



两相：液冷关键技术突破与商业化应用 路径探索

王瑞

宁波生久科技散热器事业部总监

两相: 液冷关键技术突破与商业化应用路径探索

王瑞

宁波生久科技散热器事业部总监



关于我们

About us

生久集团有限公司，是一家专注于工业锁控和工业散热两大领域产品研发、生产、销售和服务的高新技术企业。主要产品有工业柜锁、智慧物联锁、铰链、拉手、密封条、DC 风扇、散热器、散热模组等，并致力于提供全球一流的工业锁控和工业散热全生命周期解决方案。

柜 锁

CABINET LOCK

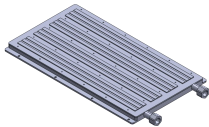
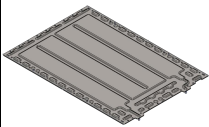
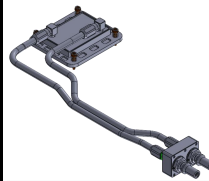

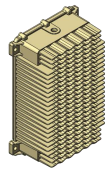
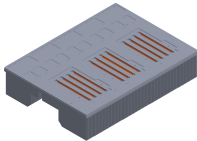
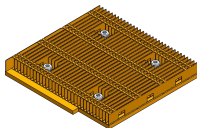
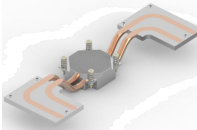
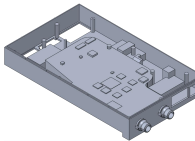
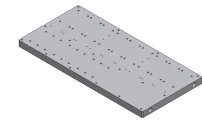
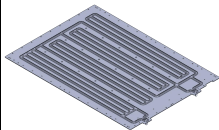
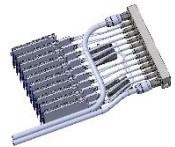
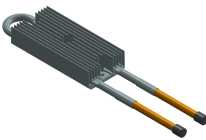
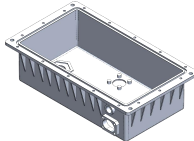
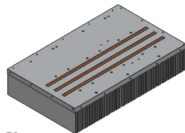

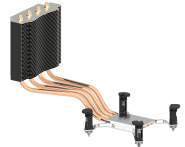
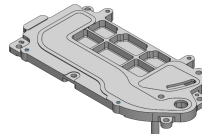
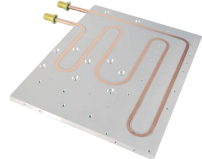
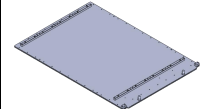

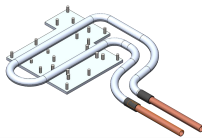
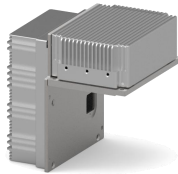
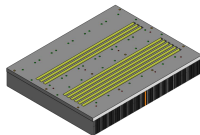
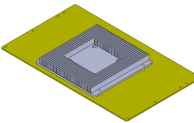
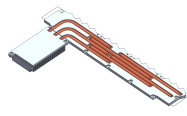
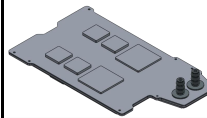
风 扇

FANS

散热器

RADIATOR

散热器BU一阶段全品类产品全家福

液冷板	PACK包液冷板	服务器	商用空调	铝压铸类	铲齿热管类	均温散热器	异型热管类	车载类
								
								
								
