

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CSHE XXXX—YYYY
代替 T/XXXX

换流阀表贴式蒸发冷却系统 设计规范

Design Specification for Surface-Mounted Evaporative Cooling System of
Converter Valves

(征求意见稿)

中国水力发电工程学会 发布

20XX—XX—XX 发布

20XX—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 使用环境条件	5
5 设备构成及总体设计要求	5
5.1 设备构成	5
5.2 总体设计要求	5
5.3 主要参数	6
5.4 换流阀表贴式蒸发冷却设备配置方式	6
6 主要部件设计要求	7
6.1 表贴式散热器	7
6.2 冷凝器	7
6.3 循环管路	8
6.4 密封部件	8
6.5 蒸发冷却介质	8
6.6 监测系统	8
7 电源设计要求	9
7.1 动力电源	9
7.2 控制电源	10
附录A （资料性）	11
索 引	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水力发电工程学会标准化管理办公室提出并归口。

本文件起草单位：XXXX。

本文件主要起草人：XXXX。

本文件为首次制定。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国水力发电工程学会标准化管理办公室（北京市海淀区车公庄西路22号院A座11层，100044）。

换流阀表贴式蒸发冷却系统设计规范

1 范围

本文件规定了高压直流输电换流阀（以下简称“换流阀”）表贴式蒸发冷却设备的使用环境条件、设备构成及总体设计要求、主要部件及电源设计要求。

本文件适用于换流阀表贴式蒸发冷却设备的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 311.1 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则

GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉

GB/T 7894 水轮发电机基本技术要求

GB/T 17799.2 电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准

GB/T 30425 高压直流输电换流阀水冷却设备

GB/T 34139 柔性直流输电换流器技术规范

GB/T 35702.1 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第1部分：一般要求

GB/T 35702.2 高压直流系统用电压源换流器阀损耗 第2部分：模块化多电平换流器

GB/T 37010 柔性直流输电换流阀技术规范

DL/T 1067 蒸发冷却水轮发电机基本技术条件

HJ/T 154 新化学物质危害评估导则

3 术语和定义

GB/T 30425和GB/T 37010界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

蒸发冷却 evaporative cooling

基于特定的冷却结构，利用蒸发冷却介质通过气液相变实现对发热部件冷却的一种方式。

[来源：DL/T 1067, 3.1, 有修改]

3.2

蒸发冷却系统 evaporative cooling system

利用蒸发冷却技术实现电力设备发热部件冷却的一种系统。

3.3

蒸发冷却介质 evaporative coolant

具有合适沸点、绝缘强度高、流动性能好、汽化潜热值高且无毒不可燃的可用于相变传热冷却的液体，简称冷却介质或介质。

[来源：DL/T 1067, 3.2, 有修改]

3.4

自循环模式 self circulation mode

依靠液态介质与气-液混合介质之间的密度差和重位高度差实现冷却介质循环的蒸发冷却系统工作模式。

[来源: GB/T 2900.48, 3.1.30, 有修改]

3.5

一次冷却系统 primary cooling system

通过蒸发冷却介质吸收发热部件热量、冷却发热部件的系统。

3.6

二次冷却系统 secondary cooling system

通过气体或液体介质吸收蒸发冷却介质热量的系统。

3.7

表贴式蒸发冷却系统 surface mount evaporative cooling system

电气设备发热部件表面具有与其直接接触的空心腔体,蒸发冷却介质流经腔体内部并吸收发热部件热量的蒸发冷却系统。

3.8

表贴式散热器 surface mount cooler

换流表贴式蒸发冷却设备中直接与可关断半导体器件接触并耗散热量的换热器,通常采用串联压接的方式与可关断半导体器件交替布置,兼具可关断半导体器件间的电流导通功能。

3.9

冷凝器 condenser

蒸发冷却循环系统中将冷却介质从气态转换到液态的热交换装置。

[来源: GB/T 7894, 3.1]

