

# 电气化铁路供电体系中继电保护整定分析

杨 科

内蒙古东乌铁路有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

**摘 要：**电气化铁路供电体系中继电保护整定分析是确保铁路电力供应安全稳定的关键环节。本文探讨基于传统理论与现代技术的继电保护整定方法，分析距离保护、电流保护及电压保护等传统整定方式，并讨论微机保护、自适应保护及基于人工智能的整定技术。通过分析，提出适用于电气化铁路供电体系的继电保护整定策略，旨在提高供电系统的可靠性和安全性，为铁路运输提供坚实的电力保障。

**关键词：**电气化铁路供电体系；继电保护；整定分析

引言：电气化铁路作为现代铁路运输的重要组成部分，其供电体系的安全稳定直接关系到铁路运输的顺畅与高效。继电保护作为供电体系的重要组成部分，其整定准确性直接影响故障切除的及时性和供电系统的可靠性。因此开展电气化铁路供电体系中继电保护整定分析，对于保障铁路运输安全具有重要意义。

## 1 电气化铁路供电体系概述

### 1.1 供电体系的结构与组成

电气化铁路供电体系是铁路系统中至关重要的组成部分，其核心功能是为电力机车提供持续、稳定的电力供应。这一体系主要由几个关键部分构成：（1）牵引供电系统是电气化铁路供电体系的核心，主要包括牵引变电所和接触网。牵引变电所的主要任务是将国家电网送来的三相高压电（通常为220千伏或110千伏）转换成适合电力机车使用的单相交流电（我国电气化铁路普遍采用25千伏单相工频50赫兹交流供电制式，也有说法为27.5千伏）。这些电能通过馈电线输送到沿铁路线上空架设的接触网上，电力机车通过升弓与接触网接触，获取所需的电能。（2）接触网是电气化铁路特有的供电设备，其结构复杂且工作环境恶劣。它主要由承力索、接触线、吊弦、中心锚结、锚段关节、补偿装置等部分组成，用以悬挂和支撑接触悬挂，并将其各种受力载荷传递给支柱或桥隧等大型建筑物。接触网不仅受到各种气象条件的影响，还受到电力机车行走时带来的动作用力，因此其结构必须经久耐用，以保证电气化铁路的安全可靠运营。（3）除了牵引供电系统外，电气化铁路供电体系还包括动力照明供电系统、信号与通信系统供电以及其他辅助设备供电。动力照明供电系统负责将电

**作者简介：**杨科，男，1985年10月生，鄂尔多斯市达拉特旗人，中级工程师，本科学历，研究方向：铁道供电系统。

力系统提供的三相交流电转换为适合铁路站场、区间及沿线设施使用的三相或单相交流电，并通过配电网分配给各个用电设备。信号与通信系统供电则确保铁路信号设备和通信设备的正常运行，辅助变电所还为铁路沿线的一些特殊设备提供电源，如道口警示设备、防灾安全监控设备等<sup>[1]</sup>。（4）备用电源在电力系统停电或故障时，为铁路重要负荷提供备用电源，确保铁路的正常运行，这通常包括备用变电所和备用发电设备等。

### 1.2 供电体系的运行特点

电气化铁路供电体系在运行过程中展现出以下几个显著特点：第一、电气化铁路采用电力牵引作为主要动力来源，具有高效、节能、环保等优点。电力机车的效率高，采用火力发电的效率是蒸汽机车的4倍，如水力发电，效率可达蒸汽机车的10倍，电力机车构造简单、摩擦件少、购置费低、使用寿命长，因此包括能源费、维修费、折旧费在内的机务成本较低。第二、电气化铁路供电体系通过牵引变电所和接触网的配合，为电力机车提供稳定可靠的电力供应。牵引变电所通常采用“双备份”模式，即两套设备通过切换装置可以互为备用并随时处于“战备”状态，以确保供电的连续性。接触网的结构设计也考虑了其恶劣的工作环境条件，以保证其经久耐用和稳定供电。第三、电气化铁路供电体系在设计时充分考虑了安全性因素。供电系统还采用了各种保护措施和控制技术，以确保在异常情况下能够迅速切断电源并采取措施防止事故扩大。第四、随着科技的发展，电气化铁路供电体系逐渐实现了智能化管理。通过引入计算机技术和远动系统等技术手段，可以实现对供电设施的集中监控和远程控制。

