

简析药厂净化空调节能的设计要点

刁守利

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：药厂净化空调系统能耗占比高，节能设计对行业可持续发展意义重大。洁净等级与换气次数、温湿度控制精度、设备选型及新风负荷等因素显著影响系统能耗。合理规划洁净分区与气流组织、选用高效设备并优化系统配置、应用热回收与新风预处理技术，以及集成智能控制系统，是实现节能的关键路径。通过多维度设计优化，可在满足GMP规范要求的同时，降低系统运行能耗，提升能源利用效率。

关键词：药厂净化；空调节能；设计要点

引言

在制药行业中，净化空调系统是保障药品生产环境符合GMP标准的核心设施，但其高能耗特性也给企业带来较大成本压力。本文聚焦药厂净化空调节能设计，分析洁净等级、换气次数、温湿度控制精度等因素对能耗的影响机制，从洁净分区规划、设备选型、热回收技术及智能控制等方面，探讨如何在确保洁净环境要求的前提下，通过系统性设计优化实现节能目标，为行业节能实践提供技术参考。

1 药厂净化空调系统概述

药厂净化空调系统作为药品生产过程中保障洁净环境的核心设施，通过精确控制空气的温度、湿度、洁净度、压力梯度及气流组织等参数，为药品生产创造符合GMP标准的生产环境。其核心功能是去除空气中的微粒、微生物等污染物，防止交叉污染，确保药品质量稳定可控。该系统主要由空气处理机组、风管系统、空气过滤器、风机、温湿度控制系统及压力调节装置构成。空气处理机组作为系统中枢，对室外新风与室内回风进行混合处理，经过过滤、冷却、加热、加湿或除湿等环节，将空气处理至符合要求的温湿度及洁净度标准。初效、中效、高效三级过滤器串联使用，分别拦截不同粒径的颗粒污染物，其中高效过滤器对0.3 μm 微粒的过滤效率可达99.97%以上，有效保障送入洁净区的空气洁净度。气流组织形式在药厂净化空调系统中至关重要，常见的有层流与乱流两种方式。层流系统通过使空气呈活塞状均匀平行流动，将污染物迅速排出，适用于对洁净度要求极高的关键生产区域，如无菌药品的灌装、分装工位；乱流系统则利用稀释原理，通过高效过滤器送风与回风口排风，使室内空气充分混合稀释污染物，多用于辅助生产区域及洁净走廊。压力梯度设计是防止污染扩散的重要手段，通过合理设置洁净区与非洁净区、不

同洁净级别区域间的压力差（通常保持5-10Pa），确保空气从洁净度高的区域流向洁净度低的区域，避免污染物逆流。温湿度控制系统根据药品生产工艺需求，将洁净区内温度控制在18-26 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度维持在45%-65%，保障药品生产过程中物料性质稳定，防止微生物滋生及药品变质。药厂净化空调系统的稳定运行，为药品质量安全提供了坚实的环境保障，是现代制药企业不可或缺的基础设施。

2 影响药厂净化空调节能的因素分析

2.1 洁净等级与换气次数

药厂不同生产区域对洁净等级有着严格要求，而洁净等级直接关联着换气次数，这对净化空调的能耗影响显著。例如，在无菌药品生产区，如粉针剂的灌装间，通常需达到百级洁净标准，其换气次数可能高达50-60次/小时，这是为了持续置换室内空气，确保尘埃粒子和微生物数量维持在极低水平，满足药品生产的严苛质量要求。相比之下，口服固体制剂车间，如片剂生产区域，洁净等级一般为三十万级，换气次数仅需12-15次/小时。较高的洁净等级和频繁的换气，意味着净化空调系统的风机需长时间高功率运行，以实现大量空气的输送和循环。据测算，换气次数每增加10次/小时，风机能耗约提升20%-30%。为保证送入空气的洁净度，多级高效过滤器会增加空气阻力，进一步加大风机克服阻力所需的能耗。在满足生产工艺对洁净等级需求的前提下，合理优化换气次数，是降低净化空调节能的关键环节。

2.2 温湿度控制精度

温湿度对药品质量和生产过程的稳定性影响重大，药厂净化空调系统需精准控制温湿度，而这也在很大程度上影响着能耗。在生物制品生产车间，如疫苗生产区域，温度通常需控制在2-8 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度维持在45%-65%，微小的温湿度波动都可能影响疫苗的活性和稳定

