

# 电气化铁路牵引供变电技术

齐宇奇

(中铁电气化局集团第一工程有限公司, 北京 100070)

**摘要** 本文将重点探讨电气化铁路牵引供变电技术的相关内容。首先介绍电气化铁路与传统燃油机车的对比, 其次介绍电气化铁路牵引供变电技术的基本原理和关键技术, 包括电力输送、变换和分配等方面。最后分析电气化铁路牵引供变电技术的应用现状和发展趋势, 以及面临的挑战和解决方案。

**关键词** 电气化; 铁路; 牵引; 供变电技术

中图分类号: U22

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)01-0118-03

电气化铁路是指铁路运输系统中的牵引供电系统采用电力供电的一种方式。相比传统的燃油机车, 电气化铁路具有更高的效率、更低的能耗和更环保的特点。而电气化铁路牵引供变电技术则是电气化铁路系统中的关键技术之一, 它涉及电力的输送、变换和分配, 对于保障电气化铁路的正常运行起着至关重要的作用。

## 1 电气化铁路概述

### 1.1 电气化铁路与传统燃油机车的对比

电气化铁路与传统燃油机车是现代交通运输领域的两种不同技术方案。电气化铁路采用电力作为动力源, 而传统燃油机车则使用燃油驱动, 这两种技术在效率、环保性和可持续性等方面存在显著差异。首先, 从效率角度来看, 电气化铁路具有明显优势。由于电力传输的损耗较小, 电气化铁路能够更高效地将能量转化为运动能, 提高列车的牵引力和速度。相比之下, 传统燃油机车在能量转化过程中会产生较多的热能和废气, 导致能量浪费和环境污染。其次, 电气化铁路在环保性方面表现出色。电力作为清洁能源, 使用电气化铁路可以减少大量的尾气排放, 降低空气污染和温室气体排放。而传统燃油机车则会释放出废气和有害物质, 对环境造成负面影响。最后, 可持续性也是电气化铁路的另一个优势。随着可再生能源的不断发展, 电气化铁路可以更好地利用这些清洁能源, 实现零排放运输。而传统燃油机车则依赖于有限的石油资源, 存在能源供应不稳定和价格波动的风险。

### 1.2 电气化铁路的工作原理和系统组成

电气化铁路是指通过供电系统将电能传输到铁路线路上, 以驱动列车运行的一种铁路形式。其工作原理是通过接触网和集电装置之间的电流传输, 将电能转换为机械能, 驱动列车运行, 系统组成主要包括供

电系统、接触网、牵引系统和控制系统。供电系统是电气化铁路的基础设施之一, 它负责将电能从发电厂输送到铁路线路上。通常采用的是交流供电方式, 即通过变电站将高压交流电转换为适合铁路使用的低压交流电。供电系统还包括配电装置, 用于将电能分配给不同的区段和列车。接触网是电气化铁路中的重要组成部分, 它由一系列的接触线和支撑结构组成。接触线悬挂在支撑结构上, 与行进中的列车保持接触, 通过接触线将电能传输给列车。接触网一般采用双轨供电方式, 即上下两根接触线分别为正极和负极, 通过列车上的受电弓与接触线接触, 实现电能的传输。牵引系统是电气化铁路中的动力系统, 用于将电能转化为机械能, 驱动列车运行。牵引系统包括电力机车或动车组以及其相关的传动装置, 通过电机将电能转化为机械能, 并通过轮轴传递给列车车轮, 实现列车的牵引和制动。电气化铁路的控制系统包括信号系统和调度系统, 信号系统用于确保列车运行的安全性, 通过信号灯和信号设备向列车驾驶员传递相关信息<sup>[1]</sup>。

## 2 电气化铁路牵引供变电技术

### 2.1 电力输送技术

#### 2.1.1 输电线路的设计和布置

输电线路通常采用架空线路形式, 即将输电电缆架设在支柱上, 以保证电能的传输。架空线路的设计和布置需要考虑以下因素: 一是输电线路的距离和长度。根据电气化铁路的运行距离和需求, 确定输电线路的总长度和分段长度。二是支柱的布置。确定支柱的位置和间距, 以确保输电线路的稳定性和安全性。三是输电线路的材料和规格。选择适合于电力输送的导线材料和规格, 以保证电能传输的效率和质量。四是考虑地形和环境因素。根据铁路线路的地形和环境

情况,设计和布置输电线路,以确保其稳定性和可靠性。

### 2.1.2 输电线路的电压和电流参数

一般来说,电气化铁路的牵引供变电系统采用较高的电压级别,以提高输电效率和减少能量损耗。其次,输电线路的电流参数与电气化铁路的负载相关。根据铁路的牵引需求和运行条件,确定适当的电流参数,以满足牵引车辆的电力需求。此外,电压和电流参数的确定需要综合考虑输电线路的长度、负载情况、电源站的容量等因素,并遵循电力系统的安全和稳定运行要求。

