

防护工程中除湿空调机系统优化与应用研究

苏凤忠, 房晓宇

中国人民解放军65056部队, 辽宁 铁岭

收稿日期: 2025年3月8日; 录用日期: 2025年4月1日; 发布日期: 2025年4月8日

摘要

除湿空调机组在防护工程中至关重要, 但面临冷凝器结垢、水质问题及智能化水平低等挑战。现有研究缺乏系统性优化方案, 特别是冷凝器结垢的预防和维修机制不完善, 远程监控与智能化管理亟待提升。文章通过加装板式换热器、调整系统布局、引入PLC控制系统及智能化专家知识库技术, 优化冷却水循环, 实现远程监控与故障预警, 有效解决了除湿空调机组的关键问题, 为防护工程提供了高效、可靠的运行解决方案。

关键词

防护工程, 除湿空调机, 冷却水循环, 预警系统

Research on Optimization and Application of Dehumidifying Air Conditioner System in Protection Engineering

Fengzhong Su, Xiaoyu Fang

Unit 65056, People's Liberation Army of China (PLA), Tieling Liaoning

Received: Mar. 8th, 2025; accepted: Apr. 1st, 2025; published: Apr. 8th, 2025

Abstract

The dehumidification air conditioning unit is crucial in protective engineering, but it faces challenges such as condenser scaling, water quality issues, and low intelligence levels. Existing research lacks a systematic optimization scheme, particularly regarding the prevention and maintenance mechanisms for condenser scale. Additionally, there is an urgent need to improve remote monitoring and intelligent management. By installing a plate heat exchanger, adjusting the system layout, introducing a PLC control system and intelligent expert knowledge base technology, optimizing

cooling water circulation, and implementing remote monitoring and fault warning systems, we can effectively address the key problems of the dehumidification air conditioning unit. This provides an efficient and reliable operation solution for protective projects.

Keywords

Protective Engineering, Dehumidifier Air Conditioner, Cooling Water Circulation, Early Warning System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着现代化战争形态的多元化发展, 防护工程的战略重要性日益凸显。防护工程深埋地下, 运作高度依赖于空气环境的有效保障, 而通风空调系统被称为防护工程的“生命线”, 确保通风空调系统可靠运行是工程运维保障的首要任务。除湿空调机是通风空调系统中关键的空气调节设备, 可根据工程内部热湿环境需求执行通风、除湿、加湿、加热等空气处理功能, 堪称“生命线”中的核心部件, 机组运行稳定是“生命线”稳定的前提。其中机组制冷系统的冷水壳管式冷凝器是实现空气降温的重要部件。

除湿空调机中的冷凝器体积庞大、系统复杂, 出厂前已经设置好高压、低压阈值参数, 尽管设备厂家已经配置了相关保护装置, 但其目的主要是在设备出现故障时, 及时停机保护, 以防止设备受损或发生安全事故[1]。然而, 对于工程保障而言, 一旦设备发生故障停机, 将严重影响工程内空气环境, 同时运行过程中如果出现故障, 通常需要设备厂家派遣专业人员到现场进行排查与修复, 不仅维修耗时较长, 而且严重时还会影响战时保障任务的完成。因此开展除湿空调机组的故障预警和自主维修的研究, 避免或降低机组因故障等原因发生突然停机的现象, 保障机组和通风空调系统的稳定运行, 对于提高防护工程的战斗力具有十分重要的意义。

2. 除湿空调机组现状和主要故障

2.1. 除湿空调机的组成

除湿空调机是以制冷剂以及冷、热水或蒸汽为媒质, 完成对空气的过滤、加热、加湿、冷却、减湿、消声、新风处理和新、回风混合等功能的机组, 包含混风过滤段、中间段、消音段、空气处理段、送风段、主机段等功能区域[2]。

2.2. 除湿空调机常见运行故障及原因分析

目前, 除湿空调机在运行过程中主要有以下两种故障:

