

电梯关键安全部件检验要点与风险识别方法

马浩栋 胡琦迪 杨骥杰
宁波市特种设备检验研究院 浙江 宁波 315000

摘要: 电梯作为特种设备,其安全性高度依赖于限速器、安全钳、制动器、门锁等关键部件的可靠运行。本文系统梳理了电梯关键安全部件的功能特性与失效模式,提出了针对性的检验要点与技术标准,并构建了基于故障模式分析的风险识别方法。通过建立多层次风险评估指标体系,形成了检验与风险识别相融合的实施策略。研究表明,将检验要点与风险识别方法有机结合,能够有效提升电梯安全隐患的预判能力和检验工作的针对性,为电梯安全运行提供技术保障。

关键词: 电梯安全部件; 检验检测; 风险识别; 故障模式分析; 安全评估

引言: 电梯已成为现代建筑不可或缺的垂直交通工具,其运行安全直接关系到人民群众生命财产安全。统计表明,电梯安全事故多与限速器、安全钳、制动器、门锁等关键部件的失效有关。本文立足于电梯检验实践,系统分析关键安全部件的检验要点,引入故障模式与影响分析方法,构建风险识别模型,旨在实现从“符合性检验”向“风险预控”的转变,为提升电梯检验的针对性和有效性提供方法论支撑。

1 电梯关键安全部件概述

1.1 关键安全部件定义与分类

电梯关键安全部件是指那些失效后可能导致坠落、冲顶、剪切、溜梯等严重安全事故的装置。根据《电梯监督检验和定期检验规则》及相关标准,关键安全部件主要包括限速器、安全钳、制动器、门锁装置、缓冲器以及电气安全回路等。从功能角度可将这些部件分为三大类:第一类是超速保护装置,包括限速器与安全钳系统,用于在电梯超速时触发机械制停;第二类是正常制动与防溜装置,主要指制动器,负责平层停靠和防止意外移动;第三类是门区安全保护装置,包括层门锁、轿门锁及门连锁电路,防止人员坠落井道或剪切事故。各部件相互独立又协同工作,共同构成电梯的安全防护体系。

1.2 部件功能与失效后果分析

各关键安全部件具有明确的功能分工,其失效后果严重程度各异。限速器作为速度监测元件,当电梯下行速度超过额定速度115%时触发机械动作,带动安全钳制停轿厢。限速器失效(如轮槽磨损、钢丝绳打滑、电气开关粘连)将导致超速保护失效,可能引发坠落事故。安全钳是最终的机械制停装置,其楔块与导轨的配合间隙、动作同步性直接影响制停效果,失效后果同样是坠落。制动器是使用最频繁的部件,负责平层保持和应急

制动,其闸瓦磨损、顶杆卡阻、电气故障会导致溜梯或冲顶^[1]。门锁装置防止层门在非平层区意外开启,啮合深度不足或触点短接会使乘客面临坠落风险。缓冲器作为最后一道防线,在轿厢坠底或冲顶时吸收能量,液压油泄漏或复位失效将削弱其保护能力。每个部件的可靠性都直接关系到乘梯人的生命安全。

2 关键安全部件检验要点

2.1 限速器-安全钳系统

限速器-安全钳系统的检验应围绕动作准确性、联动可靠性、制停有效性三个核心展开。限速器检验时,首先使用限速器动作速度测试仪分别测量机械动作速度和电气开关动作速度,要求电气开关先于机械机构动作,且动作速度在额定速度的115%以内。同时检查限速器轮槽磨损情况,若绳槽深度超过1.5mm应判定为不合格。限速器钢丝绳应无断丝、无严重锈蚀,绳与轮的贴合度良好。安全钳检验重点关注楔块与导轨工作面的间隙,标准要求保持在0.5mm至1.5mm之间且各楔块间隙一致。联动试验时,以检修速度下行,人为触发限速器动作,观察安全钳能否同步提拉并制停轿厢。渐进式安全钳还需进行制停距离核算,根据额定速度计算允许的制停范围。检验后应确认安全钳楔块已完全复位且导轨表面无明显划伤。

2.2 制动器

制动器是电梯最频繁动作的部件,其检验要点集中在制动力矩、动作灵活性和电气监测三个方面。制动力矩验证可采用松闸顶杆法或载荷试验法:在空载工况下,将轿厢置于顶层位置,关闭主电源后手动松闸,观察轿厢是否出现明显溜车;有条件的检验机构可采用制动器加载测试仪进行定量测量。动作灵活性检查要求制动器铁芯动作顺畅、无卡阻,闸瓦与制动轮(或制动

盘)贴合均匀,松闸时两侧同步打开。闸瓦厚度磨损超过原厚度1/2时应建议更换。电气监测方面,检查制动器微动开关是否能正确反映闸瓦状态,两组制动单元应具有独立的电气控制回路,确保任一单元失效时另一单元仍能实施制动。对于永磁同步曳引机的块式制动器,还需关注铁芯行程是否在规定范围内,行程过小可能导致制动力不足。

