

# 宜宾换流站阀水冷系统应对 交流电网扰动改进措施分析

宋秭霖<sup>1</sup>, 张华杰<sup>2</sup>

(1. 国家电网公司运行分公司宜宾管理处, 四川 宜宾 644000;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 换流阀水冷系统是特高压直流输电系统的重要组成部分, 当特高压直流系统两端的 500 kV 交流电网突发扰动时, 会导致阀水冷系统保护动作, 造成负荷丢失。简述复龙、中州换流站阀水冷系统造成的事故; 并对复龙、中州换流站事故原因进行简单分析。在此基础上分别对宜宾换流站的水冷系统在主循环泵启动方式、站用电备自投与主循环泵切换时间、主循环泵电源开关选型等方面作出了改进措施, 有效增强了阀水冷流量保护抵抗交流电网扰动的能力, 明显提高了宜宾直流输电系统运行的可靠性。

**关键词:** 特高压直流; 阀水冷系统; 交流电网突发扰动

**Abstract:** The converter valve cooling system is an important part of ultra-high voltage direct current (UHVDC) transmission system. When 500 kV AC power grid at both ends of UHVDC system has disturbances, the protection of valve cooling system will act which makes load losing. The accidents of Fulong and Zhongzhou converter stations are introduced briefly, and the reasons of their valve cooling system problems are analyzed. Then the valve cooling system of YiBin converter station is improved on the way by modifying the start-up mode of main circulation pump, reducing the time of closing the spare power automatic switch and the spare circulation pump switch and changing the switch of main circulation pump power. Those measures effectively enhance the ability of valve water flow against the disturbances of AC power grid, which significantly improves the operation reliability of Bin-Jin DC transmission system.

**Key words:** UHVDC; valve cooling system; sudden disturbance of AC power grid

中图分类号: TM772 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2017)02-0024-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.02.006

## 0 引言

相比于交流输电线路, 直流输电系统在长距离大容量输电方式上存在着明显的优势<sup>[1]</sup>。中国幅员辽阔, 电源和负荷逆向式分布, 随着国内直流输电技术飞速发展, 超高压、特高压直流输电工程在中国输电网架中得到了广泛应用<sup>[2]</sup>。如何保障直流输电线路的可靠性已经成为研究直流输电的热点问题<sup>[3]</sup>。换流站的阀水冷系统是确保换流阀连续正常工作的重要组成部分<sup>[4]</sup>, 在发生交流侧电网的突发故障时, 可能会造成阀水冷保护的误动作<sup>[5]</sup>, 导致直流输电线路负荷丢失。保障阀水冷系统的安全、稳定运行, 增强其交流侧突发振荡的抗干扰能力, 对直流输电系统的安全稳定运行具有重要意义<sup>[6]</sup>。

结合复龙、中州换流站因 500 kV 交流侧电网突发扰动导致阀水冷系统保护跳闸的事件, 分别对宜宾换流站的阀水冷主循环泵启动方式、站用电备自投与主循环泵切换时间、主循环泵电源开关选型等 3 个方面在复龙、中州换流站的基础上作出了改进措施, 并分析相应的改进效果, 增强了宜宾换流站的阀水冷系统的可靠性。

## 1 换流阀水冷系统保护误动事件及试验简述

### 1.1 复龙换流站阀水冷流量保护动作事件

2013 年 7 月 5 日 13 时 50 分, 复奉直流逆变侧(奉贤站)交流系统故障引起双极四阀组换相失败。换相失败导致整流侧(复龙站) 500 kV 交流侧电网突发扰动, 造成复龙站站用电系统异常振荡, 此次事

件导致复龙换流站阀水冷系统8台主循环泵中的6台流量低保护动作,造成4台双极端阀水冷主循环泵全部停运,损失负荷达到3200 MW。其中换相失败时,复龙站交流侧的录波器波形如图1所示。

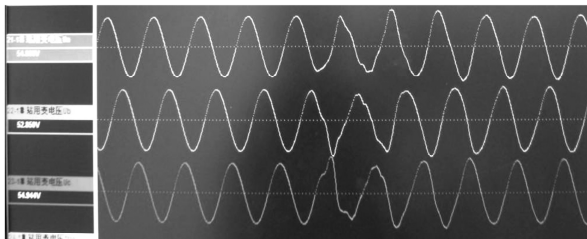


图1 复龙站500 kV交流侧电压波形

### 1.2 复龙换流站备自投功能配合试验

当500 kV交流侧电网突发振荡时,有可能会导导致换流站内站用电系统的备自投功能动作。复龙站主循环泵站用电配置结构如图2所示,由两段10 kV母线及两段400 V母线组成,主循环泵的交流电源分别取自不同400 V母线段,两段10 kV母线是为400 V母线供电。其备自投配合逻辑为:当10 kV进线电压低于额定电压的70%时,延时1.02 s后10 kV进线开关自动断开,再延时0.58 s后10 kV联络开关自动合上继续为负荷供电。当400 V进线电压低于额定电压的70%时,延时4 s后400 V进线开关自动断开,再延时1 s后400 V联络开关自动合上继续为负荷供电。

