

# 中央空调冷却塔智能维护与水处理系统优化策略研究

严凌杰

浙江吉克机电科技有限公司 浙江 温州 325052

**【摘要】**本研究聚焦中央空调冷却塔智能维护与水处理系统优化策略，旨在解决传统冷却塔维护与水处理效率低、水质恶化等问题。剖析其工作原理与现状，明确优化重要性。智能维护应用传感器技术实时监测运行参数，搭建数据采集传输系统，用大数据与机器学习算法诊断预测故障；水处理系统优化分析水质问题，设定处理目标，综合运用多种方法改善水质。实际案例验证，智能维护降低故障发生率，水处理系统优化提升热交换效率、降低能耗。成果对提升性能、降低成本、节能减排意义重大，为建筑可持续发展提供支持与指导。

**【关键词】**中央空调冷却塔；智能维护；水处理系统优化；故障诊断；节能减排

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.048

## 1 引言

在现代建筑中，中央空调系统是保障室内舒适环境的关键，冷却塔是其散热核心部件。制冷时，制冷剂在冷凝器放热，热量经循环水传至冷却塔，通过水与空气热交换散发到大气，维持制冷循环效率。若冷却塔不能及时散热，会导致制冷机组故障、系统瘫痪。

然而，传统冷却塔存在诸多问题。维护依赖人工巡检，效率低、难发现潜在故障，约70%故障因小问题未及时处理恶化导致，且巡检周期长，突发故障影响系统运行。水处理方式不够精准高效，循环水杂质等积累使水质恶化，降低热交换效率、增加能耗，还引发设备腐蚀和结垢。

智能维护和水处理系统优化意义重大。智能维护借助传感器、物联网和大数据分析，实时监测和预测故障。在关键部件安装传感器采集数据，传输到数据中心分析，参数异常及时预警，可降低故障发生率和维护成本。水处理系统优化采用先进技术和智能控制策略，如反渗透技术处理循环水，结合智能控制精准投加药剂，可提高热交换效率、降低能耗，降低运行成本，助力绿色建筑。

## 2 中央空调冷却塔工作原理与现状分析

### 2.1 中央空调冷却塔工作原理

中央空调冷却塔基于水的蒸发散热原理，为冷却水降温，保障制冷循环稳定。制冷时，冷凝器热量传至冷却水使其升温，高温水送至冷却塔顶部喷淋到填料上。填料比表面积大、亲水性好，热水形成水膜增加与空气接触面积。风机抽取外界空气，空气与水膜热湿交换，显热传递使热量从水到空气，潜热传递因水蒸发带走热量，潜热传递占总散热量60%-80%。湿热空气从顶部排出，冷却后的水落入集水盘，经循环水泵送回冷凝器，完成冷却循环。保障中央空调系统高效运行。

### 2.2 中央空调冷却塔应用现状

中央空调冷却塔在各类建筑领域广泛应用，不同建筑类型因功能需求和运行特点差异，对其使用不同。

商业建筑如大型商场、购物中心，空间开阔、人员密集，对空调制冷量需求大，常采用多台大功率冷却塔并联运行，安装在屋顶或裙楼顶部。但营业时间长，设备磨损加剧易故障，且运行产生的噪音和飘水会影响周边。如某商场因冷却塔噪音大遭居民投诉。

医院中，冷却塔保障医疗设备运行和患者就医环境，手术室、ICU等区域对温湿度要求严格，需其稳定运行。如某三甲医院用高效节能冷却塔及智能控制系统保证空调效果。但医院对水质要求高，水质处理不当易滋生细菌引发卫生事件。

工业厂房也是重要应用场所，电子芯片制造厂房等精密设备对环境要求苛刻，需其提供稳定冷却水源。但要处理大冷却水量，全年无休运行，对可靠性和耐久性挑战大，且循环水含杂质易腐蚀结垢，增加维护成本。

## 3 中央空调冷却塔智能维护策略

### 3.1 智能监测技术应用

#### (1) 传感器技术在冷却塔监测中的应用

在中央空调冷却塔智能维护中，传感器技术至关重要，通过各类传感器实时监测运行参数保障设备稳定运行。温度传感器是关键之一，安装在冷却水循环系统的进出水管道上，监测水温。精确测量进水温度可了解制冷机组排热情况，出水温度反映冷却塔冷却效果。若进出水温度异常，如出水温度过高，可能是风机故障、喷淋系统堵塞或填料结垢等致冷却塔散热能力下降。维护人员可根据温度传感器数据及时检查维护，确保其正常运行。

液位传感器用于监测冷却塔集水盘水位，水位过高或过低都影响冷却塔正常运行。过高会导致水溢出，过低会使循环水泵吸入空气，甚至损坏水泵。液位传感器实时监测水位并传输数据，水位低于下限值，控制系统自动启动补水装置；高于上限值，控制系统发出警报。

