

物联网消防应急照明灯散热结构设计及材料应用研究

万军

杭州追梦照明科技有限公司 浙江杭州 311100

【摘要】物联网消防应急照明灯作为消防安全系统的核心设备，需在火灾、断电等极端场景下长期稳定运行，其散热性能直接决定设备使用寿命与应急可靠性。本文针对物联网模块与照明组件集成带来的散热瓶颈，开展散热结构设计与材料应用研究。通过分析设备发热特性，优化设计复合散热结构，筛选适配的高导热材料，结合热传导理论完成结构参数优化，通过对比试验验证设计合理性。研究表明，优化后的散热结构与材料组合可有效降低设备工作温度，提升散热效率，保障物联网消防应急照明灯在复杂环境下的长期稳定运行，为同类设备的散热设计提供理论参考与实践依据。

【关键词】物联网；消防应急照明灯；散热结构；材料应用；热传导

Research on Heat Dissipation Structure Design and Material Application for IoT Fire Emergency Lighting Devices

Wan Jun

Hangzhou Zhuideng Lighting Technology Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311100

【Abstract】As core components of fire safety systems, IoT fire emergency lighting devices must maintain long-term stable operation under extreme conditions such as fires or power outages. Their thermal performance directly determines equipment lifespan and emergency reliability. This study addresses the heat dissipation challenges arising from the integration of IoT modules with lighting components, conducting comprehensive research on structural design and material applications. By analyzing thermal generation characteristics, the study optimizes composite heat dissipation structures, selects high thermal conductivity materials, and refines structural parameters using heat conduction principles. Comparative experiments validated the design's effectiveness. Results demonstrate that the optimized heat dissipation structure and material combination significantly reduces operating temperatures, enhances cooling efficiency, and ensures sustained performance in complex environments, providing theoretical and practical references for similar thermal management solutions.

【Key words】Internet of Things; Fire emergency lighting lamp; Heat dissipation structure; Material application; Thermal conduction

引言

随着物联网技术与消防安全领域的深度融合，物联网消防应急照明灯逐步替代传统应急照明设备，广泛应用于各类建筑场景。该设备集成照明模块、物联网通信模块、应急供电模块等多个组件，在正常工况下持续处于低功耗待机状态，火灾等紧急情况下快速切换至应急照明模式，为人员疏散和消防救援提供稳定光源支持。物联网消防应急照明灯的工作稳定性直接关系到消防安全保障效果，而散热性能是影响设备稳定性的关键因素。

与传统应急照明灯相比，物联网消防应急照明灯因集成多个电子组件，内部空间紧凑，热量易积聚，长期运行下过高的工作温度会导致照明模块光衰加速、物联网通信模块信号不稳定、应急供电模块续航能力下降，严重时会引起设备故障，丧失应急照明功能。当前，部分物联网消防应急照明灯存在散热结构设计不合理、散热材料选择适配性差等问题，无法满足极端环境下的长期稳定运行需求，制约了物联网技术在消防应急照明领域的推广应用。

基于此，开展物联网消防应急照明灯散热结构设计及材

料应用研究具有重要的理论价值与实践意义。本文聚焦设备散热瓶颈，通过分析设备内部发热源特性，优化散热结构设计，筛选适配的高导热散热材料，构建科学合理的散热体系，解决设备热量积聚问题，提升设备运行稳定性与使用寿命，为物联网消防应急照明灯的优化设计提供技术支撑。

一、物联网消防应急照明灯发热特性分析

1.1 设备结构组成与发热源识别

物联网消防应急照明灯主要由照明组件、物联网通信组件、应急供电组件、控制组件及外壳结构组成，各组件在运行过程中均会产生热量，形成多热源叠加的发热格局。照明组件作为核心发热源，其功率消耗直接决定设备整体发热量，在应急照明模式下，照明组件满负荷运行，发热量达到峰值；物联网通信组件长期处于数据传输与信号接收状态，虽功耗较低，但持续运行会产生稳定热量，且其电子元件对温度敏感，过高温度会影响通信稳定性；应急供电组件在充电与放电过程中会产生热量，尤其是应急放电阶段，热量生成速率加快；控制组件负责协调各模块运行，内部芯片与电

路在工作时也会产生少量热量。

1.2 发热特性关键参数分析

物联网消防应急照明灯的发热特性主要通过发热功率、热流密度、工作温度范围三个关键参数体现。发热功率方面，设备在待机状态下总发热功率较低，主要来源于物联网通信组件与控制组件的低功耗运行；在应急照明模式下，总发热功率大幅提升，照明组件的发热功率占比超过80%，是设备发热的主要来源。热流密度方面，由于设备内部空间紧凑，各组件布局密集，发热区域集中，导致局部热流密度较高，尤其是照明组件与物联网通信组件的安装区域，热流密度集中，易形成局部热点。