性。为实现如此高精度的控制,空调系统需频繁启停制冷、制热和加湿、除湿设备。以夏季制冷为例,当室内温度超出设定上限 0.5°C 时,制冷压缩机启动工作,将冷冻水温度降低至 7°C 左右,通过表冷器冷却空气,达到降温目的;当湿度高于设定值时,除湿设备启动,通过冷凝除湿或转轮除湿等方式降低空气湿度,之后可能还需再热装置对除湿后温度过低的空气进行升温,以满足送风温度要求。这种频繁的设备启停和复杂的温湿度调节过程,极大地增加了能耗。研究表明,当温湿度控制精度从 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%$ 提高到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 3\%$ 时,空调系统能耗可增加 $15\%-25\%$ 。在不影响药品质量的情况下,适当放宽温湿度控制精度,可有效降低能耗^[1]。

2.3 设备选型与系统配置

设备选型和系统配置的合理性,直接关系到药厂净化空调节能效果。在冷热源设备选择方面,若选用能效比低的冷水机组,如一些活塞式冷水机组,其单位制冷量能耗相对较高,相比之下,离心式和螺杆式冷水机组在大型药厂中具有更高的能效比,可有效降低制冷能耗。水泵和风机作为输送冷热量和空气的关键设备,其性能也至关重要。传统定频水泵和风机在运行过程中,无法根据实际负荷变化调整转速,始终以额定功率运行,造成大量能源浪费。而采用变频水泵和风机,可根据系统负荷实时调节转速,当生产负荷降低、所需冷热量或送风量减少时,设备自动降低转速,减少能耗。例如,当车间部分区域停产,送风量需求减少 30% 时,变频风机可相应降低转速,能耗可降低约 50% 。在系统配置上,合理的风道设计可减少空气输送过程中的阻力,若风道过长、弯头过多或管径过小,会使风机需消耗更多能量来克服阻力。高效的空气过滤器虽能保证空气洁净度,但也会增加空气阻力,因此需在满足洁净要求的前提下,选择风阻较小的过滤器,优化系统配置,降低能耗。

2.4 新风负荷

新风在药厂净化空调系统中不可或缺,其主要作用是保证室内空气质量、维持正压以及补充室内排风量。然而,新风负荷是影响能耗的重要因素。药厂生产过程中,如固体制剂车间的粉碎、制粒等工序会产生大量粉尘,为防止粉尘扩散和交叉污染,需引入大量新风进行稀释和置换。一些产尘量大的区域,新风比甚至可达 100% ,即采用全新风系统。在处理新风时,需对其进行过滤、冷却或加热、加湿或除湿等一系列处理过程。在夏季,室外新风温度高达 35°C 以上,相对湿度 70% 左右,而室内要求温度 24°C ,相对湿度 50% ,此时需通过制冷系统将新风温度降低,并除湿至合适状态,这一过程消

耗大量冷量;在冬季,室外新风温度可能低至 0°C 以下,相对湿度 20% 左右,又需对新风进行加热和加湿,耗费大量热量。据统计,新风负荷约占净化空调系统总负荷的 $30\%-50\%$ 。若新风系统设计不合理,如新风量过大,超出实际需求,会进一步增加能耗。合理确定新风量,优化新风处理方式,是降低新风负荷、实现净化空调节能的重要举措^[2]。

3 药厂净化空调节能的设计要点

3.1 合理规划洁净分区与气流组织

(1) 依据药品生产工艺流程与洁净度需求,科学划分不同等级洁净区域,确保高洁净度区域处于上风侧,低洁净度区域处于下风侧,形成阶梯式洁净梯度,有效降低交叉污染风险的同时,减少不必要的空气处理能耗。例如,将无菌制剂灌装区设置为最高洁净等级区域,紧邻其旁布置物料传递与人员缓冲区域,通过区域布局优化缩短空气流通路径,降低风机运行功率与能耗。(2) 选择适配的气流组织形式对节能意义重大。对于关键生产区域,采用垂直单向流或水平单向流形式,可在较低换气次数下实现高效净化,相比乱流形式大幅降低风机能耗;非关键区域采用混合流或局部单向流结合乱流的气流组织,在满足洁净度要求的前提下,合理控制换气次数,平衡净化效果与能耗支出。(3) 精确计算各区域换气次数,避免因过度换气造成能源浪费。结合洁净室的体积、污染源强度、人员数量等因素,运用CFD(计算流体力学)模拟技术对气流分布进行仿真分析,优化送风口、回风口位置与形式,确保气流均匀分布,减少涡流与气流死角,提高空气净化效率,降低整体运行能耗。

