

文章编号: 1671-6612 (2021) 06-861-05

温湿度独立控制空调系统设计阶段运维调试技术 把控——以夏热冬冷地区净零能耗示范建筑为例

钟辉智 彭治霖

(中国建筑西南设计研究院 成都 610042)

【摘要】 通过对夏热冬冷地区某“净零能耗建筑”温湿度独立控制空调系统的研究,提出“双冷源新风系统+干式风机盘管末端空调系统”及“双冷源全空气系统+工位送风空调系统”在设计阶段应该明确的监控参数、控制逻辑以及空调设备应该具备的自动控制功能,在设计阶段为后续的运维调试做好技术把控。

【关键词】 运维调试; 监测; 运行管理; 自动控制

中图分类号 TU24 文献标识码 A

Operation and Maintenance Debugging Technology Control in Design Stage of Independent Temperature and Humidity Control Air Conditioning System——The Net Zero Energy Consumption Demonstration Building in Hot Summer and Cold Winter Area is Taken as an Example

Zhong Huizhi Peng Zhilin

(China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610042)

【Abstract】 Based on the research on the temperature and humidity independent control air conditioning system of a "net zero energy building" in the hot summer and cold winter area, it is proposed that the "double cold source fresh air system + dry fan coil end air conditioning system", "Double cooling source all air system + station air supply air conditioning system" should have clear monitoring parameters, control logic and automatic control functions of air conditioning equipment in the design stage, so as to do well of technical control in the design stage for the operation and maintenance debugging.

【Keywords】 Operation and maintenance debugging; Monitoring; Operation management; Automatic control

基金项目: 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“净零能耗建筑关键技术与示范”项目(19YFE0100300-11); 四川省科技计划重点研发项目“绿色建筑运行性能提升关键技术研究”(2020YFS0060)

作者(通讯作者)简介: 钟辉智(1980.4-), 男, 博士, 高级工程师, E-mail: 83503675@qq.com

收稿日期: 2021-09-30

0 引言

截止2018年,我国建筑95%以上是高能耗^[1]、高碳排放建筑^[2]。据统计,中央空调系统能耗约占公共建筑总能耗的40~50%^[3],既有建筑中央空调系统运行能耗普遍偏高^[4]。其原因在于设计、施工、运行调适层层脱节,导致整个中央空调系统难以在实时负荷条件下发挥较高的运行能效。目前我国的电力主要还是依靠化石能源生产^[5],在“双碳”背

景下,降低建筑的空调运行能耗,是降低建筑行业碳排放的必然之路^[6]。

本研究以夏热冬冷地区某净零能耗示范建筑为例,研究该气候分区温湿度独立控制空调系统的运维调试技术在设计阶段所需把控的技术要点,为运维调适把控好第一道技术关口,为后续净零能耗目标的实现打下坚实的基础。

1 项目概况及研究内容

夏热冬冷地区“净零能耗建筑”的示范区域如图 1 所示，共 2 层，建筑面积约 2000m²，主要使用功能为办公室。该示范项目预期实现建筑年综合能耗≤65kWh/(m²·a)（包含供暖、通风、供冷和照明能耗，不含可再生能源），综合节能率达到 60%（以近零能耗建筑技术标准为参考）[7]；光伏装机容量 80kW，设计年发电量 5.6 万 kWh。



图 1 “净零能耗建筑”示范区域（虚线）

Fig.1 Demonstration area of "net zero energy consumption building"

为顺利实现能耗目标，本研究将明确空调系统在设计阶段需要明确的监控参数、控制逻辑以及空调设备需要具备的自动控制功能，为运维调试做好前期准备。

2 空调冷热源

本项目为提高能源利用的综合效率，空调系统采用温湿度独立控制系统，冷源采用高低温双冷源处理夏季室内显热冷负荷采用集中高温冷源，处理夏季湿负荷的冷源采用分散式冷源；冬季的空调热负荷由集中热源提供。集中冷、热源采用模块式磁悬浮高温冷水机组+低氮冷凝燃气热水机组，夏季提供 15/20℃ 的高温冷水，冬季提供 50/40℃ 的空调热水。该系统较常规冷水机组节能 15% 以上。