1) 冷凝器结垢。高硬度冷却水长期作用于工程中的除湿设备, 导致冷凝器内壁沉积坚硬水垢, 如图 1 所示, 加速腐蚀并影响传热效果, 最终触发系统的高压报警并强制停机, 需厂家更换冷凝器以恢复运行。

2) 制冷剂渗漏。制冷系统中细微漏点引发制冷剂缓慢渗漏, 随渗漏量增加, 除湿性能大幅下降, 并可能触发低压保护导致系统报警停机, 加剧维护难度, 威胁工程连续运行。

上述两种故障模式, 都有一个共同的特征, 均由冷却水水质问题或冷却系统内部故障缓慢累积而诱

发[3]。此类故障往往潜伏期长, 且一旦爆发, 排除难度大、需要时间长, 严重干扰工程保障工作。



Figure 1. Scaling in condensers
图 1. 冷凝器结垢

3. 系统优化方案设计

3.1. 技术方案设计

为减少上述两种故障的发生, 对系统进行了设计优化。一是建立了由参数监测系统和故障诊断专家库系统组成的除湿空调机故障预警系统, 在故障发生的初级阶段就给出预警, 使得运维人员能提前发现故障并及时处理。智能专家库对空调系统的运行状态进行实时分析, 当指标出现异常时, 及时给出诊断意见, 判断故障类型, 并给出应对措施, 防止出现保护性停机。监测系统通过监测除湿空调机的蒸发温度、冷凝温度以及制冷剂的冷凝压力和蒸发压力, 绘制实际系统冷冻循环图与标准循环图进行比较, 找出故障的特征参数及其发展趋势, 及时给出报警信号, 并提示操作人员加制冷剂, 直至系统恢复正常[4]。二是改造了冷却水循环系统。在除湿空调机壳管式冷凝器和空调水库之间增加了中间换热环节——可拆卸板式换热器, 将原机组中冷凝器与水库之间的冷却水循环, 增设为冷凝器与板式换热器之间一次循环和板式换热器与空调水库之间的二次循环, 一次循环介质为纯净水, 从源头避免冷凝器结垢。

3.2. 冷却水系统改造

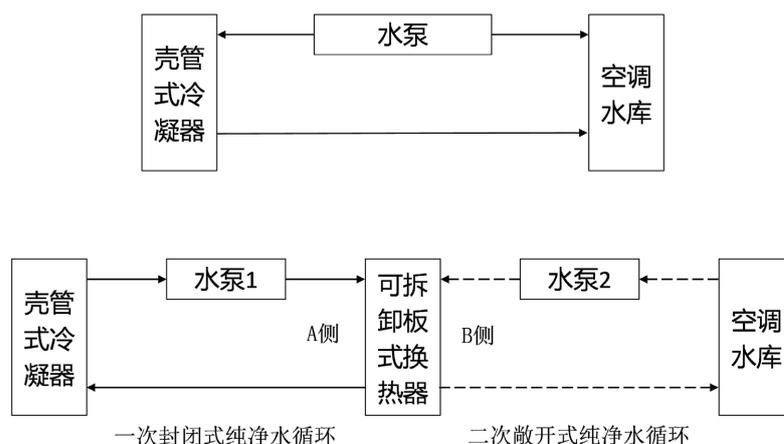


Figure 2. Comparison diagram of old and new system components
图 2. 新老系统组成对比图

在除湿空调机壳管式冷凝器和空调水库之间增加一个中间换热环节——可拆卸板式换热器, 将原有

的冷却水循环管路提升为“一次封闭式纯净水循环”和“二次敞开式机械水循环”两部分,如图2所示,同时一次循环通过冷凝器温度传输“PLC”变频器控制水泵速度。改造后的两级制冷系统被设计为流经换热器的具有阶梯压力的传热单元,从而可以减少不可逆损失。假设两级制冷系统的热交换没有热量损失,使用纯制冷剂的阶梯式制冷循环可以接近洛伦兹循环,这是变温热源下最有效的循环。与单个制冷系统相比,其净功输入会减少,从低温热库中吸收的热量增加,与独立的制冷系统相比其COP增加[5]。

