

# 团体标准

T/GSEE XXX-XXXX

## 高压直流换流阀冷却系统保护定值整定技术规范

UHV Mixed Multiterminal HVDC Project Quality Control Specification on The  
Equipment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 换流阀冷却系统保护配置总体原则 .....	4
5 换流阀冷却系统保护整定计算 .....	4

## 前 言

为规范高压直流换流阀冷却系统保护配合及定值整定技术要求，依据国家和行业有关标准、规程和规范，特制定本标准。

本文件由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院提出并解释。

本文件由广东省电机工程学会归口。

本标准起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司电力科研院、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司柳州局、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司昆明局、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司天生桥局、西安西电电力系统有限责任公司、许继柔性输电系统公司、荣信汇科电气股份有限公司、特变电工新疆新能源股份有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、广州高澜节能技术股份有限公司、河南晶锐冷却技术股份有限公司。

本标准主要起草人：肖凯、严喜林、邹延生、王振、国建宝、陈潜、谢桂泉、王奇、黄义隆、彭茂兰、张恽宁、梁宁、唐金昆、孙萌、刘航、李文荣、许琳浩、蔡志宏、荣军、覃广斌、黄一钊、黄剑湘、郝良收、徐鸿、姬奎江、孙小平、焦秀英、韩坤、刘洋、谢文杰、陈宇曦、代飞、丘淼生、王强。

本标准是首次制定。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至XXX。

# 高压直流换流阀冷却系统保护定值整定技术规范

## 1 范围

本文件规定了±800kV及以下电压等级常规直流输电换流阀冷却系统的保护配置、定值整定及其他要求等，适用于±800V及以下直流输电系统换流阀冷却系统。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 30425-2013 《高压直流输电换流阀水冷设备》
- GB/T 50050-2017 《工业循环水冷却设计规范》
- GB/T 20989-2017 《高压直流换流站损耗的确定》
- DL/T 5562-2019 《换流站阀冷系统设计技术规程》
- DL/T 1716-2017 《高压直流输电换流阀冷却水运行管理导则》

## 3 术语和定义

### 3.1

#### 换流阀冷却系统（converter valve cooling system）

用于将换流阀运行中产生的热量转移的系统，包括内冷却循环系统、外冷却系统及相关控制保护系统，以下简称“阀冷却系统”或“阀冷系统”。

### 3.2

#### 冷却介质（coolant）

通过换热设备把热量带走的液体（例如水、防冻液）或气体（例如空气）。

### 3.3

#### 主循环回路（main cycle circuit）

将换流阀运行中产生的热量转移到室外换热设备所经过的循环回路。

### 3.4

#### 去离子水（de-ionized water）

去除了呈离子态杂质后的水。

### 3.5

#### 去离子回路（de-ionized circuit）

将内冷却水去除离子所经过的循环回路。

## 3.6

## 内冷却水 (inside coolant)

使用水作为热转移煤质。可包括去离子水或去离子水与一定比例有机防冻剂的混合溶液

## 3.7

## 外冷却水 (outside coolant)

使用水作为冷却煤质。可包括去离子水、自来水或工业循环冷却水等。

## 3.8

## 冷却容量 (cooling capacity)

在规定的条件下，冷却系统能够满足换流阀散热所需要的容量。

## 4 换流阀冷却系统保护配置总体原则

4.1 阀冷系统保护应配置温度保护、流量压力（组合）保护、电导率保护和液位保护。

4.2 阀冷系统作用于跳闸保护及相应传感器应按三套冗余配置，按“三取二”原则出口。单一传感器故障不导致保护误动或拒动，传感器须具有故障自检测功能。“三取二”原则为：当三个传感器均正常时，保护按“三取二”原则出口；当一套传感器故障时，保护按“二取一”原则出口；当两套传感器故障时，保护按“一取一”原则出口；当三套传感器均故障时，闭锁直流。

4.3 补水罐液位、喷淋水电率等不涉及跳闸或严重报警、仅用于检测及显示使用的保护及相应传感器，可按“二取二”、“二取一”或“一取一”配置。

## 5 换流阀冷却系统保护整定计算

## 5.1 温度保护

阀冷系统温度保护宜配置进阀温度保护和出阀温度保护。进阀温度保护宜配置进阀温度超高跳闸、进阀温度超高报警、进阀温度高报警、进阀温度低报警；出阀温度保护宜配置出阀温度高报警、出阀温度超高报警。阀冷系统温度保护一般不设置内冷水进、出水温度异常功率回降保护功能。

