

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2013.02.030

直流牵引系统 双边联跳功能优化

张目然 梁绍昌

(广州市地下铁道总公司 广州 510030)

摘 要 针对广州地铁2号线直流馈线开关跳闸后异常闭锁现象,结合联跳保护的原理和特点,对联跳信号的产生、传递、接收过程进行深入的分析和严格的现场测试,确定开关异常闭锁的原因,提出通过外围电路调整优化双边联跳功能的方案,取得较好的应用效果。

关键词 广州地铁2号线;直流牵引;双边联跳;自动重合闸

中图分类号 U223 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)02-0119-04

2005年初—2008年底,广州地铁2号线共发生约30次直流馈线开关跳闸事件,其中4次出现被联跳开关异常闭锁的情况。这些跳闸事件的共同特点是:主跳开关跳闸后自动重合成功,而被联跳开关跳闸后闭锁,保持分闸状态。被联跳开关的异常闭锁,在一定程度上会误导现场人员对故障的判断,延误供电时间的恢复,同时存在运营安全隐患。若此时主跳开关出现合闸故障,则可能导致整个供电区失电,列车无法运行。

笔者对此现象进行了深入的分析和测试,提出了解决方法,并对2号线全线的双边联跳功能进行了优化。

1 供电保护

1.1 供电方式

广州地铁2号线采用1500V直流牵引供电系统,双边供电方式,每一个接触网分区都由相邻两个变电所对其供电。如图1所示,AB段接触网由A变电所

214开关和B变电所213开关共同供电,BC段接触网由B变电所214开关和C变电所213开关共同供电。

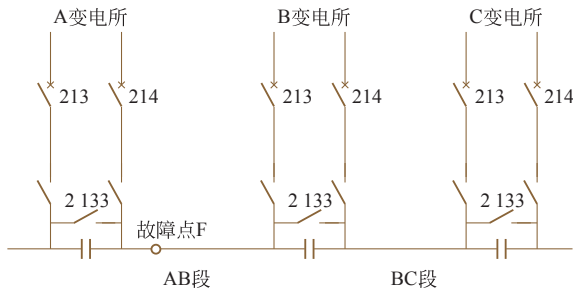


图1 接触网的双边供电方式

1.2 保护配置

根据GB 50157—2003《地铁设计规范》、GB 10411—89《地铁直流牵引供电系统》等相关标准的要求,结合实际情况,广州地铁2号线直流1500V馈线开关设置大电流脱扣保护(断路器本体保护)、 $di/dt + \Delta I$ 保护、过电流保护、热过负荷保护和双边联跳保护。变电所1500V直流设备设一套框架泄漏保护,安装于负极柜内。

2 双边联跳

2.1 基本原理

双边联跳保护是直流牵引系统双边供电方式配备的后备保护,主要用于切断远距离小电流故障,以确保接触网发生短路故障时该区段供电的两路馈线均断开。

在发生短路故障时,若短路电流较大,则两路馈线开关可能同时跳闸;若短路电流较小,则短路点近端馈线开关可能先跳闸(该开关称为“主跳开关”),并发出指令联跳另一馈线开关(该开关称为“被联跳开关”)。主跳开关根据保护类型,判断是否启动自动重合闸;被联跳开关分闸后即进入自动模式,启动自动重合闸功能。

假设双边供电系统故障点在AB段的F点(靠近A

收稿日期:2012-03-26 修回日期:2012-04-06

作者简介:张目然,女,工程师,从事轨道交通供电系统运营维护工作,zhangmuran@gzmttr.com

端),如图 1 所示。在正常供电模式下,短路瞬间近端 A 所 214 开关因大电流脱扣或速断等保护跳闸,同时发联跳信号给 B 所 213(B 所 213 也可能因检测到故障电流而跳闸,但电流保护启动的可能性随着故障点距离的增加而减小)。在特殊供电模式下(如 B 所全所退出),B 所越区隔离开关 2133 闭合,由 A 所 214 和 C 所 213 同时为 AB、BC 段的接触网供电,供电距离增加。若 F 点出现短路故障,则 C 所 213 开关流过的短路电流可能不足以令开关跳闸,此时双边联跳功能更加明显,A 所 214 开关跳闸,联跳 C 所 213。

2.2 功能实现

广州地铁 2 号线直流 1 500 V 馈线开关柜采用 DPU96 数字控制保护单元。该装置以微处理器为基础,用于避免直流开关设备和接触网设备出现过负荷和短路的情况;根据电流的变化,在达到最大短路电流之前检测出短路的发生,启动相应的保护来跳开开关,切除故障回路,保护供电设备的安全。

