

“双碳”背景下药品生产厂房冷水机组节能技术研究

朱毅 平丽芬*

中国医学科学院医学生物学研究所

摘要: 在制药行业中，药品生产厂房的洁净区需要保持恒温恒压的生产环境条件。冷水机组为药品生产厂房提供了必要的制冷支持，但其运行能耗较高。本研究以冷水机组相关的节能要素为对象，深入分析了冷水机组选型前的节能技术、运行中的节能技术以及维护保养的节能技术，旨在为冷水机组的高效运行提供节能技术方案和改进建议。本研究旨在为制药企业冷水机组节能提供具备指导意义的基础理论与实践方法，以实现国家“双碳”政策下的节能目标，推动制药企业向绿色低碳转型和高质量发展迈进。

关键词: 药品生产；冷水机组；节能技术；能效提升；高质量发展

在国家“十四五”规划和“双碳”国家大战略目标的指导下，以及国家对制药业的各种支持政策推动下，药品生产厂房冷水机组的节能技术应用与研究，将对制药企业实现节能降碳目标发挥关键作用。

1 节能技术在冷水机组中的应用重要性

在制药企业的日常生产活动中，各个生产环节都需要消耗水、电、气（汽）等能源以提供支持。特别是在空调系统的运行中，对水、电的能源消耗尤为显著。冷水机组的耗电用量占据厂房用电量的 20% ~ 30%，在夏季用电量高峰时，这一比例可高达 30%^[1]。因此，为了减少制药企业的能源消耗，提高设施和设备性能，以

及提高能源利用效率，节能技术在空调系统冷水机组中的应用变得至关重要。

1.1 节约能源

随着制药业的持续发展，药品生产厂房的建设也在增加，水、电的能源消耗在制药企业的生产保障成本中占比较大。采用节能技术能够减少企业的运营成本，提高企业的经济效益。同时，在节约能源方面，水、电的能耗用量减少，能够缓解当前能源供应紧张的局面，降低废弃物的处理成本。企业能够实现经济可持续发展的良好状态，从而提高企业经济效益。

1.2 减少环境污染

药品生产厂房空调制冷系统冷水机组节能技术的应用能够有效促进能源的高效利用，有效减少空调系统中冷水机组设备运行产生的氟利昂气体、二氧化碳气体、氮氧化物等温室气体^[2]。节能技术的应用与推广，能够有效减少污染物的产生量，有助于改善环境质量^[3-4]，应对全球气候变化挑战，实现环境保护和经济发展的双赢。

1.3 保证生产环境的质量

在药品生产厂房的洁净区生产环境中，需要保证生产环境的恒温、恒压状态^[5-6]。为了保证药品生产环境的质量，避免生产环境温度和压差带来的偏差及影响，节能技术的应用能够保证空调系统冷水机组设施、设备的正常运行，维持药品生产厂房的恒温、恒压状态，为药品生产厂房持续保持稳定的生产环境。

1.4 促进产业结构升级

药品生产企业为了实现节能降碳的环保目标与要求，往往需要应用一些节能技术与措施，这通常涉及引进先进的生产设施和设备，改进生产工艺模式。这样能够促进制药企业的产业结构积极调整，推动制药业产业结构的升级。

2 冷水机组选型前的节能技术策略

在药品生产厂房的中央空调系统中，冷水机组作为整个系统提供冷量的核心设备，持续为空调系统提供制

作者简介：朱毅为本文第一作者，工程师，主要研究方向为电气工程、冷水机组节能技术研究；平丽芬为本文通讯作者，助理研究员，主要研究方向为肠道病毒 71 型灭活疫苗的研究与生产、细胞培养、半成品制备、实验溶液管理。

冷。设备的合理选型直接影响到整个空调系统的冷负荷量、使用率、制冷效率、设备运行稳定性等关键运行因素,因此,合理选择冷水机组是实现节能降耗的关键技术措施。

2.1 制冷量的合理选择

在冷水机组设备选型时,制冷量的合理选择是确保冷水机组高效运行的关键,冷水机组需要保证具备足够的制冷能力来达到有效的制冷效果,关键在于合理、科学地计算制冷量。

2.2.1 计算制冷量以选择合适的冷水机组

在冷水机组设计选型阶段,需根据药品生产厂房建筑的功能区布局、空调使用要求以及实际制冷量需求进行冷负荷计算,从而统计出药品生产厂房所需总冷负荷量。以此数据为基准,进行冷水机组选型的制冷量计算。

2.2.2 依据特性曲线确定制冷量以选择冷水机组

通常,冷水机组设备的生产制造厂家会通过试验绘制出特性曲线^[7],通过这些曲线可以观察到不同冷凝温度下制冷量、功率、蒸发温度之间的曲线变化。因此,了解厂房建筑设计的总冷负荷后,通过对比特性曲线,即可确定冷水机组的制冷量。

