

工业厂房采暖空调通风系统优化设计探究

田伟桐

海湾工程有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]工业厂房空间高大、负荷起伏大、运行工况复杂,暖通系统常存在负荷测算粗略、空气流通混乱、设备搭配不合理、通风能耗高、智能管理欠缺等问题,既造成电力与能源浪费,也难以保障室内环境达标。文中从动态负荷核算、冷热源配置、大空间气流布局、通风净化系统、智能管控方案五个方面搭建一套兼顾多项需求的节能优化设计体系,探讨实际的节能效果,梳理出标准设计流程,为工业厂房暖通系统精细化、节能化、规范化设计提供理论依据和实操参考。

[关键词]工业厂房;采暖空调通风;系统优化;气流组织;节能设计;动态负荷

DOI: 10.33142/aem.v8i5.19917

中图分类号: TU834

文献标识码: A

Exploration into the Optimization Design of Heating, Air Conditioning and Ventilation Systems in Industrial Plants

TIAN Weitong

Bay Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Industrial plants have large spaces, fluctuating loads, and complex operating conditions. The HVAC system often has problems such as rough load calculation, chaotic air circulation, unreasonable equipment matching, high ventilation energy consumption, and lack of intelligent management. This not only causes waste of electricity and energy, but also makes it difficult to ensure that the indoor environment meets standards. The article constructs an energy-saving optimization design system that takes into account multiple needs from five aspects: dynamic load accounting, cold and heat source configuration, large space airflow layout, ventilation and purification system, and intelligent control scheme. It explores the actual energy-saving effect, outlines the standard design process, and provides theoretical basis and practical reference for the refinement, energy-saving, and standardized design of HVAC systems in industrial plants.

Keywords: industrial plant; heating, air conditioning and ventilation; system optimization; airflow organization; energy-saving design; dynamic load

引言

在“双碳”发展目标下,工业建筑节能已是重点工作。随着全球气候变化加剧,节能减排已经成为各国政府及企业面临的重要课题。工业厂房是能源消耗和温室气体排放的重要领域之一。工业厂房普遍层高偏大、生产设备集中,加上产热、产污呈间歇性特点,这就对暖通系统的环境调节、运行稳定性、防爆安全和节能效果提出了严苛要求。相关数据显示,暖通能耗占到工业建筑总能耗的 40%~60%,是用能大户。以往设计大多依靠经验、采用静态计算方式,没有考虑高大厂房上下温差大、负荷实时变化、污染物局部聚集等实际情况,常会出现设备配置过剩、空气流通不畅、通风效果差、整体能耗居高不下等问题。同时暖通系统和生产工艺配合不到位,还容易影响产品品质、

恶化作业环境,甚至带来安全风险。由此可见,对工业厂房暖通系统进行全方位优化,兼顾生产需求、人员体感、运行安全与低碳降耗,有着很强的工程实用价值和现实意义。本次研究结合通用设计理论,全面梳理现存问题与改进办法,搭建出一套标准化的优化设计体系。

1 工业厂房暖通系统运行现状及核心问题

1.1 冷热负荷计算精度偏低

负荷计算是暖通设备选型、管道布置和方案设计的重要前提,计算结果的精准度,直接关系到系统运行效率和前期建设成本。当前多数工业厂房依旧采用传统静态经验估算法,只粗略计算墙体传热、人员及基础新风负荷,没能结合厂房实际工况特点。高大厂房内部上下温度分布不均,热空气向上聚集,顶部和下方作业区的冷热负荷差距

明显,采用统一标准计算会产生较大误差。此外,设备间断运转、物料散热、生产班次调整、日照变化以及大门频繁开关带来的冷风侵入等动态因素,也都没有纳入计算范畴。据统计,传统估算方式的误差可达 20%~30%,常会出现设备配置冗余、长期低效率运转,或是设备容量不够、无法应对高峰工况的情况。

