ICS 35.200
CCS L 60

团 体 标 准

T/GCC 2006—2026

数据中心两相冷板式液冷系统技术要求和测试方法

Technical requirements and test Methods for two-phase cold plate liquid cooling systems in data centers

2026-10-17 发布 2026-10-17 实施

全球计算联盟 发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版，影印件，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可于发布机构获取。

目　　次

前　　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 缩略语 2
5 系统组成及要求 3
5.1 系统架构 3
5.2 数据中心基础设施要求 3
5.3 系统设计技术要求 4
5.4 部件通用技术要求 4
6 子系统技术要求 4
6.1 相变工质技术要求 4
6.2 相变冷板技术要求 4
6.3 manifold 组件及其它附属技术要求 5
6.4 流体连接器技术要求 5
6.5 CDU 技术要求 5
6.6 循环泵技术要求 5
7 系统监控要求 6
8 系统运维要求 6
9 测试方法 6
9.1 通用要求 6
9.2 相变工质测试方法 7
9.3 相变冷板测试方法 7
9.4 manifold 及管路测试方法 8
9.5 流体连接器测试方法 8
9.6 CDU 测试方法 9
9.7 循环泵测试方法 9

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。

本文件由中兴通讯股份有限公司提出。

本文件由全球计算联盟归口。

本文件起草单位：深圳市中兴软件有限责任公司、中国信息通信研究院、北京空间飞行器总体设计部、浙江芯寒智能科技有限公司、华为技术有限公司、雷洛高科（北京）科技有限责任公司、诺通(苏州)流体系统科技有限公司、中航光电科技股份有限公司、常州贺斯特科技股份有限公司、新华三技术有限公司、北京航空航天大学、航源光热（北京）科技有限公司、杭州银蛇驱动技术有限公司、上海蓝科电气有限公司、清华大学、南京利德东方橡塑科技有限公司、山东大学、电子科技大学、锐捷网络股份有限公司、英业达股份有限公司、软通计算机有限公司、武汉长江计算科技有限公司。

本文件主要起草人：陶成、王亚龙、刘帆、段凯文、李崇、孙涛、秦蓁、高发华、李昭、郑善伟、袁振涛、方兴、袁卫星、任柯先、陈立波、刘鑫宁、谢丽娜、葛舟、马丹军、蒋正顺、苗学周、范皓龙、朱冰、黄胜利、石浩然、苗华、袁鹏、王亮燕、宋亚平、于泽庭、徐永田、郭利文、邹见效、高艺萍、庄保堂、季懿栋。

数据中心两相冷板式液冷系统技术要求和测试方法

1 范围

本文件规定了数据中心两相冷板式液冷系统的系统组成及要求、子系统技术要求、系统监控要求、系统运维要求及测试方法。

本文件适用于数据中心两相冷板式液冷系统的设计、生产、部署、运维及测试。

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。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 50174 数据中心设计规范

GB 50274 制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范

YD/T 3980-2021 数据中心冷板式液冷服务器系统技术要求和测试方法

YD/T 3982 数据中心液冷系统冷却液技术要求和测试方法

YD/T 4024 数据中心液冷服务器系统总体技术要求和测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 液冷 liquid cooling

一种采用冷却流体带走发热器件热量的数据中心散热技术，适用于需提高计算能力、能源效率、部署密度等应用场景。

[来源：YD/T 3980-2021，术语和定义3.1.1，有修改]

3.2

冷板式液冷 cold plate liquid cooling

通过冷板（通常为铜铝等导热金属构成的封闭腔体）将发热器件的热量间接传递给封闭在循环管路中的冷却流体，通过冷却流体将热量带走的一种散热技术。

[来源：YD/T 3980-2021，术语和定义3.1.2，有修改]

3.3

两相冷板式液冷 two-phase cold plate liquid cooling

冷却液在冷板内通过相变吸热实现散热的冷板式液冷技术。

3.4

液冷机柜 Liquid cooling cabinet
提供冷却流体进出，针对电子设备进行冷却的装置。
[来源：YD/T 3980-2021，术语和定义3.1.3，有修改]

