

国家电网公司



STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

换流站单双极闭锁报告汇编



国家电网公司运行分公司

国家电网公司



STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

换流站单双极闭锁报告汇编

国家电网公司运行分公司

CHINA STATE GRID
国家电网公司



国家电网公司

换流站单双极闭锁报告汇编

换流站单双极闭锁报告汇编

*

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年4月第一版 2009年4月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 13.5印张 362千字

印数0001—2000册

*

统一书号 155083·2137 定价 118.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

国家电网公司

《换流站单双极闭锁报告汇编》

编审委员会

主 编 梁旭明

副主编 李 东 王守东 陈秋安 王晓希 娄殿强

罗德彬

编 委 张国威 余克武 余振球 杨本渤 徐玲铃

唐开平 殷俊新 李继辉 仝培理 徐海军

衣福全 冀肖彤 习超群 郑卫红 王世民

胡开军 刘国云 王聿升 丁子健

审 核 姚 兵 汤晓峥 胡锦涛 魏华兵 李跃婷

刘蓓蒂 余珊珊 孙 扬 汪 涛 李 彪

姚其新 单 哲 李凤祁

前 言

换流站单双极闭锁报告汇编

为了减少直流换流站单双极强迫停运次数，提高直流工程的可用率，国家电网公司运行分公司收集整理国家电网公司所属各换流站2003~2008年之间发生的各次单双极闭锁的事故分析报告，形成了《换流站单双极闭锁报告汇编》。

前事不忘，后事之师。希望本报告汇编提供的信息能给直流换流站的设计、制造单位和运行维护单位带来启示，从而提高直流输电工程的设计制造水平和运行管理水平，以进一步提高直流输电工程的可靠性。

本报告汇编可作为直流输电技术人员的培训教材，书中详细分析了各种典型闭锁案例。通过对本书的学习，可提高广大直流输电技术人员故障分析和处理的能力。

时间所限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2009年4月

前言

第一部分 一次设备故障导致直流系统闭锁分析报告汇编 1

江陵站 2004 年 11 月 6 日极 I 母线电压互感器闪络导致极母线差动 保护动作极闭锁	2
南桥站 2007 年 2 月 8 日极 I 直流线路避雷器闪络导致直流母线差动 保护动作极闭锁	10
华新站 2007 年 4 月 18 日极 II 换流变压器分接头油流继电器动作导致极闭锁	15
灵宝站 2007 年 4 月 29 日 022B 换流变压器 C 相套管故障导致极闭锁	18
龙泉站 2008 年 5 月 3 日极 II 直流滤波器跳闸导致极闭锁	22
宜都站 2008 年 5 月 10 日 GIS 设备故障导致极 I 闭锁	32
南桥站 2008 年 12 月 21 日极 II 换流变压器 C 相套管故障导致换流差动 保护动作极闭锁	37
葛洲坝换流站 2008 年 12 月 28 日极 II 换流阀 Y 桥差动保护动作导致极闭锁	41

第二部分 辅助系统故障导致直流系统闭锁分析报告汇编 47

政平站 2004 年 7 月 26 日极 I 阀厅 VESDA 系统误动作导致极闭锁	48
鹅城站 2005 年 4 月 9 日站用电全站失电导致双极闭锁	50
鹅城站 2005 年 10 月 15 日极 I 内冷水温度传感器故障导致极 I 功率回降	54
政平站 2005 年 11 月 20 日站用电全失导致双极闭锁	58
灵宝站 2006 年 8 月 5 日 LTT 阀冷主泵切换不成功导致极闭锁	60
宜都站 2007 年 5 月 31 日极 I 内冷水两台主泵故障导致极闭锁	62
南桥站 2007 年 6 月 23 日极 I 内冷水 3B 分支流量传感器故障导致极闭锁	67
葛洲坝站 2007 年 9 月 5 日极 II 内水冷系统主泵漏水导致极闭锁	71
灵宝站 2008 年 2 月 8 日 LTT 阀电抗器冷却水管脱落导致极闭锁	75
政平站 2008 年 5 月 27 日极 I YyC 相换流变压器 A 套管 SF ₆ 压力监测装置 误动导致极闭锁	78

第三部分 二次回路故障导致直流系统闭锁分析报告汇编 83

龙泉站 2003 年 7 月 1 日极 II 换流变压器分接头压力继电器误动导致极闭锁	84
政平站 2003 年 7 月 10 日换流变压器、平抗气体继电器误动导致双极闭锁	86
政平站 2003 年 7 月 20 日极 II YyC 相换流变压器分接头紧急跳闸导致极闭锁	88
鹅城站 2004 年 4 月 27 日极 I YdC 相换流变压器分接头压力继电器 12.1 误动导致极闭锁	93