2.3 门锁装置

门锁装置是防止坠落和剪切事故的核心部件,检验要点包括啮合深度、机械强度、电气触点可靠性以及短接风险排查。啮合深度测量是门锁检验的关键项目,使用塞尺或专用量具测量锁钩与锁座的重叠深度,标准要求不小于7mm(对于新装电梯按新版检规要求)。检验时应分别在层门关闭状态下进行静态测量,以及用检修速度开门时观察锁钩是否在重力或弹簧力作用下自动复位。机械强度检查通过施加一定静拉力(通常为1000N)验证门锁装置不发生永久变形或解锁。电气触点可靠性要求锁紧元件与电气安全触点必须强制分离,即当锁钩未完全啮合时,触点不能闭合^[2]。短接风险排查是检验中的难点,需检查门锁回路是否存在人为短接或跨接现象,可通过观察控制柜内短接线、测量门锁回路电压等间接手段识别。层门自闭功能也需验证,确保任何情况下层门能自动关闭并锁紧。

2.4 缓冲器

缓冲器位于井道底部,在轿厢或对重坠底时吸收冲击能量。检验要点涵盖缓冲器完整性、复位性能、液压系统密封性以及配合尺寸。蓄能型(弹簧)缓冲器主要检查弹簧有无永久变形、严重锈蚀或裂纹,安装垂直度是否符合要求。耗能型(液压)缓冲器重点检查液压油是否泄漏,柱塞表面是否生锈或划伤,油位是否在正常刻度范围内。复位性能试验要求将轿厢压到底部缓冲器上,释放后缓冲器应在规定时间内(通常不超过120秒)完全复位至伸出状态,复位过程中不应有明显卡滞。配合尺寸检验包括检查缓冲器与轿厢或对重的撞击缓冲板位置是否对中,轿厢墩压在缓冲器上时,缓冲器行程是否留有足够余量(一般不小于设计值的80%)。对于耗能型缓冲器,还需验证其复位后的保持能力,即静止状态下不应因自重而缓慢下滑。检验记录应包含缓冲器型号、行程数据及复位时间。

2.5 控制柜与电气安全回路

控制柜与电气安全回路是整个电梯安全系统的“神经中枢”,检验要点在于安全回路完整性、接地连续性、绝缘电阻以及故障自诊断功能。安全回路串联了所

有安全部件(限速器开关、安全钳开关、门锁回路、急停开关、相序继电器等)的电气触点,检验时需逐个人为触发各安全开关,观察电梯是否立即停止运行并无法自动复位。电气安全装置的类别和动作方式应符合GB 7588的要求。绝缘电阻测试使用500V兆欧表测量主电路和控制电路对地绝缘电阻,动力电路不应低于0.5M Ω ,控制电路不应低于0.25M Ω 。接地连续性检查确保所有外露可导电部分与接地端子之间电阻小于0.1 Ω 。控制柜内应检查接触器、继电器触点有无粘连或烧蚀,主控板是否有异常发热。此外,现代电梯的微机控制系统具有故障记录功能,应读取存储的故障代码,分析是否存在频繁的误动作或硬件异常。相序保护功能也需验证,防止因电源相序错误导致电梯运行异常。

3 风险识别方法与模型构建

3.1 风险识别框架

风险识别核心在于检验工作从“合格/不合格”的二元判断转变为对潜在风险的等级化预判。本文构建“来源-模式-后果”三维风险识别框架:来源维度分析部件失效根因,包括使用环境、维护质量、自然老化、设计缺陷;模式维度描述失效表现形式,如磨损、疲劳等;后果维度评估失效危险等级,分为坠落、剪切等四级。检验人员据此系统排查关键部件,将异常现象映射到对应来源与模式,预判风险后果。该框架强调预见性,即便参数在标准内,若劣化趋势明显,也应识别为中高风险并预警,其应用要求检验人员具备扎实理论与丰富经验。

3.2 风险因素分类

基于电梯关键安全部件的特性,本文提出五类风险因素分类方法。第一类是机械磨损类风险,主要包括制动器闸瓦磨损、限速器轮槽磨损、门锁锁钩磨损、钢丝绳断丝等,这类风险通常随使用时间线性增长,可通过定期测量磨损量进行量化评估。第二类是腐蚀与污染类风险,涉及液压缓冲器柱塞锈蚀、控制柜线路板受潮腐蚀、安全钳楔块油污附着等,潮湿或腐蚀性环境会加速此类风险。第三类是松动与间隙异常类风险,包括安全钳楔块与导轨间隙不当、制动器铁芯行程变化、门锁啮合深度减小,多由振动或不当调整引起。第四类是电气类风险,涵盖门锁触点粘连、安全继电器粘连、绝缘老化、接地不良等,往往呈现突发性。第五类是管理与人为了类风险,最典型的是门锁回路短接、维保记录造假、安全部件超期未更换等。五类风险相互交织,例如电气类风险可能源于腐蚀,机械磨损会触发开关误动作,检验时需综合判断^[3]。

