

学校代号 10532

学 号 S02016112

分 类 号

密 级



湖南大学
HUNAN UNIVERSITY

硕士学位论文

长沙地区公共建筑的能耗现状与
节能分析

学位申请人姓名 沈浩

培 养 单 位 土木工程学院

导师姓名及职称 李念平教授 杨志昂副教授

学 科 专 业 供热、供燃气、通风及空调工程

研 究 方 向 长沙地区公共建筑的能耗现状与节能分析

论文提交日期 2005年5月16日

获取更多资料 数字搜索 蓝领星球

Research of Energy Consumption and Energy Saving Potential for
Typical Public Building in Changsha

by

SHEN Hao

B.E.(Hunan University)2000

A thesis submitted in partial satisfaction of the

Requirements for the degree of

Master of Engineering

in

Heating Ventilating & Air Conditionings

in the

Graduate School

of

Hunan University

Supervisor

Professor Li Nian Ping

May,2005

湖南大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。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后果由本人承担。

作者签名：沈浩

日期：2005年5月16日

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权湖南大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于

- 1、保密□，在_____年解密后适用本授权书。
- 2、不保密□。

(请在以上相应方框内打“√”)

作者签名：沈浩

日期：2005年5月16日

导师签名：

日期：2005年5月16日

目 录

摘 要	I
Abstract	II
插图索引	III
附表索引	IV
第 1 章 绪 论	1
1.1 我国能源消耗现状	1
1.2 国内外建筑能耗状况评价与节能现状	4
1.3 本文的基本内容	6
第 2 章 建筑能耗评估方法与节能措施概述	7
2.1 建筑能耗评估的方法	7
2.2 建筑节能的主要措施	9
第 3 章 商场建筑能耗评价与节能措施的分析	12
3.1 前言	12
3.2 商场建筑能耗一般性分析	12
3.3 长沙某商场概况及特征	13
3.3.1 概况	13
3.3.2 空调系统的现状	14
3.4 商场能耗评价	16
3.4.1 能耗评价方法	16
3.4.2 能耗评价及分析	17
3.5 节能方案及建议	18
3.5.1 照明节能潜力分析	18
3.5.2 空调节能潜力分析	18
3.5.3 空调节能控制方案的设计与实施	19
第 4 章 宾馆建筑能耗评价与节能措施的分析	22
4.1 前言	22
4.2 宾馆类建筑能耗一般性分析	22
4.2.1 数据样本及来源	22
4.2.2 建筑能耗影响因素分析	23
4.2.2 宾馆建筑能耗的评价	27
4.3 长沙某宾馆建筑能耗具体分析	27
4.3.1 建筑概况	27

4.3.2 空调系统的现状.....	28
4.3.3 宾馆建筑能耗评价.....	29
4.3.2 节能潜力分析及节能措施.....	36
第5章 办公建筑能耗评价与节能措施的分析.....	38
5.1 前言.....	38
5.2 建筑能耗一般性分析.....	39
5.2.1 数据样本及来源.....	39
5.2.2 办公建筑能耗影响因素分析.....	39
5.3 长沙某办公建筑能耗具体分析.....	44
5.3.1 建筑概况.....	44
5.3.2 空调系统现状.....	44
5.3.3 全年能耗分析.....	45
5.3.4 办公建筑能耗评价.....	46
5.3.4 节能潜力分析及节能措施.....	49
结 论.....	52
参考文献.....	55
致 谢.....	58
附录 A 攻读学位期间所发表的学术论文目录.....	59

获取更多资料

微信搜索 蓝领星球

摘 要

商业和民用建筑能耗在全国总能耗的比重相当大，并呈逐年上升的趋势，而其中的大部分能耗用于室内的采暖、通风与空调。为了降低这部分能耗，必须制定明确的评价方法和设计技术标准用来指导工程设计。建筑能耗的评估方法的选择和评估标准的确定，是建立在大量的数据调查与整理基础上的，随着地区的气象参数的变化而变化的。

本文对长沙地区的商场、宾馆、办公楼等典型公共建筑能耗进行了分析和研究。根据空调系统及其它建筑设备的运行记录或实测数据，对长沙典型公共建筑能耗，重点是空调能耗的现状作了评价。主要内容包括：1) 从能源类型、能耗分配、建筑状况、运营规律、室外气温等方面，分析了各类典型公共建筑能耗的一般性特点，以找到影响能耗主要因素。2) 以长沙地区具体的公共建筑（商场、宾馆、办公楼）为代表，对其进行了详细的能耗评价，得到能耗指数并参考相关标准进行判断。研究发现各建筑物中空调系统的设计、设备选型及运行管理方面都存在不足，造成了能量的浪费，因此其节能潜力都相当大。3) 分析了具体建筑的节能潜力以及造成能耗过大的主要原因，并提出了可行的节能改造方案或建议。

本研究对长沙地区乃至整个夏热冬冷地区类似的研究有参考价值，研究结果对长沙地区公共建筑空调系统的节能设计、运行、改造具有一定的指导意义。

关键词：公共建筑；建筑能耗；评价；空调系统；节能

获取更多资料

Abstract

The energy consumptions in commercial and civil building become greater and greater, most of which contribute to run HVAC system. In order to lessen building energy consumptions, valid energy audit method and technology laws for building design must be developed based on much survey and investigation, which vary significantly with the climates in different regions.

This paper presents some significant results of energy consumption of Changsha's typical public buildings, including shopping centre, hotel and office building. According to the operational records and measured data of HVAC system and other building equipments, energy audits for typical public buildings were performed, in which more emphasis on HVAC system were provided. In summary, the following work was carried out: 1) Analyze the feature of building energy consumption for each case (shopping centre, hotel and office building separately) considering its energy variety, energy usage distribution, building condition, operational schedule and outer air temperature, and then find out the main factors. 2) Take representative buildings for examples, and present detailed energy audit with effective methods. And then energy usage index was obtained individually, which indicates the energy conservation potentiality is great for each case due to unreasonable design, operation of HVAC system. 3) Propose feasible advice or innovation plan to save energy based on above investigations.

This work is of significance for the other studies on energy consumption of commercial building in Changsha or even China's transitional regions. Especially, the results of this paper are helpful for designing, operating and innovating HVAC system in public building.

Key Words: Public building; Building energy consumption; Audit; HVAC; Energy saving

插图索引

图 1.1	2000 年我国电力消耗分配图	1
图 3.1	长沙各大商场(超市)能耗比较	12
图 3.2	商场建筑及空调风系统平面、水系统示意图	15
图 3.3	商场空调系统主机设备图	15
图 3.4	商场内人员的日变化	16
图 3.5	商场内人员的周变化	16
图 3.6	能耗评价方法流程图	16
图 3.7	商场年能耗的分类统计结果	17
图 3.8	制冷系统各单元能耗情况	17
图 3.9	商场年能耗逐月变化曲线图	18
图 3.10	空调控制策略设计流程图	20
图 4.1	长沙宾馆类建筑总能耗的分类汇总	24
图 4.2	长沙某宾馆逐月能耗、平均入住率、平均室外气温图	25
图 4.3	长沙宾馆类建筑能耗与建成年份的关系	26
图 4.4	长沙宾馆类建筑能耗与等级的关系	26
图 4.5	长沙宾馆类建筑能耗与宾馆入住率的关系	27
图 4.6	长沙某宾馆建筑外观及空调主机设备图	28
图 4.7	长沙某宾馆空调冷冻水系统图	30
图 4.8	空调系统中各部分的能耗比	35
图 5.1	办公建筑的典型外观	40
图 5.2	办公建筑的总建筑面积与年空调能耗之间的关系	41
图 5.3	办公建筑的围护结构面积与年空调能耗之间的关系	41
图 5.4	办公建筑的窗墙面积比与年空调能耗之间的关系	41
图 5.5	3#办公楼夏季一天各部分逐时耗电量	42
图 5.6	3#办公楼单位面积室内负荷逐时变化	43
图 5.7	3#办公楼空调负荷的逐月变化	43
图 5.8	长沙某办公楼建筑外观及机房设备图	44
图 5.9	长沙某办公楼内空调、照明与办公用电的比例	45
图 5.10	长沙某办公楼内空调系统各部分能耗比例	46

附表索引

表 1.1	我国排放气体中的主要污染物数量表	2
表 1.2	部分国家建筑能耗占总能耗的比例	3
表 1.3	天津和神户公共建筑能耗比较	5
表 3.1	长沙某商场空调室内设计参数	14
表 3.2	长沙某商场的建筑设备情况表	14
表 3.3	商场建筑电力、石化燃料年能耗评估标准 (kWh/m ²)	17
表 3.4	夏季某天商场内能量的消耗和节省情况	20
表 4.1	宾馆类建筑电类/非电类能耗比例的统计表	23
表 4.2	宾馆类建筑能耗指数的统计表	23
表 4.3	宾馆类建筑各部分耗电情况的统计表	24
表 4.4	长沙某宾馆建筑布局和功能分布	28
表 4.5	长沙某宾馆内空调系统主要设备表	29
表 4.6	全年全天BIN数据	31
表 4.7	系数 C_1, C_2, C_3, C_4 取值表	32
表 4.8	用BIN参数进行的夏季空调冷负荷计算表	32
表 4.9	用BIN参数进行的冬季供热负荷计算表	33
表 4.10	夏季空调设备能耗计算表	34
表 5.1	长沙典型办公建筑的建筑基本参数及能耗情况表	39
表 5.2	长沙某办公楼空调系统主要设备表	45
表 5.3	全年8:00-18:00 BIN数据	46
表 5.4	用BIN参数进行的夏季空调冷负荷计算表	47
表 5.5	用BIN参数进行的冬季供暖热负荷计算表	48
表 5.6	长沙某办公楼夏季空调设备能耗计算表	48
表 5.7	长沙某办公楼冬季供暖设备能耗计算表	49
表 5.8	长沙某办公楼其它设备能耗计算表	49
表 5.9	离心式冷水机组部分负荷性能参数 (%)	50
表 5.10	空调系统调整主机运行台数的节能分析	50
表 5.11	不同的室内设计温度、湿度与空调系统年能耗量的关系	51

第 1 章 绪 论

1.1 我国能源消耗现状

我国是世界上第二大能源生产和消费国，仅次于美国。能源的储备主要来自于石化燃料，尤其是煤。2000 年能源的消费中，石油占 26.8%，天然气占 3.0%，煤占 63.6%，其它占 6.6%^[1]，其中煤占了我国能源消费的最大份额。同时我国也是世界上煤最大的生产和消费国，2001 年我国生产了 1294Mt 原煤，占世界总产量的 33.8%，91Mt 用于出口；而 2000 年我国煤的消耗量为 1.27 亿吨，占世界的 24%^[2]。2001 年，我国生产原油 166 Mt，占世界产量的 4.6%^[2]，同时我国也是第三大石油消费国。在过去的二十年间，我国的电力生产经历了空前的发展，到 2002 年底，全国的装机总容量达到 353 GW（其中火力发电 264.2 GW，水力 84.55 GW，核能 3.7 GW），年电力生产能力为 1640 TWh（其中火力 1342 TWh，水力 271 TWh，核能 2.5 TWh）^[4]。2000 年的电力消耗分配如图 1.1 所示。

然而近两年，我国再度出现电力紧张的情况，许多城市都进行了不同程度的“拉闸限电”。电力与人们的生产、生活密切相关，故电力紧张引起了全社会的关注和重视。2004 年夏冬两季，全国出现罕见的大面积拉闸限电，电荒接踵而至，包括长沙在内全国共有 22 个省市电力供应频频告急；2004 年 1~5 月，供电形势更加严峻，有 24 个省、区域电网出现不同程度的拉闸限电情况。6 月 28 日，全国日用电量首次突破 60 亿度；7 月下旬，全国进入持续高温阶段，7 月 23 日，全国用电负荷达到 2.57 亿千瓦，再创历史新高，当日全国用电量也达到历史最高值 66.43 亿 kWh^[4]。电力在前几年达到短暂的供需平衡后，再度成为经济发展的“瓶颈”。

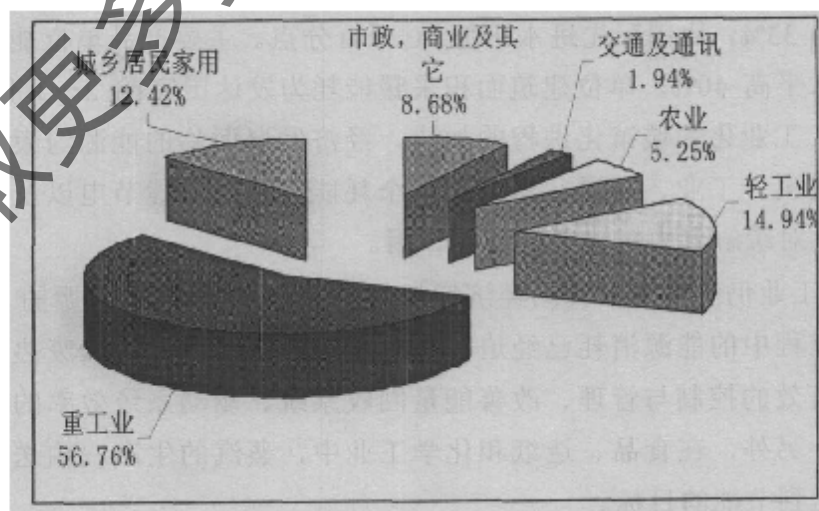


图 1.1 2000 年我国电力消耗分配图

当前节能节电形势已经相当严峻，从以人为本看，电不仅消耗在生产上，也

消耗在生活上，人们的日常生活都离不开电。美国人 均 3 万度电，我国人均只有 1000 度；美国人均生活用电 5000 度，我国人均只有 100 度。按照规划，2010 年我国装机容量要达到 6.7 万亿 KW，2020 年要达到 9.5 万亿 KW，而这 9.5 万亿 KW 电即使全部用于人们生活还达不到美国的水平，因此我们的差距还很大。面对当前电力紧缺的局面，电力耗能的大户——空调的节能问题必须引起重视。由于社会经济的发展和居民生活水平的提高，目前我国正处于空调高速发展期。因此，合理利用能源，杜绝电的低效利用，在有天然气供应的地区尽可能地利用天然气冷热电联产、热电联产或内燃机替代中央空调和电锅炉采暖、电热水器等耗电大的产品，以达到节能和节电的目的。

目前，我国环境污染的形势也日益严峻，主要来自不合理能源消耗构成。煤的大量使用致使许多地区的空气污染相当严重，按照世界卫生组织的报告，世界上污染最严重的城市有七个在我国。排放气体中的主要污染物如表 1.1 所示^[5]，SO₂ 的大量排放已经导致严重的酸雨。空气中微粒残留物影响了空气的质量，2001 年，341 个城市 NO₂ 年平均浓度达到国家空气质量标准二级水平，北京、上海、广州的 NO₂ 浓度相对较高。

表 1.1 我国排放气体中的主要污染物数量表

年	SO ₂	烟尘	灰
2001	1947.8	1039.1	990.6
2000	1995.0	1165.4	1092.0
增长或减少	-2.4	-9.1	-9.3

随着经济的继续发展，未来我国的小康社会将强烈依赖于能源。由于化石燃料，尤其是煤的消耗，我国将不断地面对能源和环境问题。为了适应可持续发展的需要，能源消耗的每个环节上都应更有效地使用能源，更多地关注环境问题。我国能源效率为 33%，比国际先进水平低 10 个百分点。主要产品单位能耗平均比发达国家先进水平高 40%，单位建筑面积采暖能耗为发达国家的 2~3 倍^[6-8]。随着人口的增加、工业化和城镇化进程的加快，经济发展面临的能源约束矛盾和环境问题将更加突出。工业、交通、建筑这三个耗能大户的节能节电以及政府部门节能政策的制定对缓解电力短缺更具重要作用。

毫无疑问，工业仍然是未来我国经济增长的支柱，它将消耗总能源的 1/3 以上。降低工业生产过程中的能源消耗已经迫在眉睫。一些新技术，比如废热的循环使用、生产过程有效的控制与管理、改善能量回收系统、驱动系统效率的提高等，都有助于节能。另外，在食品、造纸和化学工业中，蒸汽的生产、输送和使用效率的提高也能达到节能的目标。

交通运输的能量消耗的增长在世界范围内都是最快的，而这一现象在我国已经悄然而生了。降低化石能源消耗和保护环境的一个可能措施是替代交通工具的

燃料。以近期内的观点,可行的方法是把汽油机替代为效率更高的柴油机,或者使用对环境无害的天然气。随着时间的流逝,不同种类的工具,比如以甲醇、电力、氢等为燃料,将会不断出现。

在未来的我国,商业用和民用部分将占能源消耗的最大部分。在发达国家,这一部分已经占到总能耗的 40%左右,能源效率标准在减少能源需求和二氧化碳排放方面起着很重要的作用。我国正在逐步地关注到这个问题。我国国家绿色照明计划^[9]就是其中之一,它是建立一个使用节能荧光灯的非强制性标准,已经取得了令人满意的成果。家用电器的标准,比如电冰箱、洗衣机、空调等,都已经或正在制定相关的节能标准。另外,计划对大型空调使用的冷水机组或热泵建立并实施相关的能耗标准。在这一部分能耗中,建筑能耗所占的比例最大,表 1.2 中列出了部分国家建筑能耗占总能耗的比例,2001 年我国的建筑能耗占全国总能耗的 1/4 左右^[10]。可见,我国建筑能耗占总能耗的比例比这些国家明显要低,这与我国普遍的生活水平、工作条件、经济结构及产业结构层次(如我国工业能源消耗高于欧美)等因素有关。随着城市化的发展和人民生活水平的提高,建筑能耗将逐年上升,因此降低建筑能耗是降低能源消耗、保护环境的关键所在,建筑节能也是当前最重要的节能措施。当然,经济发展需要建设电厂电站,但更重要的是要从不同源头上减少电力需求。建筑节能与电力消耗关系密切,现在有 95% 的建筑是不节能建筑,如果不采取有效的节能节电措施,建筑能耗将会进一步加大。

表 1.2 部分国家建筑能耗占总能耗的比例 (%)

国 家	美国	英国	瑞典	丹麦	荷兰	意大利	加拿大	比利时
比例	31.9	34.3	33.9	42.4	33.9	27.4	31.8	31.8

建筑能耗包括材料和设备生产能耗、施工能耗、使用能耗及拆除能耗四个方面。建筑使用能耗是长期的、经常性的,其它能耗则是一次性的。据一些发达国家的统计分析,一般情况下,使用能耗与其它能耗之比大约为 9:1,不超过 8:2,因此使用能耗是主要部分。另一种定义认为建筑能耗只包括建筑物内使用能耗,即所指建筑能耗是指建筑物(包括商业、民用及其它非物质生产部门)建成以后,在使用过程中每年消耗商品能源的总和,包括采暖、通风、空调、热水、照明、电气、厨房烹饪等方面的能耗。建筑能耗中所占比例最大为煤炭,其次为电力(火电约占其中的 60%~70%),其它包括煤油、液化石油气及天然气、煤气等。煤炭所占比例逐年下降,电力所占比例及其它能源所占比例逐年上升,但与发达国家相比,我国建筑能耗中煤炭所占比例仍相当大。如 1985 年英美两国建筑能耗中煤炭比例均小于 20%,气体能源所占比例分别达 1/3 和 1/2。针对建筑能耗构成中煤炭比例过高,除要求逐步提高优质高效、无污染的二次能源的消费比重,还要采取各种措施,严格控制排放标准,为人民生活创造一个舒适、卫生的好环境。

能源作为经济发展的战略重点直接关系到我国现代化建设的进程。解决能源

问题要依靠科技进步和创新,已经被列入国务院刚通过的《能源中长期发展规划纲要(2004—2020)》重要内容。建筑节能是我国可持续发展战略的重要组成部分。改革开放以来,今年来一系列标准、政策、法规出台,然而至今成效并不明显。目前,全国城镇符合建筑节能标准的建筑不足3%,与发达国家比,我国同等条件下的建筑能耗要高出1倍。目前我国正处在城镇建筑的鼎盛时期,今后在新的建筑中全面推广各种建筑节能新技术、新措施,是建筑节能的最重要的工作,建筑能耗评估势在必行。