江陵站 2004 年 5 月 25 日极 II Yy C 相换流变压器分接头压力继电器误动导致极闭锁	96
鹅城站 2004 年 7 月 17 日极 II Yy B 相换流变压器分接头 1.5 气体继电器 误动导致极闭锁	98
政平站 2005 年 4 月 1 日极 II Yy B 相换流变压器分接头压力释放阀误动导致极闭锁	101
南桥站 2008 年 1 月 1 日极 I 直流分压器端子箱受潮导致极闭锁	103

第四部分 控制保护系统故障导致直流系统闭锁分析报告汇编

政平站 2003 年 6 月 27 日极 II PCIA 板卡故障导致阀短路保护误动致使极闭锁	108
龙泉站 2003 年 7 月 2 日极 I PCPB 与 ACP32 光纤通信故障导致极闭锁	111
政平站 2003 年 12 月 15 日 ACP 无法监视 PCP 状态导致极 II 闭锁	113
江陵站 2004 年 6 月 18 日极 I CCPA、B 系统同时退出运行导致极闭锁	116
龙泉站 2004 年 8 月 8 日极 II 换流变压器过激磁保护动作导致极闭锁	121
龙泉站 2004 年 11 月 23 日极 II PCP 板卡故障导致换流变压器磁饱和保护误动极闭锁	123
鹅城站 2004 年 12 月 22 日网络堵塞引起控制保护主机死机导致双极闭锁	125
龙泉站 2005 年 1 月 5 日极 I PCP 通信故障导致极闭锁	133
江陵站 2005 年 5 月 7 日极 I TFT 板卡故障导致换流变压器绕组差动保护动作极闭锁	135
葛洲坝站 2005 年 6 月 20 日极 II 阀触发异常保护动作导致极闭锁	138
江陵站 2005 年 8 月 8 日极 II 阀触发脉冲丢失导致极闭锁	142
灵宝站 2006 年 3 月 8 日安稳装置动作导致极闭锁	147
灵宝站 2006 年 3 月 29 日电压互感器断线导致极闭锁	149
宜都站 2006 年 11 月 24 日极 I ETCS 系统 RS830 板卡故障导致极闭锁	153
宜都站 2006 年 12 月 4 日极 II 出线光电流互感器故障导致双极闭锁	156
宜都站 2007 年 1 月 1 日极 II CAN 总线故障导致内冷水系统流量低 保护动作极闭锁	162
葛洲坝站 2007 年 2 月 26 日绝对最小滤波器条件不满足导致双极闭锁	165
宜都站 2007 年 6 月 27 日极 I 线路光电流互感器内部测量模块故障导致极闭锁	170
葛洲坝站 2007 年 9 月 22 日极 II PPRA 主机硬件故障导致极闭锁	174
宜都站 2007 年 9 月 25 日极 I 线路光电流互感器内部故障导致极闭锁	177
华新站 2007 年 10 月 12 日极 II VCU 紧急故障导致极 II 闭锁	181
江陵站 2008 年 5 月 12 日因地震导致双极阀差动保护误动作双极相继闭锁	185
龙泉站 2008 年 7 月 9 日极 I PCP 板卡故障导致换流变压器交流母线及 换流变压器差动保护动作	191
葛洲坝站 2008 年 8 月 13 日极 I 直流 D 桥差动保护动作	202



第一部分

一次设备故障导致直流系统 闭锁分析报告汇编

江陵站 2004 年 11 月 6 日极 I 母线电压互感器闪络 导致极母线差动保护动作极闭锁

编者 姚 兵

一、概述

1. 事故前运行工况

输送功率：极 I，1173MW；极 II，1177MW。

主控站：江陵站。

有功控制方式：双极功率联合控制。

无功控制方式：无功自动控制、U 控制。

直流系统方式：极 I PCPA 在“Active”状态、PCPB 在“Standby”状态，极 II PCPA 在“Standby”状态，PCPB 在“Active”状态。

天气情况：大雾。

2. 事故简述

2004 年 11 月 6 日上午 09:13，极 I 极母线差动保护动作，极 I 极差动保护动作，接地极断线保护动作，极 I 直流系统 Z 闭锁。500kV 交流场 5241、5242 断路器跳开并闭锁，极 I 直流场转至极隔离状态。

