

电池管理在消防应急电子设备中的应用与研究

周俊赵

广东东君照明有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ERA.2025100023

摘 要 : 介绍消防应急电子设备相关内容, 包括消防应急照明和疏散指示系统和火灾自动报警系统的硬件架构。阐述电池管理的特殊要求及不同电池性能差异, 说明智能充放电控制策略等。还涉及供电保障策略、失效预警机制等多方面, 指出取得突破的同时存在不足及未来发展方向。

关 键 词 : 消防应急电子设备; 电池管理; 疏散指示系统

Application and Research of Battery Management in Fire Emergency Electronic Equipment

Zhou Junzhao

Guangdong Dongjun Lighting Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article introduces the relevant content of fire emergency electronic equipment, including the hardware architecture of Fire emergency lighting and evacuate indicating system and automatic fire alarm system. Elaborate on the special requirements for battery management and the performance differences of different batteries, and explain intelligent charging and discharging control strategies. It also involves multiple aspects such as power supply guarantee strategies and failure warning mechanisms, pointing out that while breakthroughs have been made, there are still shortcomings and future development directions.

Keywords : fire emergency electronic equipment; battery management; evacuation indication system

引言

随着消防安全意识的不断提高, 我国颁布的相关消防政策对应急设备提出了更高要求。消防应急照明和疏散指示系统以及火灾报警系统作为消防应急电子设备的关键部分, 其核心组件在火灾发生时作用重大。电池管理是应急电子设备的核心需求, 包括备用供电时长、充放电能力和环境适应性等方面。根据新版国家标准, 禁止使用含镍钴锰等三元成分的锂电池, 锂电池选型仅限磷酸铁锂电池, 而当前市场主流仍以铅酸蓄电池为主。磷酸铁锂电池与铅酸蓄电池在性能上存在差异, 需综合考虑选型。智能充放电控制策略、多模式供电策略、失效预警机制等对电池管理至关重要。同时, 低功耗待机设计、应急供电切换机制、SOC 估算精度提升、多参数融合诊断技术以及硬件可靠性强化设计等方面均影响电池管理系统在消防应急电子设备中的应用成效。尽管已有技术突破, 但仍存在不足, 物联网与 AI 技术有望为电池管理带来新的发展机遇。

一、消防应急电子设备系统概述

(一) 消防应急设备构成分析

消防应急照明和疏散指示系统是消防应急电子设备的重要组成部分。其硬件架构通常包括应急照明控制器、消防应急灯具等。应急照明控制器作为核心, 负责接收并处理相关信号, 应急照明控制指示灯具的工作状态^[1]。消防应急灯具则分布在建筑物各个区域, 为人员疏散提供明确的疏散指示。火灾自动报警系统同样关键, 其硬件架构包含探测器、警报器、火灾报警控制器等。探测器能够感知火灾相关的物理量变化, 如烟雾浓度、温度升高等, 这些感应量达到报警阈值或上升趋势达到报警趋势时, 将信

号传输给火灾报警控制器。火灾报警控制器接收信号后发出警报并传输给声光警报器和启动消防应急广播系统, 提醒人员及时疏散。这些核心组件各自具有独特的功能特征, 共同构成了消防应急电子设备系统, 在火灾发生时发挥着至关重要的作用。

(二) 电池管理核心需求

消防应急电子设备在备用供电时长、充电安全性和环境适应性等方面存在特殊技术要求, 这些要求构成了电池管理的核心需求。应急设备需要在突发火灾等紧急情况下持续可靠供电, 因此备用供电时长至关重要, 电池管理系统需确保电池能满足规定的供电时长需求 [2]。消防环境中对电池充电有严格限制, 最大充电电流和充电时长需符合安全规范, 以确保充电过程的安全性。同

时,消防环境复杂多变,电池管理需考虑温度、湿度、烟尘等因素对电池性能的影响,使电池在恶劣环境下仍能正常工作,确保消防应急电子设备的稳定运行。

二、应急设备电池管理关键技术

(一) 电池选型与容量配置

磷酸铁锂电池和聚合物锂电池在高温环境下的性能存在差异。磷酸铁锂电池具有较高的热稳定性,在高温下电池结构相对稳定,不易发生热失控等危险情况,且循环寿命较长^[3]。然而,其能量密度相对较低。聚合物锂电池能量密度较高,但在高温环境下,其电解质等材料的性能可能会受到较大影响,导致电池性能下降,且安全性方面可能面临一定挑战。在电池选型时,需综合考虑应急设备的使用环境、对能量密度的要求以及安全性等因素。根据 GB17945-2024 与 GB4717-2024 对不同类型锂电的使用提出了明确的要求,同时对于高温环境且对安全性要求极高的消防应急电子设备,磷酸铁锂电池可能是更优选择;。

