

[冷却系统]

柔性直流输电工程阀冷系统应用与研究

文/刘瑞勇 向官腾 吴聪聪 康守亚 郑 昆
国网湖北省电力有限公司

柔性直流输电系统中，换流阀冷却系统是换流阀的重要组成部分。以某背靠背柔性直流输电工程为例，从工作原理、主设备等方面对内冷水系统、外冷水系统和水处理系统进行介绍。根据运维检修经验，总结出设备运行过程中的运维、检修周期及标准。

柔性直流输电换流阀是柔性直流输电工程的核心设备，是实现交直流电转换的核心功能单元。柔性直流输电换流阀的正常工作不仅受到电气参数的影响，还受到热学特性的限制。功率器件在工作时要消耗大量能量，这部分能量转化为热量导致器件的温度上升，如果器件的散热问题不能得到很好的解决，会影响到器件性能的发挥，甚至可能导致器件的损坏。换流阀冷却系统（简称阀冷系统）是柔性直流输电换流阀的重要组成部分，采用具有高比热容、高热导率和低电导率等良好特性的去离子水作为冷却介质，对柔性直流输电换流阀中发热元件进行冷却。将柔性直流输电换流阀上各发热器件的功率发热量排放到阀厅外，保证柔性直流输电换流阀工作在正常允许温度内。

柔直工程阀冷系统概述

柔直工程建设两个柔性直流背靠背换流单元，站内每个换流单元整流侧和逆变侧分别设置两套阀冷却系统，即每3个桥臂设置一套阀冷却系统，全站两个换流单元共8套完全相同的阀水冷却系统，阀外冷喷淋水处理系统共4套（每两套阀冷系统共用一套阀外冷喷淋水处理设备）。

阀冷却系统主要由内冷却系统和外冷却系统组成，内冷却系统为密闭式去离子水循环系统，该系

统直接串入换流阀散热器并吸收其散热；外冷却系统为闭式水循环系统，负责转移内冷却水的热量。

为了防止大功率电子设备在高压状况下产生漏电现象，内冷却水的电导率必须控制在一定范围之内。因此主循环冷却回路并联水处理回路，两套阀外水冷系统共用一套补水系统和水质阻垢系统，补水接至碳滤装置和反渗透装置，经处理过滤后，注入脱盐水池，再由脱盐水池溢出到缓冲水池。水质阻垢系统通过对缓冲水池添加水质稳定剂来防止循环冷却水系统结垢和腐蚀。内冷却水温度的控制和调节主要通过调节闭式冷却塔所配变频调速风机的转速来实现。单套阀冷系统配置见表1。

表1 阀冷系统配置表

主要单元	配置
内冷水主回路系统	主循环泵
	2台，1用1备
	主过滤器
	2个，1用1备
	电动三通阀
内冷水处理回路系统	2个，1用1备
	电加热器
	4台，分组启动
	离子交换器
	2套，1用1备
外冷水主回路系统	补水装置
	2套，1用1备
	缓冲密封系统（膨胀罐及氮气除氧装置）
	膨胀罐2套
	氮气瓶4瓶，2用2备
外冷水处理回路系统（两套阀冷系统共用一套）	闭式冷却塔
	3组，1组备用
	喷淋泵
	6台，3用3备
	缓冲水池
外冷水处理回路系统（两套阀冷系统共用一套）	两套阀冷系统共用1个
	活性炭过滤器
	1个
	石英砂过滤器
	1个
外冷水处理回路系统（两套阀冷系统共用一套）	喷淋水反渗透装置
	1套
	喷淋水加药装置
	1套
	喷淋水自循环装置
外冷水处理回路系统（两套阀冷系统共用一套）	水泵2台，1备1用
	砂滤器2个，1备1用

单套水冷系统介绍

阀冷却系统主要由内冷却系统和外冷却系统组成，内冷却系统为密闭式去离子水循环系统，该系统直接串入换流阀散热器并吸收其散热；外冷却系统为闭式水循环系统，负责转移内冷却水的热量。

