

# 探讨城市轨道交通双向变流器供电系统保护方案

徐杨文 毛一帆 唐丽华

宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司 浙江 宁波 315000

**摘要:** 随着城市轨道交通系统的快速发展,双向变流器作为供电系统的核心设备,其重要性日益凸显。本文深入探讨了城市轨道交通双向变流器供电系统的保护方案,分析了保护的需求与挑战,并提出了具体的保护策略。通过系统仿真、试验验证及实际应用效果评估,验证了所提保护方案的有效性和可靠性,为城市轨道交通供电系统的安全稳定运行提供了有力保障。

**关键词:** 城市轨道交通;双向变流器;供电系统;保护方案;短路电流保护

引言:城市轨道交通系统作为城市交通的重要组成部分,其供电系统的稳定性和安全性直接关系到乘客的安全和出行效率。双向变流器作为供电系统的核心设备,具备双向能量转换能力,在列车牵引和制动过程中发挥着关键作用。双向变流器供电系统在运行过程中也面临着诸多挑战,如短路故障、设备安全保护以及系统稳定运行保护等。研究和设计有效的保护方案对于确保城市轨道交通供电系统的安全稳定运行具有重要意义。

## 1 城市轨道交通双向变流器供电系统概述

### 1.1 双向变流器的工作原理及功能

双向变流器作为城市轨道交通供电系统的核心设备,其工作原理及功能至关重要。该设备具备双向能量转换能力,即在列车牵引和制动过程中均能发挥关键作用。在牵引供电功能方面,当列车处于启动或加速状态时,双向变流器从电网获取交流电能,并通过内部的整流和控制技术,将其转换为稳定的直流电能供给列车使用。这一过程中,双向变流器能够实时监测直流母线电压的变化,并根据需要调整控制算法,确保列车获得所需的牵引能量。还能通过高效低漏抗变压器、开关频率自适应技术等黑科技,提高系统效率,降低能耗。在制动回馈功能方面,当列车处于制动状态时,会产生大量的再生制动能量。传统上,这部分能量往往被浪费或转化为热能消耗掉。双向变流器能够通过逆变回馈技术,将这部分直流能量快速转换回交流电能,并回馈至电网中供其他列车或设备使用。这一功能不仅提高了能量的利用率,还显著降低了线路损耗和运营成本。

### 1.2 双向变流器供电系统的优势

双向变流器供电系统在城市轨道交通中具有诸多优势,这些优势主要体现在以下几个方面:首先,双向变流器能够显著降低线路损耗。能够实现能量的双向转换和高效利用,能够减少因能量转换和传输过程中的损耗

而带来的电能浪费。还能通过稳定直流母线电压,降低因电压波动而引发的线路损耗和设备损坏。其次,双向变流器能够减少轨电位动作频次。在城市轨道交通中,轨电位动作频次是衡量供电系统稳定性和安全性的重要指标之一。双向变流器通过实时监测和调整直流母线电压,能够减少因电压波动而引发的轨电位动作频次,从而提高供电系统的稳定性和安全性。双向变流器还能改善杂散电流等问题。杂散电流是指因设备漏电、接地不良等原因而在轨道周围产生的无规则电流<sup>[1]</sup>。这些杂散电流不仅会对轨道和周边设备造成损害,还会影响供电系统的稳定性和安全性。而双向变流器通过精确控制直流母线电压和电流,能够有效减少杂散电流的产生和扩散,进而保护轨道和周边设备的安全。

### 1.3 双向变流器供电系统在城市轨道交通中的应用现状

目前,双向变流器供电系统已经在全球多个城市的轨道交通系统中得到了广泛应用。在国外,欧美和日本等发达国家的产品技术已经相对成熟,并成功应用于多个城市的轨道交通系统中。这些系统不仅具备高效、稳定、安全的特点,还能够根据实际需求进行灵活调整和扩展。在国内,双向变流器供电系统的应用也在逐步扩大。宁波、绍兴、杭州等城市已经率先引入了这一技术,并在多个地铁线路中进行了实际应用。这些系统在实际运行中表现出了良好的性能和效果,不仅提高了供电系统的稳定性和安全性,还显著降低了运营成本和维护成本。随着城市轨道交通技术的不断发展和创新,双向变流器供电系统也在不断进行升级和改进。例如,一些先进的系统已经具备了智能化、自动化等功能,能够根据实际需求进行自适应调整和远程控制。这些创新技术的应用将进一步推动城市轨道交通供电系统的发展,提高运营效率和乘客体验。

