

机房空调实际运用能耗分析

王飞

(克莱门特制冷设备(上海)有限公司)

摘要: 对机房空调系统能耗进行分析, 冷热掺混严重, 蒸发温度低, 不具备容量调节功能, 未利用室外自然冷源是其能耗高的根本原因, 对于变频空调, 由于压缩机能耗在整个空调总能耗占比大, 可通过适当提高室外风机能耗来达到降低压缩机运行能耗高, 实现节能效果; 在实际使用中, 由于实际匹配不合理以及热、湿负荷处理不当, 使得常规定速机房空调实际能耗远超过理想情况, 同时合理选择机房空调安装位置, 定期维护空调机组对提高使用能效有较大帮助。

关键词: 能耗; 自然冷源; 变频空调; 节能

Analysis the energy consumption of the practical application Crac

Wang Fei

Climaveneta Refrigeration Equipment(shanghai) Co.,Ltd.

Abstract: The energy consumption of Crac system are analyzed, hot and cold gas flow mixed serious, low evaporation temperature ,do not have capacity adjustment function, do not use the free cooling source of outdoor ,they are the root cause of its high energy consumption, Because the compressor energy consumption accounts for a large proportion of the total energy consumption of the whole air condition for the inverter air condition,we can increase the energy consumption of the outdoor fans to reduce the operation energy consumption of the compressor and achieve the energy saving effect. In actual use, due to the actual, unreasonable and improper handling of heat and moisture load, the fix speed air condition energy consumption far exceeds the actual and ideal condition, reasonable selection of air condition installation, regular maintenance of air condition units to improve energy utilization efficiency is of great help.

Key words: energy consumption; free cooling source; inverter air condition; energy saving

1 引言

机房空调在互联网、云计算时代发展过程中运用越来越广泛, 目前我国大多数数据中心 PUE 在 2.0~3.0 之间。在数据中心能耗分布中, 制冷系统大约占据 40%, 而大型数据中心冷却方面, 近年来行业推出较好的解决方案, 如带自然冷却型风(水)冷冷水机组+冷冻水末端、磁悬浮无油离心式冷水机组+冷冻水末端; 热管背板空调等, 大型数据中心基本能很好利用室外自然冷源, 并且具备变容量调节技术, 同时温度、湿度独立控制, PUE 一般较低, 而中小型机房空调高能耗现象一直存在, 尤其是单台制冷量在 150kW 以内的机房空调, 关于中小型机房空调, 自然冷却的节能技术在产品上运用实施与自然冷却技术带来的产品成本增加以及自然冷却技术本身节能性、可靠性一直是制约其发展的主要矛盾, 尤其是成本方面, 不仅让企业难以接受, 同时用户在核算新技术产品运用的投入产出比方面望而兴叹。

如何高效低成本利用过渡季节以及低温季节的自然冷源是中小型机房空调技术领域内的一个挑战与技术瓶颈, 尤其是 5~25℃ 温度区间内的自然冷源。其中石文星等^[1]开发出带有重力热管的一体型热复合空调机组, 并在全国南北多个基站中进行试点应用, 并实现空调系统节能 30%~45%。重力热管具备传热以及安装局限性, 较难满足顾客需求, 马跃征、马国远等^[2]利用磁力泵设计出一动力型复合式空调系统, 选取哈尔滨与石家庄 2 个地区进行全年泵驱动运行时间模拟, 结果表明在哈尔滨地区节能潜力更大, 而这种制冷

