

宁波轨道交通1号线 低压柜故障分析

邱小梅

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100037)

摘要: 针对宁波轨道交通1号线变电所低压全所失电及低压柜部分抽屉被烧毁情况,从设备的继电保护设置及开关柜装配两方面进行分析:低压柜进线及母联继电保护的设置可以对各种形式的金属性短路进行有效保护;低压柜进线继电保护整定值与配电变压器35 kV馈线开关及低压馈线开关有很好的选择性配合;故障是由于低压开关触头与铜排接触不良产生电弧短路造成的。在分析的基础上提出解决方案:对低压开关触头与铜排连接的一次插件及断路器脱扣性能进行检查;增加母线间隔离板以提高开关柜的防电弧等级;适当减少继电保护动作时间;增加弧光保护;增加35 kV开关后备保护动作,闭锁低压备自投启动的闭锁条件等。

关键词: 轨道交通; 低压柜; 电弧短路; 继电保护

中图分类号: U231.8

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2017)03-0060-04

Malfunction of Low-voltage Switchgear of Ningbo Rail Transit Line 1

QIU Xiaomei

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: This paper explored the reasons behind the total loss of power of the low-voltage substation and burning of some switchgear drawers in terms of setting of relay protection and assembling of the switchgear. The result showed that the low-voltage relay protection setting can effectively protect all kinds of metallic short circuits; the circuit breaker of low-voltage incoming and bus tie can match with 35kV transformer feeder and low-voltage feeder; the malfunction is caused by the arc short circuit due to loose contact between the switch contact and the copper bus. On this basis, the paper proposed some solution schemes: checking the switch contact and circuit breaker tripping performance; enhancing the grade of switchgear arc protection by adding division plate between buses; reducing relay tripping time properly; adding arc protection; adding the condition of 35kV backup protection interlock low voltage BZT start program.

Keywords: rail transit; low voltage switchgear; arc short circuit; relay protection

1 研究背景

2015年6月25日,宁波轨道交通1号线一期工程天童庄跟随所某馈线柜故障引起400 V I段分支母线短路,故障发生后低压保护未动作,1#配电站变电所35 kV开关过流保护越级跳闸,1#低压进线开关失压跳闸,低压母联开关自投,因故障没有解除而造成二次短路,2#配电站变电所35 kV开关过流保护动作,开关跳

闸。故障造成天童庄跟随所全所失电,短路电弧导致柜子底部与侧部大面积烧毁,部分抽屉烧毁。

2 全所失电及低压柜烧毁原因

2.1 相关设备继电保护设置

2.1.1 继电保护设置的原则

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)规定:

1) 配电线路应装设短路保护、过负荷保护;

2) 配电线路装设的上下级保护电器,其动作特性应具有选择性,且各级之间应能协调配合,但对于非重要负荷的保护电器,可采用部分选择性或无选择性切断。

收稿日期: 2016-06-08 修回日期: 2017-03-13

作者简介: 邱小梅,女,本科,高级工程师,从事轨道交通供电系统设计工作, qiu xm@buedri.com

2.1.2 低压柜进线及母联继电保护设置

车辆段跟随所采用2 000 kVA 配电变压器,进线及母联开关型号为3WL3S40(开关额定值为4 kA),保护配置具体如下。

2.1.2.1 进线开关

1) 设置短路短延时,用于母线的短路保护,作用于切断电源。整定值为 $I_S = 2.5 I_n = 2.5 \times 4 \text{ kA} = 10 \text{ kA}$,延时0.4 s。

2) 设置长延时保护,用于过负荷保护,作用于切断电源。整定值为 $I_L = 0.8 I_n = 0.8 \times 4 \text{ kA} = 3.2 \text{ kA}$,采用反时限曲线 $I^2 t$,延时2 s(对应 $6I_R$ 时)。

2.1.2.2 母联开关

1) 设置短路短延时,用于母线的短路保护,作用于切断电源。整定值为 $I_S = 2.5 I_n = 2.5 \times 4 \text{ kA} = 10 \text{ kA}$,延时0.2 s。

2) 设置长延时保护,用于过负荷保护,作用于切断电源。整定值为 $I_L = 0.6 I_n = 0.6 \times 4 \text{ kA} = 2.4 \text{ kA}$,采用反时限曲线 $I^2 t$,延时2 s(对应 $6I_R$ 时)。

2.1.3 低压柜进线及母联继电保护设置

2.1.3.1 进线开关

1) 短路短延时保护的灵敏度核算。计算条件为系统最小运行方式,系统短路容量为1 000 MVA;主变电所变压器容量按近期配置,即按望春主变压器容量为25 MVA,樱花主变压器容量为40 MVA 计算,低压母线处短路电流如表1所示。