3.5

相变冷板 phase change cold plate
安装在发热器件表面，带有内部流体通道，使相变工质吸热发生相变的紧凑型换热器。

3.6

分流歧管 manifold
安装在液冷机柜内，用于向机柜内各节点的冷板分配与汇集相变工质的流量分配装置。

3.7

流体连接器 fluid connector
用于流体管路中，可在带压状态下完成连接和断开，并具备自动密封功能的连接器件，用于液冷回路中实现设备与管路的便捷拆装。

3.8

相变工质 phase change working medium
在设备正常工作温度与压力范围内可发生气液相变，实现热量传递的冷却流体。

3.9

蒸发温度 evaporation temperature
某一压力下冷却工质由液态转变为气态时对应的饱和温度。

3.10

冷凝温度 condensing temperature
某一压力下冷却工质由气态转变为液态时对应的饱和温度。

3.11

过冷度 subcooling degree
工质实际温度低于该压力下饱和冷凝温度的差值。

3.12

干度 dryness
汽液混合物中，气体质量占总质量的比例。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。
CDU -- 冷量分配单元（Coolant Distribution Unit）
GWP -- 全球变暖潜能值 （Global Warming Potential）

MSDS -- 化学品安全说明书（Material Safety Data Sheet）
MTBF -- 平均无故障运行时间（Mean Time Between Failures）
NPSHa -- 系统可用汽蚀余量（Net Positive Suction Head Available）
NPSHr -- 泵必需汽蚀余量（Net Positive Suction Head Required）
ODP -- 臭氧消耗潜能值（Ozone Depletion Potential）

5 系统组成及要求

5.1 系统架构

如图 1，两相冷板式液冷系统主要包含室外冷源、CDU、液冷机柜三部分。子系统包括相变工质、相变冷板、manifold 组件及其它附属、流体连接器、CDU、循环泵。相变工质在液冷机柜内通过相变冷板吸收热量后，温度升高至蒸发温度，发生相变转变为汽液两相态，通过管路流入 CDU，在 CDU 内部和一次侧循环冷却液换热，工质在冷凝温度下释放热量后冷凝为过冷态，重新进入液冷机柜，循环往复。

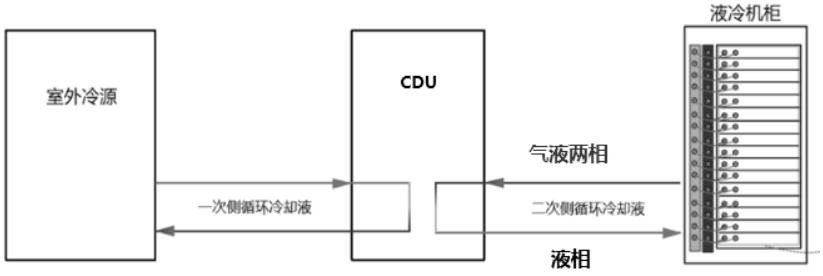

图 1 两相冷板式液冷系统架构图

两相冷板式液冷系统可与现有数据中心单相冷板式液冷系统架构共存，其中二次侧系统和 CDU 各自独立，一次侧系统（包括管网）和空调系统可共用，具体设计需要考虑实际产品配置和需求。

本标准所定义及介绍的子系统及核心部件，特指参与机柜内及 CDU 内相变循环的关键设备单元。室外冷源及连接各主设备的外部管路系统作为系统外围配套设施，其技术要求按相关通用标准执行，不纳入本标准的子系统定义及介绍范围。

