

ICS  
CCS

# 团 体 标 准

T/CSHE XXXX—YYYY  
代替 T/XXXX

## 换流阀表贴式蒸发冷却设备 技术要求

Technical Requirements for Surface-Mounted Evaporative Cooling Equipment  
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 技术要求 .....	5
4.1 使用环境要求 .....	5
4.1.1 正常使用环境要求 .....	5
4.1.2 特殊使用环境要求 .....	5
4.2 设备整体技术要求 .....	5
4.3 主要部件技术要求 .....	6
4.3.1 表贴式散热器 .....	6
4.3.2 冷凝器 .....	6
4.3.3 循环管路 .....	6
4.3.4 密封部件 .....	6
4.3.5 蒸发冷却介质 .....	6
4.3.6 监测系统 .....	7
4.4 电源技术要求 .....	7
4.4.1 动力电源 .....	7
4.4.2 控制电源 .....	8
5 试验方法 .....	8
5.1 材料相容性试验 .....	<b>错误！未定义书签。</b>
5.2 表贴式散热器机械强度试验 .....	8
5.3 冷凝器及蒸发冷却设备耐压试验和泄漏试验 .....	<b>错误！未定义书签。</b>
5.4 蒸发冷却设备换热性能试验 .....	8
6 标志、包装、运输和贮存 .....	8
6.1 标志 .....	9
6.2 包装 .....	9
6.3 运输 .....	9
6.4 贮存 .....	10
附录A （资料性） .....	11
索 引 .....	12

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1《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设备技术要求

## 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、技术要求、试验方法、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于换流阀表贴式蒸发冷却设备的制造、测试和验收。

## 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 37010 柔性直流输电换流阀技术规范

GJB 150.16A 军用装备实验室环境试验方法第16部分：振动试验

DL/T 1067 蒸发冷却水轮发电机基本技术条件

## 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

换流阀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 技术要求****4.1 使用环境要求****4.1.1 正常使用环境要求**

## a) 换流阀表贴式蒸发冷却设备的环境要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备应能在符合GB/T 34139中6.1.2规定的环境条件下正常运行。

## b) 换流阀表贴式蒸发冷却控制保护设备的环境要求

控制保护设备应能在符合GB/T 34139中6.1.3规定的环境条件下正常工作。

**4.1.2 特殊使用环境要求**

## a) 抗震要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备应按照GB/T 34139中6.1.1的规定进行抗震性能考核, 试验后设备结构应无损坏, 电气性能应满足正常运行要求。

## b) 海上平台应用要求

换流阀表贴式蒸发冷却设备应用于海上平台时, 应能承受海上平台典型振动工况, 具体需求由买方和卖方共同协商。如无特殊要求, 设备应按照GJB150.16A沿三个轴向进行随机振动试验, 试验频率范围为5Hz~100Hz, 每个方向试验持续2小时。试验后设备应无机械损伤、无蒸发冷却介质泄漏, 且密封性、电气功能正常。

## c) 防腐要求

应用于海洋环境及其他恶劣环境时, 换流阀表贴式蒸发冷却设备暴露在腐蚀性环境中的外露金属部件应进行防腐处理, 防腐等级符合经买卖双方协商确定的数值。

## d) 高海拔应用要求

当海拔高于1000 m时, 换流阀表贴式蒸发冷却设备应满足: 蒸发冷却介质的选型应确保在最高工作海拔下, 蒸发冷却介质的气相击穿电压不低于设备额定绝缘水平要求; 设备的绝缘设计应按GB/T 311.1的规定进行海拔修正, 修正后的工频耐受电压和雷电冲击耐受电压应能通过相应耐压试验, 试验中不应发生闪络或击穿。

**4.2 设备整体技术要求**

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, 冷却容量设计裕度不小于最高散热量的10%;

设备的布置不可影响换流阀在交流-直流电压试验、操作冲击试验、雷电冲击试验、陡波前冲击试验中的可靠性。

设备在换流阀稳态运行和暂态运行过程中可建立蒸发冷却介质的稳定循环;

额定散热容量运行时, 设备的运行压力不应超过0.1MPa;

设备在发生蒸发冷却介质少量泄漏时, 应能维持换流阀正常运行, 并且监控系统能发出报警信号;

设备中蒸发冷却介质的允许年泄漏量不应大于系统整体充液量的5%;

设备监测系统与换流阀直流控制与保护系统的通信接口应进行冗余配置, 并可实现无扰切换;

设备气密性具体要求由买方和卖方共同协商, 如无特殊要求应满足在1.1倍设计压力下保压24小时, 压力下降不大于1kPa;