工作温度范围方面，物联网消防应急照明灯需适应不同的环境温度，正常工作环境温度范围为-10℃~55℃，火灾等极端场景下，环境温度可能瞬时升高，设备需在高温环境下维持一段时间的应急照明功能，这就要求散热系统能够在宽温度范围内稳定发挥作用，将设备内部温度控制在各组件的允许工作温度范围内。通过对发热特性的分析可知，设备散热设计需重点解决照明组件的高强度散热问题，同时兼顾其他组件的散热需求，优化热量传导路径，降低局部热点温度，实现整体散热均衡。

二、物联网消防应急照明灯散热结构设计

2.1 散热结构设计原则

物联网消防应急照明灯的散热结构设计需遵循实用性、经济性、紧凑性三大原则。实用性原则要求散热结构能够有效散发设备运行过程中产生的热量，将设备内部温度控制在允许范围内，保障各组件稳定运行，同时适应不同的安装场景与环境条件，具备良好的散热稳定性；经济性原则要求在满足散热需求的前提下，优化结构设计，选用性价比高的结构形式与加工工艺，降低制造成本，便于规模化生产；紧凑性原则要求散热结构与设备整体结构相适配，充分利用内部空间，避免因散热结构设计导致设备体积过大，影响设备的安装与使用。

2.2 复合散热结构设计

结合设备发热特性与设计原则，本文设计一种“导热基板+散热鳍片+通风通道”的复合散热结构，实现热量的快速传导与散发。导热基板作为热量传导的核心部件，直接与照明组件、物联网通信组件等发热源贴合，将各发热源产生的热量快速传导至散热鳍片；散热鳍片采用阵列式布局，增大

散热面积，加速热量与空气的热交换；通风通道贯穿设备外壳与内部组件，利用自然对流与强制对流相结合的方式，加快空气流通，带走散热鳍片表面的热量，实现设备内部热量的快速散发。

2.3 散热结构参数优化

散热结构的参数直接影响散热效果，本文针对复合散热结构的关键参数，结合热传导理论与设备内部空间限制，进行参数优化设计。导热基板的厚度需兼顾热传导效率与结构强度，厚度过薄会导致热传导效率不足，厚度过厚会占用过多内部空间，经过优化，确定导热基板的合理厚度；散热鳍片的高度、间距与数量需结合发热功率与内部空间进行优化，鳍片高度过高会导致结构不稳定，间距过小会影响空气流通，数量过多会增加结构重量与制造成本，通过参数优化，实现散热面积与空气流通效率的平衡；通风通道的截面尺寸与长度需根据设备内部空间与散热需求进行设计，确保空气流通顺畅，减少空气阻力，提升对流散热效率。

通过参数优化，复合散热结构的热传导效率与对流散热效率得到显著提升，能够有效散发设备运行过程中产生的热量，将设备内部温度控制在各组件的允许工作温度范围内，为设备的稳定运行提供保障。

三、物联网消防应急照明灯散热材料应用研究

3.1 散热材料选择原则

物联网消防应急照明灯的散热材料选择需遵循导热性优、性价比高、加工性能好、适配性强的原则。导热性优是散热材料的核心要求，需选用导热系数高的材料，确保热量能够快速传导与散发，降低热阻；性价比高要求在满足导热性能需求的前提下，选用成本合理的材料，避免因选用高端材料导致制造成本大幅上升；加工性能好要求材料易于加工成型，能够满足散热结构的设计要求，便于一体化成型与批量生产；适配性强要求材料与设备内部组件、外壳结构相适配，具备良好的兼容性，同时适应设备的工作环境，具备一定的耐高温、耐腐蚀性能。

3.2 核心散热材料筛选与对比

结合散热材料选择原则，本文对当前常用的散热材料进行筛选，重点对比铝合金、铜、铜铝复合材料三种主流散热材料的性能，筛选出适配物联网消防应急照明灯的核心散热材料。三种材料的关键性能参数对比如表1所示。

表1 铝合金、铜、铜铝复合材料三种材料的关键性能参数

材料类型	导热系数 (W/m·K)	密度 (g/cm ³)	加工难度	成本水平	阻燃性能
铝合金	200-230	2.7	低	低	良好
铜	400-420	8.9	中	高	良好
铜铝复合材料	300-350		中	中	良好

如表1所示，铜的导热系数最高，散热效果最优，但密度较大，制造成本高，加工难度中等，若应用于物联网消防应急照明灯，会增加设备重量与制造成本，不符合经济性与

紧凑性原则；铝合金的导热系数虽低于铜与铜铝复合材料，但密度最小，加工难度低，制造成本低，阻燃性能良好，能够满足设备的基本散热需求，且符合经济性与紧凑性原则；

铜铝复合材料的导热系数介于铝合金与铜之间,密度与成本也处于两者之间,加工难度中等,虽散热效果优于铝合金,但成本高于铝合金,且加工工艺相对复杂。

结合物联网消防应急照明灯的散热需求、结构特点与成本控制要求,本文选用铝合金作为核心散热材料,用于制造导热基板与散热鳍片。铝合金的轻量化特性能够有效控制设备重量,便于设备安装与使用;良好的加工性能便于实现导热基板与散热鳍片的一体化成型,提升热传导效率;较低的制造成本便于规模化生产,符合经济性原则;同时,铝合金具备良好的阻燃性能,能够满足消防安全相关标准要求。