双边联跳功能的二次原理如图 2 所示。其中,-F51 是 DPU96 装置的输入输出接点,-K18 是联跳发送继电器,-K101 是接收继电器,-K02 是分合闸接触器,-Q0 是断路器。

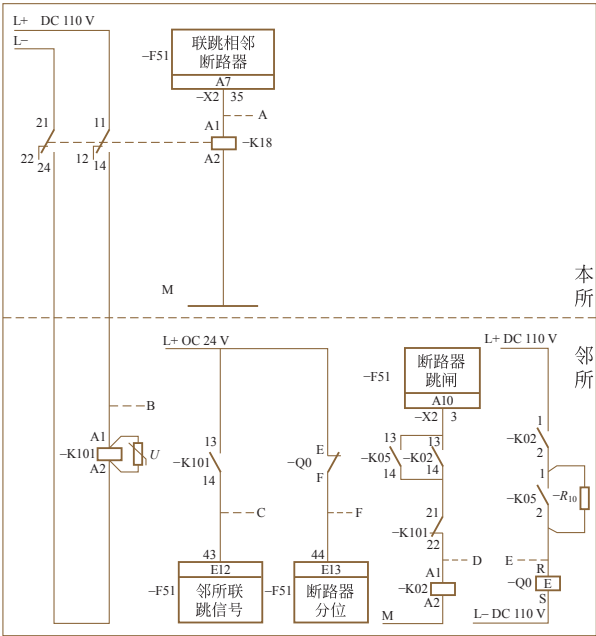


图 2 双边联跳功能二次原理

以本所馈线开关跳闸联跳的邻所相关开关为例。本所开关 DPU96 保护单元检测到短路电流,并启动相应保护,跳开本所断路器,DPU96 同时发联跳信号,使 -K18 继电器得电,其常开触点闭合导致邻所 -K101 继电

器得电,-K101 继电器的常闭触点 21 ~ 22 断开,邻所开关跳闸,-K101 的常开触点 13 ~ 14 闭合,将联跳信号传递给邻所 DPU96。

在外部条件均满足时,被联跳开关仅根据联跳信号的脉宽决定是否进入重合闸检测程序。当 DPU96 接收的联跳信号小于时间 T 时,判断为双边联跳信号,正常进入重合闸程序;当脉冲信号大于时间 T 时,判断为联跳闭锁信号,闭锁重合闸功能。根据 DPU96 装置说明书的规定,时间 $T = 500\text{ ms}$ 。

3 闭锁原因

根据 2005—2008 年间直流开关异常闭锁现象及双边联跳原理的分析,被联跳开关将一般双边联跳信号误判为闭锁信号可能出现问题的环节有 3 个,即联跳信号产生、传递和接收。针对以上 3 个环节,笔者会同相关技术人员进行了测试分析。

3.1 联跳信号产生

3.1.1 测试过程

在检测不同类型保护动作时,DPU96 产生联跳信号的脉宽。测试仪器采用 CSH:1 型电池盒、NEC-RT3200-N 波形记录仪。测试方法:模拟短路电流,分别触发 $di/dt + \Delta I$ 、过电流、 I_{\max} 保护或操作 1 500 V 断路器小车紧急分闸把手,以模拟大电流脱扣保护。通过波形记录仪,监测 DPU96 发出的联跳信号脉宽。测试点在图 2 中的 A 点。

3.1.2 测试结果

通过对单台 DPU96 装置不同保护下联跳脉宽的测量及不同 DPU96 装置的对比,得出以下结果(测试数据见表 1)。

表 1 DPU96 联跳信号脉宽(发送) ms

序号	类型	di/dt	ΔI	过电流	I_{\max}	大电流脱扣
1		295.2	295.4	295.2	295.4	292.5
2		295.4	295.5	295.4	295.3	292.5
3		295.2	295.5	296	295.5	292
4		295.3	295.4	295.7	295.4	292.5
5		295.4	295.2	295.8	295.6	292.5
6		295.2	295.6	295.6	295.4	292.4
7		295.5	295.4	295.5	295.5	292.6
8		295.4	295.3	295.6	295.4	292.4
平均		295.31	295.41	295.57	295.45	292.43

