

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CSHE XXXX—YYYY

代替 T/XXXX

表贴式蒸发冷却柔性直流换流阀试验 技术规范

Technical Specification for Tests of Surface-Mounted Evaporative Cooling
Flexible DC 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	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	2
4.1 型式试验导则	2
4.2 大气修正因数	2
4.3 冗余的处理	2
4.4 型式试验成功的判据	2
5 试验项目	2
6 型式试验	3
6.1 阀支架的绝缘试验	3
6.2 阀端子间的绝缘试验	4
6.3 运行试验	5
6.4 蒸发冷却功能验证试验	6
7 特殊试验	6
7.1 概述	6
7.2 旁路试验	6
7.3 振动试验	7
7.4 环境试验	8
7.5 蒸发冷却系统可靠性验证试验	9
8 例行试验	10
8.1 概述	10
8.2 试验目的	10
8.3 试品	10
8.4 试验要求	10
8.5 试验项目	10
附 录 A （资料性） 蒸发冷却柔性直流换流阀	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）

表贴式蒸发冷却柔性直流换流阀试验技术规范

1 范围

本文件规定了表贴式蒸发冷却柔性直流换流阀的型式试验、特殊试验、例行试验。

本文件适用于采用蒸发冷却方式的柔性直流换流阀。

本文件规定的试验是以蒸发冷却柔性直流换流阀为基础。对于其它采用蒸发冷却方式的变流设备，在特性接近的情况下也可参照本文件的试验要求。

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 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12 h+12 h 循环）

GB/T 2423.16 环境试验 第2部分：试验方法 试验 J 及导则：长霉

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾

GB/T 13498 高压直流输电术语

GB/T 33348 高压直流输电用电压源换流器阀 电气试验

GB/T 34118 高压直流系统用电压源换流器术语

GB/T 42558.2 高原用换流站电气设备抗震技术 第2部分：抗震设计规范

GB/T 7894 水轮发电机基本技术要求

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 13498、GB/T 34118 和 GB/T 33348 给出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]

3.3

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]

4 一般要求

4.1 型式试验导则

替代证明、试品选取、试验环境温度、试验频率、确定型式试验参数应考虑的状况应符合 GB/T 33348 中 4.1 的规定。

4.2 大气修正因数

大气修正因数应符合 GB/T 33348 中 4.2 的规定。

4.3 冗余的处理

4.3.1 运行试验

运行试验冗余的处理方法应符合 GB/T 33348 中 4.3.1 的规定。

4.3.2 绝缘试验

绝缘试验冗余的处理方法应符合 GB/T 33348 中 4.3.2 的规定。

4.4 型式试验成功的判据

型式试验成功的判据应符合 GB/T 33348 中 4.4 的规定。

5 试验项目

表 3 列出了第 6 章至第 8 章给出的型式试验、特殊试验、例行试验试验项目。

型式试验目的：确认换流阀的设计是否满足设计需求，证明产品在设计上具备预期的功能和性能；
型式试验实施主体：换流阀供应商。

特殊试验目的：确认换流阀的设计满足特殊工况的要求；特殊试验实施主体：除蒸发冷却系统可靠性验证试验由蒸发冷却系统提供单位完成外，其余由换流阀供应商完成。

例行试验目的：对出厂换流阀进行测试，验证其制造质量符合设计规范，确保产品性能参数的一致性和稳定性；例行试验实施主体：换流阀供应商。

表 1 试验项目

试验类型	试验项目	章条款	试品
型式试验-阀支架的绝缘试验	阀支架直流电压试验	6.1.3	阀支架
	阀支架交流电压试验	6.1.4	阀支架
	阀支架操作冲击试验	6.1.5	阀支架
	阀支架雷电冲击试验	6.1.6	阀支架
	阀支架陡波前冲击试验（适用时）	6.1.7	阀支架