表1 低压母线处短路电流
Tab.1 Short circuit current at LV bus kA

	三相短路电流	两相短路电流	单相短路/接地电流
车辆段跟随所	41	35	26.8

按最不利情况进行短路短延时保护灵敏度 K_{sen} 校验:

$K_{sen} = 26.8/10 = 2.68 > 2$,灵敏度符合 GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》要求。

2) 短路短延时保护与馈线开关选择性配合核算。馈线最大开关额定值为630 A(整定值 I_r 为0.5 kA),短路瞬动保护 I_i 整定值为:

$$I_i = 10 I_r = 10 \times 0.5 \text{ kA} = 5 \text{ kA}$$

进线开关与馈线开关脱扣器整定电流的级差为 $K = 10 \text{ kA}/5 \text{ kA} = 2$,满足保护电器选择性配合的要求。

3) 保护延时时间的选取。进线开关保护设置时

间应满足开关柜母线热稳定的要求,在开关柜耐受时间内将故障切除。开关柜可满足的动热稳定参数如表2所示。

表2 动热稳定要求

Tab.2 Requirements for dynamic & thermal stability

	最大工作电流/A	1 500 ~ 6 300
水平 母线	额定短时耐受电流(1 s)/kA	80
	额定峰值耐受电流/kA	176
垂直 母线	最大工作电流/A	1 500
	额定短时耐受电流(1 s)/kA	65
	额定峰值耐受电流/kA	143

a) 短路短延时保护。进线开关短路短延时保护设置时间为0.4 s。

短路发热量为 $Q = Pt = I^2 Rt = 10^2 R \times 0.4 = 40R < 65^2 R \times 1 = 4 225R$

b) 长延时保护。进线开关长延整定时间值的延时时间为2 s(对应 $6I_R$ 时)。

短路发热量为 $Q = Pt = I^2 Rt = (6 \times 3.2)^2 R \times 2 = 737.28R < 65^2 R \times 1 = 4 225R$

由此可见,进线开关保护动作设置时间远小于柜体可承受时间,可在开关柜耐受时间内将故障切除。

2.1.3.2 母联开关

1) 短路短延时保护的灵敏度核算及与馈线开关选择性配合核算等内容同进线开关。

2) 短路短延时保护延时时间的选取。考虑进线、母联及馈线开关间的选择性配合,母线短延时0.2 s;对开关柜母线热稳定的校验,方法同进线开关。

2.1.3.3 结论

通过以上分析得出:低压柜进线及母联继电保护的设置可以对各种形式的短路进行有效保护,同时与低压馈线选择性配合。

2.1.4 低压柜继电保护设置的相关问题

2.1.4.1 进线开关是否设置短路瞬动保护

依据 GB 50054—2011《低压配电设计规范》:配电线路采用上下级保护电气,其动作应具有选择性;各级之间应能协调配合,但对于非重要负荷的保护电器,可采用无选择性切断。地铁变电所低压柜为大量的一、二级重要负荷配电,所以进线与馈线的保护应具有选择性。

由于进线与馈线开关经柜内水平母线及垂直母线相连,距离很近,进线开关保护范围内的短路电流与馈

线开关下口短路电流相同;所以如进线开关设置短路瞬动保护,当馈线开关下口短路时将使进线开关短路瞬动保护出口,保护失去选择性配合,使停电范围扩大,同时进线断路器的非选择性跳闸会增加查找故障点的难度。因此不建议低压进线开关设置短路瞬动保护。

2.1.4.2 进线开关与配电变压器 35 kV 馈线开关的保护配合问题

1) 对于车辆段跟随所,低压进线开关整定值 I_S 为 10 kA,延时 0.4 s。变压器 35 kV 馈线开关速断整定值为 6.54 (折合低压侧电流为 57 kA);过电流保护整定值为 1.32 (折合低压侧电流为 11.55 kA),延时时间整定为 0.6 s;过负荷报警整定为 0.4 (折合低压侧电流为 3.5 kA),延时时间整定为 3 s。