3.2.1. 可拆卸板式换热器的基本构造

可拆卸板式换热器的结构如图3所示。

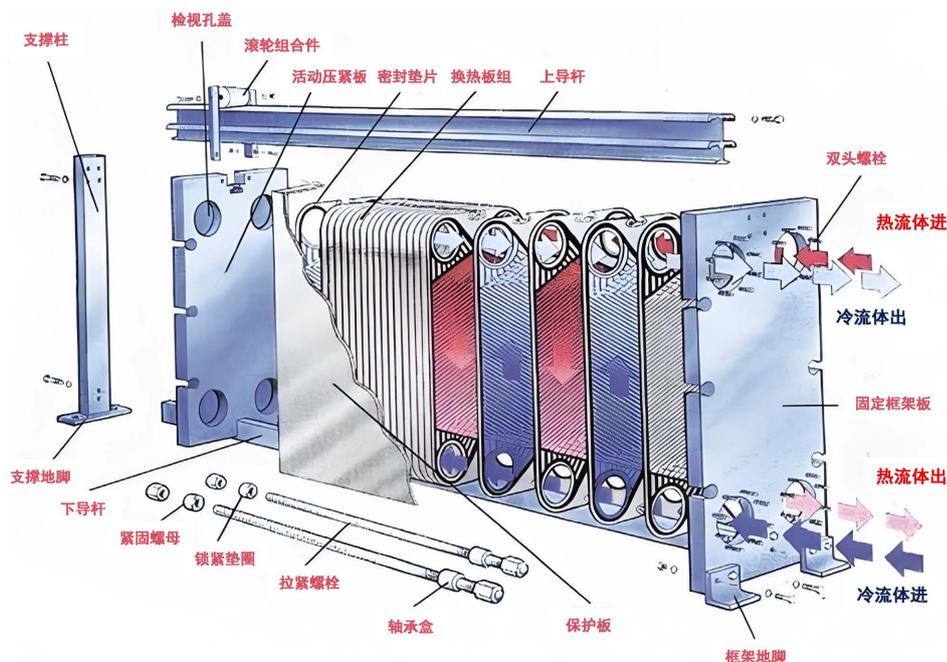


Figure 3. Structure diagram of detachable plate heat exchanger
图3. 可拆卸板式换热器结构图

3.2.2. 可拆卸板式换热器的工作原理

可拆卸板式换热器是由许多冲压成波纹状的薄金属板,按一段间隔通过四周垫片密封,并用框架和压紧螺旋重叠压紧而成的高效紧凑型热交换器[6]。板片和垫片的四个角孔形成了流体的分配管和汇集管,同时又合理地将冷热流体分开,使其分别在每块板片两侧的流道中流动,通过板片进行热交换。组装时板片交替旋转 180° 进行叠加,板片间形成网状通道,密封垫把冷热介质密封在换热器里,同时又合理地将冷热介质分开而不致混合。在通道里面冷热流体间隔流动,可以根据需要逆流或顺流,在流动过程中冷热流体通过板壁进行热交换,从而达到所需的效果。

3.3. 冷却水循环优化

如图2所示,在除湿空调机壳管式冷凝器和空调水库之间增加的可拆卸板式换热器,改变了除湿空调机冷却水的循环方式,其中,冷凝器与板式换热器之间采用封闭式循环管路,并使用纯净水作为冷却水,运行时管路中几乎没有污染和损耗,空调水库与板式换热器之间的管路为敞开式循环管路,与封闭式循环管路完全隔离,从根本上避免工程空调水库中高硬度水进入除湿空调机组中壳管式冷凝器。

