

## 换流站站用电自备投装置设计及整定

胡晓静<sup>1,2</sup>, 李志勇<sup>1</sup>, 杨慧霞<sup>1,2</sup>, 蒋冠前<sup>1,3</sup>, 杨静<sup>1</sup>

(1. 许昌开普电气研究院, 河南 许昌 461000; 2. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230001;  
3. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 为了保证直流输电工程换流站站用电设备安全稳定运行, 必须合理设计站用电系统及备用电源自动投入装置的动作逻辑。以糯扎渡直流输电工程普洱换流站为例, 根据主接线形式、运行要求和具体运行工况, 对 10 kV 备自投的五种运行工况分别设计了备自投充放电逻辑和十三种动作投切逻辑, 对 400 V 备自投单母分段运行方式设计了两种动作投切逻辑。同时, 对备自投装置的定值整定原则及定值配合相关问题进行了研究, 给出了推荐定值。所提出的备自投方案经现场实际运行证明: 通过 10 kV 和 400 V 两级备自投装置的配合, 在各种运行工况下某路或某两路站用电电源失电时备自投装置都能快速动作投切至备用电源, 无需降低直流输送功率或停运, 大大提高了直流系统的可靠性。

**关键词:** 高压直流输电; 备自投; 站用电; 自恢复投切; 换流站

### Standby power supply automatic switching-on relay design and setting of converter station auxiliary power system

HU Xiaojing<sup>1,2</sup>, LI Zhiyong<sup>1</sup>, YANG Huixia<sup>1,2</sup>, JIANG Guanqian<sup>1,3</sup>, YANG Jing<sup>1</sup>

(1. Xuchang Ketop Electric Research Institute, Xuchang 461000, China; 2. Hefei University of Technology, Hefei 230001, China; 3. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Perfect station auxiliary power system main diagram and efficient standby power supply automatic switching-on logic should be designed in converter station of HVDC system for the safe and stable operation. According to the electric diagram and operation requirement of Pu'er converter station, five operation conditions are considered and charge/discharge logic and thirteen automatic switching-on/off logic are designed for 10 kV standby power supply automatic switching-on relay, two automatic switching-on/off logics are designed for 400 V standby power supply automatic switching-on relay. Meanwhile, the setting principle and coordination are discussed and the recommended settings are given. The standby power supply automatic switching-on/off logic has been applied in Pu'er converter station, experimental results and operation conditions show that standby power supply automatic switching-on relay will trip the circuit breaker of fault line and switch to standby power supply rapidly while one or two station auxiliary power supply fault without reducing HVDC transmission power, the reliability and stability of HVDC system are greatly improved.

**Key words:** HVDC; standby power supply automatic switching-on; station auxiliary power system; self recovery switch; converter station

中图分类号: TM762.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2015)17-0145-04

## 0 引言

直流输电具有异步联网、传输容量大、损耗低、潮流调节灵活、快速、限制短路电流、节省输电走廊、智能化程度高等优点, 是坚强智能电网极为重要的组成单元之一, 使其在远距离大容量输电以及异步联网工程中得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。站用电系统负责

为站内设备提供交流电源, 是保障变电站安全、可靠运行的一个重要环节<sup>[4]</sup>。与常规变电站相比, 高压直流输电系统换流站的规模较大, 所以换流站站用电负荷的容量远大于常规交流变电站站用电负荷容量, 并且换流站站用电负荷分布比较分散, 站内各个区域如交流场、直流场、阀厅、换流变区域等的很多设备都需要提供交流电源才能正常运行, 这对

站用电系统设计提出了更高的要求。换流站对站用电系统的可靠性要求比常规交流变电站更高。可控硅换流阀运行时大电流产生的高热量会导致可控硅温度急剧上升,如果不能有效冷却,可控硅会被烧坏从而造成直流输电系统紧急停运<sup>[5]</sup>。所以,直流运行过程中换流站阀冷系统不能断电,而阀冷系统的关键设备冷却主泵需要站用电供电才能工作。此外,换流变有载调压系统、控制保护系统、通风空调照明等重要系统也都需要站用电给设备供电。因此,保证换流站站用电系统安全可靠稳定运行非常关键。要加强站用电电源供电可靠性,可以从两个方面考虑:

1) 根据站用电负荷情况合理设计站用电系统主接线形式并确保站用电电源有 100%冗余容量,每回站用电电源都能独立承担直流系统双极运行时的站用电负荷;

2) 使用备自投装置,合理设计备自投逻辑方案,确保在任一路站用电电源或变压器/母线发生故障时不影响站用设备供电,不减少直流输送功率。

### 1 站用电系统接线

普洱换流站站用电部分配置了两台 500 kV/35 kV 站用变 11T10 和 11T20, 两台 35 kV/10 kV 站用变 11T01 和 11T02, 一台高压侧接站外备用电源的 110 kV/10 kV 站用变 11T03, 八台 10 kV/400 V 站用变 T11、T12、T13、T14、T21、T22、T23 和 T24。