表1 阀冷系统温度保护功能配置表

序号	保护类型	保护名称	保护判据	保护定值	保护延时	出口方式
1	进阀温度	进阀温度超高跳闸	进阀温度 $\geq \Delta$	根据公式(1)计算得到并向下取整后留有 1~2℃安全裕度	3s	跳闸
		进阀温度超高报警	进阀温度 $\geq \Delta$	进阀温度超高报警与进阀温度超高跳闸宜取相同值	2s	报警
		进阀温度高报警	进阀温度 $\geq \Delta$	进阀温度高报警定值宜比进阀温度超高跳闸保护定值低 3~5℃	3s	报警
		进阀温度低报警	进阀温度 $\leq \Delta$	宜取 5℃	2s	报警
2	出阀温度	出阀温度高报警	出阀温度 $\geq \Delta$	根据公式(2)，结合进阀温度高报警定值确定出阀温度高报警定值	3s	报警
		出阀温度超高报警	出阀温度 $\geq \Delta$	根据公式(2)，结合进阀温度超高报警定值确定出阀温度超高报警定值	3s	报警

## 5.1.1 进阀温度保护

5.1.1.1 进阀温度保护宜配置进阀温度超高跳闸、进阀温度超高报警、进阀温度高报警、进阀温度低报警。

5.1.1.2 考虑工程最大连续过负荷运行时晶闸管结温不大于晶闸管最大设计结温（一般为90℃），根据公式（1）计算得到进阀温度最大允许值。进阀温度超高跳闸定值在此在计算值基础上向下取整后留有1~2℃安全裕度，进阀温度超高报警与进阀温度超高跳闸宜取相同值。

$$\begin{cases} T_{in} = T_j' - P_{TH} \times R_{TH} \\ P_{TH} = (U_0 + R_0 \times I_d) \times \frac{I_d}{3} + P_{TH,dyn} \end{cases} \quad (1)$$