各行业液冷	储能电池包通行	数据中心服务器	商用空调全行业	电力控制等多行业	逆变器PCS	通讯ICT	ICT工控机	控制板液冷

散热器系统产品

Radiator system products

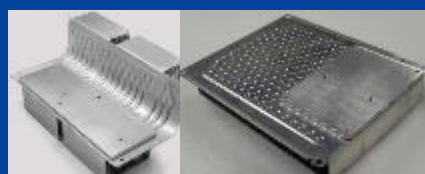
服务器通讯行业

Server communication industry



制冷行业

Refrigeration industry



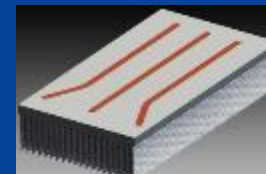
新能源行业

New energy industry



逆变器行业

Inverter industry



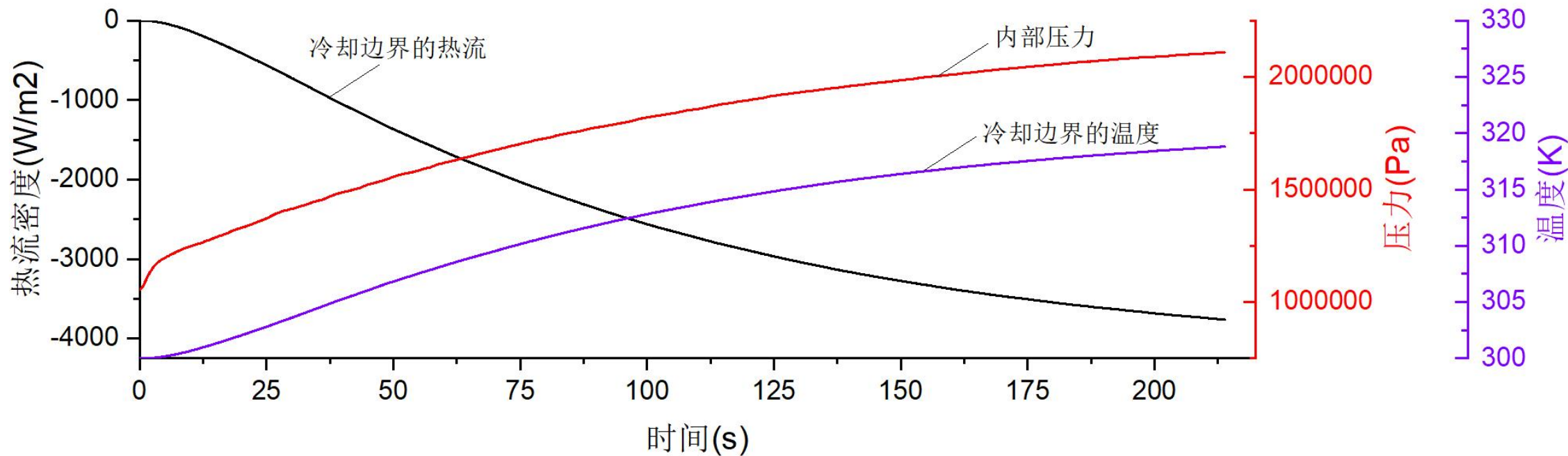
其他行业：

特种电源、特种服务器



CFD仿真结果

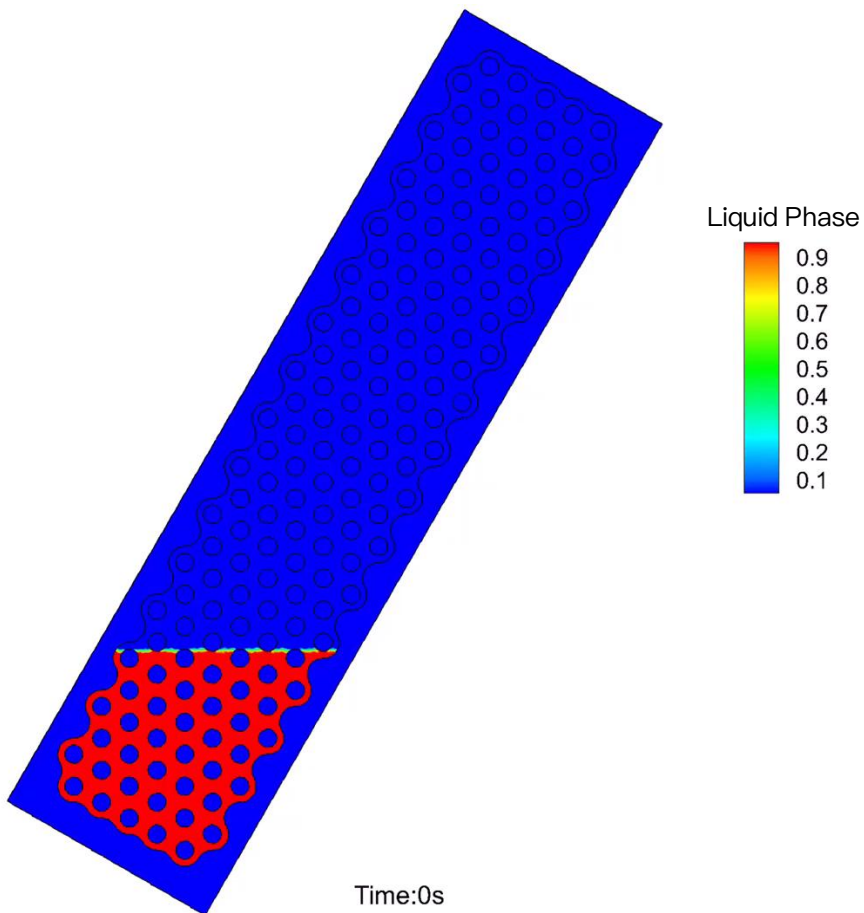
(一) 启动至准稳态的参数变化



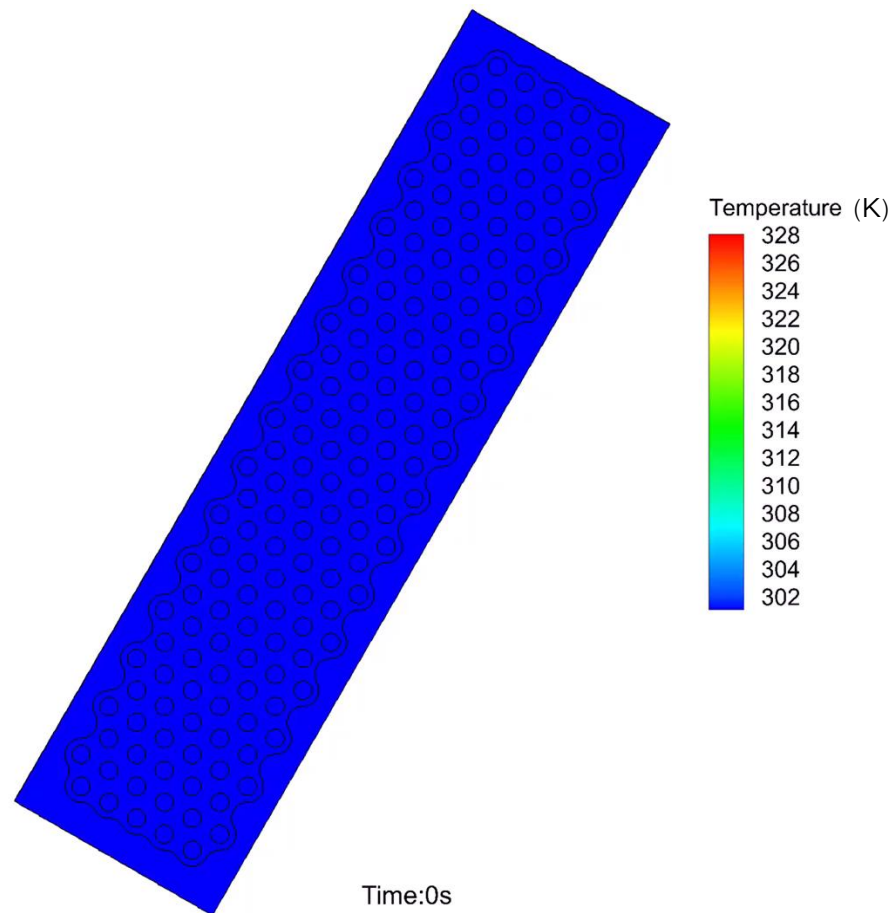


CFD仿真结果

(二) 启动至准稳态的两相云图和温度云图变化



两相分布



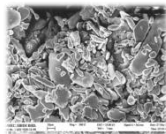
温度分布



西北工业大学
NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY



生久集团
SHENGJIU GROUP



研究目的

- ◆ 提高铝粉颗粒均匀度
- ◆ 毛细芯孔隙率可控



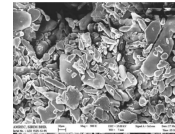
实验设备

- ◆ 行星式球磨机
- ◆ 感应炉



工艺流程

- ◆ 铝粉研磨制备
 - ✓ 研磨剂的种类及用量
 - ✓ 研磨时间
 - ✓ 烘干时间
- ◆ 压制&烧结
 - ✓ 造孔剂用量及选择
 - ✓ 压制压力参数
 - ✓ 烧结温度及时间
 - ✓ 加热速率



毛细芯检测

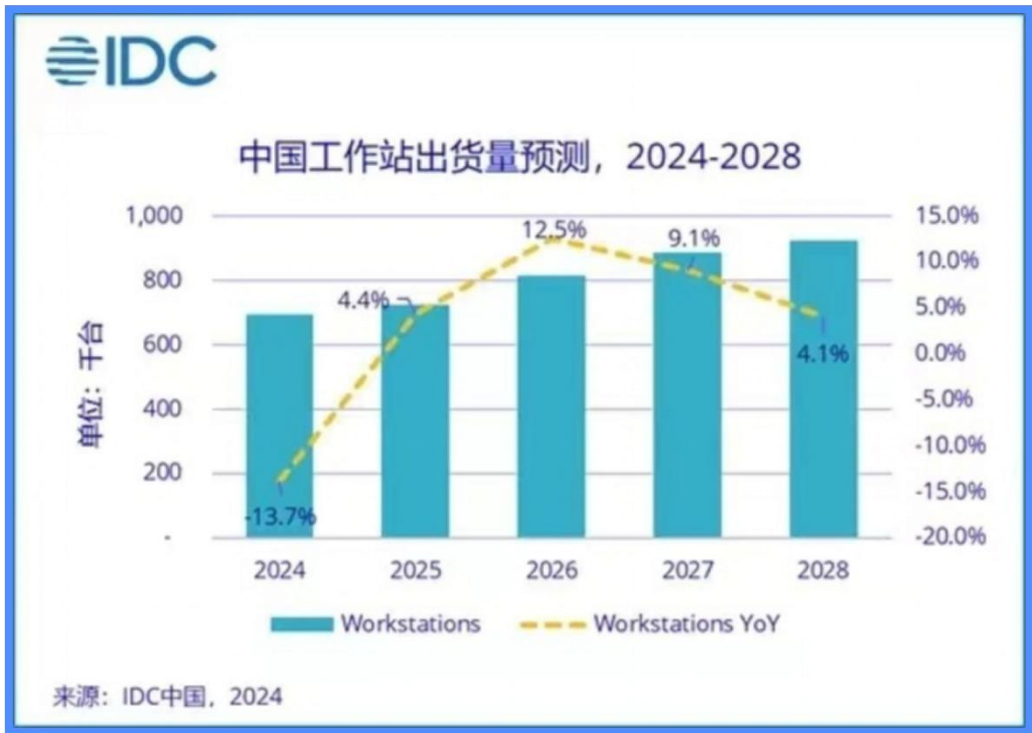
- ◆ 铝粉颗粒均匀度
- ◆ 孔隙率
- ◆ 检测设备
 - ✓ 电子显微镜(SEM)
 - ✓ 能谱仪(EDS)
 - ✓ X射线衍射仪(XRD)
 - ✓ 汞侵入孔隙度仪(MIP)
 - ✓ 气体吸附技术 (BET)



样品测试

- ◆ 待制备

市场规模及价值



2024-2028年中国工作站出货量预测 (数据来源: IDC)