## 2.2 电力变换技术

在电气化铁路中,电力变换技术起着至关重要的作用,它负责将来自供电系统的高压交流电转换为适合电力机车使用的低压直流电。电力变换技术主要包括两个方面:牵引变电所和供电变电所。首先,牵引变电所位于铁路线路上,通过接收高压交流电,并经过一系列的变压、整流和滤波处理,将其转换为适合电力机车使用的直流电。牵引变电所通常由变电设备、控制系统和保护装置组成,其中变电设备包括变压器、整流器和滤波器。变压器用于将高压交流电调整到合适的电压级别,整流器将交流电转换为直流电,而滤波器则用于消除电流中的谐波。其次,供电变电所位于电力系统中心,负责将电力从发电厂输送到牵引变电所。供电变电所主要由变电设备和开关设备组成,变电设备包括变压器和开关设备,用于调整电压和控制电流的传输;开关设备用于切换电力系统的不同区域和线路<sup>[2]</sup>。

## 2.3 电力分配技术

### 2.3.1 分区供电的原理和方法

分区供电是将电气化铁路线路划分为多个电力供应区域,每个区域通过相应的供电设备为牵引车辆提供电能。分区供电的原理是根据线路长度、负载情况、电源站容量等因素,将整个线路划分为若干个供电区域,以确保电能的稳定供应和合理分配。分区供电的方法包括串联供电和并联供电两种:串联供电是将线路分成若干个供电区段,每个区段通过一个变电所或配电站供电。电能从电源站经过变电所或配电站逐段传输,最终到达牵引车辆。并联供电则是将线路分成若干个供电区域,每个区域通过一个供电设备(如变电所)独立供电。每个供电设备可以根据需求独立调节电压和电流,以满足牵引车辆的电力需求。

### 2.3.2 分区供电的优势和应用

首先,具有灵活性和可靠性。分区供电可以根据

不同区域的负载需求和运行情况,灵活调整电能的供应。同时,每个供电区域都有独立的供电设备,一旦某个区域出现故障,其他区域仍可正常供电,提高了系统的可靠性。其次,有利于节约成本。分区供电可以根据线路的负载情况和需求,合理配置供电设备,避免过度投资。同时,分区供电还可以减少电能传输的损耗,提高能源利用效率,降低运营成本。最后,还具有适应性和扩展性。分区供电可以根据电气化铁路的发展需求进行灵活扩展和升级。随着线路长度的增加和负载的变化,可以增加或调整供电设备,以适应不同的运行情况和未来的扩展需求。

## 3 电气化铁路牵引供变电技术面临的挑战和解决方案

### 3.1 能源效率和能源管理的问题

首先,采用高效的电力变换设备和系统,如高效的变频器、变压器和电动机,以减少能量损耗,这样可以提高能源转换的效率,减少能量损失。其次,通过优化供电系统的设计和运行,减少电力传输过程中的线损和电压波动,提高能源利用效率。可以采用电力电子技术和智能化控制技术,实现对供电系统的精确调节和控制。再次,建立智能化的能源管理系统,实时监测和控制供电系统的运行状态和能耗情况。通过对能源数据的采集和分析,可以优化供电系统的调度和能源分配,提高能源利用效率。通过对列车牵引能耗的监测和分析,制定合理的列车运行策略。可以根据列车的实际运行情况和能源需求,合理安排列车的运行速度和牵引力,减少能耗。最后,增加可再生能源的应用,如太阳能和风能,结合能量存储技术,实现对电力供应系统的可持续供能<sup>[3]</sup>。

### 3.2 安全和可靠性的挑战

电气化铁路牵引供变电技术面临的安全和可靠性挑战主要包括电力系统故障、设备损坏和运行异常等问题。这些问题可能导致列车停运、能源供应中断和安全事故等严重后果。因此,应定期进行设备的维护和检修,确保设备的正常运行和安全可靠。同时,采用智能化监测系统对设备进行实时监测,及时发现并排除潜在故障,提高设备的可靠性和安全性。其次,建立完善的电力系统保护装置和控制系统,能够快速检测和隔离电力系统故障,确保电力系统的稳定运行。采用智能化保护装置和自动化控制系统,能够提高故障诊断和处理的速度和准确性。加强对电力系统操作人员的培训和管理,提高他们的技能水平和应急处理能力。同时,建立健全的安全管理体系,加强对安全

规程和操作规范的执行,确保人员操作的安全性和可靠性。在电气化铁路牵引供变电技术的设计和施工过程中,采用可靠性设计原则,选择可靠性高的设备和材料,提高系统的可靠性。

