

地铁 35 kV 电缆线路差动保护误动分析及对策

宋剑伟

(深圳市地铁有限公司运营分公司,广东 深圳 518040)

摘要: 地铁 35 kV 电缆线路差动保护作为地铁电缆线路的主保护,对地铁供电有重要的作用,可以快速切除故障,保障系统的稳定。通过一起地铁线路差动保护的误动作,首先简要阐述了线路差动保护动作原理,结合该故障的动作信息,进行了现场试验和理论分析,查找出误动作的真实原因,并就导致该保护产生误动作的因素进行分析,提出了针对该典型地铁差动保护配置进行改进的对策,提高了保护的可靠性,经现场运行证明所采取的改进对策是有效的。

关键词: 地铁; 线路差动保护; 误动分析; 对策

中图分类号: TM773 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)16-0057-04

0 引言

表 1 保护动作数据

Tab 1 Data of protection action

保护动作类型	A 降压所 302DL		B 牵引降压所 304DL	
	D IFL - TR IP		D IFL - TR IP	
	(线路差动保护)		(线路差动保护)	
保护动作数据	$I_1 = 86.35 \text{ A}$	92.45 deg	$I_1 = 52.02 \text{ A}$	104.8 deg
	$I_2 = 62.4 \text{ A}$	301.2 deg	$I_2 = 86.03 \text{ A}$	332.4 deg
	$I_3 = 44.54 \text{ A}$	231.9 deg	$I_3 = 67.79 \text{ A}$	193.8 deg

高速发展的城市地铁系统,其沿线要建各种电压等级的变电所,如 110 kV/35 kV 主变电所、牵引降压混合变电所、降压变电所及跟随所等。这些变电所的进出线一般都采用电缆,构成环网电缆线路向各级地铁用电负荷供电。国内电力系统一般广泛应用于高压及超高压线路保护的光纤线路差动保护,也是应用于地铁 35 kV 电缆线路主保护的理想选择。

该线路保护装置采用 ABB 公司 REL551 差动保护装置,保护 CT 变比 600/1,额定电压 500V,准确级 5P20。

深圳地铁开通运行以来,发生了 35 kV 电缆线路差动保护动作,由于线路差动保护作为地铁 35 kV 电缆的主保护具有非常重要的作用,其误动作直接影响到地铁供电的可靠性,因此必须查清原因。

2 保护动作分析

从保护动作情况看,有以下几点不正常的现象: 1) 35 kV 线路差动保护动作跳开一路进线电源后,母联自投应动作,由本所另一段母线转供电,确保连续供电,但实际的情况是 A、B 两站本所的母联断路器均没有动作; 2) 没有上传事故信息给 SCADA 上位机; 3) 更为严重的是,从跳闸后的初步检查来看,该线路可能并没有发生短路故障,系保护误动。

1 35 kV 电缆线路差动保护动作情况

参见图 1,当时正在 A 降压所进行动力变检修,检修完毕后空载投入动力变压器时,处于合闸位置的 302DL、304DL 线路差动保护跳闸,母联断路器处于自投状态但没有投入,电力调度发现了该两开关位置变位信息,但 SCADA 没有报跳闸信息,保护动作数据见表 1。

要分析该保护是否正确动作,首先了解线路差动保护基本原理。

表 1 的故障数据从所使用的差动保护装置 ABB REL551 上抄录,同时 SCADA 后台机没有该保护动作的信息,即 SCADA 系统没有采集到事故遥信信息。

2.1 线路差动保护基本原理

动力变为干式变压器,容量为 1600 kW,投入前没有带负荷。

线路差动保护是反应从被保护线路各对外端口流入该线路电流之和的一种保护,具有绝对选择性,特别适用于地铁等短距离供电电缆的保护,其选择性既不靠延时,也不靠方向,而是根据克希霍夫的电流动定律:流向一个节点的电流之和等于零。

ABB REL551 是带比率制动的线路纵差保护,根据 ABB 公司关于该纵差保护的原理,以正常运行时最大不平衡电路和短路计算结果为依据选择保护参数,整定情况见表 2。

