....	69
4.4.2 源网分开供热体系 .....	73
4.4.3 源网分开供热管理模式 .....	75
4.4.4 源网分开供热模式的实施设想 .....	76
<b>第五章 城市供热评价理论方法及体系 .....</b>	<b>79</b>
5.1 城市供热技术评价理论与方法 .....	79

5.1.1 城市供热技术评价基本理论 .....	79
5.1.2 城市供热技术评价指标体系 .....	80
5.1.3 城市供热技术评价方法 .....	83
5.1.4 城市供热技术评价存在的问题 .....	89
5.1.5 城市供热技术评价理论体系构建 .....	90
5.2 城市供热经济评价理论与方法 .....	90
5.2.1 技术经济评价理论与方法 .....	90
5.2.2 热经济学评价理论与方法 .....	97
5.2.3 循环经济评价理论与应用 .....	101
5.2.4 环境经济学评价理论与方法 .....	104
5.2.5 城市供热经济评价理论体系构建 .....	107
5.3 城市供热社会评价理论与方法 .....	108
5.3.1 城市供热社会评价概述 .....	108
5.3.2 城市供热社会评价基本理论 .....	109
5.3.3 城市供热社会评价指标体系的建立 .....	113
5.3.4 城市供热社会评价方法 .....	116
5.3.5 城市供热社会评价存在的问题 .....	120
5.3.6 城市供热社会评价理论体系构建 .....	120
5.4 城市供热综合评价理论体系构建 .....	121
<b>第六章 城市供热模式评价 .....</b>	<b>123</b>
6.1 城市供热模式评价指标体系的建立 .....	123
6.1.1 评价指标体系建立原则 .....	123
6.1.2 评价指标体系的建立 .....	124
6.2 基于 AHP 的供热模式综合评价 .....	126
6.2.1 AHP 方法简述 .....	126
6.2.2 供热模式综合评价 .....	131
6.3 基于 DEA 交叉评价法的供热模式综合评价 .....	134
6.3.1 DEA 方法简述 .....	134
6.3.2 DEA 模型及 DEA 交叉评价模型的建立 .....	137
6.3.3 基于 DEA 交叉评价法的供热模式综合效益评价 .....	139



6.4	基于 DEA/AHP 的供热模式综合评价 .....	142
6.4.1	DEA/AHP 综合评价模型建立 .....	142
6.4.2	基于 DEA/AHP 供热模式综合效益评价 .....	143
6.5	供热模式评价方法分析与总结 .....	145
6.5.1	三种评价方法的比较 .....	145
6.5.2	评价结果的比较分析 .....	147
6.5.3	综合结论 .....	148
<b>第七章</b>	<b>沈阳市供热评价与供热模式选择 .....</b>	<b>150</b>
7.1	沈阳市供热现状分析 .....	150
7.1.1	沈阳市概况 .....	150
7.1.2	沈阳市供热系统现状分析 .....	150
7.1.3	地源热泵系统供热现状分析 .....	153
7.1.4	沈阳市供热存在的问题 .....	154
7.2	沈阳市供热模式评价 .....	155
7.2.1	供热模式评价范围 .....	155
7.2.2	基于 DEA/AHP 法的沈阳市供热模式综合评价 .....	155
7.3	沈阳市地源热泵供热模式的综合评价 .....	158
7.3.1	沈阳市应用的地源热泵系统形式及其比较 .....	158
7.3.2	地源热泵系统节约燃煤能耗比较分析 .....	160
7.3.3	地源热泵系统与其它供热（制冷）模式比较分析 .....	162
7.3.4	综合效益分析 .....	163
7.3.5	评价结论分析 .....	164
7.4	沈阳市供热发展对策建议 .....	165
7.4.1	降低供热耗能，提高供热效率 .....	165
7.4.2	以集中供热为主导，因地制宜采用供热模式 .....	166
7.4.3	实施分户计量，按照两部制热价收费 .....	167
7.4.4	引入特许经营制度，推进供热体制改革 .....	167
<b>第八章</b>	<b>研究结论与展望 .....</b>	<b>169</b>
8.1	研究结论 .....	169
8.2	本文的创新点 .....	175



8.3 研究展望 .....	175
参 考 文 献 .....	177
附 录 .....	187
攻读博士学位期间取得的主要研究成果 .....	193
致 谢 .....	195
摘 要 .....	1
ABSTRACT .....	5

索蓝领星球

获取更多资料 微

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景

供热作为城市基础设施，涉及到社会的方方面面，其发展水平的快慢、质量的好坏，将对民生、社会稳定、节约能源等一系列问题产生重大的影响。近几年来，各个国家对城市供热问题越来越关注，城市供热问题的研究也得到重视，包括城市供热评价。然而，对城市供热评价的研究存在很多问题。特别是城市供热评价的理论和方法尚有许多需要发展完善之处，如何从经济、社会、环境、资源等方面全方位的视角开展对城市供热的评价，从理论方法上进一步加以深入研究，是我们面临的主要问题之一，这主要是因为：

#### 1、能源供需矛盾突出，成为可持续发展的瓶颈

能源与环境问题是当今世界各国面临的重大社会问题。能源是现代社会和生活的物质基础，随着世界人口和经济的迅速增长，能源的消耗也在急剧增加，但可利用的能源有限，供需矛盾日益加剧，极大地限制了经济社会的可持续发展。

预计未来世界能源消费量将以每年 3% 的速度增长，到 2020 年世界一次能源消费总量将达到 200 亿~250 亿吨标准煤以上。据统计，到 2007 年底世界能源统计证实储量数据为：石油为 1421 亿吨，可采 39.9 年；天然气为 150.19 万亿立方米，可采 61 年；煤炭为 9842.11 亿吨，可采 180 年。

我国能源生产严重滞后于国民经济的发展，供求矛盾尤为突出。按我国现有探明技术目前可开发能源总资源量为 8230 亿吨标准煤，探明剩余可采总储量为 1392 亿吨标准煤，约占世界总量的 10.1%。我国能源剩余可采总储量的结构为：原煤占 58.8%，原油占 3.4%，天然气占 1.3%，水能占 36.5%。我国能源剩余可采储量的资源保证程度为：原煤为 114.5 年，原油为 20.1 年，天然气为 49.3 年。

我国人口众多，人均能源占有量很低。我国人均能源探明储量仅相当于世界人均拥有量的一半。然而，我国所面临的却是能源需求量高速增长严重挑战。由表 1.1 可见，1990~2007 年我国的能源消费与生产都呈现出快速增长趋势，特别是进入新世纪以来增长速度明显加快，且需求大于供给。随着我国经济的快速发展，能源需求进一步增加。2002 年以来，我国经济增长速度都以大于 9.0% 的速度增长，推动了国内能源需求总量的增长。如 2004 年我国能源消费总量增长率达到了 16.14%。我国能源消费目前已经占世界总量的 13.6%。<sup>1</sup>

若我国经济发展按照 GDP 翻两翻，能源翻一番初步测算，到 2020 年我国一次能源消耗总量将达到 30 亿吨标准煤。届时，我国石油消费量需要 4.5 亿吨以上，对

<sup>1</sup> 来源：《BP 世界能源统计 2005》

国际市场依存度将高于 60%。

表 1.1 我国能源生产、消费与 GDP 增长情况

年份	能源生产总量 (万吨标准煤)	能源消费总量 (万吨标准煤)	能源消费总量 增长率 (%)	GDP 增长速度 (%)
1978	62770	57144		
1980	63735	60275	5.48	
1985	85546	76682	27.22	
1990	103922	98703	28.72	
1991	104841	103783	5.15	7.0
1992	107256	109170	5.19	12.8
1993	111059	115993	6.25	13.4
1994	118729	122737	5.81	11.8
1995	129034	131176	6.88	10.2
1996	132616	138948	5.92	9.7
1997	132410	137798	-0.83	8.8
1998	124250	132214	-4.05	7.8
1999	125935	133831	1.22	7.1
2000	128978	138553	3.53	8.0
2001	137445	143199	3.35	7.3
2002	143810	151797	6.00	9.1
2003	163842	174990	15.28	10.0
2004	187341	203227	16.14	10.1
2005	205876	224682	10.56	10.4
2006	221056	246270	9.61	10.7
2007	237000	265120	7.65	11.4

资料来源：国家统计局

## 2、建筑能耗比重过大，节能工作刻不容缓

我国相当严峻的能源形势，与建筑耗能不无关系。

首先，我国建筑耗能总量大。由于我国地域广阔，与同纬度其他国家相比，气候冬寒夏热十分突出。建筑采暖、空调、通风、照明等方面消耗的能量约占全国总能耗的 30%左右。我国已进入到经济快速发展阶段，也是建筑业的鼎盛发展时期，十五以来，每年建成的房屋面积高达 20 亿平方米，超过所有发达国家年建成建筑面积的总和，建筑规模巨大。随着人民生活的不改善，建筑能耗数量十分巨大，所占全国能源消费总量的比例也在逐步升高，见表 1.2。

其次，我国建筑用能效率低。不仅既有的约 400 亿平方米建筑中的 99%为高耗能建筑，而且新建建筑中 95%以上仍属于高耗能建筑。按照目前建筑能耗水平发展，到 2020 年，我国建筑能耗将达到 10.89 亿吨标准煤，超过 2000 年的 3 倍；空调高峰负荷将相当于 10 个三峡电站满负荷出力，问题相当严重，情况十分紧迫。

按照建设部建筑节能 2010 年规划目标的要求，认真贯彻落实科学发展观和可持续发展战略，坚持“资源开发与节约并重，把节约放在首位，提高资源利用率”的方针，实现建筑节能工作实施跨越式发展，已是一项刻不容缓的重要工作。

表 1.2 全国 1996~2007 年建筑能耗

年份	全国能源消费总量 (Mtce)	建筑能耗 (Mtce)	建筑能耗所占比例 (%)
1996	1389.5	334.7	24.1
1997	1378.0	341.4	24.7
1998	1322.1	345.7	26.2
1999	1338.3	349.0	26.8
2000	1385.5	350.4	27.4
2001	1432.0	358.0	27.5
2002	1518.0	360.5	28.4
2003	1745.0	368.3	29.1
2004	2032.3	372.4	29.5
2005	2248.8	379.5	30.8
2006	2462.7	384.2	31.8
2007	2654.8	386.7	33.4

### 3、城市供热技术发展迅速，面临多种选择

冬季，在我国的北方地区，供热采暖问题一直都占有重要的地位，往往成为人们关注的焦点。这不仅因为采暖直接与人民群众的切身利益相关，事关社会稳定的大局，而且因为采暖问题的涉及面广，存在问题的方面也比较多。

建国以后，我国以城市集中供热为突出代表的供热事业稳步发展，取得了巨大的建设成就，城市热化比例不断增大。原有的供热模式主要包括城市集中供热与居民家庭煤炉采暖两大类，其中城市集中热力网的热源主要是大型区域燃煤锅炉房与燃煤热电厂两种形式。随着我国社会主义事业的不断发展，各种客观制约条件的变化，生产技术能力的提高，供热模式日趋多样化，人们面临的选择也越来越多。这样，与之相伴产生了一个很重要的问题，那就是面对如此众多，特点不同的供热模式时，人们该如何评价其优劣性或者说面对一个实际的工程问题该如何选择确定适宜的供热模式？要清楚准确的回答这个问题并不那么简单，因为每件事物的存在都有其合理的一面，都有其适用的条件范围，到底应该选择哪种供热模式应该结合众多的实际条件具体分析，区别对待。这就需要每种供热模式进行全面仔细地分析研究，然后才能全面的予以评价比较。

(1) 城市环境保护的压力越来越高。我国能源的构成状况决定了长期以来一直把煤炭作为主要能源，煤炭在一次能源中的比例约占了 70%以上。长期以煤炭作为主要能源对我国的大气环境造成了严重的破坏。资料显示，90%的  $\text{SO}_2$ 、70%的 TSP、60%的  $\text{NO}_x$ 、85%的  $\text{CO}_2$  均来自于煤炭燃烧。

虽然我国制定的空气环境二级标准远远低于发达国家的同类标准，但是实际监测结果表明，我国绝大多数城市仍然难以达到此项标准。特别是对北方城市来说，在采暖季更是大大超过标准的好几倍。可以说城市空气环境问题与我国城市供热还主要依靠煤炭直接燃烧、绝大多数燃煤供热系统管理运行水平低下、除尘消烟设施未能很好地运行等因素息息相关。

(2) 城市能源结构正在进行调整。面对改善环境的压力，我国正在规划改变以

煤为主的能源结构,计划到2010年使我国能源结构中煤炭的比重降到60%以下,天然气的比重上升到8%左右,其中增加的清洁燃料部分将主要用于大型、特大型城市的能源结构调整,改善这些城市环境日益恶化的状况,增强其可持续发展的能力。

我国的电力供应也已基本上扭转了建国以来一直供不应求、严重阻碍工农业发展的局面。电力供需总量差不多平衡,但是突出的问题是电力负荷峰谷差较大。虽然长远来看,随着经济的发展,这种局面会很快地消失,但是近期以来,为了优化电网的运行、保证安全供电,现阶段对电力负荷削峰填谷还是比较重要的。城市能源供应结构的调整和能源供应发展的现实背景,使得供热用能系统的选择趋于多元化,从而使得优化整个城市的供热能源系统成为可能。

(3) 经济体制改革的深化迫切要求改革旧的供热体制。我国的经济体制正在向市场经济体制过渡,住房已经从实物分配变为商品货币化分配,由此极大的刺激了我国房地产业的发展,使之成为我国经济发展中一只重要的带动力量。而与此相应的采暖供热制度却一直沿用过去计划经济下的福利体制,供热企业的采暖费收缴比较困难,绝大多数供热企业面临困境,与房地产业的兴旺发展形成了鲜明的对比。长期以来国家对采暖采取的暗补政策已经与我国进一步深化经济体制改革的要求不相适应。

供热体制的改革,必然首先要求对计量方式进行改革,即改变过去供热按面积收费的“大锅饭”方法,改为按热计量收费。这就使得在评价与选择供热模式时,其热计量实现的可能性与方便性相比以前占有更为重要的地位。

(4) 建筑节能的更高要求。随着我国建筑业的飞速发展,建筑能耗占总能耗的比重越来越大,已经达到27%。其中约有55%为采暖能耗,是建筑能耗的最主要部分,也是浪费最为严重和节能潜力最大的部分。鉴于此,选用推广最优化的供热模式、对系统运行进行有效地管理、执行合理的相关政策等来降低采暖能耗,对建筑节能目标的实现至为关键。我国的建筑节能程度相比发达国家还很低,但是这也从另一方面说明我国存在巨大的节能潜力,现阶段节能的边际成本还是比较低的,值得投入。

(5) 多种供热模式的出现。随着人民生活水平的提高,城市能源供应结构调整、供热制度改革、建筑节能等因素的要求,对供热模式的经济、环保、节能等方面也提出了较高要求。现在出现了多种多样的供热模式。供热模式发展以集中供热为主,多种供热模式并存的局面;为了减轻环境污染,供热能源由最初的以煤炭为主发展到煤炭和天然气、太阳能等多种能源并存的格局。如以燃气为能源的供热模式,包括燃气蒸汽联合循环、大型燃气锅炉房集中供热、小型模块化单栋建筑或单元式燃气供热、分户燃气(炉)供热等;以电为能源的供热模式,主要有直接电热方式(包括电暖气与电热膜)和风冷热泵、集中和分户水源热泵、地源热泵等热泵供热模式。

供热模式的不断发展和变化,使人们的选择空间变大,为人们进行最优化、最

适宜的供热模式的选择提供了可能。综合上述的各种背景情况,现在的供热模式已经不仅仅局限于两三种,而是有很多种选择;选择时要考虑的因素也越来越多,如环保能源方面、投资方面、运行管理方面、舒适程度等等。现在我国正处在基本建设加速发展的时期,许多城市迫于环境保护的压力急需在各种供热模式中作出选择。而各种供热模式在初投资、运行费用、环境影响、安全性、舒适性等上的综合评判尚无定论,存在很大的争议。推广与选择哪一种供热模式对一个城市来说都涉及巨大的资金投入,不正确地选择采用某种不适当的供热模式,不仅会导致巨大而宝贵的建设资金的浪费,还会引起能源、环境和社会安定等方面的一系列问题。因此,如何准确全面的评价各种供热模式的优劣,或者说如何针对一个具体的现实情况选取最适合的供热模式,就成为—个很重要,也急需早日解决的问题。

国民经济的发展和人们生活水平的提高、能源供应结构的调整、供热制度的改革、建筑节能要求的提高、环保意识的增强、市场经济的不断发展和新产品新材料的涌现促使供热模式的市场化,加之人们对舒适性要求的提高等方面因素的影响,使供热模式逐渐多样化。多种供热模式并存有以下几方面原因:

1) 多种能源的开发利用。从能源的可持续发展角度看,能源消费政策必须与当地的能源储量和能源结构相适应。目前我国的能源仍以煤为主。近年来,我国的能源消费结构正在逐步进行调整。煤炭消费量在一次能源消费总量中所占的比重不断下降,石油、天然气、水电、核电、风能、太阳能等所占比重逐渐上升。随着能源结构的变化,以煤炭为主的供热能源已经开始发生变化,采用不同能源的供热系统应运而生。

2) 我国供热体制存在诸多问题。我国建立在福利住房制度上的“福利性供热”与体现公共福利社会化和公平性的“市场化供热”两种供热体制并存。而“福利性供热”体制的存在使供热企业收费比较困难,现有的供热体制与深化经济体制改革的要求不相适应,供热体制改革势在必行。

我国现行的供热企业存在着诸多问题。资金缺乏目前已经成为供热企业的一个主要问题;过渡时期供热体制与供热市场化发展的步伐不完全一致;供热与用热之间的矛盾日益明显。这些矛盾使部分用户选择了适合自身需要的其他供热模式,在一定程度上促进了我国多种供热模式并存局面的形成。

3) 环保、节能及人们对室内环境的舒适性要求。在经济迅速增长的同时,节能环保问题也逐渐受到人们的重视。我国的大气污染主要由煤炭燃烧造成,使用煤炭或二次能源(例如电)的供热行业是产生大气污染的主要行业,各种污染物在采暖期的明显高于非采暖期。同时随着国家的节能政策出台,人们的节能意识逐渐提高,许多污染较小,节能型的供热模式不断发展成为人们关注的焦点。除了环保节能的供热模式,在选择时是否能达到按需调节室温、提高设计温度、达到脚热头凉的人体舒适要求也成为人们的重要参考指标之一。

#### 4、城市供热评价理论和方法亟需完善

在社会主义市场经济体制下，人们更加重视经济效益。在经济效益的研究和应用方面，通过引进吸收国外的理论与方法，我国已经建立了较完整和成熟的经济效益评价体系。

城市供热经济评价是城市供热事业发展和建筑节能的重要组成部分，目的是根据国民经济和社会发展战略和行业、地区发展规划的要求，在做好城市规划、市场调查以及供热模式选择等工程技术研究的基础上，计算其效益和费用，对城市供热的规模、经济效益、生态环境效益、社会效益和人文环境效益等进行分析论证，做出全面的评价。

对城市供热如何从经济和社会角度进行评价，特别是对供热模式的评价和选择，涉及到政府和开发商的决策，消费者的选择等诸多问题，其关系到节约资金，节省能源，满足客户需求，促进城市和谐与可持续发展的问题。

目前对城市供热从经济和社会角度进行评价的方法很多，评价目的也不尽相同，有简单的，有复杂的，有单一目标的也有多目标的；有单因素的也有多因素的，这些方法各有千秋，尚无定论，有必要从理论上加以系统地分析和界定，理清思路，为在该方面的决策提供理论和实践依据。

经济全球化背景下，企业社会责任受到了前所未有的重视。企业的活动不仅影响社会利益分配格局，而且也影响着社会政治、文化变革，影响着人们的道德价值取向，还特别影响到自然生态环境变好还是变坏。社会对企业的期望，是要求企业维护和促进社会公正、公平，平等地保障各方相关利益。可以看到，企业社会责任已经成为不可逆转的国际化潮流。企业社会责任问题不能用经济效益评价来解决的。

进入 21 世纪，在经济社会迅速发展的中国，人们的认识层次有了新的飞跃。我国提出科学发展观和构建社会主义和谐社会，这是很重大的理论创新，目前中国正在构建民主法治、公平正义、诚信友爱、充满活力、安定有序、人与自然和谐相处的社会主义和谐社会。构建社会主义和谐社会，企业的努力也很重要，特别是企业如何使其经济活动取得较好的经济效益和社会效益。在这个新的历史背景下，社会效益评价就显得特别重要和特别有意义。

对社会效益的评价一直停留在定性分析的基础上，随着对问题认识的要求越来越深刻和准确，定量分析社会效益就显得更加紧迫。实际上，对社会效益的定量分析已成为经济学发展的一大重要方向。目前的研究中有几个问题需要解决：

(1) 社会效益的内涵问题一直困扰学术界。总的来说，社会效益评价即是对社会效益的分析，它是在上世纪 90 年代后才逐渐被人们所重视。不同的学者对社会效益的概念内涵有不同的界定，并且概念有些混乱。所以对社会效益的概念定义远没有达到共识。

(2) 对社会效益的评价，即定量研究，必须首先选取指标，这种研究问题的基

木方法,已被人们所普遍接受。在社会效益指标的选取上,面临的问题是选取的指标是否包含了社会效益的方方面面,指标能否量化,以及指标之间的关联程度如何。

(3)对社会效益评价的有关模型方法方面。目前所用的模型较多有层次分析法,模糊综合评判法,神经网络评价法等模型方法,各模型都有不同的局限性。在模型应用方面,不同的学者针对不同的项目或者活动,利用不同的模型进行社会效益评价。模型方法在理论和实践层面处于起步和探索阶段。

(4)评价已经广泛深入到社会的各个方面,从企业竞争力评价、人员素质评价、环境状况评价、项目实施效果评价,到综合国力评价、经济发展水平评价,评价活动涉及到生产生活的方方面面。评价方法从单一属性、单一指标评价,发展到多属性、多指标综合评价,从定性的判定与评价发展到定量的、模型化评价,评价方法得到迅速的扩展。

评价方法有德尔菲法、层次分析法、主成分分析法、因子分析法、数据包络分析法、技术经济分析法、灰色系统分析法,神经网络分析法、小波分析法等等,评价思想的广泛应用使得传统的评价方法得到发展,而新的评价方法也不断的涌现。众多评价方法丰富了系统评价的适用性。使人们可以在更广泛的范围内选择某种方法对系统做出分析和认识。

评价的思想在城市供热评价中得到一定的应用。但在对供热评价在发展的过程中,也遇到了一些问题,如评价方法建立的原则模糊不清、缺少不同评价方法之间的综合研究、对不同评价方法的适用性论述不够等等。

## 1.2 研究目的与意义

基于上述研究背景和相关理论的省思,本文将从城市供热的经济评价和社会评价的理论脉络对相关研究文献作出基本梳理,明确城市供热的经济评价和社会评价的理论基础,同时进一步理清城市供热的经济评价和社会评价等相关理论。通过对有关文献的探讨和相关理论的推演,明确城市供热的经济评价和社会评价的概念内涵,建立一个城市供热的经济评价和社会评价理论框架。在此基础上,对城市供热的经济评价和社会评价方法进行研讨。

城市供热的评价,一般是指对城市供热的投入产出效益所做出的综合评判,包括决策阶段对社会需求性、技术可行性、经济合理性、环境可行性和运行条件的可行性等方面进行的全面系统的分析工作,为政府和企业决策提供依据。

西方发达城市,尤其在美国各大城市的公共工程大规模投资建设中,由于城市供热评价制度民主化程度与技术手段的科学化程度较高,使得城市管理决策失误得到较为有效地控制,建设中各种利益矛盾得到有效缓解,在追求城市经济效益最大化的同时,维护了城市稳定、和谐。因此,对城市供热进行评价是现代城市治理与运营的一项基本工具,对于城市管理、运营及提高城市可持续发展具有极强的理论



与现实意义，具体表现为以下几个方面：

### 1、为城市管理者提供决策依据

城市供热的评价结论是对城市供热项目能够产生的经济效益、社会效益的全面预测与总结，是城市管理者目前或将来进行供热项目投资决策的基本依据。通过评价，城市管理者可以深入系统地了解城市供热工程的投入产出效益，前评价是城市管理者判断城市供热工程投资的可行性的基本依据，而后评价则成为城市管理者下步投资决策的参照依据，是实践经验或教训的积累与总结。因此，科学、公正的评价结论能够从根本上促进城市公共工程决策的科学化与民主化。

### 2、科学规范地管理城市供热工程

城市供热工程管理的科学化与规范化，首先要求管理决策科学，必须符合管理学的基本规律。管理决策学派代表 H·A·西蒙在论述其理性决策的满意标准时，指出管理决策过程是一系列环环相扣的循环圈，即决策—执行—反馈的反复循环。而城市供热的评价结论即是对前期决策成效的信息反馈，及时、准确地反馈是实现供热工程科学管理的内在需求。其次，针对城市供热工程运营过程展开的评价则从程序上对其加以规范、监督，能够及时发现工程管理运营存在的问题与不足，并提出整改措施，从而促进了城市公共工程管理的科学化与规范化。

### 3、优化城市资源，发挥城市聚集效应

城市供热的评价不仅是对其直接经济效益的评价，还包括对其间接经济效益及宏观社会效益的评价，如国民经济影响评价、资源环境影响评价等社会评价，从而使城市供热工程与国家自然经济状况及发展目标紧密结合起来，有利于协调宏观发展目标与资源有限性的矛盾，实现城市有限资源配置的帕累托最优。

同时，城市供热工程是北方城市赖以发展的基础，是城市物质生产和人民生活必不可少的条件，是城市产生聚集效应的决定性因素，是城市发挥中心作用的物质保障，是衡量城市兴衰、容纳能力及现代化程度的标志。因此，城市供热工程建设的成败与否，将直接影响到城市市民的福利水平，影响到城市政治经济的发展繁荣，而城市供热工程评价的科学性与公正性直接影响到其投资建设是否合理、有效。只有高质量、社会急需的城市公共工程才能真正促进城市发展，充分发挥城市的聚集效应即吸力作用，从而实现以城市带动地方经济发展，以城市带动乡村，不断促进城乡一体化。

### 4、提高政府公共信誉，维持城市稳定

城市供热评价的科学、民主、规范程度越高，城市供热工程投资决策失误率越低，工程运营管理效率越高，而城市政府的决策、管理能力则愈能得到公众认可，城市政府的合法性与公共信誉必然大大提升；另一方面，城市供热评价的有效程度决定着城市公共工程投资运营的有效程度，决定着城市公共工程的经济、社会综合效益，进而决定着城市公共福利水平，而在公共福利整体水平较高的城市中，其社

会矛盾、不稳定因素必然较少。所以，科学、公正的城市公共工程评价能够提高城市政府公共信誉，进而维护城市稳定，最终促进城市的和谐发展。

### 5、全面的评估各种供热模式，优化合理地选择

在上述大的社会背景之下，通过系统地对供热模式的评价指标体系进行研究，针对不同实际情况得出最优化、适宜的供热模式就显得很有必要，具有重要的实践指导意义。可以说是与我国可持续发展的战略目标紧密地相结合。具体主要有以下几点：

(1) 全面的评估各种供热模式的优缺点，避免片面的看行某种供热模式。现在的一些公司、地方或是行业，处于自己某种局部利益、近期利益的考虑，片面的宣传某种供热模式的特点，而掩盖其缺点或是不合理的一面，从而在社会上形成了一定程度的误导，使得在推广使用某种供热模式时，不加分别的全面铺开，造成了一些严重不合理问题的存在。

(2) 指导供热模式的科学选择，防止考虑不当造成的巨大资金、能源浪费。由于缺乏科学的评价指标体系与选择机制，使得在进行供热模式的选择时往往比较盲目，事先不能很好的进行研究分析、选择比较来确定最终的实施方案，往往造成人财物的浪费。

(3) 优化整个城市的供热系统能源结构，可用于指导新建建筑供热模式的选择与老城区供热系统的改造。如果对每种供热模式有了清晰准确的认识，就可以以其为基础在一个更高的层面上来综合考虑整个城市的供热能源系统的配置，从而为整个城市在新建建筑与老城区改造时供热模式的选择提供科学的指导意见，优化的配置整个城市的供热能源系统与供热模式，增强城市的可持续发展能力。

## 1.3 研究内容

本文的研究内容主要有以下几个方面：

(1) 分析城市供热发展现状。对国内供热发展状况，包括供热热源、集中供热、供热能耗、供热计量以及供热计量收费现状进行分析，并指出我国供热存在的主要问题。

对国内外城市供热评价理论加以研究，包括国内外社会评价理论和经济评价理论。研究城市供热评价方法。

(2) 对城市供热模式分析。分别从集中供热、区域集中供热、分户供热和室内采暖供热系统的角度，对各种供热模式的技术特点、优缺点以及适用范围进行系统的分析。同时对新型供热模式加以研究。在此基础上，阐述供热的集中与分散的关系，分析集中供热与分散供热产生的机理，提出集中供热与分散供热模式的选择原则，在考虑经济、社会、环境、效益前提下；从供热质量、能耗和热损失、节约能源、能源利用率和所采用的能源燃料种类和供热技术和设备的角度出发，提出集中

供热与分散供热模式选择的思路。

(3) 供热设施做为城市基础设施,其热网、热源建设和管理机制,目前存在着诸多问题,如存在安全隐患,影响社会稳定;浪费能源、供热资源不能充分合理的利用等等。基于目前我国热源利用状况、热网存在问题的分析,在集中供热作为供热的主要方式的前提下。研究“如何保持和提高集中供热在市场经济中”的竞争优势,作为提高集中供热竞争优势的措施,多热源联网就是其中的一项重要措施。分析多热源联网供热的现状及存在问题。

针对国内目前热源热网模式存在的问题,提出新型的供热模式,即“源网分开”的供热模式,分析“源网分开”供热模式的意义。构建“源网分开”的供热系统,阐述“源网分开”供热模式的主体及其关系。源网分开”供热管理模式,提出“源网分开”的总体设想和发展思路。

(4) 城市供热评价理论及方法研究。本文对供热系统评价的指标体系理论、评价方法的分类等方面加以研究。论述指标选取的原则和建立指标体系的方法;对各种供热评价方法的特点、评价方法的适用性进行研究;对系统评价方法进行新的归纳。具体为:分别对城市供热技术评价理论和城市供热技术评价的方法加以论述,在此基础上分析火用效率评价、可靠性指标评价、供热计量技术的评价等方法。研究城市供热经济评价理论与方法。包括热经济学评价理论、循环经济评价理论和环境经济学评价理论与方法。探讨城市供热社会评价理论。提出城市供热社会评价的概念。建立城市供热社会评价指标体系,制定城市供热社会评价指标体系建立的原则,研究城市供热社会评价方法,指出城市供热社会评价中存在的问题。

在论述供热技术评价,经济评价以及社会评价理论和方法基础上,综合城市供热评价的技术、经济、社会和环境等多方面因素,提出城市供热综合评价理论,并从系统的角度出发,构建供热综合评价理论体系。包括技术评价体系、经济评价体系、社会评价体系、环境评价体系等。

(5) 城市供热综合评价方法研究。在以上研究的基础上,将综合评价方法运用于城市供热评价之中,建立评价原则和评价指标体系,分别运用 AHP 方法、DEA 评价法和 AHP/DEA 方法,对同一评价对象——供热模式,在同一前提下进行评价分析。总结每个方法的特点,适用范围并进行对比分析;将评价结果从方法和供热模式的角度进行分析对比,得到评价结论,并由此提出相应的观点和建议。

(6) 供热模式评价实证分析。应用以上研究成果进行实证分析,用城市供热评价理论和方法,以沈阳市为研究对象,对沈阳市的供热状况用定性和定量相结合的评价方法,对目前使用较集中的 6 种供热模式加以评价。确定沈阳市城市供热模式的发展方向 and 选择原则。

对沈阳市地源热泵供热模式进行综合评价,包括地源热泵系统节约燃煤能耗比较分析,地源热泵系统与其它供热模式比较,综合效益分析,并对沈阳市供热发展

方向提出对策和建议。论文结构框架如图 1.1 所示。

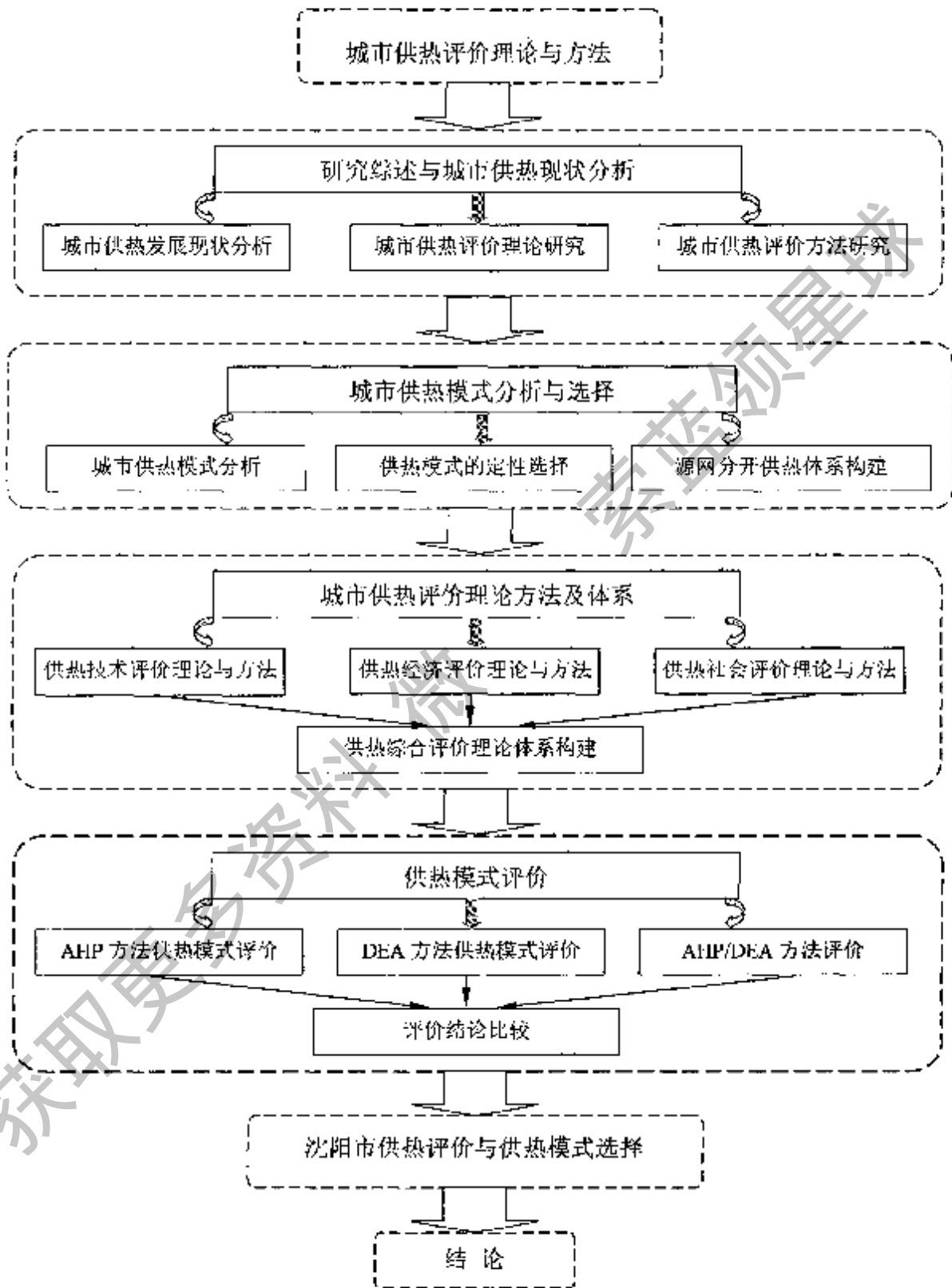


图 1.1 论文结构框架

## 1.4 研究方法

本文将采用资料分析、系统分析方法、对比分析、定量分析和定性分析相结合等方法,以供热通风技术、工程经济学、环境经济学、热经济学和综合评价理论为基础和分析工具,坚持定量与定性相结合,静态与动态相结合等原则进行分析研究。

定量分析和定性分析相结合的方法。定性分析具有较强的归纳性和逻辑推理性,定量分析则具有较强的科学性和准确性。本文通过大量技术、经济、环境方面的数据,运用 AHP 方法、DEA 交叉评价法和 AHP/DEA 方法进行定量分析,对城市供热模式综合评价,并通过定性的理论概括和技术分析,阐述城市供热的发展方向,以确保理论体系的科学性。

理论移植方法。源网分开的研究还是一个崭新的研究领域,国内外的相关研究并不多见,本文将采用对比分析的方法,试图从多热源联网、源网分开的供热模式等相关研究中,对城市供热管理模式的未来进行探索,从而进一步使用理论移植等方法,对源网分开供热模式的概念内涵、构成要素、源网分开供热体系构成等内容进行定性描述,勾勒源网分开供热管理模式。提出源网分开的总体设想和发展思路,构建源网分开供热模式的建设及管理体系。

实证分析法。运用 DEA 交叉评价法对沈阳市 6 种供热模式进行评价,并对评价结果进行定性分析,为供热模式选择提供理论和实际运用的依据和基础,将理论分析和实践相结合进行实证研究。

## 1.5 研究技术路线

根据本文的研究目的与研究内容,结合拟采用的研究方法,按照文献解读→提出问题→研究设计→理论基础→理论与实证的过程进行研究,本研究的技术路线如图 1.2 所示:

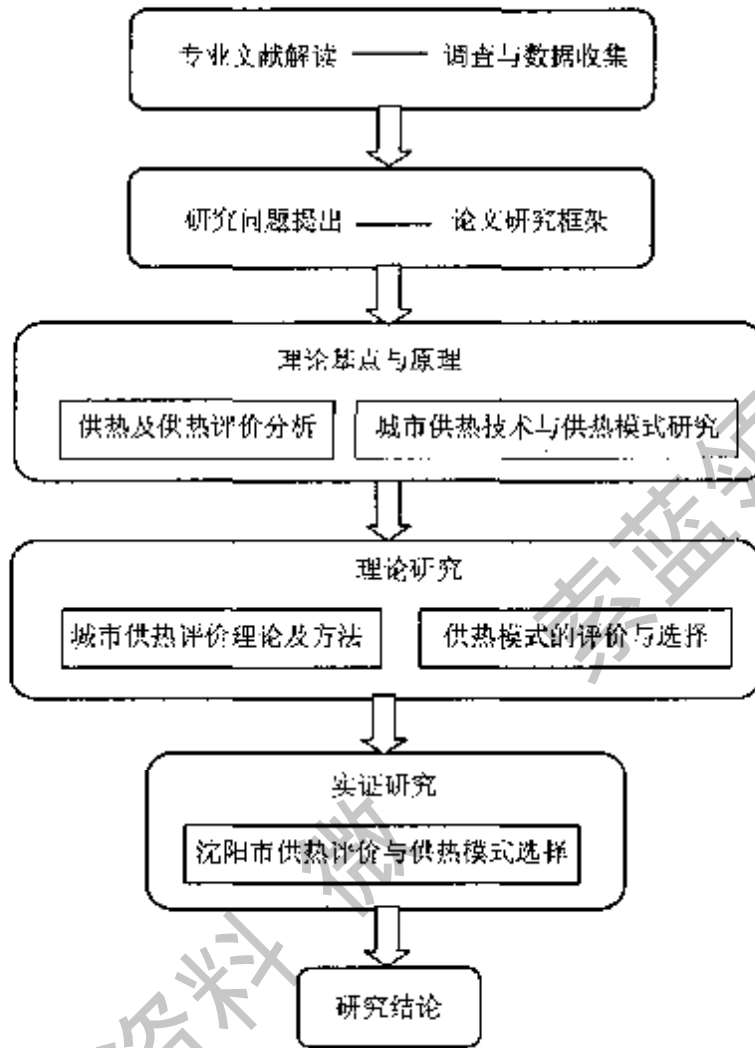


图 1.2 研究技术路线

## 第二章 相关文献研究综述

### 2.1 国内外城市供热评价理论

城市供热设施属于城市基础设施的范畴，因此，其评价的理论方法是城市基础设施的评价理论方法的一部分。

随着城市供热技术的进步与相关科学理论不断发展，国内外关于城市供热评价的理论方法也日趋完善，由单纯研究技术评价、经济评价理论逐步扩展到兼顾经济与社会效益的综合评价理论领域。近几年，随着全球化浪潮，人类对生态环境、城市可持续发展、社会公平等问题愈来愈关注，城市供热评价理论开始强调评价主体的多元化、评价程序的规范化、社会评价指标的全面化等方面。

#### 2.1.1 评价理论沿革

随着人类经济文化的发展，城市基础设施评价的理论体系不断完善，研究领域越来越多元化。根据评价目标的不同，评价理论的沿革大体可划分为三个阶段：<sup>2</sup>

第一阶段为自由竞争资本主义时期，是针对城市基础设施直接经济效益评估的微观经济效益评价理论，这是由当时社会经济发展阶段所决定的。第一次产业革命使人类由农业社会跃入工业社会，经济利益最大化与劳动效率的提高成为自然科学与社会科学理论研究的主流，因此在对微观经济规律分析的古典经济学理论主导下，城市工程评价集中于对基础设施工程直接经济效益的财务分析<sup>3</sup>。

第二阶段是针对城市基础设施间接经济效益评估的宏观经济效益评价理论。19世纪20年代后，资本主义世界暴发大规模经济危机，宏观经济领域引起世人关注。以马歇尔为代表的宏观经济学派，开始关注社会事务的宏观经济效益，城市基础设施的评价领域也随之扩展。主张国家干预经济发展的凯恩斯主义经济学派认为扩大基础设施工程投资，尤其在经济萧条时期，将缓解失业率，适当的财政赤字有助于经济发展，“公共工程政策的要点就是它能够使国内投资率增加……利率不必下跌<sup>4</sup>”。因此，城市基础设施工程产生的城市就业、城市经济等方面的宏观经济效益成为理论研究新的关注点。

第三阶段的评价理论为对城市基础设施工程社会效益及其评价机制分析的社会评价理论，评价的公平与效率问题成为关注焦点。特别是近二三十年来，工业发展带来经济效益的同时，也带来日趋严重的环境污染问题。随着西方社会学与人类学

<sup>2</sup> 胡绝蕾，论城市公共工程的评价[D].济南：山东大学，2007.4

<sup>3</sup> 齐宁英，朱彬，《公共项目管理与评估》[M].北京：科学出版社，2004. 12-13

<sup>4</sup> Kahn R.G.,《The Relation of Home Investment to Unemployment》[X].1931

等社会科学日渐成熟，如何实现经济与社会的和谐发展成为新的诉求。因此，宏观经济效益评价、社会综合效益评价、工程可行性与不可行性分析、评价程序民主公正成为城市基础设施工程评价理论研究的新方向与新重点。

城市基础设施工程评价理论层面不断扩展的原因，一是城市基础设施工程的投资主体为城市政府，而城市政府的基本目标为公平与效率。主体目标二元性决定了城市基础设施工程目标的多重性，决定了评价内容除直接经济效益之外，还应包括宏观经济效益和社会效益。二是以实现社会可持续发展为目标的现代发展观，不再单纯强调现有发展成果的积累，而更重视发展潜力的培植。其核心思想为在生态可持续发展、社会公正和人民积极参与自身发展决策的基础上促进经济健康发展，目标为实现人类、自然、社会的和谐发展，即人类的各种需要得到满足、个人得到充分发展、自然资源和生态环境得到保护、不对后代的生存和发展构成威胁。建立在这种发展观基础之上的城市基础设施工程评价体系应具有综合性、系统性及科学民主性，不仅要评估工程对人类物质需求的满足，更要评估工程对人类精神需求及生态需求的影响<sup>5</sup>。

### 2.1.2 评价理论视角

回顾各种关于城市基础设施工程的评价理论，大体上是针对城市基础设施工程的需求偏好、供给能力、管理效能等方面制定相应的评价方法或机制。具体而言，均止以下三个层次展开：一是城市基础设施工程的综合效益，二是城市市民的偏好选择及支付能力，三则是城市基础设施工程管理建设者的管理能力。而城市基础设施工程评价过程与结果的公正、效率问题成为现代评价制度理论研究重点，就基础设施工程这一评价客体而言，其研究理论愈来愈关注城市基础设施工程对城市社会资源环境与人文环境的影响。根据其理论视角的不同，对城市基础设施工程评价理论进一步地梳理，以为其具体评价制度与评价方法的确定奠定更为清晰、明确的理论基础。<sup>6</sup>

#### 1、基于政治视角的评价理论

基于政治视角的评价理论，其思想内核为宪政思想、公民社会与社群主义等理论，社会正义、公共参与、公共利益理念是基于政治视角进行城市基础设施工程评价的指针，即城市基础设施工程的供给应促进公共利益、公共福利的最大化。约翰·罗尔斯在论述社会公平正义时曾指出，只有最大限度地维护弱势群体的利益才能够符合社会正义的原则<sup>7</sup>。因此，城市基础设施工程评价内容应包括对工程宏观经济效益、带给工程享用者的直接及间接经济效益、评价主体的多元性即普通市民及弱势群体

<sup>5</sup> 齐中英，朱彬，《公共项目管理与评估》[M]。北京：科学出版社，2004，13-15；

<sup>6</sup> 胡艳蕾，论城市公共工程的评价[D]。济南：山东大学，2007.4

<sup>7</sup> 【美】约翰·罗尔斯(著)姚大志(译)，《作为公平的正义—正义新论》[M]。上海：上海三联书店，2002



的参与度、评价程序的民主、公正等等涉及社会公正、公平的因素，通过对以上因素的评价对城市基础设施工程进行有效的监督管理，进而提高城市基础设施工程供给的有效性，实现城市公共效益的最大化，提升城市政府的合法性与公共信誉，同时，维护现代城市管理的公平正义原则。

## 2、基于经济视角的评价理论

基于经济视角的评价理论是城市基础设施工程评价的基本理论渊源，其主导思想是对城市基础设施工程投入产出的经济效益进行评价，根据评价内容的不同可分为三类：

(1) 古典经济学理论。古典经济学投入——产出分析理论是针对城市基础设施工程微观经济效益进行评估的理论，是单纯财务评估分析的基本理论依据。

(2) 福利经济学理论。近代福利经济学等宏观经济理论则将城市基础设施工程置于社会经济系统之中进行评价分析，即对城市基础设施工程作为城市公共物品所带来的间接经济效益的评价，包括对城市宏观经济发展、城市人口就业、城市福利等外部因素的影响力。由此，福利经济学家提出应对城市基础设施工程供求进行评价，庇古(Pigou, 1947)的均衡模型认为，对于每个人来说，公共产品的最优供给将发生在公共产品消费的边际效用等于税收的边际负效用这一点上，萨缪尔森的局部均衡与一般均衡模型以及林达尔均衡模型进一步发展，完善了公共产品的供求平衡分析。然而，这些针对公共产品的供求评价仍属于个人需求曲线，评价加总的可信性存在问题，且没有考虑公共产品宏观评价对社会总体公共产品需求曲线的影响<sup>8</sup>。总之，该阶段城市基础设施工程的评价仍以微观经济效益评估为主，针对宏观经济效益的评价争议较多，实践中以后评价为主，且不同国家后评价体制差别较大。如欧洲一些具有良好民主传统的国家，如丹麦，由于国家较小、民族单一且民族文化具有深厚的民主传统，并未建立关于城市基础设施工程的后评价机制，但城市基础设施工程投资建设效益较好；而一些多民族构成的新兴国家如美国，民族、文化的多样性产生对民主的强烈诉求，逐步建立了较为完善的城市基础设施工程后评价机制，其中，针对城市基础设施工程宏观经济效益评价的部分较为完善。

(3) 新制度经济学理论。西方制度经济学派的兴起给城市基础设施工程评价带来了新的理论，提出了新的评价角度，超越了传统的经济效益评估，主张对城市基础设施工程评价制度的进行分析。认为制度决定着经济发展，城市基础设施工程评价是否科学、民主、高效不仅取决于技术方法的科学性，更多是由评价制度是否民主、高效决定。其中，布坎南等人提出的公共选择理论对公共物品的偏好选择问题进行了分析，认为若监督机制不健全，市政部门的经济理性行为导致“权力寻租”，而信息公开透明度低、公众获取信息成本太高导致公众的理性无知(rational voter ignorance)即公众在信息不充分的情况下进行的投票结果的无效性，最终导致关于

<sup>8</sup> 李成威，《公共产品的需求与供给：评价与激励》[M]，北京：中国财政经济出版社，2005，22-29

偏好的投票选择的无效性；科斯提出的交易成本理论，认为应通过制度构建降低公共物品选择中的交易成本；曼瑟尔·奥尔森（Mancur Olson）在《集体行动的逻辑》（1965）一书中认为，“除非一个群体中人数相当少，或除非存在着强制或其他某种特别手段，促使个人为他们的共同利益行动，否则理性的、寻求自身利益的个人将不会为实现他们共同的或群体的利益而采取行动”，<sup>9</sup>即公共物品的特殊性质导致了搭便车问题，进而使得公共利益的分配无法达到最优化水平。城市基础设施工程部分属于难以排他但分别享用的物品，如道路，部分又属于俱乐部产品，即可收费，如能源供应、公园等，部分属于不排他、共同享用的公共物品，如绿地、广场等，因此，其利益相关者之间博弈均衡点往往不是发生在公共效益最大化那一点，所以要构建正式与非正式的治理制度对此加以改善。制度经济学理论为城市基础设施工程评价指出了新的视角，实际上是经济评价理论与政治、管理评价理论的交汇与整合，成为如今城市基础设施工程评价制度体系建设中重要的理论依据。

### 3、基于管理视角的评价理论

针对城市基础设施工程评价的管理理论随着经济学、社会学理论发展不断扩充，研究角度由评价程序设计的科学高效即泰勒的科学管理思想，到行为主义学派对个体行为的关注，公平、人性的评价体制成为新的研究方向。总之，基于管理学视角的城市基础设施工程评价理论，其出发点是试图通过科学、民主的管理工具提高城市基础设施工程评价的有效性，如管理运筹学主张通过量化分析、线性规划模型及模糊综合评价方法对城市基础设施工程成本效益进行综合社会评估，强调评价内容量化处理的科学性；20世纪80年代以来兴起的新公共管理理论则主张，城市管理者应通过建立一套多元参与的监督评价系统体制，使内部监督与外部监督相结合，促进评价主体多元化，加强公益性的第三部门参与评价力度，降低评价主体交易成本。总之，基于管理视角的评价理论所强调的是，如何利用管理工具推动城市基础设施工程评价程序的公正、高效，进而确保评价结论的真实可靠，并最大限度地代表城市公共利益需求。

### 4、基于可持续发展观的新视角

可持续发展的概念最初是由世界自然保护联盟在1980年发表的《世界自然保护战略》中提出的，主张人类的发展应走一条资源环境保护与经济社会发展兼顾的道路。可持续发展观的具体内容包括生态可持续性、经济可持续性、社会可持续性、科技可持续性，其内涵表现为以下三大原则：①公平性原则（Fairness）。一是本代人的公平即同代人之间的横向公平，这就要求发展要满足全体人民的基本需求和给全体人民机会以满足他们要求较好生活的愿望；二是代际间的公平，即世代人之间的纵向公平性，要求本代人不能因为自己的发展与需求而损害人类世代代满足需求

<sup>9</sup> 埃莉诺·奥斯特罗姆(英)余进达, 陈旭东(译), 《公共事物的治理之道: 集体行动的困境》[M], 上海: 上海三联书店, 2000, 16-19

的条件——自然资源与环境；三是公平地分配有限资源。②可持续性原则（Sustainability）。该原则的核心理念为人类的经济和社会发展不能超越资源与环境的承载能力。③共同性原则（Common）。该原则指出可持续发展是全球的共同目标，只有人类内部及人类与自然之间能够保持一种互惠共生的关系，可持续发展的目标才能实现，进而促进人类之间及人类与自然之间的和谐<sup>10</sup>。

在这种观点的导引下，城市基础设施工程的最终目标在于实现社会效益的最大化，在于实现经济发展、社会稳定、国家安全、生态保护、社会公平等各层次的全面发展。因此，城市基础设施工程评价内容不再局限于经济效益，而扩展到社会效益、环境效益的评价，尤其是在评价指标的确定中应充分考虑到社会公正、环境保护、资源可持续性体现可持续发展理念的指标。近年来，一些国家开始逐步加强对城市基础设施工程的社会效益评价，世界银行针对各种项目工程专门制定了一整套的社会评价指标，较之经济评价指标而言，这些指标主要针对工程对城市资源环境、社会公平及城市可持续发展性等方面的影响力的评价。

总之，基于可持续发展观的城市基础设施工程评价理论是城市基础设施工程评价理论研究新的关注点，是评价理论的一次质的飞跃，实现了自传统的针对城市基础设施工程浅层利益评价到对城市基础设施工程深层价值评价的转变。

## 2.2 国内外社会评价研究

### 2.2.1 社会评价内涵

本质上讲，社会评价就是社会效益的分析。社会评价主要是对社会效益和社会影响的评价。

在《投资项目可行性研究报告指南》中，社会评价是指分析拟建项目对当地社会的影响和当地社会条件对项目的适应性和可接受程度，评价项目的社会可行性。社会评价的内容包括：项目的社会影响分析，项目于所在地区的互适性分析和社会风险分析。

中国国际工程咨询公司编著的《中国投资项目社会评价指南》一书中指出，社会评价是识别、监测和评估投资项目的各种社会影响，促进利益相关者对项目投资活动的有效参与，优化项目建设实施方案，规避投资项目社会风险的重要工具和手段。

关于社会评价即社会效益评价主要有这样几种观点：

董福忠主编的《现代管理技术经济词典》一书中认为社会效益评价是人们对所从事的社会活动或人们的社会行为所引起的社会效果的分析评价。社会效益评价可

<sup>10</sup> 洪银兴、高波等，《可持续发展经济学》[M]，北京：商务印书馆，2000，5-13

以从社会稳定、政治、国防、就业、福利、文化、精神、道德以及自然、资源、环境、生态等方面进行评价。

高学栋认为社会效益分为社会经济效益、社会生态效益、社会精神效益；颜伦琴认为社会效益是指某一件事情、某一种行为、某一项工程的发生所能提供的公益性服务的效益，具体表现在改善环境、提供就业机会、促进精神文明的建设、协调区域发展、繁荣经济和增加财政收入、方便人们生活、提高人们生活质量等；张颖认为森林的社会效益包括社会文明进步效益、提供就业机会、优化产业结构、减少林业职工医疗费、旅游效益等。

陈阿江（2003）认为，社会评价是社会学理论和方法在项目实践中的应用，它把项目放在一般的社会系统中去分析和考虑，既要考虑项目自身的利益，也要考虑项目所在地区的经济发展与公平公正问题。

本文认为，社会效益就是某项人类活动满足公共需要的度量，对该活动的社会效益分析就是社会评价，或者说是社会效益评价。

社会评价是一种评价活动，指人们对一项活动社会效果的认识。本文从以下几个方面来认识和理解社会评价：

（1）社会评价是人们的认识活动。如前所述，评价是人们的认识活动，它所揭示的是人们对世界的意义的认识。同样，人类的活动，包括经济活动和非经济活动，会产生很多社会影响，人们对这些活动的社会影响的认识就是社会评价。

（2）社会评价的目的。评价的主体是人们，客体是各种活动，即评价者本人对于该社会影响的价值的感受，是一种实践活动。或者说是社会评价是评价者和某项人类活动的关系的价值判断。

（3）社会评价的过程。首先，要采集价值客体即某项人类活动的信息以及评价者的需求。其次，根据评价主体的需求建立评价指标体系即价值评价标准。最后，用评价指标体系衡量价值客体，得出最终评价结果，即作出判断。

### 2.2.2 国内社会评价研究现状

在社会评价方面，国内最早的研究者是上海交通大学的黄渝祥教授，他在1987年出版的《费用—效益分析》一书中对项目社会评价的基本原理和方法作了详实阐述。清华大学的傅家骥与全允恒教授1996年在费用——效益分析基础上提出了项目社会评价的两种方法：第一种方法是成本——收入法，这种方法主要是运用在成本和效益都能用货币计量的情况下，第二种方法是成本——效能评价法，主要是针对社会效益无法用货币度量的情况下。傅家骥与全允恒教授提出了对无市场价格的产出货币量化的两种思路：一是把可以获得同样收益的替代方案的最小成本费用作为该方案的收益；另一种是把消费者愿意为项目产出所支付的货币——消费者意愿作为收益的估计值，而对于产出所带来的外部损失，则可以用被损害者愿意接受的

最低补偿收入作为外部成本或负收益。

同时，他们也指出了这两种思路的局限性：第一种思路仅仅是两种方案之间的成本费用比较，不反映方案自身的效益性。因此，其只适于互斥方案之间相对择优评价时使用，且要求各互斥方案提供同样的效益。第二种思路则是难以客观调查确定消费者的支付意愿，被调查者可能基于各自不同的动机高报或低报他们的收益和成本。所以，在上述方法难以执行的情况下，则有必要采用实物量纲计量项目的有形收益和成本。

姜伟新与张三立两位学者以逻辑框架为评价的方法论基础，深入研究了市场条件下对项目评价进行宏观监控的评价方法和指标体系，并较为系统的研究了项目后评价和项目前评价，完善了从项目前评价到项目后评价的监督评价体系。

近年来，河海大学有一批学者从哲学角度对项目社会评价的重要性作了研究<sup>11</sup>，并尝试将社会评价的工作由定性分析向定量分析转变，使评价工作更多的依赖于一系列的指标因素，主要从项目的社会影响方面、环境影响方面和经济影响方面等选择诸多指标对项目的影 响加以评价。

此外，西安交通大学的万威武，陈伟忠，李健，以及其他部门的一些学者也在项目社会评价方面做了大量较有影响的研究工作。

我国社会评价的主要研究动态和理论成果有：

(1) 国家计委投资研究所与建设部标准定额研究所自 1990 年开始对投资项目社会评价的理论与方法进行的系统研究。主要成果参见于 1993 年 8 月出版的《投资项目社会评价方法》，1997 年 6 月出版的《投资项目社会评价指南》。该项研究主要包括项目对社会经济、自然资源、生态环境和社会环境等四方面的各项有关社会因素的分析，运用了科学性与实用性相结合，定量分析与定性分析相结合的方法，对工业、交通、农业、水利、社会事业、城市基础设施等主要行业项目社会评价方法作了探讨。

(2) 国内项目社会评价研究 20 世纪 90 年代中期开始进行探索的，近年来有了新的进展。2002 年国家计委审定发行的《投资项目可行性研究报告指南》中，已经将社会评价正式纳入中国投资项目可行性研究的内容之中。

(3) 目前，尽管中国政府没有以法律的形式要求对投资项目必须作社会评价，但人们越来越认识到了这一评价方法的重要性，对一些重大投资项目已经在尝试引进社会评价。南水北调工程有一些社会学家参与其中；国家重大投资项目三峡水利工程，在对项目进行论证时，出于非常谨慎的态度首次对该项目作了社会评价。

2004 年 5 月由中国国际工程咨询公司编著了《中国投资项目社会评价指南》，该指南为社会评价工作提供了一个理论框架，但仍有许多内容亟待进一步的研究、充实和完善。

<sup>11</sup> 陈河江. 范式视角下的项目社会评价[J]. 江苏社会科学, 2003.(5): 92-96.

### 2.2.3 国外社会评价研究进展

社会评价则是西方发达国家在 20 世纪 60 年代后逐渐兴起的一种评价方法。

国外理论界并没有严格的应用社会评价的概念。与此相关的是对项目评价方面,取得了丰富的成果。关于项目的财务评价和经济评价,早已形成了较为成熟的理论和方法,在对项目社会评价的专门研究则始于上世纪 60 年代西方国家。1844 年,法国工程师杜比 Jules Dupuit 在继承前人研究成果的基础上,发表了题为“公共工程项目效用的度量”<sup>12</sup>的论文,他提出了消费者剩余的概念,并认为公共项目的最小社会效益等于项目净产出乘于产品市场价格。这个最小社会效益与消费者剩余就构成了公共项目的评价标准。这一方法在西方社会持续了近百年而没有任何进展。

上世纪 30 年代以后,项目的费用—效益方法主要在洪水控制、河道治理水土资源开发等方面得到了较广泛的应用和发展。1978 年美国国会参议院提出,项目的费用与效益分析主要从四个方面考虑:国民经济的发展、环境的质量、地区发展和社会福利。1984 年世界银行(WB)提出“社会性评估”应成为世界银行在进行项目可行性研究工作的一部分。世界大坝委员会(WCD)项目决策考虑次序为社会评价、生态环境评价、经济与财务评价、管理评价、技术评价。社会评价已经并将在项目评价体系与决策中扮演越来越重要的角色。世界银行倡导的投资项目的社会评价主要包括社会公平评价,社会公正评价,项目与所在地区互适性评价与可持续发展评价。

20 世纪 60 年代以后,一些西方经济学家致力于发展中国家项目评估的理论研究,英国牛津大学教授里特尔和米尔里斯为建立项目评估学学科做了开创性的工作,于 1968 年合作出版了《发展中国家工业项目分析手册》一书,首次系统地阐述了项目评估的基本理论和基本方法;1972 年,达斯古帕塔等编著了《联合评价准则》;1975 年世界银行经济学家斯考尔等编著了《项目经济分析》<sup>13</sup>;把收入分配、就业等社会发展目标引入费用—效益分析,这被称为现代费用效益分析或社会费用-效益分析(Social Cost-Benefit Analysis)。这种社会费用—效益分析包括经济效率目标和社会公平分配目标,前部分称经济评价,两部分合称社会评价。这是狭义意义上的社会评价,正是我们所熟悉的财务评价与国民经济评价。

1980 年联合国工业发展组织与阿拉伯工业发展中心联合编著了《工业项目评价手册》。其中不仅考虑了经济增长目标,也用比较简便的方法设置了社会评价指标,如就业效果、分配效果、国际竞争力等,手册在阿拉伯国家得到广泛应用,这些经典著作作为项目评估的理论和方法的发展和应用做出了巨大的贡献。1962 年,在环境污染威胁生态系统的全球危机日益严重的情况下,美国海洋生物学家 Rachel Carson 写出了《寂静的春天》,成为人类环境意识觉醒的先声,并最终导致可持续发展理念

<sup>12</sup> 尚清. 项目社会评价方法评介[J]. 自然辩证法研究, 1997, (6), 24-27

<sup>13</sup> 吴大军, 王立国. 项目评估[M]. 大连: 东北财经大学出版社, 2002.

和环保行动在全球的发展<sup>14</sup>。20世纪80年代初,世界银行开始重视发展项目中的社会学问题研究,制定非自愿移民的政策,派社会学家、人类学家参加项目的社会评估等。

1996年,全球大型水坝越来越多,它对经济、生态、社会的影响越来越大的背景下,Patrick McCully出版了《无声的河流(Silenced Rivers-The Ecology and Politics of Large Dams)》,全面分析和深刻反思了大坝对于河流生态、人类生活等的负面效应,代表了人类的环境意识在水资源方面的深化,并提出了“没有健康的流域,也就不可能有健康的社会”<sup>15</sup>。

世界银行于1997年成立社会发展部门,强化了项目社会评价的作用。项目评价已从单一的财务分析和经济分析,发展到财务、经济、技术、环境和社会等方面的评价,其中社会评价越来越受到关注与重视<sup>16</sup>。

20世纪80年代以后,更多的人类学家和社会学家尝试将人类学和社会学的方法引入项目评估之中,社会评价成为一门独立的学科。

国外关于项目评价的主要理论是建立在宏观和微观经济学基础上,如效用理论、发展经济学、福利经济学等。社会评价更关注“社会福利”,而社会福利是难以计量的。在市场条件下,公平和效率是一对永恒的矛盾,他们相互作用、相互促进。为了准确的评价建设项目,实现公平和效率这两个社会基本目标,国外有些学者提出了社会价格学说,试图用社会价格来囊括效率、公平、环境、生态等,形成一个综合的社会价格,但是其只具有思想性,实现起来难度大,操作性弱。国外在对项目评价方法新的突破主要反映在发展中国家的推广应用与发展中,新的方法主要包括L-M法、UNIDO法和S-V法,但研究成果主要集中在项目的财务评价和国民经济评价方面,并且已经形成了较为成熟的理论体系和方法。近30年来,国外社会评价的理论发展并没有取得新的突破性的进展,只是将此种方法和理念不断地在发展中国家得到推广应用和发展,社会评价的理论和方法有待于规范化。社会评价涉及面非常广泛,许多是非经济方面的,难以或不易测量。故迄今为止,在社会评价方面,难以有所突破,社会理论和方法方面仍处在发展之中,尚未规范化。

## 2.3 国内外经济评价研究

### 2.3.1 国外经济评价发展现状

建设项目经济评价,可以追溯到资本主义的早期,其特点是寻求最大的企业利润。随着资本主义的发展,经营技术诸如统计、会计管理方法不断地获得重大改进,

<sup>14</sup> Therivel, Riki and others. Strategic Environmental Assessment. London: Earthscan, 1992.

<sup>15</sup> Kauppinen, Tapasi. "Impacts Can Be Assessed in Advance". Dialogi, 10 (200), 26-27.