剂泵驱动的一体复合空调产品已经在行业产生一定规模，并经过几次改进与技术升级，目前行业流行的是具备制冷模式、混合模式（压泵双驱模式）以及制冷剂泵模式的制冷剂泵空调产品，但制冷剂泵价格以及依然是其无法大量推广的瓶颈。王飞^[3-4]、王铁军等^[5-6]、白凯洋等^[7]研发出具有复合区的液相热管驱动复叠复合型制冷系统，系统能够根据室外温度以及机房负荷分别切换热管模式、复合模式以及制冷模式，制冷系统综合节能率高达 40%。复叠型空调机组成本高，并且热交换补偿制冷本身带来了能耗增加，故而也未得到很好推广与发展，尤其是中小型机房空调系统难以推广。魏川铖、马国远等^[8]应用滑片式压缩机设计出气相热管循环空调，并通过试验验证气相热管型空调具有良好的节能效果。石文星、王飞等^[9-10]提出一种气体增压热管复合空调，并设计出 10 kW 样机，通过测试全年能效，与常规压缩式机房空调相比，节能 40%。王飞^[11]在专利中公开了一种带有气泵的气泵复合空调系统，该系统由一个气泵与一个常规压缩机构成，在室外较低温度时运行气相热管模式，在室外较高温度时运行常规压缩制冷模式，并且气泵与现有液泵相比具有更好的成本以及节能优势，王飞^[12]在专利中公开了一种变频热管空调系统，将常规制冷系统与热管系统统一思考，提出压缩机可无极调节压缩比的理念，即压缩机的压缩比可运行在 $1.0 \leq \epsilon \leq 8.0$ 的范围内运行，低温工况时压缩机当成气泵使用，中高温工况时当成压缩机使用，并充分利用春、秋过渡季节的自然冷源，使得低成本、高能效的机房空调系统研究进入新的方向。

针对中小型机房空调在实际匹配与运用过程中造成的高能耗现象目前行业还未曾有人进行研究，本文分别针对目前几种常见常规定速型机房空调在实际运用过程中出现的高能耗现象进行分析，为中小型机房空调在实际使用过程中如何实现低成本、高能效提供依据与思考。

2 数据中心能耗分析

在数据中心能耗占比中，制冷系统与IT设备占据绝大部分比例，为探明机房空调高能耗原因，我们从能耗发源处进行分析，即通过测量服务器芯片温度大约在 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ ，一般服务器设备需要 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ 冷风冷却即可满足降温散热需求，传统数据机房气流组织差，冷热掺混严重，未进行冷热通道封闭，采用先冷环境再冷设备，实际蒸发温度低，不具备变容量调节特性，导致能耗高，如现有常规定速机房空调回风温度大约 24°C ，实际蒸发温度大约 $7 \sim 9^\circ\text{C}$ ，送风温度大约 15°C ，通过低的送分温度将整个环境温度降至 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ ，在通过 $20 \sim 24^\circ\text{C}$ 冷环境温度去冷却服务器；而对于冷冻水空调也存在类似情况，即过低进水温度导致过低主机蒸发温度，故而降低数据机房能耗核心就是消除冷热混合（换热）损失、提高蒸发温度。

从空调系统本身运行角度来看，除了冷热掺混导致系统蒸发温度过低外，现有常规机房空调还存在过渡季节以及低温季节时，由于常规定速涡旋压缩机需要在压缩比 $1.5 \leq \epsilon \leq 8$ 甚至 $2 \leq \epsilon \leq 8$ 范围内运行，故而过大的压缩比形成过大能耗，无法充分利用具有可再生性的自然冷源。

3 两类常规机房空调能耗分析

如图所示为常规定速风冷型与水冷型机房空调能耗分布，对于风冷机房空调，其压缩机能耗占据整个空调系统能耗近 70%，而排在能耗第二位的是室内风机为 25%，对于常规机房空调室外风机能耗很低，不足 10%。同样对于水冷型机房空调系统，由于增加了水泵与冷却塔，压缩机功耗占比约 54%，其次是室内风机与水泵。通过对常规机房空调能耗分析可知，机房空调如何降低其能耗，最关键就是降低压缩机与室内风机能耗，近年来行业推出了变频压缩机以及变频 EC 风机，使得机房空调本身总体能耗得到了较好的优化，但仍有较大提升空，如对于变频空调我们可以通过适当提高室外风机能耗来达到降低压缩机运行能耗高，达到节能效果。

