

# 数据机房空调节能改造技术研究 与经济性分析

德勤管理咨询（上海）有限公司北京分公司 刘明丽  
北京市建筑设计研究院有限公司 梁楠

**摘要：**本文首先给出空调节能改造的基本流程，同时结合各种改造技术进行梳理，将数据机房空调系统的改造工作分为风侧、水侧和室内侧等几个方向，并从经济性角度对各种改造技术进行了特性和适用范围的分析。同时以一个北京办公类建筑的节能改造为例，对适宜采用的几种方案进行了经济性分析和比选，从而得出优化的改造方案。本文为既有建筑数据机房的节能改造提供设计参考。

**关键词：**数据机房；空调；改造；节能；经济性分析

## Research and economic analysis on energy saving retrofit of air conditioning in data room

By Liu Ming-li, Liang Nan

**Abstract:** This paper presents the basic retrofit process of energy-saving for air conditioning combined with various retrofit techniques, the retrofit of data room air conditioning system is divided into wind side, water side and the indoor side. From the angle of economic, the paper analyzes the characteristics and scope of various technology. At the same time, the paper takes a Beijing office building for an example, the economic analysis and comparison of several schemes which are suitable for use are carried out. This paper can provide reference for energy saving reconstruction of existing building data room.

**Key words:** Data room; Air conditioning; Retrofit; Energy saving; Economic analysis;

DDT management consulting (Shanghai) Co., Ltd.  
Beijing branch  
Beijing institute of architectural design

## 1 引言

随着经济的发展和各行业信息化的进一步发展，数据机房成为许多建筑的重要功能房间之一。数据机房指的是一个物理空间，能够在其中实现信息的集中处理、存储、传输、交换、管理，而计算机设备、服务器设备、网络设备、存储设备等通常认为是数据机房的关键设备。近年来，数据机房随着服务器的技术升级和需求增长，其设备功率密度逐年上升，因此对于其节能降耗应当尽快采取相应措施。

根据对美国的相关调查资料显示，在全美国的发电量中有 1.2% 是提供用于数据中心机房的运作。而其设备功率随着服务器的类型不断增加，也给机房空调提出了更高的要求。而在对数据机房的能耗分析显示（图 1），其中，IT 设备及网络通信设备占 50%，空调系统为 37%（其中：空调的通风及加湿系统：12%；空调制冷系统：25%），变压器、UPS 供电系统为 10%，照明为 3%。可以看出，空调制冷系统能耗所占总能耗的比例接近 40%，因此，空调制冷系统节能潜力的开发对于



\* 刘明丽，1986 年 6 月，本科，硕士研究生在读，经济师  
通讯地址：北京市东长安街 1 号东方广场东方经贸城西二办公楼 8 层

数据机房的节能改造有重要意义;另一方面,目前,国内许多建筑,特别是20世纪90年代前后的建筑,由于其数据机房的增容或原有换热设备的效率下降,其安全性和稳定性均受到较大影响,因而这些建筑的数据中心面临着大量的改造任务。因此,如何在既有建筑的数据机房改造中实现节能降耗的目标,是迫切需要解决的课题。

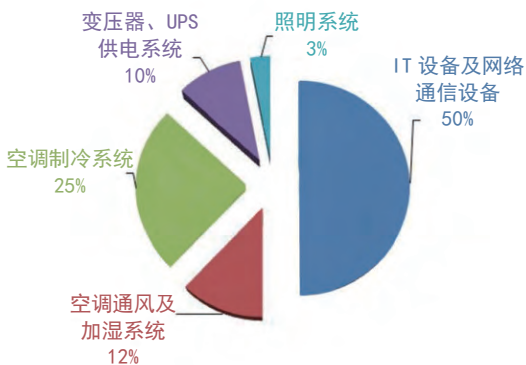


图1 数据机房能耗分布

本文对现有数据机房节能改造的常用空调技术分别进行分析,对其适用特点和范围进行了归纳和总结,整理出对现有数据机房改造的具体方案设计流程和方法,同时利用北京市某办公楼的数据机房改造,对空调系统节能改造方案的经济性进行分析。

