

高层民用建筑消防设备电气线路防火设计及其性能分析

丁冠华

山东省人民防空建筑设计院有限责任公司

摘要: 本文深入探讨了高层民用建筑中消防设备电气线路的防火设计及其性能分析。文章首先强调了高层建筑消防设备的重要性,特别是电气线路在确保消防安全中的关键作用。接着,详细介绍了电气线路防火设计的基本原则和多种防火设计方法,包括使用阻燃材料、优化线路布局、电气负荷管理、监控和报警系统的应用等。此外,文章对这些设计的性能进行了全面分析,包括性能评估标准、风险评估和长期性能考量,本文为高层民用建筑中电气线路的防火设计提供了实用的指导和深入的见解。

关键词: 高层民用建筑; 消防设备; 电气线路; 防火设计; 性能分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.104

引言:

随着高层民用建筑的日益增多,确保其安全已成为一个至关重要的课题。特别是电气线路的安全,对于防止火灾和保障人员安全至关重要。本文旨在探讨高层建筑中消防设备电气线路的防火设计及其性能分析。通过综合考虑设计原则、实际应用方法以及性能评估,旨在为高层民用建筑的电气安全提供一个全面的视角。

一、高层民用建筑中消防设备的重要性

随着城市化进程的加速和人口密度的增加,高层民用建筑如住宅大楼、办公楼和商业综合体变得越来越普遍。这些建筑的高度和复杂性带来了独特的安全挑战,尤其是在火灾防控方面。在高层建筑中,火灾的发生不仅对人员安全构成威胁,还可能导致重大财产损失和长期的社会经济影响。因此,消防设备的有效配置和维护成为确保这些建筑安全的关键因素^[1]。

在高层建筑中,由于居住或工作空间的集中和垂直布局,一旦发生火灾,蔓延速度快,疏散困难,救援行动复杂,因此对消防设备的要求更为严格。消防设备,包括自动喷水灭火系统、火灾报警系统、烟雾探测器、紧急照明和标识,以及消防电梯和通讯系统,是确保人员安全疏散、火灾及时控制和消防人员有效救援的基础。

此外,随着技术的发展,高层民用建筑的消防系统也在不断进化。现代消防系统集成高级监控、自动控制和智能响应功能,能够在火灾初始阶段迅速检测和反应,从而极大地降低火灾带来的风险。这些系统不仅提高了消防效率,还能减少对人力资源的依赖,提升整体安全管理的水平。

然而,消防设备的有效性不仅取决于其先进性和性能,还与正确的设计、安装、定期检查和维护密切相关。不当的管理和维护可能导致消防设备在关键时刻失效,从而增加火灾事故的严重性。因此,对于高层民用建筑的管理者和设计师来说,理解和实施高效的消防设备管理策略是至关重要的。

二、电气线路在消防安全中的作用

在高层民用建筑中,电气线路不仅是提供能源的基础设施,更是维持消防安全系统正常运作的关键。电气

线路的重要性在于,它们不只供电,还确保消防设备在紧急情况下的可靠性和有效性。在防火设计中,电气线路的角色可以从几个方面来理解。

电气线路为消防设备提供必要的电源,无论是自动喷水灭火系统、火灾报警器还是紧急照明和逃生指示标识,所有这些设备的运行都依赖于稳定和可靠的电源。因此,确保电气线路在火灾情况下依然能够稳定供电,对于保障消防设备的功能至关重要。其次,电气线路在火灾检测和报警系统中起着核心作用,现代高层建筑中的火灾报警系统通常包括复杂的传感器网络,这些传感器通过电气线路与中央监控系统相连。电气线路的完整性直接影响到火灾监控系统的响应速度和准确性,这在紧急疏散和火灾控制中极为关键。此外,电气线路的设计和布局还需要考虑到在火灾情况下的保护措施。例如,电气线路应设计为在火灾中尽可能长时间保持运作,以确保关键消防设备和通信系统的持续运行。这不仅涉及使用耐火材料,还包括在建筑内合理分配电气线路,以降低单个故障点导致整体系统失效的风险^[2]。

