

工业厂房采暖系统水力失衡诊断与调节

白思卓 周文婷 王家梁

中国联合工程有限公司 浙江杭州 310051

摘要: 聚焦工业厂房采暖系统水力失衡问题, 构建包含数据采集、指标分析、成因定位的诊断体系, 提出管路优化、设备升级、动态控制、分区调节及运维完善五大措施, 期望为相关单位提供参考, 显著降低水力失调率, 缩小区域温差, 提升能源利用效率, 为工业采暖系统节能运维提供技术支撑。

关键词: 工业厂房; 采暖系统; 水力失衡; 诊断和调节

工业厂房采暖是保证企业生产环境稳定和员工舒适度的重要设备, 其工作效能对企业的生产率和能耗有着重要的作用。但受空间跨度大、管线布局复杂、热负荷分布不均匀等影响, 工程运行过程中普遍出现部分地区温度过高或过低、能耗超标、设备使用寿命短等问题, 影响采暖系统的正常运行。如何精确地识别建筑供暖系统中的水力不平衡原因, 实现对其进行有效调控, 是提高建筑供暖系统运行稳定性和降低能耗的关键, 为此便需要建设单位能做好综合分析, 以工业厂房采暖系统中的水力失衡为对象, 从影响其不平衡的主要因素入手, 探讨其故障诊断和调控策略, 为我国工业供暖系统的节能转型和精细运行管理奠定基础。

一、工业厂房采暖系统水力失衡诊断与调节的意义

由水力系统失稳引起的局部温度分布不均匀, 不但会造成高精度加工装备的工作质量下降, 而且还会使工人的工作舒适性下降, 进而对生产率产生直接的影响。在采暖过程中, 采暖过程中存在着大量的能源消耗, 供热总能量高于均衡状况的15%~30%, 导致企业运行费用上升。另外长时间的失衡会加剧管道腐蚀和阀门卡涩等装置的损失, 降低系统的运行周期, 增加维修费用和事故停工的风险。为此进行水力系统的水力失衡稳诊断和调控研究, 不仅可以精确地解决系统内的温度不均匀问题, 保证生产过程的稳定和员工的舒适性, 还可以大幅度地减少能耗和设备的维护费用, 对于实现企业的节能减排、提高生产安全和可持续发展都有着十分重大的现实意义。

二、工业厂房采暖系统水力失衡诊断体系的构建

(一) 基础数据采集技术

为解决供暖过程中的主要问题, 需要对供暖过程中重要操作参数进行准确、完整的获取。主要信息包括管

网流量、干管和支管压力、供回水平均温度、各功能区的环境温度等及外部环境温度和系统运行时间等其他辅助信息。采用超声波流量计、高精度压力传感器和铂电阻温度传感器等装置, 依托分布式布置实现全系统无死角监测, 传感器安装位置优先选择管路平直段以降低测量误差。对管道进行全方位的监控, 以持续监控方式进行, 确保捕捉瞬时失衡状态, 采集数据通过工业物联网技术实时传输至数据处理平台, 经降噪滤波处理后存储为标准化格式, 为后续量化分析提供完整且可靠的原始数据支撑, 保障诊断结果的准确性。

(二) 失衡指标量化分析

失衡指标的定量分析是诊断体系的关键, 具体操作是工作者构建科学的评价指标系统, 对不平衡状况进行精确定量评价。选择流量偏差率、供回水温差不均匀性、压力损失超标率和区域温度达标率等为主要定量指标, 随后即可选择比较不同地区的供回水温度和系统的平均温度差异, 来定量计算不同地区的供回水温度差异; 压损超限值集中管道和装置的压降有无超过设计要求; 而在此基础上, 根据各车间的环境气温指标, 对没有达标的地区所占比例进行了统计。在此基础上, 采用权重法对各项指数进行量化, 并结合工业采暖系统运行规范设定分级标准, 将失衡程度划分为轻微中度重度三个等级, 为后续成因定位提供明确的数据支撑。

(三) 多维度成因定位模型

多维度成因定位模型可以推进设计设备的运营和维护, 实现对各方面因素的结合, 建立系统的致因分析架构。在设计尺度上, 着重对管道布置的合理性和管道的配管精度和水力计算的精确性进行研究, 并对管网中有无分支阻力相差太大或者没有找到合适的水力平衡点。装置尺寸焦点在于调整泵的操作参数, 如换热装置的传