2.2 冷水机组的选型

根据药品生产厂房生产工艺的实际需求,对冷水机组进行选型。可选择风冷式、水冷式、活塞机、螺杆机、磁悬浮等多种机型。根据冷水机组压缩机工作原理的不同,可选择定频式或变频式压缩机。基于不同的需求,可选择不同型号的冷水机组。在冷水机组的日常运行过程中,实际能耗受多种因素影响。在日常运行中发现,影响能耗的因素众多,但导致冷水机组压缩机持续高负荷运行,从而耗费大量电能的两个主要因素是运行环境温度 and 冷冻水出水温度。因此,在冷水机组选型时,应特别关注这两个关

键因素。

2.3 新技术的应用

随着冷水机组新技术的进步与发展,变频冷水机组以其卓越的节能特性,已成为冷水机组市场上高效节能的制冷设备。变频冷水机组的变频调速技术主要通过变频器控制压缩机电机转速,进而调节制冷剂的流量和压力,实现制冷量的精确控制和连续调节。这种调节方式能精确控制水温,满足不同工艺过程的需求。当空调系统负荷较低时,冷水机组的压缩机降低频率,减少能耗;而当空调系统负荷高峰时,冷水机组的压缩机提高频率,保证制冷冷量的稳定输出。变频冷水机组根据空调系统实际负荷需求,自动调节压缩机转速,按需供给制冷能量,从而达到持续节能。

传统的定频冷水机组压缩机以恒定速度运行,一旦启动,便以固定的频率工作,无论外界负荷如何变化,压缩机都以满载状态运转,导致能源的不必要浪费。基于设备能效比的对比,变频冷水机组远优于定频冷水机组。据行业相关统计数据,变频冷水机组的应用平均可实现 10% ~ 30% 的节能效果。如冷水机组 COP 值与负载性能曲线图所示(见图 1),以相同制冷功率的冷水机组进行试验对比,在相同负载和条件下,定频冷水机组的 COP 值随着负荷增加而逐渐增大,

而变频冷水机组的 COP 值随着负荷的增加或者减小,呈现出平稳状态。

3 冷水机组运行中的节能技术策略

冷水机组在日常的运行活动中实施节能技术的目的就是在满足厂房生产活动制冷需求的前提下,通过优化设备运行参数和系统控制等方法来实现设备可靠供冷和能耗降低,从而实现节能降耗。

3.1 合理设定出水温度

根据药品生产厂房生产工艺的实际需求,为冷水机组设定合适的出水温度和回水温度。在冷水机组的实际运行中发现,适当地将冷水机组冷冻水出水温度逐级提升 1℃,冷水机组的电流监测值相应呈现梯度下降。依照这样的出水温度设定需求,在不同季节可以灵活调整出水温度,以实现降低能耗的目的。

3.2 冷冻水大小温差和流量的控制

根据冷量计算公式: $Q=M \times c_p \times DT$ (其中, Q 代表冷量、 M 代表流量、 c_p 代表比热容、 DT 代表温差),冷水机组产生的冷量 Q 与冷冻水的温差 DT 和流量 M 有关。在冷水机组实际生产运行中,当两台冷水机组的制冷功率相同时,理论上产生的制冷量应一致。假设水的比热容为一个恒定的常数,通过改变冷冻水

