

中铁上海工程局宁波联群停车场项目城市轨道交通牵引供电系统关键技术及其安全性分析

王 硕

中铁上海工程局集团华海工程有限公司 上海 201199

摘 要：本研究聚焦于中铁上海工程局宁波联群项目，深入探讨城市轨道交通牵引供电系统的核心技术，涵盖供电模式、牵引变电站等方面。通过对各项技术环节的深入分析，对其安全性进行评估，旨在为城市轨道交通牵引供电系统的优化设计及安全运行提供理论支撑，以促进城市轨道交通系统的可靠性与稳定性提升。

关键词：城市轨道交通；牵引供电系统；关键技术；安全性

1 引言

随着城市化进程的快速推进，城市轨道交通因其高效、便捷、环保等诸多优势，已经成为缓解城市交通拥堵问题的关键手段之一。宁波轨道交通7号线联群项目的供电系统可作为典型案例进行分析，其牵引供电系统的性能直接关联到整个轨道交通系统的安全与稳定运行。牵引供电系统作为轨道交通的动力核心，其关键技术的恰当应用以及安全性保障显得尤为关键。因此，对于该系统的关键技术进行深入研究，并确保其安全性，具有极其重要的现实意义和价值。

2 城市轨道交通牵引供电系统关键技术

2.1 供电方式

2.1.1 分散供电方式

分散供电方式则是由城市电网的不同变电站直接向沿线的牵引变电所供电。电源从沿线多处引入，形成相对分散的供电网络，各供电点相对独立又通过联络电缆相互联系。其优势在于投资相对较小，建设周期较短。在一些对供电可靠性要求相对不高的区域，分散供电方式可作为一种经济有效的选择。与集中供电方式相比，分散供电方式多路电源引入，某一电源故障时，其他电源可继续供电，供电灵活性和可扩展性好，但设备分散，运营管理相对复杂。分散供电的可靠性较低，一旦某一供电线路出现故障，可能影响到该线路所连接的牵引变电所的正常工作，进而影响列车运行。

2.1.2 集中供电方式

集中供电方式是在城市轨道交通沿线设置专用的主变电所，通过高压电缆向各个牵引变电所和降压变电所供电。构建以主变电所为核心的供电网络，主变电所集中向各牵引变电所和降压变电所分配电能，供电线路相对集中。集中供电方式设备相互影响小，主变电所故

障虽影响范围大，但正常运行时可靠性高，利于故障抢修和降低运维成本。便于集中管理和调度。为乘客的安全性考虑，在宁波联群停车场项目中采用集中供电方式确保整个轨道交通网络的电力供应稳定，减少因局部故障导致的大面积停电风险。当某一牵引变电所出现故障时，主变电所可迅速调整供电策略，通过其他线路为其分担负荷，保障列车的正常运行。

2.2 牵引变电所主接线形式

牵引变电所的主接线形式主要有单母线接线、单母线分段接线和双母线接线等。单母线接线简单，投资少，但可靠性较低，当母线发生故障时，整个变电所将停电。单母线分段接线则在单母线接线的基础上提高了可靠性，当一段母线故障时，可通过分段开关将故障段隔离，保证另一段母线正常供电。双母线接线可靠性更高，可在不停电的情况下进行母线检修，但投资大、接线复杂、检修困难。在宁波联群停车场项目中，根据牵引混合变电所的重要性和负荷需求，选择更加适宜的单母线分段接线形式，以确保供电的连续性、投资的经济性和检修的简便性。

2.3 接触网系统

2.3.1 接触网悬挂类型

接触网悬挂类型主要有简单悬挂和链形悬挂。简单悬挂结构简单，投资少经济效益好。链形悬挂具有较好的弹性和稳定性。在宁波联群停车场项目中，根据线路的设计速度和运行要求，在出入场线大电流区域采用了双承双导链形悬挂满足高速列车的受流要求，而在一些对20km/h场内限速区域，采用简单悬挂以降低建设和运营成本。

2.3.2 专用回流轨系统

铁路供电系统中直流式的钢轨绝缘安装回流一般用

走行轨,而宁波轨道交通4-8号线开创性地采用了专用回流轨回流。其中两者的区别是走行轨的经济性好但走行轨对地绝缘不完全,所以有杂散电流危害对土建结构钢筋、设备金属外壳及其他地下金属管线产生的电化学腐蚀。专用回流轨在走行轨方案基础上完善继电保护装置,在钢轨与专用回流轨之间设置负地单导装置并设置泄漏电流监测元件。当发生直流接地故障时,负地单导装置不仅可为故障电流提供通路,还能检测故障电流的大小。且因专用回流轨能杜绝杂散电流的泄漏,有效减少了对杂散电流防护的实施难度及后期运营维护工作量,降低了杂散电流防护的全寿命周期成本,从长远角度看专用回流轨系统是城市轨道交通工程牵引供电系统回流的新方向。