<sup>16</sup> 王朝刚, 李开孟. 投资项目社会评价专题讲座(十一)[J]. 中国工程咨询, 2004, (12), 42-44

使建设项目的评价逐渐切合实际和系统化。

20 世纪 30 年代经济大萧条以前的百余年间,自由放任的学说支配着资本主义国家特别是英美的经济思想和政府政策。那时人们相信,一个好的政府的主要认为是维护社会秩序,以及提供少数不可缺少的公共设施和服务。在那种情形下,除了公共财政、保障劳力、促进贸易和其他少数有益公众的事业外,没有政府投资和公共项目的社会效益问题,这时所有的建设项目评价是私人投资评价。

在经济大萧条的年代里,形势有了重大的变化。随着资本主义自由放任体系的崩溃,一些政府,特别是美国政府,运用新的财政政策、货币政策和公共建设工程来挽救萧条的经济。这类短制的措施,其后就成为宏观经济管理的常规手段,并取得了某种成效。在第二次世界大战期间,各国政府为了军事动员,在战后期间,又为了国民经济的重建和恢复,运用了各种政策和行为来干涉控制经济事务,以动员人力和物力实现国家规定的目标。随着各国政府管理公共事务的经验积累和人民要求改善生活的强烈愿望,政府干预经济的需要和作用逐渐加强。因此,在建设项目经济评价是,必须从国家的角度考虑项目的经济可行性,即国民经济评价。

西方国家进行建设项目的国民经济评价时,所用方法主要是费用—效益分析法。美国 1936 年制定洪水管理法时体现了费用——效益分析这一思想,对于美国水力资源的综合开发起了很大的作用。但是由于对费用和效益量度方法的不统一,在以后的若干年内费用——效益分析方法并没有在实践中得到推广应用。直到 1950 年,美国联邦流域委员会发表的“流域项目经济分析的建议”(道称蓝皮书)第一次把当时平行独立发展的两个学科,即实用项目分析与福利经济学联系起来。1958 年诺贝尔经济学奖金获得者之一,荷兰计量经济学家詹恩·丁伯根提出了在费用——效益分析法中使用影子价格(或计算价格)的主张。1962 年应肯尼迪总统的要求,美国预算委员会发表了“联邦水资源发展的评价标准和准则”作为指导性的文件。英国在这方面的研究比较晚,主要在运输系统的分析方面,较有名的是伦敦第三机场的分析等。1967 年,英国政府提出了“国有化工业采用费用—效益分析的指示意见”。加拿大于 1965 年由财政委员会发表了“费用—效益分析的指导书”。

由于私有制成分占绝大部分,市场的功能较完善,费用—效益分析在西方发达国家的应用是有限的。对于生产性的公共项目,市场价格和愿付代价的背离不大,费用—效益分析退化为财务分析。对于非生产性的公共项目,因效益定量困难,外部效益太大,政府因素太强,费用—效益分析的结果也不一定为决策者所接收。例如,1970 年英国政府委托以 Roskil 为首的一个七人委员会对伦敦第三机场的场址方案进行了规模空前的费用—效益分析。1971 年发表了著名的“Roskil”报告,提出:从费用最小的角度出发,应将机场建在伦敦西郊的 Cubbington。该方案比最差方案(建在 Foulness)能节省费用现值 2 亿英镑。这个分析几乎把所有的费用和效益都进行了量化,包括:吸引旅客的多少,旅客到机场的费用,旅客多花的时间费用和噪声的费



用等等。英国政府可能出于政治上的考虑，并没有采纳这个结论，而倾向于建在社会费用最高的海边。

最近十多年来，费用—效益分析法在发展中国家得到了应用和推广。据联合国开发计划署(UNDP)<sup>17</sup>的资料介绍，85 个发展中国家已经成立了中央评价机构，这些机构中，约 50%设在计划部门或社会发展部门；16%设财政和国家预算部门；12%设在经济部门；10%设在外交部门；4%设在国审计部门；8%设在其他部门。世界银行和联合国工业发展组织都在其贷款项目评价中同时使用财务分析和经济分析这两种方法。1968 年牛津大学著名福利经济学家 Little I. 和经济数学教授 Mirlees J. 联合为经济合作和发展组织(OECD)编写了《发展中国家工业项目分析手册》；1972 年联合国工业发展组织(UNIDO)出版了一本重要著作《项目评价准则》；1974 年 Little I. 和 Mirlees J. 又联合发表了《发展中国家项目评价和规划》；1975 年和 1979 年世界银行研究人员发表了《项目的经济分析》和《项目规划和收入分配》两本重要著作；1980 年国际开发中心(财团法人)委托山正光编写了《工程项目可行性研究的理论及实践》。这些方法代表了当今西方国家建设项目经济评价的主要观点。而世界银行和亚洲开发银行等机构在 90 年代相继出台有关项目经济评价的研究报告和指南，为各国的建设项目经济评价方法研究提供了理论依据。

### 2.3.2 国内经济评价发展现状

我国项目评价方法萌芽于 20 世纪 50 年代<sup>18</sup>。早在“一五”期间，我国学习苏联的经验，对一些大型建设项目进行技术经济论证，当时采用的是极为简单的静态分析方法<sup>19</sup>。直到 20 世纪 70 年代末，我国一直沿用这一传统的方法评价项目。尽管这种方法对当时的经济建设起到一定的作用，但是随着经济的发展，这种方法远不能满足项目投资决策的需要。

我国真正意义上的项目评估理论与方法产生于 20 世纪 80 年代，其主要研究动态和成果有：

(1) 1981 年我国成立了以转贷世界银行贷款为主要业务的中国投资银行；1983 年中国投资银行推出了《工业贷款项目评估手册》的试行本并多次加以修订，投资银行关于项目评估的研究与实践在我国起到了极好的探索和示范作用。

(2) 80 年代中期以后，国家计委、国家经委、中国建设银行总行、中国国际工程咨询公司以及国务院有关部门先后公布了不同类型的项目评估方法。国家计委于 1987 年首次正式公布了《建设项目经济评价方法》和有关国家系数以及部分外贸货物的影子价格<sup>20</sup>，对我国项目评估理论和方法的完善和发展起到了极大的促进作用。

<sup>17</sup> Shaohua Chen and Martin Ravallion: Hidden Impact? Ex-Post Evaluation of an Anti-Poverty Program [R].

<sup>18</sup> 吴大军，王立国. 项目评估[M]. 大连：东北财经大学出版社，2002

<sup>19</sup> 邹一峰，邹欣. 中外投资项目评价[M]. 南京：. 南京大学出版社，1995.

<sup>20</sup> 国家计委，建设部. 建设项目经济评价参数与方法（第二版）[M]. 北京：中国计划出版社，2004

1988年,国家经委颁布了《工业企业技术改造项目经济评价办法》。

(3) 20世纪90年代以后,我国项目评估理论和方法日趋成熟。1993年国家计委与建设部联合发布了《建设项目经济评价方法与参数(第二版)》,成为投资决策科学化与规范化的重要依据与手段。

2006年8月国家发展改革委和建设部联合颁布了《建设项目经济评价方法与参数(第三版)》。这些文件的颁布,推动了我国建设项目经济评价理论和方法的不断发展和完善。

## 2.4 城市供热评价方法研究

### 2.4.1 城市供热评价指标体系研究现状

#### 2.4.1.1 国外主要评价方法体系的发展

伴随着城市基础设施工程评价理论的发展,国外城市基础设施工程评价方法不断完善,其方法体系由三种构成。最初的评价方法为单纯财务评价,理论依据为城市基础设施工程微观经济效益评价,即对城市基础设施工程的直接经济成本与直接经济利润的分析。第二种方法为费用效益评价法,二战以后,随着各资本主义国家城市基础设施工程投资额度的不断扩张,由于目标的不一致性,私人工程的单纯财务评价方法不再适用,从20世纪50年代开始,逐渐形成社会费用效益评价方法。它在形式上与财务评价方法是一致的,都是对投资利益进行评价,但考虑到城市基础设施工程产生的宏观效益及对公共利益的影响,因此,在效益评价中利用影子价格来衡量工程的总体经济效益及经济费用。第三种为社会评价方法,即将可持续发展观等新的评价理念纳入到工程效益评价中来,认为应对城市基础设施工程产生的社会综合效益进行综合评价,基于人权、环境、可持续发展观等提出一系列新的社会评价指标。这种方法由发达国家兴起,已引起不少新兴国家与发展中国家的重视,但理论、方法的普及化与本土化还存在问题<sup>21</sup>。

#### 2.4.1.2 我国主要评价方法体系的发展

我国针对城市基础设施工程的评价是从研究投资项目评价发展起来的,具体包括反映微观经济效益的财务评价、宏观经济效益的国民经济评价和非经济效益影响的社会评价等。1993年国家计划委员会和建设部联合发布的《建设项目经济评价方法与参数(第二版)》,对投资项目的财务评价和国民经济评价的必要性、经济评价的内容、方法都作了比较详细的说明。这一方法作为投资项目评价方法在工程的可行性研究实际中被广泛采用,也运用于城市基础设施工程的可行性研究。但这一方

<sup>21</sup> 孙银兴 高波,等.《可持续发展经济学》[M].北京:商务印书馆,2000,5-13

法只涉及工程的经济效益评价问题，没有关于社会效益评价的内容。我国并未对城市基础设施工程的社会评价内容进行正式规范，但 1979 年对环境保护问题的立法起到了一定的规范管治作用。近几年来，一些城市基础设施工程的国民经济评价中开始纳入社会效益评价指标，一些部门在工程的国民经济评价方法中对社会效益评价的内容做出了简要规定。然而，针对城市基础设施工程社会效益评价的指标较模糊、不够系统，往往流于形式<sup>22</sup>。

在进行不同的项目社会效益评价时，建立不同的社会效益指标体系。目前主要是在高速公路、新闻业、森林等项目中探讨的比较多。

赵凤山（1996）提出了一个高速公路的社会效益评价指标体系，该体系有两个层次，第一层次主要包括四个大方面的指标：促进社会发展程度评价指标、促进经济发展程度评价指标、促进政治稳定程度评价指标和提高高速公路建设部门素质指标等，每个大指标下含第二层的小指标。骆有隆等（2004）提出了高速公路社会评价指标体系，包括区域内就业情况影响、区域内自然资源产值影响、区域内交通安全效果、运输网效率的变化、文化卫生事业、福利的改善、科技的发展等 7 个一级指标，每个一级指标下面又包括若干二级指标。张颖博士（2006）新近完成了一项森林社会效益评价与核算研究，给出了一系列具体数据，使定量描述森林的社会效益成为现实。此外，对新闻业社会效益指标体系也有相关研究。如杨绪忠（2002）建立的新闻业社会效益指标体系。

### 2.4.1.3 供热评价指标体系

目前国内主要针对现有供热模式进行的评价。指标主要有：经济性指标、环境影响评价指标、一次能源消耗、可调节性和舒适性等。

供热模式的评价指标既有定量分析也有定性判断，各种供热模式仅在相同的评价指标下才具有可比性，而在不同的评价指标下，各种供热模式的优劣差异很大，例如，燃煤供热的经济性好但污染大，燃气供热污染小但经济性相对差。所以，当从不同的角度来评价不同的供热模式时，一般来说是不具有可比性的，很难用单一的指标对其进行评价，既不存在所谓的最优的供热模式。但是，另一方面，尽管影响供热模式选择的评价指标很多，各种指标在决策主体目标中所占的影响比重却不相同，当忽略次要影响因素以后，就可以用相对较少的指标来反映选择目标的优劣程度。

目前，对于供热模式的评价主要以经济评价为主，环境评价和社会评价为辅。经济评价方法已基本达到成熟，环境评价和社会评价方法仍处于探讨之中。

<sup>22</sup> 齐中英、朱彬.《公共项目管理与评估》[M].北京：科学出版社，2004.7，17

## 2.4.2 城市供热评价方法研究现状

评价按其内容可划分为技术评价、经济评价、环境评价和社会评价。尽管评价内容不同,但对于评价主体知识框架的要求却基本类似。

### 1、技术评价方法

对建设项目进行技术评价和经济评价,起步较早,且已形成了较成熟的理论和方法。技术评价是以投资项目中所采用的技术措施为评价对象,如技术、工艺路线、生产设备、生产组织方式等。评价的目的是考核技术措施能否实现系统的整体功能以及实现的程度。评价内容包括技术的先进性、可行性、适用性、可靠性、节能性、环保性、标准化、系列化、技术的带动辐射作用、技术的负效应、实现技术措施的生产技术条件、协作条件及物资供应条件等。

### 2、经济评价方法

经济评价是以技术和其他投入要素对经济的发展与增长作为评价对象,并用一组经济指标作出定量的描述。技术的先进性将直接表现在产品的功能、产量和结构工艺方面,并最终反映到产品的成本、费用和收益上,即经济合理性上。经济评价通常包括财务评价和国民经济评价。

(1) 财务评价。财务评价也称财务分析,是从企业角度来考察项目的收入和费用,它根据国家现行财税制度和价格体系,分析、计算项目直接发生的财务效益和费用,编制报表,计算评价指标,考察项目的盈利能力、清偿能力以及外汇平衡状况,以判别项目的财务可行性。财务分析一般包括投资获利性分析、财务清偿能力分析 and 资金流动性分析。

(2) 国民经济评价。是按照资源合理配置原则,从国家整体角度考察项目的效益和费用,用影子价格、影子工资、影子汇率和社会折现率等国家经济参数分析、计算项目对国民经济的净贡献,评价项目的经济合理性。

评价方法按照是否考虑时间价值的因素还可分为动态评价和静态评价。

静态评价是不考虑资金时间价值的技术经济分析方法,只用于小型的、短期的、粗略的分析。动态评价是考虑资金时间价值的技术经济分析方法,在同一时间基础上进行比较,使各技术方案的经济评价结果更接近实际效果。

### 3、环境评价方法

目前在我国专门针对供热模式评价的确定环境分析方法还没有,一般是根据各种供热方案对大气环境的各种污染物的排放值,只给出各种供热方案是否有利于环境的相对宽泛的结论,而对各种供热方案之间对大气环境污染程度比较没有建立评价方法。

我国现在把环境保护和可持续发展列入了国家发展目标的重中之重。过于强调经济评价方法而忽略环境评价等的评价方法已不能正确评价各种供热模式的优越

性,从而得不出更加接近实际的结论。

目前各种供热模式的评价方法只重视经济评价,很少考虑环境评价方法,而且也忽略了能源技术对各种供热模式评价的影响的弊端,有学者提出了一种新的评价各种供热模式优化的评价方法。这种新的评价方法主要是利用模糊数学的概念把环境评价和能源技术评价这两个定性评价定量化,通过权重系数使得这三方面评价达到平衡,再利用优度的概念得出最佳供热模式。其中经济评价应用的是现在非常普遍采用的总费用年值法,环境评价应用的是环境等级评价法,这种评价方法的优越性在于综合考虑了经济评价、环境评价和能源技术评价这三方面影响,比较符合各种供热模式是多方面评价的实际情况,有利于各城市和地区根据自己的实际情况,确定和选择同自己城市发展相适应的供热模式。

#### 4、社会评价方法

关于社会效益定量评价方法的研究,国内主要研究现状是:

运用层次分析法和模糊综合评判法进行社会效益评价比较常见。赵凤山(1996)在对高速公路评价方法上提出了社会效益评价的基本步骤:根据一定的原则,给出了高速公路间接社会效益指标体系的模式,包括两个层次指标;采取专家打分的方法,建立模糊数学评价模型;最后根据模型进行社会效益的综合评价,包括对各个指标进行评价,确定权重系数,确立评价标准,进行项目评价。赵凤山的方法被引用的比较多,其核心是专家打分法和模糊数学模型,主要应用于对高速公路社会效益进行粗略的定量化探索。高吉丽(2001)在对生物资源产业化项目社会效益评价中首先列出常见的影响投资项目社会效益的32个因素,利用可达矩阵进行了层次结构的划分,并建立了指标体系;据此建立了层次结构模型,运用层次分析法确定评价指标的权重;最后利用模糊综合评判法完成项目社会效益的评价。

运用神经网络综合评价方法。如周伟等(2000)在《基于人工神经网络的影响高速公路社会效益量化的变量选择方法》中,以四川省内江市区域经济为例,运用人工神经网络方法,定量分析了影响区域经济各因子的主次顺序,最终为高速公路社会效益量化的变量选择提供了一种研究方法。刘锡健等(2004)运用神经网络方法在石油工程项目社会效益进行综合评价。李庆瑞(2005)提出了多层模糊分析模型,并利用该模型对少洛高速公路进行了社会效益评价。灰色系统理论。如徐淑雨(2006)利用灰色系统理论建立了灰色线形回归组合模型,并据此测算了厦门海沧公路人桥项目的社会效益。

其他的如投入产出模型、系统动力学模型、CGE模型、条件价值评估法等都在不同的项目中得到了应用。

### 2.4.3 城市供热综合评价方法研究现状

#### 2.4.3.1 综合评价方法发展

在改革开放前,我国评价活动主要运用的是单个指标通过简单比较而进行的,这是与当时的计划经济体制密切相关的。改革开放后,随着地方及企事业单位自主权的增加与个性化发展,以及随之而来的市场化进程,客观上提出了从多个角度进行综合评价的要求。在这样的背景下,多指标综合评价活动得到了迅速的发展。

1982年开展的工业综合经济效益评价代表了我国综合评价活动的开端,自1985年开展的一系列有关区域科技能力和科技绩效等综合评价活动是综合评价活动范围的拓展阶段。自此以后,有关社会发展状况的评价、各种类型企业实力的评价等在各个领域广泛展开。特别是进入20世纪90年代以来,国外研究机构的评价取向对我国的综合评价活动起到了推波助澜的作用。随着经济与环境、资源可持续发展概念的引入,可持续发展综合评价活动涉足于我国众多领域和宏观、中观和微观各个层面。随着我国社会主义现代化建设第二步和第三步战略目标的提出,小康评价体系 and 现代化指标体系被广泛应用于我国各地区现代化进程的综合评价中。特别是有关国际竞争力的评价体系和评价方法的引进,更是掀起各领域、各地区有关竞争力评价的热潮。

所谓多指标综合评价,就是指通过一定的数学函数(或称综合评价函数)将多个评价指标值“合成”为一个整体性的综合评价值。是一个多学科边缘交叉、相互渗透、多点支撑的新兴研究领域,有的从统计学角度对其进行研究,有的从系统工程学角度对其进行研究,有的从具体的专业角度对其进行研究。由于研究出发点与基础不同,研究观点、偏好也不尽相同,使得综合评价这一重要技术仍然处于一种分散、零乱的状态之中,已有的研究成果没有得到很好的推广使用。

20世纪60年代,模糊数学在综合评价中得到了较为成功的应用,产生了特别适合于对主观或定性指标进行评价的模糊综合评价方法。20世纪70~80年代,是现代科学评价蓬勃兴起的年代。在此期间,产生了多种应用广泛的评价方法,诸如层次分析法、数据包络分析法等。20世纪80-90年代,是现代科学评价向纵深发展的年代,人们对评价理论、方法和应用开展了多方面的、卓有成效的研究,比如,将人工神经网络技术和灰色系统理论应用于综合评价。

#### 2.4.3.2 评价方法分类

综合评价有多种分类方法。按评价模式,可分为传统评价模式和现代评价模式。

23

##### (1) 传统评价模式

<sup>23</sup> 杜栋、庞庆华、吴炎,《现代综合评价方法与案例精选》[M].北京:清华大学出版社,2008.6

这是目前最常用的一种评价模式。这一模式存在许多弊端，其一是指标体系不全面、不规范；其二是评价方法本质上以定性分析或半定性半定量分析为主，主观成分过多，缺乏科学性。

## (2) 现代评价模式

这是当今蓬勃兴起的一种评价模式，它代表着评价的发展方向。这一模式的指标体系较全面、规范；评价方法借助于定性指标定量化，使指标体系能够进行计算，并可通过计算机软件实现。该模式要求尽可能排除主观成分，使评价结果科学化。另外，从评价的指导思想看，早期的评价方法大多贯穿着追求单一目标的思想，而当今的评价方法基本上体现着全面综合评价的思想。

国内外对系统评价的研究，主要是集中在把新的评价思想和评价方法引入到评价理论中。系统论、信息论、计算机技术、工程技术思想引入评价领域，产生了一系列新的评价方法。现代评价方法归纳起来大致有以下几种：

### (1) 专家评分法

专家评分法是出现较早且应用较广的一种评价方法，是在定量、定性分析的基础上以打分等方式做出定量评价，其结果具有数理统计特征。专家评分法的最大优点是在缺乏足够统计数据和原始资料的情况下，可以做出定量估价，并得到文献上还来不及反应的信息，特别是当方案的价值在很大程度上取决于政策和人的主观因素而不主要取决于技术性能时，专家评分法较其他方法更为适宜。专家评分法具有简单、直观性强的特点，但理论性、系统性不够，一般难以保证评价结果的客观性和准确性。

### (2) 德尔菲法

德尔菲法(Delphi)是美国的兰德(Rnad)公司 1964 年创立的，随后在决策评价领域得到广泛应用。Delphi 法是一种专家多轮咨询法，具有以下三个特点：1) 匿名性。向专家分别发放咨询表，参加评价的专家互不知晓，完全消除相互影响；2) 多轮反馈性。协调人对每一轮的结果作出统计，并将其作为反馈材料发放给每一位专家，作为下一轮评价的参考；3) 统计处理。将结果用统计方法进行处理，得出调查结论。

### (3) 灰色决策评价法

客观世界中常常遇到信息不完全的系统，如参数信息不完全、结构信息不完全、关系信息不完全等等，这种信息部分明确、部分不明确的系统为灰色系统。邓聚龙根据因素间发展态势的相似或相异程度，来衡量因素关联程度，提出一种新的分析方法—关联度分析法，并于 1985 他的第一本灰色系统理论专著《灰色系统(社会经济)》中论述了灰色多目标决策问题。

### (4) 数据包络分析

数据包络分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)是由 A.Charnes 和 W.W.Cooper 发展起来的。它应用数学规划模型计算比较决策单元之间的相对效率，对评价对象

提出评价。DEA 方法发展到现在,不仅可以解决多输入、单输出问题,还能够解决多输入、多输出问题。通过对输入、输出信息的综合分析,得到每个方案综合效率的数量指标,据此排队确定有效方案,并可同时指出其他方案非有效的原因和程度。

#### (5) 层次分析法

这是一种应用最为广泛的方法。该方法是由美国运筹学家 T.L.satty 于 20 世纪 70 年代提出的一种综合定性定量方法,用于解决多因素复杂系统,特别是难以定量描述的社会系统的分析方法。

#### (6) 模糊综合评价法

在综合评价中引入模糊集理论,则成为模糊综合评价。由于对项目的技术评价和社会评价指标的好、坏、优、劣的判断往往带有一定的模糊性,为了对这种模糊性进行定量的分析,可以采用模糊综合评价对项目进行技术评价和社会评价,得到比较客观的评价结论,有利于投资项目决策。

#### (7) 人工神经网络评价法

将人工神经网络技术引入评价中,主要是对 ANN 算法的改进,如采用累计误差的 BP 算法,采用提高网络收敛速度的方法,引进径向基函数等。

### 2.4.3.3 评价方法的选择与应用

#### 1、选择

综合评价功能可以概括为两点:其一是评优,即通过排序评判出先进和落后,为决策提供依据,这是综合评价的基本功能,也可以说是最直接的功能;其二是揭示问题,即通过总排序和各层的排序与基础指标之间的联系,对其存在的问题进行揭示,找出被评对象的优势和薄弱环节,从而为决策者提供有益的参考,这是综合评价较为深层次的功能。

总的来说,评价方法是实现评价目的的技术手段,评价目的与方法的匹配是体现评价科学性的重点方面,正确理解和认识这一匹配关系是正确选择评价方法的基本前提。评价目的与评价方法之间的匹配关系,并不是说评价的特定目的与特定一种评价方法的一一对应,而是指对于特定的评价目的,可以选择高效、相对合理的评价方法。

各具特色的综合评价方法,为我们针对某一具体的评价工作选择评价方法提供了借鉴。在选择评价方法时应适应综合评价对象和综合评价任务的要求,根据现有资料状况,做出科学的选择。也就是说,评价方法的选取主要取决于评价者本身的目的和被评价事物的特点。而且,就同一种评价方法本身而言,在一些具体问题的处理上也并非相同,需要根据不同的情况做不同的处理。

#### 2、应用

近年来,围绕综合评价,其他相关知识不断渗入,使得综合评价的方法不断丰



富, 有关研究也不断深入。值得注意的是, 国内外近二十年来综合评价技术的实际研究状况表明, 从事综合评价技术研究的人员更多的不是统计界人员而是管理数学界与系统工程界的研究人员, 他们从决策科学、系统科学中寻找科学的综合评价思想和方法, 并不断将其引入和应用到各类综合评价实践中。

对供热模式的评价, 国内学者较多地运用层次分析法和模糊综合评价法进行评价。浙江大学曹勇(2002)模糊综合评价法对大中型城市供热模式进行优化研究。赵下肖(2007)运用价值分析法中的熵值法原理, 建立城市供热模式的优选模型。熵值法是根据样本数据自身的的信息特征做出的权重判断, 通过该模型, 将城市供热模式的多项评价指标综合成一个能从整体上衡量模式优劣的单一价值分析值——熵值, 对城市供热模式的优化选择。

## 2.5 城市供热评价理论与方法存在的问题

评价理论与方法在供热应用中至今尚未形成较为系统和完整的评价体系。突出的问题主要表现为以下几个方面:

### 1. 评价指标体系不能很好地体现选题

选题是一项研究活动的开始, 是研究对象与研究目的的相互结合的焦点。在综合评价中, 选题需要通过指标体系来得到具体而清晰的体现, 而后, 评价活动围绕着指标体系而展开并最终得到结果。从这一意义上来讲, 评价指标体系是综合评价活动成败的关键。但是, 一些综合评价中, 经常出现评价指标体系与选题, 即研究对象和研究目的不协调或不十分协调的问题。一是往往不能突出选题的特点; 二是为追求“全面”, 罗列过多的指标导致不同选题的指标体系雷同, 很难体现出本选题的个性; 三是为避免资料取得的难度, 而自创一些似是而非的指标; 四是评价指标与评价目标的不一致, 甚至相互矛盾。<sup>24</sup>

### 2. 评价方法的求新、复杂化越来越严重

新的评价方法的出现往往受到人们的追捧, 但是, 新方法是否能够真正科学地评价供热系统的性能, 其适用性如何, 都是必须要弄清楚的。人们普遍有这样的心理, 认为越是新颖的、复杂的评价方法, 就越能代表评价结论的科学性。因此, 像灰色评价方法、神经网络分析方法、小波网络分析方法、熵值分析方法、遗传算法等评价方法近些年来大有愈演愈烈的势头。然而, 评价的目的在于揭示一种价值, 进行人的价值判断。复杂的方法是否就能揭示系统的价值所在, 复杂的数学过程是否真正和人的思考模式一致, 各种评价方法之间的优劣如何判定, 这些都需要有一个评价的原则。

### 3. 评价方法选用不当



“制冷百家”

物性查询, 论文查看, 制冷、暖通最好的微信公众号, 关注送论文资料

<sup>24</sup> 杜栋、庞庆华、吴炎, 《现代综合评价方法与案例精选》[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.6

综合评价活动中运用的评价方法可划分为两类：一类属于经验方法，另一类属于数学方法。经验方法的优点是计算简单、适用面广，且方法应用过程的解释较为直观。数学方法的优点是理论基础牢固，可排除人为因素的干扰，如能够正确应用可大大提高综合评价的客观公正性。但这两类方法又都有一些缺陷。数学方法较为突出的缺点在于其约束条件太多，而现实的评价对象往往又不能满足这些条件，只能在许多假定的基础上，或在进行一系列变通处理后应用。再有，数学方法的研究过程难以被非专业人员所理解，许多评价并没有给予解释或给予较为清楚的解释，结果往往是由于不好解释而一带而过，从而影响到评价结果的可信度。<sup>25</sup>

#### 4、理论研究与实际应用之间存在一定的差距

在实际的应用中，指标体系的选取存在不科学的地方，缺少理论指导。用不科学的指标体系进行评价，即使评价方法应用正确，评价结果也是不可信的，产生的结果就是用科学的方法得出非科学的结论。

从收集到的众多文献中可以发现一个共性的现象：一方面在实际应用的繁荣，另一方面是理论研究的欠缺。许多学者在评价方法的研究上都遵循着一种思路，针对某类问题构造出一种新的方法，然后用一个例子来说明其方法的有效性，并未深入地探究评价方法在理论上的适用性，缺少总结性的研究。

#### 5、评价方法缺少最新的系统性的总结

评价方法缺少最新的系统性的总结，各个专业领域各自发展，彼此的关联性较差。包括统计学科领域、管理决策学科领域、系统工程学科领域对评价方法都有研究，但各自的侧重点不同。由于专业背景及研究的出发点不同，使得系统评价还处于一种零乱的分散状态，没有形成统一的学科体系和学科结构，从而也无从建立真正意义上的评价学。

#### 6、未能建立其较为全面、系统的社会评价指标体系

未将可持续发展的概念引入进评价中，造成生态资源过度的开发和浪费及代际间发展的不公正。

社会效益指标涵盖范围少，随着计量供热技术的进步，计量收费问题越来越受关注，而目前在该方面评价时基本不予考虑。

#### 7、忽视定性分析

定性分析对于综合评价方法的运用是至关重要的。由于评价这种做法本身就带有人的主观色彩，不同的评价实施者可能会得到不同的评价结果，因此，要想使评价结果合理又可信，首先根据研究目的对评价对象进行正确的定性分析，即先把握住现象的质，才能对想象的量进行合理的分析说明。

#### 8、缺乏在信息技术支持

综合评价是人类社会中经常且重要的一类认识活动。但是，评价领域内存在着

<sup>25</sup> 杜栋、庞庆华、吴炎，《现代综合评价方法与案例精选》[M].北京：清华大学出版社，2008.

“方法与应用严重脱节”的现象，许多方法很难为实践中的诸多评价问题提供科学的决策支持，其原因是缺乏一种将方法与应用相联系的媒介。在信息技术飞速发展的今天，实现综合评价工作的信息化迫在眉睫。最有效的途径就是开发通用的综合评价决策支持系统。目前，很多是单一的综合评价方法应用程序，专门针对综合评价用途的 DSS 成果并不多见。或者说，通用的大型综合评价软件十分缺乏，离实现商品化应用更是相距甚远。因此，有必要在软件的设计与开发上投入更多的精力，开发网络环境下的集成式智能化的综合评价决策支持系统。

本文认为有如下几个方面的内容还有待深入研究：

- (1) 完整的社会评价理论和科学的评价指标体系。特别是评价指标体系的确立。
- (2) 有效结合定性与定量分析的方法，社会评价逐渐从定性分析向定量分析转变。目前，我国社会评价所使用的方法基本上沿用国外现有的方法，比如层次分析法。但传统的层次分析法也有诸多不足之处。
- (3) 实现评价方法智能化。社会评价涉及一系列的评价指标，评价模型因判断矩阵的修改而显得计算很复杂，急需使用一套行之有效的办法实现项目社会评价智能化。
- (4) 供热模式采用何种能源形式最佳，供热规模与能源形式之间关系的评价等。
- (5) 城市供热系统包括热源和城市热网之间的规划的评价等。
- (6) 每种供热模式涉及的因素很多，对供热模式的评价应综合考虑各个方面的影响，从系统的角度进行综合的评价。

## 第三章 国内外城市供热现状分析

### 3.1 我国城市供热发展现状分析

#### 3.1.1 集中供热发展现状分析

城市集中供热作为一种供热模式目前发展速度较快，且方兴未艾。因此有必要对该种模式的发展现状加以分析。

自 1980 年以来，随着改革开放的不断深化，城市经济得到了长足的发展，市区住宅面积不断增加，北方地区的供热面积也随之增加，在供热系统的选择上，由于集中供热锅炉的热效率高，并且具有环保和节能的优点，因此被大多数城市选择用于新建住宅小区，逐步取代小型供热锅炉和居民家庭煤炉。但是，分散锅炉房的比重仍然最大。据对 29 个大中城市集中供热模式的统计显示，分散锅炉房供热占我国总供热面积的 84%，其中，90% 以上的锅炉房的容量一般只维持在 7MW 以下的水平。20 世纪 80 年代以后，在中央及各地政府的政策和资金支持下城镇集中供热事业得到了迅速发展。热电联产、热交换站以及相配套的尖峰锅炉房等集中供热系统在许多城市相继建成。我国城市集中供热总面积不断增加，集中供热系统已经成为我国城市供热的发展趋势。

至今城镇供热发展的特点是：一些大、中型城市如北京、沈阳、长春、哈尔滨、太原、唐山等城市已经建成大规模的城镇供热设施，并拥有一定规模的热源、热网、较完善的自动控制装置和用户设备。集中供热的发展为提高城市人民生活水平，改善城市大气环境质量，提高能源利用率发挥了重要的作用，成为城市重要的基础设施。

截止到 2007 年，我国城市集中供热总面积达 30 亿平方米。2001 年至 2007 年，集中供热面积的平均增长率超过 15%。全国城市集中供热发展情况见表 3.1，供热分布见图 3.1。

#### 3.1.2 供热热源发展现状分析

国家在能源政策上提出了节约与开发并重的方针，在城市环境保护和节约能源上采取了一系列措施，各地方城市供热产业得到了迅猛发展，形成了以热电联产为主，集中锅炉房为辅，其他方式为补充的供热局面。据不完全统计，我国供热产业热源总热量中，热电联产占 62.9%，集中锅炉占 35.75%，其它占 1.35%。其中，城市民用建筑集中供热面积增长较快，并向过渡区发展。在全国集中供热面积中公共

建筑占 33.12%，民用建筑占 59.76%，其它占 7.11%。

表 3.1 2000~2007 年全国城市集中供热情况表

年份	蒸汽		热水		管道长度		供热面积 (万 m <sup>2</sup> )
	供热能力 (吨/小时)	供热总量 (万吉焦)	供热能力 (兆瓦)	供热总量 (万吉焦)	蒸汽 (km)	热水 (km)	
2000	74148	23828	97417	83321	7963	35819	110766.45
2001	72242	37655	126249	100192	9183	43926	146328.00
2002	83346	57438	148579	122728	10139	48601	155567.43
2003	92590	59136	171472	128950	11939	58028	188956.00
2004	98262	69447	174442	125194	12775	64263	216266.00
2005	106723	71493	197976	135942	14772	71338	252056.00
2006	95204	67794	217699	148011	14012	79943	265853.10
2007	94009	66374	224660	158641	14116	88870	300591.00

资料来源：国家统计局

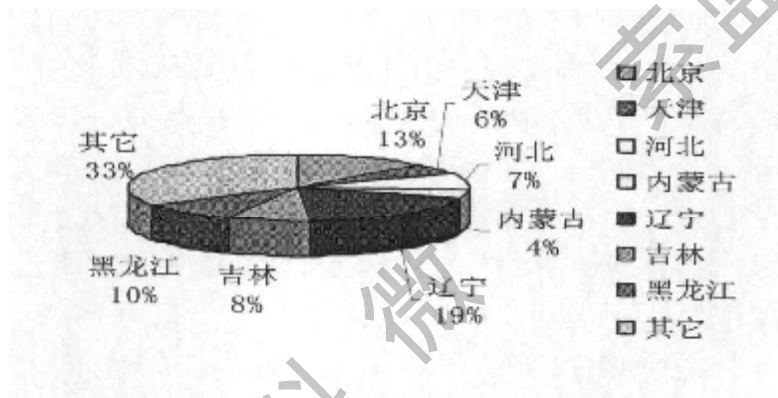


图 3.1 主要省市集中供热面积所占百分比

随着人民生活水平的提高，城市能源供应结构调整、采暖制度改革、建筑节能等因素的要求，对供热模式的经济、环保、节能等方面也提出了较高要求。出现了多种多样的供热模式。供热模式发展为以集中供热为主，多种供热模式并存的局面；为了减轻环境污染，供热能源由最初的以煤炭为主发展到煤炭和天然气、太阳能等多种能源并存的格局。如以燃气为能源的供热模式，包括燃气蒸汽联合循环、大型燃气锅炉房集中供热、小型模块化单栋建筑或单元式燃气供热、分户燃气炉供热等；以燃油为能源的供热模式，包括大中型燃油锅炉房集中供热、商业建筑中的直燃机等；以电为能源的供热模式，主要有直接电热方式（包括电暖气与电热膜供热）和风冷热泵、集中和分户水源热泵、地源热泵等热泵供热模式。

### 3.1.3 供热能耗现状分析

就全国单位 GDP 能耗指标来看，近几年，北方 15 个省的单位 GDP 能耗水平比全国平均能耗高出 60%左右。尽管影响各地这项指标有经济结构不合理等原因，但

其中很重要的一个原因即北方冬季供热采暖消耗的能源比较大。

建筑节能的技术途径有两个方面，一是建筑的节能主要依靠减少围护结构的耗热量，二是提高能源系统的热效率。因此，供热系统节能是建筑节能重要的组成部分，供热系统节能与建筑节能之间是局部与全局的关系。

建筑能耗中采暖能耗约占建筑能耗 35%~40%左右，也就是说占全社会终端能耗总量的 10%左右。“十一五”期间全国要节约 2.4 亿吨标煤，其中建筑节能要节约 1.01 亿吨标煤，万元国内生产总值降低 20%左右，平均年节能率为 4.4%。目前全国集中供热采暖耗能全年约为 1.3 亿吨标煤，假设供热行业年节能率为 5%，平均每年可节约标煤 650 万吨以上，五年累计节约标煤 3500 万吨左右。

供热行业目前还没有改变“高投入，高消耗，高排放，低效率”的粗放型的运营模式。供热系统缺乏计量装置和调节手段，又无平衡装置，单位建筑面积耗热量是气候相近发达国家的 2~3 倍。

## 3.2 我国供热计量现状分析

供热计量技术在欧洲已经是一项发展成熟的技术，自上世纪的 90 年代引入我国以后在 10 余年的试验试点示范工作中得到了较好的发展，为供热体制的收费改革打下了良好的基础，但是就目前的发展情况来看，供热计量技术在我国全面推广还有待进一步的完善。

### 3.2.1 供热计量技术现状分析

供热计量技术在我国发展至今已拥有了一套相关的技术政策、技术标准、计量方法、收费方法及配套产品。<sup>26</sup>

#### 1、技术政策

我国对于供热计量技术的指导性政策文件主要有 2002 年建设部科技司下发的《城镇住宅供热计量技术指南》和 2006 年建设部城建司下发的《关于推进供热计量的实施意见》(下称《实施意见》)，其中《实施意见》强调了供热计量收费的重要性和必要性。在提出供热计量目标的基础上进一步对实施供热计量的技术措施做出了明确的规定：1) 室外供热系统的热源热力站、管网、建筑物必须安装计量装置和水力平衡、气候补偿、变频等调控装置；2) 新建建筑室内系统应安装计量和调控装置，包括：户用热表或分配式计量装置、水力平衡、散热器恒温阀等装置，并达到分户热计量的要求，经验收合格后方可交付使用；3) 既有非节能建筑和及其供热采暖系统的改造应同步进行，达到节能建筑和热计量的要求；4) 既有建筑供热系统的计量改造，在楼前必须安装计量装置，室内采暖系统应根据实际系统情况选择不同的计量

<sup>26</sup> 徐伟，王威. 中国供热计量技术的发展与实践. 中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

形式,包括户用热表或分配式计量等装置;5)政府机构办公楼等公共建筑应按供热计量要求进行改造,必须加装热量总表和调控装置,室内系统应安装温度调节装置。因此,《实施意见》是目前我国供热计量工作最具指导性的技术政策。

## 2、技术标准

在我国现已颁布实施的建筑规范中,《采暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2003)、《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2005)、《民用建筑节能设计标准》(采暖居住建筑部分)(JGJ26-95)对供热计量系统的设计工作做出了规定;《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》(GB50242-2002)、《建筑节能工程施工质量验收规范》(GB50411-2007)明确了供热计量系统工程施工质量的达标标准;《热量表》CJ128-2000、《自含式温度控制阀》CJ/T153-2001、《电子式热分配表》CJ/T260-2007、《散热器恒温控制阀》和《热量分配表》对供热计量产品的质量提出了标准化的性能要求。

## 3、计量方法

在我国 10 余年的试点实验中,主要使用的供热计量方法有:热量表法、热分配表法、温度法、热水表法、面积分摊法(楼用热表+室内面积分摊)及流量温度系数热分配法六种。国内目前使用较多的是反映用热量较为直观的热量表法及计量简便的热分配表法。热水表法多用于地板热水采暖系统,面积分摊法由于不能够完全体现“多用热,多交费”的计量收费思想,一般多用于既有建筑改造的过渡时期,流量温度系数热分配法为我国独创,适合中国国情,特别适用既有住宅供热系统热计量改造。

## 4、配套产品

热量表和热分配表是供热计量系统最主要的产品,同时它们也是计量收费所依赖的重要工具,但在一个系统中只有热量表和热分配表是不完整的,与之配套安装的还有散热器恒温控制阀、平衡阀及自力式温度控制阀、流量控制阀、压差控制阀。目前我国生产热计量产品的厂家不在少数,但产品的质量良莠不齐,再加上进口产品的竞争冲击,国内的产品市场还需进一步规范。

## 5、收费方法

建设部在 2007 年下发的《城市供热价格暂行管理办法》中明确指出,我国的城市供热价格分为热力出厂价格、管网输送价格和热力销售价格,我国现行的供热计量收费方法为两部制热价法。所谓两部制热价是指热力销售价格由两部分组成,即基本热价和计量热价,其中基本热价主要反映固定成本,计量热价主要反映变动成本,基本热价可以按照总热价的 30%~60%的标准确定。

### 3.2.2 典型试点城市供热计量收费现状分析

为了深化供热体制改革,积极推进供热计量工作,实现按用热量交纳热费,促进供热采暖系统节能,2006 年 6 月,建设部下发《关于推进供热计量的实施意见》

(建城[2006]159号),进一步规范指导各地供热计量工作的开展。

2006年9月,为贯彻落实《国务院关于加强节能工作的决定》的精神,实现“十一五”期间建设领域节能目标,建设部下发了“建设部关于贯彻《国务院关于加强节能工作的决定》的实施意见”(建科[2006]231号),再次明确要加强供热体制改革,促进供热系统节能,主要内容有:1)尽快实行将采暖补贴由“暗补”变“明补”,加快推进供热商品化、货币化。2)新建建筑必须配套建设供热采暖分户计量系统,并安装温控装置,必须实行按热计量收费;既有建筑通过节能改造达到温度可调节、分栋或分户计量的要求。3)建立城市低收入家庭冬季采暖保障制度。完善供热价格形成机制,制定建筑供热采暖按用热量收费的政策,培育有利于节能的供热市场。4)整合城市供热热源,充分发挥热电联产、大型锅炉效率高的优势,提高热源生产的能源利用效率。

2003年7月21日国家建设部等八部委局联合下发了《关于城镇供热体制改革试点工作的指导意见》,确定了12个城镇为全国城镇供热体制改革的首批试点,标志着供热体制改革进入了实质的阶段。各地的供热体制改革也全面展开,许多城市的供热改革政策和相继出台。2005年,建设部等八部委又下发了《关于进一步推进城镇供热体制改革的意见》的通知。文件在“近期重点工作”中明确要求完善供热价格形成机制。2006年8月,《国务院关于加强节能工作的决定》正式颁布,其中强调“加强供热计量,推进按用热量计量收费制度。完善供热价格形成机制,有关部门要抓紧研究制定建筑供热采暖按热量收费的政策,培育有利于节能的供热市场。”住房和城乡建设部于2008年确定了北京市、天津市、长春市、大连市、兰州市、呼和浩特市、包头市、唐山市、承德市、威海市、德州市、招远市等12个城市作为第一批供热计量改革示范城市。

几年来在国家发改委、建设部的指导下,在众多国际机构及专家的帮助下各地对供热计量收费体制进行了多方面的探索,各地区对推广供热计量系统工作,涉及供热系统整体的节能改造,普遍采取的是试点进行积累数据的基础上,逐步推广的工作方式。下面对几个典型城市供热计量收费状况进行分析。

### 1、北京市

北京市结合本市的实际情况,实施了有效的供热计量收费政策,这种探索取得了很好的成效。2003年至2005年采暖季,北京市已在18个区域,对不同节能标准建筑、不同热源形式、不同热计量装置进行了供热计量试点测试,对数据进行分析后,研究制定了北京市热计量价格试点方案,在部分公共建筑及上述区域进行试点。经过对18个住宅小区两个采暖季的热计量实验结果看,与人们所期望的差距较大。实验表明:如果实行按热量计量收费,部分房间因空置而不采暖或者部分用户降低采暖标准、间断采暖,都会导致户间的传热现象,如果简单地按分户热计量方式收费,这显然对周边的住户是不公平的。随后北京市发改委和市市政管委联合发出通



知,经北京市市政府批准,确定 54 家公共建筑用户为供热计量收费试点单位,首次实施党政机关和大型公建热计量收费。从 2006~2007 年采暖季开始,北京市热力集团对试点单位按照热计量价格收取费用。按照供热行业特点,实行的热计量试点价格分为两部分,即两部制定价方法,供热价格由基本热价和计量热价构成,二者的比例为 5:5。2007 年,北京市完成供热体制改革,实现热费补贴的“暗补”变“明补”,出台了《城市供热价格管理暂行办法》并明确热费收缴主体,实现了“谁用热、谁缴费;谁供热,谁收费”。据北京市发改委的统计资料,截至 2007 年 1 月,北京市具备安装热计量装置条件的住宅面积约 9467 万平方米,已安装计量表超过十万户。目前北京的热计量改革正在进行中,按照热计量收费是改革的重要内容。2008 年在全市范围内,具备条件的各级政府机关和大型公建实现热计量收费。今后三年之内居民住宅也将纳入热改革的范围内。

## 2、天津市

作为供热体制改革的试点城市,天津市聘请了世界银行的专家和国内专家,在天津市物价、财政、民政等部门的具体指导下,通过大量调查研究,拟定了《关于天津市制定热价和收费政策的建议》。该“建议”对天津市热价改革的阶段目标、热价制定的基本原则、热价的制定办法、供热成本的分析、供热成本定额的确定以及利润、税收等相关政策都做了详尽的论述。全市平均供热成本、平均房屋耗热量、成本定额及相关利润、税金政策的确定为热价计算公式的确定创造了完备的前提条件。在此基础上 2004 年天津市调整了热价。2005 年天津市开展了 200 万平米供热计量试点试验,初步采用供热计量收费方式。2006 年在对全市平均供热成本,住宅平米耗热定额的基础上,结合 2005 年 200 万平方米供热计量试验数据的分析研究,以现行热价为依据,完成了《制定天津市住宅采暖供热计量热价及相关政策研究》课题,制定了居民两部制热价。经过长期实验和大量数据积累测算,天津市 2006 年经物价部门批准,按上述标准制定了两部制热价,并出台了《天津市住宅供热计量收费暂行管理办法》,确定了 2006~2007 年收费试验项目采用两部制热价及相应的热费结算办法。形成了统一的《天津市住宅计量供用热合同》,明确供热单位和用户之间的法律关系,为供热计量试验的稳步推进奠定了基础。同年天津市对 2006 年 8 月以前竣工入住的新建住宅项目进行了拉网式普查,从 871 万平方米项目中筛选确定了条件相对较好的 34 个住宅小区、300 万平方米的新建住宅进行了供热计量试验,其中 15 个住宅小区、100 万平方米进行计量收费试验,19 个住宅小区、200 万平方米进行抄表试验。计量方式为户用热量表为主,热分配表为辅。2006-2007 年度逐步在试点当中采用了两部制热价及相应的热结算办法,天津市在制定两部制热价研究和居民热计量收费试验方面取得了较好的成果。试点中的居民对这种供热计量收费的方式非常认可。对于试点推广实施的供热计量收费方式,居民纷纷表示欢迎。居民普遍反映这种方式不仅减少了他们所交的热费,而且供热效果并不会因此减弱。

实行供热计量试验后，居民用户由原先的被动受热变为主动节能。

### 3、长春市

长春之所以成为首批热计量改革示范城市，是因为长春早已做了充分准备，2001年起，长春市在富奥花园首次实行热表计量试点，试点面积近 10 万平方米，共安装了 570 块热表。2004 年，又在长影世纪村推行了第二个试点，约 2 万平方米，安装了 150 块热表。但是当时长春市并没有与之相配套的热价标准，无法计算费用，试点亦只能是按面积来收热费。但通过试点的运行验证了那种热计量表更适合当地的实际情况，积累了数据。通过这些积累的数据，长春市探索出了新的供热计量收费方式。2004 年 6 月修改的《长春市城市供热管理办法》尝试了两部制热价的制定，初步确定固定部分占 40%，变动部分占 60%，但没有制定出热价。经过 2003~2005 年度的试点运行，长春市从不断发现的问题中总结经验，于 2006 年又出台了新的《长春市城市供热管理办法》。2006 年至今长春市开始对采暖费进行由“暗补”到“明补”的改革和新建设小区节能标准的提高，使长春市实行热计量收费的条件基本成熟，2008 冬季采暖期在一汽、一些大专院校及公共建筑展开“热计量”，新建居民小区必须全面推广“热计量”，现有小区和老楼进行相关改造。

### 4、包头市

包头市在两部制热价的制定方面，根据实际情况进行了积极的探索。在确定居民基本热费比例时，考虑到当地的既有住宅建筑多为非节能建筑，所以在对非节能建筑供热计量收费时，适当的提高了基本热费所占的比例（基本热费占 50%）。这样做确保了供热企业的利益，淡化由于用户位置朝向不同引起的热费总额差异，保证了相对公平性，使得两部制改革能比较顺利的进行下去。随着节能住宅的增多，房间的位置、朝向等因素对用户之间能耗差异的影响将大大减小，住户行为节能的空间将进一步扩大。今后将逐步适当提高计量热费所占比例，促进用户行为节能。包头市出台了两部制热价标准并在试点小区试行。为进一步理顺城市供热价格关系，维护供热企业正常生产经营，更好的保证市区居民的冬季供热采暖。根据包头市政府的安排部署，市政府专门组织人员对全市主要供热企业 2003 年到 2005 年经营期间的热力成本进行了详细的测算。在认真听取各方面意见基础上，根据供热企业面积困难和用热企业、居民实际承受能力情况，包头市物价主管部门与供热企业共同研究提出了全市热力价格拟调整方案。

从国内各地的试点情况来看，分户计量供热收费工作仍然还存在不少问题：一是建筑物冷山、顶层、底层与中间房间热负荷相差很多，达到相同温度热费相差很大。冷山、顶、底层住户感到不公平。二是不采暖房间从周围采暖房间吸热，采暖房间的温度受到影响，采暖房间要达到相同温度，其热能表的读数将大大增加，而不采暖（关闭）房间则呈现有温度不计费的现象。

### 3.3 国外供热现状分析

#### 3.3.1 以节能与舒适为目标采用不同供热模式

因地制宜,以节能与舒适为目标,许多国家在综合考虑其地理位置、气候特点、能源结构、技术水平及经济因素的基础上采用不同的供热模式。

加拿大水、电资源丰富,其所采用的供热模式主要为电供热。美国北部也有一部分地区采用电供热,但更多地区则采用燃油或燃气供热;美国中部的供热模式主要为电供热,南部的供热模式主要为空调供热制冷。

欧洲各国的供热模式各不相同;北欧丹麦、芬兰、瑞典主要以集中热水供热为主;挪威石油、电资源丰富,主要采用集中热水供热、电采暖;冰岛地热资源丰富,主要采用地热采暖;瑞典的主要供热模式为热泵供热。西欧的英国主要采取集中供热,法国以电采暖为主。南欧的意大利、葡萄牙夏季炎热、冬季相对温暖,一般采用空调供热。东欧国家、俄罗斯夏季温度较低,冬季却非常严寒,集中供热是其主要的供热模式。而且俄罗斯也是世界上集中供热比较发达的国家之一,自1924年开始集中供热至今已有七十多年的历史。目前俄罗斯城市集中供热占总热量需求的86%,其中热电厂供热占36%,大型及超大型锅炉房占46%,二次能源占4%,其余为分散小锅炉。

亚洲国家与中国气候比较接近的是韩国和日本。与北京相比,日本、韩国冬季的气温相对较暖,夏季较热。所以,日本、韩国的大型集中供热不多,大多采用每家每户的燃气供热,只有公用建筑使用集中热水供热。大量采用地板辐射热采暖是这两个国家室内采暖的主要特点。

#### 3.3.2 集中供热分户计量按热量收费

国外许多国家实行供热计量收费已有70余年,这些国家当中已经总结出了相当成熟的经验。在众多发达国家中,欧洲国家在供热计量收费方面最具有代表性。70多年前,欧洲就开始实行供热计量,至今不但计量的产品已经系列化,而且为保证供热按表管理制度的实施,各项法规也比较健全。欧洲各国在供热计量收费方面各有特色,针对各自国家的现状提出了适合自身发展的方案,明确了方案的重点。在欧洲各个国家供热计量收费方面也存在着共性。

欧洲国家的计量方式主要有两种,一是楼宇热计量方式,二是热分配表计量方式。

丹麦是以区域供热为主,采用动态变流量自控系统,按热表计量收费。

波兰的城市以集中供热为主,在其转入市场经济后,波兰政府明确提出建筑热工与供热现代化的方案,不仅对不少既有建筑的围护结构,而且对供热系统的热源、

热网和热用户也同时进行技术改造。通过用加装散热器恒温阀的方法进行室内采暖系统的改造,按用热量收费。

俄罗斯的集中供热无论是从热负荷的数量、热网的规模、热电厂的层次和效益,还是从供热综合技术各方面来衡量在国际上都占有极其重要的地位。它利用政府权力比较集中的特点大力发展了城市集中供热。但俄罗斯由于历来注重能量生产方式的节能,不计较用户处节能,热能浪费严重,也面临实现分户热计量的问题。

在热计量方面,由于欧盟的指令是指导性和劝说性的文件,不能凌驾于各成员国的法律之上,再加上各国由于能耗中的煤炭比重、建筑围护结构保温、集中供热的比重、节能环保的迫切性、热计量收费的历史、政治体制的不同,导致了修订后的欧盟指令(SAVE)发布后,各国分户热计量收费的进展上存在差异。

其中分户热计量收费较先进的国家是德国和丹麦。

德国有悠久的市场自发的分户热计量收费历史。而1976年德国通过了《节能法》,1981年公布了暖气和热水计量收费条例,由于此条例含有对那些不执行此条例的房产主的惩罚条款,因而分户热计量收费得以在德国大面积的推广。而SAVE指令是借鉴了德国的强制性分户热计量收费经验制订的。

丹麦分户热计量收费历史悠久,蒸发式热分配表也是丹麦人发明,而且为落实SAVE指令,丹麦政府于1994年实行了一项鼓励热计量收费的优惠政策,即由政府补贴设备款的50%。

分户热计量收费较落后的国家主要有芬兰、希腊、爱尔兰、卢森堡和英国。

芬兰对建筑物的外保温要求很高,已实现了建筑物的低能耗,且许多建筑物已安装了室内通风系统,因而住户不需开窗换空气。

希腊选择了类似芬兰的道路。希腊重点是使用更多的可再生能源,特别是太阳能;电采暖;加强供热管道保温;加强屋顶保温。

爱尔兰由于人口少,且大部分人口分散居住在乡村,集中供热仅占供热面积的0.5%,因此爱尔兰不可能通过实施热计量收费来实现节能的目标。

卢森堡由于人口少,二氧化碳排放量不大,尽管存在市场自发的热计量收费的行为,但政府不打算强制推行热计量收费。

分户燃气供热在英国比较普遍。英国没有颁布分户热计量收费的条例,热费的分摊是根据面积或房间数量进行的。

欧洲国家曾经使用过的或正在使用的热价制定方法主要有两种:单一热价法和两部制热价法。单一热价法在热量表试用阶段尝试过,现已不用,这种方法虽易于用户理解和接受,但不能反映真实的成本。两部制热价分为两部分:其一为固定热价,其二为可变热价。目前欧洲国家多使用两部制热价法,该方法不仅可以克服单一热价法存在的缺点,而且能够节约能源,保证供热单位的基本利益。

欧洲的热价管理有两种方式,其一为固定热价,是指政府向某一供热企业发放

售熱量特許權時，將價格固定下來。這種管理方式主要用於商業性強的项目，且不鼓勵用戶節能，以盈利為目的，但可以保證投資者的合理回報率；其二為成本熱價法，是指價格中只包括必要的成本，如果非必要的成本進入後，用戶有權向政府投訴，採用這種方式供熱企業是不以盈利為目的的。

歐洲在幾十年的熱計量收費實踐中，形成了合理的熱費分攤的方法。歐洲熱費分攤一般有兩種方法。一種是確定公共耗熱比例，就是把熱費分為基礎熱費和可變熱費，再計算修正係數；另一種方法是使用位置修正係數，使具有相同的採暖溫度、相同的採暖居住面積的用戶通過乘以這種修正係數後分攤的耗熱量相同，熱費也相同，以德國為代表的大多數國家都採用第一種分攤的方法。

歐洲國家進行熱費收繳的時候，用戶須簽署相關的合同。在西歐，供熱公司與代表熱用戶群的一個實體签订合同（集體合同），例如像業主聯盟或物業管理單位。這種情況下，個體熱用戶不直接與供熱公司打交道。他們將熱費交給代表他們的中介機構，中介機構會按照合同要求依次向供熱公司支付。在東歐更多國家採用個體合同，供熱公司直接為每個個體熱用戶服務，而每個個體熱用戶負責向供熱公司交費。通過採用熱用戶的電腦會計結算以及熱計量遠程讀數，對 10 萬個熱用戶收費就像對 100 個用戶一樣簡單。在收費過程中歐洲國家還設立了一些中介機構，方便於熱費的收繳。如小區管理委員會，供熱站，能源服務公司等。這些中介機構在熱力公司、業主委員會、熱用戶之間起着中介作用，為收費工作的順利進行起到了輔助作用。

### 3.4 我國城市供熱存在的主要問題

#### 3.4.1 供熱系統存在的問題

我國供熱系統主要存在以下幾方面問題：

##### 1、採暖能耗巨大，供熱效率低

我國住宅建設正處於快速發展階段。同時，我國能源緊缺，採暖用能十分巨大，目前的採暖用能約占全國商品能源總消耗的 10%，採暖的高能耗不僅造成資源的消耗，而且還成為大氣污染的一個重要因素。

目前中國建築能耗有 40%是供熱和空調，北方城市集中供熱的能源主要以鍋爐為主，鍋爐的單台熱供率普遍較小，熱效率低，污染嚴重；供熱輸配管網保溫隔熱性能差，管網輸送效率低，管道洩漏和偷水現象嚴重，整個供熱系統的綜合效率僅為 35%到 55%，遠低於先進國家 80%左右的水平，而且整個系統的耗電耗水也高。蒸氣凝結水普遍沒有被回收，普遍在低負荷、低效率下運行，實際供熱面積平均只有設備能力的 40%左右。同時，用戶節能意識差也是浪費的主要原因。我國住宅建築採暖能耗為相近氣候條件的發達國家的 3 倍左右。而且過大的供熱規模，使輸送

能耗增大，水力失调导致采暖建筑冷热不均成为常见病。

### 2、供热质量差、冷热不均、热能浪费严重

现有住宅热用户大多采用单管供热系统，且无有效的调控设备，随着住宅楼的高层化，易造成水力工况失调，各户冷热不均，一些用户的室温低于设计要求；而另一部分用户则室温过高，需开窗降温，造成能源浪费。供热部门为了保证供热标准，只能超负荷供热或以“大流量、小温差”方式供热，又致使耗电量增加，热损增大。由于室内无调节设备，当居民外出或上班时，无法调节室内温度，使热能浪费。

同时，由于按面积收费，用户对供热能耗的多少毫不关心，室温过高就开窗放热，甚至有盗用供热系统热水的，用户没有热是商品的概念，是造成热能严重浪费的重要原因。

### 3、缺乏控制手段，室内热环境差

供热系统只有简单的调节手段，水力水平失调、垂直失调严重，绝大部分锅炉供热系统采用直接连接方式，只有极少数锅炉房有一些量化运行管理设备，锅炉运行人员普遍是凭感觉烧锅炉；没有恒温控制装置，供热不足或过度时，没有有效的调节手段。

低标准的供暖期和供热温度、不能自主控制室温等低水平供热状况，很难满足用户日益提高的对热环境舒适度需求。发达国家通常室内保证温度是 $22^{\circ}\text{C}$ ，我国仅为 $16^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ ，而且我国的供热品质很差，室温冷热不匀，系统热效率差，用户不能自行设定和调节室温等等。

### 4、缺乏计量手段

供热系统一般不设热表，没有计量收费是造成用户不会去主动节能的主要原因，没有计量也造成了管理运行人员没有具体的数量上的依据来运行管理。

### 5、供热系统水质问题较大

由于供热系统管网，散热装置的生产与安装粗糙，使得供热系统水质状况较差，因而影响分户供热计量装置的稳定性和可靠性，为分户计量工作的顺利开展带来隐患。水质不好，不仅会降低供热系统换热设备的换热性能造成管路腐蚀、堵塞的问题，在供热计量系统中，还会影响计量产品的精度与寿命，在计量的实际工程往往由于水质问题，导致计量和温控产品的失灵这一问题是我国供热系统长期存在的老大难问题。

### 6、供热方案的选择缺乏依据

由于现阶段多种供热模式的并存，使得供热行业中，在系统形式与热源方面有了更多的选择机会，人们可以根据需要进行多元组合。在实际工程中，究竟哪些系统符合国家的宏观政策，哪些系统投资最省、哪些系统运行最可靠？目前尚无公认的结论。

对于选择哪种供热模式，要根据自身的条件，进行必要的、详细的技术经济分

析。目前，对各种供热模式的技术经济评价，有很多都掺杂了人为因素，其目的就是要推广自己所代表的产品。或者过分夸大某种产品的“片面优越性”。在评价一个新系统与新产品时，很少运用综合评价指标，给人们一个客观、公正的结果。

### 7、集中供热系统问题仍然较多

在我国，城市集中供热主要可分为热电厂集中供热系统、锅炉房集中供热系统以及混合系统。集中供热热源存在以下几个方面的问题：首先是集中供热的热源所用燃料绝大多数以煤为主，使得城市空气环境污染严重。其次是没有完善的供热规划和供热项目审批手续，造成供热项目盲目建设，出现了热源建成后热负荷不足的“大马拉小车”的严重浪费现象。再次，由于煤质、锅炉及管理等问题，集中供热锅炉的热效率普遍不高。最后，热源的功率不能根据室外温度的变化以及用户的需要进行逐时的、联动的控制，大多数情况下，供热调节都是以管理者的经验主观控制。

热力网中的热力站设备陈旧落后，进行热力工况调节的设备和手段基本没有或者十分落后，绝大部分机械设备是其他产业的代用设备，供热的专业设备不仅少而且比较粗糙。

## 3.4.2 供热机制存在的问题

当前，由于供热机制的诸多弊端，给城市供热工作带来的问题和产生的原因主要突出表现在以下几个方面：

### 1、供热企业的问题

作为供热改革主要实施者的供热公司，对“不交费不供热”的改革非常赞成，但对于按照热量收费的热改却在不同程度上给与抵制。按面积收费可以保证供热企业的稳定收入，只要不断地扩充供热面积，扩大服务规模，就可以使企业的收入稳定增长。按照热量收费，其收入就可能成为不定量，并且与运行服务质量，运行调节水平和企业管理水平紧密相关。同时，用户可以全部或者部分的选择其他的供热模式，这就把供热企业完全推向了市场。当建筑节能水平不断提高后，建筑内真正的采暖耗热量越来越低，而集中供热系统的热量输送过程的损失所占的比例就越来越大。这样按照热量收费的供热部门的效率变差，盈利能力也将降低。此外，按照热量收费，与按照面积计算相比，热量的计量和计算工作量要增大几倍，这将使收缴热费的成本大幅度提高。

### 2、供热福利体制的问题

长期以来我国住房是供给制福利方式，供热采暖费作为住房福利的一部分，一直是由各用人单位承担，享受集中供热系统的住房者从未想到支付供热费，甚至根本不知道采暖费用的数量。改革开放逐渐深入后，供热企业逐渐转为市场化管理，管理部门和供热企业都提出“热是商品，不交费不供热”，试图对拒付热费的用户停止供热，但冬季北方地区采暖被认为是除了吃饭饮水外的最重要的社会保障，各级

政府把保证供热作为社会稳定的重要任务，因此不敢轻易对不缴热费的建筑停止供热。

目前大多数单位对职工住房的采暖实行采暖费报销制度。这样，采暖费用的高低与居住者本身的经济利益无关，因此收费改革也就无法激励居住者的行为节能。这样对采暖费用的“暗补变明补”就又成为实施热改的体制与经济问题的关键。而采暖补贴的核算可能比住房补贴更复杂，涉及多种因素和多个利益主体间的关系，因此一直未能找到适宜的设计方案。

### 3、热价制定办法没有按照市场经济规律制定

长期以来供热作为一种职工福利而为职工享用，对热的商品属性，商品货币性质，没有形成一套按照市场经济规律科学、合理、规范的热价制定办法。由于没有法定的成本测算依据和成本量化定额标准，无法考核供热单位成本的合理性，供热单位上报的成本往往掩盖了企业的低效率。热价的制定和调整基本上是政府物价部门牵头，有关单位参与，供热单位报价，纵向比较，讨价还价，水涨船高。这种定价方法充分显示了计划经济、单位报销、福利用热的特点。

#### 4、现行的供热体制不健全

现行的供热体制严重制约了供热水平的提高，造成了能源浪费。现行供热体制的特点是热费计算方式按面积收费，热费与热量消耗无关，这种热费与热耗相脱节的买卖关系，造成了采暖用户没有节能的积极性。对不同的房屋围护结构，不同的耗热指标的建筑，均按相同面积价格标准收费，使得房地产企业用于建筑保温的节能投入资金得不到回报，购房者无需考虑房屋节能效果，所以这种收费制度制约了建筑节能工作的推广。

#### 5、现行的热价和收费政策不利于洁净能源的推广

由于采用燃料不同，产热形式不同，产热成本的差别很大，对用户来讲不管供热单位烧什么燃料，得到的是舒适的温度。按统一热价收费群众没意见，但由于燃油、燃气、用电等成本高，供热单位难以承受，由此许多采用洁净能源的供热单位只得又改为燃煤。

### 3.4.3 供热计量及收费存在的问题

虽然各地开展的计量收费试点工作取得了可喜的成果和显著的节能效力，但同时也暴露出供热计量工作中存在的一些共同问题：

#### 1、只计量未收费，供热计量工作核心问题未解决

目前国内的大多数试点项目只进行了计量而未落实收费，这样不仅不利于热用户提高节能意识，同时由于收费面积过小，其节约能源的效果也不能很好地传递到热力站和热源等系统的源头，使得供热计量工作没有形成“供热企业和用热单位”双赢的局面。所以在供热计量技术日趋完善的形势下，计量收费问题是目前供热计量



改革进程中所遇到的核心问题。

## 2、供热计量方法的标准规范不完善

目前我国只在设计标准中提出了有关供热计量的设计原则，操作性不强，且不能完全适应当前形势的发展变化，虽然全国的热计量改革进程不同，条件不等，在具体实施过程中需要因地制宜地实施。然而供热计量作为供热体制改革的重要基础工作，要在国内全面推广，必须出台完备的具有指导性和可操作性强的标准规范，以加快供热计量技术的推广。

## 3、供热系统品质不高，供热计量产品的质量有待提高

供热计量工作的前提是在保证热舒适性的同时实现独立的室温控制，这要求供热系统本身具有良好的稳定性和可调节性，而我国现在的供热系统还不能算是高品质的系统，许多住宅冬季室温达不到设计要求，且不能够很好地实现系统的动态调节，在这样的情况下推行供热计量工作困难是显而易见的。