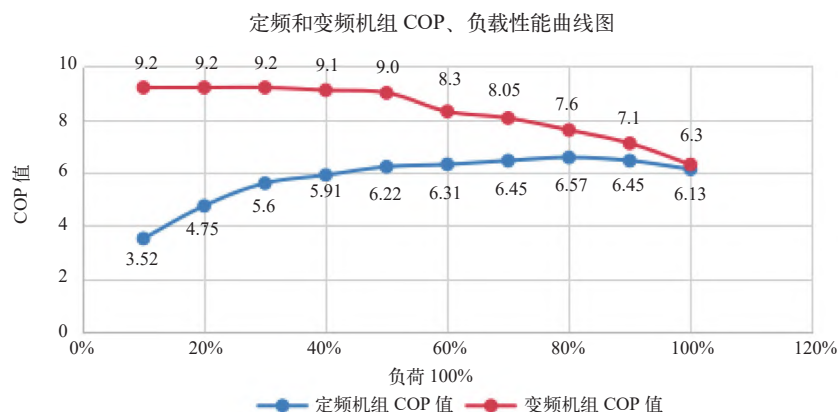


图 1 冷水机组 COP 值与负载性能曲线图

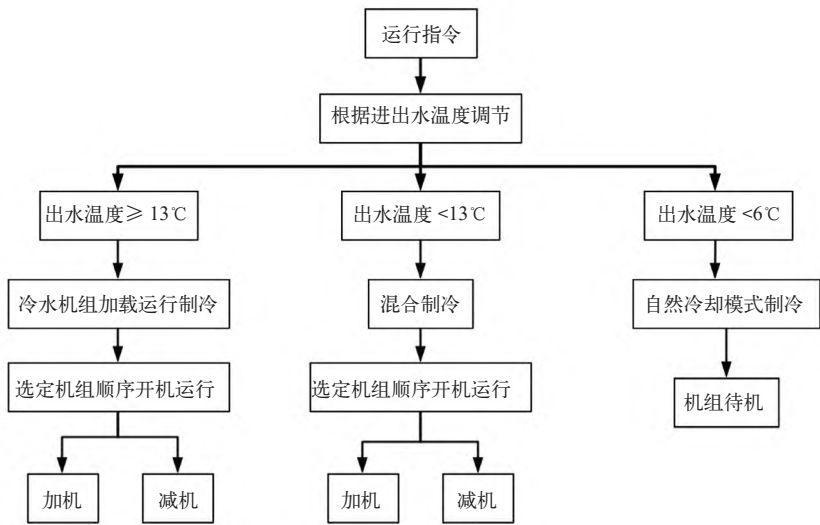


图2 冷水机组群控模式控制流程图

的进出水温差或冷冻水的循环流量，可以改变冷水机组的制冷量。

3.3 群控系统的启停控制

根据药品生产厂房生产工艺所需的冷负荷量要求，结合所选的冷水机组类型，对冷水机组进行群控设计。通常情况下，控制系统在接收到运行指令后，会启动相应的运行模式控制流程。一般而言，存在三种冷水机组控制模式，用于管理多台冷水机组，确保冷水机组群达到最佳的综合能效。

图2所示的是冷水机组群控模式控制流程图，该群控模式采用供回水温度控制法进行调节。在三种运行模式中，冷却水泵和冷冻水泵均保持正常运行状态，而冷却塔和冷水机组则按照需求开启。冷水机组群控系统在接收到开机指令后，会根据冷水机组的回水温度来确定冷水机组的启动时机。当冷水机组回水温度≥13℃时，冷水机组启动，群控系统 will 决定开启冷水机组的台数和选择开机的顺序，并选择加机运行或减机运行，以此来

控制冷水机组的台数；当冷水机组回水温度<13℃时，冷水机组将切换至混合制冷模式运行，并开始减载，群控系统再次决定开启冷水机组的台数，并选择加机运行还是减机运行；而当冷水机组回水温度降至6℃以下时，冷水机组将采用自然冷却模式制冷，并处于待机状态。

如冷水机组运行系统能耗数据对比表（见表1）所示，冷水机组系统运行包括冷水机组、冷冻水泵、冷却水泵、冷却塔等设备。这些设备的供电端均安装电能表进行能耗计量。对同一套冷水机组运行设备进行电能耗用数据采集，记录10个日历天的耗电量数据，分别记录冷水机组各设备在常规系统运行和群控系统控制下运行的耗电量，计算出耗电量和节电率，为药品生产厂房的技术提升提供参考。

4 冷水机组维护保养的节能技术策略

冷水机组的维护保养是确保设备

表2 冷水机组冷凝器铜管污垢系数与冷水机组温差、COP增加百分比数据表

污垢系数 m ² ·℃/kW	温差 增加℃	COP 增加百分比
0.11	1	2.23%
0.17	2	5.07%
0.23	3	8.27%
0.285	4	11.91%
0.35	5	15.09%

高效、稳定、节能运行的基础，也是实现节能降耗的有效措施。制定和实施合理的维护保养可以减少冷水机组能耗，避免因设备性能下降导致设备能耗增加。

4.1 换热器的清洗

空调系统中循环水的补充主要采用工业冷水，但工业冷水的水质较差，含有大量杂质和微生物。水在机组和管道内持续循环，加上蒸发浓缩等因素，导致冷水机组冷凝器换热铜管内壁堆积大量水垢或污垢，降低了循环水与冷媒之间的热交换效率。随着时间推移，铜管内壁水垢逐渐增厚，冷水机组的制冷效果下降，能耗增加。如表2所示，冷水机组冷凝器铜管的污垢系数逐渐增强，冷冻水进出水温差逐渐增加，冷水机组压缩机的COP（制冷量与消耗电功率的比值）增加百分比也逐渐上升。

通常，冷水机组冷凝器的清洗工作应安排在工作负荷较低的时段，如春季或秋冬季节，以避开炎热的夏季。冷水机组冷凝器的清洗方法包括物理机械除垢、化学酸洗除垢、电子磁水除垢技术等^[8]。在“双碳”节能减排的导向下，新产品和新技术的指引下，冷凝器胶球在线清洗装置这一智慧产品应运而生。它能够实时快速地清洗冷凝器铜管内壁，确保冷水机组的换热效率始终保持在最佳水平，从而实现节能降耗的目标。如表3所示，通过对比冷水机组冷凝器铜管结垢厚度与冷凝器清洗前后耗电量的数据，可以发现，随着冷水机组冷凝器铜管结