式中，

$T_{in}$  —— 进阀温度，单位为℃；

$T_j'$  —— 晶闸管最大设计结温，一般取90℃；

$P_{TH,dyn}$  —— 晶闸管动态损耗，单位为kW；

$I_d$  —— 最大连续过负荷直流电流，单位为kA；

$U_0$  —— 晶闸管的平均通态电压降中与电流无关的部分（简称门槛电压），单位为V；

$R_0$  —— 晶闸管的平均通态伏安特性中的斜率电阻（简称斜率电阻），单位为mΩ；

$R_{TH}$  —— 晶闸管结到散热器外壳和由散热器外壳到冷却水的总热阻，单位为℃/kW。

5.1.1.3 进阀温度高报警定值宜比进阀温度超高跳闸保护定值低3~5℃，报警延时宜取3s。

5.1.1.4 进阀温度超高跳闸延时应小于晶闸管换流阀可以承受的最大暂时过负荷时间（一般为3s），跳闸延时宜取3s。

5.1.1.4 为避免换流阀冻裂风险，应配置进阀温度低报警保护。进阀温度低报警定值宜取5℃，报警延时宜取2s。

## 5.1.2 出阀温度保护

5.1.2.1 出阀温度保护宜配置出阀温度高报警、出阀温度超高报警。

5.1.2.2 根据公式（2），结合进阀温度高报警定值确定出阀温度高报警定值，结合进阀温度超高报警定值确定出阀温度超高报警定值。

$$T_{out} = \frac{Q}{WC} + T_{in} \quad (2)$$

式中：

$Q$  —— 换流阀发热功率，单位为kW；

$W$  —— 冷却介质进阀流量，单位为kg/h；

$C$  —— 介质比热，单位为kJ/(kg\*℃)；

$T_{in}$  —— 进阀温度，单位为℃；

$T_{out}$  —— 出阀温度，单位为℃。

5.1.2.3 出阀温度超高报警延时应小于晶闸管换流阀可以承受的最大暂时过负荷时间（一般为3s），出阀温度超高报警、出阀温度高报警延时宜取3s。

## 5.2 流量压力（组合）保护

阀冷系统流量压力（组合）保护宜配置冷却水流量、去离子水流量、进阀压力、出阀压力、膨胀罐压力、压力流量组合跳闸保护等功能。

表2 阀冷系统流量压力（组合）保护功能配置表

序号	保护类型	保护名称	保护判据	保护定值	保护延时	出口方式
1	冷却水流量	冷却水流量高报警	冷却水流量 $\geq \Delta$	不宜高于进阀流量的 105%	宜取 60s	报警
		冷却水流量低报警	冷却水流量 $\leq \Delta$	不宜低于进阀流量的 95%	宜取 10~15s	报警
		冷却水流量超低报警	冷却水流量 $\leq \Delta$	不宜低于进阀流量的 90%	宜取 10~15s	报警
2	去离子水流量	去离子水流量低报警	去离子水流量 $\leq \Delta$	不低于其额定流量的 50%	宜取 30s	报警
3	进阀压力	进阀压力超高报警	进阀压力 $\geq \Delta$	根据公式(4)计算得到最大进阀压力, 向上取 0.02~0.05MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
		进阀压力高报警	进阀压力 $\geq \Delta$	根据公式(4)计算得到最大进阀压力, 向上取 0.05~0.1MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
		进阀压力低报警	进阀压力 $\leq \Delta$	根据公式(4)计算得到最大进阀压力, 向下取 0.02~0.05MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
		进阀压力超低报警	进阀压力 $\leq \Delta$	根据公式(4)计算得到最大进阀压力, 向下取 0.05~0.1MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
4	出阀压力	出阀压力高报警	出阀压力 $\geq \Delta$	根据公式(5)计算得到最大出阀压力, 向上取 0.05~0.1MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
		出阀压力低报警	出阀压力 $\leq \Delta$	根据公式(5)计算得到最大出阀压力, 向下取 0.02~0.05MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
		出阀压力超低报警	出阀压力 $\leq \Delta$	根据公式(5)计算得到最大出阀压力, 向下取 0.05~0.1MPa 的安全裕度	宜取 2~3s	报警
5	膨胀罐压力	膨胀罐压力高报警	膨胀罐压力 $\leq \Delta$	根据公式(6)可计算得到膨胀罐目标压力值, 向上取 0.02-0.05MPa 的裕度确定排气电磁阀开启压力定值。在排气电磁阀开启压力定值基础上向上留有 0.02MPa 的裕度确定为膨胀罐压力高报警定值。	宜取 10s	报警
		膨胀罐压力超高报警	膨胀罐压力 $\leq \Delta$	根据公式(6)可计算得到膨胀罐目标压力值, 向上取 0.02-0.05MPa 的裕度确定排气电磁阀开启压力定值。在排气电磁阀开启压力定值基础上向上留有 0.05MPa 的裕度确定为膨胀罐压力超高报警定值。	宜取 10s	报警
		膨胀罐压力低报警	膨胀罐压力 $\geq \Delta$	根据公式(6)计算得到膨胀罐目标压力值, 向下取 0.02-0.05MPa 的裕度确定补气电磁阀开启压力定值。在补气电磁阀开启压力定值基础上向下留有 0.02MPa 的裕度确定为膨胀罐压力低报警定值。	宜取 10s	报警
		膨胀罐压力超低报警	膨胀罐压力 $\geq \Delta$	根据公式(6)计算得到膨胀罐目标压力	宜取 10s	报警



		低报警		力值, 向下取 0.02-0.05MPa 的裕度确定补气电磁阀开启压力定值。在补气电磁阀开启压力定值基础上向下留 0.05MPa 的裕度确定为膨胀罐压力超低报警定值。		
6	压力低切换主泵保护	主泵出阀压力低且进阀压力低切换主泵	主泵出阀压力低&进阀压力低	任意一台主泵出阀压力小于出阀压力低报警定值, 且任意一台进阀压力小于进阀压力低报警定值	宜取 3s	切换主泵
7	组合跳闸保护	两台主泵均故障且进阀压力低跳闸	两台主泵均故障&进阀压力低	当两台主泵均故障, 且进阀压力小于进阀压力低报警定值	宜取 10s	跳闸
8		进阀压力传感器均故障且冷却水流量低跳闸	进阀压力传感器均故障&冷却水流量低	当两台进阀压力传感器均故障, 且冷却水流量小于冷却水流量低报警定值	宜取 3s	跳闸
9		冷却水流量超低且进阀压力低跳闸	冷却水流量超低&进阀压力低	冷却水流量小于冷却水流量超低报警定值, 且进阀压力小于进阀压力低报警定值	宜取 10s	跳闸
10		冷却水流量超低且进阀压力高跳闸	冷却水流量超低&进阀压力高	冷却水流量小于冷却水流量超低报警定值, 且进阀压力大于进阀压力高报警定值	宜取 10s	跳闸
11		冷却水流量低且进阀压力超低跳闸	冷却水流量低&进阀压力超低	冷却水流量小于冷却水流量低报警定值, 且进阀压力小于进阀压力低报警定值	宜取 10s	跳闸