热系数等，以判定由于装置的老化，或者由于选择不恰当而引起的失衡；在操作层面上，重点研究在不同工况下，机组启动和停止的规则和调整方法的适应性，并对工况与工况的匹配性进行研究；维修尺度检查管道的正常检查、管道的洁净程度与实时故障，确定维修不足对系统水力均衡的影响。在此基础上，还可以选择构建定量指标与各个因子之间的相关关系，利用数据对比和逻辑推断，精确地确定引起水力失衡的关键原因，为有针对性地调控措施的实施奠定基础。以中国石油抚顺石化化工塑料厂为例，其采暖系统改造前存在近端过热远端冻堵问题，经模型分析发现：设计维度上，主干管与支路管径匹配偏差达25%，导致远端资用压头不足；设备维度中，50%的手动平衡阀因长期未校验出现卡涩，实际流量偏差率超过40%；运行维度显示，生产车间热负荷波动达30%时，系统未能及时调整水泵频率；维护维度中，管路沉积物厚度平均达2mm，局部阻力系数增加18%。

三、工业厂房采暖系统水力失衡的优化调节措施

（一）管路系统结构优化

管网结构优化是破解管网水力失衡问题的基础工程，其关键在于通过科学匹配管径、优化管线布置、降低局部阻力和优化传热装置，构筑阻力平衡的水循环系统。由于厂房空间跨度大，热负荷分布不均匀，常规管道往往会出现管径选择不当、布局不合理、弯头和阀门数量过多等问题，造成管道内流体流动与管道内壁的流动阻力相差较大，且远端流动较少。在实现最优方案时，需要根据电厂的热载荷进行准确的配比，以防止管道直径过小引起的管道末端的阻力集中或过大而引起的能量消耗。在实际应用期间，可以采取环形管网布置方案，取代常规的树状布置方式，提高系统的分流柔性；减少管道中的弯头和阀门数量，如有需要，增加水力分流装置以减小部分的摩阻系数；并按各分区的热负载要求，对换热器进行优化配置，以保证各换热器的散热面积与负载相适应。北方某重型机械厂焊接车间通过上述优化，将支管管径从DN50-DN65调整为DN80，减少弯头20个，增设3个水力分配器，改造后系统压力损失从12kPa降至6kPa，各区域温差从14℃缩小至 ± 2 ℃，年节省燃煤60吨，充分验证结构优化对平衡水力工况的显著效果。

（二）水利调节设备升级

改造后的水力调节设备侧重于提高对流体的流动和压力的精确调控，经过淘汰落后低效的设备和引进智能调节设备，解决人工调节阀调节精度低、响应速度慢、

易磨损等问题。在常规的工业采暖中，手动平衡阀和普通闸阀等装置在经过长时间的使用后，容易产生卡涩和泄漏现象，其调整精度达不到 $\pm 10\%$ ，很难对系统的动态水力进行自适应调整，造成较高的水力失调速率。在设备的改造中，要优先选择智能平衡阀和电动调节阀等高效率的装置，这些装置具有调节比大、调节精度高（ $\pm 1\%$ ）和支持遥控等优点，能够对系统的水压变动做出及时的反应。

在设备的改造中，要优先选择智能平衡阀和电动调节阀等高效率的装置，这些装置具有调节比大、调节精度高（ $\pm 1\%$ ）和支持遥控等优点，能够对系统的水压变动做出及时的反应。在实际应用中，可以选择配置高的精度流量和压力传感器和智能控制器，建立数字监控和调整网络，对生产过程进行监控和自动调整。青岛某供热公司对12座工厂升级艾蓝智能平衡阀及超声波流量计，改造后系统水力失调速率从18%降至5%，热损耗率减少22%，单个汽车零部件厂房采暖季能源成本降低15万元，充分证明设备升级对提升系统水力平衡性能及节能效益的关键作用。

（三）动态水力平衡控制

基于数字技术，构建传感、解析、调控的闭环系统，实现热力负载与水力运行状态的实时匹配，突破传统静态调整方式无法应对负载变动带来的问题。工业建筑的热负荷受生产工艺和室外温度等多种因素的作用而发生明显的变化，而传统的手工调控方法主要依靠经验来进行，其反应速度慢、准确性差，造成供求不平衡。实现动态调控需要建立智能采暖管理系统，接入网络连接多个传感器进行流量、压力、温度等数据的采集，并利用人工智能的预测方法预先判断供暖系统的运行状况。利用变频调速，阀门自动调节，多热源协同配置，以适应负载的变化，对水力参数进行实时调节，保证整个系统的均衡；在此基础上，结合气象补偿等手段，实现对室内水温的动态调节，提高能耗的有效使用。