DeepSeek 蒸馏大模型火爆出圈后本地化部署的迫切需求



全部有泵 都需要动力



雷神之锤
MJOLNIR VISION 360 ARGB WHITE



终越视界
HYPER VISION 360 ARGB BLACK





大功率需要大分贝？



BUT

高效率需要高静音

SJ ZeroPulse Cooler

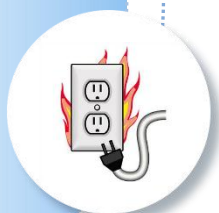
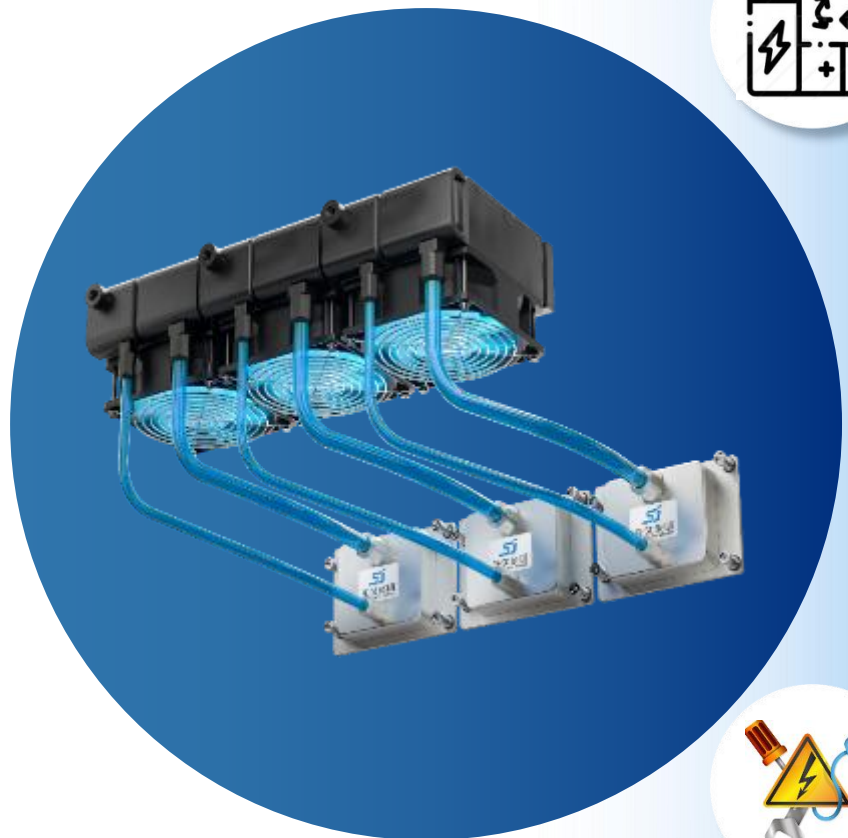
—— 终端产品新型散热利器



—无泵设计 相变自驱—

—相变潜热 超低转速—





介质不导电 安全看得见

- A、彻底解决工作站因漏液造成的不同程度的损失
- B、减少对于水质管理及泵运维的依赖
- C、铜、铝兼容
- D、耐腐蚀降低泄露风险

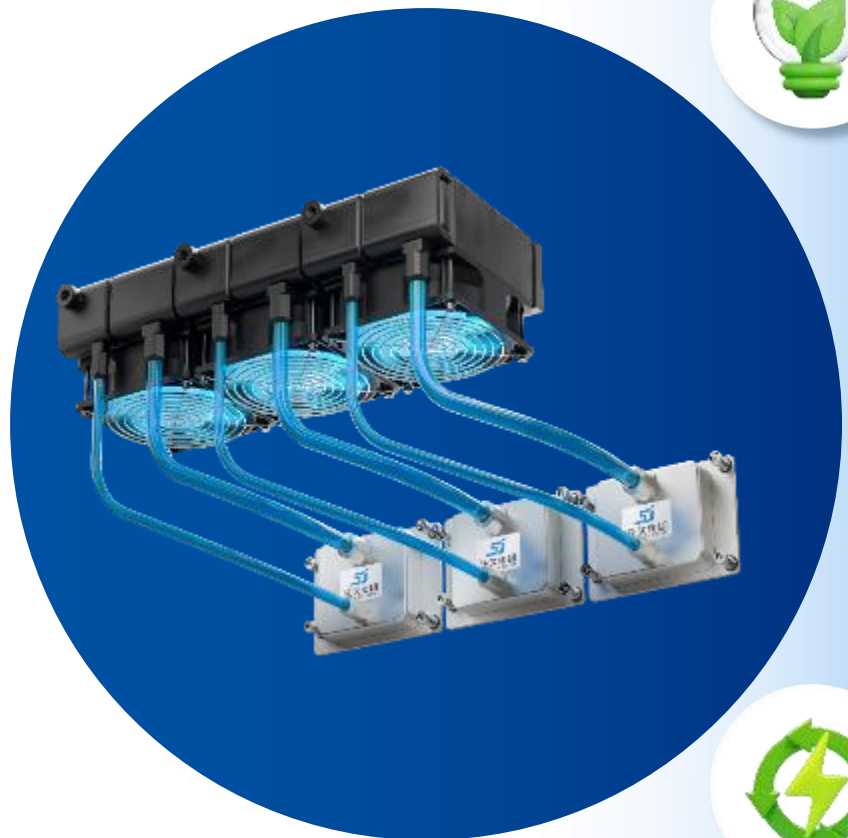
高热流密度增强CHF成核
动力强劲无惧跋山涉水

高功耗及高热流密度
解热能力

A、 $Q_{max} > 550w/CPU$ or GPU

B、 $Q_{max} > 2kw/台$





效率高 能耗小

- A、1000元RMB/台/年
- B、节约能耗25%~35%

SJ ZeroPulse Cooler

终端产品新型散热利器

次世代PC液冷
静的超乎想象



行业核心拐点：技术替代不可逆

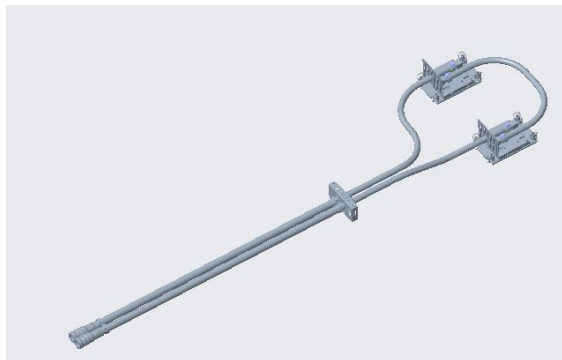
- **算力功耗突破物理极限：**英伟达 GB200/B300、AMD MI350 等 AI 芯片单卡功耗已达 1000-1200W，即将量产的 R200 芯片预计突破 2300W，单机柜功率密度从 2024 年 130kW 向 2029 年 1MW 冲刺。传统风冷仅支持 $\leq 30\text{kW} / \text{柜}$ ，已无法满足高密度算力散热需求，液冷成为唯一技术路径。
- **政策强制标准落地：**中国要求 2025 年底新建大型数据中心 PUE ≤ 1.25 ，“东数西算”8 大枢纽节点强制要求液冷比例；《数据中心液冷系统技术规程》（T/CECS 1722-2024）明确冷板式 PUE ≤ 1.25 、浸没式 ≤ 1.15 的验收标准，推动液冷规范化应用。
- **技术路线明确主导：**冷板式液冷以 65% 以上市场占比成为当前主流，兼容现有机房架构，适配存量改造与新建场景；浸没式液冷年复合增长率达 25%，成为未来超高功率密度场景核心方向。



