# 社　区　规　范

---

## CDU 通用测试规范（版本 V0.8）

## General Testing Specification for Coolant Distribution Unit (CDU)　(Version 0.8)


作者：

祁元龙、李继刚、韦隆和、黄焕文、韩义，华为数字能源技术有限公司

李书华、黄斯浩，深圳市英维克科技股份有限公司

刘永彬、郭杰，北京抖音信息服务有限公司

刘兴强，京东云计算有限公司

王舜，广东海悟科技有限公司

刘荣华，热控科技（深圳）有限公司

刘超、吴安兵，广州高澜创新科技有限公司

孙地、孙永才，广东申菱环境系统股份有限公司



全球计算联盟 Open AI Infra 社区

# 开放规范许可证（类型 A）

本许可证是本开放规范（本规范）贡献者与其使用者之间的法律协议。一旦使用本规范，即视为同意遵守本许可证条款。若不同意遵守本许可证，请勿使用本规范，否则可能构成侵权。若文档以压缩包（如“zip”文件）形式分发且包含本许可证，则该压缩包中的所有文件均受本许可证约束，除非另有明确排除条款。

**1．定义**

1.1 本许可证：是指本开放规范许可证(类型A)。除全球计算联盟外，其他主体无权对本许可证进行修改。

1.2 本规范：是指在本许可证下许可的设计材料或数字代码等信息，不论其置于任何载体上或以任何方式表达，例如示意图、机械图纸、流程图及说明性文字、电路或电路板布线图、集成电路布图设计（包括拓扑图/掩模作品）、元器件排列图及其他说明材料等。

1.3 符合产品：是指完全符合本规范中就对应产品形态所规定的所有规范性要求的产品。

1.4 贡献者：是指以明示或默示方式签署贡献者许可协议（类型 A），并参与开发本规范的主体。

1.5 被许可方：是指遵守本许可证，并实施(a)使用、复制、修改或分发本规范中的任一行为，或实施(b)制造或委托他人制造或分发硬件中任一行为的主体。

1.6 分发：是指通过任何媒介向第三方传输、发布、提供或以其他方式传递本规范的行为。

1.7 修改：是指对本规范进行改造、改编、翻译、组合等。

1.8 必要专利：是指在实施本规范中明确描述的技术或方法时必然会被使用的专利。

**2. 知识产权许可和不诉承诺**

2.1 著作权许可：在被许可方遵守本许可证所有条款和条件，特别是条款2.2的前提下，每个贡献者根据《贡献者许可协议（类型A）》授予被许可方永久的、全球性的、非独占的、免费的、免版税的著作权许可，以复制、创作衍生作品、公开展示、公开演示、再许可及分发本规范及其修改， 但仅限用于全球计算联盟的开放规范项目。

2.2 著作权许可条件

在遵从以下条件的前提下，被许可方才可以在任何媒介中复制、分发本规范和/或其修改：

2.2.1 被许可方必须向本规范的接收者提供本许可证的副本；

2.2.2 被许可方必须保留本规范的所有著作权、集成电路布图设计专有权、专利、商标及归属声明，但与本规范任何部分均无关的除外；

2.2.3 如被许可方对本规范进行修改并分发，被许可方必须向全球计算联盟提供修改说明及贡献修改后的文件。

2.3 专利不诉：在被许可方遵守本许可证所有条款和条件的前提下，每个贡献者根据《贡献者许可协议（类型A）》承诺不会使用其持有的必要专利，对被许可方制造、使用、销售、许诺销售、进口符合产品的行为，提起任何专利侵权诉讼或其他法律程序，但在本规范的排除通知中列出的专利除外。

2.4 专利不诉终止条款：因被许可方的主张终止：如果被许可方针对贡献者符合产品就必要专利提起专利侵权诉讼或其他法律行动，则贡献者根据本许可证向被许可方做出的所有授权、许可和承诺均被终止，除非该诉讼是对贡献者首先被诉的回应。

**3. 其他**

3.1 除上述第2条许可条款之外，本许可证不提供任何其他知识产权的授权。

3.2 免责声明：许可方按“原样”提供本规范，不提供任何明示或默示的担保，包括但不限于任何所有权、不侵权、质量合格、适销性、特定用途及适用性的担保。被许可方应自行对自身使用、复制、修改、分发本规范及其修改或制造、使用、销售、许诺销售、进口基于上述文件开发的产品的适当性进行判断，并全权承担与之相关的所有风险，以及行使本许可证授予被许可方的权利相关的其他所有风险。

3.3 责任限制：在任何情况下，无论基于任何法律依据，全球计算联盟及任何贡献者均不对被许可方因使用、复制、修改、分发规范及其修改或其中的贡献或制造、使用、销售、许诺销售、基于上述文件开发的产品而引发的任何损害，包括但不限于利润损失或任何形式的间接、附带、特殊或后果性损害赔偿责任，无论是基于违约、侵权（包括疏忽）或其他原因，也无论被损害方是否已被告知该等损害的可能性。

**4. 通用条款**

4.1 如果被许可方违反本许可证，则被许可方基于本许可证所获得的所有许可和承诺将自动终止，被许可方应立即删除并停止使用本规范及其修改。本许可证终止后，第3.2、3.3款继续有效。如被许可方基于本许可证所获得的许可和承诺按本款规定终止的，不影响从被许可方处取得副本或权利的下游接收者在本许可证下的授权。

4.2 法律适用：本许可证适用中国法律。

# 版本变更日志

| 版本号 | 版本描述 | 贡献者 |
| --- | --- | --- |
| V0.8 | 公开发布 | 如上 |
| | | |

# 目　　次

开放规范许可证（类型 A） ..... 1
版本变更日志 ..... 2
CDU 通用测试规范 ..... 6
1 范围 ..... 6
2 术语和定义 ..... 6
2.1 液冷 liquid cooling ..... 6
2.2 冷板 cold plate ..... 6
2.3 冷板式液冷 cold plate liquid cooling ..... 6
2.4 冷量分配单元 coolant distribution unit ..... 6
3 CDU 产品介绍 ..... 6
3.1 CDU 基本组成 ..... 6
3.2 CDU 组网形式 ..... 7
4 测试环境要求 ..... 8
4.1 单台 CDU 测试组网 ..... 8
4.2 CDU 群组环网测试组网 ..... 9
5 CDU 测试方法 ..... 9
5.1 结构强度测试 ..... 9
5.1.1 密封性测试 ..... 9
5.1.2 耐压测试 ..... 10
5.1.3 焊接工艺检测 ..... 10
5.2 单机性能测试 ..... 11
5.2.1 换热量测试 ..... 11
5.2.2 一次侧水温调节测试 ..... 11
5.2.3 额定水温二次侧负载突变测试 ..... 12
5.2.4 低水温二次侧负载突变测试 ..... 12
5.2.5 一次侧进水压力波动测试 ..... 12
5.2.6 整机输入谐波测试 ..... 13
5.2.7 整机噪声测试 ..... 13
5.2.8 工质液兼容性测试 ..... 13
5.2.9 二次侧供液能力边界测试 ..... 14

