

电气工程消防供电系统优化与火灾对策探讨

刘志才

贵州高安消防检测有限公司 贵州 遵义 563000

【摘要】：电气工程消防供电系统在火灾条件下承担关键应急负荷，其可靠性直接影响应急设施的响应效率。当前系统在结构冗余、供电路径安全性及耐火稳定性方面仍存在薄弱环节，易在极端条件下出现失效。基于火灾机理、电气负荷特性与供电线路脆弱点分析，对系统构成、布线方式、耐火技术及监测策略进行优化研究，旨在构建更高韧性的消防供电体系。通过对关键设备的耐火性能提升、供电路径的防火隔离强化与实时监控技术的嵌入，实现火灾环境中的连续供电与风险控制，为电气工程领域的消防安全提供可行的技术对策与工程路径。

【关键词】：消防供电系统；电气工程；火灾对策；可靠性优化；耐火性能

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.079

消防供电系统在电气工程中处于独特位置，既是火灾环境下的生命线，也是多种关键应急设备的动力来源。一旦火灾造成供电链路中断，将使疏散照明、消防泵、排烟设施等无法有效运行，从而扩大事故影响。因此，如何让消防供电系统在极端热环境与复杂电气负荷下保持持续稳定，是工程实践面临的核心难题。随着建筑规模扩大与技术系统复杂化，传统设计模式已难以满足实际需求，亟须在结构布局、耐火技术以及监测方式上寻找更具韧性的改进方案。本研究旨在探讨在火灾条件下维持供电可靠性的关键路径，并提出以安全与稳态为导向的系统优化策略，为后续工程设计与风险控制奠定技术基础。

1 消防供电系统在火灾条件下的关键矛盾

(1) 火灾环境对供电链路的破坏因素：火灾发生后，供电链路面临的外部条件急剧恶化，高温、烟气、湿热以及结构变形等因素会对线路、配电设备和控制装置造成连续冲击。高温会导致电缆绝缘层炭化，金属导体软化，使供电能力下降甚至出现短路风险。烟尘与湿热环境在短时间内会侵蚀元件表面，形成导电通道，引发无法预知的跳闸行为。建筑结构在火场中的变形进一步加剧布线受损的可能，使部分线路因挤压或坠落而中断^[1]。随着火势蔓延，配电箱、接线端子和开关装置处于高强度热负荷下，耐火能力不足的装置将更易失效。供电链路在此状态下持续承受超过设计边界的压力，意味着整个系统存在被瞬间破坏的风险，这种破坏不仅影响局部电路，还可能引发连锁电气故障，扰乱整个消防供电体系的稳定性。

(2) 应急负荷在火灾中的持续性需求：火灾处置依赖多类应急负荷的稳定运行，包括消防水泵、排烟设备、疏散照明、应急广播与消防控制系统等。这些负荷在火灾期间持续需求显著增加，且停机时间容不得间断，一旦供电中断，消防力量将立即受到影响。消防水泵无法保持足够压力，排烟装置无法形成有效的排烟通道，人员疏散环境会在短时间内恶化；照明不

足也会导致疏散路线识别困难，使人员流动出现混乱现象。同时，控制系统在信息采集、指挥调度和联动控制中承担核心任务，其稳定性决定了多系统协同的效率。由于火灾的突发性和不确定性，应急负荷的工作强度往往超过常态运行标准，对供电系统的连续性提出更苛刻的要求。若供电系统无法在火灾中长时间维持应急负荷运行，原本为保护生命安全和建筑结构设置的设施将无法发挥其应有功能，导致事故规模扩大。

