

基于热舒适度的水泥厂中控室暖通设计优化

曹晓博 王寅鑫

北京凯盛建材工程有限公司 北京 100004

【摘要】：水泥厂中控室作为生产调度核心空间，对环境稳定性与人员舒适性要求较高。实际运行中，暖通系统普遍存在温湿控制精度不足、气流分布不均及能耗偏高等情况，难以满足持续作业需求。基于热舒适度评价指标，对中控室环境参数、气流组织及负荷特征进行系统分析，构建以多参数耦合与动态热平衡为核心的设计优化路径，通过优化分体空调室内外机布局与运行参数调节、调整温湿度控制策略及完善分区调节机制，实现环境均匀性与控制精度提升。运行结果显示，室内热舒适指标明显改善，局部冷热不均现象得到缓解，同时系统运行能耗趋于合理，整体运行稳定性增强。

【关键词】：热舒适度；中控室；暖通设计；气流组织；节能优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.045

引言

水泥生产过程连续性强，中控室长期处于高强度运行状态，操作人员对环境稳定性与舒适体验的依赖程度较高。设备散热、人员密集及外部环境波动共同作用，使室内热环境呈现出复杂变化特征，传统暖通设计多侧重负荷计算与设备选型，对人体热舒适指标关注不足，导致局部区域温差明显、空气分布不均及控制响应滞后等现象频繁出现。以热舒适度为导向的设计理念逐渐成为优化方向，通过引入定量评价模型与精细化调控手段，对暖通系统运行参数进行针对性调整，可在保证工艺环境稳定的基础上改善人员体验，并推动系统运行由粗放控制向精细调节转变。

1 中控室热环境特征与舒适性影响机制

1.1 设备散热与空间热负荷分布特征

设备连续运行产生的显热负荷构成中控室热环境的主导来源，机柜集中布置导致局部区域热密度显著提高，形成明显的空间温度梯度。不同设备运行状态下的散热强度存在动态差异，使热负荷呈现时变特征，叠加设备高度差异与布置紧凑性，易造成垂直方向温差扩大。室内空气流动若未与热源分布相匹配，热量滞留与短路现象将进一步加剧局部过热问题。结合精细化设计理念，需要通过热负荷分区识别与室内机分区运行调节，实现冷热源精准对应，提高空间温度均匀性与控制响应精度。

1.2 人员密度变化对环境参数的扰动规律

中控室人员值守具有明显的时段性与集中性特征，人员数量波动直接影响显热与潜热负荷水平，进而改变室内温湿度动态平衡状态。人体代谢释放的热量与水汽在短时间内叠加，易引发局部区域温度上升与湿度波动，导致热舒适指标偏离设定区间^[1]。人员活动频率增加还会改变气流路径，使原有空气循环受到扰动，降低环境参数稳定性。面向精细调控需求，应构建与人员分布相适应的动态调节机制，通过实时监测与分区控制手段提升系统对负荷波动的响应能力。

1.3 围护结构与外界气候耦合影响

围护结构的传热性能与气密性直接决定外界气候对室内环境的渗透程度，墙体、门窗及缝隙部位成为热量交换的重要通道。外部温度变化与太阳辐射强度通过围护结构传导至室内，形成附加冷负荷或热负荷，叠加室内设备散热效应，使热环境更加复杂。气密性不足还会引起无组织渗风，导致局部温湿度失衡及能耗增加。绿色低碳设计理念要求强化围护结构性能优化，通过提升隔热性能与密封水平，降低外界扰动影响，为暖通系统稳定运行提供基础条件。

2 现有暖通系统运行偏差与不足表现

2.1 温湿度控制精度与稳定性不足

现有暖通系统多依赖固定设定值与经验参数进行调节，缺乏对室内热环境动态变化的精细感知与反馈机制，导致温湿度控制存在偏差积累与波动放大现象。设备散热与人员活动引起的负荷变化未能被及时捕捉，控制系统响应滞后，使局部区域温度偏高或偏低情况频繁出现。湿度调节环节受限于传感布点单一与控制策略粗放，难以实现多区域均衡控制，易形成干湿不均。基于精细化与智能化发展理念，传统单点控制方式难以满足中控室对稳定性与均匀性的要求，亟需向多维感知与动态调节转变。

2.2 气流组织不合理引发局部不适

中控室普遍采用的分体空调形式中，室内机送风百叶设置与设备机柜布局之间缺乏系统协同设计，室内机出风扩散路径与热源分布不匹配，造成冷风直吹操作岗位与热空气滞留于天花板或机柜背部的现象并存。室内机送风速度与导风板角度设置不合理，使部分区域形成气流短路或回流死角，影响空气交换效率，降低温度调节效果。室内空气流动未充分考虑空间高度差异与设备排列密度，垂直分层现象明显，导致上部热量积聚而下部区域温度偏低^[2]。以热舒适度为导向的设计要求强调流场均匀性与人体感知匹配，当前系统在室内空气流动优化方面仍停留在经验层面，缺乏基于模拟分析与参数调控的精细设