现场检查发现极 I 直流分压器 P1-WP-U1 外绝缘闪络。

3. 事件记录

- 09:13:12:313 极 II PCPB1 中性极差动保护启动切换系统
- 09:13:12:314 极 I PCPB1/A1 直流极母线差动保护启动切换系统
- 09:13:12:324 极 I PCPA1/B1 直流极母线差动跳闸
- 09:13:12:329 极 I PCPB1 保护 Z 闭锁
- 09:13:12:330 极 I PCPB1 直流线路保护闭锁
- 09:13:12:344 极 I PCPA2/B2 直流极差动跳闸
- 09:13:12:362 ACP1A/B 5242 断路器跳开
- 09:13:12:368 ACP1A/B 5241 断路器跳开
- 09:13:12:386 极 I PCPA1/B1 极闭锁
- 09:13:20:490 极 I PCPA1/B1 接地极线开线保护跳闸
- 09:13:12:496 极 I PCPB1 保护 Z 闭锁

二、故障检查及原因分析

(一) 故障检查

(1) 对极 I 设备外观检查时，发现极 I 直流分压器 P1-WP-U1 有明显的闪络痕迹：在均压环上发现三个明显放电点，其中最大击穿孔径约为 15mm（见图 1）；在分压器底座上有一个明显放电痕迹（见图 2）；在均压环和底座间外绝缘子上也有明显的放电痕迹，靠近均压环侧更明显