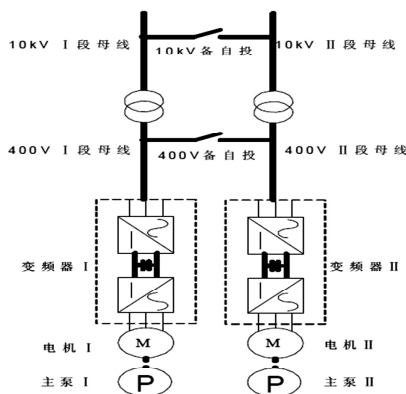


图2 复龙换流站主循环泵启动回路配置

复龙站在建站验收期间进行了2次站用电备自投与主循环泵切换时间配合功能试验。在对10 kV和400 V备自投试验时,发生在主循环泵启动过程中由于阀内水冷流量低导致流量保护动作跳闸<sup>[8]</sup>。

### 1.3 中州换流站主循环泵启动回路电源开关脱扣事件

2014年1月15日,中州换流站在进行500 kV

线路单相短路接地故障试验时,站用电400 V交流母线电压受到扰动,三相电压波形产生畸变,持续时间约为52 ms,波动期间电压均出现不同程度下降,其中B相电压下降最大,峰值电压约为正常值的30%,持续时间约为40 ms。试验造成4台运行主循环泵启动回路电源开关全部过流跳闸,并切换至备用主循环泵运行。扰动时的400 V站用电母线电压波形如图3所示。

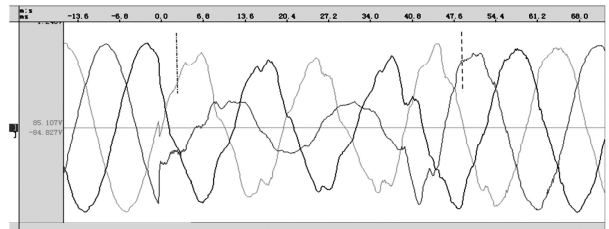


图3 故障时400V站用电母线电压波形

## 2 交流侧电压扰动造成阀水冷系统故障的原因分析

通过复龙、中州换流站发生的事故以及相关的试验可以看出,阀水冷系统的误动作是由交流侧出现电压扰动而引起的。现对上述事件和试验所造成的阀水冷系统保护误动作的原因进行分析。

### 2.1 复龙换流站阀水冷流量保护动作原因分析

复龙换流站阀水冷主循环泵启动方式为变频器控制,其具体配置如图2所示。500 kV交流侧电压出现扰动时,会出现瞬时过电压,导致变频器中间直流电压上升,造成变频器直流过压保护动作。通过对复龙换流站软件仿真可知,当复龙站500 kV交流系统侧电压出现扰动时,扰动波形如图4所示,变频器会出现过电压,变频交流器中间直流电压如图5所示。当复龙换流站阀水冷主循环泵启动回路中的变频器发生故障时,只能切换至备用变频器启动回路,若备用回路中的变频器也同时故障,将导致两台

