

电气火灾成因分析及预防措施的工程实践总结

张宝杰

中国铁路哈尔滨局集团有限公司牡丹江供电段 黑龙江 牡丹江 157000

摘要: 电气火灾作为现代社会频发且危害巨大的灾害类型,严重威胁着人民生命财产安全与社会经济的稳定运行。其成因复杂多样,既涉及设备材料本身的缺陷,也涵盖设计、施工、运维及管理等多个环节的疏漏。本文旨在系统梳理电气火灾的主要成因,从过载、短路、接触不良、电弧故障、设备老化等技术层面,到设计选型不当、施工质量低劣、运维管理缺失等工程管理层面进行深入剖析。在此基础上,结合近年来在建筑、工业、交通等领域的工程实践经验,总结提炼出一套行之有效的预防措施体系,包括科学合理的设计选型、高标准的施工安装、智能化的监测预警、规范化的运维管理和全员参与的安全教育。通过理论与实践的紧密结合,本文力图为提升电气系统的本质安全水平、有效遏制电气火灾事故的发生提供系统性的工程参考与决策支持。

关键词: 电气火灾;成因分析;预防措施;工程实践;电气安全;智慧消防

引言

随着我国城市化进程的加速和电气化水平的不断提高,电力已成为现代社会运转的“血液”。然而,电气系统在带来便利的同时,也潜藏着巨大的火灾风险。据统计,近年来全国范围内由电气原因引发的火灾起数占火灾总数的比例长期居高不下,通常超过30%,在某些特定场所(如老旧住宅、仓储物流中心)甚至高达50%以上。电气火灾往往具有隐蔽性强、突发性高、蔓延速度快、扑救难度大等特点,一旦发生,极易造成重大人员伤亡和财产损失,社会影响恶劣。传统的火灾防控思维多侧重于事后扑救,而对事前预防,特别是从工程全生命周期的角度进行系统性风险管控关注不足。电气火灾并非无迹可寻的“天灾”,其背后必然存在可追溯、可预防的技术或管理漏洞。因此,深入探究电气火灾的内在机理与外在诱因,并将先进的预防理念与技术手段融入工程设计、施工、验收、运维的每一个环节,是实现从“被动应对”向“主动预防”转变的关键所在。

1 电气火灾的主要成因深度剖析

电气火灾的直接原因是电能转化为热能,当产生的热量足以引燃周围可燃物时,火灾便随之发生。这一能量转换过程主要通过以下几种物理现象实现。

1.1 过载

过载指电气线路或设备实际工作电流持续超安全载流量,是导线绝缘层热老化、起火的常见原因。其根源多样:项目设计阶段,设计人员若未准确核算未来负荷,或为控制成本选用截面积小的导线,线路会“先天不足”,埋下过载隐患;建筑物使用后,用户擅自增加高耗能设备,使实际负荷远超原设计容量,线路长期超负荷运行。

此外,现代建筑中大量非线性负载会产生谐波电流,叠加在基波电流上,增加线路有效电流值,易致中性线过载发热,而传统热磁式断路器对此类过载保护能力有限,形成隐蔽安全死角。

1.2 短路

短路是指导体之间因绝缘失效而直接连通,形成极低阻抗回路,瞬间产生巨大短路电流的现象。这种强大的电流能在极短时间内释放出惊人的热量,形成高温电弧,直接引燃周边可燃物。短路的根本原因在于绝缘的破坏。这种破坏可能发生在施工阶段,例如敷设导线时被管口毛刺划伤、被重物挤压变形;也可能发生在使用阶段,比如鼠类啃咬、机械振动磨损或化学物质腐蚀等因素导致绝缘层破损。此外,施工人员操作不规范,在接线端子处处理不当,造成线芯裸露部分相互搭接,也会直接引发短路^[1]。设备内部故障同样是不可忽视的因素,电气设备如电机、变压器等,其内部绕组的绝缘材料会随着时间推移而老化,最终在强电场作用下被击穿,导致匝间或相间短路。这类故障往往发生在设备内部,外部难以察觉,危险性极高。

1.3 接触不良

接触不良问题集中在电气连接点,像开关、插座等处。连接点若因松动、氧化或腐蚀使接触电阻异常增大,依据焦耳定律,正常电流通过也会产生大量热量。局部高温会烘烤、碳化周围绝缘材料,最终引燃。其成因主要是施工质量和材料选择。施工未用规范紧固螺栓,连接点易松动;铜铝导体直接连接未用过渡端子,会因电位差腐蚀,增大电阻。使用劣质插座或开关,簧片弹性不足,长期插拔后接触压力下降,也会导致接触不良。潮湿