1. 内冷水系统设备介绍

内冷水系统主循环冷却回路包括主循环泵、主过滤器、电加热器、电动三通阀和电动蝶阀、脱气罐及旁路阀等主要设备。

(1) 主循环泵

主循环泵为阀冷系统提供密闭循环流体所需动力，水泵进出口设置柔性接头减振，并设置软起动机和旁路相结合的方式，可对软起动机进行在线检修。

(2) 主过滤器

为防止刚性颗粒进入阀体，在阀体进水管路阀冷室侧设置精度为50 μm的机械过滤器，采用网孔标准水阻小的不锈钢滤芯。正常运行时，可对单台过滤器滤芯进行在线清洗。

(3) 电加热器

置于主循环冷却水回路，用于冬天温度极低及阀体停运时的冷却水温度调节，避免进阀冷却水温度过低。电加热器运行时换流阀冷却系统不能停运，必须保持管路内冷却水的流动，即使此时换流阀已经退出运行。

(4) 电动三通阀和电动蝶阀

电动阀采用机械连杆式，置于主循环回路室外热交换器进出口的两侧之间，与电动蝶阀共同完成调节流经室外换热设备的流量和不经室外换热设备的流量的比例，用于冬天温度低或阀体降功率运行时的冷却水温度调节，避免冷却水温度过低。

(5) 脱气罐

置于阀冷系统主循环泵进口处，罐顶设自动排气阀，彻底排出冷却水中的气体。

2. 外冷水系统原理及设备介绍

(1) 闭式冷却塔

闭式冷却塔作为换流阀冷却系统的室外换热设备，将换流阀的热损耗传递给喷淋水以及大气。闭式冷却塔主要包括密闭式冷却塔体壁板、换热盘管、热交换层、密闭式冷却塔风机及电动机、进风导叶板、水分配系统、挡水板、集水箱、检修门及检修平台等。

(2) 喷淋泵及其喷淋总管道

每台闭式冷却塔配置2×100%容量的喷淋水泵。所有喷淋水泵共用一根进水母管，每台喷淋水泵进口均设置蝶阀，出口设置止回阀和蝶阀、压力传感器，水泵与管道采用金属软连接。喷淋管道最低点设置泄空阀，便于将管道内的水排空，防止冬季停运且室外气温较低时喷淋管道水结冰。

3. 水处理系统原理及设备介绍

(1) 内冷水处理回路

水处理回路主要由混床离子交换器、氮气稳压系统、补水装置及相关附件组成，对阀冷系统主循环回路中的部分介质进行纯化。

1) 离子交换器由不锈钢离子罐、过滤器和离子交换树脂等组成。通过离子交换器对主循环回路中的部分介质进行纯化，达到长期维持极低电导率的目的。

2) 氮气稳压系统。在水处理回路上设有氮气稳压系统，由膨胀罐、氮气管路、补/排气电磁阀等组成。膨胀罐可缓冲冷却水因温度变化而产生的体积变化，由PLC实现气源的自动减压、补充和排气等，以保持管路的压力恒定和冷却介质的充满。

3) 补水装置。补水装置包括补水用原水罐、补水泵、原水泵及补水管道等。

(2) 外冷水处理回路

为防止长期喷水而在热交换盘管外表面产生结垢现象，需要对喷淋水进行处理，喷淋补给水进入水池之前先进行处理，包括砂滤、活性炭过滤、反渗透处理，此外，喷淋水系统还将进行加药及旁通过滤处理。喷淋水补充水处理系统主要设备包括砂过滤器、碳过滤器、反渗透处理装置、反冲洗装置、管道、配电及控制设备。