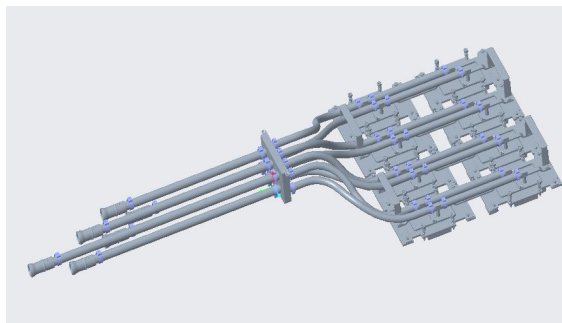
GPU液冷4U 8卡 服务器

产品外观图

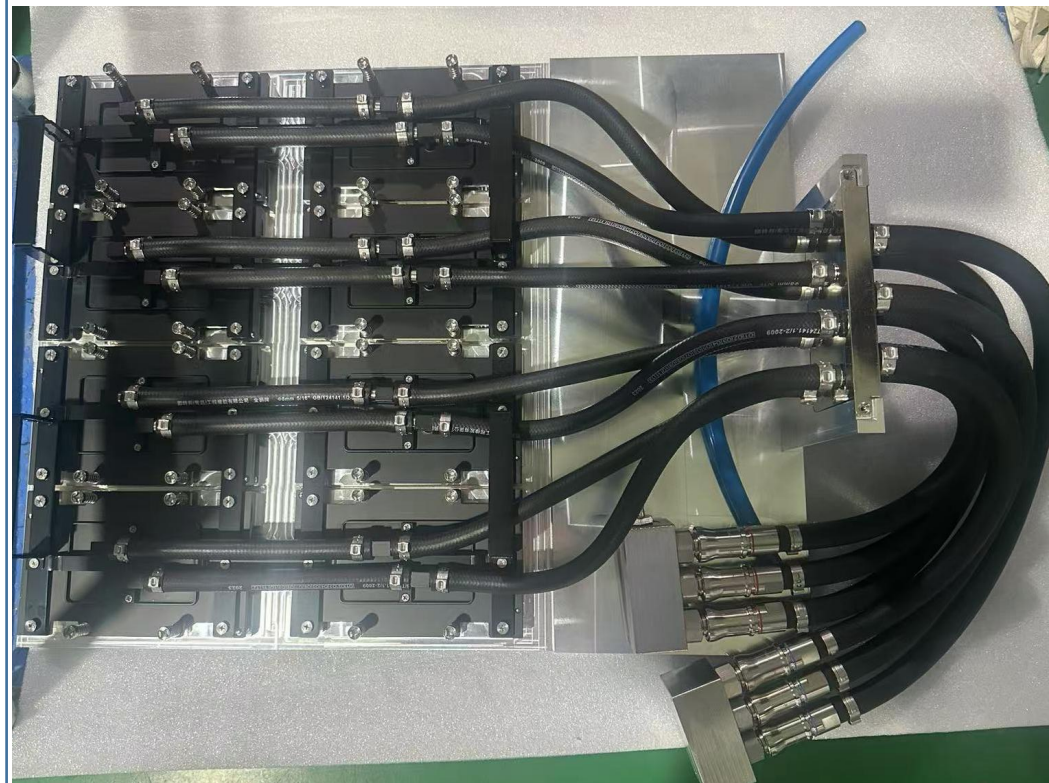
CPU 冷头组:
2组串联总计2个CPU



GPU 冷头组:
2串4并总计8个GPU

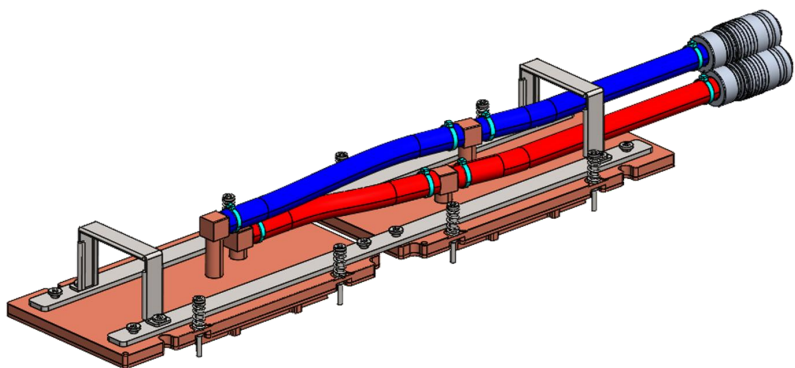


产品展示



1000W-GPU液冷4U 8卡 AI服务器

产品外观图



产品参数

产品信息:

产品名称: 8卡GPU

产品组成: 4组2并

单冷头尺寸: 206x102x13mm

额定解热功率: $1000W \times 8 = 8000W$

流量: 2LPM(单冷头), 压降 < 8kpa

单组:

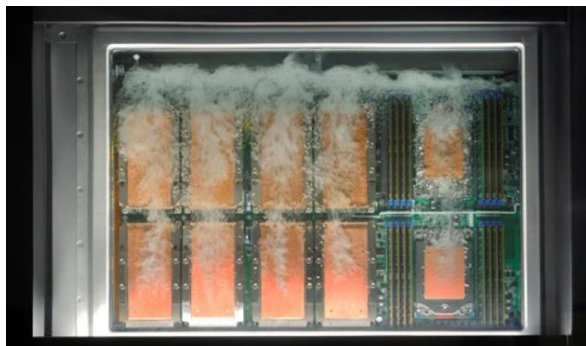
功率: 2000W 流量: 4LPM

整组冷板之间温差: $\leq 2^{\circ}C$

整体冷板流阻: < 30Kpa

热阻: $0.025^{\circ}C/W$

整组承压: 1Mpa



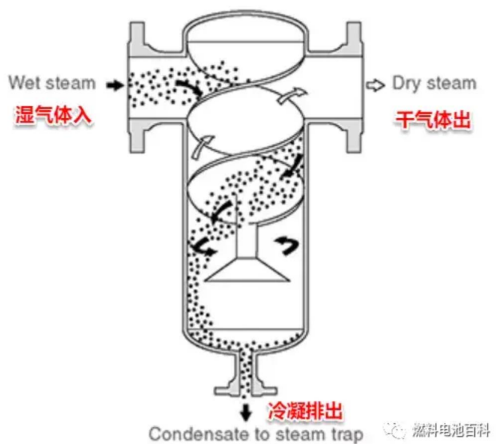
为了应对高性能计算任务和庞大的数据处理带来的能耗与散热等问题，服务器液冷技术应运而生。尤其是去年以来大模型和AIGC的崛起，海量数据的训练、计算、推理等都对服务器等硬件设施的散热效率提出了更高的要求。传统的风冷散热技术不能满足未来更大功率服务器的散热需求；相较于目前主流的风冷技术，液冷技术具有低能耗、高散热、低噪声、低TCO等优势，在服务器计算能力强、部署密度高等场景下，具有较为明显的优势。

主流液冷技术 浸没式 喷淋式 冷板式液冷

方案研究历程

Plan research process

国内外学术调研



气液分离研究

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_{max} \exp\left[-\frac{r^2}{b_a^2}\right] \\ \alpha_{max} = a_0 Z^{-b_0} \end{cases} \quad (10)$$

式中： α_{max} ——两相区中心含气率； b_a ——由含气率表示的两相区结构参数； r, Z ——径向和轴向坐标； a_0, b_0 ——系数；

1.2 边界条件和初值条件

1.2.1 连续相方程边界条件

$$\begin{cases} r=0, \frac{\partial \phi}{\partial r} = 0 \\ Z=0, r=R, \phi=0 \\ Z=H, \frac{\partial \phi}{\partial Z} = 0, u=0. \end{cases} \quad (11)$$

