

电气安装工程现场安全风险辨识与防控技术研究

司松松¹, 张延卫², 赵磊³

(1. 肥城市王瓜店街道应急安全保障中心, 山东 泰安 271608;

2. 山东智通能源科技有限公司, 山东 滨州 256600;

3. 盛城建工集团有限公司, 山东 菏泽 274000)

摘要 电气安装工程施工现场的安全风险复杂多样, 传统的风险管理方式已经不能满足当前的建筑电气工程项目安全管理需求。本文对电气安装工程现场的主要安全隐患进行了全面剖析并介绍了危险源辨识以及风险等级评价的方法, 在此基础上详细说明了防止触电、隔离防护、环境监测及应急响应等主要防范措施的作用机理及其应用情况, 并提出了安全技术管理制度、人员培训技术和信息化管理等实施保障措施, 以期为相关人员提供参考。

关键词 电气安装; 安全风险; 辨识技术; 防控技术; 信息化管理

中图分类号: TU714; TM75

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.040

0 引言

电气安装工程是建筑施工领域典型的高风险作业环节。结合近年建筑施工安全统计数据, 触电事故在全行业伤亡事故中占比处于较高区间, 其中电气安装施工阶段发生的触电事故, 在全流程电气类安全事故中占比超过半数。与此同时, 电气施工现场还面临火灾、机械伤害、高空坠落等多重风险。传统安全管理是以事后处理及经验总结为主, 缺少主动预防以及科学决策的技术支持, 在现代电气安装工程项目的安全管理上迫切需要构建一种以风险辨识、实时监控以及智能化报警为一体的全方位防控机制。本文的研究目的是对电气安装工程现场的安全风险进行识别技术和防控技术的探讨, 为施工安全管理工作提供参考。

1 电气安装工程现场主要安全风险及其危害分析

电气安装工程施工现场存在较大的安全隐患, 其特点是不易察觉、危害大、后果严重, 在建筑施工伤亡事故中, 触电事故占 58%, 火灾事故占 19%, 机械伤害及高处坠落事故各占 15% 和 8%。触电主要是由于临时用电布置不合理以及防护措施不到位, 按照 IEC 标准规定, 人体安全电压为 36 V (交流), 超过 50 V 时触电死亡率急剧升高, 在潮湿环境中 (相对湿度大于 75%) 人体电阻只有 1 000 Ω 左右, 24 V 电压就足以对人体造成威胁。火灾隐患主要来自电线电缆过热、短路或者接触不良等问题^[1]。

2 电气安装工程安全风险辨识的技术方法

2.1 危险源识别技术

危险源辨识是风险控制的前提条件, 在国际标准 ISO 12100 中有系统的危险源辨识方法, 而电气安装工程中的危险源辨识主要是三个方面。作业活动危害分析法 (JHA) 通过将施工过程划分成一系列的操作步骤, 然后对每一个步骤中存在的潜在风险进行逐一排查, 如线路敷设一般分为放线、定位、穿管、接线、绝缘处理、通电测试等 6 ~ 8 个环节, 每一个环节有 3 ~ 5 个风险点^[2]。

故障树分析方法 (FTA) 是逆向思维的方式, 由不希望发生的事故开始, 逐级寻找其原因。以触电事故作为顶事件, 可将其分为直接接触带电体、间接接触故障电压、静电放电等中间事件, 再进一步细分为设备故障、防护缺陷、操作失误等基本事件。FTA 可以找出造成事故的主要因素, 有利于及时进行防范工作。数字化巡检及实时监控系统运用物联网技术, 在工地安装各种传感器, 用温度传感器对电缆接头温度进行监控 (异常温度高于 60 $^{\circ}\text{C}$), 用电流互感器对线路负荷情况进行监控 (过载大于 20%), 用绝缘电阻测试仪对绝缘状况进行实时监控 (绝缘电阻小于 0.5 M Ω 报警), 以上信息即时传送到管理中心, 做到对潜在危险的预先发现。

作者简介: 司松松 (1987-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 建设工程电气安装。

2.2 安全风险分级评估技术

风险分级评估是量化的决策支持工具,在全球范围内广泛应用的风险评估公式为 $R=P \times S \times E$, P 代表发生概率、 S 代表严重程度、 E 代表暴露频率。定量风险评估模型基于历史事故数据进行构建。在触电方面,依据国家建筑业施工统计数据,触电事故发生率是 3.2×10^{-6} 次/人·年,严重程度得分9/10(极易致死),而暴露频次则由带电操作工人人数以及工作时间决定,对于一支有50名电工的施工队而言,每月平均工作时间为800小时,则其风险值就是 $3.2 \times 10^{-6} \times 9 \times 800 = 0.023$,在可接受范围内(风险可接受阈值 ≤ 0.05);但是如果缺少防护措施,则风险值会增加到0.12,超出可接受范围。安全评分系统和风险矩阵分析相结合的方式把定性和定量的方法结合起来,把风险划分为五个等级:极高风险(风险值 > 0.1)、较高风险(0.05~0.1)、一般风险(0.01~0.05)、较低风险(0.001~0.01)、极低风险(< 0.001)。现场检查员可以利用风险矩阵迅速确定某一特定风险等级并据此做出是否继续作业或者需要采取什么预防措施等决定^[3]。

