

地铁屏蔽门安全回路故障分析

张训光

中铁投资集团交通运营有限公司 天津 300450

摘要：地铁屏蔽门安全回路由物理回路和信号监测回路构成，其故障类型包括回路开路、短路及信号异常故障。故障成因主要有硬件设备老化磨损、质量缺陷，环境温湿度、振动、异物影响，以及人为操作与维护不当。诊断时应遵循原则，综合运用直观检查、仪器检测、分段排查等方法。处理需针对故障类型，采取相应措施。此外，还应通过定期维护、环境控制、人员培训等预防措施，降低故障发生率，保障地铁运行安全。

关键词：地铁屏蔽门；安全回路；故障类型；故障成因；诊断与处理

引言：地铁屏蔽门安全回路作为保障列车运行安全的关键系统，其稳定运行至关重要。它由物理回路与信号监测回路构成，通过严谨的工作机制，确保屏蔽门状态正常时列车顺利发车，异常时及时禁止发车并报警。然而，在实际运营中，该回路易受硬件设备损坏、环境因素以及人为操作与维护不当等多方面影响，出现回路开路、短路及信号异常等故障。这些故障不仅会干扰地铁的正常运营秩序，更可能对乘客的生命安全构成威胁。因此，深入剖析其故障类型、成因，并制定科学有效的诊断、处理及预防策略，具有重要的现实意义。

1 地铁屏蔽门安全回路的组成与工作原理

精准剖析地铁屏蔽门安全回路故障，深入理解其组成结构与工作机制是关键前提。地铁屏蔽门安全回路主要由物理回路和信号监测回路两大核心部分组成。（1）物理回路作为安全回路的硬件根基，由导线、接线端子、门锁开关（包含门到位开关、锁闭开关）以及紧急解锁开关等关键硬件构成。导线负责电流的稳定传输，确保电气信号在回路中顺畅流动；接线端子起到连接与固定的作用，保证各硬件之间电气连接的可靠性和稳定性；门到位开关用于检测门是否到达指定关闭位置，锁闭开关则确认门是否已牢固锁闭；紧急解锁开关在紧急情况下可手动触发，以解除门的锁闭状态。这些硬件相互连接，形成一个完整且闭合的电气通路，为安全回路的正常运作提供坚实的物理支撑。（2）信号监测回路承担着对物理回路状态进行实时监测与信号传输的重要任务。它由门控单元（DCU）、中央控制单元（PSC）及相关传感器构成。DCU作为核心控制部件，能够实时采集物理回路的电压信号；PSC负责接收DCU传来的信号，并进行综合分析指令下发；相关传感器则精确感知各种状态参数。（3）其工作原理严谨有序。当屏蔽门正常关闭并锁闭时，门锁开关闭合，物理回路形成通路。

此时，DCU实时采集回路电压信号，若电压处于正常范围（通常为DC24V），则判定安全回路状态正常，并将“安全就绪”信号准确传输至PSC。PSC接收信号后，立即向列车发送“允许发车”指令。反之，若屏蔽门未完全关闭、门锁损坏或紧急解锁装置被触发，物理回路会出现开路或短路情况。DCU监测到异常电压信号（如开路时电压为0V、短路时电压异常升高），会迅速向PSC发送“故障报警”信号。PSC随即禁止列车发车，并触发站内报警装置，提醒工作人员及时处理，保障地铁运行安全^[1]。

2 地铁屏蔽门安全回路常见故障类型

2.1 回路开路故障

回路开路是安全回路最常见的故障类型，表现为物理回路断开，电流无法正常流通。此类故障发生时，DCU监测到回路电压为0V或远低于正常工作电压，屏蔽门系统触发“安全回路断开”报警，列车无法获得发车许可。从故障位置来看，开路常出现在接线端子松动、导线断裂、门锁开关接触不良等部位。例如，长期振动可能导致接线端子螺丝松动，使导线与端子接触断开；门体开关过程中，导线因反复弯折出现疲劳断裂；门锁开关因长期使用出现触点氧化，导致接触电阻增大，进而形成开路。

2.2 回路短路故障

回路短路故障指物理回路中不同电位的导线意外连接，导致回路电阻急剧减小，电流异常增大。短路发生时，DCU监测到回路电压异常降低（低于正常工作电压的50%），部分情况下会触发过流保护装置，导致DCU或PSC模块跳闸。短路故障多由导线绝缘层破损、异物侵入回路或元件故障引起。例如，车站清洁过程中，水或金属碎屑进入接线盒，导致相邻导线绝缘层破损后直接接触；门控单元内部元件击穿，使回路正负极直接连