低压柜进线开关与 35 kV 馈线开关及低压柜最大馈线开关的选择性配合曲线如图 1 所示。

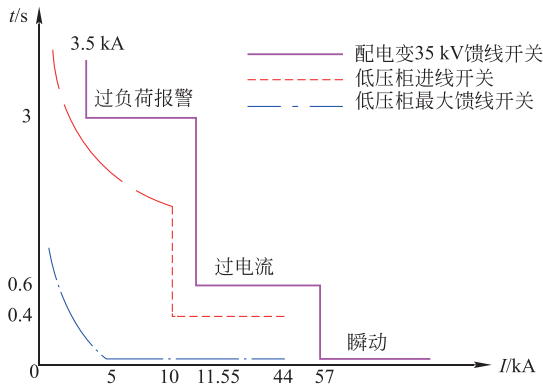


图 1 选择性配合曲线
Fig. 1 Selective fit curve

由图可见,低压柜进线继电保护整定值与配电变压器 35 kV 馈线开关及低压馈线开关有很好的选择性配合,不会造成越级跳闸。

2) 对车辆段跟随所变压器 35 kV 馈线开关跳闸录波的分析。选取 35 kV 馈线开关录波图形(见图 2)及开关电压电流报表(见图 3)如下。

由图 2 可以看出,过电流保护在短路 30 个周波

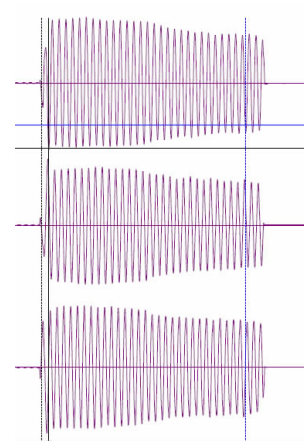


图 2 35 kV 馈线开关录波图形
Fig. 2 Recorded diagram of 35 kV feeder circuit breaker

* Highest/Lowest Analog Peaks Chart:							
>Max-Val	Mix-Val	LPeak-Up	LPeak-Dn	OneBit	pUnits	Description	
626.933	-631.223	4.596	-5.209	0.2167	A	1-Current IL1	1
832.234	-742.760	4.290	-4.903	0.2167	A	1-Current IL2	1
666.768	-713.650	0.000	-0.000	0.2167	A	1-Current IL3	1
41150.037	-41182.210	36710.080	-36734.210	5.6875	V	1-Voltage UL1E	1
41125.906	-41174.167	36597.472	-36533.125	5.6875	V	1-Voltage UL2E	1
41214.384	-41190.254	36525.081	-36533.125	5.6875	V	1-Voltage UL3E	1

图 3 35 kV 馈线开关电压电流报表
Fig. 3 Voltage current report of 35 kV feeder circuit breaker

(0.6 s) 后出口跳闸,短路动作电流折合低压侧约为 43 kA。该短路电流已达到低压进线开关短路短延时 I_S 整定值 10 kA 的条件,进线短延时保护应启动并跳闸,变压器 35 kV 馈线开关是在低压进线开关短路短延时拒动情况下的正确跳闸。

2.2 开关柜及断路器问题分析

2.2.1 开关柜生产安装问题

依据现场情况分析,宁波轨道交通 1 号线低压柜故障是由 LF7-4 抽屉一次插件连接铜排处,接触不良产生电弧造成的。低压短路故障有金属性短路和电弧短路两种。电弧是一种气体放电现象,是电流通过某些绝缘介质所产生的瞬间火花。由于电弧具有电阻的特性,因此电弧短路电流比金属性短路电流小,按金属性短路电流整定的继电保护装置在发生电弧短路时不能及时动作。

电弧是高温高导电的游离气体,它不仅对触头有很大的破坏作用,而且会使断开电路的时间延长。电弧滞留在母线的角上稳定燃烧,导致金属材料的溶化和汽化,并最终造成相间短路,使部分抽屉烧毁。开关柜生产厂家应在生产及安装过程中采取有效措施,避免发生电弧故障。

2.2.2 断路器问题

根据对 35 kV 馈线开关跳闸录波的分析,在短路电流值及延时达到低压进线断路器整定值的情况下,保护未动作,断路器为拒动。

3 解决方案

3.1 开关柜元件更换及设备优化

3.1.1 对低压柜触头全面检查

电弧的产生是由开关触头与铜排连接的一次插件接触不良引起的,所以需对低压柜触头进行全面检查,如一次触头有变形松动等现象则及时更换。巡检维护时对连接部位进行温度监测,做到问题提前发现。