3 双冷源新风系统+干式风机盘管末端空调系统

“净零能耗建筑”示范区的一层功能为办公室，采用双冷源新风系统+干式风机盘管的温湿度独立控制空调系统，具体详见示意图 2。

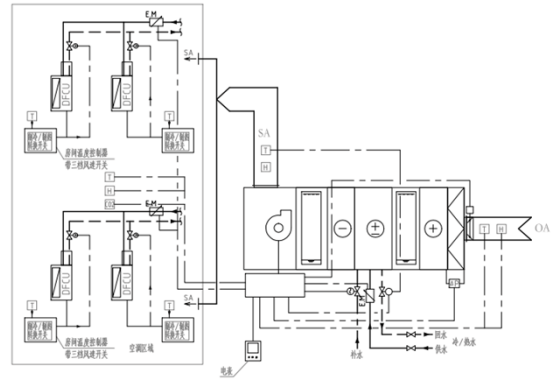


图 2 双冷源新风系统+干式风机盘管末端系统示意图
Fig.2 Schematic diagram of double cold source fresh air system + dry fan coil end air conditioning system

3.1 空调系统工作原理

湿度控制: 湿度控制主要是夏季，本项目冬季不做加湿处理。夏季新风及室内湿负荷由新风系统全部承担，优先利用高温冷冻水对新风进行降温、除湿，当需要进一步除湿时，开启热泵系统进行深度除湿。集中高温冷源提供的冷冻水进入新风机组冷/热盘管与新风（OA）进行预处理（W-L₁），内置分散冷源再根据预处理后的新风状态进一步的除湿（L₁-L₂），为了防止新风进入房间时结露，除湿后的新风需要用冷凝热加热到室内露点温度以上再送入室内（L₂-O）。具体过程如图 3 所示。

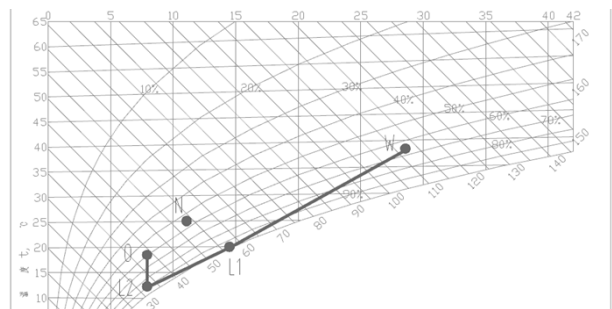


图 3 双冷源新风系统新风处理流程图

Fig.3 Flow chart of fresh air treatment of double cold source fresh air system

温度控制: 夏季工况，处理后的新风承担全部新风及室内湿负荷、部分室内显热冷负荷，剩余的部分室内显热冷负荷由室内风机盘管处理；冬季新风承担新风热负荷及部分室内热负荷，剩余的热负荷由风机盘管系统处理。

3.2 空调系统监测、计量和数据存储

实时了解空调系统各处理过程的运行状态是

进行故障及节能诊断、系统内部参数运算分析的关键。查阅历史数据进行能耗分析都离不开系统监测、计量和数据存储。

空气状态监测: 室外空气状态参数 W (干球温度、含湿量、 CO_2 浓度)、预处理状态参数 L_1 (干球温度、含湿量)、送风状态参数 O (干球温度、含湿量、风量)、室内空气状态参数 (干球温度、相对湿度、含湿量、 CO_2 浓度、露点温度)。

水系统监测: 新风机组水管 (供水温度、回水温度、水流量、供冷/热量)、风机盘管环路水管 (供水温度、回水温度、水流量、供冷/热量)。

设备能耗监测: 新风送风机 (电耗独立计量、风机风量、全压、频率)、深度除湿机 (供冷量、电耗独立计量、能效比)、风机盘管 (独立计量)。

其他监测: 新风阀 (开关状态)、空气过滤器 (进出口压差)、开窗监控 (避免人为误操作, 造成室内风口结露); 高温冷冻水回水管路上的电动二通调节阀开度。

数据存储: 对以上需要进行监测的数据以便于分析的格式进行存储, 以便后期能查阅分析。

3.3 空调系统节能运行管理

空调系统的运行管理不仅关系到空调区域人员的舒适性, 更关系到整个空调系统的运行能耗; 一个好的运行管理必须建立在合理、智能的系统上。

新风量的调节: 夏季新风运行管理较复杂, 先通过室内外 CO_2 浓度、目前新风量计算室内 CO_2 散发强度, 然后计算满足人员卫生条件的最小新风量; 通过室内空气的含湿量、目前新风量及新风机组送风含湿量计算室内散湿强度, 然后根据新风机组送风含湿量调节范围计算除湿新风量范围, 最后计算满足风机和除湿压缩机综合能耗最低的新风量; 将前面两个风量计算值与风机最低设定频率风量进行比较, 以此确定新风机组的运行风量。