型式试验-阀端子间的绝缘试验	阀交流-直流电压试验	6.2.3	阀或阀段
	阀交流-直流电压湿态试验	6.2.4	阀或阀段
型式试验-运行试验	最大连续运行负荷试验	6.3.4	阀或阀段
	最大暂态过负荷运行试验	6.3.5	阀或阀段
	最低直流电压试验	6.3.6	阀或阀段
	最高暂态过电压连续运行试验	6.3.7	阀或阀段
	IGBT 过电流关断试验	6.3.8	阀或阀段
	短路电流试验	6.3.9	阀或阀段
	阀抗电磁骚扰试验	6.3.10	阀或阀段
型式试验-蒸发冷却功能验证试验	泄漏验证试验	6.4.3	阀或阀段
	冷却能力验证试验	6.4.4	阀或阀段
特殊试验-旁路试验	故障旁路试验	7.2.1	子模块
	子模块过压短路试验	7.2.2	子模块
特殊试验-振动试验	公路运输振动模拟试验	7.3.1	子模块或阀段
	海上平台振动模拟试验	7.3.2	子模块或阀段
	阀段地震工况下的模拟试验	7.3.3	子模块或阀段
特殊试验-环境试验	湿热试验	7.4.1	子模块及阀塔上各类组部件
	霉菌试验	7.4.2	子模块及阀塔上各类组部件
	盐雾试验	7.4.3	子模块及阀塔上各类组部件
特殊试验-蒸发冷却系统可靠性验证试验	热性能测试	7.5.1	蒸发冷却设备
	热稳定测试	7.5.2	蒸发冷却设备
例行试验	外观检查	8.5.1	子模块、阀段
	联结检查	8.5.2	子模块、阀段
	均压回路检查	8.5.3	子模块
	控制、保护和监测回路检查	8.5.4	子模块
	电压耐受检查	8.5.5	子模块
	局部放电试验	8.5.6	子模块
	开通/关断检查	8.5.7	子模块
	蒸发冷却介质泄漏试验	8.5.8	蒸发冷却设备
	冷凝器冷凝介质压力试验	8.5.9	蒸发冷却设备
	子模块运行试验	8.5.10	子模块

6 型式试验

6.1 阀支架的绝缘试验

6.1.1 试验目的

试验的主要目的是：

- 检验阀支架、冷凝器、光导的绝缘和其它同阀支架相关的绝缘部件的电压耐受能力。如果存在阀支架外的对地绝缘，则需要附加的试验。
- 验证局部放电的起始电压和熄灭电压高于阀支架上出现的最高运行电压。

6.1.2 试品

用于试验的阀支架可以是一个有代表性的单独试品，包括阀的邻近阀支架的部件，或者是构成用于单阀或多重阀单元试验装置的部分。它应装配所有的辅助部件，并且正确体现相邻地电位面。根据试验目的，蒸发冷却介质应处于代表最严酷运行条件的状态。

如果一个单阀包含一个以上的阀支架结构，这样每个阀里就有一个以上的阀支架结构，则应证明试验覆盖到任一阀支架结构都承受的最严重的应力。

试品部件选取时需考虑冷凝器对阀支架绝缘试验的影响，如冷凝器布置在地电位，需考虑阀支架和冷凝器的绝缘。如冷凝器电位和阀内某子模块等电位，无需考核冷凝器和阀支架的绝缘，只需在多重阀单元的绝缘试验中进行验证。

6.1.3 阀支架的直流电压试验

试验应符合 GB/T 33348 中 7.3.1 规定的试验要求。

6.1.4 阀支架的交流电压试验

试验应符合 GB/T 33348 中 7.3.2 规定的试验要求。

6.1.5 阀支架的操作冲击试验

试验应符合 GB/T 33348 中 7.3.3 规定的试验要求。

6.1.6 阀支架的雷电冲击试验

试验应符合 GB/T 33348 中 7.3.4 规定的试验要求。

6.1.7 阀支架陡波前冲击试验

试验应符合 GB/T 33348 中 7.3.5 规定的试验要求。

6.2 阀端子间的绝缘试验

6.2.1 试验目的

试验是用来验证阀设计对直流、交流等相关电压的耐受特性。这些试验应证明：

- a) 在规定的试验条件下，局部放电在规定的限值内；
- b) 内部的均压回路具有足够的额定功率；
- c) 阀的电子电路符合预期。

需要注意，本条款所描述的试验，是基于为试验高压交流系统和部件开发的标准波形和标准试验方法。这种方式为工业化提供了很有利条件，因为它可将很多现有的高压试验技术移植到高压直流阀试验上。另一方面，必须承认，特殊的高压直流应用，可能导致实际波形不同于标准的波形，在此情况下，可改进试验以实际地反映预期的条件。