(二) 智能充放电控制策略

智能充放电控制策略对于应急设备电池管理至关重要。在充电方面,恒流恒压充电算法是常用的方法。它能够在充电初期以恒定电流充电,快速提升电池电量,当电池电压达到一定值后,转为恒压充电,确保电池安全充满,避免过充现象^[4]。在放电过程中,动态负荷追踪放电算法具有优势。它可以根据应急设备的实际负荷需求,动态调整电池的放电电流和电压,使电池能够更高效地为设备供电,延长电池的使用时间,确保在应急场景下设备能够持续稳定运行。这些算法的合理应用,能够提高应急设备电池的性能和可靠性,为应急救援工作提供有力保障。

三、电池管理在应急系统中的应用实践

(一) 疏散指示系统供电保障

1. 多模式供电策略

在疏散指示系统供电保障的多模式供电策略中,市电/电池无缝切换电路的设计至关重要。该电路可确保在市电出现故障时迅速切换到电池供电,保障系统的持续运行[5]。根据 GB17945-2024 的要求,消防应急启动时,疏散指示标志的亮度不得进行调节,以确保在紧急情况下提供稳定且清晰的指示亮度,保障人员疏散的安全性。在非消防联动和非紧急强启状态下,可采用节能方案,通过环境光线和实际需求调节疏散指示标志的亮度,以有效节省电池能量,延长电池供电时间。这种多模式供电策略综合考虑了不同供电情况和节能需求,提高了疏散指示系统在应急状况下的可靠性和有效性,为人员疏散提供了更有力的保障。

2. 电池失效预警机制

电池失效预警机制在疏散指示系统供电保障中至关重要。通过开发基于阻抗谱分析的电池健康度评估模型与预警系统,能够实时监测电池状态。阻抗谱分析可获取电池内部的电化学反应信息,反映电池的老化程度、性能衰减等情况。基于这些数据构建的评

估模型,可准确判断电池的健康度。当电池出现异常,如健康度低于设定阈值时,预警系统及时发出警报,提示相关人员进行维护或更换电池,确保疏散指示系统在紧急情况下能获得可靠的电力供应,保障人员安全疏散^[6]。

(二) 火灾报警系统电源优化

1. 低功耗待机设计

在低功耗待机设计方面,电源管理芯片选型至关重要。需选择能够实现 μA 级静态电流的芯片,以降低待机功耗。例如,某些先进的芯片具有独特的低功耗模式,可在设备待机时大幅减少电量消耗^[7]。同时,电路优化也是关键环节。通过合理设计电路布局,减少不必要的电流通路,降低线路损耗。采用高精度的电阻、电容等元件,提高电路的能效。此外,还可利用智能控制技术,根据设备的实际工作状态动态调整电源供应,进一步提高能源利用效率,确保火灾报警系统在待机状态下也能保持良好的电源性能,随时准备应对可能发生的火灾情况。

2. 应急供电切换机制

在应急供电切换机制方面,构建基于超级电容的瞬时大电流补偿与主备电源协同控制方案至关重要。超级电容可在短时间内提供较大电流,弥补电源切换瞬间的功率缺口,确保火灾报警系统等应急电子设备的稳定运行^[8]。通过合理设计协同控制策略,实现主电源和备用电源之间的无缝切换。当主电源出现故障或供电不足时,能迅速切换到备用电源,并由超级电容提供瞬时大电流支持,避免设备因供电中断或电流不稳定而出现故障或误报警情况,提高应急系统的可靠性和有效性。

四、电池管理系统优化策略

(一) 智能监控算法改进

1. 自适应 SOC 估算模型

为提升电池管理系统中荷电状态(SOC)估算精度,融合卡尔曼滤波与神经网络算法是一种有效的策略。卡尔曼滤波算法具有对线性系统状态进行最优估计的能力,能有效处理测量噪声等问题。神经网络算法则具有强大的非线性映射能力,可学习复杂的电池特性。将两者结合,可充分发挥各自优势。例如,利用卡尔曼滤波对神经网络的输入输出进行优化处理,同时神经网络可弥补卡尔曼滤波在非线性系统处理上的不足,从而提高 SOC 估算的准确性和可靠性,为消防应急电子设备的稳定运行提供更好的电池管理支持^[9]。

2. 多参数融合诊断技术

电池管理系统的多参数融合诊断技术是提高电池性能和安全性关键。通过整合温度、电压、内阻等多种参数,可以构建更为精确的故障诊断专家系统^[10]。利用智能算法对这些参数进行综合分析,能够更准确地识别电池的健康状态和潜在故障。例如,温度异常可能影响电池的化学反应效率,电压波动可能暗示电池内部结构的变化,内阻增大则可能是电池老化或出现局部短路的信号。通过融合这些参数的信息,可以避免单一参数诊断的局限性,实现对电池状态的全面评估,从而为消防应急电子设备提供

