

储能预制舱喷淋系统温控匹配研究

王誉霖

浙江运达能源建设有限公司, 江苏 南京 210000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060005

摘 要： 储能电站预制舱作为能源存储关键设施，运行安全同温度控制联系紧密，喷淋系统系预制舱温度调控重要方式，环境温度起伏直接作用于系统运行成效。本文围绕储能电站预制舱喷淋系统与环境温度的适应性匹配课题，解析喷淋系统构成及运作机制，探究环境温度对系统参数、喷淋介质及设备特性的作用，给出适应性匹配优化途径及效果检验方式，相关探索显示，科学的匹配设计与调控，能够保障喷淋系统在多样环境温度条件下平稳高效运转，为储能电站预制舱安全稳定运行筑牢基础。

关 键 词： 储能电站；预制舱；喷淋系统；环境温度；适应性匹配

Study on Temperature Control Matching of Spray System in Energy Storage Prefabricated Cabin

Wang Yulin

Zhejiang Windey Energy Technology Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210000

Abstract： As critical energy storage infrastructure, prefabricated cabins in energy storage power stations maintain operational safety through temperature control. The spray system, a key component for cabin temperature regulation, directly responds to environmental temperature fluctuations that critically impact system performance. This study investigates the adaptive matching between spray systems and ambient temperatures in energy storage cabins. Through analyzing the spray system's structure and operational mechanisms, we explore how environmental conditions influence system parameters, spray media, and equipment characteristics. The research proposes optimization strategies and validation methods for adaptive matching. Findings demonstrate that scientifically designed matching configurations enable stable and efficient operation of spray systems across diverse temperature ranges, thereby establishing a robust foundation for safe and reliable cabin operations in energy storage facilities.

Keywords： energy storage power station; prefabricated cabin; spray system; ambient temperature; adaptive matching

引言

储能电站于能源转型进程中意义关键，预制舱身为核心构成单元，舱内整合众多电池模组与电气设备，运行阶段常出现热量堆积现象，作为储能电池的重要储存场所，储能预制舱具有模块化、高效化等优点，在储能电站中已得到广泛应用，然而由于储能电池本身具有一定的危险性，在异常工况下容易存在热失控的风险，一旦有电池发生热失控，极易在舱内快速传播，对储能预制舱甚至储能电站造成严重威胁。温度调控失当，热失控之类的安全隐患便可能浮现，喷淋系统因具备高效降温效能，已然成为预制舱温度调节的核心设施。

一、储能电站预制舱喷淋系统组成及工作原理

（一）喷淋系统的核心组成部分

储能电站预制舱喷淋系统包含若干关键组件，这些组件相互配合完成舱内温度的精准调节，供水装置作为系统动力来源，涵

盖储水箱、水泵及管路系统，承担着将喷淋介质输送至喷淋终端的职责，储水箱需有一定容量保障喷淋时持续供水，水泵则依据所需压力和流量参数选型，确保介质在管路中稳定流动。喷淋终端是发挥降温作用的执行部件，主要有喷淋头和管道网络，喷淋头的布置方式与数量要结合预制舱空间结构及发热设备分布来

定,确保喷淋范围覆盖所有关键区域,管道网络的管径设计和走向规划需符合介质输送效率要求,防止局部压力损失过大^[1]。

（二）喷淋系统的温度调控原理

喷淋系统的温度调节依托热交换原理,喷淋介质与预制舱内空气及设备表面的热量交换达成降温^[1]。预制舱内温度升高到设定阈值,控制单元便启动喷淋系统,水泵把储水箱中的喷淋介质加压后经管道送到喷淋头,喷淋头将介质雾化后均匀洒在舱内空间及设备表面,雾化后的喷淋介质接触高温空气,借由蒸发吸热降低空气温度,细水雾对舱室内环境温度的降低具有较为显著的效果,喷淋80s左右即可使环境温度降低至正常室温;降低细水雾液滴粒径对细水雾灭火效果的提升幅度较小;初始水雾速度对细水雾灭火效果的影响很小,且过高的水雾速度会降低其灭火效果;喷淋强度对细水雾灭火效果的影响较为显著,喷淋强度越高,灭火效果越好,当喷淋强度达到0.15kg/s时,细水雾喷淋能较为有效地抑制电池热失控传播,这样的动态调节方式下,喷淋系统可将预制舱内温度稳定在适宜运行区间,防止温度过高造成设备故障或安全事故。