## 2 城市轨道交通双向变流器供电系统保护方案

### 2.1 双向变流器供电系统保护的需求分析

(1) 短路电流保护需求：短路是电力系统中常见的故障之一，可能导致设备损坏、火灾甚至人员伤亡。在双向变流器供电系统中，由于直流侧和交流侧都可能发生短路，必须设计有效的短路电流保护方案。短路电流保护需要快速、准确地检测到短路故障，并在故障发生后的极短时间内切除故障点，以防止故障扩散和造成更大的损失。(2) 设备安全保护需求：双向变流器作为供电系统的核心设备，其运行状态直接影响到整个系统的安全性和可靠性。保护方案需要确保变流器在正常运行时不会因过流、过压等异常情况而损坏。在发生故障时，保护方案应能迅速切断故障电源，保护变流器和其他相关设备免受进一步损害。(3) 系统稳定运行保护需求：城市轨道交通系统的稳定运行对于乘客的安全和出行效率至关重要。双向变流器供电系统的保护方案不仅要考虑设备的安全，还要确保系统的稳定运行。这包括防止因故障导致的系统崩溃、电压波动等问题，以及确保故障切除后的快速恢复。

### 2.2 具体的保护方案

(1) 直流侧短路保护方法：直流侧短路是双向变流器供电系统中一种常见的故障。为了有效应对这种故障，可以采用一种基于晶闸管旁路的双向变流器拓扑结构。该结构在变流器的直流侧巧妙地并联了一个由晶闸管构成的旁路电路<sup>[2]</sup>。一旦检测到直流侧发生短路故障，系统会立即迅速导通晶闸管，将短路电流有效地旁路掉，从而确保变流器不会受到损坏。(2) 基于晶闸管旁路的双向变流器拓扑：该拓扑结构的核心在于晶闸管旁路电路的设计。晶闸管是一种具有单向导电性的半导体器件，当通过其门极施加足够的触发电压时，晶闸管将导通并允许电流通过。在双向变流器直流侧并联晶闸管旁路电路后，当检测到直流侧短路故障时，控制系统将迅速触发晶闸管导通，将短路电流旁路掉。这样短路电流就不会再流经变流器内部的功率器件，从而保护了这些器件不受损坏。(3) 短路旁路参数和短路电流分布参数设计：在设计晶闸管旁路电路时，需要仔细考虑短路旁路参数和短路电流分布参数。这些参数包括晶闸管的额定电压、额定电流、触发电压等，以及短路电流的大小、方向、分布等。通过合理的参数设计，可以确保晶闸管旁路电路在短路故障发生时能够迅速、有效地导通，并将短路电流旁路掉。(4) 短路电流快速转移控制方案：除了晶闸管旁路电路外，还需要设计一种短路电流快速转移控制方案。该方案的核心在于快速检测短路

故障并触发晶闸管导通。为了实现这一目标，可以采用高速电流传感器和快速响应的控制系统。当检测到短路故障时，控制系统将立即触发晶闸管导通，并将短路电流迅速转移至旁路电路。这样就可以有效地保护变流器不受短路电流的损害。(5) 其他可能的保护方案：过电流保护，过电流保护是一种重要的保护措施。通过监测电流传感器的输出信号，实时掌握电流的变化情况。当电流超过预设的安全值时，控制系统会迅速响应，切断电源或采取其他适当的措施，以防止电流过大对设备造成损坏。这种保护方案能够确保在电流异常时，系统能够及时采取保护措施，避免设备受损或故障扩大。过电压保护，过电压保护同样至关重要。利用电压传感器监测电压的变化情况。一旦电压超过设定的安全范围，控制系统会立即采取措施，如降低电压或切断电源，以保护设备免受过电压的损害。这种保护方案能够防止因电压过高而导致的设备损坏或系统崩溃，确保供电系统的稳定运行。接地故障保护，接地故障保护也是不可忽视的一环。通过监测接地电阻的电流或电压信号，及时发现接地故障的存在。一旦检测到接地故障，控制系统会迅速采取措施，如切断故障电源或发出警报，以防止故障进一步发展和扩大。这种保护方案能够确保在接地故障发生时，系统能够及时响应并采取有效的措施，保障设备和乘客的安全。这些保护方案可以根据实际需求和系统特点进行选择 and 组合，以实现全面的保护效果。还需要结合系统仿真和试验验证等方法，对保护方案进行优化和改进，以确保其在实际运行中的有效性和可靠性。