或多硫等腐蚀性环境中,金属连接表面易形成高电阻膜,加剧发热。此类火灾隐蔽性强,不会使保护电器跳闸,常在深夜悄然发展,许多不明原因火灾的元凶就是接触不良点。

1.4 电弧故障

电弧故障是一种特殊且危险的电气故障形式,它表现为电流通过空气间隙放电,产生温度高达数千摄氏度的等离子体电弧。这种高温足以瞬间点燃附近的任何可燃物。电弧故障主要分为串联型和并联型。串联电弧通常由导线内部断裂或插头插座接触不良引起,虽然回路中的总电流可能并未达到过载或短路的阈值,不足以触发常规保护装置,但局部产生的电弧却拥有极高的能量密度。并联电弧则源于相线与零线或地线之间的绝缘破损,形成一种高阻抗的短路路径,其电流特征同样难以被传统断路器识别。正是由于电弧故障的随机性、瞬时性以及其电气信号特征与正常用电的相似性,使得它成为当前电气火灾防控领域的一大技术难点。常规的过流和短路保护对此几乎无能为力,这也是近年来业界大力推广电弧故障断路器(AFCI)的核心动因,旨在填补这一关键的保护空白。

1.5 电气设备与线路老化

电气设备和线路都有设计使用寿命,随时间推移,绝缘材料在多种因素作用下会不可逆老化,绝缘性能下降、机械强度减弱。设备或线路超期服役,内部元器件性能衰退、绝缘油劣化,内部短路或沿面爬电风险大增。现实中,许多单位和个人为节约成本,让已达报废年限的配电柜等关键设备继续使用,如同在隐患上“走钢丝”^[2]。更严峻的是,缺乏定期预防性试验和专业维护保养,就无法及时发现设备老化早期征兆,如绝缘电阻下降、局部放电增加等,会错失干预时机。所以,对老旧建筑和厂房电气系统进行全面安全评估,制定科学合理的更新改造计划,是当前消防工作一项紧迫且重要的任务,需高度重视并积极落实。

1.6 工程管理层面的系统性成因

电气火灾更深层次问题多源于工程项目全生命周期管理。设计源头上,图纸深度欠缺,对特殊危险场所电气设备选型、防护等级及敷设方式等关键要求表述模糊,给后续施工和使用埋下隐患。施工阶段,监理缺位或专业能力不足,隐蔽工程验收流于形式,大量潜在缺陷被封存,成为日后隐患。运维阶段,物业或使用单位缺乏专业电气管理人员,日常巡检走过场,未建立完善设备台账和预防性维护制度,小问题积成大祸。此外,终端用户安全意识淡薄也不容忽视,私拉乱接电线、使用“三

无”电器、在配电箱周围堆放易燃杂物等不安全行为屡禁不止。这些因素共同构成了电气火灾风险的社会性土壤,需从全生命周期管理角度加强防控。

2 基于工程实践的电气火灾预防措施体系

针对上述成因,必须构建一个覆盖“事前预防、事中监测、事后处置”全过程的立体化预防体系。该体系的核心在于将安全理念和技术手段融入工程实践的每一个细节。

2.1 源头控制:科学严谨的工程设计与选型

首先,必须严格按照国家相关规范进行精准的负荷计算,并在此基础上充分考虑未来发展的可能性,预留合理的裕量,坚决避免那种“卡脖子”式的极限设计,确保系统在全生命周期内都能从容应对负荷变化。其次,在设备与材料的选型上,必须严把采购关,杜绝任何假冒伪劣产品流入工程现场。对于总配电室、消防泵房等关键部位,应优先选用市场信誉良好、技术成熟的品牌产品,并强制采用符合更高安全标准的材料,如阻燃(ZR)、耐火(NH)或低烟无卤(WDZ)型电缆,以最大限度地延缓火势蔓延并减少有毒烟气的产生。最后,保护策略的设计必须具有前瞻性和针对性^[3]。不仅要按规范在末端回路设置30mA高灵敏度的剩余电流动作保护器(RCD)以保障人身安全,更应在干线回路配置300mA或500mA的RCD用于防火保护,有效探测因绝缘缓慢劣化而产生的微小接地故障电流。同时,应积极推广电弧故障断路器(AFCI)的应用,尤其是在住宅、宿舍、养老院等人员密集且疏散困难的场所,以应对传统保护无法覆盖的电弧故障风险。此外,上下级保护电器之间的选择性配合也至关重要,它能确保在故障发生时,只有最靠近故障点的保护装置动作,从而在快速切除故障的同时,最大限度地保证非故障区域的供电连续性,减少不必要的损失。

