

电梯制动器检验中的常见失效问题及处理方法探究

秦炼军

广东省特种设备检测研究院

DOI:10.32629/etd.v6i12.19225

[摘要] 通过了解电梯制动器的机构与工作原理,从机械故障和电气系统故障失效两大类介绍了电梯制动器常见的失效形式,总结出电梯制动器失效原因,提出了电梯制动器失效问题的预防措施,为维保故障诊断及检验检测研究提供理论支撑。

[关键词] 电梯制动器; 检验方法; 失效形式; 封星制动

中图分类号: TU857 **文献标识码:** A

Exploration of Common Failure Problems and Treatment Methods in Elevator Brake Inspection

Lianjun Qin

Guangdong Institute of Special Equipment Inspection and Research

[Abstract] By understanding the structure and working principle of the elevator brake, this paper introduces the common failure modes of elevator brakes from two categories: mechanical failure and electrical system failure. It summarizes the causes of elevator brake failure and proposes preventive measures for elevator brake failure problems, providing theoretical support for maintenance fault diagnosis and inspection research.

[Key words] elevator brake; inspection method; failure mode; star-connected braking

引言

近年来,制动失效引发的“冲顶”“蹲底”等故障与事故频发,造成了严重的人员伤亡和财产损失,引发了社会各界的广泛关注。据市场监管总局电梯安全通报,截至2024年年底,我国在用电梯发生事故41起,其中因设备缺陷、维护保养不到位造成的安全附件失效及安全保护装置失灵的事故原因约占18.64%^[1]。因此,通过研究电梯制动器在检验中常见的失效问题及处理方法,可将安全风险控制在萌芽阶段,筑牢电梯安全使用防线。

1 电梯制动器结构及形式分类、工作原理

1.1 构成部件及结构形式分类

电梯制动器是电梯安全系统的关键部件,主要负责在电梯停止运行或电源断电时实施制动,确保轿厢可靠停留在平层位置,避免溜车、冲顶等安全事故。就电梯制动器的机械结构来看,电梯制动器由执行机构、传动机构、制动副、辅助装置四大模块组成,电梯制动器结构形式分类为:①鼓式制动器,早期电梯、小型货梯,目前已逐步被盘式或块式制动器替代;②块式制动器(蹄式制动器),多用于低速电梯(速度 $\leq 1.75\text{m/s}$)、货梯及老旧电梯的曳引机,结构简单、维护成本低。③盘式制动器,高速客梯、超高速电梯(速度 $> 3.0\text{m/s}$)、扶梯/人行道,具有制动平稳、响应速度快、磨损均匀等优势。

1.2 工作原理

电梯制动器须具备常闭特性、双回路冗余设计及失效保护功能,可在电梯超速、断绳、断电等异常工况下快速制动,确保轿厢可靠停驻。遵循“常闭制动、通电松闸”的安全设计原则,通过电磁吸力与弹簧弹力的力学平衡实现制动状态切换,具体分为三个工况:一是正常运行工况(松闸状态),电梯控制柜输出励磁信号,电磁线圈通电产生电磁吸力,克服制动弹簧的预紧力,吸引衔铁向铁芯移动,制动瓦远离制动轮/制动盘,形成设定间隙,制动轮/制动盘随曳引机输出轴同步旋转,电梯正常运行;二是制动工况(抱闸状态),电梯平层停车时,摩擦副产生的摩擦力矩克服电梯惯性力矩与负载力矩,使轿厢平稳停驻;三是紧急制动工况(失效保护状态),当电梯出现超速(超过额定速度115%)、断绳、断电等异常时,安全钳触发装置或控制柜紧急制动信号同步启动制动器;双线圈制动器在单线圈失效时,另一线圈仍可提供足够吸力松闸,或通过弹簧力强制抱闸;制动过程中,制动器与安全钳、限速器形成联动保护,确保轿厢在 $\leq 1.5\text{g}$ 的减速度下停驻。

2 电梯制动器失效表现及机理分析

电梯制动器属于“低速重载、频繁启停”场景下的特种制动装置,我以老旧电梯使用的鼓式制动器为例,其失效模式如疲劳磨损、电磁兼容性失效、环境适应性衰减等,通常分为机械故障失效^[2]和电气故障失效^[3]两大类,前者的典型失效原因为:制动器铁芯卡阻、制动轮油污、制动闸瓦磨损等;后者主要是由

于制动器线圈故障所引起的失效表现,如:制动器线圈控制回路设计缺陷、接触器触点粘连、回路的接线不规范。

2.1 机械故障核心部件耗损机理导致的制动失效

2.1.1 制动闸瓦磨损

制动闸瓦(制动衬)是直接摩擦制动轮的摩擦元件,其磨损程度与制动摩擦力 f_s 紧密相关。电梯运行时,若控制系统发出松闸指令,制动臂组件因弹簧预紧力调整不当或传动机构卡顿出现机械延迟、不能完全张开,制动轮与闸瓦接触间距过小,摩擦力 f_s 会持续作用于非工作区域。长期超范围摩擦会加速闸瓦磨损,出现闸皮减薄、表面沟壑化等现象。闸瓦磨损至临界值以下,制动轮与闸瓦无法有效接触,制动力矩难以满足轿厢制动需求,会引发“溜车”或“冲顶”事故。