通,引发短路。

2.3 回路信号异常故障

此类故障不同于物理层面的开路或短路,而是指物理回路正常通路,但信号监测回路采集的信号出现偏差,导致系统误判安全状态。表现为DCU显示的回路电压波动频繁、“安全就绪”信号时断时续,或PSC接收的信号与DCU发送的信号不一致。故障原因主要包括传感器精度下降、信号传输线路干扰、DCU软件程序异常等。例如,长期使用后,电压传感器出现漂移,导致采集的回路电压值与实际值偏差超过允许范围;信号传输线路与车站强电线路平行敷设,受到电磁干扰,导致信号失真;DCU软件未及时更新,存在程序漏洞,无法准确识别正常电压信号^[2]。

3 地铁屏蔽门安全回路故障成因分析

3.1 硬件设备损坏

硬件设备损坏是导致地铁屏蔽门安全回路故障的关键因素,其中硬件设备自身的老化、磨损以及质量缺陷构成了故障发生的主要内部原因。(1)从设备老化磨损角度来看,安全回路所涉及的导线、接线端子、门锁开关等部件均有着特定的使用寿命。在长期持续运行过程中,这些部件不可避免地会出现性能衰减现象。例如,导线绝缘层会因长时间使用而逐渐老化变硬、开裂,进而丧失绝缘保护功能,极易引发短路等危险情况;接线端子会因金属疲劳产生变形,导致接触不良,使信号传输出现异常;门锁开关的触点由于反复摩擦而出现磨损,接触电阻增大,影响门锁开关的正常通断功能。(2)部分设备本身存在质量隐患。比如,一些劣质导线的铜芯纯度不达标,不仅导电性能差,而且在使用过程中容易发生断裂;门锁开关的弹簧弹性不足,无法保证触点可靠闭合,这些问题在地铁长期运营过程中会逐渐凸显,最终引发安全回路故障,对地铁运行安全构成威胁。

3.2 环境因素影响

地铁车站的运营环境极为复杂,温湿度、振动、粉尘及异物等诸多因素,均会对屏蔽门安全回路产生显著的不利影响。(1)就温湿度因素而言,地下车站通常湿度较高,一般维持在60% - 80%的区间,而且部分区域存在明显的温度波动。例如,靠近列车制动区域的屏蔽门附近,由于列车制动产生的热量积聚,温度相对较高。在这样潮湿的环境下,接线端子极易生锈,导线绝缘层也会受潮发霉,进而导致绝缘性能大幅降低。同时,温度的骤变会使导线与端子因材质不同,热胀冷缩的程度存在差异,这种差异会加剧端子的松动情况。(2)在振动与异物影响方面,列车进出站时产生的强烈振动,会

持续不断地作用于屏蔽门及其安全回路部件。长期的振动会导致接线出现松动,甚至使导线产生疲劳断裂。此外,车站内飘散的粉尘、纸屑等异物,有可能进入接线盒或者门锁开关内部,干扰触点的正常接触,从而引发安全回路故障,给地铁的安全稳定运行带来隐患。

3.3 人为操作与维护不当

人为因素在地铁屏蔽门安全回路故障成因中占据重要地位,主要体现在操作不规范与维护不到位这两个关键层面。(1)在操作环节,工作人员在执行屏蔽门紧急解锁、门体调试等作业时,若未严格遵循操作规程,极易引发安全回路故障。比如,紧急解锁操作完成后,未及时将解锁装置复位,致使解锁开关长时间处于断开状态,进而造成回路开路;在对门体进行调试时,若用力过度,门体与门锁开关发生剧烈碰撞,会使开关触点出现变形,影响其正常通断功能。(2)在维护方面,不合理的维护计划和不规范的维护流程,会导致故障隐患难以被及时发现和有效排除。例如,未按照规定周期对接线端子进行紧固检查,端子松动问题会逐渐恶化;门锁开关触点若长期得不到清洁与润滑,会出现氧化、磨损加剧的情况;维护过程中,若使用的工具不符合标准,像用过大规模的螺丝刀紧固端子,极易造成端子损坏,给安全回路的稳定运行埋下隐患^[3]。

4 地铁屏蔽门安全回路故障诊断与处理策略

4.1 故障诊断方法

安全回路故障诊断需遵循“先整体后局部、先直观后仪器”的原则,结合故障现象与系统原理,逐步缩小故障范围,确定故障点。(1)直观检查法:首先通过观察与触摸,检查安全回路的外部状态。查看导线是否有明显断裂、绝缘层是否破损;检查接线端子是否松动、生锈;观察门锁开关、紧急解锁装置是否处于正常位置,有无明显损坏痕迹。例如,若故障表现为回路开路,可先查看接线端子是否松动,若端子螺丝松动,可初步判断为端子接触不良导致的开路。(2)仪器检测法:若直观检查无法确定故障点,需使用专业仪器进行检测。使用万用表测量回路电压与电阻,判断回路是否存在开路或短路:若测量回路电压为0V,电阻无穷大,说明回路开路;若测量电压远低于正常值,电阻接近0Ω,说明回路短路。同时,可使用示波器监测DCU输出的信号波形,判断信号是否存在失真、波动等异常,排查信号监测回路故障。(3)分段排查法:对于复杂的安全回路,可采用分段排查的方式,将回路按照功能划分为若干段(如门锁开关段、接线端子段、信号传输段),逐一断开各段回路,测量每段的电压与电阻,确