冬季运行管理较简单, 根据室内 CO_2 浓度、风机最低设定频率风量确定最小运行新风量。通过全年的新风量优化运行管理, 可以节约新风机耗。

室内含湿量的调节: 夏季根据新风量、新风送风含湿量、室内空气含湿量计算室内散湿强度; 根据室内空气含湿量的设定值, 调节除湿系统的除湿量和新风送风的含湿量。在运行过程中可以在满足人员舒适性和室内风机盘管干工况的前提下尽量提高室内的相对湿度, 不仅可以减少除湿系统的出

力还可以减少防止新风口结露的再热损失。本设计冬季不做加湿处理。

室内温度的调节: 根据人员的需求设定室温, 风机盘管自动运行控制室温。

系统水流量的调节: 夏季根据新风量、室外空气状态、新风预处理状态、冷冻水供水温度、具体盘管型号对应的参数计算出冷冻水最优经济流量和供回水温差, 并以此水流量作为水管上电动调节阀的控制目标值, 保证末端冷冻水按需分配; 风机盘管的水环路可以采用温差控制阀 (控制温差不低于 $5^{\circ}C$), 实时控制该水环路上的流量避免大流量小温差的现象; 降低水流量可以节约冷冻水泵能耗。

冬季根据新风量、室外空气状态、新风送风状态 (不低于室温设定值)、空调热水供水温度计算出热水最优经济流量和供回水温差, 并以此水流量作为水管上电动调节阀的控制目标值, 保证末端空调热水按需分配; 风机盘管的水环路可以采用温差控制阀 (控制温差不低于 $10^{\circ}C$), 实时控制该水环路上的流量避免大流量小温差的现象; 降低水流量可以节约冷冻水泵能耗。

阀门联动控制: 新风入口的电动风阀、回水管上的电动二通调节阀与新风机连锁启闭; 干式风机盘管送风机与回水管上电动二通阀连锁启闭。

3.4 空调系统自动控制功能

新风量自控功能: 新风机组能对各种监测数据进行采集、记录, 并能够将运行数据进行分析 and 计算, 将计算出的最优新风量作为控制值控制送风机频率, 达到节能运行。

新风含湿量自控功能: 新风机组能通过室内人员舒适性要求、室内风机盘管干工况和运行节能要求对室内空气含湿量进行再设定, 新风机组可以自动根据监测数据进行计算、控制新风除湿量。

冷热水流量自控功能: 新风机组能对各种监测数据进行采集、记录, 并能够将运行数据进行分析 and 计算, 将计算出来的最优空调冷热水流量作为控制值控制新风机组回水管上的电动二通调节阀开度。

4 双冷源全空气系统+工位送风空调系统

“净零能耗建筑”示范区的二层为开敞办公区域, 采用双冷源全空气空调系统+工位送风。夏季承担室内及新风冷负荷; 冬季承担室内及新风热

负荷。

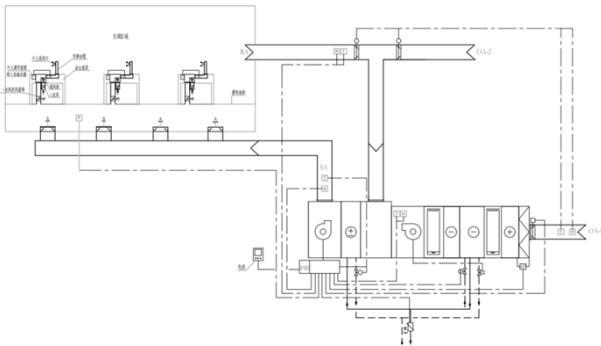


图 4 双冷源全空气系统+工位送风示意图

Fig.4 Schematic diagram of double cooling source all air system + station air supply

4.1 空调系统工作原理

湿度控制: 夏季高温冷冻水经过一级盘管将新风进行初步的降温、除湿, 热泵系统再进行深度除湿, 新风送风含湿量可以再设定; 室外新风经过高温冷水处理至 ($W \rightarrow L_1$), 新风经过深度除湿 ($L_1 \rightarrow L_2$) 后与室内回风进行混合 ($N+L_2=C$) 后再降温处理至送风状态 (O), 最后送入室内 ($O \rightarrow N$), 具体过程如图 5 所示; 过渡季通过、冬季不做控制。