6.2.2 试品

试品应符合 GB/T 33348 中 9.2 节对试品的规定。

6.2.3 阀交流-直流电压试验

试验应符合 GB/T 33348 中 9.3.1 规定的试验要求。

为在试验考核时，试验试品能代表运行时的状态，蒸发冷却介质应考虑通过必要的方式使其处在气液两相态。

6.2.4 阀交流-直流电压湿态试验

如蒸发冷却柔性直流换流阀阀塔内部流经了水路对冷凝器进行冷却，则需要进行阀交流-直流电压湿态试验，试验用于验证换流阀在水冷管道发生漏水时的绝缘性能。

试验应在阀结构顶部的一个组件发生冷却水泄漏的情况下重复进行，泄漏量应不小于水冷系统设计的泄漏跳闸值，在施加试验电压时和在此之前至少 1h 内泄漏量应保持恒定，冷却水的电导率应比引发电导率报警定值高 5%。试验电压为阀端交流-直流电压试验规定的 3h 试验电压，试验时间为 5 min。

6.3 运行试验

6.3.1 试验目的

试验目的与 GB/T 33348 中 6.1 节相同。

6.3.2 试品

试验可在完整的阀或阀段上进行。主要根据阀的设计和试验设施的能力来选择。本条款中规定的试验对于含有 5 个或更多串联连接的阀级是有效的。如果对少于 5 个阀级的阀段进行试验，应就额外的试验安全因数达成一致意见。在任何情况下受试的串联连接的阀级数都不应少于 3 个。

受试的阀或阀段应与所有的辅助部件组装在一起。当要求时，应包括相应比例的阀避雷器。对于带有阀避雷器的阀，可包含成比例单元的阀避雷器。

蒸发冷却介质应处于代表性典型的运行工况，冷却系统应设置成试验所考虑的最不利状态，使得相应部件的温度等于实际运行中的温度。

6.3.3 试验回路

试验回路应符合 GB/T 33348 中 6.3 节的规定。

6.3.4 最大连续运行负荷试验

试验应符合 GB/T 33348 中 6.4 规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.5 最大暂态过负荷运行试验

试验应符合 GB/T 33348 中 6.5 规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.6 最低直流电压试验

试验应符合 GB/T 33348 中 6.6 规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.7 最高暂态过电压连续运行试验

试验应符合 GB/T 33348 中 6.7 规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.8 IGBT 过电流关断试验

试验应符合 GB/T 33348 中 10 节规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.9 短路电流试验

试验应符合 GB/T 33348 中 11 节规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.3.10 阀抗电磁骚扰试验

试验应符合 GB/T 33348 中 12 节规定的试验要求，同时观测蒸发冷却设备运行液位、运行压力等参数是否满足设计要求，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.4 蒸发冷却功能验证试验

6.4.1 试验目的

验证蒸发冷却设备的功能，确保蒸发冷却设备无蒸发冷却介质泄漏，冷却能力达到设计需求的性能。

6.4.2 试品

根据冷凝器布置方案确定试品，试品原则上需包含需要验证的完整的蒸发冷却设备。

6.4.3 泄漏验证试验

在阀支架的绝缘试验、阀端子间绝缘试验、运行试验中监测蒸发冷却运行时的液位及压力，试验结束后通过蒸发冷却设备静态液位变化确定蒸发冷却介质是否发生泄漏。

6.4.4 冷却能力验证试验

在运行试验的最大连续运行负荷试验、最大暂态过负荷运行试验、最高暂态过电压连续运行试验中对冷却能力进行验证，试验过程中蒸发冷却设备运行正常，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。

7 特殊试验

7.1 概述

根据工程需要，由买卖双方协商确定是否进行特殊试验。

7.2 旁路试验

7.2.1 故障旁路试验

7.2.1.1 试验目的

试验目的是为了考核在子模块故障发生到子模块被旁路期间，子模块的旁路开关能否及时有效触发，且该过程中各功率器件上电压电流最大值满足设计要求。

7.2.1.2 试品

按照试验目的，故障旁路验证旁路功能，旁路后需进行一段时间的运行试验确保旁路回路在正常运行，需在阀段上进行一台子模块的试验。

7.2.1.3 试验要求

试验应符合 GB/T 33348 中 13.3.1.3 节规定的试验要求。

7.2.2 子模块过压短路试验

7.2.2.1 试验目的

试验目的是为了验证换流阀除旁路开关以外的其它旁路措施安全有效，能保证子模块在没有控制的情况下过压后形成长期可靠短路状态。在可靠短路状态下，蒸发冷却设备运行不受影响。