### 3.3 环境保护和减排的需求

电气化铁路牵引供变电技术面临的环境保护和减排需求主要包括减少温室气体排放和降低能源消耗。增加清洁能源的比例,如可再生能源和核能等,减少对传统化石燃料的依赖。采用太阳能、风能等可再生能源作为电力供应的补充,可以减少温室气体的排放。通过优化电力系统的设计和运行,提高能源的利用效率。采用高效的电力转换设备和系统,减少能量损耗。同时,采用智能化能源管理系统,实时监测和控制能源的使用情况,合理安排能源的分配和调度。引入节能技术和设备,如能量回收装置、高效照明和空调系统等,降低能源消耗。通过优化列车的设计和制造,减轻列车的重量,降低能源消耗。通过开展环境宣传和教育活动,提高公众对电气化铁路环境保护的认识和意识。鼓励公众选择环保出行方式,减少对传统交通方式的依赖,推动可持续交通发展<sup>[4]</sup>。

## 4 电气化铁路牵引供变电技术的应用现状及发展趋势

### 4.1 国内外电气化铁路牵引供变电技术的应用案例

#### 4.1.1 中国高铁电气化供电系统

中国是世界上高铁建设最为发达的国家之一,其高铁电气化供电系统采用了先进的电力变换技术。中国高铁的电气化供电系统采用了交流电25kV、50Hz的电压等级,通过变电所将电网中的高压交流电转换为适合牵引车辆使用的低压交流电。在牵引车辆方面,中国高铁采用了牵引变流器和交流异步电动机的组合,将变电所输出的交流电转换为直流电,并通过电动机将其转化为机械能推动列车运行。

#### 4.1.2 日本新干线电力供应系统

日本的新干线是世界上第一条商业化运营的高速铁路,其电力供应系统采用了先进的电力变换技术。日本新干线的电力供应系统采用了交流电25kV、60Hz的电压等级,通过变电所将电网中的高压交流电转换为适合牵引车辆使用的低压交流电。

在牵引车辆方面,日本新干线采用了牵引变流器和交流异步电动机的组合,将变电所输出的交流电转换为直流电,并通过电动机将其转化为机械能推动列车运行。

### 4.2 电气化铁路牵引供变电技术的发展趋势

未来,电气化铁路牵引供变电技术的发展趋势主要体现在以下几个方面:第一,高效能源利用。随着能源环境问题的日益突出,电气化铁路牵引供变电技术将趋向更加高效的能源利用。未来的发展方向包括采用更高效的电力变换设备和系统,提高能源利用效率,减少能源消耗和碳排放。第二,智能化控制:随着信息技术的快速发展,电气化铁路牵引供变电技术将趋向更加智能化的控制系统。未来的发展方向包括采用先进的自动化控制技术,实现对电力供应和牵引系统的智能化监测、调度和管理,提高系统的稳定性和可靠性。第三,高速化和大容量化:随着高速铁路的快速发展,电气化铁路牵引供变电技术将面临更高的速度和更大的负荷需求。未来的发展方向包括采用更高功率的牵引变流器和电动机,提高系统的输出能力,满足高速列车的运行需求。第四,可持续发展:随着可持续发展理念的普及,电气化铁路牵引供变电技术将趋向更加环保和可持续的方向。未来的发展方向包括采用更多的可再生能源,如太阳能和风能,结合能量存储技术,实现对电力供应系统的可持续供能。第五,国际标准化和互联互通:随着全球铁路交通的互联互通需求增加,电气化铁路牵引供变电技术将趋向更加国际化和标准化。未来的发展方向包括制定统一的技术标准和规范,促进不同国家和地区的电气化铁路系统的互联互通和互操作性<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

综上所述,电气化铁路牵引供变电技术是电气化铁路系统中的关键技术,它对于提高铁路运输效率、降低能耗和保护环境具有重要意义。随着科技的不断进步和社会的发展需求,电气化铁路牵引供变电技术将不断创新和完善,为电气化铁路的发展提供强有力的支撑。

## 参考文献:

- [1] 刘玉宝. 电气化铁路牵引供电系统智能化技术探究分析[J]. 数字技术与应用, 2023, 41(08): 78-80.
- [2] 马雄江, 房高基. 电气化铁路牵引变电所运动装置异常问题及对策[J]. 电气化铁道, 2023, 34(S1): 105-108.
- [3] 葛骏翔. 基于大数据分析的电气化铁路牵引供变电系统设计[J]. 电子设计工程, 2021, 29(07): 16-19, 24.
- [4] 张志强. 电气化铁路牵引供变电系统的研究与仿真[D]. 天津: 河北工业大学, 2016.
- [5] 董浩. 普速铁路牵引供电系统谐波分析[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2023.