目前我国试点项目使用的热计量产品既有欧洲进口产品，又有国内自主研发的产品，总体上看进口产品质好价高，国内产品价格相对便宜质量参差不齐。但从国内供热计量的试点经验来看，即使是进口产品，在施工和使用的过程中也存在着质量问题，也许是水土不服不能完全适合中国国情，这在某种程度上也影响了供热计量工作的顺利进行。

## 4、收费方式及热价的制定工作复杂，缺乏科学统一的计价方式

热力生产企业与供热企业、二级换热站与供热公司一般按热计量表结算，供热公司从热力生产企业获得差价；而对终端采暖户一般按面积计价收费。城市采暖收费是供热前一次交清，缺乏对企业保证供热质量的约束机制，不利于企业提高供热质量，对消费者不公平。其次，由于住宅状况对供热效果的影响较大，相同面积的房间，要达到相同温度，楼层不同、朝向不同、单层窗双层窗、是否靠山墙等，需要的热量不同，对此如何加以考虑，还没有妥善的办法，所以加大了确定科学的、统一的计价方式的难度。

虽然我国现已确定供热计量收费按“两部制”进行，但具体比例如何分配，每部分的热价如何制定，特别是成本如何准确合理计算，都是非常复杂的工作。热力销售价格比例分配不合理，热价制定不科学，都直接损害供热企业或热用户的切身利益。

## 5、热用户对计量工作的认知水平不高

收费方式及热价的制定工作复杂，热用户对计量工作的认知水平不高。现行的主要供热体制严重制约了供热计量收费的开展。从试点情况来看，热用户对于供热计量改革的具体工作认知不够，对热计量工作实施的节能意义了解不深，由此带来的热用户不配合或不知道怎么配合的现象，不仅会对供热体制改革工作的开展造成阻碍，同时也不利于热用户保护自身的用热权益。

#### 6、成本与价格的合理“联动”机制和“补偿机制”不健全

成本与价格之间的系列衔接性，是价格运动的一般规律。从现实看，供热企业所需的原材料价格由市场来调节。近年来大幅度上涨，构成了供热价格上涨的巨大压力。然而供热价格属于政府定价，政府出于社会承受能力的考虑，并没有相应调高价格，造成了供热价格与成本倒挂、供热企业普遍亏损的现实。在缺乏“成本与价格联动机制”的状态下，政府对供热企业亏损“补偿机制”不到位，不利于供热事业的健康持续发展。

#### 7、缺乏强有力的法规保障

现行的供热立法工作，因是否进行供热收费制度改革尚未确定而迟迟不能立项，而市场中供、用热双方的责权利又急需重新调整；社会发展进步导致用户对供热需求日渐提高，而原有的技术规范、供热服务标准已显得滞后，需重新制定相关的法律法规，为供热计量收费工作的进展提供保障。

获取更多资料 微

## 第四章 城市供热模式分析与选择

### 4.1 城市供热模式的构成要素

城市供热模式是满足人们生产、生活需要，实现经济运行的一种方式，它是一种提供热产品，由热源、热网、热用户共同组成的组合方式<sup>27</sup>。在三个要素中，热源是最为主要的要素。多数供热模式是由热源、热网、热用户三个要素构成，而有的供热模式仅包含有热源和热用户二个要素，如分户供热模式。

由于由不同的热源、热网和热用户所组成的供热模式是不同的，因此现阶段，城市供热模式的种类呈现了多样化发展的趋势，尤其体现在由于热源的不同而出现的不同的供热模式。可以说，一个城市的供热模式是由经济、环境、管理等多方面因素决定的，一个城市供热模式的状况是经济发展的能力与环境保护和提高生活质量能力的综合体现。

#### 4.1.1 热源

热源是一个城市的热供应的场所，是供热系统的核心，是供热模式的决定因素，也是消耗燃料的主要场所，多种能源可作为供热的热源。随着人民生活达到小康水平目标的实现，国家在能源政策上提出了节约与开发并重的方针，在城市环境保护和节约能源上采取了一系列措施，各地方城市供热产业得到了迅猛发展，形成了以热电联产为主，区域锅炉房为辅，其他方式（工业余热、地热、核能、天然气和太阳能）为补充的供热局面。由于各种热源有着各自的优缺点和适应范围，因此我国在发展城市供热中坚持了因地制宜、多种热源、多种途径的发展方针，并且随着城市能源结构的变化和城市对环境质量要求的提高，多种能源的供热模式也随之产生。

#### 4.1.2 热网

热网是热源与热用户连接的纽带，起着输送和分配热源的作用。近几年来，我国已经在 158 个城市中建设了蒸汽管网或热水管网，逐渐改变了以往单一的枝状管网系统形式，设计和应用了多热源网供热系统形式<sup>28</sup>：

① 在热网的结构方面，直埋敷设方式在热水供热管道中得到了应用，管沟敷设技术也取得了较大成就；

② 在热水网络与用户的连接方式中，特别是在供热面积很大的系统中应用了间

<sup>27</sup> 赵玉甫.城市供热可持续发展研究[D].哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.10, 50-52

<sup>28</sup> 同上, 41-42

接连接形式，改变了传统的直接方式为主的连接方式；

③ 在热网的调节方面，发展了热网的调节方式和自动化控制技术，改变了过去不采用任何调节手段或单一调节的调节方式，在调节手段上开发了微机监控系统，采用了平衡阀智能仪表及自力式流量、压差和温度调节器等；

④ 在技术应用方面，引进了与热网相关的新技术、新设备和生产线，提高了热网设计水平，促进了供热系统科研工作，供热企业管理工作出现了新的局面。

### 4.1.3 热用户

热用户是热的消费者也是热的受益者，热直接对应的是热用户，热供应最重要的是应该让用户满意。这其中就是要满足用户的热舒适要求，使之不受室外气温变化的干扰，满足不同用户对热的不同要求。然而，热用户应用技术发展是我国城市供热产业中最薄弱的环节，目前我国民用住宅热用户室内供热系统绝大多数为单管垂直串联系统，系统内垂直失调严重，高层和低层冷热不均，供热质量差；供热管道材质均为普通碳素钢管，散热器以铸铁为主，室内系统中除了一些陈旧的关断阀门外，基本上没有任何调节设备及手段，也没有温度、压力、流量、热量表等设备，这些都造成了目前收费难、供热更难的严重局面。因此，为了实现供热的目的，即满足广大用户对热的需求，让热用户感到满意，就要以提高热用户应用技术作为努力的方向。

## 4.2 城市供热模式分析

在此将城市供热模式分为城市集中供热、区域集中供热和分户供热三个类型。其中城市集中供热的热源集中设置，产生的高温热水、蒸汽通过城市管网供给整个城市或部分区域所需的热量，它包括热电联产、大型锅炉房、燃气—蒸汽联合循环热电联产；区域集中供热的热源集中设置，产生的高温热水、蒸汽通过庭院管网或厂区管网供给小区采暖或工厂生产、采暖和生活所需的热量，它包括区域锅炉房、地热以及热泵的供热模式；分户供热是指居民采用户式供热设备进行采暖，它主要包括分户燃气炉和电供热等。

### 4.2.1 城市集中供热模式

集中供热是由一个或多个热源通过热网向城市、镇或其中某些区域的热用户供热。发展到今天，典型的城市集中供热系统是热电联产热电厂作为基本负荷的热源与调峰锅炉联网运行的方式。集中供热热源主要有：燃煤热电联产、大型锅炉房（分为燃煤、燃气、燃油型）、燃气—蒸汽联合循环等。

集中供热是一个综合的系统工程，系统中包含着许多单元（环节或工序），发展

城市集中供热，应该根据节能、保护环境和经济合理的要求，并根据当地的具体条件慎重选择集中供热的方式。在城市里工业生产和居民生活的燃料用量很大，具有采取集中供热、提高热能利用率的客观条件。

#### 4.2.1.1 热电联产供热模式

热电联产是既产电又产热的先进能源利用形式，它不仅提高了能源的效率而且为城市集中供热提供了一种经济、洁净的热源种类。热电联产最大的运行特点就是热、电同时生产并且高效利用能源。一般热电厂的热效率为 70~90%，而一般凝汽式火力发电厂的热效率仅为 35~40%左右。因此，这种供热模式成为了国内外城市供热普遍采用的形式。

我国政府长期以来非常重视热电联产集中供热的发展。自 20 世纪 80 年代以来，先后出台了一系列热电联产集中供热的相关政策，对推动我国热电联产集中供热的发展起到了积极的作用。近年来的相关政策主要包括：《关于发展热电联产的规定》（2000 年），对热电联产的技术指标、管理办法、与电网的关系做了规定，是目前热电联产管理的主要依据。《关于城镇供热体制改革试点工作的指导意见》（2003 年），对集中供热的分户计量提出了具体要求，推进用热商品化、货币化。《中国节能中长期专项规划》（2004 年），指出热电联产和集中供热是节能的主要领域，并在国家十大重点节能工程中将热电联产单独列为一个节能工程。《中国节能技术政策大纲》（2006 年），指出发展热电联产、区域锅炉房集中供热技术，取代小型、分散锅炉供热。《热电联产和煤矸石综合利用发电项目建设管理暂行规定》（2007 年），从节能和资源综合利用角度更加侧重对热电联产的管理。《国家十大重点节能工程实施方案》（2007 年），其中的热电联产节能工程实施方案提出了“十一五”期间热电联产的重要工作内容和配套政策。《中华人民共和国节约能源法》（2007 年修订版），提出鼓励热电联产。

目前，全国已建成 6MW 及以上热电联产机组约 2300 台，总装机容量已超过 7000 万 kW，约占全国火电装机容量的 15%。热电联产的发电量约占全国发电总量的 9%，承担了全国工业供热量的 80.5%和民用采暖供热量的 26%供热机组供热标煤耗率为  $40.22 \times 10^9 \text{kg/J}$ 。

热电联产供热模式的优点有：热电厂锅炉容量大，热效率高（达 90%）；大都装有除尘设备，除尘效率高（达 90%），大大地减少了空气环境污染；符合有效和合理利用能的原则，弥补了单纯热力发电和锅炉房供热两方面的不足；在设备安全运行、环境保护、生产成本等多个方面更具有优势，具备实施的可能性和良好的应用前景。

热电联产供热模式的缺点是清洁煤技术需要进一步发展，热费收缴水平偏高，城市居民热费负担过重，供热介质输送距离较长，热网造价高，循环泵电功率为所输送热功率的 2%~4%，维护、管理费用较高。

### 4.2.1.2 燃气—蒸汽联合循环热电厂供热模式

燃气—蒸汽联合循环热电联产系统是一项先进的供能技术，它首先利用天然气燃烧产生的高温燃气在汽轮机内做功，将一部分热能转变为高品质的电能，再利用燃气轮机排烟中的余热产生蒸汽来带动汽轮机进一步发出部分电能，同时供热或供冷等，从而实现了能源的高效梯级利用，同时也降低了燃气供热的成本。

燃气—蒸汽联合循环有多种形式，在各种燃气—蒸汽联合循环中余热锅炉型联合循环是目前应用最多，效率最高已经商业化的实用动力机械。目前燃气—蒸汽联合循环的发电率都在45%以上，最好的已超过55%，如果再加上供热对低品位燃料能量的利用，燃气—蒸汽联合循环热电联产的总能量利用率可达85~95%<sup>29</sup>。因此，燃气—蒸汽联合循环热电联产供热具有全品位充分利用燃料能量技术。另外，对于城市电力供应来说，燃气—蒸汽联合循环热电联产由于启停方便，通常可以作为城市供电的调峰电厂，增加城市供电的可靠性。

### 4.2.1.3 大型集中锅炉房供热模式

这种供热模式是以大型集中锅炉房为主要热源的城市集中供热系统，其根据使用的燃料的不同分为大型燃气锅炉房、大型燃煤锅炉房和大型燃油锅炉房，单台锅炉容量都在14MW以上。其运行特点是，除单独运行进行集中供热以外，还可以接入热电厂供热系统，通过联网或联合运行的方式，作为热电厂的调峰锅炉房，以提高热电厂的经济性。

大型集中锅炉房供热模式以燃煤锅炉房为主，燃煤锅炉其优点是供热成本低、投资少、建设周期短，供热量能灵活地适应热负荷的需要，在我国城市供热系统中使用最为普遍。燃煤锅炉供热的缺点是由于能源转换效率较低，导致对环境的污染在所有供热模式中最严重的，因此这种供热模式在环保要求比较高的城市是严格控制的。然而，随着社会事业的不断发展，对于有条件的城市采用了以天然气为燃料的供热新模式。

## 4.2.2 区域集中供热模式

### 4.2.2.1 小区域锅炉房供热模式

小区锅炉房又称小型集中锅炉房或分散锅炉房，单台锅炉容量在14MW以下，一般与热用户采用直接连接。这些小型锅炉房的建设是为了解决城市集中供热设施发展滞后所带来的新建建筑的供热问题。由于城市发展加快，新建城市热网的供热规模、供热范围和实际供热能力都远不能满足市区新建民用建筑用热，所以有些建

<sup>29</sup> 常绿.住宅建筑各种类型采暖供热方式的综合比较及节能研究[D].西安:西安建筑科技大学,2006.6. 8-9

筑不得不建设小区域锅炉房自行解决供热问题。

小区域锅炉房供热模式,根据所用燃料分为燃煤、燃气和燃油锅炉房,以燃煤锅炉房为主。

### 1、小区域燃煤锅炉房供热

由于受我国能源结构所限,目前大部分小区供热仍以燃煤锅炉房为主。燃煤锅炉的煤种分为石煤、煤矸石、褐煤、无烟煤、贫煤和烟煤。

小区域燃煤锅炉房热效率低,并且由于缺乏除尘净化设备导致污染物排放严重,因此,如何尽快替换和取消这类锅炉房是各地区亟待解决的问题。

### 2、小区域燃气锅炉房供热

燃气锅炉的燃料分为天然气和人工煤气两大类,天然气通常又分为气田天然气和油田天然气,人工煤气主要是高炉煤气和炼焦炉煤气。

气体燃料是一种比较清洁的燃料,具有基本无公害燃烧的综合特性。它的灰分、含硫量和含氮量比燃煤和燃油要低得多,燃烧烟气中粉尘含量极少。近年来,由于气体燃料脱硫技术的进步,在燃烧时几乎可以忽略硫氧化物的产生。气体燃料中所含的氮,与其它燃料相比,燃烧时生成的氮氧化物少。因此对于环保提供了很有利的条件。同时气体燃料由于采用管道输送,基本上消除了运输、储存过程中的有害气体、粉尘和噪声污染。

与其它的燃料系统相比,气体燃料可操作性好,燃气系统简单,操作管理方便,容易实现自动化。另外,气体燃料几乎没有灰分,允许大幅度提高烟气流速,受热面的积灰和污染远比燃煤、燃油时轻微,不需要吹灰设备。在相同条件下,燃气锅炉的炉膛热强度高于燃煤、燃油锅炉,因此,燃气锅炉的体积更小,使用金属、耐火、保温等材料以及建设投资大大减少。

### 3、小区域燃油锅炉房供热

燃油锅炉的油料主要是重油、渣油和柴油三大类。燃油炉燃料的发热量很高,一般在 39300~44000KJ/kg,易着火,燃烧迅速而稳定。运行调节比较灵活,容易实现自动化,并且锅炉体积小,钢材耗量少,燃油锅炉一般无需设置除尘设备,减少了锅炉房的基建投资和运行费用。燃油锅炉的热效率在 90%以上,尤其是轻柴油锅炉在燃烧过程中几乎无粉尘排出,含硫低的油料排出的二氧化硫也很少,因此有很好的节能效益和环保效益。而且燃油锅炉房的一次性投资不高,占地面积小,建设速度快。但油价上涨与油源紧缺是必然趋势,不宜作为大面积使用的方式。

燃油锅炉的优点有:有利于实现微正压燃烧,减少了漏风,提高了锅炉热效率;灰粉很少,锅炉房不需要采取出灰渣系统,使锅炉房投资和运行成本降低;便于实现自动控制,调节方便。

燃油锅炉的缺点有:燃油输送系统较复杂,管理水平要求较高;炉体要求严密,否则正压燃烧时易向外喷火,不安全。

### 4.2.2.2 地热供热模式

在可再生能源中,地热属于地球本身蕴藏的能量,地热资源储量极为丰富,是全部煤炭资源储量 17000 万倍,地热通过各种途径向地表散热,一年的散热量相当于 200 亿吨标准煤燃烧所放出的热量,是目前世界能源消费量的一倍,地热能的直接利用只要求热量交换,无需转变成机械功,因此利用技术和设备都相对简单,并能最低限度利用热能。地热采暖的特点是让人感觉温度舒适、热源温度稳定、供热连续。与闭式供热系统不同,地热供热系统多为敞开式,即热水经采暖后敞开排放。

地热既有“热”的价值,又有“水”的价值,采暖和生活用水的优势十分明显,在我国北方得到迅速发展,国内地热供热应用主要集中在天津、北京、西安、河北等地<sup>30</sup>。地热一般具有稳定的参数、可全天候开采、使用方便,安全可靠。地热资源一般采用综合梯级利用,如在 65℃~10℃之间分成三个阶梯进行采暖循环利用,在温度较低时采用水源热泵进行热量补充。使用地热要严格进行回灌和防止地下水污染。

地热供热系统分为间接供热系统和直接供热系统,因为绝大多数地热水有腐蚀性,各国大多数采用间接供热模式。地热间接供热系统主要包括有换热器、调峰装置、外网、终端散热器和循环水泵。地热直接供热是将地热水直接送入采暖用户终端散热设备的供热模式。

地热供热模式的优点是不对大气造成污染,让人感觉温度舒适、热源温度稳定、供热连续。地热能的直接利用只要求热量交换,无需转变成机械功,因此利用技术和设备都相对简单,并能最低限度利用热能。用低温地热替代一部分有高品质化学能的燃煤供热,具有明显的环保效益和经济效益,使生态环境得到良好的保护。在地热供热的基础上,还有可能开展多项产业综合利用。

地热供热模式的缺点是在地热供热系统的设计和管理技术方面还有许多需要发展和完善的地方,提取地热时容易引起地面沉降等问题,使用后的地热水排放可能造成污染,对环境造成破坏。

### 4.2.2.3 热泵供热模式

热泵是热转移设备,通过热泵可将低位热转移到高位使用。它本身消耗一部分能量,把环境介质中贮存的能量加以挖掘,提高温度的品位进行利用,而整个热泵装置所消耗的功仅为供热量的三分之一或更低,这也是热泵的节能特点。

热泵的热源主要有空气、水、地下土壤热、太阳能及建筑物内部的热源。一般来讲,热泵机组的分类是根据热泵的热源来分类的,常见的有以下二种类型即空气源热泵、水源热泵和土壤源热泵。

<sup>30</sup> 张曼.住宅建筑各种类型采暖供热方式的综合比较及节能研究[D].西安:西安建筑科技大学,2006.6,15



热泵供热模式合理地利用了高品位能量，综合能源效率较高，对采暖区域无污染，环保效益好，一机两用，提高了设备利用，具有热回收功能，可以充分利用室外阳光、室内人员、电器办公设备等放出的热量，节能效益明显，运行灵活、方便、调节简便等优点，而且热泵供热，供热指数能够达到数倍于其它供热方案的供热指数，能够达到节能的目的。当利用第二类吸收式热泵供热方案时，其供热指数可达其它方案的百倍以上，节能效益更加突出，但是热泵供热模式一次性投资高，设备维护较复杂，热泵噪音较大。

### 1、空气源热泵

利用空气作为冷热源的热泵，称为空气源热泵。空气源热泵机组有两种：一是空气—空气热泵机组，又叫做空气源直接蒸发式热泵机组。它是以制冷剂作为传热介质，室内空气被热泵机组直接加热或冷却，是为空气直接从热泵机组吸走热量或将热量传给热泵机组。另一种是空气—水热泵机组，又叫空气源冷热水热泵机组。制冷时，是为空气从热泵机组吸走热量，使水降温；制热时，热泵机组从室外空气吸收热量，使水升温。

空气源热泵机组的突出特点是以空气为热源，且取之不尽，不污染环境，可以全年运行，而且其安装和使用都很方便，因此空气源热泵已在空调领域得到了较广泛的应用。但是由于其性能受室外气象条件的影响较大，制冷量和制热量难以和建筑物的冷热负荷相适应，以及冬季室外换热结霜等问题，使其应用的领域和范围受到很大程度上的限制。在我国长江以南地区的气候特点是夏季炎热、冬季不太冷，空气源热泵得到了较广泛的应用。在北方地区，冬季平均气温低于零摄氏度，空气源热泵不仅运行条件恶劣，稳定性差，而且其室外换热器常常会有结霜问题，效率低下，随着室外温度的降低，机组的供热性能变得越来越差，而此时却往往是耗热量需求最大时，达不到设计要求，故在北方地区尤其是寒冷地区空气源热泵的应用受到了很大的限制。

### 2、土壤源热泵

所谓土壤源热泵，又被称为地源中央空调，是利用地球所储存的太阳能资源作为冷热源，进行能量转换的供暖制冷空调系统。它利用地下常温土壤温相对稳定的特性（地下 80~160m 深处温度常年维持在 16 度左右）。冬季，当机组在制热模式时，就从土壤吸收热量，通过压缩机和热交换器把大地的热量集中，并以较高的温度释放到室内，此时，地能为“热源”；夏季，当机组在制冷模式时，就从土壤中提取冷量，通过压缩机和热交换器把大地的冷量集中，送入室内，同时把室内热量取出来释放到土壤中，此时地能为“冷源”。

土壤源热泵系统是利用地下岩石中热量的闭路循环的地源热泵系统。通常也称为“闭式环路地源热泵”以区别于地下水热泵系统。它通过循环液（水或以水为主要成分的防冻液）在封闭地下埋管中的流动，实现系统与大地之间的传热。地能或

地表浅层地热资源的温度一年四季相对稳定，冬季比环境空气温度高，夏季比环境空气温度低，是很好的热泵热源和空调冷源，这种温度特性使得土壤源热泵比传统空调系统运行效率要高40%，因此可节能和节省运行费用40%左右。另外，地能温度较恒定的特性，使得热泵机组运行更可靠、更稳定，也保证了系统的高效性和经济性。设计安装良好的土壤源热泵，平均来说可以节约用户30%~40%的供热制冷空调的运行费用。系统运行没有任何污染，可以建造在居民区内，没有燃烧，没有排烟，也没有废弃物，不需要堆放燃料废物的场地，且不用远距离输送热量。

土壤源热泵系统可供热、空调，还可供生活热水，一机多用，一套系统可以替换原来的锅炉加空调的两套装置或系统；可应用于宾馆、商场、办公楼、学校等建筑，更适用于别墅住宅的采暖、空调。此外，机组使用寿命长，均在15年以上；机组紧凑、节省空间；运行费用低；自动控制程度高，可无人值守。

根据地下热交换器的布置形式，土壤源热泵的地热换热器主要分为垂直埋管、水平埋管和蛇形埋管三类。垂直埋管换热器通常采用的是U形方式，按其埋管深度可分为浅层(<30m)、中层(30m~100m)和深层(>100m)三种。

土壤源热泵系统的效率比空气源热泵的效率要高，又不受地下水资源的限制，因此得到了广泛的应用。它是一种可持续发展的建筑节能新技术。

### 3、水源热泵

水源热泵机组以水为载体，冬季采集来自湖水、河水、地下水及地热尾水，甚至工业废水、污水的低品位热能，借助热泵系统，通过消耗部分电能，将所取得的能量供给室内取暖；在夏季把室内的热量去处，释放到水中，已达到夏季空调的目的。水源热泵具有以下的特点<sup>31</sup>：

① 环保效益显著。水源热泵是利用了地表水作为冷热源，进行能量转换的供热空调系统。供热时省去了燃煤、燃气、燃油等锅炉房系统，没有燃烧过程，避免了排烟污染；供冷时省去了冷却水塔，避免了冷却塔的噪音及霉菌污染，不产生任何废渣、废水、废气和烟尘，对环境无污染。

② 高效节能。水源热泵机组可利用的水体温度冬季为12~22℃，水体温度比环境空气温度高，所以热泵循环的蒸发温度提高，能效比也提高。而夏季水体为18~35℃，水体温度比环境空气温度低，所以制冷的冷凝温度降低，使得冷却效果好于风冷式和冷却塔式，机组效率提高。据美国环保署EPA估计，设计安装良好的水源热泵，平均来说可以节约用户30%~40%的供热制冷空调的运行费用。

③ 一机多用，应用范围广。水源热泵系统可供热、空调，一机多用，一套系统可以替换原来的锅炉加空调的两套装置或系统。

④ 自动运行。水源热泵机组由于工况稳定，所以可以设计简单的系统，部件较少，机组运行简单可靠，维护费用低；自动控制程度高，使用寿命可达到15年以上。

<sup>31</sup> 刘新国. 水源热泵技术发展优势及应用中存在的问题[J]. 河南建材, 2008(3): 17

### 4.2.3 分戶供熱模式

雖然我國北方地區多採用集中供熱模式，但集中供熱有利有弊。一方面，有多年形成的現成的地下管道、鍋爐房與水處理等設施和技術，而且熱的利用率也比分散的一家一戶的採暖方式要高；但是另一方面，由於管道鋪設等原因，樓與樓之間、房與房之間甚至每個房間之間，溫度不一樣。此外由於企業不景氣等原因，收繳採暖費遇到了前所未有的困難。如果單從熱效率的角度進行選擇，集中供熱無疑是最好的，既現成且熱效率又高。但採暖費收繳困難和熱能浪費又成為多年不能解決的難題。

分戶供熱的好處是毋庸置疑的，不用建設鍋爐房，不用鋪設地下管網；室溫自控，避免了冷熱不均和浪費；令人頭痛的採暖費收繳難的問題也迎刃而解。此外，分戶供熱在環保上有着無與倫比的優勢。

#### 4.2.3.1 分戶燃氣壁掛爐供熱模式

這種供熱系統是由壁掛供暖爐、室內供熱管道和散熱設備組成。壁掛供熱爐一般裝在廚房的牆上，燃料採用天然氣。散熱設備可以是普通散熱器，也可以是地面輻射散熱板。通常以一戶一個供熱系統為主。分戶燃氣壁掛爐設備自動調節控制程度高，可同時滿足用戶採暖和生活熱水供應的需求，設備具有多種自動關閉模式和故障保護功能。

分戶式壁掛鍋爐供熱與集中供熱相比，熱力、外網及樓內管道的熱損失至少可以減少約 15% 左右；用戶根據自己的實際情況確定室內溫度和採暖時間、區間，可能的潛力很大，如家中無人時，可將溫度檔位調至最低；晚上睡覺時可將溫度調低；氣溫高時，可減少供熱量等從而為用戶節約運行費用 30% 左右。而集中供熱無論何時、家中是否有人，均需將室內溫度保持在一定溫度，甚至還存在因室溫過高而開窗散熱的情況，浪費了很多能量，所以分戶式壁掛鍋爐供熱比集中供熱節能效果顯著。

如果住戶長期出差或尚未居住則將鍋爐與暖氣片內的水放掉，這樣一來不僅可以不使用燃氣，更不用擔心鍋爐或暖氣片被凍壞。

這種供熱模式與各種燃煤供熱模式比較，減少了大氣污染，噪聲小；與集中供熱相比，不需要建設集中的熱源和供熱管網，投資少、容易集資，建設周期快。但燃氣壁掛供熱爐供暖，也存在一些其自身無法解決的重要問題：

(1) 環保問題。從宏觀上講，天然氣是較為安全的燃氣之一，它不含一氧化碳，也比空氣輕，一旦洩漏，立即會向上擴散，不易積聚形成爆炸性氣體，安全性較高。採用天然氣作為能源，可減少煤和石油的用量，因而大大改善環境污染問題；天然氣作為一種清潔能源，能減少二氧化硫和粉塵排放量近 100%，減少二氧化碳排放量 60%

和氮氧化物排放量 50%，并有助于减少酸雨形成，舒缓地球温室效应，从根本上改善环境质量。但是对于住宅小区来说，每台燃气壁挂炉是一个污染源，燃烧产物  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$  等对环境有污染，很大部分传统住宅楼没有设置烟道，只好在每家每户的厨房外墙伸出了壁挂炉的烟囱，下层住户室外的空气质量还可以保证，但是对于上层住户，尤其是中高层住宅楼的上层住户，他们室外的碳氧化物浓度肯定会超过国家标准，所以我们建议建设方或房地产开发商在项目立项之初，如果决定采用分户壁挂炉供热，就应该对住宅楼设置烟囱。烟囱排放必须高于楼顶屋面，直接向高空排放，通过气流达到扩散的作用。

(2) 安全问题和防火问题。燃气壁挂炉分散在各户，一旦燃气系统泄露严重时造成人窒息，引起爆炸等严重事故。即使燃气系统严密性好且燃气壁挂炉安装有强制排风装置，但由于冬季寒流来时刮大风，在北向和西北向安装炉子的住户，存在将火吹断，烟气倒灌回室内的可能性。即使不吹断燃气壁挂炉的火焰也同样引起燃气的泄漏，每年都有类似事故发生。

(3) 管理和采暖费用高等问题，由于壁挂式采暖炉由用户自行管理，普通居民缺乏相关知识和管理能力，而且与集中供热相比，用户要承受相对过高的采暖费用。

#### 4.2.3.2 电供热模式

在诸多能源中，电能属洁净能源，没有污染，不会造成地区环境污染，对环保最为有利，但是电力供热模式的一次能源效率是最低的，运行成本也明显高于其他供热模式，在北方地区，绝大部分电力来源于火电。一次能源煤炭变成电能的效率只有 0.3~0.4 左右，即使电锅炉的效率达到 95% 以上，电力供热的一次能源效率也只有 0.35 左右，因此用电供热的一次能源效率是极低的，运行成本较高，从能量利用的角度看，对能源的利用最不合理。

电采暖的供热模式具有使用方便、灵活和易于实现自动化等优点。它具有分散式直接用电采暖、电热锅炉以及电动热泵等形式。

##### 1、分散式直接用电采暖

分散式直接用电采暖方式很多，如：蓄热式电暖气、红外线电加热器、低温辐射电热膜等。低温辐射电热膜供热系统在我国北方采用较多，近年也在南方地区被高级宾馆、高档写字楼用作冬季采暖。

电热膜供热系统是以电力为能源，以电热膜为纯电阻发热体，将热量以远红外热的形式向室内供热。远红外热首先加热室内密实物体，然后物体再将热量传给空气，室内空气温度升高滞后于人体温度，减少了环境对人体的冷辐射，其综合效果优于传统的对流供热。电热膜是由可导电的特制油墨，金属载流条经印刷热压在两层绝缘聚脂薄膜间制成的，通常有顶棚安装、地板安装、墙壁安装三种安装形式。

辐射供热，是一种利用建筑物内部的顶面、地面、墙面或其他表面通过热辐射

进行供热的一种供热模式。低温辐射电热膜供热系统的工作温度在  $60^{\circ}\text{C}$  以下，以红外电磁波的形式辐射供热，只是温度较低。电磁波可以直接加热室内密实物体，如天棚顶板、地板、房屋四壁及人体本身等，然后这些被加热的物体再将热量传递给空气，空气温度再逐渐均匀升高，空气对流流速相对较低。

低温辐射电热膜供热的特点：

(1) 技术含量高，适用范围广。电热膜供热系统可广泛用于工业、农业、民用建筑等诸多领域的供热保温。

(2) 节约水。传统供热需用水作热循环，电热膜供热系统是将电能直接转化为热能，无需用水，节约了宝贵的水资源。

(3) 干净卫生、无环境污染。系统运行时，室内没有因热空气对流引起的灰尘漂浮，使室内空气更加清洁，对身体健康有益，且运行时无气味、无噪音、无废气排放，有利于环境的保护和小区的生活质量。

(4) 室内温度可调，节约能源。对流换热装置则无法随室外温度变化调节室温，即使是电锅炉集中控制温度，也很难使房间温度均匀一致。采用该系统，通过每个房间安装温控器，可根据需要调整室温并保持恒定，不使用的房间可关闭或调低温度，真正实现节约能源，经济运行；而在高层建筑中，可以消除其它系统的垂直和水平失调及分层供热，系统超压等现象。

(5) 提高了舒适度。辐射供热时，室内温度分布比对流供热时均匀得多，同时室内平均流速也要低一些，由于四周温度提高，减少了对人体的冷辐射；而对流供热时，空气温度超过辐射温度，在同等级舒适条件下，人体四肢温度与躯干之差值  $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ ，辐射供热时，此差值很小。由于辐射强度和温度的双重作用，造成真正符合人体散热的热状态，因此具有最佳的舒适感。

(6) 使用寿命长，无需专门设立维护、维修机构。电热膜供热系统的使用寿命长，一般可达 30 年，无活动的部件，而且完全密闭，故一般无任何部件会被损坏，没有任何地方需要清洁或油漆，亦无水暖系统的跑、冒、滴、漏等令人头痛的问题，故无需维护和管理人员及花费维修经费。

## 2、电热锅炉

电热锅炉采用低谷电蓄热，可削峰填谷，缩小电力供应峰谷差，优化电网结构，用户可享受低谷电价，但一次投资较高。电热锅炉无污染、无噪音、有利于环境保护等特点，既能削峰填谷，又可充分利用低谷电价，达到经济运行的目的。

### 4.2.4 低温热水地板辐射供热系统

辐射供热系统按不同工作媒质或不同辐射面位置分别命名为水媒辐射供热、电热辐射供热、顶板辐射供热和地板辐射采暖等。在水媒辐射采暖中，最常用的是低温热水地板辐射采暖。它是通过铺设在地板下的加热管（常见的有 PEX、PPR 等）

以不高于 60℃ 的热水作热媒，把地板加热到表面温度 18~32℃，均匀地向室内辐射热量，从而达到采暖效果的供热系统。低温热水地板辐射供热系统是在建筑地面结构层上做找平层，再在其上做保温层（常见做法是苯板上铺铝箔纸），然后将地热盘管固定在保温层上，最后用细石混凝土将地热盘管隐蔽，经夯实平整作为储热层。为防止龟裂适当设置膨胀缝。储热层上可任意做装饰层，如地砖、大理石、地毯、复合地板等。地热盘管在隐蔽前后做两次静水压力试验保证其不渗漏。

低温热水地板辐射供热分为单管单排直列型、单管双排直列型、单管三排直列型、双管直列管型、双管旋转型和单管旋转型等。

低温热水地板辐射供热系统的优点有：

① 较好的舒适度，房间温度场分布均匀。由于是整个地板均匀散热，因此房间里的温差极小，而且室内温度是由下而上逐渐降低，地面温度高于人的呼吸温度，给人以脚暖头凉的舒适感觉。

② 利于营造健康的室内环境，采用散热器片采暖，一般出水温度在 70℃ 以上，但温度达到 80℃ 时，就产生灰尘圈，同时空气对流加强，使室内空气浑浊，地板采暖给人一个清新、温暖、健康的环境。

③ 高效节能，由于采暖的辐射面大，相对要求的供水温度低，只要 40-50℃，而且可以克服传统散热器片一部分热量从窗户散失掉，影响采暖效果的缺点。

④ 节省空间，有利于建筑装饰，方便家具的摆放。

⑤ 符合政策的要求，有利于分户计量。

其缺点有：

① 由于地板采暖多为无缝的一根管，管道均埋于地下，不能钉钉子，因此不宜铺设加龙骨的实木地板。

② 维修不便，如上所述，地板采暖多用一根无缝管铺设，一旦出现问题，就必须将整个房间掘地三尺。

③ 影响层高，铺装管线需占用 6 厘米的空间，要想维持标准层高，开发商势必要增加工程造价。

④ 对地面材料有一定限制，如木地板尺寸要稳定，含水率要偏低，但由于地板中普遍含有有害物质—甲醛，温度越高，甲醛释放量越大，而地板采暖恰恰是直接烘烤地板，因此在选购时一定要选甲醛量小的，以保证健康。另外地面温度高，时间久了家具还有可能产生变形。

#### 4.2.5 新型供热模式

除了上述一些常见的供热模式外，近几年出现了热源采用清洁能源的供热模式，它包括太阳能采暖供热模式、核供热模式、垃圾焚烧和生物能供热模式。这些新型供热模式普遍存在着有利于持续合理地利用资源、有利于保护环境、符合热源的经

济性等优点，是值得推广的供热模式。

#### 4.2.5.1 太阳能供热模式

太阳能是一种清洁安全的可再生能源，对增强人类可持续发展能力有着重要作用。在能源日趋缺乏、环保意识日益提高的当今世界，这种益于环境，益于社会，益于公众的新能源的应用已经越来越广泛，特别是太阳能热水器已经进入千家万户，而大型太阳能热水系统也已在商品住宅等建筑中开始应用。据预测，本世纪太阳能将逐渐替代常规能源，成为全球重要的能源之一。我国大部分地区太阳能资源丰富，尤其是西部、北部地区更具有开发利用太阳能的优越条件。太阳能热水器适应了时代的需求，节能环保，但由于受日照和风、雪、雨、露等气候影响，不能全天候工作。这种不稳定特性，使其有必要与其它供热模式联合使用，以达到尽善尽美。现行《建筑给水排水设计规范》及其新版送审稿均对以太阳能为热源的集中热水供应系统宜附设辅助加热装置提出了要求。现阶段，主要将太阳能用于生活用热，洗澡、洗涤用热，很少用于采暖。

在建筑中运用最普遍的是太阳能，因为其他可持续能源的采集需要大规模的工程建设或者有特殊的地质气候要求。而太阳能的利用是将太阳辐射转化为热能和电能，它不但价廉，而且具有以下优点：适应性强（无论技术高低都可利用）；覆盖面广（全球各地均可利用太阳能）；洁净度高（对环境无污染）；安全性高（在使用过程中没有泄漏、燃烧、爆炸等危险）；可用期长（专家估计太阳能可用 50 亿年）。基于上述优点，在建筑领域以太阳能取代常规能源成为建筑实现生态化的重要趋向，当代多数生态建筑都考虑了利用太阳能的可能性。

太阳能供热模式的缺点是太阳能不易收集储存，不方便家庭使用，在夜间无法发挥其供热作用。

#### 4.2.5.2 核能供热模式

低温核供热是最近几年发展起来的一种利用核反应堆单纯供热的供热模式，这种方式安全性好，对环境污染小，供热效率高。核供热即可满足用户对室内供暖温度的要求，同时由于降低低压参数，使反应堆安全性大大提高。正常运行时对周围环境的放射性辐射剂量比燃煤热电厂还低，更不排放烟尘、二氧化碳、二氧化硫等有害物质。而且由于它的能量密度高，可以占用很少的地方，对解决集中供热中燃煤和燃油带来的环境污染和运输问题，缓解煤炭紧张具有现实意义。因此，从长远来看，低温核供热堆以其安全、清洁、高效的特点为城市供热又提供了一种供热模式。

核供热模式的缺点在于目前还没有一种工业化的、成熟的核供热热源模式和完整的核供热系统设计、施工、安装、验收、运行管理的规范，核供热堆必须定位于

市区边缘两公里之外，此区域内不准有永久性居民，因此核供热堆的定位存在困难，技术先进性程度要求高。

#### 4.2.5.3 垃圾焚烧和生物能供热模式

垃圾焚烧是垃圾能源回收的重要手段之一，垃圾焚烧热电联产技术是一项先进的垃圾处理技术，丹麦、挪威等国家都有应用。在我国，垃圾焚烧技术正在逐步得到推广应用，目前，已建成和正在建设、设计、规划中的垃圾焚烧处理厂，都是以发电为余热利用模式。生物能的利用对于节约供热能源有着重要的意义。因此，在规划我国今后的城市供热时，采取灵活多样的供热模式的同时，大力发展废弃物燃烧技术，并推广其使用与城市供热相结合，是一个良好的、有前景的发展方向。

垃圾焚烧供热模式的优点是垃圾焚烧是垃圾能源回收的重要手段之一，垃圾焚烧和生物能的利用对于节约供热能源有着重要的意义。运行中，不添加煤炭，排放的各项指标均能达到国家排放标准。

垃圾焚烧供热模式的缺点是垃圾焚烧在我国的发展尚处于初级阶段，垃圾焚烧、生物能的利用投资及运行成本较高。

### 4.3 供热模式的定性选择

#### 4.3.1 供热模式选择原则

近年来我国的供热模式发生了很大的变化。首先，由于能源结构变化引起的供热热源多元化和控制大气污染的紧迫形势，单一以燃煤作为供热能源的格局已经改变。其次，传统供热模式的缺陷日益突出，新的供热模式不断涌现，又形成供热模式的多元化。站在不同的角度，对多元化供热技术有不同的关注点，会作出不同的选择。不同角度选择的综合作用，将最终决定多元化供热技术的发展前景和开发建设的决策。

可以说，选择最适宜的供热模式对环境压力的改善、我国供热行业的发展以及建筑节能目标的实现都显得尤为关键。由4.2节中可知，目前我国存在多种供热模式，每一种供热模式都涉及到多方面的因素，并且每种供热模式都存在着一定程度上的不足，在进行供热模式选择时必须结合实地情况考虑各方面因素及其相互关系，选择比较合理的、比较适宜的供热模式，这样就使得供热模式的选择成为了一个复杂的难题。因此，有必要制定出供热模式选择应遵循的原则：

##### 1、具有较好环境效益的原则

现在，温室效应所引起的全球气候变暖早已经引起世界各国的关注，各国纷纷出台限制温室气体排放，保护大气环境的措施。我国也积极投身于此类工作中。而受到传统供热燃料（主要是煤炭，燃烧后释放出 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ ）和技术的限制，我国



采暖地区的大气环境状况不容乐观。所以我们在选择供热模式的时候，要从有利于城市的大气环境、减少城市污染物排放量、优化人们居住生活的生态环境以及实现整个城市的环境效益这几个角度出发。

### 2、具有较好经济效益的原则

供热模式的选择不仅要考虑技术上的可行性，还有必要考虑经济上的可行性，以达到取得较好的经济效益的目的。经济评价主要包括：一次投资费用计算与分析、运行费用的计算与分析和投资回收期与最佳效益值。

### 3、具有较好社会效益的原则

供热模式的选择要有利于创造安全和睦的生活空间和稳定的社会环境、有利于采暖费的收取及供热社会化、市场化的深入方式，并且能够为消费者创造一个良好的人际关系和社会公德的社会环境，从精神上给人们以愉快的享受，从而达到实现小区的社会效益、创建社会主义精神文明，以及增强城市的可持续发展能力。

### 4、节约能源原则

目前，出于能源可持续发展政策和国家安全政策的考虑，我国正在提倡建筑节能和供热节能。节能工作做的好的城市已经成功的实现了节能 50%的阶段目标，并继续向着节能 65%的目标前进。而在这其中，供热节能将占有着非常重要的地位。所以我们在选择供热模式的时候，要考虑到节能原则，提前为国家的节能战略做好准备工作。而能源又分为一次能源和二次能源，即不可再生能源和可再生能源。具体说，一次能源包括煤、石油、天然气和火力发的电，而二次能源则包括太阳能、水力发的电等。一次能源的使用是不可再生的，且对环境普遍有破坏作用。因此，要更加提倡节约一次能源，这样做既经济又环保。

### 5、供热技术的成熟可靠性、先进性和适应性原则

各种供热模式所采用的供热技术是不尽相同的，这就导致其供热技术的先进性、成熟性和适应性也不相同。在进行供热模式选择时，首先要保证供热技术的成熟可靠，所谓成熟可靠性是指供热模式所采用的新技术已经被普遍接受，是生命力最旺盛的时期，各项技术经济指标在同类技术中最好；先进性要求供热模式的技术特点应符合国家能源技术向导，应该具有先进的水平，在一段时间内能保持领先的水平；适应性要求选择供热模式是应考虑当时当地的能源资源情况、经济发展情况、交通运输情况等等。

## 4.3.2 集中供热与分散供热模式的选择

在 4.2 中提出供热模式可分为城市集中供热、区域集中供热和分户供热三个类型。由于小区域锅炉供热、地热供热以及热泵供热的集中程度没有城市集中供热的集中程度高，所以在此将小区域锅炉供热、地热供热、热泵供热以及分户供热都划归到分散供热模式中，这样供热模式就分为集中供热和分散供热两个类型。

## 1、集中供热与分散供热的定性比较分析

### (1) 从环境效益的角度

城市污染主要来源于煤直接燃烧产生的二氧化碳和烟尘。与分散供热的小容量锅炉房相比,集中供热的锅炉容量大,大量减少了烟囱数量,加之有较完善的除尘设备,采用高效率的除尘器,除尘率可达90~98%,甚至更高,能有效降低城市污染,大气污染状况可得到很大程度的改善,有较好的环境效益。

### (2) 从经济效益的角度

集中供热管网投资高,约50~100元/m<sup>2</sup>;管网运行费与能耗高。其中维护管理费约2元/(m·a);电耗约0.5~1W/m<sup>2</sup>;管网热损失约折合为18~15W/m<sup>2</sup>,还存在着调节不好导致的不均匀,造成部分末端过热,造成损失约20%以上,此外不易实现分户计量和分户调节。

### (3) 从社会效益的角度

一方面,分散供热热源点靠近居民区,产生的噪音直接影响周围居民;集中供热热源点远离居民区,可以有效防止噪音对居民的影响,减少扰民。另一方面集中热源代替分散的小锅炉房,可以腾出大片的燃料和灰渣的堆放场地,有利于土地资源的合理使用,有利于改善市容,有较好的社会效益。

### (4) 从供热质量、能耗和热损失的角度

分散供热是间断供热,供一段时间,停一段时间,供热不稳定,质量不高;集中供热是连续供热,并根据负荷及时调整,无论室外如何变化,室温始终保持一定,供热质量很高。

分散供热的能耗仅以建筑耗热为主,区域集中供热的能耗则由建筑耗热、不均匀热损失和室外管网损失组成,而城市集中供热还包括高温热力管网损失。所以说,供热规模越大,供热环节越多,供热能耗和损失越大。因此,对于集中供热来说应充分重视管网热损失和不均匀热损失,目前其占供热能耗的比例很大。当仅改善了建筑保温水平,虽然建筑耗热减少了,但如果管网保温和调节没有得到相应的改善,不均匀热损失和各种管网损失就显得越来越突出了,所占比例将增大。这样,对于集中供热,怎样减少管网热损失和不均匀热损失变得越来越重要。

### (5) 从节约能源的角度

我国的工业锅炉大部分为燃煤锅炉,燃煤的供热锅炉和中小型工业锅炉的热效率一般比较低,一般在50%~60%左右,容量较大的工业锅炉效率在70%~80%之间,电厂锅炉效率在86%~90%之间。实行热电联产或区域集中供热代替分散供热的小型锅炉供热,综合起来可节约20%~30%的能源,可见,大力发展集中供热,有较好的经济效益,对提高我国的燃料利用率,发展我国热化事业有重大作用。

### (6) 从能源利用率和所采用的能源燃料种类的角度

从能源利用率的角度来说,我国能源供应不能满足经济和社会可持续发展的需

要，資源分布不均勻，運輸緊張，人均資源少，能源利用率低。其中集中供熱的能源利用率還不是很高，而且能源短缺將使集中供熱成本增加，導致效益下降；從採用燃料的角度來說，使用燃煤熱源時，只能選擇集中供熱；當採用燃氣，電動熱泵等新方式時，熱源應盡量分散，而完全不應該集中。

#### (7) 從供熱技術和設備的角度

集中供熱的供熱溫度調節採用自動控制，能夠適時的隨室外溫度變化而自動調節供熱參數，以滿足用戶需要，同時也可以減輕工人操作上的勞動強度；集中供熱可選用供熱專用設備，其設備質量高於一般的工業設備，運行安全可靠，故障率低。

## 2、結論

由以上分析可以得出，分散供熱模式存在着占用單獨的空間、熱損失不能利用、供熱不穩定、產生噪音等缺點；集中供熱模式也存在着值得改進和商榷之處，然而與分散供熱相比，集中供熱存在着不可比擬的優勢，可以說集中供熱模式優於分散供熱模式。所以，在城市供熱模式選擇中，應該首選集中供熱，燃料以煤炭為主，而在集中供熱模式涉及不到的地區可以採用分散供熱的模式作為必要補充。

### 4.3.3 多熱源聯網供熱模式

目前，多熱源聯網運行模式正受到越來越廣泛的重視，它不僅可以極大地提高供熱的安全性，同時還能顯著降低能耗。在國家大力提倡熱電廠供熱的形式下，聯網運行還可以有效保證熱電廠平穩高效地生產熱能和電能，從而產生顯著的經濟效益、社會效益和節能效益。

#### 4.3.3.1 多熱源聯網供熱的涵義及制約因素

##### 1、多熱源聯網供熱的涵義

多熱源聯網是指二個以上的熱源組成一個熱網系統為用戶供熱。這項技術是國際上供熱技術先進的國家，為節約能源、降低運行成本、提高經濟效益，在綜合運用水泵調速技術和控制技術的基礎上，發展起來的一項先進的熱水管網運行技術。多熱源聯合供熱系統可極大地減少區域鍋爐的運行時間，還能充分利用熱電廠多餘的熱能。多熱源聯網與單熱源調節供熱系統運行有着很大的差異。多熱源聯網技術的核心內容是在保證用戶供熱質量的前提下，實現各熱源的供熱量能按需要進行自由調度。

##### 2、制約我國城市多熱源聯網供熱的主要因素

制約我國城市多熱源聯網供熱運行的主要因素是：對以何種方式實現聯網運行以及聯網後如何運行操作，尚無系統和深入的論述，實踐中缺乏理論方面的指導；設計、運行和調節等方面的複雜性阻礙了它的推廣應用。而聯網運行的供熱管網的流量合理分配問題、水力平衡問題是能否成功應用聯網運行的重要內容，對聯網運

行的可行性具有决定性作用。另外，多热源联网运行的经济性、可靠性以及实际运行调节的复杂性也需要给予同样的重视。

#### 4.3.3.2 城市联网供热的必要性

近些年，由于对生态、环保的重视以及能源供应的紧张，人们在探讨各种能源利用的同时，在供热界展开了何种供热模式最好的争论。在我国，只要以煤为主的能源格局不改变，那么就全国范围而言，集中供热显然应该是供热的主要方式。现在的当务之急，应该把更多的注意力放在“如何保持和提高集中供热在市场经济中”的竞争优势上，提高集中供热的竞争优势，可以有很多措施，多热源联网就是其中的一项重要措施。

我国目前的集中供热系统处在快速发展、壮大阶段，对供热负荷估算过大，而使热电厂容量选择过大，汽轮机组达不到正常生产状态。后来对此状况进行了改进，主要措施是供热负荷小的时候，建设区域锅炉房，待供热发展到一定规模时，再兴建热电厂。然而，兴建热电厂不仅需要大量资金，而且建设周期长，短期内不能立即见效，这与迅速增长的供热需求不相适应。于是，各单位纷纷建立自己的小型锅炉房。如上所述，这些小型锅炉房，炉型落后，效率低，供热面积有限，因而浪费能源，且造成环境污染。另一方面，若按理论水温调节曲线来进行供热运行，在有些地区会造成室温过高而浪费热量。

从运行管理角度看，我国热网供热是按供热面积收费的，在按面积收费的体制下，就应以节省总供热量为目标，热网不能以充分满足各热用户的需求为调节目标，而应在满足采暖建筑的基本采暖要求的前提下尽量减少总供热量，从而达到提高经济效益的目标。其次，我国热网以采暖为主，生活热水所占比例不大，也就是说，热网负荷主要是采暖负荷，而采暖负荷是要随外界气象条件变化而变化的，但由于整个供热网所负担的供热区域的气象条件是基本相同的，因此，整个供热区域的负荷是同时升降的，区域内各建筑或热力站之间供热负荷的比例基本不变。再一个特点是，目前热电厂与热网分别由两家管理，且调峰热源不足，这就不能严格按照采暖要求准确供热，从而在低热负荷期系统的供热量偏高，在高热负荷期供热量又不足。

#### 4.3.3.3 多热源联网供热的优点及存在问题

##### 1. 多热源联网供热的优点

多热源联网供热是一种值得推荐的供热模式，其优越性主要体现在以下几个方面：

##### (1) 提高了整个供热系统运行可靠性与安全性

采用多热源联合供热，当热网中某一或某些热源（或该热源主管网）出现事故，

停止或减少对外供热时,各热源可相互替代、相互补充,其他热源能够承担全部(含故障热源所带的热用户)负荷的75%以上,并能将这部分热量均衡地分配给用户,因此供热运行的可靠性比单热源供热系统大大提高,降低了因热源事故而造成的影响,有效地避免了热源厂锅炉汽化、水锤和热用户大面积倒空现象的发生。

### (2) 充分发挥节能优势,提高供热经济性

多热源联网系统,由主热源担负基本热负荷,尖峰热源承担尖峰热负荷,这样不但可以减少庞大设备的数量进而减少初投资,而且可以使更多的设备在满负荷下高效运行,节能效果非常显著;同时,这样也有利于各热源的竞价上网,优胜劣汰,促进供热系统优化,降低运行成本,获得可观的经济效益,从而提高供热系统运行的经济性。

### (3) 提高系统的水力稳定性

由系统水力稳定性的定义可知,提高系统水力稳定性的主要方法是相对地减少网路干管的压降,或相对地增大用户系统的压降。对于多热源环状管网,由于环形管网的允许比摩阻较小,相对地减少了网路干管的压降,而且各换热站的资用压头大,增强了系统的水力稳定性,同时多热源环状管网并网运行具有自动优化水力工况的特殊功能,可改善系统中最不利环路的供热效果,使各换热站的供热效果趋于一致,因此环状管网可以提高系统的稳定性。

### (4) 优化水力工况,平衡供热效果

由于采用多热源同时运行,运行人员则可通过调整多热源的水流量及供热量,达到全网供热效果一致的目的。同时,环状管网还具有自动优化水力工况的特殊功能,可改善系统中最不利环路的供热效果,使各换热站的供热效果趋于一致。

### (5) 促进高新技术的应用,提高运行管理水平

国外发达的集中供热系统已实现自动化,随着我国集中供热事业的飞速发展及计算机应用的日益普及,如何克服粗放经营,提高运行管理水平,进而提高市场经济的竞争能力,唯一的出路就是从设计、施工安装到运行管理加大供热系统的技术含量。当前紧迫的任务就是大型集中供热系统应尽快实现多热源联网运行,只有在此基础上实行计算机自动监控、变频调速、信息管理、优化调度、计量收费等高新技术,我国的供热事业才能在经济、可靠和有效的目标中健康发展。

基于上述优点,采用多热源联网供热是集中供热发展的必然趋势。

## 2、多热源联网供热存在的问题

(1) 我国多热源联网发展缓慢,工作阻力较大,有些城市虽然采用了多热源联网技术,但是在实际运行期间又人为把管道隔断,变成了单热源支状管网供热系统。

(2) 多热源联网供热系统管理,在整个运行期间,为满足供热平衡、供水平衡,各热源和泵站如何运行是一个难题。

(3) 多热源联网由于刚在我国刚刚兴起, 缺乏经验, 尤其在运行调节和自控技术方面还不成熟。

对于上述存在的问题, 不仅要对联网运行以及联网后如何运行操作进行系统和深入的了解, 加强实践中理论方面的指导设计和运行调节等方面知识的运用, 而且要充分认识到联网运行在经济性和可靠性方面的优势。同时, 根据已经积累的经验, 并结合国外的先进技术总结出一套适合我国国情的多热源联网供热系统方案。

#### 4.3.3.4 多热源联网集中供热系统方案选择

由多热源联网供热的优点可知, 采用多热源联网供热是集中供热发展的优化方案。但也应看到, 多热源联网集中供热系统是一个规模庞大, 结构复杂、目标多样和影响因素众多的复杂系统。对于像集中供热系统这样的梯阶结构系统, 通常将系统分解成若干个相对独立而又相互关联的子系统作为下级系统, 分别求出每个子系统的最优化值, 并在上级系统设置一个协调机构来处理各子系统间的关联作用。通过上下级之间反复交换信息, 在求得各子系统优化值的同时, 获得整个大系统的最优值。

通过以上分析可知, 要想使多热源联网供热系统达到运行最优化, 供热效果最好, 首先要将热网互相连接, 形成系统, 然后再按梯阶结构将整个热网划分为若干相互关联的独立部分(并以环状网相连), 在每个部分中都要选择供热能力最大的锅炉房作为热源, 进行供热, 而停止那些容量小、效率差的锅炉。在进行热网划分时, 要协调各热源之间的位置, 所选择的两个热源位置不宜过近。同时, 在热网中, 还应酌情选择热源作为调峰热源使用。这样, 就可使多热源集中供热系统易于满足供热需求。

然而, 要使系统方案协调运行还需要解决很多问题, 例如: 各热源是同时启动, 还是顺序启动; 各泵站中水泵何时启动、何时关停; 是起增压作用还是混水作用; 在热源、水泵的不同工作状态下, 系统的运行工况能不能满足用热的需求等等。所有这些问题, 都应该通过系统的协调运行来解决。

### 4.4 源网分开供热体系的构建

#### 4.4.1 源网分开供热模式的提出

##### 4.4.1.1 我国热源及热网现状

目前在国内的许多城市中, 一个城区往往同时存在多个供热系统, 甚至同时存在多个热电联产的集中供热系统, 这些系统大多是单独承担一个区域的集中供热,

单独运行，互不连通。热源与热网常常由一家企业管理（热电厂与热网由二家企业管理），供热主要采用单热源独立管网的形式，热源在产热的同时进行热网的供热。这种模式下当热源出现问题时没有其他热源进行补充，缺乏供热可靠性且调峰热源不足，这就不能严格按照采暖要求准确供热，从而在低热负荷期系统的供热量偏高，在高热负荷期供热量又不足，热源不能充分利用而造成能源浪费。国内有些城市虽然把管网联在一起，但是还没有将热源和热网分开进行管理，在供热时又都用阀门断开，分别运行。这样，使各个热源失去了互补性，同时在供热初期和末期，热源的供热量不能得到充分利用，不但造成了能源和设备的浪费，而且多个热源同时在低效率下运行，也加重了城市的污染。另外源网不分开，原有的供热垄断仍然不能打破，形成不了热力价格的市场机制，热力市场尚处于萌芽状态、发育极不平衡，部门和地方对市场的分割、封锁严重，与市场经济相适应的价格形成机制尚未建立，未引入多元化投资体制，市场法规建设滞后。

#### 4.4.1.2 源网分开供热模式的涵义

针对国内目前热源热网模式存在的问题，本文提出了新型的供热模式，即源网分开的供热模式。源网分开是指在一个区域内，多热源联网向区域内唯一的热网供热，而热源与热网的运行管理是相分离的（热源与热网分属于不同的企业）供热模式。

具体设想是：在多热源联网供热的基础上建立起来一套完整的供热体系。体系中涉及四个主体，分别是：热源厂、热网公司、供热服务公司、热用户。源网分开要求将热源与热网分开，一个热网由多个热源厂供热。每个热源厂是独立的法人单位，自主经营、自负盈亏。热网公司则为新成立的企业，可由政府投资建设也可由个人投资建设。各个热源厂在热源充足的情况下实行竞价上网，即热网企业根据各热源企业的报价，择优购热。供热服务公司从热网公司购热后再销售给热用户。其目的是更大限度地保证安全、稳定供热，满足用户的用热需求，保证更高的用热可靠性。提高服务质量，特别是提高对广大热用户的服务质量。降低生产热量的成本，降低终端用户的热价水平，让老百姓得到实惠，最终提高产品和服务的竞争力。

#### 4.4.1.3 实施源网分开供热模式的意义

实行源网分开的优势是明显的，它能够克服原有的供热模式的缺陷，实施后，将在经济、节能、环境和社会等方面产生巨大效益。

##### 1、有利于降低供热系统事故对用户造成的影响

在传统的供热体系中，往往是热源厂不仅负责生产热量，而且负责向某一区域内热量的输送。对于热源厂来说，它拥有自己独立管网向该管网所辐射的用户群体输送热量。则形成了热源厂——热网——热用户三者之间的一一对应关系，

且热源、或管网的某一个环节出现故障, 停止或减少供热, 管网所辐射范围内的热用户必将受到影响。这种情况下, 由于热源厂—热网—热用户三者之间的一一对应, 将很难有及时的补救措施。然而, 源网分开的供热体系就可以克服这个缺点, 源网分开后, 一个热网可拥有多个独立的热源, 一旦某一热源出现故障, 其他各热源可对其进行替代和补充, 承担全部或者部分负荷, 并能将这部分热量均衡地分配给用户。因此, 源网分开的供热体系比传统的供热体系更加安全可靠, 它可以降低由于热源的事故而对用户造成的影响, 提高用户的满意程度。

### 2、有利于打破垄断、促进行业公平竞争

市场经济的一条无情的法则就是引入竞争, 打破垄断, 建立公平有序的市场竞争机制, 这已成为必然。我国电力等国有垄断行业已实行重组和开放经营。同样, 对于热力行业来说, 竞争也是热力市场机制的一个基本要素, 市场合理配置资源的作用主要是通过竞争来实现的。源网分开后, 各热源企业公平竞争, 实现优胜劣汰, 打破了传统的垄断模式。这样就促进了供热系统的优化, 降低了运行成本, 逐渐实现供热的市场化。

### 3、有利于建立适应市场竞争要求的热价形成机制

源网分开后, 使上网热价由按个别成本定价转变为按社会平均成本或长期边际成本定价, 改变一厂一价状况, 建立既符合市场经济规律又符合热力生产特点, 既有利于热力健康发展又为社会所承受的热价机制。科学合理的热价形成机制, 有利于引导热源厂投资者和经营者千方百计降低造价、降低成本、强化管理、提高效益, 实现热力工业持续、稳定、健康发展。

### 4、有利于实现热网网络的规模效应

许多市政公用事业具有生产、输送、销售等业务垂直一体化的特点, 其中, 网络输送业务是核心业务, 许多产品只有通过物理网络才能进入消费领域。因此, 作为供热这一市政公用事业必须要有一个完整统一的网络, 并实行全程全网联合作业, 实现网络的有效协调和高效运行。为此, 鼓励投资、形成源网分离、扩大网络, 可以提高网络运行效率, 形成网络的规模效应, 同时可以增强热力事业的供给能力, 满足城市生产和生活的需要。

### 5、有利于完善热力系统自动化

源网分开的执行是建立在多热源联网供热技术的基础上的, 在此基础上可以进一步实行一些高新技术如: 计算机自动监控、信息管理、优化调度、计量收费等, 实现热力系统的自动化。

### 6、有利于节约能源

源网分开可灵活调整供热量, 达到良好的节能效果。系统中多热源, 可根据供热负荷的具体情况, 制定出更为合理的供热方案, 并可随时使全系统的供热工况(供热量、供回水温度和水力工况)优化, 从而实现较理想的节能措施。



#### 4.4.1.4 源网分开供热模式建立的前提

##### 1、区域内有独立且联通的热网

源网分开的最基本的前提，是要在区域内建立独立且联通的热网，将原有的供热网络联通到一起，或者在区域内新建网络。这一环节得以实现，才能达到真正的“热源”与“热网”的分开，源网分开的供热模式才能运行。

##### 2、有足够的热源企业满足热网的热量需求

实行源网分开的另一个前提就是所设计的源网分开体系中的热源数量能够充分地满足热网的热量需求，即热源的数量要和热网面积相适应。若热源的数量过少，或者供热率过低，生产的热量不能满足热网的需求，将会造成网络空缺，热资源不足，将会影响到供热服务公司的生存及热用户的正常生活，整个源网分开的体系就不能够正常运作，达不到其预期的效果。所以拥有足够的热源企业是实行源网分开的又一重要前提条件。

##### 3、要有多热源联网技术作为支持

多热源联网是指 2 个以上的热源组成 1 个热网系统为用户供热。这项技术是国际上供热技术先进的国家，为节约能源、降低运行成本、提高经济效益，在综合运用水泵调速技术和控制技术的基础上，发展起来的 1 项先进的水热管网运行技术，目前已经成为了集中供热的发展趋势。源网分开的供热系统的提出是完全建立在多热源联网供热技术的基础上的，它是否能实现，在技术上完全取决于所热源联网供热技术是否完善。只有在多热源联网技术的支撑下，才能顺利地建立源网分开的供热体系或者对原有供热设施改造，最终实现不同的热源与同一个热网相连接。

##### 4、有热力行业其他完善的技术作为保障

除了多热源联网供热技术之外，源网分开的实施离不开其他方面的高科技技术。如调度技术、供热计量技术等。源网分开后，热网公司需要根据自身和供热服务公司的需要进行热量的调度，热力生产要求整个热力系统随时可以进行生产调整，热的质量才能保持在合格的范围内。热力生产必须进行科学统一的调度管理，只有完备的调度技术才能保证热力系统协调一致、安全稳定、优质经济运行。供热计量技术贯穿于源网分开的一项重要技术，只有有用合理完善的计量技术才能保证收费与核算的科学性与合理，才能避免源网分开供热模式主体之间经济利益矛盾的发生。

##### 5、要有完备的通讯设施

在源网分开后的热力市场中，交易各方之间的通信很重要。传送的最重要的两个量，一个是热价，一个是热量。对热源厂而言，需要提供供热的报价，还要提供实际产热量作为结算的依据。要想使源网分开后的体系能够正常运作，必须要确保源网分开体系中各个主体之间能够顺利通讯。源网分开必须要有完善的计算机网络系统，进行热量信息的传递，保证结算的正常进行。除此之外还要拥有光缆、电话、电视、广播等常用的通信工具，与计算机网络相结合共同保证交易的长期进行。

## 4.4.2 源网分开供热体系

### 4.4.2.1 源网分开供热系统构成

源网分开的供热系统主要由热源厂、热网公司、供热服务公司（包括其服务范围内的换热站、小型补热锅炉房等）、热用户以及将其相连接的完整的管网及供热设备组成。热源厂把热输送给热网公司，由热网公司进行统一的调度安排输送给各个供热服务公司，供热服务公司最终将热量传送给热用户。其系统结构可以用图 4.1 表示。