3.10

循环管路 circulating pipes

蒸发冷却系统中连接发热部件和冷凝器,供蒸发冷却介质循环流动的密封通道。

3.11

集气管 collecting pipe

蒸发冷却系统中用于确保两相态介质流入冷凝器的通道。

3.12

回液管 return pipe

蒸发冷却系统中用于确保冷凝介质回流至发热部件位置的通道。

[来源: DL/T 1067, A.2, 有修改]

3.13

运行压力 operation pressure

蒸发冷却设备在运行状态下,冷凝器顶部蒸发冷却介质产生的表压力。

3.14

静态液位 static liquid level

换流阀在冷态条件下,蒸发冷却介质从散热器底部到回液管内液相介质顶部之间的高度差。

[来源：DL/T 1067, 3.6, 有修改]

3.15

运行液位 operational liquid level

换流阀在特定工况运行条件下,蒸发冷却介质从散热器底部到回液管内液相介质顶部之间的高度差。

4 使用环境条件

4.1 正常使用环境条件

4.1.1 换流阀表贴式蒸发冷却设备的环境条件

换流阀表贴式蒸发冷却设备的环境条件应符合GB/T 34139中6.1.2的规定。

4.1.2 换流阀表贴式蒸发冷却控制保护设备的环境条件

控制保护设备的环境条件应符合GB/T 34139中6.1.3的规定。

4.2 特殊使用环境条件

4.2.1 抗震要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备的抗震要求应符合GB/T 34139中6.1.1的规定。

4.2.2 海上平台应用要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备的设计和使用应考虑海上平台振动工况,具体需求由买方和卖方共同协商。

4.2.3 防腐要求

应用于海洋环境及其他恶劣环境下时,需考虑换流阀表贴式蒸发冷却设备的防腐性能,具体需求由买方和卖方共同协商。

4.2.4 高海拔应用要求

海拔高于1000m时,蒸发冷却介质的选型应考虑高海拔环境对蒸发冷却介质沸点、击穿电压的影响,换流阀表贴式蒸发冷却设备的绝缘设计应根据相关标准进行修正计算。

5 设备构成及总体设计要求

5.1 设备构成

换流阀表贴式蒸发冷却设备主要包括表贴式散热器、冷凝器、循环管路、密封部件、蒸发冷却介质、监测系统。

监测系统可选择性设置。

5.2 总体设计要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备,利用蒸发冷却介质的相变过程吸收热量,可有效降低换流阀中功率器件(如绝缘栅双极型晶体管和二极管)的温度,确保换流阀在高功率运行时的稳定性和安全性。换流阀表贴式蒸发冷却设备的设计应满足以下要求:

换流阀表贴式蒸发冷却设备的冷却能力应满足换流阀在最大设计条件和极端使用条件下的正常运行要求,冷却容量裕度不应小于最高散热量的10%;

与换流阀具有良好的适配性,系统可靠性高,易维护;

