直流输电工程中阀水冷监控系统的改进建议

李爱生[1]，朱韬析[2]

(1. 河南煤化集团焦煤供电处，河南 焦作 454000；2. 南方电网超高压输电公司广州局，广东 广州 510405)

摘要：基于南方电网直流输电工程中换流阀水冷及其监控系统结构和功能，介绍了南方电网各直流输电系统中由于换流阀水冷监控系统无冗余配置的部分关键传感器故障、部分参数或定值设置不合理、主处理器抗干扰能力差等问题引起误动，造成系统强迫停运的典型案例，运行经验表明，阀水冷监控系统动作的正确率比较低。针对阀水冷监控系统中控制与保护功能在同一套系统内实现、保护功能“一取一”出口逻辑可靠性低、未设置测量值异常的监测功能等设计上存在的缺陷，提出了独立换流阀水冷系统的控制和保护功能、将保护功能出口逻辑改进为“三取二”以及在控制系统中设置测量值异常监视功能等改进措施，有助于确保换流阀水冷系统的稳定运行、提高直流输电系统的可靠性。

关键词：直流输电； 换流阀水冷系统； 监控系统； 可靠性； 三取二

The improving suggestions to the valve-cooling control and monitoring system in HVDC transmission projects

LI Ai-sheng[1] , ZHU Tao-xi[2]

(1. Jiaozuo Power Service Branch, Henan Coalification Corporation, Jiaozuo 454000, China ;
2. GZ Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China)

Abstract: Based on the configuration and function of the valve-cooling control and monitoring system used in HVDC transmission projects in CSG, the typical forced outages caused by the mis-operation of the defects of valve-cooling control and monitoring system, such as the faults of the non-redundant sensors, the unreasonable parameters or settings, the weak disturb-resisting capability of main processors, are introduced. The operational experiences show that the reliability of the valve-cooling control and monitoring system should be improved. The improving suggestion, such as isolating the valve-cooling control and protection function, using the selecting 2 from 3 logic in valve-cooling protection system and setting the measurements monitoring function in valve-cooling control system, are given. All of those improving suggestions are valuable to confirm the stability of the valve-cooling system and benefit to improve the reliability of HVDC transmission system.

Key words: HVDC; valve-cooling system; control and monitoring system; reliability; selecting 2 from 3

中图分类号： TM721.1 文献标识码：B 文章编号： 1674-3415(2010)16-0153-04

0 引言

冷却系统是直流输电系统换流阀的一个重要组成部分，它将阀体上各元器件的功耗发热量排放到阀厅外，保证可控硅阀运行结温在正常范围内[1] 。目前，循环水冷却是换流阀冷却最常见的方式，因此，控制冷却水循环及监视冷却水运行状况的监控系统的可靠性对直流输电系统的稳定运行和换流阀的安全起着至关重要的作用。

然而，南方电网内各直流输电系统的运行经验表明，阀水冷监控系统动作的正确率比较低。本文首先简介了直流输电系统的水冷系统及其监控系统，并介绍了由于阀水冷监控系统误动造成直流输电系统停运的运行实例，最后提出了一些改进建议。

1 阀水冷及其监控系统简介

1.1 阀水冷系统

阀水冷系统又分为内冷水系统和外冷水系统。

较低温度的内冷水经循环水泵加压后进入冷区水管流入阀内全部冷却器，吸收可控硅阀元件及其辅助元件产生的热量；带走热量的内冷水经外冷水系统冷却后，水温降至初始值，再开始下一个冷却循环。冷却水的电导率、水温和流速是影响内冷水系统正常运行的主要因素。

外冷水系统的主要功能是对内冷水进行冷却，它必须能提供足够的冷却容量，确保阀的安全。外

冷水系统主要有二次水喷淋和空气强迫冷却两种方案，目前国内运行的直流输电系统常采用前一种方案[1]。

以高肇直流输电系统为例，每一极的内冷水系统由 2 台主循环泵、2 台补水泵、1 个补水箱、2 台离子交换器及过滤器、电磁阀、膨胀水箱等组成；外冷水循环系统由 3 个冷却塔、6 台喷淋泵、3 组风扇、1 个外冷水池及补水系统等组成[2]。

为了实现对内冷水系统运行状况的控制和保护，还设置了内冷水及外冷水的电导率传感器、内冷水进出水温度表及压力表、膨胀水箱和外冷水池的水位计等。阀水冷系统典型结构图如图 1 所示。