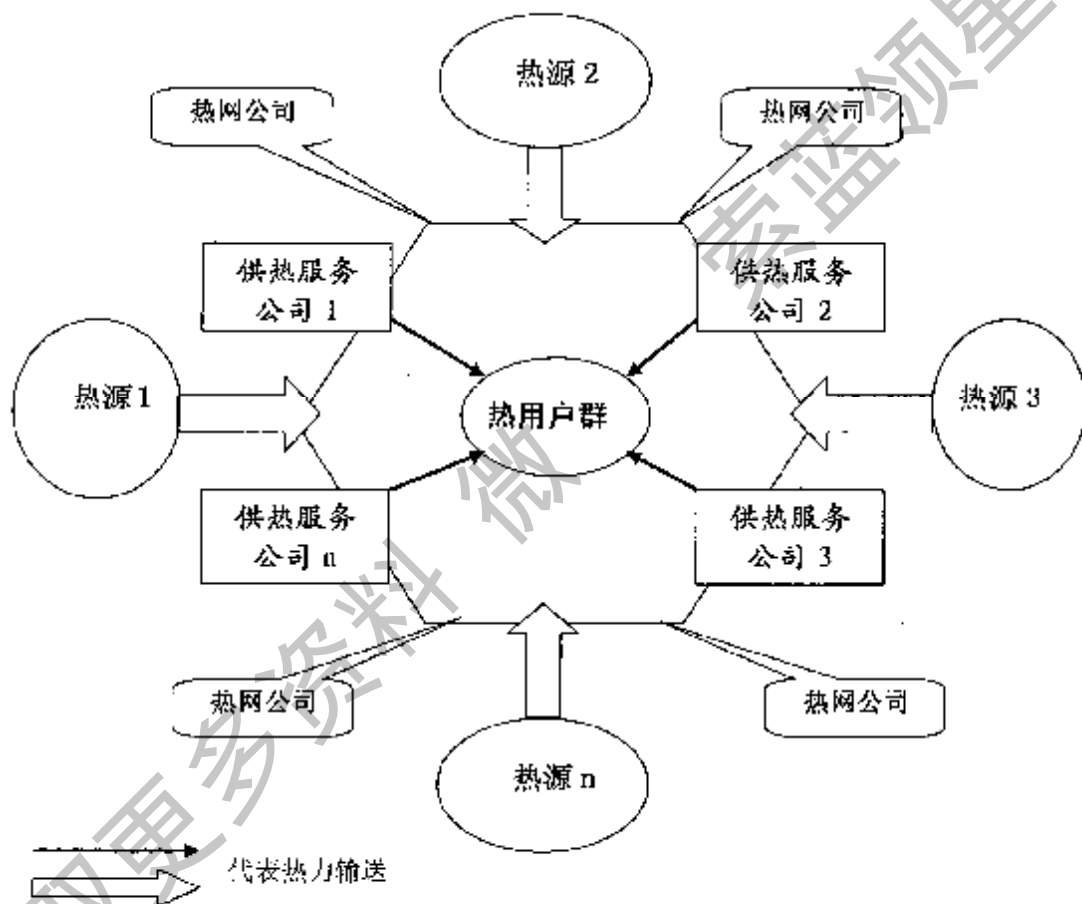


图 4.1 源网分开供热系统构成示意图

### 4.4.2.2 源网分开供热模式的主体及其关系

源网分开模式有 5 个主体构成：热源厂、热网公司、供热服务公司、热用户及监管机构，主体结构如图 4.2 所示：

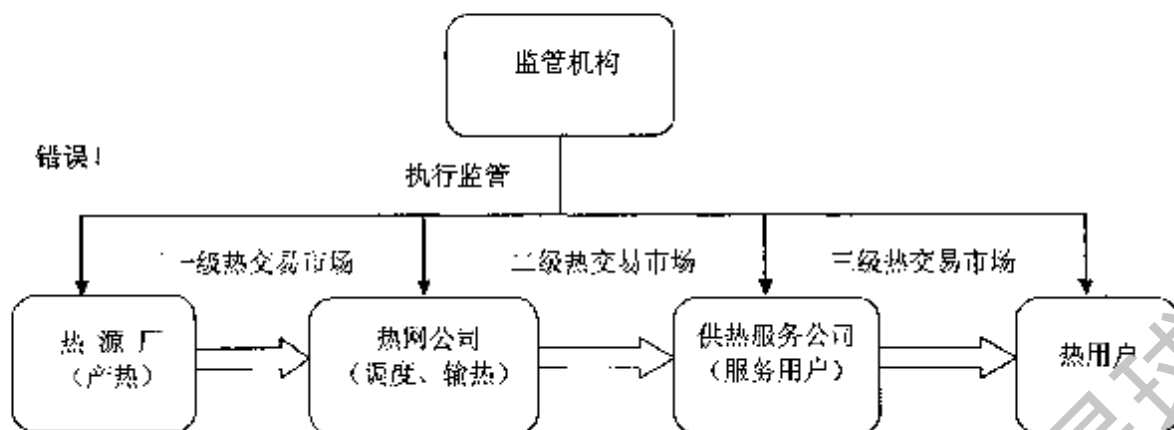


图 4.2 源网分开供热模式主体结构图

### 1、热源厂

- (1) 企业模式：独立产热的企业(包括各种所有制形式的热源企业)；
- (2) 经营方式：按营业许可证上网供热；
- (3) 经营目标：以盈利为目的的商业目标；
- (4) 热源厂的职责：负责生产热量并向热网公司销售热量，公平竞争，参与投标报价，实现竞价上网。一旦中标，需要将热源与热网公司的管网相连，热源厂所生产热量的多少要根据热网公司的需求与调度进行生产与安排。

### 2、热网公司

- (1) 企业形式：国有企业，代表政府作为市政设施管理者；
- (2) 经营对象：输热管网及满足紧急备用的中转供热设施等；
- (3) 经营方式：以国有企业为主导，其他投资人采取特许经营方式；
- (4) 经营目标：热网公司无论是政府投资设立、还是个人投资设立，它都要代表政府管理热网，始终承担一定的社会公益性任务，因为热网仍然属于市政设施。因此，热网公司不能以单纯盈利为目标，热网公司的收费及获得的利润需支付经营成本和热网建设所需的资本金。

(5) 热网性质：属于市政设施；

(6) 热网公司的职责：统一计划，编制全系统热源与热网的供热计划；负责热的输送；统一平衡调度，保证系统安全、稳定、经济运行；统一建设，组织热源项目招标及热网建设招标；统一管理热力市场，实现公开、公平、公正竞争，组织热源企业竞价上网，及时结算，参与初始输热价及终端销售热价的制定；执行政府对热力宏观调控的任务。热网公司在热源热价的基础上，根据自己的经营成本和预期的利润适当的提高热价，将热合理调度，输送到各供热服务公司。

### 3、供热服务公司

- (1) 企业模式：独立的企业法人；
- (2) 经营对象：从热网公司获得热，及其所辐射范围内的管网及换热站；

(3) 经营方式: 按照营业许可经营;

(4) 供热服务公司的目标: 以盈利为目的的商业目标;

(5) 供热服务公司的职责: 统一规划本专营区的供热管网发展计划, 按分级调度原则对供热管网实现安全、可靠、高质、经济地向用户供热。对热用户实行优质服务, 不断开拓热力市场。加强能源竞争, 做好热产品的宣传和示范工作, 不断扩大热力市场, 改善热力系统运行条件。执行节约能政策, 搞好需求管理, 优化区域资源配置, 为地区经济建设服务。努力降低经营成本, 提高管理水平, 实现利润目标。参加终端销售热价的制订, 负责本专营地区的热费收缴及供热设施维修。为广大热用户服务, 提供优质的热量, 对热用户的供热设施进行安装、维护及维修。

#### 4、热用户

(1) 热用户的权力: 享有公平用热权, 得到应有的用热服务, 参与热价制订的过程, 享有对供热损失的索赔权。

(2) 用户的义务: 按期缴纳热费, 保护供热设施, 支持供热服务公司的运行维护、施工管理等各项工作。

#### 5、监管机构

(1) 机构性质: 属于政府部门;

(2) 机构目标: 确保热力市场的公正、公平;

(3) 机构组成: 监管机构的组成应由政府、中介组织、法律和经济专家等组成;

(4) 机构职责: 主要是制定热力市场的监管制度, 全力推进源网分开的改革, 研究制定相适应的政策, 负责管理热力市场, 监督热力市场内各个主体的行为。具体是: 制定、监督热力企业价格水平; 审批热力企业投资项目; 发放企业营业许可证; 明确热力企业具体服务义务, 建立质量标准; 解决热力企业间的纠纷; 监督热力企业财务计划。此外, 热力监管机构还应具有保障用户权益、促进热力市场的有效竞争以及协调跨区域热力调度的职能。

### 4.4.3 源网分开供热管理模式

#### 4.4.3.1 源网分开供热三级市场管理模式

源网分开管理模式的构想拟在热力市场中采用“三级市场”模式, 即热源交易市场、输热市场、热产品销售市场, 具体见表 4.1。

表 4.1 三级市场管理模式

序号	名称	供方	需方
一级热交易市场	热源交易市场	热源厂	热网公司
二级热交易市场	输热市场	热网公司	供热服务公司
三级热交易市场	热产品销售市场	供热服务公司	热用户

一级热交易市场即热源交易市场，是指各热源厂与热网经营企业间的售购热的经济关系，即在热源厂一方引入竞争机制，当热源足够时实行竞价上网，当热源不足时采用低价优先的策略。

二级热交易市场即输热市场，是指热网经营企业与各供热服务公司间的购售热关系。

三级热交易市场即热产品销售市场，是指各供热服务公司与广大热用户间的购售热的经济关系。

#### 4.4.3.2 源网分开供热的热价形成机制

从三级市场模式来看，整个热的销售过程涉及到了三个热价的形成。

##### 1、一级市场热价

一级市场热价是指热源厂将热出售给热网公司时的价格，它的形成主要是热源厂竞价上网的过程中所形成的，热网公司根据自己的调度安排和需热计划制定招标文件，各热源厂根据自身条件公开竞争，进行投标报价，价格较低、合理且产热质量高的热源厂可成功竞价上网，这样就形成了一级市场的热价。这种竞争机制会自动促使热源厂努力降低成本。

##### 2、二级市场热价

二级市场的热价是指热网公司将热出售给供热服务公司时的价格，该价格是由热网公司、供热服务公司和政府相关价格监管部门联合制定的。所占热价空间必须合理，要在政府监管部门的监督下，通过热网公司与各供热服务公司协调确定，要考虑供热专营企业的经济发展水平的差异对供热长期边际成本的影响。

##### 3、三级市场热价

三级市场的热价是指供热服务公司将热出售给热用户时形成的最终价格。该价格是在政府监控部门的主持下，通过召开包括供热服务公司和热用户代表参加的“价格听证会”，最终由政府监控部门对热价做出仲裁而形成的。在二级市场热价形成的过程中，政府要从广大用户的利益出发，对供热服务公司的热价调整计划进行意见征询，确保价格的公平与合理。

#### 4.4.4 源网分开供热模式的实施设想

供热行业的源网分开考虑多热源联网的范围限制，达到大规模的联网施工和改造过程是十分复杂的，本文所研究的源网分开管理模式可以考虑在市级范围或者新建区域内使用。源网分开供热模式的实施范围应是独立的行政区域，与市政基础设施相类似，实施源网分开的供热模式，应从以下几方面展开：

##### 1、确定试点，逐步实施

由于源网分开是一个新的供热模式，受资金、设备、技术等方面的限制，实施

起来比较困难，可以在小型的新建区域内进行试点工作，然后逐步在较大型的区域推广，最后再实现老区的大规模改造。

### 2、进行可行性研究，做好规划

在某区域为实行源网分开前，应该对该区域内的基本条件进行详细的调查与分析，如：区域内的自然条件、经济条件、政治条件、技术条件等。了解该区域内供热行业的基本情况，进行可行性研究，确定该区域是否具备实行源网分开的基本条件。然后因地制宜，做好源网分开的规划，如热网的覆盖面积、热源的数量、联网的技术方案等。

### 3、以政府为主导，组织实施

由于源网分开供热模式涉及到很多因素，也涉及到很多部门和单位，是一项复杂的工作，为了有效的实施该项工作，政府部门是有利的组织者和实施者，只有政府对该项工作高度重视，从全局的角度调动和协调相关单位，才能使该项工作得以开展。

### 4、合理调整热源厂，引入市场竞争机制

合理调整热源厂，主要是改变热源厂的职责，由原来的产热、输热、销热转变为只生产热量。进行热源厂的资产调整，引入市场竞争机制，可以完全打破国有垄断的局势，鼓励更多的个人投资者进行热源厂建设的投资。对原有热源厂的管网等设施可以采用热网公司收购的办法，这样就避免了热网公司重建管网所造成的资金浪费。

### 5、组建热网公司，建立新型的管理模式

热网公司为源网分开供热模式中的重要主体，也是全新的主体。热网公司可以由政府投资建设，同时鼓励个人投资建设，形成多元化的投资模式。在政府监管中引进竞争机制，通过招标的形式，让多方面投资人竞争投资权利及经营权。政府部门与其签订合同，约定经营期限，待合同期满后收回经营权，再重新进行招标选择投资方确定具有经营权的企业法人。最终的企业形式应当成为独立的企业法人，按照国家有关法律、法规，实行独立核算、自主经营。热网的建设，可以从热源厂收购，或者重建，最终完全采用多热源联网供热的技术建立完整的热网。

### 6、健全热价机制，在热源充足的前提下实行竞价上网

源网分开以后最大挑战也许就是对未来用户热价承受能力，热价过高，用户承受不了，用热量减少；热价过低，企业收益减少甚至亏损。适当的热价既有利于热网的有效利用和扩展，又能促进热力市场的有效竞争。合理健全的热价机制是逐步实行源网分开工作的关键，要严格遵循三级价格机制，打破原有的确定热源厂热的出厂价格方法，在热源充足的前提下实行竞价上网机制，公平竞争，形成市场价格。热力监管部门要严把二级市场价格、和三级市场价格的制定，执行价格听证制度，确保热价制定的合理，保障广大供热服务公司和热用户的权益。

### 7、将实施热计量收费，贯穿于源网分开之中

计量收费可以说是贯穿于整个源网分开的供热体系，热量出厂后，热源厂将热出售给热网公司，其输送的热量多少需要采用计量措施进行准确的计量。同理在热网公司与供热服务公司、供热服务公司与热用户之间的热费结算也需要设置标准的热计量装置。只有开展热计量，源网分开的各主体之间的结算才能准确的进行。

### 8、完善热力监管体系，建立监管机构

源网分开后，市场经济体制也随之建立，热力行业所有制形式多样化，投资主体和市场竞争主体出现多元化，将会出现大量的独立的供热行业的相关公司。这种形势要求建立一整套规范的竞争规则和交易规则，以保证热力市场上各方投资者利益。同时要创造公平竞争的环境，这就必然要求政府建立监管机构，从宏观上指导热力产业的发展方向，使热力产业和其他产业协调发展，建立和维护市场秩序，创造公平竞争的环境，促进资源优化配置，制定行业规章制度，保护公众利益。只有如此才能促进热力产业的长期、健康、稳定发展。

### 9、研究制订有关配套政策，积极探索、吸取经验

规范的政策法规是培育、发展热力事业，促进有效竞争的保证。尽快研究制订热力市场的运营规则和监管办法，以及源网分开后实行三级式热价的价格政策。应从多种途径探索推进热力市场建设的方法，选择若干热网条件比较好的地区积极探索，制定有关边界条件，尽快取得经验。

9、

## 第五章 城市供热评价理论方法及体系

### 5.1 城市供热技术评价理论与方法

#### 5.1.1 城市供热技术评价基本理论

##### 1、城市供热技术评价的含义

城市供热技术评价实质上是使供热系统选型和方案比较工作具有科学的依据。是以供热投资项目中所采用的供热技术措施为评价对象，如技术、工艺路线、生产设备，生产组织方式等。评价的目的是考核供热技术措施能否实现系统的整体功能以及实现的程度。

##### 2. 城市供热技术评价的内容

评价内容包括技术的先进性、技术的成熟性、技术的前景等方面内容。其中，技术的先进性可以用供热技术的各种能耗指标、能源利用率、热效率、热计量的实施程度以及技术的舒适性、可靠性、安全性等指标来进行具体的衡量。

###### (1) 技术的可靠性

进行方案比较，首先要保证在技术上成熟可靠，按照国家的有关规定，没有经过相当一级管理部门鉴定认定的产品技术不能使用在工程上，国家定期对淘汰产品与设备和新技术、新产品发布公告，这是选型和进行方案比较的主要技术依据，必须坚持成熟的技术、可靠的产品。

###### (2) 工艺的先进性

选择的方案与设备，在工艺上应该具有先进的水平，要求产品在一段时间内能保持领先的水平。

###### (3) 用户的实用性

选择方案与设备时，不仅要对其技术指标进行综合的比较，还要对用户的实际情况进行分析。

###### (4) 社会和环境接受的可能性

技术评价还包括技术方案的社会效益和环境效益。

##### 3、城市供热技术评价的方法

城市供热技术评价的方法有多种，有定性评价和定量评价方法；根据技术指标的计算方法进行的技术指标评价方法，该方法主要是按照技术指标的内涵和准则来评价城市供热技术，如：热效率评价方法、舒适性指标评价法、供热系统可靠性评价指标法等。针对供热计量技术还有相应的计量技术评价方法。主要有：温度控制技术先进性、热计量的产品的计量性能、产品质量可靠性和精度；户内系统的适



用性等等。

#### 4、城市供热技术评价的步骤

城市供热技术评价一般分成三个阶段：

(1) 收集资料,了解供热产品设备的各项技术性能、指标,掌握同类型供热产品的情况,以及该供热设备目前在国内外的技术水平和先进性,及时掌握发展趋势。

(2) 分析计算对比阶段,将调查了解到的资料,进行全面分析,经过工艺计算、流程布置,试选出若干个供热技术方案,然后进行综合比较,着重从工艺流程、技术性能、能耗指标以及用户实用性等方面进行多方案的供热技术论证。

(3) 供热技术方案确定阶段,根据技术比较的结果确定出供热技术上成熟可靠、工艺流程先进、能耗低、效益好的供热技术方案。

### 5.1.2 城市供热技术评价指标体系

#### 1、建筑物耗热量指标和采暖设计热负荷

供热系统的目的是向建筑物供给热量以抵消建筑物的热量散失。建筑物的能耗水平是进行供热系统比较的最基础数据,不同的建筑能耗水平决定了系统的规模和运行能耗,同时影响初投资和运行费用,也极大的影响供热系统的污染物排放。建筑物耗热量指标和采暖设计热负荷是评价建筑物能耗水平的两个重要指标,也是选择比较供热模式的重要指标。

建筑物耗热量指标  $q_h$ :在采暖期室外平均温度条件下,为保持室内计算温度,单位建筑面积在单位时间内消耗的、需由室内采暖设备供给的热量。建筑物耗热量指标是采暖期内建筑物的平均耗热量,主要用于供热系统能耗分析,与供热系统运行费用相关。

采暖设计热负荷指标  $q_d$ :在采暖室外计算温度条件下,为保持室内计算温度,单位建筑面积在单位时间内需由供热系统(锅炉房或其它供热设施)供给的热量。建筑物耗热量指标和采暖设计热负荷指标之间的关系如:

$$q_d = \frac{t_n - t_w}{t_n - t_e} q_h \quad (5.1)$$

式中:  $t_n$ ——采暖期室内计算温度(°C),一般住宅建筑,取 16°C;

$t_w$ ——采暖期室外计算温度(°C);

$t_e$ ——采暖期室外平均温度(°C)。

采暖设计热负荷  $Q_d$ :在采暖室外计算温度条件下,为保持室内计算温度,供热系统在单位时间内供给的热量。采暖设计热负荷是采暖期内建筑物的最大耗热量(不保证小时除外),主要用于确定系统规模,设计和选择供热系统热源设备,与供热系统初投资相关。已知建筑物面积和采暖设计热负荷指标就可采暖设计热负荷:

$$Q_0 = F \times q_0 \times 10^{-3}$$

式中:  $F$ ——建筑面积 ( $m^2$ )。

## 2、供热系统能耗指标

### (1)一次能源利用率

一次能源利用率 (PER) 是反映设备消耗原始能源利用情况的参数, 同时能间接地反映出设备能耗对环境的影响, 是考察设备生命周期中环境影响的重要参数之一。

### (2)热效率<sup>42</sup>

对于各种供热模式, 当以评价能效为目的时, 以往常采用热效率, 即焓效率, 在热平衡中, 热效率为被有效利用的能量与消耗的能量在数量上的比值。例如, 利用电炉取暖, 单从能量的数量上看, 它的转换效率可达到 100%, 从能量的质量上看, 电能是高级能, 而供热只需要低质热能, 所以用能是不合理的。它没有顾及能量在质量上的差别, 往往不能反映装置的完善程度。在热能的用户中, 不同采暖形式对热能的质量有不同的要求, 要使热能得到合理利用, 就必须根据用户的需要, 按质提供热能, 不仅在数量上满足, 而且在质量上要相匹配, 从而达到热尽其用。如果把高质量的热能用于只需低质量热能的场合, 必然是“大材小用”, 造成了不必要的浪费。

### (3)焓效率

为了衡量能量的可用性, 提出以“可用能”或“焓”(Exergy) (读音用) 作为衡量能量质量的物理量。它定义为: 在一定环境条件下, 通过一系列变化 (可逆过程), 最终达到与环境处于平衡时, 所能做出的最大功。或者说, 某种能量在理论上能够可逆地转换为功的最大数量, 即“焓”是指能量中可用能那部分。能量可分成“可用能”和“不可用能”两部分, 将可用能称为焓, 不可用能称为熵 (读音无), 能量为焓和熵之和。

由此, 我们引入 焓效率, 以便从质和量的方面全面的反映能量的利用情况。与热平衡不同的是, 焓平衡是建立在物料平衡和能平衡的基础之上的, 它在考虑能量数量平衡的同时, 还考虑能量的质量。实际过程均为不可逆过程, 将产生一部分焓损失, 即不能利用的部分  $Q_0$  称为无效能 (Anergy), 焓效率远低于热效率就是因为内部焓损失造成的。按热平衡的结果计算对应项的焓值, 收支将不全平衡, 只有加上各项内部不可逆焓损失才能保持平衡。由焓平衡得出的焓效率能从本质上全面地反映能量转换和利用的实际效果。因此, 从综合热能的数量和质量的概念出发, 用“焓效率”来表示系统中进行的能量转换过程的热力学完善程度。

## 3、供热计量技术衡量指标

随着对供热系统节能研究的深入, 热计量与温度控制已成为当前供热行业关注与研究的热点。供热技术的先进性也更加明显的依赖于供热计量的实施程度, 在评

<sup>42</sup> 常绿. 采暖供热方式的综合比较及节能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.6, 28-29

价供热系统的先进性时,可将供热计量技术作为评价指标,供热计量实施的越全面说明该供热技术就越先进。供热计量方式主要有楼栋热表计量、户用热表计量、热分配表计量、温度法热计量和热水表计量几种。

上述5种方式都能用于计算用户耗热,但准确性、易用性和经济性却存在差异。因此需要根据热计量的实施程度来判断供热方案的优劣。

#### 4、供热环境的舒适性指标

采暖与空调系统的功能通常是为人们提供一个舒适的环境。所以舒适性可列为供热技术评价的一个指标。舒适性是人在温和的环境中的热感觉。当感觉到不冷也不热时,这个环境就是舒适的环境,当感觉到热或冷时,这个环境就是不舒适的环境。在国际标准中,用“预测平均评定指数PVM”来表示环境的舒适性程度。

#### 5、供热系统的可靠性

可靠性指标包括供热系统可靠性综合评价指标和供热系统可靠性年评价指标。

我国学者根据前苏联提出的供热系统功能质量指标判定系统可靠性的思想,以全年总供热量作为系统的功能质量指标,定义供热系统可靠性综合评价指标为实际系统的功能质量指标与理想系统的功能质量指标的比值。

供热系统可靠性年评价指标提出供热系统可靠性年评价指标定义为供热系统整个采暖期实际供热量的数学期望与全年(供热期)理想状态供热量的比值。

#### 6、供热系统的安全性指标

供热系统的安全性主要考虑系统是否自我保护功能齐全,自动化程度;保护装置是否齐全;一旦有问题产生,机器是否会自动报警停机;系统是否易产生爆炸、环境污染、气体中毒等危害性事故的一些有关安全性的指标。

#### 7、供热技术的成熟性

根据技术经济学的理论,可将供热技术发展的生命周期划分四个阶段:成长期、发展期、成熟期、衰退期。

成长期:新技术刚刚产生,还没有被人们认识,正处于生长阶段。新技术的各项性能在实践中会不断改进。在这一阶段新技术可能夭折,也可能步入发展期。

发展期:新技术已被人们认可,逐渐接受,技术个别环节的不足被发现并得到改进,而且发展速度迅猛。

成熟期:新技术被普遍接受,是生命力最旺盛的阶段,各项技术经济指标在同类技术中最好。

衰退期:出现更新的替代技术,原技术已经落后,各项技术经济指标处于劣势,逐渐将被淘汰。

#### 8. 供热技术的前景

供热技术前景主要考虑该种技术是否可以取得长足性的发展,是否已经积累了大量的经验,是否拥有大量的技术人员等为技术将来的发展提供强有力的支持;是

否可以得到政府及国家政策的大力支持；是否可以满足居民的需要等方面技术前景预测的因素。

### 5.1.3 城市供热技术评价方法

城市供热技术评价的方法很多，下面主要阐述技术指标评价方法中的炯效率指标、舒适性指标、可靠性评价指标等的计算方法。由计算方法并根据相应的准则进行技术评价。

#### 5.1.3.1 炯效率指标评价方法

炯效率是指能量转换系统或设备，在进行转换过程中，被利用或收益的炯  $E_{yx}$  与支付或耗费的炯  $E_{xp}$  之比，用  $\eta_e$  表示。即  $\eta_e = E_{yx} / E_{xp}$ 。炯效率越接近 1，表示设备或系统的热力学完善程度越好。其中  $E_y = (H - H_0) - T_0(S - S_0)$ ； $H$ 、 $S$  为一定状态下流动体系工质的焓和熵值； $H_0$ 、 $S_0$  为环境状态下流动体系工质的焓和熵值，此式为计算一定状态下流动体系工质的炯的基本表示式。

从能量守恒的角度来看，能量的收支应保持平衡。但炯只是能量中的可用能部分，它的收支一般是不平衡的，在实际的转换过程中，一部分可用能将转变为不可用能，炯将减少，称为炯损失。炯损失可分为外部炯损失和内部炯损失，外部炯损失是由于炯未被利用而造成的损失，相当于能量平衡中的能量损失项所对应的炯损失，也叫第一类炯损失。内部炯损失是由于过程不可逆造成的炯损失，它不改变能量数量，只是降低能量的质量，使可用能转变为不可用能(炯)，这种损失项在能量平衡中往往没有反映，也称第二类炯损失。

当考虑系统内部不可逆炯损失及外部炯损失时，支付炯中需扣除这些炯损失之和才为收益炯。因此，炯效率为

$$\eta_e = \frac{E_{yx} - \sum I_i}{E_{xp}} = 1 - \frac{\sum I_i}{E_{xp}} = 1 - \sum \xi_i \quad (5.2)$$

式中：

$$\xi_i = \frac{\sum I_i}{E_{xp}} \text{——局部炯损失率}$$

当只考虑内部不可逆炯损失时，它的炯效率将大于包括外部炯损失时的炯效率。这种炯效率能够反映装置的热力学完善程度。此时的炯损失已转变为炯，因此它的炯效率可表示为

$$\eta_e = 1 - \frac{An}{E_{xp}} = 1 - \frac{T_0 \Delta S}{E_{xp}} \quad (5.3)$$

烟效率与热效率有本质的不同。烟效率是以烟为基准，各种不同形式的能量的烟是等价的，而热效率只计及能量的数量，不管能量品位的高低。但它与烟效率 $\eta_c$ ，有一定的内在联系。现以动力循环为例加以说明，循环的热效率为循环做出的有效功与从热源吸取的热量之比，即

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} \quad (5.4)$$

而烟效率为收益烟(即为净功 $W$ )与热量烟之比，即

$$\eta_c = \frac{W}{E_{s,Q}} \quad (5.5)$$

因此热效率可表示为

$$\eta_t = \frac{W}{Q_1} = \frac{E_{s,Q}}{W} \frac{W}{E_{s,Q}} = \lambda_c \eta_c \quad (5.6)$$

式中 $\lambda_c$ 为热能的能及，即为卡诺因子。

对可逆过程，内部不可逆烟损失为零， $\eta_c=100\%$ ，则最高效率等于卡诺循环的效率。装置的不可逆程度越大， $\eta_c$ 越小，则热效率离卡诺效率越远。烟效率 $\eta_c$ 可以反映整个热能转换装置及其组成设备的完善性，也便于对不同供热形式之间进行性能比较。

### 5.1.3.2 舒适性指标评价方法

#### 1、人体辐射热损失与舒适感<sup>[3]</sup>

人体达到热舒适的基本条件是保持体内热平衡，即

$$Q_0 - Q_c - Q_r - Q_e - Q_w - Q_E \pm \Delta Q = 0 \quad (5.7)$$

式中 $Q_0$ 为人体发热量，与劳动强度有关； $Q_c$ 、 $Q_r$ 、 $Q_e$ 分别为人体与环境间以对流和辐射换热方式散发的热量和汗液蒸发所消耗的热量； $Q_w$ 和 $Q_e$ 分别为用于做功和维持生理过程而消耗的热量； $\Delta Q$ 为人体过剩或缺的热量。显然，在上式中使 $\Delta Q=0$ 是保证人体热舒适的首要条件，不过它并不是充分条件。原因是：人体与周围环境的各种热交换之间，可能存在许多不同失热和得热量的组合恰好使 $\Delta Q=0$ ，但只有使人体按正常比例散热的热平衡才是舒适的。所谓正常比例，是指对流换热量 $Q_c$ 占总散热量的25%~30%，辐射散热量 $Q_r$ 约占45%~50%，呼吸和无感觉蒸散发热量 $Q_e$ 占25%~30%。 $Q_c$ 、 $Q_r$ 、 $Q_e$ 则与环境因素有关。当人体周围风速很低时， $Q_c$ 和 $Q_e$ 便明显减少，辐射换热量 $Q_r$ 则相对增加。实际上，与温度较低的围护结构以辐射的方式进行热交换时，可将人体视作黑体，此时辐射换热量 $Q_r$ 为

$$Q_r = \epsilon \sigma A_{gr} [(t_a + 273.15)^4 - (t_{MKT} + 273.15)^4] \quad (5.8)$$

<sup>[3]</sup> 亢燕铭. 地板辐射供暖的节能效应分析[J]. 暖通空调, 2001, (04), 4-5

式中  $\varepsilon$  为环境表面发射率,  $\sigma$  为黑体辐射常数,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ,  $A_{\text{eff}}$  为着衣人体的有效辐射面积, 一般而言  $A_{\text{eff}} = 0.696 \text{ m}^2$ ,  $A_{\text{eff}} = 0.721 \text{ m}^2$ ,  $t_{\text{cl}}$  为衣服平均表面温度, 由服装热阻、室内表面温度和室内气温决定;  $t_{\text{MRT}}$  为平均辐射温度, 约等于室内各表面温度的加权平均值。应该注意, 上式中  $Q_r$  与  $t_{\text{cl}}$  和  $t_{\text{MRT}}$  的四次方差值成比例。随后将会看到, 当室内气温在很小的范围内变化时,  $t_{\text{cl}}$  几乎不发生改变。因此, 可以认为  $Q_r$  的变化对  $t_{\text{MRT}}$  有重要影响, 并进而影响到人体的舒适感。

## 2、不同供热模式的预测平均评定指数 (PVM) 值比较

在对人体衣着情况和活动量与热环境因素做了综合考虑后, Fanger 利用人体体内平衡和辐射换热量这两个公式, 得到了预测反应 PVM 值 (即所希望的热感觉值) 的计算方法。根据这一方法求出的 PVM 值的取值范围在 1~7 之间, 而当 PVM=3.5~4.5 时, 将有 90% 以上的人对热环境感到满意, 即所谓舒适区域。在已知人体衣着情况、活动量和室内热环境物理量后, 可用数值方法求出相应状态下的人体热感觉 PVM 值。

## 3、运用模糊相似原理进行舒适性指标评价

模糊相似选择原理主要是解决一些具有众多相似因素的事物按一定要求进行排序的数学方法。

设被考察对象数为  $m$ , 各对象为  $u_1, u_2, u_3, \dots$ , 相似因子数为  $m$ , 根据各对象相似因子的指标值 (特征值) 可建立优先关系的模糊矩阵;  $r_{ij}$  为  $u_i$  与  $u_j$  的优先选择比:

$$\begin{cases} 0 < r_{ij} \leq 1 & i \neq j \\ r_{ij} = 0 & i = j \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.9)$$

$$\text{且 } r_{ij} + r_{ji} = 1$$

再设理想对象 (或最不理想对象) 为  $u_{n+1}$ , 对于某一固定相似因子  $K$ , 对象  $u_i$  与  $u_j$  对于理想对象  $u_{n+1}$  的相似程度的优先选择比为:

$$r_{ji}^{(K)} = \begin{cases} \frac{E_{ij}}{E_{ki} + E_{kj}} & \frac{X_{ki}}{X_{kj}} \\ 0 & \frac{X_{ki}}{X_{kj}} \end{cases} \quad (5.10)$$

式中  $E_{ki} = X_{ki} - X_{k(n+1)}$ ,  $X_{ki}$  是  $u_i$  对应于  $K$  相似因子的特征值,  $X_{k(n+1)}$  是理想对象对应于  $K$  相似因子的理想特征值,  $K=1, 2, \dots, m$ 。

不同的  $K$  值, 对不同的  $i, j$ , 就可以求出相应的  $r_{ij}$  值, 从而得到与相似因子相对应的  $m$  个模糊相关矩阵  $R^{(1)}, R^{(2)}, \dots, R^{(m)}$  即

$$R^{(K)} = \begin{pmatrix} 0 & r_{12}^{(K)} & r_{13}^{(K)} & \dots & r_{1n}^{(K)} \\ r_{21}^{(K)} & 0 & r_{23}^{(K)} & \dots & r_{2n}^{(K)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1}^{(K)} & r_{n2}^{(K)} & r_{n3}^{(K)} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

根据  $M$  个模糊相关矩阵, 就可以对被考察对象的优先次序进行排队。

由水平截集 A 确定各对象与理想对象的相似次序, 按模糊相关矩阵中出现的数  
据, 由大到小先定 A 值, 规定:

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1 & r_{ij}^{(k)} \geq \lambda \\ 0 & r_{ij}^{(k)} < \lambda \end{cases} \quad (5.11)$$

对于 K 个相似因子, 在模糊相关矩阵中, A 值下降时, 首先(除对角元素外)达到  
全行为 1 的一行, 若该行为第 i 行, 则将对应的 ui 对象编号为 1 号, 其相似程度最佳。  
然后在矩阵及  $R^{(k)}$  中删去第 i 行及对应的 i 列。重复上述运算方法, 并以此类推,  
直到各对象都编上号为止。

用同样的方法, 计算出其它相似因子优先关系矩阵与各对象对理想对象相似程  
度的编号, 将各对象对应于相似因子的相似性编号连乘, 比较乘积大小, 积越小则  
此对象与理想对象的相似程度越高。这样, 就可以全面得到各对象的优劣次序。

### 5.1.3.3 可靠性指标评价方法

#### 1、供热系统可靠性综合评价指标<sup>34</sup>

##### (1) 可靠性综合评价指标

$$R_{st} = 1 - C_{st} \frac{\sum_{j=1}^n \Delta\phi_j \omega_j}{\phi_0 \sum_{j=1}^n \omega_j} (1 - e^{-\sum_{j=1}^n \omega_j t}) \quad (5.12)$$

$$C_{st} = \frac{\sum_{k=1}^m (T_{i,d} - T_{o,k}) F_k t_k}{\sum_{k=1}^m (T_{i,d} - T_{o,k}) t_k} \quad (5.13)$$

式中:

$T_{i,d}$  —— 室内空气设计温度, K;

$T_{o,k}$  —— 某地区第 k (k=1, 2, ……m) 月份室外平均温度, K;

$F_k$  —— 第 k 月份的故障次数占年总故障次数的份额

$t_k$  —— 第 k 月份的运行时间, h;

$C_{st}$  —— 故障频谱系数

显然, 由于  $F_k < 1$ ,  $\sum_{k=1}^m F_k = 1$ , 所以  $C_{st} < 1$ , 因此  $R_{st} < R_{st}$

该式确定供热系统是否处于事故状态的标准与公式 5.12 基本相同。另外, 得出  
的故障流参数与前苏联的结果非常接近。供热系统元部件故障率的研究在我国一直  
处于空白状态, 这对研究供热系统可靠性无疑是一个障碍。公式 5.13 是在公式 5.12

<sup>34</sup> 陈永明. 供热系统可靠性指标探析[J]. 煤气与热力. 2003, (7), 400-402

基础上发展而来的,但与公式 5.12 又有很大的不同。一是系统的故障对时间的分布不同,  $R_{xt}$  指标认为这一概率只发生在室外空气计算温度下,而  $R_{zt}$  指标则认为元部件发生故障与时间有关系,即在不同月份发生故障的概率是不同的。二是对系统功能质量特征函数的定义不同,供热不足量  $\Delta \phi_j$  表示元部件在室外空气计算温度下故障时所造成的单位时间内的供热不足量,用“小时热负荷”来评价。 $\Delta \phi_j(t)$  表示元部件故障所造成的整个系统运行期的供热不足量,实际上是以各月份供热不足量的和来表示运行期内的供热不足量,用“年热负荷”来评价的。

### (2) 供热系统可靠性年评价指标

供热系统可靠性年评价指标为供热系统整个采暖期实际供热量的数学期望与全年(供热期)理想状态供热量的比值。

$$R_y = 1 - \frac{1}{\phi_m} \sum_{k=1}^m (1 - e^{-\sum_{j=1}^n \omega_{kj} t_k}) \phi_{\alpha,k} \sum_{j=1}^n \eta_{kj} \frac{\omega_{kj}}{\sum_{j=1}^n \omega_{kj}} \quad (5.14)$$

$$\eta_{kj} = \frac{\Delta \phi_{kj}}{\phi_{\alpha,k}}$$

式中:

$\phi_{\alpha,k}$  ——第  $k$  ( $k=1, 2, \dots, m$ ) 月份供热系统的理论供热量, GJ

$\phi_m$  ——供热系统整个供热期的理想状态的供热量, GJ

$\omega_{kj}$  ——第  $k$  月份第  $j$  个元部件的月事故流参数, ( $j=1, 2, \dots, n$ )

$t_k$  ——系统在第  $k$  月份运行总时间, h;

$\Delta \phi_{kj}$  ——第  $k$  月份第  $j$  个元部件的月事故性故障造成的系统供热不足量 GJ。

将上式简化,得

$$R_y = 1 - \sum_{k=1}^m (1 - e^{-\sum_{j=1}^n \omega_{kj} t_k}) A_k \sum_{j=1}^n \eta_{kj} \frac{\omega_{kj}}{\sum_{j=1}^n \omega_{kj}} \quad (5.15)$$

$$A_k = \frac{(T_{i,d} - T_{\alpha,k}) U_k}{\sum_{k=1}^m (T_{i,d} - t_{\alpha,d}) U_k}$$

式中:

$A_k$  ——供热系统在理想状态下第  $k$  月份系统的供热量占系统全年供热量的份额,

简称为月供热份额

$T_{i,d}$  ——室内空气设计温度, K;

$t_{\alpha,d}$  ——室外空气设计温度, K;



$T_{o,K}$ ——某地区第 K 月份室外平均温度, K

公式 5.14, 5.15 认为只有那些元部件的故障修复时间超过供热系统允许检修时间的事故性故障才导致供热系统处于事故(或失效)状态, 充分考虑了元部件故障的可维修性和热用户室内温度状态两方面因素。公式 5.14, 5.15 将事故性故障资料按月进行处理, 得出的是“月事故流参数”, 认为在采暖期不同月份运行时间  $t_k$  内事故流参数分别保持为常数, 反映了在采暖期不同月份运行时间内事故流故障次数的差异, 继续发展了故障频谱的概念。另外, 用“月不可修复”假设代替“年不可修复”假设, 使其更接近供热系统的实际情况。同时, 还提出热网可靠性与维修性相结合的思想, 将供热系统可靠性的研究推上了一个新的高度。

### 5.1.3.4 供热计量技术的评价方法

根据供热计量技术的优劣性及其实施程度来判断其所属的供热方案的优劣。评判供热计量技术的优劣可以从以下几方面考虑:

#### 1、温度控制

温控是计量收费的前提, 温控的目的不仅仅是热计量, 直接目的是要提高室内舒适度, 提高热网供热质量, 以使热用户得到更高品质的热量需求。热用户作为直接的消费者, 希望得到质优价廉的商品, 一方面要对供热品质提出更高的要求, 另一方面也会切身关心能耗情况。如果没有恒温调温技术, 用户就缺少实现节能的积极性, 只有当用户能主动调节和控制室内温度, 达到节能的目的, 才能更大的促使用户按热交费。

#### 2、计量产品

热计量的产品是发挥计量性能、实现计量收费的先决条件。为了实现传统集中供热形式的热计量改造, 就需要增加一系列温度、流量、压力控制设备与热量计量仪表, 将传统的稳态供热系统改造成可计量的动态控制的系统。因此开发出来的计量与温控产品, 既要质量可靠, 精度达到要求, 又要价格适中, 经济有效。

#### 3、户内系统

对于集中供热采暖系统, 适合热计量的户内采暖系统形式有多种, 如传统的水平式采暖系统及垂直双管系统和适应户表计量的共用立管的独立系统形式。采暖系统的不同决定了其进行热计量方式的不同, 要综合考虑经济技术要素, 来对多种采暖系统进行热计量, 力求在舒适、节能、可调性的前提下, 对进行热量分摊提供最大方便。

#### 4、经济造价

在对不同计量方式进行比较分析时, 经济性是衡量热计量方案的重要因素, 在分析经济问题时, 成本、效益的比较需要我们运用工程经济学对不同计量方式按实际工程编制概算, 对管道敷设、产品价格都应计入预算, 使之明朗化。当然, 在分析经济问题时, 需要对新建建筑、传统建筑以及房屋的类型加以区别对待。

### 5、抄表方式

抄表方式的评定要考虑到用户领域的私密性，如何在不影响用户正常生活下对用热量进行抄录是十分必要的。

### 6、管道安装

要在具体施工中考虑热用户室内美观的问题，能够对建筑空间占地最小，环境影响最小，以及对热用户的干扰最小的供热计量方案要优于其他方案。一般能将采暖立管和户用热表安装在户外的管井内最值得提倡的。

### 7、收费模式

采暖收费比水费，电费复杂得多，不能直接按热表计数计费，进行热价或耗热量修正的公平合理的计量方案占据优势。

## 5.1.4 城市供热技术评价存在的问题

### 1、评价结果易与现实出现差异

由于技术评价理论和实践的产生的发展的时间并不长，技术评价本身就存在一些矛盾和困难。技术评价存在认识论和价值观上的两个悖论。在认识论上的悖论主要包括有限理性和隐含知识两个方面。就城市供热技术评价来说，其目的是发展更为全面的供热技术，但决策者不可能知道所有可选方案，而且对各方案的可能后果无法做出精确的估计。问题的复杂性、人们的处理信息能力、决策的时间限制、空间约束下城市供热技术评价常常无法得出确定的结论。因此真正公正、客观、准确地技术评价并不存在。

### 2、常常拘泥于技术本身的评价

目前城市供热技术评价最普遍问题是保持和技术发展一致的脚步。目前技术评价活动主要对硬技术或物质技术的评价，对软技术的重视不够。在现实中，很少有“完全的供热技术评价”关注于发现供热技术的所有的社会影响。更多局限简单的技术本身的评价是常见的，城市供热技术评价应该更多的覆盖经济、社会、心理、伦理和合法等维度。

### 3、评价过程复杂

供热技术评价的评价指标涉及热效率、可靠性、舒适性等专业性较强的指标，这些指标在评定过程当中计算与定量过程要有专业人士的参与，同时供热系统的复杂性及供热形式的多样性加大了技术评价的难度。

### 4、缺乏过程管理与控制的理论研究与实践

目前城市供热技术评价活动存在的另一个较严重的缺陷就是缺乏过程管理与控制的理论研究和实践。

### 5.1.5 城市供热技术评价理论体系构建

以上对城市供热技术评价理论进行了综述,具体研究了城市供热技术评价的基本理论,供热技术评价的相关指标,重点阐述了城市供热技术评价的方法,将这些理论和方法加以综合,构成了城市供热评价的理论体系,具体内容见图 5.1。

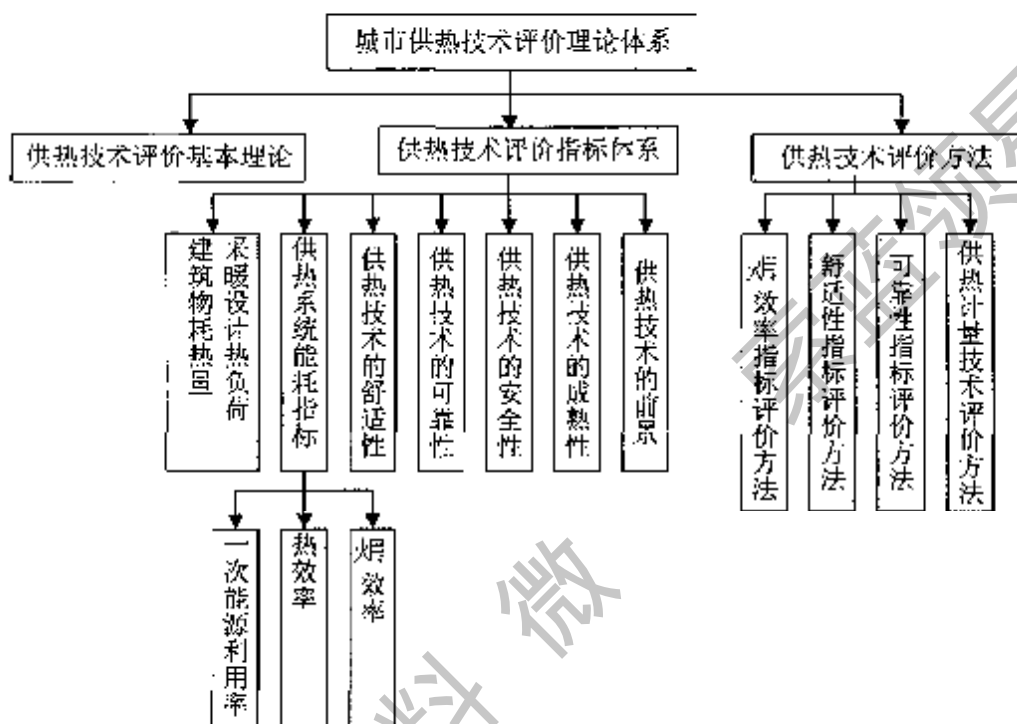


图 5.1 城市供热技术评价理论体系图

## 5.2 城市供热经济评价理论与方法

### 5.2.1 技术经济评价理论与方法

#### 5.2.1.1 技术经济评价理论

##### 1、技术经济评价的定义及内容

技术经济评价是以技术和其他投入要素对经济的发展与增长作为评价对象,并用一组经济指标作出定量的描述。技术的先进性将直接表现在产品的功能、产量和结构工艺方面,并最终反映到产品的成本、费用和收益上,即经济合理性上。

技术经济评价通常包括财务评价和国民经济评价。

##### (1) 财务评价

财务评价是指遵循现行财税制度和规定,根据现行市场价格,计算项目在财务上的收入和支出,并独立地测算一个项目投入的资金所能带来的利润,不考虑广泛的社会经济效益。

财务评价一般包括三个部分,即进行投资获利性分析、财务清偿能力分析和资金流动性(亦称资本充裕性)分析。其主要评价指标是:投资收益率、投资利润率、投资利税率、净现值、投资回收期、借款偿还期及资产负债率、流动比率、速动比率等。上述三种分析的异同比较见表 5.1:

表 5.1 财务评价三种分析的异同

项目	盈利性分析	清偿能力分析	资金流动性分析(结构分析)
分析目的	决定项目的财务盈亏	审查项目的清偿能力	确定资金的充裕程度
考虑的时间范畴	单个年份	债务偿还期间	投资的整个过程
对资金的处理	看作资产的折旧	看作现金介入	看作自有资金、借款和残值
使用的价格	现行市场价格,在计算期内不变	现行市场价格(含通货膨胀)	不变价格
评判标准	利润率	现金盈余与短缺	债务与资产比例
时间因素	静态分析不折现,动态分析要折现	不需折现	折现值

## (2) 国民经济评价

国民经济评价也称国民经济分析,是按照资源合理配置原则,从国家整体角度考察项目的效益和费用,用影子价格、影子工资、影子汇率和社会折现率等国家经济参数分析、计算项目对国民经济的净贡献,评价项目的经济合理性。

### 2、技术经济评价的基本原理

经济评价的基本理论是以技术经济分析理论为基础的。技术经济分析的理论主要包括:经济效益理论;技术进步理论;技术选择理论;技术转移理论;技术经济比较理论;技术经济评价理论;技术经济决策理论;资金时间价值理论。在此基础上,形成技术经济分析的八大基本原理。具体如下:<sup>25</sup>

#### (1) 供求动态平衡原理

保持供求动态平衡是国民经济持续、稳定,协调发展的关键,而供给和需求间的动态关系是短缺。我国面临的是供给不足型短缺,它具有长期性。消除短缺,保持供求动态平衡的有效出路只能是提高投资生产力。

#### (2) 和谐原理

技术经济分析理论来源于实践又服务于实践,不仅要达到理论与实践的和谐,而且要遵照和谐美的原理,保持技术、经济、社会、生态和文化之间的大协调。大范围、多角度、全方位、多层次、系统综合辩证发展地考察和研究技术经济问题,进行多维合思维,以系统的综合发展观把握人类同自然界的相互关系。并以此为基

<sup>25</sup> 曹祥春. 哈热集中供热扩建项目技术经济评价[D]. 华北电力大学, 2008.5: 20-23

础实现技术经济分析各方面、各层次、各环节的协调与和谐，争取最大的宏观效益，最长久的物质利益，最协调的综合效益。

### (3) 综合效益原理

由技术经济分析的和谐原理或协调原理自然引发出综合效益原则。而且，随着人类对客观世界认识的进化，考察处理技术经济问题仅仅考虑经济效益显然与社会发展、人类进步不“协调”、不“和谐”，取而代之的是经济效益、生态效益和社会效益的交集，即综合效益。当然，综合效益有总体与局部、宏观与微观、动态与静态之分。但是无论怎样分法，它本质上是投入与产出之比值。

### (4) 资源最优配置与要素替代原理

为提高综合效益，就要把有限资源进行最优地，合理利用。用有限资源满足人类无限而递增的要求，就要求人们对资源开发利用的布局、规模、结构和次序进行最优筹划，巧妙组合，综合利用，以取得增产和节约。资源既包括自然资源，又包括社会资源；既包括技术资源，又包括经济资源。资源有限，但种类繁多，性能各异，以此为基础生产满足社会递增的要求和提供优质服务，必须发生资源间即生产要素的替代问题。为此要运用生产要素替代弹性方法，通过调整要素价格改变生产要素投入的组合比例，以实现理想的经济增长。

### (5) 优化原理

在此所说的优化是指人为优化，而且人为优化要服务于人、服务于自然优化。技术经济分析应处理好二者的关系。具体来说，要处理好局部优化和总体优化，静态优化和动态优化、单目标优化和多目标优化、有条件优化和无条件优化、最优化和次优化等的辩证关系。

### (6) 可比性与标准化原理

根据技术经济分析的要求，可比性具体体现为：①消耗费用上的可比；②价格上的可比；③时间上的可比等。标准化原理应体现多快好省原则，其标准主要分为时间型、价格型、效益型三类，以满足技术经济的微观与宏观，静态与动态，相对与绝对，单项与综合比较选优，分析评价的要求。

### (7) 时间效应原理

技术经济分析所涉及到的各因素、各环节都随时间变化而变化，因此，不仅要重视资金的时间价值，而且要了解技术经济随时间变化而呈现的“S”曲线规律，把握技术和经济所处“S”曲线上的位置及特点，以确定相应的发展战略和具体措施。

### (8) 层次原理

层次是系统的基础特征之一。技术经济分析作为一个大系统，是由技术子系统、经济子系统为主，社会子系统、生态子系统、文化子系统为辅而构成的。层次划分既取决于系统本身结构及其特点，又取决于人们的认识能力和决策水平。目前，我国技术处于多层次和多文化状态；我国经济以多层次和多形式并存，而且，随着社

会的发展,技术经济的层次也要向纵延伸,向横向拓广。

### 5.2.1.2 技术经济评价方法

进行技术经济分析,就是对不同技术方案的经济效果(效益)进行计算、分析、评价,并在多种方案的比较中选择最优方案;也就是对技术方案的预期效果进行分析,作为选择方案和进行决策的依据。技术经济分析方法有多种,按是否考虑时间因素则可分为静态分析法和动态分析法。

#### 1、静态分析法

静态分析方法是一种没有考虑资金时间价值的技术经济分析方法,简单、直观易行,但缺点是没有考虑资金的时间价值,计算的回收期与实际回收期有差距,这个差距将给经济评价结果带来误差,从而会给决策带来一定的风险。因此静态分析方法的应用有很大的局限性,一般只有在两个方案比较优选时采用或仅进行粗略分析时使用,而在详细分析时采用的都是动态分析方法。

#### 2、动态分析方法

为了正确评价各技术方案的经济效果,必须考虑发生在不同时间点上的资金的时间价值,也就是说把不同时间上的资金折算到同一时间点上的资金额,然后在相同时间的基础上进行比较,这也是方案比较的重要条件。因此为了使技术经济比较计算更合理、客观,在建立目标评价函数时必须考虑资金的时间价值,这也是更符合资金的运动规律。动态经济分析方法就是一种考虑了资金的时间价值的技术经济分析方法,主要有投资回收期法、现值法、费用年值法、内部收益率法等等。

### 5.2.1.3 供热中的技术经济指标<sup>26</sup>

#### 1、采暖能耗指标

供热系统能耗是评价不同供热模式的基础指标,不但直接影响供热模式的经济性,而且直接影响污染物排放量。按照前面供热模式和技术分类,消耗的能源品种主要为煤、气、电。为方便比较,考虑一次能源消耗指标时,将电力按照供电煤耗折算。对于要满足的某采暖负荷指标(有用能需求),采暖能耗的大小取决于热源效率、管网损失和不均匀调节热损失。其中,按照不同的供热模式,热源效率可以为锅炉房效率,也可以为热泵系统的 COP(供热系数),或者体现为燃气壁挂炉的燃烧效率。管网热损失主要发生在集中供热模式,包括保温热损失和漏水热损失。对于区域锅炉房集中供热,主要体现为居民小区内的庭院管网损失;对于城市热网集中供热,包括城市管网损失和进入居民小区后的庭院管网损失。不均匀调节热损失主要是由于集中供热管网缺乏合理调节措施或者用户缺乏对供热系统末端装置的调节手段而产生的。采暖能耗主要发生在供热系统的热源设备环节。对于集中供热系统,

<sup>26</sup> 康艳兵,不同采暖方式的技术经济评价分析[J].中国能源,2008,(1),16-22

也包括输配系统（主要为循环水泵）的电耗。

## 2、污染物排放指标

污染物排放指标是由于采暖能源消耗导致的污染物的排放量，主要考虑了烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub> 的排放。根据不同的供热模式污染物排放发生区域的不同，可分为直接污染和间接污染。例如，区域锅炉房，直接影响区域环境。

## 3、经济性指标

经济性指标是对供热模式及技术进行市场选择的主要指标，主要包括运行费用和初投资。在进一步对初投资进行折旧后，经济性指标最终体现综合年费用。初投资，即供热系统的建设费用，一般有 2 种估算方法，包括单位面积造价（元/m<sup>2</sup>）和单位供热能力造价（元/kW）。单位面积造价适用于与建筑物密切相关的各供热环节，如末端设备、管网、户内热源等，单位供热能力造价适用于各类热源的初投资评估。运行费用，包括能源费用、动力电费、运行管理费用、人工维修费用等。其中供热能源费用是系统运行费用的重要部分，不同的燃料差别很大。同时，不同的供热模式包含的运行费用项目也有较大差别。

### 5.2.1.4 常用的供热技术经济评价方法

目前城市供热项目选择中主要用到以下评价方法：

#### 1、年计算费用法

(1) 计算式。年计算费用  $Z$  的计算式为：

$$Z=C+E_n K=\min \quad (5.16)$$

$Z$ ——年计算费用。供热系统的年运行费用包括燃料费用、动力消耗费用、劳务工资费用、设备管道折旧费、维修费用等。

$E_n$ ——国家标准投资效果系数，它反映了国家或一个部门投资的平均效果，标准投资效果系数  $E_n$  与标准投资回收期  $N_s$ ，有如下关系： $E_n = \frac{1}{N_s}$

$K$ ——投资

计算式(5.16)中的第二项  $E_n K$  表示因占用投资  $K$  使国家资金不能产生效益的损失费用，如果投资是贷款而来，则这部份表示应支付的利息。

(2) 特点。年计算费用具有以下特点：

优点：①综合性强，意义明确。由(5.16)式可见，年计算费用  $Z$  不仅和年运行费用  $C$  有关，而且还和投资  $K$ ，标准投资效果系数  $E_n$  有关，它综合概括了运行费用和投资二个因素，比较全面地反映了技术和经济二方面的综合影响，因此可以作为供热系统经济评价的主要指标之一。②便于多种方案比较。用年计算费用法，可以对多种设计方案进行比较。③标准投资效果系数  $E_n$  比较容易确定。

缺点：没有考虑时间因素。

(3) 使用条件。使用年计算费用法对不同方案进行比较时, 要注意以下条件:

①方案使用的燃料种类相同、品质相同或相互间可以换算。②在项目的建设期内, 投入和占用全部固定资产, 建设完期后, 立即达到设计能力。③项目所占用的流动资金、每年消耗的, 生产费用和资源数相等, 或可用平均数值来代替。

## 2、单位投资

### (1) 计算式

单位投资是指每吨标准煤花费投资的大小, 其计算式为:

$$F = \frac{K}{J} = \frac{\text{投资}}{\text{年耗标准煤}} \quad (\text{元/吨标准煤}) \quad (5.17)$$

在进行供热系统节能技术经济论证时, 单位投资应低于国家标准, 目前单位投资标准一般控制在 350 元/吨标准煤以内, 但由于各地区能源情况不相同, 因此这个指标只能作为标准, 不能一律要求在控制以内, 特殊情况下大于标准数也是允许的。在不同方案进行相互比较时, 应取单位投资小的方案。

### (2) 特点

单位投资指标的综合性强, 它可以反映出各种不同节能技术改造方案的经济效益, 具有可比性, 适用于不同设计方案的比较, 同时也适用于单个设计方案的评定(与国家控制的单位投资进行比较)。

## 3、投资利润率

### (1) 计算式

投资利润率又称投资效果系数, 就是项目建成后每年所得的纯利润与项目总投资的比值。计算式为:

$$E = \frac{M}{K} \times 100\% \quad (5.18)$$

式中: E—投资利润率(或投资效果系数)%;

M—正常年每年纯利润;

K—投资;

投资利润率 E 与投资回收期 N 有如下关系:  $E = \frac{1}{N}$

### (2) 特点

投资利润率 E 反映了一次性总投资与达到设计能力正常状况下的利润之间的关系, 因此可以作为比较不同建设规模 and 不同建设项目的投资效果的评定指标。

## 4、投资回收期

### (1) 计算式

投资回收期就是项目建成投产到盈利把投资全部回收的时间, 计算式为:

$$N = \frac{K}{M} \quad (5.19)$$



式中:  $N$ —投资回收期, 年,

$K$ —投资,

$M$ —若是企业自筹资金, 指的是企业的年平均收入(利润和折旧); 若是财政拨款, 则指的是平均每年上交国家的税金、利润、固定资产占用费和基本折旧基金总和。

### (2) 特点

在作方案的经济评价时, 投资回收期如等于或小于国家和部门制订的标准回收期, 则该方案是可取的, 否则应予以否定。

用投资回收期作为评定指标时, 需要注意以下几点:

①投资回收期没有考虑资金的利息因素, 也没有考虑整个寿命期内的经济效益, 对那些收益较大而使用期短的就有利, 相反的不利, 因此具有局限性。

②供热系统的投资费用较高, 投资回收期较长, 因此仅用该指标评定难以作出全面评价, 因此投资回收期必须结合其它指标一起分析评定。

## 5、追加投资回收期

### (1) 计算式

在对不同方案进行技术经济比较时, 应采用追加投资回收期。追加投资回收期就是指一个方案, 用其成本的节约额来回收追加投资的期限, 其计算式为:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} = \frac{\Delta K}{\Delta C} \quad (5.20)$$

式中:  $K_1, K_2$ —不同方案的投资额;

$K_1 > K_2$ ;

$C_1, C_2$ —不同方案的生产成本,  $C_2 > C_1$ ;

$T$ —追加投资回收期, 年;

$\Delta K$ —追加投资额;

$\Delta C$ —节约的年生产成本额;

计算出追加投资回收期后, 再与标准追加回收期  $T_s$  相比

$T_s > T$  时, 第一方案合理,

$T_s < T$  时, 第二方案合理。

当多种方案进行时, 可用“循环法”进行比较, 先任选二种方案进行比较, 择优者再与其它方案依次循环比托从中选择最佳方案。

### (2) 特点

追加投资回收期  $T$  反映了投资与成本的关系, 很便于多方案进行比较, 但是在使用时必须注意以下问题:

①多方案比较时, 必须采用循环法, 比较时只能是二个方案一组, 择优者再与其它方案比较, 否则易出差错。

②当  $\Delta C$  很小时, 易造成假象。

③追加投资回收期只能表示 2 个方案的相对经济性，没有反映其绝对经济效果。

④没有考虑时间因素。

### 6、净现值法

净现值就是一个工程项目在经济寿命期内的现金流入和现金流出的差额按预定的折现率折现到基准年的数值。

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+i)^n} - \sum_{n=1}^N (I_n - O_n) (1+i)^{-n} \quad (5.21)$$

式中：NPV—净现值；

$F_n$ —至年份  $n$  的净现金流量， $F_n = I_n - O_n$ ；

$I_n$ —至年份  $n$  的现金流入；

$O_n$ —至年份  $n$  的现金流出；

$(1+i)^{-n}$ — $n$  年的折现率；

$i$ —折现率。

在多方案进行比较时，如果方案的基本条件相同，具有可比性时，可以用净现值法进行比较，净现值大的设计方案为佳。

在单个设计方案进行评定时，方案的净现值大于或等于零时，说明该方案是可取的，如果净现值是负数，说明投资利润率要低于折现率，该方案应放弃。

## 5.2.2 热经济学评价理论与方法

### 5.2.2.1 热经济学评价理论

#### 1、热经济学内涵

热经济学又叫火用经济学，是上个世纪 50 年代末至 60 年代初兴起的一门研究热系统经济运转的应用性新兴学科，它是在能量和火用分析的基础上，利用热力学和经济分析相结合得到的方法，热经济学分析方法的特征是在一个合适的火用效率(或能效率)和投资间找到适当平衡。<sup>[7]</sup>一般来说，对一个工程系统的技术方案的最最终决策，除了技术上优越，还必须是经济上合理，火用分析可以给出技术上最优化的方案，提供技术决策的参考，而热经济学分析却能兼而考虑技术与经济两方面的因素进行优化，提供技术经济决策的依据。用热经济学优化方法所得到的能量系统的用能和投资方案已经被证明，而且会越来越多地被证明，具有重大的经济效益和社会效益。

#### 2、热经济学分析法的理论基础

##### (1) 能量分析法

能量分析法是以热力学第一定律为基础，追求有较高的总能利用率。但是，能量与能量之间存在不等价性，如果以能量为基准，其评价指标之间将缺乏可比性。

<sup>[7]</sup> 杨东华, 热经济学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.1

因此,以热力学第一定律为基础的评价指标,无法有效地实现对能源利用的监督与管理。

### (2) 火用分析法<sup>38</sup>

火用分析法是在热力学两大定律基础上结合环境情况,从对能的本质的全面认识以及从能的实用性出发而提出的一种思想和方法。火用分析法认为:能分为两类,火用是这样一种能,在给定环境的作用下,它可以完全地、连续地转化为任何一种其他形式的能量。能的可用性、能的使用价值在于它能促成变化。真正为我们服务的不是能,而是能中的火用。在用能过程中,一切损失的实质,都是火用的耗损。可逆过程是实际过程理想化的极限,是在体系与外界火用的总量保持不变的情况下所进行的过程。列火用平衡式是确定火用耗损的常用方法。火用效率是从能量转化的角度表示设备或过程热力学完善性的科学指标。火用损系数体现了具体的设备或过程在造成总的火用耗损中的相对地位,它与火用效率一起相辅相成的从一个侧面为节能目标提供参考依据。

### 5.2.2.2 热经济学评价方法

热经济学评价方法是在热力学分析的基础上,加入经济计算,把技术和经济两个不同领域的研究目标巧妙的统一起来,并在热力学参数与经济信息参数间找到一种关系,由此得出一种新的评价指标—火用成本。依据这样的热经济指标做出的决策能够保证在技术和经济都合理的情况下,取得综合最佳效果。

热经济学的研究方法很多,评价的指标也主要以更为科学的火用单价和火用成本为主,首先对用能设备建立热经济模型,列热经济平衡方程,然后求出用能设备的输出热量或冷量的成本,并以此做出对用能设备的分析评价依据。

下面是热经济性评价的几种方法:

#### (1) 常规热平衡法

常规热平衡法是所有方法中最基本的方法,常用于火力发电厂热力系统热力计算。它的计算原理和基本方程式是各换热设备的质量平衡式和热平衡式。运用数学工具求解多元一次线性方程组。常规计算方法可分为定功率计算和定流量计算。

#### (2) 等效热降法<sup>39</sup>

等效热降法是基于热力学的能量平衡原理,既可用于整体热力系统的计算,也可用于热力系统的局部定量分析。它基本上属于能量转换热平衡法,但摒弃了常规计算的缺点,不需要全盘重新计算就能查明系统变化后的热经济性,即用简捷的局部计算代替整个系统的繁杂计算。具体讲,它只研究与系统改变有关的部分,并用给出的一次性参数进行局部定量,确定变化的经济效果。

#### (3) 循环函数法

<sup>38</sup> 王加敏. 火用法及其应用[M]. 北京: 轻工业出版社, 1990, 34

<sup>39</sup> 周洁. 集中供热系统热经济学优化方法的研究[D]. 济南: 山东科技大学, 2007.6

循环函数法是循环的函数与方程法的简称，它以传统的热平衡法为基础，在此之上建立了循环的函数式与方程式，提供了热力系统计算的通用算法，常用于计算机软件的设计。它对供热机组热力系统的分析计算尤为适用。此外，还有其他的几种方法，如将矩阵运算引入热力系统热经济性定量分析中，通过矩阵的结构和元素值表达实际热力系统的结构和参数的研究方法，称作矩阵分析方法。