振动传感器监测冷却塔风机、水泵等旋转设备运行状态，设备长期运行会因机械磨损等产生振动。振动传感器安装在设

备外壳，检测振动参数，分析判断设备是否有故障隐患。

### (2) 数据采集与传输系统搭建

为高效采集和传输传感器数据，需构建稳定可靠的数据采集与传输系统，由数据采集模块、数据传输模块和监控中心组成。

数据采集模块从各传感器收集数据，适配不同传感器接口，能同时采集多种类型数据。它采用先进微处理器和芯片，有高速采集和高精度处理能力，按设定采样频率定时采集数据并初步处理校验，如对温度数据滤波。

数据传输模块将采集数据传至监控中心，可根据实际场景选有线或无线传输技术。对数据传输稳定性要求高、距离近的场合，用以太网、RS-485 总线等有线传输；安装环境复杂、布线困难的场合，用 Wi-Fi、蓝牙、4G/5G 等无线传输。某商业综合体中央空调冷却塔位于屋顶，距离远且布线不便，采用 4G 无线传输，数据采集模块将数据发至云端服务器，监控中心人员可随时查看运行参数。

监控中心是系统核心，接收传输模块数据，进行存储、分析和展示，配备高性能服务器和专业数据管理软件，服务器存储大量历史数据。为后续数据分析和故障诊断提供数据支持。数据管理软件可对实时数据监测分析，发现异常及时报警，还能以图表、报表展示数据，方便工作人员了解冷却塔运行状态。监控中心工作人员可通过大屏幕实时监控多冷却塔运行参数，及时处理问题，保障中央空调系统稳定运行。

## 3.2 基于数据分析的故障诊断与预测

### (1) 数据分析算法原理

在中央空调冷却塔智能维护中，数据分析算法是故障诊断和预测的核心，通过分析运行数据可发现潜在故障隐患并提前维护。

机器学习算法应用广泛，神经网络和支持向量机等有强大模式识别和数据处理能力。神经网络模拟人类大脑神经元，在冷却塔故障诊断中，可通过学习历史数据建立运行参数与故障类型映射关系。如风机故障诊断，将运行参数作输入，故障类型作输出，训练后可判断故障。支持向量机基于统计学习理论，通过寻找最优分类超平面区分不同类数据。在冷却塔故障诊断中，可区分正常和故障状态数据，实现快速诊断。

此外，聚类分析算法可聚类数据发现异常模式识别潜在故障，时间序列分析算法可分析随时间变化的数据预测运行趋势，提前发现故障。如分析冷却塔水温变化，可提前采取措施防止制冷机组故障。

### (2) 故障诊断与预测实例分析

通过实际案例可了解基于数据分析的故障诊断与预测在中央空调冷却塔智能维护中的应用效果。

某大型商场中央空调冷却塔安装智能维护系统，系统采集风机振动数据，用神经网络分析，判断风机可能叶片损坏。维护人员及时检查更换叶片，避免严重故障，保障冷却塔正常运行。

某医院中央空调冷却塔智能维护系统监测水位和流量数据，用支持向量机分析，判断可能漏水。维护人员检查修复管道，避免水资源浪费和设备损坏，保障医疗设备运行和就医环境。

在某工业厂房的中央空调冷却塔中，智能维护系统用时间序列分析算法预测冷却塔出水温度，通过分析历史数据建模，预测未来几小时变化趋势。一次预测显示未来两小时出水温度将超正常范围，维护人员据此提前检查调整风机和喷淋系统，控制了水温，保证工业生产连续性。

## 3.3 智能维护系统架构与功能实现

### (1) 系统架构设计

中央空调冷却塔智能维护系统架构设计是高效运行和智能维护基础，合理架构确保各部分协同，实现全面监测、分析和管理。系统架构包括感知层、网络层、数据处理层和应用层，各层协作完成智能维护任务。

感知层由各类传感器组成，分布在冷却塔关键部位，实时采集运行参数，转化为信号为后续处理提供数据。如风机上的振动和温度传感器，实时监测并传输数据。

网络层负责将感知层数据传至数据处理层，包括有线和无线通信网络，像以太网、Wi-Fi、4G/5G 等。距离近的用以太网保证稳定高速，分散的用 4G/5G 实现远程传输。

数据处理层是核心之一，负责处理分析网络层传来的数据，包括数据存储、清洗、分析等模块。存储模块用高性能数据库存储历史数据，清洗模块处理原始数据提高质量，分析模块用算法挖掘潜在信息，实现故障诊断和预测。

应用层与用户交互，提供应用功能和服务，包括实时监控界面、故障报警系统、维护计划制定模块、设备管理模块等。监控界面展示实时状态，报警系统及时通知故障，维护计划模块制定合理计划，设备管理模块方便全面管理。用户可通过界面监控、接收报警并维护管理设备。