5.2 数据中心基础设施要求

采用两相冷板液冷系统的数据中心基础设施设计，除应符合现行国家标准 GB 50174《数据中心设计规范》的相关规定外，尚应符合下列规定：

a) 相变工质的管理应符合 YD/T 4024《数据中心液冷服务器系统总体技术要求和测试方法》的相关规定，不应直接排放。机房应配备工质充注及回收装置；

b) 对于采用两相冷板液冷系统的数据中心主机房及其他使用、存储相变工质的区域，其消防设计应依据相变工质的化学品安全说明书（MSDS）要求执行；

c) 数据中心通风散热系统除应满足基本温湿度要求，还应设置检测相变工质蒸汽浓度装置，满足人员安全要求，同时可配置漏点排查；

d) 建筑和结构应考虑单相冷板式/两相冷板式液冷机柜之间的功能关系及合理的工艺流程和走线要求，使其便利、顺畅、便于使用和维护管理；

e）两相冷板式液冷系统和单相冷板式液冷系统在同一数据中心共存时，应结合 CDU 的布置方案划分好各自区域，便于二次侧的管路布置、施工和维护；

f）相变工质具有较强的挥发性，液冷循环回路需做好密闭处理。

5.3 系统设计技术要求

两相冷板式液冷系统设计应遵循以下基本要求：

a）供液流量、出口干度的设计应兼顾相变冷板散热需求和系统节能效果；

b）两相冷板液冷系统设计应适应节点功耗波动，确保各支路流量稳定均匀；

c）系统应保证泵前过冷度稳定，NPSHa 应大于 NPSHr，防止气蚀，NPSHr 要求具体值见 6.6；

d）两相冷板系统宜设计补液装置，在系统充液量较低时，可自动补液；

e）相变工质应具备高潜热值、高绝缘、环保、低毒等特性；

f）系统设计应便于单独维护机柜，互不影响。

5.4 部件通用技术要求

两相冷板式液冷系统各部件应遵循以下通用技术要求：

a）承压要求：系统所有承压部件的试验压力均应不低于设计压力的 1.5 倍，同时其爆破压力不应低于系统工作压力的 3 倍；

b）材料相容性要求：所有与相变工质接触的管路、密封件、泵、冷板、CDU、连接器等接液材料均应与相变工质相容，不应出现腐蚀、溶胀、老化等现象；

c）密封性与泄漏率要求：系统回路应密闭可靠；整机泄漏率应根据机房安全、工质消耗与运维周期确定；关键部件在工作压力下的泄漏率不应高于 $1\times10\text{-}6Pam^3/s$；

d）工质与系统预处理要求：工质充注前，系统应完成冲洗、干燥、保压、吹扫、抽真空，排除系统内残留的不凝气体与颗粒物。真空处理宜满足 GB 50274 的相关要求；

e）流量分配要求：分流歧管、管路、冷板等并联支路应通过流阻匹配设计，保证流量分配均匀；

f）结构设计及流阻要求：系统应减少突变流道、弯头数量，降低流动阻力，避免气堵与流量波动。

6 子系统技术要求

6.1 相变工质技术要求

相变工质应满足以下技术要求：

a）在系统工作温度范围内，饱和蒸汽压力不宜超过1.5MPa；

b）应具备良好的热物性：包括较大的潜热值、气体密度，满足系统管路与泵功耗优化要求；

c）在系统工作温度范围内，压力温度特性应平稳，不应因压力剧烈波动导致节点温度偏差过大；

d）相变工质应有良好的环境适应能力，在系统工作温度范围内，物理化学性能应保持稳定，满足数据中心长期可靠运行要求；

e）相变工质应具备良好的电气绝缘性能、低毒性、环保性能等。介电参数（介电强度、体电阻系数、介电常数）、GWP及ODP等技术指标宜符合YD/T 3982的相关要求。

6.2 相变冷板技术要求

相变冷板应满足以下技术要求：

a）多块冷板串联时，应保证首块冷板充分相变换热；并联时，应通过流阻均匀设计，满足散热需求；

b）流道结构应降低两相沸腾区的流动阻力，避免热负荷变化引起支路流量大幅度波动，影响芯片控温；

c）宜采用多孔纳米结构、仿生结构、针状结构、歧管结构等强化气化核心结构的设计；

d）出口流道的截面积宜大于进口，同时可考虑采用气液分离、设置蒸汽专用通道措施防止气堵；

e）两相冷板可在进口设计恒流量装置，避免部分发热器件未运行时导致流量分配恶化。

6.3 manifold 组件及其它附属技术要求

manifold 组件及其它附属应满足以下技术要求：

a）机柜内两相分流歧管顶部应增加接口用于充注前抽真空、工质充注、工质回收等用途，回收工质用接口宜设置于分流歧管底部位置；

b）分流歧管各部分结构设计应考虑相变工质气液状态变化，确保流速合理、流动阻力可控，同时应满足流量分配均匀性要求：

c）管路的流向应有标记，便于识别进液和出气；

d）CDU与机柜之间的分流管网应设置切断阀，在特殊情况下切断液冷系统。同时应设置接口用于充注前冲洗、氮气吹扫、抽真空、工质充注、工质回收等用途，接口设置位置应便于操作。