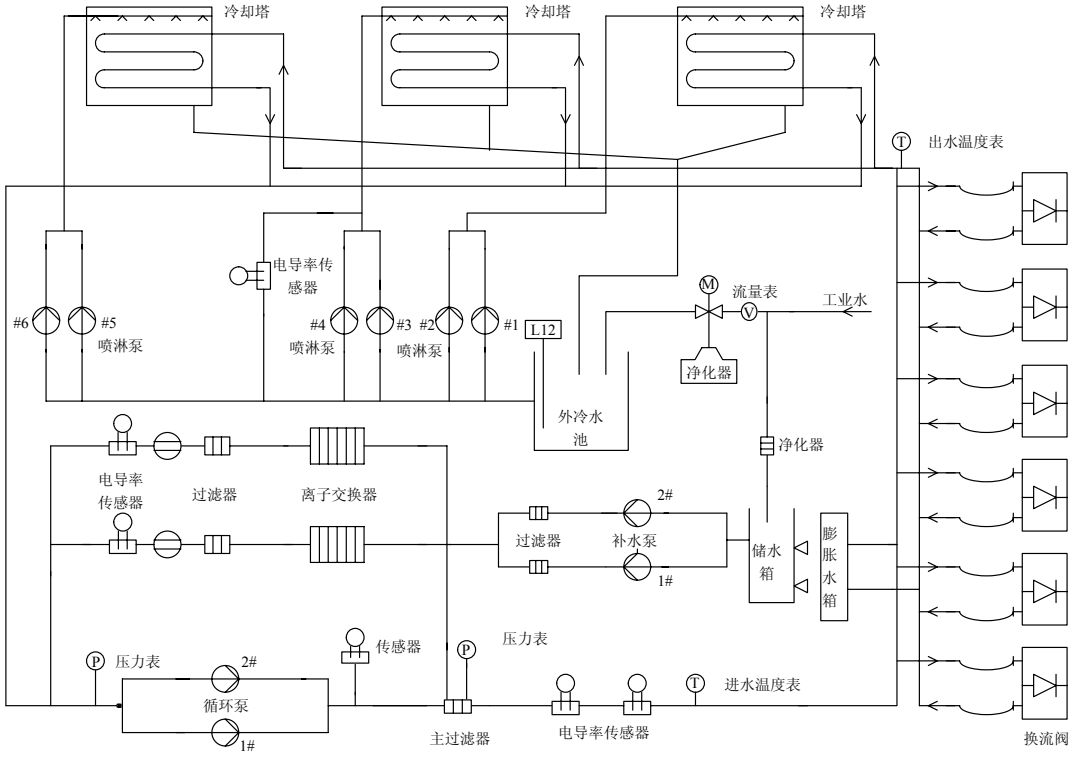

图 1 阀水冷系统

Fig.1 Valve-cooling system

1.2 阀水冷监控系统

阀水冷监控系统实现对内冷水与外冷水系统的监视与控制，同时完成与对应的极控系统信息的交互。各直流输电系统中，阀水冷监控系统主要通过冗余配置的可编程控制器（天广及高肇直流输电系统中采用 SIMATIC S5 系统、兴安及云广直流输电系统中采用 SIMATIC S7 系统）实现，主系统故障时将自动、快速、平滑的切换至备用系统，两套系统均故障则启动直流输电系统强迫停运。

阀水冷监控系统主要包括以下功能：

（1）保护功能

监视内冷水的进水温度、流量、压力和电导率，以及膨胀水箱的水位，一旦监测到异常，立即将动作信号送至直流保护系统的出口继电器，停运直流输电系统。

（2）控制功能

完成主泵及外冷水喷淋泵的起停、切换等控制功能，通过调节外冷水冷却风扇的转速实现对内冷水进水温度的调节，并控制阀门设备的位置、膨胀水箱及外冷水池的水位等。

（3）监视功能

除了监视内冷水的进出水温度、流量、压力、电导率、膨胀水箱的水位，还监视所有电源、水泵、阀门、风扇等的运行情况以及外冷水池水位和电导率等参数，一旦发现异常，则启动告警提示运行人员。

2 南方电网直流输电系统内阀水冷监控系统薄弱环节及典型案例

运行经验证明，阀冷水监控系统是直流输电工程中最不稳定的环节之一，多次误动并直接导致输电系统强迫停运，部分典型误动案例如表 1 所示。

表 1 南方电网直流输电工程阀水冷监控系统误动造成直流输电系统强迫停运的典型案例

Tab.1 Forced outages of HVDC transmission systems in CSG initiated by the mis-operation valve-cooling control and monitoring system