具体换热过程是,除湿空调机壳管换热器冷凝器中的纯净水在水泵1的驱动下,流经可拆卸板式换

热器的 A 侧, 将系统冷凝热传递到可拆卸板式换热器的 B 侧, 另一侧在水泵 2 的驱动下, 将板式换热器 B 侧的热量放入空调水库, 这样在除湿空调机组工作过程中, 水库高硬度和腐蚀性水仅腐蚀可拆卸板式换热器的 B 侧部分, 一旦其故障或者损坏, 维修和更换变得简单。通过对该冷却循环水系统进行改造, 使其更加方便维修、更换, 并且从被动地等待厂家维修转变为主动的自我维修, 维护人员能够自主对其进行处理。制冷量和除湿量相较于优化前的系统均有显著提升。如图 4 所示, 原有系统在开机连续运行的 24 小时内, 湿度的波动范围在 56%~68%, 而安装冷却水循环系统后, 湿度的波动范围稳定在 43%~55%。当湿度连续超过 60%时, 工程中水蒸气结露的可能性增加, 可能会降低电气设备绝缘性能、增加金属腐蚀, 导致电路短路、性能下降及故障率增加, 进而影响设备的稳定性和使用寿命[7]。

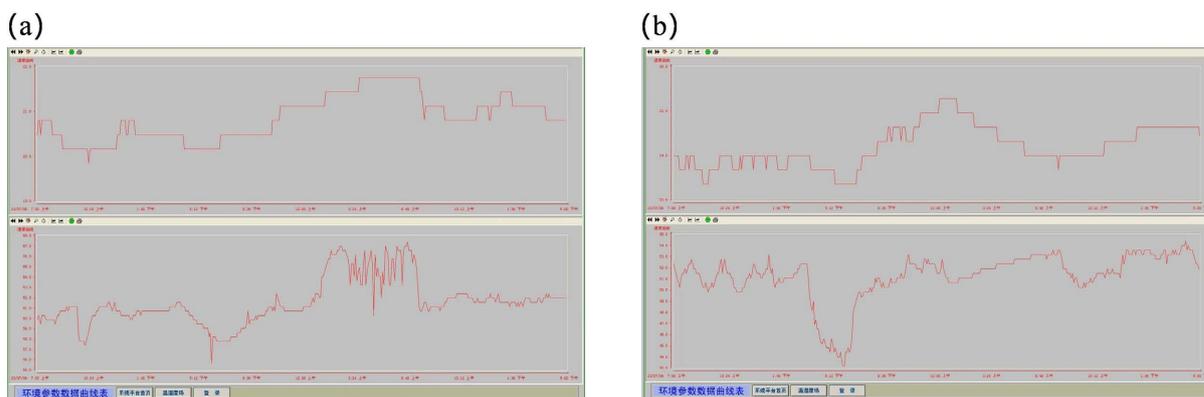


Figure 4. Temperature and humidity field monitoring diagram: (a) Old system diagram; (b) New system diagram
图 4. 温湿度场监控图: (a)旧系统机组; (b)新系统机组

3.4. 远程监控与故障预警系统构建

系统由参数监测系统和空调除湿机组故障诊断专家库组成, 其主要作用是将空调机组系统运行过程中出现的故障在发生的初级阶段就给出预警, 让维护人员及时排除, 不让其在工程保障过程中发生, 确保通风空调系统可靠运行。

预警流程图如图 5 所示, 远程控制如图 6 所示。预警系统通过 PLC 对传感器数据读取, 控制变频水泵的转速; 实时将温度、压力、水泵状态等数据传输到远程监控端; 实现系统高压、低压预先报警; 实现维护人员在远端可以全天不间断地监视和控制设备运行[8]。