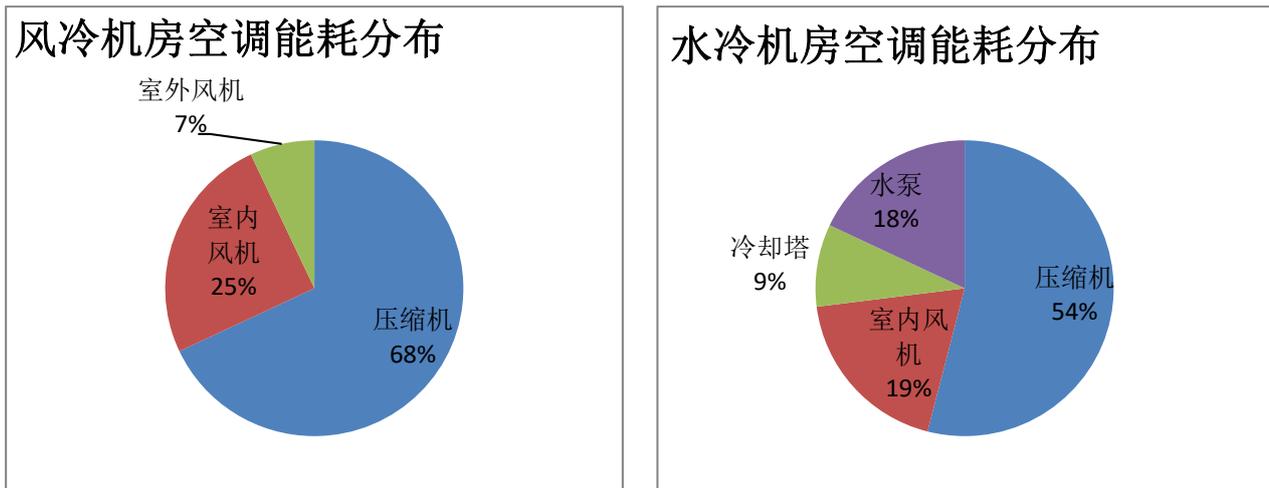


图 1 常规机房空调能耗分布图

4 机房空调实际运用高能耗分析

4.1 机房空调匹配不当分析

通过对数据中心以及机房空调能耗分析，为我们机房空调节能提供了有效的经验，但机房空调在实际使用过程中也会造成过大能耗，故而一台机房空调如何高效使用也是一个不可忽略的因素。

比如北京某机房面积为 10m²，有 2 台负荷为 5kW 的服务器，实际负荷小，采用下送上回气流组织，根据理论设计应当选择 13~16kW 的空调机组，而代理商最终给该数据机房选择匹配了 2 台 30KW 的下送分机房空调，一用一备。根据现场运行情况来看，机组压缩机频繁启停，由于服务器设备负荷小，发热量小，故而空调机组开机没几分钟就停机，并且伴随着蒸发器结霜结冰现象，甚至低压报警，机组实际运用能耗非常大。

另外，比如，广州某光大银行数据中心，实际面积为 100 m² 的档案室，内部没有大的服务器发热源，室内基本为湿负荷，最佳方案应当匹配一台 20kW 左右的除湿机，或者匹配 15~20kW 的机房空调，并配置足够的电加热装置，防止温度过低现象，然而代理商却给用户匹配了一台 45kW 的机房空调，故而导致机组压缩机频繁启停能耗大，并且机组振动大，压缩机还存在报低压报警情况。

4.2 热、湿负荷处理不当

机房服务器对机房内部温度具有较高要求外，对其内部湿度以及洁净度也有较高的要求，湿度小容易引发静电，湿度过大易导致短路。由于目前常规机房空调都具备对机房温度、湿度联控功能，若对于机房内部热负荷、湿负荷估算准确，或未对两者之间平衡处理处理好，很容易造成机房空调实际使用能耗高现象。