设备应具备必要的维护检修空间。

### 4.3 主要部件技术要求

#### 4.3.1 表贴式散热器

表贴式散热器与可关断半导体器件接触面的温度,不应高于经买卖双方协商确定的半导体器件安全运行壳温;

对于采用压接型可关断半导体器件的换流阀,表贴式散热器不应在压接型可关断半导体器件正常工作所需的额定压装力下发生永久性变形或损坏;

表贴式散热器有效换热面积不应小于所对应可关断半导体器件的单侧表面散热面积;

表贴式散热器与可关断半导体器件接触面的表面粗糙度不应大于 $0.8\mu\text{m}$ ,表面平面度不应大于 $30\mu\text{m}$ ,表面平行度不应大于 $60\mu\text{m}$ ;

在额定压装力条件下,表贴式散热器与可关断半导体器件间的接触热阻不应高于经买卖双方协商确定的数值;

表贴式散热器应具有导通电流功能,导通电阻不应高于经买卖双方协商确定的数值。

#### 4.3.2 冷凝器

冷凝器的尺寸和重量应满足买卖双方协商确定的数值;

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,其设计裕度不应小于最高散热量的10%;

冷凝器的外表面在设计电压下不应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最小空气净距,不应小于设备操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压所要求的空气绝缘距离;

冷凝器与换流阀电气部件间连接的固体绝缘表面的最小爬电距离,不应小于换流阀持续运行电压下的爬电距离要求。

#### 4.3.3 循环管路

循环管路材料应与蒸发冷却介质具有良好的材料相容性;

循环管路应密封良好,无破裂、堵塞和泄漏现象。

#### 4.3.4 密封部件

密封部件需与蒸发冷却介质具有良好的材料相容性;

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

#### 4.3.5 蒸发冷却介质

蒸发冷却介质应与换流阀采用的金属材料和非金属材料具有良好的材料相容性;

蒸发冷却介质应无毒、无害、无腐蚀性、阻燃,并符合国家环境保护标准的要求;

设备额定运行电压下,蒸发冷却介质的泄漏电流不应高于经买卖双方协商确定的数值;

蒸发冷却介质在 $-35^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,以及在电弧作用后,不应发生影响设备安全运行的分解、变质或性能衰退现象;

蒸发冷却介质在1个标准大气压下的饱和温度不应大于 $70^{\circ}\text{C}$ ;

蒸发冷却介质的蒸发潜热应大于110kJ/kg;

蒸发冷却介质在1个标准大气压下的凝固点不应高于-35℃;

蒸发冷却介质在2.5mm电极间距下的液态工频击穿电压不应低于20kV;

蒸发冷却介质在2.5mm电极间距下,在1个标准大气压下的气态工频击穿电压不应低于经买卖双方协商确定的数值。

#### 4.3.6 监测系统

监测系统应至少能在线监测换流阀蒸发冷却设备一次冷却回路的运行压力和蒸发冷却介质的液位;

监测系统应可实现设备运行状态的本地及远程监控;

监测系统应能与换流阀直流控制与保护系统进行可靠通信;

监测系统应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,并在以下情况发生时,准确发出报警信号:

- a) 设备运行压力超过设定高限;
- b) 蒸发冷却介质静态液位低于设定低限;
- c) 蒸发冷却介质运行液位低于设定低限;
- d) 监测系统通信异常。

系统应具备可靠的报警执行机构,如警示灯、蜂鸣器、上位机界面等;

监测系统应设置异常状态最小触发持续时间阈值,当监测数据超出报警阈值的时间小于此持续时间时,不触发报警,最小触发持续时间阈值应支持用户在线设定与修改;

监测系统应具备报警自动复位与人工确认功能。监测数据恢复正常且满足复位条件时,系统应自动解除实时报警状态,同时保留报警提示及确认状态。报警事件应经人工确认后方可完成闭环处理;

监测系统应设置复位延迟时间,当监测数据(如压力、液位)超出报警阈值后重新恢复至正常范围内时,系统应维持报警状态至少达到预设的复位延迟时间,确认监测数据已稳定在正常范围后,方可自动解除该报警,复位延迟时间应支持用户在线设定与修改;

当冷凝器采用水冷方式时,二次冷却水回路中应设置水位及水质等监测仪表;

监测系统应具备实时数据采集与显示,历史数据存储、显示与导出功能;

监测系统的电磁兼容性能应符合GB/T 17799.2的规定;

系统应自带安全阀,起跳压力应满足买卖双方协商确定的数值;