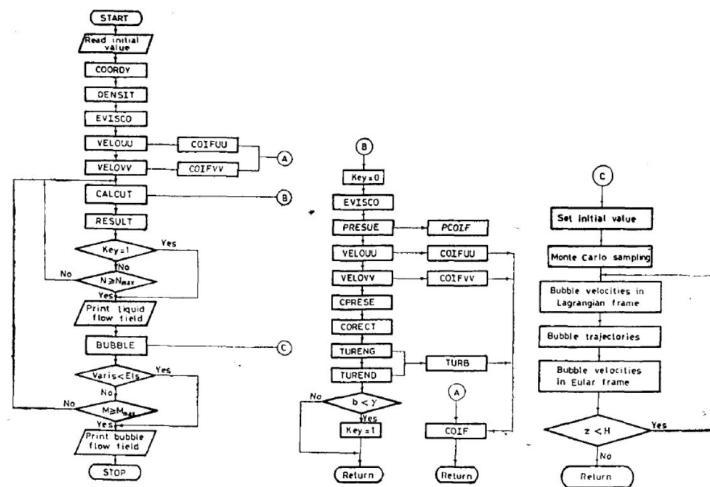
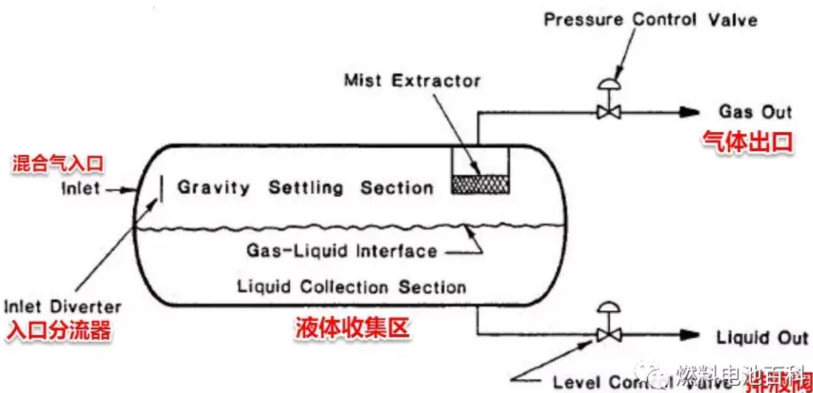
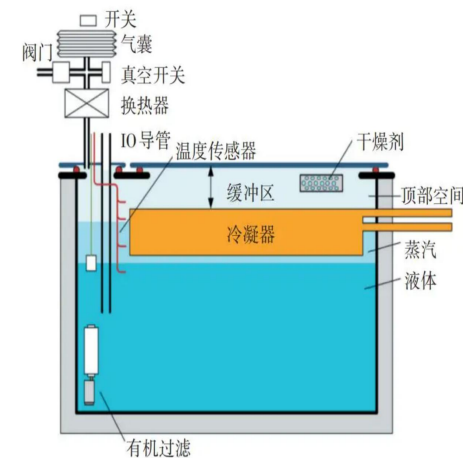
其中， ϕ 为 u, v, k, ϵ

1.2.2 分离流模型初值条件

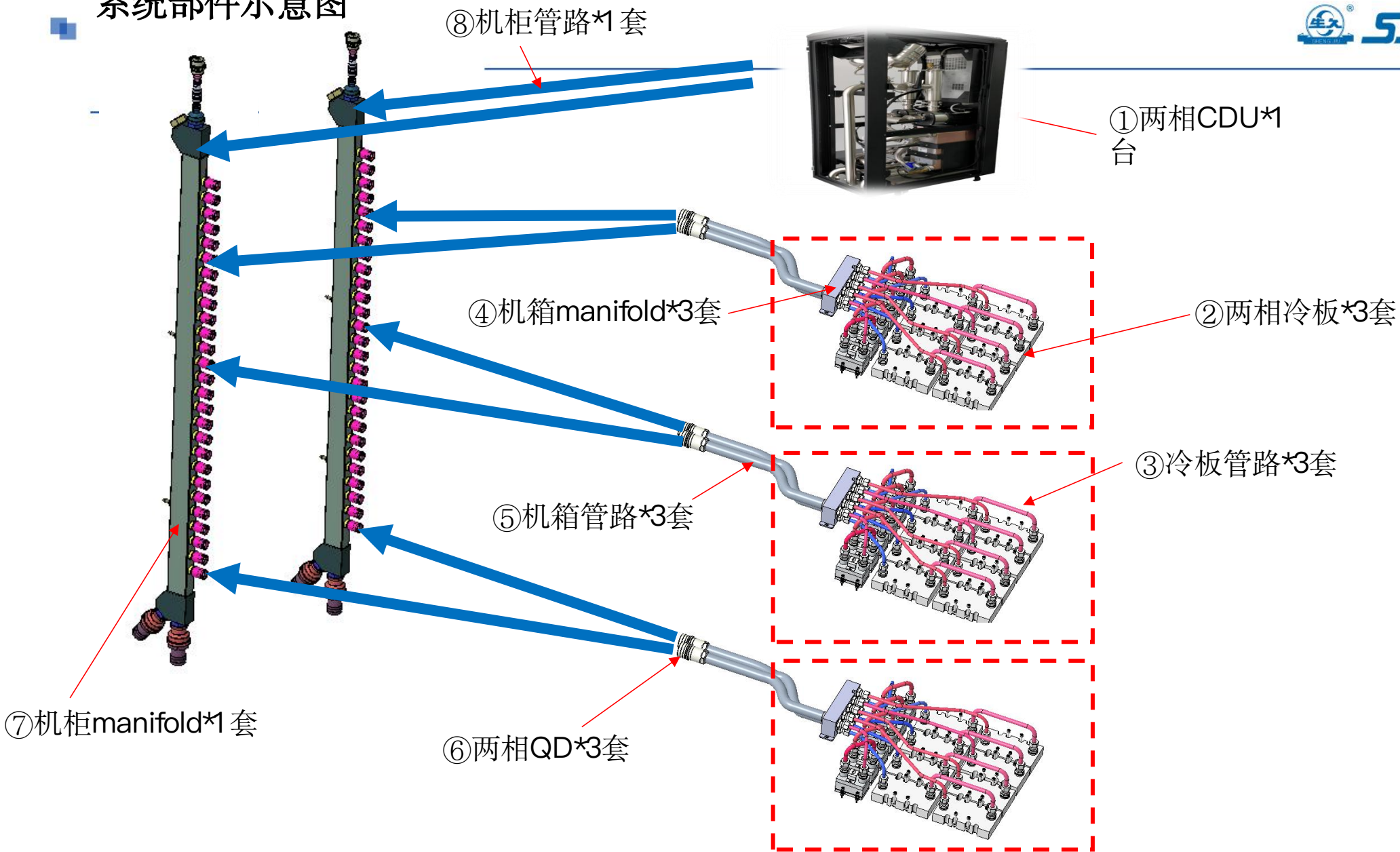
本文以 $\frac{Z}{d_0} = 6$ 处为初始位置，以在该点实测的气泡速度 $u_{b,0}$ 为初值，令气泡径向速度 $v_{b,0} = 0$ 。

本文假设气泡频数在初始位置的径向上服从正态分布，分布函数的参数由相应位置的含

分离装置探索



系统部件示意图



HiPCU

— High Efficiency Phase Change Unit —



- 突破工质选择难题
- 相变冷板热流密度提升与性能飞跃相变流体连接器突破
- 高适配性软管环路选择

- 相变Minfold内径难题
- 流量泵性能参数及耐久兼容性
- 高低功率抢流量问题
- 如何实现在整机柜极低pPUE下超低热阻



大功率才有大心脏

- 两相液冷系统整机柜设计功率 : 80KW
 - 服务器数量: 20台
 - 单台CPU数量: 2PCS/台
 - 单CPU功耗: 2KW/PCS
 - 设计平台: AMD SP7 Intel AP
-
- 无水系统pPUE值 <1.1