### 5.2.2.3 供热系统的热力学模型

供热系统主要由锅炉，供热管网和热用户三部分组成。在锅炉里，燃料通过燃烧将其化学能变成热能，加热给水形成供热系统的热源。而供热管网则将热源与热用户连接起来，组成一个整体，互相关联、制约，实现热能的生产与利用。按照热力学的方法，为分析问题的需要，首先通过适当的简化建立供热系统的热力学简图，如图 5.2 所示。

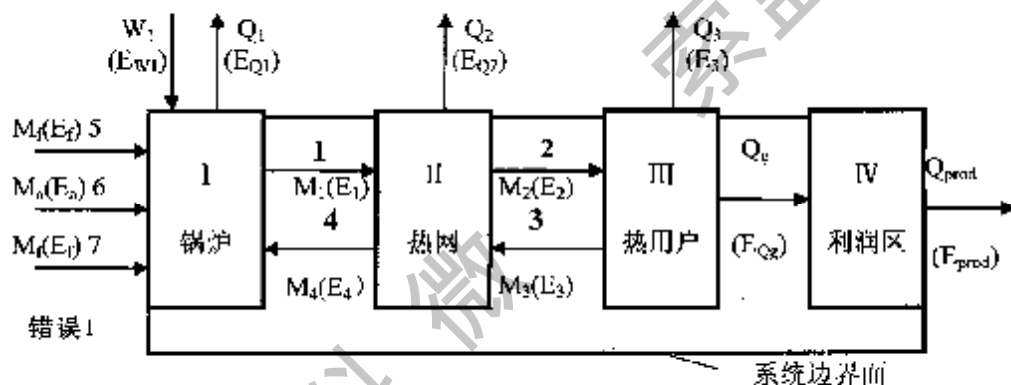


图 5.2 供热系统热力学简图<sup>40</sup>

供热系统由四个区，也即四个子系统所组成。它们分别是锅炉房系统、热网系统、热用户系统和利润区。利润区是为满足经济分析而建立的，在此区里没有设备，产品经过此区只表示增加利润，且有  $Q_{\text{prod}}=Q_g$ 。系统与外界，系统内各子系统之间通过物料流和能量流相连接。热力学简图中分别给出了它们各自的状态和代表符号。各代表符号所表示含义可见表 5.2。

<sup>40</sup> 戎卫国. 供热系统的热力学经济评价及分析[J]. 山东建筑工程学院学报(自然科学版), 1988(4), 54

表 5.2 供热系统能流和物流一览表

物料和能流种类	代表符号	输入(出)区
燃料质量(火用值)	$M_f (E_f)$	I
助燃空气质量(火用值)	$M_a (E_a)$	I
锅炉耗功(火用值)	$W_b (E_{wb})$	I
锅炉热损失(热火用)	$Q_L (E_{Lb})$	I
锅炉补水质量(火用值)	$M_b (E_b)$	I
热网回水质量(火用值)	$M_r (E_r)$	I
锅炉出口蒸汽(或热水)质量(火用值)	$M_1 (E_1)$	I → II
热网热损失(热火用)	$Q_L (E_{Lr})$	II
热用户回水质量(火用值)	$M_2 (E_2)$	III → II
热用户用蒸汽(或热水)质量(热火用)	$M_2 (E_2)$	II → III
热用户热损失(热火用)	$Q_L (E_{Lr})$	III
热用户供热量(热火用)	$Q_s (E_{s_r})$	III
供热系统产品(火用值)	$Q_{prod} (E_{prod})$	IV

### 5.2.2.4 热经济学评价的费用衡算方程

热经济学评价及分析是通过由分析系统的火用平衡方程和金钱平衡方程所建立的费用衡算方程，揭示费用和关键技术影响参数间的关系，实现从热力学和经济两方面的结合，全面的对工程系统进行评价和分析。

对任何一个系统或子系统，我们均可以写出其火用平衡方程和金钱平衡方程。

火用平衡方程：

$$\sum_b E_b^f - \sum_b E_b^c = \sum I_{c,i} \quad (5.22)$$

$\sum_b E_b^f$ ：表示进入系统的火用值。

$\sum_b E_b^c$ ：表示离开系统的火用值。

$\sum I_{c,i}$ ：表示系统内的一系列火用损失。

应指出的是，进入系统或离开系统的火用值应等于单位时间内进入或离开系统的火用流值  $E$  乘以费用衡算时间  $T$ ，而费用衡算时间通常取为一年。

金钱平衡方程：

$$\sum_b M_b - \sum_b M_c = PL \quad (5.23)$$

$\sum_b M_b$ —表示进入系统的金钱流。

$\sum_b M_c$ —表示流出系统的金钱流。

$PL$ —表示系统的盈利或亏损。

在使用上述两式时，我们强调  $b$  代表边界面，式中的火用流和金钱流都是定义在边界面上的，而且金钱流和火用流的方向相反。

如果我们令  $C_e$  代表出口火用的单价,  $C_i$  代表入口火用的单价,  $C_j$  代表第  $j$  个区的折旧率(取费用衡算时间为 1 年时,即为年折旧率),  $z_j$  为第  $j$  个区的设备投资费,则有:

$$\begin{aligned}\sum_b M_b &= \sum_h C_e E_h^t \\ \sum_b M_b &= \sum_b C_i E_b^t + \sum_j C_j Z_j \\ PL &= \sum_h C_e E_h^t - \sum_b C_i E_b^t - \sum_j C_j Z_j\end{aligned}\quad (5.24)$$

式(5.24)即称作热力学经济评价的费用衡算方程。由于费用衡算方程中的火用流值可表示流的热力学状态的变化,因此费用衡算方程建立了费用与热力学状态之间的关系。为从热力学和经济的结合上全面的对工程系统进行评价和进一步的优化设计提供了科学的依据。

## 5.2.3 循环经济评价理论与应用

### 5.2.3.1 循环经济评价理论

#### 1、循环经济的概念

循环经济 (recycle economy), 从各种文献对它界定的共同性来看, 就是指通过资源循环利用使社会生产投入自然资源最少、向环境中排放的废弃物最少、对环境的危害或破坏最小的经济发展模式。

循环经济是对物质闭环流动性经济的简称, 是以物质、能量梯次和闭路循环使用为特征的, 在环境方面表现为污染低排放, 甚至零排放。循环经济把清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体, 运用生态规律来指导人类社会的经济活动, 在本质上是一种生态经济, 其核心为提高生态环境的利用效率, 通过“资源消费—产品—再生资源”闭环型物质流动模式, 实现可持续发展所要求的环境与经济双赢。

#### 2、循环经济的内涵<sup>41</sup>

学术界对于循环经济本质和内涵的界定是有差异的, 产生差异的原因在于对“用于循环的资源”和“循环的方式”有不同的认识, 可以大致区分为“狭义循环经济”和“广义循环经济”。“狭义循环经济”概念认为, 循环经济是通过废弃物或废旧物资的循环再生利用来发展经济, 也就是利用社会生产和消费过程中产生的各种废旧物资进行循环、利用、再循环、再利用, 以至循环不断的经济过程。“广义循环经济”认为, 循环经济就是把经济活动组织成为“资源—产品—再生资源”的反馈式流程, 使所有资源都能不断地在流程中得到合理开发和持久利用, 使经济活动对自然环境的不良影响降低到尽可能小的程度。

<sup>41</sup> 赵玉甫, 城市供热可持续发展研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.10, 29-30

可以看出“广义循环经济”所指的“用于循环的资源”要比“狭义循环经济”所指的宽泛得多，“循环的方式”也有不同。“狭义循环经济”突出废弃物或废旧物资的循环再生，是将原来社会生产的开环处连接起来的经济循环。而“广义循环经济”里已经没有废弃物的概念，它强调所有资源应该实现在经济体系内的循环利用，不仅要求把开环的社会生产闭合起来，即包括“狭义循环经济”概念，还要求按照循环利用资源的要求改变整个社会系统，包括技术支持、生产组织方式、生活方式、社会制度、伦理道德观念等等，实现经济、环境、生态在更高水平上实现动态平衡。因此，“广义循环经济”往往同时被称为生态经济。简单地说，“狭义循环经济”是对人们追求自然资源投入、抛弃废弃物观念和做法的批判；而“广义循环经济”不仅包括上种批判，还包括对当前生产方式、生活方式、思维方式等的全面批判。因此，两者是内在统一的，只是“广义循环经济”提出了循环经济更深的理念和更全面的奋斗目标。

循环经济作为一种科学的发展观，一种全新的经济发展模式，具有以下特征：

(1) 新的系统观。循环经济的系统是由人、自然资源和科学技术等要素构成的大系统。循环经济观要求人将自己作为这个大系统的一部分来研究符合客观规律的经济原则。

(2) 新的经济观。在传统工业经济的各要素中，资本在循环，劳动力在循环，而唯独自然资源没有形成循环。循环经济观要求只有在资源承载能力之内的良性循环，才能使生态系统平衡地发展。

(3) 新的价值观。循环经济观在考虑自然时，将其作为人类赖以生存的基础，是需要维持良性循环的生态系统；在考虑科学技术时，不仅考虑其对自然的开发能力，而且要充分考虑到它对生态系统的修复能力；在考虑人自身的发展时，不仅考虑人对自然的征服能力，而且更重视人与自然和谐相处的能力。

(4) 新的生产观。循环经济的生产观念是要充分考虑自然生态系统的承载能力，尽可能地节约自然资源，不断提高自然资源的利用效率，循环使用资源，创造良性的社会财富。

(5) 新的消费观。循环经济提倡物质的适度消费、层次消费，在消费同时就考虑到废弃物的资源化，建立循环生产和消费的观念同时，循环经济观要求通过税收和行政等手段，限制以不可再生资源为原料的一次性产品的生产与消费。

### 3、循环经济模式及思想

循环经济是人们在处理人与自然关系及研究经济发展模式的长河中，不断对其自身行为与理念进行深入思考和冷静反思而得出的结果。人类社会经济发展模式的转变映射着人类生态伦理观的发展变化，反映出人类社会文明的不断进步和人类认识论发展观的日益成熟。末端治理模式奉行以人类为中心的生态伦理观，认为人类的价值观是最崇高的且唯一的，其他物种的价值只有在人类使用它们时才表现出来。

循环经济模式强调生态价值的全面回归：

(1) 主张生产和消费生态化。人与自然是—个密不可分的利益共同体，人类不再是自然的征服者、主宰者，而是自然的享用者、维护者。

(2) 生态阈值受到广泛关注。生态阈值意指环境的净化能力和承载能力限度，社会经济发展若要超过了生态阈值，将可能发生不可逆转的严重后果。循环经济模式强调应在生态阈值范围内、合理开发利用自然资源。

(3) 对自然资本作用的再认识。循环经济模式认为，任何一种经济都需要由劳动与智力、知识与文化为核心的人力资本，由货币与现金、投资与融资为基础的资金资本，由设备与工器、制造与加工为手段的生产资本，由资源与能源、生态与天然为中心的自然资本。

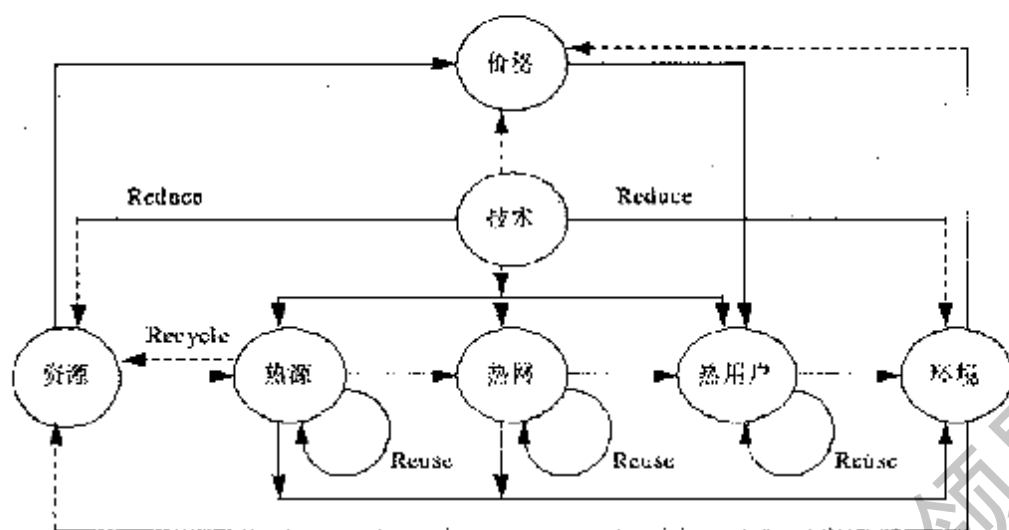
末端治理模式强调用人力资本、资金资本与生产资本开发自然资本，自然资本处于被动、从属地位，而循环经济模式则将自然资本视为前面三种资本及人类社会的最基本最重要的资本储备。相对前三种资本而言，自然资本有限有价不能无限开采，任意使用。为持续发挥自然资本的作用，应通过向自然资本投资来恢复和扩大自然资本存量，运用生态学理论方法规划、设计、实施生产系统，利用信息经济与知识经济改变人类生产、流通、交换、消费方式。末端治理模式是一种基于狭义生态论思想，它关注环境，但只是就环境论环境，过分依赖技术；一旦技术不能解救生态阈值，便束手束脚、无能为力，甚至出现反对经济增长的悲观想法。而循环经济模式则是一种基于广义生态论思想，它面对资源有限的客观现实，顺应人性自利的天经地义，强调运用科学与技术，凭借制度与伦理来标本兼治，防微杜渐，天人合一，协调有序，统筹考虑经济、技术、社会、生态、文化等各方而各因素，使浩瀚宇宙、人类地球成为一个简流最小化的美好家园。

### 5.2.3.2 循环经济在城市供热中的应用

循环经济本质上是一种生态经济。根据其基本思想，即减量化 (Reduce)、再利用 (Reuse) 和资源化 (Recycle)，有效的循环利用资源，提高资源利用率，使污染物排放最小化，实现经济持续发展与环境有效保护的双赢目标。我们把循环经济理论应用到城市供热可持续发展研究中，就可以重新认识城市供热发展方式中各影响因素的关系，如图 5.3 所示。

循环经济是一种善待地球、友好地球的可持续发展新模式，它充分考虑自然界的承载能力和净化能力，遵循生态系统中“生产者—消费者—分解者”的循环途径和食物链网，使人类经济活动组织成为“资源—产品—消费—再生资源”的资源反复循环的闭环流程，所有的原料和能源在不断进行的经济循环中得到最合理的利用，从而使人类活动对自然环境的负面影响控制在尽可能少的程度范围内，以达到资源的低开采、低投入、低排放、高利用。



图 5.3 城市供热循环经济模式图<sup>12</sup>

## 5.2.4 环境经济学评价理论与方法

### 5.2.4.1 环境经济学评价理论

#### 1、环境经济学的定义<sup>13</sup>

环境经济学是研究经济发展和环境保护之间相互关系的科学，是经济学和环境科学交叉的学科。环境经济学主要是一门经济科学，以经济学为理论基础。社会主义社会的生产目的，是最大限度地满足整个社会日益增长的物质和文化需要；生产资料的公有制和国民经济有计划按比例地发展，为正确地调节人和自然之间的物质变换提供了充分的可能。但是，要把可能性变为现实，是一项十分艰巨的任务。

#### 2、环境经济学的理论基础

环境经济学的理论基础包括社会制度、经济发展、科学技术进步同环境保护的关系，以及环境计量的理论和方法等。

经济发展和科学技术进步，既带来了环境问题，又不断地增强保护和改善环境的能力。要协调它们之间的关系，首先是改变传统的发展方式，要把保护和改善环境作为社会经济发展和科学技术发展的一个重要内容和目标。

当人类活动排放的废弃物超过环境容量时，为保证环境质量必须投入大量的物化劳动和活劳动，这部分劳动已愈来愈成为社会生产中的必要劳动。同时，为了保障环境资源的永续利用，也必须改变对环境资源无偿使用的状况，对环境资源进行计量，实行有偿使用，使社会不经济性内在化，使经济活动的环境效应能以经济信息的形式反馈到国民经济计划和核算的体系中，保证经济决策既考虑直接的近期效

<sup>12</sup> 赵玉前, 城市供热可持续发展研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.10, 47

<sup>13</sup> 左玉燕. 环境经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.7

果，又考虑间接的长远效果。

### 3、环境经济学的研究内容

环境经济学研究内容主要有下述三个方面：

(1) 社会生产力的合理组织。环境污染和生态失调，很大程度上是对自然资源的不合理的开发和利用造成的。合理开发和利用自然资源，合理规划和组织社会生产力，是保护环境最根本、最有效的措施。为此必须改变单纯以国民生产总值衡量经济发展成就的传统方法，把环境质量的改善作为经济发展成就的重要内容，使生产和消费的决策同生态学的要求协调一致；要研究把环境保护纳入经济发展计划的方法，以保证基本生产部门和消除污染部门按比例地协调发展；要研究生产布局 and 环境保护的关系，按照经济观点和生态观点相统一的原则，拟定各类资源开发利用方案，确定一国或一地区的产业结构，以及社会生产力的合理布局。

(2) 环境保护的经济效果。包括环境污染、生态失调的经济损失估价的理论和方法，各种生产生活废弃物最优治理和利用途径的经济选择，区域环境污染综合整治优化方案的经济选择，各种污染物排放标准确定的经济准则，各类环境经济数学模型的建立等。

(3) 运用经济手段进行环境管理。经济方法在环境管理中是与行政的、法律的、教育的方法相互配合使用的一种方法。它通过税收、财政、信贷等经济杠杆，调节经济活动与环境保护之间的关系、污染者与受污染者之间的关系，促使和诱导经济单位和个人的生产和消费活动符合国家保护环境和维护生态平衡的要求。通常采用的方法有：征收资源税，排污收费，事故性排污罚款，实行废弃物综合利用的奖励，提供建造废弃物处理设施的财政补贴和优惠贷款等等。

#### 5.2.4.2 环境经济学评价方法

环境成本是由于人类活动所造成的环境污染或生态破坏所带来的经济损失。目前，对环境污染和生态破坏经济损失的评估方法大体上可以分为分解求和法、恢复费用法和计量经济学方法三类。<sup>49</sup>

##### (1) 分解求和法

这种方法的基本思想是分解求和，即利用结构分解，将环境或生态价值分为若干部分，寻找各部分的市场替代品，将其替代品价值之和作为环境或生态服务价值。

该法的缺陷是由于在分解过程中很难保证各损失之间的“独立性”和“穷尽性”，往往会造成重复计算或有漏项。目前常用的方法主要有生产函数法、人力资本法、机会成本法、旅行费用法、支付愿意法、隐含价格法和影子价格法。

##### (2) 恢复费用法

通过恢复受损环境或生态系统到原有状态所需费用来衡量环境污染或生态破坏

<sup>49</sup> 杨建坤. 北方小城镇供热模式分析与热网优化控制的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007: 3, 18

“制冷百家” 微信公众号

汇聚制冷界、暖通界百余名专家学者倾力打造的平台，物性查询、论文分享，定时推送最新技术

造成的经济损失。该方法不关心污染发生以后所造成的复杂影响，而仅从污染源角度出发，计算削减污染排放的费用。因此，该法具有简单、易行的优点，在国际上得到较为广泛的应用。

使用该法所需要的信息数据可通过两种途径获得，一是直接调查环境损害的恢复费用；二是通过恢复工程的成本核算来获取相关数据。

另外，使用该法实际上隐含着许多假设条件，其中最重要的是它假设所恢复状态与原有的资源环境的功能具有完全替代性。实际上，这种恢复替代的完全性基础是很脆弱的。另外，该法没有考虑污染或破坏的累积效应，也没有考虑不同污染排放方式的实际影响的不同，因此，计算结果与实际损失差异往往较大。

### (3) 计量经济学方法

该类方法与前两类方法的不同之处是将环境价值作为一个整体，运用费用—效益分析方法，通过对环境价值与经济活动关系的分析，寻找主要影响因素，建立关系方程，然后利用大量数据分析并回归得出方程的参数。这种方法能够反映污染与经济损失之间的定量关系，可用于现状的评估和预测。其不足之处在于往往需要较长的时间序列数据。

## 5.2.4.3 环境经济评价在供热中的应用

### 1、污染物排放指标分析

供热系统的能源消耗是造成大气污染的主要来源之一，因此应对各供热模式对环境造成的负面影响充分考虑。总的来说，供热系统对环境和大气的污染主要由直接污染和间接污染两种形式。

直接污染是指供热系统的热源燃烧各种燃料产生的各种排放污染物对环境造成的污染，主要污染物有烟尘、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{NO}_x$ 和 $\text{CO}_2$ 。另外还有供热系统的动力需要用电，而且有些供热模式直接用电力供热，虽然电能对当地的环境没有污染。但由于我国的电力供应主要依靠燃煤火力发电，大约有70%的电力来自以煤为燃料的火力发电厂。所以说，电力采暖虽然没有直接的污染，但仍然有间接污染，不能简单的将电能看作无任何污染的清洁能源。对于热电联产，由于供热的同时发电，总的燃料耗量增加，直接污染增加，但发电减少了间接污染。表5.3为燃煤电厂每发1度电所排放的污染物和电能的间接污染排放指标。

表 5.3 燃煤火力发电厂污染排放指标分析<sup>45</sup>

	粉尘 (g/kwh)	$\text{SO}_x$ (g/kwh)	$\text{NO}_x$ (g/kwh)	$\text{CO}_2$ (g/kwh)
燃煤火力发电厂污染排放	0.57	9.14	3.32	1.59
电的间接污染排放指标	0.4	6.4	2.32	1.11

为保护环境，减少大气污染，国家及各地政府都制定了一系列的环境保护的标

<sup>45</sup> 杨建坤. 北方小城镇供热模式分析与热网优化控制的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.3, 22

准和规范,要求污染物排放满足相关标准的要求。表 5.4 为各种燃料的污染物排放指标,其中粉尘、SO<sub>x</sub>和 NO<sub>x</sub>的排放指标是根据《中华人民共和国国家标准锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2001)的达标值计算的,二氧化碳排放指标是根据燃料一般利用技术条件的统计平均值。

表 5.4 不同燃料的污染物排放指标<sup>46</sup>

	粉尘	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
混煤	2.26 (g/kg)	10.2 (g/kg)	1.13 (g/kg)	2.49 (kg/kg)
天然气	0.62 (g/Nm <sup>3</sup> )	1.24 (g/Nm <sup>3</sup> )	1.96 (g/Nm <sup>3</sup> )	1.94 (kg/Nm <sup>3</sup> )
轻油	1.31 (g/kg)	6.57 (g/kg)	5.26 (g/kg)	3.66 (kg/kg)

天然气的 NO<sub>x</sub> 排放量主要受燃烧方式影响,目前燃气锅炉采用的燃烧器都不是专门设计的低 NO<sub>x</sub> 燃烧器。在燃烧过程中产生的 NO<sub>x</sub> 量主要与炉膛燃烧温度有关,燃烧温度高,产生的 NO<sub>x</sub> 量越大,燃烧温度越小,产生的 NO<sub>x</sub> 量越小。

## 2. 环境成本评价指标分析

由于环境负荷所造成的损失多种多样,而且损失量的大小常受各种因素的影响,如受污染的对象、地理区位、气候条件、时间条件等,因此,目前多数的评估结果都只能看作是真实环境成本的近似值,而且,不同研究者所采用的评估方法和参数多有不同,对所得结果往往影响很大。目前多用影子价格来计算不同供热模式所引起的空气污染经济损失。

### 5.2.5 城市供热经济评价理论体系构建

以上本文从技术经济评价、热经济学评价、循环经济评价及环境经济学评价四个方面论述了城市供热经济评价理论,技术经济评价理论从技术的角度出发,介绍了技术评价的相关理论及方法,及其在供热中常用的技术评价方法;热经济学评价理论是把热力学与经济学结合,构建供热系统的热力学模型,运用费用衡算方程对供热系统进行科学合理评价;循环经济评价理论从资源的循环利用角度,分析循环经济在城市供热中的具体应用,通过节约资源,提高收益;环境经济学评价理论从保护环境,减少环境成本上对城市供热进行评价。将以上结论综合形成了系统的城市供热经济评价理论体系,具体内容见图 5.4。

<sup>46</sup> 杨建坤,北方小城镇供热模式分析与热网优化控制的研究[D],上海:同济大学,2007.3, 22.

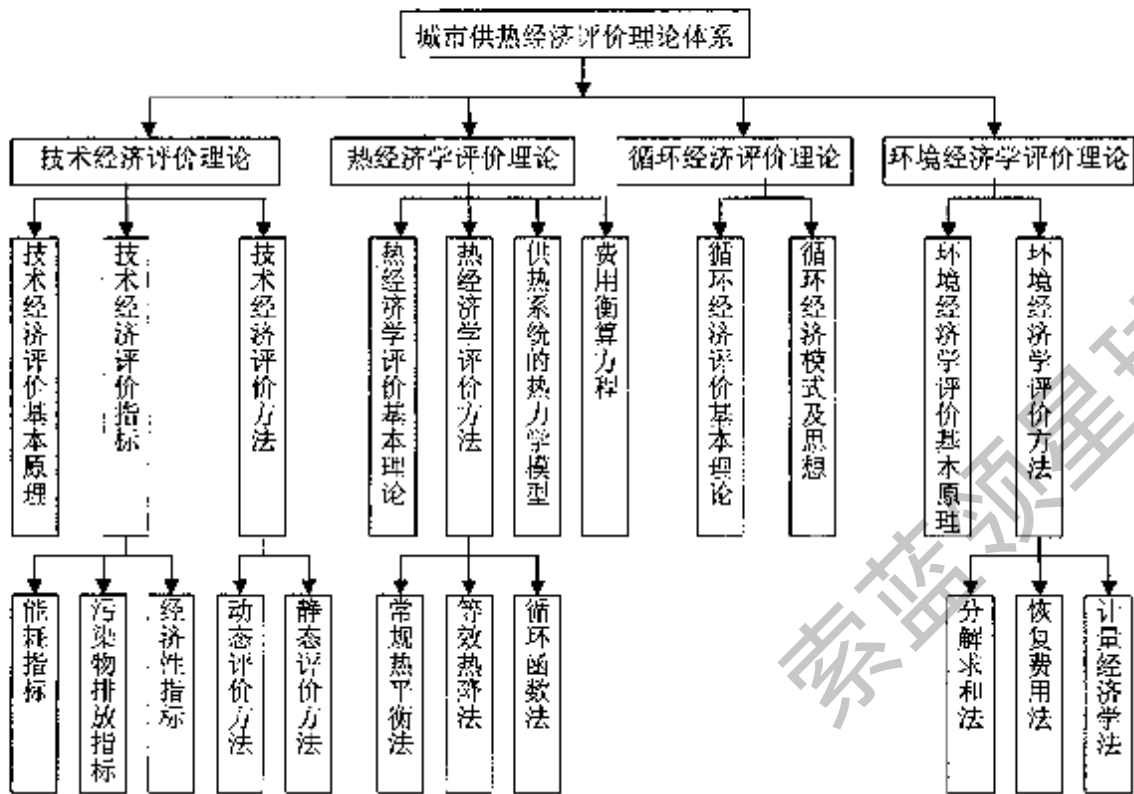


图 5.4 城市供热经济评价理论体系图

### 5.3 城市供热社会评价理论与方法

#### 5.3.1 城市供热社会评价概述

##### 1、社会评价的含义

社会评价是一种评价活动，指人们对一项活动（比如项目投资等）社会效果的认识。以下从几个方面来认识和理解社会评价：

##### (1) 社会评价是人们的认识活动

如前所述，评价是人们的认识活动，它所揭示的是人们对世界的意义的认识。同样，人类的活动，包括经济活动和非经济活动，会产生很多社会影响，人们对这些活动的社会影响的认识就是社会评价。

##### (2) 社会评价的目的

评价的主体是人们，客体是各种活动，即评价者本人对于该社会影响的价值的感受，是一种实践活动。或者说是社会评价是评价者和某项人类活动的关系的价值判断。

##### (3) 社会评价的过程

首先，要采集价值客体即某项人类活动的信息以及评价者的需求。其次，根据

评价主体的需求建立评价指标体系即价值评价标准。最后,用评价指标体系衡量价值客体,得出最终评价结果,即作出判断。

## 2、城市供热社会评价的含义

城市供热社会评价主要是对各种供热技术、供热模式产生的社会影响和效果的分析 and 评价,通过建立适合供热方案选择的社会评价指标体系,运用定性分析或定量分析以及二者相结合的方法进行分析或优序排列,科学评价供热方案在社会影响程度方面的优劣。社会评价的内容主要包括:供热方案的节能效果、环境影响、资源利用效果、可持续发展性,同时还包括间接的经济影响、对居民、供热企业及供热价格影响等多方面评价内容。

## 5.3.2 城市供热社会评价基本理论

### 5.3.2.1 社会评价的基本理论

#### 1、社会评价的人类学和社会学原理

人是构成社会的基本单位,也是社会的主体。一切投资活动的结果都是为全体人类谋福利,离开了人的发展而谈论经济和社会的发展显然是不切实际的。因此任何学者和专家在对任何项目进行社会评价时,都必须紧密联系社会的主体——人来进行,投资项目的目的是为项目所涉及的全体人民谋福利,当然不能忽视少数民族和弱势群体的利益。在项目实施过程中采取切实可行的措施,让项目区居民的生活在原来的基础上得到较大幅度的提高,通过投资项目而改善项目区居民的生活质量,从而提高其生活水平。所以项目的社会评价一定要重视人的因素,一切经济活动的最终目标就是实现人的全面发展,保证人与经济、自然和社会的协调发展。

#### 2、社会评价的经济学原理

西方福利经济学一直把收入再分配和资源有效配置作为探讨的中心问题。但西方经济学家在收入分配问题上没有形成统一的观点,却在合理配置资源以求得最优效率的问题方面取得了一致的观点。社会评价基础原理主要有两个:

##### (1) 帕累托(Pareto)原理,

帕累托原理包括两个准则<sup>47</sup>。

①Pareto 优胜(superiority)准则。在两种社会状态相比较的情况下,社会经济状态 A 比社会经济状态 B 好,即至少有一人判断状态 A 比状态 B 好,而没有人判断状态 B 比状态 A 好。

②Pareto 最优状态。即假如任何重新改变社会资源配置的方法已经不可能在不损任何一个人的前提下使任何一个人的处境较以前变好,这就意味着一个社会在既定的社会条件下达到了社会资源的最优配置状态。Pareto 原理回避了社会福利在社

<sup>47</sup> 花润平,项目社会评价指标体系及方法研究[D].重庆:重庆大学,2004.4,7

会人员中分配的问题，因而得到了广泛的承认。也正因为如此，这种理论很容易为社会保守势力所利用，即不承认福利的重新分配可以改进社会总的福利水平。Pareto 原理的第二个缺点是它的最优状态不是唯一的，甚至不一定是最好的。Pareto 原理虽然具有广泛的可接受性，但又具有极大的局限性，故没有什么实用的价值。因为按照这个准则，只有使所有其他社会成员都不受损害而至少有一个成员得到好处的经济活动才能被接受。如果确有这样的活动，也就不需要什么分析了。

#### (2) 补偿原理（也称为潜在的 Pareto 准则）

20 世纪初期，由卡尔多（N. Kaldor）、希克斯（J. A. Hicks）和色多尔斯基（J. Scitovsky）等人针对帕累托所回避社会中某些人的福利增加而同时一些人福利受到损害的问题而提出的。此原理认为，只有同时满足下面两个条件时，变化才能称为一种福利的改进：第一，通过改变，得者可以补偿失者的损失，并仍觉得有所改善；第二，不出现这种情况，即失者可以补偿得者，使其不愿作这种改变。而且，做出补偿的失者不觉得比改变后更坏。补偿原理暗示了这样的假定：社会状态的改变，从失者到得者所进行的那种收入的重新分配也是合理的。因此，在现代的社会经济分析中也要给予重新分配以重要的地位。

### 5.3.2.2 供热社会评价理论

#### 1、可持续发展理论

可持续发展的内涵可以理解为以下 3 个方面：第一，需要，指发展的目标是满足人类的需要；第二，限制，指人类的行为要受到自然界的制约；第三，公平，指代际之间、当代人之间、人类与其他生物种群之间、不同国家和不同地区之间的公平。

城市供热社会评价要建立在可持续发展的基础上，将评价方法和可持续发展理论相结合，对城市供热可持续发展的模式和机制进行分析；从可持续发展的角度确定评价指标体系，提出城市供热可持续发展的指标体系及评价方法，进而建立城市供热可持续发展的优选模型，提出城市供热可持续发展的一些对策，推动城市供热的可持续发展。城市供热社会评价要做到在评价的过程中充分考虑供热方案的节能性、舒适性、及安全可靠性，从节能、提高生活质量、改善城市基础设施状况、保护环境、建设现代化城市等方面充分体现可持续发展的理论。

#### 2、资金时间价值理论

资金是社会再生产过程中能够增值的价值，货币、物资是资金的不同存在形式，是一种价值。资金的实质在于增值。资金时间价值是经济学中的一个重要概念。随着时间的推移，资金会增值。即使在不考虑风险和通货膨胀的前提下，今天的 1 元钱与明天的 1 元钱在价值上也是不相等的，后者要大于前者。资金所有者因进行某项投资活动（开办企业、购买股票、存入银行、借出款项等）而推迟消费，就要得

到相应的报酬。这种因推迟使用货币一段时间而得到的相应的报酬就是资金的时间价值。

在热的生产和供热项目的建设过程中，资金随着时间的推移在一定时间内增加的价值量，表现为增值的能力和增值的速率。热商品生产过程和供热系统的投资建设过程，都是价值的形成过程和增值过程，是生产建设过程同资金增值过程的统一，没有资金的增值，就没有供热行业的扩大再生产。人们理所当然地希望投入的资金获得更高的时间价值，不同产业部门和同一产业部门的不同项目，可能会有不同的资金增值能力和速率，在供热行业由于供热模式的不同，资金的增值能力和速度当然也不相同，因此要求供热项目在投资以前，先要进行评比选择，把投资决策建立在提高资金增值能力的基础上。

资金的时间价值是客观存在的经济范畴，越来越多的供热企业在生产经营决策中将其作为一个重要因素来考虑。由于供热系统所产生的直接效益与间接效益都是在不同时间点上发生的，且时间较长，如果不考虑资金的时间价值就不会对决策的收支、盈亏做出正确、恰当的分析 and 评价。

### 3、环境外部性理论

以牺牲环境为代价来发展经济是许多发达国家曾经走过的老路。供热系统势必要对环境造成污染，从经济学的角度看，环境污染是一种典型的“市场失灵”表现。“环境”作为一种公共产品，具有非竞争性和非排他性两个特点。非竞争性是指不会因为消费人数的增加而引起生产成本的增加，即消费者人数的增加所引起的社会边际成本等于零。而非排他性则指产品一旦提供，就不能排除社会中的任何一个人免费享受它所带来的利益。比如说，采取措施改善了供热系统，使某个城市的空气没有了污染，某人呼吸了清新的空气，并不能制止他人呼吸。环境问题的“非竞争性”和“非排他性”告诉我们，“环境”这种公共产品无法通过等价交换的机制在生产者和消费者之间建立联系。假如采用市场资源配置的方式进行环境供应，无疑就会发生“市场失灵”。这是在经济发展中产生环境污染问题的根本原因。福利经济学告诉我们：如果一种商品的生产或消费会带来一种无法反映在市场价格中的成本，就会产生一种“外部效应”。外部性是指一些产品的生产与消费会给不直接参与这种活动的企业或个人带来有害或有益的影响，其中有益的影响（如国家对教育的投资，可以提高国民的整体素质；国家对供热等基础设施、公共设施的投资建设，可改善我们的生产、生活环境）称为“外部经济”，否则就是“外部不经济。”环境问题就是一个外部性问题。

环境作为一种公共资源，我们根本无法界定其产权，可是另一方面环境污染所产生的“外部不经济”又会对我们或者我们的子孙后代产生影响。在这种情况下，需要在政府的干预和社会矫正下，开展环境影响经济评价工作，以减少可能造成的严重的环境污染和资源破坏。



长期以来,对环境外部性认识的不足,是产生环境严重透支的重要原因。以牺牲环境为代价的经济快速增长告诉我们,粗放型经济增长方式,获得了短暂的经济飞涨,却使环境污染和生态破坏日益严重,甚至影响了社会的可持续发展。同样,如果我们在选择供热方案时为了追求丰厚的利润而以牺牲环境为代价势必影响社会的可持续发展。所以,要使供热方案的选择更加合理,我们就必须综合考虑经济发展的“内部效应”和“外部效应”。

#### 4、系统动力学理论

系统动力学(System Dynamics, 缩写 SD)是一门分析研究信息反馈系统的学科,是一门交叉、综合性的探索如何认识和解决系统问题的学科。SD 理论的基本点鲜明地表明了它的唯物论、系统辩证的特征。从系统方法论来说,SD 的方法是结构方法、功能方法和历史方法的统一。SD 理论认为,系统的行为模式与特性主要地取决于其内部的动态结构反馈机制。SD 的模型模拟是一种结构功能的模拟,它最适用于研究复杂系统的结构、功能与行为之间的辩证对立统一关系。SD 研究处理复杂问题的方法是定性与定量结合,系统分析、综合推理的方法,按照 SD 的理论与方法建立的模型,借助计算机模拟可以用于定性与定量地研究系统问题,SD 正是这一门可用于分析研究社会、经济、生态和生物等一类复杂大系统问题的学科。SD 模型可作为实际系统,特别是社会、经济、生态复杂大系统的实验室。

经济发展是前提和基础;节约资源、保护环境是关键;技术进步是动力;价格机制是保障,再结合城市供热系统的特点,可以把城市供热可持续发展系统分为供热模式(包括热源子系统、热网子系统、热用户子系统)、资源子系统、环境子系统、技术子系统、价格子系统。即城市供热系统内部结构和城市供热可持续发展外部影响因素两个方面。各子系统通过相互间的输入、输出变量来相互影响和相互制约、相互作用,共同完成城市系统的特定功能。

#### 5.3.2.3 城市供热社会评价的原则

城市供热社会评价时应坚持的以下原则:

##### (1) 以远景规划和目标为指导

城市供热社会评价应该以城市供热社会发展的远景规划及用来描述远景规划的具体目标为指导。

##### (2) 有全局观念

按全局的观点对城市供热进行社会评价时,不仅要考虑人的承受能力,而且要考虑生态环境的承受能力。城市供热社会评价应该包括对整个城市供热系统及其组成部分的评价;考虑资源、环境、技术、价格系统及其组成部分以及相关关系的状态、发展趋势和发展速度;既要考虑对取得的经济效益,又要考虑其它的非市场行为。

### (3) 需要有一个聚集点评价

社会评价应该把供热系统的远景规划、目标与评价标准建立在相联系的组织框架之上，建立能对供热发展提供明显信号的一级指标体系或指标组合。这一指标体系或组合无论何时均采用可进行比较的计量方法，并能将指标值同目标、参考值、趋势进行比较。

### (4) 要有开放性

在进行城市供热社会评价时，使用的方法及数据对所有人均易理解，对所有的判断、假设必须清楚。交流是评价过程的一个中心内容，要使评价工作能接受公众的检验、其结果能影响决策，评价过程和指标设计必须做到公开化、文件化，并进行广泛的宣传。为了使这些观点能够渗透到社会的各个角落，渗入公众和决策者，评价过程要建立在有效的交流基础上，同时，一些概念的表达必须简单。

### (5) 满足使用者的需求

城市供热社会评价应该被设计成满足使用者的需求，能从指标及使用的工具中提取信息，服务于决策的结构简单、语言精练的综合体系。

### (6) 需要公众参与评价

城市供热社会评价应该吸收普通市民、专业人员、技术人员及社会团体的广泛参与。同时要保证决策者参与，从而能使所采用的政策与取得的效果可靠与可信。在城市供热社会评价中，只做一次单独的评价是不够的，需要不断的测试评价，才能保证其结论可靠、可信；只有不断的评价，才能检验出企业、政府所采取的措施是否正确。

### (7) 应不断反复地进行

为了能测定城市供热发展趋势，评价过程须不断进行，由于社会发展系统是复杂而多变的，所以应对其不断地做出相应的反应。当取得新的认识时，应及时调整城市供热社会评价的目标、框架和指标。不断将经验教训反馈给决策者。

### (8) 注重能力建设，保证评价的连续性

应该做到在决策过程中，明确分配任务，提供支持；为数据收集、维护和形成文件提供制度保证。

## 5.3.3 城市供热社会评价指标体系的建立

### 1、城市供热社会评价指标体系建立的原则

指标设置是城市供热社会效益指标体系的基础，下面是指标设置的原则。

#### (1) 全面性原则

各个指标应全面反映设计该指标体系的目的、作用与功能，因为城市供热社会效益的表现一般都较广泛，必须充分考虑它的方方面面。

#### (2) 科学性原则

在设计指标时必须目的明确，在理论上要有科学依据，在实际上行之有效。科学性原则主要体现在供热系统的代表性、合理性、可操作性及创新性等方面。

### (3) 系统层次性原则

应根据影响类别设置分层级次，层次之间关系明确、权重合理，并与所选择的评价方法相容。各指标不但能反映社会效益的影响，而且相互协调，便于全面评价所研究的对象。只有遵循了系统层次性原则，才能在指标选取的基础上建立指标体系。

### (4) 可比性原则

有比较才能有鉴别，因此，指标设置应保证指标的可比性，以提供准确的信息。指标的可比性包括两方面：一是纵向可比，即不同时间和空间范围上的可比性；二是横向可比，即不同地区、不同产业或行业之间的可比性。

### (5) 不相关原则

为了保证最终评价的客观真实有效，在指标选取的时候，尽可能避免指标间的相关性，尤其是高度相关性。在充分全面地考虑社会效益的表现的基础上，立足于指标选取的基本原则，选取能够刻画社会效益的指标。选取指标后，根据指标间的系统层次性，建立评价社会效益的指标体系。

## 2、社会评价指标

### (1) 节能指标

供热系统的热源、管网、末端用户等整个系统都会产生大量的热量损失，采用高效的供热系统可以减少不必要的热损失。不同的供热模式所需消耗的能源多少也不相同，有耗能多的也有耗能相对比较少的，这就需要从节能的角度对供热系统进行社会评价。供热社会评价中，节能效果的好坏主要是考虑供热系统的耗煤量、耗电量、耗水量等等有关能源方面的消耗量多少。社会评价中，同样可以通过建筑物耗热量指标、采暖设计热负荷、供热系统能耗指标、热效率等技术指标来判断系统的节能性。

### (2) 资源可利用性指标

资源可利用性是指供热方案对所需资源的利用程度。具体为其所需的资源的丰富性、资源的经济性、资源的可获得性，从资源的利用程度和难易来评价方案的优劣。

### (3) 环境质量指标

由于采暖能源消耗会导致污染物的排放，对方案进行评价时考虑烟尘、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 和 $\text{CO}_2$ ，噪声等污染物排放，即环境质量指标。根据不同的供热模式污染物排放发生区域的不同，可分为直接污染和间接污染。例如，区域锅炉房，直接影响小区环境，而电力驱动的供热方式（如热泵），虽然对小区环境没有直接污染，但是对发电厂的区域环境会造成影响。

#### (4) 三废治理指标

三废治理指标主要反映供热方案对废水、废气、废渣的处理程度，包括废水治理率、废气治理率、废渣治理率。

#### (5) 可持续性指标<sup>48</sup>

供热方案可持续性可通过“供热方案效果的持续性”(PRE)表示。

$$PRE = \frac{\sum_{T=0}^T W_h X_h (1+I)^{-T}}{T} \quad (5.25)$$

式中：

$T$ ——供热方案年平均效益大于年目标效益的期间；

$I$ ——供热方案社会折现率；

$X_h$ ——供热方案在  $h$  部门的年度效益值， $h=1,2,\dots,n$ ；

$W_h$ ——供热方案在  $h$  部门年度效益值占项目全部效益的比重系数。

式中项目可持续效益为项目的有形和无形效益总合。有形效益主要是表现为物质形式的社会效益，比如坏境影响，资源耗费等可以通过相关的调查和预测来确定。无形效益诸如文化、生活习俗等方面的影响可通过社会调查方式来确定。通过以上的处理，即可将可持续指标定量化。

#### (6) 对社会经济的影响指标

##### 1) 直接影响

##### ① 大气污染对人体健康的损害

大气污染对人体健康的损害，主要指供热系统排放的  $SO_2$  和  $NO$  等气体造成的环境损害。包括由于污染造成的人体得病导致医疗卫生费用的增加、疾病造成的误工人数增多甚至患者提前死亡。

##### ② 大气污染对农业生产的损害

大气污染对农业生产的损害主要是导致农产品减产与质量降低。

##### ③ 大气污染对建筑材料损失

大气污染对建筑物的损害主要是造成建筑物和材料的表面侵蚀，从而增加维护费用。

##### 2) 间接损失

间接损失主要是大气污染导致的清洗费用的增加，大气污染不但使城市建筑物外观受损，影响建筑物美学质量，更额外增加家庭和市政设施的清洗费用。

#### (7) 对人们心理的影响

良好的供热方案可以满足人们的心里需求，不仅能够减少环境污染而且可以提高人们的生活质量，供热系统产生的噪声和安全性对人们心理上都有影响，同时，

<sup>48</sup> 花拥军.项目社会评价指标体系及方法研究[D].重庆:重庆大学,2004.4:33

合理的供热方案可以增强人们的节能意识,所以把心理影响也列入社会评价考虑的因素之一。可根据影响程度的不同分为{很好,好,中等,一般,差}5个等级。

#### (8) 价格合理性指标

价格合理性指标的内容是要考虑供热方案的热商品化、和货币化的程度;供热方案是否有利于热计量收费;热价是否反映供求程度;以及政府热价调控有效程度、热价标准化程度等有关指标来确定价格是否合理。

### 5.3.4 城市供热社会评价方法

#### 1、城市供热节能评价

供热系统所消耗的能源的多少可以直接反映出其系统的节能效果。各供热系统所消耗的能源形式不同,有的需要消耗煤,有的需要消耗电,有的需要燃油。为便于比较,将各供热系统的能耗统一折算成一次能源——标准煤的消耗量,作为计算能源消耗量的标准。评价各方案能耗情况,传统上采用节煤量、节煤率等评价指标。除采用上述指标外,还有节煤系数,可直观地表示出系统供能与节能情况,其定义是节煤量与供热量之比,它有机地把一次能源节省量与供热量结合起来,而节煤率只是单一地从一次能耗的角度来评价。

将计算出来的标准煤消耗量、节煤量、节煤率及节煤系数及热、电水、各方面的能耗指标进行对比后便可直观的选出节能效果好的方案。

#### (1) 热耗分析<sup>49</sup>

在供热工程中,热量制备、转换、输送、用热各环节的能量进入和输出必须相等,即:

输入能量 = 可用能量 +  $\Sigma$  能量损失

能源利用率 = (可用能量 / 输入能量)  $\times 100\%$

供热系统是由三个子系统组成。

二次网子系统:热用户是终端,采暖散热器是终端用热设备,换热站、二次网和终端组成二次网子系统,换热站热交换器成为该子系统的能量转换点,一次网水则为它的热源。

一次网子系统:锅炉房(或热电厂首站),一次网和换热站组成一次网子系统,换热站是该子系统的热用户,锅炉受热面(或首站热交换器)成为能量转换设备,锅炉(或热电厂流经汽机制蒸汽)是热源。

热源子系统:锅炉本体(或热电厂)自成一个子系统,称为热源子系统。

若设采暖散热器热量消耗为  $N_0$ ,二次网输入热量为  $N_1$ ,一次网输入热量为  $N_2$ ,供热系统输入总能量是燃料热  $N_3$ 。

<sup>49</sup> 丛颖. 珲春市集中供热能耗与环境效益分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006.6.15-19

则：二次网子系统热能利用率： $\eta_1 = (N_0/N_1) \times 100\%$

一次网子系统热能利用率： $\eta_2 = (N_1/N_2) \times 100\%$

热源子系统热能利用率（锅炉或热电厂热效率）：

$$\eta_3 = (N_2/N_3) \times 100\%$$

供热系统热能利用率： $\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$

若设二次网管路热损失为  $E_1$ ，泄露漏热损失  $E_2$ ，换热站内热损失  $E_3$ ，一次网管路热损失为  $E_4$ ，泄漏热损失  $E_5$ ，锅炉房（首站）内热损失  $E_6$ ，热源损失包括化学不完全燃烧损失  $E_7$ ，固体不完全燃烧损失  $E_8$ ，飞灰热损失  $E_9$ ，灰渣热损失  $E_{10}$ ，排烟热损失  $E_{11}$ ，（热电厂还应增加供热分担的厂内热损失  $E_{12}$ ）。

则：二次网子系统的输入热量  $N_1 = N_0 + E_1 + E_2 + E_3$

一次网子系统的输入热量  $N_2 = N_1 + E_4 + E_5 + E_6$

热源子系统的输入热量  $N_3 = N_2 + E_7 + E_8 + E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12}$

## (2) 电耗分析

供热工程主要耗电设备有循环水泵、补水泵、鼓风机和引风机等，它们的电耗按各子系统计算后叠加。

### 1) 水泵耗电量

$$W = \sum (\gamma \times Q \times H) / (102 \times \eta \times \eta_d) \text{ KWh} \quad (5.26)$$

式中： $\gamma$ ——介质的容重 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )；

$Q$ ——水泵运行流量  $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$H$ ——水泵运行扬程  $\text{m}$ ；

$\eta$ ——水泵运行效率%；

$\eta_d$ ——电动机效率%；

$h$ ——有效小时数。

### 2) 风机耗电量

$$W = \sum (G \times H) / (\eta \times \eta_d) \text{ KWh} \quad (5.27)$$

式中：

$G$ ——风机运行风量  $\text{m}^3/\text{h}$ ；

$H$ ——风机运行风压  $\text{Pa}$ ；

$\eta$ ——风机运行效率（对皮带传动应包括机械传动效率）%；

$\eta_d$ ——电动机效率%；

$h$ ——有效小时数。

## 3) 耗电输热比 HER 值

一般情况下,按《民用建筑节能设计标准》要求,在采暖室内外计算温度条件下,全日理论水泵输送耗电量与全日系统供热量的比值,即耗电输热比 HER 值(无因次)应不大于按下式所得的计算值:

$$HER = \tau \times N / 24 \times q \times A \leq 0.0056(14 + a \sum L) / \Delta t \quad (5.28)$$

式中:

$\tau$ ——全日水泵运行时数,连续运行时为 24h;

$N$ ——水泵铭牌轴功率 KW;

$q$ ——采暖设计热负荷指标 KW/m<sup>2</sup>;

$A$ ——系统的供热面积 m<sup>2</sup>;

$\Delta t$ ——设计供回水温差℃;

$\sum L$ ——室外供回水管网主干线总长度 m;

$a$ ——长度系数,当  $\sum L = 500\text{m}$ ,  $a = 0.0115$ ;  $500\text{m} < \sum L < 1000\text{m}$ ,  $a = 0.0092$ ;

$\sum L \geq 1000\text{m}$ ,  $a = 0.0069$ )

2、社会影响评价<sup>50</sup>

## (1) 大气污染对人体健康的损害

目前,应用修正的人力资本法对由于环境污染而造成的人体健康损失进行估算。污染引起的健康损失等于劳动日所创造的净产值和医疗费用的总计,当人力资本的平均增长率和货币贴现率基本相等时,损失值可利用如下公式计算

$$S = M [P \times \sum_{i=0}^n T_i \times (L_i - L_{oi}) + \sum_{i=0}^n Y_i \times (L_i - L_{oi}) - P \times \sum_{i=0}^n H_i (L_i - L_{oi})] \quad (5.29)$$

$S$ ——环境污染对人体健康的损失值(万元)

$P$ ——人力资本(取人均净产值)(元/年·人)

$M$ ——污染区的人口数(10万人)

$T_i$ —— $i$ 种疾病患者人均丧失劳动时间(年)

$H_i$ —— $i$ 种疾病患者陪床人员的误工(年)

$Y_i$ —— $i$ 种疾病患者平均医疗护理费(元/人)

$L_{oi}$ 、 $L_i$ ——分别为污染和清洁对照区  $i$ 种疾病的发病率

目前的研究表明,呼吸系统疾病与大气污染有相关性。因此,数据选取集中于肺炎、慢性支气管炎、肺癌等疾病的相关数据。

## (2) 大气污染对农业生产的损害

计算时采用如下公式:

<sup>50</sup> 石小翠,建设项目环境影响评价的经济评价方法研究[D],乌鲁木齐:新疆农业大学,2005.5, 25-26

$$S_2 = \sum_{i=1}^n A_i Y_i P_i \quad (5.30)$$

式中:

$S_2$ ——农作物损失值

$A_i$ —— $i$ 种农作物产量

$Y_i$ ——由于大气污染引起的第 $i$ 种农作物的减产率%

$P_i$ ——第 $i$ 种农作物的价格(元/公斤)

对于减产率我们主要考虑二氧化硫引起的减产率。

(3) 大气污染对建筑材料损失

评价方法包括:材料生命值法和工业设备折算法,采用材料生命值法,计算公式

5.31:

$$\Delta C = S[f(P_2 - P_1)] \quad (5.31)$$

式中:

$S$ ——受影响区域内建筑物总面积,

$P_2$ ——预测该项目投产后大气污染综合指数,

$P_1$ ——项目实施前的大气污染综合指数。

(4) 大气污染导致的清洗费用的增加

家庭清洗采用公式 5.32:

$$S_4 = P \times \Delta d \times M + F \quad (5.32)$$

式中:

$S_4$ ——家庭清洁费

$P$ ——人均工资

$\Delta d$ ——与清洁区对照每户多用于清洗的时间(天)

$M$ ——总户数(户)

$F$ ——清洁用品消耗费(元)(注:按劳务费的20%计算)

### 3. 城市供热环境影响评价

随着人们环保意识的增强,在对城市供热模式进行选择时,环境因素已成为专家评议的一项重要内容。2002年浙江大学的曹勇在《供热方式环境评价方法的研究》中结合大气环境的评价方法,利用模糊数学的概念对供热方式的环境评价方法进行了一些探讨,提出了供热方式环境的一种评价方法。2004年哈尔滨工业大学的工作,利用上述办法在《城市供暖热源环境评价》中对哈尔滨地区供热方式对环境的影响成功的进行了评价。<sup>51</sup>

<sup>51</sup>王伟. 城市供暖热源环境影响评价[J]. 低温建筑技术, 2004, 3



### 5.3.5 城市供热社会评价存在的问题

#### 1、尚未形成系统的评价方法

目前我国学者主要已重在对社会评价的研究，虽然总结出了系统的社会评价方法，但是将其与城市供热相结合的评价方法欠缺，还没有专门进行对城市供热社会评价的研究，对城市供热社会评价的理论与方法研究不够。

#### 2、评价指标繁杂

对于城市供热社会评价与方法研究由于研究者的角度不同，指标体系也将会存在很大的差异。这些指标体系在结构设计上，千差万别，由于社会评价问题涉及面广、问题复杂、各种指标体系的指标选取均很繁杂，给数据收集、处理和解释带来诸多不便，不利于实际操作应用。

#### 3、缺少定量分析

目前在城市供热方面研究主要集中在城市集中供热模式研究，城市供热的节能研究，城市供热体制改革、热费收缴制度及方法的研究，城市供热经济评价研究上，这些研究多是从不同角度、不同方面来探讨城市供热问题。在对城市各种供热模式研究中，尽管已经考虑能源、环境问题，但没有明确的指标或定量分析，对各种供热模式的选择还主要考虑经济性，如初始投资、运行费用等。国内多数文章是定性来讨论城市供热对社会的影响问题，还没有定性定量结合探讨城市供热的社会评价问题。

### 5.3.6 城市供热社会评价理论体系构建

社会评价已越来越受到人们的关注，城市供热作为与人们生活的必要组成部分，已逐步引起人们的重视，其社会评价也显得愈发重要。社会评价理论体系包括社会评价的基本理论，社会评价指标体系，社会评价方法。社会评价基本理论阐述了社会评价的概念及其基本原理，论述了社会评价的原则；社会评价指标体系介绍了社会评价指标的特点，指标体系建立的原则及具体的评价指标；社会评价方法从供热节能、社会影响、环境影响三方面论述。具体见图 5.5。

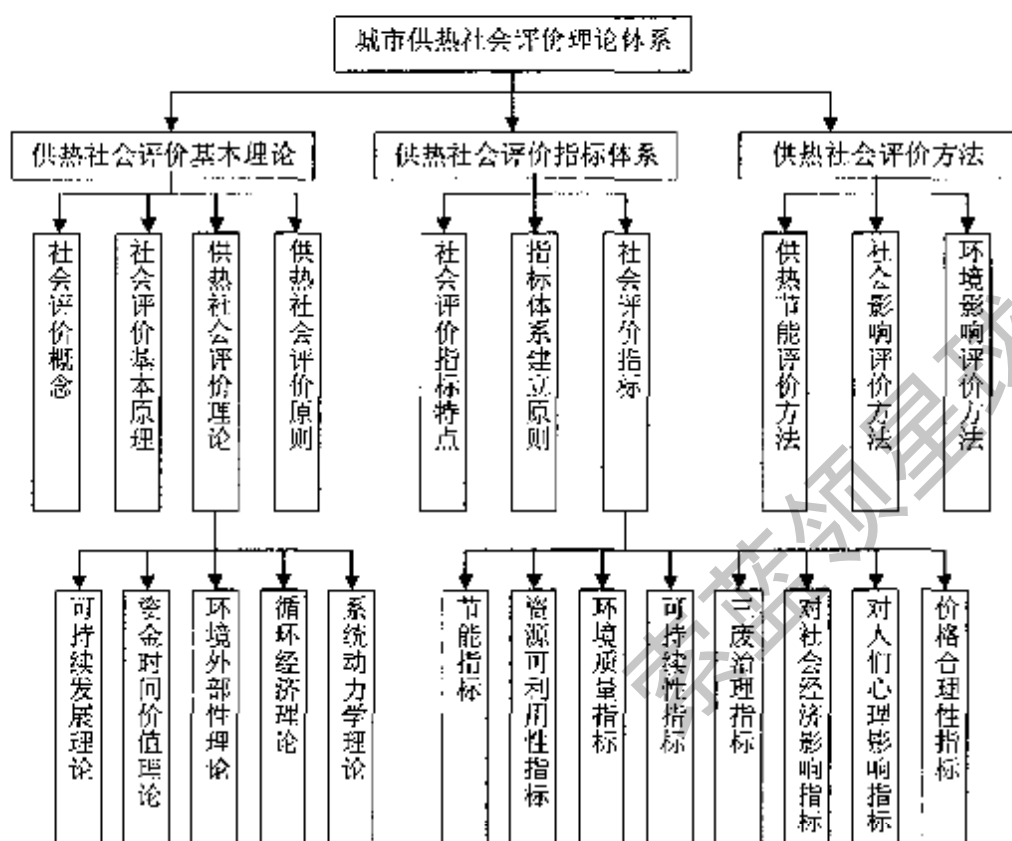


图 5.5 城市供热社会评价理论体系图

## 5.4 城市供热综合评价理论体系构建

由上述的分析研究可知，对城市供热的评价应从系统的角度进行。供热是个系统工程，结合城市供热系统的特点，可以把城市供热评价系统分为供热模式（包括热源、热网、热用户）、技术评价体系、经济评价体系、社会评价体系、环境评价体系等，即运用技术、经济、社会评价的理论与方法对城市供热系统内部体系及其对外部环境的影响进行综合性评价。

将城市供热技术评价理论体系、经济评价理论体系和社会评价理论体系构成城市供热综合评价理论体系。具体见图 5.6。

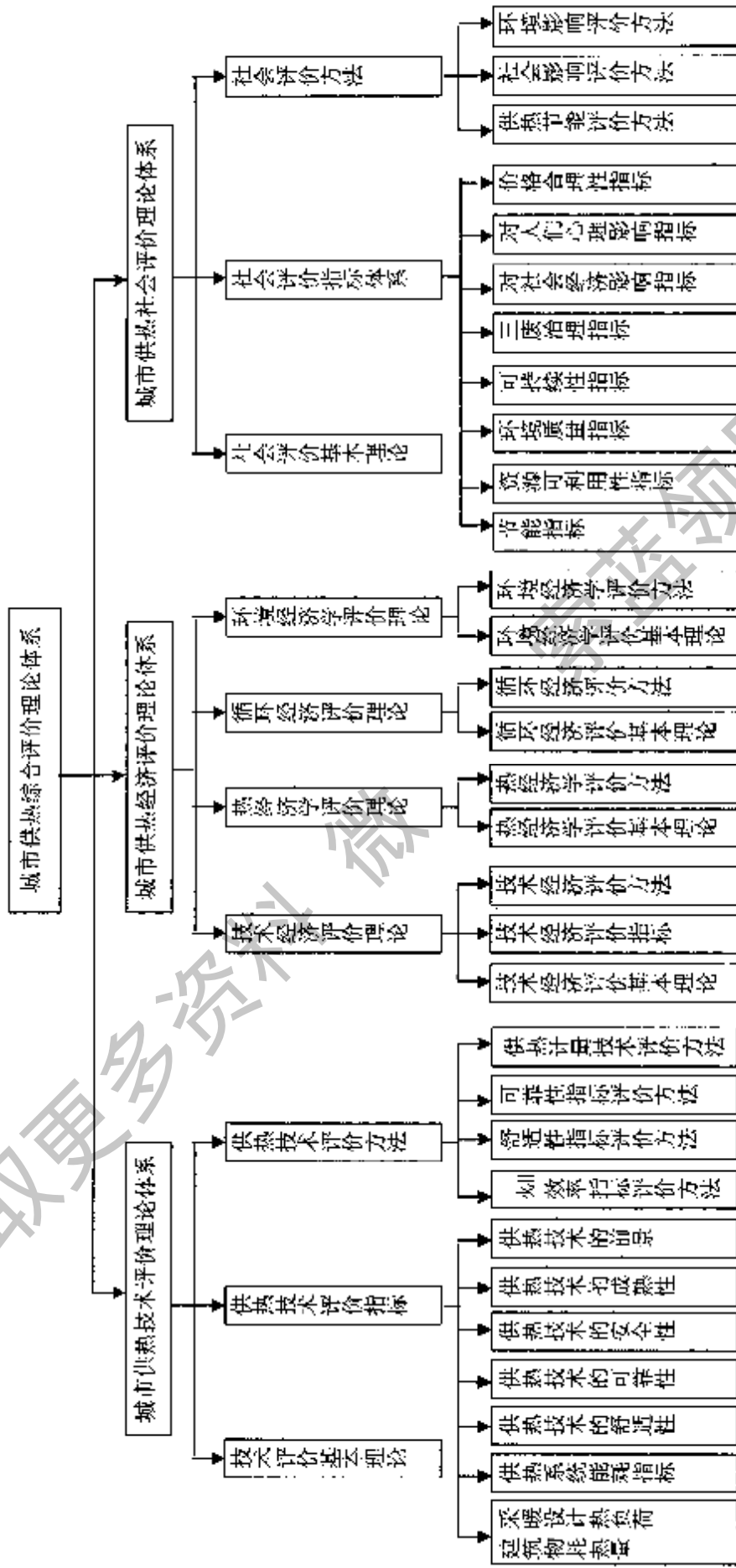


图 5.6 城市供热综合评价理论体系图

## 第六章 城市供热模式评价

近些年,综合评价方法有了很大的发展,各种新的综合评价方法蓬勃兴起。然而,城市供热模式评价是一个十分复杂的系统,它涉及到多方面的因素,不仅包括定量方面的因素而且包括定性方面的因素,并且各个因素之间还存在着一定程度上的相互关系。所以,在面对这样一个复杂的系统和如此庞杂的因素,选择什么样的评价方法,是关系到能否得出科学、全面、准确、客观的评价结果的关键,只有选择正确的、适合的评价方法,才能做出科学、合理的判断。

为了科学、全面、准确、客观的对供热模式进行评价,本文将分别采用 AHP、DEA 交叉评价法和 DEA/AHP 评价方法,对城市供热模式进行评价,通过这种方法对城市供热模式的评价方法和评价结论进行分析,以期得到科学合理的评价结论用于指导该方面的实践。

### 6.1 城市供热模式评价指标体系的建立

#### 6.1.1 评价指标体系建立原则

评价指标体系是整个供热模式评价过程的关键因素,在建立评价指标体系时,必须全面考虑影响供热模式的各方面因素,由于供热模式所涉及的因素众多,相互关系复杂,而且兼有定性和定量指标,因此需要以评价指标体系建立的原则为依据,建立合理、适用的评价指标体系。

(1) 一致性原则。这是指评价指标体系必须和预定的任务、目标、方针等内容的要求相一致。一致性原则要求评价指标体系建立者必须与有关人员(决策者、评价专家等)充分交换意见,以尽可能把握住预定的内容要求,并将其体现在评价指标体系之中,使评价指标体系能够回答决策者所提出的问题。

(2) 完备性原则。这一原则要求指标体系能够反映各个供热模式的经济效益、社会效益、生态效益和人文环境效益等方面的综合特征。既要考虑其直接、明显的影响,又要考虑其间接、潜在的影响,反映这些特征和影响的主要指标应尽可能完备。

(3) 简捷性原则。指标体系虽然全面反映各方面的综合特征,满足完备性原则,但并不是设立的指标越多越好,而是应尽量简捷,尽量减少指标个数,突出关键性指标,以大大减少评价的工作量。

(4) 客观性原则。这一原则有两个含义。一是要求指标体系要客观反映各供热模式诸多因素的内在逻辑联系;二是指标的选取要尽量以客观性指标代替主观性指

标, 并力求保证指标值的真实性。

(5) 可比性原则。指评价指标应能使评价对象互比主次。同时, 指标体系内部各指标之间也应能互相比较, 分清主次。

(6) 有效性原则。确定的指标及其体系应能够有效地反映出各供热模式之间在该指标上及总体上的差别。一般地讲, 这种差别越大, 越明显, 其有效性就越好。对有效性特别差的指标, 可以考虑剔除。

(7) 非相容性原则。即同一层次的各项指标所反映的特征, 应具有相对独立性, 不能互相包容。但需要说明的是, 非相容性并不是排除指标之间的相关性。有些指标尽管有一定相关性, 但它们分别从不同角度反映不同方面的特征, 仍具有作为指标存在的价值。

