

电梯安全回路设计及常见故障排查

张岩、郭方

摘要：安全回路是电梯安全保护体系的核心电气单元，依靠串联式安全开关实现全工况运行联锁保护，直接管控电梯启停逻辑与故障急停动作。不合理的回路设计、元器件老化、环境干扰是诱发回路故障的主要诱因，故障多发会造成电梯困梯、停运等安全隐患。本文梳理电梯安全回路结构组成与标准化设计要点，归纳现行回路设计短板，分类总结安全回路典型故障类型与形成诱因，结合分段检测、电位测量等实操方法建立系统化故障排查流程，提出回路优化设计与常态化维保管控方案。

关键词：电梯；安全回路；电气设计；故障排查；安全保护

1 引言

电梯作为高层民用建筑关键垂直运载特种设备，安全回路贯穿机房、轿厢、井道、底坑全空间，串联全部安全保护开关，是实现故障瞬时停机的基础性电气结构。现行国标规范明确要求，安全回路任意点位断开后，电梯主控系统应立即切断驱动电源，终止所有运行指令。

老旧电梯普遍沿用传统单串联回路设计，存在抗干扰能力弱、故障点位排查繁琐、无分段故障提示等缺陷，安全回路故障占电梯整机电气故障三成以上。本文基于行业运维现状，开展安全回路设计优化与故障排查研究，对提升电梯运行可靠性、落实特种设备安全管理规范具备现实工程价值。

2 电梯安全回路系统组成与设计规范

2.1 回路基础组成

安全回路由电源单元、安全开关组、安全继电器、主控反馈端子四部分构成。安全开关按照安装区域划分为四大类别。机房区域包含控制柜急停开关、相序保护继电器、电机热保护开关、限速器电气开关；轿体区域包含轿内操纵箱急停、轿顶检修急停、安全窗开关、安全钳动作开关；井道区域设置上下极限保护开关；底坑配置缓冲器开关、断绳保护开关、底坑检修急停开关，全部开关以串联模式接入回路干线。回路通电后全部触点导通，安全继电器线圈得电吸合，主控板采集回路导通信号，电梯具备启动运行条件。

2.2 常规设计原则

安全回路设计严格遵循特种设备电气安全准则，第一采用低压独立供电模

式，隔离动力主回路电源，规避动力侧电压窜扰损坏控制元件；第二落实触点常闭接入原则，全部安全开关常态保持闭合，故障动作后触点断开，实现失电保护；第三分区布线设计，机房、轿厢、井道、底坑线路分束敷设，强弱电线线路物理分隔，减少电磁耦合干扰。传统单串联回路为行业主流方案，新型智能电梯逐步采用分段采集式回路设计，增设分区信号采集节点，缩短故障排查周期。

2.3 现有设计短板

传统全串联回路缺少分段故障监测点位，单点断路需要全线路逐段排查，检修效率偏低；回路未增设浪涌防护元件，电网瞬时电压波动易造成继电器误动作；底坑、井道线路长期处于潮湿环境，常规线缆绝缘防护等级偏低，极易出现绝缘破损、接地漏电隐患；老旧产品缺少故障代码反馈设计，主控系统无法精准定位故障区段。

3 安全回路典型故障及成因分析

3.1 回路全线断路故障

故障表现为安全继电器无法吸合，电梯内外呼指令全部失效，快慢车均无法启动。主要诱因包含安全开关机械卡滞导致触点分离、接线端子氧化松脱、线缆老化断线、相序缺相触发相序继电器动作、电机过载致使热保护开关跳开。底坑缓冲器受轿厢撞击后未自动复位，缓冲器开关持续断开是底坑点位高频故障诱因。

3.2 运行过程回路误断开

电梯正常启停中途无故急停，无外力触发安全部件。故障诱因集中在开关安装松动，电梯运行振动造成触点瞬时分离；线缆长期摩擦破皮间歇性接地；周边变频器、接触器产生电磁干扰，引发继电器线圈瞬时失电；环境潮湿造成触点氧化虚接，负载变化时回路随机断开。