5.3 单机功能测试 ..... 14
5.3.1 自动排气阀排气功能 ..... 14
5.3.2 电源切换功能 ..... 15
5.3.3 本地/远程模式切换 ..... 15
5.3.4 二次侧系统补液功能 ..... 16
5.3.5 补液箱外置集中补液功能 ..... 17
5.3.6 变频器启停与自保持功能 ..... 17
5.3.7 变频器飞车启动功能 ..... 18
5.3.8 防凝露功能 ..... 18
5.3.9 漏液检测功能 ..... 19
5.3.10 一次侧阀门功能测试 ..... 19
5.3.11 循环泵及旁通阀调节功能 ..... 20
5.3.12 控制器故障自保持功能 ..... 21
5.3.13 二次侧流量自动调控功能测试 ..... 21
5.4 群控功能测试 ..... 22
5.4.1 设置参数自动同步测试 ..... 22
5.4.2 主机/从机手动切换测试 ..... 22
5.4.3 运行机/备机手动切换测试 ..... 23
5.4.4 备机轮巡切换测试 ..... 23
5.4.5 压差/流量模式切换测试 ..... 24
5.4.6 ATS 切换测试 ..... 24
5.4.7 CDU 循环泵故障测试-单泵机型 ..... 25
5.4.8 CDU 循环泵故障测试-多泵机型 ..... 25
5.4.9 供液温度超高告警测试 ..... 26
5.4.10 供液流量低告警测试 ..... 26
5.4.11 一次水阀故障测试 ..... 26
5.4.12 压力传感器故障测试 ..... 27
5.4.13 温度传感器故障测试 ..... 27
5.4.14 流量计故障测试 ..... 28
5.4.15 变频器温度超高告警测试 ..... 28
5.4.16 循环泵入口压力超低告警测试 ..... 28
5.4.17 控制器故障测试 ..... 29
5.4.18 群控断线测试 ..... 29
5.4.19 整机掉电测试 ..... 30

5.4.20 冷备/热备模式切换测试 ..... 30
5.4.21 群组补液功能测试 ..... 31
5.5 维护测试 ..... 31
5.5.1 一次侧过滤器在线维护 ..... 31
5.5.2 二次侧过滤器在线维护 ..... 32
5.5.3 自动排气阀在线维护 ..... 32
5.6 安规测试 ..... 32
5.6.1 接地电阻测试 ..... 32
5.6.2 绝缘阻抗测试 ..... 33
5.6.3 绝缘耐压测试 ..... 33
附录 A ..... 34
A.1 测试项目矩阵 ..... 34
参考文献 ..... 36

# CDU 通用测试规范

## 1 范围

本文件规定了数据中心冷板式液冷系统用冷量分配单元（CDU）的测试环境、方法和合格标准，包括结构强度测试、单机性能/功能测试、群控/环网功能测试、维护操作测试和安规测试。

本规范用于指导CDU产品的标准符合性评估测试，也可用于其他测试类型的参考（如CDU制造商内部的型式检验、生产检验，以及用户侧的厂验测试、现场验收测试等），具体可参见附录A.1。

## 2 术语和定义

### 2.1 液冷 liquid cooling

液冷是一种采用液体带走发热器件热量的散热技术。

### 2.2 冷板 cold plate

以冷却工质为媒介，实现发热器件热量交换的紧凑型换热器。

### 2.3 冷板式液冷 cold plate liquid cooling

由冷板接触发热器件，以液体作为冷却工质，通过冷板腔体内冷却工质流动带走器件发出热量，并通过管路及相关设备实现冷却工质在冷板与冷量分配单元之间循环运行，从而将器件所发热量从电子信息设备内导出的液冷技术。

### 2.4 冷量分配单元 coolant distribution unit

由换热器、循环泵、稳压装置、补液装置、控制系统等组成，其功能是驱动二次侧管路系统，将IT设备的热量通过冷量分配单元内置的换热器传至冷源系统，同时具备温度、压力、流量、防凝露控制、一二次侧液体隔离等功能。

## 3 CDU 产品介绍

### 3.1 CDU 基本组成

液冷CDU一般由板式换热器、循环泵、自动调节阀、定压补液装置及各类传感器等设备组成：

1、板式换热器通过间隔布置的独立流道实现一次侧低温流体与二次侧高温流体的间接换热；

2、循环泵为二次侧工质提供循环动力，保证进入二次侧负载的冷却液流量满足规格要求；

3、一次侧水阀通过控制开度大小来调节一次侧冷却液流量，保证一次侧供冷量与二次侧负载发热量相匹配；

4、管路中设置过滤器拦截循环流体中杂质，避免进入二次侧负载设备内导致堵塞；

5、定压膨胀罐内置有液囊，可维持二次侧冷却液温度变化时的系统压力稳定；

6、压力、温度及流量传感器，可实时检测系统运行参数，CDU以此信号实现自动控制调节。

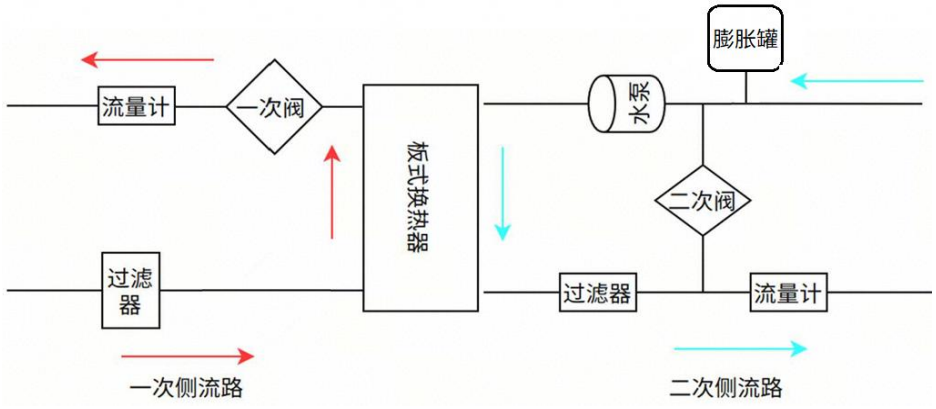


**图 1 CDU 基本组成**

### 3.2 CDU 组网形式

数据中心液冷CDU可以安装于数据机房内与液冷机柜并柜安装，也可以安装在专用设备间内。

不同的安装场景，对CDU产品的设计规格有不同的要求，如并柜入列场景，要求CDU机组高度、深度与液冷机柜尺寸一致，宽度为液冷机柜整数或半数倍数；安装在专用设备间的场景，要求CDU机组可以贴墙安装，CDU机组满足全正面维护操作。