所有监测传感器或仪表应具有在有效期内的校准证书或检定证书;

换流阀表贴式蒸发冷却设备应选择设置运行压力自动控制功能。当运行压力超过设定高限值时,压力控制执行机构(电磁阀或压力开关)应自动开启;当运行压力恢复至正常范围后,该执行机构应自动关闭。上述动作应准确、可靠,且不应出现误动作或拒动作。

#### 4.4 电源技术要求

##### 4.4.1 动力电源

当采用风冷冷凝器时,为其冷却风扇供电的动力电源应采用双路电源,其电压波动不应超过额定电压的±10%;

两路动力电源应可实现无扰切换。

#### 4.4.2 控制电源

为监测传感器供电的控制电源，采用从子模块直接取电或独立电源供电时，均应考虑冗余配置，并实现无扰切换。

### 5 试验方法

#### 5.1 表贴式散热器机械强度试验

- a) 对表贴式散热器施加不低于1.2倍额定压装力，保持不少于5min；
- b) 试验后检查散热器应无永久变形、裂纹或泄漏。

#### 5.2 蒸发冷却设备换热性能试验

##### (1) 实验条件

- a) 设备采用风冷冷凝器：环境温度满足经买卖双方协商确定的数值。
- b) 设备采用水冷冷凝器：二次冷却水入口温度及流量满足经买卖双方协商确定的数值。
- c) 相对湿度： $\leq 80\%$ ；
- d) 大气压力： $(86\sim 106)\text{kPa}$ 。

##### (2) 实验装置

- a) 电加热器：用于模拟可关断半导体器件的发热，加热功率应可调节，调节精度不低于 $\pm 2\%$ ；
- b) 温度传感器：精度不低于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，测量点应至少包括：  
T1：表贴式散热器壁面温度；  
T2：冷凝器二次冷却水进口温度；  
T3：冷凝器二次冷却水出口温度；
- c) 压力传感器：精度不低于满量程的 $\pm 1\%$ ，安装于冷凝器顶部；
- d) 液位传感器：安装于回液管；
- e) 功率计：用于测量加热器的电功率，精度不低于 $\pm 1\%$ 。
- f) 流量计：用于测量冷凝器二次冷却水进口流量，精度不低于 $\pm 1\%$ 。

##### (3) 实验步骤

- a) 向蒸发冷却设备充注规定量的蒸发冷却介质，检查系统气密性；
- b) 启动加热器，初始加热功率设置为额定散热容量的50%；
- c) 待系统达到稳态后（系统压力及各测温点数据均稳定），记录各测量参数；
- d) 逐步增加加热功率至额定散热容量的100%，每个工况点稳态运行时间不少于1h，记录全部测量参数；
- e) 继续增加加热功率至额定散热容量的110%，稳态运行时间不少于1h，记录全部测量参数；
- f) 确认表贴式散热器表面最高温度及系统运行压力不超过规定限值。

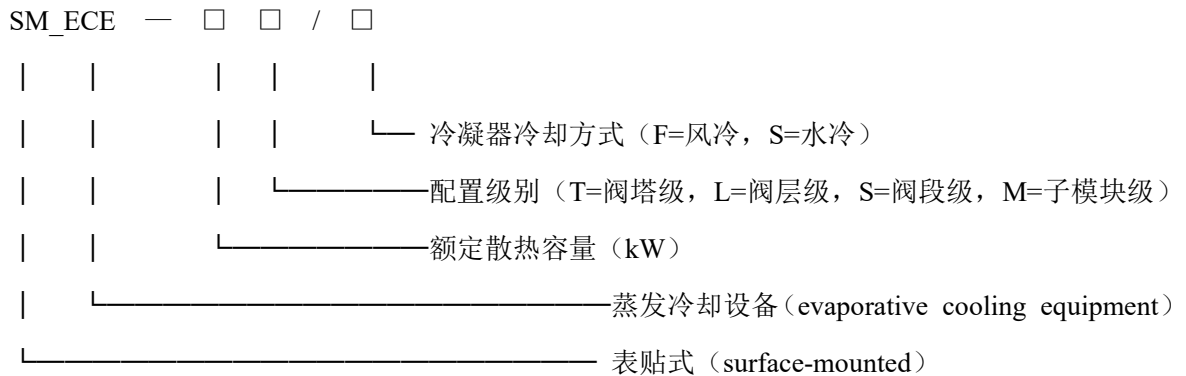
### 6 标志、包装、运输和贮存

## 6.1 标志

换流阀表贴式蒸发冷却设备铭牌应至少包括以下内容：

- a) 设备名称
- b) 型号规格
- c) 额定散热容量
- d) 配置方式
- e) 冷凝器冷却方式
- f) 蒸发冷却介质常压沸点
- g) 生产厂家
- h) 出厂编号
- i) 生产日期