7.2.2.2 试品

试品为子模块。

7.2.2.3 试验要求

试验可通过将试品子模块的旁路开关设置为“拒动状态”进行模拟，对子模块进行持续加压，直至子模块呈现可靠短路状态。

7.3 振动试验

7.3.1 公路运输振动模拟试验

7.3.1.1 试验目的

验证所设计子模块或阀段在运输工况下的耐受能力。

7.3.1.2 试品

应按照实际运输方式选择子模块或阀段、蒸发冷却设备试品。

7.3.1.3 试验要求

试验参照 GJB 150.16A 中的要求开展，振动环境频谱如下表所示，公路运输试验过程每 1600km 持续时间为 60min，具体试验参数由运输距离确定。

表 2 振动环境频谱

高速公路卡车振动环境					
垂向		横向		纵向	
Hz	g^2/Hz	Hz	g^2/Hz	Hz	g^2/Hz
10	0.01500	10	0.00013	10	0.00650
40	0.01500	20	0.00065	20	0.00650
500	0.00015	30	0.00065	120	0.00020
1.04 g_{rms}		78	0.00002	121	0.00300
		79	0.00019	200	0.00300
		120	0.00019	240	0.00150
		500	0.00001	340	0.00003
		0.204 g_{rms}		500	0.00015

7.3.2 海上平台振动模拟试验

7.3.2.1 试验目的

验证所设计子模块或阀段在海上运输及海上平台振动工况下的耐受能力。

7.3.2.2 试品

应按照实际安装方式选择子模块或阀段、蒸发冷却设备试品。

7.3.2.3 试验要求

振动试验台的尺寸应适宜并具有足够的强度、刚度和承载能力，能产生单轴向的振动，并能在预定频率范围内产生连续变化的振幅。

试验台采用闭环控制系统，可根据试样和振动试验系统的特性进行自动补偿，在要求的试件位置上产生所要求的振动量值，并满足标准允差。

提取换流阀安装的海上平台在运输和运行过程中振动加速度，以此为依据对阀塔进行随机振动计算，提取出换流阀阀段和蒸发冷却设备的响应曲线，作为模拟换流阀阀段和蒸发冷却设备运输和运行过程试验的输入条件，对阀段和蒸发冷却设备进行振动试验。

7.3.3 阀段地震工况下的模拟试验

7.3.3.1 试验目的

验证所设计子模块或阀段在地震工况下的耐受能力。

7.3.3.2 试品

应按照实际安装方式选择子模块或阀段、蒸发冷却设备试品。

7.3.3.3 试验要求

试验参照 GB/T 42558.2 中的要求开展。具体试验参数由设备安装地的抗震等级确定。

7.4 环境试验

7.4.1 湿热试验

7.4.1.1 试验目的

验证交变湿热环境对子模块及阀塔上其他各类组部件的影响。

7.4.1.2 试品

应包含子模块及阀塔上其他各类组部件。

7.4.1.3 试验要求

试验参照 GB/T 2423.4 中的要求开展。

试验参数：高温不低于 55℃、低温不高于 25℃，循环次数 6 次。

7.4.2 霉菌试验

7.4.2.1 试验目的

验证所设计子模块及阀塔上其他各类组部件在霉菌生长条件下是否长霉, 评定试样的长霉程度及对试样的机械、电气性能的影响。

7.4.2.2 试品

应包含子模块及阀塔上其他各类组部件。

7.4.2.3 试验要求

试验参照 GB/T 2423.16 中的要求开展。

试验按照严酷等级 1 执行。

7.4.3 盐雾试验

7.4.3.1 试验目的

验证所设计子模块或阀段在短时暴露在盐雾环境下的有效性, 测定试品在短时盐雾环境下, 盐的沉积物对装备的物理及电气性能的影响。

7.4.3.2 试品

应包含子模块及阀塔上其他各类组部件。

7.4.3.3 试验要求

试验参照 GB/T 2423.17 中的要求开展。

试验时间持续 48h。

7.5 蒸发冷却系统可靠性验证试验

7.5.1 热性能测试

7.5.1.1 试验目的

对蒸发冷却设备的冷却性能进行验证, 确保蒸发冷却设备满足柔直换流阀的散热需求。

7.5.1.2 试品

根据换流阀蒸发冷却设备的设计方案选取蒸发冷却的最小单元, 蒸发冷却设备需与实际设计完全一致, 被冷却的器件采用同样尺寸的加热块替代, 以模拟需要冷却的功率半导体器件。