2.2 过程保障:高标准的施工与验收

施工过程是将设计蓝图转化为实体安全屏障的关键环节。为此,必须强化对施工队伍的专业培训,确保每一位电工都深刻理解并严格遵守相关的施工规范和工艺标准,例如,导线连接必须采用压接或焊接等可靠方式,严禁简单的绞接;在穿管作业时,必须加装护口以防止管口毛刺损伤导线绝缘层。对于隐蔽工程的管理必须尤为严格,所有配管、穿线、接地等隐蔽工序,在覆盖之前必须经过监理工程师和业主代表的现场联合验收,并留存清晰的影像资料,做到全过程可追溯,确保每一寸被封藏的线路都经得起检验。工程竣工前的调试与测试环节同样不可或缺,必须对整个电气系统进行全面的功

能性验证,包括绝缘电阻、接地电阻、回路阻抗以及各级保护电器的动作特性等关键参数的测试,只有所有数据均符合设计要求,才能视为工程合格,从而为日后的安全运行奠定坚实的基础。

2.3 智慧赋能:构建智能化的监测预警系统

电气火灾监控系统(EFMS)作为当前工程实践中最核心的技术防范手段,通过在配电回路的关键节点部署高精度传感器,能够对剩余电流、线缆温度、电流电压乃至故障电弧等关键参数进行7×24小时的不间断实时监测。系统主机对海量数据进行智能分析,一旦发现异常趋势或参数达到预设的危险阈值,便会立即在现场发出声光报警,并通过网络将详细的告警信息精准推送到值班人员的手机或中央消防控制室,从而赢得宝贵的初期处置时间。更进一步,应将EFMS深度融入建筑的BIM模型或智慧消防一体化平台,实现多系统数据的融合与联动^[4]。例如,当某区域线缆温度异常升高时,系统可自动调取该区域的视频监控画面进行远程复核,并根据预设逻辑联动启动预作用式灭火装置,形成一套完整的“感知-分析-决策-执行”闭环。在工程实践中,传感器的布点策略至关重要,应遵循“抓大放小、突出重点”的原则,全面覆盖总进线、重要分支回路,并对厨房、数据中心、仓库等高风险末端区域进行加密监测。同时,必须建立一套科学的报警分级和标准化处置流程,避免因误报或无效报警导致的“狼来了”效应,确保每一次有效预警都能得到迅速、专业的响应和闭环处理。

2.4 长效机制:规范化的运维管理与安全教育

首要任务是为所有电气设备建立详尽的全生命周期电子档案,记录其型号、技术参数、安装日期以及历次检修、试验报告等信息,为开展预测性维护提供坚实的数据支撑。在此基础上,应推行制度化的预防性维护计划,明确年度、季度、月度的维护内容,包括定期清洁配电柜内积聚的导电性粉尘、使用力矩扳手复紧所有电气连接点、测试保护电器的功能完好性、利用兆欧表检查电缆绝缘状况等。对于关键设备,还可引入红外热成

像仪进行带电检测,以非接触的方式精准定位肉眼无法察觉的“热点”隐患。与此同时,必须将安全教育的触角延伸至每一位终端用户。通过宣传栏、微信公众号推送、组织应急疏散演练等多种形式,持续普及安全用电知识,重点引导用户养成不超负荷使用插座、不私拉乱接电线、及时更换老化电器、不在配电设施周围堆放杂物等良好习惯。唯有让每一位使用者都具备基本的安全意识和责任感,才能真正织密这张群防群治的安全网络。最后,还需在物业服务合同、租赁协议等法律文件中,清晰界定业主、物业管理方和租户在电气安全管理方面的权利与义务,形成权责分明、齐抓共管的良好局面。

3 结语

电气火灾防控是复杂系统工程,非单一技术或措施可解决。本文深度剖析其成因,揭示技术缺陷与管理漏洞交织的情况,提出的“源头控制、过程保障、智慧赋能、长效管理”四位一体预防措施体系,经多工程实践验证有效。未来,电气火灾防控将更“主动、精准、智能”,新材料、新器件研发能从本质上提升电气系统安全性,数字孪生技术成熟可构建虚拟模型,仿真预测潜在风险,实现“预测性安全”。不过,无论技术怎样进步,“人”都是安全链条关键。只有将先进工程技术、严谨管理制度与深入人心的安全文化相结合,才能筑牢防范电气火灾的坚固防线,为社会高质量发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 聂永军.电气火灾成因分析及预防措施研究[J].新发现,2025,(14):115-117.
- [2] 何定礼.电气火灾成因分析及预防措施研究[C]//中国智慧工程研究会.2024智慧施工与规划设计学术交流论文集.碧桂园生活服务集团股份有限公司钦州分公司,2024:219-221.
- [3] 李鑫.电气线路故障火灾事故调查疑难点解析[J].消防界(电子版),2025,11(16):61-63.
- [4] 郑翔.电气线路老化引发火灾的机理分析与综合防控体系构建[J].今日消防,2025,10(06):13-15.