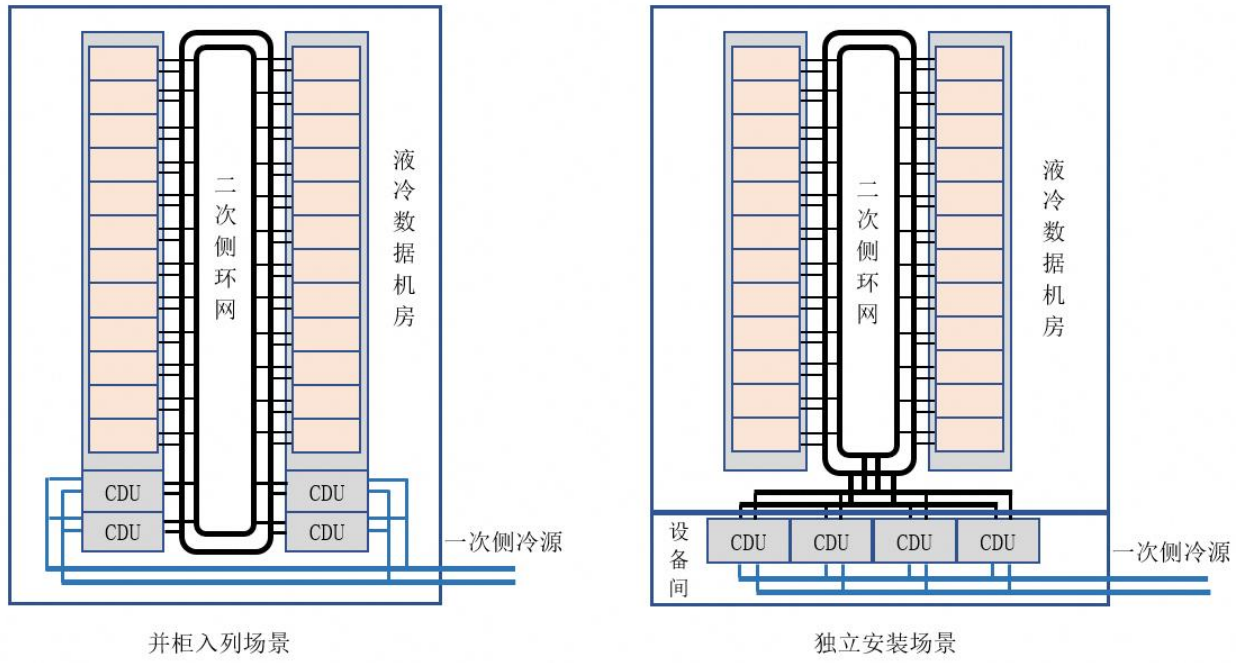


**图 2 CDU 组网场景**

## 4 测试环境要求

测试环境分为单台CDU测试环境及CDU群组环网测试环境

### 4.1 单台 CDU 测试组网

单台CDU测试环境主要满足单CDU机组性能、功能及告警测试要求，具体要求包括：

1）性能测试环境资质需满足CNAS实验室认可或GMPI认证及国家CMA计量认证；

2）一次侧冷源系统满足CDU设备一次侧进水温度要求（覆盖最高温和最低温规格），且可提供额定换热量对应的制冷量；

3）二次侧假负载功率大于CDU设备额定换热量，可支持负载的突加与突减（电阻性负载，功率调节响应不超过1s）；

4）具备必要的信号采集传感器，已接入实验室数据采集系统。

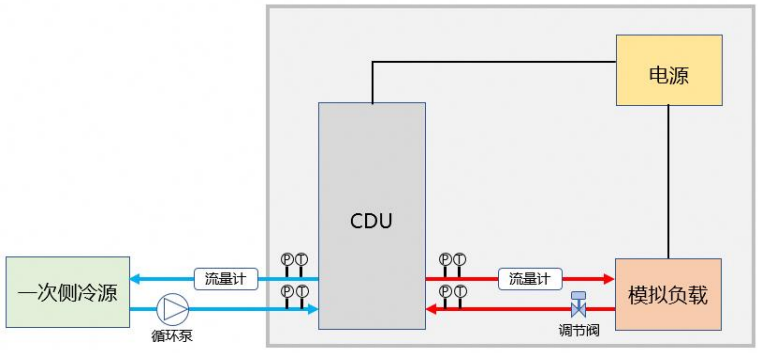


**图 3 CDU 测试组网图**

### 4.2 CDU 群组环网测试组网

CDU群组环网测试环境主要满足多台CDU组网后的群控控制功能测试要求，测试内容包括备机轮巡、冷备/热备组网方式切换、压差/流量控制模式切换、关键器件故障及维护操作等，具体要求包括：

1）二次侧环网核心参数与实际环网设计方案保持一致，包括环网主管路/支管管径、CDU设备数量、环网支路数量；

2）二次侧环网满足假负载接入功能要求，假负载功率、流阻可模拟真实服务器参数，具备节点流量、进出液压力及进出液温度检测功能；

3）一次侧冷源系统可满足CDU设备一次侧额定水温要求，且可提供环网内所有CDU额定换热量对应的制冷量；

4）若上述条件不满足，可由制造商与用户进行协商。

## 5 CDU 测试方法

### 5.1 结构强度测试

#### 5.1.1 密封性测试

| |
|---|
| 测试编号：5-1-1 |
| 测试项目：密封性测试 |
| 测试目的：验证 CDU 内管路系统密封性是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、将 CDU 一次侧及二次侧管路系统的水压力升至试验压力（工作压力的 1.5 倍且不小于 1.0MPa），稳定 15min 后检查压力变化；<br>2、将系统内水压力降至工作压力并保持 30min 后检查管路 |
| 测试判据：1.5 倍水压检测不允许有压力降，无漏水现象 |
| 备注：耐压偏小的传感器、泄压阀等部件须提前拆除，用堵头封堵后再进行测试 |

### 5.1.2 耐压测试

| |
|---|
| 测试编号：5-1-2 |
| 测试项目：耐压测试 |
| 测试目的：验证 CDU 的一次测、二次侧管路系统耐压性能是否满足要求 |
| 测试方法：<br>将 CDU 一次侧及二次侧管路系统的压力升至 1.0MPa，保持 1h 后检查内部管路 |
| 测试判据：CDU 内部器件、管道、阀门及法兰连接无破裂及渗漏水现象 |
| 备注：耐压偏小的传感器、泄压阀等部件须提前拆除，用堵头封堵后再进行测试 |

### 5.1.3 焊接工艺检测

| |
|---|
| 测试编号：5-1-3 |
| 测试项目：焊接工艺检测 |
| 测试目的：验证 CDU 内不锈钢管路焊缝工艺是否满足要求 |
| 测试方法：<br>对焊接管路做射线探伤或渗透检，抽检比例 5%或不少于 10pcs |
| 测试判据：要求焊缝无裂纹、错口、咬边、气孔 |
| 备注：无 |

## 5.2 单机性能测试

### 5.2.1 换热量测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-1 |
| 测试项目：换热量测试 |
| 测试目的：验证 CDU 额定换热量是否满足规格要求及部分换热量下是否可稳定运行 |
| 测试方法：<br>1、确认一、二次侧系统充注工质液参数满足规格要求；<br>2、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度；<br>3、设置 CDU 一次侧进/出水温度为额定工况，开启二次侧负载功率至 100%换热量，待 CDU 运行稳定后记录各运行参数；<br>4、固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>5、依次降低负载功率为 75%、50%和 25%，记录负载调节后 CDU 瞬态及运行稳定后各运行参数、曲线；<br>6、依次增加负载功率为 50%、75%和 100%，记录负载调节后 CDU 瞬态及运行稳定后各运行参数、曲线 |
| 测试判据：<br>1、CDU 额定换热量、二次侧流量/扬程及一次侧压降满足规格要求，一二次侧换热逼近度满足规格要求；<br>2、二次侧负载变化时，CDU 二次侧供液温度波动不超过 1.5℃，稳定后温度波动不超过 0.5℃ |
| 备注：无 |

### 5.2.2 一次侧水温调节测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-2 |
| 测试项目：一次侧水温调节测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在一次侧水温变化时是否可以正常工作 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 100%换热量，调节一次侧进/出水温度为额定工况，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、依次降低 CDU 一次侧进水温度为中间温度、最低温度，记录变化过程中 CDU 运行参数；<br>3、依次升高 CDU 一次侧进水温度为中间温度、额定温度，记录变化过程中 CDU 运行参数 |
| 测试判据：CDU 机组在一次侧供液温度规格内可稳定工作，稳定后温度波动不超过 0.5℃ |
| 备注：一次侧进水中间温度取值为额定温度与最低温度的中间值 |

### 5.2.3 额定水温二次侧负载突变测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-3 |
| 测试项目：额定水温下二次侧负载突变测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在额定工况下二次侧负载突变时供液温度波动是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 100%换热量，调节一次侧进/出水温度为额定工况，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、操作二次侧负载功率突降为 30%，记录负载调节后 CDU 瞬态运行参数、曲线；<br>3、操作二次侧负载功率突增为 100%，记录负载调节后 CDU 瞬态运行参数、曲线 |
| 测试判据：二次侧负载突变时，CDU 二次侧供液温度波动不超过 1.5℃ |
| 备注：无 |