## 2 空调系统节能改造设计流程与技术比选

目前,空调系统节能改造一般按照如下流程进行(图2)。一般分为项目特点分析、空调技术筛选以及进一步细化比选三个阶段。由于节能改造从业主或运营方的角度考虑,除安全性和可行性这些基础条件外,最主要影响因素是项目投资和节能量的经济性分析。

空调系统的节能改造必须按照数据机房实际特点因地制宜地确定方案,最重要的是要分析其负荷特点,从经济性角度评估整个节能改造方案。由于机房内部的计算机、交换机和服务器等均由大量电子设备构成,其负荷特点与常规以人为服务对象的舒适性空调场合差异较大,具体为:首先室内环境控制要求高。为了确保机房内部电子设备的运行安全,机房对室内环境参数做出了严格的规定,主要包括温度,湿度和洁净度的范围和变化幅度;其次,内部电子设备发热密度高,且不间断运行。这导致

机房极高且相对恒定的冷负荷,一般数据中心可达每平米1000W以上,这使得机房需要全年供冷;此外数据机房发热的显热比高。由于机房围护结构密闭性较好,从室外渗入的室内得湿量小,加之机房内部人员活动有限,所以室内总得湿量少。同时由于设备产热量巨大,由此形成极高的显热比。所以机房空调的除湿量很小,以制冷降温为主。

在分析数据机房的负荷特点后,需要对项目所在地的气象数据进行分析,分析其利用自然冷源的节能潜力。目前除夏热冬暖地区外,基本都以冬季为自然冷源应用的主要季节,严寒和寒冷地区可考虑过渡季节自然冷源的利用。在自然冷源可利用资源较少的地区,应以自身设备的换热和运行效率为节能改造的主要目标。

在项目特点已经确定后,需要对各种目前空调系统节能改造的常用技术进行初步筛选,目前的各种技术的节能侧重点根据改造对象可分为室内、水侧和风侧。常用技术可按此分为三大类(见图3)。

风侧改造方面,主要是新风直接引入、风冷式机组接入、热管换热器接入机组等几类。在引入自然冷源时,新风直接引入效率较高,但需要对空气进行多次过滤,防止室外沙尘进入机房,这个在北方地区尤其需要注意,另外要注意的是部分地区冬季新风常常湿度太低,容易产生静电。风冷式机组则通过室外空冷蒸发器与室内冷凝器传递冷量,该技术较为成熟,但能效比较低,且室外蒸发器侧排热容易堆积。热管换热器接入空调机组是最近才开始采用的技术,利用制冷剂将空气中的冷量通过热管传至空调机组的换热段,这种技术换热效率虽然低于新风直接引入,但在具备室外机内外高差的情况下可大大降低输配系统的能耗,其换热效率还是相对普通空冷和水冷要高。

