

开式冷却塔转换为闭式冷却塔在数据中心 制冷系统设计的应用

刘洪钦

(必艾斯〈上海〉商贸有限公司, 上海 200000)

【摘要】数据中心作为信息化社会的基础设施, 其稳定运行对现代社会的各个方面都至关重要。制冷系统是数据中心正常运行的关键组成部分, 直接关系到设备的散热效果和整体能效。传统的开式冷却塔在初期建设成本上具有一定优势, 但其运行和维护成本高、系统可靠性差等缺点, 逐渐暴露在长期运营过程中。因此, 探索将开式冷却塔转换为闭式冷却塔, 以提升数据中心制冷系统的效率和可靠性, 具有重要的现实意义。

【关键词】开式冷却塔; 闭式冷却塔; 数据中心; 制冷系统的设计

一、开式冷却塔与闭式冷却塔的比较

(一) 开式冷却塔的工作原理及特点

在开式冷却塔中, 冷却水被直接暴露在环境中, 允许水与空气直接接触以达到冷却效果。该过程主要通过水的蒸发带走热量, 从而冷却流经塔内的水。开式冷却塔的核心组件包括填料、风机和集水盘。(图1) 填料的作用是增加水与空气接触的表面积, 以提高热交换效率; 风机则用于促进空气流动, 增强蒸发效果; 集水盘用于收集冷却后的水, 再次循环使用。在该系统中, 热水首先被泵入塔顶, 通过填料层均匀分布下落, 过程中与上升的空气进行热交换, 水温因蒸发而下降。此过程的效率受多种因素影响, 包括空气的湿度、温度及流动速度。

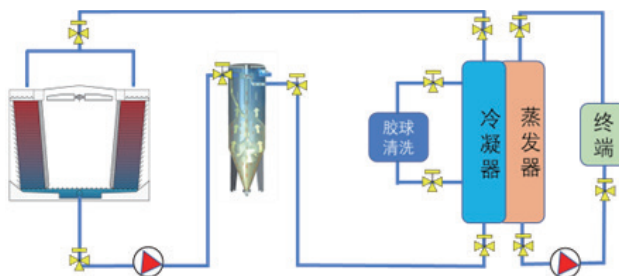


图1 开式冷却塔的工作原理

(二) 闭式冷却塔的工作原理及特点

如图2所示, 在闭式冷却系统中, 冷却液体(水或其他介质)在系统内循环流动, 不直接接触到大气的空气, 这有助于防止污染和水资源的蒸发损失。在这个系统中, 热水首先被送入热

交换器, 通过冷却介质(通常是水)的冷却作用来降低其温度。然后, 这部分温度被降低后的水会重新循环到系统中去。闭式冷却塔主要由几个核心部件组成: 热交换器、冷却介质储存单元和循环泵。热交换器的作用是实现热能从热水传递到冷却介质, 冷却介质储存单元则用于存放冷却介质, 保持其温度适宜。循环泵则保证冷却介质在系统中持续循环, 以维持整个系统的冷却效率。

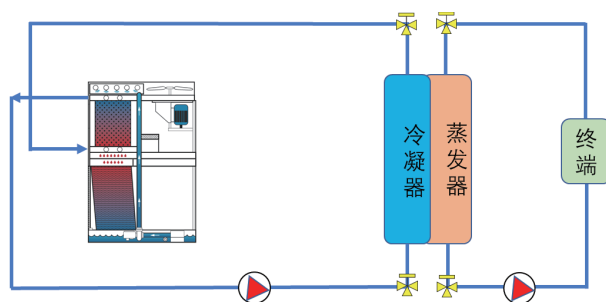


图2 闭式冷却塔的结构组成

二、开式冷却塔转换为闭式冷却塔的必要性

随着数据中心对制冷效率和可靠性的要求日益提高, 传统开式冷却塔已难以满足现代化数据中心的需求。转换为闭式冷却塔具有以下必要性: 首先, 闭式冷却塔能效比更高, 通过封闭管道系统减少热量损失, 从而显著降低数据中心的总体能耗。其次, 闭式系统维护简单, 由于水质在封闭系统内循环, 结垢和生物污染的风险大幅降低, 减少了因清洗和消毒产生的停机时间和维护

