

电气化铁路常见牵引供电故障分析及应对措施

杨志强

内蒙古东乌铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 电气化铁路作为现代铁路运输的重要组成部分,其牵引供电系统的稳定性与可靠性直接关系到列车的安全运行。本文分析了电气化铁路常见的牵引供电故障,包括无功功率问题、负序电流问题、谐波电流问题以及牵引变电所故障跳闸等,并针对这些故障提出了相应的应对措施。通过优化设备设计、加强运行监控、提高运维水平等手段,可以有效降低故障发生率,确保电气化铁路牵引供电系统的稳定运行。

关键词: 电气化铁路;牵引供电;故障分析;应对措施

引言:电气化铁路以其高效、环保的特点,在现代铁路运输中发挥着越来越重要的作用。然而牵引供电系统的稳定性一直是影响电气化铁路安全运行的关键因素。本文旨在深入探讨电气化铁路常见的牵引供电故障,分析故障成因,并提出有效的应对措施,以期对相关从业人员提供借鉴和参考,提高电气化铁路的运行效率与安全性。

1 电气化铁路牵引供电系统概述

1.1 牵引供电系统的基本组成

电气化铁路牵引供电系统是指供给电力机车牵引用电的供电系统,它是现代铁路的重要组成部分,为电力机车提供必要的电能。该系统主要由发电厂、牵引变电所、接触网以及一系列辅助设施组成。(1)发电厂:作为整个供电系统的源头,发电厂负责产生电能。这些电能通常通过高压输电线进行长距离传输,确保电能能够稳定、高效地输送到铁路沿线的各个牵引变电所。(2)牵引变电所:牵引变电所是电气化铁路供电系统的核心部分,它接收来自发电厂的高压电能,并通过一系列变换设备将其转换为适合电力机车使用的电流和电压。牵引变电所通常包括变压器、开关设备、保护装置等关键设备,这些设备共同协作,确保电能的稳定传输和分配。牵引变电所根据功能和位置的不同,可以分为正线牵引变电所、车辆段或停车场牵引变电所等。正线牵引变电所进一步细分为车站牵引变电所和区间牵引变电所,以满足不同区段的供电需求。牵引变电所一般采用设备安装在建筑物内的形式,但在某些特殊情况下,也会采用箱式牵引变电所,以提高安装和运维的灵活性。(3)接触网:接触网是电气化铁路供电系统中与电力机车直接接触的部分,它负责将电能从牵引变电所传输到电力机车上。接触网通常由导线、绝缘子、支柱等部件组成,架设在铁路上方,与电力机车的受电弓紧密接

触,实现电能的传输。接触网的悬挂方式有架空接触网和接触轨两种,大多数工程采用走行轨兼作回流网,少数工程则单独设置回流轨。电气化铁路牵引供电系统还包括一系列辅助设施,如分区亭、开闭所、自耦变压器站等。这些设施在供电系统中起着至关重要的作用,它们能够增加供电的灵活性,提高运行的可靠性,确保电力机车在各种复杂环境下的正常运行。

1.2 牵引供电系统的工作原理

电气化铁路牵引供电系统的工作原理相对复杂,但主要可以概括为几个步骤:

步骤一电能传输:发电厂产生的电能通过高压输电线传输到铁路沿线的牵引变电所。在牵引变电所内,高压电能经过变压器等设备转换为适合电力机车使用的电流和电压^[1]。步骤二电能分配:经过转换后的电能通过馈电线传输到接触网上。接触网作为与电力机车直接接触的部分,负责将电能传输到电力机车上。在这个过程中,分区亭、开闭所等辅助设施起着重要的电能分配和调节作用。步骤三电能接收与利用:电力机车通过顶部的受电弓与接触网紧密接触,接收来自接触网的电能。电能经过机车主断路器、主变压器等设备降压后,供给牵引电动机使用。牵引电动机通过传动机构驱动电力机车运行。步骤四电能回流:电力机车在运行过程中,部分电能会通过钢轨等回流线回流到牵引变电所,形成完整的电流回路。这个过程确保了电能的有效利用和供电系统的稳定运行。电气化铁路牵引供电系统是一个复杂而高效的供电系统,它通过发电厂、牵引变电所、接触网以及一系列辅助设施的协同工作,为电力机车提供稳定、可靠的电能供应。随着技术的不断进步和铁路系统的持续发展,电气化铁路牵引供电系统将继续发挥着越来越重要的作用。