SETTINGS FOR DC DIFFERENTIAL PROTECTION

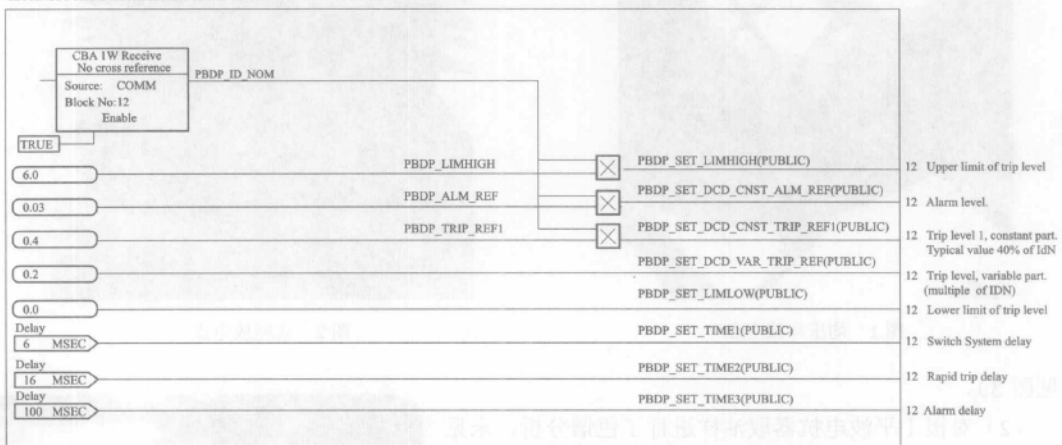


图 5 极母线差动保护定值图

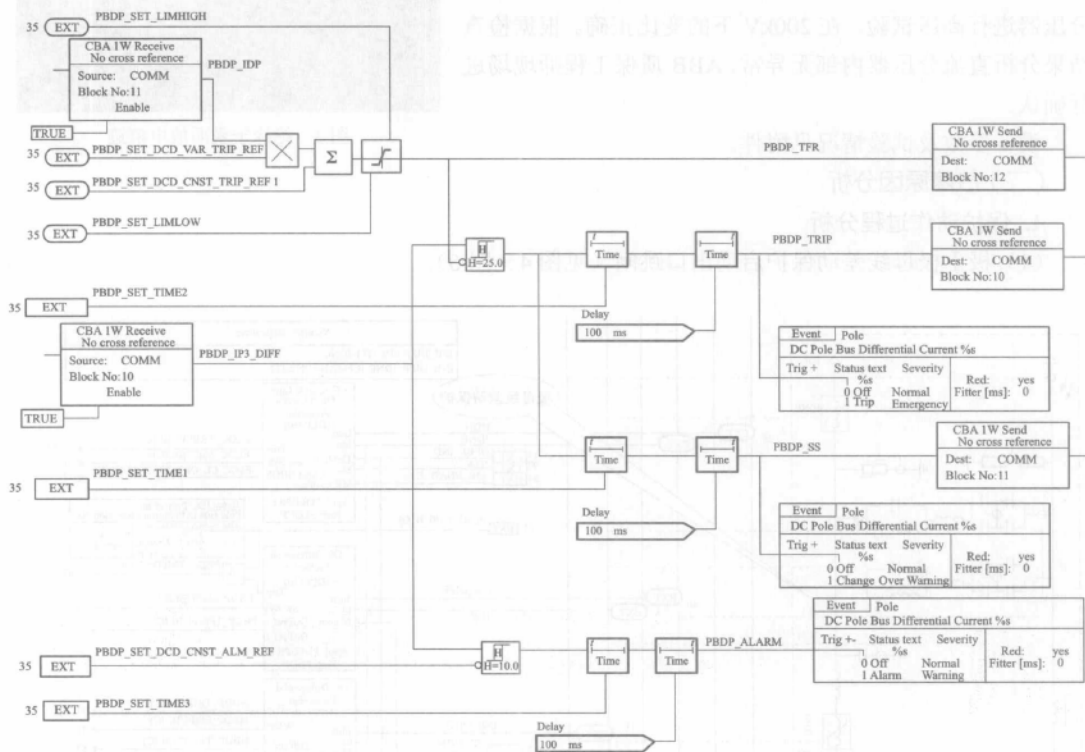


图 6 极母线差动保护逻辑图

从上面软件可以看出，极母线差动保护的保护区是从直流极线电流互感器 (I_{DL}) 到中性母线电流互感器 (I_{DNC}) 之间，包括 12 脉动换流器在内。保护的输入量是：

I_{DL} 直流线路光电流互感器的电流

I_{DNC} 直流中性母线穿墙套管零磁通原来电流互感器的电流

I_{T1} 直流滤波器光电流互感器的电流

简化的保护原理逻辑见图 7。

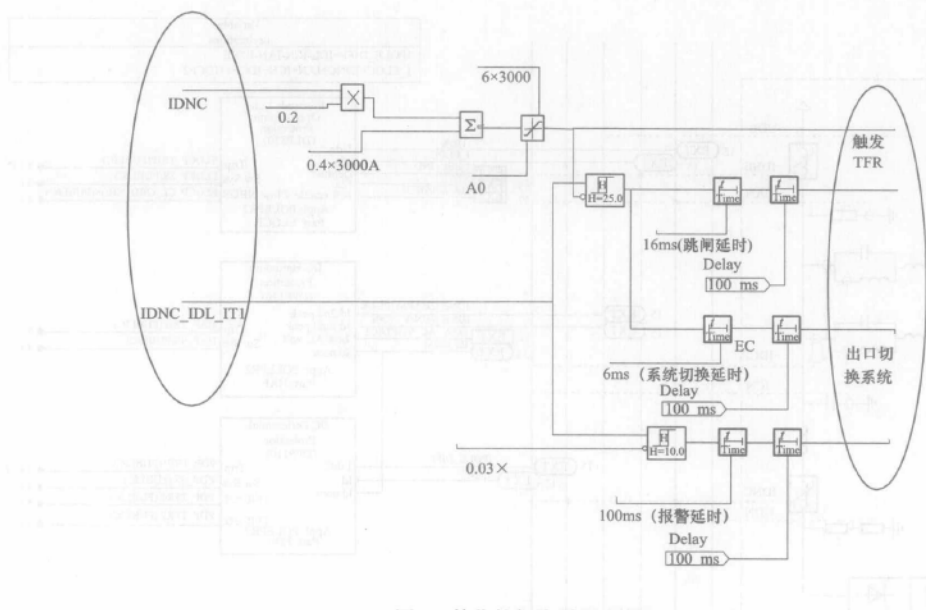


图 7 简化的保护原理逻辑图

在图 7 中, I_{DNC} 用来计算制动电流, 根据运行工况的不同: $I_{res} = I_{DNC} \times 0.2 + 1200A$, 但制动电流不大于 18 000A, 不小于 0A。

差动电流: $I_{PB_DIFF} = I_{DNC} - I_{DL} - I_{T1}$ (阀阳极对地, 极 I 属该情况)

差动电流大于 90A 时, 延时 100ms 报警; 如果差动电流大于制动电流, 延时 6ms 切换系统; 如果差动电流大于制动电流, 延时 16ms 出口跳闸。