### 6.1.2 评价指标体系的建立

以第五章中阐述的城市供热评价理论方法及体系的主要思想为基础, 依据上述评价指标体系建立的原则, 综合考虑目前的客观实际以及供热模式评价时相关数据的获取等因素建立城市供热模式评价指标体系。

目前我国的供热模式很多, 势必会有很多的影响因素, 在这里将影响供热模式的众多因素分为四类, 并建立供热模式评价指标体系, 如表 6.1 所示。

表 6.1 供热模式评价指标体系

目标层	准则层	子准则层	方案层
供热模式综合效益	经济效益 $B_1$	初始投资费用 $b_{11}$	热电联产 区域燃煤锅炉
		运行费用 $b_{12}$	
		大修理费用 $b_{13}$	
		使用寿命 $b_{14}$	
	生态效益 $B_2$	有害气体和粉尘的排放量 $b_{21}$	家用小型燃气热水炉
		单位面积能耗 $b_{22}$	电热膜
		炉效率 $b_{23}$	蓄热式电暖气
	社会效益 $B_3$	收费纠纷率 $b_{31}$	电动空气源热泵
		安全程度 $b_{32}$	电动水源热泵
	人文环境效益 $B_4$	舒适保健性 $b_{41}$	区域燃气锅炉
		温度可调性 $b_{42}$	
		时间可调性 $b_{43}$	
		占用空间情况 $b_{44}$	
		维修便捷程度 $b_{45}$	

#### 1、经济效益指标

我国北方城镇目前存在的各种供热模式主要有: 热电联产供热系统、区域燃煤锅炉、区域燃气锅炉供热系统, 以及近几年新产生的和由国外引入的一些供热模式, 如电热膜供热、电动水源热泵供热、家用小型燃气热水炉、电动空气源热泵、蓄热

式电暖气等。对以上各种供热模式，分门别类，根据不同热源、不同的室内供热形式的各种组合。

经济效益指标具体包括：初始投资费用、运行费用、大型修理费以及使用寿命。以上这四项指标的原始数据来源，是对各个样本企业的实际数据进行统计、计算而得。

(1) 初始投资费用。初始投资费包括能源建设费等一次性征收的费用，锅炉房土建工程费，锅炉及其辅助设备费，锅炉的安装及调试费，热力管网的材料费及施工费，室内采暖系统的材料费及施工费。对于间接连接的供热系统，还包括二次供热管网和换热站等费用。

(2) 运行费用。运行费用包括使用各种供热模式的燃料费，水费，电费，人工费，折旧费，维修费，管理费。

(3) 大修理费用。大型修理费用是指在供热模式运行过程中发生大的故障而产生的维修费。

(4) 使用寿命。使用寿命是指各种供热设备的使用年限。

## 2、生态效益指标

生态效益是指供热模式的采用，使室内的环境有利于人们的健康，有利于城市的大气环境，减少城市污染物排放量，优化人们居住生活的生态环境，从而实现整个城市的环境效益。

生态效益指标具体包括：有害气体和粉尘的排放量、单位面积能耗和烟效率。这三项指标的原始数据是通过计算而得。

(1) 有害气体和粉尘的排放量。有害气体和粉尘的排放量包括在运行过程中产生的烟尘， $SO_2$ ， $CO$ ， $CO_2$ ， $NO_x$ 。

(2) 单位面积能耗。单位面积能耗指的是供热系统通过能量的转换、输送和分配，最终补偿冬季建筑散热，其能源消耗主要由燃料转换、热量输送和分配过程的损失以及建筑散热构成。

(3) 烟效率。烟效率指的是在供热模式中能量转换系统或设备，在进行转换过程中，被利用或收益的烟 $Exg$ 与支付或耗费的烟 $Exp$ 之比，用 $\eta_e$ 表示。即 $\eta_e=Exg/Exp$ 烟效率越接近1，表示设备或系统的热力学完善程度越好。

## 3、社会效益指标

社会效益是指通过选择了适当的供热模式及相应的管理服务，为热用户创造了安全和睦的生活空间和稳定的社会环境，采暖费的收取适应供热社会化和市场化。并且为消费者创造了一个良好人际关系和社会公德的社会环境，从精神上给人们以愉快的享受，可达到创建社会主义精神文明，实现住区的社会效益。优化配置整个城市的供热能源系统与供热模式，增强城市的可持续发展能力。

社会效益指标包括的具体指标有：收费纠纷率和安全程度。这两项指标数据是

来源于专家对其打分，并进行分析整理而得。

(1) 收费纠纷率。由于不同的供热模式对应的收费办法是不相同的，例如集中供热和分户供热。其热费的收缴难易程度和收费纠纷产生的情况差别较大。所以供热模式的选择必然会考虑到与供热模式密切的相关的热费收缴率的问题。具体是指导致收费方式不同而产生收费纠纷的发生频率。

(2) 安全程度。由于供热模式是由热源、热网和终端散热系统组成的，其中无论哪个部分出现问题都会导致安全问题的产生，所以供热模式评价一定要考虑其安全程度。具体是指各种供热模式在自身使用中存在安全隐患的相对概率，以及因各种供热模式发生故障引起的停供热，人身安全隐患等安全因素的程度。如供热管线爆裂、漏水、燃气泄露，热源故障造成大面积停热等等。

#### 4、人文环境效益指标

人文环境效益主要是考虑消费者对不同供热模式的舒适程度和安全程度的感觉，供热模式在时间选择方面的灵活性；供热模式对人体健康的有益性。

人文效益指标包括的具体指标有：舒适保健性、温度可调性、时间可调性、占用空间情况和维修便捷程度。这五项指标的数值来源是由专家进行打分，并进行整理分析而得。

(1) 舒适保健性。是指由所采用的供热模式所提供的热环境使得人体感觉舒适的程度，以及对人体保健的作用的特性。

(2) 温度可调性。是指所采用的供热模式可满足人们的需要具有能够随意调节供热温度的功能。

(3) 时间可调性。是指所采用的供热模式应具有能够根据具体气候冷暖的变化，调节其供热时间的功能。具体是指供热模式在供热时间上的灵活程度，不受固定供热时间限制的特性。

(4) 占用空间情况。主要指供热设备占用的建筑空间，以及管网，锅炉房和用户终端散热系统本身所占用的空间。占用空间小为好。

(5) 维修便捷程度。主要指的是针对各种供热模式中的热源，供热管网和散热装置发生故障后维修方便的难易程度。

## 6.2 基于 AHP 的供热模式综合评价

### 6.2.1 AHP 方法简述

层次分析法 (The Analytic Hierarchy Process, 简记 AHP), 是一种多准则决策方法, 它将定性分析和定量分析结合起来, 把人们的思维过程层次化和数量化, 在日

标（因素）结构复杂且缺乏必要的数据的情况下尤为可用，此方法自 20 世纪 70 年代美国运筹学家 Saaty T.L 提出以来，在实际中应用发展很快。

人们在日常生活中常常要做各种各样的决策，决策活动是人们进行选择或者判断的一种思维活动，有的决策比较简单，而很多决策面临的常常是一个由相互关联，相互制约的众多因素构成的复杂系统，很难完全用定量的数学模型解决，人们在对决策的研究中，逐渐认识到数学工具并非万能，决策中总会有大量因素无法定量地表示出来，这正是软科学与自然科学的区别。运筹学家们重新回到人的选择和判断上，认真研究决策思维的规律，AHP 正是在这种背景下提出的。

根据人们的思维规律，面对复杂的选择问题，人们往往是将问题分解成各个组成因素，又将这些因素按支配关系分组形成递阶层次结构，通过两两比较的模式确定层次中诸因素的相对重要性，然后综合决策者的判断，确定决策方法相对重要性的总的排序，从而做出选择和判断。这一思维过程的关键是层次的划分，权重的确定和排序的合并规则。

AHP 流程如图 6.1 所示：

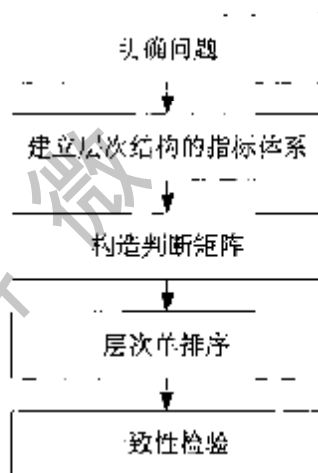


图 6.1 层次分析法流程图

### 1. AHP 原理

设有  $n$  个指标  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ，它们的评分分别为  $w_1, w_2, \dots, w_n$ ，若将他们两两比较，其值可以构成  $n \times n$  矩阵

$$A = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

此矩阵具有如下特点（即此矩阵具有完全一致性）：



- (1)  $a_{ii} = 1$ ;
- (2)  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ );
- (3)  $a_{ij} = a_{ik} / a_{jk}$  ( $i, j, k = 1, 2, \dots, n$ )

若用向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  右乘矩阵  $A$ , 则有

$$A \cdot W = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix}$$

即  $(A - nE)W = 0$

所以  $w$  为  $A$  的特征向量,  $n$  为  $w$  的特征值。

根据矩阵的理论可证,  $A$  具有唯一非零的最大特征值  $\lambda_{\max} = n$ 。

然而人们在决策过程中, 先有两两判断矩阵, 最后希望通过两两判断矩阵计算出  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , 这样一来两两判断矩阵不可能保证具有完全一致性, 做出的判断必然导致误差, 此时需要对矩阵进行一致性检验, 若不符合一致性标准则对两两判断矩阵进行调整。

## 2、AHP 的具体计算步骤

### (1) 明确问题

为了运用 AHP 进行系统分析, 首先要对问题有明确的认识, 弄清问题范围、所包含的因素及其相互关系、解决问题的目的、是否具有 AHP 所描述的特征。

### (2) 建立层次结构

这是 AHP 中最重要的一步。首先, 把复杂问题分解为称之为元素的各组成部分, 把这些元素按属性不同分成若干组, 以形成不同层次。同时它又受上一层次元素的支配。这种从上至下的支配关系形成了一个递阶层次。处于最上面的层次通常只有一个元素, 一般是分析问题的预定目标, 或理想结果。中间的层次一般是准则、指标层。最低一层包括决策的方案。层次之间元素的支配关系不一定是完全的, 即可以存在这样的元素, 它并不支配下一层次的所有元素。一个典型的层次可以用图 6.2 表示:

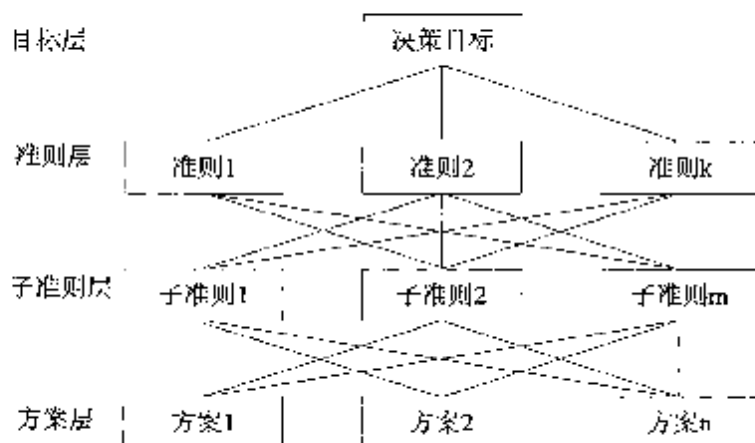


图 6.2 递阶层次结构示意图

### (3) 构造判断矩阵

针对上一层次某元素，对每一层次各个元素的相对重要性进行两两比较，并给出判断，这些判断用数值表示出来，写成矩阵形式，即所谓的判断矩阵。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

在构造  $A$  时，在两两判断矩阵中引入 1-9 标度，根据心理学家的研究，人们区分信息等级的极限能力为 7.12。标度 1, 3, 5, 7, 9 对应于两因素相比为同等重要、略为重要、比较重要、非常重要和绝对重要，而 2, 4, 6, 8 表示两判断中的中间状态对应的标度值，另外要求具有互反性。1-9 标度如表 6.2 所示。

### (4) 层次单排序及其一致性检验

所谓进行层次单排序，即把同一层次相应元素对于上一层次某元素相对重要性的排序权值求出来。其方法是计算判断矩阵  $A$  的满足等式  $AW = \lambda_{\max} W$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$  和特征向量  $W$ ，这个特征向量里的各元素值即是权值。

表 6.2 1-9 标度表

评分标准	定义
1	i 因素与 j 因素同等重要
3	i 因素比 j 因素略为重要
5	i 因素比 j 因素较重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	为以上两种判断的中间状态对应的标度值
倒数	j 因素与 i 因素比较，判断值 $a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ii} = 1$

可以证明, 对于  $n$  阶矩阵, 其最大特征根  $\lambda_{\max}$  为单根, 且  $\lambda_{\max} \geq n$ 。  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量均由正数组成。特别地, 当判断矩阵具有完全一致性时, 有  $\lambda_{\max} = n$ 。为检验判断矩阵的一致性, 需要计算一致性指标

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6.1)$$

当  $\lambda_{\max} = n$  时,  $CI = 0$  时, 判断矩阵为完全一致的;  $CI$  值越大, 判断矩阵的一致性越差,  $CI$  值越小, 表明判断矩阵越接近一致性。

此外, 还需要判断矩阵的平均一致性指标  $RI$ 。对于 1 至 9 阶矩阵,  $RI$  的值见表 6.3。

表 6.3 RI 修正值表

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

在这里, 对于 1, 2 阶判断矩阵,  $RI$  只是形式上的, 因为 1, 2 阶判断矩阵总具有完全一致性。当阶数大于 2 时, 判断矩阵的一致性指标  $CI$  与同阶平均随机一致性指标  $RI$  之比成为随机一致性比率, 记为  $CR$ , 当  $CR = CI / RI < 0.10$  时, 即认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要调整判断矩阵, 使其具有满意的一致性。

#### (5) 层次总排序

依次沿递接层次结构由上而下逐层计算, 即可计算出最低层因素相对于最高成(总目标)的相对重要性或相对优劣的排序值, 即层次总排序。也就是说, 层次总排序是针对最高层目标而言的, 最高层次的总排序就是其层次总排序。

层次总排序具体做法是利用公式

$$W_g = b_i \times b_j \quad (6.2)$$

计算各层元素系统目标的合成权重, 进行总排序, 以确定结构图中最底层各个元素在总目标中的重要程度。这一过程是最高层次到最低层次逐层进行的。

#### (6) 计算方案层排序

计算方案层综合效益评价值, 其公式如下:

$$R = W \times Y \quad (6.3)$$

式中:

$R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$  为  $n$  种方案综合效益评价值;

$W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$  为  $m$  个子准则层的权向量;

$Y = (Y_{ij})_{m \times n}$  为  $n$  种方案的子准则层的无量纲化数据矩阵。

在对数据进行无量纲化处理过程中, 先采用极值法对数据进行无量纲化处理, 然后按  $r_i$  的大小将方案层进行排序,  $r_i$  越大的方案综合效益越好, 排序越靠前。

## 6.2.2 供热模式综合评价

### 6.2.2.1 构造两两判断矩阵

针对各种供热模式的各项指标,由专家根据实际情况和经验进行两两比较,给出子准则层相对准则层的两两判断矩阵,以及准则层相对供热模式综合效益的两两判断矩阵,再对各个专家建立的判断矩阵进行整理计算,形成协调后的判断矩阵,形成了以下几个表(表6.4~表6.8):

表 6.4 (A-B 判断矩阵)

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
B <sub>1</sub>	1	3	3	5
B <sub>2</sub>	1/3	1	1	3
B <sub>3</sub>	1/3	1	1	1
B <sub>4</sub>	1/5	1/3	1	1

表 6.5 (B-B<sub>1</sub>) 判断矩阵

B <sub>1</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>14</sub>
b <sub>11</sub>	1	2	5	3
b <sub>12</sub>	2	1	5	3
b <sub>13</sub>	1/5	1/5	1	1/5
b <sub>14</sub>	1/3	1/3	5	1

表 6.6 (B-B<sub>2</sub>) 判断矩阵

B <sub>2</sub>	b <sub>21</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>23</sub>
b <sub>21</sub>	1	3	2
b <sub>22</sub>	1/3	1	1/2
b <sub>23</sub>	1/2	2	1

表 6.7 (B-B<sub>3</sub>) 判断矩阵

B <sub>3</sub>	b <sub>31</sub>	b <sub>32</sub>
b <sub>31</sub>	1	3
b <sub>32</sub>	1/3	1

表 6.8 (B-B<sub>4</sub>) 判断矩阵

B <sub>4</sub>	b <sub>41</sub>	b <sub>42</sub>	b <sub>43</sub>	b <sub>44</sub>	b <sub>45</sub>
b <sub>41</sub>	1	3	3	5	7
b <sub>42</sub>	1/3	1	3	5	5
b <sub>43</sub>	1/3	1/3	1	3	3
b <sub>44</sub>	1/5	1/5	1/3	1	3
b <sub>45</sub>	1/7	1/5	1/3	1/3	1

### 6.2.2.2 計算判斷矩陣的各層次排序

對各判斷矩陣的各層次單排序進行計算以及求得一致性檢驗結果，具體如下。

(1) 對於判斷矩陣  $A$  來說，其計算結果為：

$$\lambda_{\max}=4.4413$$

$$CI=0.066033$$

$$RI=0.90$$

$$CR=0.07337 < 0.1 \text{ 有滿意的一致性}$$

$$\text{單排序為 } (B_1, B_2, B_3, B_4) = (0.4985, 0.1979, 0.1979, 0.1057)$$

(2) 對於判斷矩陣  $B_1$  來說，其計算結果為：

$$\lambda_{\max}=4.1545$$

$$CI=0.1545$$

$$RI=0.90$$

$$CR=0.057222 < 0.1 \text{ 有滿意的一致性}$$

$$(b_{11}, b_{12}, b_{13}, b_{14}) = (0.3825, 0.3825, 0.0596, 0.1753)$$

(3) 對於判斷矩陣  $B_2$  來說，其計算結果為：

$$\lambda_{\max}=3.0092$$

$$CI=0.0046$$

$$RI=0.58$$

$$CR=0.007931 < 0.1 \text{ 有不滿意的一致性}$$

$$(b_{21}, b_{22}, b_{23}) = (0.5396, 0.1634, 0.2970)$$

(4) 對於判斷矩陣  $B_3$  來說，其計算結果為：

$$\lambda_{\max}=2$$

$$CI=0$$

$$CR=0 < 0.1 \text{ 有滿意的一致性}$$

$$(b_{31}, b_{32}) = (0.7500, 0.2500)$$

(5) 對於判斷矩陣  $B_4$  來說，其計算結果為：

$$\lambda_{\max}=5.2901$$

$$CI=0.072525$$

$$RI=1.12$$

$$CR=0.064754 < 0.1 \text{ 有滿意的一致性}$$

$$(b_{41}, b_{42}, b_{43}, b_{44}, b_{45}) = (0.4575, 0.2777, 0.1426, 0.0770, 0.0452)$$

### 6.2.2.3 計算子準則層權重

由公式 (6.2) 計算得各子準則層權重如下：

$$(W_{11}, W_{12}, W_{13}, W_{14}) = (0.190676, 0.190676, 0.029711, 0.087387)$$

$$(W_{21}, W_{22}, W_{23}) = (0.106787, 0.032337, 0.058776)$$

$$(W_{31}, W_{32}) = (0.148425, 0.049475)$$

$$(W_{41}, W_{42}, W_{43}, W_{44}, W_{45}) = (0.048358, 0.029353, 0.015073, 0.008139, 0.004778)$$

#### 6.2.2.4 基于 AHP 供热模式综合效益评价

通过调研采用不同供热模式的供热企业，以及查阅以往的相关文献资料，收集到了供热模式各项指标的基本数据，再对各项基本数据进行计算处理，得到供热模式各项指标数据统计表，具体如表 6.9 所示。

表 6.9 各种供热模式的各项指标数据统计表

供热模式 数据 指标	热电联产	区域燃煤锅炉	家用小型燃气热水炉	电热膜	蓄热式电暖气	电动空气源热泵	电动水源热泵	区域燃气锅炉
初始投资费用	110	100	110	40	150	150	80	95
运行费用	12.6	12.1	18.7	43.3	26.8	27.5	20	28.3
大型修理费用 (m <sup>2</sup> ·a)	2.01	3.70	2.45	2.68	2.68	2	2	3.5
有害气体和粉尘的排放量 Kg/(m <sup>2</sup> ·a)	0.235	1.174	0.012	0.649	0.649	1.94	1.94	0.033
单位面积能耗 (折合一次能源) GJ/(m <sup>2</sup> ·a)	0.32	0.63	0.45	1.20	1.20	0.66	0.57	0.60
使用寿命 (年)	10	10	10	10	10	18	15 以上	10
热效率	46.89	46.55	14.99	8.5	8.5	43	50	8.6

当各种供热模式的评价指标进行定量计算存在着困难，也无其他数据进行参考时，往往需要采用专家评分的办法。为了使得到的数据更加准确，我们共向业内 50 位专家进行咨询评分，最终收回了 42 组有效数据。在设计分值范围时，考虑到参评的每种供热方案的存在必有其合理之处，也是经过了时间的考验和用户的认可的，即使存在多种不足，但它还是可以被认为是中等的，因此本文将分值的底线设为 70 分，采用常用数值 100 作为分值的上线。由此确定出打分区间为 (70~100 分)，在此基础上将打分区间划分为很好、好、中三级。即：很好 (90~100 分)，好 (80~89 分)，中 (70~79 分)。专家进行评定时可初步确定各指标的等级 (很好、好、中)，然后在所属的区间范围内给出具体的评分。

接着将对每项指标的数据进行平均计算，再对其计算值进行四舍五入，最后得到评价指标数据，详见表 6.10。

表 6.10 供热模式各项指标专家评分统计表

供热模式 分 指 标	热电 联产	区域燃 煤锅炉	家用小型 燃气热水 炉	电热 膜	家庭蓄 热式电 暖气	电动空 气源热 泵	电动 水源 热泵	区域燃 气锅炉
占门空间情况	81	92	77	71	82	84	86	91
收费纠纷率	89	90	70	72	70	71	73	90
安全程度	80	79	72	89	87	92	91	82
舒适保健性	71	70	78	92	73	77	76	70
分户温度可调节性	70	72	89	91	92	89	92	71
时间可调节性	73	72	92	89	89	90	91	71
维修便捷程度	70	73	90	80	93	85	82	73

将表 6.9 和表 6.10 的数据采用极值法进行无量纲化处理，得到 8 种供热模式的子准则层的无量纲化数据矩阵。然后代入公式 (6.3)，式中：

$R = (R_1, R_2, \dots, R_8)$  为 8 种供热模式综合效益评价值；

$W = (W_{11}, W_{12}, W_{13}, W_{14}, W_{21}, W_{22}, W_{23}, W_{31}, W_{32}, W_{41}, W_{42}, W_{43}, W_{44}, W_{45})$  为 14 个评价子准则层；

$Y = (Y_{ij})_{14 \times 8}$  为 8 种供热模式的子准则层的无量纲化数据矩阵。

经过计算得：

$R = (R_1, R_2, \dots, R_8)$

$= (0.5458, 0.4589, 0.5749, 0.5087, 0.4026, 0.5414, 0.6101, 0.3443)$

然后按  $R_i$  的大小将供热模式进行排序， $R_i$  越大的供热模式综合效益越好。所以 8 种供热模式的综合效益的优劣排序依次为：

电动水源热泵、家用小型燃气热水炉、热电联产、电动空气源热泵、电热膜、区域燃煤锅炉、蓄热式电暖气、区域燃气锅炉。

## 6.3 基于 DEA 交叉评价法的供热模式综合评价

### 6.3.1 DEA 方法简述

数据包络分析法 (Data Envelopment Analysis, 简称 DEA) 由美国运筹学家 A.Charnes 和 W.W.Cooper 及等学者以“相对效率评价”概念为基础，是一种对若干同类型的，具有多输入多输出的决策单元 (Decision Making Unit, 简称 DMU) 进行相对效率比较的有效方法。<sup>52</sup> 现在，随着有关理论研究不断深入，应用领域的日益广泛，将 DEA 法应用于供热模式的评价在理论上是适用的。

<sup>52</sup> 杨年生,《经济系统定量分析方法》[M].长春:吉林科学技术出版社,2001,285-331

### 1、DEA 方法的原理

DEA 通常应用是对一组给定的决策单元, 选定一组输入、输出的评价指标, 求所关心的特定决策单元的有效性系数, 以此来评价决策单元的优劣, 即被评价单元相对于给定的那组决策单元中的相对有效性。也就是说, 通过输入和输出数据的综合分析, DEA 可以得出每个 DMU (决策单元) 综合效率的数量指标。据此将各决策单元定级排队, 确定有效的决策单元, 并可给出其他决策单元非有效的原因和程度。即它不仅可对同一类型各决策单元的相对有效性做出评价与排序, 而且还可以进一步分析各决策单元非 DEA 有效的原因及其改进方向, 从而为决策者提供重要的管理决策信息。

这是一个多输入/多输出的有效性综合评价问题。多输入/多输出正是 DEA 重要而引人注意的地方, 这是它自身突出的优点之一。可以说, 在处理多输入—多输出的有效性评价方面, DEA 具有绝对优势, DEA 特别适用于与多输入输出的复杂系统, 这主要体现在以下几点:

(1) DEA 以决策单元各输入输出的权重为变量, 从最有利于决策单元的角度进行评价, 从而避免了确定各指标在优先意义下的权重。

(2) 假定每个输入都关联到一个或者多个输出, 而且输出输入之间确实存在某种关系, 使用 DEA 方法则不必确定这种关系的显性表达式。

DEA 最突出的优点是无须任何权重假设, 每一输入输出的权重不是根据评价者的主观认定, 而是由决策单元的实际数据求得的最优权重。因此, DEA 方法排除了很多主观因素, 具有很强的客观性。

### 2、DEA 法的解题步骤

DEA 方法应用的一般步骤为: 明确评价目的、选择 DMU、建立输入/输出评价指标体系、收集和整理数据、DEA 模型的选择和进行计算、分析评价结果并提出决策建议<sup>53</sup>。下面分别进行阐述。

(1) DEA 方法的基本功能是“评价”, 特别是进行多个同类样本间的“相对优劣性”的评价。这样就有一系列的问题需要明确, 如哪些 DMU 能够在一起评价、通过什么样的输出/输入指标体系进行评价, 选择什么样的 DEA 模型进行评价等。为了使 DEA 方法提供的信息具有较强的科学性, 上述问题应该服从于我们应用 DEA 方法的具体目的性。因此, 明确评价目的是应用 DEA 方法的首要问题。当然, 这里所说的“评价”是广义的, 实际上是指通过 DEA 方法提供的评价功能而进行的系统分析工作。

(2) 选择 DMU。由于 DEA 方法是在同类型的 DMU 之间进行相对有效性的评价, 因此选择 DMU 的一个基本要求就是 DMU 同类型。在实际中下面两点可以帮助我们选择 DMU。

<sup>53</sup> 杨印生.《经济系统定量分析方法》[M].长春:吉林科学技术出版社, 2001: P285-331



1) 用 DMU 的物理背景或活动空间来判断, 即 DMU 具有相同的外部环境、相同的输入、输出指标和相同的目标任务等。

2) 用 DMU 活动的时间间隔来构造, 例如有一个生产过程的时间间隔为  $[0, T]$ , 现将  $[0, T]$   $q$  等分, 由于每个等分中的生产过程都是原过程的一部分 (一个时段), 因此如果将每个等分视为一个 DMU, 则可认为我们一共得到  $q$  个同类型的 DMU。另外 DMU 个数不宜过多, 否则可能会使 DMU 的同类型受到影响。

(3) 建立输入/输出指标体系是应用 DEA 方法的一项基础性前提工作。DEA 主要是利用各决策单元的输入、输出评价指标数据对决策单元进行相对有效性评价。系统的评价指标不同, 其有效性的评价结果也将不同。要考虑如下几点:

1) 要考虑到能够实现评价目的。为了做到这一点, 需要把评价目的从输入和输出两个不同的侧面分解成若干变量, 并且该评价目的的确能够通过这些输入向量和输出向量构成的生产过程。当然如果指标的经济意义比较直观、明显, 与评价目的性挂钩也较紧, 也就很容易地被认定为输入 (出) 指标。通常可将各决策单元的效用型指标作为系统的输出指标, 将成本型指标作为系统的输入指标。

2) 能全面反映评价目的。一般来说, 一个评价目的需要多个输入和输出才能较为全面地描述, 缺少某个或者某些指标常会使评价目的不能完整地得以实现。换言之, 缺少了某个或某些指标, 就不能够全面地反映评价目的。例如在某个指标体系中新增一个或去掉一个, 原来非有效 DMU 变成了有效的或原来有效的 DMU 变成了非有效的。

3) 要考虑到输入向量、输出向量之间的联系。在生产过程中 DMU 各输入和各输出之间往往不是孤立的。在实际中, 通过向专家咨询或进行统计分析可以帮助我们做到以上这些, 也可在初步确定了输入/输出指标体系后, 进行试探性的 DEA 分析。如果在用了几组样本数据进行分析后, 个别指标对应的权重总是很小, 这说明这样的指标对 DMU 有效性的影响不大, 可以考虑删除这些指标。

(4) 收集和整理数据资料。采用 DEA 方法评价各决策单元的相对有效性时, 需要输入各决策单元的输入、输出指标值, 这些指标值的正确性将直接影响各决策单元的相对有效性评价结果。所以, 正确收集和科学整理各决策单元的输入、输出数据就成为 DEA 评价中的重要组成部分。评价指标中可以包含人文、社会、心理等领域中的非结构化因素, 但需要按可靠标准予以量化赋值, 如分为若干级别, 以数字表示。在实际应用中, 投入指标和产出指标均有不同的量纲, 但这并不构成使用 DEA 时的困难。决策单元的最优效率指标与投入指标值及产出指标值的量纲选取无关。也就是说, 由于 DEA 方法并不直接对指标数据进行综合, 因而建立模型前无须对数据进行无量纲化处理。当然, 也可在建模前先作无量纲化处理。

## 6.3.2 DEA 模型及 DEA 交叉评价模型的建立

### 6.3.2.1 DEA 模型的建立

DEA 是对一些同类型的评价对象进行相对有效性评价的一种方法。一个决策单元的有效性是用该单元的多指标输出的加权和与多指标输入的加权和之比来定义的。

设有  $n$  个决策单元  $DMU_i = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix}$  ( $i=1,2,\dots,n$ )，其中  $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]^T$ ，

$Y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{is}]^T$ ，分别是  $DMU_i$  的  $m$  项输入  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$  和  $s$  项输出  $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{is}$  ( $x_{ij}, y_{ij} > 0$ ) 的向量。记  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ ， $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$  并称  $X$  为多指标输入矩阵， $Y$  为多指标输出矩阵。

设  $v = [v_1, v_2, \dots, v_m]^T$  和  $u = [u_1, u_2, \dots, u_s]^T$ ，分别是输入和输出的权向量 ( $u, v \geq 0$ )，则  $DMU_i$  的总输出  $Q_i$  与总输入  $I_i$  分别为：

$$I_i = v_1 x_{i1} + v_2 x_{i2} + \dots + v_m x_{im} = x_i^T v$$

$$Q_i = u_1 y_{i1} + u_2 y_{i2} + \dots + u_s y_{is} = y_i^T u$$

显然，总输入  $I_i$  越大，总输出越小，则  $DMU_i$  的效率越高。为此，DEA 用总输出与总输入之比的大小来衡量  $DMU_i$  的有效性，令

$$E_{ii} = \frac{Q_i}{I_i} = \frac{y_i^T u}{x_i^T v} \quad (6.4)$$

$E_{ii}$  称为  $DMU_i$  的效率评价指数。在上式中，权向量  $u$  和  $v$  都是待定的，它们的每一个分量都是非负的 (记作  $u > 0, v > 0$ )。对每一个  $DMU_i$ ，我们求使  $E_{ii}$  达到最大值的权向量。因此，得到 DEA 的  $C^2R$  模型 ( $\bar{P}$ )：对每一个  $DMU_i$ ，解以下极大化问题：

$$\begin{cases} \max \frac{y_i^T u}{x_i^T v} = E_{ii} \\ \text{s.t.} \frac{y_j^T u}{x_j^T v} \leq 1 (1 \leq j \leq n), u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (6.5)$$

这是一个分式规划问题，利用 Charnes Cooper 变换，可将上式化为下列等价的线性规划模型：

$$\begin{cases} \max y_i^T u = E_{ii}^* \\ \text{s.t.} y_j^T u \leq x_j^T v (1 \leq j \leq n), x_i^T v = 1, u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (6.6)$$

设模型 (6.6) 有最优解  $u_i^*$  和  $v_i^*$  (称为  $DMU_i$  的最佳权重，记作  $w_i^* = \begin{bmatrix} v_i^* \\ u_i^* \end{bmatrix}$ )，则最优值  $E_{ii} = y_i^* u_i^*$  为  $DMU_i$  的直接效率值。由于  $E_{ii}$  是利用最有利于  $DMU_i$  的权重计算

出来的值, 因此我们称  $E_{ii}$  为  $DMU_i$  的自我评价值。在 DEA 中, 如果  $E_{ii}$  达到最大值 1, 则称  $DMU_i$  是有效的; 若  $E_{ii} < 1$ , 则称  $DMU_i$  为非有效的。

### 6.3.2.2 DEA 交叉评价模型的建立

DEA 交叉评价是将 DEA 作为多准则决策的一种排序工具而产生的一种新的方法。传统的 DEA 方法的结果往往不能有效地区分诸决策单元的优劣, 并且各决策单元为达到其效率评价指数的最大值, 往往对诸输入和输出指标采用极端和不合理的权重分配。DEA 交叉评价在一定程度上弥补了传统的 DEA 方法的这些缺陷。

在实际问题中, 往往有较多的决策单元都能取到最大的效率值 1。因此, 仅用  $E_{ii}$  一般不能区分这些决策单元的优劣。此外, 模型 (6.6) 让每一个  $DMU_i$  用最有利于本单元的权重  $w_i^T$  计算出  $E_{ii}$ , 这个权重往往对诸输入和输出的分配极为悬殊(例如, 对有利于本单元的输入和输出指标赋的权很大, 对不利于本单元的指标赋权很小, 甚至赋予零权重)。这种只重视少数有利的输入和输出指标, 而不重视(甚至完全忽略)其它指标的现象使模型 (6.6) 计算出的自我评价值  $E_{ii}$ , 并不能完全反映出  $DMU_i$  的优劣。为了解决这个问题, 我们引入交叉评价机制。交叉评价的基本思想是: 用

每一个  $DMU_j$  的最佳权重  $W_j^T = \begin{bmatrix} v_j^T \\ u_j^T \end{bmatrix}$  去计算其它  $DMU_k$  的效率值, 得交叉评价值:

$$E_{ik} = \frac{y_k^T u}{x_k^T v} \quad (6.7)$$

$E_{ik}$  越大对  $DMU_k$  越有利, 对  $DMU_i$  越不利。

但是, 由于线性规划模型 (6.6) 的最优解  $u_i^T$  和  $v_i^T$  不唯一, 由 (6.7) 得出的交叉评价值  $E_{ik}$  具有不确定性。为此, 可采用对抗型交叉评价。这种方法的步骤是:

(1) 先用模型 (6.6) 得出每一个  $DMU_i$  的自我评价值  $E_{ii}$ ;

(2) 在保证  $DMU_i$  得到最大值  $E_{ii}$  的前提下, 使其它的  $DMU_k$  得到尽可能小的交叉评价值  $E_{ik}$ 。对抗型交叉评价的实质是: 每一个  $DMU_i$  在尽可能抬高本单元的前提下, 尽可能地贬低其它  $DMU_k$ 。为此, 我们以  $\max y_i^T u$  作为第一目标, 以  $\min \frac{y_k^T u}{x_k^T v}$

作为第二目标, 建立对抗型交叉评价模型<sup>54</sup>。

1) 利用模型 (6.6) 计算出  $DMU_i$  的自我评价值  $E_{ii}$ ;

2) 给定  $i \in (1, 2, \dots, n), k \in (1, 2, \dots, n)$ , 解以下线性规划模型:

$$\begin{cases} \min y_k^T u \\ \text{s.t. } y_j^T u \leq x_j^T v (1 \leq j \leq n), y_i^T u = E_{ii} x_i^T v, x_i^T v = 1, u \geq 0, v \geq 0 \end{cases} \quad (6.8)$$

3) 利用模型 (6.8) 的最优解  $u_i^T$  和  $v_i^T$  求出交叉评价值

<sup>54</sup>彭育威, 吴守宪, 徐小湛, 利用 MATLAB 进行 DEA 交叉评价分析[J], 西南民族大学学报(自然科学版), 2004(30): 553-556

$$E_{ik} = \frac{y_k^T u_k^T}{x_k^T v_k^T} = y_k^T u_k^T \quad (6.9)$$

4) 由交叉评价值得交叉评价矩阵:

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ E_{n1} & E_{n2} & \cdots & E_{nn} \end{bmatrix}$$

其中, 主对角线元素  $E_{ii}$  为自我评价值, 非主对角线元素  $E_{ik}$  ( $i \neq k$ ) 为交叉评价值。E 的第  $i$  列是诸决策单元对  $DMU_i$  的评价值, 这些值越大, 说明  $DMU_i$  越优; E 的第  $i$  行(对角线元素除外)是  $DMU_i$  对其它决策单元的评价值, 这些值越小对  $DMU_i$  越有利。

$$\text{将 E 的第 } i \text{ 列的平均值: } e_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n E_{ik} \quad (6.10)$$

作为衡量  $DMU_i$  的优劣的一项指标。 $e_i$  可视为各决策单元对  $DMU_i$  的总的评价值,  $e_i$  越大说明  $DMU_i$  越优。同样, 也可以将第  $i$  行非对角线元素的平均值  $e_i^T = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n E_{ik}$  作为各决策单元对  $DMU_i$  的总的评价值,  $e_i^T$  越小, 说明  $DMU_i$  越优。

### 6.3.3 基于 DEA 交叉评价法的供热模式综合效益评价

#### 6.3.3.1 决策单元和评价指标的选取

选取 8 种供热模式作为决策单元 ( $DMU_1$ - $DMU_8$ ), 选取 14 种子准则层作为 DEA 交叉评价法的评价指标, 将初始投资费用, 运行费用, 大型修理费用, 有害气体和粉尘的排放量, 单位面积能耗, 收费纠纷率, 占用空间情况作为 DEA 交叉评价的输入指标, 将使用寿命, 烟效率, 安全程度, 舒适保健性, 温度可调节性, 时间可调节性, 维修便捷程度作为 DEA 交叉评价的输出指标。

#### 6.3.3.2 计算结果分析

运用此方法对供热模式综合评价的原始数据来源见表 6.9 和表 6.10 所示。

将上述输入输出指标数据代入模型 (6.6) 中得线性规划模型如下:

$$\max E_{11} = \frac{(10,46,89,80,71,70,73,70)u}{(110,12.6,2.01,0.235,0.32,81,89)v}$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{(10,46,55,79,70,72,72,73)u}{(100,12.1,3.70,1.174,0.63,92,90)v} \leq 1$$

$$\frac{(10,14,99,72,78,89,92,90)u}{(110,18.7,2.45,0.012,0.45,77,70)v} \leq 1$$

$$\frac{(10,8.5,89,92,91,89,80)u}{(40,43.3,2.68,0.649,1.20,71,72)v} \leq 1$$

$$\frac{(10,8.5,87,73,92,89,93)u}{(150,26.8,2.68,0.649,1.20,82,70)v} \leq 1$$

$$\frac{(18,43,92,77,89,90,85)u}{(150,27.5,2.194,0.66,84,71)v} \leq 1$$

$$\frac{(15,50,91,76,92,91,82)u}{(120,20,2.194,0.57,86,73)v} \leq 1$$

$$\frac{(10,8.6,82,70,71,71,73)u}{(95,28.3,3.5,0.033,0.60,91,90)v} \leq 1$$

$$u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7)^T$$

$$v = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7)^T$$

$$u_i \geq 0 \quad i=1,2,3,4,5,6,7$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1,2,3,4,5,6,7$$

利用 MATLAB 软件解此线性规划模型得  $E_{11}=1$ 。同理，按照同样方法计算，可得  $E_{22}=1$ ,  $E_{33}=1$ ,  $E_{44}=1$ ,  $E_{55}=1$ ,  $E_{66}=1$ ,  $E_{77}=1$ 。这就说明所有的决策单元都是有效的。下面对有效的决策单元进行交叉对抗型交叉评价。

将所有决策单元代入模型 (6.8) 中，然后利用其解得  $u$ ,  $v$  的最优解  $u_i^T$  和  $v_j^T$  求出交叉评价值

$$E_{jk} = \frac{y_k^T u_j^T}{x_k^T v_j^T} = y_k^T u_{jk}^T \quad (6.11)$$

本文仅选取  $E_{12}$  进行计算，其他类同。具体情况如下：

$$\begin{cases}
 \min & (10,14.99,72,78.89,92,90)u \\
 \text{s.t.} & \frac{(10,46.55,79,70,72,72,73)u}{(100,12.1,3.70,1.174,0.63,92,90)v} \leq 1 \\
 & \frac{(10,14.99,72,78.89,92,90)u}{(110,18.7,2.45,0.012,0.45,77,70)v} \leq 1 \\
 & \frac{(10,8.5,89,92,91,89,80)u}{(40,43.3,2.68,0.649,1.20,71,72)v} \leq 1 \\
 & \frac{(10,8.5,85,70,90,90,93)u}{(150,26.8,2.68,0.649,1.20,80,70)v} \leq 1 \\
 & \frac{(18,43,92,77,89,90,85)u}{(150,27.5,2,1.94,0.66,84,71)v} \leq 1 \\
 & \frac{(15,50,91,76,92,91,82)u}{(120,20,2,1.94,0.57,86,73)v} \leq 1 \\
 & \frac{(10,8.6,82,70,71,71,73)u}{(95,28.3,3.5,0.033,0.60,91,90)v} \leq 1 \\
 & (10,46.89,80,71,70,73,70)u = 1 \times (110,12.6,2.01,0.235,0.32,81,89)v \\
 & (100,12.1,3.70,1.174,0.63,92,90)v = 1 \\
 & u = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7)^T \\
 & v = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7)^T \\
 & u_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \\
 & v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
 \end{cases}$$

利用 MATLAB 软件解此线性规划模型得其  $u$ 、 $v$  的最优解  $u_i^T$  和  $v_i^T$ ，求出交叉评价值  $E_{12}=0.2258$ 。

同理可以求得其它交叉评价值构成交叉评价矩阵，

$$E = \begin{bmatrix}
 1.0000 & 0.2258 & 0.2158 & 0.0483 & 0.0483 & 0.1289 & 0.1522 & 0.0821 \\
 0.8834 & 1.0000 & 0.2084 & 0.051 & 0.0824 & 0.4064 & 0.6498 & 0.0790 \\
 0.0397 & 0.008 & 1.0000 & 0.0105 & 0.0105 & 0.0058 & 0.0056 & 0.2086 \\
 0.2797 & 0.3043 & 0.2942 & 1.0000 & 0.2116 & 0.2232 & 0.2754 & 0.3204 \\
 0.592 & 0.594 & 0.8457 & 0.7699 & 1.0000 & 0.7769 & 0.7554 & 0.5989 \\
 0.4432 & 0.3003 & 0.3681 & 0.2795 & 0.2795 & 1.0000 & 0.8105 & 0.2147 \\
 0.6256 & 0.4142 & 0.2447 & 0.1097 & 0.1168 & 0.7064 & 1.0000 & 0.0983 \\
 0.2994 & 0.0729 & 0.7767 & 0.1507 & 0.1334 & 0.0516 & 0.0515 & 1.0000
 \end{bmatrix}$$

利用公式 (6.10) 计算  $E$  的第 1 列的平均值： $e_1=0.5204$

同理可求得： $e_2=0.3650$ ， $e_3=0.4942$ ， $e_4=0.3025$ ， $e_5=0.2353$ ， $e_6=0.4124$ ， $e_7=0.4626$ ， $e_8=0.3252$

$e_i$  的顺序即为 8 种供热模式的综合效益的优劣顺序。即： $DMU_1 > DMU_3 > DMU_7 > DMU_6 > DMU_2 > DMU_8 > DMU_4 > DMU_5$

所以 8 种供热模式的综合效益的优劣排序依次为：

热电联产、家用小型燃气热水炉、电动水源热泵、电动空气热泵、区域燃煤锅炉、区域燃气锅炉、电热膜、蓄热式电暖气。

## 6.4 基于 DEA/AHP 的供热模式综合评价

### 6.4.1 DEA/AHP 综合评价模型建立

自从 1978 年 DEA 问世以来，在国内外的决策领域中已经得到了广泛的应用。但是，由于它自身局部最优性的缺陷，使得单独使用 DEA 方法的时候容易丢失潜在的最优组合。因此，本文采用 DEA/AHP 方法，是将所有的决策单元两两分成一组，分别运用 DEA 进行比较，构造一个由客观数据实际计算出来的两两效率值比较的判断矩阵，接着运用 AHP 解出最大的特征值和相应的特征向量。因为这里的 AHP 只有一层，所以排除在第  $j$  位的特征向量也就反映了第  $j$  个决策单元的优先次序，得到决策单元的优先排序。本文所建立的 DEA/AHP 综合评价模型分两个阶段，即第一阶段为 DEA 成对比较阶段，第二阶段为 AHP 排序阶段<sup>55</sup>。

#### 6.4.1.1 DEA 成对比较

假设有  $n$  个决策单元，每个单元有  $m$  个输入和  $s$  个输出。 $x_{ij}$  是第  $j$  个单元的第  $i$  个输入值， $y_{rj}$  是第  $j$  个单元的第  $r$  个输出值。对于其中任意一对决策单元 A 和 B，我们按照 DEA 方法计算两个决策单元的有效值，仅考虑决策单元 A、B， $E_{AA}$ 、 $E_{AB}$  分别为线性规划模型  $GH_1$  和线性规划模型  $GH_2$  目标函数的最优解。

$$\begin{aligned}
 E_{AA} &= \max_{\theta, \lambda} \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \\
 s.t. & \begin{cases} \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} = \theta \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} \leq 0 \\ u_r \geq 0, r=1, \dots, s; v_i \geq 0, i=1, \dots, m \end{cases}
 \end{aligned} \tag{6.12}$$

<sup>55</sup> 王英，孙林岩，陈宏，基于两阶段的物流系统综合评价 DEA/AHP 法[J]. 长安大学学报（自然科学版），2003. (23), 19-24

$$\begin{aligned}
 E_{AB} &= \max_{u_r, v_i} \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} \\
 \text{s.t.} &\begin{cases} \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} < 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 0 \\ u_r \geq 0, r=1, \dots, s; v_i \geq 0, i=1, \dots, m \end{cases} \quad (6.13)
 \end{aligned}$$

司法可计算  $E_{BB}$ 、 $E_{AB}$ ， $a_{jk}$  为 AHP 判断矩阵中第  $j$  行第  $k$  列元素。

$$a_{ij} = \frac{E_{ij} + E_{ji}}{E_{kk} + E_{jj}} \quad \text{且} \quad a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij} \quad (6.14)$$

#### 6.4.1.2 AHP 排序阶段

第二阶段，根据在上一步骤中由 DEA 法求得的两两比较判断矩阵  $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ ，运用层次分析法解出最大的特征值和相应的特征向量。因为这里的 AHP 只有一层，所以排列在第  $j$  位的特征向量也就反映了第  $j$  个决策单元的优先度。

#### 6.4.2 基于 DEA/AHP 供热模式综合效益评价

此算例数据来源见表 6.9 和表 6.10 所示。

首先，将数据带入公式 (6.12) 和 (6.13) 得：

$$\begin{aligned}
 E_{11} &= \text{Max}(10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7) \\
 &\begin{cases} 110v_1 + 12.6v_2 + 2.01v_3 + 0.235v_4 + 0.32v_5 + 81v_6 + 89v_7 = 1 \\ 10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7 \leq 1 \\ 10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7 - \\ (100v_1 + 12.1v_2 + 3.7v_3 + 1.174v_4 + 0.63v_5 + 92v_6 + 90v_7) \leq 0 \\ v_i \geq 0, u_i \geq 0, i, r = 1, \dots, 7 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{21} &= \text{Max}(10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7) \\
 &\begin{cases} 100v_1 + 12.1v_2 + 3.7v_3 + 1.174v_4 + 0.63v_5 + 92v_6 + 90v_7 = 1 \\ 10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7 \leq 1 \\ 10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7 - \\ 1 \times (110v_1 + 12.6v_2 + 2.01v_3 + 0.235v_4 + 0.32v_5 + 81v_6 + 89v_7) \leq 0 \\ v_i \geq 0, u_i \geq 0, i, r = 1, \dots, 8 \end{cases}
 \end{aligned}$$

利用 MATLAB 软件解上述规划模型得  $E_{11}=1$ ， $E_{21}=0.1974$ ，同理可以计算出  $E_{22}=1$ ， $E_{12}=0.8717$ 。



则决策单元 1 和 2 的效率比值为:

$$a_{12} = \frac{E_{11} + E_{12}}{E_{22} + E_{21}} = 1.563137 \quad a_{21} = \frac{1}{a_{12}} = 0.639739$$

同理可求得各个决策单元之间的效率比值, 并构造出各个决策单元之间两两效率比较的判断矩阵如下所示:

$$E = \begin{bmatrix} 1.000000 & 1.563137 & 0.855439 & 1.220738 & 1.518649 & 1.298893 & 1.369819 & 1.048997 \\ 0.639739 & 1.000000 & 0.834161 & 1.241009 & 1.307236 & 0.884799 & 0.856621 & 0.9519 \\ 1.168991 & 1.19881 & 1.000000 & 1.727857 & 1.80861 & 1.237768 & 1.454824 & 1.454824 \\ 0.819176 & 0.805796 & 0.578751 & 1.000000 & 1.190987 & 0.906393 & 0.84742 & 0.78302 \\ 0.65848 & 0.764973 & 0.552911 & 0.83964 & 1.000000 & 0.834595 & 0.834595 & 0.649884 \\ 0.769886 & 1.130201 & 0.782967 & 1.103274 & 1.177776 & 1.000000 & 0.932339 & 0.914206 \\ 0.730023 & 1.167377 & 0.807906 & 1.180052 & 1.198187 & 1.072571 & 1.000000 & 0.914206 \\ 0.953292 & 1.050531 & 0.687368 & 1.277106 & 1.538737 & 1.093845 & 1.078351 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

然后利用 AHP 对各决策单元综合效益值进行排序:

计算出上述判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 8.0273$  及其对应的特征向量  $\bar{w} = [0.1495 \quad 0.1165 \quad 0.1646 \quad 0.1047 \quad 0.0931 \quad 0.1187 \quad 0.1224 \quad 0.1305]$

对判断矩阵进行一致性检验: 一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} = 0.0039$

平均随机一致性指标  $RI=1.41$  ( $n=8$ )

随机一致性指标  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0039}{1.41} = 0.00277$

随机一致性指标  $CR < 0.10$ , 通过一致性检验, 得到 AHP 综合综合效益值排序结果, 如表 6.11 所示。

表 6.11 决策单元排序表

决策单元	DUM <sub>1</sub>	DUM <sub>2</sub>	DUM <sub>3</sub>	DUM <sub>4</sub>	DUM <sub>5</sub>	DUM <sub>6</sub>	DUM <sub>7</sub>	DUM <sub>8</sub>
排名	2	6	1	7	8	5	4	3

所以 8 种供热模式的综合效益的优劣排序依次为为:

家用小型燃气热水炉、热电联产、区域燃气锅炉、电动水源热、电动空气热泵、区域燃煤锅炉、电热膜、蓄热式电暖气。

## 6.5 供热模式评价方法分析与总结

### 6.5.1 三种评价方法的比较

#### 6.5.1.1 AHP 的优缺点及适用范围

##### 1、AHP 的优点

(1) 从整体上看, AHP 是一种测度难于量化的复杂问题的手段。它能在复杂决策过程中引入定量分析, 并充分利用决策者在两两比较中给出的偏好信息进行分析与决策支持, 既有效地吸收了定性分析的结果, 又发挥了定量分析的优势, 从而使决策过程具有很强的条理性和科学性。

(2) 用 AHP 进行决策, 输入的信息主要是决策者的选择与判断, 决策过程充分反映了决策者对决策问题的认识, 加之很容易掌握这种方法, 这就使以往决策者与决策分析者难以互相沟通的状况得到改变。在多数情况下, 决策者直接使用 AHP 进行决策, 将人们的思维过程数学化、模型化、系统化、规范化, 便于人们接受, 这就大大增加了决策的有效性。

##### 2、AHP 的缺点

(1) 它在很大程度上依赖于人们的经验, 主观因素的影响很大, 它至多只能排除思维过程中的严重非一致性, 却无法排除决策者个人可能存在的严重片面性。

(2) 比较、判断过程较为粗糙, 不能用于精度要求较高的决策问题。AHP 至多只能算是一种半定量(或定性定量结合)的方法。

鉴于标准的 AHP 方法在使用中所存在的种种不足, 人们对其进行了大量的修改。这些修改主要集中在以下几方面。

1) 对标度方法的修改, 不是单纯地采用 Satty 所提出的 1-9 标度, 而是根据不同的应用目的提出了不同的标度原则。

2) 求单排序的方法改进。

3) 一致性检验的处理, 比如引入 0.1-0.9 标度和模糊一致矩阵, 从根本上解决了 AHP 中判断矩阵的一致性问题的。

4) 大规模指标的判断矩阵的给出。还有, 在应用 AHP 时采用群组判断模式也不失为克服主观偏见的一个好办法。当然, 也并不排斥把 AHP 与其他决策方法结合起来。

##### 3、适用范围

人们在进行社会的、经济的以及科学管理领域问题的体系分析中, 面临的经常是一个相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统, AHP 为分析这类复杂的问题提供了一种新的、简洁的、使用的决策方法。同时, AHP 在操作过程当中使用了线性代数的方法, 不仅数学原理严密, 而且简化了系统分析和计算, 有助于决策者保持

思维过程的一致性，它是一种模拟人的思维过程的工具。因此，AHP 十分适用于具有定性的、或定性、定量兼有的决策分析，进行方案优选。

### 6.5.1.2 DEA 交叉评价法的优缺点及适用范围

#### 1、DEA 法的优点

(1) DEA 法最突出的优点是无须任何权重假设，每一输入输出的权重不是根据评价者的主观认定，而是由决策单元的实际数据求得的最优权重。因此，DEA 方法剔除了人为因素带来的误差，具有很强的客观性。

(2) DEA 法可以评价多输入多输出的大系统，并可用“窗口”技术找出单元薄弱环节加以改进。

#### 2、DEA 法的缺点

(1) DEA 方法存在一个最致命的缺陷是，由于各个决策单元是从最有利于本身的角度分别求权重的，导致这些权重是随 DMU 的不同而不同的，从而使得每个决策单元的特性缺乏可比性，得出的结果可能不符合客观实际。

(2) DEA 法不需要预先给出权重是其一个优点，但有时也成为其一个缺点。就 DEA 模型本身的特点而言，各输入、输出向量对应的权重是通过相对效率指数进行优化来决定的，这一方面有利于我们处理那些输入、输出之间权重信息不清楚的问题，另一方面也有利于我们排除对权重施加某些主观随意性。但是在实际中确实也存在下面的情况。人们对输入、输出之间的权重信息有一定了解；根据实际需要，要对权重施以一定约束；单纯的 DEA 模型得到的权重缺乏合理性和可操作性，因此需要修正。

#### 3、DEA 交叉评价法的优缺点

DEA 交叉评价法通过利用每一个决策单元的最佳输入输出权重去计算其他决策单元的效率值，进而来计算交叉评价值。DEA 交叉评价法不仅继承了传统 DEA 方法的优点，而且又通过对抗性交叉评价在一定程度上弥补了传统的 DEA 方法的缺陷，但是利用 DEA 交叉评价法计算出的交叉评价值仍然存在着不确定性，这是 DEA 交叉评价法的不足之处。

#### 4、DEA 交叉评价法的适用范围

可以说，不论是 DEA 法还是 DEA 交叉评价法，他们对于相对有效性的评价是占有绝对优势的。然而，DEA 交叉评价方法比 DEA 法更加完善，因此现阶段 DEA 交叉评价法已经被广泛应用到实践中，诸如被应用到技术进步、技术创新、资源配置、金融投资等各个领域，特别是在对非单纯盈利的公共服务部门，如学校、医院、某些文化设施等的评价方面被认为是一个有效的方法。

### 6.5.1.3 DEA/AHP 的优缺点及适用范围

#### 1、DEA/AHP 的优点

第一阶段采用 DEA 方法计算成对单元，创建成对比较矩阵，继承了 DEA 方法处理大量输入输出数据问题，不需要人为给定各指标权重等所有优点。利用第一阶段计算的成对比较矩阵，采用单一水平的 AHP 方法对所有单元进行全排序，解决了 DEA 法只能对决策单元进行是否有效性判断，转化为具体的决策单元排序。这样将两种常用的评价方法的优点集成，突破了两个方法的局限，避免了采用 AHP 方法排序时，判断矩阵的主观性，同时也解决了 DEA 法只能对决策单元进行是否有效性判断，转化为具体的决策单元排序，从而避免了 AHP 和 DEA 的局限性和片面性，使得对供热模式的比较得出的结论更加科学。

#### 2、DEA/AHP 的缺点

用 DEA 法构造的判断矩阵时，仍然存在着对决策单元两两比较时存在着的不合理分配权重问题，为了解决这个问题，我们对决策单元两两比较，求它们的交叉效率值，再利用所求得的交叉效率值构造判断矩阵，在一定程度上减少了权重问题的影响，但是仍然不能完全消除。

#### 3、适用范围

DEA/AHP 是将 DEA 法与 AHP 结合而得，对于应用 AHP 能够解决的问题以及应用 DEA 法能够解决的问题，DEA/AHP 都能进行处理，可以说，它的适用范围更加广泛。

### 6.5.1.4 三种综合评价方法的比较结论

通过以上分析可以得出，上述三种综合评价方法都存在着各自的优势和一定程度上的不足之处，同时也存在着一定的互补性，DEA 交叉法可以弥补 AHP 的人为给定权重的主观性，DEA/AHP 可以克服单纯 DEA 交叉法只能对决策单元进行是否有效性判断的缺点。可以说，只要结合各个评价方法的特点及应用要求，就能够在综合评价问题中得到科学、合理、准确、符合实际的结果。

## 6.5.2 评价结果的比较分析

本文分别利用三种综合评价方法进行供热模式评价的结果可以整理如表 6.12，下面对评价结果加以具体分析：

表 6.12 供热模式评价结果汇总表

供热模式 评价方法	热电联产	区域燃煤锅炉	家用小型燃气热水炉	电采暖	蓄热式电暖气	电动空气源热泵	电动水源热泵	区域燃气锅炉
AHP	3	6	2	5	7	4	1	8
DEA 交叉	1	5	2	7	8	4	3	6
DEA/AHP	2	6	1	7	8	5	4	3

### 1、评价结果不完全一致

从表 6.12 中可以看出, 各种供热模式在利用不同的评价方法进行评价后, 其排序位置是不同的, 之所以出现不完全一致的结果, 是因为这二种方法还存在着一一定程度上的差别和不足, 这些差别和不足就会导致评价结果的误差, 进而造成评价结果的不完全一致。具体的原因主要有以下几方面:

(1) 在利用 AHP 方法评价过程中, 由于不同专家的经验 and 偏好不同, 存在着人为赋予权重的过程产生偏差; 同时在无量纲化过程中有缩小或扩大各子准则层之间数据差异的可能。

(2) 在利用 DEA 交叉评价过程中, 虽然通过计算效率值和进行对抗性交叉评价的方法, 确实消除了由于赋予权重不合理对评价结果的一部分影响, 但是并没有完全消除这些影响, 仍然会产生评价结果误差。

(3) 在利用 DEA/AHP 评价过程中, 使用两两比较以求其交叉效率评价构造判断矩阵的方法, 在一定程度上减少了权重的影响, 采用单一水平的 AHP 方法对所有单元进行全排序。但在用 DEA 法构造的判断矩阵时, 对决策单元两两比较时不合理分配权重问题仍然不能完全消除。

### 2、评价结果所在区间和发展趋势一致

虽然利用不同的评价方法对各种供热模式评价后的结果不完全一致。但仍然可以看出, 利用二种评价方法进行供热模式评价所得出的结果从体现未来发展趋势和所在区间上来说是基本上一致的。例如, 无论利用哪种评价方法评价, 热电联产、家用小型燃气热水炉、电动水源热泵几乎都是排在前三位, 有较好的发展趋势, 并且也是现阶段我国城市供热普遍采用的供热模式, 与实际情况相吻合。所以说, AHP、DEA、DEA/AHP 这三种评价方法对于供热模式的评价是相对准确的和科学的, 也即这三种评价方法对于供热模式评价来说是适合的。

通过评价结果可以看出, 单纯以电为能源的供热模式其综合效益是不好的, 在其他供热模式可利用时, 尽可能不选用该种模式。

## 6.5.3 综合结论

通过以上对三种评价方法的比较分析以及对供热模式评价结果的分析可以得出

以下结论:

(1) 通过供热模式评价结果可以看出,对供热模式评价并没有一种十全十美的评价方法,不同的评价方法只是从不同的角度对被评价对象做出某种估计。所以采用多种方法进行评价,其评价结果的可信性可大大提高。

(2) 无论利用 AHP 对供热模式各指标进行主观赋权,还是利用 DEA 法进行客观赋权,都无法解决自身的不足。主观赋权虽然体现出各个指标的重要程度,但是以人的主观判断作为赋权基础不尽完全合理。客观赋权不受人为因素影响,但是客观赋权所得各指标的权数不能体现各指标自身价值的重要性,而且指标的权数随样本的变化而变化,权数依赖于样本。

(3) 利用 DEA/AHP 进行供热模式评价,是一次创新性地将 DEA 法与 AHP 结合应用到供热模式评价中。虽然说此次评价得到了满意的结果,但是仍然不能说此种组合方法就是供热模式评价的最好方法,因为组合评价法也可能出现较大的随机偏差,从而与真实情况不相符。所以说,应用好组合评价方法就应该对其有一个正确、全面的认识:

1) 组合评价法并不能完全取代单一综合评价法,不能说组合评价法就一定优于某一种单一评价方法。

2) 采用组合评价法进行综合评价时仍然具有较强的主观性。因为组合评价法只是从评价方法选择方面进行了改进。

(4) 在进行城市供热模式评价时虽然利用了三种评价分析方法,但是并不是说只有这三种方法可以进行供热模式评价,在未来的发展过程中,还将会有更加科学、合理的方法对供热模式进行评价。

(5) 虽然评价的结果用数字表示,但其评价结果并不具有数学意义上的精确性,而只能大体反映被评价对象的特点,其评价结果的准确与否并不是绝对的,而只有借助必要的定性分析,才能解释其结果的合理性。因此,评价方法虽是一种定量研究问题的方法,但不可忽视与定性分析相结合,定性分析在某些时候可起到定量分析达不到的效果,也可对定量分析起到补充作用。

(6) 就供热评价方法而言,评价方法并不是越复杂越好,而是在适用的前提下,应该越简单越好,也就是说,合适的评价方法就是最好的。

## 第七章 沈阳市供热评价与供热模式选择

### 7.1 沈阳市供热现状分析

#### 7.1.1 沈阳市概况

沈阳是辽宁省的省会，东北地区的经济、文化、交通和商贸中心，全国的工业重镇和历史文化名城。沈阳现辖九区一市三县，总面积 1.3 万平方公里，市区面积 3495 平方公里。总人口 720.4 万人，市区人口 506.6 万人。

沈阳是东北地区最大的中心城市，地处东北亚经济圈和环渤海经济圈的中心，具有重要的战略地位。以沈阳为中心，半径 150km 的范围内，集中了以基础工业和加工工业为主的鞍山、抚顺、本溪、阜新、盘锦、丹东、辽阳和铁岭等 8 大城市，构成了资源丰富、结构互补性强、技术关联度高的辽宁中部城市群。沈阳拥有东北地区最大的民用航空港，全国最大的铁路编组站和全国最高等级的“一环四射”高速公路网。作为东北中心城市的沈阳，对周边乃至全国都具有较强的吸纳力、辐射力和带动力。

沈阳是由国家重点投资建立的重工业城市，为全国的经济发展作出过重大贡献。近几年，国民经济保持快速增长，主要经济指标增幅在全国副省级城市中继续名列前茅。

沈阳市能源消费结构仍然以煤为主，电力消费比重稳步增长，油、气等能源消费比重降低。2005 年，沈阳市能源消费总量为  $2325 \times 10^7 \text{kg}$  标准煤，其中煤炭消费  $2150 \times 10^7 \text{kg}$ （包括加工转换），电力  $154 \times 10^8 \text{kWh}$ ，燃料油  $115 \times 10^7 \text{kg}$ ，成品油（包括汽油、柴油、煤油等） $128 \times 10^7 \text{kg}$ ，管道煤气销售量  $1.83 \times 10^8 \text{m}^3$ （实物量）。其中，煤占能耗总量的 60%（包括加工转换），约 1/4 用于冬季供热，年供热采暖用原煤  $530 \times 10^7 \text{kg}$ 。“十五”期间能源消费总量年均增长 7.49%。沈阳市正在逐步解决热费收缴由个人承担大部或全部，解决收费难的问题。

城市环境不断改善，全市 15 个区县（市）、开发区的生态区（县）建设规划都已经通过省级专家论证，拆除 10 吨以下非工业生产燃煤锅炉 258 台，机动车尾气达标率达到 86% 以上，年度环境空气优良天数达 323 天。全市污水处理率达到 73%。

#### 7.1.2 沈阳市供热系统现状分析

沈阳市地区位于东经  $123^\circ 25'$ 、北纬  $41^\circ 28'$ ，平均海拔 30-50m。属温带大陆性气候，冬季严寒少雨，春季秋季较短。根据观测资料统计，平均气温在  $8.9^\circ\text{C}$  左右，

最高气温为 38.3℃，最低气温为-30.6℃。冬季采暖室外计算温度-19℃，冬季采暖平均温度-5.7℃，冬季采暖天数 151 天。

### 1、沈阳市的集中供热情况

沈阳市现有供热面积为 1.78 亿建筑平方米，其中：居民住宅供热面积为 1.3393 亿建筑平方米，占总供热面积的 75.25%；非居民住宅供热面积为 4416 万建筑平方米，占总供热面积的 24.75%；热用户 185 万户。