1.2 冷热源系统匹配性差、能效偏低

冷热源是暖通系统的核心能耗单元,其选型与负荷特性的匹配度直接决定系统全年能效。当前工业厂房冷热源设计形式单一,设计同质化严重,能源利用效率偏低。压缩机容量不匹配,只根据最大负荷来选定压缩机规格型号,并没有考虑到在一年中不同时间的负荷情况对压缩机进行选型,使得压缩机长时间满载或轻载工作,在部分负荷下运行效率低下,COP 较设计值偏低 25%~35%,产生不必要的浪费。

1.3 高大空间气流组织紊乱

多数工业厂房层高都在 8m 以上,这类高大空间并不适合套用民用建筑常用的上送上回通风方式,这也是厂房暖通设计的一大难题。传统送风方式很容易出现气流循环不畅、空气淤积、上下温差过大等问题。夏季热气堆积在厂房顶部排不出去,下方作业区域降温效果差;冬季热空气向上飘,人员活动区温度偏低,室内上下温差能达到 5~8℃。再加上送回风口没有结合生产设备位置合理布置,部分区域风速不稳、空气流通差,余热和有害气体没法及时散出,通风实际利用率还不到 60%,整体大幅拉低了空调通风系统的运行效率。

1.4 通风系统设计不合理、安全隐患突出

工业厂房通风系统负责排出余热、调节湿度、疏导粉尘和有害气体、更换室内空气,是保障安全生产和人员健康的关键设施。现阶段不少通风系统设计都存在不合理之处。部分产热、产污工位没有采用局部排风为主、整体通风为辅的方案,单纯依靠全屋通风,实际换气效果很差。没有结合车间污染物散发速度、温湿度平衡情况精准计算风量,一味加大通风量,让风机长期满负荷运转,能耗大幅增加。同时还存在安全和环保设计不到位的问题,易燃易爆区域未配套防爆通风设备与防静电风管,粉尘、废气未经净化处理就直接外排,既不符合环保要求,还埋下火灾、爆炸、人员中毒等安全风险。

1.5 系统智能化管控水平不足

目前国内大部分工业厂房暖通通风系统仍然采用手动方式或简单的定时开关等方式运行,缺乏对系统的智能化自动调节方法,在实际运行中无法实时获取室内及室外

空气温湿度、气流速度、有害物质浓度以及风机负载等相关信息,并根据生产工艺的变化情况、外部气候条件等情况适时调节风机转速、送风量及供回水温度等重要控制指标。生产设备长时间以固定的方式运行,并不符合当前的负载需求,室内的温度以及湿度变化幅度较大,在一定程度上无法达到精细化生产的标准,并浪费了大量的能源资源;同时由于缺乏自动化故障诊断、预警以及远程管控的功能,不能够在第一时间发现问题,导致出现系统性停车现象,影响正常的生产活动开展。

2 工业厂房暖通系统优化设计原则

结合工业厂房的生产特点以及行业相关规范,本次设计优化工作,将依托四大核心原则落地实施,兼顾实用功能、节能效果、运行安全与综合成本。一是运行安全稳定。结合厂房防爆防护、粉尘治理、尾气处理等特殊工况优化通风净化与防爆防护设计,完善安全保障措施,消除各类运行风险,满足安全生产各项规范要求。二是优先适配生产工艺。与侧重使用体验的民用建筑设计思路有明显区别,厂房暖通系统首先要满足生产对温湿度、洁净度、通风量的硬性标准,再兼顾作业人员的工作环境,保障生产不间断、产品质量稳定。三是动态运行、节能高效。摒弃传统一成不变的固化设计思维,按照全年负荷的实时变化做精细化设计,优化设备组合方案、室内气流分布与系统运行策略,尽可能减少整体能耗,提升能源利用率。四是经济合理、便于管控。在保障系统稳定运行与安全合规的前提下,合理挑选设备、规划系统架构,统筹初期建设投入与后期运行能耗,降低整体运维开支。同时提升系统智能化、模块化程度,方便后续管理维护。

