

地铁轨电位装置频繁动作的原因分析及预防处理措施

阮俊杰 贝云杰 周凯宁

宁波轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315200

摘要: 地铁轨电位装置频繁动作是城市轨道交通系统中常见的故障之一,可能对线路的安全运行和杂散电流防护造成严重影响。本文深入分析了地铁轨电位装置频繁动作的原因,并提出了相应的预防与处理措施,旨在为地铁系统的安全稳定运行提供参考。

关键词: 地铁轨电位装置; 频繁动作; 原因; 预防处理

引言

地铁轨电位装置频繁动作不仅影响地铁列车的正常运行,还可能对乘客和工作人员的人身安全构成威胁。因此,深入分析轨电位装置频繁动作的原因,并采取有效的预防与处理措施显得尤为重要。

1 地铁轨电位装置频繁动作的原因分析

地铁作为现代城市的重要交通工具,其安全、高效运行是城市交通顺畅的保障。然而,地铁系统中的轨电位装置频繁动作,不仅影响了地铁的正常运营,还可能对乘客和设备的安全构成威胁。地铁轨电位装置频繁动作的原因是多方面的,包括回流系统参数设计不合理、列车运行图与轨电位装置的匹配问题、OVPD设计缺陷、外部环境影响以及杂散电流干扰等。

1.1 回流系统参数设计不合理

回流系统是地铁牵引供电系统的重要组成部分,其设计合理性直接影响轨电位的稳定性。回流系统的阻抗、接地方式等参数是设计的关键。当回流电缆与钢轨连接处存在接触不良或电阻过大时,回流系统的阻抗会显著增加。这种阻抗的增加会导致牵引电流在回流过程中产生更大的压降,从而使轨电位升高。此外,道岔的回流连接处也是容易出现问题的环节。道岔作为地铁线路中的转换设备,其回流连接必须保证良好的电气接触。如果道岔回流连接处存在接触不良或设计缺陷,同样会增加回流系统的阻抗,导致轨电位异常升高。接地方式的设计也是影响轨电位稳定性的重要因素。合理的接地方式应该能够确保轨电位在异常情况下能够迅速泄放,从而保护地铁设备和乘客的安全。然而,如果接地方式设计不合理,如接地电阻过大或接地体布置不当,都可能导致轨电位无法有效泄放,进而引发轨电位装置频繁动作。

1.2 列车运行图与轨电位装置的匹配问题

列车运行图是地铁运营的基础,它规定了列车的运

行时间、运行密度以及牵引电流的变化情况。然而,如果列车运行图与轨电位装置的整定值不匹配,就可能导致轨电位装置频繁动作。当列车运行密度增加时,牵引电流的变化也会更加频繁和剧烈^[1]。如果轨电位装置的整定值设置过低,就无法适应这种变化,导致装置在轨电位正常波动范围内就频繁动作。同样,如果列车运行图中存在牵引电流突变的情况,而轨电位装置没有相应的保护措施,也可能引发装置频繁动作。

1.3 钢轨电位限制装置(OVPD)设计缺陷

OVPD是地铁系统中用于限制轨电位升高的重要设备。然而,如果OVPD的设计存在缺陷,就可能导致其在运行过程中频繁触发电压保护。OVPD的电压测量模块是判断轨电位是否异常的关键部件。如果电压测量模块存在误差或漂移,就可能导致测量的轨电位值不准确。这种不准确的测量值会误导OVPD的判断,使其在正常情况下也触发电压保护。此外,OVPD的动作整定值设置也是影响其运行稳定性的重要因素。如果动作整定值设置过低,OVPD就会在轨电位正常波动范围内频繁动作;如果设置过高,则可能无法及时保护地铁设备和乘客的安全。因此,合理设置OVPD的动作整定值是确保其正常运行的关键。

1.4 外部环境影响

外部环境因素对地铁轨电位装置的运行也有显著影响。特别是在沿海地区,高湿度和盐雾环境会加剧钢轨的腐蚀程度。腐蚀的钢轨表面会变得粗糙不平,增加接触电阻,进而使轨电位升高。此外,温度变化也可能影响轨电位的稳定性。在高温环境下,钢轨和回流电缆的电阻会发生变化,从而影响回流系统的阻抗和轨电位的分布。这种变化可能导致轨电位装置在特定温度条件下频繁动作。

1.5 杂散电流干扰

杂散电流是地铁系统中不可避免的现象。由于钢轨

对地不可能完全绝缘,一部分牵引电流会泄漏到地下形成杂散电流。杂散电流的积累会影响轨电位的稳定性,导致轨电位装置频繁动作。杂散电流的大小和方向都是不确定的,它可能随着列车运行和地下环境的变化而变化。这种不确定性使得杂散电流对轨电位的影响难以预测和控制。当杂散电流积累到一定程度时,它可能会改变轨电位的分布和大小,从而触发轨电位装置的电压保护。

