

工业建筑暖通空调系统的工艺适配与节能优化设计

朱申琳

中土大地国际建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]工业建筑暖通空调系统相较于民用建筑系统,在负荷特性、运行时间及环境要求等方面展现出显著不同的特点。首先,工业建筑的负荷特性更为复杂,其内部生产工艺设备通常发热量大且持续运行,导致室内热湿负荷较高,同时对温湿度的控制精度要求更为严格。其次,工业建筑暖通空调系统的运行时间通常较长,部分生产工艺需要全天候不间断运行,这要求系统具备高可靠性与稳定性,以满足连续生产的需求。此外,工业建筑对环境的要求因生产工艺的不同而具有多样性,例如电子制造车间对空气洁净度有极高要求,而化工生产则需考虑特殊气体的处理与防爆设计。这些特点决定了工业建筑暖通空调系统在设计时需综合考虑工艺需求与环境条件,为后续的工艺适配与节能优化奠定了重要基础。

[关键词]工业建筑;暖通空调系统;节能优化设计

DOI: 10.33142/ec.v9i2.19081

中图分类号: TU8

文献标识码: A

Process Adaptation and Energy-saving Optimization Design of HVAC Systems in Industrial Buildings

ZHU Shenlin

Zhongtu Dadi International Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Compared with civil building systems, industrial building HVAC systems exhibit significant differences in load characteristics, operating time, and environmental requirements. Firstly, the load characteristics of industrial buildings are more complex, and their internal production process equipment usually generates large amounts of heat and operates continuously, resulting in high indoor heat and humidity loads. At the same time, the precision requirements for temperature and humidity control are more stringent. Secondly, the operation time of HVAC systems in industrial buildings is usually long, and some production processes require uninterrupted operation around the clock, which requires the system to have high reliability and stability to meet the needs of continuous production. In addition, industrial buildings have diverse environmental requirements due to different production processes. For example, electronic manufacturing workshops have extremely high requirements for air cleanliness, while chemical production needs to consider the treatment of special gases and explosion-proof design. These characteristics determine that the design of industrial building HVAC systems needs to comprehensively consider process requirements and environmental conditions, laying an important foundation for subsequent process adaptation and energy-saving optimization.

Keywords: industrial architecture; HVAC system; energy-saving optimization design

1 工业建筑暖通空调系统的重要性

工业建筑暖通空调系统对工业生产环境、产品质量及人员舒适度均具有深远影响,因此其工艺适配与节能优化显得尤为必要。首先,该系统能够有效改善工业生产环境,通过合理的通风与温湿度控制,减少机械设备散热对车间温度的影响,从而为工人创造更加舒适的工作条件,进而提升生产效率与产品质量。其次,在某些对生产环境要求极高的行业中,如电子制造与医药生产,暖通空调系统的性能直接决定了产品的良品率与一致性,任何环境参数的波动都可能对产品质量造成不可逆的影响。此外,随着工业化进程的加快,人们对工业生产中的职业健康与安全关注度日益提高,良好的暖通空调系统设计不仅能够满足工艺需求,还能显著降低能源消耗,减少对环境的负面影响,从而实现可持续发展目标。因此,针对工业建筑暖通空调系统进行科学的工艺适配与节能优化设计,不仅是技术发

展的必然趋势,也是实现经济与环保双重效益的重要途径。

2 工业建筑暖通空调系统的工艺适配

2.1 不同工业生产工艺对暖通空调的需求分析

2.1.1 电子制造工艺的需求

电子制造工艺对生产环境的温湿度和洁净度具有极高的要求,以确保产品质量和生产效率。在半导体、集成电路等精密电子元器件的制造过程中,温度波动需控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,相对湿度则需维持在45%~55%之间,以避免静电干扰和材料性能变化。此外,空气中的微粒数量也需严格限制,通常要求达到ISO Class 6或更高的洁净等级。为满足这些工艺需求,暖通空调系统需配备高效空气过滤器(HEPA)和超高效空气过滤器(ULPA),并结合变风量(VAV)控制系统以实现精准的温湿度调节。同时,洁净通风系统的设计应充分考虑人流与物流的分离,避免交叉污染,从而保障生产环境的高洁净度标准^[1]。