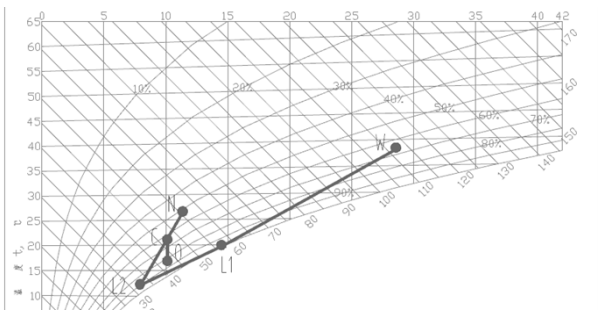


图 5 双冷源全空气系统空气处理流程图

Fig.5 Flow chart of air treatment of solution dehumidification all-air system

温度控制: 夏季室内回风与深度除湿后的新风混合以后, 根据混合后温度调节二级盘管回水管上的电动二通调节阀开度; 冬季仅使用二级盘管进行供暖调节; 室内温度控制同时采用变送风量控制。

送风量控制: 根据末端静压箱内静压控制点的静压设定值调节送风机频率; 结合室内工位送风一次风最小总风量、变频风机特性、最小新风量要求设定最小频率限值。

新风量控制: 夏季根据室外空气焓值与室内空气焓值 (空调回风) 作比较, 室外空气焓值高于室

内焓值时最小新风量运行; 当室外空气焓值位于室内空气焓值与送风空气焓值之间时, 全新风运行; 当室外空气焓值低于送风空气焓值时, 回风与新风按送风温度要求进行混合后送入室内。

工位送风控制: 不同工况下, 并联风机动力型送风装置根据送风温度设定值自动调节一次风与室内回风的混合比例。

4.2 空调系统监测、计量和数据存储

实时了解空调系统各个处理过程的运行状态 便于进行故障、节能诊断、系统内部参数运算分析; 查阅历史数据进行能耗分析都离不开系统监测、计量和数据存储。

空气状态监测: 室外空气状态参数 W (干球温度、含湿量、 CO_2 浓度、新风量)、预处理状态参数 L_1 (干球温度、含湿量)、深度除湿状态参数 L_2 (干球温度、含湿量)、混合状态 C (干球温度、含湿量)、送风状态参数 O (干球温度、含湿量、送风量)、室内空气状态参数 (干球温度、相对湿度、含湿量、 CO_2 浓度、露点温度)。

水系统监测: 一级盘管水管 (供水温度、回水温度、水流量、供冷/热量)、二级盘管水管 (供水温度、回水温度、水流量、供冷/热量)。

设备能耗监测: 新风送风机 (电耗独立计量、风机风量、全压、频率)、深度除湿机 (供冷量、电耗独立计量、能效比)、送风机 (电耗独立计量、风机风量、全压、频率)。

其他监测: 新风阀 (OA-1、OA-2 开关状态)、空气过滤器 (进出口压差)、一级和二级电动二通调节阀的开度、静压箱压力监控。

数据存储: 对以上需要进行监测的数据以便于分析的格式进行存储, 以便后期能查阅分析。

4.3 空调系统节能运行管理

空调系统的运行管理不仅关系到空调区域人员的舒适性, 更关系到整个空调系统的运行能耗; 一个好的运行管理必须建立在合理、智能的系统上。

新风量的调节: 夏季采用最小新风量运行, 先通过室内外 CO_2 浓度、目前新风量计算室内 CO_2 散发强度, 然后计算满足人员卫生条件的最小新风量 (L_x); 通过室内空气的含湿量、目前新风量及新风含湿量计算室内散湿强度, 然后根据除湿热泵的含湿量调节范围计算除湿新风量范围 (L_s), 找出 L_x 与 L_s 的交集 (L_j); 最后在 L_j 风量范围内计

算满足风机和除湿压缩机综合能耗最低的新风量 (Ly), 以此作为新风机的运行风量。

过渡季根据焓值进行调节, 当室外空气焓值位于室内空气焓值与送风空气焓值之间时, 全新风运行; 当室外空气焓值低于送风空气焓值时, 回风与新风按送风温度要求进行混合后送入室内。