2 地铁轨电位装置频繁动作的预防与处理措施

地铁轨电位装置的频繁动作是地铁运营中不可忽视的问题,它不仅影响地铁的正常运行,还可能对地铁设备和乘客安全构成威胁。为了有效预防和处理这一问题,需要从回流系统设计、列车运行图与装置整定值、OVPD设计与维护、环境防护以及杂散电流防护等多个方面入手,采取具体且全面的措施。

2.1 优化回流系统设计

回流系统是地铁牵引供电系统的重要组成部分,其设计的合理性直接影响轨电位的稳定性。为了降低轨电位波动,需要对回流系统进行细致的优化设计。首先,通过仿真计算牵引供电系统和回流通道的阻抗,可以精确了解回流系统的电气特性。在此基础上,应选择低阻抗的回流电缆和连接器。具体来说,回流电缆的截面积应足够大,以减少电流在回流过程中的压降。同时,电缆的材质应具有良好的导电性能,如铜或铝等。对于连接器,应选用接触良好、电阻小的类型,如镀银或镀金的连接器,以确保回流系统的电气连接可靠。其次,合理设计接地方式是优化回流系统设计的关键。可以采用贯通地线并与钢轨等电位连接的方式。贯通地线应沿着地铁线路全程铺设,并与每个车站的接地网相连,形成一个完整的接地系统^[2]。钢轨与贯通地线的等电位连接可以通过设置等电位连接器实现,确保钢轨电位与地电位相等。此外,还可以考虑在回流系统中设置接地电阻,以进一步降低轨电位。

2.2 调整列车运行图与装置整定值

列车运行图和轨电位装置的整定值是影响轨电位稳定性的重要因素。为了确保轨电位装置与列车运行图的匹配,需要对列车运行图进行优化调整,并根据实际情况调整OVPD的动作整定值。在列车运行图优化方面,可以根据地铁线路的客流情况和运输能力,合理安排列车的发车间隔和停靠站点。具体来说,在高峰时段,可以适当缩短发车间隔,以提高运输效率;在平峰时段,可以适当延长发车间隔,以减少轨电位的波动。同时,还应考虑列车的停靠站点和时间,避免列车在某一站点停留时间过长,导致轨电位异常升高。在调整OVPD动作整

定值方面,需要根据实际运行情况来设定。具体来说,可以通过监测轨电位的波动情况,结合列车运行图和牵引电流的变化,来合理设置OVPD的动作阈值和延时时间。动作阈值应设置在轨电位正常波动范围的上限,以避免在轨电位正常波动时OVPD频繁动作。延时时间应根据轨电位的波动特性和OVPD的动作速度来设定,以确保OVPD在轨电位异常升高时能够及时动作。

2.3 改进OVPD设计与维护

OVPD是地铁系统中用于限制轨电位升高的重要设备。为了减少误动作,需要对OVPD的设计和维护进行改进。在OVPD设计方面,可以采用高精度的电压测量模块和可靠的接触器组件。电压测量模块应具有高精度、高稳定性和快速响应的特点,以确保能够准确测量轨电位的变化。接触器组件应选用接触良好、动作可靠、寿命长的类型,以确保OVPD在需要时能够迅速动作并保持稳定运行。此外,还可以考虑在OVPD中设置故障自诊断功能,以便及时发现并处理OVPD存在的故障。在OVPD维护方面,需要制定详细的维护计划,定期对OVPD进行检查、测试和清洁等工作^[3]。具体来说,可以每月对OVPD进行一次外观检查和电气性能测试,确保其外观无损坏、电气性能正常。每半年对OVPD进行一次全面检查和维护,包括清洁接触器触点、更换老化的元器件等。同时,还应建立OVPD的故障记录和分析制度,对OVPD的故障情况进行统计分析,以便及时发现并处理潜在的问题。

2.4 加强环境防护

在沿海地区等高腐蚀环境中,钢轨容易受到腐蚀,导致轨电位异常升高。为了减少轨电位异常升高的可能性,需要加强环境防护。首先,可以对钢轨进行定期防腐处理。具体来说,可以采用涂覆防腐涂料或采用不锈钢材质等方法来保护钢轨免受腐蚀。防腐涂料应具有良好的附着力和耐腐蚀性能,能够形成一层致密的保护膜,隔绝钢轨与腐蚀介质的接触。不锈钢材质则具有优异的耐腐蚀性能和良好的导电性能,能够在恶劣环境中保持稳定的电气性能。其次,可以加强车站和隧道的通风和除湿措施。具体来说,可以在车站和隧道中设置通风设备和除湿设备,以降低环境湿度和盐雾浓度。通风设备应具有良好的换气效果,能够及时将潮湿的空气排出车站和隧道。除湿设备则应具有高效的除湿能力,能够将空气中的水分降低到一定程度。此外,还可以定期对车站和隧道进行清洁和维护,保持环境的清洁和干燥。