1) $di/dt + \Delta I$ 、过电流、 I_{\max} 保护联跳脉宽基本在 295 ms,大电流脱扣保护联跳脉宽约 292 ms。

2) DPU96 产生的联跳脉冲宽度稳定。同种类型保护发送的联跳脉冲宽度相对于平均值的最大误差为 0.25%, 平均在 0.1%。

3) DPU96 装置的个体差异不大, 不同 DPU96 装置联跳脉宽测试符合以上结果。

3.2 联跳信号传递

3.2.1 测试过程

对 DPU96 联跳信号传递过程中的关键点进行监测, 分析传输特性, 绘制双边联跳信号时序图; 测试线路距离对信号传递的影响。测试仪器采用 CSH-1 型电池盒、NEC-RT3200-N 波形记录仪。测试方法: 在双边联跳回路中, 用波形记录仪同时监测相关继电器动作情况, 通过多次测量, 计算平均值; 在正线选取不同间距的站点, 测试联跳信号发送和接收的脉宽。测试点分别在图 2 中的 A~F 点和 C 点。

3.2.2 测试结果

1) 双边联跳信号时序见图 3。由图可知: 保护动作后 DPU96 发出联跳信号, -K18 线圈得电 (A 点测试); 9 ms 后 K18 常开触点 11~14、21~24 闭合, -K101 得电 (B 点测试); 经 24 ms 延时, -K101 常闭触点 21~22 断开, -K02 接触器失电 (D 点测试); 经 10 ms 延时后, -K02 常开触点 1~2 断开 (E 点测试), -Q0 失电; 57 ms 后, 断路器分位信号反馈给 DPU96 (F 点测试); -K101 得电后, 经 29 ms 延时, 其常开触点 13~14 闭合 (C 点测试), DPU96 接收到邻所的联跳信号。

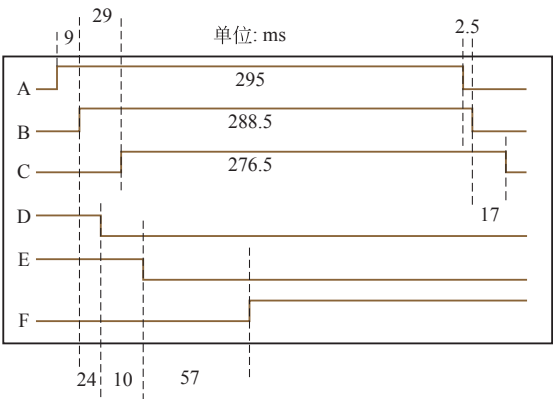


图 3 双边联跳信号时序

2) DPU96 发出联跳信号脉宽 295 ms, 经 -K18、-K101 等继电器后, 到达 DPU96 接收端时约 276.5 ms。

3) 传输距离对联跳信号无明显影响。2 号线相邻变电所间线路距离为 2~3 km, 越区供电时最长在 5 km 左右。以图 1 为例, 分别在 A、B、C 所进行测试, A、B

所间距约 3 km, A、C 所间距约 5 km。由测试数据 (见表 2) 可知:

(1) 线路距离 3 km 时, B 所 213 接收联跳脉宽平均值为 276.5 ms, A 所 214 为 278.3 ms, 相差 1.8 ms; 线路距离 5 km 时, C 所 213 接收联跳脉宽平均值为 279 ms, A 所 214 为 276.4 ms, 相差 2.6 ms。

(2) A 所 214 接收来自 3 km 外的联跳脉宽约 278.3 ms, 5 km 外的约 276.4 ms, 相差 1.9 ms, 考虑继电器及 DPU96 装置的个体差异, 则线路距离对 DPU96 联跳信号传输的影响可以忽略。

表 2 不同线路距离 DPU96 接收脉宽 ms

序号	类型	3 km		5 km	
		A 所 214 联跳 B 所 213	B 所 213 联跳 A 所 214	A 所 214 联跳 C 所 213	C 所 213 联跳 A 所 214
1		276.8	278	279	276.4
2		276.6	278.1	278.9	276.5
3		276.5	278.4	279.1	276.4
4		276.4	278.4	279	276.3
5		276.5	278.5	279.1	276.2
6		276.6	278.3	278.8	276.5
7		276.4	278.4	279	276.3
8		276.5	278.5	279.1	276.4
平均		276.5	278.3	279	276.4

3.3 联跳信号接收

3.3.1 测试过程

测试联跳接收信号的脉宽与断路器闭锁的关系, 测试仪器采用 CSH-1 型电池盒、NEC-RT3200-N 波形记录仪。测试方法: 如图 4 所示, 利用时间继电器 -SJ (Siemens 3RP1525-1AP30, 100~500 ms) 调节 24 V 信号脉宽, 模拟 DPU96 发送的联跳信号, 测试 DPU96 接收脉宽及断路器闭锁情况。根据 DPU96 说明书提供的 500 ms 闭锁判别依据和前期测试结果, 选择脉宽范围为 205~430 ms, 每个固定脉宽进行 30 次测试。