(3) 系统脆弱点对整体安全性的影响：消防供电系统由多级配电、线路敷设、控制单元及终端设备共同构成，只要某一环节存在脆弱点，整体安全性便会受到明显威胁。脆弱点通常表现为耐火能力不足、线路布局不合理、设备老化或监测滞后等问题。在火灾状态下，这些隐患会被迅速放大，从局部弱项升级为系统性风险。例如，耐火等级较低的电缆往往在高温中短时间失效，导致关键负荷断电；供电路径若未采取有效隔离措施，火势可沿布线区域快速影响邻近区域，使原本独立的供电链路遭受连带破坏；监测滞后则会使故障无法在初期被识别，错过处置窗口，形成更大规模的停电区域。系统脆弱点相互作用后，将使消防供电系统失去稳定支撑能力，在火灾中难以形成可靠供电链路。安全性下降不仅影响应急设备运行，还会直接削弱火灾处置的整体效能，对人员疏散和建筑保护构成严重威胁。

2 消防供电链路的薄弱环节识别

(1) 配电结构中的风险节点：消防供电系统的配电结构由多级配电柜、回路分支、联动控制单元及转换装置组成，其中任何存在结构性缺陷的节点都可能成为影响供电稳定性的关键风险点。部分建筑在设计或施工阶段未完全考虑火灾环境下的负荷特性，使部分回路出现路径过长、支路过密或负荷分配不均的情况，这类结构往往在高温与烟气侵蚀中难以维持稳定。某些区域的配电箱布设位置过于集中，火势一旦侵入，易

出现多个设备同步失效的局面^[2]。而联动控制节点在火灾中需要处理大量信号指令,运算负荷增加后若与配电回路间缺乏有效隔离,将进一步放大故障影响范围。当这些风险节点被火灾放大后,单点失效极易演变为链式故障,使整个供电链路丧失应有的可靠性,造成应急负荷无法获得持续电力支持。

(2) 耐火能力不足的布线与设备:消防供电系统中大量采用电缆、桥架、端子、开关装置等电气元件,这些部件的耐火性能直接决定在火灾条件下能否保持通电能力。若布线未采用耐火等级合格的电缆,绝缘层在高温中会迅速碳化脱落,使导体暴露在空气中,形成短路或断路隐患。金属桥架在高温环境下的结构稳定性会下降,容易出现变形、坍塌等情况,使电缆因机械挤压而损伤。部分终端设备如控制模块、继电器、转换开关等在火灾中若未具备足够的耐热能力,极易因元件老化、熔化或热失稳而停止工作。耐火能力不足不仅影响单一设备的运行,更可能使关键供电路径出现整体中断。若多个区域同时出现布线损坏或设备脱落的情况,应急供电系统的连续性将受到严重破坏,使火灾处置面临更高风险。

(3) 监测滞后导致的隐性故障累积:消防供电系统在平时运行中往往存在设备老化、连接松动、电缆绝缘性能下降等隐性故障,这些问题在正常工况下不一定引发明显故障,但在火灾中会因环境骤变而被放大。监测系统若无法实时捕捉到这些异常参数,例如温升、漏电、电压波动或接触电阻变化,隐性故障将长期积累并形成潜在风险。部分建筑的监测模式仍依赖人工巡检或传统报警装置,缺乏对关键节点的动态参数分析,导致早期故障特征难以被识别。当火灾发生时,隐性故障与外部火灾因素叠加,极易引发跳闸、短路、节点失效等问题,使供电链路承受远超预期的压力。由于监测滞后,系统无法在关键时刻采取有效的隔离与调节措施,使原本可控的局部问题演变为更大范围的电气失稳,严重影响消防供电系统在火灾中的可靠性。

3 面向火灾工况的供电系统优化路径

(1) 供电结构的冗余化与稳定化改进:在火灾环境中维持消防供电系统的稳定性需要构建更加可靠的冗余结构,使关键负荷在任何单点故障出现时仍能获得持续供电。对现有供电网络进行结构再分配,减少回路之间的互相依赖,并通过双路或多路电源构成更具韧性的供电链路,可有效降低火灾状态下的断电概率^[3]。部分关键区域可采用独立供电路径配合自动转换装置,使系统在遭受外部破坏时能迅速切换至备用回路。对于易受热影响的节点,通过隔离布局与分散式布点的方式降低集中失效风险,从而增强整体稳定性。冗余化与稳定化的结合能够使供电结构在火灾条件下具备更强的自我维持能力,为应急负荷提供可靠电力保障。