计支撑。

2.3 系统调节滞后与能耗水平偏高

控制策略多采用定时启停或单一负荷响应模式,缺少对实时运行状态的动态识别与预测能力,系统调节存在明显滞后性,难以及时适应负荷变化。分体空调压缩机频繁启停或运行于非高效区间,导致能源利用率偏低,整体能耗水平上升。各区域独立控制的分体空调之间缺乏联动与协调,彼此运行状态互不匹配,形成过度供冷或供热现象,加剧能源浪费。绿色低碳理念下,对系统运行效率与节能水平提出更高要求,现有暖通系统在协同控制与能效优化方面存在明显短板,需通过智能控制与精细调度实现运行模式转型。

3 基于热舒适指标的暖通优化设计路径

3.1 热舒适区间导向的参数设定方法

人体热舒适性基于室内热环境参数与生理调节机制的动态平衡,需综合考量空气温度、相对湿度、气流速度及人员代谢率、衣着热阻等因素,为暖通参数设定提供定量依据。结合中控室连续作业特点,将人员活动强度与设备散热纳入边界条件,构建动态修正的评价体系。通过对不同工况下温度场、速度场与湿度场的耦合趋势进行分析,确定适宜的温湿度控制区间与气流速度范围,避免单一温度控制导致的舒适偏差。结合多点传感数据进行加权处理,精细刻画局部环境状态,并将热舒适评价算法嵌入控制系统,实现设定参数的自适应调整,推动暖通系统由经验控制向数据驱动转变,提升环境控制的科学性与一致性。

3.2 室内机布局与气流组织优化策略

分体空调室内机布置与导风方向直接影响室内热量分布,应结合设备布局与人员活动区域进行一体化设计。优化室内机安装位置与导风百叶角度,使冷空气优先覆盖热源集中区域并沿合理路径扩散至操作区,避免直吹与气流短路。合理保持室内机进风区域畅通,兼顾空气循环效率及流场稳定性,减少滞流区与温度分层。调整出风风速与导流板摆幅,促进上下层空气混合,提升温度均匀性^[3]。结合数值模拟识别不利流动区域并针对性调整,实现流线优化。气流组织需与设备散热特征相耦合,使空气流动路径与热负荷传递相匹配,从而提升整体热舒适水平与运行效率。

3.3 分区控制与智能调节机制构建

分区控制通过将中控室划分为若干功能区域,实现差异化环境调节,以适应不同区域的热负荷特征与舒适需求。依据设备布置密度、人员分布及空间结构划分控制单元,并为各区域对应的分体空调配置独立的温湿度传感与遥控或集控调节装置,提高局部控制精度。智能调节机制通过引入数据采集与分析系统,对环境参数与空调设备运行状态进行实时监测,构建多变量联动控制策略,实现对温度、湿度与气流的协同调节。

利用算法模型对负荷变化趋势进行预测,可提前调整运行参数,减少调节滞后带来的波动。结合节能优化理念,通过负荷匹配与按需供能策略,降低空调无效运行时间,提高能源利用效率。分区控制与智能调节的融合,使暖通系统具备自适应调节能力,能够在复杂工况下保持环境稳定性与舒适性,实现由集中控制向精细化管理转变。

4 优化措施实施过程与运行调控方式

4.1 系统改造方案与设备配置调整

优化实施以热舒适指标为导向,对中控室分体空调系统进行结构性调整与设备升级配置。针对中控室热负荷分布特征,重新规划分体空调室内机与室外机的对应关系及布局,调整室内机安装高度与送风百叶类型,使空调送风路径与热源分布形成协同关系。末端设备选型依据实际负荷需求与运行工况进行重新匹配,优选具备变频调节功能的空调机组,提升制冷与送风能力的调节精度与响应能力,避免高负荷运行与低效运转并存的问题。对空调末端控制装置进行功能细化,通过采用角度可调导风百叶与高精度电子膨胀阀,实现区域负荷的精细调节。结合节能导向,对系统运行方式进行优化设计,强化室内外机之间的冷媒传输效率与热交换能力,提升整体运行协调性。