### (2) 系统功能模块

智能维护系统功能模块体现智能维护功能，相互配合提供全面高效服务。

实时监控模块通过可视化界面展示冷却塔运行参数和状态，以动态图表展示关键参数实时变化，用户可直观查看是否正常，还能看到设备实时运行状态，掌握运行动态。

故障报警模块保障安全运行，系统发现故障或异常时启动，通过短信、邮件、声光报警等通知用户，确保及时处理，

避免故障扩大。维护计划制定模块依据冷却塔设备运行状况、历史维护记录和数据分析结果,为用户制定科学合理的维护计划。它考虑设备使用寿命、运行时间、故障频率等因素,确定最佳维护时间和内容。对运行久、易故障的部件,如风机轴承、水泵密封件等提前维护更换;根据水质情况,制定水处理药剂添加和设备清洗计划。该模块可根据用户需求和实际情况灵活调整,确保计划可行有效,提高设备可靠性和使用寿命。

设备管理模块用于管理冷却塔设备信息和资料。它记录设备基本信息,如型号、厂家、日期、参数等;保存维修记录,包括时间、内容、更换零部件等,这些记录对分析故障原因、总结维护经验有重要价值。该模块还管理备件库存,实时跟踪数量、位置,库存不足时及时提醒采购,减少设备停机时间,提高维护效率。

## 4 中央空调冷却塔水处理系统优化策略

### 4.1 水质问题分析与处理目标确定

#### (1) 常见水质问题

中央空调冷却塔运行中,循环水水质问题影响冷却塔性能和系统稳定。常见问题有硬度超标、微生物滋生和腐蚀,会降低热交换效率、损坏设备、增加成本。

硬度超标较常见,钙、镁等离子含量高导致。循环水蒸发浓缩使离子浓度升高,形成水垢附着在部件表面。如某商业建筑冷却塔,因硬度超标,填料结垢使热交换效率降约 30%,增加能耗,加速设备损坏。

微生物滋生严重,冷却塔温暖潮湿环境利于其生长,形成生物黏泥堵塞管道和设备。如某酒店冷却塔,生物黏泥堵塞喷头影响系统运行,降低热交换效率,威胁人体健康。

腐蚀是损害设备的重要因素,溶解氧、酸碱度和离子等引发。如某工业厂房冷却塔,酸性循环水腐蚀管道,增加维护成本,污染水质,加剧设备损坏。

#### (2) 处理目标设定

针对水质问题,需设定合理水处理目标。

控制硬度是重要目标,将钙、镁等离子浓度控制在合理范

围,总硬度控制在 150-300mg/L(以碳酸钙计)较合适,可减少水垢附着,保持热交换效率。

降低微生物含量是关键目标,采用杀菌、消毒措施,将细菌总数控制在 1000CFU/mL 以下,减少真菌和藻类滋生。如某医院冷却塔,控制微生物含量保障系统稳定,降低潜在风险。

抑制腐蚀对延长设备寿命至关重要,可通过添加缓蚀剂、调节酸碱度等方法。将循环水对金属腐蚀速率控在较低水平,通常要求不超 0.1mm/a。某大型商场中央空调冷却塔通过合理加缓蚀剂、稳定循环水 pH 值在 7.5-8.5,使金属部件腐蚀速率降至 0.05mm/a 左右,延长设备寿命、减少维修更换、降低运营成本。

### 4.2 优化的水处理技术与方法

物理处理方法在中央空调冷却塔水处理中起基础重要作用,通过过滤、沉淀、离子交换等去除杂质、降低硬度、提升水质、保障稳定运行。过滤用于除悬浮物和颗粒杂质,在进水管道装过滤器可拦截大颗粒物质,常见有袋式、篮式和自清洗过滤器,袋式过滤精度 5-100 μm,篮式用金属滤网,自清洗过滤器可自动反冲洗。

## 5 结论

本研究围绕中央空调冷却塔智能维护与水处理系统优化展开,剖析传统问题并取得重要成果。智能维护应用先进传感器技术实现全方位监测,搭建数据采集传输系统,用大数据和机器学习算法建立运行模型,精准诊断和预测故障,某商业综合体应用后故障发生率大幅降低。水处理系统优化分析常见水质问题并设定目标,综合运用物理、化学和生物方法改善水质,某商业综合体优化后热交换效率提高、能耗降低。热交换效率从约 70% 提升到约 85%,年耗电量降低约 15%。

本研究成果对提升中央空调冷却塔性能和运行效益意义重大。智能维护可及时解决设备故障,提高可靠性与寿命;水处理系统优化能改善水质、提高热交换效率、降低能耗与维护成本,为其高效稳定运行提供技术支持与实践指导,推动建筑节能与绿色建筑发展。

## 参考文献:

- [1] 白登堂,黄钢琦,周斌.智能控制技术在中央空调冷却塔技术改造中的应用[J].智能物联技术,2024,56(4):127-130.
- [2] 王雪梅.中央空调冷却塔排水量自动调节优化控制仿真[J].计算机仿真,2019,36(1):421-424.
- [3] 慕家骁,王志中,王子懿,等.冷却塔散热对中央空调运行效率的影响分析[J].广东通信技术,2020,40(7):68-71.
- [4] 管德赛,王宝姣.医院中央空调冷却塔的优化改造及维护保养[C]//中国医院协会后勤管理专业委员会第二十一届学术研讨会论文集.2017:400-402.