

电梯电气安全回路接地故障保护功能检验方法

梁玉春

天津市滨海新区检验检测中心 天津 300451

摘要：电梯电气安全回路的接地故障保护是保障电梯运行安全的关键环节。本文围绕其重要性、危害及检验方法展开研究：接地故障保护可防止漏电触电、安全回路短接，保障电梯稳定运行；而接地故障若未有效防护，会导致人员触电、回路功能失效及设备损坏。检验方法涵盖静态检验、动态检验，并针对潮湿环境、雷电冲击等特殊工况设计专项检验流程，通过五级诊断体系实现综合评估，为电梯电气安全回路的接地故障防护提供系统性检验方案。

关键词：电梯电气；安全回路；接地故障；保护功能；检验方法

引言：随着城市化进程加快，电梯已成为现代建筑中不可或缺的垂直运输工具，其运行安全性直接关系到公众生命健康。电气安全回路作为电梯安全保护的核心系统，通过串联安全开关实现故障时的紧急制动，但接地故障的存在可能导致安全功能失效，引发严重安全事故。当前，电梯电气系统面临环境湿度变化、电磁干扰等复杂工况，接地故障的隐蔽性和突发性对传统检验方法提出挑战。为此，深入研究接地故障保护功能的科学检验方法，建立覆盖静态特性、动态运行及特殊工况的综合检验体系，对提升电梯安全性能具有重要工程意义。

1 电梯电气安全回路接地故障保护的重要性

1.1 防止漏电触电事故

在电梯运行过程中，电气设备可能因老化、线路破损等原因导致绝缘性能下降，进而引发漏电。若没有可靠的接地故障保护，漏电电流会通过设备外壳传导，当乘客接触到带电外壳时，极易发生触电事故，严重威胁人身安全。而完善的接地故障保护系统能够迅速将漏电电流引入大地，降低设备外壳电位，即便发生漏电，也能将电压控制在安全范围内。

1.2 防止安全回路短接

电梯安全回路串联着一系列安全开关，是保障电梯安全运行的关键路径。接地故障可能导致安全回路中线绝缘层受损，使得原本独立的线路与接地体或其他导体意外导通，造成安全回路短接。一旦安全回路短接，电梯将失去对诸如门锁异常、限速器失灵等重要安全信号的监测能力，即便存在安全隐患，电梯仍可能继续运行，极大增加了事故发生概率。

1.3 保障电梯稳定运行

接地故障不仅威胁人员安全，还会对电梯设备的稳定运行造成严重影响。电气系统接地不良会导致电流分布异常，引发设备电磁干扰、控制系统误动作等问题。

具备接地故障保护功能后，系统能够及时处理接地异常，维持电气系统的正常工作状态，保障电梯运行的稳定性和可靠性，减少因接地故障引发的设备故障频率，降低维护成本，延长电梯使用寿命^[1]。

2 电梯电气安全回路接地故障的危害

2.1 人员触电

电梯电气安全回路一旦出现接地故障，轿厢、层门等金属部件极易带电。电梯运行环境复杂，电气线路长期受机械振动、潮湿空气侵蚀，绝缘层易破损。当绝缘失效，电流便会通过破损处流入接地部分，使原本不带电的金属结构带上危险电压。若乘客在不知情的情况下接触这些带电部位，电流将瞬间经人体导入大地，引发触电事故。即使是短暂触碰，也可能导致人体肌肉痉挛、呼吸麻痹，严重时甚至会直接破坏心脏等重要器官的正常生理电信号，致使心脏骤停，危及生命。

2.2 安全回路短接

接地故障往往是安全回路短接的导火索。电梯安全回路串联着限速器开关、门锁开关、安全钳开关等关键安全装置，肩负监测电梯运行状态、保障乘梯安全的重任。接地故障致使线路绝缘受损后，不同线路间的电位平衡被打破，原本相互独立的线路可能意外导通，造成安全回路短接。短接发生后，安全开关即便检测到异常，信号也无法正常传递，电梯控制系统收不到故障信息，无法及时触发制动装置。此时电梯就像脱缰野马，一旦发生门锁异常打开、超速运行等紧急状况，也难以有效制停，大大增加了冲顶、蹲底、开门走梯等严重事故的发生几率。

2.3 设备损坏

接地故障对电梯设备自身的损害也不容小觑。故障引发的异常电流会在电气系统内肆意乱窜，导致局部电流过大，使电机、控制器、传感器等核心设备过热。

电机长时间过热运转，绕组绝缘加速老化，最终可能短路烧毁；控制器内精密的电子元件对电流稳定性要求极高，异常电流冲击易造成元件击穿、焊点脱落，致使控制程序混乱，电梯运行逻辑失常；传感器受干扰后，反馈给控制系统的信号失真，电梯平层精度下降，频繁出现过冲、欠冲现象，加剧机械部件磨损^[1]。

