

消防应急疏散指示系统的电子硬件研发策略探究

周俊赵

广东东君照明有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025030033

摘 要 : 本文围绕消防应急照明和疏散指示系统电子硬件研发展开。阐述其硬件架构, 包括传感器、控制器等。介绍核心功能模块划分及应急电源选型等。还涉及多源信号融合、通信链路、PCB布局等关键技术, 强调遵循标准及未来智能运维方向。

关 键 词 : 消防应急; 电子硬件研发; 疏散指示系统

Exploration of Electronic Hardware Development Strategy for Fire Emergency Evacuation Indication System

Zhou Junzhao

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

Abstract : This article focuses on the research and development of electronic hardware for the fire emergency lighting and evacuate indicating system. Elaborate on its hardware architecture, including sensors, controllers, etc. Introduce the division of core functional modules and the selection of emergency power supply. It also involves key technologies such as multi-source signal fusion, communication links, PCB layout, etc., emphasizing adherence to standards and future intelligent operation and maintenance directions.

Keywords : fire emergency; electronic hardware research and development; evacuation indication system

引言

随着消防安全意识的不断提高, 我国颁布了相关消防安全标准, 对消防应急照明和疏散指示系统提出了更严格的要求。消防应急照明和疏散指示系统在火灾发生时为人员疏散重要组成部分, 其硬件架构涵盖多方面要素, 包括传感器融合的拓扑结构、中央控制器、指示灯具和通信模块等。核心功能模块划分涉及环境感知、数据处理和应急供电等单元。同时, 应急电源选型与配置、智能充放电监控技术、多源信号融合处理、可靠通信链路以及硬件的环境适应性验证等方面都是系统研发的关键。这些关键技术路径的研究与发展对于满足标准要求, 保障消防安全至关重要。

一、消防应急疏散指示系统架构设计

(一) 系统整体硬件架构

消防应急照明和疏散指示系统的整体硬件架构涵盖多方面关键要素。多传感器融合的硬件拓扑结构是基础, 通过合理布局各类传感器, 实现对环境信息的全面感知^[1]。中央控制器作为核心, 负责接收传感器信息并进行处理, 同时对应急疏散指示灯具和通信模块进行统一管控。应急疏散指示灯具需具备高亮度、高可靠性以及明确的指示方向功能, 其与中央控制器的集成要确保信息传递的及时性和准确性。通信模块则承担着系统内各组件之间的数据传输任务, 应采用稳定、高效的通信协议, 保障整个系统的协同运作。这种集成方式使得系统能够在火灾等紧急情况下, 迅速、准确地为人员疏散提供可靠的指示信息。

(二) 核心功能模块划分

消防应急照明和疏散指示系统与火灾自动报警系统协同工作, 其核心功能模块包括环境感知单元、数据处理单元和应急供电单元。环境感知单元依托火灾自动报警系统的低功耗、高稳定性传感器(如烟感、温感、手动报警按钮等), 采集烟雾浓度、温度等信息, 满足《火灾自动报警系统设计规范》(14X505-1)要求, 为系统决策提供可靠依据。数据处理单元基于火灾报警控制器的信号, 分析火灾位置、严重程度及扩散趋势, 利用高效算法制定实时、准确的疏散路径和逃生策略^[2]。应急供电单元通过应急电源(EPS)及配电柜为功率较高的疏散灯具(通常几瓦)提供稳定电力, 因线损较大, 适合短距离配电, 需通过应急柜连接主机与灯具^[3]。火灾自动报警系统以低功耗、强抗干扰设计适于长距离和大规模集成, 而疏散指示系统因功率需求较高, 线损

限制使其更适合小型场所。“火报、疏一体”系统适用于距离近、线损少的场景，通过火灾报警控制器信号联动实现高效协同。

二、高可靠性电池管理系统研发

（一）应急电源选型与配置

在应急电源选型与配置方面，锂电池组与超级电容的混合储能方案是研究重点之一。锂电池具有较高的能量密度，能提供持续稳定的电能输出；超级电容则具有高功率密度和快速充放电特性。两者结合可优势互补，更好地满足应急电源在不同工况下的需求。同时，需制定过充过放保护策略，以确保电池的安全性和使用寿命。过充可能导致电池发热、鼓包甚至爆炸等危险情况，过放则会影响电池的性能和容量。通过合理设计保护电路和算法，实时监测电池的电压、电流等参数，当出现异常时及时采取措施，如切断充电或放电回路等，从而提高应急电源的可靠性和稳定性。

（二）智能充放电监控技术

开发基于 Coulomb 计量的电量监测算法是智能充放电监控技术的关键。该算法通过精确测量电池充放电过程中的电荷量，能准确获取电池的剩余电量信息，为电池管理提供可靠数据支持^[4]。同时，设计多级负载切换控制电路也至关重要。它可以根据电池的电量状态和负载需求，自动切换不同级别的负载，避免电池过度放电或过载，延长电池使用寿命。这种电路设计能够有效提高电池管理系统的可靠性和稳定性，确保在各种复杂工况下电池都能安全、高效地工作。