(2) 耐火性能提升的技术策略:提升电气系统的耐火性能是构建火灾环境下可靠供电链路的基础,可通过材料升级、结构强化与附加保护措施协同实现。采用符合更高耐火等级要求的电缆与配电设备,并在关键环节增加防火涂层、隔热包覆与耐高温密封件,可显著延缓设备在极端温度下的失效时间。对电缆桥架实施封闭化与隔离化设计,能在火势蔓延时减少热辐射和热对流对布线的影响。部分耐火装置还可在短时间内承受直火灼烧,使应急负荷在火灾初期保持稳定运行。以结构与材料为核心的耐火能力提升策略,有助于在火灾过程中维持供电链路的完整性,为后续救援与疏散争取更多时间。

(3) 火灾环境下供电连续性的工程措施:在火灾条件下保持供电连续性需要从工程实施层面采取多项协同措施,使系统在高温、烟气和结构变化中仍具备运行能力。通过在关键线路外部布设耐高温防护槽或防火隔离带,可降低火势对供电路径的直接侵害;在重要节点设置自动灭火模块,可在设备内部温度快速上升前进行局部干预,避免因局部过热引发停电。对于控制和联动模块,可采用隔舱式安装方式,将指令系统与火灾最易侵袭的区域进行空间分隔。工程措施的关键在于通过结构化保护与智能化介入维持供电链路的完整性,使系统在不同阶段均能提供稳定电力支持,为救援行动和建筑安全提供坚实基础。

4 火灾响应下的技术对策构建

(1) 供电链路的防火隔离强化:在火灾环境中保持供电链路的稳定运行,需要通过防火隔离措施削弱外部热量、烟气以及火焰对线路和设备的直接侵袭。对主要干线和关键支路采用独立敷设方式,并与高风险区域保持空间间距,可避免火势沿布线快速传导。对穿越楼板和墙体的电缆通道实施耐火封堵,能够阻断烟气和热量向配电路径蔓延的趋势,使系统在火灾扩散阶段保持较好的物理完整性^[4]。针对集中布线区,可增设防火隔断墙或金属防护槽,提高供电链路的结构保护强度,使部分回路在火场中保持可用状态。通过防火隔离的系统化强化,供电链路在火灾中的受损概率明显降低,应急负荷获得更稳定的电力来源。

(2) 实时监测与风险预警系统嵌入:维持消防供电系统在火灾中的稳定性离不开实时监测与精细化风险预警,通过参数采集与动态分析及可及早识别潜在故障。在线监测装置能够持续追踪电缆温度、漏电流、电压波动、线路阻抗变化等关键指标,并通过智能算法识别异常趋势,使隐藏的问题在火灾到来之前便能得到处理。若监测系统与消防控制中心进行联动,当电气设备处于高温或受损状态时可立即触发预警,为应急处置赢得更多反应时间。对关键节点增加多级监测单元,能有效避免因单点信息缺失而导致的误判。基于实时监测与预警技术的

系统嵌入,使供电链路在火灾过程中具备更强的自我保护能力,减少因故障积累造成的突然停电风险。

(3) 关键设备的火灾适应性提升方案:消防供电系统中存在大量直接参与供电、转换及联动的关键设备,这些设备的火灾适应性决定了系统在极端环境中的可持续运行能力。通过采用高温耐受材料、封闭式结构和加固型导电组件,可提高设备在火场中的物理稳定性。为降低热辐射对内部电气单元的影响,可在外壳增加隔热层或采用双层结构,使温度变化对器件影响更缓和。对于处于关键位置的设备,可设置局部喷淋、气体灭火或自动断温保护机制,使装置在热负荷快速上升时保持可控状态。关键设备在火灾中的持续运行不仅依赖硬件的耐火能力,也取决于其在高温与烟气条件下的功能保持设计。通过火灾适应性的系统化提升,消防供电系统能够更稳固地支撑应急负荷运转,减少火灾扩散过程中因设备失效导致的电力中断。