产品型号的编制应按以下规则：



## 6.2 包装

换流阀表贴式蒸发冷却设备包装应符合GB/T 13384的要求；

设备各部件应分开包装，表贴式散热器、冷凝器、监测系统箱体内部布置缓冲泡沫，防止运动滑落或无规则移动造成部件碰撞损坏；

蒸发冷却介质应存放于专用的密封容器内；

包装应具有防震、防雨、防潮、防锈、防霉、防尘和防静电等措施；

包装随机文件应有：

- a) 装箱清单；
- b) 产品出厂检测报告；
- c) 产品合格证；
- d) 产品安装说明书；
- e) 产品使用维护说明书。

## 6.3 运输

换流阀表贴式蒸发冷却设备运输过程中，不应有剧烈振动和撞击，产品不应倾斜或倒置，运输环境温度宜为-25℃~40℃。

#### 6.4 贮存

贮存保管期间，应排净设备中的蒸发冷却介质，并将蒸发冷却介质存储于专用的密封容器内；

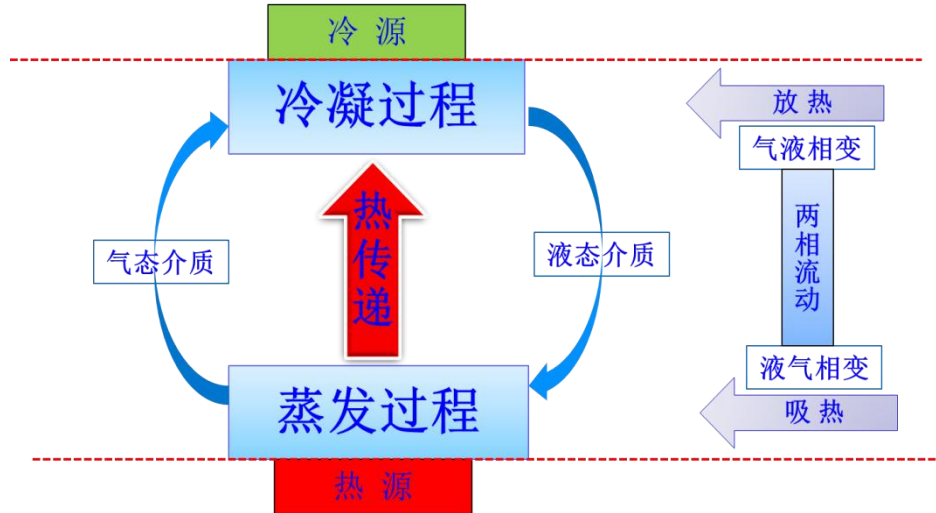
贮存保管期间，设备应放置在空气流通、干燥、无腐蚀性气体的仓库中，贮存温度宜为-10℃~20℃；

设备不应淋雨、暴晒，避免出现凝露和霜冻。

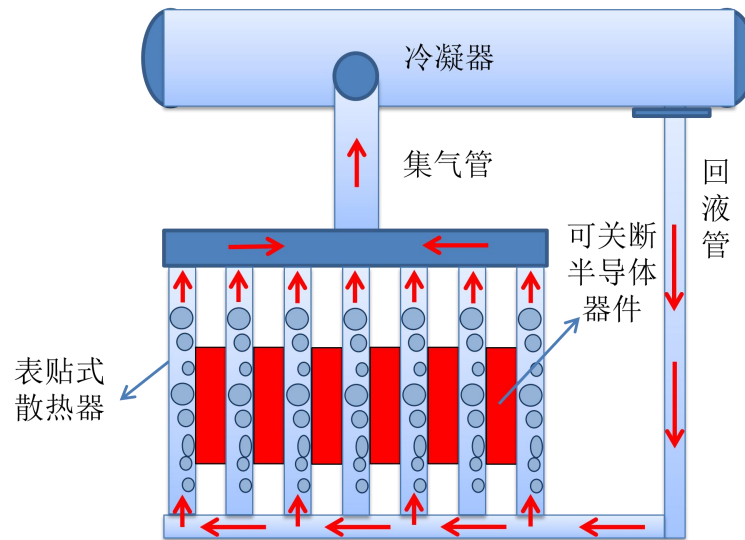
附录 A  
(资料性)

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。



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。



## 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