差动电流计算原理见图 8。

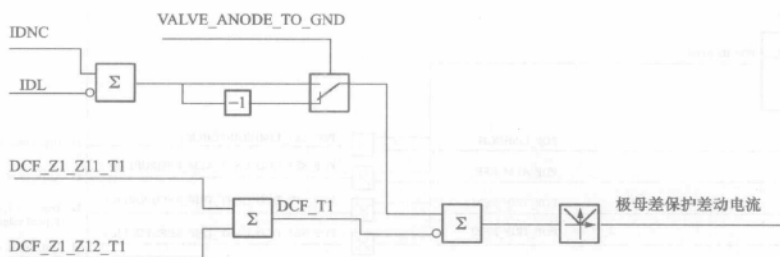


图 8 差动电流计算原理图

由上述分析可知: 极母线差动保护是在 PCP MC1 主机中实现的, 极母线差动保护中, 差动电流 $I_{PB_DIFF} = I_{DL} + I_{T1} - I_{DNC}$, 其中 $I_{T1} = Z_{11_T4_P} + Z_{12_T4_P}$, 差动保护的定值为 $1200 + I_{DP} \times 0.2$, 当时的 I_{DP} 在 2350A 左右, 所以定值是 1670A 左右, 保护启动切换系统的延时是 6ms, 跳闸的延时是 16ms, 根据故障录波, 在故障时刻, I_{DNC} 最大值在 7000A 以上, I_{DL} 电流低于 1000A, 反相的时间在 10ms 左右, 两组直流滤波器电流 I_{T1} 震荡, 在保护启动时 (09:13:12:324) 电流已经衰减到较小, 所以差动电流远超过了定值, 时间也超过了定值, 所有极母线差动保护启动出口跳闸为正常动作, 保护启动跳开了 5241 断路器和 5242 断路器。