5 消防供电系统优化后的综合提升分析

(1) 系统韧性增强的表现:通过对供电结构、耐火能力和监测策略的系统化优化,消防供电系统的韧性水平得到明显提升。系统在面对高温、烟气侵袭与结构变形等复杂火灾因素时,能够在更大范围内保持稳定运行,供电链路不再因单点故障而迅速崩溃。冗余路径的引入使关键回路具备替代能力,部分设备即使局部受损,也不会导致应急负荷整体失压^[5]。耐火材料和隔离措施的强化,使布线与设备在极端环境下的承受时间延长,进一步减少了火场早期的电气中断情况。监测技术的介入让系统能够在火灾前期识别并处理潜在隐患,使供电网络维持更强的自我修复与自我保护特性,体现出高韧性系统的综合优势。

参考文献:

- [1] 俞童飞.电气工程及其自动化施工技术研究[C]//中国设备管理协会品牌建设与技术应用委员会.中国设备管理新趋势交流会议文集(一).杭州富春山居生态发展有限公司,2025:176-178.
- [2] 杜明明,周永强.电气工程与自动化技术如何推动电力系统自动化发展[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025 中国建筑经济研讨会论文集(上册).湖州新开元碎石有限公司;湖州上建混凝土有限公司,2025:185-186.
- [3] 李顺利.电气自动化系统中的常见火灾隐患与防火对策研究[J].消防界(电子版),2025,11(14):16-18.
- [4] 李进,毕研鹏.建筑电气设计中的火灾隐患及其对策研究[J].电工技术,2025,(14):257-259.
- [5] 陈明帅.电气工程消防供电系统优化与火灾对策探讨[J].消防界(电子版),2024,10(14):114-116.

(2) 火灾条件下供电可靠性的提升:经过优化的消防供电系统在火灾中的可靠性表现更加突出,供电链路的稳定性和持续性得到实质性改善。冗余化结构确保关键设备在遇到热损伤或外部冲击时仍能获得备用电源支持,避免电力因局部故障而整体中断。耐火性能的提升使电缆、端子和配电单元能够在高温环境中维持较长时间的可用状态,为应急负荷运行提供更稳定的电力来源。隔离措施的实施则有效阻断火势对供电路径的直接侵害,使系统保持更高的完整性。配合实时监测与预警机制,系统能够在火灾发展过程中持续调整与保护关键节点,从而确保供电过程更具可控性与连续性。

(3) 整体安全保障能力的巩固:在供电结构优化、设备耐火性提升和监测体系完善的共同作用下,消防供电系统的整体安全保障能力得到巩固。火灾应对过程中,系统能够在多类负荷高强度运行的状态下保持稳定,确保消防水泵、排烟设备、疏散照明等关键设施持续获得动力支持。供电链路的可靠性增强,使火灾处置的节奏更加顺畅,极大降低了因供电中断导致的疏散混乱或灭火延误。关键设备的适应性提升使系统在复杂环境中不易出现失效扩散的情况,避免局部损害演变为系统性风险。安全防护能力的增强为建筑整体的火灾应急体系提供更坚实的技术支撑,使火灾处置过程更具可控性与稳定性。

6 结语

消防供电系统在火灾环境中的表现决定应急设施的运行效率与整体处置能力。各环节的优化使供电链路具备更强的稳定性与耐受性,能够在高温、烟气和结构变化中保持较高的运行水平。冗余结构、耐火材料、隔离措施与监测技术的协同应用,使系统在火场不同阶段均能维持关键负荷的持续供电。随着系统韧性与可靠性的提升,消防供电体系在应对火灾风险时展现出更稳固的支撑作用,为建筑安全提供坚实保障。