定故障所在的段落,再在该段落内进一步排查具体故障点。例如,将回路分为“DCU至门锁开关段”与“门锁开关至PSC段”,若断开“DCU至门锁开关段”后,测量该段电阻无穷大,说明故障位于该段内,再进一步检查该段的导线与端子。

4.2 故障处理措施

根据故障类型与成因,需采取针对性的处理措施,确保故障彻底解决,避免反复发生。(1)回路开路故障处理:若为接线端子松动,需使用扭矩扳手按照规定扭矩紧固端子螺丝,确保导线与端子可靠接触;若为导线断裂,需更换同规格、同材质的导线,并做好导线接头的绝缘处理(如使用绝缘胶带包裹、热缩管密封);若为门锁开关接触不良,需拆卸开关,用细砂纸打磨触点表面的氧化层,涂抹导电润滑脂,若触点磨损严重,需更换新的门锁开关。(2)回路短路故障处理:首先切断故障回路电源,避免短路电流损坏设备。若为导线绝缘层破损导致的短路,需找到破损位置,更换破损段导线,或使用绝缘胶带修复绝缘层;若为异物侵入导致的短路,需清除异物,并检查周边部件是否受损;若为元件故障导致的短路,需更换故障元件(如DCU模块、门锁开关),更换后需进行通电测试,确保回路正常。(3)回路信号异常故障处理:若为传感器精度下降,需重新校准传感器,若校准后仍无法满足要求,需更换传感器;若为信号传输线路干扰,需重新布置信号线路,避免与强电线路平行敷设,或在信号线路外包裹屏蔽层,增强抗干扰能力;若为DCU软件异常,需联系设备厂家更新软件程序,更新后进行功能测试,确保信号采集与传输正常。

4.3 故障预防措施

除了故障发生后的诊断与处理,还需采取有效的预防措施,降低故障发生率,提升安全回路的可靠性。(1)定期维护:应制定一套全面且细致的维护计划,严格依照规定周期对安全回路部件展开检查与维护工作。具体而言,每周需仔细检查接线端子是否存在松动情况,确保电气连接稳定可靠;每月对门锁开关触点进行深度清洁,并均匀涂抹润滑脂,以降低触点磨损,保证接触良好;每季

度精确测量回路电阻与电压,及时发现潜在的电气故障隐患;每半年对导线绝缘层进行全面检查,一旦发现老化、损坏的部件,立即进行更换,杜绝短路等危险情况的发生。(2)环境控制:着力改善屏蔽门及安全回路的运行环境。在接线盒、门锁开关等关键部位加装防尘、防水罩,有效防止异物与水汽侵入,避免因环境因素导致的部件损坏;在振动较大的区域,对导线进行牢固的固定与防护,防止导线反复弯折而断裂;合理调控车站的温湿度,在潮湿区域加装除湿设备,降低湿度对部件的不良影响,延长部件使用寿命。(3)人员培训:加强对工作人员的操作与维护培训,确保其熟悉安全回路的组成与工作原理,熟练掌握规范的操作流程与维护方法。定期组织技能考核,激励工作人员不断提升自身能力,提高其对故障的判断与处理能力,从源头上避免因操作不当或维护不到位而引发故障^[4]。

结束语

地铁屏蔽门安全回路作为保障列车运行安全的关键系统,其故障的精准诊断、有效处理与科学预防至关重要。通过深入剖析其组成与工作原理,明确常见故障类型及成因,采用直观检查、仪器检测与分段排查等诊断方法,可快速定位故障点。针对不同故障类型采取相应处理措施,确保系统恢复正常。同时,通过定期维护、环境控制与人员培训等预防措施,降低故障发生率,提升安全回路可靠性。唯有将诊断、处理与预防紧密结合,才能构建起完善的安全保障体系,为地铁的安全、稳定、高效运行提供坚实支撑。

参考文献

- [1]钟岩.站台门系统在地铁运营中的常见问题及解决策略[J].现代城市轨道交通,2022(10):37-43.
- [2]王明喆.地铁屏蔽门故障问题及解决对策[J].百科论坛电子杂志,2020(12):1868-1869.
- [3]迟鑫.地铁屏蔽门的常见故障分析及处理[J].中国战略新兴产业,2020(42):247.
- [4]邓举明,李世骏,逢顺勇.地铁屏蔽门电磁锁自动测试与记录装置设计[J].山东工业技术,2022(01):67-73.