如上述广州某光大银行数据中心，实际面积为 100 m² 的档案室，内部没有大的服务器发热源，室内基本为湿负荷，代理商却给用户匹配了一台 45kW 的机房空调，故而实际运用时由于过大机组产生过大冷量导致机组压缩机频繁启停能耗大，当机组开启时过大冷量输出使得机房内部温度急剧下降，此时又开启很大功率的电加热进行温度补偿，此时实际运用能耗为频繁启停的空调能耗加电加热温度补偿能耗。

如武汉天河机场，机房内共有 12 排机柜，每排约 9 个机柜，共有大约 100 个机柜，内部服务器 IT 设备少，却匹配了 5 台机房空调，分别安装在机房的两侧，机房空调的出风方向与机柜的排列方向垂直，并且机房的三个墙体立面有较大的玻璃窗，其中的小窗户可以随意开启，部分玻璃窗四周未打玻璃胶密封，机房的大门与地面的缝隙较大，保温性及密封性较差，这样在使用过程中热负荷小，湿负荷大，空调在运行过程中很快进入了除湿模式，甚至长时间处于除湿模式，尤其到了下午、夜间室外温度降低后，低温工况除湿模式，机组能效差，并伴随着回液以及蒸发器结霜现象，机组能效低能耗大，为了保证机房稳定运行，机器有开启电加热温度补偿功能，再次增加了能耗。

如湖南长沙广汽菲亚特某发动机车间机加工零部件测量室，面积约90m²，为维持测量室环境的温度和湿度，匹配了一台20kW的机房空调，送风及回风均通过风管与机组连接，测量室内只有一台测量设备，无其它大的发热源，实际运用中，用户要求维持测量室内温度要求为19~22℃，最佳温度为19.5~20.5℃，最低不能低于18℃，且一个小时内温度变化不超过1℃；而湿度要求为40%~70%RH，最佳湿度为50%~60%RH，最高不能超过75%RH，精密空调24小时开机。由于测量室内没有热源，制冷需求较小，湿度较高，有除湿需求，湿度降低的同时也会降低室内的温度，造成室内温度偏低。机组开启标配的6kW电加热功率，如果在天气条件恶劣的低温高湿天气或冬天寒冷天气，6kW的电加热可能无法满足使用要求，后续还需要增加6kW的电加热管。

另外，某些机房如果配置空调机组、加热装置以及加湿装置不合理，而对温、湿度要求又非常严格，机组很容易发生频繁加湿、除湿、加热等模式切换，导致实际使用能耗远大于设计值。

4.3 室外机换热器脏堵、室内机过滤网脏堵

对于机房空调，其空调系统在室外换热器环境良好的条件下方能具备较高的能效，某些地区、某些季节室外空气较脏，尤其是北方地区以及某些在沙漠地区的基站空调，灰尘、雾霾现象严重，容易堵住室外换热器，导致外机冷凝效果大幅降低，系统冷凝压力升高，制冷量减小，空调机组实际运用能效变差。如在北京地区，每年4月份北京容易出现柳絮伴随春风在空气中飘荡，当这些柳絮、灰尘杂质飘过具有一定吸力的外风机换热器时，容易在换热器表面附着堵住换热器，使得空调机组室外冷凝效果变差，并且随着雨雪天气的出现，附着在换热器上面的灰尘杂质变硬，甚至与换热器发生化学反应与换热器表面形成一体，更加影响换热效果。

另外，机房对室内空气洁净度要求较高，故而机房空调室内机都配备过滤网，当过滤网出现脏堵情况时，降低系统蒸发温度，降低能效与制冷量，实际运用能耗增加，比如江西上饶站采用的机房空调，该项目采用的机房空调运用一年都未曾对内机过滤网进行清洗，甚至有些工程项目自从空调安装后就不再对机房空调进行定期保养维护，除非空调机组发生故障才有维保意识，不仅增加机组运行能耗，甚至威胁数据中心的安全可靠。