1.2 国内外建筑能耗状况评价与节能现状

节能与环保已成为当今世界各国的共识,各国都在积极制定和完善建筑能耗评价体系和标准。而由于商业和民用建筑占到了总能耗的30%以上,尤其是空调系统达到建筑能耗的40-60%。

美国、日本和欧洲等国家都制定了严格的建筑节能法规,促成了低能耗建筑技术的研究和应用。德国是世界上工业最发达,能源消耗最多的国家之一。在过去的几十年里,德国政府通过制定各种法律和法规在国内积极推进节能和环保措施。1976年公布了第一部建筑节能法,对新建房屋的采暖、通风、供水设施的安装和使用均从节能角度提出了要求。1977年又公布了建筑热物理保护条例,对新老建筑的节能措施提出了更加详细的要求,特别是对建筑墙壁和窗户的热传递系数规定了具体的指标。德国政府还相继公布了“建筑采暖装置条例”和“建筑供热费用条例”两个建筑节能法规。2002年实施的最新建筑物热保护条例在原有条例的基础上将节能要求进一步提高近30%。这些法规促成了一系列节能新技术、新设备的发展,包括墙壁隔热、室内采暖通风空调、余热利用等。最近在日本,“建筑的节能与共存设计”的概念被提出。它是指在建筑设计时必须把长寿命、与自然共存、节能、节省资源与能源的再循环等因素考虑进去,以保护人类赖以生存的环境。日本政府早在1979年就颁布了《关于能源合理化使用的法律》,并于1992年和1999年先后修订两次。该法律旨在对新建建筑,要使设计单位和建设单位在建筑物的设计和建筑时就应努力提高建筑物的能量利用的效率;对已建成的建筑,也必须进行节能改造。为了保证这些法规的执行,日本政府制定了许多具体的监督措施和必须执行的节能标准。

随着经济的发展,节约能源问题和环境保护问题在我国也越来越受到重视,但比起如德国、日本这样的发达国家来,我国在立法和科研方面都还要做大量的投入。一些学者已经做一些研究性的工作。

清华大学薛志峰、江亿^[1]对北京市大型公共建筑用能现状与节能潜力进行了分析,北京现有大型公共建筑2070万 m^2 、全年总用电量33亿kWh情况,根据能耗现场实测数据讨论了宾馆、商场、写字楼三类建筑的用能特点,全年总电耗高

达 100~350 kWh/m²，其中空调系统的电耗占总用电量的 40~60%。分析了大型公共建筑的节能潜力，认为综合利用各类建筑节能技术，大型公共建筑可以节能 30%~50%，节能潜力巨大。同时对北京市住宅、普通公共建筑的建筑用能现状与节能途径进行分析^[12]。同济大学王长庆、龙惟定等^[13]对根据上海地区办公楼、商务楼、宾馆和商厦空调制冷能耗测试的数据，对上海公共建筑空调能耗的现状作了评价。认为上海建筑用能水平较低，用能不尽合理。并提出用系统能量效率比用单位面积平均一次能耗量作为建筑节能的评价指标更为合理。

同济大学杨洁与日本神户大学的森山正和高西茂彰^[14]对天津市和日本神户市部分公共建筑进行了建筑能耗调查与分析，给出了表 1.3，从表中可以发现因为我国近年来采取了一定节能措施，天津公共建筑平均年能耗多数低于神户，建筑能耗有所降低，但天津市公共建筑平均能耗低于神户的主要原因是：

(1) 不少城市公共建筑的出售率、出租率及使用率较低，建筑中未被使用区域或利用率较低区域的单位面积能耗低；另外，一些公共建筑，如商场、医院、电影院等，客流较少，营业时间较短，致使冷热负荷减少。

(2) 天津公共建筑的总体现代化程度较低，多数公共建筑的功能不够完备，因此，平均单位面积能耗较低。

(3) 天津和神户公共建筑室内设计参数不同，神户的冬夏季室内标准高于天津。因此，冬季神户供热系统的经围护结构传热负荷或夏季空调系统的经围护结构传热负荷和新风负荷均高于天津地区的相应值。另外，我国建筑基本能耗标准也低于日本的标准水平。

(4) 两地公共建筑运行情况不同。天津地区平均供冷、供热日数分别为：夏季 100 天，冬季 120 天。神户能耗调查的相应值：夏季 150 天，冬季 131 天；而且

表 1.3 天津和神户公共建筑能耗比较

公共建筑类型	建筑能耗 P (MJ/m ² ·a)	
	天津	神户
办公室	2 200	3 600
商店	2 800	3 500
宾馆、餐馆	3 100	3 600
医院	3 600	4 300
图书馆、博物馆	2 100	3 600
教学楼	1 600	2 000
综合设施	3 800	2 700

神户公共建筑每日使用时间也长于天津地区。这势必造成天津地区公共建筑全年空调制冷系统、供暖系统、办公自动化及照明系统等能耗低于日本的相应值。对天津建筑节能潜力分析后发现，我国有许多公共建筑现代化程度低、室内标准低、

公共建筑能耗总体水平较低;但因环保意识和建筑节能观念较落后,节能潜力仍很大。

K.H.YANG 和 R.L.HWANG^[13]在台湾能源委员会的资助下,研究了台湾地区的建筑节能现状。由于缺乏自然资源,台湾非常注重建筑节能。研究结果表明,商业和民用建筑能耗占该地区电力消耗总量的 30%以上,其中照明占 40%,空调 40%,其它用途 20%。因此,建筑能耗的节省成为台湾能源委员会制定相关政策的一项重要任务。该研究还分析了台湾建筑一些积极的设计策略及其节能的潜力,包括外部遮阳,围护结构热性能的改善,空调系统的热储存等。

1.3 本文的基本内容

以上的文献综述表明,商业和民用建筑能耗在全国总能耗的比重相当大,并且早逐年上升的势头,而用于采暖通风空调的部分又是商业和民用建筑能耗的主要部分。这一部分也是节能潜力最大之所在。目前我国尚无空调建筑能耗管理的规范标准,许多空调建筑的设计冷热指标偏高,所选冷热源设备偏大,造成人力、物力、财力以及能源的浪费。为了能真正地做到节能,制定明确的评价方法和设计技术标准用来指导工程设计,已成为当务之急。而建筑能耗的评估方法的选择和评估标准的确定,是建立在大量的数据调查与整理基础上的,是随着地区的气象参数的变化而变化的,而我国在这方面还没有深入的研究。

我国,一些学者对北京、上海、天津等地的民用或公共建筑进行能耗分析和评价,湖南大学李念平等^[16、17]通过现场测试和问卷调查,分析了长沙市住宅建筑夏季能源使用结构与建筑基本状况、人的舒适性要求、家庭收入、当地气候、北区能源政策等因素的关系,但对公共建筑仍缺乏相关的研究和报道。长沙地处我国过渡地区(亦称为夏热冬冷地区),该地区气候特点是:夏季炎热,湿度大,空调室外计算温度在 30℃以上,最高达 37℃;相对湿度在 75%以上。冬季阴冷潮湿,最冷月平均温度 0~8℃,采暖室外计算温度-3~-4℃;相对湿度 75~85%。文献[18、19]对夏热冬冷地区的居住建筑的制冷、采暖、通风现状及发展前景进行了研究。

笔者对长沙地区的商场、宾馆、办公楼等典型公共建筑能耗进行了研究与分析,根据这些数据对长沙典型建筑能耗,重点是空调能耗的现状作了评价,提出了节能建议或措施,对长沙地区乃至整个夏热冬冷地区类似的研究有参考价值,本研究结果对长沙地区公共建筑空调系统的节能设计、运行、改造具有一定的指导意义。

第 2 章 建筑能耗评估方法与节能措施概述

2.1 建筑能耗评估的方法

建筑物是一个复杂的系统,其能耗很难简单地根据建筑结构、尺寸及窗墙形式、材料等估算。用于暖通空调设计的采暖最大耗热量或空调最大耗冷量可以较简单地估算^[20],但它不是建筑物的全年能耗,也不能作为指标去估计全年能耗。建筑物的能耗、热性能与如下因素有关^[21]:

(1) 小区布局,包括建筑各外墙面可受到的日照程度、建筑周围的空气流动等。冬季建筑物外表面风速不同会使散热量有 5%~7% 的差别,建筑物两侧形成的压差还会造成很大的冷风渗透;夏季室内自然通风程度也在很大程度上取决于小区布局。

(2) 小区绿化率、水景。可改变地面对阳光的反射,从而影响夏季室内热环境的差异。

(3) 建筑外表面色彩,导致对阳光的吸收不同,从而影响室内热环境。

(4) 建筑形状及内部划分,将影响自然通风的效果和程度。

(5) 建筑外墙保温方式、窗墙比、窗的形式、光透过性能及遮阳装置等,都会对冬季耗热量及夏季空调耗冷量产生较大影响。

(6) 屋顶的形式、保温方式、通风方式、色彩,会给顶层房间热状况带来很大影响。

(7) 室内采暖方式、空调方式、可调节能力,如上诸因素又与气象参数的变化情况,当地纬度,各季度主导风向相关,如此复杂的系统全部通过现场实测,很难在短期内获得有效的数据,测量成本也很高。通过简单的计算很难得到准确、客观的结论。因此,可操作的现实的方法是通过计算机动态模拟计算的方法,根据施工图纸对能耗及热性能做出预测,再根据某种标准将预测结果转化为大众便于理解的能耗和热舒适指标(例如 1 至 10 级,1 级为能耗量大,10 级最省能)。

由此可以制定建筑能耗评估标准,并开发出相应的成套软件,由专门的评估机构依据此标准使用这套软件进行能耗分析。

建筑能耗分析对建筑设计和空调系统的节能优化,现有建筑的节能改造,空调系统的运行管理有着重要的意义。建筑能耗分析有两类基本方法:第一类是计算机精确模拟计算法,包括 ACCESS、BLAST、BLDSIM、DOE-2、ECUBE、ESAS、TRACE 等;这类方法是比较完善,但由于软件比较复杂,使用起来很不方便,因此不适合一般设计人员和管理人员现场使用。第二类是各种简化计算法,包括度日数法^[22]、负荷频率表法、设备满负荷小时数法,温频数(BIN)法。这些方法精

度稍差，但是十分简单、实用。文献[23-31]对建筑能耗的分析和评估方法上做了相应的研究。

度日法，始于1920年。由于渗透作用和人员引起的潜热负荷以及由人员、照明、设备、辐射地热引起的室内负荷不仅仅与室外气温有关，无法计算度日，因此度日法只能用于供暖分析而不用于供冷分析。

设备满负荷小时数法是将空调系统设备的额定功率乘以当量满负荷运行时间来估算空调系统的总能耗。当量满负荷运行时间是全年空调冷负荷的总和与制冷机最大出力的比值。

负荷频率表法是根据当地室外空气含湿量、焓、干湿球温度在不同室外空气含湿量、焓、干湿球温度下出现的频率数以及全年运行工况计算出不同室外空气状态参数下的加热量、冷却量和加湿量，然后累计出全年或季节能耗量。

温频数(BIN)法是在度日法的基础上发展起来的，基本方法是在不同室外干球温度下完成能耗计算，并将计算结果乘上各温度段出现的小时数得到今年能耗量。BIN方法首先根据某地区气象参数，统计出一定间隔的温度段出现的小时数，并找出与建筑能耗相关的代表温度，分别是高峰冷负荷温度、中间冷负荷温度、中间热负荷温度、高峰热负荷温度。BIN方法的负荷计算分日射负荷、围护结构负荷、内部负荷和新风、渗风负荷四部分进行，并假定围护结构负荷和新风、渗风负荷与室外干球温度有线性关系。与度日法相比，BIN方法能较好地解决建筑能耗的供冷分析，但我国尚缺乏应用BIN方法作建筑能耗分析的基本数据。

此外，文献[29]提出以空调系统能耗系数CEC(Coefficient of Energy Consumption for air conditioning)即空调设备全年总能量消耗量与假想空调负荷累计值之比作为空调系统能耗性能评价指标，给出了CEC的计算方法。文献[30]应用此方法对上海地区一幢典型的办公大楼作了CEC计算与分析，并指出需要深入研究以得出适用于我国的一整套CEC指标。空调系统能耗系数CEC是空调设备系统的能量利用效率的判断基准^[26]。空调系统的CEC系数定义为空调系统全年总耗能量与假想空调负荷全年累计值之比，因此可知CEC值越小，空调设备的能量利用效率越高。

CEC定义中的空调设备全年总能量消耗量包括所有空调设备(冷热源、冷却塔、风机、水泵等)的年耗能量。这里需要说明的是，计算CEC时的空调设备全年总能量消耗量与假想空调负荷全年累计值，都是对应于同样的室内温湿度条件及同样的空调系统运转时间。计算CEC时，一般按照实际建筑物的室内温湿度条件及空调设备的运转时间来计算。但由CEC的定义可知，随着室内温湿度条件及空调系统运转时间的变化，CEC计算式中的空调设备全年总能量消耗量和假想空调负荷全年累计值同时向同方向变化。因此，室内温湿度条件及空调设备的运转时间的变化对CEC值影响不大。为了对不同空调系统比较的方便，在略算法中，

允许采用标准条件，即用统一的室内温湿度条件及空调系统运转时间^[29]。

CEC 定义中的假想空调负荷，是由建筑传热、太阳辐射热、内部负荷、新风负荷及其他负荷 5 部分组成。这种假设的结果是采用省能技术使得空调设备全年总能量消耗量减小，而假想空调负荷不变，相应地 CEC 值也减小，故 CEC 成为有效的判断空调系统省能的标准。空调设备消耗的能量有电能、蒸汽、煤气、轻油、重油等，计算 CEC 时必须把空调系统全年耗能量换算为一次能。这样就可以方便地对消耗不同形式能量的系统进行比较。

2.2 建筑节能的主要措施

近年来随着经济的发展，大量的公共建筑，如商场、超市、宾馆、餐饮酒店、写字楼、医院、运动场馆等建成并投入运营，其中的大部分都安装有中央空调系统，建筑用电量也随之急剧增加，加大了城市供电压力。目前，不少建筑在能耗上，尤其是空调能耗上，存在着不合理的设计、设备选型及运行管理，造成大量的能量浪费。主要包括以下两点：

2.2.1 不合理的建筑及空调系统设计

有的建筑设计仅片面地追求建筑立面效果，而忽略了建筑节能设计。诸如建筑物体形系数（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）偏大，窗墙面积比值偏大，大量采用玻璃幕墙建筑物，围护结构隔热保温性能差，造成围护结构传热损失很大。空调系统的设计设计室内温度偏低，风、水输送系统的布置不合理造成阻力增大等。这些都大大增加了空调的冷负荷。

同时，部分建设单位仅关心初投资的多少，而不考虑建成后的空调系统运行费用的多少，忽略了空调系统节能的要求，这其中大部分原因是建设单位与使用单位的目的不一致所致，这使得许多空调系统没有进行节能设计。

2.2.1 部分空调系统运行管理水平低

虽然许多空调系统设计很合理，但在实际运行中，低水平的运行管理却造成能耗浪费。同时，在多个用户合用的一套空调系统中，许多仅按面积简单地分摊空调运行费用不完善的空调计费系统也会造成了人为浪费。另外，大部分空调系统都没有必要的节能自控设施，这对空调系统的节能控制很难实现。对一般建筑不一定要上 BAS 系统，但基本的节能自控设备还是必须的。

所以，首先应做到建设和设计单位重视节能设计，要使空调系统设计优化；其次是使用单位要提高空调运行管理水平。

概括起来，空调能耗主要包括三部分：一是制冷设备的制冷量及其的能效比；二是水系统输送设备的能耗，包括空调水泵和冷却塔等的能耗；三是风系统的能耗，它主要是风机、盘管等空调末端设备的能耗。空调节能是指在不影响建筑功

能正常使用和空调使用效果的前提下，尽可能地减少这些能耗，避免浪费现象。

减少空调系统能耗可以通过改善以下技术措施来实现，减少空调冷负荷，这样可以有效地减小制冷设备、水泵、空调末端设备的选型容量，减少空调冷负荷对降低设备能耗最显著。空调冷负荷与室外气象参数、室内空调设计标准、室内人员和照明设备的散热散湿状况、围护结构的特性等有关，通过以下途径可以减少冷负荷。

1. 改善建筑围护结构的特性

要求建筑设计尽量减少建筑体形系数，窗墙面积比，尽量避免使用大玻璃窗全玻璃幕墙，选用保温隔热性能良好的墙体与屋面材料，玻璃可以选用吸热玻璃、反射玻璃、双层中空玻璃，以提高玻璃隔热性能减少太阳辐射透过率，增加窗户的遮阳设施遮阳设施，可以是内外百叶窗帘等。

2. 合理确定室内设计参数

在满足人体舒适条件下，尽量提高夏季的室内设计温度和相对湿度。如果夏季室内设计温度取值太低会增加空调的冷负荷。

3. 室内局部热源就地排除

由于使用功能的需要，有些建筑室内空间比较高，上部会汇聚污浊高温热气，如体育馆、影剧院等还有些建筑上部灯光负荷特别大，散热量也大，类似上述情况可考虑在热源附近设置局部排风机，将热量直接及时排至室外，减少空调冷负荷。

4. 减少新风负荷

控制和正确使用新风量是空调系统有效的节能措施，在满足卫生、补偿排风、稀释有害气体浓度、保持正压等要求前提下，不要盲目增大新风量，也可以采用CO₂浓度控制器控制新风进风量。

5. 灯光照明散热控制

在满足规范要求下，室内照度不宜过大。降低室内照明总功率，可以减少灯光散热量，从而减少空调负荷。

降低空调能耗，减小制冷设备的能耗是关键。在制冷量一定下，可以通过提高制冷设备效率实现节能，提高制冷设备效率有下面几种途径：1) 制冷设备优选。要注意选用能效比高的制冷设备。不但要注意设计工况下制冷设备能量特性，还要注意部分负荷工况下能量特性，选用时要统筹考虑。2) 冷冻水温度不要过低。冷冻水温度越高，制冷机的制冷效率越高，在日常运行时不要把冷冻水温度值得太低。3) 降低冷却水温度。冷却水温度越低，制冷机的制冷效率越高。要注意冷却塔冷却能力与制冷机匹配，使冷却塔出水温度不要过高。平时运行注意冷却水系统检修。

降低空调能耗，还应当尽量利用自然冷源。在空调运行时间内保证卫生条件

基础上,在夏季室外空气焓大于室内空气焓时,减少新风量有节能意义。由于建筑室内人员、照明灯光与其他散热设备的影响,在春秋季节,当室外空气温度比较低时,会出现室外空气焓小于室内空气焓,此时应该采用全新风运行,利用室外空气为室内降温,减少了能耗,同时也改善了室内空气的品质。

一般空调冷冻水泵,冷却水泵耗电量占空调系统耗电量约 15%—25%,因此降低水泵能耗对减小整个空调系统能耗很重要。通过减少循环流量和降低水泵扬程可减少水泵电耗。降低水泵的电耗要因地制宜,具体系统具体分析。

有条件可以采用变流量水系统,将水系统的调节方式设计为定温度变流量,使空调循环水量随空调负荷变化而变化,避免出现大流量小温差。还可以增加空调冷冻水供、回水温度差但一般不宜大于 8℃,温度差增加可以减少循环水量,对输送管路特别长的水系统节能效果特别好。空调冷冻水、冷却水系统尽量采用闭式系统,以降低水泵扬程。对于较大系统多区供冷时,当多区压力损失有较大差异时,可考虑采用二次泵系统,降低系统的总压力。

另外,还应当尽量降低风机的电耗。一般方法有:加大送风温度差,减少送风量;采用变风量系统,即用定温度变风量的空调方式使送风量随负荷的增减而变化。空调机、新风机布置应尽量靠近负荷中心,减少输送空气的长度,降低风机风压;合理确定风管尺寸,使输送能耗保持在经济合理范围内。

应增加必要的节能自控措施来控制冷机、水泵、冷却塔、空调末端等设备运行,以达到最佳节能运行模式。要加强运行管理,应随着室外温度变化采取不同的日节能运行模式;加强年运行管理,注意空调季节与过渡季节运行转换;加强空调系统维护检修,尽量保证系统处于最佳运行状态。