实测数据

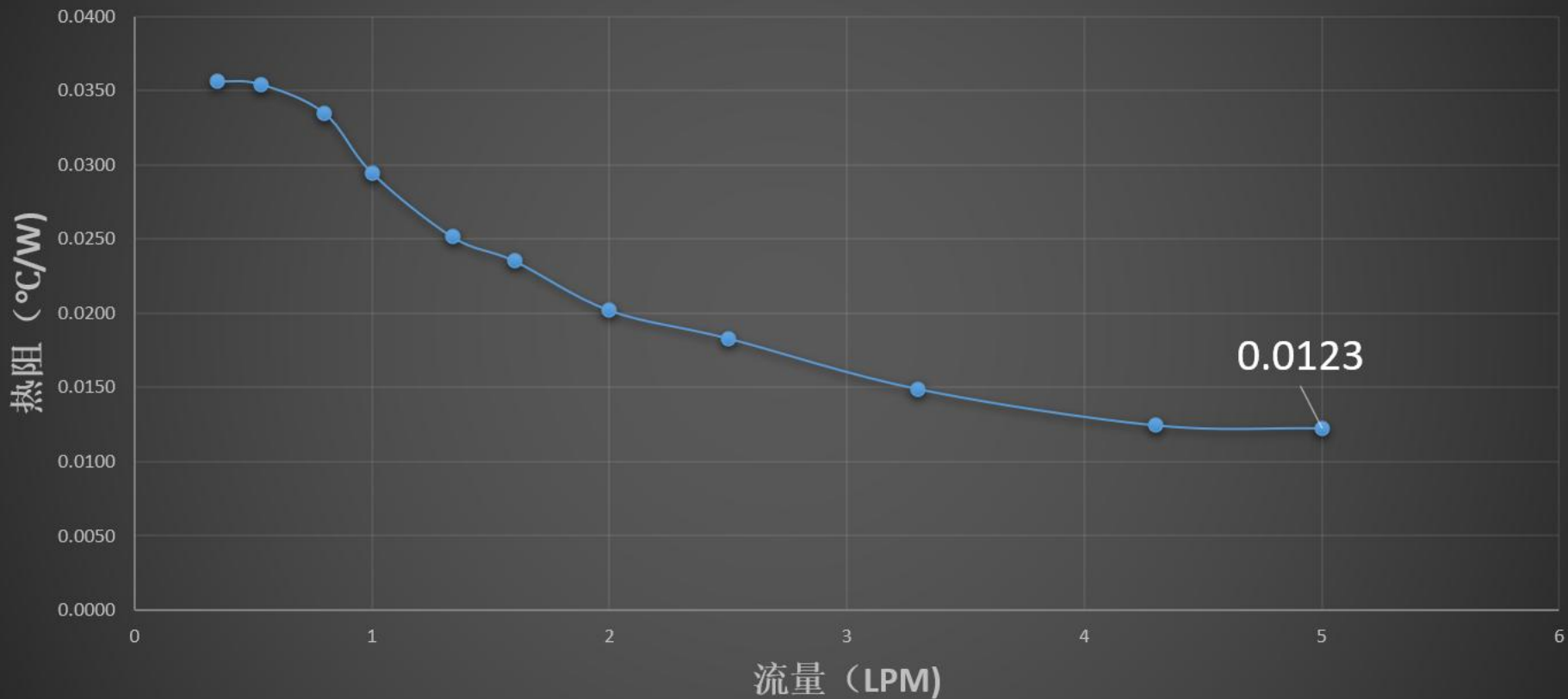
SP7冷头（有吸液芯）流量-热阻变化曲线

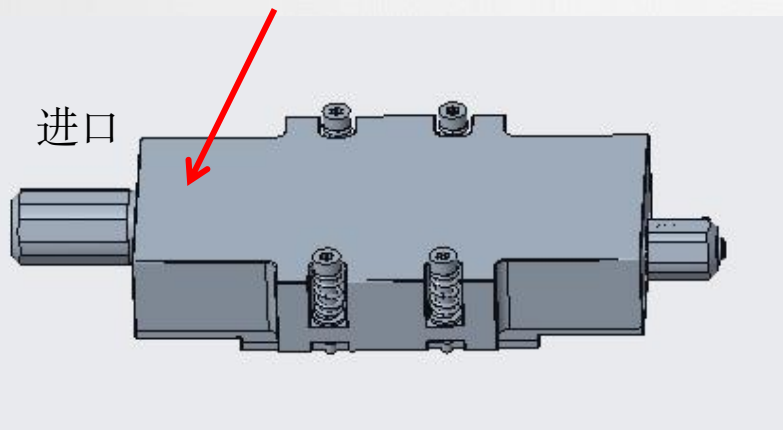
序号	液冷模组				TTV		模组		备注	
	流量	SP7-1	SP7-2(NG)	T _{in}	T _{out}	T _{C1}	T _{C2}	Rc1		Rc2
	L/min	W	W	°C	°C	°C	°C	°C /w		°C /w
1	4.3	505.0	/	27.7	32.0	34.0	/	0.012	/	/
2	3.3	503.0	/	27.5	33.1	35.0	/	0.015	/	/
3	2.5	507.6	/	26.7	34.3	36.0	/	0.018	/	/
4	2.0	504.8	/	26.8	36.7	37.0	/	0.020	/	/
5	1.6	505.6	/	27.1	38.5	39.0	/	0.024	/	/
6	1.3	505.0	/	27.3	39.0	40.0	/	0.025	/	/
7	1.0	505.5	/	27.1	39.2	42.0	/	0.029	/	/
8	0.8	504.5	/	27.1	39.1	44.0	/	0.033	/	/
9	0.5	505.0	/	27.1	39.2	45.0	/	0.035	/	/
10	0.4	505.0	/	27.0	38.2	45.0	/	0.036	/	/
11	0.3	605.0	/	26.8	39.7	48.0	/	0.035	/	/
12	0.3	705.0	/	26.5	40.2	51.0	/	0.035	/	/
13	0.3	803.0	/	26.6	43.0	54.0	/	0.034	/	/
14	0.3	903.0	/	26.6	45.2	57.0	/	0.034	/	/
15	0.6	1001.0	/	26.9	48.4	59.0	/	0.032	/	/
16	4.3	200.0	/	28.7	31.0	33.0	/	0.022	/	/



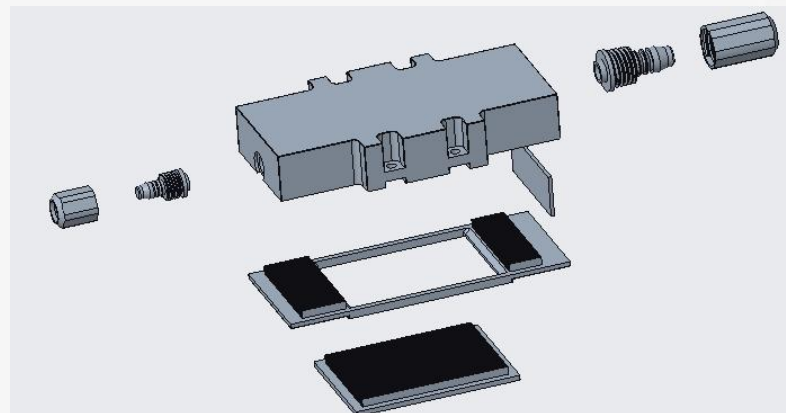
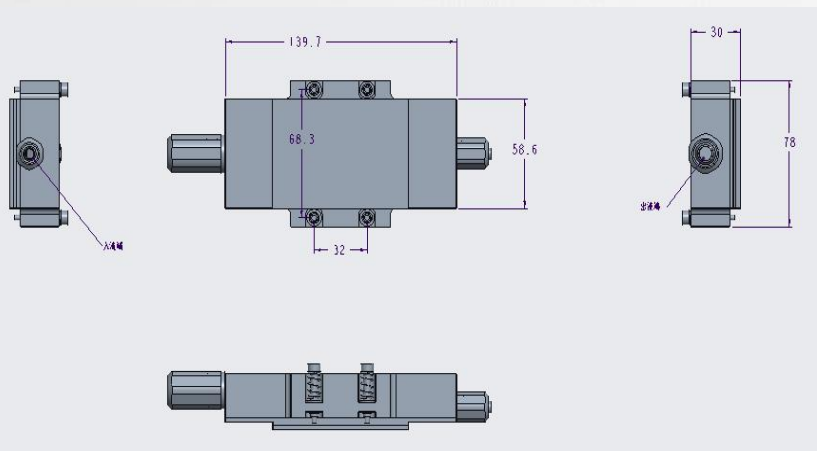
实测数据