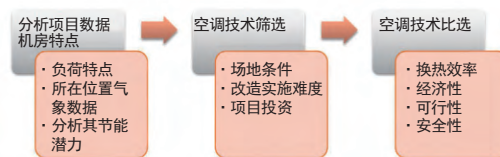


图2 数据机房改造的设计流程

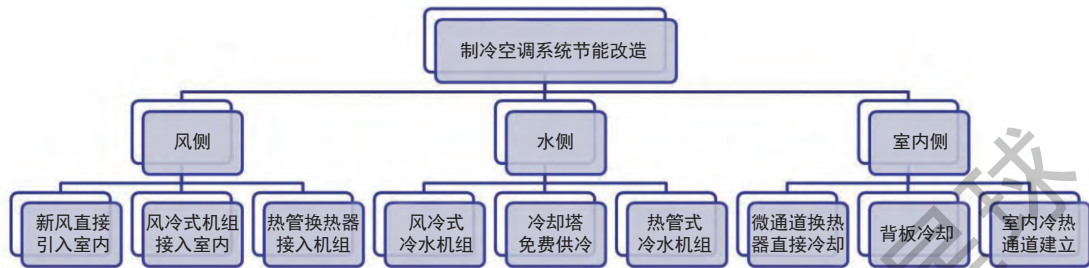


图3 制冷空调系统节能改造技术分类

水侧方面，目前主要是风冷式冷水机组、冷却塔免费供冷和热管式冷水机组几种方式。风冷式冷水机组最为成熟，利用换热器将空气中冷量传入冷水管，通过水管将冷冻水接入原有冷水系统，这种形式在温度可能低至零下的环境中需要考虑水管室外段的保温与防冻问题。如果在严寒地区，可考虑采用乙二醇与水的混合溶液完成室外换热，并在室内进行水-乙二醇水溶液的换热，以此方式提供需要的冷冻水，但这种模式的问题是乙二醇水溶液对水质要求高，部分系统在运行中出现过漏液现象，且系统中需要增加补液装置，初投资会进一步提高，运行费用也大大提升。冷却塔免费供冷与风冷式冷水机组较为相似，但是存在一些问题，主要是冷却塔一般设计容量更多考虑全楼总制冷量，很难保证原设计容量与数据机房冷量匹配，项目实施过程中的适用性就会相对较低。且过渡季节该类方案不能专门用于数据机房，因为会与全楼其他需求发生冲突，同样需要考虑水管保温与防冻。热管式冷水机组由于采用较为先进的热管技术，其室外部分采用不会在冰点以下凝固的制冷剂进行换热，从而减少保温带来的电损，但该技术相对投资较高，且室外机占地较大，在实际采用时对场地及一次投资要求较高。

室内侧方面，主要是通过微通道换热器直接冷却，背板冷却以及冷热通道等方式进行改造。室内侧的几种改造技术的共同特点是需要对机柜或机柜的布置形式进行改动，部分项目需要直接更换机柜。微通道换热器造价高昂，一般需更换机柜，但是其换热效率极高，由于直接对发热部

件进行冷却，效果非常好，也可以减少对其他机柜外空间的制冷需求。背板冷却相对微通道技术来说，换热效率相对较差，但是只需要对背板进行改造，成本有所下降。冷热通道则是对目前的布置进行优化，布置服务器机架时，采用每两列机架相对或相背的平面布局，机架为前进风（或下进风）后排风的通风方式，所以送风口布置在机架正面的通道内，这就形成正面的送风通道温度低，而机架后面的排风通道温度高。这种布置方式需要机房内设备可部分间歇停止运转，逐步相互替代，适合装机容量较小的机房改造。

技术筛选时还应根据目前数据机房以及配套制冷机房的空间确定实施的可行性。部分项目还需要考虑各种技术和设备的初投资。

完成初筛后，需要对筛选出的技术进行比选，比选时首先比较安全性和可靠性，随后考虑经济性和各技术的换热效率。安全性和可靠性主要是考虑各种极限情况下系统是否能保证数据机房的全年供冷。而经济性与换热效率则是对初投资和预计节能量进行静态回收期计算，以获得经济性方面的优劣对比。最终结合以上几点比选结果，给出最终的设计方案。

### 3 应用实例

针对以上流程，在一个北京办公楼进行实践。该建筑位于北京市二环内，为2007年新建的办公楼，由于需求，在一层和三层设置了数据机房，一层数据机房面积约为563m<sup>2</sup>，夏季设计日冷负荷为787kW，冬季设计日冷负荷为623kW。三

层数据机房面积为 475m<sup>2</sup>，夏季设计日冷负荷为 629kW，冬季设计日冷负荷为 498kW。冬季由冷却塔供给冷机冷却水进行冷冻水制备，夏季则使用冰蓄冷机组提供冷冻水。目前三层采用冷冻水直供的水冷机组对数据机房进行供冷，由一台新风机组提供处理后的新风。一层则采用五台并联的空调机组提供冷量，而冷冻水则直接供给空调机组。原有设计参数：全年温度保持 23℃，而相对湿度维持在 40% ~ 55%。