3.3 风险评估指标体系

为量化风险程度,构建包含三个层级、十二项指标的风险评估体系。第一层级为部件重要度,依据失效后果严重程度赋值:导致坠落或剪切的部件(安全钳、门锁)为高风险权重,导致溜梯或冲顶的部件(制动器、限速器)为中高风险,导致困人或设备损坏的部件(缓冲器、电气回路)为中等风险。第二层级为失效概率,依据历史检验数据和使用年限估算:使用超过10年的部件失效概率显著上升,检验发现轻微异常时概率增加。第三层级为可探测度,指通过常规检验手段发现问题难易程度:如短接行为难以直接观察到,可探测度低,风险等级应上调。综合评分采用风险优先数(RPN)方法: $RPN = \text{严重度} \times \text{发生频度} \times \text{探测度}$,每个维度按1-5分赋值,RPN大于60判定为高风险,30-60为中风险,低于30为低风险。检验机构可根据RPN分级决定后续检验加严程度或缩短维保周期,实现差异化管理。

4 检验与风险识别的实施策略

4.1 检验周期与标准依据

电梯检验应遵循法规标准体系,合理确定检验周期。现行主要标准依据包括《电梯制造与安装安全规范》(GB 7588)、《电梯监督检验和定期检验规则》(TSG T7001)及《电梯维修规范》(GB/T 18775)。定期检验周期一般为一年,但对于使用年限超过15年的老旧电梯,或RPN高风险项较多的设备,建议缩短至6个月一次。年度检验应覆盖全部关键安全部件,其中限速器每两年需进行动作速度校验,耗能型缓冲器每年检查液压油状况。对于高风险部件,建议增加专项检验:制动器每季度进行一次制动力验证,门锁触点每半年进行一次导通电阻测量。标准更新时需及时调整检验要求,检验人员应做好新旧标准衔接。检验记录应完整保存至少两个检验周期,便于风险趋势分析。

4.2 数字化检验技术应用

数字化技术正在提升检验效率和风险识别准确性。限速器动作速度测试已普遍采用数字化测试仪,可直接读取动作速度值并生成曲线图表,相比传统转速表更加精准。制动器性能评估可引入红外热成像技术,通过检测制动轮表面温度分布判断闸瓦贴合是否均匀,热点异常区域提示偏磨。门锁触点检查可采用微电阻测量仪,接触电阻小于 0.5Ω 为良好,超过 2Ω 提示氧化或烧蚀。

物联网技术实现远程监测:在关键部件安装传感器,实时采集制动器动作次数、门锁回路电压等数据,系统自动分析异常并推送预警。手持式智能检验终端可集成标准数据库、检验流程引导等功能,实现检验过程的无纸化。检验机构应建立检验数据平台,积累历史数据用于风险模式挖掘^[4]。

4.3 风险管控措施

基于风险识别结果,制定差异化管控措施,形成“检验-评估-干预-验证”闭环。对于高风险项($RPN > 60$),应立即干预:制动器制动力不足应停止使用电梯;门锁啮合深度低于标准应即刻调整。同时将高风险信息通报使用和维保单位,明确整改时限。对于中风险项($30 \leq RPN \leq 60$),纳入重点监控,制定专项维保计划缩短检查间隔,如安全钳楔块间隙接近临界值时每半月检查一次。低风险项保持常规检验。预防性更换策略方面,限速器钢丝绳使用超过8年应建议更换,液压缓冲器密封件超过6年易老化。检验机构应建立风险案例库,用于人员培训。每次检验完成后应出具风险评价报告,明确各部件剩余风险等级和管控建议。

结束语

电梯安全关键部件的可靠性是保障乘梯安全的基石。本文系统分析了限速器-安全钳系统、制动器、门锁、缓冲器等部件的检验要点,建立了基于失效模式和风险优先数的识别方法,形成了检验与风险管控相融合的实施策略。研究表明,检验工作应树立风险预控理念,通过识别劣化趋势和潜在失效模式,实现从被动检验向主动预防的转变。数字化技术的引入将进一步提升风险识别精准性。本文成果可为电梯检验人员提供技术参考,为特种设备安全监管提供方法支撑。

参考文献

- [1]李欣桐. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 中国设备工程,2026(6):179-181.
- [2]周南,施铮. 电梯制动器常见失效形式与检验要点研究[J]. 模具制造,2025,25(6):246-248,251.
- [3]张学斌. 电梯限速器的定期检验分析[J]. 机电工程技术,2022,51(12):306-308.
- [4]邢丽媛. 浅析电梯制动器常见失效形式及检验要点[J]. 中国机械,2022(4):68-70.