## 2 继电保护在电气化铁路供电体系中的作用及原理

### 2.1 继电保护的主要作用

电气化铁路供电体系涉及复杂的电力网络和众多电

气设备,任何一点故障都可能影响整个系统的正常运行。继电保护装置能够在系统发生故障时,迅速准确地判断故障位置,并自动切除故障部分,防止故障蔓延,从而保障供电系统的整体可靠性。电气化铁路供电体系中的关键设备,如牵引变压器、接触网、馈电线等,一旦发生故障,不仅会影响电力供应,还可能对设备本身造成严重的损害。继电保护装置通过实时监测电气参数,及时发现异常并采取措施,防止设备因过载、短路等原因受损,延长设备使用寿命。供电质量是衡量电气化铁路供电体系性能的重要指标之一,继电保护装置能够及时发现并处理供电系统中的异常情况,如电压波动、电流异常等,从而确保供电质量稳定可靠,满足电力机车对电能的需求。电气化铁路供电体系中的故障如果得不到及时处理,可能会引发严重的事故,如火灾、爆炸等。继电保护装置通过快速切除故障部分,能够有效降低事故风险,保障铁路运行安全。

## 2.2 继电保护的基本原理

继电保护的基本原理是基于电力系统发生故障时电气量的变化,通过检测这些变化并判断故障类型和位置,从而触发相应的保护动作。具体来说,继电保护的基本原理包括几个方面:(1)电流保护原理:当电气化铁路供电系统中的设备或线路发生故障时,故障电流会显著增大。继电保护装置通过检测电流变化,并与设定的整定值进行比较,当电流超过整定值时,判断为故障并触发保护动作。电流保护分为过电流保护和短路电流保护,前者用于保护设备过载,后者用于保护短路故障<sup>[2]</sup>。(2)电压保护原理:电压保护原理是通过检测供电系统中的电压变化来判断故障。当电压低于或高于设定值时,继电保护装置会判断为异常并触发保护动作。电压保护分为低电压保护和过电压保护,分别用于保护设备免受欠压和过压的危害。(3)差动保护原理:差动保护原理是通过比较供电系统中两端电流的差值来判断故障。当两端电流差值超过设定值时,继电保护装置会判断为故障并触发保护动作。差动保护主要用于保护变压器、发电机等关键设备,具有高度的选择性和灵敏度。(4)阻抗保护原理:阻抗保护原理是通过检测供电系统中故障点的阻抗变化来判断故障。当阻抗低于设定值时,继电保护装置会判断为故障并触发保护动作。阻抗保护分为距离保护和方向阻抗保护,前者用于保护线路故障,后者用于保护具有方向性的故障。(5)综合保护原理:随着技术的发展,继电保护装置逐渐实现了综合保护功能。综合保护原理是将多种保护原理相结合,通过综合判断电气量的变化来触发相应的保护动作。

## 3 电气化铁路供电体系中继电保护整定的影响因素

### 3.1 供电系统参数

电气化铁路供电体系中,继电保护整定的准确性直接受到供电系统参数的影响。电气化铁路供电系统的电压等级直接影响继电保护的整定值。一般来说,电压等级越高,对继电保护的准确性和快速性要求也越高。系统阻抗是影响继电保护整定的另一个重要因素,系统阻抗的变化会影响故障电流的大小和分布,从而影响继电保护的灵敏度和选择性。在电气化铁路供电系统中,由于牵引负荷的非线性、不对称和波动性,系统阻抗会随之变化。短路电流水平是衡量供电系统短路故障严重程度的重要指标,在电气化铁路供电系统中,由于牵引变压器的存在和负荷的波动性,短路电流水平也会发生变化。短路电流的大小直接影响继电保护的整定值,因为保护动作需要足够大的短路电流来触发。同时短路电流的持续时间和波形也会对继电保护的動作特性产生影响<sup>[3]</sup>。供电系统的接地方式也会影响继电保护的整定,不同的接地方式会导致故障电流的分布和大小发生变化,从而影响继电保护的灵敏度和选择性。供电系统的稳定性是继电保护整定需要考虑的另一个重要因素。系统稳定性受到多种因素的影响,如负荷波动、电源电压波动、系统阻抗变化等。

### 3.2 负荷特性

电气化铁路供电体系的负荷特性对继电保护整定同样具有重要影响。负荷特性的变化会直接影响供电系统的电流、电压等电气参数,从而影响继电保护的灵敏度和选择性。电气化铁路的负荷具有显著的波动性,由于客流分布在不同地区、不同时段千差万别,铁路运输组织为适应客流需要,会实施不同编组、不同追踪间隔的列车运输方案。这导致牵引变电所两供电臂内列车的数量及每一列车的负荷状态随时都在变化,牵引变电所的负荷呈现出频繁波动的状态。这种负荷波动性会对继电保护的整定值产生影响,因为保护动作需要基于实时的电流和电压测量值进行判断。高铁负荷是典型的冲击性负荷<sup>[4]</sup>。当机车通过供电臂时,所占用的供电臂电流会骤然上升,并且随着机车启动、惰行、制动等不同运行工况下负荷电流不断变化。这种负荷冲击性会导致供电系统中的电流和电压发生剧烈变化,从而影响继电保护的灵敏度和选择性。电气化铁路牵引负荷具有不对称性,由于电力机车通常从接触网的上行和下行两个供电臂取电,而供电臂的长度和负荷分布可能不均匀,导致电流和电压在上行和下行方向上存在差异。这种不对称性会对继电保护的整定值产生影响,因为保护动作需要基于