2.1.2 化工生产工艺的需求

化工生产工艺涉及多种易燃易爆气体和有害化学物质,因此对暖通空调系统的安全性和适应性提出了特殊要求。首先,在处理特殊气体时,系统需具备完善的排风装置以防止有害气体积聚,同时采用防爆型设备以降低安全隐患。其次,某些化工生产过程会产生大量热量,需要通过高效的冷却系统来控制车间温度,确保工艺设备的正常运行。此外,针对含有腐蚀性气体的环境,暖通空调系统的关键部件需选用抗腐蚀材料,以延长设备使用寿命并减少维护成本。例如,在化工厂房中,常采用转轮式热回收器进行余热回收,既能提高能源利用效率,又能有效避免粉尘污染对设备性能的影响。

2.1.3 机械制造工艺的需求

机械制造工艺对通风、除尘以及温度控制有着特定的需求,特别是在焊接、切割和金属加工等工序中,会产生大量的烟尘和热辐射,这对操作人员的健康和设备的安全运行构成威胁。因此,暖通空调系统需设计合理的通风方案,通过局部排风装置及时排除污染物,同时保证车间内空气流通均匀,避免涡流现象导致的污染物聚集。此外,在大型机械加工车间中,由于设备散热量较大,温度控制尤为重要。研究表明,通过优化气流组织设计和采用变频风机,可有效降低车间内局部过热问题,提升作业环境的舒适度。与此同时,除尘系统的设计需结合工艺特点,选择合适的过滤设备以去除空气中的颗粒物,从而满足职业卫生标准和环境保护要求。

2.2 基于工艺需求的暖通空调系统设计策略

2.2.1 气流组织设计

气流组织设计是暖通空调系统适配不同工业生产工艺的核心环节之一,其目标是通过合理的送风和回风布置,确保室内空气品质满足工艺需求并提升工作区域的舒适度。在电子制造车间中,通常采用顶送下回的气流组织形式,以减少空气中的微粒沉降速度,从而维持高洁净度环境。而在机械制造车间中,由于存在局部热源和污染物排放点,需设计针对性的局部排风系统,并结合全面通风形成复合式气流组织,以避免污染物扩散。此外,利用计算流体动力学(CFD)技术对车间内气流分布进行模拟和优化,可进一步改善气流均匀性,降低涡流强度,从而减少污染物聚集现象。例如,某高大工业厂房通过调整送风口位置和规格,成功解决了上部空间的涡流问题,显著提升了空气质量。

2.2.2 设备选型

根据工业生产工艺的具体特点选择合适的暖通空调设备,是实现系统高效运行和工艺适配的关键步骤。在风机选型方面,变频风机的应用能够根据实际负荷变化

自动调节运行频率,从而降低能耗并提高系统的响应速度。对于空调机组的选择,则需综合考虑制冷量、制热量以及温湿度控制精度等因素。例如,在电子制造车间中,常选用具备高精度温湿度控制功能的组合式空调机组,以满足生产工艺对环境的严格要求。而在化工生产环境中,由于存在易燃易爆气体,需优先选用防爆型空调机组,并配备相应的气体检测和报警装置,以确保系统运行的安全性。此外,为了适应不同工艺对通风量的需求变化,可采用分区控制技术,将车间划分为多个独立区域,分别设置相应的空调和通风设备,从而实现精细化管理和能源节约^[2]。

3 工业建筑暖通空调系统的节能优化设计

3.1 节能技术分析

3.1.1 变频技术应用

变频器在工业建筑暖通空调系统中的节能作用主要体现在对空调水系统和风系统的运行优化上。通过实时监测系统负荷变化,变频器能够动态调整电机的运行频率,从而降低设备的能耗。例如,在空调水系统中,变频器可根据供回水温差的变化调节水泵转速,避免因流量过大或过小而导致的能源浪费。此外,风系统中的应用同样显著,变频器能够根据室内空气质量需求和送风量的变化,调整风机的运行状态,确保系统在最佳效率点运行。研究表明,采用变频技术后,空调系统的整体能耗可降低20%~30%,尤其在大空间工业建筑中,这种节能效果更为突出。