3 工业厂房采暖空调通风系统精细化优化设计

3.1 动态精细化负荷计算优化

工业厂房具有寿命周期较长、全年运行等特点,暖通空调系统的运行能耗占工业厂房能耗的比例较大。通过节能设计,企业可以降低能耗,从而有效降低生产成本,提高市场竞争力。精准负荷预测在工业厂房项目的初期设计阶段有着较高的应用价值。传统负荷计算多依赖经验值和简单模型,这往往导致设备配置的冗余或不足。因此,借助 DeST、鸿业暖通等专业软件进行逐时动态负荷计算,并结合高大厂房的实际特点加入多项修正参数。计算范围包含围护结构传热、太阳辐射逐时吸热、设备间断散热、人员与照明产热、新风以及冷风渗透六大部分,同时针对竖向温差、设备运行规律、门窗漏风情况做专项修正。对于高大厂房,按照竖向每 3~5m 分层测算冷热负荷,清晰区分上层无用负荷和下层实际使用负荷。通过动态模型

生成全年逐时负荷变化曲线,梳理出负荷高峰、平稳及低谷各个时段,为设备选型、风量调配和运行方案调整提供可靠的数据支撑。

3.2 冷热源系统匹配优化设计

结合实时负荷数据,精准搭配冷热源设备。夏季制冷选用变频离心机组,应对高负荷运转需求;冬季优先使用空气源、地源热泵取代传统锅炉,低负荷工况下也能高效工作。用电峰谷差距大的厂房,加装冰蓄冷、水蓄热系统,利用低谷电价储冷储热,削减用电高峰成本。产热较多的车间加装余热回收设备,进一步提高能源利用率。采用多机组搭配+变频调控的模式,用电高峰时多台设备协同运行,平稳、低负荷时段切换为小型变频机组,让设备始终维持在70%~90%的高效运行区间,避免设备闲置、运转效率偏低的问题。优化前后机组运行能效对比见表1。

表1 冷热源机组优化前后运行能效对比

运行工况	传统设计机组 COP	优化设计机组 COP	能效提升率
峰值负荷 (90%~100%)	4.2~4.5	4.8~5.2	14%~16%
平峰负荷 (50%~80%)	3.0~3.8	4.2~4.6	21%~40%
低负荷(30%以下)	1.8~2.5	3.5~4.0	60%~90%

3.3 高大空间气流组织优化设计

为解决工业高大厂房内温度差异过大及空气流动不顺畅等问题,在原有基础上增加分层送风、低位送风以及定点送风相结合的通风方式。常规厂房采取上送上排配合竖向分层调控,并利用底部旋流风口进行定向送冷,使室内垂直方向温差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$;对设备密集区不再进行全范围送风,只对人员活动区进行定点送风,降低能耗,并调整风口位置,保证气流按洁净区-作业区-污染区-排风区的流向,提高室内外体感及污染物的排除效果。

3.4 通风系统节能与安全优化设计

在此次对厂区进行通风改造中,始终秉持着先局部排风后全面通风的原则,避免了以往一味增加通风量的简单管理方式,根据车间内不同工艺产生的有毒有害物质排放总质量、车间温度、相对湿度以及相关通风规范计算出各个房间所需要的通风量,在满足实际情况的基础上做到通风量与生产需求相适应,既考虑通风效果又满足能耗要求,在粉尘、废气产生量较大的岗位均设置密闭收集装置以及对应的局部排风系统,尽可能减少污染物外溢现象的发生,降低非正常排放情况出现的概率。相较于传统全面通风模

式,该区域通风风量可缩减30%~50%,大幅降低无效通风能耗。系统采用排风与新风联动运行模式,动态平衡车间气压,规避负压过高、室外冷风大量灌入等问题,稳定车间生产环境。同时配套加装全热回收设备,热能回收效率稳定在60%~75%,有效降低空调及通风系统能耗。针对不同车间工况落实专项安全环保配置,易燃易爆车间统一采用防爆风机、阻燃风管,配套静电接地、泄压防护装置;产尘、产废气车间配备专业除尘及活性炭吸附设备,确保粉尘、废气达标排放。全系设备加装故障报警装置,实时监测运行状态,全方位保障通风系统安全、稳定、高效运行。