平衡的电流和电压测量值进行判断。电气化铁路负荷中含有一定的谐波分量,这些谐波分量会对供电系统的电流和电压波形产生影响,从而导致继电保护的動作特性发生变化。谐波会导致继电保护和自动装置的某些器件发热,甚至导致无法使用,直接影响这些装置的正常运行。

#### 4 电气化铁路供电体系中继电保护整定方法

##### 4.1 基于传统理论的整定方法

在电气化铁路供电体系中,继电保护整定方法首先基于传统理论进行。这些方法经过长期实践验证,具有可靠性和稳定性,是确保供电系统安全运行的基础。距离保护整定是电气化铁路供电体系中常用的一种整定方法。该方法基于故障点与保护安装点之间的电气距离来判断故障位置,并触发相应的保护动作。在整定过程中,需要确定距离保护的整定值,包括距离保护的I段、II段和III段的灵敏度和时间延迟。例如,对于220kV电气化铁路供电线路,距离保护I段的灵敏度通常根据线路总长度的1.5倍进行整定,时间延迟为0s;II段的灵敏度根据线路总长度的两倍进行整定,时间延迟为1.2s;III段的灵敏度则按照线路总长度的三倍进行整定,时间延迟为1.5s。电流保护整定是通过检测故障电流的大小来判断故障类型并触发保护动作。在电气化铁路供电体系中,电流保护通常分为过电流保护和短路电流保护。过电流保护用于保护设备过载,其整定值通常根据设备的额定电流和过载能力进行设定。短路电流保护则用于保护短路故障,其整定值需要确保在短路故障发生时能够迅速切除故障部分。电压保护整定是通过检测供电系统中的电压变化来判断故障并触发保护动作。在电气化铁路供电体系中,电压保护通常分为低电压保护和过电压保护。低电压保护用于保护设备免受欠压的危害,其整定值通常根据设备的额定电压和允许的低电压范围进行设定。过电压保护则用于保护设备免受过压的危害,其整定值需要确保在过电压故障发生时能够迅速切除故障部分。

##### 4.2 基于现代技术的整定方法

随着现代技术的发展,电气化铁路供电体系中的继电保护整定方法也在不断更新和完善。(1)微机保护整

定:微机保护整定是利用微处理器技术实现的继电保护整定方法。该方法具有高精度、高可靠性和灵活性等优点,能够实现对供电系统中各种故障类型的快速准确判断。在微机保护整定过程中,可以通过软件编程实现对保护参数的灵活设置和调整,以适应不同工况下的保护需求<sup>[5]</sup>。(2)自适应保护整定:自适应保护整定是一种能够根据供电系统实际运行状况自动调整保护参数的整定方法。该方法通过实时监测供电系统中的电气参数和故障特征,自动调整保护参数以提高保护的准确性和可靠性。(3)基于人工智能的整定方法:基于人工智能的整定方法利用机器学习、神经网络等先进技术对供电系统中的故障进行预测和判断。该方法能够通过历史数据的分析和学习,实现对未来故障类型的预测和判断,并根据预测结果自动调整保护参数。

#### 结束语

电气化铁路供电体系中继电保护整定分析是确保铁路供电安全稳定的重要手段。通过深入研究和分析,提出多种有效的整定方法和策略,旨在提高继电保护的准确性和可靠性。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,将继续探索更先进的整定技术和方法,为电气化铁路供电体系的安全稳定运行提供更加坚实的保障,推动我国铁路运输事业的持续发展。

#### 参考文献

- [1]康静.继电保护整定计算方法中的问题分析与对策探讨[J].中国设备工程,2021(2014-10):147-148.
- [2]李斌,周勇,李明霞,等.电力系统继电保护整定计算中运行方式的组合问题[J].电力设备管理,2021(3):3-4.
- [3]康正波.电气化铁路供电体系中继电保护整定分析[J].电力设备管理,2023(14):164-166.
- [4]周诗广,苗仁涛,李洋,等.我国铁路工程领域工程能力评价专业设置研究[J].中国铁路.2022,(6).DOI:10.19549/j.issn.1001-683x.2022.06.02.002.
- [5]孙昌稳.继电保护整定值的计算与分析[J].上海电气技术.2022,15(1).DOI:10.3969/j.issn.1674-540X.2022.01.002.