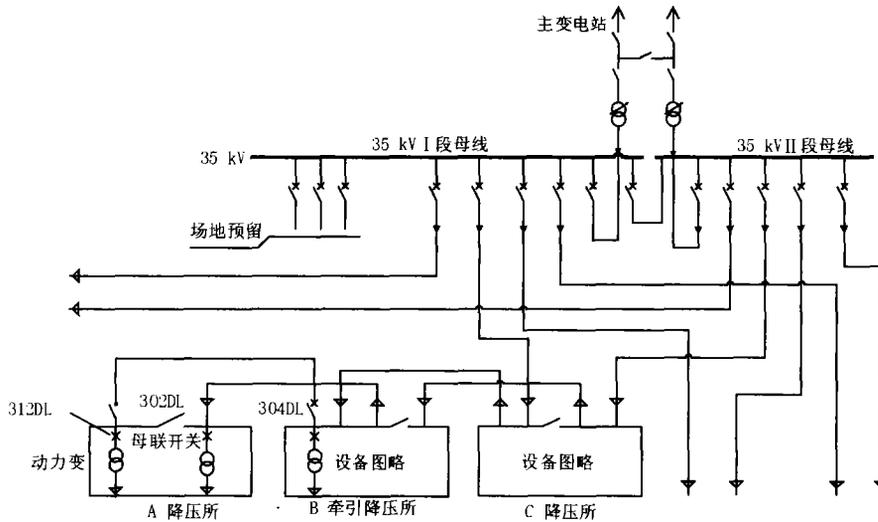


图 1 供电示意图

Fig 1 Power supply scheme

表 2 差动保护整定值

Tab 2 Setting of differential protection

CT变比	CT匹配系数	最小动作值	斜率 1 稳固值	斜率 2 稳固值	斜率 1 和斜率 2 交点	用于饱和检测和斜率 2 的最小相电流	智能评估	差动保护动作启动自投脉冲宽度 /s
600/1	1	20% I_n	40%	60%	500%	500%	2 of 4	2.5

REL 551 差动保护分相比较电流的幅值与相角,跳闸方式表现为三相跳闸,但保护内部是分相比较线路两侧的电流,制动方式采取双斜率制动,通过 CT 饱和和检测器提高装置的稳定性。当检测到保护范围内线路出现短路等故障电流时,保护立即动作,动作电流按躲过电缆充电电容电流和外部故障短路电流,而以差动回路中产生的三相最大不平衡电流来整定。

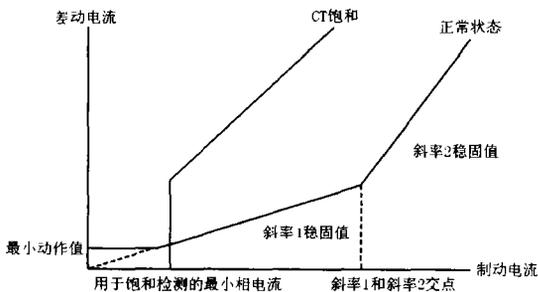


图 2 双斜率比率制动特性

Fig 2 Dual slope ratio restraint characteristic

为了提高该保护的灵敏度,设置了双斜率比率制动特性(见图 2)。差动保护的動作电流随着外部穿越性电流的增大而自动增大,差动保护的最小动作电流整定为额定电流的 20%,见表 2。

2.2 差动保护动作分析及改进

首先我们分析差动保护为什么动作。根据 REL551 保护装置动作特性 1、2、3,我们分别引入表 1 故障数据,结合电流差动保护判据,可以得出保护动作符合其启动判据,差动保护应动作。

$$I_{diff} = |I_{local} + I_{remote}| \quad (\text{动作特性 1})$$

$$I_{bias} = \frac{|I_{local} + I_{remote}|}{2} \quad (\text{动作特性 2})$$

$$I_{diff} > 2 \times I_{bias} \text{ and } I_{diff} > 4 \times I_{min op} \quad (\text{动作特性 3})$$

$$\begin{aligned} |I_{local} + I_{remote}| > I_{zd} \\ |I_{local} + I_{remote}| > K |I_{local} - I_{remote}| \quad (\text{电流差动保护判据}) \end{aligned}$$

其中: I_{diff} 为差动电流; I_{bias} 为制动电流; $I_{min op}$ 为最小动作值; I_{zd} 为保护整定值; K 为制动系数。

从保护动作后对现场电缆的初步巡查来看并没有发现电缆的异状,但首先仍须排除一次电缆本身是否存在问题。通过测试,在线路两端将三相电缆均拔除电缆头,测量每相电缆的主绝缘及外护套绝缘电阻均符合绝缘要求(其中主绝缘在数千兆欧以上),看来电缆本身并没有发生短路故障(绝缘没有受损)。