3 电梯电气安全回路接地故障保护功能检验方法

3.1 静态检验方法

3.1.1 接地电阻测量

接地电阻是衡量电梯接地系统有效性的关键指标，其数值直接影响接地故障保护功能的可靠性。测量时，通常采用专用接地电阻测试仪，通过在接地极与辅助电极间施加特定频率的电流，测量两者间的电位差，经公式计算得出接地电阻值。根据相关标准，电梯电气安全回路的接地电阻一般要求不大于 4Ω 。若测量值超标，意味着接地系统对故障电流的疏导能力下降，漏电时外壳电位升高，增加人员触电风险。测量过程中，需确保测试环境稳定，排除土壤湿度、周边干扰等因素影响，定期复测以保证数据准确性，为电梯安全运行筑牢基础。

3.1.2 绝缘电阻测量

绝缘电阻测量旨在检测电气线路及设备绝缘层的完好程度，防止因绝缘失效引发接地故障。利用绝缘电阻表（兆欧表），在断电状态下对安全回路各电气部件、线路间施加额定直流电压，测量其绝缘电阻值。不同电压等级的设备对应不同的绝缘标准，如动力线路绝缘电阻应不低于 $0.5M\Omega$ ，控制线路不低于 $1M\Omega$ 。若绝缘电阻下降，表明绝缘层存在老化、破损或受潮情况，可能导致线路漏电或短路。通过全面测量各分段线路、电气元件间的绝缘电阻，可精准定位绝缘薄弱点，及时采取修复或更换措施，避免接地故障发生，保障电梯电气系统绝缘性能达标。

3.1.3 接地线连接检查

接地线是接地故障保护的关键通路，其连接质量直接关系故障电流能否有效导入大地。检查时，需目视观察接地线的材质、规格是否符合设计要求，确保其具备足够的机械强度和导电性能。同时，重点检测接地线与接地极、电气设备外壳的连接点，查看螺栓是否紧固、焊接处是否牢固，有无锈蚀、松动、断裂等情况。对于采用压接方式的连接点，需检查压接端子的接触电阻，防止因接触不良导致接地回路电阻增大。此外，还应确认接地线敷设路径无外力损伤、未与其他带电体接触，通过定期检查维护，保证接地连接的可靠性，使接地故障保护功能在紧急情况下能迅速发挥作用。

3.2 动态检验方法

3.2.1 全载工况下的动态参数获取

全载工况下的动态参数获取是检验电梯接地故障保护功能在实际运行状态可靠性的重要手段。在电梯承载额定重量，进行全程上下运行过程中，利用高精度电流、电压传感器实时采集安全回路的电流波动、接地线上的泄漏电流、设备外壳电位等参数。当电梯处于满载状态时，电气系统负载达到峰值，接地系统需承受更大的电流冲击，此时若存在接地故障隐患，参数会出现异常波动。通过分析这些动态数据，可判断接地系统在复杂运行工况下的故障电流疏导能力，及时发现接地电阻变化、绝缘性能下降等潜在问题，确保电梯在极端负载条件下仍能有效保护人员和设备安全。

3.2.2 抗干扰检测

现代建筑环境中，电梯电气系统面临着大量电磁干扰，抗干扰检测可验证接地故障保护功能在复杂电磁环境下的稳定性。通过模拟外界电磁干扰源，如高频无线电信号、大功率电气设备启停产生的脉冲干扰，向电梯电气安全回路注入不同强度和频率的干扰信号。同时，监测接地系统的运行状态，观察接地电阻、绝缘电阻等关键参数是否因干扰发生异常变化，以及安全回路能否正常工作、保护装置是否误动作。若接地系统抗干扰能力不足，可能导致故障信号误判或保护功能失效。通过抗干扰检测，可评估接地系统的屏蔽性能和信号稳定性，优化接地设计，提高电梯在复杂电磁环境中的运行安全性。

3.2.3 模拟接地故障试验

模拟接地故障试验是直接验证接地故障保护功能有效性的关键环节。在确保安全的前提下，人为制造可控的接地故障场景，如在安全回路中设置绝缘层破损、线路与接地体短接等模拟故障。通过监测保护装置的响应时间、动作逻辑，判断其能否迅速切断电源或触发报警信号，将故障危害降至最低。同时，记录故障发生前后接地电阻、电流分布等参数变化，分析接地故障保护系统的故障识别和处理能力。试验过程需严格遵循安全规范，多次重复模拟不同类型故障，全面评估保护功能在各种接地故障情况下的可靠性，为电梯接地故障保护系统的性能优化提供数据支持。

