

城市轨道交通专用轨回流系统直流接地保护方案*

黄 辉

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//工程师)

摘 要 基于城市轨道交通常规走行轨回流系统,分析了专用轨回流系统的特点,并针对接触网+回流轨牵引供电系统和供电轨+回流轨牵引供电系统,阐述直流接地漏电保护装置的工作原理。接触网+回流轨牵引供电系统直流接地保护方案在变电所直流负极与地之间设置接地漏电保护装置,在直流系统正极对负极、架空地线、钢轨、车辆壳体等各种短路故障中可实现选择性保护;供电轨+回流轨牵引供电系统采用64D接地漏电保护装置,通过一系列改进,可切除故障回路,实现选择性保护。

关键词 城市轨道交通;专用轨回流;接地保护;接地漏电保护装置

中图分类号 U223.8⁺2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.12.038

DC Ground Protection Scheme of Urban Rail Transit Special Return Rail System

HUANG Hui

Abstract Based on the urban rail transit conventional running rail return system, the characteristics of special rail return system are analyzed. Targeting catenary + return rail traction power supply system and power supply rail + return rail traction power supply system, the working principle of DC ground electricity leakage protection device is elaborated. In the catenary + return rail traction power supply system DC ground protection scheme, the ground electricity leakage protection device is set up between substation DC negative pole and ground, it is capable to perform selective positive pole is capable of selective protection of various short-circuit faults in the DC system like positive to negative, positive to overhead ground wire, positive to steel rail and vehicle shell. The power supply rail + return rail traction power supply system adopts 64D ground electricity leakage protection device, through a series of improvement, it can be cut off the fault circuit to realize selective protection.

Key words urban rail transit; special return rail; ground protection; ground electricity leakage protection device

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

在城市轨道交通牵引供电系统常采用走行钢轨回流方式。由于钢轨不能完全绝缘于道床,因此牵引回流电流会通过钢轨向道床及其他结构泄漏,并产生杂散电流^[1]。杂散电流会腐蚀车站及区间主体结构的钢筋、城市轨道交通内部的金属管线,以及线路沿线的市政金属管线。对此,专用轨回流系统提供了更彻底的隔离解决方案。专用轨回流采用绝缘支架安装在轨道中间或侧面,其将列车牵引回流引至变电所负极母线,从而实现电气与土建结构的有效隔离。

由于专用轨回流对地绝缘良好,接触网和专用轨回流的对地泄漏电阻极高,故当发生接触网对钢轨(或地)短路故障时,故障电流太小,且不在变电所直流接地框架泄漏保护范围内^[2]。因此,有必要对专用轨回流系统的直流接地保护方案进行研究。

1 专用轨回流系统简介

1.1 专用轨回流与走行轨回流对比

在专用轨回流系统中,绝缘支架的电阻率理论上可达到 $10^8 \Omega\text{km}$,这可从根本上解决杂散电流的问题。专用轨回流系统能彻底解决杂散电流对车站及区间结构钢筋,以及沿线市政金属管线的腐蚀问题,可有效降低相关专业对杂散电流的防护要求及实施难度,减少后续运营的维护工作量。

使用走行轨回流时,杂散电流对钢轨、道床和土建建筑结构钢筋的影响较大;供电系统需设置杂散电流防护工程和安全防护项;钢轨需绝缘安装,并设置排流网及杂散电流测防端子及连接端子;站台门绝缘安装并设置等电位装置与钢轨连接。图1为走行轨回流系统示意图。

专用轨回流系统不再设置杂散电流防护工程,需设置专用轨回流工程;车辆需增设专用回流器、负极母线;走行轨无需绝缘,直接和接地网连接;站

* 中国铁建股份有限公司科技重大专项资助计划项目(2018-A01)

台门无需绝缘安装。图 2 为专用轨回流系统示意图。

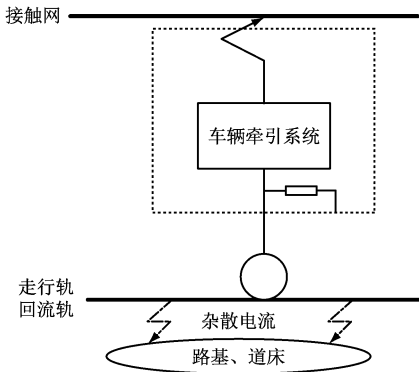


图 1 走行轨回流系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of running rail return system