成本。此外，闭式冷却塔的运行稳定性更强，不易受外部环境影响，能够保证数据中心全年稳定运行，适应各种气候条件。

三、开式冷却塔转换为闭式冷却塔的设计要点

（一）负荷计算与设备选型

为了确保开式冷却塔转换为闭式冷却塔的设计能够满足数据中心的冷却需求，首先需要进行准确的热负荷计算。本研究对数据中心的服务器功耗、散热设备以及室内外温差等因素进行了详细测量和分析。热负荷计算采用以下公式：

$$Q = \frac{P}{\eta} + Q_s$$

其中， Q 是总热负荷（kW）， P 是服务器的总功耗（kW）， η 是散热设备的效率， Q_s 是由于室内外温差产生的附加热负荷（kW）。为了确保在高峰负荷时依然能够稳定运行，选择了一款额定冷却能力为1800 kW的闭式冷却塔。

（二）系统布局与管道设计

为了确保冷却水流动的顺畅和高效，本研究进行了详细的管道设计分析。首先，确定了冷却塔的位置，以最小化管道长度和弯曲程度。计算管道直径时，采用以下公式：

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

其中， D 为管道直径（m）， Q 为冷却水流量（ m^3/s ）， v 为水的流速（ m/s ）。同时，管道布置尽量避免不必要的弯曲和阻塞，通过合理的布局设计，提高冷却效率，降低系统运行成本。

（三）控制系统与自动化管理

针对数据中心的实际需求，本研究设计了智能控制系统，包含温度监控、流量调节和故障报警等功能。温度监控系统通过传感器实时测量进出水温度，采用以下公式计算冷却效率：

$$\eta_{\text{cool}} = \frac{T_{\text{in}} - T_{\text{out}}}{T_{\text{in}} - T_{\text{ambient}}}$$

其中， η_{cool} 为冷却效率， T_{in} 为进入冷却塔的水温， T_{out} 为冷却后的出水温度， T_{ambient} 为环境温度。流量调节功能通过调节阀门控制水流量，确保在不同负荷条件下系统始终运行在最佳状态。

（四）冷却塔与其他系统的集成

首先，冷水机组的额定制冷量为1500 kW，空气处理机组的处理能力为2000 CFM（立方英尺每分钟）。为了确保各系统之间的协调运行，进行了以下计算：冷水机组和闭式冷却塔的集成需要确保冷却水流量匹配。假设冷水机组的出水温度为7℃，回水温度为12℃，冷却水流量 $\dot{m}$ ，计算公式为：

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \Delta T}$$

其中， Q 为冷水机组的制冷量（kW）， c_p 为水的比热容（ $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ）， ΔT 为进出水温差（K）。确保闭式冷却塔的设计流量与上述流量匹配，以实现高效的热交换。同时，空气处理机组需要与冷却塔的空气流动系统有效结合，确保冷却塔排出的空气与处理机组的进气系统协调。

四、实施步骤与过程管理

（一）前期调研与方案制定

在实施开式冷却塔转换为闭式冷却塔的过程中，前期调研工作至关重要。首先，对现有冷却系统进行了全面评估，发现其年均能耗为450,000 kWh，维护费用高达每年50,000元，系统故障率高达15%。为了详细了解数据中心的冷却需求，对热负荷进行了详细测量，服务器总功耗为1200 kW，散热设备效率为85%，考虑到室内外温差为10℃。在安装现场的空间布局调研中，测量了可用空间，发现现有冷却塔区域可容纳新设备，但需重新设计管道布局。环境条件评估包括室外温度、湿度和空气质量，确保新系统能在各种气候条件下稳定运行。可行性分析结合了设备成本、运行费用和节能效益，确定闭式冷却塔的能效比可提升至0.75，预计年均节省能耗达112,500 kWh。

（二）设备采购与安装

设备的采购严格按照设计要求进行，确保所选设备的质量和性能符合项目需求，向多家供应商询价，并对其提供的设备进行技术评估和经济比较，最终选择性价比最高的供应商。采购的主要设备包括额定冷却能力为1800 kW的闭式冷却塔、相应的循环泵、热交换器和自动化控制系