### 5.2.1 冷却水流量保护

5.2.1.1 冷却水流量保护宜配置冷却水流量高报警、冷却水流量低报警、冷却水流量超低报警。

5.2.1.2 冷却水进阀流量可根据公式 (3) 进行计算。

$$W = \frac{Q}{C(T_{out} - T_{in})} \quad (3)$$

式中:

Q —— 换流阀发热功率, 单位为kW;

W —— 冷却介质进阀流量, 单位为kg/h;

C —— 介质比热, 单位为kJ/(kg\*°C);

$T_{out}$  —— 出阀温度, 单位为°C;

$T_{in}$  —— 进阀温度, 单位为°C。

5.2.1.3 冷却水流量低报警定值不宜低于进阀流量的95%; 冷却水流量超低报警定值不宜低于进阀流量的90%。冷却水流量低报警延时、超低报警延时应大于主循环泵切换不成功再切回原泵的时间, 结合换流阀厂家关于流量低时换流阀的热耐受能力校核计算, 延时宜取10~15s。

5.2.1.4 冷却水流量超高报警定值不宜高于进阀流量的105%; 由于冷却水流量高时对换流阀散热影响较小, 冷却水流量高报警延时宜大于冷却水流量低报警延时, 宜取60s。

## 5.2.2 去离子水流量保护

5.2.2.1 去离子水流量保护宜配置去离子水流量低报警。

5.2.2.2 去离子回路设计时，应保证去离子回路具备在2 h~3 h内将内冷却水循环一遍的能力，去离子水流量低报警定值宜不低于其额定流量的50%。

5.2.2.3 去离子回路流量降低往往可以侧面反映去离子回路精密过滤器脏堵情况，去离子水流量低报警用于提醒清洗滤芯，为避免误动，延时宜取30s。

## 5.2.3 进阀压力保护

5.2.3.1 进阀压力保护宜配置进阀压力超高报警、进阀压力高报警、进阀压力低报警、进阀压力超低报警。

5.2.3.2 进阀压力与循环泵设备特性、进阀前管路、高位水箱（膨胀罐）压力有关。由于进阀流量应控制在一定范围内（冷却水进阀流量超低报警定值、冷却水进阀流量高报警定值之间），查询不同流量下泵的曲线可得到泵出口至进阀管路压力损失，根据公式（4）计算得到最大进阀压力、最小进阀压力。

$$\begin{cases} P_{in} = P_p - \Delta P_1 \\ P_p = P_s + P_1 \\ \Delta P_1 = P_{f1} + P_{j1} \\ P_{f1} = L/1000i \\ P_{j1} = \sum \xi \times v^2 / 2g \end{cases} \quad (4)$$