空调系统其他节能措施还有改善气流组织,增设能量回收设施,优选空调方式等。

第3章 商场建筑能耗评价与节能措施的分析

3.1 前言

近年来,随着经济的发展和人们物质生活水平的提高,大中型商场越来越多,人们对购物环境要求也不断提高,商场建筑能耗比例显著增加。影响建筑能耗的因素很多,其中的关系也比较复杂,比如照明、设备不仅本身要耗能,而且其散发到空气中的热量又影响到空调负荷从而影响空调系统的能耗,这种影响在夏季是不利的,在冬季又是有利的。除此之外,各类建筑影响因素也各不相同。笔者对长沙地区的几家大型商场、超市进行了能耗调查,发现各商场之间的能耗情况差异较大,从200~300 kWh/m²不等,如图3.1所示。但是,商场建筑功能的特殊性,如营业时间从9:00~22:00,每天多达13小时之多,而且全年基本没有节假日;商场人流密度大,人员负荷也相应大,这部分热量散发到空气中是相当可观的,对空调负荷产生很大的影响;空调系统的设计具有共同的特点:主要以空气-水系统为主,采用大风管下送风等。这些都使得商场建筑能耗表现出一定的规律性。

笔者以其中一家大型商场为例,对其进行了实测研究,分析了其运营和空调运行的特点,计算并比较了能耗指数,提出了空调系统的优化方案,优化运行调节,达到节能的目的。以找出影响商场类建筑能耗的主要因素,这对建筑节能非常有益。

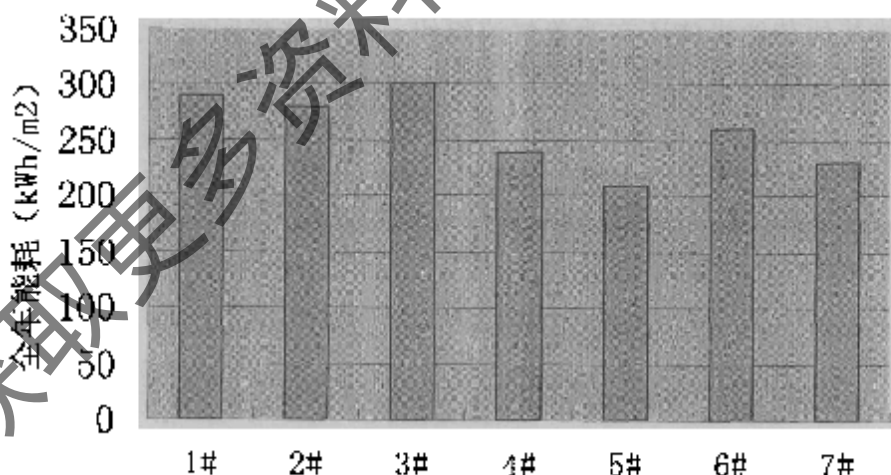


图 3.1 长沙各大商场（超市）能耗比较

3.2 商场建筑能耗一般性分析

商场类建筑一般可分为:1)综合类,包括百货商场、超级市场、商城等;2)

专业类,如书店、服装店、食品店等;3)菜市场、集贸市场类。另外按建筑面积又可分为大($>10000\text{ m}^2$),中($100-10000\text{ m}^2$),小($<1000\text{ m}^2$)三类。

商场建筑与其它建筑相比,有以下特点:

(1)空间较大。商场一般属于大空间建筑,空间结构形式主要采用大跨度结构或成片式多层营业厅。

(2)综合性强。现代商场建筑的经营都趋于多样化,如超级市场,除了有日用百货外,还设有快餐厅、咖啡厅、游乐厅等。

(3)室内布置多变。商场内的货架、摊位、柜台等的布置根据经营的需要而变化,如大型商品设于底层便于搬运,日用百货设于便于顾客购买的地方,蔬果食物类必须和服装分开等。

(4)人员密度大。商场的客流一般比较大,尤其是休息日、节假日。

目前在我国,商场建筑中采用的空调系统主要有以下几种形式:1)单风道全空气一次回风定风量空调系统;2)单风道全空气一次回风变风量空调系统;3)风机盘管加独立新风空调系统。笔者调查发现,商场建筑的空调系统或多或少在设计、运行管理上存在一些不合理的地方,影响空调系统的正常运行,加大了系统的能耗。概括起来有以下几个主要方面:

(1)设计时冷负荷的计算值比实际值偏大,主要是夏季冷负荷值偏大,且设备选型时按最大负荷值选取。这样就造成空调系统的主机容量过大,主机绝大多数时间是在部分负荷下运行,造成了不必要的浪费。

(2)设计时没有充分考虑新风的作用,过渡季节可以引进足够的新风来消除室内负荷,从而减少主机运行的时间,达到节能的目的。

(3)设计时没有考虑全年动态负荷特性,主机、水泵等的运行没有在高效率下运行,造成能量的消耗。同时,空调管理人员也没有根据需要进行必要的调节,即使有自控装置的空调系统也没有充分发挥作用。

(4)商场内的商品(尤其是生鲜食物等)、装修物、人员产生的有害气体没有及时地排除,造成室内空气品质下降,影响了顾客和营业员的健康。

可见优化空调设计对原有系统进行合理的改造;提高管理人员素质和空调系统自控水平,改善运行调节,能有效地减小空调能耗。空调系统的节能潜力很大。

3.3 长沙某商场概况及特征

3.3.1 概况

本文研究的商场位于长沙市人民路,总建筑面积 $20\,000\text{ m}^2$,共二层,一楼经营各式食品、化妆品、生鲜食品及洗涤用品为主,二楼则主要经营衣物、生活用品、家用电器等。屋面为网架式轻钢板保温屋面。每层包括3个空调区域:商场卖场、快餐店、办公室和仓库^[32](如图3.2所示)。卖场和办公室内照明采用普通

荧光灯，快餐店采用吸顶白炽灯。商场的营业时间为从 9:00 到 22:00，商场内日平均顾客量为 5 000 人，周末和节假日有所增加。根据对商场的随机抽样调查，发现一天内 16:00 到 20:00 之间顾客量较大，而一周之内从周一到周日顾客量呈逐渐上升的趋势，如图 3.4, 3.5 所示。这些数据将助于制定合理的空调控制方案。

3.3.2 空调系统的现状

空调室内外设计参数如表 3.1。本建筑夏季设计空调冷负荷为 3580 kW，冬季热负荷为 1690 kW，空调系统为空气—水系统。图 3.2 显示了空调风系统半面及水系统示意图，图 3.3 显示空调系统主机设备图。夏季制冷选用两台水冷离心式冷水机组，冷冻水供水温度为 7℃，回水温度 12℃；冬季供热采用两台中央热水机组，由燃油锅炉供汽，热水供水温度 60℃，回水温度 55℃。每层卖场内设有 22 台吊顶式风柜，室外新风和室内回风在风柜内混合后经盘管冷却（或加热），再由风管送到空调区域。通过电磁调节阀控制水流量维持室内空气达到设定值。在南北墙上安装有 8 台轴流风机排风，每间办公室接风机盘管 1 台，型号根据房间面积而定，详细设备情况见表 3.2。夏季空调工作的时间为工作日 9:00 到 22:00，周末为 9:00 到 23:00，每年运行 27 个周（从 4 月下旬到 10 月下旬），预计年运行时间为 2520 h。

表 3.1 商场空调室内设计参数

	夏季		冬季	
	室内	室外	室内	室外
温度 (°C)	26	30	18	2
相对湿度 (%)	55~65	75	55~65	75~85
新风量 (m ³ /人·h)	9		9	

表 3.2 商场的建筑设备情况表

设备名称	设备情况		
	制冷量	额定功率	台数
制冷机组	1934kW	375 kW	2 台
热水机组	930 kW		2 台
冷冻水泵		额定功率 35 kW	3 台
冷却水泵		额定功率 40 kW	3 台
吊顶式风柜		额定功率 2.4 kW	44 台
轴流风机		额定功率 0.37kW	16 台
电梯		额定功率 11 kW	6 台
照明	总功率 400 kW		

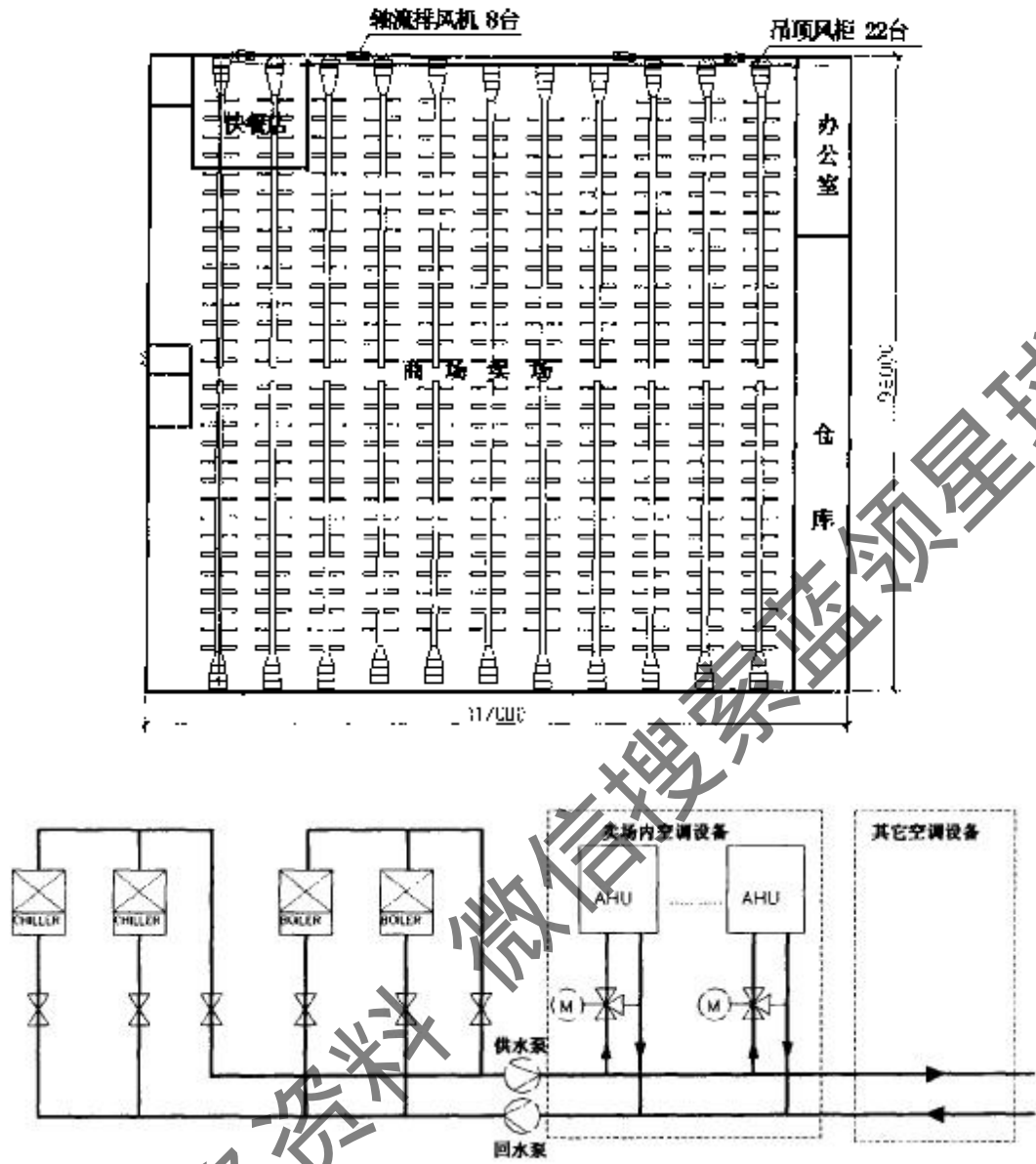


图 3.2 商场建筑及空调风系统平面水系统示意图



图 3.3 商场空调系统主机设备图

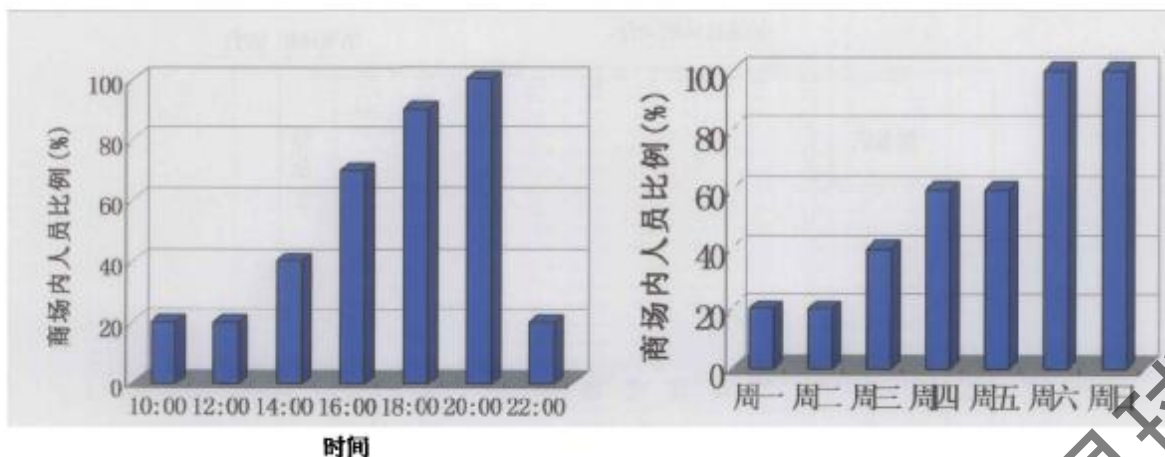


图 3.4 商场内人员的日变化图

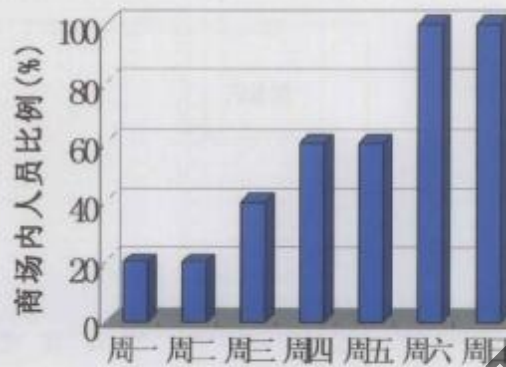


图 3.5 商场内人员的周变化

3.4 商场能耗评价

3.4.1 能耗评价方法

为了研究建筑物的节能潜力,应对其能耗情况进行评估和分析。图 3.6 显示了本文所使用的能耗分析方法的流程^[33],首先通过现场实测和问卷调查对建筑物的情况和典型性特征进行分析,包括人员活动、空调区域的分布等。将能源消耗按电力消耗量和化石燃料消耗量分类统计,并将统计出来的 2 个结果分别除以楼层面积计算出建筑能耗指数,并将其与相关标准进行比较,得出该建筑物节能潜力,该能耗指数也便于在同类型建筑进行对比和评估。目前,国内尚缺乏相关的节能技术标准,本文引用了国外有关研究成果^[24]作为参考(如表 3.3 所示)。由于空调系统的节能潜力最大,对空调系统的能耗及节能潜力进行主要的研究。

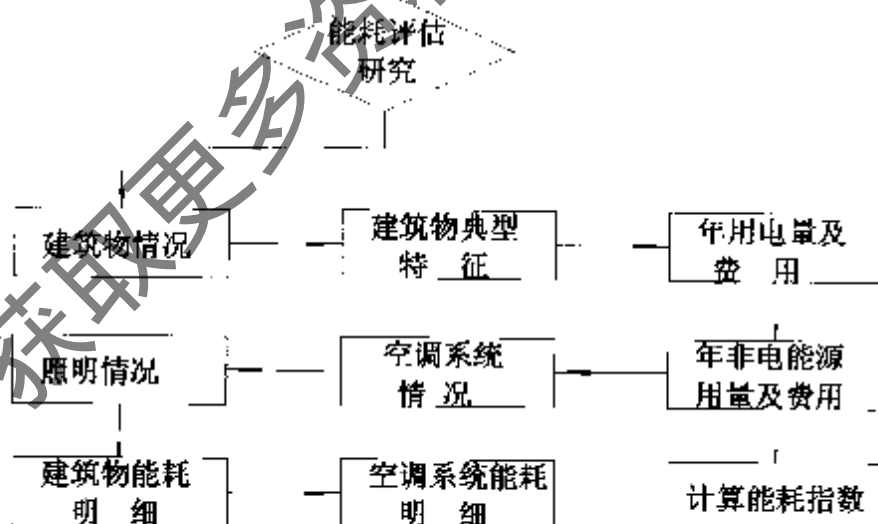


图 3.6 能耗评价方法流程图

3.4.2 能耗评价及分析

通过现场调查和相关计算，该商场年能源消耗量为 9 026 000 kWh。图 3.7 显示商

表 3.3 商场建筑电力、石化燃料年能耗评估标准 (kWh/m²)

	低消耗	中等消耗	高消耗
电力	<670	670-920	>920
石化燃料	<160	160-290	>290

场年能耗的分类统计结果，以便于掌握能耗的分布情况。由图中可以发现制冷和供热占了总能耗量的 56%，是耗能的最大部分，也是节能潜力最大所在。其中，夏季的制冷能耗量是冬季供热能耗量的 2 倍多，这是由于夏季人员和设备的散热都成为了空调系统的冷负荷，而在冬季这一部分成为得热，从而减少了能量的消耗；另一个主要原因是长沙地区夏季空调开启的时间要比冬季供热长。照明的耗电量仅次于空调系统，占到总能耗的 12%；图中所示的其它设备包括电梯、计算机以及各类电器，烹饪和快餐店分别是指卖场和快餐店加工熟食所消耗的能量。

图 3.8 是将制冷系统各单元的能耗情况进行进一步的细化。可见制冷系统中，

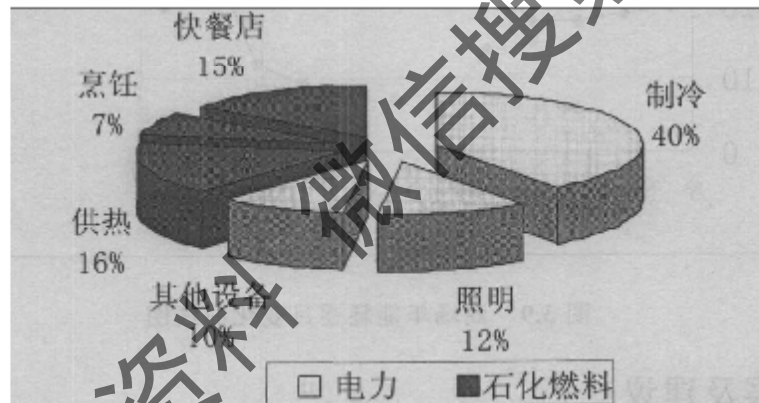


图 3.7 商场年能耗的分类统计结果

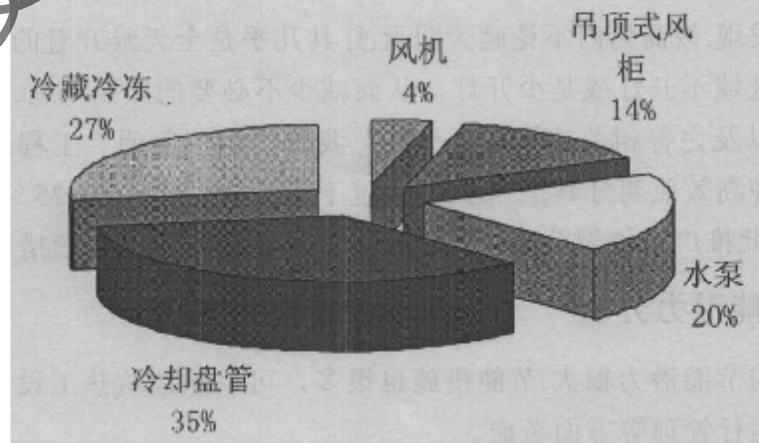


图 3.8 制冷系统各单元能耗情况

用于空调的占 73%，其中 35%用于制冷机组制取冷冻水，38%用于水泵，风机、风柜等输送设备上。其余的 27%用于冷藏冷冻，对商场的食品进行保鲜。另外，调查发现一年内电力和石化燃料随季节的变化呈周期性波动，但两者增减的趋势是相反的：夏季电力需求大，在 8 月份达到峰值；冬季燃料的需求增大，其中 1 月的消耗量最大，如图 3.9 所示。商场的年电耗量和石化燃料耗量指数分别为 270.8 和 180.5kWh/m²。参照表 3.3，可见该商场电消耗量较低，而石化燃料的消耗属于中等。由于我国目前实际条件的限制，如发电效率低等，每 kWh 电实际耗费一次能大于国外水平，所以在判断空调能耗指数时，不可盲目采用国外标准，还需要做大量的调研工作。因此，综合考虑上述因素，该商场仍然有很大的节能潜力。