(2) 极 I 极差动保护启动出口跳闸 (见图 9~图 11)。

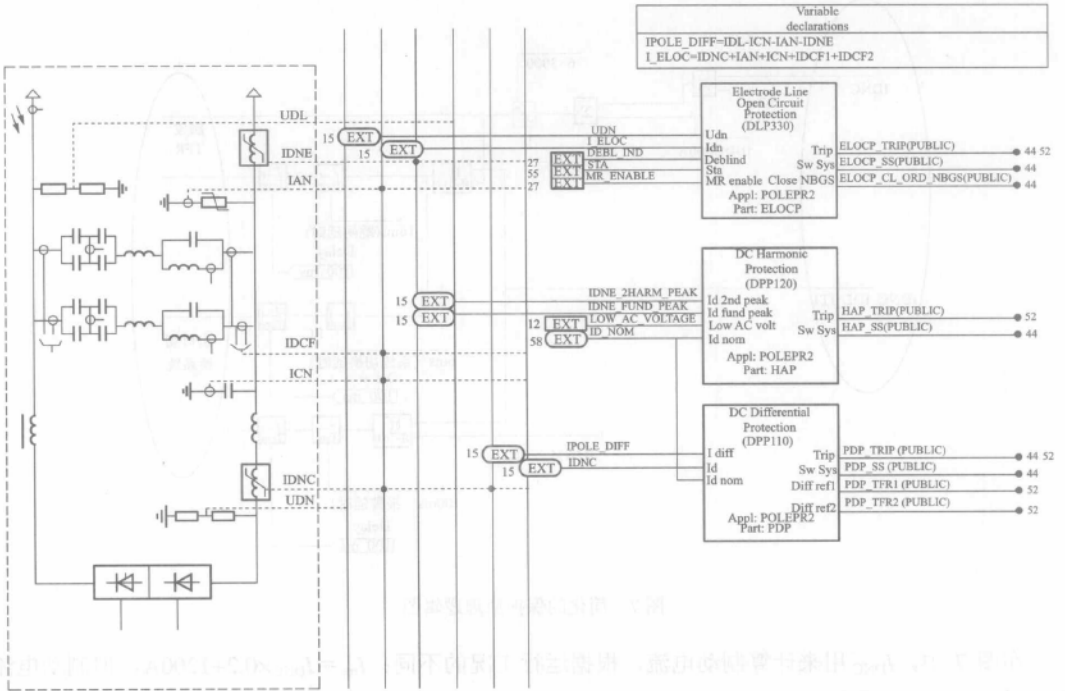


图9 极差动保护取量图

SETTINGS FOR DC POLE DIFFERENTIAL PROTECTION

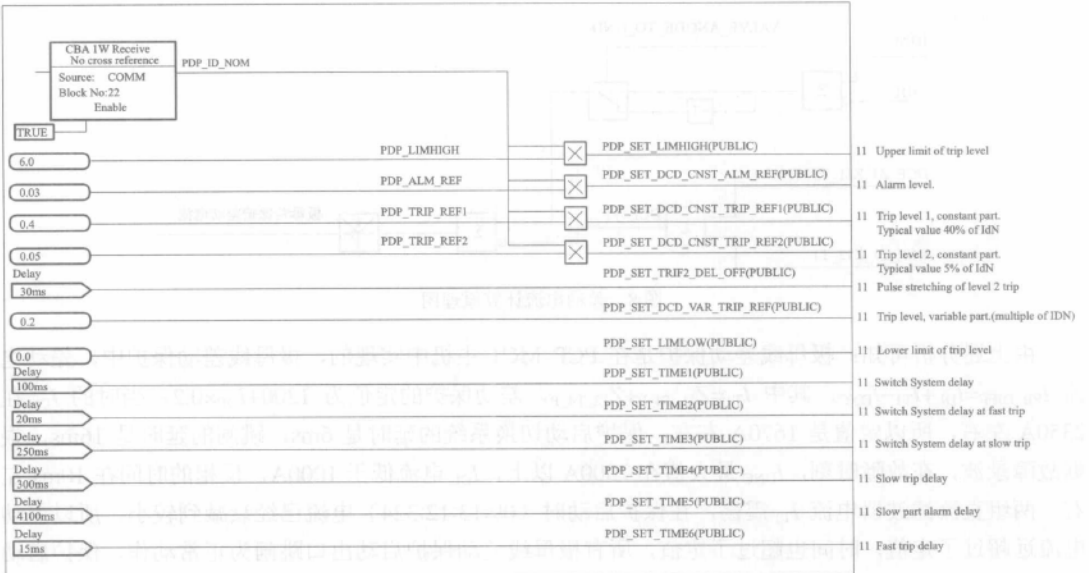


图10 极差动保护定值图

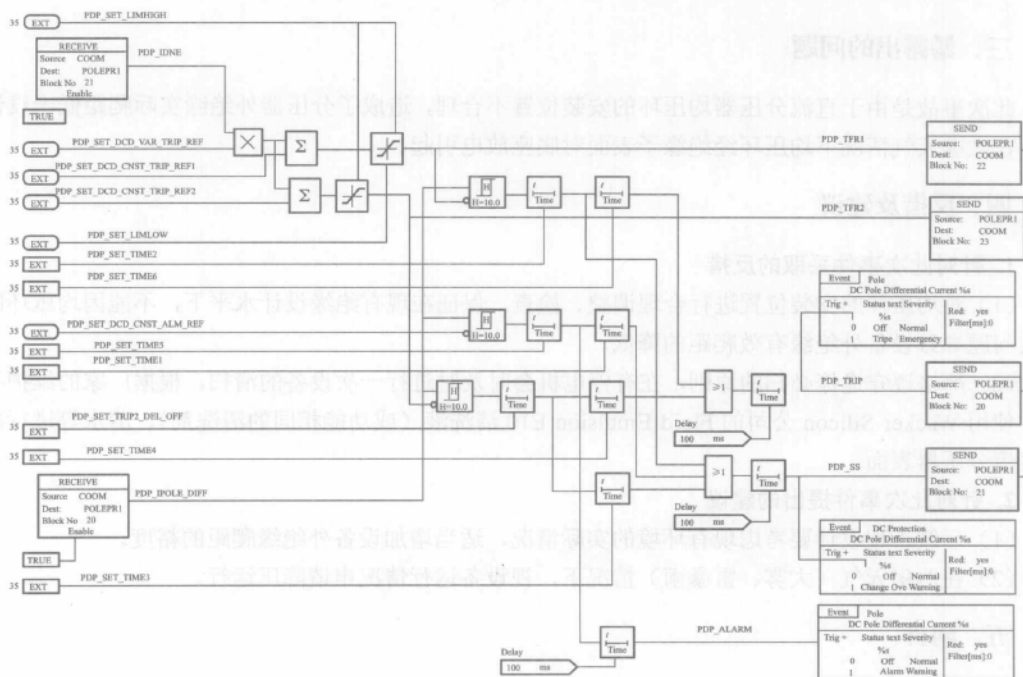


图 11 极差动保护逻辑图

极差保护的输入量是 I_{DL} 、 I_{CN} 、 I_{AN} 、 I_{DNE} ，该保护属后备保护，是在 PCP MC2 主机中实现的， $I_{POLE_DIFF}=I_{DL}-I_{CN}-I_{AN}-I_{DNE}$ ，差动保护的定值为 $1200+I_{DNE} \times 0.2$ ，跳闸的延时是 20ms。在故障时刻，由于 I_{DNE} 较大，最大值也超过 7000A， I_{DL} 电流低于 1000A，反相的时间在 10ms 左右， I_{CN} 、 I_{AN} 很小，所以极母线保护启动出口跳闸是正确的。