3.3 开关触点粘连故障

安全部件触发动作后，回路仍保持导通，保护功能失效，是高危安全故障。成因多为开关长期大电流通断，触点电弧烧蚀粘连，机械弹簧疲劳失效无法分断触点；粉尘、油污堆积在触点间隙，造成异常导通。

3.4 线路绝缘性能劣化故障

绝缘电阻低于规范阈值，线缆对地漏电，严重时出现短路跳闸。井道、底坑线路受潮渗水、线缆被井道杂物划伤绝缘层、线缆长期高温老化是主要诱因，绝缘下降会间接诱发回路短路、开关误动作等次生故障。

4 系统化故障排查技术与实施流程

4.1 前期故障预判

故障排查优先在机房观察安全继电器工作状态，线圈释放即判定安全回路异常。核对电梯故障代码，新型智能电梯主控可反馈故障分区信息，老旧设备依靠图纸分区排查，按照机房 — 轿顶 — 井道 — 底坑的顺序分段检测，缩小故障范围。

4.2 核心检测方法

断电状态采用电阻分段测量法，依托电气原理图拆分四段回路，万用表欧姆档逐段测量回路阻值，正常区段阻值趋近于零，阻值无穷大代表本段存在断路。带电检测选用电位测量法，从电源进线端依次测量各开关两端电压，电压落差点位即为故障点位。短接法仅在检修工况短时使用，分段短接开关排查故障点，检修结束必须拆除短接线，杜绝安全隐患。绝缘故障采用五百伏绝缘摇表，测量线缆对地绝缘电阻，数值低于标准限值即判定绝缘破损。

4.3 各类故障处置方案

断路故障对氧化触点进行清洁打磨，紧固松动接线端子，断线位置重新压接接线或更换整段线缆；误断开故障加固开关安装基座，更换屏蔽线缆，回路前端增设浪涌吸收元件；触点粘连故障直接更换故障安全开关，同步清理周边粉尘油污；绝缘劣化故障烘干受潮线路，破损线缆做绝缘包裹或整线更换。

5 安全回路优化设计对策

5.1 回路结构优化

在传统串联干线基础上增设分区采集模块，机房、轿厢、井道、底坑四段回路分别接入信号采集点位，主控系统实时采集各区段通断信号，实现故障分区精准定位。重要安全支路增设小型防护熔断器，单点线路故障不会造成整回路瘫痪。高端机型可采用双冗余安全回路设计，两路回路相互联锁，单路故障不直接造成整机停运。

5.2 元器件与布线优化

井道与底坑更换耐潮湿阻燃线缆，提升线路防护等级；安全开关选用带防尘密封结构产品，减少粉尘水汽侵蚀；回路进线端加装压敏电阻、滤波端子，抑制电网浪涌与电磁干扰；强弱电线路分槽敷设，增大动力线缆与安全回路线缆布设间距。

5.3 维保体系优化

建立季度分级巡检制度，机房重点校验继电器与保护继电器工况，轿厢查验各类急停开关触点状态，底坑检查缓冲器、断绳开关复位性能。建立故障台账，统计高频故障点位，针对性开展线路与元器件改造。依托智能监测终端实现安全回路在线监测，异常数据提前预警，实现事后维修向预防性维保转变。

6 结论

安全回路依靠全串联安全开关实现电梯多级安全联锁保护，回路设计缺陷、元器件老化、环境侵蚀、安装不规范是各类故障的核心诱因。断路、随机误跳、触点粘连、绝缘劣化是现场最频发的四类故障，采用分段电阻测量、电位检测、绝缘摇测可高效定位故障点位。

通过增设分区信号采集节点、优化线缆与元器件选型、完善全周期维保制度，能够优化安全回路结构短板，大幅降低故障发生率。在电梯改造与新机设计阶段落实优化方案，可有效提升安全回路稳定性，减少困梯等安全事故，助力电梯特种设备安全管控规范化落地。

参考文献

[1] 余国强. 智能化电梯安全回路检验中常见故障的排查与处理方法 [J/OL]. 中国科技期刊数据库 工业 B, 2026 (1) [2026-03-26].