### 5.2.4 低水温二次侧负载突变测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-4 |
| 测试项目：低水温下二次侧负载突变测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在一次侧低水温工况下二次侧负载突变时供液温度波动是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 100%换热量，调节一次侧进水温度为规格最低温度，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、操作二次侧负载功率突降为 30%，记录负载调节后 CDU 瞬态运行参数、曲线；<br>3、操作二次侧负载功率突增为 100%，记录负载调节后 CDU 瞬态运行参数、曲线 |
| 测试判据：二次侧负载突变时，CDU 二次侧供液温度波动不超过 1.5℃ |
| 备注：无 |

### 5.2.5 一次侧进水压力波动测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-5 |
| 测试项目：一次侧进水压力波动测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在一次侧进水压力波动时二次侧供液温度波动是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 60%换热量，调节一次侧进水温度为额定工况，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、调整一次侧冷源循环泵控制压差为 0.7*ΔP（降低 30%），记录 CDU 瞬态运行参数、曲线；<br>3、调整一次侧冷源循环泵控制压差为ΔP，记录 CDU 瞬态运行参数、曲线 |
| 测试判据：一次侧进水压力波动时，CDU 二次侧供液温度波动不超过 1.5℃ |
| 备注：无 |

### 5.2.6 整机输入谐波测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-6 |
| 测试项目：整机输入谐波测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在额定工况运行时输入谐波是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、CDU 输入供电线接入功率分析仪，输入电源为额定电压/频率；<br>2、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，记录谐波电流 THDi 及谐波电压 THDv |
| 测试判据：整机输入谐波电压 THDv＜5%，谐波电流 THDi＜30% |
| 备注：无 |

### 5.2.7 整机噪声测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-7 |
| 测试项目：整机噪声测试 |
| 测试目的：验证 CDU 在额定工况运行时噪声是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、CDU 安装在具有一个反射平面上的近似自由声场场地；<br>2、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，在 CDU 四个侧面中心位置测量 A 计权声压级，测点水平距离 1m、高度为机组高度+1m 后总高度的 1/2，计算平均声压级<br>$$\overline{L_p} = 10\lg \frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n} 10^{0.1L_{pi}}\right] - K_1$$<br>式中：<br>$\overline{L_p}$——A 计权平均声压级（dB）；<br>$L_{pi}$——第 i 个指定位置噪声声压级（dB）；<br>$K_1$——背景噪声修正值（dB），若 CDU 运行噪声值与背景噪声值差值大于 15dB，K1 为 0 |
| 测试判据：CDU 运行额定工况时平均声压级不超过 75dB(A) |
| 备注：无 |

### 5.2.8 工质液兼容性测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-8 |
| 测试项目：工质液兼容性测试 |
| 测试目的：验证 CDU 内部金属与非金属器件是否满足与工质液的兼容性要求 |
| 测试方法：<br>参考《冷板式液冷过流材料兼容性要求和测试方法》开展双零行动（冷却液、过流材料）认证 |
| 测试判据：CDU 内部所有与工质液接触的材料均需满足兼容性要求 |
| 备注：无 |

### 5.2.9 二次侧供液能力边界测试

| |
|---|
| 测试编号：5-2-9 |
| 测试项目：二次侧供液能力边界测试 |
| 测试目的：验证 CDU 二次侧供液能力边界 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，记录 CDU 各运行参数；<br>2、维持二次侧外部管路阻力不变，调节 CDU 循环泵运行最小转速&二次侧旁通阀开启最大开度，记录 CDU 各运行参数；<br>3、关闭 CDU 二次侧旁通阀、调节循环泵运行最大转速，记录 CDU 各运行参数 |
| 测试判据：CDU 可提供流量/扬程满足设计要求 |
| 备注：无 |

## 5.3 单机功能测试

### 5.3.1 自动排气阀排气功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-1 |
| 测试项目：自动排气阀排气功能 |
| 测试目的：验证自动排气阀能否自动排气 |
| 测试方法：<br>1、CDU 自动排气阀的排气口外接透明软管，并接至盛水容器内；<br>2、手动开启补液泵调节 CDU 二次侧系统压力为 2.5bar，通过气泵往 CDU 内注入空气，注气 5s 后，观察自动排气阀的工作状态及排气软管内的气泡流动现象，重复操作 3 次；<br>3、再通过气泵持续注入气体 3min，持续观察自动排气阀的工作状态及排气软管内的气泡流动现象，重复操作 3 次；<br>4、手动开启系统排液阀调节 CDU 二次侧系统压力降低至 0.3bar，重复上述测试操作 |
| 测试判据：自动排气阀可以自动排气且无液体喷溅 |
| 备注：无 |

### 5.3.2 电源切换功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-2 |
| 测试项目：电源切换功能 |
| 测试目的：验证电源切换功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、ATS 手动模式测试<br>ATS 切换为手动模式，将 ATS 分别投入 S1 路电源、S2 路电源和中间位置，观察显示界面信息<br>3、ATS 自动模式-自投自复模式测试<br>a）ATS 切换为自动模式，设置为自投自复模式，上游 S1 和 S2 路电源正常，ATS 自动投入 S1 路；<br>b）分断上游 S1 路电源，ATS 自动投入 S2 路；<br>c）恢复 S1 路电源，ATS 自动投入 S1 路<br>4、ATS 自动模式-自投手复模式测试<br>a）ATS 设置为自投手复模式，上游 S1 和 S2 路电源正常，ATS 自动投入 S1 路；<br>b）分断上游 S1 路电源，ATS 自动投入 S2 路；<br>c）恢复 S1 路电源，ATS 维持在 S2 路；<br>d）手动切换 ATS 至 S1 路电源，ATS 投入 S1 路<br>5、ATS 自动模式-互为备用模式测试<br>a）ATS 设置为互为备用模式，上游 S1 和 S2 路电源正常，ATS 自动投入 S1 路；<br>b）分断上游 S1 路电源，ATS 自动投入 S2 路；<br>c）恢复 S1 路电源，ATS 维持在 S2 路；<br>d）分断 S2 路电源，ATS 自动投入 S1 路 |
| 测试判据：ATS 按照设置模式投切正常，CDU 监控系统有相应告警 |
| 备注：对配置 ATS 装置的 CDU，需进行全部测试项目；对配置双路电源模块的 CDU，只进行自动模式-自投自复模式测试 |

### 5.3.3 本地/远程模式切换

| |
|---|
| 测试编号：5-3-3 |
| 测试项目：本地/远程模式切换 |
| 测试目的：验证 CDU 的本地/远程模式切换是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、机组监控屏可以显示 CDU 当前的运行模式，包括本地、远程模式；<br>2、CDU 设置为本地模式，在显示屏上进行 CDU 开关机操作，机组可正常响应，通过远程方式下发开关机命令后机组无响应；<br>3、CDU 设置为远程模式，通过远程方式下发开关机命令后机组可正常响应，在显示屏上进行 CDU 开关机操作后机组无响应 |
| 测试判据：<br>1、本地模式下，机组仅响应显示屏上开关机命令；<br>2、远程模式下，机组仅响应远程方式开关机命令 |
| 备注：无 |

### 5.3.4 二次侧系统补液功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-4 |
| 测试项目：二次侧系统补液功能 |
| 测试目的：验证 CDU 内补液系统功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、自动补液功能测试<br>a）补液箱内液位合适，开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，补液功能处于自动模式；<br>b）修改补液泵启动压力，使当前二次侧回液压力＜补液启动压力，补液泵启动工作；<br>c）修改补液泵停止压力，使当前二次侧回液压力＞补液停止压力，补液泵停止工作；<br>d）补液泵自动启动后，修改补液停止压力在 3min(可设置）内持续高于二次侧回液压力，CDU 上报补液异常告警，补液泵持续运行；<br>e）补液泵自动启动后，断开二次侧控制补液泵启停的压力传感器，补液泵停止工作且上报压力传感器故障告警，测试后恢复压力传感器；<br>f）补液泵自动启动后，模拟补液箱内低液位，低液位告警触发后补液泵停止，手动补充补液箱液位至低液位告警消除后，补液泵自动启动<br>2、手动补液功能测试<br>a）进入补液手动模式，点击补液泵开启按钮，补液泵启动工作；<br>b）点击补液泵关闭按钮，补液泵停止工作；<br>c）补液泵工作模式修改为自动模式 |
| 测试判据：<br>1、自动补液模式下，CDU 可根据系统实际压力，控制补液泵启动、停止，维持系统工作压力稳定；<br>2、手动补液模式下，人工操作可控制补液泵启动、停止 |
| 备注：无 |