三、防火设计的方法和技术

(一) 使用阻燃和耐火材料

(1) 材料选择原则

阻燃材料的应用: 电气线路的防火设计需采用阻燃材料,这些材料在火灾情况下能够显著减慢火势蔓延速度。例如,使用聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE)制成的阻燃电缆护套,这些材料能在一定程度上阻止火焰的扩散。

耐火材料的选用: 对于关键部位的电气线路,如逃生路线、重要设备供电线路等,应采用耐火材料。例如,采用矿物绝缘电缆(MI Cable),这种电缆能在高温下保持较长时间的运行。

(2) 材料性能标准

阻燃性能标准: 参照GB/T 19666-2005《阻燃和耐火电线电缆通用规范》,该标准规定了电线电缆在火焰条件下的阻燃性能要求。

耐火性能测试: 按照GB/T 19216.21-2003《电缆在火焰条件下的耐火性能试验方法》进行耐火性能测试,确保电缆在规定的温度和时间能保持功能。

(3) 设计与施工要求

线路布局: 电气线路布局应避免高温区和潜在火灾源,同时保证线路之间有足够的间距,减少火灾蔓延的可能。

防火隔离与保护: 在关键部位应增加防火隔离措施,如使用防火墙、防火封堵等,以限制火势蔓延。

(二) 线路布局和隔离

(1) 线路布局原则

避免过度集中: 电气线路不应在建筑中过度集中,以减少在发生火灾时整体线路的损坏风险。这可以通过在建筑不同部位分布电气线路来实现。

考虑易燃区域: 电气线路应尽量避免易燃物质集中区域,如储存室、厨房等。

垂直与水平分布: 在高层建筑中,电气线路应合理

分布在垂直和水平方向，保证电缆井和电缆横穿部位符合防火要求^[3]。

(2) 防火隔离技术

使用防火墙和防火隔板：在关键区域安装防火墙或防火隔板，确保火势不会通过电气线路快速蔓延。

隔离带设计：设计电气线路的隔离带，特别是在不同火区之间，应有足够的隔离距离，避免火势跨区蔓延。

(3) 执行标准与计算公式

标准参考：参考GB 50016-2014《建筑设计防火规范》，特别是关于电气线路防火设计的章节。

隔离距离计算：隔离距离的计算应依据线路的负载、电缆类型以及建筑的具体结构。例如，隔离距离可以根据电缆敷设的密度和热释放率进行计算，以确保在火灾情况下有足够的时间进行疏散和灭火。

电缆的热释放率计算：

热释放率（Heat Release Rate, HRR）是指单位时间内电缆燃烧产生的热量，通常以千瓦（kW）为单位。HRR 可以从电缆制造商提供的数据中获得，或者通过标准测试方法如 ISO 5660-1 确定。

敷设密度计算：

敷设密度是指在给定空间内敷设的电缆数量。计算公式为：

$$\text{敷设密度} = \frac{\text{电缆总长度}}{\text{敷设区域的面积或体积}}$$

隔离距离计算：

计算隔离距离时，通常考虑热辐射和火焰传播速度。具体的计算方法可能因地区的建筑规范而异，但基本思路是确保在火灾情况下，火焰和热量不能在短时间内传播到相邻的线路或区域。

