

利用直流馈线开关线路测试功能优化 接触网跳闸处置流程

池代臻¹ 林家通² 苏芳益²

(1. 佳都新太科技股份有限公司, 510653, 广州; 2. 厦门轨道交通集团有限公司, 361004, 厦门//第一作者, 高级工程师)

摘 要 当地铁接触网发生跳闸故障时,通常采用试送电的方式来判断故障区域。但是试送电的方式存在耗时长且可能导致二次短路电流损害设备的缺点。介绍了地铁接触网供电结构与馈线开关的线路测试功能,分析了采用试送电判断故障区域的处理流程。在计算并对比短路电流与线路测试电流后,提出利用直流馈线开关的线路测试功能优化故障处理的方法,有效简化了故障处置的流程。

关键词 地理供电; 接触网; 线路测试; 故障处理; 试送电

中图分类号 U226.8⁺3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.09.031

Disposal Process of Function Optimization OCS Fault Trip Tested by DC Feeder Switch Line

CHI Daizhen, LIN Jiatong, SU Fangyi

Abstract When the trip fault occurs in metro overhead contact system (OCS), the fault area is usually judged by trial power transmission mode, which may waste the processing time and cause the secondary short-circuit current damage to equipment. In this paper, the structure of metro power supply mode and the functions of DC feeder switch line test are introduced, the fault disposal process of fault area judgment by using the trial power transmission is analyzed. Through calculating and comparing the short-circuit current with the line test current, an improved fault treatment method is proposed by using the functions of DC feeder switch line test, which effectively simplifies the troubleshooting procedure.

Key words geographic power supply; overhead contact system (OCS); line test; fault treatment; trial power supply

First-author's address PCI-Suntek Technology Co., Ltd., 510653, Guangzhou, China

国内外地铁牵引供电系统普遍采用 DC 750 V 或 DC 1 500 V 的供电制式,由受电弓/集电靴从接触网上取流为电客车供电。接触网是沿轨道线路架设特殊形式的供电线路,主要有柔性接触网、刚

性接触网和接触轨等几种形式。接触网是地铁牵引供电系统中唯一没有备用的设备。从地铁供电系统的运行经验中可以看出,接触网是电力牵引中一个比较薄弱的环节。机车运行时,受电弓从接触网上动态取流,接触网部件始终承受大电流与振动的应力作用,外加风雨等外部客观环境影响,接触网容易发生线索、零部件的变形、脱落及绝缘子击穿,乃至弓网故障等问题^[1]。

以地铁运营经验来看,接触网以短路故障比较多见。上网电缆破损、腕臂绝缘子击穿、车顶绝缘子闪络^[2]、异物侵入^[3]等诸多原因都可能造成接触网短路故障^[4]。当发生此类故障时,就会导致地铁供电跳闸而中断供电,进而影响线路运营。一个接触网供电臂的距离通常都上公里,发生故障时如何判断接触网短路类型,找到短路故障点,对于迅速恢复供电就显得尤为重要。

本着“先通后复”的原则,需要在发生故障时合理调度,以缩短故障应对时间。文献[5-6]通过故障测距的方法,可以比较准确地确定故障位置,但因地铁运营的特殊性,需要快速恢复运营,并不太适用快速响应的需求。文献[7-8]从接触网专业的角度,对 DC 1 500 V 开关跳闸的故障原因进行分析,总结应对办法,但并未总结出通用的故障处理流程。文献[9]也只是从电力调度角度提出地铁供电系统故障应急处置对策,相关文献[7-9]是在分析故障原因及调度方法上提出见解,未对故障处理流程上进行相关优化。

本文旨在研究通过利用直流开关的线路测试功能优化接触网跳闸处置流程。分析线路测试原理易得出其具有检测接触网线路故障的功能^[10]。通常情况直流开关合闸或自动重合闸前对线路进行自动测试,但未见相关文献将馈线开关的线路测试功能引入至接触网跳闸故障处理流程之中。本

文将阐述直流供电系统与线路测试原理,分析常规采用试送电的方法进行故障处理流程,计算对比短路故障电流与线路测试电流,研究利用直流馈线开关线路测试功能优化接触网跳闸故障处置流程。

1 直流供电系统与线路测试

1.1 直流供电系统

地铁直流供电系统主要由主变电所、牵引变电所、接触网、环网电缆、电力监控系统等组成。在采用集中供电方式时,由城市 110 kV 的变电所引专线向地铁主变电所供电,主变电所降压成 35 kV 电压等级经环网电缆向各个牵引变电所和降压变电所供电,组成完整的地铁供电系统。