### 5.3.5 补液箱外置集中补液功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-5 |
| 测试项目：补液箱外置集中补液功能 |
| 测试目的：验证 CDU 水箱外置集中补液功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、自动补液功能测试<br>a）外置补液功能处于自动模式，修改外置补液开启液位设定值 > 当前补液箱液位，外置补液电磁阀开启对补液箱自动补液；<br>b）修改外置补液停止液位设定值 < 当前补液箱液位，外置补液电磁阀关闭；<br>c）外置补液电磁阀自动开启后，关闭外部集中补液管路手动阀门，3min(可设置）后 CDU 上报外置补液异常告警，外置补液电磁阀关闭；<br>d）外置补液电磁阀自动开启后，断开补液箱液位计，外置补液电磁阀关闭且上报液位传感器故障告警，测试后恢复液位传感器<br>2、手动补液功能测试<br>a）进入外置补液手动模式，点击补液电磁阀开启按钮，电磁阀开启；<br>b）点击补液电磁阀关闭按钮，电磁阀停止工作；<br>c）外置补液工作模式修改为自动模式 |
| 测试判据：<br>1、自动外补液模式下，CDU 可自动控制外置补液电磁阀启动、停止，调节补液箱内液位；<br>2、手动外补液模式下，人工操作可控制补液电磁阀启动、停止 |
| 备注：本测试针对有补液箱外置集中补液功能的 CDU，对于只有外置补液泵的 CDU 机组可参考执行 |

### 5.3.6 变频器启停与自保持功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-6 |
| 测试项目：变频器启停与自保持功能 |
| 测试目的：验证变频器的启动、停止和调速通讯信号中断后，是否具备自保持运行功能 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、断开变频器的启动控制线，循环泵保持当前运行转速，修改循环泵压差控制点 > 当前实际供回液压差，循环泵应自动升转速，恢复启动控制线接线；<br>3、断开变频器的停止控制线，循环泵保持当前运行转速，修改循环泵压差控制点 < 当前实际供回液压差，循环泵应自动降转速，恢复停止控制线接线；<br>4、断开变频器的调速控制通讯线，循环泵保持当前转速，修改循环泵压差控制点 > 当前实际供回液压差，循环泵转速保持不变，恢复变频器的调速控制通讯线，循环泵转速自动调节达到设定点压差 |
| 测试判据：<br>1、循环泵运行中，变频器启动、停止信号中断后，循环泵仍具备正常的转速调节功能；<br>2、循环泵运行中，变频器调速控制通信线断开后，循环泵有自保持运行功能 |
| 备注：无 |

### 5.3.7 变频器飞车启动功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-7 |
| 测试项目：变频器飞车启动功能 |
| 测试目的：验证变频器的飞车启动性能是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、CDU 上游 S1 和 S2 路电源正常，ATS 自动投入 S1 路；<br>2、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，人为断开 S1 路电源，记录循环泵重启过程流量波动 |
| 测试判据：<br>1、ATS 自动投入 S2 路，CDU 控制器不掉电；<br>2、循环泵转速短时降低后迅速恢复到切换前转速，二次侧流量最大跌幅不超过额定流量的 30% |
| 备注：针对具备 ATS 组件，且电源切换时，循环泵会关机再启动的 CDU |

### 5.3.8 防凝露功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-8 |
| 测试项目：防凝露功能 |
| 测试目的：验证 CDU 防凝露功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、修正 CDU 检测环境温湿度，使计算露点温度 > 二次侧供液温度-2℃，触发“供液温度接近露点温度”告警，记录 CDU 运行状态；<br>3、修正 CDU 检测环境温湿度，使计算露点温度 < 二次侧供液温度-3℃，记录 CDU 运行状态；<br>4、修正 CDU 检测环境温湿度，使计算露点温度 > 二次侧供液温度-1℃，触发“供液温度低于露点温度”告警，记录 CDU 运行状态；<br>5、修正 CDU 检测环境温湿度，使计算露点温度 < 二次侧供液温度-2℃，记录 CDU 运行状态 |
| 测试判据：<br>1、二次侧供液温度过低时，机组可正常上报“供液温度接近露点温度”告警和“供液温度低于露点温度”告警，二次侧供液温度正常后，告警可自动恢复；<br>2、“供液温度低于露点温度”告警触发后，CDU 进入露点温度自适应控制模式，自动调高二次侧供液温度目标值避免 CDU 内部凝露，告警恢复后，恢复二次侧供液温度目标值为设定点 |
| 备注：无 |

### 5.3.9 漏液检测功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-9 |
| 测试项目：漏液检测功能 |
| 测试目的：验证 CDU 漏水检测功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、对 CDU 内部的漏液检测绳进行滴水检测，记录机组告警上报及运行状态 |
| 测试判据：CDU 内部漏液检测绳可以及时上报告警，告警后机组保持正常运行 |
| 备注：无 |

### 5.3.10 一次侧阀门功能测试

| |
|---|
| 测试编号：5-3-10 |
| 测试项目：一次侧阀门功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 一次侧阀门功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、断开一次侧阀门执行器的通讯线，记录一次侧阀门运行状态及告警，恢复阀门执行器通讯线；<br>3、断开一次侧阀门执行器的供电线，记录一次侧阀门运行状态及告警，恢复阀门执行器供电线；<br>4、修正二次侧供液温度检测值 > 二次侧供液温度设定值+1℃，记录一次侧阀门运行状态；<br>5、修正二次侧供液温度检测值 < 二次侧供液温度设定值-1℃，记录一次侧阀门运行状态 |
| 测试判据：<br>1、阀门执行器通讯线、供电线断开后，阀门可以自保持运行，有阀门故障告警，执行器线路恢复后阀门恢复自动控制，不允许出现关闭阀门现象；<br>2、CDU 可根据二次侧供液温度设定点和实际检测温度，调节一次侧阀门开度增大或减小，供液温度高于设定点时阀门增大、供液温度低于设定点时阀门减小 |
| 备注：无 |