全市集中供热面积 1.52 亿平方米，集中供热率为 85%。据统计，1989 年沈阳市的总供热面积为 4500 万平方米，2000 年沈阳市的总供热面积为 8000 万平方米，由于住宅建设的速度快，沈阳市的供热面积也在不断增加，2007 年沈阳市的供热面积已达到 1.78 亿平方米，18 年间提高了近 4 倍。全市集中供热率已由 1989 年的 43.3% 提高到 85.0%。（见表 7.1）

表 7.1 沈阳市供热面积、集中供热率变化情况表<sup>29</sup>

年份	供热面积 (万m <sup>2</sup> )	集中供热面积 (万m <sup>2</sup> )	集中供热率 (%)
1989	4500	1950	43.30
1990	4700	2050	43.74
1991	4860	2200	45.27
1992	5320	2537	47.68
1993	5794	2821	48.69
1994	6074	3000	49.31
1995	6100	3100	50.82
1996	6300	3180	50.48
1997	6500	3280	50.46
1998	6500	3600	52.94
1999	7200	3960	55.00
2000	8000	4400	55.0
2001	8600	4799	55.8
2002	9200	5666	61.8
2003	11100	7770	70.00
2004	12500	9600	76.8
2005	14500	12035	83.0
2007	15200	12920	85.0

### 2、热源与采暖现状

全市热电联产供热面积 4300 万平方米，占总供热面积的 24.2%；燃煤锅炉房供热面积 1.28 亿平方米，占总供热面积的 72%；其他热源供热模式供热面积为 673 万平方米，占总供热面积的 3.8%。全市现有热源 1361 座（不包括清洁能源热源）。供热管网总长度（一、二级供热管网）5720 公里。其中：热水管网长度 5469 公里，蒸汽管网长度 251 公里。

沈阳市现有热电厂八座，大型热源厂共 59 座，59 座大型热源厂供热面积 4916

<sup>29</sup> 沈阳市供热办公室



万平方米，并且按锅炉容量还有 4869 万平方米的供热余量。

沈阳市不同燃料的供热面积比例，详见表 7.2。

表 7.2 2006 年沈阳市不同燃料供热面积<sup>57</sup>

燃料名称	供热面积(万平方米)	占总供热面积比例 (%)
燃煤供热	17897	97.64
燃油供热	63	0.34
燃气供热	22	0.12
电热供热	36	0.20
地源热泵供热	312	1.70
合计	18330	100.00

沈阳市不同供热模式的供热面积比例，详见表 7.3。

表 7.3 2006 年沈阳市不同供热模式的建筑面积<sup>58</sup>

供热模式名称	供热面积(万平方米)	占总供热面积比例 (%)
热电联产	4303	23.48
集中锅炉房	10539	57.49
分散锅炉房	3055	16.67
燃油供热	63	0.34
燃气供热	22	0.12
电热采暖	36	0.20
地源热泵	312	1.70
合计	18330	100.00

### 3、供热改革情况

#### (1) 建立了对城市困难群体的供热补贴制度

沈阳市从 1997 年开始建立了供热保障金制度，其主要是用于对城市低收入群体实行政府采暖补贴。供热保障金从 1997 年的 6000 万元逐步增加至每年 1.2 亿元。

#### (2) 实施“拆除联片”工程和热源建设

按照《沈阳市城市供热规划》提出的目标，2002 至 2006 年沈阳市共拆除供热锅炉房（烟囱）1900 多座，拆除小锅炉 3000 多台，联片供热面积 2600 多万平方米，新、改扩建热源近 100 项，投资 60 亿元；使全市集中供热率提高到 85%。通过实施“拆除联片”工程，实现了供热资源的自然整合，全市具有经营资格的供热单位数量由 2002 年以前的 1000 多家减少到 345 家，烟尘排放量、二氧化硫排放量大幅度减少，城市环境明显改善。

#### (3) 实施供热“分户、分单元”改造和热计量试点

于 1999 年开始进行旧采暖系统的分户供热改造试点工作。目前，全市已进行分户供热改造和安装的面积约占全市住宅供热面积的 80%。沈阳市目前尚未全面进行热

<sup>57</sup> 《沈阳市供热“十一五”规划》（修编）

<sup>58</sup> 同上

计量工作。按照建设部关于推进供热计量工作的要求,沈阳市于2003年开始在浑南新区塞纳家园进行了“分户计量,分室控温”试点工作,涉及供热面积10万平方米,并进行了相关数据的整理和分析。经过逐年推进热计量,目前沈阳市居民住宅实施热计量的面积达到21万平方米,为全面推行热计量创造了条件。

### 7.1.3 地源热泵系统供热现状分析

#### 1、地源热泵系统总体现状

据2008年底统计数据,沈阳市已有应用地源热泵技术的项目483项,总面积3458万 $m^2$ ,大部分分布在沈阳市三环以内的核心区域,其中地下水地源热泵系统使用最多,2357万 $m^2$ ,其它为混合式水源热泵系统、再生水地源热泵系统和土壤源地源热泵系统约为1100万 $m^2$ 。<sup>99</sup>

2008年全市新增地源热泵技术应用面积155项,1618.49万平方米,其中,独立式地源热泵814万平方米,混合式水源热泵303万平方米,再生水源热泵供热能力 $501 \times 10^4 m^3$ 。

#### 2、地源热泵系统运行现状

国家空调设备质量监督检验中心于2007年1~2月期间,对沈阳市约6个典型地源热泵工程的实际运行参数进行了测试,本次测试的总建筑面积约为150,000 $m^2$ ,测试对象涉及住宅小区、厂房、酒店和公建等建筑类型,建筑面积从6000到70000 $m^2$ 不等。6个测试项目按地源形式不同可分为3种:分别为土壤源热泵系统1个,污水源热泵系统1个,地下水源热泵系统4个。得出结论如下:

(1)沈阳市现有的利用地源热泵技术供热的效果绝大部分能满足使用要求,用户对系统应用效果的满意率较高。测试6个项目中,4个项目室内采暖保证率为100%,1个为95%,另外1个室内效果较差,主要原因是末端系统和热源系统不匹配。

(2)水源热泵机组单机COP大致都在3~4之间,最高的为3.86,最低的为2.79。

(3)地源热泵系统性能系数基本都大于2,最大值为3.05,但个别改造项目由于热源系统与末端的匹配问题性能系数较低。

由于现场条件的制约,无法直接观测到地源热泵系统的回灌情况,但根据运行管理人员的反映和调查结果,回灌情况良好。

(4)从节能效果来看,除个别改造项目节能率较低外,测试项目一次能源节能率均在20%以上,节能率最大的为42%。

(5)从经济性来看,地源热泵系统供热除了比燃煤锅炉采暖运行费用高以外,远远低于燃气锅炉和燃油锅炉。

<sup>99</sup> 沈阳市建委

## 7.1.4 沈阳市供热存在的问题

### 1、现有供热设备严重老化影响了供热质量

近年沈阳市城市化发展进程加快，与之相比的城市供热基础设施建设却显得滞后。目前，沈阳市主要是通过对既有旧的供热设施实施改造来满足增长需求。但因前几年供热企业采暖收费率低，缺乏资金积累，多数供热设施处于维持运行的状态。改造资金匮乏是摆在眼前的一大难题。

有的热源厂已经运行多年，设备陈旧，特别是 14MW 以下的锅炉，有的出力严重不足，实际已经处于满负荷运行状态。

沈阳市多数供热设施始建于上个世纪七十、八十年代，普遍已处于更新改造阶段，以热产联产的沈海热网为例，该网始建于 1990 年，负荷为 1400 多万平方米，目前已达设计使用年限。该网的经营企业沈阳惠天热电股份有限公司为应对采暖期的严寒气候，虽启动了调峰热源厂，但由于管网老化严重，管壁已变薄，难以承担增加的热水输送压力，造成热网故障频繁。若该网进行更新，估算需要 6 亿元，若对该市现有的供热设施进行更新，初步估算每年需要 8 亿元，5 年所需资金近 40 亿元。

### 2、地源热泵供热问题

沈阳市地源热泵供热虽然起步较早，但存在缺少规划、规模小、发展慢、市场竞争力不强等问题，主要表现在：

(1) 技术的研发欠缺、相关基础数据不完备。地源热泵作为一种新的科学技术，日前在标准规范、宣传材料、系统图集方面还有所欠缺，同时在科研上还有一些问题没有取得突破。

某些改造项目的热源系统和末端系统不匹配、运行管理水平低、系统运行方式不合理、回灌水没有监测措施。

(2) 缺乏可行性强的规划措施。

(3) 技术队伍、设计队伍不健全。地源热泵工程设计作为一项技术含量较高的技术，牵扯到地质、水文、环境评估、钻井、暖通空调等多方面专业知识，目前仅掌握在少量科研单位中。地源热泵的推广应用，缺乏各个专业各个领域的人的共同配合，需从前期勘察、系统的设计、施工、运行管理和主机设计制造等各个方面的共同参与。

(4) 水源热泵机组产品的发展跟不上市场需求。目前国内生产水—水热泵的厂家众多，但是产品的性能和质量令人担忧。大部水—水热泵产品未进行正确、严格的设计计算，也未进行过权威机构的检测，因此产品的性能与产品样本差异较大，导致工程失败的例子屡见不鲜。管理部门也缺乏对这类产品缺乏相应的认证体系和管理办法。产品质量急待提高，产品规格、型号、性能参数各异，难以评价。

(5) 政府无财政补贴。地源热泵是一项节能环保的技术体系,但目前来讲在房地产应用推广中投资还是相对较高,开发商不愿意在自己的系统中使用这种技术,政府在政策上的支持力度也还是稍显单薄,鼓励与补贴政策也还不很明确。同时公众接受与认可度不高。

### 3、福利型供热收费制度与现实情况不相适应

现阶段职工采暖费是由其所在单位承担。交费主体与受益主体处在相分离状态,交费的不受益,受益的不交费,供、用双方没有实现直接交易。同时,由于不是家庭所有就业成员所在的单位共同承担,决定了企业在支付采暖费的负担上的不平衡。从该市情况看,阻碍供热福利制的运作主要原因是由于社会宏观经济政策的变化和调整,有相当一部分企业由于改制、重组,职工下岗分流、并轨失业,以及企业破产等变化因素,出现了无人交费,无力交费或者不愿意交费的现象。全市实际个人交费的比例由过去的 6% 升至 35%。但由于采暖收费福利型体制并未改变,客观上造成与实际不相对应。

## 7.2 沈阳市供热模式评价

### 7.2.1 供热模式评价范围

沈阳市现有供热面积为 1.78 亿平方米,其中:居民住宅供热面积为 1.3393 亿平方米,占总供热面积的 75.25%;非居民住宅供热面积为 4416 万平方米,占总供热面积的 24.75%;热用户 185 万户。

全市集中供热面积 1.62 亿平方米,集中供热率为 85%。据统计,1989 年沈阳市的总采暖面积为 4500 万平方米,2000 年沈阳市的总采暖面积为 8000 万平方米,由于住宅建设的速度快,沈阳市的供热面积也在不断增加,2007 年沈阳市的供热面积已达到 1.78 亿平方米,18 年间提高了近 4 倍。全市集中供热率已由 1989 年的 43.3% 提高到 85.0%。

沈阳市目前的主要供热模式为:热电联产、区域燃煤锅炉集中供热、电热膜供热、蓄热式电暖气、电动空气源热泵、地源热泵。

### 7.2.2 基于 DEA/AHP 法的沈阳市供热模式综合评价

#### 7.2.2.1 DEA/AHP 法综合评价模型建立

DEA/AHP 法综合评价模型建立的思路同 5.4.1。所建立的 AHP/DEA 综合评价模型分两个阶段,即第一阶段为 DEA 成对比较阶段,第二阶段为 AHP 排序阶段。

##### 1、DEA 成对比较

假设有  $n$  个决策单元,每个单元有  $m$  个输入和  $s$  个输出。 $x_{ij}$  是第  $j$  个单元的第  $i$

个输入值,  $y_{rj}$  是第  $j$  个单元的第  $r$  个输出值。对于其中任意一对决策单元 A 和 B, 我们按照 DEA 方法计算两个决策单元的有效值, 仅考虑决策单元 A、B,  $E_{AA}$ 、 $E_{AB}$  分别为线性规划模型 GH<sub>1</sub> 和线性规划模型 GH<sub>2</sub> 目标函数的最优解。

$$E_{AA} = \max_{u, v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rA}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} \leq 0 \\ u_r \geq 0, r = 1, \dots, s; v_i \geq 0, i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (7.1)$$

$$E_{AB} = \max_{u, v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rB}$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{i=1}^m v_i x_{iB} = 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rB} \leq 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rA} - \sum_{i=1}^m v_i x_{iA} = 0 \\ u_r \geq 0, r = 1, \dots, s; v_i \geq 0, i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (7.2)$$

同法可计算  $E_{BB}$ 、 $E_{AB}$ ,  $a_{jk}$  为 AHP 判断矩阵中第  $j$  行第  $k$  列元素。

$$a_{ij} = \frac{E_j + E_{jk}}{E_{ik} + E_{ij}} \quad \square \quad a_{ji} = 1, a_{jk} = 1/a_{kj} \quad (7.3)$$

## 2、AHP 排序阶段

第二阶段, 根据在上一步骤中山 DEA 法求得的两两比较判断矩阵  $\Lambda = [a_{ij}]_{n \times n}$ , 运用层次分析法解出最大的特征值和相应的特征向量。因为这里的 AHP 只有一层, 所以排列在第  $j$  位的特征向量也就反映了第  $j$  个决策单元的优先度。

### 7.2.2.2 基于 DEA/AHP 法供热模式综合效益评价

此算例数据来源见表 6.9 和表 6.10。

首先, 将数据带入公式 (7.12) 和 (7.13) 得:

$$E_1 = \text{Max}(10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7)$$

$$s.t. \begin{cases} 110v_1 + 12.6v_2 + 2.01v_3 + 0.235v_4 + 0.32v_5 + 81v_6 + 89v_7 = 1 \\ 10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7 \leq 1 \\ 10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7 - \\ (100v_1 + 12.1v_2 + 3.7v_3 + 1.174v_4 + 0.63v_5 + 92v_6 + 90v_7) \leq 0 \\ v_i \geq 0, u_r \geq 0, i, r = 1, \dots, 7 \end{cases}$$

$$E_{21} = \text{Max}(10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7)$$

$$s.t. \begin{cases} 100v_1 + 12.1v_2 + 3.7v_3 + 1.174v_4 + 0.63v_5 + 92v_6 + 90v_7 = 1 \\ 10u_1 + 46.55u_2 + 79u_3 + 70u_4 + 72u_5 + 72u_6 + 73u_7 \leq 1 \\ 10u_1 + 46.89u_2 + 80u_3 + 71u_4 + 70u_5 + 73u_6 + 70u_7 - \\ 1 \times (110v_1 + 12.6v_2 + 2.01v_3 + 0.235v_4 + 0.32v_5 + 81v_6 + 89v_7) \leq 0 \\ v_i \geq 0, u_r \geq 0, i, r = 1, \dots, 8 \end{cases}$$

利用 MATLAB 软件解上述规划模型得  $E_{11}=1$ ,  $E_{21}=0.1974$ , 同理可以计算出  $E_{22}=1$ ,  $E_{12}=0.8717$ 。

则决策单元 1 和 2 的效率比值为:

$$a_{12} = \frac{E_{11} + E_{22}}{E_{12} + E_{21}} = 1.563137 \quad a_{21} = \frac{1}{a_{12}} = 0.639739$$

同理可求得各个决策单元之间的效率比值, 并构造出各个决策单元之间两两效率比较的判断矩阵如下所示:

$$E = \begin{bmatrix} 1.000000 & 1.563137 & 1.220738 & 1.518649 & 1.298893 & 1.369819 \\ 0.639739 & 1.000000 & 1.241009 & 1.307236 & 0.884799 & 0.856621 \\ 0.819176 & 0.805796 & 1.000000 & 1.190987 & 0.906393 & 0.84742 \\ 0.65848 & 0.764973 & 0.83964 & 1.000000 & 0.834595 & 0.834595 \\ 0.769886 & 1.130201 & 1.103274 & 1.177776 & 1.000000 & 0.932339 \\ 0.730023 & 1.167377 & 1.180052 & 1.198187 & 1.072571 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

然后利用 AHP 对略决策单元综合效益值进行排序:

计算出上述判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 6.0195$  及其对应的特征向量

$$\vec{w} = [0.2169 \quad 0.1588 \quad 0.1518 \quad 0.1347 \quad 0.1659 \quad 0.1718]$$

对判断矩阵进行一致性检验: 一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0039$

平均随机一致性指标  $RI=1.41$  ( $n=8$ )

$$\text{随机一致性指标 } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0039}{1.41} = 0.00277$$

随机一致性指标  $CR < 0.10$ , 通过一致性检验, 得到 AHP 综合综合效益值排序结果, 如表 7.4 所示。

表 7.4 决策单元排序表

决策单元	DUM <sub>1</sub>	DUM <sub>2</sub>	DUM <sub>3</sub>	DUM <sub>4</sub>	DUM <sub>5</sub>	DUM <sub>6</sub>
排名	1	4	5	6	3	2

所以 6 种供热模式的综合效益的优劣排序依次为:

热电联产、地源热泵、电动空气源热泵、区域燃煤锅炉集中供热、电热膜供热、蓄热式电暖气。

基于本文对供热评价方法的认识和判断, 本文认为沈阳市可以基本上按照计算结果所指示的方向发展, 特别是结果中的前二位——热电联产和地源热泵供热模式是鼓励和优先发展的方向。即以发展应集中供热为主, 其他模式为辅。

### 7.3 沈阳市地源热泵供热模式的综合评价

#### 7.3.1 沈阳市应用的地源热泵系统形式及其比较

沈阳市地源热泵系统规划主要考虑利用城市污水厂二级排放水的可再生水地源热泵系统、利用热电厂余热的热电厂循环冷却水地源热泵系统、地下水地源热泵系统、土壤源地源热泵系统、分布式水源热泵机组与集中供热联供系统。

##### 1、可再生水地源热泵系统(再生水源热泵系统)

可再生水地源热泵系统作为地源热泵的一种重要形式, 通过水源热泵机组将经过污水处理厂处理的二次排放水(再生水)中难以直接利用的低品位热能提取出来, 为建筑物供热。此系统具有工艺简单, 运行稳定等特点, 可以有效地节约矿物燃料、土地、水等稀缺资源, 具有较好的经济、环境和社会效益。

污水源热泵是采用污水作为水源热泵的热源, 根据污水夏季温度低于室外温度, 冬季高于室外温度的特点, 用热泵对污水热能进行利用的空调系统。与空气源热泵和以地下水为热源的水源热泵相比, 污水源热泵在安全性和环保性上更具优势。

采用水源热泵供热系统, 其在整个冬季条件下都可实现电转换率达到 300~400%。即使考虑到发电热效率为 33%, 其总体转换效率也达到 100~133%, 远高于区域锅炉房集中供热系统。而夏季作为空调使用可降低 30~40%的制冷电耗; 机房占地面积仅有燃煤锅炉房的 1/3~1/2, 不需要贮煤和堆渣的场地等等, 优点十分突出。

##### 2、热电厂循环冷却水地源热泵系统

工业循环冷却水(热电厂冷凝水)地源热泵系统的工艺流程为: 从升压换热泵房换热后的循环水, 通过热泵站房的循环冷却水泵被输送至热泵机组的蒸发器侧, 经热泵机组提升后的热水温度为 50/40℃, 通过供热循环水泵输送到热泵站房的分、集水器, 其供热循环水可作为生活热水, 也可进入地板辐射采暖系统供热。

##### 3、地下水地源热泵系统

地下水地源热泵系统分为两种，一种通常被称为开式系统，另一种则为闭式系统。开式地下水地源热泵系统是将地下水直接供应到每台热泵机组，之后将井水回灌地下。由于可能导致管路阻塞，更重要的是可能导致腐蚀发生，通常不建议在地源热泵系统中直接应用地下水。开式系统在适当的地下水条件和建筑物参数下是一个有吸引力的选择方式，但必须谨慎的使用。

在闭式地下水地源热泵系统中，地下水和建筑内循环水之间是用板式换热器分开的。通常系统包括带潜水泵的取水井和回灌井。板式热交换器采取小温差换热的方式运行，虽采用板换地下水管路系统也会导致管路堵塞、腐蚀等问题，但根据温度和地下水深度的不同，可以在很大程度上抵消开式系统在性能上的优势。

无论是深井水，还是地下热水都是热泵的良好低位热源。地下水位于较深的地方，由于地层的隔热作用，其温度随季节气温的波动很小，特别是深井水的水温常年基本不变，对热泵的运行十分有利。

它的优点是：系统简便易行，综合造价低，水井占地面积小，可以满足大而积建筑物的供暖空调的要求。缺点是：地下水热泵系统需要有丰富、稳定、优质的地下水；此外，即使能够全部回灌，怎样保证地下水层不受污染也是一个棘手的课题。

#### 4、土壤源地源热泵系统（埋管地源热泵系统）

埋管地源热泵系统包括一个土壤耦合地热交换器，它或是水平地安装在沟中，或是以U形管状垂直安装在竖井之中。不同的管沟或竖井中的热交换器成并联连接，再通过不同的集管进入建筑中与建筑物内的水环路相连接。埋管地源热泵系统是利用地下岩土中热量的闭路循环的地源热泵系统，它通过循环液（水或以水为主要成分的防冻液）在封闭地下埋管中的流动，实现系统与大地之间的传热。

其优点是系统不受地下水量的影响，对地下水没有破坏或污染作用，系统运行具有一定的可靠性和稳定性。它的主要缺点是：由于管壁传热温差的存在，机组冬季地源侧水温低于地下水式系统 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，机组夏季地源侧水温高于地下水式系统 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，机组运行条件相对较差，降低了运行效率；埋地换热器受土壤性质影响较大；连续运行时，热泵的冷凝温度或蒸发温度受土壤温度变化的影响而发生波动，所以系统设计时需要充分考虑系统的冷热平衡特性，以保证地下土壤的温度波动在可接受的范围内；土壤导热系数小而使埋地换热器的持续吸热速率小，导致埋地换热器的面积较大，如平面布置的埋地换热器的面积约为房间面积的2倍左右；在岩石地区因较高的钻孔费用而难以推广应用。

#### 5、分布式水源热泵机组与集中供热联供系统

根据《沈阳三年散热器采暖系统供回水温度调查表》对沈阳市皇姑热电厂、沈阳惠天热电公司、沈阳新北热电公司等14家供热公司的调查：其中沈阳市一次网的供热温度范围为 $82^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，回水温度范围为 $51^{\circ}\text{C}\sim 56^{\circ}\text{C}$ ，二次网的供热温度范围为 $52^{\circ}\text{C}\sim 57^{\circ}\text{C}$ ，回水温度范围为 $38^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ 。供热一次网的供回水平均温度分别为



85.85℃和 53.90℃，二次网的供回水平均温度分别为 54.35℃和 39.76℃。虽此供热温度范围与目前现行国家标准在一定程度上有出入，但考虑到此调查代表沈阳市目前供热温度范围基本情况，则在沈阳市大力发展地源热泵系统的过程中可适当考虑采用分布式水源热泵机组与集中供热联供系统。

考虑到水源热泵机组的效率，冬季供热时，可将水源热泵机组的冷凝器与供热二次管网回水管连接，对二次管网的回水进行一次加热，将二次网回水温度加热至 43℃~47℃，加热后的水再送入换热器进行二次加热，加热至二次侧供水所需温度（52℃~57℃），由二次侧供水管线送至热用户。此方式可节省供热锅炉的燃煤，提高供热系统的能效比。在每个换热站安装水源热泵机组与二次网的回水管线连接，协调配置锅炉的加热量与水源热泵机组的加热量。

此系统的优点为：可因地制宜的安装水源热泵机组为系统提供热量，并可根据末端需要，调节供热锅炉的出热能力，提高系统整体能效比，缺点为对末端用户的要求较高且系统管线改造复杂。

总体来说，所有地源热泵系统都有着突出的技术优点：高效、节能，环保、无污染，大部分地源热泵系统在冬季供热时，不需要锅炉或增加辅助加热器，且经过设计所有地源热泵系统都可以做到一机三用，既供热、供冷、提供生活热水；由于地源热泵系统是分散供热，大大提高了城市能源安全；运行和维护费用费用低，简单的系统组成，使得地源热泵系统无需专人看管，也无需经常维护；简单的控制设备，运行灵活，系统可靠性强；节省占地空间，没有冷却塔和其它室外设备，节省了空间和地皮，并改善了建筑物的外部形象；较长的使用寿命，通常机组寿命均在 15 年以上；供暖空调的同时，可提供生活热水，如表 7.5。

表 7.5 不同地源热泵系统优缺点一览表

系统名称	优点	缺点
可再生水地源热泵系统	水量稳定、水温水质有保证	污水处理厂离居民区距离较远、管线改造复杂
热电厂循环冷却水地源热泵系统	系统运行稳定、无地下水污染风险	管理机构整合困难、管线改造复杂
地下水地源热泵系统	造价低、占地面积少	回灌问题不好解决、长期大量使用有风险
土壤源地源热泵系统	系统运行稳定、无地下水污染风险	前期工作量大、需要对地质情况进行测试、对土壤条件要求高
分布式水源热泵机组与集中供热、联供系统	系统布置灵活	对建筑物性能要求较高

### 7.3.2 地源热泵系统节约燃煤能耗比较分析

沈阳市作为北方采暖城市，能源消耗结构以煤为主。2005 年，沈阳市能源消费总量为  $2325 \times 10^4 \text{kg}$  标准煤，其中煤炭消费占 66%，这其中有 1/4 用于冬季供热。2006

年,沈阳市现有建筑物的供热面积为 18330 万平方米,供热模式主要以燃煤供热为主。

沈阳市燃煤供热占全市供热面积的 97.64%,由此可见,通过应用地源热泵技术来减少煤的使用量,就是抓住了沈阳市节能减排工作的核心,对于改善沈阳市能源消耗结构,提高能源利用效率,促进优势互补起着至关重要的作用。下面以 2 万平方米建筑应用水源热泵技术为计算单位,估算每平方米耗电量、折合减少燃煤量、节煤量和节煤率(具体见表 7.6~表 7.8)。

表 7.6 2007 年地源热泵住宅冬季采暖每平方米消耗表

		耗电量及费用		耗电折合煤		节省煤		单位造价(元)
		耗电量(KWh)	电费(元)	折合标准煤(kg)	折合实物煤(kg)	节省实物煤(kg)	节煤率(%)	
既有住宅	独立式	41.57	21.20	17.60	27.38	14.50	34.62	86.4
	地埋管	45.29	23.10	19.18	29.84	12.04	28.75	155.6
	再生水(15/8℃) 水源热泵部分)	38.82	19.80	16.44	23.57	16.31	38.93	77.8
节能50%住宅	独立式	26.08	13.30	11.04	17.18	8.22	32.36	64.4
	地埋管	28.24	14.40	11.96	18.60	6.80	26.77	115.9
	再生水(15/8℃) 水源热泵部分)	24.31	12.40	10.30	16.02	9.38	36.93	58.0
节能65%住宅	独立式	17.65	9.00	7.47	11.62	5.38	31.66	50.0
	地埋管	19.22	9.80	8.14	12.66	4.34	25.53	90.0
	再生水(15/8℃) 水源热泵部分)	16.47	8.40	6.97	10.85	6.15	36.18	45.0

数据来源:沈阳市经委。本统计理论计算条件为:①沈阳地区采暖期 152 天,供热燃煤采用 18810 焦耳实物煤,价格 0.35 元/kg,采暖期常规采暖方式消耗实物煤量(kg/m<sup>2</sup>):既有住宅 41.88;节能 50%住宅 25.40;节能 65%住宅 17.00;②住宅电价:0.51 元/度,公共建筑电价 冬季 0.571 元/度;③供电煤耗:0.343kg/KWh,输配电效率:0.81

表 7.7 2007 年地源热泵公建冬季空调供热每平方米消耗表

		耗电量及费用		耗电折合煤		节省煤		单位造价(元)
		耗电量(KWh)	电费(元)	折合标准煤(kg)	折合实物煤(kg)	节省实物煤(kg)	节煤率(%)	
既有公建	独立式	54.64	31.20	23.14	36.99	19.06	34.61	139.1
	地埋管	59.37	33.90	25.14	39.11	15.94	28.96	250.2
	再生水(15/8℃) 水源热泵部分)	50.96	29.10	21.58	33.57	21.48	39.02	125.1
节能50%公建	独立式	32.22	18.40	13.65	21.23	9.87	31.74	110.1
	地埋管	35.03	20.00	14.83	23.07	8.03	25.82	198.2
	再生水(15/8℃) 水源热泵部分)	31.35	17.90	13.27	20.65	10.45	33.60	99.1

数据来源:沈阳市经委。本统计理论计算条件为:①沈阳地区采暖期 152 天,供热燃煤采用 18810 焦耳实物煤,价格 0.35 元/kg,采暖期常规采暖方式消耗实物煤量(kg/m<sup>2</sup>):既有公建 55.05;节能 50%公建 31.10;②住宅电价:0.51 元/度,公共建筑电价 冬季 0.571 元/度;③供电煤耗:0.343kg/KWh,输配电效率:0.81

表 7.8 2007 年地源热泵公建夏季空调制冷每平方米消耗表

		耗电量及费用		耗电折合煤		节省煤		单位造价(元)
		耗电量(KWh)	电费(元)	折合标准煤(kg)	折合实物煤(kg)	节省实物煤(kg)	节煤率(%)	
既有公建	独立式	18.27	13.70	7.74	12.03	5.97	33.15	18.27
	地埋管	20.27	15.20	8.58	13.35	4.65	25.83	20.27
	再生水(15/8℃)水源热泵部分)	20.00	15.00	8.47	13.17	4.83	26.81	20.00
节能50%公建	独立式	12.93	9.70	5.48	8.52	7.48	46.75	12.93
	地埋管	14.40	10.80	6.10	9.49	6.51	40.69	14.40
	再生水(15/8℃)水源热泵部分)	14.13	10.60	5.98	9.31	6.69	41.81	14.13

数据来源：沈阳市建委。本统计理论计算条件为：①沈阳地区制冷100天，制冷期按电制冷平均消耗25kWh/m<sup>2</sup>计；制冷期常规制冷方式消耗实物煤量(kg/m<sup>2</sup>)：既有公建18；节能50%公建16。由于制冷时间及使用率不同，制冷运行费用将变化较大；②住宅电价：0.51元/度，公共建筑电价0.750元/度；③供电煤耗：0.343kg/KWh，输配电效率：0.81

通过以上的计算可见，地源热泵的节煤效果是明显的，节煤率在25%~40%之间。

### 7.3.3 地源热泵系统与其它供热（制冷）模式比较分析

地下水源热泵技术较其他供热制冷系统经济耐用。按沈阳市目前的市场看，主要有以下几种供热制冷方案：电制冷+集中供热（这是沈阳市目前采用最多的一种供热制冷方案）；电制冷+油锅炉；电制冷+电锅炉；直燃机（以柴油为燃料，同时具有制冷和采暖两种功能）；地下水源热泵。以上几种方案初投资对比如表7.9~表7.11：

表 7.9 应用地源热泵技术与其它供热模式初投资对比表

方案	电制冷+集中供热	电制冷+油锅炉	电制冷+电锅炉	直燃机(烧柴油)	地下水源热泵
初投资	1.4	1.1	1.1	1.3	1

表 7.10 几种采暖空调方案造价和运行费用比较表

供热制冷方式	每平方米造价(元/m <sup>2</sup> )	每平方米运行费用(元/m <sup>2</sup> )	备注
燃煤锅炉供热	112.23	14.8	末端为暖气片，只能采暖；而且市区不允许上燃煤锅炉。
燃油锅炉供热	105.65	29	末端为暖气片，只能采暖。
集中供热	108	22	末端为暖气片，只能采暖。
电热膜供热	135	39.8	只能采暖。
传统中央空调	260	27.8	末端为风机盘管，具备采暖和制冷功能。
地下水源热泵	168	冬 21   夏 6.8	末端为风机盘管，具备采暖和制冷功能。
		18.54	
		冬 14.06   夏 4.48	

表 7.11 沈阳市的地下水源热泵系统基本技术经济指标

建筑面积	初投资	运行费用	抽灌井比例	平均井深	打井费用
1×10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	150元/m <sup>2</sup>	≤20元/m <sup>2</sup> (含交纳水资源费后)	1:2或1:3	60m	5~6万元/口

从上表可见,地下水热泵技术的初投资低于其他集中采暖制冷方案,明显低于沈阳市最常用的电制冷和集中供热模式,且运行费用低,使用寿命长,一般在20年左右。

### 7.3.4 综合效益分析

#### 1、投资估算

(1)集中供热系统。根据热电工程、供热工程投资估算指标:热电厂6500元/kw,热源内为30元/m<sup>2</sup>,热网、热力站全部工程为50元/m<sup>2</sup>。

(2)可再生水地源热泵系统。根据目前国内普遍情况,可再生水地源热泵系统热源内投资为70元/m<sup>2</sup>,含热网改造工程投资为100元/m<sup>2</sup>。

(3)工业余热水地源热泵系统。根据目前国内普遍情况,工业余热水地源热泵系统热源内为70元/m<sup>2</sup>,含热网改造工程为100元/m<sup>2</sup>。

(4)土壤源地源热泵系统。根据目前国内普遍情况,采用土壤源地源热泵系统,初投资约为200~250元/m<sup>2</sup>。

(5)混合式地源热泵与集中供热联合供热系统。混合式地源热泵机组与集中供热系统地源热泵部分主要投资为水源热泵机组和分管网改造费用,此部分系统初投资约为110~200元/m<sup>2</sup>。

(6)独立式地下水地源热泵系统。根据目前国内普遍情况,采用地下水地源热泵系统,系统初投资约为120~200元/m<sup>2</sup>(不含建筑物内末端设备)。

#### 2、经济效益

采用大型热电机组的供热项目,财务内部收益率大于6%,投资回收期在12年以内,具有较好的盈利能力,一般不需要政府的补贴;大型热源厂集中供热由于投资少,具有很好的经济效益,财务内部收益率为7%,投资回收期在13年以内,也能维持项目的生存经营,按现在的采暖费价格,没有政府的补贴,供热企业缺少发展的后劲。采用地源热泵系统供热项目,如果冬季供热、夏季供冷经济效益良好,财务内部收益率大于10%,投资回收期在10年以内;如果冬季供热、夏季不供冷经济效益一般,财务内部收益率小于2%,投资回收期在16年以上。

#### 3、社会效益

推广地源热泵技术是实现建筑节能、降耗减排的重要手段,是建设“资源节约型”和“环境友好型”社会的切入点和突破口。它可以提升建筑的品质,为人民创造舒适、优美的生活工作环境,提高人民的生活水平。同时,可以促使建筑业及其相关行业的结构调整,优化产业结构和产品结构,提高相关行业的技术水平,增加产品的技术含量,促进经济健康协调发展,有利于建立和谐社会,和谐沈阳,实现全面建设小康社会的总体目标。

发展地源热泵是建筑节能发展的需要,地源热泵技术的研发与节能产品推广将

全面提高建筑质量,完善建筑功能,缓解由能源紧张带来的经济问题和社会问题。使人口、资源、环境协调有序地持续发展。沈阳市作为老工业基地,合理利用现有资源,大力开发和应用地源热泵技术,是落实我国《可再生能源法》的具体行动,是走可持续发展之路的必然选择。

浅层地温能是一种优质的环保能源,具有可再生、储量大、清洁环保和可用性强等特点,它能够有效缓解能源供应压力。使用地源热泵技术利用浅层地温能节能效果十分明显,仅供热就可节约能源 30%~50%,并且供热时运行费用较低。据统计,63%的项目低于燃煤集中供热的采暖价格,并全部低于燃油、燃气和电锅炉的供暖价格,社会综合经济效益突出,但其最突出的还是环境效益。

#### 4、环境效益

若 2007~2010 年按规划发展,到 2010 年底地源热泵系统可为沈阳市及周边地区约 6927.03 万  $\text{m}^2$  建筑物的进行供热,根据目前沈阳市采暖用标煤的平均水平为  $25\text{kg}/\text{m}^2$  年进行计算,则这些建筑如果冬季进行燃煤供热需耗标准煤  $173.18 \times 10^7\text{kg}$  /年,将地源热泵系统耗电进行计算并折合为标准煤为  $123.42 \times 10^7\text{kg}$  /年,则全面推广地源热泵系统每年可为生态大环境节省标准煤  $49.76 \times 10^7\text{kg}$ 。考虑到沈阳市供电 85%为外电,则推广地源热泵系统替换传统燃煤供热,可为沈阳市本地节省标准煤为  $154.67 \times 10^7\text{kg}$  /年,减少排放  $\text{CO}_2$   $68.05 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放  $\text{SO}_2$   $3.09 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放烟尘  $2.32 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放灰渣  $40.21 \times 10^7\text{kg}$ 。

全面推广地源热泵系统,2008 年节省标准煤为  $32.97 \times 10^7\text{kg}$  /年,减少排放  $\text{CO}_2$   $14.51 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放  $\text{SO}_2$   $0.66 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放烟尘  $0.49 \times 10^7\text{kg}$ 、减少排放灰渣  $8.57 \times 10^7\text{kg}$ ;

### 7.3.5 评价结论分析

根据沈阳市地源热泵的运行情况,为了慎重起见,对于有可能造成地下水等环境危害的地下水源热泵系统,维持现有规模,待技术标准、规范、产品以及运行管理等完善,经过使用较长时间地检验后再进一步推广。

大力推广混合式水源热泵系统、再生水地源热泵系统和土壤源地源热泵系统应用。

地源热泵系统在住宅中不宜大面积推广,因供冷效益不好,没有充分发挥地源热泵的效益,投资效益不佳。因此非民用建筑中,供热与供冷并用的建筑中应优先推广和使用。

在继续发展集中供热,以其为主的前提下,因地制宜,根据客观条件的情况,可开展供热综合效益较好的供热模式。

室内散热方面,在集中供热的前提下,大力提倡和推广低温热水辐射地板采暖方式,与此同时,进一步完善该方式的系统平衡运行、管路疏通和维修管理。

## 7.4 沈阳市供热发展对策建议

### 7.4.1 降低供热耗能，提高供热效率

为了保持室内温度，冬季采暖建筑必须获得热量。建筑物的总得热包括采暖设备的供热、太阳辐射得热和建筑物内部得热（在居住建筑中包括炊事、照明、家电和人体散热，约占总得热的 8%~12%）。这些热量再通过围护结构的传热和空气渗透而失热。当建筑物的总得热和总失热达到平衡时，室温才得以保持。降低建筑耗能量主要是指在保持室内一定温度下，降低采暖设备供热的能耗量。

因此降低供热能耗的途径有以下几方面：

#### 1. 充分利用太阳辐射得热

建筑中太阳辐射的得热量与建筑的朝向、间距、建筑的高低错落有关，也和主要得热构件，如窗、集热墙的位置、大小和构造有关。因此为了充分利用太阳辐射热，必须从建筑的总体规划、小区布局及建筑单体设计着手。同时对窗的形式、尺寸和玻璃的种类、层数等要仔细推敲。由于太阳辐射量是周期变化的，因此要昼夜得益还应提高建筑的蓄热量及设计好夜间及无阳光时窗户的保温方式（如采用保温窗帘等）。

#### 2. 提高采暖设备的供热效率

供热设备供热效率的提高应该包括供热模式、能源结构的选择。目前锅炉在运行过程中，一般只能将燃料所含热量的 55%~70% 转化为有效热能（亦即锅炉的运行效率为 0.55~0.70）。这些热量通过室外管网输送，沿途又将损失 10%~15%（亦即室外管网的输送效率为 0.85~0.90）。剩余的热量供给建筑物，又由于散热器的形式，表面状况及房间中位置的不同亦影响其散热效率，因此对目前的采暖系统来说，节能的主要途径是：改善供热系统的设计和运行管理，以提高锅炉的运行效率；加强管道的保温，以提高管道的输送效率，同时选择效率高的散热器，在设计时放在合理的位置上以提高热效率。

#### 3. 减少建筑物散热面积

建筑物的耗热量与建筑物外表面的大小有直接关系。在节能设计中，我们用建筑物体形系数来控制。体形系数是指建筑物与室外大气接触的外表面积与其所包围的体积的比值。从有利于节能出发，体形系数应尽可能地小。即体形应该简单，一般对多层板式住宅，当层数达到 6 层，单元数达到 4 个以上时，体形系数可以控制在 0.30 以下，但当平立面出现过多的凹凸面时，这种多层建筑的体形系数就容易超过此值。

建筑物的散热面积除了建筑物的外表面积外，还包括采暖空间与不采暖空间之间的内墙。如采暖居室与不采暖楼梯间之间的内墙及不采暖廊之间的内墙都是建筑

物的散热面。有的设计住户在不采暖廊上,除了有门以外,还有窗户,这对节能都很不利。计算表明,一栋多层住宅,楼梯间采暖比不采暖时耗热量要减少 5%左右。楼梯间开敞比设置外门窗耗热量要增加 10%左右。因此楼梯间不采暖时,楼梯间隔端及户门都应采取保温措施。楼梯间应设置门窗使之在冬季能够密闭。

#### 4、加强围护结构的保温

围护结构的保温应包括外墙、门窗、屋顶及地面。外墙应考虑周边混凝土梁、柱等热桥的影响。除了应提高这些围护结构本身的热阻外,还应防止内墙、楼板、地面等构件直接将室内热量传至外墙处散出。特别应注意的是,不得为了将散热器嵌入外墙内而减薄局部墙厚,使其保温性能减弱。

#### 5、减少空气渗透的耗热量

根据建筑能耗检测结果表明,如北京一般居住建筑空气渗透造成的耗热量,大约要占到整个建筑采暖耗热量的 30%左右,其中通过门窗缝隙的空气渗透热损失约占 23%。空气渗透带来的热损失和门窗缝的构造有密切关系。这些缝包括门窗扇与门窗框之间的缝,框与墙之间的缝,以及玻璃与窗棂子之间的缝,这些缝的宽度和长短与渗透量也有直接关系。这也和玻璃块的大小,特别是开启缝的长短有关。空气渗透量的大小还和围护结构两侧的热压差及风压差有关。由于冬季风较大,一般渗透量主要取决于风压差。因此在向北开的外门的外边,设一个门斗,使开口向东也是减少空气渗透热损失的一个措施。围护结构两侧的风压差,除了取决于当地的气象状况外,还取决于建筑的朝向、间距及高低层建筑错落的关系,即和建筑的布局和规划有关。

### 7.4.2 以集中供热为主导,因地制宜采用供热模式

根据各区域的特点因地制宜地采用环保、热效率高的供热热源和供热模式。具体建议如下:

沈阳市应继续坚持优先发展热电联产的原则。2000 年由国家发展计划委员会、国家经济贸易委员会、建设部和国家环保总局联合下发了《关于发展热电联产的规定》。《规定》再次明确了国家鼓励发展热电联产的政策,只要能接入热电联产集中供热网的,就应要求接入,而不允许采用其它模式。

禁止采用各种电热锅炉集中供热模式,对电热膜、柔性电缆、电暖气等电热方式应做到按区域用电规划,因地制宜,对城市热电联产热网、燃气不易达到的地区以及对燃煤锅炉有严格限制的地区可以考虑采用电采暖。我国电力系统最大问题是峰谷差,大力发展热泵技术,实现高效率供热或发展相变蓄热电暖气解决峰谷差问题,是扩大用电负荷的合理途径。

远离热电联产热网的新建小区可采用家庭小型燃气锅炉或单栋住宅燃气锅炉。分户独立燃气采暖,要考虑邻居住户传热的影响、室内温度设计标准的提高和防冻

保护和维修的方便。

关于源网分开，在条件适宜的情况下，可在新市区进行试点，然后推广，如：浑南新区、沈北新区、铁西新区等。

### 7.4.3 实施分户计量，按照两部制热价收费

为了促进建筑节能，加快供热体制改革，沈阳市应在试点的基础上，在新建建筑、既有建筑改造中实施分户计量，按照两部制热价进行收费。应尽快颁布实施适应分户计量的供热收费标准。

新建住宅和公共建筑必须安装楼前热计量表和散热器恒温控制阀，新建住宅同时还要具备“分户计量，分室控温”热计量的条件；既有住宅要因地制宜，合理确定热计量方式，热计量系统改造随建筑节能改造同步进行。

### 7.4.4 引入特许经营制度，推进供热体制改革

#### 1、完善沈阳市供热政策法规体系

现阶段沈阳市供热政策法规体系还不够完善，急需尽快进行供热立法，包括供热条例和供热行业特许经营管理办法，明确政府职能，供、用热双方的责权利；制定供热企业的资质管理办法，形成可操作和适度竞争的市场准入、退出机制；理顺供热价格体系，建立适应能源市场变化的价格联动机制和供热成本控制标准；规范供热行业的运行、服务、安全、节能标准及评价体系；调整完善城市供热规划，强制实现社会资源的优化配置，促使城市供热逐渐具备规范的市场秩序和以政府宏观控制为主的市场监管机制。

#### 2、逐步引入特许经营制度，形成垄断竞争市场结构

目前，沈阳市内的供热市场大部分还是计划经济体制下的政府垄断市场，私营供热企业很难在大规模国有供热企业的竞争下生存，从而导致供热市场仍然由政府垄断。一方面，由于完全垄断市场和寡头市场都容易在供热市场上形成垄断高价，导致供热企业缺乏改善经营管理、改造工艺技术、提高运营效率的动力，造成热用户的福利损失；另一方面，完全竞争市场使供热市场竞争过度，进入门槛过低，容易导致在供热市场上出现，过多的供热企业产生无序竞争，供热市场也很难吸引到优质资源的进入，则最终影响到沈阳市供热行业的可持续发展。然而，垄断竞争市场结构则具有既能够阻止供热行业内垄断高价的形成，又可以防止供热市场上过度竞争的产生。这就在制度上保证了那些不断改善经营管理，不断改进工艺技术水平，努力降低供热成本，不断提高服务质量的供热企业获得合理的利润，实现可持续发展。当条件和时机成熟时，在沈阳市供热市场上逐步引入特许经营制度，将有利于垄断市场结构的形成。



### 3、实现付费主体的转换

实行谁用热谁付费，才能有效地促进热能节约。职工所在单位为职工付费，虽不影响供热的商品化，但却影响消费者对节约用热的关心。实行消费者付费，配之以按热耗收费，消费者就会把节能落实在调节热消耗的行动上。如果热价合理，消费者还会愿意投资于住宅的节能改造。

实现付费主体转换，暗补改明补，并不意味着减轻各方的热费负担。原来单位负担、财政补贴的开支，都不应因暗补改明补而有所减少，只是改变了支出的名目。单位原用于买热的费用，以补贴的形式支付给职工。财政原用于供热企业的亏损补贴，也要以补贴补助的形式继续支出。暗补改明补和热计量收费的实施，可以换来节能的机制，促进供热企业经营机制的转换。

### 4、大力促进供热采暖节能工作

一是要严格按照城镇供热采暖系统国家工程建设标准，积极运用水力平衡、气候补偿、温控和计量等方面的先进适用技术，加大资金投入力度，改造供热设施和管网，充分挖掘现有系统供热能力，提高能源利用效率，改善环境质量。二是要加强城市建筑节能标准的实施力度，新建建筑严格按照节能标准进行设计、施工及验收；对既有建筑要制定节能改造计划，积极采取措施，组织实施城镇既有居民住宅和公共建筑节能改造；尽快提高建筑节能水平和热能效率。三是建立促进供热采暖节能的投资机制，开展民用建筑按用热量计量方式及相关政策的研究与制定。稳步推行按用热量计量收费制度，促进供、用热双方节能。

### 5、进一步加强对城市供热市场的监管和政府对于供热行业的主控能力

政府对市政公用事业的监管和调控能力应主要体现在对市场进入与退出及过程的监管，对运行安全的监管，对产品与服务质量的监管，对价格与收费的监管，对管线、网络系统的监管和对市场竞争秩序的监管等。结合沈阳市实际，应首先要把握好市场准入关，必须制定科学的准入标准，严格贯彻城市供热规划和准入操作程序。其次要通过建立供热特许经营制度实现全程监管。特许经营制度是供热行业市场化的主要实现形式，要逐步通过立法的形式明确特许经营的法律地位。具体落实市场准入和退出、特许经营权招标投标、特许经营项目中期评估、特殊情况下临时接管、对违规企业的披露、公众监督与参与、上级主管部门备案等规定。通过政府与供热企业签订特许经营协议，确立双方的权利与义务，并为对供热特许经营行为进行监管提供重要依据。第三逐步完善对供热服务质量、运行安全和价格成本的监管。要按照服务质量标准的要求，建立对服务质量监测和评估制度，对供热企业提供服务质量实施定点、定时监测，要尊重社会公众的知情权，建立通畅的信息渠道和公众参与监督机制。要制定安全生产紧急情况应对预案，建立健全安全预警和应急救援工作机制。进行供热价格的改革，形成科学合理的价格形成机制。

## 第八章 研究结论与展望

### 8.1 研究结论

本文在大量文献阅读和深入分析的基础上,通过研究得到以下主要结论:

#### 1、分析了我国供热现状及供热评价理论方法的研究现状

我国城市集中供热总面积不断增加,供热模式以集中供热为主,多种供热模式并存;供热能源由最初的以煤炭为主发展到煤炭和天然气、太阳能等多种能源并存的格局。但供热行业目前还没有改变“高投入,高消耗,高排放,低效率”的粗放型的运营模式,单位建筑面积耗能是气候和近发达国家的2~3倍。

我国供热系统主要存在的问题是:①采暖能耗巨大,供热效率低,我国目前的采暖用能约占全国商品能源总消耗的10%;②供热质量差,冷热不均、热能浪费严重;③缺乏控制手段,室内热环境差;④供热系统水质问题较大,⑤供热方案的选择缺乏依据。

在热计量及收费存在的主要问题是:①只计量未收费,供热计量工作核心问题未解决;②供热计量方法的标准规范不完善;③收费方式及热价的制定工作复杂,缺乏科学统一的计价方式;④热用户对计量工作的认知水平不高;⑤成本与价格的合理“联动”机制和“补偿机制”不健全;⑥缺乏强有力的法规保障。

城市供热评价理论与方法存在的问题是:①评价方法的求新、复杂化越来越严重;②在实际的应用中,指标体系的选取存在不科学的地方,缺少理论指导。③理论研究与实际应用之间存在一定的差距;④未能建立其较为全面、系统的社会评价指标体系,且社会效益指标涵盖范围少;⑤权重的确定缺乏科学的依据;⑥忽视定性分析。

#### 2、确定了集中供热与分散供热模式的选择思路

城供热模式可分为城市集中供热、区域集中供热和分户供热三个类型。本文将供热模式进一步划分为集中供热和分散供热两个类型,在此基础上从环境效益、经济效益、社会效益、供热质量、能耗和热损失的视野,从节约能源、能源利用率和所采用的能源燃料种类的角度,以及从供热技术和设备的角度出发,对集中供热与分散供热进行了定性比较分析。认为:分散供热模式存在着占用单独的空间、热损失不能利用、供热不稳定、产生噪音等缺点;集中供热模式也存在着值得改进和商榷之处。然而与分散供热相比,可以说集中供热模式优于分散供热模式。所以,在城市供热模式选择中,应该首选集中供热,燃料以煤炭为主,而在集中供热模式涉及不到的地区可以采用分散供热的模式作为必要补充。

#### 3、源网分开是城市集中供热发展的必然趋势

分析了制约我国城市多热源联网供热的主要因素,阐述了城市联网供热的必要性。目前在国内的许多城市中,一个城区往往同时存在多个供热系统,这些系统大多是单独承担一个区域的集中供热,单独运行,互不连接。这种模式下当热源出现问题时没有其他热源予以补充,缺乏供热可靠性且调峰热源不足,不能严格按照采暖要求准确供热,从而在低热负荷期系统的供热量偏高,在高热负荷期供热量又不足,热源不能充分利用而造成能源浪费。有的城市虽然把管网联在一起,但是尚未将热源和热网分开进行管理,在供热时又都用阀门断开,分别运行。热源与热网不分开的管理模式,使原有的供热垄断机制不能打破,形成不了热力价格的市场竞争机制。

为了从根本上解决这一问题,本文提出了源网分开的供热模式,即:是指在一个区域内,多热源联网向区域内唯一的热网供热。而热源与热网的运行管理是相分离的(热源与热网分属于不同的企业)供热模式。

具体设想是:在多热源联网供热的基础上建立起来一套完整的供热体系。体系中的主体分别是:热源厂、热网公司、热源服务公司、热用户。源网分开要求将热源与热网分开,一个热网由多个热源厂供热。每个热源厂是独立的法人单位,自主经营、自负盈亏。热网公司则为新成立的企业,可由政府投资建设也可由个人投资建设。各个热源厂在热源充足的情况下实行竞价上网。供热服务公司从热网公司购热后再销售给热用户。其目的是更最大限度地保证供热安全、稳定供热,满足用户的用热需求,保证更高的用热可靠性。提高对广大热用户的服务质量。降低生产热量的成本,降低终端用户的热价水平,最终提高产品和服务的竞争力。

实行源网分开的优势是明显的,它能够克服原有供热模式的缺陷,实施后,将在经济、节能、环境和社会等方面对该区域产生巨大效益。有利于降低供热系统事故对用户造成的影响,有利于打破垄断、促进行业公平竞争,有利于建立适应市场竞争要求的热价形成机制,有利于实现网络的规模效应,有利于完善热力系统自动化,有利于节约能源。

而源网分开供热模式建立的前提是:区域内有独立且联通的热网;有足够的热源企业满足热网的热量需求;要有多热源联网技术作为支持;有热力行业其他完善的技术作为保障;有完备的通讯设施。

#### 4、城市供热源网分开的供热体系与管理模式

源网分开的供热系统主要由热源厂、热网公司、供热服务公司(包括其服务范围内的换热站、小型补热锅炉房等)、热用户以及将其相连接的完整的管网及供热设备组成。热源厂把热输送给热网公司,由热网公司进行统一的调度安排输送给各个供热服务公司,供热服务上可最终将热量传递给热用户。

源网分开管理模式的构想拟在热力市场中采用“三级市场”模式,即热源交易市场、输热市场、热产品销售市场,

一级热交易市场即热源交易市场,是指各热源厂与热网经营企业间的购销热的经济关系,即在热源厂一方引入竞争机制,当热源足够时实行竞价上网,当热源不足时采用低价优先的策略。二级热交易市场即输热市场,是指热网经营企业与各供热服务公司间的购销热关系。三级热交易市场即热产品销售市场,是指各供热服务公司与广大热用户间的购销热的经济关系。

从二级市场模式来看,整个热的销售过程涉及到了三个热价的形成。

一级市场热价是指热源厂将热出售给热网公司时的价格,它的形成主要是热源厂竞价上网的过程中所形成的,热网公司根据自己的调度安排和需热计划制定招标文件,各热源厂根据自身条件公开竞争,进行投标报价,价格较低、合理且产热质量高的热源厂可成功竞价上网,这样就形成了一级市场的热价。

二级市场的热价是指热网公司将热再售给供热服务公司时的价格,该价格是由热网公司、供热服务公司和政府相关价格监管部门联合制定的。所占热价空间必须合理,要在政府监管部门的监督下,通过热网公司与各供热服务公司协调确定,要考虑供热专营企业的经济发展水平的差异对供热长期边际成本的影响。

三级市场的热价是指供热服务公司将热出售给热用户时形成的最终价格。该价格是在政府监管部门的主持下,通过召开包括供热服务公司和热用户代表参加的“价格听证会”,最终由政府监管部门对热价做出仲裁而形成的。在三级市场热价形成的过程中,政府要从广大用户的利益出发,对供热服务公司的热价调整计划进行意见征询,确保价格的公平与合理。

源网分开供热模式的实施设想是:源网分开管理模式可以考虑在市级范围或者新建区域内使用。源网分开供热模式的实施范围应是独立的行政区域,与其他市政基础设施相类似,实施源网分开的供热模式,具体思路是:确定试点,逐步实施;进行可行性研究,做好规划;合理调整热源厂,引入市场竞争机制;组建热网公司,建立新型的管理模式;健全热价机制,在热源充足的前提下实行竞价上网;将实施热计量收费,贯穿于源网分开之中;完善热力监管体系,建立监管机构;研究制订有关配套政策,积极探索、吸取经验。

#### 5、构建了城市供热技术、经济和社会评价体系以及城市供热综合评价体系

本文分别从技术、经济和社会方面就评价理论和方法进行了论述,同时构建了基于各个视角的评价体系。

城市供热技术评价内容包括技术的先进性、成熟性、技术的前景预测等方面内容。其中,技术的先进性可以用供热技术的能耗指标、能源利用率、热效率、热计量的实施程度以及技术的舒适性、可靠性、安全性等指标来进行具体的衡量。

供热技术评价指标主要有:建筑物耗热量指标和采暖设计热负荷;供热系统能耗指标,具体包括一次能源利用率、热效率和烟效率;供热计量技术;供热技术的舒适性、可靠性;供热技术的安全性、成熟性;供热技术的前景等等。

城市供热技术评价的方法包括：热效率评价方法；舒适性指标评价方法；可靠性指标评价方法；供热计量技术的评价方法。将上述理论和方法加以归纳综合，形成了城市供热评价的理论体系。

城市供热经济评价理论与方法由以下几方面构成：技术经济评价理论与方法；热经济学评价理论与方法；循环经济评价理论；环境经济学评价理论与方法。

技术经济评价理论是从技术的角度出发，阐述技术评价的相关理论，及其在供热中常用的技术评价方法；热经济学评价理论是把热力学与经济学结合，构建供热系统的热力学模型，运用费用衡算方程对供热系统进行科学合理评价；循环经济评价理论从资源的循环利用角度，分析循环经济在城市供热中的具体应用，通过节约资源，提高收益；环境经济学评价理论从保护环境，减少环境成本上对城市供热进行评价。将以上结论综合形成了系统的经济评价理论体系。

城市供热社会评价理论构成：可持续发展理论、资金时间价值理论、环境外部性理论、系统动力学理论。

城市供热社会评价指标主要有：①节能指标；②资源可利用性指标；③环境质量指标；④三废治理指标；⑤可持续性指标；⑥对社会经济的影响指标；⑦对人们心理的影响；⑧价格合理性指标。

城市供热社会评价方法主要有：①城市供热节能评价。包括热耗分析和电耗分析；②社会影响评价；③城市供热环境影响评价。由以上各个评价理论和方法构成了社会评价理论体系。

对城市供热的评价应从系统的角度进行。供热是个系统工程，结合城市供热系统的特点，可以把城市供热评价系统分为供热模式（包括热源、热网、热用户）、技术评价体系、经济评价体系、社会评价体系、环境评价体系等，即运用技术、经济、社会评价的理论和方法对城市供热系统内部体系及其对外部环境的影响进行综合性评价。进而构成城市供热综合评价理论体系。

## 6、供热模式评价的结果不是唯一，但所在区间和发展趋势一致

城市供热模式评价是一个十分复杂的系统，在面对这样一个复杂的系统和如此庞杂的因素，选择什么样的评价方法，是关系到能否得出科学、全面、准确、客观的评价结果的关键，只有选择正确的、适合的评价方法，才能做出科学、合理的判断。本文分别采用 AHP、DEA 交叉法和 DEA/AIP 评价方法，对城市供热模式进行了评价。按照从个别到一般的研究思路，对典型的评价方法加以比较，抽象概括出评价方法的本质，并对评价结论加以分析，具体如下：

### (1) 评价结果不完全一致

各种供热模式在利用不同的评价方法进行评价时，其排序位置是不同的，之所以出现不完全一致的结果，是因为这三种方法还存在着一定程度上的差别和不足，这些差别和不足就会导致评价结果的误差，进而造成评价结果的不完全一致。具体

的原因主要有以下几方面:

①在利用 AHP 方法评价过程中,由于不同专家的经验 and 偏好不同,存在着人为赋予权重过程产生偏差;同时在无量纲化过程中有缩小或扩大各子准则层之间数据差异的可能。

②在利用 DEA 交叉评价过程中,虽然通过计算效率值和进行对抗性交叉评价的方法,确实消除了由于赋予权重不合理对评价结果的一部分影响,但是并没有完全消除这些影响,仍然会产生评价结果误差。

③在利用 DEA/AHP 评价过程中,使用两两比较时求其交叉效率评价构造判断矩阵的方法,在一定程度上减少了权重的影响,采用单一水平的 AHP 对所有单元进行全排序。但在用 DEA 法构造的判断矩阵时,对决策单元两两比较时不合理分配权重问题仍然不能完全消除。

#### (2) 评价结果所在区间和发展趋势一致

利用三种评价方法进行供热模式评价所得出的结果从体现未来发展趋势上和所在区间上来说说是基本上一致的。例如,无论利用哪种评价方法热电联产、家用小型燃气热水炉、电动水源热泵几乎都是排在前三位,有较好的发展趋势,并且也是现阶段我国城市供热普遍采用的供热模式,与实际情况也相吻合。因此,AHP、DEA 交叉法和 DEA/AHP 这三种评价方法对于供热模式的评价是准确的和科学的,也即这三种评价方法对于供热模式评价来说是适合的。

#### 7、供热模式评价的综合结论

通过对三种评价方法的比较分析以及对供热模式评价的结果分析得到以下结论:

(1) 通过供热模式评价结果可以看出,并没有一种十全十美的评价方法,不同的评价方法只是从不同的角度对被评价对象做出某种估计。所以采用多种方法进行评价,其评价结果的可信性就大大提高。

(2) 无论利用 AHP 对供热模式各指标进行主观赋权,还是利用 DEA 法进行客观赋权,都无法解决自身的不足。主观赋权虽然体现出各个指标的重要程度,但是以人的主观判断作为赋权基础不尽完全合理。客观赋权不受人为因素影响,但是客观赋权所得各指标的权数不能体现各指标自身价值的重要性,而且指标的权数随样本的变化而变化,权数依赖于样本。

(3) 利用 DEA/AHP 进行供热模式评价,是一次创新性地将 DEA 法与 AHP 结合应用到供热模式评价中。虽然说此次评价得到了满意的结果,但是仍然不能说此种组合方法就是供热模式评价的最好方法,因为组合评价法也可能出现较大的随机偏差,从而与真实情况不相符。所以说,应用好组合评价方法就应该对其有一个正确、全面的认识:①组合评价法并不能完全取代单一综合评价法。不能说组合评价法就一定优于某一种单一评价方法。②采用组合评价法进行综合评价时仍然具有较强的主

观性。因为组合评价法只是从评价方法选择方面进行了改进。

(4) 在进行城市供热模式评价时虽然利用了三种评价分析方法,但是并不是说只有这三种方法可以进行供热模式评价,在未来的发展过程中,还将会有更加科学、合理的方法对供热模式进行评价。

(5) 虽然评价的结果用数字表示,但其评价结果并不具有数学意义上的精确性,而只能大体反映被评价对象的特点,其评价结果的准确与否并不是绝对的,而只有借助必要的定性分析,才能解释其结果的合理性。因此,虽然评价方法只是一种定量研究问题的方法,但不可忽视与定性分析相结合,这一点很重要。

(6) 就供热评价方法而言,评价方法并不是越复杂越好,而是在适用的前提下,应该越简单越好,也就是说,适合的评价方法就是最好的。

#### 8、沈阳市供热发展应以集中供热为主,其他供热模式为辅

本文对沈阳市目前应用较多的热电联产、区域燃煤锅炉集中供热、电热膜供热、电蓄热供热、电动空气热泵、地源热泵供热等6种主要供热模式,运用DEA/AHP法进行了评价。计算结果显示6种供热模式的综合效益的优劣排序依次为:热电联产、地源热泵、电动空气热泵、区域燃煤锅炉集中供热、电热膜、电蓄热供热。

基于本文对供热评价方法的认识和判断,本文认为沈阳市可以基本上按照计算结果所指示的方向发展,特别是结果中的前二位——热电联产和地源热泵供热模式是鼓励和优先发展的方向。

对沈阳市地源热泵供热模式的综合评价结论是:根据沈阳市地源热泵的运行情况,为了慎重起见,对于有可能造成地下水等环境危害的地下水源热泵系统,维持现有建设规模,待技术标准、规范、产品以及运行管理等进一步完善,经过一定考验期的检验后再进一步推广。大力推广混合式水源热泵系统、再生水地源热泵系统和土壤源热泵系统应用。地源热泵系统在住宅中不宜大面积推广,因其供冷效益不好,没有充分发挥地源热泵的效益,投资效益不佳。而在非民用建筑中,供热与供冷并用的建筑中应优先推广和使用。

在继续发展集中供热,以其为主的前提下,因地制宜,根据客观条件的情况,可开展供热综合效益较好的供热模式。

室内散热方面,在集中供热的前提下,大力提倡和推广地温热水辐射地板采暖方式,与此同时,进一步完善该方式的系统平衡运行、维修管理等措施。

就沈阳市的未来城市供热的发展提出了具体的对策建议:一是降低供热耗能。具体途径有:充分利用太阳辐射得热、提高采暖设备的供热效率、减少建筑物散热面积、加强围护结构的保温、减少空气渗透的耗热量。二是发展以集中供热为主导,因地制宜采用多种供热模式。关于源网分开,在条件适宜的情况下,可在新市区进行试点,然后推广,如:浑南新区、沈北新区、铁西新区等。三是实施分户计量,按照两部制热价收费。进一步推进城镇供热体制改革。

## 8.2 本文的创新点

本文对城市供热的评价理论和评价方法进行了一定的探索,在此基础上对供热模式进行了定性和定量的分析,通过理论分析和实证研究,总结全文,提出了新的见解并取得了如下创新性研究成果:

(1) 确定了集中供热与分散供热模式的选择思路。在界定城市供热模式的构成要素基础上,本文在将供热模式进一步划分为集中供热和分散供热两个类型的基础上,从环境效益、经济效益、社会效益、供热质量、能耗和热损失的视野,从节约能源、能源利用率和所采用的能源燃料种类的角度,以及从供热技术和设备的角度出发,对集中供热与分散供热进行了定性比较分析。认为在城市供热模式选择中,应该首选集中供热,燃料以煤炭为主,而在集中供热模式涉及不到的地区可以采用分散供热的模式作为必要补充。

(2) 阐述了在发展集中供热的基础上,源网分开是城市集中供热发展的必然趋势的观点。界定了源网分开供热模式的含义,搭建了城市供热“源网分开”的供热体系框架,并提出了源网分开管理模式。源网分开管理模式的构想——在热力市场中采用“三级市场”模式,即热源交易市场、输热市场、热产品销售市场。

(3) 从技术、经济和社会等方面就城市供热模式评价理论和方法进行了论述,并构建了各自的评价体系。在此基础上,从系统的角度出发,运用系统工程的思想构建了城市供热综合评价体系。

(4) 首次将DEA交叉评价法和DEA/AHP评价方法应用于供热模式的评价之中,认为这两种方法对于供热模式评价是适合的。

(5) 提出了城市供热评价方法新的观点和结论。通过研究认为,没有一种十全十美的评价方法,不同的评价方法只是从不同的角度对被评价对象做出某种估计。所以采用多种方法进行评价,其评价结果的可信性可大大提高。

虽然评价的结果用数字表示,但其评价结果并不具有数学意义上的精确性,而只能大体反映被评价对象的特点,其评价结果的准确与否并不是绝对的,而只有借助必要的定性分析,才能解释其结果的合理性。因此,评价方法虽是一种定量研究问题的方法,但不可忽视与定性分析相结合。

就供热评价方法而言,评价方法并不是越复杂越好,而是在适用的前提下,应该越简单越好,也就是说,适合的评价方法就是最好的。

(6) 对沈阳市积极开展的地源热泵供热提出了新的观点和见解。

## 8.3 研究展望

本文的研究存在着如下几点不足: 是对城市供热的社会评价指标体系和定量



分析研究还不够系统。虽然提出了较为系统的城市供热评价理论方法及体系,但由于客观条件的限制,还不能完全在该理论方法体系下对供热模式进行评价。二是源网分开只是提出了系统框架和相关的概念,尚缺乏深入地研究。

社会评价是评价问题的热点和难点问题,社会评价已越来越受到人们的关注,城市供热作为与人们生活的必要组成部分,已逐步引起人们的重视,其社会评价也显得愈发重要。社会评价理论体系包括社会评价的基本理论,社会评价指标体系,社会评价方法。社会评价是我们未来进一步研究的课题。

城市供热实行源网分开的优势是明显的,是实现城市供热可持续发展的必然,也是集中供热发展的必然趋势,将源网分开这一崭新的课题进行更深入系统地研究,是今后我们研究的切入点和研究工作的出发点。

## 参 考 文 献

- [1] 胡艳蕾, 论城市公共工程的评价[D]. 济南: 山东大学, 2007. 4.
- [2] 齐中英, 朱彬编著, 《公共项目管理与评估》[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 12-13.
- [3] Kahn.R.G, 《The Relation of Home Investment to Unemployment》[M].193.
- [4] 【美】约翰·罗尔斯(著)姚大志(译), 《作为公平的正义—正义新论》[M].上海: .上海三联书店, 2002. .
- [5] 李成威, 《公共产品的需求与供给: 评价与激励》[M]. .北京: 中国财政经济出版社, 2005, 22-29. .
- [6] 埃莉诺·奥斯特罗姆(著)余进达, 陈旭东(译), 《公共事物的治理之道: 集体行动的演进》[M].上海: .上海三联书店, 2000, 16-19.
- [7] 洪银兴, 高波等, 《可持续发展经济学》[M].北京: 商务印书馆, 2000, 5-13.
- [8] 陈阿江. 范式视角下的项目社会评价[J]. 江苏社会科学, .2003. (5), 92-96.
- [9] 向清. 项目社会评价方法评介[J]. 自然辩证法研究, 1997. (6), 24-27.
- [10] 吴大军, 王立同. 项目评估[M]. 大连: 东北财经大学出版社, 2002.
- [11] Therivel, Riki and others. Strategic Environmental Assessment. London: Earth scan, 1992. .
- [12] Kauppinen, Tapani. "Impacts Can Be Assessed in Advance", Dialogi, 1B (200), 26-27. .
- [13] 王朝刚, 李开孟. 投资项目社会评价专题讲座(十二)[J]. .中国工程咨询. 2004. (12), 42-44.
- [14] Shaohua Chen and Martin Ravallion: Hidden Impact? Ex-Post Evaluation of an Anti-Poverty Program [R]. .
- [15] 邹一峰, 邹欣. 中外投资项目评价[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995.
- [16] 国家计委, 建设部. 建设项目经济评价参数与方法(第二版)[M]. 北京: .中国计划出版社, 2004. .
- [17] 洪银兴, 高波, 等. 《可持续发展经济学》[M].北京: 商务印书馆, 2000, 5-13.
- [18] 杜栋、庞庆华、吴炎, 《现代综合评价方法与案例精选》[M].北京: .清华大学出版社, 2008. 6.
- [19] 徐伟, 王敏. 中国供热计量技术的发展与实践 中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院.
- [20] 赵玉甫. 城市供热可持续发展研究[D]. 哈尔滨: .哈尔滨工业大学, 2007. 10, 50-52.
- [21] 常纛. 住宅建筑各种类型采暖供热方式的综合比较及节能研究[D]. 西安: 西安建

- 筑科技大学, 2006. 6, 8-9.
- [22] 刘新国. 水源热泵技术发展优势及应用中存在的问题[J]. 河南建材, 2008. (3), 17.
- [23] 亢燕铭. 地板辐射供暖的节能效应分析[J]. 暖通空调, 2001. (04), 4-5.
- [24] 陈永明. 供热系统可靠性指标探析[J]. 煤气与热力, 2003. (7), 400-402.
- [25] 鲁祥春. 哈热集中供热扩建项目技术经济评价[D]. 华北电力大学, 2008. 5: 20-23.
- [26] 康艳兵. 不同采暖方式的技术经济评价分析[J]. 中国能源, 2008. (1), 16-22.
- [27] 杨东华. 热经济学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1.
- [28] 王加澹. 火用 法及其应用[M]. 北京: 轻工业出版社, 1990, 34.
- [29] 周洁. 集中供热系统热经济学优化方法的研究[D]. 济南: 山东科技大学, 2007. 6.
- [30] 戎卫国. 供热系统的热力学经济评价及分析[J]. 山东建筑工程学院学报(自然科学版), 1988. (4), 54.
- [31] 左玉辉. 环境经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 7.
- [32] 杨建坤. 北方小城镇供热模式分析与热网优化控制的研究[D]. 上海: 同济大学, 2007. 3, 18.
- [33] 花拥军. 项目社会评价指标体系及方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004. 4.
- [34] 从颖. 珥春市集中供热能耗与环境效益分析[D]. 长春: 吉林大学, 2006. 6, 15-19.
- [35] 石小翠. 建设项目环境影响的经济评价方法研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005. 5, 25-2.
- [36] 王伟. 城市供暖热源环境影响评价[J]. 低温建筑技术, 2004. 3.
- [37] 杨印生. 《经济系统定量分析方法》[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001, 285-331.
- [38] 彭育威, 吴亦亮, 徐小湛, 利用 MATLAB 进行 DEA 交叉评价分析[J], 西南民族大学学报(自然科学版), 2004 (30): P553-556.
- [39] 王瑛, 孙林岩, 陈宏, 基于两阶段的物流系统综合评价 DEA/AHP 法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003. (23), 19-84.
- [40] 樊小林. 某热电联产汽轮发电机组供热经济性分析[J]. 电力学报, 2004, (03)
- [41] 张汝生, 李惠先. 新型供暖方式与房地产[J]. 工业技术经济, 2004, (06).
- [42] 黄文, 管昌生. 城市集中供热研究现状及发展趋势[J]. 国外建材科技, 2004, (05)
- [43] 朱彩霞, 王红霞, 马富琴. 几种常用城市供热方式的技术经济分析[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2005, (04).
- [44] 周志廉. 关于我国城市集中供热发展的思考[J]. 经济丛刊, 2006, (1).