6.4 流体连接器技术要求

流体连接器应满足以下技术要求：

a）应满足系统最大工作压力下的带压插拔能力；

b）密封结构设计应满足两相态流速下的长期可靠、密封要求；

c）应符合人体工学和系统安全；

d）流体连接器寿命应满足产品生命周期内的维护要求，宜不低于实际插拔次数的1.5倍。

6.5 CDU 技术要求

CDU是两相冷板式液冷系统的控制核心，应满足以下技术要求：

a）泵应实现零泄漏、高可靠、长寿命运行；

b）应具备良好的抗气蚀能力，满足两相液冷系统稳定运行要求；

c）接液材质应与相变工质相容；

d）应设置储液罐，用于工质储存与容积补偿；容积应按极端工况汽液容积确定，储液罐宜可拆卸；

e）应设置带手动切断阀的安全阀，安全阀宜设于储液罐顶部；

f）应设置抽真空、工质充注及回收接口，接口位置应便于操作；

g）应配备补液罐，补液罐与储液罐间管路应设置阀门，支持在线补液；

h）应设置旁通回路与纯化模块，具备除酸、除水功能；

i）应配置串联全滤型过滤器，过滤精度不宜低于 50 μm；

j）可配备回热器，提升系统换热效率；

k）应配置低阻力流量传感器，满足额定工况使用要求；

l）循环泵宜布置在储液罐下方，降低气蚀风险。

6.6 循环泵技术要求

循环泵是两相冷板式液冷系统的核心动力部件，应满足以下技术要求：

a) 泵型与密封要求：满足工质在其工作压力下零泄漏的泵，包括屏蔽泵、磁力泵、电机内置泵等。泵的密封系统应能适应系统工作压力及真空状态；

b) 气蚀性能要求：两相泵应具备优良的抗气蚀性能，在系统设计允许的干度范围内，应能稳定运行，不发生性能陡降或汽蚀损坏。NPSHr 应低 NPSHa，并留有足够安全裕度，宜满足 NPSHr＜4m；

c) 材料相容性要求：所有与相变工质接触的泵体部件（如叶轮、泵壳、轴、密封件等）材料，应与所用相变工质具有良好的化学相容性，不发生腐蚀、溶胀、老化等现象；

d) 流量-扬程特性要求：泵的流量-扬程（Q-H）曲线应适应系统在两相流动下的阻力特性变化，能在设计流量范围内提供稳定扬程，满足过载要求；

e) 控制系统与保护功能：泵宜具备过载保护、堵转保护、空转保护、过温保护、过欠压保护等功能。宜支持无极变频调速，适应系统负荷变化，实现节能运行。泵的运行状态（如转速、电流、温度）宜能接入系统监控；

f) 可靠性要求：在额定工况下，泵的 MTBF 应满足系统寿命要求。轴承或磁力耦合系统等关键部件应具备长寿命设计。

7 系统监控要求

系统监控应满足以下要求：

a）液冷系统宜考虑对系统运行温度、压力、流量等数据进行监控，传感器的选型应满足在真空和高压工况；

b）应配备漏液检测装置，实时监控系统泄漏量是否异常，并对泄漏时的漏点定位；

c）应对泵前过冷度重点监控，防止泵气蚀；

d）温度、压力、流量、过冷度等关键参数应设置告警值阈值和告警策略。

8 系统运维要求

两相冷板式液冷系统运维应符合下列要求：

a）应支持单柜独立维护，维护操作不应影响其他机柜及其他类型液冷系统；

b）维护时应佩戴防护手套，防止低温冻伤；

c）工质回收与充注应采用专用设备，严防空气进入系统，减少工质向环境排放；

d）使用氟化液时，应按要求佩戴化学防护用品；大面积接触风险时应穿戴化学防护服；

e）应定期检查系统液位及管路连接部位密封性。

9 测试方法

9.1 通用要求

9.1.1 测温元件要求

测温元件布置应遵循如下要求：

a)测温元件宜采用热电偶、热电阻等，测温元件应经过检定并合格，在试验温度范围内其误差不宜大于0.5℃，测温元件的尺寸应与试件上的测点相适应；

b)测温元件应通过粘贴或镶嵌方式与壳体外表面紧密接触，测温元件引线引出前，应保持一段等温段；

c)隔热材料外表面应布置适量测温点，监测漏热情况。

9.1.2 压力传感器技术要求

压力传感器应遵循如下要求：

a）压力传感器宜采用压阻式或电容式压力变送器等，应经过检定并合格，在试验压力范围内其误差不宜大于满量程的0.5%FS，传感器的量程、安装尺寸应与试验台的测点工况相适应；

b）压力传感器应通过标准螺纹接口与管路壁面紧密连接，安装前应清理接口螺纹异物，确保无泄漏。在两相流管路中固定压力传感器时，传感器应避免直接正对流体冲击与气液两相脉动，宜设置缓冲或阻尼结构，必要时安装引压管；

c）应在管路、蒸发器、冷凝器、泵等部件进出口布置测压点，用于实时监测系统工作压力或压降，为产品流阻评估提供数据。

9.1.3 流量计技术要求

流量计应遵循如下要求：

a）流量计应根据被测介质特性选用电磁流量计、质量流量计、涡街流量计等类型，应经过检定并合格，在试验流量范围内其误差应满足测试要求，流量计的量程、接口尺寸应与试验台的测点工况相适应；