更可靠的电源保障。

（二）硬件可靠性强化设计

1. 防火防爆结构优化

电池管理系统的硬件可靠性强化设计中的防火防爆结构优化至关重要。研制复合型阻燃材料是关键举措之一，这种材料应具备高效的阻燃性能，能在高温或意外火源情况下有效阻止火势蔓延。同时，多层防护的电池封装工艺也不可或缺。通过多层结构设计，如外层采用高强度、耐高温的防护层，中层设置防火隔热层，内层确保对电池的紧密包裹且具备一定的缓冲性能，可有效防止电池在受到外部冲击或内部热失控时引发爆炸或火灾。这种复合型的设计方案能够极大地提高电池管理系统在消防应急电子设备中的安全性和可靠性，保障设备在特殊环境下的正常运行。

2. 电磁兼容性提升

在电池管理系统的硬件可靠性强化设计及电磁兼容性提升方面，改进 PCB 布局与滤波电路设计至关重要。合理的 PCB 布局可减少电磁干扰，例如将敏感元件与干扰源分开布局，缩短高频信号线长度，降低信号传输过程中的电磁辐射。同时，优化接地设计，采用单点接地或多点接地方式，确保接地良好，减少地环路干扰。滤波电路设计能有效滤除干扰信号，针对不同频率的干扰，选择合适的滤波元件，如电容、电感等组成低通、高通或带通滤波器。在电源输入端和信号线上设置滤波电路，可阻止外部干扰进入系统，提高系统的电磁兼容性和硬件可靠性，确保电池管理系统在消防应急电子设备中稳定运行。

（三）系统集成测试验证

1. 极端环境模拟测试

在极端环境模拟测试方面，构建高温高湿实验环境下的电池组循环寿命测试平台至关重要。通过精确控制温度和湿度参数，模拟消防应急电子设备可能面临的恶劣环境。利用该平台对电池组进行循环充放电测试，监测电池的各项性能指标，如电压、电

流、容量等的变化情况。分析在高温高湿环境下电池的衰减规律，以及电池管理系统的适应性和可靠性。根据测试结果，对电池管理系统的控制策略进行优化，例如调整充电截止电压、放电截止电压、均衡控制参数等，以提高电池组在极端环境下的使用寿命和性能，确保消防应急电子设备在关键时刻能够正常运行。

2. 多系统联动验证

在电池管理系统优化策略的系统集成测试验证及多系统联动验证中，针对与消防报警主机联动的整机供电可靠性测试至关重要。通过模拟实际消防场景，对电池管理系统与消防报警主机等多系统进行集成测试。检验在不同工况下，电池能否稳定为整机供电，确保消防应急电子设备正常运行。同时，分析系统间的通信是否顺畅，数据传输是否准确无误。在多系统联动过程中，关注电池管理系统对整机功耗的动态调整能力，以及与消防报警主机的协同工作效果，保障在紧急情况下消防设备能迅速响应，提高消防应急电子设备的可靠性和实用性。

五、总结

电池管理系统在消防应急电子设备中取得了关键技术突破，应用成效显著。通过有效的管理，提升了电池性能和设备可靠性。然而，目前在极端环境适应性和系统集成度等方面仍存在不足。在极端环境下，电池管理系统可能无法稳定工作，影响设备在特殊消防场景中的使用；系统集成度不够高，增加了设备的复杂性和成本。展望未来，物联网与 AI 技术在电池健康管理领域具有广阔的发展前景。物联网可实现电池数据的实时监测与远程传输，AI 技术能对电池状态进行精准预测和故障诊断，有助于进一步提高电池管理系统在消防应急电子设备中的性能和效率，更好地保障消防安全。

参考文献

[1] 李洋. 一种基于电池管理的 RFID 系统设计与应用 [D]. 西安电子科技大学, 2017.
[2] 周俊成. 电池管理系统设计研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2015.
[3] 谷苗. 电动汽车电池管理系统的研究与设计 [D]. 天津: 天津大学, 2018.
[4] 顾东杰. 车载锂电池正弦波充电与电池管理技术研究 [D]. 南京航空航天大学, 2017.
[5] 马贝贝. 电动汽车电池管理系统的研究与设计 [D]. 山东: 济南大学, 2016.
[6] 程璐. 消防应急照明和疏散指示系统在轨道交通中的应用 [J]. 建筑与装饰, 2020(12): 110, 114.
[7] 周伟. 消防疏散照明及疏散指示系统在城市轨道交通工程中的应用研究 [J]. 光源与照明, 2023(4): 10-12, 104.
[8] 汪海鑫. 浅谈消防应急照明和疏散指示系统的设计与应用 [J]. 建筑工程技术与设计, 2017(12): 5621-5621.
[9] 卢振保. 浅谈消防应急照明和疏散指示系统的设计与应用 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2016(12): 1495-1495.
[10] 林丽敏. 智能消防应急照明及疏散指示系统的特点与应用 [J]. 环球市场, 2016(23): 234.