如在济南能源集，团为覆盖的工业厂房搭建数字孪生管控平台，采用LSTM算法预测热负荷，改造后系统响应时间从30分钟缩短至9分钟，水力失衡率降至3%，化工园区厂房蒸汽消耗量减少25%，年节约标煤2.4万吨，彰显了动态控制在提升系统稳定性与节能性中的核心价值。

（四）分区供暖精准调节

数据动态调整各分区供水量与供水温度。一汽解放传动事业部车桥3号厂房划分8个供暖分区，针对性优

化调控后,各分区温度达标率从75%提升至98%,年采暖节能率超29%,办公楼区域年节约电费8万元,这证明着要根据工厂各功能区的热负载差别,实行“一区一策”的分区控制,达到既满足舒适性又满足节能性的需求。生产区、办公区和仓储区在热负荷和温度标准上存在较大差异,而采用常规的集中供热方式容易导致部分区域温度不符合要求,导致能耗和能效增加。在实现过程中,首先要按照建筑的建筑结构特点进行供热区域的划分,并结合高层建筑的特点,对建筑内部的空气流动

进行合理的安排;办公区域实行分时划分,按用户的需要调节室内的温度;为减少能源消耗,仓储区使用了较低的采暖方式。并根据外部环境的变化,对各区域的供水和水温进行动态调节。

(五)完善运维管理体系

建立规范的运行和管理体制,是保证工业车间供暖系统水均衡的长效稳定性的重要保证,而建立规范化的运行和管理体制则是实现此项目目标的关键。具体如表1所示。

表1 工业厂房采暖系统运维管理体系规范化建设内容表

管理维度	核心措施	具体内容
系统层次管理	标准化程序构建	构建设备巡检、参数校验、故障处理、节能管控全流程规范,明确每周1次支路检测、每月1次阀门校验、每季度1次管路清洁的巡检频率
系统层次管理	全生命周期档案管理	记录设备安装参数、运行数据、维护记录等信息,确保运维工作可追溯、可量化
系统层次管理	紧急处理方案制定	针对流量骤降、气温异常波动等失稳情景,明确响应流程、责任划分及时间节点,防止事故扩大
员工层次管理	专业维修团队建设	组建专门维修队伍,开展系统技术培训,涵盖水力平衡原理、智能设备运行、数据分析方法等内容
员工层次管理	绩效考核机制构建	将系统均衡达标率、节能指标完成情况与薪酬挂钩,激励员工积极性,保障管理办法落地

在系统层次上,需要构建完整的设备巡检、参数校验、故障处理和节能管控的标准化程序,确定巡检频率,并对设备的安装参数、运行参数、维修记录等进行记录,保证运行维护工作的可追溯和量化。在此基础上,建立管网系统水力失衡的紧急处理方案,确定各失稳情景下(如流量骤降、气温异常波动等)的响应流程、责任划分和时间节点,防止事故进一步恶化,避免对正常生产造成不利影响。在员工的管理上,需要建立专门的维修队伍,对员工进行系统的技术训练,主要包括:水力平衡原理、智能设备运行、数据分析方法、提高员工对不平衡问题的辨识和处理能力;通过对系统均衡达标率和节能指标的完成与工资的联系,构建员工的业绩评价体系,以激励员工的工作热情,保证各种管理办法的落实。

结束语

综上所述,对工业厂房采暖系统水力失衡的诊断与调节研究,形成系统化解决方案,有效解决了传统系统冷热不均、能耗过高的痛点,对提升工业采暖系统稳定

性与经济性具有重要实践价值,驱动采暖系统向精准化、低碳化方向升级,助力工业节能降本目标实现。

参考文献

- [1]赵松,马腾腾,刘娟.燃气红外线辐射采暖在工业厂房中的应用浅析[J].价值工程,2024,43(04):112-114.
- [2]胡建亮.严寒地区某高大空间工业厂房供暖系统设计[J].山西建筑,2024,50(01):121-123+174.
- [3]张爱民,张海波.某工业厂房供暖方案的研究及应用分析[J].制冷,2023,42(03):90-94.
- [4]宋林泉,孙德锋.提高冬季严寒地区调相机厂房室内温度的节能方案研究[J].暖通空调,2023,53(01):168-172.
- [5]冶成龙.大空间工业厂房暖通空调设计与节能分析[J].居舍,2021,(17):94-95+99.
- [6]张雪萍,王中华,刘贵军,等.沈阳市某工业厂房采暖方式的适宜性模拟分析[J].节能,2021,40(05):1-4.