2.1.2 制动器铁芯卡阻

电梯制动器铁芯作为电磁控制核心部件,其顺畅吸合与复位直接决定制动器动作可靠性。铁芯卡阻会导致制动器拒动、响应滞后,甚至引发轿厢溜车等安全隐患,结合机械结构特性与实际工况,分析核心部件磨损机理,其卡阻原因可从机械磨损、设计缺陷、环境侵蚀、润滑失效、安装偏差、部件劣化、维保不当等维度展开分析,在实际工况中,铁芯卡阻多为“多因素叠加”导致:例如,安装同轴度偏差(初始缺陷)会加剧机械磨损,磨损增大配合间隙后,更易侵入粉尘与油污(环境因素),进而引发润滑失效,三者形成“偏差-磨损-污染-卡阻”的恶性循环,加上维保不当,如不及时检修维护,引发严重安全事故^[4]。

2.1.3 制动轮油污

制动轮与闸瓦间摩擦系数对油污高度敏感,被污染会大幅降低制动性能。油污有两种来源:一是外部污染,如维保误涂润滑油、曳引机漏油渗染;二是内部泄漏,减速器油封因制造工艺缺陷破裂后,齿轮油在离心力作用下渗入接触区域。油污会在闸瓦表面形成油膜,使摩擦副间变为液体润滑,导致摩擦系数下降。此时,即便弹簧力正常施加,制动力矩也无法满足,轿厢会出现“滑移”现象,甚至引发坠落事故。

2.2 电气故障导致的制动失效

2.2.1 电梯制动器线圈控制回路的设计缺陷

电梯制动器的断开与闭合需设置两个独立接触器并实时控制。但部分电梯系统设计中,制动器线圈控制回路配置不规范,存在接触器数量不足或功能集成度过高的缺陷,导致制动器通断控制缺乏独立性校验,有控制逻辑混乱或失效风险。同时,电气控制系统对接触器的保护功能有系统性缺陷:一是缺乏对接触器运行状态的实时监控,难以及时发现触点接触不良、线圈过热等故障;二是状态反馈信号传输路径有设计漏洞,使控制系统无法精准识别制动器实际工作状态,因故障信息失真或传输不及时导致制动失效。

2.2.2 控制制动器线圈得电的接触器触点粘连问题

接触器作为重要执行元件,其触点动作时间与频率有较强周期性。长期工作时,触点材料因电弧、机械磨损等出现物理性能衰减,导致接触电阻增大、稳定性下降,加上运维人员维护不

及时,会加大故障影响。例如,并联触点粘连时,制动器线圈持续得电,控制系统因监测机制失效无法识别异常,可能导致电梯制动器执行错误释放命令,增加运行安全风险。

2.2.3 控制制动器线圈回路的接线不规范

电气控制系统安全设计要求制动器线圈回路接线遵循“电源正极→控制触点开关→制动线圈→电源负极”单向通路原则,确保电流路径单一可控。若线圈末端至电源负极线路绝缘破损、导体裸露搭接金属外壳(对地短接),短接点与接地系统等电位连接,相当于制动线圈直接并联至电源两端(忽略线路阻抗)。此时,线圈持续承受额定电压保持励磁,制动器机械结构强制释放,电梯失去制动力矩。这种接线缺陷本质是未严格执行回路绝缘防护标准,外部导电介质(如金属粉尘、潮湿环境)成为故障诱因,通过接地短路故障导致制动系统失控,构成严重安全隐患。

3 某电梯检验中的制动失效分析与处理实践

3.1 案例背景

本案中的受检电梯为永磁同步曳引驱动式乘客电梯(额定载重1000kg,运行速度2.5m/s)。检验人员按照说明书,通过操作服务器启动测试程序,在制动器打开状态下驱动空载轿厢以 ≤ 0.3 m/s速度上行1.2m后,系统显示“SUCC”表明其他制动装置初始动作成功。随后分别对带电和断电两种工况进行紧急操作测试:当断开主电源后手动松开制动器,轿厢加速上行失控(符合TSG T7007—2022对供电失效时该装置可不起作用的规定);但在主电源连通状态下手动松开制动器,轿厢仍加速上行。检验结果显示该电梯制动器在正常供电时无法有效制停轿厢,判定为功能失效^[5]。