如果一次电缆没有问题,可以判定系保护误动,按有关运行规程,差动保护动作后必须查清原因。

从图 3 看,对于该线路差动保护,以下各种原因都有可能保护误动: 1) 线路充电电容电流的影响; 2) 保护装置本身有问题; 3) 差动 CT 存在问题, 包括极性错误或二次不平衡电流等的影响所导致; 4) 空载合变压器所产生的励磁涌流与一次电缆相位存在问题所引起的差电流叠加所造成。

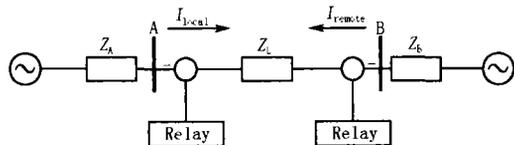


图 3 差动保护示意图

Fig 3 Differential protection characteristic

下面分别就可能存在的原因进行分析查找。

对于充电电容电流的影响,从图 1 看,当时 302DL 和 304DL 在跳闸前都已合上,就是说线路已充电,此时合进线断路器下变压器进线开关(开关编号 312,见图 1)所导致的差动保护动作,并非对线路充电,且该电缆线路总长度仅为 1.362 km,分布电容很小,可忽略不计,因此,可排除充电电容电流导致跳闸的原因。

对于保护装置本身问题可能造成的动作,据图 3,我们将线路两端的保护装置全部更换为经厂家严格测试的备用保护装置,经测试,仍然会启动差动保护跳闸。因此,可排除保护装置本身的问题。

当差动 CT 本身存在误差和三相不平衡电流,以及差动 CT 极性接反,都有可能造成差动保护误动作,以差动 CT 极性接反为例,见图 3,如极性没接错,按判据 1,电缆线路两端一次电流大小相等,方向相反,则差电流为零(两侧电流的相量和)。如极性接反,则两侧电流会出现大小相同,相位相同的情况,其相量和(判据 1)则为一端电流的两倍!这样当空载合变压器时,励磁涌流的叠加将使差电流以几何倍数增加,使得差动保护启动!

首先检查差动 CT 极性,没有错误,极性正确(具体方法这里不赘述)。

检查两侧线路 CT 本身是否存在误差,用电压法分别测量了其二次绕组直阻及变比,均与出厂值相符。因此可以排除 CT 本身原因或极性接反造成的保护误动作。

这样,我们将查找的重点放在了三相电缆的相位校核上。一般来说,一次电缆相位如果出现错乱,对地铁各有关设备系统所造成的后果是灾难性的。该供电环网中所有的三相交流电机将会错乱运行,而地铁中两个重要的系统都使用了三相交流电机,

包括信号系统和环控通风防灾系统。如果相序错乱,上述风机全部按相反的方向运行,造成严重后果,因此,这样的错误绝不允许发生!

下面测试三相电缆的相序,测相序的方法有很多,可以直接测,也可以间接通过低压侧测,我们采用的方法是从三相电缆所串联 CT 直接引出二次线接至保护装置,但保护出口预先屏蔽不予跳闸,同时做好防二次开路的安全措施,这种方法非常直观,可以在一次给出一定负荷量的情况下,从保护装置看差流和制动电流值,直接反映不同相位下的差流值。

经倒换二次 CT 接线(此时要先短接 CT 二次,先后顺序一定不要搞反,切记!)数次后,我们突然发现差流消失了!经核对此时的相序,果然一次电缆相序没有接对!但是非常巧合,本应按 A、B、C 三相接入的电缆,实际却是按 C、A、B 相序接入!这样正好是 A、B、C 三相各按相同方向旋转 120°。A、B、C 三相彼此的相角和方向并没有变化,相序没错,这就是低压侧所有三相电机仍按正常方向转动,而保护却出了问题的根本原因!正常情况下,线路两端对应相的电流应大小相等,方向相反,相位角相差 180° 此时没有差流出现,当发生以上错误接线时,以 A 站的 A 相为例,其旋转 120° 后,它与对端 B 站的 A 相电流在正常情况下已变成大小相等,相位相差 60° 的关系,这样按保护动作特性及判据,在正常情况下,其差流大小是一端电流的 $\sqrt{3}$ 倍,当空载合变压器时,如果正好合在励磁涌流相位和幅值与差电流叠加所能达到使差动保护动作的最小起动值时,差动保护就发生了误动作!