### 5.3.11 循环泵及旁通阀调节功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-11 |
| 测试项目：循环泵及旁通阀调节功能 |
| 测试目的：验证循环泵及旁通阀的调控是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、循环泵及旁通阀手动控制功能测试<br>a）开启 CDU，循环泵启动，设定变频器频率依次为 25、30、40、50Hz，循环泵按照设定频率运行；<br>b）设定变频器频率为 25Hz，手动开启二次侧旁通阀，设定旁通阀开度为 0、25%、50%、75%、100%，旁通阀按照设定开度运行<br>2、旁通阀故障测试<br>a）手动设定旁通阀开度为 75%，断开旁通阀信号反馈线，CDU 上报旁通阀故障告警；<br>b）恢复旁通阀信号反馈线，旁通阀自动开启至控制开度，故障告警自动恢复；<br>c）手动设定旁通阀开度为 50%，断开旁通阀通信线，CDU 上报旁通阀故障告警，阀门关闭；<br>d）恢复旁通阀通信线，旁通阀自动开启至控制开度，故障告警自动恢复<br>3、循环泵故障测试<br>a）开启 CDU 运行自动模式，变频器频率 40Hz 左右；<br>b）修改变频器过流保护参数等于当前运行电流，修改二次侧压差设定点大于当前运行值，变频器保持当前输出频率；<br>c）恢复变频器过流保护参数为默认值，变频器自动增加输出频率使二次侧压差值达到设定点<br>4、循环泵及旁通阀自动调节功能测试-压差控制<br>a）开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，CDU 循环泵设置为压差控制；<br>b）手动调节二次侧外部管路阻力增大，CDU 控制循环泵频率自动降低；<br>c）继续增大二次侧外部管路阻力，CDU 控制循环泵频率降至最低频率后二次侧旁通阀开启，重复操作直到旁通阀开启至最大开度；<br>d）手动调节二次侧外部管路阻力减小，CDU 控制二次侧旁通阀开始关小，重复操作直到旁通阀关闭；<br>e）继续降低二次侧外部管路阻力，CDU 控制循环泵频率自动升高<br>5、循环泵及旁通阀自动调节功能测试-流量控制<br>a）开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程，CDU 循环泵设置为流量控制；<br>b）手动调节二次侧外部管路阻力减小，CDU 控制循环泵频率自动降低；<br>c）继续降低二次侧外部管路阻力，CDU 控制循环泵频率降至最低频率后二次侧旁通阀开启，重复操作直到旁通阀开启至最大开度；<br>d）手动调节二次侧外部管路阻力增大，CDU 控制二次侧旁通阀开始关小，重复操作直到旁通阀关闭；<br>e）继续增大二次侧外部管路阻力，CDU 控制循环泵频率自动升高 |
| 测试判据：循环泵及旁通阀手动控制和自动控制功能满足设计规格 |
| 备注：无 |

### 5.3.12 控制器故障自保持功能

| |
|---|
| 测试编号：5-3-12 |
| 测试项目：控制器故障自保持功能 |
| 测试目的：验证 CDU 控制器故障或掉电后，机组的自保持是否满足技术要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、断开控制器的供电，记录机组运行状态；<br>3、恢复控制器的供电，记录机组运行状态 |
| 测试判据：CDU 控制器断电后，机组维持原运行状态；供电恢复后，CDU 恢复自动控制，一次侧水阀和循环泵不得出现先关闭再开启 |
| 备注：无 |

### 5.3.13 二次侧流量自动调控功能测试

| |
|---|
| 测试编号：5-3-13 |
| 测试项目：二次侧流量自动调控功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 二次侧流量自动调节功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、维持二次侧外部管路阻力不变，设置 CDU 循环泵为流量控制，流量设定点为额定流量 60%，记录 CDU 各运行参数；<br>3、手动调节二次侧外部管路阻力阀门开度，使 CDU 二次侧供回液压差依次调节为 0.5bar、1.0bar、1.5bar、2.0bar、1.5bar、1.0bar 和 0.5bar，记录 CDU 供液流量波动 |
| 测试判据：供液扬程变化时供液流量波动不超过 10% |
| 备注：操作二次侧外部管路阀门时需能一次操作到位 |

## 5.4 群控功能测试

### 5.4.1 设置参数自动同步测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-1 |
| 测试项目：设置参数自动同步功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组主机设置参数是否可自动同步至所有从机 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，设置群组组网模式为热备模式；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、在 CDU 主机上更改循环泵控制模式（压差控制或流量控制）、二次侧供液温度设定值及二次侧供回液压差设定值/流量设定值，查看从机上述设定点是否同步变化 |
| 测试判据：<br>1、主机设置参数可自动同步至群组内所有从机；<br>2、参数设置操作有日志记录 |
| 备注：无 |

### 5.4.2 主机/从机手动切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-2 |
| 测试项目：主机/从机手动切换功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组主机和从机身份是否可手动切换 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网正常，运行热备模式；<br>2、在群控主机界面设置本机为从机，本机身份自动切换为从机，群组内其余 CDU 机组推举出新的主机，查看群控界面的控制参数设置值无变化；<br>3、在任一从机群控界面设置本机为主机，本机身份自动切换为主机，原群控主机自动切换为从机，查看群控界面的控制参数设置值无变化 |
| 测试判据：<br>1、主机和从机身份可手动切换，切换后群控设置参数保持不变；<br>2、手动切换操作有日志记录 |
| 备注：无 |

### 5.4.3 运行机/备机手动切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-3 |
| 测试项目：运行机/备机手动切换功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组运行机和备机身份是否可手动切换 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网正常，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、在任一运行机群控界面设置本机为备机，本机身份自动切换为备机，群组内备用 CDU 机组切换为运行机自动开启，切换为备机的 CDU 自动关闭；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，手动切换任一运行机为备机，记录 CDU 运行状态 |
| 测试判据：<br>1、备机身份可手动切换，切换后备用 CDU 先启动本机再关闭，切换过程二次环网压力/流量最大波动不超过 10%；<br>2、手动切换操作有日志记录 |
| 备注：无 |

### 5.4.4 备机轮巡切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-4 |
| 测试项目：备机轮巡切换功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组备机轮巡切换是否可正常实现 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网正常，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、更改备机轮巡切换时间为当前实际时间，当前备用 CDU 机组切换为运行机自动开启，切换为备机的 CDU 自动关闭；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，触发备机定时轮巡切换，记录 CDU 运行状态 |
| 测试判据：备机轮巡功能可正常触发，切换后备用 CDU 先启动本机再关闭，切换过程二次环网压力/流量最大波动不超过 10% |
| 备注：无 |

### 5.4.5 压差/流量模式切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-5 |
| 测试项目：压差/流量模式切换测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组压差控制模式与流量控制模式切换时是否可稳定工作 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网正常，运行热备模式；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、CDU 群组运行稳定后，设置群组流量控制点为当前实际运行总流量的 1/2，更改群组运行模式为流量控制，群组 CDU 可平滑切换为流量控制，记录二次环网压力/流量波动；<br>4、CDU 群组运行稳定后，设置群组压差控制点为当前实际运行压差的 1/2，更改群组运行模式为压差控制，群组 CDU 可平滑切换为压差控制，记录二次环网压力/流量波动 |
| 测试判据：<br>1、切换过程二次环网压力/流量最大波动不超过 10%；<br>2、参数设置操作有日志记录 |
| 备注：无 |

### 5.4.6 ATS 切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-6 |
| 测试项目：ATS 切换测试 |
| 测试目的：验证群组内所有 CDU 进行 ATS 切换时二次环网压力/流量波动是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、切断所有 CDU 供电主路上游电源，CDU 的 ATS 切换到备路电，记录二次环网压力/流量波动；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，触发所有 CDU 的 ATS 切换，记录二次环网压力/流量波动 |
| 测试判据：<br>1、切换过程二次环网压力/流量最大波动不超过 30%，波动幅度超过 20%的累计时间不超过 20s；<br>2、有供电电源掉电告警/ATS 切换告警；<br>3、ATS 切换时备机不启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.7 CDU 循环泵故障测试-单泵机型

| |
|---|
| 测试编号：5-4-7 |
| 测试项目：CDU 循环泵故障测试-单泵机型 |
| 测试目的：验证一台 CDU 机组循环泵故障后备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 循环泵故障，记录 CDU 运行状态；<br>4、恢复 CDU 循环泵故障 |
| 测试判据：运行机循环泵故障后有告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：适用于无备用泵的 CDU 产品 |