2.3.3 可视化接地装置系统

以联群停车场为例可视化接地可分为三层系统控制(1)监控主站由监控中心监控主站远程控制全系统接地装置。(2)监控主机由车站或DCC控制中心的监控主机集中控制本站接地装置。(3)轨旁接地装置由接地装置本地电动、手动控制。可视化接地装置系统相较于传统接地可通过监控主站主接线图、牵引所控制室工业平板电脑软件操作界面遥控轨旁接地装置的分合闸。远端监控供电系统在轨行区的电压状态,与本站及邻站接地装置通信获取接触网带电状态。通过逻辑判断闭锁本站接地装置合闸操作。可视化接地装置具有光纤通信接口,能够接入监控范围内的接地装置实现可视化监控功能。极大地保证了运营检修的安全性和危险应急操作的及时性。

3 城市轨道交通牵引供电系统安全性分析

3.1 短路故障分析

3.1.1 短路故障类型

城市轨道交通牵引供电系统中常见的短路故障类型有相间短路、接地短路等。相间短路是指不同相的导体之间发生短路,会产生很大的短路电流,对设备造成严重损坏。接地短路则是指导体与大地之间发生短路,可能导致设备外壳带电,危及人员安全。在宁波联群停车场项目中,通过安装短路保护装置,能够快速检测和切除短路故障,减少故障对系统的影响。

3.1.2 短路电流计算

在电气工程领域,准确计算短路电流是至关重要的,因为它是合理选择电气设备和设计保护装置的重要依据。以宁波联群停车场项目为例,工程师们利用了专业的电力系统分析软件,依据牵引供电系统的详细电气参数以及实际运行方式,对各种不同类型的短路故障

进行了详尽的短路电流计算。从而确保在短路故障发生时,使主变电所与牵引混合变电所精准联动,所内设备能够可靠地执行其动作,保障整个系统的稳定运行。

3.1.3 短路保护措施

为了有效保护牵引供电系统免受短路故障的潜在威胁,采取了多种短路保护措施。除了安装常规的电流速断保护、过电流保护等基础保护装置外,项目团队还采用了纵联差动保护等先进的保护技术。纵联差动保护技术能够快速、准确地判断故障的具体位置,实现对短路故障的迅速切除,极大地提高了整个牵引供电系统的安全性和可靠性。这些措施共同构成了一个多层次、全方位的保护体系,确保了系统在面对各种复杂情况时都能保持稳定运行。

3.2 过电压分析

3.2.1 过电压类型

牵引供电系统中的过电压主要有雷击过电压、操作过电压和暂时过电压等。雷击过电压是由于雷电击中线路或设备引起的,其幅值高、持续时间短,可能对设备的绝缘造成严重破坏。操作过电压是在开关操作等过程中产生的,如断路器的合闸、分闸等。暂时过电压则是由于系统故障或负荷变化等原因引起的,持续时间相对较长。在宁波联群停车场项目中,针对不同类型的过电压,采取了相应的防护措施。

3.2.2 过电压防护措施

为了防止雷击过电压的危害,在牵引变电所35kV开关柜和1.5kV开关柜、馈线柜安装了避雷器等防雷装置而接触网处于盖体下部利用盖体防雷无需单独设置避雷器。避雷器能够在雷击过电压发生时,迅速将过电压引入大地,保护设备的绝缘。对于操作过电压,通过优化开关设备的操作顺序降低操作过电压的幅值。对于暂时过电压,通过合理调整系统的运行方式、安装静止无功补偿装置等,维持系统电压的稳定,防止暂时过电压的产生。

3.3 谐波分析

3.3.1 谐波产生原因

城市轨道交通牵引供电系统中的谐波主要原因:一是由整流装置等非线性设备产生的。整流装置在将交流电转换为直流电的过程中,会产生大量的谐波电流。二是牵引负荷的特殊性,列车是城市轨道交通牵引供电系统的主要负荷,其运行具有间歇性、冲击性和波动性等特点。在列车加速、减速、启动和制动等过程中,牵引电流会发生剧烈变化,这也会导致供电系统中出现谐波。三是地铁停车场系统包括多变频设备供电,高频设备工作时也会产生大量谐波。这些谐波电流注入低压用电设备后,会对电网的