一个简化的方法是使用经验公式，考虑电缆燃烧的热释放速率和可能的火焰传播距离。例如：

$$\text{隔离距离} = \text{系数} \times \sqrt{\text{HRR}}$$

其中系数是基于建筑规范和火灾工程的经验值。

(三) 电气负荷管理

(1) 负荷计算与分配

总负荷计算：建筑的总电气负荷是根据每个区域的预期用电需求和设备的功率来计算的。公式可以表示为：

$$\text{总负荷} = \sum (\text{各区域负荷})$$

负荷分配：负荷应合理分配到各个电路，以避免任何单个电路的过载。通常，这涉及对建筑内各个区域的电气需求进行评估，并确保每个电路的设计负荷在安全限制之内。

(2) 过载保护

过载保护装置：应安装适当的过载保护装置，如断路器和熔断器，以防止电路过载导致电线过热和潜在的火灾。

选择合适的保护装置：保护装置的选择应基于电路的最大预期负荷和电缆的规格。例如，断路器的额定电流应高于电路的计算负荷。

(3) 热影响分析

电缆的热容量：电缆在长时间承受过载时会发热，其热容量和热耗散能力对于防火安全至关重要。这通常涉及对电缆在不同负荷条件下的温升进行评估。

计算公式：电缆的温升可以使用下列公式估算：

$$\Delta T = I^2 \times R \times t$$

其中 I 是电流，R 是电缆的电阻，t 是时间。

(4) 符合标准

标准遵守：电气负荷管理必须符合当地的电气安全标准，如国际电工委员会（IEC）标准或国家标准。

定期检查：建筑电气系统应定期检查，以确保符合这些标准，并且没有潜在的过载或热问题。

(四) 监控和报警系统

(1) 系统组成

火灾探测器：包括烟雾探测器、热感探测器等，用于在火灾的早期阶段检测异常情况。

报警装置：当探测器检测到火灾迹象时，报警装置会发出声音和/或光学警报，通知建筑内的人员。

(2) 设计原则

全面覆盖：监控系统应覆盖建筑的所有关键区域，包括不易观察的角落和隐蔽空间。

冗余设计：为了确保在一部分系统发生故障时其余系统仍能正常工作，应采用冗余设计原则。

(3) 技术规范

灵敏度与响应时间：探测器的灵敏度和响应时间应符合特定的标准，如ISO 7240或EN 54系列标准。

网络连接：现代监控系统通常与建筑自动化系统连接，以便于远程监控和数据分析。

(4) 执行标准

国际标准：如ISO 7240《火灾探测和报警系统》系列标准，提供了关于系统设计、安装和性能的全面指南。

国家标准：如中国的GB 50116-2013《自动火灾报警系统设计规范》，规定了系统设计的最低要求。

(5) 系统集成和管理

集成测试：系统安装后应进行全面的测试，以确保所有组件在实际火灾情况下都能正常工作。

定期维护：定期进行系统维护和测试，确保长期的可靠性和有效性。

(6) 数据分析和预测

数据记录：系统应能够记录和存储火灾事件的数据，以便于事后分析。

预测分析：通过对历史数据的分析，可以提高系统的预测能力，从而更有效地预防和应对火灾。

(五) 紧急照明和标识

(1) 系统组成

紧急照明：包括疏散路径照明、安全出口照明和高危区域照明。

安全标识：清晰标识安全出口、疏散路线和紧急设备位置的标志。

(2) 设计原则

光照要求：紧急照明应提供足够的光照强度，以确保在烟雾或电力中断的情况下依然可见。

均匀分布：照明应均匀分布在疏散路径上，确保无死角。

(3) 技术规范

照明强度：紧急照明的最小照度通常不低于1勒克斯（lx），特别是在地面和楼梯交汇处。

持续时间：紧急照明系统应能在断电后至少持续运行一定时间，通常不少于1小时。

(4) 执行标准

国际标准：如ISO 30061《紧急疏散照明系统》。

国家标准：如中国的GB 17945-2010《紧急照明和疏散指示系统》。

(5) 电源管理

独立电源：紧急照明系统应有独立的电源，通常是电池备份或发电机。

自动激活：系统应能在主电源中断时自动激活。

(6) 标识标准

符号和文字：安全标识应使用国际认可的符号和文字，确保不同语言背景的人员都能理解。

可见性：标识应使用高对比度的颜色和反光材料，以确保在烟雾中的可见性。

(六) 电气设备的定期检查和维修

(1) 检查项目

电气连接和接头：检查所有电气连接和接头的紧固情况，防止松动导致的电弧和热点。

绝缘性能：定期检测电线和电气设备的绝缘性能，防止绝缘老化导致短路。

过载保护装置：检查断路器、熔断器等过载保护装置的功能，确保其能在异常情况下及时切断电源^[4]。