三、火灾报警系统联动机制

（一）多源信号融合处理

1. 烟雾温度复合探测

光电式传感器主要用于烟雾探测，热敏式传感器则侧重于温度探测。在烟雾温度复合探测中，构建二者的数据融合模型至关重要。通过对光电式传感器获取的烟雾浓度相关数据和热敏式传感器采集的温度数据进行综合分析，能够更准确地判断火灾情况。这种融合并非简单的数据叠加，而是基于一定的算法和模型，充分考虑烟雾和温度变化的关联性以及各自的特征。例如，当烟雾浓度在短时间内急剧上升且温度也同步快速升高时，更有可能是火灾发生，而不是单一因素导致的误判^[9]。通过这样的数据融合处理，可以有效提高火灾报警的准确性和及时性。

2. 报警信号优先级判别

多源信号融合处理是火灾报警系统联动机制的关键环节。不同传感器获取的信号存在差异，需通过融合处理提高准确性。例如，烟雾传感器和温度传感器可能同时检测到异常，融合其数据可更精准判断火灾情况。报警信号优先级判别则至关重要。基于模糊逻辑建立警情分级处理机制，考虑火灾发展的可能性、危险程度等多因素进行综合判别。对于可能迅速蔓延且危害大的信号赋予高优先级，确保及时响应。同时，要避免误判导致的资源浪

费和不必要恐慌。这种多源信号融合和优先级判别机制有助于提高火灾报警系统的可靠性和有效性，为消防应急疏散指示系统提供准确决策依据^[6]。

（二）应急指令传输协议

1. 冗余通信链路设计

在火灾报警系统中，可靠的通信链路设计对确保系统稳定运行至关重要。实际应用中，CAN 通信和火灾报警系统专用的两总线模式（FECBUS 协议）是大部分企业采用的主流有线传输方式。CAN 通信具有高可靠性、强抗干扰能力和较长的传输距离，适合传输应急指令等关键信息^[7]。相比之下，LoRa 无线传输以其高灵活性和无需布线的特点，作为有线通信的补充，确保在复杂环境或有线路受损时仍能有效传输指令。通过设计双通道冗余方案，将 CAN 通信（或 FECBUS 协议）与 LoRa 无线传输相结合，系统可实时监测两条链路状态，当一条链路故障时，自动切换至另一条链路，从而保障应急指令的不间断传输，提升火灾报警系统联动机制的可靠性和稳定性。

2. 指令容错校验机制

为确保应急指令传输的准确性和可靠性，设计 CRC 校验与重传机制结合的可靠传输协议。CRC 校验作为一种高效的错误检测方法，通过在数据发送端生成校验码并在接收端进行验证，能够快速检测出数据传输过程中的错误^[8]。当接收端检测到错误时，触发重传机制，要求发送端重新发送指令。这种结合方式可以有效提高指令传输的容错能力，减少因传输错误导致的系统故障和误操作。同时，合理设置重传次数和时间间隔，避免因过度重传造成网络拥堵和系统性能下降。通过 CRC 校验与重传机制的协同工作，为消防应急疏散指示系统的稳定运行提供有力保障。

四、电子硬件研发策略体系

（一）可靠性设计规范

1. 电磁兼容性设计

PCB 布局应遵循一定原则以提升电磁兼容性。合理规划元件位置，将模拟电路与数字电路分开布局，减少相互干扰^[9]。同时，要注意信号线的走向，避免长距离平行布线，防止信号耦合。对于高频信号线，应采取短而直的布线方式。在屏蔽接地方面，建立良好的接地系统至关重要。采用单点接地、多点接地或混合接地方式，需根据具体电路特性选择。屏蔽罩的使用也能有效减少电磁辐射和外界干扰的影响。确保屏蔽罩良好接地，形成完整的屏蔽回路，从而提高系统的电磁兼容性，保障消防应急疏散指示系统在复杂电磁环境下的可靠运行。

2. 环境适应性验证

在电子硬件研发的环境适应性验证中，针对消防应急疏散指示系统，建立高温高湿环境的加速老化测试方案至关重要。该方案需模拟实际可能遭遇的恶劣环境条件，以确保硬件在长期使用过程中的可靠性。通过精确控制温度、湿度等关键参数，观察硬件在加速老化过程中的性能变化，如电气性能、机械结构稳定性等方面的表现。这不仅可以提前发现潜在的设计缺陷，还能