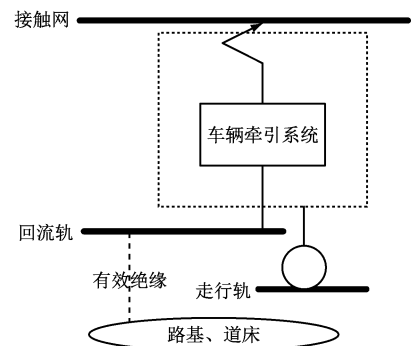


图 2 专用轨回流系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of special rail return system

1.2 专用轨回流系统分类

目前,我国的专用轨回流系统主要有接触网 + 回流轨牵引供电制式和供电轨 + 回流轨牵引供电制式两种。

1.2.1 接触网 + 回流轨牵引供电制式

接触网 + 回流轨牵引供电制式采用架空接触网授电、专用轨回流回流的牵引供电制式。架空接触网采用常规接触网供电方案,其地下段采用刚性悬挂,地面及高架段采用柔性悬挂。专用轨回流为钢铝复合轨,采用常规接触轨供电方案。我国已开通运营的宁波轨道交通 4 号线及在建的郑州市轨道交通港区至许昌市域铁路工程均采用该类专用轨回流系统。接触网 + 回流轨牵引供电系统在圆形盾构区间的断面示意图如图 3 所示。

1.2.2 接触轨 + 回流轨牵引供电系统

接触轨 + 回流轨牵引供电制式采用接触轨供电、专用轨回流回流的牵引供电制式,其供电轨和回流轨均采用常规接触轨供电方案,即钢铝复合轨。国内已开通运营的重庆轨道交通跨坐式单轨、

长沙磁浮快线工程及在建的清远市磁浮旅游专线工程、凤凰磁浮文化旅游项目等工程均采用该方案。供电轨 + 回流轨牵引供电系统在高架区间的断面布置示意图如图 4 所示。

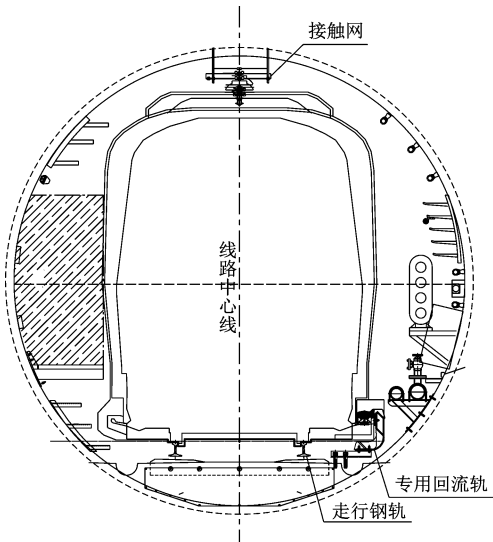


图 3 接触网 + 回流轨牵引供电系统在圆形盾构区间的断面示意图

Fig. 3 Cross section diagram of catenary + return rail traction power supply system in circular shield section

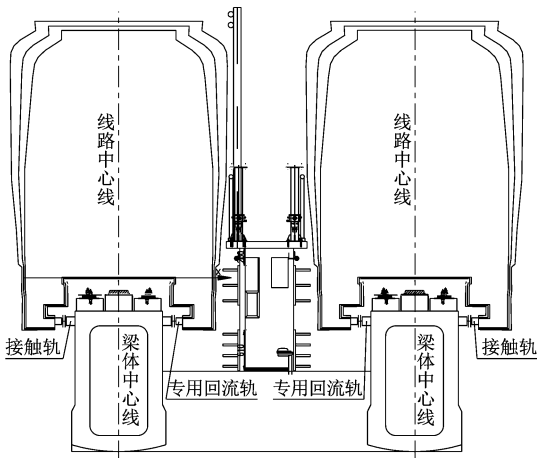


图 4 供电轨 + 回流轨牵引供电系统在高架区间的断面示意图

Fig. 4 Cross section diagram of power supply rail + return rail traction power supply system in elevated section

2 接地保护方案

2.1 走行轨回流系统的接地保护方案

为研究专用轨回流系统接地保护方案,本文以传统走行轨回流系统接地保护方案作为对比方案,对专用轨回流系统的接地保护方案进行研究分析。

对于采用走行轨回流的城市轨道交通牵引供电系统,其接地保护一般通过框架泄漏保护来实现。当直流开关柜、整流器、负极柜或隔离开关柜等直流设备柜内正极对外壳发生绝缘损害时,框架泄漏保护快速动作,保证牵引供电系统的安全。框架泄漏保护装置由电流测量元件和电压测量元件组成。电流测量元件一端接设备外壳,另一端接地,用于检测外壳与地之间流过的故障电流;电压测量元件一端接于负极,另一端接设备外壳,用于测量设备外壳与直流设备负极之间的电压^[3]。