电能质量和设备正常运行产生不良影响。

3.3.2 谐波危害

谐波的存在会对电力系统中的设备产生一系列的负面影响,其中包括导致电力设备的发热增加以及损耗增大,这些都会直接降低设备的使用寿命。不仅如此,谐波还可能干扰继电保护装置的正常工作,从而引发误动作或拒动作的情况,这无疑对整个电力系统的安全运行构成了潜在的威胁。另外,谐波对通信系统的影响也不容忽视,它会干扰通信信号,进而影响通信的质量和稳定性。针对这些危害,宁波联群停车场项目团队进行了深入的分析,并基于分析结果采取了一系列有效的谐波治理措施,以确保电力系统的稳定运行和通信质量的提升。

3.3.3 谐波治理措施

为了减少谐波对牵引供电系统和电网的影响,采用了多种谐波治理措施。如在400V低压配电所开关柜处设置的有源滤波装置,而为地铁接触网牵引供电的整流DC1500V靠24脉波整流,由两个12脉波整流电路并联组成,每个12脉波整流电路又由两个三相桥式整流电路通过Y-Δ和Δ-Δ接线的变压器连接而成。这样在交流电源的一个周期内,整流输出电压会出现24个脉波基本DC1500整流产生的谐波限制在规定值以下了。滤波器能够对特定频率的谐波电流进行滤波,减少谐波电流注入电网。

4 中铁上海工程局宁波联群停车场项目牵引供电系统技术应用与安全保障实践

4.1 关键技术应用情况

在宁波联群停车场项目中,根据线路的特点和运营需求,综合应用了上述关键技术。采用集中供电的供电方式确保了供电的可靠性和经济性。在牵引变电所方面,选用了合适的主接线形式满足了列车的牵引供电需求。接触网系统采用了简单悬挂和链形悬挂结合使用保证经济性和实用性,通过可视化接地监控保证后期运营维护的安全性和及时性。以专用回流轨系统回流既能保证回流系统稳定与人员安全性又隔绝了泄漏电流减少道床腐蚀减少后期养护困难。通过这些关键技术的合理应用,为项目的顺利建设和运营奠定了坚实的基础。

4.2 安全保障措施实施效果

项目实施过程中,严格落实了各项安全保障措施。短路保护装置能够快速准确地切除短路故障,有效保护了设备的安全。过电压防护措施的实施,降低了过电压对设备绝缘的危害,提高了系统的运行可靠性。谐波治理措施的应用,改善了电能质量,保障了电力设备和通信系统的正常运行。通过对各项安全保障措施实施效果的监测和评估,验证了这些措施的有效性,确保了宁波联群停车场项目牵引供电系统的安全稳定运行。

结论

城市轨道交通牵引供电系统的关键技术及其安全性对于整个轨道交通的运行至关重要。通过对中铁上海工程局宁波联群停车场项目的研究分析可知,合理选择供电方式、优化牵引变电所设计、提升接触网系统性能等关键技术的应用,通过对短路故障、过电压、谐波等安全问题的深入分析,并采取相应的防护和治理措施,能够有效保障牵引供电系统的安全稳定运行。在未来的城市轨道交通建设中,应进一步加强对牵引供电系统关键技术的研究和创新,不断完善安全保障体系,为城市轨道交通的可持续发展提供有力支持。

参考文献

- [1]韦唯.城市轨道交通智能化牵引供电系统关键技术[J].人民公交,2024,(02):59-63.DOI:10.16857/j.cnki.cn11-5903/u.2024.02.013.
- [2]燕振刚,田广辉,陈显志.城市轨道交通牵引供电系统专用轨回流技术综述[J].现代城市轨道交通,2024,(01):52-59.DOI:10.20151/cnki.1672-7533.2024.01.008.
- [3]王帅.城市轨道交通智能化牵引供电系统关键技术概述[J].电气化铁道,2023,34(S2):162-165.DOI:10.19587/j.cnki.1007-936x.2023z2.041.
- [4]王忻,吉祥雨,韩博衍,等.城市轨道交通低碳节能技术下牵引供电系统仿真分析[J].城市轨道交通研究,2023,26(10):79-84.DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.10.014.
- [5]罗建民,黎琦,董招,等.城市轨道交通供电系统施工关键技术研究与应用[J].安装,2023,(S1):122-123.