### 5.4.8 CDU 循环泵故障测试-多泵机型

| |
|---|
| 测试编号：5-4-8 |
| 测试项目：CDU 循环泵故障测试-多泵机型 |
| 测试目的：验证循环泵有冗余的 CDU 机组一台循环泵故障后二次环网压力/流量波动是否满足要求 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行热备模式；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、所有 CDU 循环泵运行热备模式，触发一台运行 CDU 的单台循环泵故障，记录二次环网压力/流量波动，恢复 CDU 循环泵故障；<br>4、所有 CDU 循环泵运行冷备模式，触发一台运行 CDU 的主循环泵故障，记录二次环网压力/流量波动，恢复 CDU 循环泵故障；<br>5、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，分别执行步骤 3 和步骤 4 的操作，记录循环泵故障时二次环网压力/流量波动 |
| 测试判据：<br>1、循环泵故障后二次环网压力/流量最大波动不超过 30%，波动幅度超过 20%的累计时间不超过 20s；<br>2、故障 CDU 有循环泵故障告警 |
| 备注：适用于有备用泵的 CDU 产品 |

### 5.4.9 供液温度超高告警测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-9 |
| 测试项目：供液温度超高告警测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 二次供液温度超高时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 二次供液高温告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 二次供液高温告警 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行且一次侧水阀开启至最大，有二次供液高温告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.10 供液流量低告警测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-10 |
| 测试项目：供液流量低告警测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 二次供液流量低时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 二次供液流量低告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 二次供液流量低告警 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行，有二次供液流量低告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.11 一次水阀故障测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-11 |
| 测试项目：一次水阀故障测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 一次水阀故障时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 一次水阀故障告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 一次水阀故障 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行，有一次水阀故障告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.12 压力传感器故障测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-12 |
| 测试项目：压力传感器故障测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 二次供液压力传感器故障时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 任一二次供液压力传感器故障告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、触发故障 CDU 所有二次供液压力传感器故障告警，记录故障机及备机运行状态<br>5、恢复 CDU 二次供液压力传感器故障 |
| 测试判据：<br>1、单个供液压力传感器故障后，供液压力值计算中剔除故障传感器检测值，CDU 保持正常运行；<br>2、所有供液压力传感器故障后，故障 CDU 保持运行，群组二次压差取正常 CDU 压差值计算，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.13 温度传感器故障测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-13 |
| 测试项目：温度传感器故障测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 二次供液温度传感器故障时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 任一二次供液温度传感器故障告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、触发故障 CDU 所有二次供液温度传感器故障告警，记录故障机及备机运行状态<br>5、恢复 CDU 二次供液温度传感器故障 |
| 测试判据：<br>1、单个供液温度传感器故障后，供液温度值计算中剔除故障传感器检测值，CDU 保持正常运行；<br>2、所有供液温度传感器故障后，故障 CDU 保持运行，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.14 流量计故障测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-14 |
| 测试项目：流量计故障测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 流量计故障时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 流量计故障告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 流量计故障告警 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行，有流量计故障告警，切换为压差控制，备用 CDU 不应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.15 变频器温度超高告警测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-15 |
| 测试项目：变频器温度超高告警测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 变频器温度超高告警时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、修改一台运行 CDU 变频器温度超高阈值，触发变频器温度超高告警，记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 变频器温度超高告警 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行，有变频器温度超高告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.16 循环泵入口压力超低告警测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-16 |
| 测试项目：循环泵入口压力超低告警测试 |
| 测试目的：验证群组内一台 CDU 循环泵入口压力超低告警时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、触发一台运行 CDU 循环泵入口压力超低告警（非停机告警），记录故障机及备机运行状态；<br>4、恢复 CDU 循环泵入口压力超低告警 |
| 测试判据：故障 CDU 保持运行，有循环泵入口压力超低告警，备用 CDU 应启动 |
| 备注：无 |

### 5.4.17 控制器故障测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-17 |
| 测试项目：控制器故障测试 |
| 测试目的：验证群组主机 CDU 控制器故障时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、断开主机 CDU 控制器供电，触发控制器故障，记录故障机及备机运行状态，恢复故障 CDU 控制器供电；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，触发主机 CDU 控制器供电故障，记录故障机及备机运行状态，恢复故障 CDU 控制器供电 |
| 测试判据：<br>1、故障 CDU 循环泵保持原转速、一次水阀保持原开度、二次水阀关闭，有群控离线告警；<br>2、冷备模式下备用 CDU 启动，和其余正常 CDU 重新组网推举主机，若原群组为流量控制，主机 CDU 控制器故障后，群组应切换为压差控制；<br>3、故障 CDU 控制器供电恢复后，循环水泵、一次水阀及二次水阀根据控制需求运行，不允许出现循环泵停机或一次水阀关闭 |
| 备注：无 |

### 5.4.18 群控断线测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-18 |
| 测试项目：群控断线测试 |
| 测试目的：验证群组主机 CDU 群控离线时备机/故障机控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、断开主机 CDU 群控连线，记录故障机及备机运行状态；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，触发主机 CDU 群控离线，记录机组群组运行状态，恢复主机 CDU 群控连线 |
| 测试判据：<br>1、主机 CDU 群控离线后有群控离线告警，若原群组为流量控制，应切换为压差控制；<br>2、备用 CDU 应启动，和其余正常 CDU 重新组网推举主机，若原群组为流量控制，主机 CDU 群控离线后，群组应切换为压差控制 |
| 备注：无 |

### 5.4.19 整机掉电测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-19 |
| 测试项目：整机掉电测试 |
| 测试目的：验证群组主机 CDU 掉电时群组控制逻辑是否合理 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行热备模式；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、断开主机 CDU 前端双路供电，记录二次环网压力/流量波动，恢复主机 CDU 前端双路供电；<br>4、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，断开主机 CDU 前端双路供电，记录二次环网压力/流量波动，恢复主机 CDU 前端双路供电 |
| 测试判据：<br>1、主机 CDU 掉电后有群控组网异常告警，若原群组为流量控制，应切换为压差控制；<br>2、二次环网压力/流量最大波动不超过 30%，波动幅度超过 20%的累计时间不超过 20s |
| 备注：无 |

### 5.4.20 冷备/热备模式切换测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-20 |
| 测试项目：冷备/热备模式切换测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组冷备模式与热备模式切换时是否可稳定工作 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、更改群组组网模式为热备模式，备用 CDU 启动，记录二次环网压力/流量波动；<br>4、更改群组组网模式为冷备模式，备用 CDU 关闭，记录二次环网压力/流量波动；<br>5、群组运行模式设置为流量控制，群组流量设定点满足设计要求，分别执行步骤 3 和步骤 4 的操作，记录二次环网压力/流量波动 |
| 测试判据：<br>1、切换过程二次环网压力/流量最大波动不超过 30%，波动幅度超过 20%的累计时间不超过 20s；<br>2、参数设置操作有日志记录 |
| 备注：无 |

#### 5.4.21 群组补液功能测试

| |
|---|
| 测试编号：5-4-21 |
| 测试项目：群组补液功能测试 |
| 测试目的：验证 CDU 群组中一台 CDU 泄漏后其余设备是否可正常启动补液 |
| 测试方法：<br>1、N（≥2）+1 台 CDU 群控组网，运行冷备模式（1 台备机）；<br>2、群组运行模式设置为压差控制，群组压差设定点满足设计要求；<br>3、开启一台运行 CDU 二次侧过滤器泄水阀模拟漏液，记录各台 CDU 的运行参数、补液功能及二次环网流量压差，直到所有 CDU 自动补液功能均启动一遍后停止泄水过程；<br>4、禁止群控功能，所有 CDU 运行单机模式；<br>5、开启任一台 CDU 二次侧过滤器泄水阀模拟漏液，记录各台 CDU 的运行参数、补液功能及二次环网流量压差，直到所有 CDU 自动补液功能均启动一遍后停止泄水过程 |
| 测试判据：单台 CDU 出现泄漏后，同一环网内其余 CDU 都能按设计的自动补液过程启动补液 |
| 备注：无 |