冬季运行管理较简单, 根据室内 CO₂ 浓度、风机最低设定频率风量确定最小运行新风量。通过全年的新风量优化运行管理, 可以节约新风能耗。

室内温度的调节: 夏季根据送风量、送风温度、回风温度计算显热负荷, 根据人员再设定的室温、含湿量计算送风温度上限值及室内的露点温度, 以送风温度高于露点温度 1°C^[8]为送风温度控制目标 (当不满足时, 调节含湿量的设定值), 最后根据室内显热负荷调节送风机风量 (降频调节) 以达到室温、节约风机能耗的目的。

过渡季全新风时, 根据送风量、送风温度、回风温度计算显热负荷, 当仅靠全新风无法带走室内显热时, 温度调节与夏季最小新风工况一致; 当全新风自然冷量可以带走室内显热, 可以全新风通风降温; 当全新风自然冷量大于室内需求时, 可以根据室内 CO₂ 浓度、带走室内显热所需风量取大值确定新风量, 再与送风机最低设定频率风量比较取大值确定送风机的风量和频率, 不仅高效利用室外风自然冷量, 同时降低了风机能耗。

冬季采用最小新风量运行, 通过调节二级盘管回水管上的电动水阀达到调节送风温度的目的。

室内含湿量的调节: 夏季根据新风量、新风送风含湿量、室内空气含湿量计算室内散湿强度, 根据室内空气含湿量的再设定值, 调节除湿系统的除湿量和新风送风的含湿量。在运行过程中可以在满足人员舒适性以及避免送风口结露 (根据送风温度) 的前提下尽量提高室内的相对湿度, 可以减少除湿系统的出力, 节约能耗。本设计过渡季、冬季不做加湿处理。

送风量调节: 静压箱内设定静压控制值, 该静压值可再设定, 根据不同的热湿负荷计算出不同的送风量需要, 根据需要送风量以及工位送风末端的特性 (流量-阻力特性) 确定静压箱所需的静压控制值, 并将此控制值作为风机频率的控制信号控制风机变频运行, 节约风机能耗。

一级盘管水流量的调节: 夏季根据新风量、室外空气状态、新风预处理状态、冷冻水供水温度、具体盘管型号对应的参数计算出冷冻水最优经济流量和供回水温差, 并以此水流量作为水管上电动调节阀的控制目标值, 保证末端冷冻水按需分配; 降低水流量可以节约冷冻水泵能耗。冬季一级盘管关闭。

二级盘管水流量的调节: 夏季及过渡季自然风冷量不满足通风降温的要求时, 以低于显热负荷对应的送风温度值且高于室内露点温度 1°C 的温度值作为送风温度控制值调节二级盘管回水管上的电动调节阀及水量; 冬季采用最小新风量运行, 通过需要的送风温度调节二级盘管回水管上的电动水阀。

阀门联动控制: 夏季新风 OA₂ 电动风阀关闭, 新风 OA₁ 及回风电动风阀、一二级水盘管上的电动调节阀与新风机及送风机连锁启闭; 冬季一级水盘管回水管上电动水阀关闭、新风 OA₁ 电动风阀关闭, 新风 OA₂ 及回风电动风阀、二级水盘管上的电动调节阀与送风机连锁启闭; 过渡季一二级盘管回水管上电动水阀关闭、新风 OA₁ 电动风阀关闭、新风 OA₂ 及回风电动风阀与送风机连锁启闭。

4.4 空调系统自动控制功能

新风量自控功能: 空调机组能对各种监测数据进行采集、记录, 并能够将运行数据进行分析 and 计算, 将计算出的最优新风量作为控制值控制新风机频率, 达到节能运行。

送风温度、送风量自控功能: 空调机组能对各种监测数据进行采集、记录, 并能够将运行数据进行分析 and 计算, 计算出的最优送风温度、送风量, 送风机能够根据静压箱压力设定值进行自动变频调节。

含湿量的自控功能: 空调机组能通过室内人员对含湿量的再设定、送风口防结露温度要求, 自动根据监测数据进行计算、控制新风除湿量。

冷热水流量自控功能: 空调机组能对各种监测数据进行采集、记录, 并能够将运行数据进行分析 and 计算, 将计算出来的最优空调冷热水流量作为控制值控制空调机组回水管上的电动二通调节阀开度。

(下转第 888 页)