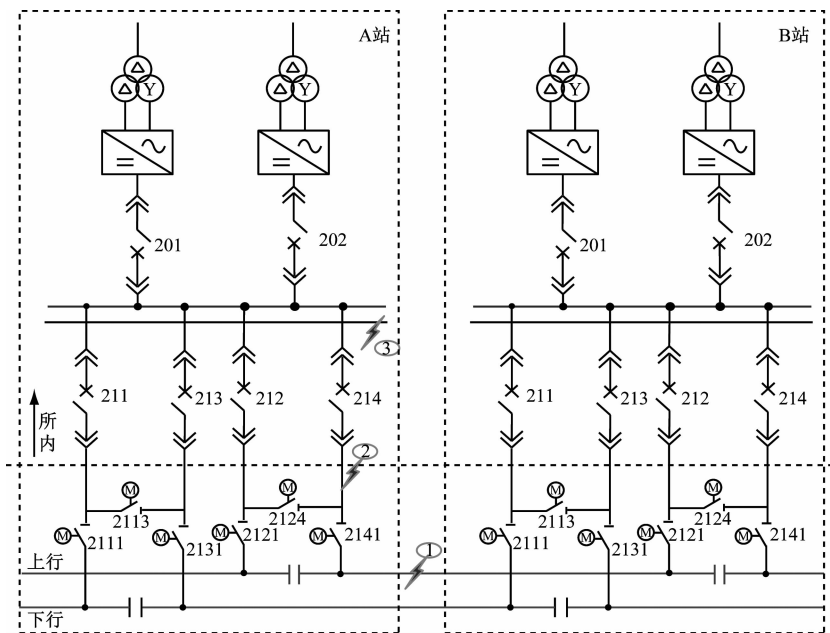


图 1 牵引供电示意图

1.2 全压型线路测试

在地铁牵引供电系统直流馈线开关中均设有线路测试功能。在断路器合闸前,对线路进行测试,以防止断路器合闸于故障线路上。在开关合闸前自动对馈线接触网进行一次绝缘性能测试,并将所测数据与整定值进行对比,以确保直流馈线开关合闸时馈线接触网绝缘良好,不存在短路故障。

图 2 为线路测试原理示意图。图中 HCSB 为直流断路器,连接在进线母排与馈线母排之间。馈线母排经电动上网刀闸 QS 与接触网连接。线路测试电路由熔断器 FU、直流接触器 K_{DC} 和限流电阻 R_{Limit} 串联组成,并与 HCSB 并联在进、馈线母排之间。 u_{Bus} 为进线电压, u_{Feeder} 为馈线电压。

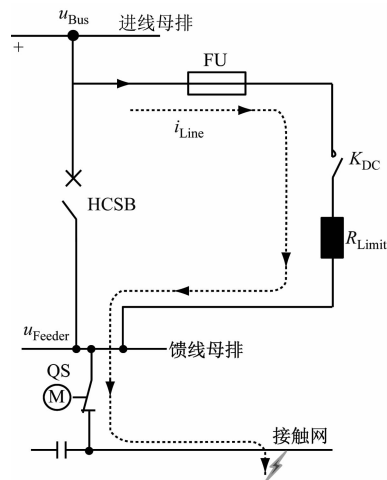


图 2 线路测试原理示意图

在通过测试回路进行线路测试时,断开 HCSB,合上 K_{DC} 可以得到:

$$i_{Line} = \frac{(u_{Bus} - u_{Feeder})}{R_{Limit}} = \frac{u_{Feeder}}{R_{Line}} \quad (1)$$

式(1)中的线路电阻 R_{Line} 为(馈出回路 + 接触网 + 回流轨)的电阻值,计算得到 R_{Line} 为:

$$R_{Line} = \frac{R_{Limit} \times u_{Feeder}}{u_{Bus} - u_{Feeder}} \quad (2)$$

由式(2)分析, R_{Limit} 为已知固定值,只需要测量进线电压 u_{Bus} 和馈线电压 u_{Feeder} ,就可以计算出线路电阻 R_{Line} 。HSCB 合闸命令由 R_{Line} 的值决定,设定整定值 R_{min} ,如果 $R_{Line} < R_{min}$,说明馈出回路 + 接触网 + 回流轨回路中存在短路点,无法满足绝缘要求。仅当 $R_{Line} > R_{min}$ 时,HSCB 才允许合闸。