3.2 失效分析

检验人员查阅了该电梯的动力回路电气原理图,发现其采用接触器封星来实现其他制动装置,具体原理为:当电梯正常运行时,运行接触器SW得电吸合,封星接触器FX触点断开;电梯停止时,SW失电,FX触点闭合,此时短接曳引机M的三相绕组实现制动。通过电气原理图与实际接线图对比发现,安装人员将曳引机动力线U、V、W错误地接入变频器输出端,而非运行接触器SW的输出端。这导致运行接触器SW和封星接触器FX被“跨接”,即两者未被正确接入主电路。尽管电梯正常运行不受影响(SW和FX动作反馈正常),但封星制动功能在制动器手动打开时失效,因为SW断开状态下FX无法短接绕组。由于存在以上错误接线,导致系统无法检测出潜在故障。检验中按照制造单位的测试程序进行“模拟”操作,虽然打开制动器时曳引机未得电,但实际紧急操作中,SW断开引起FX失效,造成轿厢失控加速运行,存在严重的安全事故风险。

3.3 处理方法

(1)安全准备。先做好电梯主电源开关断电、现场隔离、悬挂“禁止合闸”警示牌等安全措施,并专人监护;用万用表测动力线端子(U/V/W)对地电压,确认电压 ≤ 5 V;随后用专用放电棒接触DC+/-端子对变频器直流母线电容放电,放电不少于10s;最后拆除错误接线前,用标签机打印线缆编号(U1/V1/W1),并拍摄

原始接线照片存档。(2)重新接线操作。首先,更换为三色防错端子排(黄-U相、绿-V相、红-W相),使其与产品说明书电气原理图色标一致,进行端子排压接。接着,按图2电梯动力回路电气原理要求,将动力线从变频器输出端移至运行接触器SW输出端,U相接入SW-U(黄标),V相接入SW-V(绿标),W相接入SW-W(红标)。接线后进行验证:①用万用表测量各相之间、相与PE线之间的绝缘电阻,要求 $\geq 1M\Omega$ (500V兆欧表);②检查相序正确性(可通过变频器相序检测功能或电机点动测试确认);③模拟运行时监测端子压接处温度,无异常发热($\leq 60^{\circ}C$)。最后,采用双重绝缘防护,线缆加套阻燃波纹管固定;端子压接处用耐温热缩管密封,防止搭壳短路;PE接地线独立穿管敷设,与动力线间距保持 $\geq 10cm$,预防电磁干扰。确保接线的安全性、可靠性与合规性,完全符合电梯检验中对电气接线的验收标准。(3)自检与参数校准。首先,进行接触器动作测试,短接安全回路,手动触发SW吸合/断开,用示波器监测FX动作延迟,若延迟超差,调节FX控制回路限流电阻,确保延迟 $\leq 30ms$ 。接着,调整FX控制回路电阻,保证动作同步。最后,进行封星电流校验,测量封星瞬间电流(正常值,该数值需结合电机功率、设备类型等确定),步骤如下:①模拟制动器打开(服务器触发松闸指令);②记录封星瞬间电流峰值(持续 $\leq 200ms$);③重复3次取平均值。若电流大于正常值,需根据封星回路的实际电压、电流计算实际功耗来选取增装限流电阻。电阻安装后需重新进行封星电流校验,确保峰值电流回落至允许范围内。同时检查电阻表面温升,温升不得超过 $120^{\circ}C$,避免因过热导致电阻性能下降或损坏。若温升超标,应选用更高功率等级的电阻或优化散热条件。整个校准过程需记录原始数据与

调整参数,形成闭环验证,校准完成后,恢复安全回路接线,清除变频器故障记录确保接触器动作特性与封星电流稳定可靠,满足设备安全运行要求。

4 结语

电梯制动器是电梯安全运行的核心保障,其失效多由机械系统的闸瓦磨损、铁芯卡阻、制动轮油污等损耗,以及电气系统的回路设计缺陷、接触器触点粘连、接线不规范等故障导致,易引发“溜车”“冲顶”等安全事故。实践表明,防范失效需严格遵循GB 7588-2023等标准,规范安装接线、强化定期维保检修与精准参数校准,针对性化解隐患。同时要提升检验检测与故障处置能力,闭环管控风险,筑牢电梯安全防线,为公众出行安全与行业高质量发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]《市场监管总局特种设备安全监察局.2024年全国电梯安全状况通报》[R].北京:市场监管总局,2025.
- [2]梁广焜.电梯制动器机械损耗失效导致机械卡阻和动作监测研究[J].中国电梯,2022,33(1):25-31.
- [3]王军泉,杨勇,刘城铭,等.电梯鼓式制动器控制电路故障案例分析及预防措施[J].中国电梯,2025,36(9)74-76.
- [4]《云南省昆明市盘龙区“2·18”一般电梯事故调查报告》,2025.7.9
- [5]汪正盛,李荟瑜,牛长建.一则因接线错误导致的永磁同步曳引驱动电梯封星制动失效的检验案例[J].中国电梯,2025,36(5):44-45.