

通信机楼中央空调节能变频改造技术应用研究

陈思聪

广州犇鑫通信技术有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ERA.2026090018

摘 要 : 通信机楼空调全年制冷, 负荷平稳。水泵风机工频运行电耗占比高, 节能空间充足。采用变频调速, 通过调整供电频率改变电机转速, 实现功率与负荷匹配。改造中, 对冷冻水、冷却水循环及冷却塔风机实行温差反馈控制, 建立子系统间协同机制。技术核心涵盖变频器选型、温度闭环检测与参数整定。经测算, 水泵风机节电率可达30%至50%。系统运行更稳定, 温控精度有所提升, 综合效益显著。

关 键 词 : 通信机楼; 中央空调; 变频调速; 节能改造; 温差控制

Research on Application of Energy-saving Frequency Conversion Retrofit Technology for Central Air Conditioning in Telecommunications Building

Chen Sicong

Guangzhou Benxin Communication Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The air conditioning system in the communication building provides year-round cooling with stable load. The power consumption ratio of water pump fan operation is high, and there is sufficient energy-saving space. By using frequency conversion speed regulation, the motor speed is changed by adjusting the power supply frequency to achieve power and load matching. During the renovation, temperature feedback control is implemented for the circulation of chilled water, cooling water, and cooling tower fans, establishing a collaborative mechanism between subsystems. The technical core covers frequency converter selection, temperature closed-loop detection, and parameter tuning. According to calculations, the energy-saving rate of water pumps and fans can reach 30% to 50%. The system runs more stably, the temperature control accuracy has been improved, and the comprehensive benefits are significant.

Keywords : telecommunications building; central air conditioning; variable frequency speed regulation; energy-saving retrofit; temperature differential control

引言

通信机楼设备散热密集, 空调全年持续运行, 能耗占比偏高。水泵风机工频恒速运转, 负荷波动时仍满功率输出, 电能浪费突出。变频调速可按实际需求调整电机转速, 实现输出功率与负载精准匹配, 是有效的节能途径。当前通信行业节能减排要求趋紧, 探索机楼中央空调的变频改造方案, 现实意义显著。围绕能耗特征、变频控制策略、改造核心技术与综合效益展开分析, 可为同类项目提供参考。

一、通信机楼中央空调系统能耗特征与变频节能原理

(一) 通信机楼空调负荷的形成机理

通信机楼的空调负荷来源, 和普通公共建筑存在根本差异。普通建筑冷负荷主要来自人员、照明与围护结构传热, 随季节呈周期性变化。通信机楼则完全不同。各类通信设备运行过程中, 会把绝大部分输入电能转化为热能。这部分热量持续稳定释放到室内空间, 是空调系统需要排出的核心负荷。即便到了冬季, 设备散热依然存在, 空调仍需制冷维持室温。这种常年制冷、季节波动相对偏小的负荷特征, 决定了通信机楼空调的运行规律, 与普通建筑差别较大。

(二) 中央空调系统的主要耗能环节

通信机楼中央空调系统, 主要由制冷主机、冷冻水循环、冷却水循环及冷却塔散热系统组成。制冷主机通过压缩循环, 将热量从蒸发器转移至冷凝器, 是单台功率最大的设备。冷冻水泵将主机产出的低温冷冻水, 输送到机房各处的空调末端。空气处理机组利用冷冻水对机房空气降温除湿, 再将处理后的空气送入设备区。除主机之外, 各类水泵与风机长时间连续运行, 同样会消耗大量电能。实际运行过程中, 这类设备的能耗往往不会随负荷变化自动调整, 节能空间十分可观^[1]。

(三) 变频调速节能的基本原理

变频调速通过调整电机供电频率改变转速, 可让风机、水泵

实现连续可控运行。水泵与风机属于平方转矩负载，运行特性与转速存在明确的比例对应关系。转速降低时，流量随转速一次方成正比下降，扬程随二次方成正比下降，轴功率随三次方成正比下降。这一特性表明，靠降低转速减少流量时，功率的下降速度远快于流量的减小速度。和传统阀门节流调节方式相比，变频调速直接减少电机的能量输入。它从根源上消除了节流过程中多余的压力损失与能量耗散。

（四）变频调速较传统调节方式的优越性

传统中央空调系统中，水泵与风机多采用工频恒速运行。这类设备通常配合阀门或挡板，以节流方式调节流量。系统需减小流量时，操作人员关小阀门或调整导流板角度。通过提升管路阻力限制流量，电机却仍保持额定转速运转。大量电能消耗在克服阀门阻力的过程中，形成无效损耗。这种调节方式的效率，会随阀门开度减小而快速下降。变频调速彻底改变了这一局面。它让电机输出功率与实际负荷需求精准匹配，消除了节流损失。除此之外，变频调速还可实现电机软启动。启动电流从零平缓升至额定值，避免直接启动时的大电流冲击。对电网的扰动大幅降低，电机轴承、联轴器等部件寿命也随之延长^[2]。