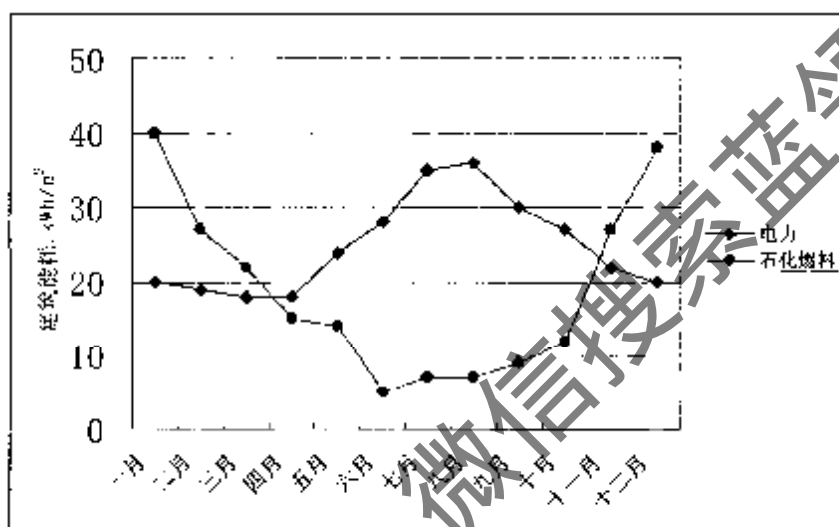


图 3.9 商场年能耗逐月变化曲线图

3.5 节能方案及建议

基于以上能耗分析，发现商场类建筑的节能主要在于照明和空调系统。

3.5.1 照明节能潜力分析

在调查中发现，该商场内不论晴天阴天，灯具几乎是全天候开着的。建议在光线较好的天气和区域不开灯或是少开灯，从而减少不必要的照明负荷，这需要增强人们的节能意识以及完善相关的管理。另外，我国“绿色照明”工程所推荐的节能型荧光灯是一种高效照明灯具，在相同的亮度下，耗电是白炽灯的 25%，是普通荧光灯的 90%。因此推广节能型荧光灯的使用，也是照明节能的一项措施。

3.5.2 空调节能潜力分析

空调系统的节能潜力很大，节能措施也很多，可以从建筑热工设计、空调系统设计、自控及运行管理等方面考虑。

在商场的空调负荷中，通过围护结构传热产生的冷负荷占有较大的比例，因此

在建设热工设计方面具有较大的节能潜力。如：1) 控制窗户面积，有研究表明^[35]，应该把空调建筑的窗墙比控制在 30 % 以下，因此避免盲目增大窗户面积；2) 建议使用吸热玻璃、反射玻璃、双层玻璃。吸热玻璃、反射玻璃、双层玻璃可以提高玻璃的隔热性，减少由外窗引起的冷负荷。3) 改善外遮阳设施。良好的外遮阳设施可以大幅度地降低由太阳辐射造成的冷负荷，降低幅度可达 40 %^[35]。而该商场几乎没有设置外遮阳。

通过调查，我们发现，该商场在空调系统的设计和运行中，存在着很多可以改进的地方。

该商场选用的设备容量过大，并且在确定冷源时选择 2 台同型号的冷水机组，这样就造成了制冷机多数时间在部分负荷下低效率地运行，造成很大的投资和能源的浪费。可选择 2 台容量大小不同的机组，在不同的冷负荷下开启相应的机组和台数。该空调设计未充分考虑空调系统的全年节能运行，新风入口面积偏小，系统无法在 100 % 新风下运行，致使过渡季节仍然要开启冷水机组。针对这种情况，可加大新风入口的面积，使过渡季节能利用室外新风消除室内负荷。

该商场空调水系统多采用定水量系统，存在着大流量小温差的问题，原因主要是设计水流量按最大冷负荷和 5 °C 供回水温差确定的，但全年运行中，最大负荷出现的时间很少，绝大部分时间在部分负荷下运行。针对这种情况，可对冷冻水泵和冷却水泵分别加装变频器，实现变水量运行，节省输送能耗。

调查中发现运行管理中存在的问题有：1) 运行中，系统没有根据人员的变化和实际负荷进行必要的调整，致使供冷量、供水量和送风量都大于实际的需求。2) 运行调节随意，由此造成不必要的能量浪费。3) 管理中未能对系统进行及时的清洗和必要的更新，加大了系统运行时的阻力和系统本身对空气的污染。如果能针对以上问题进行改进，将会达到节能的目的。

该商场没有使用自控系统，在实际操作中主要采用手动操作。手动控制室内温度，会产生滞后，造成能量浪费。建议根据气象参数及人员的变化规律设计自控系统，使室内温度、湿度达到设定值，不仅可以节约能量，还有利于提高室内的舒适性。

3.5.3 空调节能控制方案的设计与实施

基于以上分析，对商场的空调系统的控制方案进行改进，能够在不追加设备投资的情况达到节能的目的。图 3.10 给出了商场控制方案设计与实施流程图，由于商场内现有的控制方案和控制预设参数都不明确，因此要对历史数据，包括气候参数、人员活动规律、设备运行数据等进行分析。确定温度、湿度等与设计参数最大的偏移量，从而重新考察空调设备的启停时间等并进行改进。控制方案改进完成后，通过试运行进行不断的完善。笔者根据商场空调系统的现状，提出以下优化方案，并进行方案实施前后的节能比较。

优化设备启停时间方案。根据统计的人员变化规律、气候条件，对空调系统

的冷水机组或热水机组以及空气处理机等的启停时间进行优化，以保证室内温度达到合适的水平，满足舒适度要求。

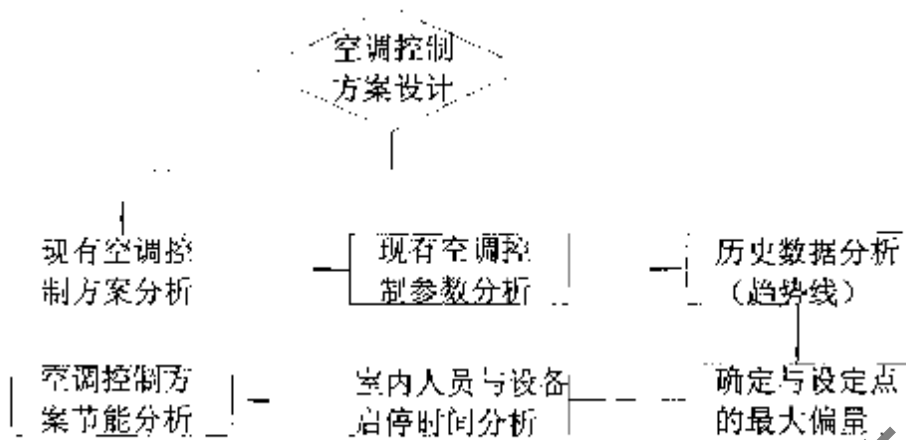


图 3.10 空调控制策略设计流程图

夜间通风方案。该方案主要应用于夏季，便于在营业时间设备启动之前，利用夜间温度较低的室外空气对室内进行预冷处理。

空调控制方案改进以后，笔者对夏季某天的能量的消耗和节省情况进行了分析，根据客流量的变化和室内外空气参数优化设备启停施加后每天可少开 3 小时，夜间通风多开启部分通风设备 4 小时，可少开启制冷设备 1 小时，如表 3.4 所示。

表 3.4 表明，优化启停时间的节能效果较好，而这也取决于气象、客流量的变化；夜间通风要引入室外夜间低温空气，则多消耗了风机的能量，但推迟了冷水

表 3.4 夏季某天商场内能量的消耗和节省情况

能量的日消耗	方案改进之前	优化设备启停时间	夜间通风
送回风 (kwh)	$2.4 \times 44 \times 12 = 1267.2$	$2.4 \times 44 \times 9 = 950.4$	1520
排风 (kwh)	$0.37 \times 16 \times 12 = 71.0$	$0.37 \times 16 \times 9 = 53.3$	85.2
总风 (kwh)	1338.3	1003.7	1605.2
节能 (kwh)	-	334.5	-266.9
冷水机组 (kwh)	$375 \times 2 \times 12 = 9000$	$375 \times 2 \times 9 = 6750$	$375 \times 2 \times 11 = 8250$
水泵 (kwh)	$(35+40) \times 3 \times 12 = 2700$	$(35+40) \times 3 \times 9 = 2025$	$(35+40) \times 3 \times 11 = 2475$
水系统 (kwh)	11700	8775	10725
节能 (kwh)	-	2925	975
总节能 (kwh)	-	3259.5	708.1

机组开启的时间，总体达到了节能的目的，其效果也与气象条件有关。因此，改进空调控制方案的效果通常难以预料，随着季节的变化而改变，具体方案的确定需要对每一个季节做充分的实测和积累。但总体来说，一个好的控制方案的实施有助商场建筑节能的实现。

综上，笔者对某商场能耗评价方法，计算了能耗指数，分析能源利用率与节能潜力。发现商场类建筑的节能主要在于照明和空调系统；在此基础上，提出了照明及空调系统的改进方案，以达到节能的目的。本研究结果对商场类建筑的能耗评价和节能有一定的指导意义。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

第 4 章 宾馆建筑能耗评价与节能措施的分析

4.1 前言

与其它类型的商业建筑相比,宾馆类建筑具有其自身的特点:比如宾馆内的各种设施(餐厅、商务中心、休闲中心、洗衣房等)具有不同的功能,运营时间也不同;全年平均入住率的变化引起宾馆内人员负荷的变化(如节假日,旅游黄金周等的入住率较高等);室内环境及空调参数的选择因客人的要求而调节,随意性较大。这些因素都会导致宾馆内各服务设施具有不同的运营时间段,并由此产生其能量消耗的特殊性。

国内外有关学者对宾馆类建筑能耗性能进行了研究。1995 年的调查统计^[37]表明,美国宾馆类建筑年平均能耗强度为 401 kWh/m²,其中 40.9%使用电力,51.9%依靠石油气、热水供应,房间采暖及空调,照明分别占到总能耗的 40.4%, 18.2%和 17.8%。而在加拿大,1991 年 Lam JC, Chan ALS^[38]对亚太区 19 家宾馆调查发现,年平均能耗强度达到 688.7 kWh/m²。而各能源类型所占的比例为:电力占 28.9%,石油气占 26.4%,蒸汽占 44.7%。薛志峰,江一亿^[42]调查发现,北京市现有三星级以上的高级酒店 239 家(五星级 26 家,四星级 56 家,三星级 157 家),总建筑面积 540 万 m²。根据清华大学建筑技术科学系 1998 年以来陆续对北京市 15 家三星级以上酒店的现场测试,星级酒店全年用电量为 96~200 kWh/m²。通过分析计算认为,扣除入住率的影响,相互之间的能耗差异也高达两倍以上。而在长沙尚缺乏相关的研究和数据,对宾馆类建筑的能耗性能也没有建立系统的评估体系。

本文首先就宾馆类建筑能耗的一般性规律进行了分析。笔者对长沙市 12 家不同等级的宾馆进行调查,并以相关指数(EUI, Energy Use Index)评估其建筑能耗性能。该指数是通过逐层地计算建筑能耗量,再由每层的能耗指数(EUI)得到该宾馆的平均能耗指数(EUI)。计算所采用的数据及相关参数来自这些宾馆现场的运行记录、现场调查或测量。按照所使用的能源类型、宾馆各服务系统对总能量消耗情况进行分类汇总,得到各部分所占的比例。分析了影响宾馆类建筑能耗的因素,如宾馆入住率、等级、建成年份等。接着笔者对其中一家宾馆进行了具体的分析,采用 BIN 法的评估其能耗情况,从而得到宾馆类建筑节能潜力的关键所在,并提出了部分节能方案。

4.2 宾馆类建筑能耗一般性分析

4.2.1 数据样本及来源

本文研究的这 12 家宾馆分别位于长沙市的不同区域,约占长沙市高档宾馆的

20%左右,其中三星级、四星级、五星级各4家。所调查的宾馆建成并开始投入运营的年代从1992年到2000年;拥有客房的数量从202间到450间;餐厅的数量从1个到6个;总楼层面积从12 000m²到100 000m²。所有的这12家宾馆都安装有中央空调系统,配备有冷水机组和热水机组等空调设备。空调方式均遵循以下原则:面积较大的公共部分,如大堂、餐厅、歌舞厅、会议中心和游泳池等采用变风量(VAV)或定风量(CAV)的全空气系统;在客房、小型包厢等小空间内采用风机盘管加新风系统的空调方式。12家宾馆中,有7家拥有玻璃幕墙结构。室内空调设计温度一般为夏季25~27℃,冬季18~20℃;而空调运行时的实测干球温度一般为夏季23~25℃,冬季17~20℃。本文计算采用的宾馆逐月入住率、能耗情况(包括电力、石油气、柴油等)来自这12家宾馆2000年至2004年期间的运营记录、现场调查或测量数据。

4.2.2 建筑能耗影响因素分析

4.2.2.1 按能量类型分类

所调查的长沙市这12家宾馆使用的能源包括:电、液化石油气、柴油、煤。所有的宾馆内都使用了电和液化石油气,电用于所有耗电设施的运行,液化石油气主要用于餐厅内的烹饪,有5家使用了柴油,用于产生热水和蒸汽,另有2家使用煤烹饪和运行锅炉,有1家采用电来制取热水。将所使用的能源分为:电类和非电类两部分进行统计,结果如表4.1所示。可以看到长沙市宾馆类建筑所使用的能源中,68%是电,其中采用电制取热水的宾馆耗电率最高的达到88%,最低也有40%以上。可见被调查的宾馆消耗的能源类型主要为电,这与前文提到的美国和加拿大的情况不同(非电类能源占主要部分),表明我国宾馆类建筑的电力需求很大。

表 4.1 宾馆建筑电类/非电类能耗比例的统计表

	最大	最小	平均	中等
电类能耗所占总能耗的比例(%)	88	42	68	70

4.2.2.2 能耗指数(EUI)的计算

每一家宾馆的能耗指数EUI的计算是采用全年总能耗量除以建筑总面积得到

表 4.2 宾馆建筑能耗指数的统计表

	最大	最小	平均	中等
EUI (kWh/m ²)	936	297	564	511

的。不同的宾馆之间,能耗指数的差异是相当大的(如表4.2所示),最大的为936 kWh/m²,最小的为297 kWh/m²,平均为564 kWh/m²。

4.2.2.3 主要建筑设备耗能比例

根据宾馆类建筑的特殊性和所调查的情况，宾馆类建筑电能的消耗主要来自四类建筑设备。这四类建筑设备是，中央空调、照明、电梯和其它类（如客房、歌厅、厨房内的电器设备等），采用电制取生活用热水包含在其它类中。图 4.1 显示了长沙宾馆类建筑总能耗分类汇总的情况，其中按能量类型的电类与非电类的百分比如前所述。可以看到，长沙宾馆类建筑总能耗中，34%用于采暖通风空调，12%用于照明，4%用于电梯，其它类设施能耗占 18%。其耗电情况的统计结果如表 4.3 所示。可以发现不同宾馆间各部分耗电量的差异，有的甚至还相当大，这是由于建筑面积、设备选型、运行管理、节能措施的应用等方面的差别造成的。其它类中的能耗区别，最大达到 420.5 kWh/m^2 ，最小只有 25.3 kWh/m^2 ，这是由于有的宾馆将部分楼层出租用作写字楼，且歌厅、餐厅等的对外开放造成了部分设备运行时间增加，从而加大了这部分设备的能耗增加。

表 4.3 宾馆建筑各部分耗电情况的统计表

EUI (kWh/m^2)	最大	最小	平均	中等
空调	220	127.5	182	185
照明	165	35	70	62
电梯	55	10	29	28
其它	420.5	25.3	130	90

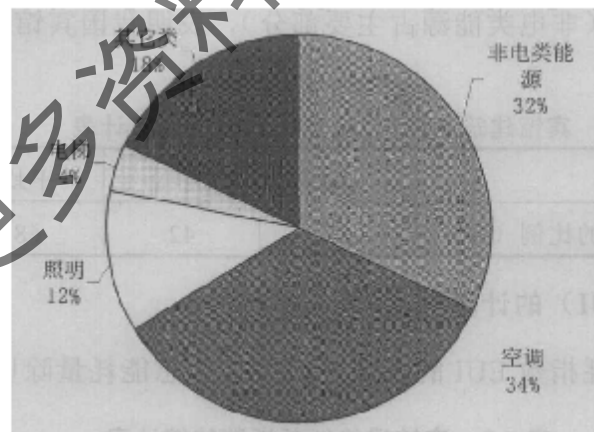


图 4.1 长沙宾馆类建筑总能耗的分类汇总

4.2.2.4 建筑耗能随季节的变化

所调查的宾馆中，其能耗情况几乎都表现出随季节性变化的规律，并且与室外空气温度密切相关。这很大程度上是由于空调系统的运行与气温相关，季节性变化的特征明显，而空调能耗在总能耗中所占的比重又相当大（平均达到 34%）。

其它系统的能耗（比如照明），全年的变化不大，相对比较稳定。笔者对部分宾馆的逐月入住率情况进行了调查，发现入住率的变化对能耗的影响并不大。图 4.2 显示了其中一家宾馆 2001 年逐月总能耗的变化，与平均室外空气温度、宾馆入住率的关系，其它宾馆表现出相似的规律。可见，一年之中能耗最大的月份出现在夏季（7 月、8 月、9 月），这个时期长沙地区的气温高，空调负荷大引起耗能量增多；冬季（1 月、2 月、12 月）需要消耗部分能量用于采暖，但这部分比夏季空调负荷小；过渡季节（3 月、4 月、11 月）能耗量小，这是由于这些时期气温适中（10-20℃），空调开启时间短甚至可以不开。因此，室外气温对宾馆类建筑总能耗有重要影响。宾馆的入住率会引起宾馆内电梯、餐厅、房间内设施的使用增多，可能会引起部分能耗的增多，但是考虑共用系数等的影响，入住率对总能耗的影响并不大。

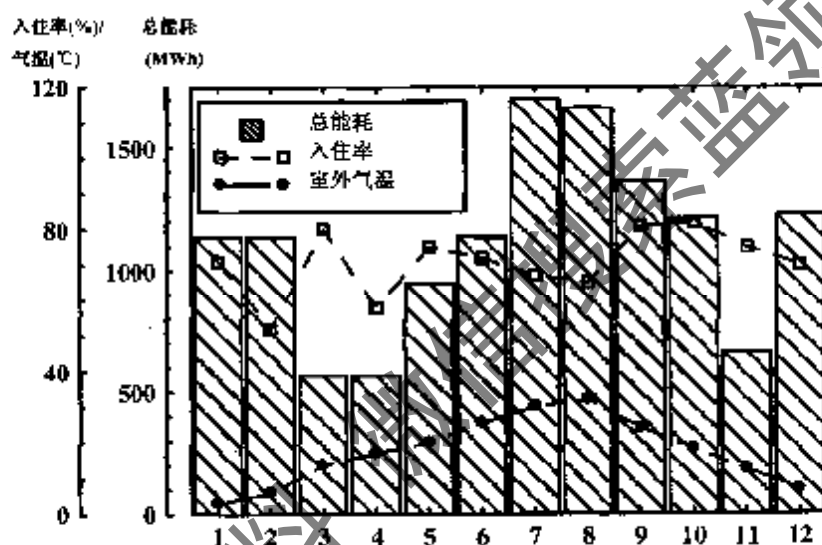


图 4.2 长沙某宾馆逐月能耗平均入住率平均室外气温图

4.2.2.5 影响建筑耗指数的其它因素

笔者对影响宾馆类建筑能耗的其它因素也作了研究和分析。这些因素包括：宾馆等级，建成年份，宾馆入住率等。

(1) 建成年份的影响：笔者所调查的建筑建成年份从 1992 年到 2000 年，图 4.3 给出了建成年份与建筑能耗的关系。虽然由于近些年新工艺、新技术的出现，以及部分建筑节能强制性规定的实行，建筑物围护结构的热物理性能提高，有利于建筑物的节能。但是，随着对宾馆服务水平等要求的提高，耗电设备也增多，造成能耗增多。因此，从图 4.3 看到，建筑能耗与宾馆建成年份并没有太直接的关系。