4.4 机组安装位置

机房空调室内外机安装位置亦对空调实际运用能效提出挑战，比如长配管、高落差，太阳辐射，内外机风场等。比如合肥地铁1号线使用机房空调项目，该项目内外机配管长达100m，高度落差也达到30m，如此庞大联管使得空调系统能效降低衰减较大，甚至外机换热器较常规机组增大10%以上才能满足。另外外机安装在太阳直接照射的地方，太阳直接辐射会造成室外换热表面温度至少提高2℃，另外太阳直接辐射地区空气温度也比阴凉地区高，由于机房空调全年制冷，在温度较高的地区容易使得冷凝压力升高，造成制冷量衰减，能效降低，降低自然冷源利用率。

内、外机风场分布也直接影响机组实际运用能耗，比如室外机换热器与墙壁、地面距离过小，使得风场差，换热效率差，冷凝温度升高，能耗增加；内机风场差会导致蒸发温度降低，能耗增加。

5 结论

通过对机房空调系统能耗以及现有机房空调实际运用能耗进行分析，得到如下结论：

- 1) 现有机房空调采用先冷环境再冷设备的冷却方式，气流组织差，冷热掺混严重，实际蒸发温度低，且不具备变容量调节特性，未利用室外自然冷源，故而能耗高；
- 2) 风冷型机房空调中压缩机及室内风机能耗大约占总能耗的90%，水冷型机房空调中压缩机及室内风机能耗大约占总能耗的75%，为提高机房空调能效奠定了基础；
- 3) 常规定速机房空调在实际使用中由于实际匹配不合理以及热、湿负荷处理不当会造成实际能耗远超过理想情况；
- 4) 为保障机房空调高效运行，需要对机房空调安装位置合理选择，并且定期维护空调机组，以免出现能耗过大现象。

参考文献：

- [1]石文星, 韩林俊, 王宝龙. 热管/蒸发压缩复合空调原理及其在高发热量空间的应用效果分析[J]. 制冷与空调, 2011, 11(1): 30-36.
- [2]马跃征, 许树学, 马国远, 等. 磁力泵驱动两相冷却复合制冷系统特性分析和实验研究[J]. 制冷学报, 2016, 6(3):1-5
- [3]王飞, 王铁军. 动力型分离式热管在机房空调中研究与应用[J]. 低温与超导, 2014, 11(42): 68-71.
- [4]王飞. 30kW 动力型分离式热管设计与实验[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014
- [5]王铁军, 王冠英, 王蒙, 等. 高性能计算机用热管复合制冷系统设计研究[J]. 低温与超导, 2013, 41(8): 63-66.
- [6]王铁军, 王飞. 动力型分离式热管设计与试验研究[J]. 制冷与空调, 2014, 14(12): 41-43.
- [7]白凯洋, 马国远, 周峰, 等. 全年用泵驱动回路热管及机械制冷复合冷却系统的性能特性[J]. 暖通空调, 2016, 46 (9) : 109-115.
- [8] 魏川铖, 马国远, 许树学, 等. 通讯基站用气相热管驱动环路热管的设计及实验研究[C]//第十二届全国电冰箱(柜)、空调器及压缩机学术交流大会论文集. 2014.
- [9]石文星, 王飞, 黄德勇, 等. 气体增压型复合空调机组研发及全年运行能效分析[J]. 制冷与空调, 2017, 17(2): 11-16.
- [10]石文星, 王飞, 张国辉, 等. 一种热管复合型空调系统及其控制方法: 201610174000.2 [P].2016.06.15

通讯作者: 王飞 (1989-), 男, 硕士, 克莱门特系统高级工程师, 主要从事机房空调、多联机制冷新技术研究与产品开发, 电话: 13856900815, E-mail: 489464921@qq.com。