(2) 维护频率

定期性：电气设备的检查和维修应该按照规定的周期进行，通常包括日常检查、月度检查和年度检深检。

紧急检查：在发生电气事故后或天气极端情况下，应立即进行紧急检查。

(3) 执行标准

国际标准：如IEC 60364系列标准，提供了电气安装的检查和维修指南。

国家标准：不同国家可能有具体的电气设备检查和维修标准，如中国的GB 50054-2011《低压配电设计规范》。

(4) 检测工具和方法

绝缘电阻测试：使用绝缘电阻表进行测试，以评估电缆和电气设备的绝缘状态。

热像仪检测：使用热像仪检查电气系统的热点，这些热点可能是由过载或接触不良引起的。

四、性能分析

(一) 性能评估标准和指标

性能评估的首要步骤是定义一套全面的标准和指标，用以衡量电气线路防火设计的效果。这些标准和指标不仅反映设计的合规性，还应涉及实际应用的效能和可靠性。

表 1 消防设备电气线路防火性能评估指标

评估标准	主要指标
耐火性能	材料的阻燃等级、耐热能力、在极端温度下的性能保持能力
电气安全	电气线路的绝缘性能、短路保护效率、过载响应能力
可靠性	系统的稳定性和故障率、持续运行能力、对环境变化的适应性、长期使用中的性能一致性
维护性	系统的维护方便性、故障检测的简便性、维修工作的复杂度

(二) 风险评估和管理

电气线路的极端情况性能分析：在评估电气线路的性能时，关键在于分析它们在极端情况下的反应和表

现。例如，考虑在火灾情况下，电气线路的耐火材料是否能够防止火势蔓延，并保持关键设备的运行。同样，分析电气系统如何应对电力波动，如短路、电压突变等情况，这些都是可能导致设备损坏或火灾的因素。

风险评估方法：进行电气线路风险评估时，可以采用模拟测试、历史数据分析和故障树分析等方法。通过这些方法可以预测电气系统在极端情况下的行为，识别潜在的薄弱环节。例如，模拟火灾情况下电气线路的热分布，了解哪些区域最有可能成为火灾源^[5]。

风险管理策略：管理电气线路的风险涉及多个层面。首先，需要在设计阶段就采取预防措施，如使用耐火材料、优化线路布局和安装过载保护设备。其次，在运营阶段，定期的检查和维修对于提前发现问题和防止故障至关重要。此外，紧急响应计划，如在火灾发生时的自动电源切断，也是必要的风险管理措施。

提高整体安全性：提高电气线路的整体安全性要求综合考虑设计、操作和响应策略。利用智能监控系统进行实时数据分析和远程故障诊断可以及时预防和解决问题。同时，对于管理人员和维修人员的持续培训也是确保电气系统安全的重要方面。

(三) 长期性能和可持续性考量

防火设计的长期性能：在评估电气线路防火设计的长期性能时，重点在于其耐久性和效能保持能力。长期性能分析需要考虑材料老化、持续的环境暴露（如湿度、温度变化）及其对系统整体性能的影响。例如，探讨耐火材料随时间的变化是否会降低其防火能力，以及电气组件是否能够长期维持其安全功能。

可持续性考量：可持续性是现代建筑设计中的一个重要方面，包括使用环境友好的材料、节能的操作和对环境影响的最小化。在电气线路防火设计中，考虑可持续性意味着选择低环境影响的材料，以及设计易于升级和维护的系统，以适应未来技术的进步，减少资源消耗和废物产生。

环境影响：防火设计的环境影响评估涉及其在整个生命周期内对环境的影响。这不仅包括材料制造过程的环境足迹，还包括安装、使用和最终处置阶段的影响。考虑环境影响的目的是为了确保设计方案不仅在技术上有效，而且在生态和环境上负责。

结语

总体来说，高层民用建筑中电气线路的防火设计和性能分析是确保建筑安全的关键环节。通过采用现代防火材料、优化设计方案和实施有效的性能评估，可以显著提升建筑的安全性。未来的研究应进一步集中于技术创新和实际应用的结合，以及持续改进和更新设计标准和方法，从而为高层民用建筑的消防安全提供更坚实的保障。

参考文献

[1] 刘建伟. 高层建筑消防电气设计研究[J]. 产品可靠性报告, 2023, (06): 152-154.

[2] 秦成. 建筑消防电气设备的安装与维护管理[J]. 自动化应用, 2023, 64(01): 50-52.

[3] 白永锋. 建筑消防电气设备监督检查要点分析[J]. 工程建设与设计, 2022, (24): 262-264.

[4] 王永壮. 高层民用建筑消防设施施工质量管理研究[J]. 今日消防, 2022, 7(12): 55-57.

[5] 刘靖宇. 高层民用建筑中的消防电气设计要点探讨[J]. 建设科技, 2022, (20): 80-82+86.