2.2 专用轨回流系统的接地保护方案

在专用轨回流系统中,走行钢轨不再是直流供电系统中的回流通路。为保证区间检修和疏散的安全,全线走行轨应直接接地。当专用轨回流系统中牵引网对走行轨(大地)短路时,由于专用轨回流系统的牵引网和回流轨对地绝缘好,对地泄漏电阻大,此时直流故障短路电流小,直流断路器无法动作切除故障,将对轨道交通运营产生严重影响。

在走行轨直接接地的前提下,通过在直流负极母线与走行轨(大地)之间设置接地漏电保护装置作为牵引网对走行轨(大地)短路时的电流通路,减小短路时的系统阻抗,增大直流故障短路电流,利用直流馈线断路器动作跳闸切除故障。

接地漏电保护装置由单向导通二极管与泄漏电流检测元件共同组成,其中二极管在电流由大地流向负极母线时导通,在反向时截止。

对于接触网+回流轨牵引供电系统和供电轨+回流轨牵引供电系统,二者的接地保护方案略有不同。

2.3 接触网+回流轨牵引供电制式的接地保护方案

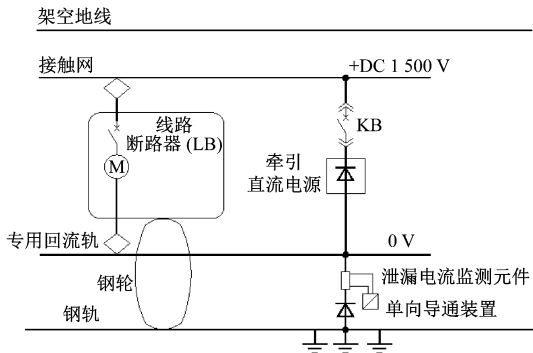
2.3.1 故障类型

常见的接触网+回流轨牵引供电制式直流短路故障类型主要有:Ⅰ类,接触网对走行钢轨或架空地线短路故障;Ⅱ类,变电所直流设备内部正极对设备外壳短路故障;Ⅲ类,接触网对地或列车外壳短路故障;Ⅳ类,车辆内部的正极对壳体短路故障;Ⅴ类,车辆内部的正、负极对车辆外壳绝缘不良故障。

2.3.2 接地漏电保护装置的设置

采用专用轨回流系统方案后,走行钢轨在车站内均已可靠接地,牵引网与地、车辆外体均良好绝缘。为增加直流系统保护选择性,减小发生故障后

的停电范围,专用轨回流系统直流牵引供电继电保护设置方案与走行轨回流系统基本保持一致,通过设置框架保护元件对一般的接地故障进行保护,并在钢轨(地)和直流系统负极母线之间设置接地漏电保护装置(单相导通装置+泄漏电流监测元件),为牵引网正极对地短路电流提供电流通路,如图5所示。



注:M为电客车牵引电极;KB为直流断路器。

图5 接触网+回流轨牵引供电系统接地漏电保护装置
Fig. 5 Ground electricity leakage protection device of catenary + return rail traction power supply system

当城市轨道交通线路中发生Ⅰ类—Ⅳ类接地故障时,专用轨回流系统直流相关的继电保护方案与常规方案保持一致。

当发生Ⅴ类故障时,正极或负极出现绝缘降低或损坏,设置在车辆内部正负极与车辆壳体间的绝缘检测装置会检测到绝缘降低或损坏,对应的继电保护方案为:

1) 车辆内部正极出现接地短路故障时,短路电流流向为正极→地→接地漏电保护装置→负极,相当于正负极之间短路。此时电客车正极接地保护方案与传统走行轨保护方案一致。电客车壳体通过钢轮、钢轨和车站内接地网相连,车内乘客和电客车壳体等电位,即可完全保证车上乘客人身安全。同样,车辆内部负极出现接地短路故障时,电客车内乘客人身安全也可以得到保障。

2) 车辆内部正极或负极出现绝缘降低或损坏时,绝缘检测装置能及时检测到泄漏电流,同时发出报警信息并存储故障信息,以便列车回场段后检修排查故障。

3) 当直流正极接触网或直流负极专用轨回流发生非金属性接地短路时,设置在变电所内的接地漏电保护装置均能检测到泄漏电流。装置内部的泄漏电流检测元件会报警并上传信号至变电所电力监控后台,以方便运营维护人员寻找泄漏点并解

决故障。

根据前文分析,接触网+回流轨系统直流牵引供电系统继电保护设置方案与走行轨回流系统保持一致。通过在变电所直流负极与地之间设置接地漏电保护装置,接触网+回流轨牵引供电制式的直流保护方案在发生正极对负极、正极对架空地线、正极对钢轨、正极对车辆壳体等各种短路故障时,均能起到选择性保护的作用。