3.1.2 增加垂直母线相间隔离板

电弧相间短路会扩大事故,为防止垂直母线相间发生电弧短路,开关柜增加垂直母线相间隔离板,把母

线相间完全隔离,提高开关柜的防电弧等级。隔离板安装如图4所示。

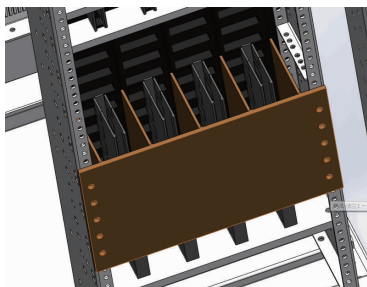


图4 隔离板安装

Fig. 4 Isolation board installation

3.1.3 对断路器进行保护功能测试

对断路器脱扣器进行保护功能测试,不能正确动作的断路器需进行更换。厂家只能提供脱扣器测试仪进行测试,但脱扣器测试仪只能判断是否完成脱扣,不能判断脱扣是否按整定时间动作,具有一定的局限性。建议有条件时采用综保测试仪测试。

3.2 继电保护设置的调整

1号线一期低压柜在送电后两次发生事故,且事故均出现了较严重的拉弧,拉弧对柜体造成了致命损毁。针对现场这一情况,考虑对继电保护设置进行适当调整,以尽快切除故障,减小对柜体的损伤。

3.2.1 进线开关

短路短延时的延时整定值由0.4 s调整为0.2 s,调整后进线短路短延时保护与馈线瞬动保护仍可以保证选择性。

3.2.2 母联开关

1) 开启母联的瞬动保护,整定值为 $I_1 = 3I_n = 3 \times 4 = 12 \text{ kA}$

按最不利情况进行保护灵敏度 K_{sen} 校验:

$K_{\text{sen}} = 26.8/12 = 2.2 > 2$,灵敏度符合 GB/T 50062—2008《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》要求。

但是调整后当一路进线失压,母联合闸后,母联开关与馈线开关不再具有选择性配合,如此时之前失压母线段馈线开关下口短路将引起母联瞬动保护出口,从而造成停电范围扩大。针对本项目现场柜体易发生拉弧事故的情况,建议不考虑此类双重故障时的选择性,母联开关设置短路瞬动保护。

2) 短路短延时的整定值由0.2 s调整为0.1 s。

3.2.3 调整过电流保护延时时间

配电变压器35 kV馈线开关过电流保护延时时间整定由0.6 s调整为0.4 s。

由于低压进线开关短路短延时保护延时时间调整为0.2 s,将配电变压器35 kV馈线开关过电流保护延时时间调整为0.4 s后仍然可保证选择性。

继电保护设置调整后,牺牲了部分系统的选择性,但可以更快地切除故障,这对于事故安全隐患较高的柜体来说是值得的;但系统安全的根本还是应该从提高开关柜设备的可靠性、稳定性、安全性入手。

3.3 其他措施

考虑对已运营线路改造的影响、费用增加及必要性,以下方案在本工程中没有实施。

3.3.1 低压柜增加弧光保护

金属性短路电流整定的继电保护装置在发生电弧短路时不能及时动作,而弧光保护可在检测到弧光后,快速切断电源,防止故障继续扩大。

弧光保护由主控单元、辅助检测单元以及电弧传感器组成,检测单元一般包括电弧检测和过流检测两种类型。在每台开关柜上安装弧光监测探头,在进线柜上安装电流检测单元,弧光监测探头可将弧光信号通过光纤传输给主控单元,电流检测单元实时监测母线电流,当弧光保护系统同时检测到电弧和过电流时,发出跳闸命令切除故障。弧光保护的動作时间很快,一般整体動作时间小于5 ms。

3.3.2 增加35 kV开关后备保护动作,闭锁低压备自投投入的闭锁条件

低压柜备自投采用失压自投的逻辑,为防止35 kV开关越级跳闸后,母联误投到故障线路而造成全所失电,可考虑增加35 kV开关后备保护动作,闭锁低压备自投投入的闭锁条件。

由于设计单位在继电保护整定时,已考虑了35 kV开关与低压进线断路器的选择性配合,保护装置正常工作时不会出现越级跳闸现象,所以增加35 kV开关后备保护动作,闭锁低压备自投投入闭锁条件的必要性不大。

4 结语

轨道交通变电所低压柜有大量馈线回路,对于抽屉式馈线回路,如果开关触头与铜排连接的一次插件接触不良,会大大增加电弧短路,烧毁柜体。提高低压抽屉开关触头的产品及安装质量,可降低开关柜发生故障的风险;增加母线间隔离板,可提高开关柜的防电弧等级;适当减少继电保护动作时间,可尽快切除故障,减小对柜体的损伤;增加弧光保护等保护类型,可在短时间内发现并切除故障;增加35 kV开关后备保护动作,闭锁低压备自投投入的闭锁条件,可避免母联开关合闸于故障线路上。

(下转第71页)