b）流量计应安装在上下游有足够直管段的位置，确保流体流动稳定。

c）应在系统关键位置（如泵出口、蒸发器入口、冷凝器出口等）布置流量测点，用于监测系统流量分配及热平衡计算。

9.1.4 试验装置要求

9.1.4.1 工质状态模拟试验装置

工质状态模拟试验装置的组成及要求如下：

a）装置由两相CDU、模拟热源及压力、温度、流量等测量仪表等组成，应经出厂检验合格；装置的流量调节范围、温度控制范围、接口规格应与试验工况相匹配；

b）装置应采用标准管路接口与试验台可靠连接，接口应选用防泄漏密封结构；运行时管路及换热器外表面应采取保温隔热措施，防止结露与冷量损失，保温层外表面温度不应低于环境露点温度；

c）装置应具备温度、压力、流量、加热功率等参数监测与联锁保护功能；宜在回路进出口、循环泵出口及关键管段合理布置测点，用于监控运行状态、计算漏热量，确保在两相流工况下长期稳定运行。

9.1.4.2 低温冷源模拟装置

低温冷源模拟装置的组成及要求如下：

a）低温冷源模拟装置由压缩机制冷系统及压力、温度、流量等测量仪表组成，装置应经过出厂检验并合格，装置的制冷量、流量及接口规格应与试验台的温区需求相适应；

b）低温冷源模拟装置应通过标准管路接口与冷凝器进出接口相连，防止介质泄漏。装置运行时，低温管路及换热器表面应做保温隔热处理，防止结露，保温层外表面温度不应低于环境露点温度。