(3) 极 II 极中性线差动保护启动切换系统。

极中性线差动保护是在 PCP MC1 主机中实现的，差动电流 $I_{DNC_DIFF}=I_{DNC}-I_{DNE}-I_{CN}-I_{AN}-I_{T4}$ ， $I_{T4}=Z_{11_T4_P}+Z_{12_T4_P}$ ，差动保护的定值为 $600+I_{DNC} \times 0.2$ ，保护启动切换系统的延时是 6ms。在 09:13:12:313 时，从故障录波看， I_{DNC} 的电流维持在 1500A 左右，则差动保护的定值则在 900A 左右，而两组直流滤波器电流 I_{T4} 震荡，一组直流滤波器电流最大电流超过 1200A， I_{DNE} 也是在震荡，最大电流也超过了 3300A，是可以超过保护启动定值的， I_{CN} 和 I_{AN} 较小，由此可看出，当极 I 的极母线电压互感器对地放电时，极 II 的两组直流滤波器放电震荡，导致 I_{T4} 和 I_{DNE} 都在震荡，采集 I_{T4} 和 I_{DNE} 的两个电流互感器的励磁特性不完全同步，加之保护启动的延时较短 6ms，所以是可能启动的。

从事件记录、故障录波、检查情况及保护动作的分析看，极 I 母线电压互感器 (PI-WP-U1) 污闪对地放电，导致极 II 极中性线差动保护启动切换系统、极 I 极母线差动保护启动出口跳闸及极差动保护启动出口跳闸，极 I 直流系统 Z 闭锁停运。保护正确动作。

2. 现场检查情况分析

从现场检查情况来看，从直流分压器上部均压环经外绝缘到底座有明显的放电通道存在，对直流分压器高压臂电阻、电容及变比进行检查，未发现直流分压器内部存在故障。说明此次母差保护动作是大雾天气下的外绝缘闪络事故。

3. 故障处理

对绝缘子表面进行了清扫，对均压环烧伤部位进行打磨处理，对均压环位置进行了调整(适当上调)。

三、暴露出的问题

此次事故是由于直流分压器均压环的安装位置不合理，造成了分压器外绝缘实际爬距低于设计值，在大雾天气情况下均压环经绝缘子表面对底座放电引起。

四、反措及建议

1. 针对此次事件采取的反措

(1) 对均压环的安装位置进行合理调整、检查，保证在现有绝缘设计水平下，不能因均压环的安装问题导致设备外绝缘有效爬距的降低。

(2) 严格遵守逢停必扫的原则，在有停电机会时及时进行一次设备的清扫。根据厂家的维护手册，使用 Wacker Silicon 公司的 Fluid Emulsion E10 清洗液（或功能相同的清洗剂）、清水等进行冲洗直流分压器表面。

2. 针对此次事件提出的建议

(1) 后续工程设计要考虑现有环境的实际情况，适当增加设备外绝缘爬距的裕度。

(2) 在恶劣天气（大雾、雷暴雨）情况下，视设备运行情况申请降压运行。

五、附件

1. 设备参数（见表 1）

表 1 设备参数

设备型号	HVR-FC	额定电压 (kV)	500
最大持续直流电压 (kV)	515	U_s (V)	37.6118
R_{13} (M Ω)	250M Ω	输入阻抗 R_{in}	30.2+/-0.1%k Ω
R_{24} (k Ω)	50.0k Ω	传输精度	0.2%
绝缘水平	1425kV	运行编号	PI-WP-U1
制造厂家	ABB	投运日期	2003
出厂日期	2003	出厂编号	110000.1.1

2. 变比检查（带二次电缆接入控制系统，见表 2）

表 2 变比检查

试验内容 试验日期：2004 年 11 月 6 日 环温：24℃ 湿度：85%

分压器电压 (kV)	直流发生器电压 (kV)	OWS 读数 (kV)	电流 (μ A)	低压侧电压 (V)	变比 ($\times 10^3$)
24.8	24.7	24.8	125	1.868	13.276
50.3	50.2	50.3	255	3.77	13.315
100.1	99.6	100.0	523	7.51	13.262
150.7	150.2	150.2	833	11.32	13.266
200.4	200.0	200.0	1198	15.07	13.271
表 计	ZGS-III 高压直流发生器、直流分压器、万用表				