35 kV 站用变 11T01 经 1DL 带 10 kV I 母, 35 kV 站用变 11T02 经 2DL 带 10 kV II 母, 从站外引接的 110 kV 木澜线作为备用电源经站用变 11T03 和 6DL 带 10 kV III 母。每段母线之间配置母联断路器。10 kV 8 台站用变分别带 400V 的 8 段母线, 400V 母线下挂站用电设备。

此主接线与以往的换流站站用电主接线有相似之处,但系统设计时增加了 10 kV I 母和 II 母之间的母联断路器 3DL, 使运行方式更加灵活, 备自投投切方式也更加符合运行要求。普洱换流站的站用电部分电气主接线图如图 1 所示。

备用电源自动投入装置是电力系统提高供电可靠性、保证供电连续性的一种有效手段<sup>[6]</sup>。传统备自投设备实现原理简单, 在发电厂、变电站和配电网中得到了广泛的应用<sup>[7]</sup>。但是, 常规备自投装置动作逻辑单一, 无法满足换流站站用电系统的供电运行要求。在以往的云广、天广直流输电工程换流站中, 仅在站用电 10 kV 工作电源和备用电源之间配置了常规逻辑的母联备自投装置, 虽然在一路

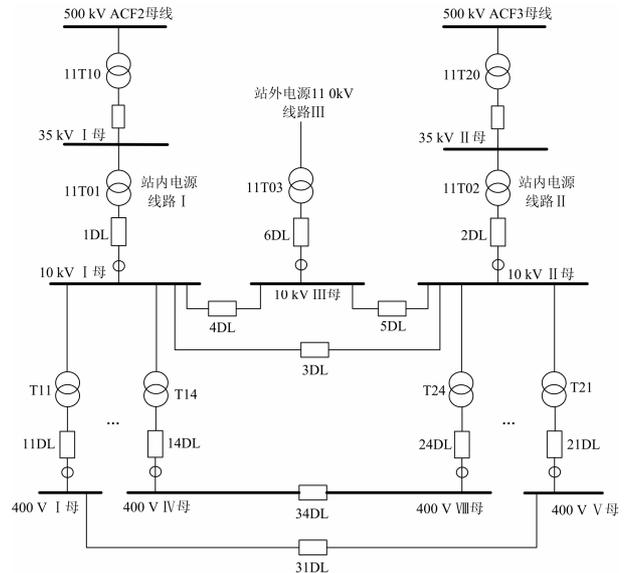


图 1 站用电主接线示意图

Fig. 1 Station auxiliary power system main diagram

站用电电源故障时可以成功将站用电负荷投切至备用电源回路,但是在备用电源失电、两路站用电电源均发生故障等特殊情况下无法保证站内设备可靠供电, 阀冷等设备失电将导致直流停运, 造成严重后果和重大经济损失。

普洱站站用电系统配置了 10 kV 和 400 V 备自投装置, 并经过多次会议讨论合理设计了备自投动作投切逻辑, 可以确保在任一路站用电电源故障失电的情况下不影响站用设备供电, 不损失直流输送功率。

### 2 备自投装置设计

#### 2.1 10 kV 备自投逻辑

如图 1 所示主接线, 分别配置 10 kV 和 400V 备自投装置。根据运行工况不同, 10 kV 备自投可实现如下五种投切功能。

方式一: 线路 I、线路 III 分别带 10 kV I 母和 III 母运行、母联开关 4DL 断开的运行工况下, 方式一充电。若线路 I 失电, 备自投动作跳开 1DL 合上 4DL, 使线路 III 带 I 母和 III 母运行。自动恢复投切: 当线路 I 电压恢复后, 备自投动作跳开 4DL 合上 1DL。

方式二: 线路 II、线路 III 分别带 10 kV II 母和 III 母运行、母联开关 5DL 断开的运行工况下方式二充电。若线路 II 失电, 备自投动作跳 2DL 合 5DL, 使线路 III 带 II 母和 III 母运行。自动恢复投切: 当线路 II 电压恢复后, 备自投动作跳 5DL 合 2DL。

方式三: 三台站用变分列运行, 母联 4DL 和

5DL 分位运行工况下方式三充电。若线路 I 及 II 同时失电, 备自投动作跳 1DL、2DL, 合 4DL、5DL, 线路 III 带 I 母、II 母运行。自动恢复投切: 若线路 I 电压恢复, 跳 4DL 合 1DL; 若线路 II 电压恢复, 跳 5DL 合 2DL。