7.5.1.3 试验要求

试验过程中需要模拟不同环境温度下, 施加 1.1 倍实际工程的发热功率并对表贴式散热器表面温度进行测试, 具体试验方案根据换流阀应用时的具体工况确定。试验过程表贴式散热器表面温度小于等于设计值, 同时表贴式散热器表面最大温差不大于 6K。

7.5.2 热稳定测试

7.5.2.1 试验目的

对蒸发冷却设备的热稳定进行验证, 验证蒸发冷却设备长期运行的可靠性。

7.5.2.2 试品

根据换流阀蒸发冷却设备的设计方案选取蒸发冷却的最小单元,蒸发冷却设备需与实际设计完全一致,被冷却的器件采用同样尺寸的加热块替代,以模拟需要冷却的功率半导体器件。

7.5.2.3 试验要求

试验过程中施加实际工程的发热功率并对表贴式散热器表面温度进行测试,同时检测蒸发冷却设备的运行压力、液位等参数,持续时间不少于 168h,具体试验方案根据换流阀应用时的具体工况确定。试验过程中蒸发冷却设备的运行压力、液位、表贴式散热器表面温度应在正常设计参数内且能保持稳定。

8 例行试验

8.1 概述

本章包括阀、阀段或构成其保护、控制和监测的辅助电路的部件的组件试验。本章不包括阀、阀支架和阀结构中使用的单个部件的试验。

8.2 试验目的

例行试验的目的是为了通过验证下述几种情况,来证明制造的正确性:

- 阀中所用的所有部件和组件已按照设计正确安装;
- 阀设备的预期功能和参数在规定的验收范围内;
- 阀段和 IGBT-二极管对级(视情况而定)具有足够的电压耐受能力;
- 实现了产品的一致性和均匀性。

8.3 试品

为工程所制造的所有阀段或其部件都应该经过例行的产品试验。试验应在阀段或单独阀级上进行,视设计和试验条件而定。

8.4 试验要求

例行试验应把阀及其部件特殊设计的性能考虑在内,延伸到在组装前进行试验的部件,以及特殊的制造规程和涉及的工艺。本章仅给出例行试验的目的。

8.5 中列出了例行试验的最低要求。列出的试验顺序既不代表其重要性的排序也不代表应进行试验的顺序。

注:在某些情况下,除例行试验外,需进行完整组装产品的抽样试验,例如当生产过程作了调整。这样的试验的种类或范围需要逐项协商。

8.5 试验项目

8.5.1 外观检查

检查所有材料和部件是完好的且安装正确。

8.5.2 联结检查

检查所有主要的载流联结正确。

8.5.3 均压回路检查

检查均压回路的参数，从而确认施加上直流或冲击波形的电压时（若适用），电压在串联的阀级上的分配是正确的。

8.5.4 控制、保护和监测回路检查

检查组成阀的主要部分的控制、保护和监测回路的功能，如 IGBT 门极驱动电路和任何本地保护或监测回路。

如果有必要进行型式试验和熔断保护的有效性试验，应该单独对试验条件进行详细说明。

8.5.5 电压耐受检查

检验阀部件能耐受对阀规定的最高电压。

8.5.6 局部放电试验

为了检验生产正确，需要进行适当的局部放电试验。

8.5.7 开通/关断检查

检查每个阀级中 IGBT 按照开关命令正确地开通和关断。

8.5.8 蒸发冷却介质泄漏试验

利用检漏仪或者气密性测试手段检查蒸发冷却介质是否有泄漏风险。

8.5.9 冷凝器耐压试验

检查冷凝器是否出现二次冷却液泄漏（仅适用于采用液体冷却冷凝器的阀）。耐压试验中施加液压应不小于设计压力的 1.2 倍，试验持续时间应不低于 30 min。

8.5.10 子模块运行试验

为检验生产正确性，需进行子模块运行试验，相关试验项目及参数参见 6.3。

附录 A
(资料性)
蒸发冷却柔性直流换流阀

柔性直流换流阀拓扑结构（见图 A.1）。其中，单个阀一般由三相、六桥臂组成，每个桥臂由阀组件及桥臂电抗器组成，每个阀由若干个阀塔串联组成，每个阀塔一般分层布置有多个阀组件，每个阀组件由多个模块化多电平换流器子模块串联组成。

模块化多电平换流器子模块为最小换流电路单元，由全控型开关器件、直流电容器等构成。模块化多电平换流器子模块有半桥式、全桥式等拓扑结构形式，模块化多电平换流器子模块的典型拓扑结构如图 A.1 所示。