表1 冷水机组运行系统各设备能耗数据对比表

设备名称	常规系统 /kWh	群控系统 /kWh	节电量 /kWh	节电率 /%
冷水机组	2251778	2087625	164153	7.2%
冷冻水泵	445240	423765	21475	4.8%
冷却水泵	371142	355211	15931	4.3%
冷却塔	327120	245214	81906	25%

表3 冷水机组冷凝器铜管结垢厚度与冷凝器清洗前后的耗电量数据对比表

铜管结垢厚度	未清洗铜管的耗电量/kWh	清洗铜管后的耗电量/kWh	增加电能消耗百分比/%
0.8 mm	240 kWh	217 kWh	10%
1.6 mm	269.6 kWh	219 kWh	22%
3.2 mm	354.1 kWh	223 kWh	57%

垢厚度的增加,冷水机组的耗电量也相应地增加。基于这些分析和观点,可以得出结论:优质的水质供给在很大程度上有助于延缓甚至阻止结垢现象的发生,而定期进行冷凝器铜管的清洗和维护措施,能确保冷水机组长期稳定高效地运行。

4.2 制冷剂的检查

制冷剂是冷水机组运行中制冷循环的工质,在压缩、冷凝、膨胀、蒸发这4个主要阶段中,负责将冷量传递给冷冻水,实现制冷循环的目标。为了确保冷水机组的制冷效率能够持续保持在最佳状态,定期对制冷剂进行检查,确保其量适宜且状态优良,是维持冷水机组高效运行的关键。在冷水机组制冷剂的充装过程中,应遵循用户手册或者机组运行标准化操作流程,严格执行制冷剂的品类、充注量、充注压力等关键要素要求。当冷水机组的制冷剂供应不足时,其制冷效率会降低,导致制冷量减少,进而影响冷冻水的供应。为了实现所需的制冷效果,必须延长冷水机组的运行时间,这将导致更高的能耗。相反,如果制冷剂充注过量,不仅会造成制

冷剂的浪费,还会增加压缩机的运行负担,同样会消耗更多的能源。因此,定期检查和及时补充制冷剂是维持冷水机组最佳节能状态的关键。

4.3 润滑系统

压缩机是冷水机组制冷运行的核心部件,其在对外做功的过程中,内腔体的部件相互接触与摩擦。良好的润滑系统能够延长压缩机的使用寿命,提高机组的制冷效率,从而降低能耗。在冷水机组运行过程中,机组润滑系统的设计创新和技术进步是实现节能、高效、环保制冷的重要途径。在维护保养冷水机组时,定期检查和更换润滑油,确保润滑油品质和适宜的油位,能使压缩机运行更顺畅,提高机组运行效率。

5 结语

综上所述,为实现药品生产厂房冷水机组的节能技术应用,必须从多角度进行综合考虑,分别从冷水机组选型、运行、维护保养等各个方面,进行系统的分析和研究,以持续优化冷水机组的运行能耗。这些节能技术措施不仅能够助力制药企业节能降耗和增加经济效益,更能实现“碳达峰”

和“碳中和”的目标。

参考文献:

- [1] 杨红斌,朱毅,杜有径,等.节能理念在某生物疫苗生产厂房设计中的运用[J].中国科技纵横,2024(1):44-46.
- [2] 杨磊,朱毅,郭佩超,等.浅析疫苗生产GMP厂房空调系统节能环保技术策略[J].中国科技纵横,2022(21):21-23.
- [3] 平丽芬,朱毅.浅析实验室危化品试剂的安全管理[J].机电安全,2023(5):13-15.
- [4] 平丽芬,林小瑞,朱毅,等.制药企业实验室安全管理的应用与实践[J].现代职业安全,2024(5):101-103.
- [5] 国家食品药品监督管理局.药品生产质量管理规范(2010年修订)[S].2010.
- [6] 平丽芬,朱毅.基于药品生产质量管理规范对疫苗生产中的生产要素控制研究[J].流程工业,2024(10):12-13.
- [7] 梅光行.大型建筑冷源系统调控与节能优化技术研究[D].杭州:浙江大学,2023.
- [8] 王峰,李剑锋,朱毅,等.疫苗生产厂房冷水机组可移动式胶球清洗装置的应用[J].中国科技纵横,2023(17):93-95.



记录双碳背景下工业企业的变革之路


机械工业信息研究院



扫码看专题



用视频讲好工业故事

广告