方式四: 站外电源线路 III 没电, 站用变 11T01 和 11T02 分列运行的运行工况下方式四充电。此时若线路 I 失电, 则备自投动作跳 1DL、4DL, 合 3DL, 由线路 II 带 I 母、II 母运行。自动恢复投切: 若线路 I 电压恢复, 则跳 3DL 合 1DL, 恢复原运行方式; 若备用电源线路 III 电压恢复, 则跳 3DL, 合 6DL、4DL, 均分负荷由线路 III 带 I 母。

方式五: 站外电源线路 III 没电, 站用变 11T01 和 11T02 分列运行的运行工况下方式五充电。此时若线路 II 失电, 则备自投动作跳 2DL、5DL, 合 3DL, 由线路 I 带 I 母、II 母运行。自动恢复投切: 若线路 II 电压恢复, 则备自投跳 3DL 合 2DL, 恢复原运行方式; 若备用电源线路 III 电压恢复, 则跳 3DL, 合 6DL、5DL, 均分负荷由线路 III 带 II 母。

## 2.2 400 V 备自投逻辑

如图 1 所示, 10 kV 站用变 T11、T12、T13、T14、T21、T22、T23、T24 分别带 400V 八段母线, 400V 备自投配置常规的母联备自投逻辑。以 400V I 母和 V 母之间的备自投为例, 在 I 母、V 母均有压, 11DL、21DL 合位, 31DL 分位的运行工况下备自投充电。若 T11 失电, 则备自投动作跳开 11DL 合上 31DL; 若 T21 失电, 则备自投动作跳开 21DL 合上 31DL。

通过两级备自投装置的配合, 可确保在任一路站用电源正常可用的情况下站用电设备正常工作, 保证直流输电系统稳定运行。

## 3 备自投接线及定值整定

采用备自投装置是要在本电源故障无法为母线供电时及时切换到备用电源供电, 但是在某些情况下需要闭锁备自投装置, 如母线故障、断路器失灵、断路器手跳命令、站用变后备保护动作等, 这些情况下需要提供接点并引接到备自投装置的闭锁开入。

备自投的原则为“先断后合切换”。由于站内设备不能长时间停电, 应对备自投装置定值合理整定并尽量缩短备自投跳闸、合闸动作的延时时间。

10 kV 备自投装置的主要定值如表 1 所示。

第 2 节中介绍的备自投方式一至方式五的控制字均可整定为投入, 由备自投装置装置自动识别运行方式。

表 1 10 kV 备自投装置定制单

Table 1 Setting list of 10 kV standby power supply automatic switching-on relay

序号	名称	代号
1	母线有压定值	Umyy
2	母线无压定值	Umwy
3	线路有压定值	Uxyy
4	线路无压定值	Uxwy
5	跳 1DL 延时	Tt1
6	跳 2DL 延时	Tt2
7	跳 3DL 延时	Tt3
8	跳 4DL 延时	Tt4
9	跳 5DL 延时	Tt5
10	合 1DL 延时	Th1
11	合 2DL 延时	Th2
12	合 3DL 延时	Th3
13	合 4、6DL 延时	Th46
14	合 5、6DL 延时	Th56

电压定值整定: 由于阀冷系统主泵工作电压不能低于 80%, 所以母线无压定值和线路无压定值整定应稍高于 80V, 可取 85V。有压定值可取 90V。

跳 1DL、2DL 延时整定应考虑: (1) 由于有压和无压整定值差距不大, 所以备自投跳工作电源开关应考虑一定延时以防止系统扰动时误动; (2) 由于 500 kV 站用变 1B 和 2B 不配置重合闸, 所以备自投跳 1DL、2DL 延时不需要考虑重合闸时间; (3) 备自投跳 1DL、2DL 延时要躲过母线保护及站用变有灵敏度的后备保护的動作时间。站用变过流二段动作延时一般在 1.5 s 以内, 所以备自投跳 1DL、2DL 延时建议取 1.6~2 s。

跳 4DL、5DL 延时整定应考虑: (1) 备自投跳闸时应适当考虑延时以确定备用电源有压且工作正常; (2) 虽然站外电源线路 III 存在重合闸方式, 但由于本文中备自投的逻辑不同于常规备自投方式, 备自投跳 4DL、5DL 并不是在线路故障失压时, 而是在站内电源恢复时用以均分负荷, 所以跳闸延时整定不需要考虑线路故障、保护动作及重合闸的时间。跳 4DL、5DL 延时建议取 30~50 ms。