式中：

$P_{in}$ ——进阀压力，单位为MPa；

$P_p$ ——泵出口压力，单位为MPa；

$\Delta P_1$ ——泵出口至进阀管路压力损失，单位为MPa；

$P_s$ ——高位水箱（膨胀罐）压力，单位为MPa；

$P_1$ ——工况流量下泵出力，单位为MPa；

$P_{f1}$ ——泵出口至进阀管路沿程水力损失，单位为MPa；

$P_{j1}$ ——泵出口至进阀管路局部水力损失，单位为MPa；

$g$ ——重力加速度，单位为m/s<sup>2</sup>；

$L$ ——从泵出口至进阀压力测量点的管道长度，单位为m；

$v$ ——流速，单位为m/s；

$\xi$ ——沿程阻力系数。

5.2.3.3 进阀压力高报警定值在最大进阀压力基础上向上取0.02~0.05MPa的安全裕度得到。

5.2.3.4 进阀压力超高报警定值在最大进阀压力基础上向上取0.05~0.1MPa的安全裕度得到。

5.2.3.5 进阀压力低报警定值在最小进阀压力基础上向下取0.02~0.05MPa的安全裕度得到。

5.2.3.6 进阀压力超低报警定值在最小进阀压力基础上向下取0.05~0.1MPa的安全裕度得到。

5.2.3.7 考虑到阀冷系统压力建立所需时间在1s左右，故进阀压力低报警、进阀压力超低报警、进阀压力高报警和进阀压力超高报警延时宜取2~3s。

## 5.2.4 出阀压力保护

5.2.4.1 出阀压力保护宜配置出阀压力高报警、出阀压力低报警、出阀压力超低报警。

5.2.4.2 出阀压力与循环泵设备特性、进阀前管路、阀塔压损、高位水箱（膨胀罐）压力有关。由于进阀流量应控制在一定范围内（冷却水进阀流量超低报警定值、冷却水进阀流量高报警定值之间），

查询不同流量下泵的曲线可得到泵出口至出阀管路压力损失、阀塔损失，根据公式（5）计算得到最大出阀压力、最小出阀压力。

$$\begin{cases} P_{\text{out}} = P_p - \Delta P_2 \\ P_p = P_s + P_1 \\ \Delta P_2 = P_{f2} + P_{j2} \\ P_{f2} = L/1000i \\ P_{j2} = \sum \xi \times v^2 / 2g \end{cases} \quad (5)$$

式中，

$P_{\text{out}}$ ——出阀压力，单位为MPa；

$P_p$ ——泵出口压力，单位为MPa；

$\Delta P_2$ ——泵出口至出阀管路压力损失，单位为MPa；

$P_s$ ——高位水箱（膨胀罐）压力，单位为MPa； .....

$P_1$ ——工况流量下泵出力，单位为MPa；

$P_{f2}$ ——泵出口至出阀管路沿程水力损失，单位为MPa；

$P_{j2}$ ——泵出口至出阀管路局部水力损失，单位为MPa；

$g$ ——重力加速度，单位为m/s<sup>2</sup>；

$L$ ——从泵出口至进阀压力测量点的管道长度，单位为m；

$v$ ——流速，单位为m/s；

$\xi$ ——沿程阻力系数；

5.2.4.3出阀压力高报警定值在最大出阀压力基础上向上取0.02~0.05MPa的安全裕度得到。

5.2.4.4出阀压力低报警定值在最小出阀压力基础上向下取0.02~0.05MPa的安全裕度得到。

5.2.4.5进阀压力超低报警定值在最小出阀压力基础上向下取0.05~0.1MPa的安全裕度得到。

5.2.4.6考虑到阀冷系统压力建立所需时间在1s左右，故出阀压力低报警、出阀压力超低报警、出阀压力高报警延时宜取2~3s。

## 5.2.5 膨胀罐压力保护

5.2.5.1膨胀罐压力保护宜配置膨胀罐压力高报警、膨胀罐压力超高报警、膨胀罐压力低报警、膨胀罐压力超低报警。

5.2.5.2膨胀罐压力控制目标值为阀厅最高处管路距主循环泵入口处高度差形成的压差，根据公式（6）可计算得到膨胀罐目标压力值。

$$P_s = \rho g (Z_2 - Z_1) \quad (6)$$

式中：

$P_s$ ——膨胀罐压力，单位为MPa；

$\rho$ ——介质密度，单位为kg/m<sup>3</sup>；

$g$ ——重力加速度，单位为m/s<sup>2</sup>；

$Z_1$ ——泵入口距地面高度，单位为m；

$Z_2$ ——阀厅管路最高点距地面高度，单位为m。

5.2.5.3在膨胀罐目标压力值基础上，向上取0.02~0.05MPa的裕度确定排气电磁阀开启压力定值，以避免排气阀频繁动作。在排气电磁阀开启压力定值基础上向上留有0.02MPa的裕度确定为膨胀罐压力高报警定值；在排气电磁阀开启压力定值基础上向上留有0.05MPa的裕度确定为膨胀罐压力高报警定值。