2.4 接触轨+回流轨牵引供电制式的接地保护方案

目前,在我国已开通运营的、采用接触轨+回流轨制式的跨座式单轨线路及中低速磁浮快线中,大部分采用 64D 接地漏电保护装置(以下简称“64D 装置”)。该装置原理图如图 6 所示。64D 装置对直流系统正极对地短路故障的判断依据为:测量负极母线对地电压达到整定值后即跳闸。全线牵引变电所的正极母线及负极母线均通过接触网和回流轨贯通,其实际为并联运行方式。在正常运行期间,若某区间发生牵引网正极对地短路故障,则通过大地及 64D 装置接地电阻后流回负极的电流增大,导致负极对地电压升高到整定值,全线牵引变电所内 64D 装置动作,进而使全线直流馈线断路器跳闸,从而导致牵引网大面积停电,严重影响线路正常运营。为了避免这一问题,需对原有的 64D 装置进行第一次改进。

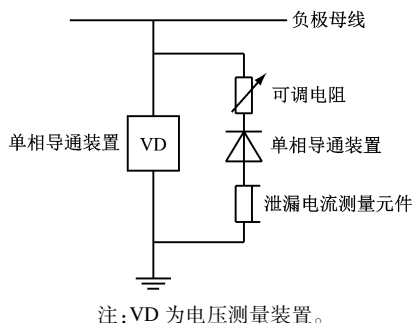


图 6 64D 接地漏电保护装置原理图

Fig. 6 Schematic diagram of ground electricity leakage protection device

第一次改进后的 64D 装置将检测牵引网负极对地电压值调整为检测负极对地电流值。一旦检测到的电流值达到整定出口值,64D 装置就会给直流馈线断路器发出跳闸命令,切断故障回路。此时,第一次改进后的 64D 装置仍不能检测出故障具体发生位置。

为进一步提高直流系统保护动作的选择性,在牵引变电所每个上网隔离开关柜内增加设置电流传感器,对每一路直流馈线电流进行测量。对 64D 装置进行了第二次改进,第二次改进后的 64D 接线如图 7 所示。

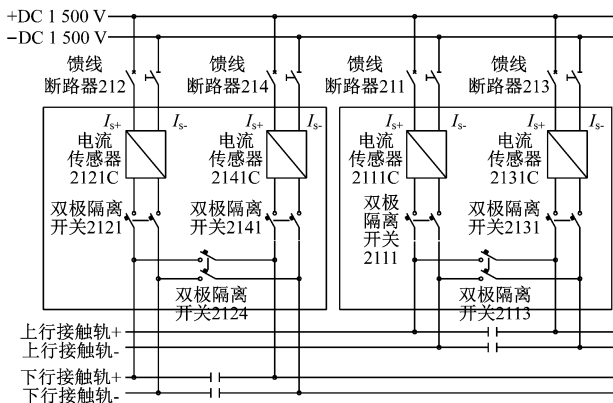


图 7 改进后的 64D 装置接线图

Fig. 7 Wiring diagram of improved 64D device

由基尔霍夫电流定律可知:理论上,供电系统正常运行时直流正极馈出电流(I_{s+})与直流负极回流电流(I_{s-})相等;当牵引网正极对地短路时, I_{s+} 测量值大于 I_{s-} 测量值,当二者差值大于报警阈值或者跳闸整定值时,则 64D 会对对应的直流馈线断路器发出报警或跳闸命令,从而切断故障回路。

改进后,各牵引变电所 64D 装置内的控制单元通过光纤进行实时通信,对全线各牵引变电所直流馈线电流 I_{s+} 和 I_{s-} 的最大差值进行比较,确定差值最大的直流馈线回路。根据反时限跳闸曲线,差值电流与跳闸时间成反比:差值电流值越小,对应的跳闸时间越长;差值电流值越大,对应的跳闸时间越短。此外,第二次改进还在每个保护中加入了一定的延时:离故障点最近的直流馈线断路器检测到的差值电流最大,最先动作;离故障点越远的直流馈线检测到的电流差值也越小,对应的保护装置出口跳闸时限更长。利用这种时间级差的配合,可进一步实现保护功能的选择性,避免故障扩大化。

改进后的 64D 装置通过检测大地至负极的漏电流及直流馈线正负极电流差值,能准确地定位故障发生区段,并通过逻辑判断快速切除故障回路,不会影响其他区间正常供电,彻底解决了保护选择性的问题。改进后的 64D 装置在清远市磁浮旅游专线工程、武汉光谷生态旅游专线等项目均有应用。

(下转第 210 页)