对该项目的特点进行分析和总结后，主要有以下一些特点和问题：本项目处于寒冷地区，冬天有较大节能潜力，而该项目目前主要采用电制冷方式，没有利用自然冷源。数据机房和对应空调机房空间有限，屋顶无新增冷却塔位置。所有的刀片式服务器均需 24 小时运行，无法进行停机调整，且初投资较为有限。目前一层具备增大冬季和过渡季新风引入的能力。

针对现状，对以上技术初筛之后，得到如下三个方案：

1) 方案一：新风扩容与热管技术结合的方案。一层空调机组将经过扩容，尽可能引入较多的新风，从而降低热管机组的负荷需求，而热管室外机采用风冷形式，接入空调箱。见图 4。

该方案安装方便，适应性较强，尤其在干燥地区节能显著。该方案需要空间放置风冷室外机，在室内与换热器换热后，将冷量传入空调机组。经现场勘查，地下一层的室外具备一定布置条件。该方案节能性较好，但热管换热器的室外机需要较近地点进行布置，如按现场条件实施，管线较长，管线造价较水系统和常规制冷剂系统造价要昂贵许多。

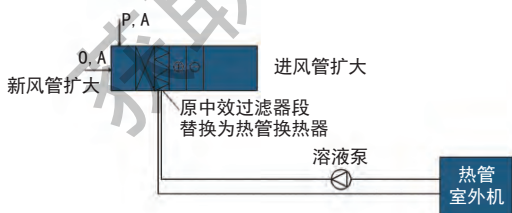


图 4 新风扩容与热管技术结合的方案一原理

2) 方案二：新风扩容与冷却塔免费供冷结合的方案。容积式换热器可满足冬季的使用要求，

低于零度需要增加电伴热，需要增加一定能耗来保证全年运行。可将换热器和水泵集中放置于设备机房。换热器设计时需要考虑冷却水水质可能带来的管堵等问题。

当在冬季室外处于较低温时，通过冷却塔得到的冷却水温度能够满足数据机房的制冷需求，此时将冷却水管路切换至换热器，直接将室内冷冻循环水冷却，而不需开启冷水机组，达到节约能耗的目的。因为电伴热的原因以及冷却塔同时使用时间的限制，节能量较小，但是对于原系统的拆改量较少，系统控制较为简单。

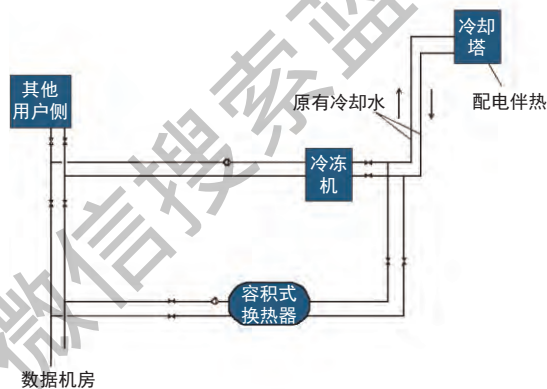


图 5 新风扩容与冷却塔免费供冷结合的方案二原理

3) 方案三：双系统并联方案。其中室内外一体机供回水接入现有水系统中的冷冻侧，冬季机组供水水温较低时，直接利用机组供水作为冷冻水，同时冷水机组侧停止工作。过渡季机组供水水温升高，但未超过系统回水设计温度时，可用于冷却冷冻水，冷水机组侧同时工作，但是能够以较少机头进行运行，由于负荷较小，可让冷却塔在过渡季这种模式下不使用喷淋模式，减少因此带来的冷却塔散发雾气的问题。夏季和过渡季室外气温较高时，按原有设计，以冷却塔配合建筑原有的冷机或蓄冷系统工作。该方案在严寒及寒冷地区应用时需要注意换热器的设计应考虑冬季防冻问题，主要措施为冬季和低于零度的过渡季运行时开启主管道电加热，在换热器管道汇管处增加电加热的防护措施，防止极限天气下极低气温对设备造成损害。该方案的另外一个问题是存在较多阀门，整体控制相对复杂。