其主要流程为：喷淋水补充水→石英砂过滤器→活性炭过滤器→反渗透装置→喷淋水池。补充水处理系统工艺流程如图1所示。

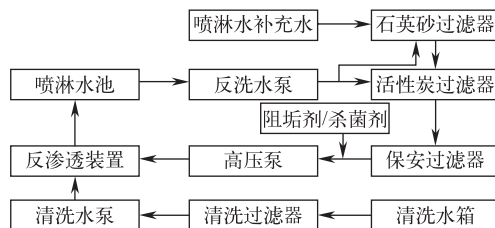


图1 补充水处理系统工艺流程

水冷系统控制与保护介绍

阀水冷却系统的运行、控制、保护和监视由阀水冷却控制和保护系统完成。阀水冷却控制保护是基于分布式 I/O 控制系统。它配备了与极控制柜和 SCADA 系统相连的接口。每套水冷系统都配备了相互独立的两套控制单元柜。控制单元柜位于主、辅控制楼相应的阀冷控制保护设备室内。各控制系统均配置硬冗余可编程控制器、输入/输出模块及各类传感器等, 控制系统对主要技术参数进行自动监测、显示和调节, 还将控制设备的起停, 监视设备运行状态以及对各种故障进行报警, 并与站控系统数据进行数据交换, 运维人员可在主控制室对阀冷却系统进行远程监控。

阀水冷却控制保护系统和极控制保护系统通过一个双重化的光通信桥 (HDLC) 连接。阀水冷却控制保护系统软件包括两个基本功能: 和阀水冷却系统相关的换流器保护、阀水冷却系统的控制和监视。

水冷系统运维

日常维护设备及周期。水泵机械密封2年; 主泵油封3年; 主泵轴承持续运行50 000 h或5年; 联轴器弹性块3年; 其他电动机轴承持续运行25 000 h或3年; 冷却塔风机轴承100 000 h或不大于3个月; 冷却塔电动机轴承持续运行25 000 h或3年; 主泵润滑油 (稀油) 4 000 h或6个月; 主泵电机润滑油4 000 h或6个月; 主管路止回阀5年; 冷却塔皮带2年; 备用冷却介质 (原水箱) 3个月; 循环冷却介质 (管道内部) 3年; 柜内风扇过滤网1年; 柜内风扇3年; 树脂2年; 活性炭2年; 石英砂3年; 主泵联轴器5年。

(1) 水泵维护

1) 电动机轴承润滑。电动机应该按照电动机铭牌上的数据进行润滑。在运行过程中润滑油可能会溢出。

2) 机械密封。属于易损件, 遵守相关标准和使用说明书的规定, 其使用寿命为1年, 因此需对机械密封进行定期更换。

3) 机械密封漏水检测

每台主循环泵下方设置有机封漏水检测装置, 当主循环水泵机封出现漏水时, 流入检测装置内, 达到一定量时发出预警信号, 提示操作人员进行

检修。

(2) 氮气瓶更换

阀冷系统氮气回路设为两路, 其中一路冗余。每一路设置一件氮气瓶, 再设一件备用氮气瓶。当氮气瓶压力低于1.5 MPa时, 会发出报警信号, 提示更换氮气瓶。

水冷系统检修

1. 检修项目及标准

1) 主循环泵。电动机轴承润滑良好, 加注润滑油; 风扇检查与清灰外观清洁, 运行正常; 主循环泵接线柱检查接线紧固, 无松动; 绕组对外壳绝缘检查大于10 MΩ; 主泵轴套密封性检查轴套密封良好, 无渗水; 振动异常检查无异常振动; 同轴度检查不大于0.1 mm; 联轴器检查无松动, 无破损; 轴承箱油位检查油位正常; 电动机运行电流检查不大于电动机额定电流; 水泵运行状态检查正确显示及上传状态; 水泵运行检查: 流量、压力满足阀冷设计要求。