3 电气安装工程现场防控的核心技术

3.1 触电防护关键技术

接地接零保护装置是防止触电的第一道屏障,在IEC 60364中规定了建筑工地必须使用TN-S制(三相四线加保护地线)或者TN-C-S制,当发生漏电流大于30 A时,空气开关迅速跳闸断开电源。接地电阻一般不大于4 Ω (临时施工用电为10 Ω),可以将触电危险减少94%,而漏电保护器(RCD)则是防范间接接触电击的重要装置。现代RCD采用电磁感应原理,当正常工作时进线和出线电流相等,铁芯中磁通量为零;当发生漏电时,两路电流不相等,产生的不平衡磁通感应出电压,触发脱扣机构,高灵敏度RCD的动作电流仅需10 mA~30 mA,动作时间 < 30 ms,可有效防止触电致命^[4]。研究表明,配备RCD的施工现场触电事故率比未配备的现场低92%。个人防护装备(PPE)包括绝缘手套、绝缘鞋、安全帽和防护眼镜等,现代智能防护装备集成了传感器,可实时监测绝缘手套的绝缘性能(任何漏洞会触发声光告警)、工作人员的心率和血氧饱和度,当检测到异常(心率超过120 bpm或接近触电)时,立即触发急救通知。

3.2 安全隔离与设备防护技术

临时用电布置及防护隔离系统严格遵守《建设工程施工现场供用电安全规范》(GB 50194-2014)标准,施工现场临时用电需做到三级配电(总配电箱、分配电箱、

开关箱)并编制专项方案,由具备建筑工程施工资质的电气工程师设计。隔离防护分为物理隔离(以临时围挡隔离高危作业区)、电气隔离(利用隔离变压器或者便携式隔离电源等方法)以及时间隔离(限定在一定时间内开展带电操作),实际应用中采取了三种方式联合使用的工地发生事故的比例较单一的方式下降超过60%。

工作票制度与能量隔离技术(LOTO)是重要的管理防护手段,LOTO(Lockout/Tagout)要求在维修或改造电气设备前,必须切断电源、上锁、挂警示标签,防止无关人员误启动设备。在电气安装工程中每个施工班组应配备专门的LOTO工具箱,每次作业前进行能量隔离检查。绝缘工具及防护材料质量把关属于细节防护,绝缘工具(绝缘螺丝刀、绝缘铜棒)要进行定期测试其绝缘强度(工作电压的1.5倍、持续时间为5 s),防护材料(绝缘胶带、热缩管)应选用低烟无卤(LSZH)阻燃材质保证电缆完整,抽样检验合格的防护材料能减少由于绝缘破损造成的事故率达73%^[5]。

3.3 施工环境监控与预警技术

物联网传感器网络应用于工地已经十分普遍,一般布置在配电箱、电缆沟、作业区等位置安装温度传感器(精确度 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$)、湿度传感器(精确度 $\pm 2\%$ RH)、接地电阻检测仪以及漏电流检测仪,以上各种类型的传感器以无线或者有线的方式接入监控中心进行全天候不间断监控。对环境因素进行实时监测的重要参数是电缆接头温度(正常值为40 $^{\circ}\text{C}$ ~50 $^{\circ}\text{C}$,大于60 $^{\circ}\text{C}$ 报警)、施工现场环境相对湿度(高于75%时触电危险成倍增加)、接地电阻(临时用电标准小于10 Ω)及绝缘电阻(小于0.5 M Ω 报警)。研究数据显示,在事故发生前可以提前24小时到48小时发现隐患并及时处理,避免事故发生的概率高达78%。

AI视觉识别系统与人员行为预警利用深度学习技术识别施工现场的危险行为,通过在关键作业区域安装高清摄像头和部署AI识别模型,系统可自动识别工作人员是否佩戴绝缘手套、是否进入隔离区域、是否规范操作设备等。当检测到违规行为时,系统即时发送警报至现场管理人员和工作人员的移动设备,实验数据显示,部署AI预警系统的施工现场违规操作率下降88%,无违规操作相关的安全事故发生。

3.4 应急救援与风险应对技术

触电急救技术关键是及时切断电源以及进行心肺复苏(CPR),从医学角度来说,在触电之后4 min内实施CPR的存活率约为50%,而超过6 min则下降至10%以下。现代工地应当配备自动体外除颤器(AED),