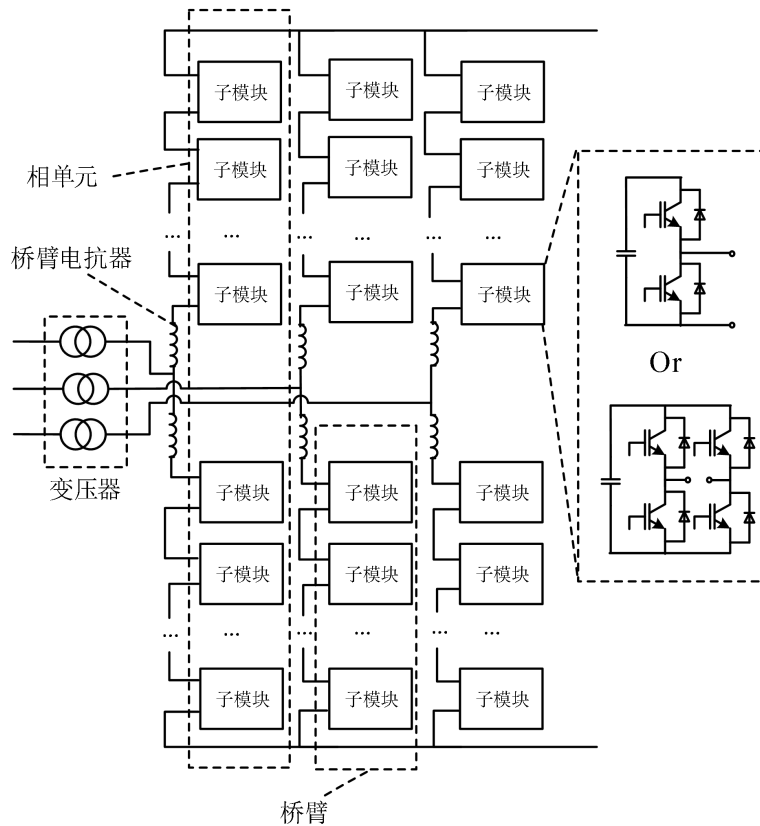
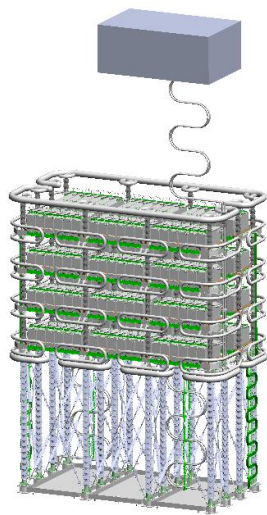


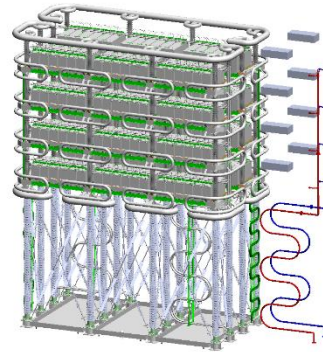
图 A.1 柔性直流换流阀拓扑结构

蒸发冷却技术应用于柔性直流换流阀有 4 种配置方案，即将单个阀塔、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。

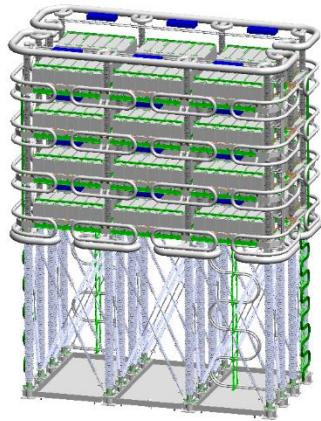
四种方案的系统布置如下图所示。



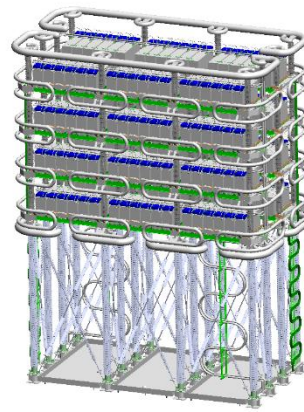
a) 阀塔级蒸发冷却系统布置



b) 阀层级蒸发冷却系统布置



c) 阀段级蒸发冷却系统布置



d) 子模块级蒸发冷却系统布置

图 A.2 蒸发冷却系统在换流阀中的配置方案

索 引

L

冷凝器.....3.3

Z

蒸发冷却.....3.1

蒸发冷却介质.....3.2