### 5.5 维护测试

#### 5.5.1 一次侧过滤器在线维护

| |
|---|
| 测试编号：5-5-1 |
| 测试项目：一次侧过滤器在线维护 |
| 测试目的：CDU 一次侧过滤器在线维护功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 100%换热量，调节一次侧进/出水温度为额定工况，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、CDU 运行稳定后，参照维护 SOP 对一次侧过滤器进行在线维护操作 |
| 测试判据：<br>1、整个维护过程中，二次供液温度波动幅度最大不超过 1℃；<br>2、一次侧过滤器泄水过程中不允许发生飞溅，补水排气过程中自动排气阀可自动排气 |
| 备注：无 |

### 5.5.2 二次侧过滤器在线维护

| |
|---|
| 测试编号：5-5-2 |
| 测试项目：二次侧过滤器在线维护 |
| 测试目的：CDU 二次侧过滤器在线维护功能是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程、额定供液温度，二次侧负载功率为 100%换热量，调节一次侧进/出水温度为额定工况，运行稳定后固定一次侧冷源循环泵供回水压差；<br>2、CDU 运行稳定后，参照维护 SOP 对二次侧过滤器进行在线维护操作 |
| 测试判据：<br>1、整个维护过程中，二次供液温度波动幅度最大不超过 1℃，二次流量/压力波动幅度不超过 30%，超过 20%的累积时间不超过 20s；<br>2、二次侧过滤器泄水过程中不允许发生飞溅，补水排气过程中自动排气阀可自动排气 |
| 备注：无 |

### 5.5.3 自动排气阀在线维护

| |
|---|
| 测试编号：5-5-3 |
| 测试项目：自动排气阀在线维护 |
| 测试目的：验证自动排气阀是否支持在线更换 |
| 测试方法：<br>1、开启 CDU，二次侧运行额定流量/扬程；<br>2、参照维护 SOP 拆下二次侧自动排气阀，并重新安装排气阀 |
| 测试判据：自动排气阀拆卸与安装过程中，只允许排气阀内部存量工质液流出，不允许出现喷溅 |
| 备注：无 |

## 5.6 安规测试

### 5.6.1 接地电阻测试

| |
|---|
| 测试编号：5-6-1 |
| 测试项目：接地电阻测试 |
| 测试目的：验证机组接地连续性是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>使用接地电阻测试仪测量 CDU 机组内易触及金属部分与接地点之间的电阻 |
| 测试判据：所有易触及金属部分与接地点之间的电阻不超过 0.1Ω |
| 备注：无 |

### 5.6.2 绝缘阻抗测试

| |
|---|
| 测试编号：5-6-2 |
| 测试项目：绝缘阻抗测试 |
| 测试目的：验证机组绝缘阻抗是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>1、断开 CDU 上游所有电源，闭合 CDU 内所有空开，ATS 处于接通状态；<br>2、使用绝缘阻抗测试仪在 CDU 总输入电源开关的 A/B/C 相与接地点之间施加 500 VDC 电压，持续 1min，记录测试阻抗值；<br>3、使用绝缘阻抗测试仪在循环泵电机输入的 A/B/C 相与接地点之间施加 500 VDC 电压，持续 1min，记录测试阻抗值 |
| 测试判据：绝缘电阻不低于 10MΩ |
| 备注：无 |

### 5.6.3 绝缘耐压测试

| |
|---|
| 测试编号：5-6-3 |
| 测试项目：绝缘耐压测试 |
| 测试目的：验证机组绝缘耐压是否满足设计要求 |
| 测试方法：<br>使用耐压测试仪在 CDU 循环泵电机输入的 A/B/C 相与接地点之间施加有效值为 1890 V 的工频电压，持续 1min，记录试验现象 |
| 测试判据：不可出现击穿或飞弧现象 |
| 备注：无 |

# 附录 A

## A.1 测试项目矩阵

| 测试类别 | 序号 | 测试项目名称 | 测试环境要求 | 型式检验 | 生产检验 | 厂验测试 | 现场测试 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 结构强度测试 | 5-1-1 | 密封性测试 | 无要求 | 应选 | 应选 | 可选 | 应选 |
| | 5-1-2 | 耐压测试 | 无要求 | 应选 | 应选 | 可选 | — |
| | 5-1-3 | 焊接工艺检测 | 无要求 | 应选 | 应选 | 应选 | — |
| 单机性能测试 | 5-2-1 | 换热量测试 | 性能实验台 | 应选 | — | 应选 | 可选 |
| | 5-2-2 | 一次侧水温调节测试 | 性能实验台 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-2-3 | 额定水温二次侧负载突变测试 | 性能实验台 | 应选 | — | 应选 | 可选 |
| | 5-2-4 | 低水温二次侧负载突变测试 | 性能实验台 | 应选 | — | 可选 | — |
| | 5-2-5 | 一次侧进水压力波动测试 | 性能实验台 | 应选 | — | 可选 | — |
| | 5-2-6 | 整机输入谐波测试 | 无要求 | 应选 | — | 可选 | — |
| | 5-2-7 | 整机噪声测试 | 半消声室 | 应选 | — | 可选 | — |
| | 5-2-8 | 工质液兼容性测试 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-2-9 | 二次侧供液能力边界测试 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| 单机功能测试 | 5-3-1 | 自动排气阀排气功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-2 | 电源切换功能 | 双路电源 | 应选 | — | 应选 | 应选 |
| | 5-3-3 | 本地/远程模式切换 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | 可选 |
| | 5-3-4 | 二次侧系统补液功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | 可选 |
| | 5-3-5 | 补液箱外置集中补液功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | 应选 |
| | 5-3-6 | 变频器启停与自保持功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-7 | 变频器飞车启动功能 | 双路电源 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-8 | 防凝露功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-9 | 漏液检测功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | 应选 |
| | 5-3-10 | 一次侧阀门功能测试 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-11 | 循环泵及旁通阀调节功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-12 | 控制器故障自保持功能 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-3-13 | 二次侧流量自动调控功能测试 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | 应选 |
| 群控功能测试 | 5-4-1 | 设置参数自动同步功能测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-2 | 主机/从机手动切换功能测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-3 | 运行机/备机手动切换测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-4 | 备机轮巡切换测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-5 | 压差/流量模式切换测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-6 | ATS 切换测试 | 模拟二次管网+双路电源 | 可选 | — | 可选 | 应选 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5-4-7 | CDU 循环泵故障测试-单泵机型 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-8 | CDU 循环泵故障测试-多泵机型 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-9 | 供液温度超高告警测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-10 | 供液流量低告警测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-11 | 一次水阀故障测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-12 | 压力传感器故障测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-13 | 温度传感器故障测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-14 | 流量计故障测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-15 | 变频器温度超高告警测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-16 | 循环泵入口压力超低告警测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-17 | 控制器故障测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-18 | 群控断线测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-19 | 整机掉电测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-20 | 冷备/热备模式切换测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| | 5-4-21 | 群组补液功能测试 | 模拟二次管网 | 可选 | — | 可选 | 应选 |
| 维护测试 | 5-5-1 | 一次侧过滤器在线维护 | 性能实验台 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-5-2 | 二次侧过滤器在线维护 | 性能实验台 | 应选 | — | 应选 | — |
| | 5-5-3 | 自动排气阀在线维护 | 无要求 | 应选 | — | 应选 | — |
| 安规测试 | 5-6-1 | 接地电阻测试 | 无要求 | 应选 | 应选 | 可选 | — |
| | 5-6-2 | 绝缘阻抗测试 | 无要求 | 应选 | 应选 | 可选 | — |
| | 5-6-3 | 绝缘耐压测试 | 无要求 | 应选 | 应选 | 可选 | — |

注：以上测试项目的“应选”/“可选”标注为推荐值，最终以制造商与用户达成一致为准。

## 参 考 文 献

[1] GB/T 48023-2026 数据中心冷板式液冷系统技术规范
[2] 冷板式液冷过流材料兼容性要求和测试方法
[3] CDU关键规格及演进路标