3.3 特殊工况下的检验方法

3.3.1 潮湿环境模拟

潮湿环境易加速电气设备绝缘老化，引发接地故障。在潮湿环境模拟检验中，利用人工气候箱或专用试验舱，将电梯电气安全回路的关键部件置于高湿度环境

(如相对湿度90%以上)中持续一定时间,模拟地下停车场、雨季等潮湿场景。试验期间,通过测量绝缘电阻、接地电阻的变化,监测线路和设备是否因受潮出现漏电或短路风险。同时,观察保护装置在潮湿环境下的工作状态,检查其是否能正常响应接地故障信号。一旦发现绝缘性能下降、保护功能异常,可及时排查隐患,采取防潮、除湿等措施,保障电梯在潮湿环境中安全运行。

3.3.2 雷电浪涌冲击试验

雷电产生的浪涌电压会对电梯接地系统造成巨大冲击,威胁设备安全。雷电浪涌冲击试验采用浪涌发生器,模拟直击雷、感应雷等不同类型的雷电脉冲,向电梯电气安全回路施加规定强度的浪涌电压和电流。通过监测接地系统的残压、分流能力,评估其对浪涌能量的吸收和疏导效果。同时,观察保护装置是否能在浪涌冲击下正常工作,避免因过电压导致元件损坏或保护功能失效。若接地系统无法有效抵御浪涌冲击,需优化防雷接地设计,加装浪涌保护器等设备,提升电梯在雷雨天气下的防雷击能力。

3.3.3 长斜坡隧道工况检验

长斜坡隧道环境下,电梯运行工况复杂,接地系统面临特殊挑战。在长斜坡隧道工况检验时,模拟实际坡度和隧道环境,让电梯在倾斜轨道上运行,同时监测接地系统在振动、坡度变化及隧道内电磁环境干扰下的性能。通过采集接地电阻、电流波动等参数,分析接地系统是否因振动导致连接松动,或因坡度变化影响故障电流疏导。此外,还需检验安全回路在隧道复杂电磁环境下的稳定性,确保接地故障保护功能不受干扰,保障长斜坡隧道电梯在特殊工况下的可靠运行。

3.4 综合诊断流程

3.4.1 五级诊断流程

五级诊断流程构建起从初步筛查到深度剖析的系统化评估体系。一级诊断为外观巡检,通过目视检查接地线连接、设备标识等基础状况;二级诊断开展静态参数测量,测定接地电阻、绝缘电阻等关键数据;三级诊断实施动态运行监测,在电梯负载运行时采集电流、电压波动信息;四级诊断进行专项故障模拟,如人为制造接地故障验证保护响应;五级诊断则基于前四级数据,运用大数据分析和专家系统,综合评估接地故障保护功能的可靠性与潜在风险。每级诊断均设定明确标准与阈

值,若某级检测异常,即刻触发升级诊断,确保故障隐患无处遁形,实现对电梯接地系统的精准评估。

3.4.2 环境变量控制

环境变量显著影响电梯接地系统性能,精准控制是保障检验准确性的关键。在检验前,需明确环境参数标准,如温度保持在 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度40%-60%,避免温湿度波动干扰绝缘电阻测量结果。针对电磁环境,划定检测区域内大功率设备的使用规范,或采用屏蔽措施隔离干扰源。在特殊工况模拟中,严格控制环境变量的模拟精度,如潮湿环境的湿度值、雷电浪涌的波形参数等。同时,设置环境监测设备实时记录环境数据,一旦超出允许范围,立即暂停检测并调整,确保检验结果真实反映接地故障保护功能在标准环境下的实际性能。

3.4.3 检验记录与报告

规范的检验记录与报告是评估结果的直观体现和后续维护的重要依据。记录环节要求详细记录检验时间、人员、设备型号,完整留存接地电阻、绝缘电阻等原始测量数据,以及动态运行、模拟试验中的波形图、响应时间等关键信息。同时,对发现的问题进行拍照、录像存档,并标注具体位置与异常描述。报告编制需遵循统一模板,包含检验概况、检测结果汇总、问题分析及整改建议。报告内容需数据详实、逻辑清晰,经多级审核确认后,及时反馈给使用单位和监管部门,为电梯接地系统的维护升级提供科学指导,形成检验闭环管理^[3]。

结束语

电梯电气安全回路接地故障保护功能检验,是保障电梯安全运行的关键防线。从静态参数测量、动态工况测试到特殊环境模拟,再结合综合诊断流程,多维度检验方法形成严密体系,有效降低漏电触电、回路短接等风险。然而,电梯安全管理需持续精进,随着技术发展及使用环境变化,检验标准和方法也应不断优化。

参考文献

- [1]赵亮.电梯电气安全回路接地故障保护功能检验方法研究[J].城市建筑空间,2022,29(S1):370-371.
- [2]苏宇航,杨宁祥,张锡林,李继承.《电梯与自动扶梯电气安全回路接地故障检测方法》标准研究及解析[J].中国质量与标准导报,2019(11):144-146.
- [3]刘敬强.电梯安全回路接地故障防护问题探讨[J].技术与市场,2017,24(11):153+155.