3.1.2 热回收技术应用

热回收技术是工业建筑暖通空调系统中实现节能减排的重要手段之一,其核心在于通过对排风或冷凝热量的回收,减少系统对外部能源的依赖。例如,在排风热回收系统中,通过设置热交换器,可将排出空气中的热量传递至新鲜空气中,从而减少新风处理过程中的能耗。对于某些高温高湿的工业车间,冷凝热回收技术则表现出更高的适用性,其通过回收制冷机组排放的冷凝热,用于热水供应或其他工艺需求,进一步提升了能源利用效率。实际应用表明,热回收技术的应用可使系统的年均能耗降低15%~25%,同时减少对环境的温室气体排放。

3.1.3 可再生能源利用

太阳能和地源热泵等可再生能源在工业建筑暖通空调系统中的应用,为降低传统化石能源消耗提供了有效途径。太阳能集热器可通过吸收太阳辐射能加热水,作为锅炉或热水机组的补充热源,从而减少天然气或电力的使用量。地源热泵技术则利用地下恒温层的热能进行供暖和制冷,其运行效率显著高于传统空调系统,且具有稳定性和环保性的优势。研究表明,将可再生能源与暖通空调系统结合使用,可使建筑的年综合能耗降低30%以上,同时显著减少碳排放

量。此外，随着技术的进步，可再生能源系统的初投资成本逐渐下降，其在工业建筑中的推广前景愈加广阔。

3.2 节能措施实施

3.2.1 优化系统运行策略

制定科学合理的系统运行策略是实现工业建筑暖通空调系统节能运行的关键环节。首先，应根据建筑的实际情况和生产工艺需求，合理设定系统的运行时间和负荷分配。例如，在非高峰生产时段，可适当降低空调系统的运行强度，以减少不必要的能源消耗。其次，结合室外气候条件的变化，采用自适应控制技术对系统运行参数进行动态调整。例如，在过渡季节，可通过增加新风比例来减少对制冷设备的依赖，从而实现节能目标。此外，引入智能控制系统能够进一步提升运行策略的优化效果，通过实时监测室内外环境数据，系统可自动调整供暖、通风和制冷模式，确保在满足舒适性要求的同时最大限度地降低能耗。

3.2.2 加强系统维护管理

定期对暖通空调系统进行维护保养是确保其高效运行、减少能源浪费的重要措施。设备在长期运行过程中，由于灰尘积累、零部件老化等原因，其性能会逐渐下降，导致能耗增加。因此，应建立完善的维护管理制度，定期对风机、水泵、换热器等关键设备进行检查和清洁，确保其处于最佳工作状态。同时，应对系统的运行数据进行实时监测和分析，及时发现并解决潜在的故障问题，避免因设备异常运行而导致的能源浪费。研究表明，通过加强系统维护管理，可使暖通空调系统的运行效率提高 10%~15%，从而显著降低能耗和运行成本。此外，对操作人员进行专业培训，提高其对系统运行特性和节能措施的理解，也是保障系统长期高效运行的重要因素之一。

4 实际案例分析

4.1 案例介绍

本研究选取某高大工业厂房作为研究对象，该厂房主要用于机械加工与装配，建筑面积约为 15,000 平方米，建筑高度达 12 米。厂房内部生产工艺主要包括数控机床加工、零部件装配以及焊接等工序，这些工序对室内温度、湿度及空气质量均有较高要求。原暖通空调系统采用传统的定风量全空气系统，送风口布置于厂房顶部，回风口位于侧墙下部。然而，运行过程中发现车间内部分区域存在明显的温度分布不均现象，尤其是上部空间存在较强的涡流现象，导致污染物聚集，影响了作业环境及生产效率。此外，由于系统缺乏变频控制技术，设备长时间处于满负荷运行状态，能耗较高，亟需进行工艺适配与节能优化设计。