跳 3DL 延时定值仅用于原失压线路恢复供电时恢复投切以均分负荷, 建议取 30~50 ms。

合 1DL、2DL、3DL、4DL、5DL、6DL 延时一般取 0.2 s。备自投装置应确认工作电源开关断开后再经延时合母联开关。

400 V 备自投装置的主要定值如表 2 所示。

表 2 400 V 备自投装置定值单

Table 2 Setting list of 400 V standby power supply automatic switching-on relay

序号	名称	代号
1	母线有压定值	Umyy
2	母线无压定值	Umwyy
3	跳 1DL 延时	Tt1
4	跳 2DL 延时	Tt2
5	合 3DL 延时	Th3

如前所述,有压定值可取 90 V,无压定值可取 85 V。备自投延时整定应考虑上下级间的配合,若电源侧故障则应首先由 10 kV 备自投动作切换,400 V 备自投不应启动。所以备自投跳工作电源开关延时时间整定应大于备自投动作至母联开关合闸成功所需要的时间。以 400 V I 母和 IV 母之间的备自投为例,10 kV 备自投 1DL 跳闸延时整定为 1.6 s,母联 4DL 合闸延时整定 0.2 s,10 kV 真空开关的分合闸时间约为 50~70 ms,考虑适当裕度,400 V 备自投跳工作电源开关延时时间可整定 2.2 s,合分段开关延时可整定 0.2 s。考虑到开关分合所需要的时间,400 V 备自投完成切换的时间不会超过 4 s,满足阀冷系统主泵的要求。

### 4 结语

本文介绍了±800 kV 糯扎渡直流输电工程普洱换流站用电系统的主接线形式。详细研究了主接线、运行要求和可能的运行工况,对 10 kV 备自投的五种运行工况分别设计了备自投充放电逻辑和十三种动作投切逻辑,对 400 V 备自投单母分段运行方式设计了两种动作投切逻辑,保证在各种运行工况下某路站用电源失电时都能快速投切至备用电源。同时,对备自投装置的定值整定配合进行了研究,通过 10 kV 和 400 V 两级备自投装置的配合,能实现三路站用电源中的任一路正常的情况下都能保证站用电设备可靠供电,且不损失直流输送功率,大大提高了直流输电系统的可靠性。

### 参考文献

[1] 魏玥, 刘天琪, 晏小彬, 等. 高压直流输电系统直流偏磁下的谐波不稳定判据研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(17): 139-144.  
WEI Yue, LIU Tianqi, YAN Xiaobin, et al. Study of harmonic instability criterion under DC magnetic bias in HVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(17): 139-144.

[2] 李兴源, 赵睿, 刘天琪. 传统高压直流输电系统稳定性分析和控制综述[J]. 电工技术学报, 2013, 28(10):

288-300.  
LI Xingyuan, ZHAO Rui, LIU Tianqi. Reseach of conventional high voltage direct current transmission system stability analysis and control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 288-300.

[3] 乔小敏, 王增平, 文俊. 高压直流输电中谐波对换流变压器差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 111-114.  
QIAO Xiaomin, WANG Zengping, WEN Jun. Influence of converter transformer differential protection by harmonic in HVDC transmission system[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(10): 111-114.

[4] 张涛, 陈宇, 李运海, 等. 220 kV 变电站非典型站用电接线的远方调整[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(7): 98-104.  
ZHANG Tao, CHEN Yu, LI Yunhai, et al. Operation mode adjustment of atypical 220 kV substation station power using system connection mode[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(7): 98-104.

[5] 段涛, 杨斌, 李贤庆, 等. ±500 kV 换流站阀水冷系统隐患分析治理[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(18): 132-138.  
DUAN Tao, YANG Bin, LI Xianqing, et al. Analysis of potential dangers in ±500 kV converter station valve water cooling system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(18): 132-138.

[6] 张丰, 郭碧媛. 备自投装置在单母分段接线中应用存在的问题及解决措施[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(7): 133-141.  
ZHANG Feng, GUO Biyuan. The problem existing in automatic close-up device of stand-by power supply used in sectionalized single bus scheme and its solving measures[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(7): 133-141.

[7] 胡立锦, 张新燕, 刘东强, 等. 备自投含风电时和常规能源不同备自投的考虑[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(14): 120-124.  
HU Lijin, ZHANG Xinyan, LIU Dongqiang, et al. Consideration of power supply automatic switching device with wind power or different types with conventional energy[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(14): 120-124.

收稿日期: 2015-01-13; 修回日期: 2015-05-19

### 作者简介:

胡晓静(1980-), 通信作者, 女, 在读硕士, 工程师, 从事电力系统控制保护技术研究及标准研究工作; Email: xiaojingh@dlwg.net

李志勇(1968-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力系统控制保护技术研究和标准研究工作;

杨慧霞(1977-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护与自动化设备行业的标准研究工作。

(编辑 张爱琴)