故障厂站	时间	故障原因
天广直流输电系统，整流侧	2002.6.13	在 1 台喷淋泵失去电源后，备用泵未能及时切换并启动，造成内冷水温度升高并停运极 2。
天广直流输电系统，整流侧	2002.11.26	极 2 极控系统软件设计缺陷，误发停运阀水冷却系统的命令，阀水冷却系统停运后，极 2 随即停运。
高肇直流输电系统，整流侧	2004.08.15	雷电击中阀厅附近避雷针，造成膨胀水箱水位传感器工作不稳定，误判水位低，导致极 2 停运。
天广直流输电系统，逆变侧	2004.09.01	极 2 阀水冷控制系统 SIMATIC S5 装置工作性能不稳定，抗干扰性能差，两套系统约在 1 min 内先后故障，导致极 2 停运。
天广直流输电系统，逆变侧	2005.06.22	极 1 内冷水压力传感器故障，造成极 1 停运。
兴安直流输电系统，逆变侧	2007.09.20	极 2 阀水冷主泵自动切换时，引起阀塔进出水压差偏高，导致极 2 停运。
高肇直流输电系统，逆变侧	2009.06.01	极 2 外冷水池水位传感器元件工作不稳定，误发水位低信号，停运所有的喷淋泵，导致极 2 内冷水温度迅速升高而启动停运。

针对上述异常，运行维护单位对阀水冷监控系统的薄弱环节进行了深入研究，如文献[2]便指出了阀水冷监控系统中部分关键传感器未实现冗余配置、部分参数或定值设置不合理、主处理器抗干扰能力差等问题;运行单位也采取了许多反事故措施，如调整部分定值、禁止在阀冷却室使用手机或者对讲机、改进了部分动作逻辑等等。从最初完全外方设计、制造天广直流输电工程，到现在的±800 kV 云广直流输电工程，南方电网直流输电工程的阀水冷监控系统在不断的发展和完善。

3　改进建议

虽然随着运行中各种缺陷的暴露以及对存在的问题的深入研究，阀水冷监控系统在不断改进，但总的来说，阀冷及其监控系统运行可靠性相对较低，一直被运行维护单位视为重点薄弱环节。而从上文所列举的典型案例中也可以发现，仅有案例 1、2 是由于初期运行经验不足或软件缺陷所引起，可以通过采取相应的改进措施来避免再次发生类似事故；而其他几个案例，却与阀水冷监控系统设计原则中所存在的缺陷直接相关,随着运行年限的增加、设备的逐渐老化以及故障率的升高，目前的阀冷监控系统配置方式，将极大地增加导致直流输电系统停运的风险。