9.1.5 测试仪器要求

测试仪表应经校准且在有效期内，精度应满足测试要求。

9.1.6 温度记录要求

工作温度的测试应遵循如下要求：当产品达到稳定工作状态后，开始进行测量；记录产品各测点温度数据。

9.2 相变工质测试方法

相变工质宜参考单相液冷相关方法进行基本物理性能测试、环保安全性测试、稳定性测试、材料兼容性测试。

9.3 相变冷板测试方法

9.3.1 概述

两相冷板应进行换热性能测试、耐压测试、气密性测试、流动阻力测试。其中耐压、气密性测试按照单相液冷相关测试方法执行；换热性能、流动阻力测试按本文件规定执行。

9.3.2 测试装置

两相冷板测试应采用工质状态模拟试验装置与假负载模拟装置。假负载模拟装置应满足下列要求：

a）应能模拟服务器芯片的外形尺寸、安装形式与热耗特性，输出稳定可控加热功率，满足两相冷板换热性能测试要求；

b）应内置高精度温度传感器，可准确测量模拟芯片壳体温度；

c）模拟芯片壳体与冷板接触面之间，应采用指定品牌型号或同等性能的界面材料，并按规定工艺涂覆，保证界面接触良好；

d）应能配合回路工况，使冷板（蒸发器）出口达到设定干度，满足不同工况下热阻、流阻测试需求；

e）应具备稳定控功率、控温功能，通过测量冷板进出口温度、模拟芯片壳体温度，可准确计算冷板热阻；

f）应能测量冷板进出口压差，用于获取蒸发器（冷板）在两相工况下的流动阻力；

g）测试时应对冷板及假负载周边采取保温隔热措施，减少环境散热影响，保证测试数据准确可靠；

h）应具备温度、压力、流量、功率监测及联锁保护功能，确保在两相流工况下长期稳定运行。

9.3.2 换热性能测试

在设计工况范围内，设置不同流量、工质温度、压力及出口干度，测试冷板的换热性能。

通过测量模拟芯片壳体温度、冷板进出口温度、加热功率、工质物性参数计算冷板热阻，测试结果应满足产品技术要求。

9.3.3 流动阻力测试

在设计工况范围内，设置不同流量、工质温度、压力及出口干度，测量冷板进出口压差，得到两相工况下的流动阻力，测试结果应满足产品技术要求。

9.4 manifold及管路测试方法

分流歧管及管路应进行流量分配均匀性测试、耐压测试、气密性测试。其中，耐压、气密性测试按照单相液冷相关测试方法执行；流量分配均匀性测试按以下规定执行。

a）测试装置：采用工质状态模拟试验装置。

b）测试项目：在设计流量范围内，测试不同流量、不同工质温度、不同干度工况下，分流歧管各支路的流量分配均匀性，计算最大流量与最小流量的偏差，应满足技术要求。

c）测试条件及步骤参考两相流体连接器测试方法。

9.5 流体连接器测试方法

流体连接器测试项目包括流阻测试、耐压测试、插拔测试、漏率测试。其中，耐压、插拔、漏率测试按单相液冷相关测试方法执行；流阻测试按本文件规定执行。

a）测试装置：采用工质状态模拟试验装置。

b）测试项目：在设计流量范围内，测试连接器在不同流量、不同工质温度、不同出口干度（0~1）的两相工况下的流动阻力。

c）测试条件：应在产品设计流量范围内选取至少 3 组流量点，每组流量下设置至少5种干度工况，工质温度覆盖典型运行区间。

d）测试步骤：

1）将两相流体连接器安装于工质状态模拟试验装置的测试回路中；

2）启动装置，调节流量、温度、加热负荷，使回路达到设定的两相稳定工况；

3）待工况稳定后，测量连接器进出口压差、流量、温度、压力等参数；

4）计算得到该工况下两相流体连接器的流动阻力；

5）依次完成各流量、各干度、各温度工况测试，记录全部数据。

9.6 CDU 测试方法

9.6.1 概述

两相 CDU 除应进行泄漏率、耐压、气密性、电气安全等常规测试外，还应重点开展换热性能、两相控温、稳态/动态运行等测试。测试方法与要求如下：

9.6.2 测试前准备

测试前应完成以下准备工作：

a）检查CDU管路连接、电气接线及安全装置，确认连接可靠、无泄漏、无松动；

b）测试介质应与实际使用的相变工质一致，系统应充分排气、除气；

9.6.3 稳态换热与控温性能测试

测试要求如下：

a）将 CDU 接入工质状态模拟试验装置，设定额定流量、压力、温度及目标干度，系统稳定运行不少于 30min；

b）记录一次侧/二次侧进出口温度、压力、流量、加热量、泵输入功率等参数；

c）计算换热量、系统压降、控温精度；

d）稳态控温误差应不大于±0.5℃，流量波动应不大于设定值的±2%，满足两相回路稳定冷凝要求。

9.6.4 动态调节性能测试

测试要求如下：

a）开展不同热负荷、不同流量、不同温度试验，模拟数据中心典型变工况；

b）记录温度、压力、干度的响应曲线，测量稳定性；

c）系统应调节平稳、无振荡、无失控，关键参数满足设计控制指标。

9.6.5 两相储液器控温性能测试

测试要求如下：

a）对两相储液器进行液位、温度、压力联合控制试验；

b）在不同负荷与不同散热工况下，验证储液器控温精度、压力稳定能力、与容积补偿能力；

c）确保回路干度可控、无气蚀、无工质短缺或溢流，满足泵驱两相回路长期稳定运行。

9.6.6 安全与可靠性测试

测试要求如下：

a）进行超温、超压、低液位、断流、泵故障等保护试验，验证联锁动作准确可靠；

b）完成72h满负荷连续运行试验，系统应无泄漏、无异常振动/噪声、无故障报警；

c）绝缘电阻、接地连续性、电气安全应满足相关规范要求。

9.7 循环泵测试方法

循环泵是系统关键部件，应满足以下测试要求：

a）性能测试：测试不同转速下泵的流量-扬程曲线、效率曲线，验证其满足两相流设计工况要求；测试泵的必需汽蚀余量（NPSHr），验证其在系统最小过冷度工况下的抗气蚀能力；

b）耐压与气密性测试

1）耐压测试：以1.5倍设计工作压力对泵进行液压试验，保压时间不少于15分钟，无渗漏、无永久变形。

2）气密性测试：采用氦检或压降法，在最大工作压力下测试泵的泄漏率，应满足系统整体泄漏率要求。

c）材料相容性测试：将泵内与工质接触的典型材料样本，浸泡于相变工质中，在最高工作温度下进行加速老化试验，测试其质量、体积、硬度、抗拉强度等变化率，应满足相关标准要求（可参考YD/T 3982及行业通用方法）。

d）可靠性测试：

1）在额定工况及变工况条件下，进行不低于2000小时的持续运行试验，记录性能衰减情况，试验后泵的主要性能指标下降不应超过5%。

2）进行反复启停试验，验证其机械与电气可靠性。

e）保护功能测试：模拟过载、堵转、空转、过温、过欠压等异常工况，验证泵的保护功能是否及时、准确。