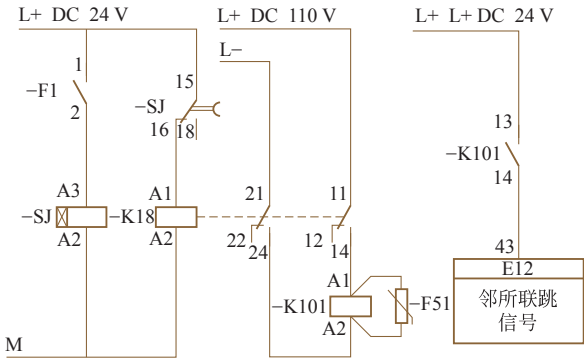


图 4 不同联跳脉宽接收测试原理

3.3.2 测试结果

- 1) 断路器闭锁与接收的联跳脉宽有直接关系,如表3所示,联跳接收脉宽越长,断路器闭锁的概率越高。
- 2) 当联跳接收脉宽小于 220 ms 时,断路器闭锁概率为 0。

表 3 不同联跳脉宽下断路器闭锁情况统计

序号	联跳发送脉宽/ms	联跳接收脉宽/ms	闭锁次数	
			次数	概率/%
1	430	415	30	100
2	357	340	23	77
3	305	290	22	73
4	295	280	17	57
5	292	277	19	63
6	287	270	18	60
7	270	264	14	47
8	250	235	7	30
9	235	220	0	0
10	205	190	0	0

4 解决方法

由断路器被联跳后异常闭锁测试的分析可知,断路器异常闭锁的直接原因是 DPU96 接收到的联跳信号脉宽在 275 ms 左右,处于闭锁判断的不稳定阶段,因此考虑将 DPU96 接收到的联跳脉宽控制在 220 ms 以下的可靠范围。DPU96 装置的程序已固化,联跳脉宽不可调,因此考虑通过外围电路的优化达到调整脉宽的目的,如图 5 所示。

在联跳回路增加时间继电器 -K1,其常闭触点 15 ~ 16 与 -K18 线圈串联。当 DPU96 装置发出联跳信号后,-K1 继电器线圈得电,延时(时间可调)断开 15 ~ 16 触点。通过继电器 K1 延时的调整,即可达到调整联跳脉宽的效果。

在回路改造后,经过模拟测试和近 3 年的现场运行,未发生过异常闭锁情况。

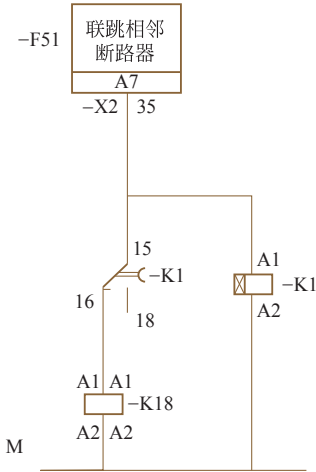


图 5 外围电路优化原理

5 结语

通过对广州地铁 2 号线直流牵引系统双边联跳功能的分析和测试,提出了优化方案,经过现场运行的考验,该方案切实可行。

参考文献

[1] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003:50-55.

[2] 王靖满. 直流牵引供电系统继电保护配置及整定的探讨[J]. 电气化铁道,2009,22(6):30-32.

[3] 王宏. 地铁牵引供电系统直流馈线保护[J]. 电气化铁道,2002(4):41-44.

[4] 郭志. 直流牵引供电系统继电保护参数匹配[J]. 都市轨道交通,2009,22(4):85-88.

[5] 章新华,岳宏波. 地铁直流牵引双边联跳保护的探讨[J]. 机车电传动,2009(2):40-41.

[6] 王景涛,谢伟梁,刘平. 城市轨道交通直流系统双边联跳装置的原理与调试[J]. 电气化铁道,2001(1):16-17.

[7] Siemens AG. SITRAS DPU96 digital protective unit and controller: 3[G]. Berlin,2000.

(编辑:郭洁)

Optimization of Two Way Inter-tripping Protection for DC Traction Power Supply System

Zhang Muran Liang Shaochang

(Guangzhou Metro Corporation, Guangzhou 510030)

Abstract: In view of the DC circuit breaker latching on Guangzhou metro Line 2, this article introduces the process of generation, transmission and receiving of inter-tripping signals. Based on the theory and characteristics of inter-tripping protection, the reason of circuit breaker latching is revealed and an improved scheme of two-way inter-tripping protection by changing the peripheral circuit is put forward.

Key words: Guangzhou metro Line 2; DC traction power supply system; two way inter-tripping protection; auto reclosing