### 2.3 保护方案的实现与验证

(1) 系统仿真与试验验证：为了验证所设计的保护方案的有效性和可靠性，需要进行系统仿真和试验验证。系统仿真可以使用专业的仿真软件来模拟电力系统的运行情况和故障场景。通过仿真，可以评估保护方案在不同故障条件下的响应速度和保护效果。还可以对保护方案进行优化和改进，以提高其性能和可靠性。试验验证则需要在实验室或实际运行环境中进行。通过搭建模拟电路或实际系统，可以测试保护方案在实际运行中的性能和效果。在试验过程中，需要记录和分析保护方案的响应时间、保护效果等关键指标，并根据试验结果进行必要的调整和优化。(2) 实际应用效果评估：在保护方案经过系统仿真和试验验证后，需要将其应用于实际运行环境中进行效果评估。实际应用效果评估可以通过监测和分析实际运行数据来实现。例如，可以监测保护方案的触发次数、故障切除时间、设备损坏情况等关键指标，并与未采用保护方案前的数据进行对比和分

析。通过实际应用效果评估,可以验证保护方案的实用性和有效性,并为后续的改进和优化提供依据。还可以考虑采用专家评估和用户反馈等方法来评估保护方案的实际应用效果。专家评估可以邀请相关领域的专家对保护方案进行专业评估和指导;用户反馈则可以收集实际用户的使用体验和意见,以便更好地了解保护方案在实际运行中的表现和需求。这些评估方法可以为保护方案的改进和优化提供有益的参考和建议。

### 3 城市轨道交通双向变流器供电系统保护方案的挑战与对策

#### 3.1 技术挑战

(1) 短路电流的快速转移与控制:短路故障一旦发生,短路电流的快速转移与控制便成为保护方案中的一大难题。由于短路电流具有突发性强、高冲击性的特点,如何在极短时间内准确检测并快速有效地转移短路电流,以避免对设备和系统造成损害,无疑是一个技术上的巨大挑战。在进行短路电流的控制时,还需要充分考虑系统的稳定性和安全性,确保在切除故障的同时,不会对其他设备的正常运行造成影响。(2) 保护设备的选型与配置:保护设备的选型与配置直接关系到保护方案的效果和成本。不同的保护设备具有不同的性能特点和适用范围,如何根据系统的实际需求和特点,选择合适的保护设备并进行合理配置,是一个需要综合考虑的问题。保护设备的选型还需要考虑其可靠性、耐用性和维护成本等因素,以确保保护方案在长期运行中的稳定性和经济性。(3) 保护方案的经济性与可行性:保护方案的经济性与可行性,是实施保护方案时必须考虑的重要因素。一方面,保护方案需要具有足够的可靠性和有效性,以确保设备和系统的安全稳定运行;另一方面,保护方案的成本也需要控制在合理的范围内,以避免对系统整体成本造成过大的影响。如何在保证保护效果的同时,兼顾经济性和可行性,是保护方案设计中的一个重要挑战。

#### 3.2 应对策略

(1) 加强技术研发与创新:针对短路电流的快速转

移与控制问题,需要加强技术研发与创新,开发更加先进、可靠的短路电流检测和控制技术。例如,可以利用先进的传感器技术和算法,实现短路电流的实时监测和快速响应;也可以探索新的控制策略和方法,以提高短路电流的控制精度和稳定性。(2) 优化保护设备的选型与配置:在保护设备的选型与配置方面,需要根据系统的实际需求和特点,进行综合考虑和优化<sup>[3]</sup>。可以借鉴国内外先进的保护设备选型经验和技术标准,结合系统的实际情况,选择合适的保护设备并进行合理配置。还需要考虑保护设备的可靠性、耐用性和维护成本等因素,以确保保护方案在长期运行中的稳定性和经济性。(3) 综合考虑经济性与可行性:在保护方案的设计和实施过程中,需要综合考虑经济性与可行性。一方面,可以通过技术创新和优化设计等方法,降低保护方案的成本;另一方面,也可以结合系统的实际情况和需求,制定灵活多样的保护方案,以适应不同场景和条件下的应用需求。还需要加强对保护方案的经济性评估和分析,以确保其在长期运行中的经济性和可行性。

结束语:城市轨道交通双向变流器供电系统的保护方案,是保障其安全稳定运行的重要环节。本文不仅分析了保护方案的需求、具体实现策略;还通过系统仿真、试验验证,以及实际应用效果的评估,充分验证了所提保护方案的有效性和可靠性。面对未来城市轨道交通系统的不断发展与升级,我们将持续关注技术动态,不断优化和完善保护方案,以应对新的挑战 and 机遇,为城市轨道交通系统的长期稳定运行提供坚实的技术支撑。

#### 参考文献

- [1]王毛,郑月宾,宋雷,等.双向变流器在城市轨道交通供电系统中的应用[J].城市轨道交通研究,2024,27(02):58-62+68.
- [2]余龙,张钢.双向变流器在城市轨道交通中的应用浅析[J].电气化铁道,2012,23(06):42-44+48.
- [3]余龙,张钢.双向变流器在城市轨道交通中的应用浅析[J].电气化铁道,2012,23(06):42-44.