T/GSEE XXX-XXXX

5.2.5.4在膨胀罐目标压力值基础上，向下取0.02-0.05MPa的裕度确定补气电磁阀开启压力定值，以避免补气阀频繁动作。在补气电磁阀开启压力定值基础上向下留有0.02MPa的裕度确定为膨胀罐压力低报警定值；在补气电磁阀开启压力定值基础上向下留0.05MPa的裕度确定为膨胀罐压力超低报警定值。

5.2.5.5为防止补气和排气过程中电磁阀关闭对膨胀水箱压力冲击性的影响，膨胀罐压力保护延时建议取10s。

5.2.6 主泵出阀压力低且进阀压力低切换主泵

5.2.6.1当任意一台主泵出阀压力小于出阀压力低报警定值，且任意一台进阀压力小于进阀压力低报警定值时，阀冷控制系统延时发出主泵切换请求信号，延时宜取3s。

5.2.7 两台主泵均故障且进阀压力低跳闸

5.2.7.1 当两台主泵均故障，且进阀压力小于进阀压力低报警定值时，阀冷控制系统延时发出跳闸请求信号，延时宜取10s。

5.2.8 进阀压力传感器均故障且冷却水流量低跳闸

5.2.8.1 当两台进阀压力传感器均故障，且冷却水流量小于冷却水流量低报警定值时，阀冷控制系统延时发出跳闸请求信号，延时宜取3s。

5.2.9 冷却水流量超低且进阀压力低跳闸

5.2.9.1 当冷却水流量小于冷却水流量超低报警定值，且进阀压力小于进阀压力低报警定值时，阀冷控制系统延时发出跳闸请求信号，延时宜取10s。

5.2.10 冷却水流量超低且进阀压力高跳闸

5.2.10.1 当冷却水流量小于冷却水流量超低报警定值，且进阀压力大于进阀压力高报警定值时，阀冷控制系统延时发出跳闸请求信号，延时宜取10s。

5.2.11 冷却水流量低且进阀压力超低跳闸

5.2.11.1 当冷却水流量小于冷却水流量低报警定值，且进阀压力小于进阀压力低报警定值时，阀冷控制系统延时发出跳闸请求信号，延时宜取10s。

5.3 电导率保护

电导率保护宜配置冷却水电导率、去离子水电导率、喷淋水电导率（若有）。

表3 阀冷系统电导率保护功能配置表

序号	保护类型	保护名称	保护判据	保护定值	保护延时	出口方式
1	冷却水电导率	冷却水电导率超高跳闸	冷却水电导率 $\geq \Delta$	不大于 0.7 $\mu$ S/cm	宜取 1300s	跳闸
		冷却水电导率超高告警	冷却水电导率 $\geq \Delta$	不大于 0.7 $\mu$ S/cm	宜取 30s	报警
		冷却水电导率高报警	冷却水电导率 $\geq \Delta$	不大于 0.5 $\mu$ S/cm	宜取 30s	报警
		冷却水电导率传感器均故障跳闸	冷却水电导率传感器均故障跳	/	宜取 120s	跳闸
2	去离子水电导率	去离子水电导率高报警	去离子水电导率 $\geq \Delta$	不大于 0.3 $\mu$ S/cm	宜取 30s	报警
		去离子水电导率超高报警	去离子水电导率 $\geq \Delta$	不大于 0.5 $\mu$ S/cm	宜取 30s	报警

3	喷淋水电导率（若有）	喷淋水电导率高报警	喷淋水电导率 $\geq \Delta$	不大于 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	宜取 300s	报警
---	------------	-----------	----------------------	----------------------------------	---------	----

### 5.3.1 冷却水电导率保护

5.3.1.1 冷却水电导率保护宜配置冷却水电导率高报警、冷却水电导率超高报警、冷却水电导率超高跳闸。

5.3.1.2 控制电导率是因为在高压电场作用下，如果内冷水中有离子存在，会使内冷水具有导电性能，导致泄露电流和能量损耗增加，严重时发生电气闪络。控制电导率可以通过控制泄漏电流实现，泄漏电流宜控制在4mA以内；可根据公式（7）可计算得到冷却水的电导率。

$$I_s = \frac{SK_{\text{H}_2\text{O}}}{4L} \times U \quad (7)$$

式中：

S——冷却水管内孔面积，单位为 $\text{mm}^2$ ；

$K_{\text{H}_2\text{O}}$ ——内冷水的电导率，单位为 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ；