(2) 宾馆等级的影响：一般等级高的宾馆，客房面积要大些，5 星级宾馆的客房面积最大可达到 80 m²，3 星级宾馆平均面积为 47 m²。调查发现，宾馆等级和建筑能耗指数（EUI）并没有很确定的关系，如图 4.4 所示。有些 3 星级宾馆的

能耗指数比 5 星级的还要高，而能耗指数最高的为 4 星级。

(3) 宾馆入住率的影响：图 4.5 给出了所调查的宾馆平均入住率与能耗指数的关系，同样也没有很确定的关系。但也可以发现一些规律，随着入住率的升高，能耗指数 (EUI) 先逐渐增大，然后随之下降，并在 70% 左右达到最大，入住率大于 80% 后，能耗指数又有所增加。这可能是大于 70% 之后，须考虑服务设施共用系数的影响。

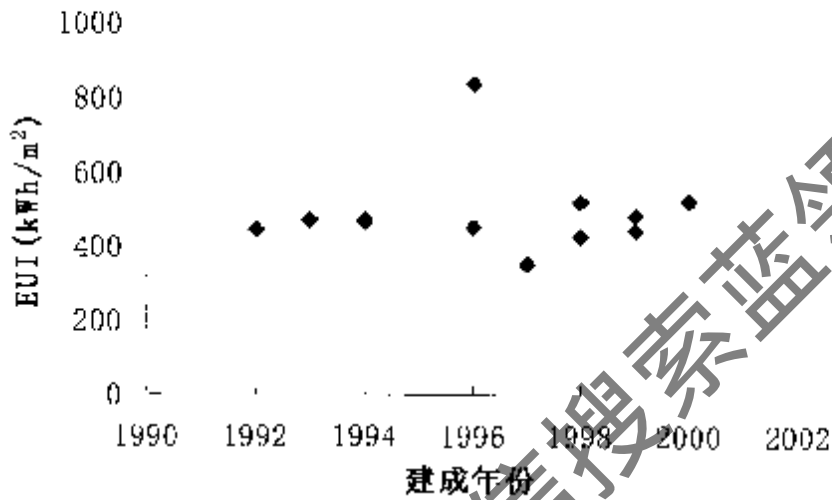


图 4.3 长沙宾馆类建筑能耗与建成年份的关系

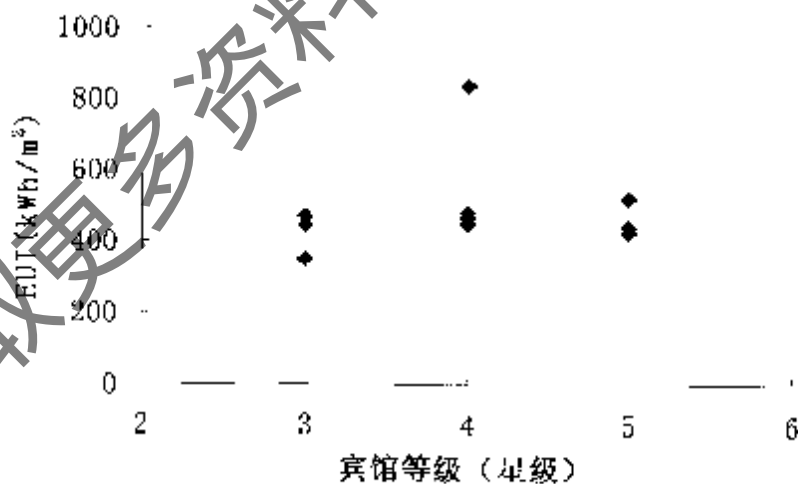


图 4.4 长沙宾馆类建筑能耗与等级的关系

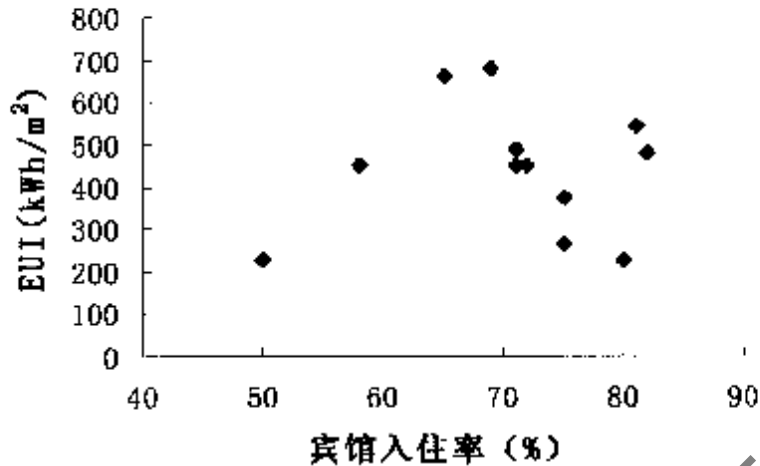


图 4.5 长沙宾馆类建筑能耗与宾馆入住率的关系

4.2.2 宾馆建筑能耗的评价

如前所述，与其它类建筑相比，宾馆类建筑的设施功能及其运行时间有自身的特点：如宾馆内的客房、餐厅、厨房、洗衣房、游泳池及其它各功能用房内的设施各不相同，有的是全天 24 小时运行的（如客房），有的只在特定时间内开放（如餐厅等）。一年之内宾馆入住率的变化也很复杂，很难得出令人满意的变化规律。宾馆餐厅有的不仅对入住客人开放，而且还对外开放。等级较高宾馆内的客房内即使没有客人入住时，空调系统一般也是保持开放的，以保证室内空气品质和舒适性。这也部分地造成了入住率对耗能情况的影响不大。根据以上分析，很难从宾馆等级，建成年份，宾馆入住率等方面考虑与宾馆类建筑能耗的关系，但是可以得到由于室外气温影响空调的运行，因此建筑能耗季节性变化明显。以上分析还发现，宾馆类建筑能耗中，空调能耗所占的比重最大，照明仅次之。因此，笔者对各宾馆内空调系统的做了重点的调查，发现空调系统的设计、运行和管理有诸多方面急需改进，故认为空调能耗也是节能潜力最大的地方。由于各宾馆照明一般均采用了节能型灯具，节能潜力不大。以下将对其中一家宾馆的建筑能耗（重点是空调系统能耗）进行具体评估，并就其节能潜力和改进措施作了研究。

4.3 长沙某宾馆建筑能耗具体分析

4.3.1 建筑概况

本文研究的宾馆位于长沙市芙蓉中路，是集餐饮、客房、娱乐、会议和写字楼于一体的四星级旅游饭店。1998 年建成并投入运营，总建筑面积 52 000 多 m²，拥有客房 340 间，写字楼 10 000 余 m²，5 个中西各异的餐厅、10 个会议厅，另设酒吧、商场，商务中心及各种娱乐项目。具体的建筑布局和主要设备如图 4.6，表 4.4 所示。酒店客房全年运营且每天 24 小时开放，入住率保持在 60%以上；写字

楼工作时间一般为周一至周五的 8:00 到 18:00。



图 4.6 长沙某宾馆建筑外观及空调主机设备图

表 4.4 长沙某宾馆建筑布局和功能分布

楼层		功能
地下室	-1 层	停车场
	-2 层	设备间 (配电房, 水泵房, 锅炉房, 制冷房等)
裙楼	1 层	酒店大堂, 西餐厅, 咖啡厅, 商店等
	2 层	酒店大堂, 中餐厅及餐厅包厢, 厨房
	3 层	中餐厅及餐厅包厢, 厨房
	4 层	美容, 健身房, 休闲中心等
	5 层	多功能厅, 歌舞厅
	6 层	游泳池
北塔楼	7-8 层	酒店办公室
南塔楼	9-15 层	客房
	16-26 层	写字楼
	27-28 层	客房
	29 层	商务客房
	30 层	会议中心

4.3.2 空调系统的现状

夏季室内设计参数为 25℃, 相对湿度 50%, 冬季 18℃, 相对湿度 50%。南北两楼拥有独立的集中式空调系统, 裙楼各层也分别属于两个系统。两个系统的冷热源方式不

表4.5 长沙某宾馆内空调系统主要设备表

设备名称		额定功率/额定制(热)量(kw)	数量(台)	总功率(kw)
南楼	离心式冷水机组	837/4221	3	2511
	冷冻水泵	220	4	880
	冷却水泵	220	4	880
	冷却塔	22.5	3	67.5
北楼	溴化锂直燃机组	12/151 额定油耗47.4kg/h	2	24
	冷冻水泵	90	3	270
	冷却水泵	165	2	330
	冷却塔	15	2	30
风冷式螺杆热泵机组		188/513	2	376
末端设备	风机盘管	207.35	889	207.35
	空气处理机		70	
合计		1976.85		5575.85

同,南楼为离心式冷水机组和燃油锅炉,北楼则采用溴化锂直燃机组。南北两个空调系统均采用二管制一级泵水系统,冷冻水和冷却水系统采用一台主机对应一台水泵,并备用一台水泵。另配备有2台风冷式螺杆热泵机组供多功能厅、歌舞厅等使用。空调系统的主要设备及其功率见表4.5,系统流程图见图4.7。

4.3.3 宾馆建筑能耗评价

4.3.3.1 能耗评价方法

如绪论中所述,建筑能耗分析有两类基本方法:一类是计算机模拟计算法,这类方法是比较完善,但由于软件比较复杂,使用起来很不方便。二类是各种简化计算法,如度日数法、当量峰值小时数法、设备满负荷小时数法、温频数(BIN)法。这些方法都十分简单、实用。笔者通过比较,最终选定了温频数(BIN)法作为基本计算方法。该方法在文献[31, 39]中有较为详尽的介绍,本文不再赘述。结合长沙地区气象数据的特点,确定有关参数如下:

(1) 假设围护结构(日射、温差)负荷和新风负荷与室外温度呈线性关系。根据一年中某温度出现的频率对建筑进行能耗估算,即统计 ΔT 频段中各温度 T 的小时数,并以该频段的中点温度作为其代表温度。该温频段的代表湿度是各温度对应湿度的平均值。

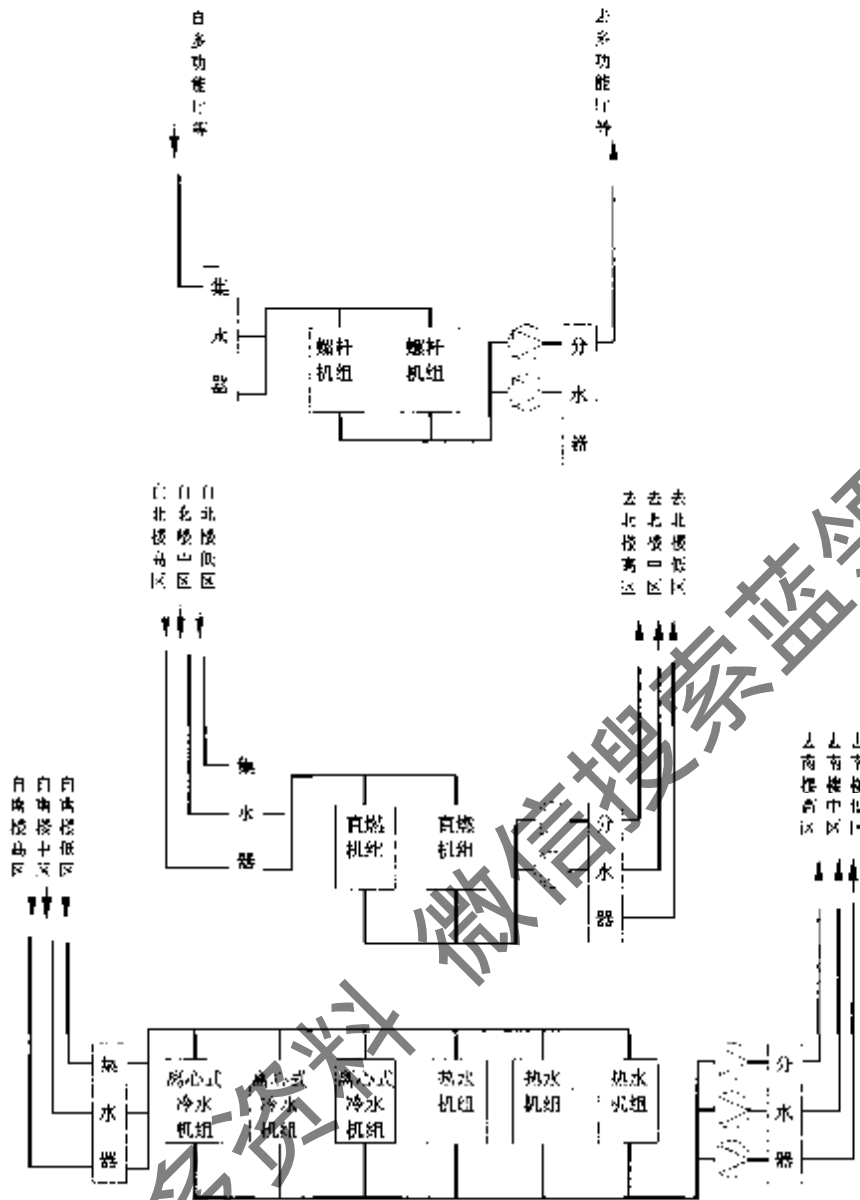


图 4.7 长沙某宾馆空调冷冻水系统图

(2) BIN 数据的温度间隔取为 $\Delta T=2^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 由于我国气象数据纪录中只有水蒸气分压力 P_q 或相对湿度 ϕ 。可由这两项参数结合大气压 B 、干球温度 T 直接换算成含湿量，这样在计算时不用再进行由湿球温度到含湿量的换算了。因此，由水蒸气分压力换算含湿量：

$$d = 622 \frac{P_q}{B - P_q} \quad (4.1)$$

式中： d ——空气含湿量, g/kg 干

P_q ——水蒸气分压力, Pa

B ——大气压, Pa 。计算中代入的是当地年均大气压。由于大气压的年波动范围一般只有千分之几,所以这种做法完全可行。

由相对湿度换算含湿量:

$$d = 622 \frac{\phi \cdot P_{q,b}}{B - \phi \cdot P_{q,b}} \quad (4.2)$$

式中: ϕ —— 相对湿度, %

$P_{q,b}$ —— 一定温度 T , 大气压 B 下的饱和水蒸气分压力。

(4) 在比较了几种常见的统计法, 包括: 参考年、典型年、能量年、日本标准年、我国标准年之后, 选定了我国标准年作为 BIN 法气象数据的统计构成法。由于在我国现有的大多数气象标准日报表中, 每天温、湿度只分别有 4 个定时值(2、8、14、20 时) 以及每天最大最小值, 所以要获得 BIN 法所必需的每天 24h 气象数据, 必须进行插值。在比较三种主要插值方式(线性插值、样条插值、拉格朗日插值) 的基础上选定拉格朗日插值为基本插值方法。

这样, 得出了全年全天 BIN 数据(如表 4.6), 可进行能耗分析。

假想空调负荷由建筑传热、太阳辐射热、内部负荷、新风负荷及其他负荷 5 部分组成。温频法是假定围护结构负荷与室外温度有着线性关系, 使计算得到 4.7。

表 4.6 全年全天 BIN 数据

温度 (°C)	湿度 (g/kg干)	频数 (h)
36.0	17.6	21
34.0	17.3	73
32.0	16.8	208
30.0	16.7	292
28.0	16.6	470
26.0	16.2	649
24.0	15.4	792
22.0	14.3	771
20.0	12.7	779
18.0	11.2	718
16.0	9.4	574
14.0	8.2	665
12.0	7.5	716
10.0	6.6	610
8.0	5.6	635
6.0	5.1	541
4.0	4.6	178
2.0	4.2	68

简化：内部负荷、新风负荷及其他负荷则按常用的计算方法，最后，得到假想空调负荷的如下计算式：

$$CL(HL)=c_1T+c_2h-c_3 \quad (4.3)$$

式中 $CL(HL)$ 为假想空调负荷 W/m^2 ； T 为室外干球温度， $^{\circ}C$ ； h 为室外空气焓值， kJ/kg ， c_1, c_2, c_3 为计算系数。参考有关文献，并根据长沙地区气象数据，确定有关系数如表4.7。

表4.7 系数 c_1, c_2, c_3, c_4 取值表

系数	C_1	C_2	C_3
	1.494	1.0625	41.81

总负荷 Q ：

$$Q = \sum_{T_{ic}}^{T_{oc}} CL \times f_T \quad (4.4)$$

式中：

T_{ic} —空调启用温度，为 $22^{\circ}C$

T_{is} —开始供暖温度，为 $10^{\circ}C$

T_{pc} —高峰冷负荷温度

T_{ph} —高峰热负荷温度

f_T —温频数，h

4.3.3.2 能耗评价

根据上述方法，对该宾馆空调能耗进行分析。表4.8为采用全年BIN数据计算的夏季空调冷负荷，表4.9为冬季供暖热负荷， $T=10-20^{\circ}C$ 为过渡季节。

表4.8 用BIN参数进行的夏季空调冷负荷计算表

BIN $^{\circ}C$	22	24	26	28	30	32	34	36
焓值 kJ/kg	47.6	49.3	56.7	63.7	72.6	79.5	82.9	87.5
时间频率, h	771	792	649	470	292	208	73	21
冷负荷 CL W/m^2	41.63	46.43	57.28	67.79	80.15	90.47	97.07	104.94
Q kWh/m^2	32.10	36.77	37.17	31.82	23.40	18.82	7.09	2.20
总负荷 (kWh/m^2)	189.37							
总耗 (kWh)	9,847,400							

表4.9 用BIN参数进行的冬季供热负荷计算表

BIN /℃	2	4	6	8	10
焓值 kJ/kg	9.1	11.0	15.5	20.1	23.0
时间频率/h	68	178	541	635	610
热负荷 HL W/m ²	-29.15	-24.15	-16.38	-8.50	-2.43
Q kWh/m ²	-1.98	-4.30	-8.86	-5.40	-1.48
总负荷 (kWh/m ²)	-22.02				
总和 (kWh)	-1 145 197.38				

因此，采用 BIN 参数计算的年假想负荷为： $189.37+22.02=211.39 \text{ kWh/m}^2$ ，总能耗为： $9,847,400+1,145,197.38=10,992,597.38 \text{ kWh}$ 。转化为一次能形式为 39.6 TJ ($1\text{T}=10^{12}$)

空调设备中冷水机组全年总能耗的计算采用冷水机组全年制冷量与部分负荷综合指标 IPLV 乘积的方法，冷水机组全年总能耗 E_1 ：

$$E_1 = Q \times IPLV_1 \quad (4.5)$$

式中： Q —冷水机组年制冷量，kW；

$IPLV_1$ —冷水机组一次能部分负荷综合值，kW/kW。

冷水机组年制冷量 Q 用空调假想负荷乘以 1.2 得到。

热泵机组的全年总能耗的计算采用的是负荷频率表法。本文修改了通常用的负荷频率表法，用 BIN 参数计算得出的负荷替代了根据与室内外温度差成正比的粗略的假设得出的负荷。根据室外干球温度及对应的冷负荷(或热负荷)，查风冷热泵的性能图可得到对应的耗功率。把它与所对应的温度的时间频率(h)相乘，乘积的总和即为热泵机组全年总耗电量。