二、通信机楼中央空调变频改造方案设计

（一）冷冻水循环系统的变频控制策略

冷冻水循环系统的任务是将制冷主机产生的冷冻水输送至各机房空气处理机组，利用冷冻水与室内空气之间的热交换带走设备散热。传统控制方式下冷冻水泵以恒定转速运行，流量的调节依靠调节阀门开度来实现。变频改造后，冷冻水泵的转速根据空调末端实际的冷量需求进行动态调节。在控制方案设计上，选择冷冻水回水温度或供回水温差作为反馈控制变量。回水温度的高低反映了末端设备从室内带走热量的多少，回水温度升高表明室内热负荷增大，系统需要增加冷冻水流量以强化降温效果；回水温度降低则表明热负荷减小，可适当减少流量。

温差控制法以冷冻水供回水温差作为调节依据，使温差维持在五至七摄氏度的合理范围内。温差偏小说明冷冻水流量相对过大，水泵转速应适当降低；温差偏大说明流量不足，应提高转速增加流量。供回水温差控制比单一温度控制具有更强的抗干扰能力，不易受冷冻水供水温度自身波动的影响。

（二）冷却水循环系统的变频控制思路

冷却水循环系统承担着将制冷主机冷凝器侧的热量转移至冷却塔的重要功能。冷却水的流量大小直接影响冷凝器的换热效果和制冷主机的运行效率。流量增大时冷凝器换热系数提高、冷凝温度下降，主机耗电减少，但冷却水泵的耗电随之增加。反之流量减小时水泵耗电降低，但冷凝温度升高可能导致主机效率下降。变频改造的目标是在这两种相互制约的关系中寻求最优平衡点，使两者的能耗之和最小^[3]。

冷却水系统的变频控制通常以冷却水供回水温差作为控制目标。温差较大表明冷却水在冷凝器中吸收了较多热量，需要增加流量以改善换热；温差较小表明流量过剩，可适当减小水泵转速

降低能耗。与冷冻水系统不同的是，冷却水系统的散热效果还受到室外空气湿球温度的显著影响，环境温度较低时即使冷却水流量较小也能满足换热需求。控制策略中可考虑引入室外温度作为前馈补偿信号，使控制更加合理。

（三）冷却塔风机的变频调节方法

冷却塔风机强制空气流过填料层，加速冷却水与空气的热湿交换。在传统控制方式下，冷却塔风机一般采用间歇运行模式，水温升高至上限时启动风机，下降至下限时停止风机。这种控制方式虽然简单，但风机频繁启停对电气和机械部件造成较大冲击，同时水温在较大范围内波动不利于制冷主机的稳定运行。

变频改造后冷却塔风机采用连续调速运行方式。根据冷却塔出水温度的高低动态调节风机转速，温度较高时提高转速增强通风散热能力，温度较低时适当降低转速以节约电能。在过渡季节或夜间室外温度较低时，若仅靠自然通风即能满足降温要求，可令风机在极低转速下运行甚至短暂停机，最大限度地节省电耗。多台冷却塔并联运行时可通过可编程逻辑控制器协调各塔风机的运行状态，实现系统的整体优化^[4]。

（四）各子系统之间的协调控制原则

通信机楼中央空调系统各组成部分之间存在紧密的耦合关系。制冷主机的运行状态决定了冷冻水温度和冷却水温度的高低，冷冻水泵和冷却水泵的流量变化影响主机蒸发器和冷凝器的换热效果，冷却塔风机的运行又决定了冷却水能够被冷却到的温度水平。任何单一设备的调节都会通过系统内部的物理关联传递到其他环节。因此在变频控制方案的制定中，不能将各个子系统割裂开来分别考虑，而应从系统整体能耗最优的角度出发进行协调控制。

在实际工程实施中，可按照主机优先调节、辅机跟随匹配的原则进行控制。先根据总冷负荷需求确定开启的制冷主机台数及负荷率，然后依据主机对冷冻水和冷却水流量的要求分别设定水泵的频率，最后根据冷却水出水温度调节冷却塔风机的运行转速。各环节之间通过可编程逻辑控制器实现信息共享与联锁控制，避免出现流量过小导致主机保护停机或流量过大造成能源浪费的情况。

三、改造实施的关键技术与效益评估

（一）变频器选型与主电路设计要求

变频器选型需考虑电机功率、电流、负载类型、环境及控制精度，通信机楼要求高可靠性，选型应留10%-20%裕量。防护等级方面，安装于机房内的变频器可选择IP20防护等级，安装于水泵房或冷却塔附近的变频器则须选用IP54及以上防护等级以适应潮湿多尘的环境。

主电路设计应满足变频运行与工频运行两种模式之间的安全切换要求。每台水泵或风机配置变频接触器和工频接触器各一套，正常运行时由变频接触器供电，变频器故障时自动切换至工频接触器由原控制系统继续驱动设备运行。两种接触器之间须设置可靠的电气互锁和机械互锁，杜绝同时闭合引发短路事故。变