统。设备到货后，开始进行安装。安装过程严格按照施工规范和设计图纸进行。首先，清理安装现场，确保地基平整和设备安装位置准确。然后，将冷却塔、循环泵和热交换器逐一安装，并确保设备之间的管道连接紧密，密封性良好。安装过程中，特别注意管道的布置，尽量减少弯曲和阻塞，以保证冷却水流动顺畅。安装完成后，对所有设备进行初步检查和调试，确保其能够正常运行。

（三）系统调试与测试

设备安装完成后，进入系统调试与测试阶段。首先，对单个设备进行调试，确保每个组件的正常运行。具体包括启动循环泵，检查其流量和压力是否达到设计要求；启动闭式冷却塔，检查其运行状态和冷却效果；启动热交换器，确保其热交换效率符合预期。单机调试完成后，进行系统联调，将各个设备连接起来，形成完整的冷却系统。系统联调过程中，首先检查冷却水的流量和温度，确保其在设计范围内波动。通过调整控制系统的参数，优化各设备的运行状态，确保系统的整体能效。

五、实际应用效果分析

（一）数据中心案例分析

为了评估开式冷却塔转换为闭式冷却塔在数据中心制冷系统设计中的实际应用效果，本研究选取了某大型数据中心作为案例分析对象。该数据中心的原有制冷系统采用开式冷却塔，存在年均能耗高达450,000 kWh、维护费用每年约50,000元、冷却效率不稳定等问题，且系统故障率高达15%。这些问题导致数据中心的运行成本高，系统可靠性差，严重影响了数据中心的正常运作。通过详细的前期调研和数据分析，进行了开式冷却塔转换为闭式冷却塔的改造。改造后的闭式冷却塔系统额定冷却能力提升至1800 kW，采用封闭管道系统和自动化控制系统，显著提高了整体能效，降低了维护成本，并大幅增强了系统的稳定性和可靠性。

（二）改造效果分析

为了进一步量化和分析开式冷却塔转换为闭式冷却塔的改造效果，以下是关键指标的详细对比：

表 改造效果分析

项目	改造前	改造后
年均能耗 (kWh)	450,000	300,000
年均维护费用 (元)	50,000	20,000
系统故障率 (%)	15	3
总冷却能力 (kW)	1200	1900
散热设备效率 (%)	85	95
进出水温差 (°C)	10	5

改造后的闭式冷却塔系统显著提高了数据中心的整体能效。年均节约电能达150,000 kWh，进一步降低了运行成本并减轻了环境负担。此外，年均维护费用显著减少，系统故障率大幅下降，总冷却能力显著提升，散热设备的效率也有所提高。

结论：

随着技术的进步和环境保护的要求日益提高，数据中心制冷系统的设计与实施面临新的挑战和机遇。本文通过对开式冷却塔与闭式冷却塔的比较分析，明确了在数据中心中应用闭式冷却塔的必要性和优势。实际案例表明，将开式冷却塔转换为闭式冷却塔，不仅显著提升了系统的能效和运行稳定性，还有效降低了维护成本 and 环境影响。未来，闭式冷却塔的设计和优化将更加注重系统集成和智能管理，进一步提高能效和操作便捷性，以适应更加严苛的环境标准和运行效率要求。

参考文献：

- [1] 沈飞. 数据中心中水冷系统延长自然冷却时间对节能贡献的探讨[J]. 建筑设计与研究, 2022, 3(2).
- [2] 张铮一, 陈星, 杨帆等. 节能变频控制低湿球闭式冷却塔[J]. 设备管理与维修, 2021(10): 137-138.
- [3] 郑亮, 郑洪斌, 陈以乐等. 小型数据中心混合冷却系统节能改造探究[J]. Journal of Putian University, 2023, 30(5).
- [4] 庄乾伟. 循环冷却水采用闭式和开式冷却塔方式分析[J]. 能源科技, 2020, 18(10): 58-59.
- [5] 黄英, 梁珍, 陈艳超等. 数据中心采用冷却塔间接自然冷却技术的能耗分析[J]. Journal of Donghua University (Natural Science Edition), 2023, 49(4).