风机、水泵设备全年能耗 E_2 的计算采用当量满负荷运行时间法。

$$E_2 = P\tau(1-r) \quad (4.6)$$

式中： E_2 —设备全年能耗，kWh；

P —设备额定输入功率，kW；

τ —累计运行时间，h；

r —效果率，反映因采用控制方法(如台数控制，变频调速控制等)而使得总能耗减小的效果； $\tau(1-r)$ 为当量满负荷运行时间，h。

以下将根据大楼内空调设备的型号，运行台数进行年能耗量的计算。表 4.10 为夏季空调设备能耗计算表。

表 4.10 夏季空调设备能耗计算表

项目		参数							
BIN, °C		22	24	26	28	30	32	34	36
时间频率 h		771	792	649	470	292	208	73	21
载想 CL W/m ²		41.63	46.43	57.28	67.70	80.15	90.47	97.07	104.94
室内负荷 Q _i kW		2597.7	2897.0	3574.1	4224.6	5001.2	5645.1	6057.0	6548.4
南楼	负荷 kW	1714.5	1912.1	2358.9	2788.3	3300.8	3725.8	3997.6	4322.0
	机组功率/制冷量 kW	837/4221							
	台数	1	1	1	1	1	1	1	2
	供冷负荷率 %	40.62	45.30	55.89	66.06	78.20	88.27	94.71	51.20
	功率比 %	40.5	44	52	62	75	88	93	49
	输入功率 kW	339.0	368.3	435.2	518.0	627.8	736.6	778.4	820.3
	耗电量 kWh	261357	291678	282471	243902	183303	153205	56824	17225.5
	总耗电量 kWh	1 489 964.6							
	负荷 kW	883.22	985.00	1215.2	1436.4	1700.4	1919.3	2059.3	2226.4
	机组功率/制冷量 kW	12/1512							
北楼	台数	1	1	1	1	2	2	2	2
	供冷负荷率 %	58.41	65.15	80.37	95.00	56.23	63.47	68.10	73.63
	IPLV	0.75	0.75	1.0	1.0	0.75	0.75	0.75	0.75
	输入功率 kW	7.92	7.92	12.00	12.00	7.92	7.92	9.00	9.00
	耗电量 kWh	6106	6273	7788	5640	2313	1647	657	189

(续表)

表 4.10 夏季空调设备能耗计算表

项目	参数							
耗油量 kg	27409	28155	30762	22278	20761	14789	5190	1493
总耗电量, kWh	30 613							
总耗油量, kg/kWh	150 838.7 / 2 011 182.0							
水泵、冷却塔总能耗, kWh	3 299 340.00							
盘管总能耗, kWh	679 278.60							

由此得到空调系统中各部分的能耗比如图 4.8 所示,可见在高层建筑中,风泵、风机等输送设备的能耗是相当大的。

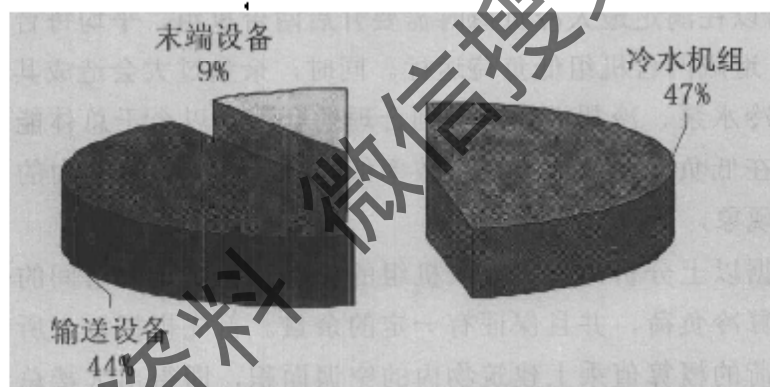


图 4.8 长沙某宾馆空调系统中各部分的能耗比

综上,夏季空调设备制冷机组总能耗为:

$$1489964.6 + 30613 + 2011182.0 = 3531759.6 \text{ kWh},$$

加上输送设备(水泵、冷却塔、盘管等末端设备)空调系统夏季总能耗为:

$$3531759.6 + 3299340.00 + 679278.60 = 7010378.2 \text{ kWh}.$$

转化为一次能形式为: 94.6 TJ

根据文献[29, 30]提供的能耗评价方法和标准,计算该宾馆的空调能耗系数 CEC:

$$CEC = \frac{\text{空调系统年能耗}}{\text{空调年假想负荷}} = \frac{94.6}{59.6} = 1.79$$

因此,该宾馆 CEC 系数为 1.79,比文献[29]提供日本的商场、饭店 CEC 的判断基准 2.5 小,但比业主对 CEC 的努力方向 2.3 大。说明该宾馆在空调系统合理运行管理(包括冷水机组、水泵等)的前提下,其建筑空调耗能方面基本达到了

标准，仍有进一步节能的潜力。

4.3.2 节能潜力分析及节能措施

根据上述能耗评价结果，经过分析，提出以下几个重点改造内容。

1. 冷水机组的选型

对冷水机组重新选型，在初投资上会有所增加，但是可对其它宾馆类建筑配置冷水机组时提供有益的参考。更换冷水机组是基于以下几点考虑：

(1) 灵活性差：由于宾馆内入住率的波动，人员流动性大，随着室外气温变化以及入住率的变动，空调负荷也在不断地变化，这就对空调冷热源出力的灵活性、应变性提出了较高的要求。但是，此大楼内原有的冷水机组只具备采用有级调节，因此不能随负荷变化而灵活调节机组，导致了大量的能源浪费。这是更换冷水机组的最主要原因。

(2) 余量过大：冷水机组的实际运行状况。从能耗评价中可以看到，室外气温为 26℃ 左右时，供冷负荷率为 56%，而每台机组的 IPLV 为 75%，实际制冷量偏大，可见单台机组的余量过大。二是在进行最大负荷计算时，最大冷负荷为 4321.96kw，所以在满足最大冷负荷时需要开启两台机组，平均每台机组的制冷量只有 2161kw，造成两台机组低负荷运行。同时，余量过大会造成其他输送动力的容量也过大，冷水泵、冷却塔没有得到合理的匹配，以至于总体能耗过大。而离心式冷水机组在低负荷下运行时机组效率低，并且由于吸气压力的降低使得机组容易出现喘振现象，严重损伤机组。

因此，根据以上分析，确定冷水机组的替换方案。根据房间的使用性质，统计、分析、计算冷负荷，并且保证有一定的余量。首先根据以上所计算的夏季空调制冷系统负荷的概算值乘上建筑物内的空调面积，即得出大楼总负荷估算值。计算出大楼空调系统的总冷负荷之后，由此选择合适的制冷机组。原来大楼采用 3 台冷水机组，而这次改造为了不造成浪费，只选择了两台机组，且两台机组的容量不同，一大一小。

以上分析还发现，空调系统的冷冻水泵和冷却水泵也存在容量过大的现象，造成了不少浪费。因此在更换制冷机组之后，为了使各子系统之间能够合理匹配，不至于造成能源的浪费，按流量重新设计了冷冻水系统和冷却水系统。

2. 节能监控系统的增派

由于大楼在设计时，空调系统采用了部分自控系统进行运行管理，但是在实际运行中，这些自控设备并没有真正发挥应有的作用，许多操作基本还是人工手动控制，造成设备运行中存在较大的能源浪费。由于设备趋于自动化和复杂化，这就对设备运行管理人员提出了更高的要求，因此必须进行运行管理培训，这对大楼今后的经济运行也非常有效。培训的内容大致包括：各工种人员对大楼空调系统改造后的认识与熟悉；运行操作人员对新设备的操作技术专业培训；保养维

修人员的维护保养技术培训；管理人员的能源管理方法培训以及加强各工种人员的节能意识等。

另外，在原有控制系统的基础上，还应增加或完善以下几个节能监控系统：

(1) 对于冷水机组，控制机组的起停，监测系统的运行，发现故障时，可立即向监测人员报警，紧急时刻可自动停机，保护机组。当用户冷量改变时，机组可自动调节制冷量范围，使机组运行在最佳状态，达到减小能耗的目的。

(2) 控制水系统。将冷却水泵和冷冻水泵与冷水机组进行联动控制，以保护机组正常运行。

(3) 房间内风机盘管系统采用多档或无级调节方式，即用户根据自己的需要手动调节风机盘管的风量来调节冷量。

3. 风机盘管的设置改造

笔者在调查中，发现风机盘管存在以下问题：

(1) 气流短路

客房安装的风机盘管送出的气流发生了短路，气流从送风口出来后没有经过一段足够的射程而是直接回到回风口。造成送回风气流短路的原因是风机盘管送风方向或送风形式不合适。单侧送风方式依靠送风射流到达对面的墙壁处，然后下降回流，使整个工作区全部处于回流之中。为避免射流中途下落，需采用贴附射流。但是在测试中发现房间风机盘管的送风口风速过小，因而未形成贴附射流。

(2) 风机盘管风速过小

风机盘管回风口空气过滤器的清洁状况不佳，导致回风口阻力过大，风速过小。根据上述原因，选择了卧式暗装风机盘管，并将风机盘管改在房间入口处，采用上送风方式。经测试，这种布置方式可以明显改善房间的气流组织。

第 5 章 办公建筑能耗评价与节能措施的分析

5.1 前言

2003 年 8 月 31 日,长沙南北交通主动脉芙蓉路实现全线贯通,与 2000 年拓改的五一大道构成一个巨大的坐标,一起撑起了长沙的交通新格局。以五一市民绿化广场为圆心,以五一大道为轴的五一广场商务圈,以商业为主打、以商业带动商务。

芙蓉中路 CBD(中心商业区)建成以后,将集中长沙大部分金融、商务、文化、服务机构和大量的商务办公酒店、公寓等配套设施,并使长沙更具备完善便捷的交通、通信等现代化基础设施和良好环境。根据《长沙市城市总体规划(2000—2020)》,在“城市功能分区”中提出了建设长沙中央商务区的构想:“以中心绿化广场为核心,东起韶山路,西至蔡锷路,北起展览馆路,南至人民路,而积约 3 平方公里,集商务办公、信息、文化、娱乐于一体”,一个以五一大道与芙蓉路交叉口为中心,以财富金融为特征的带状 CBD 正在长沙形成。仅以芙蓉路为轴心的金融商务圈内,沿途数十座高层写字楼,办公楼参差林立。

这些商务建筑,如办公楼、银行,有许多相似的特点:如高层、安装有中央空调系统等。有的办公建筑中还含有其它多种用途,如商店、餐馆等。高层办公建筑一般由办公用的标准层和综合服务用的公共用房组成。标准层和公共用房在使用时间上存在差异。这类建筑的密封性较好,具有较高的窗墙面积比,甚至采用全玻璃幕墙结构,自然通风的可能性不大。因此其室内空气品质及热舒适性由强制通风或者空调系统来完成;室内采光主要靠照明,要求有良好的室内照明;现代化通信、网络、楼宇自动化和办公自动化系统必不可少,计算机成为每个工作人员必备的工具,室内发热设备明显增加。电力是办公建筑的主要能源,尽管相应的替代能源应用与推广一直是许多研究的热点,比如太阳能。而其中的照明与空调能耗占整个建筑总能耗的比例越来越大,成为主要能耗。

许多办公建筑是由开发商建造的,而租赁这些办公建筑的业主将支付其能源消耗的费用。因此,他们非常希望能采取有效的措施减少能源的消耗,节省费用。有研究表明,空调系统的能耗占典型商业建筑年电力消耗的 43%,是能耗的最大部分;仅次于的是照明,占 34%。现代化办公建筑的功能和使用特点决定了其负荷特性。如何根据负荷特性,在保证室内空气品质的前提下,提高设备和系统的效率,以减少能耗,减少总费用,减少污染,成为各空调系统设计的主要任务。

本文,笔者将对办公建筑的能耗进行评价与分析,并结合某一实际工程对全年负荷特性进行分析,该工程的空调系统型式是国内办公建筑常用的:风机盘管和

独立新风，而大空间房间（如会议室等）为定风量全空气系统。

5.2 建筑能耗一般性分析

5.2.1 数据样本及来源

笔者对长沙地区 5 座办公建筑能耗情况进行了调查和实测研究，建筑物的基本数据参数如表 5.1 所示。

表5.1 长沙典型办公建筑的建筑基本参数及能耗情况表

建筑	1	2	3	4	5
高度, m	68.5	45	92.1	113.2	30
层数	14	7	24	29	5
总建筑面积, m ²	82, 100	5227	10, 950	18, 671	5452
有效围护结构面积, m ²	18, 200	3410	8488	10, 026	4106
窗墙比, %	28%	34%	55%	52%	60%
屋顶天窗面积比, %	5%	0%	0%	3%	0%
空调系统方式	SZ/FC	FC	VAV/FC	FC	SZ
工作时间	7-11	7-11	7-11	7-11	9-5
建筑用途	3	2	2	3	1
建筑外观形式	C	B	A	B	D
年空调负荷, kWh	961, 245	133, 270	288, 830	347, 720	147, 530

表中，空调方式：FC-末端为风机盘管加独立新风；SZ-分层设立独立式空调机组，由室外新风与室内回风混合后送入空调区域；VAV-终端采用了变风量调节的独立式空调机组。

工作时间：9-5 指该办公建筑仅在白天工作时间使用，即只作办公用途；7-11 是考虑了建筑物内其它用途的运营时间。

建筑用途：1-仅作办公用；2-主要办公+商场（餐馆）；3-主要办公+部分住宅。

建筑外观形式：建筑具有不同外形几何特点，A、B、C、D 标记的具体形式见图 5.1。

5.2.2 办公建筑能耗影响因素分析

以下将对影响办公建筑能耗的因素进行分析。由于办公建筑的人员、照明、设备变化不大，常年保持稳定，其产生的建筑负荷是稳定的，因此这些因素对建筑能耗的影响不大。以下将从建筑面积，室外温度，逐时、逐月变化等几个方面来考虑。

5.2.2.1 建筑面积

图 5.2 显示了所调查的办公建筑的总建筑面积与年空调能耗之间的关系。由图中发现，随着建筑面积的增大，空调能耗明显减小。这可能是由于在面积较小的建筑物内，内部区域面积也相对较小，大部分房间都至少有一面墙是外部围护结构，因此得热较多。另外，大的建筑面积，由于空调面积较大，其共用系数也较大。

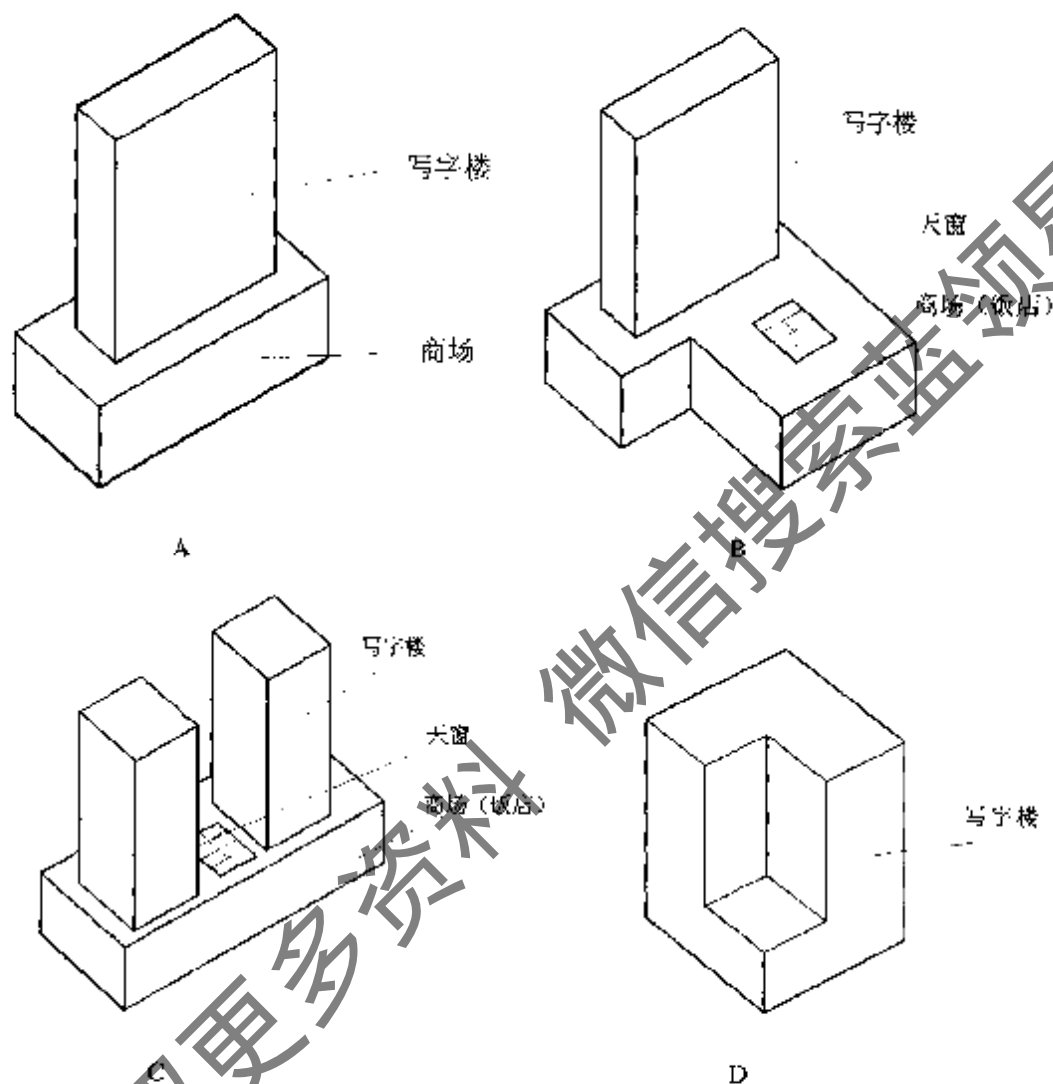


图 5.1 办公建筑的典型外观

图 5.3 显示了年空调能耗与围护结构面积的关系。由此可以看到，随着围护结构面积的增大，空调能耗也显著增加，这是由于从围护结构传入室内的冷（热）负荷增多。有研究表明这部分负荷在年空调总负荷中的比例占到 90% 以上，其中太阳辐射占 60%，外墙导热占 20%，玻璃导热占 10%，屋顶导热占 2%。因此，控制有效围护结构的面积，有利节省空调能耗。

图 5.4 显示了年空调能耗与窗墙面积比的关系。由图中很难得到令人满意的关系，虽然从总体上看是窗墙面积比越大，其空调能耗也越大。现代办公建筑越来越注重外部的美观，因此增加了窗户或玻璃幕墙的面积，这可能会增加由窗导入