有滤芯单冷头不同流量-热阻变化

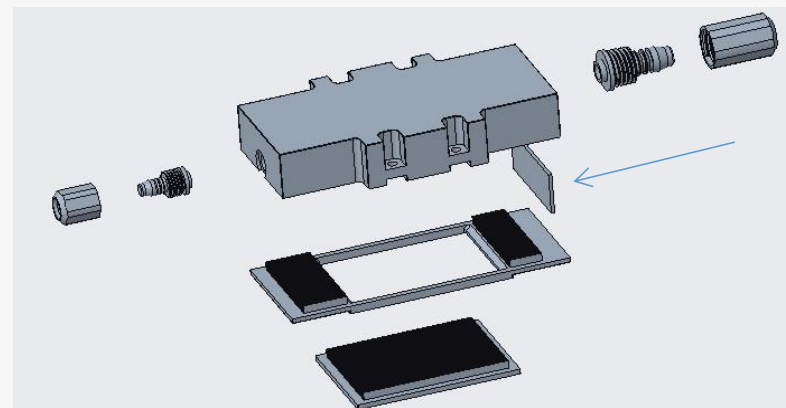




进
出
水
口
使
用
宝
塔
头



增加气液过滤网：依原样品测试结果，增加气液过滤网会有效提升冷头性能



结果验证

热源模块	不加滤芯	加滤芯	
SP71	T_{C1}	TC1	温差
W	°C	°C	°C
200.0	33.0	31.0	2.0
300.0	36.0	33.0	3.0
400.0	39.0	34.0	5.0
600.0	45.0	38.0	7.0

两相液冷系统实测数据

SP7冷头 (无吸液芯)

序号	液冷模组				TTV		模组		备注	
	流量	SP7-1	SP7-2	T _{in}	T _{out}	T _{C1}	T _{C2}	Rc1		Rc2
	L/min	kW	kW	°C	°C	°C	°C	°C/w		°C/w
1	4.6	1.0	1.0	28.8	44.0	58.0	64.0	0.029	0.035	无相变
2	3.0	0.6	0.6	27.1	43.5	53.0	56.0	0.043	0.048	1/2相变
3	2.3	0.7	0.7	27.1	48.5	59.0	63.0	0.046	0.051	1/3液体, 未见气化
4	0.7	0.8	0.8	27.1	57.1	72.0	76.0	0.056	0.061	气液两相明显/无法进行下一步测试

SP7冷头 (有吸液芯)

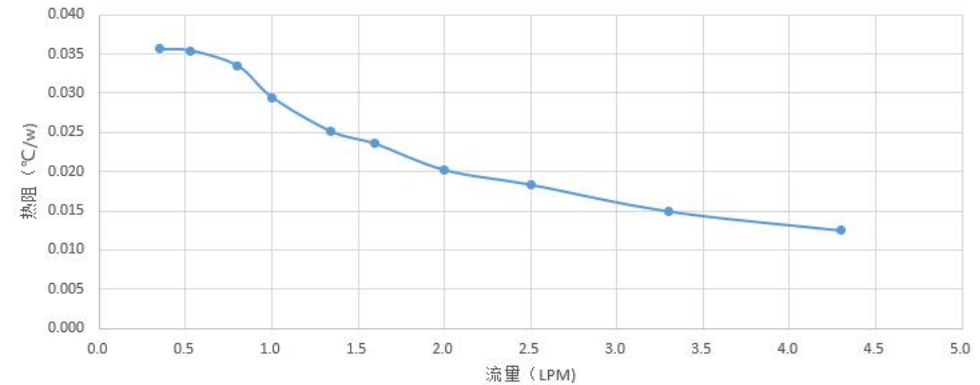
序号	液冷模组				TTV		模组		备注	
	流量	SP7-1	SP7-2	T _{in}	T _{out}	T _{C1}	T _{C2}	Rc1		Rc2
	L/min	kW	kW	°C	°C	°C	°C	°C/w		°C/w
1	2.9	0.6	0.6	26.3	42.9	43.0	45.0	0.028	0.031	1/2液位、回液未见明显气化
2	3.0	0.7	0.7	27.0	46.0	46.0	49.0	0.027	0.031	1/2偏下液位、回液未见气化、10mm不明
3	3.1	0.8	0.8	27.0	47.5	48.0	51.0	0.026	0.030	1/2偏下液位、回液未见气化、10mm不明
4	3.0	0.9	0.9	27.2	49.3	51.0	55.0	0.026	0.031	流动连续、1/3液位、未气化完全
5	3.0	1.0	1.0	27.3	51.4	53.0	58.0	0.026	0.031	流动连续、1/4液位、未气化完全
6	2.8	1.1	1.1	26.5	57.0	57.0	62.0	0.028	0.032	流动连续、1/5液位、未气化完全
7	2.8	1.2	1.2	27.7	57.3	60.0	65.0	0.027	0.031	流动连续、1/8液位、未气化完全
8	2.9	1.3	1.3	28.0	59.3	63.0	65.0	0.027	0.028	流动连续、管壁上气液两相混合
9	3.1	1.4	1.4	28.0	60.0	63.0	65.0	0.025	0.026	流动连续、管壁上气液两相混合-略剧烈
10	4.0	1.5	1.5	27.7	55.9	61.0	64.0	0.022	0.024	流动连续、管壁上气液两相混合-剧烈

结论: 1、吸液芯更具稳定性

SP7冷头 (有吸液芯) 流量-热阻变化曲线

序号	液冷模组				TTV		模组		备注	
	流量	SP7-1	SP7-2(NG)	T _{in}	T _{out}	T _{C1}	T _{C2}	Rc1		Rc2
	L/min	W	W	°C	°C	°C	°C	°C/w		°C/w
1	4.3	505.0	/	27.7	32.0	34.0	/	0.012	/	/
2	3.3	503.0	/	27.5	33.1	35.0	/	0.015	/	/
3	2.5	507.6	/	26.7	34.3	36.0	/	0.018	/	/
4	2.0	504.8	/	26.8	36.7	37.0	/	0.020	/	/
5	1.6	505.6	/	27.1	38.5	39.0	/	0.024	/	/
6	1.3	505.0	/	27.3	39.0	40.0	/	0.025	/	/
7	1.0	505.5	/	27.1	39.2	42.0	/	0.029	/	/
8	0.8	504.5	/	27.1	39.1	44.0	/	0.033	/	/
9	0.5	505.0	/	27.1	39.2	45.0	/	0.035	/	/
10	0.4	505.0	/	27.0	38.2	45.0	/	0.036	/	/
11	0.3	605.0	/	26.8	39.7	48.0	/	0.035	/	/
12	0.3	705.0	/	26.5	40.2	51.0	/	0.035	/	/
13	0.3	803.0	/	26.6	43.0	54.0	/	0.034	/	/
14	0.3	903.0	/	26.6	45.2	57.0	/	0.034	/	/
15	0.6	1001.0	/	26.9	48.4	59.0	/	0.032	/	/
16	4.3	200.0	/	28.7	31.0	33.0	/	0.022	/	/