3.2 高效设备选型与系统优化配置

(1) 选用高效节能的空调设备是实现节能的基础。冷水机组应优先选能效比(EER)与综合部分负荷性能系数(IPLV)高的产品,不同负荷下运行效率高,可显著降低制冷能耗。空气处理机组采用高效过滤器与变频风机,能按实际负荷自动调节风量,减少风机能耗浪费,避免因过滤器阻力大而增耗。(2) 优化空调系统配置,构建合理的冷热源与输配系统。采用多台冷水机组并联运行,根据负荷变化灵活调整开启台数,使机组运行在高效区间;在冷冻水与冷却水系统中设置变频水泵,依据末端负荷需求调节水流量,降低水泵运行能耗。合理设计管道管径与布局,减少沿程阻力与局部阻力,降低水系统输送能耗。(3) 注重设备之间的协同运行与匹配性。对制冷机组、水泵、风机等设备进行联合调试与优化,确保整个空调系统在不同工况下均能达到最佳运行

状态。例如,通过调节冷水机组出水温度与水泵流量的匹配关系,在满足末端供冷需求的同时,实现系统整体能耗最低,提升设备综合能效^[3]。

3.3 热回收与新风预处理技术应用

(1) 采用高效的热回收装置,回收排风中的冷量或热量,用于预处理新风,降低新风处理能耗。转轮式热回收器能同时回收显热与部分潜热,适合湿度变化大的工况;板式热回收器结构紧凑,显热回收高效,适用于小型净化空调系统。通过热回收技术,可有效降低新风处理能耗,减少设备运行时间。(2) 对新风进行深度预处理,降低后续空气处理设备的负荷。利用热管式热交换器、溶液除湿等技术,在新风进入主空气处理机组前,对其进行初步的温湿度调节。例如,在夏季高温高湿地区,采用溶液除湿装置对新风进行除湿处理,降低新风含湿量,减少表冷器的除湿负荷,提高制冷机组的运行效率,降低能耗。(3) 结合自然冷源实现节能运行。在过渡季节或室外气象条件适宜时,采用全新风运行模式,引入室外低温新鲜空气,减少制冷机组的开启,利用自然冷源满足室内温湿度与洁净度要求。通过优化新风与回风的混合比控制策略,在保证室内空气质量的前提下,最大限度利用回风的冷量或热量,降低空气处理能耗。

3.4 智能控制系统集成

(1) 构建智能化的空调控制系统,实现对净化空调系统各设备的实时监测与精准控制。通过传感器采集室内外温湿度、洁净度、压力等参数,以及设备运行状态与能耗数据,利用数据采集与监控系统(SCADA)进行集中处理与分析,为系统运行优化提供数据支持。(2) 运用先进的控制算法,实现系统的自适应调节。基于模

糊控制、神经网络等智能算法,根据室内负荷变化、室外气象条件等因素,自动调节冷水机组运行台数、水泵流量、风机转速、新风回风比例等参数,使空调系统始终运行在最佳节能状态。例如,当室内负荷降低时,系统自动减少冷水机组开启台数,同时调节水泵与风机转速,降低系统能耗。(3) 建立能源管理系统,对净化空调系统的能耗进行实时监测与分析。通过能耗数据的统计、分析与对比,识别系统中的高能耗环节与设备,为节能改造与运行优化提供决策依据。通过能源管理系统实现能耗数据的可视化展示,便于管理人员直观了解系统能耗状况,及时调整运行策略,实现持续节能运行^[4]。

结语

综上所述,药厂净化空调节能设计需从系统全局出发,综合考量洁净等级、设备选型、负荷控制等多方面因素。通过合理划分洁净分区、优化气流组织,结合高效设备与热回收技术应用,以及智能控制系统的集成,可在满足药品生产环境要求的基础上,有效降低空调系统能耗。未来,随着节能技术的不断发展,需进一步探索多技术协同应用模式,推动药厂净化空调系统向高效、低碳方向升级。

参考文献

- [1]安琪,祁永虎.制药厂净化空调系统的优化设计与节能探讨[J].科海故事博览,2024(28):70-72.
- [2]庞善涛.建筑暖通医药净化空调系统的节能措施[J].建筑工程技术与设计,2021(14):2372.
- [3]梁良.建筑暖通医药净化空调系统的节能措施探究[J].建筑工程技术与设计,2021(13):2646.
- [4]丁瑞辰,张会民,唐兴隆,等.药厂净化空调系统的新风处理与优化探讨[J].数字化用户,2024(13):291-292.