2 牵引供电系统在电气化铁路运行中的关键作用

牵引供电系统在电气化铁路运行中扮演着至关重要

的角色，它是确保电力机车稳定、高效运行的基础和保障。该系统通过发电厂产生电能，经由高压输电线传输至铁路沿线的牵引变电所，经过转换设备将电能转换为适合电力机车使用的电流和电压。随后，这些电能通过接触网直接传输到电力机车上，为机车的牵引电动机提供动力，驱动其正常运行。牵引供电系统的稳定性和可靠性直接影响到电气化铁路的运行效率和安全性。它不仅能够提高列车的运行速度和牵引重量，还能增强列车的制动力，降低运输成本，提升铁路系统的整体经济效益，由于电气化铁路使用电能作为动力源，不需要燃烧化石燃料，因此具有节能环保、零排放等优点，符合当前绿色、低碳的发展理念。牵引供电系统还具备灵活的电能分配和调节能力，能够适应不同铁路区段的供电需求，确保电力机车在各种复杂环境下的正常运行。这得益于牵引变电所、分区亭、开闭所等辅助设施的协同工作，它们共同构成了电气化铁路供电系统的强大支撑网络。

3 电气化铁路常见牵引供电故障分析

电气化铁路作为现代交通的重要组成部分，其牵引供电系统的稳定性和可靠性对于铁路的安全运行至关重要，在实际运行过程中，牵引供电系统可能会遇到各种故障，这些故障不仅会影响列车的正常运行，还可能对供电设备造成损害。

3.1 无功功率问题

无功功率是电气化铁路牵引供电系统中常见的问题之一。由于电力机车属于感性负载，其基波电流会滞后于电压，导致功率因数降低。由于变压器、牵引电机等设备的非线性以及电力电子器件的非线性调节作用，机车电流中会包含大量不对称分布的谐波成分，这些谐波成分进一步恶化了功率因数^[2]。无功功率的存在不仅会降低供电系统的效率，还会增加供电线路、变送电设备以及其他用电设备的发热程度，从而加速设备的老化，无功功率还会导致电流增大，使得发电机、变压器等电气设备的容量增加，进而增加系统的投资成本。

3.2 负序电流问题

负序电流是电气化铁路牵引供电系统中的另一个重要问题。我国电气化铁路通过三相电力系统经牵引变压器将高压电压降压后向牵引网和电力机车进行单相供电。由于牵引变压器不对称的供电方式，必然会在电力系统中造成负序电流。负序电流会对供用电设备产生一系列危害，如发电机转子升温幅度增大、引起附加振动、变压器能量损失增多等，负序电流还会降低线路的输送能力，增加继电保护与自动装置负序参量启动元件的误动作概率。

3.3 谐波电流问题

谐波电流是电气化铁路牵引供电系统中的另一个关键问题。谐波是指电路中频率为基波频率整数倍的幅度较小但频率较高的波动。在电气化铁路供电系统中，谐波的产生会对电网造成一定的影响，不仅会导致设备工作不稳定，还可能损坏设备，影响供电质量。谐波电流主要由电动机、整流器、变压器等非线性负荷设备的工作方式引起。这些设备在工作时，会引入谐波电流，造成电网谐波污染。谐波电流会经由供电系统传递到其他设备，引起更严重的谐波问题。

3.4 牵引变电所故障跳闸

牵引变电所是电气化铁路牵引供电系统中的关键设备，其稳定性和可靠性对于整个系统的运行至关重要，在实际运行过程中，牵引变电所可能会出现过负荷跳闸等故障。牵引变电所故障跳闸的原因主要有负荷过大、设备故障、系统短路以及运行管理不当等。负荷过大时，容易造成设备运行负荷过大，导致变电所系统过负荷跳闸。设备故障或老化也可能导致变电所系统不稳定，进而引发跳闸。系统短路问题同样会导致变电所系统过负荷跳闸，运行管理人员对设备的维护保养不力或作业操作不规范也可能导致牵引变电所故障跳闸。

4 电气化铁路牵引供电故障应对措施

电气化铁路作为现代铁路的重要形式，其牵引供电系统的稳定性与可靠性直接关系到列车的安全运行与整体运营效率。针对牵引供电系统中常见的无功功率问题、负序电流问题、谐波电流问题以及牵引变电所故障跳闸等故障，提出了一系列应对措施，以确保电气化铁路的顺畅运行。

4.1 无功功率问题的解决措施

无功功率问题是电气化铁路牵引供电系统中的常见问题，它不仅会降低系统的功率因数，增加电网的损耗，还可能影响电力设备的正常运行。首先，通过合理安装无功补偿装置，如电容器组或静止无功补偿器（SVC），来提高电力系统的功率因数。这些装置可以根据系统的实际功率因数自动调节无功输出，从而达到改善功率因数、降低电网损耗的目的^[3]。其次，对于机车产生的无功功率，可以通过优化机车的设计，采用节能型电力机车，或者改进机车的无功补偿方式，如使用晶闸管控制电抗器（TCR）等装置，来减少机车对电网的无功需求。对于牵引供电系统中的变压器等感性负载，可以采用先进的磁路设计，减少其无功损耗，提高设备的能效。最后，加强对无功功率的监测与管理，建立完善的无功功率管理系统，通过实时监测和分析电网的无