L——冷却管回路水管长度，单位为 $\text{mm}$ ；

U——晶闸管层间或水冷板冷却水管进/出口电压差，单位为V。

5.3.1.3 根据《GB/T 30425-2013高压直流输电换流阀冷却设备》中关于内冷水水质、内冷却水电导率和pH要求，内冷水电导率 $\leq 0.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，内冷补充水电导率 $\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，此定值要求为25℃时测量值。因此，冷却水电导率高报警定值应不大于0.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），延时宜取30s。

5.3.1.4 冷却水电导率超高报警定值应不大于0.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），延时宜取30s。

5.3.1.5 冷却水电导率超高跳闸定值应不大于0.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），延时宜取120s。该保护的投退及具体延时由换流阀厂家确定。

5.3.1.6 当冷却水电导率传感器均故障时，阀冷控制系统延时发生跳闸请求信号，延时宜取120s。

### 5.3.2 去离子水电导率保护

5.3.2.1 去离子水电导率保护应配置去离子水电导率高报警、去离子水电导率超高报警。

5.3.2.2 去离子水电导率高报警定值应不大于0.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），冷却水电导率超高报警定值应不大于0.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），延时宜取30s。

### 5.3.3 喷淋水电导率保护（若有）

5.3.3.1 喷淋水电导率保护应配置喷淋水电导率高报警。

5.3.3.2 喷淋水电导率高报警定值应不大于4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ （25℃时），延时宜取300s。

## 5.4 液位保护

液位保护包括高位水箱液位保护（选配）、膨胀罐液位保护（选配）、补水罐液位保护。

表4 阀冷系统液位保护功能配置表

序号	保护类型	保护名称	保护判据	保护定值	保护延时	出口方式
1	高位水箱液位保护（若有）	高位水箱液位高报警	高位水箱液位 $\geq \Delta$	宜取高位水箱液位的 80%	宜取 5s	报警
		高位水箱液位低报警	高位水箱液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 30%	宜取 5s	报警
		高位水箱液位超低报警	高位水箱液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 10%	宜取 2s	报警

		高位水箱液位超低跳闸	高位水箱液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 10%	宜取 10s	跳闸
2	膨胀罐液位保护(若有)	膨胀罐液位高报警	膨胀罐液位 $\geq \Delta$	宜取高位水箱液位的 80%	宜取 5s	报警
		膨胀罐液位低报警	膨胀罐液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 30%	宜取 5s	报警
		膨胀罐液位超低报警	膨胀罐液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 10%	宜取 2s	报警
		膨胀罐液位超低跳闸	膨胀罐液位 $\leq \Delta$	宜取高位水箱液位的 10%	宜取 10s	跳闸
3	补水罐液位保护	补水罐液位低报警	补水罐液位 $\leq \Delta$	宜取补水罐液位的 20%	宜取 5s	报警

#### 5.4.1 高位水箱液位保护(选配)

5.4.1.1 高位水箱液位保护应配置高位水箱液位高报警、高位水箱液位低报警、高位水箱液位超低跳闸。

5.4.1.2 高位水箱液位定值设置原则为：保证无论何种稳定下均不出现高位水箱内满水或者无水的现象。高位水箱(膨胀罐)在设计时，已考虑罐体的有效容积，因温度变化造成的高位水箱液位变化可根据公式(8)进行计算：

$$\Delta H = H_{t_2} - H_{t_1} = \left( \frac{m}{\rho_{t_2}} - \frac{m}{\rho_{t_1}} \right) / \left( 2 * \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \right) \quad (8)$$

式中：

$\Delta H$ ——因温度变化引起的高位水箱液位变化，单位为m；

$H_{t_1}$ ——温度为 $t_1$ 时高位水箱液位，单位为m；

$H_{t_2}$ ——温度为 $t_2$ 时高位水箱液位，单位为m；

$m$ ——闭式系统内冷水质量，单位为kg；

$\rho_{t_1}$ ——温度为 $t_1$ 时介质密度，单位为kg/m<sup>3</sup>；

$\rho_{t_2}$ ——温度为 $t_2$ 时介质密度，单位为kg/m<sup>3</sup>；

$D$ ——高位水箱内径，单位为m；

5.4.1.3 为降低高位水箱液位不足或液位过高对系统造成的影响，并留有足够的处理时间，从高位水箱50%液位开始，分别向上和向下取值，其范围作为高位水箱的正常液位变化范围( $> \Delta H$ )；在此基础上取5%左右的液位余量，作为高位水箱的液位高报警和液位低报警定值。通常情况下，高位水箱液位高报警定值宜为高位水箱液位的80%。高位水箱液位低报警定值宜为高位水箱液位的30%；高位水箱液位超低报警定值宜为高位水箱液位的10%；高位水箱液位超低跳闸定值宜为高位水箱液位的10%。