3. 变比测量（不带二次电缆，见表 3）

表 3 变比测量

试验内容 试验日期：2004 年 11 月 6 日 环温：24℃ 湿度：85%

直流发生器电压 (kV)	电流 (μ A)	低压侧电压 (V)	变比 ($\times 10^3$)
25	102	4.96	5.04

续表

直流发生器电压 (kV)	电流 (μA)	低压侧电压 (V)	变比 ($\times 10^3$)
50	210	10.06	4.97
75	317	14.93	5.02
100	427	19.75	5.06
表 计	ZGS-III 高压直流发生器、直流分压器、万用表		

4. 电阻、电容量测量 (见表 4)

表 4

电阻、电容量测量

试验内容

试验日期: 2004 年 11 月 6 日

环温: 24°C

湿度: 78%

部位	绝缘 ($\text{M}\Omega$)	绝缘参考值 ($\text{M}\Omega$)	\tan (%)	C_x (pF)	C_x 参考值 (pF)	ΔC_x (%)
高压臂	248	250.04	13.35	97.37	100	-2.63
表 计	BM11D 电动绝缘电阻表、AI-6000D 介损仪					

注 绝缘电阻的参考值是 2003 年 8 月 20 日的交接值, 电容量的参考值是标称值。

南桥站 2007 年 2 月 8 日极 I 直流线路避雷器闪络 导致直流母线差动保护动作极闭锁

编者 李 辉 郝跃东

一、概述

1. 事件前运行工况

事故前状态：葛南直流系统双极大地回线运行，输送功率为葛洲坝送南桥 575MW。2613、2614、2621、2622 交流滤波器运行。

2. 事故简述

2007 年 2 月 7 日 19:30 左右，现场起雾，极 I 线路避雷器放电严重，20:04，降压 400kV 运行。极 II 全压运行。

2 月 8 日 07:04:09，极 I 直流保护 PIPPR 系统发极母线差动保护动作，执行 ESOF 命令，极 I 退至极隔离状态。

3. 处理情况

极 I 闭锁后，输送功率转移至极 II，维持在 575MW 运行。申请将极 I 转检修、极 I 直流线路转检修，增加对极 II 设备特巡，密切监视极 II 运行工况。

现场检查后，发现极 I 直流线路避雷器表面存在三处放电痕迹，清扫后进行预试，排除了避雷器本体绝缘损坏的可能。18:08 和 18:48，申请国家调度通信中心分别进行不带线路和带线路 OLT 试验，试验正常，19:27，恢复极 I 运行。

二、原因分析

1. 故障原因检查

(1) 事故发生前，南桥站起雾，运行人员对站内设备进行特巡。发现葛南直流极 I 线路避雷器放电严重，动作计数器显示避雷器动作频繁，泄漏电流在 1.5~5mA 之间剧烈晃动，放电弧光呈黄色，拉弧距离达外绝缘 1/3~1/2 的长度。极 II 线路避雷器运行稳定。向国家电力调度通信中心申请极 I 降压至 400kV 运行。20:04，极 I 降压 400kV，极 I 线路避雷器放电现象明显好转，拉弧距离变短，泄漏电流降至 1.5mA 以下，计数器动作频率明显降低。

(2) 事故发生后，当时天气大雾（上海气象局黄色大雾预警）、细雨，经查看直流场设备，极 I 直流线路避雷器 BD15 F1 计数器计数增加了数十次，达到 894 次，发现避雷器下部第 2 节下端的法兰线路方向一侧有放电痕迹。对直流场其他设备进行外观检查，未发现其他明显故障点。

2. 故障原因分析

(1) 极母线差动保护原理分析。极母线差动 II 段保护为快速段，动作条件为： $U_{dYC} - I_{dYL} - I_{f1Y} - I_{f2Y} > \max [I_{hbd_set}, k_{set} \times \max (I_{dYC}, I_{dYL}, I_{f1Y}, I_{f2Y})]$ 。式中， I_{dYL} 为极母线线路端电流； I_{dYC} 为极母线阀端电流； I_{f1Y} 、 I_{f2Y} 分别为 BD12、BD13 直流滤波器高压侧电流。根据保护整定要求， I_{hbd_set} 取 0.15 标么，即 180A。极保护电流量配置情况见图 1。