3.5 智能化联动控制系统优化

搭建工业厂房暖通空调通风智能管控系统,实现全维度参数在线监测、自主调节与智能化运维管理,改善人工手动调节存在的响应滞后、能耗高、运行不稳等弊端。系统集成温湿度、风速、污染物浓度及设备运行监测模块,动态采集现场环境参数与设备运行信息,结合生产工艺要求和节能方案,智能切换设备启停模式,实时优化运行负荷与频率,根据负荷变化灵活调整送风量、供水温度与换气频次,依据实际负荷动态匹配能源输出。系统同步配套故障预警与远程运维平台,及精准监测设备过载、故障及工况劣化问题,并推送提醒,有效减少设备故障、降低运维开销。此外,系统可完成数据汇总与能耗分析,生成分时、逐日能耗报表,为后续节能改造优化提供数据参考。

4 系统优化综合效益分析

本方案结合负荷精准匹配、气流组织优化、智能联动控制等多项技术开展综合改造,从源头削减暖通系统无效能耗,有效降低工厂日常运营成本,稳步推进厂区低碳减排工作。改造完成后,可彻底消除车间空间温差偏大、局部区域高温、有害污染物积聚等常见问题,让整体温湿度环境保持均衡稳定,全面贴合生产工艺管控要求,以此减少残次品产出,提升产品合格率,同时显著改善一线作业环境。方案同步集成通风防爆、空气净化、设备故障预警等专项设计,全方位规避生产过程中的安全隐患与环保风险。依托智能化管控体系,不仅简化了日常运维流程、降低人工管理压力,还能强化设备运行可靠性,保障生产线连续稳定运转。整套改造方案兼顾节能、提质、安全、运维多重需求,全方位赋能厂区生产,实现综合效益全面提升。

5 结论与展望

工业厂房实施暖通优化改造是提高设备运行效率、保障车间生产工艺稳定的关键手段。传统厂房的暖通系统普

遍存在冷热负荷估算不准、设备搭配不合理、运行负荷失衡、能耗浪费严重等常见问题,经常出现车间温度冷热不均、整体耗电量居高不下的情况,甚至对设备运行存在安全隐患。通过对生产车间冷热负荷计算分析、合理选用冷热源配置方式、对生产车间内气流组织设计及通风系统进行改造、建立智慧管理控制系统,可以有效提高厂房建筑暖通空调系统的整体能效水平,彻底克服传统厂房内温度场分布不合理、能源浪费严重、空气流通性差、易发生安全事故等诸多弊病,保障生产过程的安全性和连续性;其次,大大节约了经营费用,增加综合效益。未来工业厂房暖通系统将融合 BIM 建模、流体数值模拟等先进技术,持续助力工业生产绿色低碳转型、降本增效。

[参考文献]

- [1]唐亮.洁净空间中央空调系统节能控制研究[J].科技创新与应用,2026,16(7):81-84.
- [2]刘云宽,李运波.工业厂房暖通空调的节能设计探讨[J].中国设备工程,2025,11(23):256-258.
- [3]张成跃,吴运良.某工业厂房送风系统运行异常分析及优化措施[J].暖通空调,2025,55(2):493-495.
- [4]王迪.基于模型预测控制的高大厂房供暖控制系统的研究[D].河北:河北建筑工程学院,2024.
- [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,2021,10(17):94-95.
- [6]潘国平.某厂房采暖通风与空调安装施工研究[J].建材与装饰,2019,11(3):222-223.
- 作者简介:田伟桐(1993—),男,汉族,河北省石家庄人,中级工程师,河北建筑工程学院建筑环境与能源应用工程专业本科毕业。