室内的热量。但是，有的建筑窗户采用高性能的玻璃，甚至是双层玻璃，且所有的建筑物室内都安装有窗帘，因此，有效地减小了这部分得热。

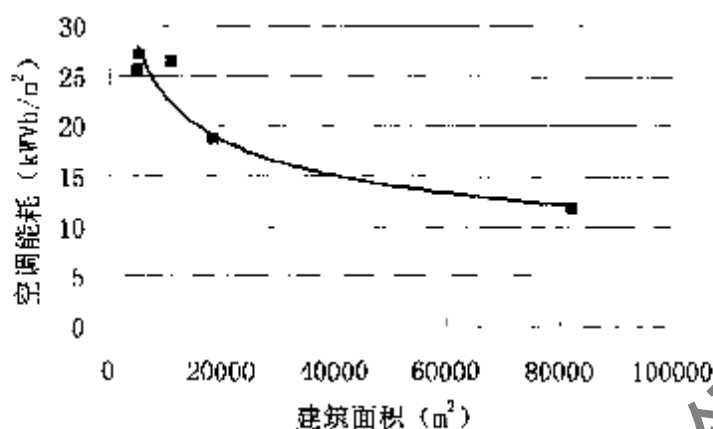


图 5.2 办公建筑的总建筑面积与年空调能耗之间的关系

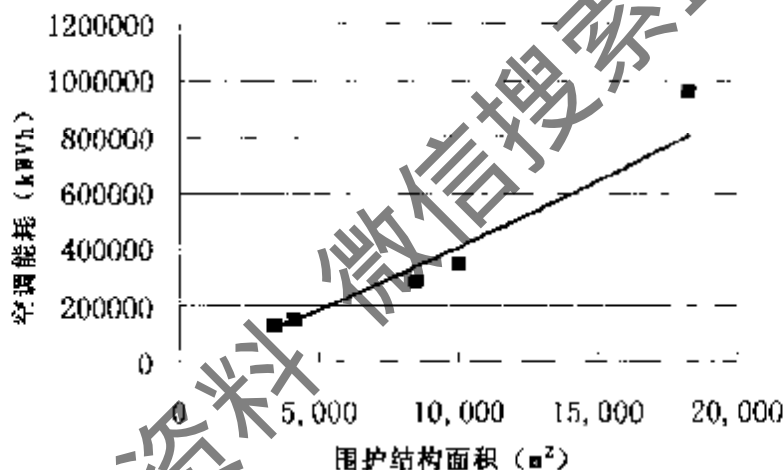


图 5.3 办公建筑的围护结构面积与年空调能耗之间的关系

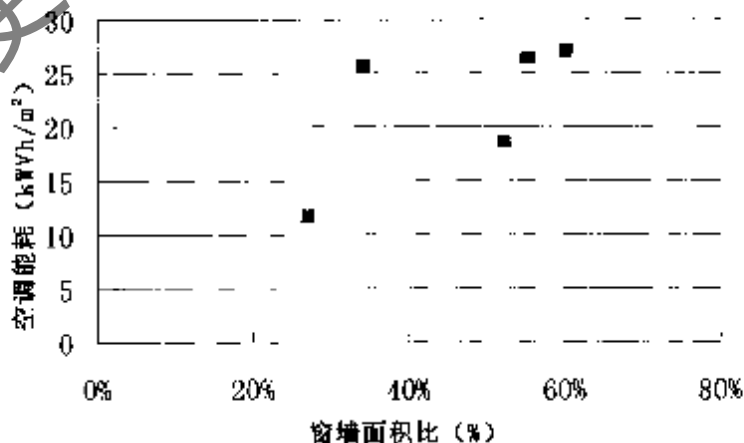


图 5.4 办公建筑的窗墙面积比与年空调能耗之间的关系

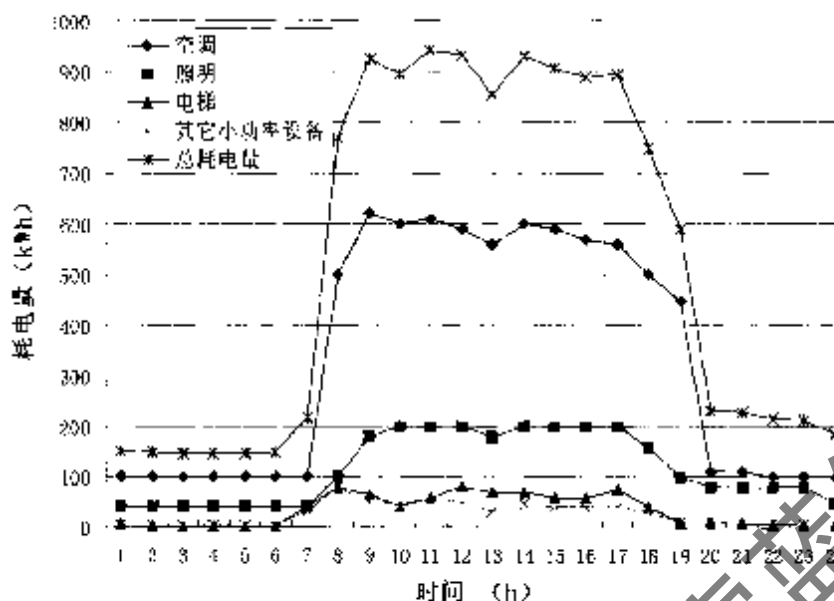


图 5.5 3#办公楼夏季一天各部分逐时耗电量

5.2.2.2 一天内的逐时变化

图 5.5 显示了 3#办公楼夏季一天各部分逐时耗电量，其中空调系统的运行时间为 8:00-19:00。由图中可以发现，各部分及总耗电量从上午 7 点开始上升，一直保持至下午 18:00 开始下降，其间中午 12:00 到 14:00 出现小幅回落。这是由于大部分公司采用的是早 9 晚 5 的作息时间，而另外一些公司则执行早 8 晚 6，中午休息 2 小时的作息时间。因此在 7:00-9:00 期间出现电梯使用的高峰，而空调系统开始启动又增加空调能耗。部分公司中午休息使得空调、照明、办公设备的能耗出现回落，但幅度不大，一是由于采用这种作息时间的公司并不多，二是即使采用这种作息时间的公司也有员工选择在办公室内休息。下午 17:00 开始下班，又出现了电梯使用的高峰，空调、照明、办公设备的能耗则开始减小。而底层的商店营业时间一般都到晚上 22:00-23:00，因此晚上 20:00-22:00 照明、通风等仍有部分能耗，且相对较稳定。

办公建筑室内人员、照明、小功率耗电设备等有规律变化，因此由这些因素导致的相应空调冷（热）负荷的变化也呈现相似的规律（如图 5.6 所示），这部分负荷是不随室外温度的变化而变化的。可见，室内单位面积产热量的峰值出现在 9:00-12:00，其最大值为 $55\text{W}/\text{m}^2$ ，约为全天平均值（ $26.8\text{W}/\text{m}^2$ ）的 2 倍。

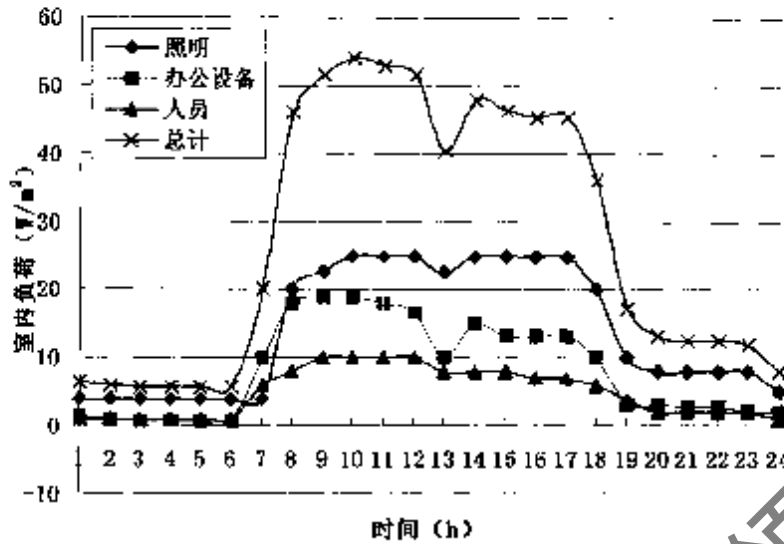


图 5.6 3#办公楼单位面积室内负荷逐时变化

5.2.2.3 一年内的季节性变化

办公类建筑中，空调系统的运行与气温相关，季节性变化的特征明显，而空调能耗在总能耗中所占的比重又相当大（平均达到 43%），因此建筑总能耗也都表现出随季节性变化的规律。其它系统的能耗（比如照明、人员、小功率耗电设备等），能耗则相对稳定。图 5.7 显示了 3#办公楼空调负荷的逐月变化。由图中可以发现，一年之中能耗最大的时期为夏季（7 月、8 月、9 月），此时长沙地区的气温高，空调负荷大引起耗能量增多；冬季（1 月、2 月、12 月）为供暖能耗，较夏季空调负荷小；过渡季节（3 月、4 月、11 月）能耗量小，这是由于这些时期气温适中，空调开启时间短甚至可以不开，只需开启通风设备引入新风即可。室外气温对办公建筑总能耗有重要影响。

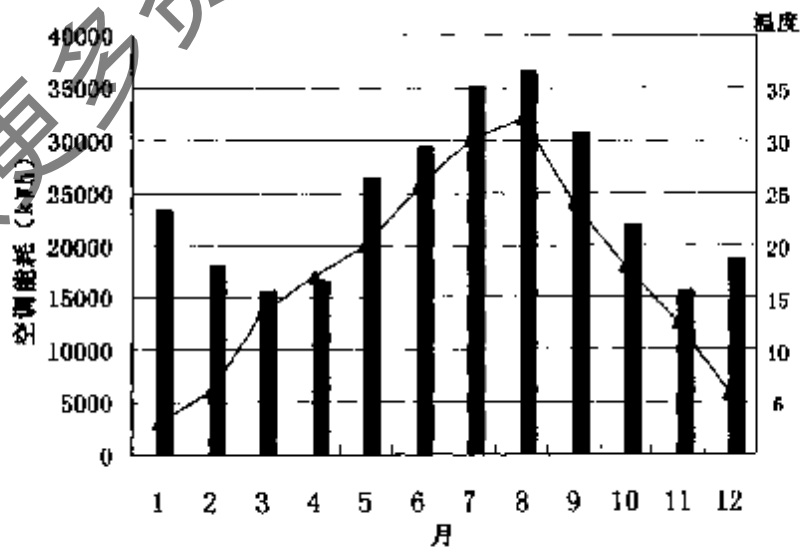


图 5.7 3#办公楼空调负荷的逐月变化

5.2.3 办公建筑能耗评价

前文分析了，办公建筑的特点：室内人员、照明、设备负荷是稳定的，这些因素对全年建筑能耗的变化影响不大；工作日（周一至周五）运营时间为 8:00-18:00，空调运行时间一般为 8:00-19:00，因此一天之内耗能时间主要集中在这一期间。以上分析还发现，办公类建筑能耗中，空调能耗所占的比重最大，照明次之。因此，笔者对办公建筑内的空调系统做了重点的调查和能耗评价，以下将以其中一家办公建筑为例，采用 BIN 法对其建筑能耗（重点是空调系统能耗）进行具体评估，并就其节能潜力和改进措施作了研究。结果表明，空调能耗的节能潜力最大，在设计、运行管理等方面都有待改进。

5.3 长沙某办公建筑能耗具体分析

5.3.1 建筑概况

本文研究的办公楼位于长沙市韶山中路，此办公楼共 13 层，建筑高度 42m，总建筑面积 8625m²，1998 年建成并投入使用。该办公楼工作时间为周一至周五的 8:00 到 18:00（午间休息 2 小时），周末及节假日休息。除了 1 楼作店面（不设空调）用之外，2-13 楼全部办公用标准层，且安装有中央空调系统，具体的建筑外观与机房布置如图 5.8。

5.3.2 空调系统现状

空调面积 7300m²，夏季室内设计参数为 25℃，相对湿度 50%，冬季 18℃，相对湿度 50%。办公室、档案馆、阅览室等采用新风加风机盘管系统，会议室、多功能厅采用吊装式空调机组。冷源为两台螺杆式冷水机组，热源为中央热水机



图 5.8 长沙某办公楼建筑外观及机房设备图

组，均采用二管制一级泵水系统，每台冷水机组分别配备两台冷冻水泵和两台冷却水泵（一备一用），并联运行。主要设备情况见表 5.2。

表5.2 长沙某办公楼空调系统主要设备表

设备名称	设备情况		
制冷机组	制冷量 549kW	额定功率 123 kW	2 台
热水机组	制热量 300 kW	额定功率 80 kw	2 台
冷冻水泵	额定功率 11 kW		2 台
冷却水泵	额定功率 11 kW		2 台
冷却塔	额定功率 4kW		2 台
风机盘管	总功率 29 kW		145 台
吊装式空调机组	总功率 3.2 kW		8 台
照明（直管荧光灯）	总功率 30 kW		
冷冻水泵	额定功率 11 kW		2 台
冷却水泵	额定功率 11 kW		2 台
冷却塔	额定功率 4kW		2 台
风机盘管	总功率 29 kW		145 台
吊装式空调机组	总功率 3.2 kW		8 台
照明（直管荧光灯）	总功率 30 kW		

5.3.3 全年能耗分析

根据该办公楼 2002 年运行记录的统计，空调系统夏季运行时间约为 1121 小时，冬季供暖时间约为 1080 小时，照明及其它办公设备运行时间按工作时间（约为 2607 小时）计算。图 5.9 给出了空调系统、照明及其它办公设备的耗电比例，该办公楼空调系统的耗电量达到 55%。图 5.10 了空调系统内各部分能耗比例，可见冷水机组所占的部分最大，达到 60%，水输送系统的能耗也相当大，达 28%。

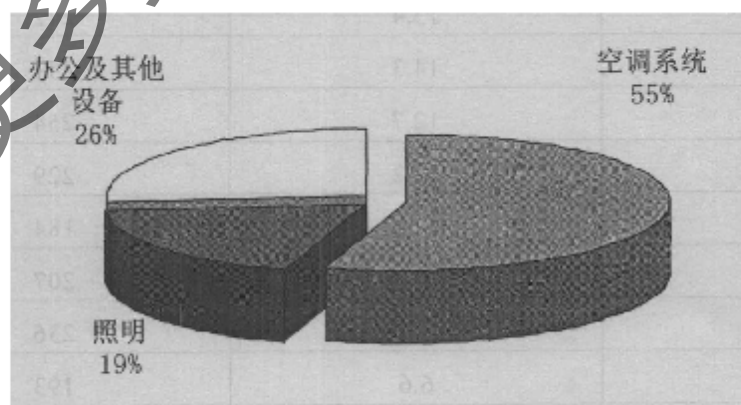


图 5.9 长沙某办公楼内空调照明与办公用电的比例

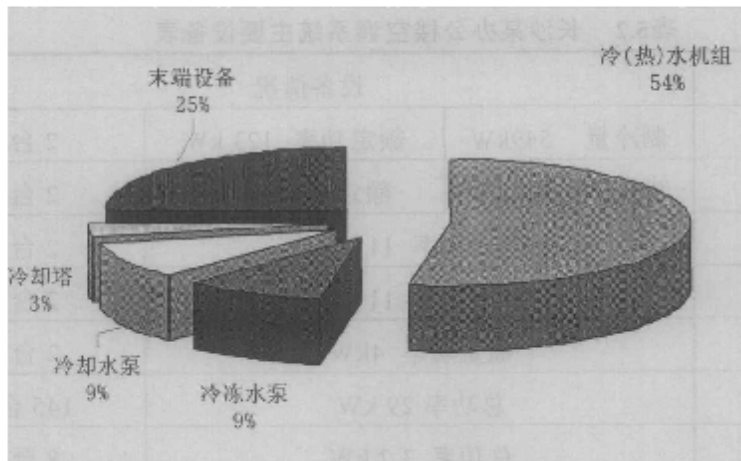


图 5.10 长沙某办公楼内空调系统各部分能耗比例

5.3.4 办公建筑能耗评价

5.3.4.1 能耗评价方法

选用温频数(BIN)法作为基本计算方法来估算办公建筑年负荷。该方法已在 3.3.3 节详细介绍了，故不再赘述。所不同的是，由于该办公建筑工作时间为 8:

表 5.3 全年 8:00-18:00 BIN 数据

温度 (°C)	湿度 (g/kg干)	频数 (h)
36.0	17.6	11
34.0	17.3	41
32.0	16.8	95
30.0	16.7	122
28.0	16.6	158
26.0	16.2	202
24.0	15.4	242
22.0	14.3	251
20.0	12.7	254
18.0	11.2	229
16.0	9.4	184
14.0	8.2	207
12.0	7.5	236
10.0	6.6	193
8.0	5.6	206
6.0	5.1	159
4.0	4.6	54
2.0	4.2	24

00-18:00, 空调运行时间为 7:00-17:00, 所以应当采用工作日 (周一至周五) 8:00-18:00 的 BIN 数据, 如表 5.3。

按长沙的气象数据, 并参照有关文献^[39-40], 对于本办公楼有以下负荷计算公式:

夏季显冷负荷:

$$CL_s = 2.89T - 58.90 \quad (5.1)$$

夏季潜冷负荷:

$$CL_d = 3.12d - 34.94 \quad (5.2)$$

冬季显热负荷:

$$HL_s = 2.76T - 43.67 \quad (5.3)$$

冬季潜热负荷:

$$HL_d = 2.49d - 11.69 \quad (5.4)$$

令式(5.1)为 0 得到夏季空调开机温度 $T_{ic}=20.4^{\circ}\text{C}$, 又令式(5.3)为 0 得到开始供暖温度为 $T_{ih}=15.8^{\circ}\text{C}$ 。

总供冷量 QC :

$$QC = \sum_{T_{ic}}^{T_{ih}} (CL_s + CL_d) \times f_r \quad (5.5)$$

式中:

T_{ic} —高峰冷负荷温度

T_{ih} —高峰热负荷温度

f_r —温频数, h

5.3.4.2 能耗评价

根据上述方法, 对该办公楼空调能耗进行分析。表 5.4 为采用全年 BIN 数据计算的夏季空调冷负荷, 表 5.5 为冬季供暖热负荷, $T=14\sim 20^{\circ}\text{C}$ 为过渡季节。

表 5.4 用 BIN 参数进行的夏季空调冷负荷计算表

BIN, $^{\circ}\text{C}$	22	24	26	28	30	32	34	36
湿度 g/kg	14.3	15.2	15.9	16.1	16.3	16.5	17.3	17.6
时间频率, h	351	339	283	221	171	133	57	15
显冷负荷 $CL_s, \text{W}/\text{m}^2$	4.68	10.46	16.24	22.02	27.80	33.58	39.36	45.14
潜冷负荷 $CL_d, \text{W}/\text{m}^2$	9.68	12.48	14.67	15.29	15.92	16.54	19.04	19.97
总冷负荷 $CL, \text{W}/\text{m}^2$	14.36	22.94	30.91	37.31	43.72	50.12	58.40	65.11
$Q, \text{kWh}/\text{m}^2$	5.04	7.78	8.75	8.25	7.48	6.67	3.33	0.98
总供冷量 (kWh/m^2)	48.26							
总能耗 (kWh)	352.272							

表5.5 用BIN参数进行的冬季供暖热负荷计算表

BIN, °C	2	4	6	8	10	12	14
湿度, g/kg干	4.2	4.6	5.1	5.6	6.5	7.3	8.2
时间频率, h	24	54	159	206	193	236	207
显热负荷 CL_s , W/m^2	-38.15	-32.63	-27.11	-21.59	-16.07	-10.55	-5.03
潜热负荷 CL_l , W/m^2	-1.23	-0.24	1.01	2.25	4.50	6.49	8.73
总冷负荷 CL , W/m^2	-39.38	-32.87	-26.10	-19.34	-11.58	-4.06	3.70
Q , kWh/m^2	-0.95	-1.77	-4.15	-3.98	-2.23	-0.96	0.77
总供冷量 (kWh/m^2)	-13.28						
总能耗 (kWh)	-96 948.1						

因此, 采用 BIN 参数计算的空调系统年假想负荷为: $48.26+13.28=61.54 kWh/m^2$, 总能耗为: $352 272+96 948.1=449 220 kWh$, 转化为一次能形式为: 1.62TJ。

空调设备中冷水机组、热泵机组、泵与风机全年能耗的计算方法见本文 3.3.3 节, 计算结果如表 5.6, 5.7 所示, 水泵、末端、冷却塔、照明等设备的运行能耗见表 5.8。

表 5.6 长沙某办公楼夏季空调设备能耗计算表

BIN, °C	22	24	26	28	30	32	34	36
时间频率, h	351	339	283	221	171	133	57	15
假想 CL_s , W/m^2	14.36	22.94	30.91	37.31	43.72	50.12	58.40	65.11
室内负荷 Q , kW	104.83	167.46	225.64	272.36	319.15	365.87	426.32	475.30
机组功率/制冷量, kw	123/549							
运行台数	4	1	1	1	1	1	1	1
供冷负荷率, %	19.1	30.5	41.1	49.6	58.1	66.6	77.7	86.6
功率比, %	25	33	41	48	56	60	75	81
输入功率, kw	30.75	61.5	61.5	61.5	92.25	92.25	123	123
耗电量, kwh	10793	20848	17404	13591	15774	12269	7011	1845
总耗电量, kwh	99 537							