2.5 杂散电流防护

杂散电流是地铁系统中不可避免的现象,但其对轨电位的影响可以通过加强监测与防护来减少。首先,可以

在地铁系统中设置杂散电流收集网和排流装置。杂散电流收集网应沿着地铁线路全程铺设，并与每个车站的接地网相连，形成一个完整的收集系统。排流装置则应将收集到的杂散电流引入地下回流系统，以减少其对轨电位的影响。具体来说，可以采用排流柜或排流棒等装置来实现杂散电流的排流^[4]。其次，需要定期对杂散电流进行监测和分析。具体来说，可以在地铁系统中安装杂散电流监测设备，实时测量杂散电流的大小和方向。同时，还可以结合地铁系统的运行情况，对杂散电流的数据进行分析和处理。通过监测和分析，可以及时发现并处理潜在的杂散电流问题，确保地铁系统的安全稳定运行。

3 工程应用与验证：以广州地铁某线路为例

在地铁运营实践中，广州地铁某线路曾遭遇地铁轨电位装置频繁动作的问题，这一案例为分析原因及验证预防措施提供了宝贵的现实依据。

3.1 案例背景

广州地铁作为中国城市轨道交通的重要组成部分，其运营稳定性和安全性一直备受关注。然而，在某条地铁线路上，出现了轨电位装置频繁动作的现象。这不仅影响了列车的正常运行，还对乘客和工作人员的安全构成了潜在威胁。

3.2 问题表现

该线路在运营过程中，轨电位限制装置（OVPD）频繁触发保护动作，导致供电系统中各开关柜保护性跳闸，进而引发牵引变电所停止向接触网供电。这种情况严重影响了地铁的正常运营，也给乘客带来了不便。

3.3 原因分析

针对这一问题，广州地铁进行了深入的分析和排查，发现主要原因包括：回流系统的阻抗设计不当，导致轨电位异常升高。随着城市的发展，地铁客流不断增加，列车运行密度也随之增大，这对轨电位装置提出了更高的要求。广州地处亚热带地区，湿度较大，可能对钢轨和回流系统产生不利影响。

3.4 预防措施

为了解决这一问题，广州地铁采取了一系列预防措

施，并进行了验证：（1）优化回流系统设计：通过仿真计算，对牵引供电和回流通道阻抗进行了优化，降低了轨电位波动。对回流电缆和连接器进行了检查和更换，确保回流系统畅通无阻。（2）调整OVPD整定值：根据列车运行密度和牵引电流变化，对OVPD的动作整定值进行了调整，使其更加符合实际运行情况。（3）加强环境防护：对钢轨进行了防腐处理，提高了其耐腐蚀性能。加强了车站和隧道的通风和除湿措施，降低了环境湿度对钢轨和回流系统的影响。

3.5 总结与启示

广州地铁某线路轨电位装置频繁动作的问题及其解决方案，为提供了宝贵的经验和启示：回流系统的设计和优化是预防轨电位装置频繁动作的关键。根据实际情况调整OVPD的整定值，可以提高其适应性和可靠性。加强环境防护和日常维护，可以延长钢轨和回流系统的使用寿命，减少故障发生的可能性。这一案例不仅验证了预防措施的有效性，也为其他地铁线路在解决类似问题时提供了有益的参考和借鉴。

结语

地铁轨电位装置频繁动作的原因复杂多样，涉及回流系统设计、列车运行图、装置设计及外部环境等多方面因素。通过优化设计、调整参数、加强维护和环境防护等措施，可以有效预防和处理这一问题。未来，随着地铁系统的不断发展和完善，需要继续深入研究轨电位装置频繁动作的原因和解决方案，为地铁系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。

参考文献

- [1]张家庆.地铁牵引供电系统中轨电位限制装置和框架保护关系[J].中国科技信息,2024,(18):97-99.
- [2]李富强.城市轨道交通场段异常轨电位研究[J].电工技术,2022,(20):103-105.
- [3]吴鉴舟.地铁钢轨电位影响因素分析及抑制措施研究[D].西南交通大学,2022.
- [4]段然.钢轨电位限制装置异常动作分析及解决方案研究[J].电气化铁道,2020,31(06):73-76.