4.2 工艺适配与节能优化设计方案

针对该案例的特点，工艺适配设计主要从气流组织优

化和设备选型两方面入手。首先，通过 CFD 模拟技术对厂房内的气流组织进行优化设计，调整送风口与回风口的位置及规格，以减弱上部空间的涡流强度，并改善室内空气品质。其次，在设备选型上，选用高效变频风机替代原有的定频风机，并根据工艺需求配置了变风量控制系统，使系统能够根据实际负荷自动调节运行频率，从而避免不必要的能源浪费。在节能优化措施方面，引入了分段速变频控制技术，通过实时监测供回水温度差异，动态调整水泵运行频率，确保系统在最佳温差的范围内运行。同时，设计了热回收装置，用于回收排风中的余热，并将其用于预热新风，进一步降低能耗^[3]。

4.3 实施效果评估

通过对改造后的暖通空调系统进行为期一年的实际运行数据监测，发现工艺适配与节能优化设计取得了显著成效。在环境达标方面，车间内的温度分布更加均匀，关键生产区域的温度波动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内，湿度保持在 40%~60% 的适宜范围内，有效满足了生产工艺需求。此外，涡流强度的降低显著减少了污染物的聚集，室内空气品质得到明显改善。在能耗降低方面，变频技术的应用使风系统与水系统的能耗分别下降了 28.3% 和 35.7%，热回收装置的引入进一步节省了约 15% 的能源消耗。综合来看，全年能耗较改造前降低了约 25.6%，经济效益显著提升，验证了工艺适配与节能优化设计的有效性。

5 工业建筑暖通空调系统工艺适配与节能优化设计的发展趋势

5.1 智能化发展趋势

随着工业建筑的智能化水平不断提升，智能控制系统在暖通空调系统中的应用前景愈发广阔。智能控制系统通过引入自适应控制、预测控制等先进技术，能够根据实际需求自动调整系统运行模式，从而显著提高能源利用效率并优化室内环境。例如，自适应控制可根据室内温度、湿度及人员活动等实时数据动态调整系统运行状态，避免过度制冷或供暖造成的能源浪费。同时，预测控制利用历史数据和气象预报信息，提前预测未来的能耗需求，并据此调整系统运行策略，以应对高峰期的能源需求。此外，智能控制系统还可与其他能源系统（如太阳能利用系统）进行协同，进一步减少建筑对传统能源的依赖。由此可见，智能控制系统不仅能够实现精准调控与负荷预测，还能通过实时监测与能源协同，推动暖通空调系统向更加高效、环保的方向发展。

5.2 绿色化发展趋势

在绿色建筑理念的指导下，未来工业建筑暖通空调系统将朝着更加环保和可持续的方向发展。一方面，绿色能

源的深度利用将成为重要趋势之一。例如，太阳能、地源热泵等可再生能源技术将在暖通空调系统中得到更广泛的应用，从而减少对化石燃料的依赖并降低碳排放。另一方面，环保材料的应用也将为暖通空调系统的绿色化发展提供支持。例如，在设备制造和管道保温中采用可回收或低污染的材料，不仅可以延长设备使用寿命，还能减少对环境的影响。此外，绿色化发展趋势还体现在系统设计的整体优化上，通过结合建筑围护结构的热工性能改进、气流组织的科学设计等措施，进一步降低系统的运行能耗。综上所述，绿色化发展趋势将促使暖通空调系统在节能、环保和资源利用方面取得更大突破，为工业建筑的可持续

发展奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1]李鹏飞.对工业建筑暖通空调系统节能设计措施的探讨[J].建材发展导向,2022,20(3):7-9.
- [2]郑则楠.工业建筑暖通空调的设计与节能[J].现代物业(中旬刊),2021,20(4):22-22.
- [3]吕蒙.关于工业建筑大空间的采暖通风空调工程的节能减排措施探究[J].中国建筑金属结构,2023,22(7):10-12.

作者简介：朱申琳（1994.11—），女，汉族，毕业院校：石家庄铁道大学，现就职单位：中土大地国际建筑设计有限公司。