2) 电加热器。电缆绝缘检查大于10 MΩ; 接线检查接线紧固, 无松动

3) 阀门。阀杆密封检查阀杆转动轴密封处无渗漏; 阀位检查阀位正确

4) 气路。氮气回路密封性检查无漏气; 氮气瓶压力检查大于1.5 MPa; 阀门密封性检查: 接口无漏气; 电磁阀检查开闭正常

5) 外冷。风扇电动机试转应无过热、过载, 转向正确; 电动机保护动作正常; 管束、构架外观良好、连接牢固; 管束翅片已清洗, 管束杂物已处理。

2. 特殊性检修

(1) 保安过滤器滤芯更换

当过滤器出现下列任一情况时须更换滤芯: 进出口压差为初始值的5~6倍; 进出口压差达到0.07~0.10 MPa。

更换步骤: 关闭过滤器前后阀门; 打开过滤器上面排气阀门和下端的排水阀门, 把内部水排空; 打开过滤器端盖压紧螺栓, 取下法兰; 取出过滤器上的止锥座; 取出全部的旧滤芯; 安装新滤芯; 在滤芯上方放入止锥座; 安装过滤器端口法兰; 关闭过滤器下方排水阀, 打开前后进出水阀门; 过滤器

上方排气阀保持打开状态并进行排气。

(2) 机械密封更换

机械密封的运行好坏会直接影响到水泵的正常运行，其渗漏的比例占全部维修泵的50%以上，因此机械密封的更换是必不可少的工作之一。

检修步骤：用十字螺丝刀将联轴器保护外壳的螺栓拆卸下来，拆下外壳；用活动扳手将联轴器两端与电动机轴连接盘和水泵轴连接盘连接的螺栓拆卸下来，取下联轴器，如图2所示。

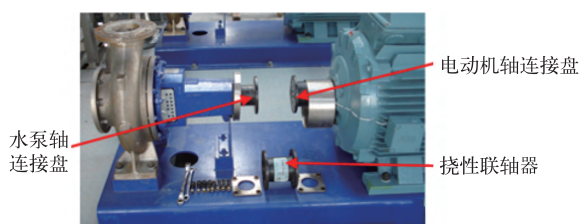


图2 机械密封

拆除泵体端盖螺栓和地脚螺栓；拆除叶轮顶端紧固螺栓和检查孔处的四个连接螺栓，拆除叶轮；标记外机封的动环机封压盖后拧松内六角螺丝，将外机封动环缓慢拔出，然后将外机封静环缓慢拔出；在内机封的外环与轴紧挨处做标记，拆除内机封的动环压盖上的内六角螺丝，将动环拔出，再依次把静环拔出；按拆除机封的逆顺序安装新机封；外机封安装与内机封安装顺序一样。注意外机封安装完成后将外机封动环弹簧压紧至标记处，上紧内六角螺丝；装上叶轮压到标记位置后拧上固定螺栓和四脚螺栓。再将泵体放倒慢慢装到泵外管道上，对角拧紧泵盖紧固螺栓以及泵底支撑螺栓，安装联轴器；用百分表检测主泵和电动机的同心度，要求同心度误差控制在 ± 0.10 mm范围以内。同心度检

测完成后安装联轴器保护罩，安装机封冷却管；更换完成后，打开主泵前后阀门注水。按正确操作流程启动主循环泵，运行观察1 h主泵无渗漏、无异响，振动情况正常。

结束语

本文对柔直工程阀冷系统总体情况进行了概述，以单套阀冷系统为例对阀冷主要设备进行介绍，同时，结合运行检修经验对设备检修周期及检修标准进行介绍，为柔直工程阀冷系统的运维检修提供借鉴。EA

(收稿日期：2023-04-23)

参考文献

- [1] 苟锐锋. 柔性直流输电及其试验测试技术[M]. 北京：科学出版社，2017.
- [2] 朱皆悦. 高压直流输电阀水冷系统的对比分析[D]. 北京：华北电力大学，2014.
- [3] 刘辉. 换流站换流阀冷却系统的选型研究[J]. 吉林电力，2012，40(1)：31-32.
- [4] 刘钊，史磊，叶太阳，等. 基于逻辑控制的换流站阀冷控制保护设备系统设计[J]. 机械设计与制造工程，2021，50(11)：49-54.
- [5] 陈俊宇，李宏昌. 换流站阀冷外冷水系统隐患分析及改进措施[J]. 电工电气，2022(6)：71-73.
- [6] 杨柏森，任海莹，孔德卿，等. ± 500 kV 柔性直流换流阀冷却系统方案设计[J]. 电气应用，2021，40(1)：83-90.