4.2 运行参数动态调节与联动控制

运行调控环节以多参数协同为核心,通过对温度、湿度及气流速度等关键变量进行动态调节,实现环境状态的持续优化。控制策略由传统单一参数调节向多变量联动模式转变,结合实时数据对系统运行状态进行判断,并对室内机出风温度、风速档位及压缩机运行频率进行协调调整^[4]。针对负荷变化引起的环境波动,通过建立响应机制缩短调节时间,减少温湿度偏差持续时间。不同区域之间通过分体空调的集中控制接口实现协同运行,避免局部调节对整体系统造成扰动。结合智能化发展路径,引入自适应算法对运行数据进行分析,实现参数调节的自动优化,使系统运行逐步趋于稳定与高效。动态调节策略强化了系统对复杂工况的适应能力,使环境控制从被动响应向主动调控转变。

4.3 环境监测与数据反馈机制完善

环境监测体系通过多点布设传感装置,实现对中控室温度、湿度、气流速度及关键热环境参数的连续采集,形成覆盖全面的数据获取网络。监测数据经过集中处理与分析后,为系统调控提供实时依据,增强控制决策的准确性。数据反馈机制强调闭环管理,将监测结果与控制系统联动,使参数调整能够及时响应环境变化,降低偏差累积。通过构建分层数据管理结构,对不同区域环境状态进行分类分析,提高异常识别能力与调节针对性。结合数字化发展理念,引入数据可视化与趋势分析功能,使系统运行状态具备可追溯性与可评估性。持续的数

据积累为优化策略调整提供支撑,使暖通系统运行逐步实现精细化与智能化管理。

5 运行效果检验与综合性能评估

5.1 热舒适指标改善程度对比分析

以热舒适评价指标为核心,对优化前后中控室热环境进行系统对比分析,通过多时段、多工况数据采集,评估舒适区间覆盖程度与偏离幅度变化。优化后参数控制趋于精细,热感觉指数波动范围明显收敛,偏离中性区间的持续时间缩短,环境调控精度显著提升。不满意率指标呈下降趋势,人员对环境的不满意比例得到有效控制,环境感知趋于稳定。对关键区域与边缘区域数据差异进行分析,进一步验证局部改善的均衡性。引入动态权重处理方法,增强不同工况下指标变化的可比性与结果可靠性,为热舒适导向设计提供量化支撑。

5.2 室内环境均匀性与稳定性变化

空间内温湿度分布状态通过多点监测数据进行分析,重点关注不同区域之间的梯度变化与波动幅度。优化措施实施后,温度场与湿度场分布趋于均匀,垂直与水平温差明显缩小,气流组织更加合理,减少局部冷热不均现象。环境稳定性通过连续时间序列数据进行评估,温湿度波动频率与幅度均有所降低,系统对负荷变化的响应更加平滑^[5]。对关键运行时段进行分析,可发现环境参数维持在设定区间内的持续性增强,说明

调控策略具备较好的稳定控制能力。结合精细化管理理念,均匀性与稳定性的提升体现了系统由粗放调节向精确控制的转变。

5.3 系统能耗水平与运行效率评估

能耗评估基于系统运行数据与负荷匹配关系,对优化前后能源消耗情况进行对比分析。通过对空调设备运行时间、负荷率及能效指标进行综合计算,可反映系统整体运行效率变化趋势。优化后运行策略更加贴合实际负荷需求,空调设备高效运行区间占比提高,低效或空转现象得到抑制,单位负荷能耗明显下降。联动控制机制的引入使各子系统协同运行能力增强,减少不必要的重复供能,提高能源利用率。结合绿色低碳发展导向,能耗结构趋于合理,系统在保障热舒适性的前提下实现节能运行,为中控室暖通设计优化提供可靠的性能验证依据。

6 结语

基于热舒适度的设计思路对中控室暖通系统进行系统性优化,能够有效协调环境参数控制与人员感知需求之间的关系。通过多参数耦合分析、气流组织重构及智能调节等手段,环境均匀性与稳定性得到明显提升,系统运行更具针对性与适应性。能耗控制与舒适指标实现协同改善,体现出精细化设计与数字化调控的综合优势,为工业控制空间暖通优化提供可行路径与技术支撑。

参考文献:

- [1] 徐兴宁.基于绿色节能理念的建筑暖通设计优化研究[J].工程建设(维泽科技),2024,7(11):163-166.
- [2] 唐立娜,梁枫迪,颜金珊,何秋琴,王宁,杨晨,张雨辰,郑欣雨,王琳.基于不同收敛交叉映射算法的土地利用变化对环境热舒适度的时空响应因果分析[J].生态学报,2025,45(12):5619-5636.
- [3] 林宇凡,田宇航,李安琪,杨秋侠,李宁,李婷.路面反射率对室外热舒适度的提升效应研究[J].城市道桥与防洪,2025(5):243-248.
- [4] 解鹤,潘璠.智能控制技术在农业园区中控室安全系统中的应用[J].农业装备技术,2024,50(5):14-16.
- [5] 田勇.南水北调中线干线中控室输水调度模式优化研究[J].中国水利,2019(23):46-49.