功率状况,及时调整无功补偿策略,确保电网的稳定运行。

4.2 负序电流问题的应对措施

负序电流是电气化铁路牵引供电系统中的另一个重要问题,它会对电力系统的稳定性造成威胁,甚至可能引发设备的损坏。通过合理选择牵引变压器的接线方式,如采用平衡变压器或斯科特变压器等,来减少负序电流的产生。这些变压器在设计上考虑了负序电流的抑制,能够在一定程度上平衡电力系统的三相电流。对于已经产生的负序电流,可以通过在牵引变电所安装负序电流补偿装置,如负序电流滤波器等,来对其进行补偿和抑制。这些装置能够有效地吸收或抵消负序电流,从而改善电力系统的稳定性。还可以通过优化列车的运行方式和调度策略,如采用分时运行、调整列车发车间隔等方式,来减少负序电流对电力系统的影响。加强对负序电流的监测与分析,建立负序电流预警系统,及时发现并处理潜在的负序电流问题,确保电力系统的安全运行。

4.3 谐波电流问题的解决策略

谐波电流是电气化铁路牵引供电系统中不可忽视的一个关键问题,它如同一股无形的污染力量,悄然侵蚀着电网的健康,对设备的正常运行构成了潜在威胁。为了有效应对这一挑战,需要从多个层面入手,综合施策。首先,从源头上减少谐波电流的产生是关键,通过合理选择电力电子设备,如采用高性能的整流器、逆变器等,可以在设计阶段就充分考虑谐波抑制的需求,从而在源头上减少谐波电流的输出。这些先进的电力电子设备在设计时融入了先进的谐波抑制技术,能够在保证设备性能的同时,有效减少谐波污染。然而仅仅依靠设备自身的谐波抑制能力是不够的。对于已经产生的谐波电流,需要采取更为积极的措施进行滤除和抑制。在电网中安装谐波滤波器或谐波抑制装置,如串联谐振滤波器、并联谐振滤波器等,可以有效地吸收或抵消谐波电流,从而改善电网的电能质量,保护设备免受谐波电流的侵害,还可以通过优化供电系统的设计和运行方式,如采用多脉波整流技术、分散供电等方式,来进一步减少谐波电流的产生和传播。这些措施能够在不增加额外设备投资的情况下,通过改进系统设计和运行策略,实

现谐波污染的有效控制。最后,加强对谐波电流的监测与管理也是至关重要的。建立完善的谐波电流监测体系,通过实时监测和分析电网的谐波状况,可以及时发现并处理潜在的谐波问题,确保电网的电能质量始终保持在较高水平。

4.4 牵引变电所故障跳闸的预防措施

牵引变电所故障跳闸是电气化铁路牵引供电系统中的一种常见故障,它会对列车的正常运行造成严重影响^[4]。加强对牵引变电所设备的维护与管理,定期进行设备巡检和预防性试验,及时发现并处理设备存在的缺陷和隐患。提高牵引变电所设备的可靠性和稳定性,采用高质量的电气设备,优化设备的设计和选型,确保设备在恶劣环境下仍能稳定运行。加强对牵引变电所的运行监控和故障诊断,建立完善的监控系统和故障诊断体系,通过实时监测和分析设备的运行状态,及时发现并处理潜在的故障问题。加强对牵引变电所运维人员的培训和管理,提高其专业素养和操作技能,确保运维人员能够熟练掌握设备的操作和维护方法,减少因人为因素导致的故障跳闸事件。

结束语

综上所述,电气化铁路牵引供电系统的稳定性与可靠性对于保障列车安全运行至关重要。通过对常见牵引供电故障进行深入分析,并采取相应的应对措施,可以有效减少故障的发生,提高系统的运行效率。未来,随着技术的不断进步和运维管理的日益完善,相信电气化铁路牵引供电系统的稳定性和可靠性将得到进一步提升,为铁路运输事业的持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1]白雄雄.铁路牵引供电系统中的无功补偿与谐波治理研究[J].电力电容器与无功补偿,2022,43(06):11-15.
- [2]成雄.电气化铁路常见牵引供电故障分析及应对措施[J].低碳世界,2024,14(01):142-144.
- [3]李道德,刘长利,张韬.高速铁路牵引供电故障对动车组运行影响及应急处置研究[J].铁道运输与经济,2021,43(11):82-88.
- [4]任韬.牵引供电系统对铁路信号系统的电磁干扰分析[J].通信电源技术,2020,35(09):265-266.