表 5.7 长沙某办公楼冬季供暖设备能耗计算表

BIN, °C	2	4	6	8	10	12
时间频率, h	24	54	159	206	193	236
假想 CL, W/m ²	-39.38	-32.87	-26.10	-19.34	-11.58	-4.06
室内负荷 Q _i , kW	287.5	239.9	190.5	141.2	84.5	29.6
机组功率/制冷量, kw	80/300					
运行台数	1	1	1	1	1	1
供冷负荷率, %	95.8	80.0	63.5	47.1	28.2	9.9
IPLV	1	1	0.75	0.5	0.5	0.25
输入功率, kw	80	80	60	40	40	20
耗电量, kwh	1920	4320	9540	8240	7720	4720
总耗电量, kwh	36 460					

表 5.8 长沙某办公楼其它设备能耗计算表

设备	额定功率, kW	运行时间, h	总能耗, kWh
冷冻水泵	11	2201	24 211
冷却水泵	11	2201	24 211
冷却塔	4	2201	8 804
风机盘管	总功率 29	2201	63 829
吊装式空调机组	总功率 3.2	580	1 856
合计			122 911
照明 (直管荧光灯)	总功率 30 kW	2607	78 210

综上, 空调设备总能耗为:

$$99, 537+36, 460=135, 997 \text{ kWh},$$

加上输送设备 (水泵、冷却塔、盘管等末端设备) 空调系统夏季总能耗为:

$$135, 997+122, 911=258, 908 \text{ kWh}. \text{ 转化为一次能的形式为: } 3.26 \text{ TJ},$$

同样, 参考文献 [29, 30], 计算该办公楼的空调能耗系数 CEC:

$$CEC = \frac{\text{空调系统年能耗}}{\text{空调年假想负荷}} = \frac{3.26}{1.62} = 2.0.$$

因此, 该宾馆 CEC 系数为 2.0, 比文献 [29] 提供日本的办公楼 CEC 的判断基准 1.5 大 30% 以上。说明该建筑在空调耗能方面, 与日本有较大的差距。还有待于发展进步, 节能潜力很大。

5.3.4 节能潜力分析及节能措施

5.3.4.1 冷水机组的节能分析

由以上分析可知,一年之中空调系统在部分负荷下运行的时间较多(见表 5.6),因此全年耗能量与制冷机组部分负荷下的工作性能有关,见表 5.9。机组负荷率在 40%-90%之间时,机组功率百分数低于负荷率,说明运行效率高。而当机组负荷率低于 40%时,情况正好相反。根据室外气象条件及运行记录看,冷水机组配备容量偏大,大部分时间在部分条件下运行,当温度小于 26℃时,机组负荷率小于 40%。全年大部分时间可以只开一台主机,配一台冷冻水泵、一台冷却水泵,其余设备备用。极端条件下,负荷大于一台主机的容量,应采用下列运行方案:先开启一台主机,由小到大调节其冷量以,满足实际负荷变化要求,直到出力不够时,再开启另一台,并且保持第一台的满负荷运行,而第二台随负荷变化进行调节。但是,有研究发现,当离心式制冷机在设计负荷的 15%以下运行时出现喘振,因此必须保证冷水机组的负荷率不得低于 15%,否则停机。调整水路系统,改变管路特性曲线使冷水泵运行在最佳工作点上。

表 5.9 离心式冷水机组部分负荷性能参数 (%)

负荷率	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
功率比	100	87	76	65	56	48	40	33	25	21

通过合理减少设备的运行台数,能有效提高冷水机组和水泵的运行效率,使空调系统达到节能的目的。笔者比较了,当负荷率在 80%下,开启一台主机和同时开启两主机的能耗情况(如表 5.10 所示)。开启两台主机时,负荷率分别为 50%和 30%。发现开启一台主机时,能效比(EER)最高,达到 4.70。调整冷冻水系统运行,使单台运行时,冷

表 5.10 空调系统调整主机运行台数的节能分析

		开启 2 台		开启 1 台
		1#机	2#机	1#机
冷水机组	负荷率%	50	30	80
	输入功率, kW	59.4	40.6	93.5
	EER	4.62	4.05	4.70
冷冻水泵	效率	48	32	78
	输入功率, kW	10.2	9.1	12
	流量, m ³ /h	42	22	80
冷却水泵	输入功率, kW	11	11	11
	流量, m ³ /h	112	98	112
冷却塔	输入功率, kW	1.6	1.5	2
合计		83.2	62.2	118.5
系统总功率, kW		145.4		118.5
系统总 EER		3.02		3.71

冻水泵的流量加大到设计流量附近，单台水泵的功耗增加；冷却水系统不变。由于单台冷水机组的负荷加倍，到达 80%，属于高效运行区，故系统的总能效比上升，提高了近 23%，空调系统的总能耗也可以减小： $145.4-118.5=26.9\text{kWh}$ 。

5.3.4.2 水系统的节能分析

空调水系统运行时，普遍存在大流量小温差的问题。夏季冷水系统的送回水温差一般为 $1-2^{\circ}\text{C}$ ，最好也只有 3°C 。水流量却达到设计流量的 1.3 倍。而水输送系统的能耗在整个空调能耗中的比例是相当可观的，因此水系统的节能潜力也是很大的。采用变流量技术，不改变管路特性，改善水泵运行工况，使其保持在最高效率点运行，以达到节能的目的。由于流量的变化与功率的变化比成三次方关系，因此对于该空调系统，减小水流量就能保证水系统设备的能耗明显降低。

5.3.4.3 室内空气参数的调节

在空调设计中，需首先确定室内设计参数，有的设计盲目追求舒适性，降低空调设计温度，增加了能耗。因此，必须合理确定空调设计温度，在满足舒适性要求的前提下尽可能减小能耗。表 5.11 给出了不同的室内设计温度、湿度与空调系统年能耗量的关系。由表中发现，升高温度和相对湿度都会使能耗降低。本办公楼空调设定温度为 25°C ，相对湿度 50%。而在实测中发现室内平均温度为 23°C ，大部分房间温度过低，因此采用该措施节能潜力很大。表 5.11 中所列的工况都在舒适性范围内，当空调设定温度提高到 26°C ，相对湿度提高到 60%，能耗可节省 6%。

表 5.11 不同的室内设计温度湿度与空调系统年能耗量的关系

设计工况	干球温度, $^{\circ}\text{C}$	相对湿度, %	舒适度	耗电量, kWh
1	24	50	稍凉	104 340
2	25	50	舒适	99 537
1	26	50	舒适	94 674
4	24	60	舒适	103 277
5	25	60	舒适	98 451
6	26	60	舒适	93 624

结 论

2004年,长沙全社会固定资产投资占到全省总量的三分之一,在全国26个省会城市中投资总量由上年的第10位提升到第8位,其增速由上年第12位上升到第6位。从全社会固定资产投资结构看,基本建设投资占比为42.3%;房地产开发投资占比为26.3%,为175亿元;更新改造投资占比为14.1%,达到94亿元^[41]。房产开发和更新改造投资主要用于民用建筑,包括居民住宅、商业用房、办公用房、教育科研用房、文化体育场馆等的建设。以上除居民住宅外,其它用于各类公共活动的民用建筑可统一称为公共建筑。不同类型的公共建筑因其规模、功能的差异,年均能源消耗总量、单位面积能耗指数、能耗变化规律等都不相同。

本文调查研究了长沙市几十家大中型商场、各类星级宾馆(五星级4家、四星級4家、三星級4家)、中高级写字楼的能耗情况,分析照明、设备、空调系统的能耗用能特点。其中所调查的大部分公共建筑建筑面积都在2万 m^2 ,且采用中央空调系统。

根据调查发现,大型公共建筑的用能主要是电力消耗,长沙市各类大型公共建筑的全年耗电平均约为100-1000 kWh/m^2 (其中宾馆类建筑的消耗量最大)是普通城市住宅单位面积用电量的15倍以上。据此计算,大型公共建筑虽然仅占长沙市民用建筑总面积的10%,其总电耗却占到全市民用电量的近40%。大型公共建筑的用电主要集中在空调、供热、照明、办公设备、电梯等多个系统,其中空调与供热能耗占了其中最大份额。夏季由于空调系统的使用,用电量要明显高于其他季节,因此全年用电受室外温度的影响季节性变化明显。由于商场、办公楼和宾馆的功能不同,其能耗情况也有其各自的特点。

1. 商场能耗分析

商场营业时间通常为9:00~22:00,每天达13h之多,而且全年基本没有节假日,因此其单位面积能耗在大型公共建筑中是最高的。笔者对全市8家大型商场2003年的电耗情况做了分析,各商场年总耗电量一般在200~300 kWh/m^2 之间。以其中一家大型商场为例,具体分析其耗能情况。空调、供热系统耗量所占比重最大,达到56%,其中40%为夏季空调制冷(电力),16%用于冬季供暖(石化燃料);其次为照明用电,达12%;其它设备(主要为电梯用电)10%;其余的22%(石化燃料)用于商场和快餐店的烹饪。空调系统中,用于商场室内空调的盘管、风柜电耗占49%;冷水泵、冷却水泵和冷却塔电耗合计占20%;风机用于室内通风换气,全年运行耗电达4%;另有27%用于商场内食品的冷藏。由于一天和一周之内,顾客流量的周期性变化显著,故带来空调负荷也表现出相似的规律。一年之内电力和石化燃料随季节的变化呈周期性波动,但两者增减的趋势是相反的:夏

季电力需求大, 冬季燃料的消耗增加。

2. 宾馆建筑能耗分析

与其它类型的商业建筑相比, 宾馆类建筑具有其特殊性: 比如宾馆内的不同功能的设施具有不同的运营时间; 全年入住率的变化引起宾馆内人员负荷的变化; 室内环境及空调参数的选择因客人的要求而调节。这些因素都将导致宾馆内各服务设施不同的运营时间表, 并由此产生不同能量消耗状况。虽然营业时间长, 但是由于受到旅游季节变化和入住率波动的影响, 多数时间是在部分负荷下工作。笔者对全市 12 家星级宾馆做了调查, 从能源使用类型、宾馆入住率, 等级, 建成年份等多个方面, 考虑了影响宾馆类建筑能耗变化的因素。宾馆类建筑使用的能源包括: 电、液化石油气、柴油、煤。通过分析, 发现其能耗与宾馆入住率, 等级, 建成年份等关系不大, 但受季节性变化明显。长沙宾馆类建筑总能耗中, 34% 用于采暖通风空调, 12% 用于照明, 4% 用于电梯, 其它类设施耗能占到 18%, 另有 32% 的非电类能源被消耗。宾馆类建筑普遍采用风机盘管加新风的空调方式。夏季空调系统中, 制冷机电耗占 47%, 冷水泵、冷却水泵和冷却塔电耗合计占 44%, 末端设备占 9%。可见高层建筑中用于水、风输送设备的耗电量是非常多的。

3. 办公建筑能耗分析

办公建筑比商场和宾馆类建筑的工作时间短, 全年使用时间约为 200~250 天, 按每天工作从 8:00-18:00, 各设备全年运行时间约为 1600~2000 h。所调查的办公楼全年用电量为 110-180kWh/m² 之间。并从建筑面积、围护结构面积、窗墙面积比, 室外温度, 逐时、逐月变化等几个方面来考虑了影响建筑能耗的因素。以其中一家办公楼为例, 具体分析其各用电设备的电耗情况。办公楼用电量中, 空调系统所占比重最大, 达到 55%, 其次为照明和办公设备, 分别为 19% 和 26%。空调系统中, 冷(热)水机耗电占 54%, 冷水泵、冷却水泵和冷却塔电耗合计占 21%, 末端设备占 25%。

4. 公共建筑的节能潜力

商场、宾馆和办公楼等大型公共建筑相互之间存在较大的能耗差异, 并采用 BIN 法对建筑全年能耗进行了模拟和评价, 表明这类建筑具有很大的节能潜力。笔者通过对其中代表性建筑的具体分析, 总结出了一些可行的节能方案。包括优化设计、设备选型、系统改造、运行管理、自动控制等诸多方面, 都提出了一些有益的建议。综合利用各类建筑节能技术, 可实现 30%~50% 的节能效果, 节能潜力巨大。

5. 后续工作

本文下一步的研究工作有待于针对以下问题展开:

(1) 由于条件的限制, 本文获取的数据还不够全面, 有待进一步完善。掌握各类建筑更全面和详尽的数据, 包括现场测试、运行记录以及各类能源消耗的分

类数据，更有利于建筑能耗的评价，提高可信度。

(2) 本文对影响各类建筑能耗的一般性因素进行了研究，得到了一些规律性的结果。但结果也表明，有的因素并不是建筑能耗的影响因素。因此，必须进一步深入分析，得到影响建筑能耗的因素，有利于节能措施的制定。

(3) 本文只对商场、宾馆、办公类建筑进行了能耗分析和评价，并没有涉及公共建筑中的其它部分，如医院、学校、体育场馆等。这些建筑的能耗分析也是下一步工作的重点。

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

参考文献

- [1] EIA. China country analysis brief. www.cia.doe.gov, 2004-3
- [2] IEA. Key world energy statistics from the IEA. www.iea.org, 2002-12
- [3] Wei Lu and Yitai Ma. Image of energy consumption of well off society in China. Energy Conversation & Management, 2004, 45(9): 1357-1367
- [4] 孙海燕. 建筑节能, 应对电荒. 建筑科技, 2004, 15: 14-16
- [5] 国家环保总局. 2003 年城市环境空气质量. www.zhb.gov.cn, 2004-03-29
- [6] Mathews E H, Arndt D, Geyscr M F. Reducing the energy consumption of a conference centre—a case study using software. Energy and Building, 2002, 37(4): 437-444
- [7] 魏积义, 严卫国, 姚忠民. 中国建筑能耗现状及节能潜力. 沈阳建筑工程学院院报, 1994, 10(2): 185-190
- [8] 胡平放, 向才旺, 丁学俊等. 中国建筑能耗现状特征. 武汉城市建设学院学报, 1998, 15(2): 39-43
- [9] 中国城市建设信息网. 谈中国的绿色照明工程. csjs.cein.gov.cn, 2003-4
- [10] 刘加平, 武六元. 建筑节能与建筑设计中的新能源利用. 能源工程, 2001, 2: 12-13
- [11] 薛志峰, 江 亿. 北京市大型公共建筑用能现状与节能潜力分析. 暖通空调, 2004, 34(9): 8-10
- [12] 江 亿, 薛志峰. 北京市建筑用能现状与节能途径分析. 暖通空调, 2004, 34(10): 13-16
- [13] 王长庆, 龙惟定, 黄浴钟等. 上海公共建筑空调制冷系统的能耗测试与分析. 暖通空调, 2002, 32(6): 1-3
- [14] 杨 洁, 涂光备, 森山正和, 高西茂彭. 天津与神户地区公共建筑能耗调查分析. 煤气与热力, 2004, 24(1): 13-16
- [15] K.H.YANG and R.L.HWANG. ENERGY CONSERVATION OF BUILDING IN TAIWAN. Pattern Recognition, 1995, 28(10): 1483-1491
- [16] 李念平等. 长沙市住宅建筑夏季能源使用结构的调查与分析. 暖通空调, 2004, 34(5): 14-17
- [17] 李念平, 潘尤贵, 吉野博. 长沙市住宅室内热湿环境的测试与分析研究. 建筑热能通风空调, 2004, 23(1): 94-98
- [18] 何雪冰, 刘宪英. 我国过渡地区居住建筑的制冷采暖现状及发展前景. 西安建筑科技大学学报, 2000, 32(2): 199-202

- [19] 刘宪英, 何雪冰. 我国过渡地区居住建筑的制冷、采暖、通风现状. 建筑热能通风空调, 2004, 23 (4): 43-45
- [20] 电子工业部第十设计研究院. 空调设计手册 (第二版). 北京: 我国建筑工业出版社, 1995
- [21] 侯海涛. 建立建筑能耗评估体系的必要性. 山西能源与节能, 2004, 32(1): 11-12
- [22] ASHRAE handbook, 1985.
- [23] 钱必华. 建筑能耗评估中对气象参数的处理. 制冷技术, 2003, 2: 34-35
- [24] 苏华, 王靖. 建筑能耗的计算机模拟技术. 计算机技术, 2003, 23 (3): 411-415
- [25] 李力. 建筑能耗计算法的比较分析. 重庆建筑大学学报, 1999, 21 (5): 122-124
- [26] Pantelis N. Botsaris, Spyridon Prebezanos. A methodology for a thermal energy building audit. Building and Environment, 2004, 39 (2) :195-199
- [27] Mohammad Saad Al-Homoud. Computer -aided building energy analysis techniques. Building and Environment, 2001, 26 (5): 421-435
- [28] 苏芬仙, 田胜元, 张从军. 温湿度及辐射频率建筑能耗简化分析方法. 暖通空调, 2003, 33 (6): 16-19
- [29] 日本住宅·建筑省エネルギー 机构. 建築物の省エネルギー 基準と計算の手引. 平成5年10月
- [30] 龙惟定. 用 BIN 参数作建筑能耗分析. 暖通空调, 1992, 22 (2) : 15-18
- [31] 家润多超市朝阳店竣工图纸及资料, 2001
- [32] Caglar Selcuk Canbay, Arif Hepbasli, Gulden Gokcen. Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage. Energy and Building, 2004, 36 (6): 587-598
- [33] Energy Efficiency Office (EEO), Department of the Environment. Introduction to Energy Efficiency in Shops and Stores, Best Practice Programme. UK, 1994.
- [34] 紫慧娟. 高层建筑空调设计. 北京: 我国建筑工业出版社, 1995
- [35] 李力, 田胜元. 对我国建筑供热、空调能耗分析实用简化法——温湿频数 (BIN) 法的研究. 重庆建筑大学学报, 1999, 21 (3) : 97-99
- [36] Energy Information Administration. Commercial Buildings Energy Consumption and Expenditures. www.eia.doc.gov, 1995
- [37] Lam JC, Chan ALS. Building energy audit and site survey. Building Research and Information, 1995, 23 (5): 270-278
- [38] 李力. 我国建筑供热、空调能耗分析实用简化法——温湿频数 (BIN) 法: [重庆建筑大学硕士论文]. 重庆建筑大学, 1993
- [39] 田胜元. 我国建筑物供热、空调能耗分析的实用简化法. 西南地区暖通、动力、空调、制冷年会论文, 1993

[40] 长沙统计局. 2004 年长沙经济述评. www.cstj.gov.cn, 2005-2

获取更多资料 微信搜索蓝领星球

致 谢

在本论文完成之际，首先要衷心感谢我的导师李念平教授，感谢他在三年来对我在学业上的悉心培养和不倦教诲，以及生活上无微不至的关怀与照顾，特别是在论文的选题、分析计算及撰写过程中，始终都得到了导师的悉心指导与帮助，他严谨的治学作风和渊博的学识及对弟子的关怀给我留下深刻的印象，使我受益终生。

在这三年的学习和生活中，得到了教研室各位老师及同窗的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

感谢家人在求学期间给予的支持和关怀；感谢亲人们对我的关心和鼓励，这些都激励我在以后的人生道路中，不断开拓进取。

感谢所有给予我关心和帮助的老师 and 朋友们！

获取更多资料

微信搜索蓝领星球

附录 A 攻读学位期间所发表的学术论文目录

- [1] Jun Guan, Nianping Li, Hao Shen et al. Summer Investigation and Analysis on Energy Utilization Structure of Urban Residential Buildings in Changsha, China. In : The 4th International Symposium on HVAC. Beijing : Tsinghua University press, 2003, 555-561 (ISTP 收录)
- [2] 沈浩, 李念平. 商场空调系统能耗评价与节能措施的研究. 制冷空调与电力机械, 2005, 26 (2) : 31-33
- [3] Xiaohua Li, Nianping Li, Hao Shen et al. Real-Time Measurement and Results Analysis of Thermal Environment in a space. In : The 4th International Symposium on HVAC. Beijing : Tsinghua University press, 2003, 682-686 (ISTP 收录)

获取更多资料 微信搜索 蓝星学术