结合目前的阀冷监控系统配置方式和运行经验，笔者认为，沿自德国西门子公司设计原则的南方电网直流输电工程阀水冷监控系统存在着以下几点缺陷：

(1) 控制功能与保护功能在同一套系统内实现，给运行维护带来了困难；

(2) 保护出口逻辑为“一取一”，无论是拒动或误动的风险都非常高；

(3) 对传感器异常造成的测量值异常没有监控措施，测量值一旦异常将直接影响控制保护功能。

针对这些问题，建议对阀水冷监控系统做如图 2 所示的改进。

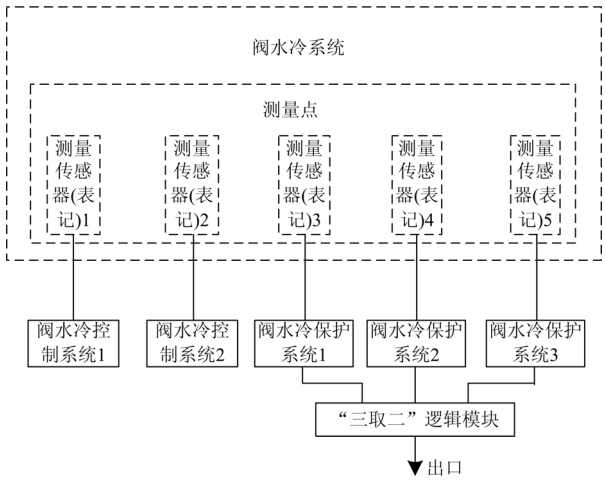

图 2 改进后的阀水冷监控系统结构

Fig.2 Configuration of the improved valve-cooling control and monitoring system

(1) 将阀水冷控制系统和保护系统拆离并独立

根据现场经验，将控制和保护功能集成在一起，反而不利于专业细分，因此建议将控制与保护功能独立，以便于维护管理。

控制系统采用主备用系统配置，完成原监控系统中对阀水冷系统的控制功能。

由于阀水冷保护系统动作的准确性和可靠性对换流阀设备的安全和直流输电系统的稳定至关重要，建议保护系统采用可靠性和经济性都更具优势

的“三取二”出口逻辑[3]。

（2）为每套控制、保护系统配置对应的测量传感器（表记）

根据运行经验，测量传感器或表记异常是造成阀水冷监控系统误动的主要原因之一，因此，为提高控制功能的准确性及保护功能的可靠性，为每套控制系统和保护系统均配置独立的测量传感器（表记）。

（3）在控制系统中增加测量值监视功能

控制系统中不设置出口功能，但为了防止控制系统对应的测量传感器或表记异常造成控制功能紊乱并最终导致直流输电系统强迫停运，建议设置测量值异常监视功能，监视功能的动作等级分为异常和故障。

监测到某测量值异常时，说明该测量值超出了正常的设定范围，但对水冷系统的控制不会产生明显影响，例如监测到内冷水进水温度偏高，需要增加冷却塔风扇的转速，此时可以提醒运行人员迅速检查。

当监测到某测量值故障时，说明该测量值的异常将对水冷系统的控制产生较严重的影响，例如监测到外冷水池水位低，需要停运喷淋泵，此时如果另一套控制系统备用正常，则切换至备用系统；如果另一套系统不可用，则仍维持由该系统控制阀水冷系统的运行。

4 结语

南方电网各直流输电工程的运行经验证明，阀水冷监控系统的误动是造成直流输电系统强迫停运的重要原因之一，针对阀水冷监控系统部分关键传感器未实现冗余配置、部分参数或定值设置不合理、主处理器抗干扰能力差等问题，运行单位进行了深入研究，并采取了许多反事故措施。

然而，沿自德国西门子公司设计原则的南方电网阀水冷监控系统，仍存在着控制保护功能未独立实现、保护功能“一取一”出口逻辑可靠性低、未设置测量值异常的监测功能等根本性问题，对此，本文提出了相应的改进建议，不仅可以提高控制、保护功能的可靠性，还可以有效避免测量传感器或表记异常造成控制功能紊乱、最终导致直流输电系统强迫停运的问题；当然，随着阀水冷控制、保护系统、测量元件及相应接线数量的增加，不但造价有所提高，设备元件的可靠性也将有所下降，但总而言之，这一改进措施不仅可以确保阀水冷系统的稳定运行，还可以提高直流输电系统的可靠性，值得在未来直流输电工程改造或实施时借鉴、参考。

参考文献

[1] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[2] 梁家豪,林睿, 周翔胜. 天广和贵广直流工程中的阀冷控制系统[J]. 高电压技术, 2006, 32(9): 92-95.
LIANG Jia-hao, LIN Rui, ZHOU Xiang-sheng. Valve-cooling control system applied in Tian-Guang & Gui-Guang DC transmission projects[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(9)：92-95.

[3] 刘耀, 王明新. 高压直流输电系统保护装置冗余配置的可靠性分析[J]. 电网技术, 2008, 32(5): 51- 54.
LIU Yao，WANG Ming-xin. Reliability analysis on redundant configuration of protective relayings for HVDC power transmission system[J]. Power System Technology, 2008, 32(5): 51- 54.

收稿日期：2009-11-23； 修回日期：2010-03-27

作者简介：

李爱生（1957-），男，高工，主要从事电力系统运行技术工作;

朱韬析（1980-），男，工程师，目前从事直流输电维护工作。E-mail：taoxi_zhu@hotmail.com

（上接第 152 页 continued from page 152）

WANG Ming-jun, YU Er-keng, LIU Guang-yi. Distribution automation system and its development[J]. Power System Technology ,1996, 20 (12): 62-65.

[3] 程干江.智能馈线自动化方案[J].电力系统自动化，2001, 25(9): 42-44.
CHENG Gan-jiang. An intellective scheme for pursuance of feeder automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(9): 42-44.

收稿日期：2010-06-02

作者简介：

张延辉（1973-），男，硕士，高级工程师，主要从事配电运行、继电保护产品及自动装置的研发工作;

郑栋梁（1982-），男，本科，助工，主要从事继电保护产品及自动装置的研发工作； E-mail:zhengdongliang@xjgc.com

熊 伟（1956-）男，大专，高级工程师，主要从事建材行业电气自动化工程设计与研究。