- [45] 杨玉军. 我国热电联产的发展趋势[J]. 中国能源, 2004, (10).
- [46] 李保群. 新疆医科大学集中供热系统节能改造项目技术经济研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [47] 李志芳. 住宅供暖方式综合性能比较研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
- [48] 安亚林, 施伟, 于晓敬. 不同供暖方式技术经济比较及发展方向[J]. 房材与应用, 2001, (03).
- [49] 康艳兵. 不同采暖方式的技术经济评价分析[J]. 中国能源, 2008, (01).
- [50] 王艳. 多种采暖方式的比较及其选择[J]. 科技情报开发与经济, 2003, (12).
- [51] 程斌, 付大君. 采暖方式评价与选择的研究[J]. 科技资讯, 2007, (17).
- [52] 庄茜. 数据包络分析法在港口综合评价中的应用研究[D]. 天津大学, 2006.
- [53] 赵荣. 基于 DEA 方法的区域主导产业决策分析[D]. 南京理工大学, 2006.
- [54] 田贯三, 郭非, 耿克成. 天然气锅炉采暖方式的比较分析[A]. 全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集[C], 2002.
- [55] 刘艳峰, 刘加平, 刘亚. 燃气热源供暖系统综合经济分析[A]. 全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集[C], 2002.
- [56] 董敬, 王桂斗, 王俭. 集中供热建设项目环境影响评价的清洁生产分析[J]. 黑龙江环境通报, 2005, (04).
- [57] 曾贤刚. 环境影响经济评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 7
- [58] 傅家骥, 全允恒. 工业技术经济学(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 3.
- [59] 张沈生, 傅卓林, 张兆弟. 住宅供暖设备的评价与选择[J]. 沈阳建筑大学学报(自然版), 2006. 4.
- [60] 孟萍. 关于集中供热系统热用户节能问题的探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2005, (24).
- [61] 卢军, 龚琪, 冯源, 高业峰. 集中供热的环境影响[J]. 煤气与热力, 2005, (05).
- [62] 柏晨, 安大伟, 姜承芝. 计量供热系统热源和热网的自动控制[J]. 煤气与热力, 2003, (11).
- [63] 董志国. 集中供热管网的监控系统[J]. 煤气与热力, 2005, (10).
- [64] 韦建忠. 大型集中供热锅炉房的规模效益[J]. 区域供热, 2005, (2).
- [65] 杨印生. 经济系统定量分析方法[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
- [66] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法研究[M]. 北京: 中国物价出版社, 2001
- [67] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986
- [68] 李宝山. 管理系统工程[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2004
- [69] 尹娟. 城市集中供热管网优化[D]. 河北工业大学, 2005.
- [70] 陈宏振. 徐州市集中供热的经济性比较研究[D]. 西安建筑科技大学, 2005.

- [71] 赵全胜. 洛阳市东区集中供热规划方案设计[D]. 西安建筑科技大学, 2005.
- [72] 丛颖. 长春市集中供热能耗与环境效益分析[D]. 吉林大学, 2006.
- [73] 李民. 邯郸市主城区集中供热规划研究[D]. 华北电力大学(河北), 2008.
- [74] 李先端. 热电联产集中供热如何有序发展[J]. 节能与环保, 2005, (01)
- [75] 于来福, 刘汉平. 热电联产企业为何这般难[J]. 电力需求侧管理, 2006, (01).
- [76] 师涌江, 刘丽莉. 城市集中供热优化规划模型研究[J]. 河北建筑工程学院学报, 2006, (02).
- [77] 董壮进, 廖荣平. 城市集中供热形式的探讨[J]. 煤气与热力, 2004, (07).
- [78] 田祥祥, 杨冰, 商红彬, 高广轶, 吴增福, 刘文超. 从经济效益和环保效益看供热锅炉的应用前景[A]第七届全国工业炉学术年会论文集[C], 2006.
- [79] 姜赫男, 党文辉. 采暖用天然气锅炉的分析与比较[A]中国土木工程学会燃气分会应用专业委员会 2007 年会论文集[C], 2007.
- [80] 常纓. 常见室内采暖供热形式能效比较[A]山东省暖通空调制冷 2007 年学术年会论文集[C], 2007.
- [81] 国家环境保护总局科技标准司. GB 13271-2001 锅炉大气污染物排放标准[S]. 国家质检总局(SBTS), 2001.
- [82] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [83] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
- [84] 傅家骧, 全允恒. 工业技术经济学[M]. 清华大学出版社 1996.
- [85] 黄渝祥. 费用—效益分析[M]. 同济大学出版社 1987.
- [86] 董福忠. 现代管理技术经济大辞典[M]. 中国经济出版社, 1995.
- [87] 孟萍. 关于集中供热系统热用户节能问题的探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2005, (24).
- [88] 陆慧琦, 孙毅. 集中供热与环境质量改善的探析[J]. 节能技术, 2000, (2).
- [89] 邢艳艳, 刘艳峰, 鱼亚丽, 刘加平. 拉萨市民用建筑采暖热源经济性分析[A]建筑环境与建筑节能研究进展——2007 全国建筑环境与建筑节能学术会议论文集[C], 2007.
- [90] 宗杰. 低温地板辐射采暖系统调节性能研究[D]. 天津大学, 2003.
- [91] 刘群. 低温辐射加热电缆的研制及应用环境下热场分析[D]. 哈尔滨理工大学, 2006.
- [92] 周兴红. 低温地板辐射采暖数值模拟及其性能分析[D]. 南京理工大学, 2004.
- [93] 李兆坚, 江亿, 雷毅. 对空调舒适性的伦理学思考[J]. 暖通空调, 2008, (05)
- [94] A. Myrick. Freeman 著. 曾贤刚译. 环境资源价值评估[M]. 中国人民大学出版社. 2002. 8.
- [95] 李安柱, 何思风, 张新记, 张永岐, 李波. 多热源并网供热的调度研究——宝鸡市

- 联网集中供热调节分析[J]. 暖通空调, 2008, (02).
- [96] 刘欢, 王飞. 集中供热的发展趋势——谈多热源联网供热技术[J]. 山西能源与节能, 2008, (04).
- [97] 寇群, 余宝法. 多热源环形热网的自动控制[J]. 区域供热, 2000, (03).
- [98] 赵鑫, 赵安平. 多热源区域供热系统的环网和调节[J]. 区域供热, 2003, (04).
- [99] 张琪欣. 浅谈多热源联网技术的优越性[J]. 科技情报开发与经济, 2003, (06).
- [100] 田贯三, 郭非, 耿克成. 天然气锅炉采暖方式的比较分析[A]全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集[C], 2002.
- [101] 宋凌, 刘翔, 张宇峰, 郭非, 朱颖心, 江亿. 对独立式燃气炉冬季运行情况的调查研究[A]全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集[C], 2002.
- [102] 刘艳峰, 刘加平, 刘亚. 燃气热源供暖系统综合经济分析[A]全国暖通空调制冷 2002 年学术年会论文集[C], 2002.
- [103] 王潇, 董重成, 赵先智. 低温热水地面辐射供暖系统调节的研究[A]全国暖通空调制冷 2006 年学术年会文集[C], 2006.
- [104] 王潇, 董重成, 赵先智. 低温热水地面辐射供暖系统调节的研究[A]全国暖通空调制冷 2006 年学术年会文集[C], 2006.
- [105] 黄东. 浅谈居住区供热方式的选择[J]. 城市开发, 2003, (01).
- [106] 毕永明, 刘宝贤, 许富昌. 关于分户供热和分户计量热量方法的探讨[J]. 发电设备, 2001, (03).
- [107] 徐忠堂. 发展中的中国城市集中供热[J]. 城市发展研究, 2000, (04).
- [108] 马长威. 分户采暖的明智选择燃气壁挂炉[J]. 中国建设信息供热制冷, 2002, (04).
- [109] 夏喜英, 王建华. 集中供热、燃气锅炉及电热供暖系统的经济分析[J]. 建筑热能通风空调, 2002, (03).
- [110] 刁乃仁, 黄鸿翔, 方肇洪. 地源热泵——建筑节能新技术[J]. 建设科技, 2002, (10).
- [111] 王志勇, 齐朝建. 城市集中供热管网施工改造[J]. 内蒙古电力技术, 2002(1).
- [112] 苏登超, 刁乃仁, 方肇洪. 热泵与建筑节能[J]. 能源技术, 2003, (1).
- [113] 周兴红. 低温地板辐射采暖数值模拟及其性能分析[D]南京理工大学, 2004.
- [114] 阎作祥, 马景梅. 北京地区多种供热方式研究[J]. 区域供热, 2003(3):14-30.
- [115] 张培红. 基于层次分析法的暖通空调设备管理模糊评价[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2005, 21(5)
- [116] 李钦, 杨印生, 刘心报. 集成 AHP / DEA 模型及其应用[A]计算机模拟与信息技术会议论文集[C], 2001.
- [117] 孙伟. 层次分析法应用研究[J]. 市场研究, 2008, (12).

- [118] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, (02)
- [119] 任仙姬. 层次分析法在数字参考咨询服务评价中的应用研究[J]. 情报科学, 2008, (12)
- [120] 庄茜. 数据包络分析法在港口综合评价中的应用研究[D]. 天津大学, 2006.
- [121] 赵莹. 基于 DEA 方法的区域主导产业决策分析[D]. 南京理工大学, 2006.
- [122] 林济铿, 蒋越梅, 岳顺民, 郑玉洪, 王海林, 时燕新, 顾强. 基于 DEA/AHP 模型的电力系统黑启动有效方案评估[J]. 电力系统自动化, 2007, (15).
- [123] 张宝友, 达庆利, 黄祖庆. 基于 AHP/DEA 模型的上市物流公司绩效评价[J]. 工业工程与管理, 2008, (06).
- [124] 晏华辉, 崔晋川. 基于 AHP 与 DEA 的多因素排序法[J]. 系统工程学报, 2004, (05).
- [125] 洪伟民, 刘晋. 基于 DEA/AH 法的供应链合作伙伴综合评价[J]. 商业研究, 2006, (21).
- [126] 张沈生, 孙晓兵, 傅卓林. 国外供暖方式现状与发展趋势[J]. 工业技术经济, 2006, (07).
- [127] 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法. 北京: 中国人民大学出版社, 1988.
- [128] 盛时翰等. DEA 理论、方法与应用. 北京: 科学出版社, 1996.
- [129] 李宗元等. 运筹学 ABC. 北京: 经济管理出版社, 2001.
- [130] 宋绎雄. 供热工程方案的技术经济评价[J]. 煤气与热力, 2002, (02)
- 宋扬. 合理确定热源形式提高热能利用效率[J]. 林业科技情报, 2005, (03)
- [131] 汤学忠. 热能转换与利用. 冶金工业出版社, 2004.
- [132] 张佑全. 采暖方式的多元化趋向及比较[J]. 节能, 2000, (12).
- [133] 刁乃仁, 黄鸿翔, 方肇洪. 地源热泵—建筑节能新技术[J]. 建设科技, 2002
- [134] 冯国会. 城市住宅建筑供热模式的分析[J]. 节能, 2002, 11.
- [135] 杨洪涛. 我国目前供热形式优劣浅谈[J]. 林业科技情报, 2004, 35 (02).
- [136] 李志芳. 住宅供暖方式综合性能比较研究[D]. 长安大学, 2006. 5.
- [137] 田晚霞. 供暖系统的选择与供热调节[J]. 煤气与热力, 2004, 24 (09).
- [138] 朱志国. 低温地板辐射的优点[J]. 中国建筑金属结构, 2004, 6.
- [139] 王宇航. 地源热泵的研究与应用[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23 (04).
- [140] 乌斌. 浅议新型供热方式及电热锅炉优缺点[J]. 宁夏电力, 2007, (03)
- [141] 王振铭. 我国热电联产的新发展[J]. 电力技术经济, 2007, (02).
- [142] 郭晓克, 康慧. 发展热电联产缓解能源压力[J]. 电力建设, 2007, (08).
- [143] 徐平旭, 付超, 顾鑫, 鹿娜. 热电联产的优越性及其技术改进[J]. 科技资讯, 2007, (22).

- [144] 周小谦. 中国电力改革和推进热电联产、分布式供电的发展[J]. 热电技术, 2006, (02).
- [145] 吴添祖, 冯勤, 欧阳仲健. 技术经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [146] 杨治金. 丹麦的集中供热[J]. 区域供热, 2006, (6).
- [147] 韦新东, 尹军, 全贞花. 日本集中供热(冷)系统的发展现状[J]. 吉林建筑工程学报, 2001, (1).
- [148] 姜永顺. 韩国的集中供热[J]. 区域供热, 1996, (3).
- [149] 郭义铭. 意大利的家庭供暖方式与思考[J]. 全球科技经济瞭望, 2000, 30(5).
- [150] 贺平, 孙尉. 供热工程(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [151] 魏兵, 李丽. 我国热网的现状及供热节能的对策[J]. 制冷与空调, 2008, (03).
- [152] 刘文贤. 谈谈国外的供暖方式[J]. 北京房地产, 2005, (12).
- [153] 鄢毅平. 从条件变化看我国浅层地能供暖的未来趋势[J]. 工程建设与设计, 2007, (05).
- [154] 杨桂春, 赵广庆, 王乐一. 浅谈供热系统的智能监测与科学管理[J]. 河北建筑工程学院学报, 2003, (03).
- [155] 国家环境保护总局监督管理公司. 中国环境影响评价[M]. 化学工业出版社, 2000.
- [156] 黄文, 管昌生. 城市集中供热研究现状及发展趋势[J]. 国外建材科技, 2004, (05).
- [157] 曾享麟, 蔡启林, 解晋生, 姚约翰, 吴玉环, 李先瑞, 翟国冬. 欧洲集中供热的发展[J]. 区域供热, 2002, (01).
- [158] 郑龙武. 保证城市集中供热系统质量的几个关键问题[J]. 黑龙江科技信息, 2004, (02).
- [159] 孟哲, 刘应宗, 金宇澄. 我国集中供热的现状与对策[J]. 华东交通大学学报, 2004, (03).
- [160] 贺平, 孙尉等. 供热工程[M]. 中国建筑工业出版社, 2001.
- [161] 章熙民, 任泽霖, 梅飞鸣, 工中等等. 传热学[M]. 中国建筑工业出版社, 1989.
- [162] 尹航. 基于地热水资源供热供冷系统能源利用率评价方法的研究[D]. 天津大学, 2006.
- [163] 尹娟. 城市集中供热管网优化[D]. 河北工业大学, 2005.
- [164] 陈宏振. 徐州市集中供热的经济性比较研究[D]. 西安建筑科技大学, 2005.
- [165] 赵全胜. 洛阳市东区集中供热规划方案设计[D]. 西安建筑科技大学, 2005.
- [166] 胡建平. 土壤源热泵系统设计方法[J]. 暖通空调, 2005, (02).
- [167] 罗清海, 汤广发, 龚光彩, 汤春芳. 建筑热水节能中的热泵技术[J]. 给水排水, 2004, (05).



- [168] 李悦. 土壤源热泵系统的设计[J]. 煤气与热力, 2007, (02).
- [169] 黄金保, 浦绍选. 太阳能热泵技术及其供热应用[J]. 中国建设动态(阳光能源), 2004, (06).
- [170] 单军勇, 刘效洲. 太阳能采暖的可行性分析[J]. 工业锅炉, 2003, (06).
- [171] Gagge A P.A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment [J]. ASHRAE Trans, 1986, 92(2):709-731.
- [172] McCullough F, Olesen B W. Thermal Insulation Provided by Chairs[J]. ASHRAE Trans, 1994, 100(1):795-802.
- [173] Jain S, Dhar P L. Evaluation of Solid-desiccant-based Evaporative Cooling Cycles for Typical Hot and Humid Climates[J]. Int. J. of Refrigeration, 1995, 17(5):287-296.
- [174] Waugaman D G, Kettleborough C F. A Review of Desiccant Cooling Systems [J]. J. of Energy Resources Technology, 1993, 115(3):1-8.
- [175] MacCluer CR. Analysis and simulation of out door reset control of radiant slab heating systems. ASHRAE Trans, 1990, 96, 96 (1) :1283~1286
- [176] Cho S.H, Zaheer-Uddin M. Predictive control of intermittently operated radiant floor heating systems[J]. Energy Conversion and Management. 2003, 44, 44 :1333~1342
- [177] Sung-Hwan Cho, Mohammed Zia-uddin. Temperature Regulation of Radiant Floor Heating Systems Using two-Parameter On-Off Control An Experimental Study[J]. ASHRAE Transactions, 1997, (15) :70~75 .
- [178] L F Schutrum, C M Humphreys. Heat Exchanges in a Floor Panel Heated Room[J]. ASHAE Transactions, 1999, (23) :44~49 .
- [179] J R Canoll. Natural Convection in Panel Heating [J]. Heating and Ventilating, 2003, (45) :43~48 .
- [180] Bioll Killis, and Muhammed etc. A simplified Model for the Design of Radiant in-slab Heating Panels[J]. ASHRAE Transactions, 1997, (15) :100~107 .
- [181] Peter Bean, Ray Jones. Safety Related Considerations for Resistance Heat Tracing Cables IEEE Paper [J]. PCIC, 1994, (8) :1~3 .
- [182] ASHRAE. 1992 ASHRAE handbook—Systems and Equipment[S]. 1992,
- [183] Haruo Hanibuchi, and Shuichi Hokoi. Basic Study of Radiative and Convective Heat Exchange in a Room With floor Heating[J]. ASHRAE Transactions, 1997, (15) :80~85 .
- [184] Maryl D Fretone, William M worek. Radiant Panel Perimeter Heating Options. Effectiveness and Thermal Comfort [J]. ASHRAE Transactions, 1997, (15) :92~98 .
- [185] T C Min, L F Schutrum, J D Vouris. Natural Convection and Radiation in a Panel-Heated Room [J]. ASHAE Transactions, 1999, (23) :56~60 .
- [186] Peter Simmonds. Practical Applications of Radiant Heating and Cooling to

- Maintain Comfort Conditions [J].ASHAE Transactions, 1999, (23) :60~65 .
- [187] Zhang Youping. Stable neural controller design for unknown nonlinear systems using back stepping [J].IEEE Transactions Neural Networks, 2000,70, 70 (3) :1347-1360 .
- [188] Feng G. An approach to adaptive control of fuzzy dynamics systems .IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002,10, 10 (2) :268-275 .
- [189] Polycarpou, Ioannou. Modeling identification and stable adaptive control of continuous-time nonlinear dynamical systems using neural networks [A] .Proceedings of the 1992 American Control Conference [C]. Boston: MA. 1992, :36-40 .
- [190] Kanellapoulos , Kokotovic P V, Morse A S. Adaptive output-feedback control of systems with output nonlinearities .IEEE Transactions on Automatic Control, 1992,37, 37 (11) :1666—1682 .
- [191] M.R.Azimi-Sadjadi,&R.J.Lion. Fast learning process of multilayer neural networks using recursive least squares method .IEEE Trans.on SP, 1992,Vol.40, Vol.40 (No.3) :446-450
- [192] Hanse J,Sastry S, Meyer G.Nonlinear control design for slightly non-minimum phase applications to V/STOL[J] .Aircraft Automatic, 1992,28, 28 (4) :665-679
- [193] M,T. Hagan, ,M,Meshaj. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm [J] .IEEE Transactions on Neural Networks, 1994,5, 5 (6) :295-301 .
- [194] Marino R, Tomei P. Global adaptive output-feedback control for a class nonlinear systems, Part II :linear parameterization .IEEE Transactions on Automatic Control, 1993,38, 38 (1) :33-48 .
- [195] KrsticM,KanellakopoulosI.Adaptiveoverparameterization .Systems&Control Letters, 1992,19, 19 (1) :177-185 .
- [196] Lin J S, Kanellakoyoulos I. Nonlinearities enhance parameter convergence in strict systems .IEEE Transactions on Automatic Control, 1999,44, 44 (1) :89-94 .
- [197] Isabelle Rivals, Leon Personnaz. Nonlinear internal model control using neural networks: application to processes with delay and design issues[J] .IEEE Transactions Neural Networks, 2000, (11) :80-89 .
- [198] Marino R, Tomei P. Global adaptive output-feedback control for a class nonlinear systems, Part I :linear parameterization .IEEE Transactions on Automatic Control, 1993,38, 38 (1) :17-27 .
- [199] Aloliwi B, Khalil H K. Adaptive output regulation of a class of nonlinear systems: convergence and robustness .IEEE Transactions on Automatic Control, 1997,42, 42(12) :1714-1716 .
- [200] Ortega R. On Morse's new adaptive controller: parameter convergence and transient performance .IEEE Transactions on Automatic Control, 1993,38, 38 (8) :1191-1202 .
- [201] Zhang Y, Ioannou P A, Chien C C. Parameter convergence of a adaptive controllers .IEEE Transactions on 1489-1493.

- [202] Lin J S, Kanellakopoulos I. Nonlinearities enhance parameter convergence in outputfeedback systems .IEEE Transactions on Automatic Control, 1998,43, 43 (2) :204-222 .
- [203] Lin W, Qian C. Adaptive control of nonlinearly parameterized systems: a nonsmooth feedback framework .IEEE Transactions on Automatic Control, 2002,47, 47 (5) :757-774
- [204] Wang Dazhi, Wang Zhenlei. Identification and control of induction motor using artificial neural network [A] .Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems [C]. Beijing:The International Academic Publishers of World Publishing Corporation, 2001, :751-754 .
- [205] Saleh Kh , Badr M. A. Analysis of PM SM control system using artificial neural network [A] .Proceedings of the Fifth International Conference on Electrical Machines and Systems [C]. Beijing: The International Academic Publishers of World Publishing Corporation, 2001.:791-795 .
- [206] Spooner. Stable direct adaptive control of a class of discrete-time nonlinear systems[A] .Proceedings of the 13th World Congress of IFAC[C]. San Francisco: CA. 1996.:343-348 .

## 附录

### 供热模式各项评价指标专家咨询问卷

尊敬的专家：您好！

我们正在研究供热模式评价方面的课题，目前正在对城市供热评价指标进行设计，需要在您的协助下完成，希望您能对供热指标进行打分，以此能够得出合理的评价指标分值，对供热模式做出准确的评价。您的打分将给我们带来很大的帮助。我们将非常重视您给予的打分评价，谢谢您！

您所要评价的指标及其具体含义如下：

**占用空间情况：**

主要指供热设备占用的建筑空间，以及管网，锅炉房和用户终端散热系统本身所占用的空间情况。占用空间小为好。其取值越小越好。

**收费纠纷率：**

因供热模式不同，导致收费方式不同而产生收费纠纷的发生频率。如集中或分户的供热形式，其热费的收缴难易程度和收费纠纷产生的情况差别较大。其取值越小越好。

**安全程度：**

是指各种供热模式在自身使用中存在安全隐患的相对概率，以及因各种供热模式发生故障引起的停供热，人身安全隐患等安全因素的程度。如供热管线爆裂、漏水、燃气泄露，热源故障造成大面积停热等等。

**舒适保健性：**

舒适保健性是指由所采用的供热模式所提供的热环境使得人体感觉舒适的程度，以及对人体保健的作用的特性。

**温度可调性：**

温度可调性是指所采用的供热模式可满足人们的需要具有能够调节室内采暖温度的功能。

**时间可调性：**

时间可调性是指供热模式在供热时间上的灵活程度，不受固定供热时间限制的特性。

**维修便捷程度：**

维修便捷程度主要指的是针对各种供热模式中的热源，供热管网和散热器发生

故障后维修方便的难易程度。

**评分方法：**

在设计分值范围时，考虑到参评的每种供热方案的存在必然有其合理之处，也是经过时间的考验和用户认可的，即使存在多种不足，但它还是可以被认为是中等水平的，因此我们将分值的底线设为 70 分，上线没有特殊规定，采用常用数值 100 作为分值的上线。由此确定出打分区间为（70~100 分），在此基础上将打分区间划分为很好、好和中三级。

即：很好（90~100 分），好（80~89 分），中（70~79 分）

您在评定时可初步确定对某个指标的等级（很好、好、中），然后在所属的区间范围内进行评分。请将您将评好的分值填入下表：

供热模式 指 标	热电联产	区域燃煤锅炉	家用小型 燃气热水 炉	电热膜	蓄热式 电暖气	电动空 气源热 泵	电动水 源热泵	区域燃 气锅炉
占用空间情况								
收费纠纷率								
安全程度								
舒适保健性								
温度可调节性								
时间可调节性								
维修便捷程度								

再一次对您的帮助向您表示衷心的感谢，谢谢您在百忙之中填写这份问卷！

## 供热模式综合效益评价专家咨询问卷

尊敬的专家：您好！

我们目前正在研究有关供热模式评价方面的课题，需要您的协助完成，希望您能对下面表格中供热模式准则两两之间的相对值进行打分，以此能够对供热模式的综合效益做出准确的评价。您的打分将给我们带来很大的帮助。我们将非常重视您给予的打分评价，谢谢您！

您所需要评价的准则层和子准则层指标如下：

### 1、准则层和子准则层指标的定义

#### (1) 经济效益指标

经济效益指标具体有：初始投资费用；运行费用；大型修理费用；使用寿命。

①初始投资费。具体包括能源建设费等一次性征收的费用，锅炉房土建工程费，锅炉及其辅助设备费，锅炉的安装及调试费，热力管网的材料费及施工费，室内采暖系统的材料费及施工费。对于间接连接的供热系统，还包括二次供销管网和换热站等费用。

②运行费用。包括使用各种供热模式的燃料费，水费，电费，人工费，折旧费，维修费，管理费。

③大修理费用。是指在供暖模式运行过程中发生大的故障而产生的维修费。

④使用寿命。是指各种供热设备的使用年限。

#### (2) 生态效益指标

生态效益指标具体包括：有害气体和粉尘的排放量；单位面积能耗；能效的比较。

①有害气体和粉尘的排放量包括在运行过程中产生的烟尘， $SO_2$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $NO_x$ 。

②单位面积能耗是指供热系统通过能量的转换、输送和分配，最终补偿冬季建筑散热，其能源消耗主要由燃料转换、热量输送和分配过程的损失以及建筑散热构成。

③ 热效率指的是在供热模式中能量转换系统或设备，在进行转换过程中，被利用或收益的焓 $E_{xg}$ 与支付或耗费的焓 $E_{xp}$ 之比，用 $\eta_e$ 表示。即 $\eta_e = E_{xg}/E_{xp}$  热效率越接近1，表示设备或系统的热力学完善程度越好。

#### (3) 社会效益指标

社会效益指标具体包括：收费纠纷率，安全程度。

①收费纠纷率。由于不同的供热模式对应的收费办法是不相同的，例如集中供热和分户供热。其热费的收缴难易程度和收费纠纷产生的情况差别较大。具体是指导致收费方式不同而产生收费纠纷的发生频率。

②安全程度。是指各种供热模式在自身使用中存在安全隐患的相对概率，以及因

各种供热模式发生故障引起的停供热，人身安全隐患等安全因素的程度。如供热管线爆裂、漏水、燃气泄露，热源故障造成大面积停热等等。

(4) 人文效益指标

人文效益指标具体包括：舒适保健性；温度可调节性；时间可调节性；占用空间情况；维修便捷程度。

①舒适保健性。是指由所采用的供热模式所提供的热环境使得人体感觉舒适的程度，以及对人体保健的作用的特性。

②温度可调性。是指所采用的供热模式可满足人们的需要具有能够随意调节供热温度的功能。

③时间可调性。是指所采用的供热模式应具有能够根据具体气候冷暖的变化，调节其供热时间的功能。具体是指供热模式在供热时间上的灵活程度，不受固定供热时间限制的特性。

④占用空间情况主要指供热设备占用的建筑空间，以及管网，锅炉房和用户终端散热系统本身所占用的空间情况。占用空间小为好。

⑤维修便捷程度主要指的是针对各种供热模式中的热源，供热管网和散热装置发生故障后的维修方便的难易程度。

表 1 供暖模式评价体系

目标层	准则层	子准则层	方案层
供暖模式 A	经济效益 B <sub>1</sub>	初始投资费用 b <sub>11</sub>	热电联产 区域燃煤锅炉 家用小型燃气热水炉 电热膜 蓄热式电暖气 电动空气源热泵 电动水源热泵 区域燃气锅炉
		运行费用 b <sub>12</sub>	
		大修理费用 b <sub>13</sub>	
		使用寿命 b <sub>14</sub>	
	生态效益 B <sub>2</sub>	有害气体和粉尘的排放量 b <sub>21</sub>	
		单位面积能耗 b <sub>22</sub>	
		烟效率 b <sub>23</sub>	
	社会效益 B <sub>3</sub>	收费纠纷率 b <sub>31</sub>	
		安全程度 b <sub>32</sub>	
	人文效益 B <sub>4</sub>	舒适保健性 b <sub>41</sub>	
		温度可调节性 b <sub>42</sub>	
		时间可调节性 b <sub>43</sub>	
		占用空间情况 b <sub>44</sub>	
		维修便捷程度 b <sub>45</sub>	

2、标度含义介绍

请您参照下表（表 2）的标度含义给出下面表格中供暖模式准则两两之间的相对值。

表2 标度的含义

1	表示两个元素相比, 具有同样重要性
3	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素稍微重要
5	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比, 一个元素比另一个元素极端重要

2, 4, 6, 8 为上述相似判断的中值

### 3、示例

表3 供暖模式中准则层相对比较矩阵

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
B <sub>1</sub>	1	3	3	5
B <sub>2</sub>	1/3	1	1	
B <sub>3</sub>	1/3	1	1	1
B <sub>4</sub>	1/5		1	1

上表(表3)中  $B_{12}=3$  则表示  $B_1$  比  $B_2$  稍微重要,  $B_{13}=3$  则表示  $B_1$  比  $B_3$  稍微重要,  $B_{14}=5$  则表示  $B_1$  比  $B_4$  明显重要,  $B_{23}=1$  则表示  $B_2$  和  $B_3$  一样重要,  $B_3=1$  则表示  $B_3$  和  $B_4$  一样重要。  $B_{ij}=1/B_{ji}$ , 比如  $B_{12}=3$ , 则  $B_{21}=1/3$ 。

### 4、问题

请您利用您对供暖问题的研究经验以及参照表中标度含义填写下面的表格(表4~表8):

表4 供暖模式中准则层相对比较矩阵

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
B <sub>1</sub>	1			
B <sub>2</sub>		1		
B <sub>3</sub>			1	
B <sub>4</sub>				1

表5 经济效益中子准则层相对比较矩阵

B <sub>1</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>14</sub>
b <sub>11</sub>	1			
b <sub>12</sub>		1		
b <sub>13</sub>			1	
b <sub>14</sub>				1



表 6 生态效益中子准则层相对比较矩阵

B2	b21	b22	b23
b21	1		
b22		1	
b23			1

表 7 社会效益中子准则层相对比较矩阵

B3	b31	b32
b31	1	
b32		1

表 8 人文效益中子准则层相对比较矩阵

B4	b41	b42	b43	b44	b45
b41	1				
b42		1			
b43			1		
b44				1	
b45					1

再一次向您表示衷心的感谢，谢谢您在百忙之中填写这份问卷！

## 攻读博士学位期间取得的主要研究成果

### 一、发表的论文

1. 项目投资与融资决策的理论方法与模型 (沈阳建筑大学学报, 自然版 2004. 4)
2. 新型供暖与房地产 (工业技术经济 2004. 6)
3. 住宅供暖设备的评价与选择 (沈阳建筑大学学报 (自然版) 2006. 4), EI 检索
4. 国外供暖方式现状与发展趋势 (工业技术经济, 2006. 7)
5. 基于互换论的沈阳地铁设施效能增加值研究 (沈阳建筑大学学报 (自然版) 2007. 3), EI 检索
6. 基于模糊评价的小城镇供暖设备选择 (沈阳建筑大学学报 (自然版) 2008. 5), EI 检索
7. 房地产产品售后服务解析 (工业技术经济, 2009. 1)
8. 辽宁省房地产产品售后服务的现状与对策 (沈阳建筑大学学报, 社科版 2009. 1)

### 二、著作、教材

1. 《小城镇管理与政策法规》, 中国建筑工业出版社, ISBN7-112-06633-6, 2004. 8
2. 《房地产物业管理》(第三版), 大连理工大学出版社, ISBN7-5611-1434-6, 2005. 2
3. 《中国房地产辞典》中国建筑工业出版社, ISBN7-7-112-05656-X, 2003. 4
4. 《房地产开发经营辞典》, 辽宁科学技术出版社, ISBN7-5381-1997-8, 2005. 11
5. 《房地产开发与管理》, 大连理工大学出版社, ISBN7-5611-3101-1, 2006. 8
6. 《工程经济学》中国建筑工业出版社, ISBN978-7-112-08905-5, 2007. 7
7. 《房地产市场营销》, 大连理工大学出版社, ISBN978-7-5611-4606-4, 2009. 1
8. 《房地产物业管理》(第四版), 大连理工大学出版社, ISBN978-7-5611-1434-6, 2009. 1

### 三、主持和参与的课题

1. 沈阳市住宅供暖方式与环境优化研究, 沈阳市科技局(1033069 5 01), (1)2003. 10-2004. 10
2. 建筑业中介组织管理研究, 国家自然科学基金委(70341036), (3) 2003. 9-2004. 9
3. 我国小城镇供暖方式技术经济研究, 建设部(04-2-078), (1) 2004. 5-2005. 5
4. 小城镇住宅建设技术政策研究, 国家科技部, (3)2004. 2-2005. 6
5. 房地产业与相关产业关联度及带动效应研究, 辽宁省教育厅[05w186], (1) 2006. 1-2006. 12

6. 房地产项目全过程质量管理研究, 建设部(06-R5-7), (1)2006. 1-2006. 12
7. 辽宁省建筑节能技术规划与政策研究, 辽宁省建设厅辽建[2005]167号  
(4)2005. 06. 1-12. 25
8. 节能减排政策体系研究, 辽宁省科学技术厅(2008401009), (1)200812-2010. 11.
9. 住宅配套设施综合评价及其节能政策研究, 建设部(2008-r5-17), (1)  
2008. 4-2009. 3
10. 沈阳市既有建筑节能改造政策研究, 沈阳市科技局(1071225-5-00), (2)2008. 1

获取更多资料 微

索蓝领星球

## 致 谢

在论文完成之际，我心绪难平。以我这个年龄在有着诸多经历后又能回到学校学习，现在想起来好像是在做梦一样。顺利地完成学业，完成博士论文是我心中的一个梦，在这梦想即将实现之际，有着千言万语要表达：

我要衷心感谢我的导师李辉教授，在我攻读博士学位期间，无论是从师生的角度还是兄弟的情义，李老师都给予了各方面的关心和帮助，包括学习、生活、家庭，……。尤其是在论文研究过程中，帮助我把握研究重点和方向，论文撰写期间在各方面给予我具体指导，即使在他身体有病期间也一如既往。我的博士论文倾注了李老师在学术研究上的严谨和孜孜不倦的治学精神，他在做人、做事、做学问方面的言传身教，使我终生受益，我将铭记心中。

在学习和撰写学位论文的过程中，得到了吉林大学管理学院的蔡莉教授、许正良教授、马飞教授、毕新华教授、刘国亮教授、李春好教授、李全再教授、李建华教授、赵树宽教授、张向先教授、马克立教授、杨印生教授、马长玉教授等老师的关心、支持和帮助，在此向他们表示衷心地感谢！

感谢吉林大学管理学院的周志强、耿爱静、吕昆、王雷等老师在我攻读博士学位期间给予的关心和帮助！

感谢张旭明、李惠先、张玲、李桐、周仲宽、李淑芬、吕津、王利政、王禹杰、温池洪、赵洋等师弟、师妹们和同学们的帮助，感谢他们的鼓励和支持，与他们在一起使我增添了活力。

感谢孙文斌、高峰、张炯、高贵富等同学在我博士报考与学习期间给予的多方面鼓励、关心和帮助！

感谢支持我学习的沈阳建筑大学及其管理学院的领导和同事们给予的支持和帮助！同时也感谢沈阳建筑大学的杨翠翠、张雪娇、王小云和高鸣对我的帮助。

感谢李景芳、徐捷、杨兆宇、商宇、张强等同学和朋友们，感谢他们给予的鼓励、帮助和支持！

感谢沈阳市供热管理办公室的李亚兵和沈阳市建委的魏欣对论文写作过程所提供的帮助。

在考博和读博期间，我的父母和岳母给予我很多关爱和支持，谢谢他们，同时也祝他们健康、幸福、长寿！在这期间，我的爱人为了我能安心学习、专心撰写论文，承担了家庭的所有事情，在此，向她道一声：辛苦了！在我学习期间，由于身处异地而减少了对儿子学习的关心和照顾，为此时常到内疚。感谢儿子从另一角度给予爸爸的支持和帮助！感谢我的家庭每一个成员的支持与关爱、祝福和祈祷。

感谢所有关心和帮助我的人，我将用我的所学来努力地回报他们。

## 摘要

## 城市供热模式评价理论方法及应用研究

供热系统作为城市基础设施，涉及到社会的方方面面，其发展水平的快慢、质量的好坏，将对民生、社会稳定、节约能源等一系列问题产生重大的影响。近几年来，各个国家对城市供热问题越来越关注，对城市供热问题的研究也越发得到重视，包括对城市供热系统的评价。然而，对城市供热系统评价的研究存在很多问题。特别是城市供热系统的评价理论和方法还有许多需要发展完善之处，如何从经济、社会、环境、资源等全方位的视角开展对城市供热的评价，从理论方法上进一步加以深入研究，是我们面临的主要问题之一。这主要是因为：

我国能源供需矛盾突出，已经成为可持续发展的瓶颈。能源与环境问题是当今世界各国面临的重大社会问题。能源是现代社会的物质基础，随着人口和经济的迅速增长，能源的消耗也在急剧增加，加之可利用的能源有限，供需矛盾日益加剧，这极大地限制了经济社会的可持续发展。

建筑能耗比重过大，节能工作已刻不容缓。我国目前不仅建筑耗能总量大，而且建筑用能效率低。认真贯彻落实科学发展观和可持续发展战略，坚持“资源开发与节约并重，把节约放在首位，提高资源利用率”的方针，实现建筑节能工作实施跨越式发展，已是一项刻不容缓的工作。

供热模式面临多种选择。由于城市环境保护的压力越来越高，城市能源结构正在进行调整，经济体制改革的深化迫切要求改革旧的供热体制，同时城市供热技术发展迅速，多种供热模式的相继出现，使我们面临选择的困难。

城市供热经济评价是城市供热事业发展和建筑节能的重要组成部分，对城市供热如何从经济和社会角度进行评价，特别是对供热模式的评价和选择，涉及到政府和开发商的决策，消费者的选择等诸多问题，其关系到节约资金，节省能源，满足客户需求，促进城市和谐与可持续发展的问题。

目前对城市供热从经济和社会角度进行评价的方法很多，评价目的也不尽相同，有简单的，有复杂的，既有单一目标的也有多目标的；有单因素的也有多因素的，因此有必要从理论上加以系统地分析和界定，理清思路，为该方面的决策提供理论和实践依据。

城市供热评价理论和方法亟需完善。评价的思想在城市供热系统评价中已经得到一定的应用，但需要适应供热技术和社会经济的快速发展，从新的视角审视目前的评价理论和方法。

基于以上理论和现实的背景提出了本文的研究思路。本文以城市供热评价理论和方法为研究主题,通过对城市供热评价体系的构成,评价方法的影响因素,评价指标体系的建立以及城市供热模式的发展趋势的系统研究,揭示城市供热评价方法的本质和特性,发现一般性的规律,提出城市供热模式的发展机理,为指导城市供热系统评价实践,引导城市供热技术的发展方向,供热体制的进一步改革,促进供热事业的可持续发展,提供具有理论和实际意义的指导。根据本文的研究目的和研究思路,本文的研究内容共分为八章,各章的主要内容如下:

第一章,从能源供需、建筑能耗与节能、城市供热技术发展,城市供热系统评价理论和方法现状的角度提出研究的问题,并阐明了本文的研究目的、研究内容、研究方法以及研究技术路线。

第二章,理论文献探讨与综述。针对研究问题,采用二手资料分析、对比分析、逻辑推理等方法,探索了城市供热评价理论方法的来源,阐释了不同视角的评价理论,通过对相关文献研究的回顾和梳理,进一步阐释了城市供热系统评价的理论基础。对国内外城市供热系统的经济评价、社会评价理论进行了辨析。分析了城市供热评价理论与方法的研究现状以及进展状况,指出了供热评价理论与方法存在的问题,即:①评价方法的求新、复杂化倾向越来越严重;②在实际的应用中,指标体系的选取存在不科学的地方,缺乏理论指导;③理论研究与实际应用之间存在一定的差距;④未能建立较为全面、系统的社会评价指标体系,社会效益指标涵盖范围少;⑤权重的确定缺乏科学的依据;⑥忽视评价的定性分析。

第三章,国内外城市供热现状分析。分别对我国集中供热的供热热源、供热能耗现状、供热计量技术、典型试点城市供热计量收费现状进行了分析。我国目前供热模式以集中供热为主,多种供热模式并存。同时分析了国外供热发展现状。

认为我国城市供热系统存在的主要问题是:采暖能耗巨大,供热效率低;供热质量差、冷热不均、热能浪费严重;缺乏控制手段,室内热环境差;供热方案的选择缺乏依据等。在供热机制方面存在供热福利体制问题,同时也存在热价制定办法没有按照市场经济规律制定,现行的供热体制不健全等问题。在供热计量及收费方法方面存在的主要问题是:只计量未收费,供热计量工作核心问题未解决;供热计量方法的标准规范不完善;缺乏科学统一的计价方式和热用户对计量工作的认知水平不高等。

第四章,城市供热模式分析与选择。在解析城市供热模式的构成要素基础上,对城市供热模式进行了系统阐述和进一步地研究。将供热模式分为城市集中供热、区域集中供热和分户供热三个类型。并对三种类型供热模式的特点进行了比较分析,在此基础上,从环境效益、经济效益、社会效益、供热质量、能耗和热损失等全方位的视野,对集中供热与分散供热进行了定性比较分析与选择。

运用探索性文献分析、思辨性归纳、理论移植等方法,分析了制约我国城市多热源联网供热的主要因素,阐述了城市联网供热的必要性和多热源联网供热的优点及存在问题。

在分析我国热源及热网现状基础上,本文首次提出了源网分开的供热模式,界定了源网分开供热模式的含义和源网分开供热模式建立的前提。阐述了源网分开供热模式的意义,认为源网分开是城市集中供热发展的必然趋势。源网分开是在多热源联网供热的基础上建立起来的一套完整的供热体系,体系主体由热源厂、热网公司、热源服务公司及热用户构成。源网分开供热模式要求将热源与热网分开,其目的是更最大限度地保证供热系统安全,满足用户的用热需求,保证更高的用热可靠性,打破垄断、促进行业公平竞争,建立适应市场竞争要求的热价形成机制。构建了城市供热源网分开的供热体系与管理模式。站在市场经济的角度,提出源网分开管理模式的构想,即在热力市场中采用“三级市场”模式,具体为热源交易市场、输热市场、热产品销售市场。

第五章,探讨城市供热系统评价理论方法,构建城市供热评价体系。从技术、经济和社会等方面对评价理论和方法加以论述,构建了基于各个视角的评价体系。

全面地解析城市供热技术评价、经济评价和社会评价的内涵、评价指标的构成,评价方法的类别等。认为对城市供热的评价应从系统的角度进行。供热是个系统工程,结合城市供热系统的特点,可以把城市供热评价系统分为技术评价体系、经济评价体系、社会评价体系、环境评价体系等,即运用技术、经济、社会评价的理论与方法对城市供热系统内部体系及其对外部环境的影响进行综合性评价,进而构成城市供热系统综合评价理论体系。

第六章,城市供热模式评价。分别采用 AHP、DEA 交叉法和 DEA/AHP 评价方法,对城市供热模式进行了定量分析。按照从个别到一般的研究思路,对典型的评价方法从原理方面进行比较,抽象概括出评价方法的本质,对评价结论加以分析,发现一般性的规律。

以评价指标体系建立的原则为指导,将影响供热模式的众多因素分为经济效益、社会效益、生态效益和人文环境效益四大类,选取初始投资费用,运行费用,有害气体和粉尘的排放量,单位面积能耗,收费纠纷率,热效率,安全程度,舒适保健性,温度和时间可调节性等 14 种因素作为具体准则指标。建立了供热模式评价指标体系。采用样本企业的实测统计和计算方法以及专家打分的方法获取数据。利用三种评价方法对供热模式评价的结果虽不完全相同,但结果从体现未来发展趋势和所在区间上来说说是基本上一致的。即,无论利用哪种评价方法热电联产、家用小型燃气热水炉、电动水源热泵几乎都是排在前三位,有较好的发展趋势,并且与实际情况相吻合。所以说,AHP、DEA、DEA/AHP 这三种评价方法对于供热模式的评价是准确的和科学的,对于供热模式评价来说是适合的。

通过对三种评价方法的比较分析以及对供热模式评价的结果分析得到以下结论：①并没有一种十全十美的评价方法，采用多种方法进行评价，其评价结果的可信性就可大大提高；②利用 DEA/AHP 进行供热模式评价，是一次创新性地将 DEA 法与 AHP 结合应用到供热模式评价中。虽然说此次评价得到了满意的结果，但仍然不能说此种组合方法就是供热模式评价的最好方法；③评价结果并不具有数学意义上的精确性，评价方法虽是一种定量研究的方法，但不可忽视与定性分析的结合，这一点很重要；④就供热评价方法而言，评价方法并不是越复杂越好，适合的评价方法就是最好的。

第七章，沈阳市供热评价与供热模式选择。分析了沈阳市供热现状，指出沈阳市供热存在的问题，对沈阳市 6 种主要供热模式，运用 DEA/AHP 法进行了分析和评价。同时对沈阳市地源热泵供热模式进行了综合评价，包括地源热泵系统节约燃煤能耗的比较，地源热泵系统与其它供热（制冷）模式比较，从投资估算、经济效益、社会效益、环境效益方面对地源热泵供热模式的综合效益进行了分析。

认为沈阳市应按照计算结果所指引的方向，鼓励和优先发展热电联产和地源热泵供热模式。同时因地制宜，根据客观条件，应用供热综合效益较好的其他供热模式。就沈阳市城市供热的发展提出降低供热耗能；以集中供热为主导，因地制宜采用多种供热模式；实施分户计量，按照两部制热价收费等具体的对策建议。在条件适宜的情况下，实施源网分开，可在新建市区中进行试点，然后推广。

第八章，研究结论与展望。对上述的研究结论进行了归纳整合，探讨了本文的研究结论，指出了研究存在的不足及今后的研究方向，并整理出本研究提出的新见解和创新性研究成果：

- 1) 确定了集中供热与分散供热模式的选择思路；
  - 2) 提出了源网分开供热模式的含义，阐述了在发展集中供热的基础上，源网分开是城市集中供热发展的必然趋势的观点。搭建了城市供热源网分开的供热体系框架，并提出了源网分开管理模式及其在热力市场中采用“一级市场”模式的构想。
  - 3) 构建了包括技术、经济、社会及环境评价体系在内的城市供热综合评价体系；
  - 4) 首次将 DEA 交叉评价法和 DEA/AHP 评价方法应用于供热模式的评价之中，认为这两种方法对于供热模式评价是适合的；
  - 5) 阐述了城市供热评价方法新的观点和结论；
  - 6) 对沈阳市积极开展的地源热泵供热提出了新的观点和见解。
- 因此，本文的研究具有重要的理论意义和现实参考价值。

关键词：

城市供热，理论方法，评价，源网分开，DEA 交叉评价方法，DEA/AHP 评价方法



## ABSTRACT

### Study on urban heating-supply model assessment theory, method and its application

As city infrastructure, heating system covers all aspects of society. Its level of development speed and good or bad quality will have a significant impact on the people's livelihood, social stability, energy conservation and other issues. Recently, every country has become increasingly concerned about the issue of city heating and the research of it. The attentions also include the appraisal of city heating systems. However, there are many problems in researching the appraisal of city heating system. Particularly, the theories and methods about appraisal of city heating systems needs to develop and improve. One of the most important problems is how can we appraise the city heating from all aspects of economics, social, environments, resources and the further in-depth research from theoretical approaches. The main reasons are as follows:

The obvious contradiction between energy supply and demand in China has become the bottleneck of sustainable development. Recently, energy and environmental issues become the major social problem which faced the world. Energy is material basis of the modern society and life. With the rapid growth of population and economic the consumption of energy has also increased dramatically. Coupled with the limited availability of energy, the growing imbalance between supply and demand, which significantly limits the sustainable development of economic and social.

The proportion of building energy consumption is too large and the conservation of energy must be implemented immediately. The current situations of China is not only the large total building energy consumption but also the low energy efficiency of construction. Implementing the concept of scientific development and the strategy of sustainable development and holding on the policy of "equal resource development and saving, taking savings in the first place, raising the utilization rate of resources", which achieves to make the implementation of building energy-saving having a leap-forward development. All above have become urgent tasks.

A wide range of choices are facing the heating mode. As the pressure of environmental protection that the city faced is getting more and more tremendous, the structure of city energy is being adjusting. The reform of economic system needs reforming the old heating system urgently. At the same time, the rapid development of city heating technology and the emerging of various heating modes make we face the difficult of choices.

Economic appraisal of city heating is an important component of the city heating's development and energy-saving of construction. How to appraise city heating from the

perspective of economic and social, particular the appraisal and selection of heating modes which Concerns many issues like decision-making of government and the developers, the choices of consumer and so on. That is also related to money-saving, energy-saving, meeting customer need and promoting development of city in harmony and sustainable.

Currently, there are many methods of appraising city heating from economic and social point of view. The purposes of appraisal are different. There are simple method or complex method. No only exist single-objective methods but also multi-objective methods. There are single-factor methods or multi-factor methods. So, there is a need to analysis and define the methods in theory. We must make our thinking clear and provide basis of theories and practices for the decision-making.

It needs to improve the theory and method of city heating appraisal urgently. The ideas of appraisal have been applicated in the appraisal of city heating system. But it needs adapt to the rapid development of heating technology and socio-economic. We must examine current theories and methods of appraisal from a new perspective.

We raise the idea of this text basing on the theoretical and practical background above. This paper takes the theories and methods of city heating appraisal as its theme. It not only reveals the nature and characteristics of city heating appraisal but also discovers general laws. All above are through the composing of city heating appraisal system, the factors affecting the methods of appraisal, the establishment of appraisal index system, as well as researching on the development trends of city heating modes. It proposes development mechanism of city heating modes and provides guidance with theoretical and practical significance for guiding the practice of city heating appraisal, guiding the the direction of developing about city heating technology, further reforming of heating system and promoting heating sustainable developing. According to the purposes and ideas of this paper's, its research contents eight chapters, the main contents in each chapter are as follows:

In the first chapter, it raises the issues we study from such point of views of the supply and demand of energy, energy consumption and saving of buildings, development of the city heating technology and present situations of the city heating system. This chapter aims to analyze the purposes, contents, methods and the technical route of the research.

In the second chapter, it raises the theoretical literature review and synthesis. Aiming at researching questions, it not only explores the sources of city heating appraisal theories and methods but also explains appraisal theories from different perspectives. Both are through using secondary data analysis, comparative analysis, logical reasoning and other methods. Through the reviewing and carding of related literatures, it further explains the theoretical basis of appraisal about city heating system. It analyzes the theories of economic appraisal and social appraisal about city heating systems at home and abroad. This chapter also analyzes the current situations and progressing of city heating appraisal theories and methods, and points out the problems concerning the appraisal

theories and methods of city heating appraisal.①The tendency of new and complex appraisal methods is becoming more and more serious;②In practical applications, the selecting of indicators is not scientific and lacks of theoretical guidance;③There exists a gap between theoretical research and practical application;④It is failure to establish a more comprehensive and systematic social appraisal system, the coverage of social indicators is small;⑤The determining of weights lacks of scientific basis;⑥The qualitative analysis of appraisal is ignored.

In the third chapter, it analyzes the present situations of the city heating at home and abroad. It analyzes the situation about heating sources of district heating, energy consumption of heating, technology of heating metering and charging and heating metering and charging in typical cities.

The main problems that city heating system exist in our country are as follows: The energy consumption of heating is huge and the efficient of heating is low; The quality of heating is poor, sometime is hot and sometime is cold. There is a serious waste of energy; The means of control is lack and indoor thermal environment is poor, choosing heating programs is lack of basis. The problems heating mechanisms exist are given out: The welfare of heating has problems;The methods of drafting heating price are not in accordance with the rules of market economy; The current heating system is not perfect. The main problems that heating metering and charging exist are as follows: The heating metering is carried out, but the charging is not. The core issues of heating metering are unresolved; The standards of heating metering are imperfect; The pricing is not uniform and science; The users' cognitive level of heating metering is low.

In the fourth chapter, it analyzes the city heating modes and how to choose one. It makes a further study on city heating modes basing on analysis of constituent elements of city heating modes. This chapter divides the heating modes into three categories: district heating, dispersing heating, household-heating. It analyzes the characteristics of the three heating modes. At the same time, it analyzes district heating and dispersing heating qualitatively from point of views environmental benefits, economic benefits, social benefits, heating quality, energy consumption, heat loss and so on.

The main factors which restrict the development of city multi-heat sources networks in our country have been analyzed which are through the methods of exploratory analyzing of literatures, speculative summarizing and theory transplantation. It expounds the necessity of networks-heating in city. The advantages and issues of multi-heat sources networks are both pointed out.

Basing on the analyzing of the heating sources and nets in our country, the "Sources Parted from Networks" heating mode has been raised for the first time. It defines the meaning and prerequisite for the establishment of "Sources Parted from Networks" heating mode. It elaborates the significance of "Sources Parted from Networks" heating mode. This paper holds the idea that "Sources Parted from Networks" is an inevitable

trend of district heating. "Sources Parted from Networks" is a complete set of heating system which is based on multi-heat sources networks. This system is companied by heating source, heating net, heating Source Services and users. "Sources Parted from Networks" heating mode needs departing the heating sources from heating net. The purposes are as follows: ensuring the safety of heating system, meeting the needs of users, ensuring the a higher reliability of heating, breaking up monopolies and promoting fair competition in the industry, building the formation mechanism of price which meets the requirements of competition in the market. The "Sources Parted from Networks" heating mode has been raised. It also raises the heating system of "Sources Parted from Networks". It conceives the management mode of "Sources Parted from Networks" from the perspective of market economy. That is using "three-tier market" model in the heating market: heating exchanging market, heating supplying market, heating products market.

In the fifth chapter, it investigates the theory and methods of city heating system appraisal. The city heating appraisal system is also constructed. It researches appraisal theories and methods from the aspects such as technical, economical and social. A appraisal system is constructed from various perspectives.

The content and the composition of appraisal index system about technology, society and economic appraisal and the sorts of appraisal methods have been analyzed comprehensively. The opinions of this chapter are as follows: The city heating system appraisal should be carried out from every perspective; Heating is a systematic engineering; Combining the characteristics of city heating systems, we can divided city heating appraisal system into technical appraisal system, economic appraisal system, social appraisal system and environmental appraisal system; That is building a comprehensive and theoretical appraisal system of city heating system though appraising city heating system and its affects on external environment, which is using theories and methods of technical, economic, social appraisal.

In the sixth chapter, it analyzes the appraisal of city heating modes. It makes quantitative analysis of the city heating modes with the appraisal methods of AHP, crossed-DEA, and DEA / AHP. It compares typical appraisal methods from theory; the comparison is in accordance with the idea of individual to general. It summarizes the essence of the appraisal methods with the purpose of finding out general rule.

Taking the principle of establishing appraisal index system as guidance, it divides the factors impacting on heating modes into four main categories: economic benefits, social benefits, ecological benefits, environmental and humanities benefits. There are 14 indicators, for example, initial investment costs, operating costs, the emissions of harmful gases and dust, consumption of energy per unit area, the rate of disputes about charging, exergy efficiency, safety, health and comfort, regulating of temperature and time. It builds up an index system of heating mode appraisal. The acquisition of dates is though the methods of statistics, calculation of sample enterprise and experts points. The results of heating modes appraisal are different. However, considering the trends of development in

future and the interval, the results are nearly identical. Electricity combination, small-scale gas-fired domestic water heaters, electrical ground-source heat pump heating modes are nearly top three and have a good development trend no matter which methods is used. That is meeting the actual situation. So, the appraisal methods of AHP, crossed-DEA, and DEA / AHP are accurate and scientific, they all suitable for heating modes appraisal.

Though the analysis of three methods and the results of the heating modes appraisal, we can get the following conclusions: ①There is no perfect appraisal method. The credibility of the results can be greatly improved if we use a variety of methods to appraise; ②It use DEA/AHP which is an innovation of combining DEA with AHP to appraise heating modes. Although the appraisal results have been satisfactory, but we can not say that such a combination method is the best way to appraise heating modes; ③The results of appraisal do not have the accuracy like mathematics. It is very important that although the appraisal method is a quantitative study, but the combination of qualitative analysis can not be ignored; ④The more complex method is not the better one. The best is the suitable one.

In the seventh chapter, it not only appraises the heating in Shenyang but also chooses the modes. The chapter analyzes the present situation of heating and the heating problems exit in Shenyang. It appraises six main heating modes in Shenyang city with DEA / AHP. At the same time, it appraises ground-source heat pump heating mode in Shenyang, which is including the comparison of coal-saving, the comparison between ground-source heat pump heating mode and others. It appraises ground-source heat pump heating mode from the aspects of investment-estimating, economic benefits, social benefits and environmental benefits.

The ideas this paper holds are as follows: It should be given priority to develop heating and electricity combination and ground-source heat pump heating mode in Shenyang, which is should be in accordance with the results' guiding. At the same time, we can apply other heating modes according to the objective conditions. It puts forward reducing heating energy, taking district heating as the lender, using a variety heating modes according to the conditions, putting household heat-metering into effect and two-fold heating price for per household, implementing the "Sources Parted from Networks" mode when the conditions is appropriate to the circumstances. It can be implemented in some new city areas first and then promoted.

In the eighth chapter, it gives out the conclusion of the study and the outlook. It summarizes and analyzes the conclusions above. It points out the gaps and future directions of our researching. The new ideas and innovative researching results of this paper have been arranged:

- 1) Identifying how to select district heating mode or dispersing heating mode;
- 2) Putting forward the concept of "Sources Parted form Networks" heating mode. Elaborating the idea that "Sources Parted form Networks" is an inevitable trend of district

heating, which based on developing district heating. Setting its heating system framework. Conceiving the management mode of "Sources Parted from Networks" heating mode which uses "Three-tier market" mode in the heating market;

3) Constructing a comprehensive appraisal system of city heating which includes technical, economic, social and environmental appraisal systems;

4) The DEA crossed-appraisal method and the DEA / AHP method have been applied to appraisal the heating mode for the first time; Considering the two methods are appropriate for heating mode appraisal;

5) Expounding some new methods to appraise city heating and making conclusions;

6) Giving out the new perspectives and insights about the impelling of ground-source heat pump heating in Shenyang;

Therefore, the research of this paper has important theoretical significances and practically real values.

**Key words:**

city heating , theoretical approaches, appraise, sources parted from networks, the method of DEA, the method of DEA/AHP