频器输入侧加装交流电抗器用于抑制谐波对电网的污染，输出侧加装输出电抗器用于削弱电压尖峰对电机绝缘的损害^[5]。

（二）温度检测与闭环控制系统的构成

可靠的过程参数检测是实现闭环自动控制的前提。冷冻水和冷却水的供回水温度是最核心的检测参数，测温元件的安装位置直接影响检测值的代表性。供水温度测点应设置在分水器或供水干管上距离水泵出口三至五倍管径处，回水温度测点设置在集水器或回水干管上距离末端设备回水口同样距离的位置。选用铂热电阻作为测温元件，精度等级不低于 A 级，信号经温度变送器转换为标准电流信号后送入可编程逻辑控制器的模拟量输入模块。

可编程逻辑控制器是整个闭环控制系统的运算核心。它接收温度传感器传来的信号，经过模数转换后与设定值进行比较，按照比例积分微分控制算法计算出控制量，再通过模拟量输出模块将数字量转换为标准的电压或电流信号传送给变频器。变频器根据接收到的信号调整输出频率，从而改变电机的转速。整个控制回路构成一个完整的负反馈闭环，使被控温度参数始终维持在设定值附近。

（三）系统调试与运行参数整定

变频改造工程完工后须经过系统调试才能投入正式运行。调试工作遵循先检查后通电、先空载后负载、先手动后自动的顺序逐步推进。通电前检查各接线端子是否紧固、接地是否可靠、传感器安装是否正确。空载调试时断开电机负载，单独测试变频器的启动、停止、正反转、加减速等基本功能是否正常，确认各操作按钮和指示灯动作无误。负载调试时接通水泵或风机，观察设备在不同频率下的运行电流、振动、噪声等参数是否在允许范围内。

可编程逻辑控制器内部的比例积分微分控制参数需要根据实际运行响应特性进行整定。整定的目标是使系统在负荷变化时能够快速响应、平稳过渡、无稳态偏差。工程上常用的整定方法是先纯比例运行，逐步增大比例增益至系统出现等幅振荡，记录临界增益和振荡周期，再按照经验公式计算比例积分微分参数。整定好的参数还应在实际负荷变化的条件下验证其适应性，必要时设置多组参数以适应不同季节的运行需要^[6]。

（四）改造效果的量化评估方法

节能效果的评估应采用对比法进行量化分析。最可靠的方法

是选取改造前后相同运行周期内的用电量数据进行对比，消除季节差异和负荷差异对评估结果的影响。在改造前对冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔风机的运行电流和用电量进行至少一个月的连续记录，作为基准能耗数据。改造完成后在同样条件下记录相同时间跨度的运行数据，两者的差值即为节电量。节电率的计算公式为节电量除以基准能耗乘以百分之百。

还应关注温差合理性、温度波动、设备故障率和噪声等运行品质指标。这些指标虽然难以用经济价值直接衡量，但对于通信机楼的安全生产和设备维护同样具有重要意义。综合能耗指标和运行品质指标的评价结果，才能全面客观地反映变频改造的实际成效。

（五）变频改造的综合效益分析

通信机楼中央空调变频改造的综合效益表现在多个层面。直接经济效益体现为电费支出的显著减少，按照典型工程经验，改造后水泵与风机的节电率可达百分之三十至百分之五十，通常在两年左右即可收回全部改造成本。间接经济效益来源于设备维修费用的降低，变频调速消除了电机启动时的大电流冲击和停机时的水锤冲击，水泵轴承、机械密封、阀门、管道等部件的使用寿命明显延长，更换频率降低。

变频调速使温度控制更平稳精确，减小热循环应力，降低设备故障率。从管理效益角度看，变频系统接入楼宇自动化管理平台后，运行数据可实时上传和记录，便于运维人员远程监控和科学管理，减少了人工巡检的工作量。

四、结束语

通信机楼空调变频改造，以设备散热负荷为基础，通过温差反馈进行控制。水泵和风机的功率可实现连续平滑调节。各子系统在统一架构下协调工作，防止单设备调节引发耦合。实践证明，变频调速能消除节流损失、减轻冲击、提高控制品质，节电率显著。改造投资回收期短，还能延长设备寿命，优化机房温度环境。随着变频器成本降低和控制算法进步，该技术在通信行业的应用前景看好。

参考文献

- [1] 陈怡塘. PLC 和变频器在中央空调节能改造中的应用探析 [J]. 中国新技术新产品, 2022(10): 69-71.
- [2] 付振宇, 王春, 张楠. 变频节能技术在中央空调系统中的应用 [J]. 自动化应用, 2023, 64(8): 1-3.
- [3] 刘金瑶. 中央空调电气节能智能控制研究 [J]. 中国新技术新产品, 2023(20): 45-47.
- [4] 王龙. 中央空调智能控制系统在建筑节能中的应用 [J]. 电子技术, 2024, 53(12): 366-367.
- [5] 陈敏. 中央空调智能控制系统在公用建筑节能中的应用 [J]. 环球市场, 2017(33): 382.
- [6] 赵颀. 节能技术在暖通空调设计中的应用 [J]. 工程设计与设计, 2024(17): 64-66.