正常操作断路器合闸时,能对线路进行多次测试,线路正常允许合闸,如线路存在持续性故障,闭锁合闸。当接触网发生故障时,断路器分闸,启动线路测试,并根据测试结果判别故障性质。如故障是瞬时性的,自动重合闸将使断路器重新合闸;如故障是永久性的,直流断路器不进行重合闸。发生框架保护动作后不启动线路测试和重合闸。

2 接触网故障的常规处置方法

在地铁运营的期间,如果发生故障,通常本着“先通后复”的原则,对影响行车的故障点进行抢修,先确保不影响运营行车,待运营结束后再对相关设备进行必要检修。

对供电系统而言,接触网设备是其唯一没有备用且是行车不可缺少部分。如图 1 所示,如果发生接触网短路故障①时,就需要快速抢修,迅速恢复接触网供电。而如发生如图 1 所示的所内电缆击穿短路②或框架电流保护动作③等变电所内设备故障,可以根据实际具体情况,改变供电方式:由原有的双边供电转换到单边供电或大双边供电方式,以保证运营。为准确快速处理,当发生故障造成跳闸时,就需要快速区分故障点为牵引变电所内或是接触网端故障。

图 3 为故障常规处理流程图。当发生跳闸故障且自动重合闸成功时,接触网设备短时停电后恢复供电,保持地铁运营。

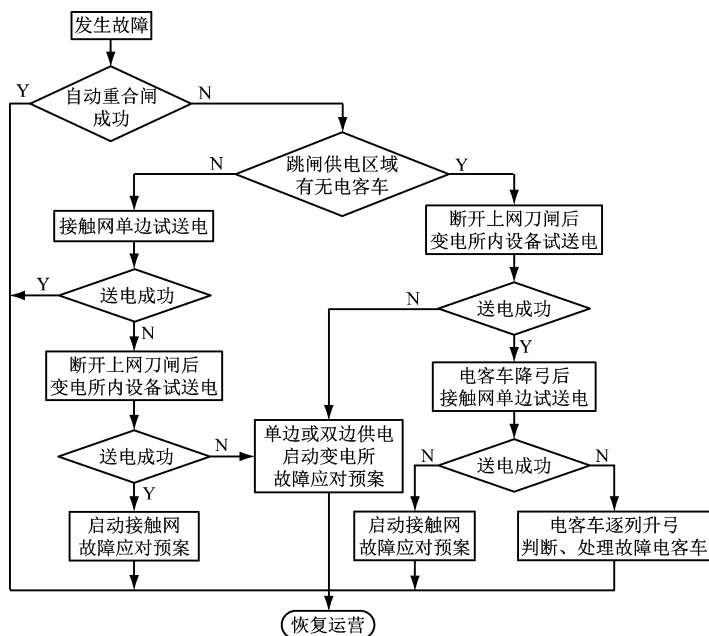


图 3 故障常规处理流程图

当重合闸失败且跳闸供电臂上无客车时,调度可组织单边试送(含所内设备、接触网设备)。若单边试送不成功,则退出接触网隔离开关后,对所内设备进行分段试送;若所内设备送电成功,则判断故障在接触网上,即启动接触网应急预案(需重点

巡查、检修接触网设备)。反之所内试送不成功,则判断故障在变电所内设备,接触网采用单边或双边供电方式,并启动变电所故障应急预案。

当重合闸失败且跳闸电臂上有客车时,在电客车降弓的同时,断开接触网隔离关,对变电所内设

备进行分段试送电。若不成功,判断故障点在变电所上,接触网采用单边或双边供电,并启动变电所故障应急预案。若试送成功并确认电客车降弓后,组织单边试送(含所内设备、接触网设备)。若试送成功,判断故障点在电客车上,电客车逐列升弓,判断、处理故障车辆;若试送不成功,判断故障在接触网上,需组织人员上网检查,启动接触网故障应急预案。