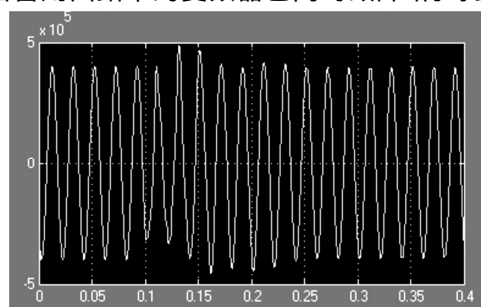


图4 500 kV交流系统电压波形

主循环泵停运, 阀水冷流量低保护动作出口。

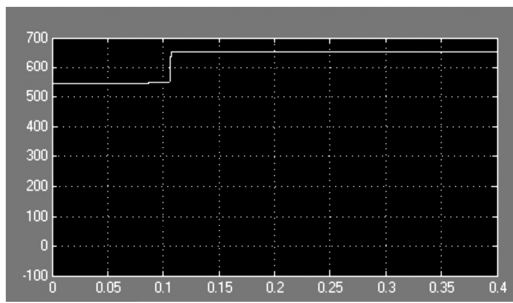


图5 变频器中间直流电压波形

### 2.2 复龙换流站备自投功能配合试验造成保护动作原因分析

当500 kV交流侧电网突发振荡时,有可能会导  
致换流站内站用电系统的备自投功能动作,此时若  
站用电备自投与主循环泵切换时间配合不到位,将  
严重影响阀水冷的主水流量,导致流量保护动作。  
在对复龙主循环泵站备自投试验中,10 kV和400 V  
备自投的切换,均导致主循环泵启动过程中由于阀  
内水冷流量低导致流量保护动作跳闸<sup>[8]</sup>。

### 2.3 中州换流站主循环泵启动回路电源开关脱扣原因分析

当交流侧电压出现扰动时,会造成站用交流电  
压下降。中州换流站的400 V交流母线三相电压均  
在交流侧故障时出现不同程度下降,短时间内运行  
的电动机处于半失电状态,但电动机在机械惯性的  
作用下仍在转动,在其转动尚未停止前,400 V交  
流母线电压迅速恢复又令其再次启动。因为残留剩  
磁的存在,此时外施偏磁叠加残留剩磁的作用会使其  
内部电气特性产生畸变,进而产生冲击电流,最高可  
达到17倍的额定电流值( $I_n$ );中州换流站主循环  
泵启动回路电源开关最初选型时的短路动作电流值  
(脱扣电流值)远小于故障时产生的冲击电流值,所  
以主循环泵电源开关过流保护动作。

## 3 宜宾换流站阀水冷系统的改进措施

### 3.1 阀水冷主循环泵启动方式改进措施

宜宾换流站阀水冷系统在复龙站的基础上对主  
循环泵启动方式做出改进措施。其主循环启动由软  
启动器控制,并在软启动回路之外又增加了工频回  
路。具体配置如图6所示,主循环泵正常启动时通

过软启动器控制,当主循环泵在软启动器回路运行  
稳定后,自动切换至工频回路保持长期运行。

软启动器和变频器的区别在于<sup>[7]</sup>:软启动器是  
个调压器,用于电机启动,输出时改变电压不改变频  
率;而变频器是用于需要调速的地方,其输出时不但  
改变电压也同时改变频率。变频器启动方式易受外  
部电压影响,对于恒定频率和负荷的设备较为不适  
合。软启动器启动方式受外界电压变化扰动影响较  
小,具有较好的启动特性,且启动参数可调。

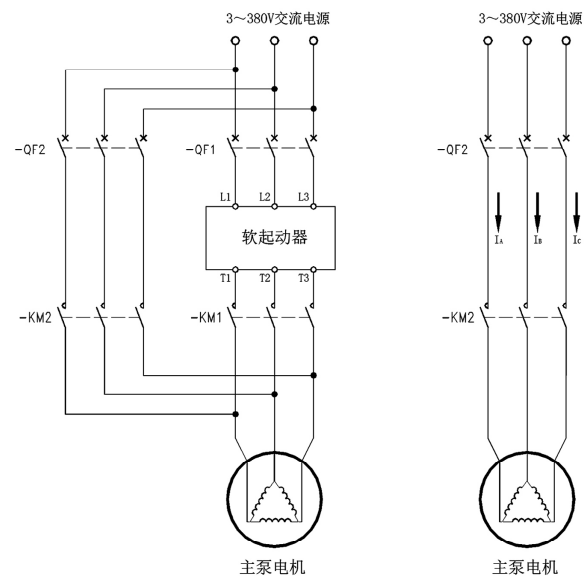


图6 宜宾换流站主循环泵启动回路配置

当复龙换流站阀水冷主循环泵启动回路中的变  
频器发生故障时,只能切换至备用变频器启动回路;  
若备用回路中的变频器也同时故障,将导致两台主  
循环泵停运,阀水冷流量低保护动作出口。而宜宾  
换流站启动回路中的变频器发生故障时,若备用泵  
软启回路和工频回路均正常时,则切换至备用泵软  
启回路启动。当软启回路稳定运行后,切换至备用  
工频回路长期稳定运行;若备用泵软启回路故障且  
工频回路正常时,切换至备用泵工频回路启动并稳  
定运行;若备用泵软启回路正常且工频回路故障时,  
切换至备用泵软启回路启动并稳定运行。若备用泵  
软启回路和工频回路均故障,运行泵软启回路正常  
时,则延时3 s后切换至运行泵软启回路启动并保  
持长期稳定运行。