二、环境温度对喷淋系统适应性的影响因素

（一）对喷淋系统参数的影响

环境温度波动直接关联喷淋系统关键运行参数,改变其降温成效,高温环境里,外界空气温度偏高,与预制舱内的温差缩小,喷淋介质蒸发速率随之下降,要实现预期降温效果,系统需增加喷淋介质供应量或提升喷淋压力,让更多雾化介质参与热交换,这会加大水泵能耗,对管路耐压性能也有了更高标准;低温环境则作用于喷淋系统启动性能,环境温度过低时,喷淋介质可能黏度上升,增大水泵启动阻力,拖长系统响应时间,温度若低于介质冰点,还可能造成管路或喷淋头结冰堵塞,使系统无法正常启动,低温环境下空气相对湿度较低,喷淋介质蒸发速度加快,可能让舱内湿度迅速上升,湿度调节失当,便会对电气设备绝缘性能带来不利作用。

（二）对喷淋介质性能的影响

环境温度的起伏牵动着喷淋介质的物理化学属性,这又进一步关联到喷淋系统的适应表现,水作为常用的喷淋介质,其属性会随温度差异呈现出显著不同,处于高温环境时,水的蒸发进程加快,能在短时间内吸纳大量热量,对快速降低舱内温度有助益,但与此同时也会让耗水量上升,这就需要储水箱具备更大容积或是更频繁地进行补水作业。低温环境中,水的冰点特性成为不容忽视的问题,当环境温度趋近甚至低于0℃,水便容易凝结成冰,结冰后水的体积膨胀可能导致管路出现裂痕、喷淋头遭受损坏,最终造成系统无法正常运转,为解决这一难题,部分系统会选择在水中加入防冻剂,而防冻剂的添加比例必须根据环境温度做出精确调配,比例过高可能会降低水的蒸发吸热效能,比例过低则无法起到应有的防冻作用^[2]。

（三）对设备运行状态的影响

环境温度的起伏对喷淋系统设备运行状态存在多方面作用,干扰系统稳定表现。水泵作为系统核心动力装置,运行效率同环

境温度联系紧密,高温环境里,水泵电机散热条件变差,电机温度上扬,可能造成绝缘性能下滑,加大电机烧毁几率。喷淋头工作状态同样受环境温度牵连,高温环境中,喷淋头金属部件可能因热胀冷缩出现形变,改变雾化角度与流量稳定性,长期处于高温环境,喷淋头密封件易老化失效,引发介质渗漏;低温环境下,喷淋头内部若有残留水分结冰,可能致使阀芯卡涩,无法正常启闭,延缓系统响应速率。

（四）对系统能耗与寿命的影响

环境温度的起伏变化,会从运行负荷的调整到设备损耗速率的改变等多个层面,给喷淋系统的能耗状况与使用寿命带来不容忽视的影响,处于极端高温的环境条件下,要让预制舱内部始终保持在适宜运行的温度区间,喷淋系统不得不维持长时间、高频率的运转状态,水泵、控制单元这类核心设备的能耗因此出现明显攀升,整个系统的运行成本也随之水涨船高,即便是极端低温环境,系统运行的频率有所下降,低温对设备造成的损伤却同样值得重点关注,因低温导致喷淋介质结冰,很可能对管路和相关设备造成物理性的损坏,而每一次的解冻操作与后续维修工作,都会在一定程度上给系统带来额外损耗,使得维护成本不断增加^[2]。低温环境中,设备的金属部件还容易出现冷脆现象,其机械强度会因此受到削弱,当设备处于温度频繁波动的环境时,系统设备会反复经历热胀冷缩的过程,这会进一步加剧各个部件之间的松动程度与磨损情况,导致设备的密封性和运行稳定性大打折扣,控制单元在温度持续波动的情况下,需要不断对运行参数进行调整,这无疑会加大电子元件所承受的工作压力,严重时可能造成这些电子元件提前失效,进而让整个系统的使用寿命受到进一步的影响而缩短。

三、喷淋系统与环境温度适应性匹配优化策略

（一）系统参数动态调整机制

构建系统参数动态调节机制,是让喷淋系统与环境温度达成适应性匹配的核心办法,在控制单元中嵌入智能算法,实时收集环境温度、舱内温度及系统运行参数,依据环境温度的变动自动调节喷淋压力、流量和频率,环境温度上升时,算法自行提高喷淋压力与流量,增加雾化介质的供给量,同时缩短喷淋间隔,保障降温成效;环境温度下降时,算法降低喷淋压力与流量,延长喷淋间隔,减少不必要的能耗与介质消耗,针对昼夜温差较大的环境,可运用分段式参数调节策略,白天高温时段采用高强度喷淋参数,夜间低温时段切换为低强度参数,防止系统在低温时段频繁启停,设置温度变化速率阈值,环境温度变化速率超出阈值时,系统提前调节参数,实现预判性调控,提升系统的响应速度与稳定性^[3]。参数调节过程中,需结合预制舱内设备的发热特性,对关键设备区域的喷淋参数进行差异化设置,依据环境温度与设备发热强度的耦合关系,优化不同区域的喷淋头布置密度和参数,确保设备在各种环境温度下都能得到有效降温。