3 采用线路测试功能的故障处置方法

由上文分析可以看出,发生故障时电调与行调配合通过试送电判断出故障点,需要机车降弓、分断上网刀闸,多次试送电过程,耗时较长。同时试送故障短路电流造成对设备二次损害。以图1所示接触网发生击穿短路故障①为例,故障点的短路电阻 $0.1\ \Omega$ 为计(假设短路故障点提供从接触网到回流轨或大地的通道等效电阻为 $0.1\ \Omega$)。直流馈出开关至故障点接触网电阻计为 $0.2\ \Omega$,那么在DC 1500 V电压下试送电的短路电流就达到5 000 A。在近点短路或金属性短路的情况,试送电将造成更大的短路电路,造成设备再次短路,对设备损耗很大。

从1.2节可看出,采用线路检测功能可以通过测量,计算出馈出电缆+接触网+回流轨的回路电阻 R_{Line} ,判断出其绝缘特性。如果通过线路测试功能对存有同样故障的线路进行线路测试,由欧姆定律 $i = u/R$ 以限流电阻 R_{Limit} 为 $60\ \Omega$ 为例,在1 500 kV接触网上计算得出短路电流与机车上电压为:

$$\begin{cases} i_{Line} \approx u_{Feeder} / (R_{Limit} + 0.2\ \Omega + 0.1\ \Omega) = 24.87\ A \\ u_{Fault} \approx i_{Line} \times 0.1\ \Omega = 2.49\ V \end{cases} \quad (3)$$

由式(3)可以看出,由于限流电阻存在,极大限制了线路电流 i_{Line} 与故障点的电压 u_{Fault} ,保证流通电流不会对故障点与机车造成损害。

那么可以利用直流馈线开关线路测试功能优化接触网跳闸故障处置流程。通过对图3所示故障处理流程图进行改进,得到如图4所示的采用线路测试功能故障处理流程图。当发生接触网跳闸且重合闸失败,则由邻所启动线路测试功能。若线路测试功能通过,则可以认为接触网未发生故障,故障发生在牵引变电所内,启动变电所故障应对预案,同时将双边供电转换到单边供电或大双边供电方式维持运营。

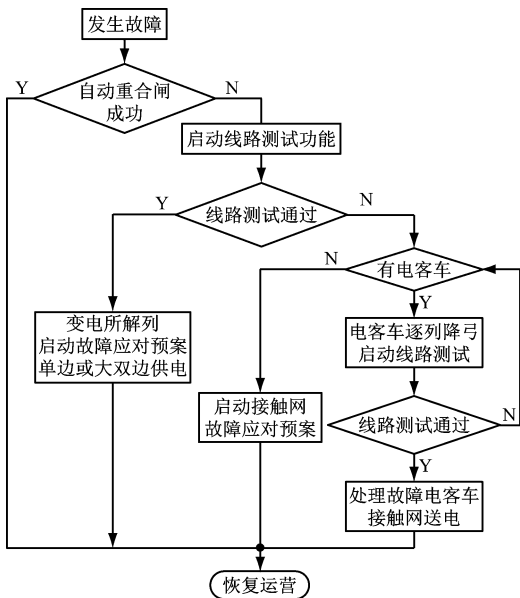


图4 采用线路测试功能故障处理流程图

当跳闸供电臂上有电客车且路测试不通,则可以判断故障点可能在接触网或机车上。将电客车逐列降弓,启动线路测试。当某列机车降弓后,进行线路测试通过,则可以初步判断故障点因当列机车造成。那么可以安排救援车处理故障电客车,接触网送电,恢复运营。若无电客车且线路测试不通过,则判断故障点在接触网,立即启动接触网故障应急预案。

在实际操作中,应结合故障报文进行处理。当发生如过流保护动作、过流速断保护动作、DDL保护动作等馈线保护动作时,本所对应邻所对应馈线开关,可能进行站内设备故障信号复归,同时先由邻所馈出开关先进行线路测试。当直流馈线开关发生框架电流保护动作及接触网热过负荷保护动作时,联跳邻所并闭锁信号,本站信号无法复归。若应急人员无法及时赶赴现场的情况时,可先断开上网电动刀闸(图1的2111、2121、2131、2141)后,由邻站进行线路测试。可选择单边供电或合上越区联络刀闸(图1的2113、2124)越区供电。通过上述方法可以快速判断出短路故障点为所内设备或接触网设备。如故障点为接触网设备,则可迅速组织进行“小交路”运行;若为所内设备故障,则可先行解除故障变电所,实行“大双边”供电或“单边”供电方式,先行恢复运营。