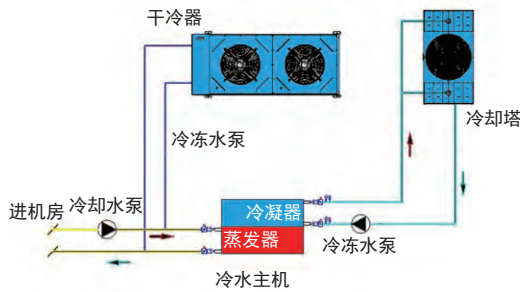


图6 双冷源并联的方案三原理

对以上三个方案进行经济性分析,比较初投资和估算节能量得到的静态回收期。计算时,根据北京市气象数据,主要考虑冬季90天与过渡季30天的节能量。过渡季其他时间自然冷源供冷能力较弱。结果如图7所示。节能量计算为室内外一体机自身120天的风机能耗、输配系统120天能耗、过渡季和冬季开启的冷机、冷却塔、电加热发生的能耗总和与之前未采用改造的冷机、冷却塔以及输配系统120天能耗的差值。初投资则要考虑设计、施工成本以及设备造价等。

结合项目场地特点和以上技术和经济性比较,可以看到,方案一的初投资最高,但年节能量也最大,静态回收期最短,大约为4年左右,方案二投资较高,年节能量最少,大约为4年半左右,方案三投资最少,年节能量较高,回收期略长于方案一。

根据实际项目的现场条件和业主、运营方的实施难易度进行综合评估,方案三整体的安全性和可靠性较高,且初投资较少,实施具备足够的场地条件,最终该项目选择方案三进行实施,目前已经进入设计和进一步实施阶段。

## 4 结论

本文对现有节能改造的常用空调技术分别进行分析,对其适用特点和范围进行了归纳和总结,整理出对现有数据机房改造的具体设计流程和方法,同时利用北京市某办公楼的数据机房改造,对空调系统节能改造进行实践。

数据机房制冷空调系统改造一般分为项目特点分析、空调技术筛选以及进一步细化比选三个阶段。对具体项目需要结合气象数据分析其负荷特点和节能潜力,同时应考虑其场地和投资方面的一些特点,在初筛时,主要考虑可行性和安全性,同时兼顾经济性和换热效率;比选时需对重要经济指标和适用性进行评估和对比,权衡后提出最终方案。

在对一实际工程项目的数据机房进行节能改造的实践中,运用上述设计流程,对三种方案进行了经济性方面的分析对比,最终确定了最优的改造设计方案。本文的主要结论和建议可为既有建筑数据机房的节能改造提供设计参考。**供热制冷**

## 参考文献

- 1 朱宝军,基于VE的数据中心机房空调节能设计优化[D],硕士学位论文,2010,华中科技大学.
- 2 电子信息系统机房设计规范 GB 50174-2008[S].
- 3 民用建筑供暖通风与空调设计规范 GB50736-2012[S].
- 4 中国气象局气象信息中心气象资料室、清华大学建筑技术科学系,中国建筑热环境分析专用气象数据集[M],中国建筑工业出版社,2005.

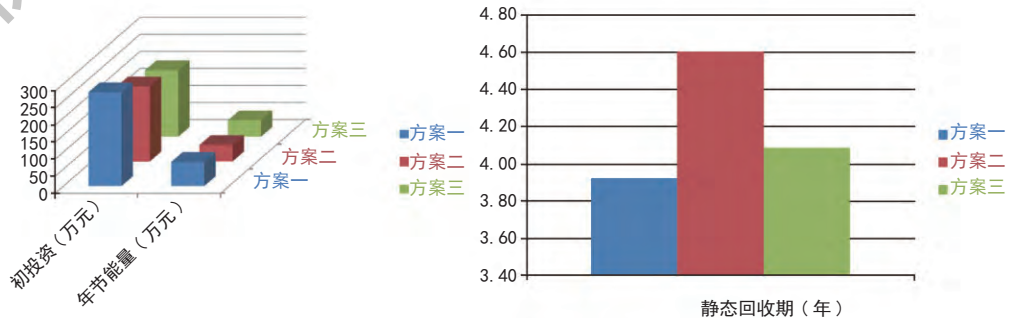


图7 项目初投资、年节能量以及静态回收期对比