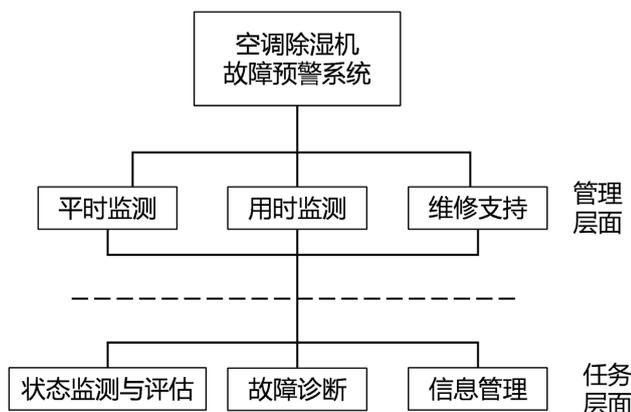


Figure 5. Early warning flowchart
图 5. 预警流程图

诊断系统在检测除湿空调机组运行参数, 比如: 冷凝压力、吸气压力、冷凝温度、吸气温度、冷却水的进排水温度和压缩机相序电流等参数的基础上, 通过系统专家知识库进行对比分析, 先判断故障类型, 再综合系统的参数数值, 确定故障所处阶段, 在故障起始阶段就发出预警, 提醒维护管理人员及时处理和排除故障。

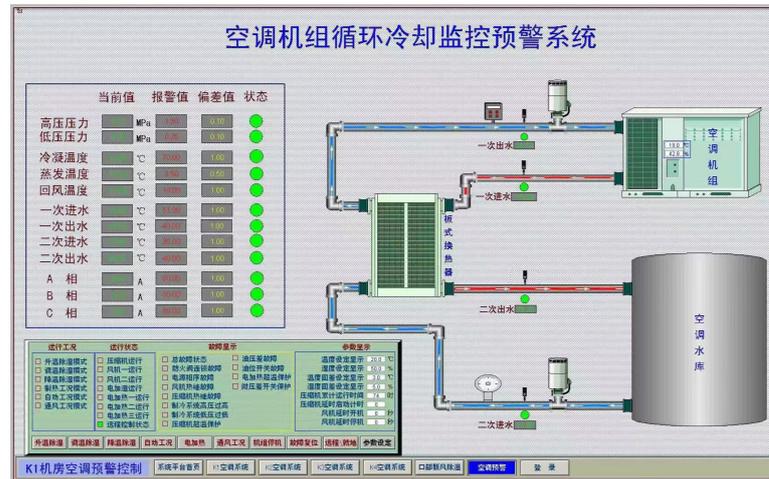


Figure 6. Remote control interface diagram of early warning system
图 6. 预警系统远程控制界面图

3.4.1. 系统设计

系统主要由传感器模块、适配器模块、PLC 数据采集模块、工控机、显示控制模块、通信模块、底层数据实时采集模块、应用程序中层模块(技术评估模块、故障诊断模块、信息管理模块)、人机交互界面、Windows 操作平台等组成。本系统整体设计框架如图 7 所示。