不同流量-热阻变化

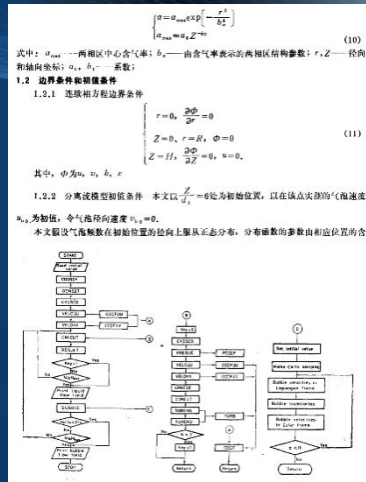


方案研究历程

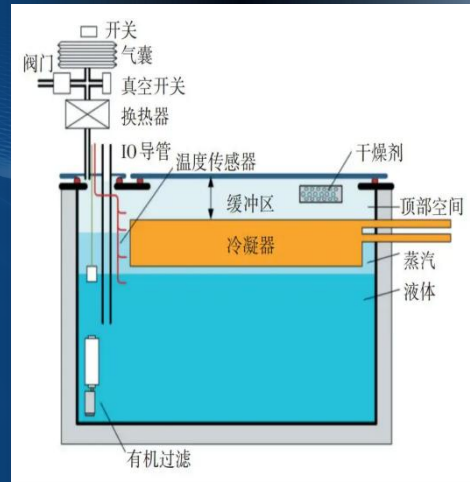
Plan research process

— 国内外学术调研 —

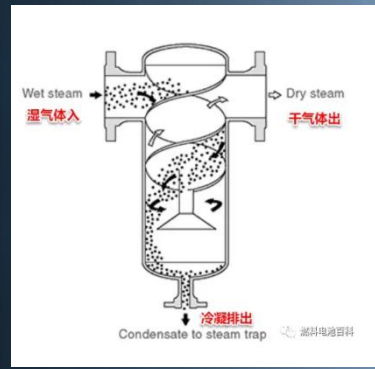
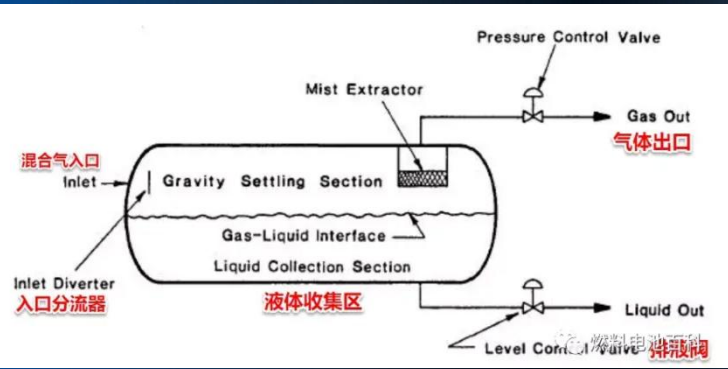
气液分离研究



分离装置探索



- 两相CDU制冷量 : 80KW
- 两相CDU高度 : 4U



— 想的多一点 走的稳一点 —



两相板换分层化设计
采用单层流、泄压型板换



无水泵高效能、高耐压、
高扬程：最高效率65%、
军工级耐压3Mpa、
40m+扬程、零泄漏



泵驱模块冗余设计：
N+1

— 路再难 行则将至 —

第一代·第三代



从第一代制冷剂开始
一直适配到了第三代
制冷剂

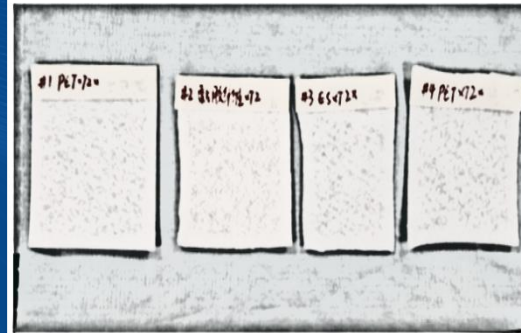
7 个大类

28 个小类



有些人想到了
但有些人做到了!

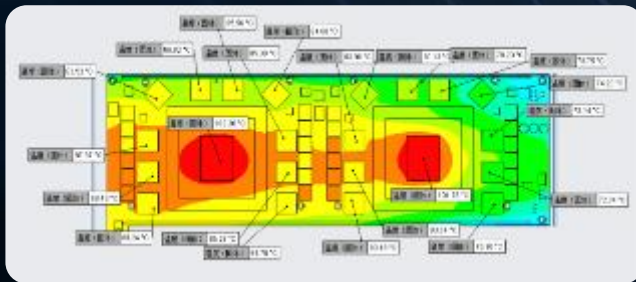
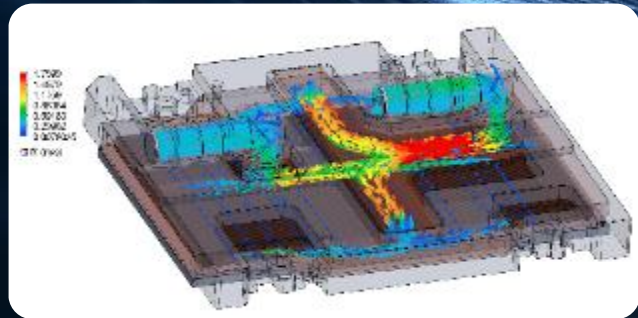
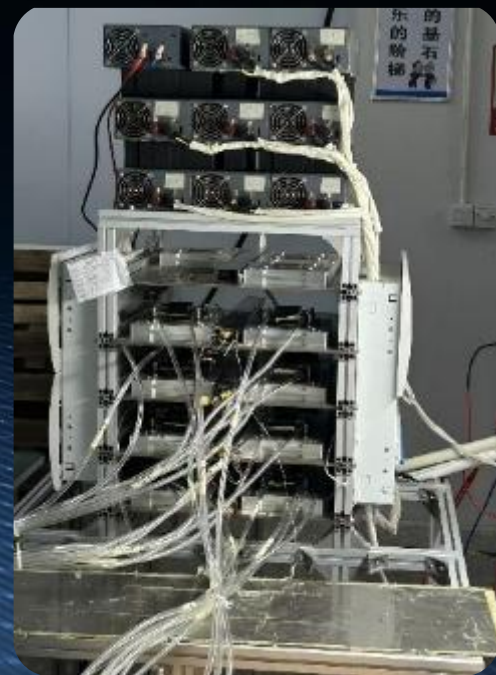
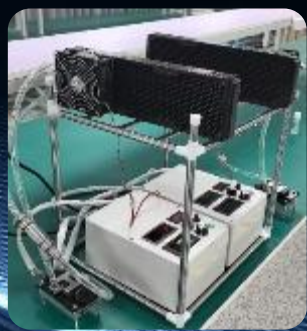
Fibers



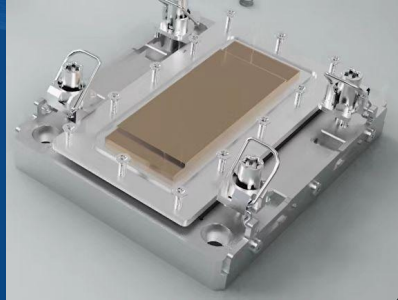
- No appearance change after 14-day immersion in
- Weight and size change after 14-day immersion in

Sample No.	Sample Name	Weight	Thickness	Length	Width
#1	PETxT2x	0.13%	0.49%	-0.02%	0.29%
#2	黏胶纤维xT2	-0.55%	0.31%	0.06%	0.03%
#3	ESxT2	-0.54%	0.71%	-0.07%	-0.75%
#4	PETx72x	-0.10%	-2.62%	0.04%	-0.36%

30多次的推到重来 -- 我们不怕跌倒 只怕从未站起



两相冷头



- 两相冷头

增强气体分离型设计、微纳复合结构加速气液分离

两相快接

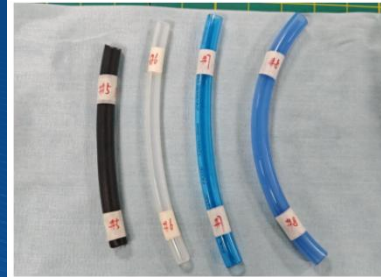


- 两相快接

阀芯快速泄压

两相管路

Hoses



- No appearance change after 14-day immersion in [redacted]
- Weight and size change after 14-day immersion in [redacted]

Sample No.	Material	Weight	Thickness	Width
#5	内壁尼龙 + 外壁EPDM	0.08%	0.39%	2.02%
#6	内壁尼龙 + 外壁PU	2.36%	2.11%	0.47%
#7	内壁PU + 外壁PU	4.98%	0.40%	1.57%
#8	内壁尼龙 + 外壁PU	0.43%	-1.90%	0.34%

- 两相管路：

定制兼容性管路（已运行3年以上），高耐压、低渗透率（寻找5大类以及20个小项以上的管路兼容测试）

— 把风险 消灭在萌芽中 —



探索之路 何为起源 何为终点

这条技术路线到底走不走的通？

那些人们担心的问题到底谁来解决？

谁应该是第一个吃螃蟹的人？

前期成本居高不下进入单循环!!!

流量分配的稳定性用什么方法来实现？

先驱？

先烈？

先锋？

长期的可靠性谁来验证？

A man in a white suit stands in the center of a crowd of men in dark suits. A glowing blue path leads through the crowd, and a glowing blue grid pattern is visible on the left side of the image.

不跟随

才会大有不同

HiPCU

—— High Efficiency Phase Change Unit ——

我们用尽全力只为这一步





SJ[®] **生久集团**
SHENGJIU GROUP

建百年生久 创世界品牌