蒸发冷却设备的布局需考虑对换流阀绝缘安全设计的影响,蒸发冷却设备和换流阀一起整体布置时

应保证在绝缘性能上不影响阀对交直流电压和操作冲击电压、雷电冲击电压、陡波前冲击电压的耐受能力，绝缘配合应符合GB/T 311.1的规定；

蒸发冷却设备的设计应保证在换流阀运行过程中具备满足系统散热需求的循环动力；

额定散热容量运行时，蒸发冷却设备运行压力不应超过0.1MPa；

换流阀表贴式蒸发冷却设备的设计应避免在运行期间出现蒸发冷却介质泄漏，且保证在发生蒸发冷却介质少量泄漏时，换流阀仍能运行，并发出报警信号；

正常运行工况下，允许的蒸发冷却介质年泄漏量不应大于5%；

蒸发冷却设备的布置应方便运维人员进行维护检修。

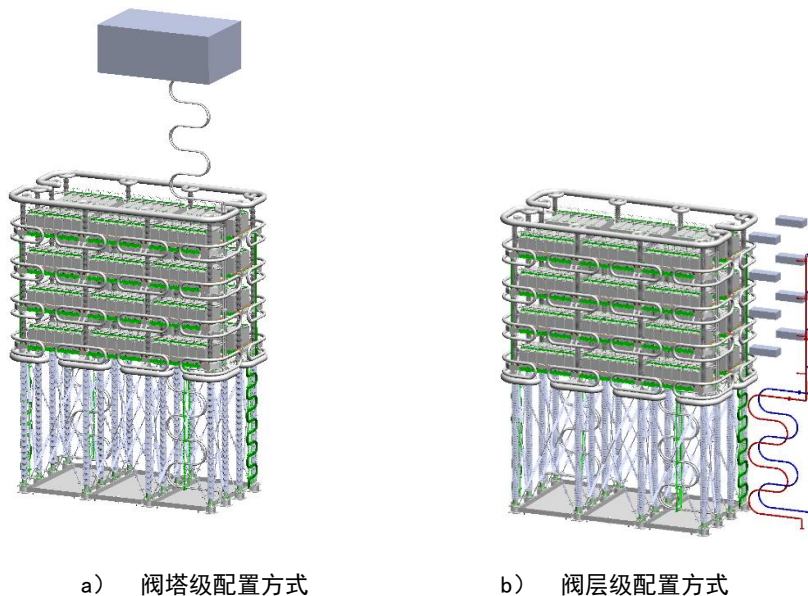
5.3 主要参数

换流阀表贴式蒸发冷却设备的主要参数至少应包括：

- 额定散热容量；
- 配置方式；
- 冷凝器冷却方式；
- 功率损耗；
- 蒸发冷却介质参数；
- 型号规格。

5.4 换流阀表贴式蒸发冷却设备配置方式

换流阀表贴式蒸发冷却设备可采用4种配置方式，将单个阀塔、单个阀层、单个阀段及单个子模块作为冷却的最小单元配置蒸发冷却系统。四种配置方式的系统布置如图1所示。



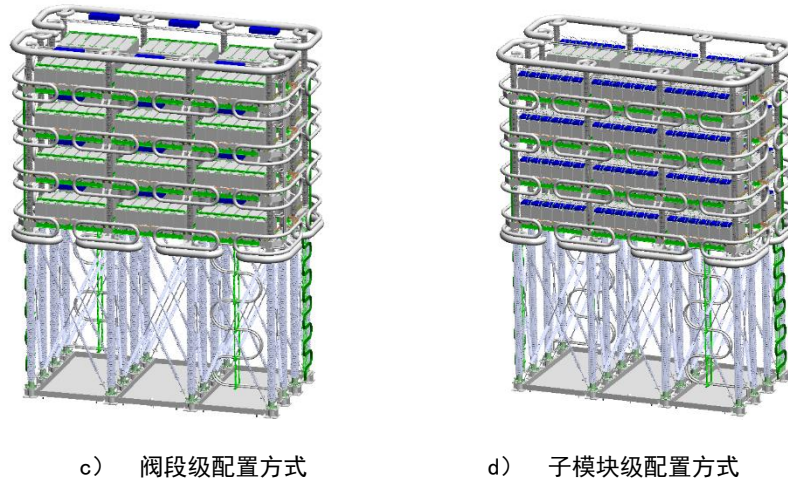


图 1 换流阀表贴式蒸发冷却设备配置方式

6 主要部件设计要求

6.1 表贴式散热器

表贴式散热器的温度控制要求由买卖双方根据可关断半导体器件的运行工况及安全运行温度协商确定；

表贴式散热器应满足换流阀的装配需求，对于采用压接型可关断半导体器件的换流阀，应能承受换流阀可关断半导体器件正常工作所需的额定压装力；

表贴式散热器的尺寸与形位公差满足可关断半导体器件额定压装力条件下的接触热阻要求，且有效换热面积不小于可关断半导体器件的单侧表面散热面积；

表贴式散热器应进行换热性能及机械强度校核，可选择的校核方式包括计算校核或试验校核，推荐采用试验校核；

表贴式散热器上不需布置均压电极。

表贴式散热器的导通电阻需由买方和卖方共同协商确定。

6.2 冷凝器

冷凝器的尺寸和重量应根据实际应用条件由买卖双方协商确定；

冷凝器可采用风冷或水冷冷凝器，应根据实际使用环境条件进行选择：

——水资源匮乏，取水困难，可采用风冷方式；

——水资源丰富，取水方便，可采用水冷方式；

冷凝器的密封性能可通过气密性试验、水压实验等方式进行校核；

冷凝器的换热容量应满足换流阀全部设计运行工况下的散热需求，换热容量的计算参考GB/T 3570 2.1 和GB/T 3570 2.2的相关要求，换热容量设计裕度不应小于换流阀全部设计运行工况下最高散热量的10%；