5.4.1.4 为防止补水泵启停对高位水箱液位冲击性的影响，高位水箱液位超低跳闸延时宜取10s；高位水箱超低报警延时宜取2s；高位水箱液位低报警延时宜取5s；高位水箱液位高报警延时宜取5s。

#### 5.4.2 膨胀罐液位保护(选配)

5.4.2.1 膨胀罐液位保护应配置膨胀罐液位高报警、膨胀罐液位低报警、膨胀罐液位超低跳闸。

5.4.2.2 膨胀罐液位定值设置原则为：保证无论何种稳定下均不出现膨胀罐内满水或者无水的现象。膨胀罐在设计时，已考虑罐体的有效容积，因温度变化造成的膨胀罐液位变化可根据公式(9)进行计算：

$$\Delta H = H_{t_2} - H_{t_1} = \left( \frac{m}{\rho_{t_2}} - \frac{m}{\rho_{t_1}} \right) / \left( 2 * \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \right) \quad (9)$$

式中：

$\Delta H$ ——因温度变化引起的膨胀罐液位变化，单位为m；

$H_{t_1}$ ——温度为 $t_1$ 时膨胀罐液位，单位为m；

$H_{t_2}$ ——温度为 $t_2$ 时膨胀罐液位，单位为m；

$m$ ——闭式系统内冷水质量，单位为kg；

$\rho_{t_1}$ ——温度为 $t_1$ 时介质密度，单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$\rho_{t_2}$ ——温度为 $t_2$ 时介质密度，单位为 $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$D$ ——膨胀罐内径，单位为m；

5.4.2.3为降低膨胀罐液位不足或液位过高对系统造成的影响，并留有足够的处理时间，从高位水箱50%液位开始，分别向上和向下取值，其范围作为膨胀罐的正常液位变化范围（ $>\Delta H$ ）；在此基础上取5%左右的液位余量，作为膨胀罐的液位高报警和液位低报警定值。通常情况下，膨胀罐液位高报警定值宜为膨胀罐液位的80%。膨胀罐液位低报警定值宜为膨胀罐箱液位的30%；膨胀罐液位超低报警定值宜为膨胀罐液位的10%；膨胀罐液位超低跳闸定值宜为膨胀罐箱液位的10%。

5.4.4.4为防止补水泵启停对膨胀罐液位冲击性的影响，膨胀罐液位超低跳闸延时宜取10s；膨胀罐超低报警延时宜取2s；膨胀罐液位低报警延时宜取5s；膨胀罐液位高报警延时宜取5s。

### 5.4.3 补水罐液位保护

5.4.3.1为防止气蚀，补水罐液位保护应配置补水罐液位低报警。

5.4.3.2因补水罐独立于内冷闭式循环系统，补水罐液位定值主要考虑避免补水泵启动后补水罐液位过低或者补水罐电磁阀故障后补水泵不出现气蚀。补水罐液位定值可根据公式（10）计算，并向上取整得到。

$$H = \text{NPSH}/H_0 \quad (10)$$

式中：

$H$  ——补水罐最低允许液位，单位为m；

$\text{NPSH}$  ——补水泵气蚀，单位为m；

$H_0$  ——补水罐液位，单位为m。

5.4.3.3补水罐液位低报警定值宜取补水罐液位的20%，延时宜取5s。

## 5.5 泄漏保护

### 5.5.1 微分泄漏保护

5.5.1.1微分泄漏保护采集高位水箱（膨胀罐）液位传感器信号，采样和计算周期为2s，有效计算时间为30s，当液位下降速率超过泄漏保护定值时，控制系统发泄漏保护请求跳闸信号。

5.5.1.2泄漏采样周期宜取30s，泄漏采样周期内泄漏保护定值宜大于53mm。