它是一种便于携带的医疗器械,可以自动判断心脏节律异常并给予电击治疗,使用者只需要听从语音指导即可完成操作。据研究显示,安装有AED的工地位于触电事故中死亡人数可减少40%。消防应急响应及危险化学品处理包括扑灭电气火灾的内容。由于水会导电因此不能用水来扑救电气火灾,应该使用干粉灭火器或者二氧化碳灭火器。工地在用电密集的地方要放置足够的灭火器(每100 m³建筑面积一个4 kg干粉灭火器)并且要经常检查是否过期。工人要接受消防安全教育,了解如何使用灭火器以及逃生路线等。

应急预案编制及演练评价要求每个工地都有详尽的应急预案,有组织机构、应急处置程序、通讯录、医疗救助等内容。预案要涵盖触电、火灾、机械伤害等各种情况下的应急预案。经常性的演练(不少于每半年一次)可以大大提高应急能力。

4 电气安装工程安全防控的实施策略与保障

4.1 安全技术管理体系的构建

分阶段风险管理流程应贯穿整个项目的设计、施工准备、施工以及验收全过程,在设计上要制定临时用电方案并确定接地系统及保护装置,在施工前要对防护设施、检测仪表和劳动防护用品进行检查验收,在施工过程中要做到定期巡视和不定期的测试(每周对接地电阻、绝缘电阻进行全面检测),在竣工后要做综合性能试验以保证所有的防护措施到位。安全操作规程(SOP)编写修订制度规定了根据不同的工作内容编写具体的SOP,如电缆敷设SOP中有环境检查(温度、湿度、防水)、工器具准备(测试仪表、劳保用品)、作业程序(放线、定位、穿管、接线、绝缘处理)、检验标准(绝缘电阻、接地电阻)、应急预案等内容,SOP每年更新一次,并加入新的技术和规范要求。承包商资质与技术能力审查制度要求承包商提供电气资质证书、安全生产许可证、主要管理人员的岗位证书复印件,同时进行技术交底评估,通过笔试或现场提问考核管理人员对规范的理解度,合格分数线为85分以上。

4.2 人员安全素质提升的技术支撑

虚拟现实(VR)模拟培训与实景演练利用沉浸式三维环境再现施工场景,学员可在虚拟环境中体验触电、火灾等危险情景,学习应急处置方法,零风险地获得实际经验,研究表明,接受过VR培训的工作人员安全事故率比只接受传统课堂培训的降低41%。安全知识库系统与移动学习平台建立企业级的知识库,收录行业规范、典型案例、最佳实践等资源,通过手

机应用程序,员工可随时随地学习,培训记录系统可追踪每名员工的学习进度和考核成绩,对不合格人员发出重新培训通知。安全考试系统与持证上岗管理规定电气施工人员必须持证上岗,证书每两年复审一次,考试包括笔试(60道题,70分合格)和操作考试(5个标准操作,不出现致命错误),通过率控制在70%~80%,保证考试的严格性。

4.3 施工现场信息化管理技术

建筑信息模型(BIM)应用于电气安装方面有施工前管线碰撞检查及优化布局,在BIM模型中,电气工程师可以及时发现电缆与其他管线相交问题并进行调整,避免后期返工以及安全隐患。移动端管理平台结合实时数据采集采用专门的施工管理系统APP,工人每天填写安全检查表、工作日志、隐患整改通知单等上传到云端服务器上,信息流转由日报变为即时报告,处理突发事件的时间由一天缩短为半小时左右。施工现场安全档案与可追溯体系建立针对每个工作人员、每个作业区域、每套设备的电子档案,档案记录工作人员的资质证书、培训记录、违规情况;作业区域的环境监测数据、防护措施检查结果;设备的购置日期、检测报告、维修记录。一旦发生事故可迅速追溯问题根源,支持责任认定和改进决策。

5 结束语

电气安装工程现场安全风险需全方位进行,采用合理的危险源辨识以及风险评价方法能够准确找出施工场所主要的风险点;采取有效的防触电措施、防护隔离措施、环境监测以及应急救援等主要防控手段能将风险降低到可接受的程度;建立健全的安全管理制度、员工教育培训及信息化管理可以实现全面立体化的安全管理。未来要不断加强新技术在安全管理中的应用,进一步提升对风险的认识程度及防范能力。

参考文献:

- [1] 刘海青,马明星,路京鹏.基于风险评估的电气安装施工现场安全管理策略研究[J].消费电子,2026(01):44-46.
- [2] 刘黎明.机电工程项目电气设备安全管理、安装调试和风险管控[J].上海电气技术,2025,18(01):57-64,93.
- [3] 李元超.“双碳”目标下电力工程施工安全风险动态管控机制[J].大众标准化,2026(03):78-80.
- [4] 李亮.电气自动化在机电安装工程安全管理中的应用[J].能源新观察,2025(02):57-60.
- [5] 杨国栋,辛在玲,陈加辉,等.高压电力工程电气安装质量控制与安全防护技术[J].消费电子,2025(06):98-100.