由此可知,当换流站500 kV交流侧电网突发扰  
动时,软启动器回路加工频回路的主循环泵启动方  
式具有更强的抗干扰能力,保证了阀水冷主循环泵

的可靠运行,增强了阀水冷系统的运行稳定性。

### 3.2 站用电备自投与主循环泵切换时间改进措施

根据复龙站站用电备自投功能的参数设置及阀水冷流量保护动作的原因分析,宜宾站对阀水冷系统及站用电系统进行了如下改进:

1) 在备自投切换时间上做出改进,尽量减小400 V备自投时间定值以缩短主泵电机丢失电源时间。优化后的400V备自投时间定值为延时3.8 s后400 V进线开关自动断开,再延时0.9 s后400 V联络开关自动合上继续为主循环泵供电。优化备自投时间定值后,保证低流量保护不会跳闸。

2) 在备用主循环泵启动延时上做出改进。若发生交流系统扰动或工频回路故障,将直接切换至备用泵的软启回路启动,阀水冷控制系统内无延时设置,可以使备用泵快速启动,及时建立主水流量。

### 3.3 阀水冷主循环泵启动回路电源开关选型的改进措施

为防止主循环泵启动回路电源开关的短路动作电流值(脱扣电流值)过小而导致开关本体过流保护动作,宜宾站阀水冷主循环泵电机所配置的启动回路电源开关脱扣电流定值均大于17倍的电机额定运行电流值,其所采用的电源开关参数如表1所示。避免了因400 V交流母线电压扰动导致主循环泵启动回路电源开关脱扣的设备隐患,从而保证了阀水冷系统的稳定性。

表1 启动回路电源开关参数

型号	额定电流/A	保护方式	热保护范围/A	短路保护范围/A
S5N400 320 PR211	220	过载和短路	160 ~ 220	480 ~ 3 840

## 4 结 论

阀水冷系统安全稳定运行对于保证特高压直流输电系统的可靠运行具有重大意义。为保障阀水冷系统可靠运行,避免发生500 kV交流侧电网突发扰动而造成阀水冷系统误动作的情况,宜宾换流站做出了如下的改进措施,并取得了良好的效果:

1) 在阀水冷主循环泵启动方式上,宜宾换流站采用了软启动器启动后自动切换至工频回路保持长

期运行的改进措施,即使软启动器故障,主循环泵仍可通过工频回路继续运行。与复龙换流站的变频器回路控制启动方式相比,具备了更高的稳定性,电源回路也增加了更多的选择,避免了因主循环泵启动元件故障导致主循环泵停运的隐患,增强了阀水冷系统抵御交流电网振荡的能力。

2) 在站用电备自投与主循环泵切换时间上做出改进。更改站用电400 V备自投功能的时间定值后,最大限度地保证了阀水冷主循环泵的电力供应。取消水冷控制系统内两台主循环泵之间切换的延时设置,给主水回路流量提供了持续的动力,确保阀水冷流量保护不会因站用电系统扰动切换而导致跳闸。

3) 在主循环泵启动回路电源开关选型的问题上,宜宾站充分汲取中州换流站的调试经验,后期更换了全部阀水冷主循环泵电源开关,开关本体的过流保护定值均大于电机额定运行电流值的17倍,避免了因站用电交流系统短时扰动导致阀水冷主循环泵启动回路电源开关脱扣的隐患。

### 参考文献

[1] 舒印彪. 中国直流输电的现状与展望[J]. 高电压技术, 2004, 30(11): 1-2.

[2] 吕蓓蕾, 李倩, 周国战. 探析电力工程技术在智能电网建设中的应用[J]. 山东工业技术, 2016(13): 171.

[3] 姚良忠, 吴婧, 王志冰, 等. 未来高压直流电网发展形态分析[J]. 中国电机工程学报, 2014(34): 6007-6020.

[4] 毛志平, 武剑利, 孙鹏. 基于ABB阀冷技术冷却塔检修状态的分析和优化[J]. 湖南电力, 2013, 33(5): 52-54.

[5] 杨光亮, 邵能灵, 郑晓冬. 换流站阀水冷系统导致直流停运隐患分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 199-203.

[6] 黄晨. 换流站阀水冷系统保护分析及优化[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.

[7] 李龙蛟. 复龙站阀水冷流量保护跳闸隐患分析及处理[J]. 广州: 华中电力, 2012, 25(3): 15-17.

[8] 李萍. 变频器和软启动器的区别及优劣比较[J]. 科技与企业, 2015(5): 227.

(收稿日期: 2016-11-18)