冷凝器的换热容量推荐采用实验测试方式进行校核；

冷凝器的外型设计应保证其外表面不发生电晕及局部放电；

冷凝器外形有凸出结构时应配置屏蔽装置；

冷凝器与换流阀电气部件间的空间直线距离应不小于要求的操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压下的空气绝缘安全净距；

冷凝器与换流阀电气部件间连接的固体绝缘表面距离应不小于换流阀持续运行电压下的爬电距离。

6.3 循环管路

循环管路应选用与蒸发冷却介质具有良好材料相容性的绝缘材料，推荐聚偏氟乙烯（PVDF）、均聚丙烯（PPH）等；

循环管路应基于自循环蒸发冷却原理进行低流动阻力设计，结构简单，易于装配。

6.4 密封部件

系统密封部件需与蒸发冷却介质具有良好的材料相容性，推荐使用丁腈橡胶、三元乙丙橡胶等；

密封材料应能在 $-30^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 温度范围内保持弹性和密封性能，且在该温度范围内不发生脆化、软化或永久变形；

系统密封材料的选用应在压紧状态下进行实际使用温湿度条件的老化实验测试，老化试验温度上限不应低于蒸发冷却介质最高工作温度的1.1倍；

系统密封部件应易于安装、检查和更换。

6.5 蒸发冷却介质

蒸发冷却介质应具备无毒、无害、无腐蚀性，以确保操作人员的安全和设备的长期稳定性；

蒸发冷却介质具有良好的绝缘性能，设备额定运行电压下介质泄漏电流需由买方和卖方共同协商。

蒸发冷却介质选择时应对其气相态的绝缘强度进行测试，获得蒸发冷却介质在气相态时的击穿电压最低值，为蒸发冷却设备和换流阀的整体绝缘设计提供依据；

蒸发冷却介质具备阻燃性，防止在高温或换流阀故障情况下引发火灾；

蒸发冷却介质在1atm下的饱和温度应与换流阀可关断半导体器件的安全运行温度相匹配；

蒸发冷却介质在温度 $-35^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 范围内及电弧作用后具有良好的化学稳定性和热稳定性；

蒸发冷却介质应满足换流阀采用的金属材料和非金属材料的相容性要求；

蒸发冷却介质应符合HJ/T154及其他相关国家环境保护标准的要求；

蒸发冷却介质主要物理参数应符合表1的规定。

表1 蒸发冷却介质主要物理参数（标准大气压）

序号	参数	单位	指标
1	饱和温度	$^{\circ}\text{C}$	40~70
2	蒸发潜热	kJ/kg	>110
3	凝固点	$^{\circ}\text{C}$	<-35
4	液态工频击穿电压（2.5mm）	kV	≥ 20