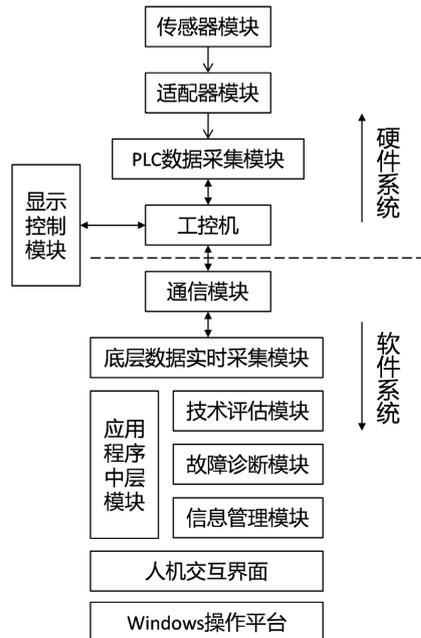


Figure 7. System structure diagram
图 7. 系统结构图

传感器模块主要用于感应温度、压力等信号, 并通过适配器模块与 PLC 连接; PLC 数据采集模块主要采集传感器发出的信号; 工控机对 PLC 采集信号进行交互处理并与显示控制模块连接; 显示控制模块用于显示工控机处理所得的参数值, 并且工控机根据专家知识库对水泵等设备进行控制; 通信模块主要用于传输工控机处理所得的参数值、控制信号和软件系统信号, 使系统具备远程读取和发送数据的能力; 底层数据实时采集模块由专家知识数据库作为支持; 应用程序中层模块包括技术评估模块、故障诊断模块、信息管理模块, 主要用于将各参数值与专家知识库的相关信息进行调取和分析, 对上述除湿空调机系统运行中出现的两种故障在发生的初级阶段给出预警; 人机交互界面主要采用可嵌入方式, 灵活与现有系统进行融合, 比如与工程既有的 Windows 环境下工程管理系统进行嵌入融合, 实现远程显示和控制 [9]。

3.4.2. 系统工作原理

系统分为输入层、计算处理层和输出层, 工作原理如图 8 所示。

输入层主要由温度、压力等传感器组成, 主要安装在板式换热器 A 侧, 冷凝器制冷剂进出管道上, 蒸发器、回风口等部位, 负责收集介质的状态信号并向计算处理层传递。

计算处理层主要由工控机、PLC 模块与计算机人机界面组成, 将温度、压力等传感器传输信号处理为数字信号, 存储专家知识库的相关信息, 并将各参数值进行调取和分析, 通过协议在现地和远程 2 种状态下同时显示水温、压力、电流、电阻、负载等系统运行状态, 并向维护人员发出提前预警信息, 以及对设备进行控制。

输出层主要由除湿空调机(冷凝器、蒸发器等), 板式换热器、一次循环水泵、二次循环水泵等设备组成, 根据计算处理层分析结果, 通过现地或远程等多种方式控制 2 台水泵启停与一次水泵的转速, 实现维护人员在远端可以全天不间断地监视和控制设备运行, 一旦出现预先报警立即进行处理, 从而保护设备安全和正常运行。



Figure 8. System operating principle diagram
图 8. 系统工作原理图

4. 结论

本文针对防护工程空调除湿机组系统存在的主要故障, 从提升工程运维保障的精准性、可靠性和安全性出发, 运用智能化专家技术和空调机组外置板式换热器技术设备, 设计的除湿空调机故障预警系统, 突出解决了现行空调除湿机组运行中故障隐蔽突发、难预测和运行维护成本高等瓶颈问题, 为提高工程“生命线”的保障能力做了有益探索。

参考文献

- [1] 吴炜. 溶液除湿空调机组的实验与理论研究[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2022.
- [2] 耿世彬, 李永, 张华, 等. 除湿空调机组与水环热泵机组联合空气环境保障模式在地下工程中的运用探讨[J]. 制冷与空调, 2010, 10(1): 94-98.
- [3] 王新燕, 王芄芄, 张春燕, 等. 大型换热器的热力设计与强化换热的研究进展[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(6): 150-153.
- [4] 刘长俊, 孔维同. 地下建筑溶液除湿空调系统的应用探讨[J]. 洁净与空调技术, 2017(3): 87-90.
- [5] Cao, X., Zhang, C.-L. and Zhang, Z.-Y. (2017) Stepped Pressure Cycle—A New Approach to Lorenz Cycle. *International Journal of Refrigeration*, **74**, 283-294. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.10.017>
- [6] 邓厚华. 浅谈可拆卸板式换热器故障与维修[J]. 机械设计, 2021, 38(S1): 236-238.
- [7] 王平. 温湿度对井下电气设备影响性分析[J]. 能源与节能, 2017(3): 69-70.
- [8] 魏子杰, 雷冬青, 张明青, 等. 地下工程通风空调系统智能监控设计与实现[J]. 洁净与空调技术, 2021(4): 23-27.
- [9] 荣祥森, 邓章林, 吴贯青, 等. 某地下车间空调系统节能优化控制集成设计[J]. 江苏科技信息, 2022, 39(34): 61-65.