3.3 辅助散热材料应用

除核心散热材料外,辅助散热材料的应用也对设备散热效果起到重要作用。本文选用导热硅脂作为热界面材料,填充导热基板与发热组件之间的间隙,减少界面热阻,提升热传导效率。导热硅脂具备良好的导热性能、绝缘性能与耐高温性能,能够紧密贴合发热组件与导热基板,填充两者之间的微小间隙,避免空气间隙导致热传导效率下降,确保发热组件产生的热量能够快速传导至导热基板。

四、散热结构与材料应用试验验证

4.1 试验方案设计

为验证优化设计的散热结构与材料应用方案的合理性与有效性,开展对比试验。试验选取两组规格相同的物联网消防应急照明灯,一组采用本文设计的复合散热结构与铝合金散热材料(试验组),另一组采用传统散热结构与普通钢材散热材料(对照组)。试验环境模拟设备正常工作环境与应急工作环境,控制环境温度为25℃(正常环境)与45℃(高温环境),分别测试两组设备在待机状态与应急照明状态下的内部温度与散热效率,对比分析试验数据,验证散热结构与材料应用方案的优势。

4.2 试验结果分析

具体来看,试验组设备在应急照明状态下的平均内部温度比对照组低12℃~15℃,散热效率提升25%~30%,能够有效避免热量积聚,保障各组件稳定运行。试验结果表明,本文设计的复合散热结构与铝合金散热材料应用方案能够有效提升物联网消防应急照明灯的散热性能,解决设备热量积聚问题,满足设备在不同环境下的稳定运行需求,验证了散

热结构与材料选择的合理性与有效性。

五、结论与展望

5.1 研究结论

本文围绕物联网消防应急照明灯的散热瓶颈,开展散热结构与材料应用研究,通过分析设备发热特性,优化设计复合散热结构,筛选适配的散热材料,结合试验验证得出以下结论:

第一,物联网消防应急照明灯的主要发热源为照明组件,其次为物联网通信组件与应急供电组件,多热源叠加导致设备内部热量易积聚,需通过合理的散热结构与材料选择解决散热问题;

第二,设计的“导热基板+散热鳍片+通风通道”复合散热结构,通过优化参数设计,能够有效提升热量传导与对流散热效率,实现设备内部热量的快速散发;

第三,选用铝合金作为核心散热材料,搭配导热硅脂、陶瓷纤维等辅助散热材料,既满足散热性能需求,又符合经济性、紧凑性与消防安全要求,能够有效降低设备内部温度,提升设备运行稳定性;

第四,试验验证表明,优化后的散热结构与材料组合,散热效率显著提升,能够保障设备在正常环境与高温环境下稳定运行,解决了传统设备散热效果不佳的问题。

5.2 研究展望

本文的研究为物联网消防应急照明灯的散热设计提供了理论参考与实践依据,但仍存在一定的不足,未来可从以下方面进一步深入研究:

一是进一步优化散热结构设计,结合数值模拟技术,精准优化散热鳍片的布局、通风通道的结构参数,提升散热效率;

二是探索新型散热材料的应用,如石墨烯、碳纳米管等新型高导热材料,进一步提升散热性能,同时降低材料成本,推动新型材料的规模化应用;

三是结合物联网技术,设计智能散热系统,实时监测设备内部温度,动态调节散热模式,实现散热效率的智能优化,进一步提升设备的运行稳定性与节能性;

四是针对不同安装场景的需求,优化散热结构与材料选择,提升设备的环境适应性,推动物联网消防应急照明灯在更多场景的推广应用。

参考文献

- [1]叶晓蕾,郁波,钱锦锋.消防应急灯设计探讨[J].设计,2019,32(03):112-113.DOI:10.20055/j.cnki.1003-0069.2019.03.041.
- [2]刘文胜,谢再晋,周俊生,等.基于无线通信消防应急灯智能检测系统设计[J].电子设计工程,2019,27(08):115-118+123.DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2019.08.025.
- [3]朱智浩,李国能,骆国栋,等.LED灯主动散热系统的设计与实验验证[J].上海节能,2020,(11):1357-1361.DOI:10.13770/j.cnki.issn2095-705x.2020.11.024.
- [4]王杰,肖博木,李璇,等.膨胀石墨/石蜡复合相变材料对大功率LED灯散热特性研究[J].轻纺工业与技术,2020,49(06):10-12.