6.6 监测系统

监测系统能对换流阀表贴式蒸发冷却设备的运行状态进行监测，并与换流阀直流控制与保护系统进行可靠通信；

一次冷却系统至少应设置压力、液位的在线监测传感器，可实现换流阀蒸发冷却设备运行压力和蒸发冷却介质液位状态的实时监测，对于监测到的异常状态及时报警；

系统报警方式可采用声光报警、界面报警。声光报警包括本地警示灯闪烁及蜂鸣器鸣响等方式，界面报警指上位机弹出报警信息并记录报警日志等方式。

压力、液位传感器及蒸发冷却设备监测系统与换流阀直流控制和保护系统的通信接口应进行冗余配置，且可实现无扰切换。

支持用户在线设定与修改运行压力和蒸发冷却介质液位的报警阈值，以适应不同工况；

具备实时数据采集与显示功能；

具备历史数据存储、显示与导出功能；

冷凝器采用水冷方式时，二次冷却系统回路中应设置水位及水质等监测传感器或仪表；

监测系统具备抗电磁干扰能力，电磁兼容应符合 GB/T 17799.2 的规定，推荐采用光纤传感器，各传感器检测信号通过光纤传递至信号处理装置，实现换流阀蒸发冷却设备远程状态监测；

当出现下列情况之一时，监测系统应发出报警信号：

- a) 蒸发冷却设备运行压力高；
- b) 蒸发冷却介质静态液位低；
- c) 蒸发冷却介质运行液位低；
- d) 监测系统通信异常。

设有触发报警的异常状态最小持续时间，并支持用户在线设定与修改，以防止因采集数据波动导致的误报警；

设有报警自动复位与人工确认机制，在监测数据恢复至正常范围并满足复位条件后，系统可自动解除实时报警状态，但报警提示及确认状态应予以保留，应经人工确认后完成闭环处理；

系统应设置报警自动复位与人工确认机制。其逻辑应满足：当所有触发报警的监测数据恢复至正常范围且满足预设的复位条件后，系统可自动解除当前的实时报警状态；但该报警事件的提示信息及确认状态应予以保留。对于认定为重要的报警事件，系统应设计为须经人工确认后方可完成闭环处理。

设置报警复位延迟机制，该机制的设计宜包含以下原则：

a) 复位判断原则：在监测数据从异常状态恢复至正常范围后，系统不应立即解除报警，而应持续观察数据在正常范围内的稳定性。

b) 可配置性原则：系统应支持对报警复位延迟时间参数的在线设定与修改，以适应不同运行工况和灵敏度需求。

c) 防抖动设计：复位延迟时间参数的设置应考虑过滤信号短期波动的影响，确保报警状态的解除稳定、可靠。

系统应自带安全阀，起跳压力由买卖双方协商确定；

系统可选择性配置压力控制执行机构（如电磁阀、压力开关等）。其控制逻辑应满足：当换流阀表贴式蒸发冷却设备的运行压力超过设定的高限值时，该执行机构应能自动开启泄压；待设备运行压力恢复至正常范围后，该执行机构应能自动关闭。