原因查明后,经倒换 A、B 站间电缆的相序,经测试恢复正常运行。

2.3 存在的其它问题及改进

前面讲到,从保护动作情况看,还有以下几点不正常的现象: 1) 35 kV 线路差动保护动作跳开一路进线电源后,母联备自投应动作,确保可靠供电,但实际的情况是母联断路器没有动作; 2) 没有上传事故信息给 SCADA 上位机。

首先看母联动作的条件:进线 1(或 2)差动保护动作且出线 1(或 2)断路器分闸, () 段母线无压 () 段母线有压,备投方式开关处于合位。

遥信信息是 REL551 传信息给 REF542,由 REF542 启动遥信。

对于该线路,比较特别的是线路保护采用 REL551,母联开关的保护通过 REF542 实现,而 REL551 的保护动作信息均要通过 REF542 上传,当

线路差动动作跳闸后,满足上述母联动作条件时,由 REF542 检测 REL551 是否启动差动来实现备自投(参见图 4)。

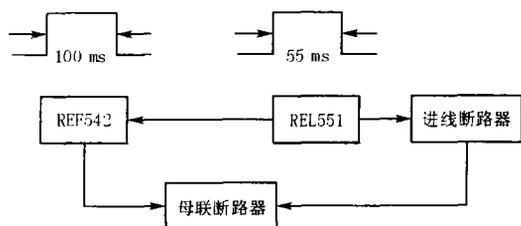


图 4 保护启动时序

Fig 4 Protection start time-sequence

经检查,REL551 装置 55 ms 左右就启动保护出口跳闸,而 REF542 输入口默认时间在 100 ms 以上才启动,这样对于 100 ms 以下的保护动作,REF542 认为是干扰并不启动备自投以及不上传相关的遥信信息!这种时序配合上的差错导致了母联不动作及后台机无遥信信息!这种故障如果在运行中发生,不管是差动正确还是误动作,母联均不会自投,A 站及 B 站等相关站该段电源将永久失电,后果比较严重。

改进的方法是修改保护出口触发信号,缩短 REF542 的输入口响应时间不失为一种选择,但对于干扰信号并不一定能有效躲过,较好的办法是延长 REL551 的触发时间至 100 ms。

3 结语

地铁线路差动保护是非常重要的线路主保护,

Analysis and countermeasures of differential protection maloperation on 35 kV subway cable line

SONG Jian-wei

(Shenzhen Subway Company, Ltd, Chenzhen 518040, China)

Abstract: Cable line current differential protection plays a very important role in subway power supply system. With this protection function, the cable feeder panels can cut-off the fault current quickly to ensure the system operating stably. This paper briefly introduces the theory of the cable line current differential protection, and analyzes the reasons leading to one misoperation of line current differential protection. It also proposes some correction measures for typical protection setting to maximize the availability of protection and minimize the risk of the relay misoperation. The operation practice shows that these measures are correct and effective.

Key words: subway; cable line differential protection; protection relay misoperation analysis; solution

(上接第 56 页 continued from page 56)

This communication system has two-stage communications. In every area, there are 1 set of industrial computer which forms the top layer, several sets of PC104 which form the middle layer, about 10 sets of lower computer which belong to every PC104. CAN bus protocol is adapted between the industrial computer and PC104, RS485 protocol is adapted between the PC104 and lower computer. There are lots of FTUs which are locating in all around. This system realizes the remote communication information integrity, nicety, speediness and priority. All of the communication devices work independently. They are connected by the communication net. So some devices which are fault will not affect others and the speed will not reduce.

Key words: railway automatic power distribution switches; layered distributed structure; CAN bus; RS485

对于地铁 35 kV 环网供电有非常重要的作用,通过此次故障分析与查找,使我们提高了业务技能,同时,由于地铁系统自身供电结构的复杂性,以及对地铁行车带来的重大影响,要求我们必须细心对待每一起故障(事故),认真分析,积极改进,这样不仅业务水平得到提高,也有利于提高地铁供电的可靠性。

参考文献:

- [1] 李宏任. 实用继电保护 [M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
LI Hong-ren. The Applied Protective Relaying [M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [2] 葛耀中. 电流差动判据的分析和研究 [J]. 西安交通大学学报, 1980, 21 (4): 1-10.
GE Yao-zhong. The Analysis and Study of the Current Differential Criterion [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1980, 21 (4): 1-10.
- [3] 王维俊. 电气主设备继电保护原理与应用 [M]. 北京:中国电力出版社, 1996.
WANG Wei-jian. Relay Protection of Electric Main Equipment Their Principle and Application [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

收稿日期: 2006-01-19; 修回日期: 2006-03-06

作者简介:

宋剑伟(1970-)男,工程师,主要从事地铁牵引供电系统技术管理工作。sjwcm2005@21cn.com