（二）喷淋介质选型与改性优化

依据不同环境温度特点选用合适的喷淋介质,配合必要的改

性优化，是增强系统适应能力的重要手段，高温干燥环境里，优先挑选蒸发潜热高的介质如水，添加表面活性剂能改善其雾化效果，扩大与空气的接触面积，增进吸热效率，储水箱中设置水质净化装置，可防止高温条件下水垢生成堵塞喷淋头^[3]。低温环境中，需选用具备防冻性能的喷淋介质，以水为基础的介质需精确计算环境最低温度，添加适量防冻剂如乙二醇，降低介质冰点，同时保证其蒸发吸热性能不会受到明显影响，特殊低温环境可考虑采用低冰点专用合成介质，进行兼容性测试是必要的，确保其对管路和设备无腐蚀作用。温度波动较大的环境中，选择稳定性高的喷淋介质意义重大，对介质的黏度、沸点等参数实施改性处理，能让其在较大温度范围内保持稳定的物理化学性能，添加增稠剂调整介质黏度，可使其低温下不至于黏稠，高温下不过度稀释，保障雾化效果的一致性。

（三）设备防护与适应性改造

对喷淋系统设备实施针对性防护与适应性改造，能有效增强其在不同环境温度下的运行可靠性。高温环境中，给水泵电机加装高效散热装置，像散热片或强制风冷系统，可降低电机工作温度；管路和喷淋头的密封件选用耐高温材料制作，能提高其抗老化性能；储水箱外部增加隔热保温层，可减轻环境高温对箱内介质温度的影响；低温环境里，对管路系统做保温处理，采用保温棉或电伴热装置防止介质结冰；喷淋头和水泵等关键设备外部设置防冻保护罩，避免设备直接暴露在低温环境中；系统中安装温度监测传感器，管路温度接近冰点时，自动启动防冻保护程序，开启循环泵让介质保持流动，防止结冰堵塞，温度波动环境中，设备连接部位采用柔性连接方式，减少热胀冷缩引发的部件应力；水泵轴承、喷淋头阀芯等易损部件选用耐疲劳性能强的材料制作，提高设备抗磨损能力；控制单元进行恒温防护设计，安装

在隔热箱内，避免环境温度剧烈波动影响电子元件性能^[4]。

（四）智能监控与预警系统构建

构建智能监控与预警系统，是保障喷淋系统与环境温度实现适应性匹配的重要支撑，在预制舱内外及系统关键部位布设多类型传感器，实时监测环境温度、舱内温度、喷淋介质温度、管路压力、流量等参数，将数据传输至中央控制平台^[4]。平台运用数据融合算法对多源数据展开分析处理，构建系统运行状态评估模型，实时判断系统与环境温度的匹配程度，依据评估模型设置多级预警阈值，环境温度变化可能导致系统参数偏离正常范围或设备性能下降时，系统自动发出预警信号，推送相应的处理建议，环境温度骤降接近介质冰点，系统发出防冻预警，提示运维人员检查保温措施或启动防冻程序；高温环境下系统能耗异常升高，发出能效预警，提示优化喷淋参数或检查设备状态。结合历史运行数据和环境温度变化规律，建立系统适应性预测模型，提前预判不同季节或气候变化下系统的运行状态，为运维计划制定和系统优化升级提供数据支持，智能监控与预警系统持续运行，实现喷淋系统与环境温度的动态适配，提升系统的安全性和经济性。

四、结语

储能电站预制舱喷淋系统与环境温度之间的适应性匹配，对于系统安全高效运转有着关键意义，环境温度会作用于系统参数、介电性能、设备状态以及能耗与寿命，进而限制喷淋系统的效能发挥，建立参数动态调整机制、优化介质选型与改性、实施设备防护改造以及构建智能监控预警系统等策略，能够促成两者之间的精准匹配。

参考文献

- [1] 胡炜，海建康，张亚鹏，等. 预制舱式电化学储能电站电池舱冷却系统方案设计 [J]. 环境技术，2025.
- [2] 向嘉强，何琦，郭振兴，等. 基于电化学储能电站的消防系统设计研究 [J]. 科学技术创新，2025.
- [3] 嵇兴康，杨冠杰. 电化学储能电站布置方式经济性分析和安全防范 [J]. 能源工程，2024.
- [4] 彭卫青. 储能锂电池预制舱火灾特性及细水雾灭火效能数值仿真研究 [D]. 南京理工大学，2024.