7 电源设计要求

7.1 动力电源

当冷凝器采用风冷方式时，需设动力电源为冷凝器的冷却风扇供电。动力电源宜采用双路供电，电压波动不超过额定电压的±10%，两路电源可实现无扰切换。

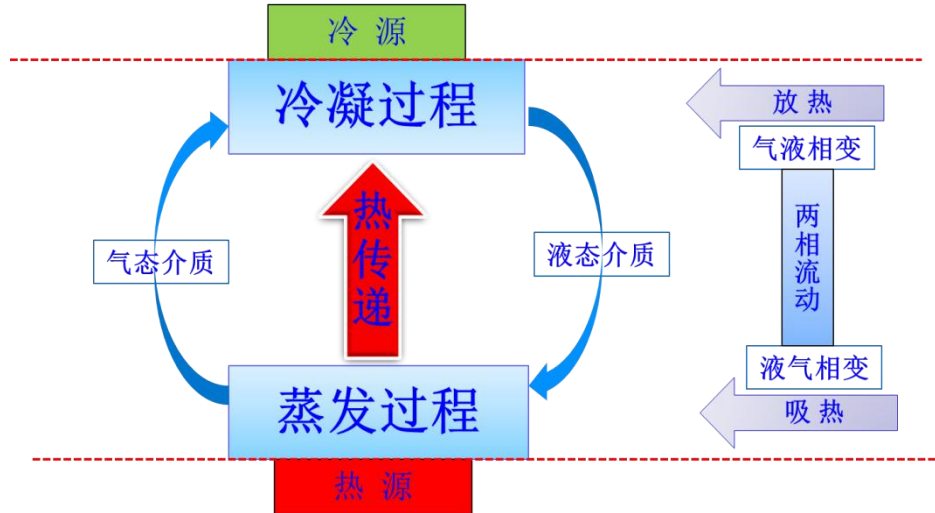
7.2 控制电源

控制电源用于为监测传感器供电。对于将单个子模块、单个阀段、单个阀层作为冷却最小单元的蒸发冷却设备配置方式，宜采用从子模块直接取电的方式为监测传感器供电。对于将单个阀塔作为冷却最小单元的蒸发冷却设备配置方式，宜至少采用两路电源为监测传感器供电，两路电源可实现无扰切换。

附录 A
(资料性)

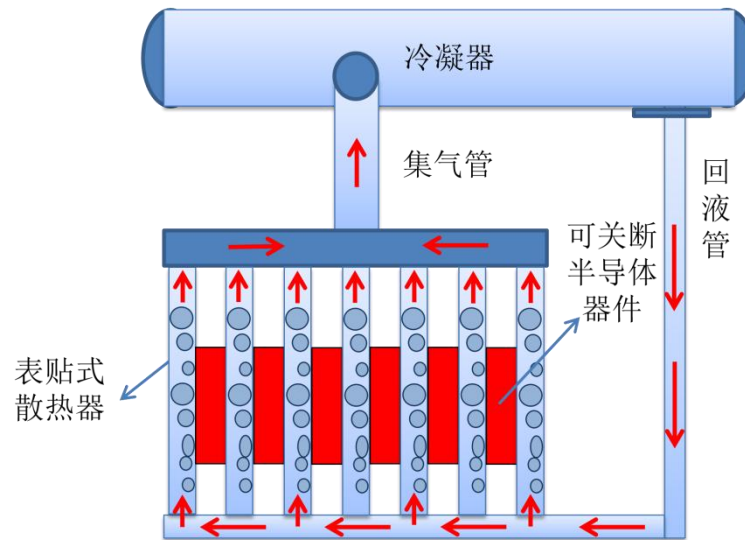
蒸发冷却原理及表贴式蒸发冷却设备构成

蒸发冷却系统利用高绝缘、沸点适宜的蒸发冷却介质，通过相变换热的方式，实现对发热部件冷却，其原理见图A.1。



图A.1 自循环蒸发冷却系统原理图

表贴式蒸发冷却设备主要由表贴式散热器、冷凝器、循环管路（包括集气管、回液管）构成，见图A.2。



图A.2 表贴式蒸发冷却设备构成

索 引

B	
表贴式散热器.....	3.8
表贴式蒸发冷却系统.....	3.7
E	
二次冷却系统.....	3.6
H	
回液管.....	3.12
J	
集气管.....	3.11
静态液位.....	3.14
L	
冷凝器.....	3.9
X	
循环管路.....	3.10
Y	
一次冷却系统.....	3.5
运行压力.....	3.13
运行液位.....	3.15
Z	
蒸发冷却.....	3.1
蒸发冷却介质.....	3.3
蒸发冷却系统.....	3.2
自循环模式.....	3.4