化设计提供依据,使电子硬件能够更好地适应高温高湿环境,满足消防应急疏散指示系统在复杂环境下稳定运行的要求^[10]。

（二）模块化开发流程

1. 硬件功能解耦设计

在消防应急疏散指示系统的电子硬件研发中,电子硬件研发策略体系的模块化开发流程及硬件功能解耦设计至关重要。基于接口标准化的模块独立开发是核心策略。通过对硬件功能进行解耦设计,将复杂的系统分解为多个相对独立的模块。每个模块具有明确的功能和接口定义,使得模块之间的耦合度降低。这有利于提高开发效率,不同模块可由不同团队并行开发。同时,接口标准化确保了模块之间的兼容性和可替换性。在开发过程中,严格遵循既定的接口标准,使得各个模块能够无缝集成,最终构建出稳定、高效的消防应急疏散指示系统电子硬件。

2. 快速原型验证方法

在电子硬件研发的模块化开发流程与快速原型验证方法中,应用FPGA实现控制逻辑的硬件在环仿真具有重要意义。通过将FPGA与实际硬件环境相结合,能够在接近真实的条件下对控制逻辑进行验证。这种方法允许研发人员在硬件尚未完全定型之前,快速测试不同的控制策略和算法,及时发现潜在问题并进行调整。同时,FPGA的可编程特性使得其能够灵活适应不同的研发需求,加速研发进程。在模块化开发方面,可将系统按照功能划分为不同模块,利用FPGA对各模块的控制逻辑分别进行仿真验证,确保每个模块的正确性和稳定性,进而提高整个系统的可靠性和性能。

（三）全生命周期管理

1. 失效模式分析体系

在消防应急疏散指示系统的电子硬件研发中,构建涵盖元器件选型到系统集成的FMEA分析框架至关重要。从元器件选型阶段,需对各类元器件可能出现的失效模式进行详细分析,考虑其在不同环境条件下的性能变化及对整个系统的潜在影响。例如,

电子元件可能因温度、湿度变化产生失效。在电路设计环节,分析电路连接方式、布线布局等因素可能导致的信号传输问题或短路等失效模式。对于系统集成阶段,着重考虑不同模块之间的兼容性以及整体系统的稳定性。通过建立这样全面的FMEA分析框架,能够提前识别潜在失效模式,为研发过程中的优化设计提供依据,从而提高消防应急疏散指示系统电子硬件的可靠性和稳定性。

2. 维护诊断接口设计

在消防应急疏散指示系统的电子硬件研发中,维护诊断接口设计至关重要。对于开发支持远程固件升级的JTAG调试接口,需考虑多方面因素。从接口的兼容性出发,要确保其能适配不同的硬件组件和系统环境,以实现广泛的应用。在远程固件升级功能方面,要设计安全可靠的通信协议,保障升级过程中数据的完整性和准确性,防止因升级失败导致系统故障。同时,JTAG调试接口应具备高效的调试能力,能够快速定位硬件故障点,为系统的维护和修复提供有力支持,从而提高整个消防应急疏散指示系统的可靠性和稳定性。

五、总结

消防应急疏散指示系统的电子硬件研发至关重要。在关键技术路径方面,需注重传感器技术、通信技术、电源管理技术等研发与优化,以确保系统的准确性、稳定性和可靠性。同时,随着科技发展,基于数字孪生的智能运维是未来方向。通过数字孪生技术可实现对系统的实时监测、故障预测和智能维护,提高系统的运行效率和安全性。此外,在产业化实施过程中,必须严格符合GB17945与GB51309标准。从产品设计、生产到检测,都要以该标准为依据,确保产品质量,推动消防应急疏散指示系统电子硬件的产业化发展,为消防安全提供有力保障。

参考文献

- [1] 胡凯. 地铁站智能应急照明疏散指示系统的研究 [D]. 陕西: 西安建筑科技大学, 2013.
- [2] 胡田田. 智能消防应急照明及疏散指示系统的特征分析及相关问题研究 [J]. 科技创新导报, 2016, 13(24): 24, 26.
- [3] 杜嘉婧. 工业厂房内消防疏散指示系统设计研究 [D]. 东华大学, 2020.
- [4] 孟相至. 建筑物内消防应急疏散智能指示技术的研究 [D]. 中国民航大学, 2021.
- [5] 郑志华. 浅谈智能消防应急照明及疏散指示系统的特征及其研究 [J]. 装饰装修天地, 2018(5): 137.
- [6] 胡燕燕, 程英明. 消防应急照明和疏散指示系统设计探讨 [J]. 房地产导刊, 2020(2): 48.
- [7] 董兵. 智能消防应急照明和疏散指示系统的设计 [J]. 光源与照明, 2022(6): 55-57.
- [8] 解帅. 消防应急照明和疏散指示系统的设计 [J]. 光源与照明, 2022(1): 12-14.
- [9] 龚晓. 智能型消防应急照明和疏散指示系统 [J]. 现代建筑电气, 2013, 4(3): 50-53.
- [10] 牛朋超. 基于智能消防应急照明及疏散指示系统研讨 [J]. 百科论坛电子杂志, 2019(10): 224-225.