对比上述两种接触网故障处置方法,可以看出采用线路测试优化接触网跳闸处理流程:①不需要进行试送电,不会造成试送电可能造成的短路损

害;②简单、易执行,不需要反复倒闸,不会造成设备损害,可以迅速、多次测试,极大缩短故障确认及处理时间。

目前通常设计为直流馈线开关上的线路测试功能仅在线路合闸与自动重合闸时启动。可以将直流馈线开关线路测试功能遥控指令开放并集成到PSCADA系统上,由电力调度单独操作其他功能,实现如本文所提出的快速处理接触网跳闸故障。

同时值得指出的是,当线路测试功能可独立执行时,还可以在如下场合发挥应用:①在接触网施工作业前,检验是否可靠装设接地线;②施工作业结束后,检验作业区域是否保持良好的技术状态,把控作业质量安全。

4 结语

本文利用直流馈线开关线路测试功能,优化了接触网跳闸故障处置流程,能快速有效判断故障点位置,有利于故障应急处置的调度指挥;同时避免了常规的接触网试送电排查方法造成的二次短路电流对设备的损害,具有一定的实践价值。

(上接第135页)

4 结论

仿真分析发现,在真空断路器断口间可能发生的最大操作过电压约为128.6 kV。冲击操作电压按照15%的分散概率考虑,基于断路器断口能承受的短时工频电压极限的峰值,原设计中断路器断口可承受的操作冲击电压为120 kV。改进设计后的断路器断口可承受的操作冲击电压133 kV,大大降低了在极限工况下由于操作过电压引起的放电概率。

由操作过电压引起的放电故障在高压主电路中涉及到主断路器断口、主断路器高压端对地,以及高压对地、高压隔离开关断口间。高压箱初始设计中,间距最小点测量距离为285 mm,此为最薄弱点。虽然通过了整箱雷电冲击耐受电压170 kV、工频耐受电压75 kV的试验,但仍存在特殊工况下发生闪络的风险,高压箱内紧凑密闭空间对闪络的恢复能力比裸露空间差,极易造成衍生故障。

根据DL/T 593—1996《高压开关设备的共用订货技术导则》,在海拔1 000 m及以下,低于40.5

参考文献

- [1] 林小松,杨俭,袁天辰.地铁牵引供电系统失效的故障树分析[J].城市轨道交通研究,2018(9):26.
- [2] 张宝奇,班瑞平.电力机车车顶绝缘子闪络引发接触网故障的研究及对策[J].铁道机车车辆,2007(5):63.
- [3] 韩乾.地铁高架段线路接触网悬挂异物的应急处置[J].城市轨道交通研究,2018(7):161.
- [4] 张明锐,龚晓冬,李启峰.基于故障树法的城市轨道交通牵引供电接触网可靠性分析[J].城市轨道交通研究,2015(3):6.
- [5] 池代臻.基于双边供电时直流牵引网的故障测距方法[J].电气化铁道,2016(3):39.
- [6] 周少喻.特殊接线方式下牵引网故障测距判别方法的研究[J].铁道标准设计,2018(9):140.
- [7] 王璟.城市轨道交通接触网故障原因分析及预防措施[J].机电工程技术,2012(7):207.
- [8] 喻展.地铁1 500 V直流开关跳闸故障处理[J].都市轨道交通,2010(2):106.
- [9] 张格学.地铁供电故障的调度应急指挥[J].现代城市轨道交通,2017(6):46.
- [10] 陈静.地铁供电系统自动重合闸与线路测试[J].城市轨道交通研究,2014(7):140.

(收稿日期:2018-12-07)

kV开关柜相间和相对地空气最小间隙为300 mm。目前车载高压箱基本等同于此等级,考虑余量后,建议高压箱除了要满足高压箱工频耐受电压不低于75 kV、雷电冲击耐受电压不低于170 kV之外,为了更好地满足线路过电压适应性,真空断路器断口至少满足310 mm最小电气要求,且在整个高压箱内最薄弱点,需设置在真空断路器之后不易受过电压影响的位置。

参考文献

- [1] 高国强.高速列车运行状态暂态过电压机理与抑制方法的研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 机车车辆电子装置:GB/T 25119—2010[S].北京:中国标准出版社.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 牵引供电系统电压:GB/T 1402—2010[S].北京:中国标准出版社.
- [4] 中华人民共和国电力工业部.高压开关设备的共用订货技术导则:DL/T 593—1996[S].北京:中华人民共和国电力工业部,1996.

(收稿日期:2019-12-20)