



国产低温制冷机的应用

北京中科富海低温科技有限公司 ——王广海



01

技术概述

02

主要设备

03

应用案例

04

4kW制冷机

05

总结





01

技术概述



技术概述

应用

氮液化器/制冷机在超导加速器、核聚变装置、超导强磁场、超导电力设备、超导磁悬浮、氢气的回收液化、氢气液化和储运等领域有着广泛的应用，是大科学工程、航空航天、新能源等高新技术产业的核心技术设备，是国家综合竞争力的重要体现。



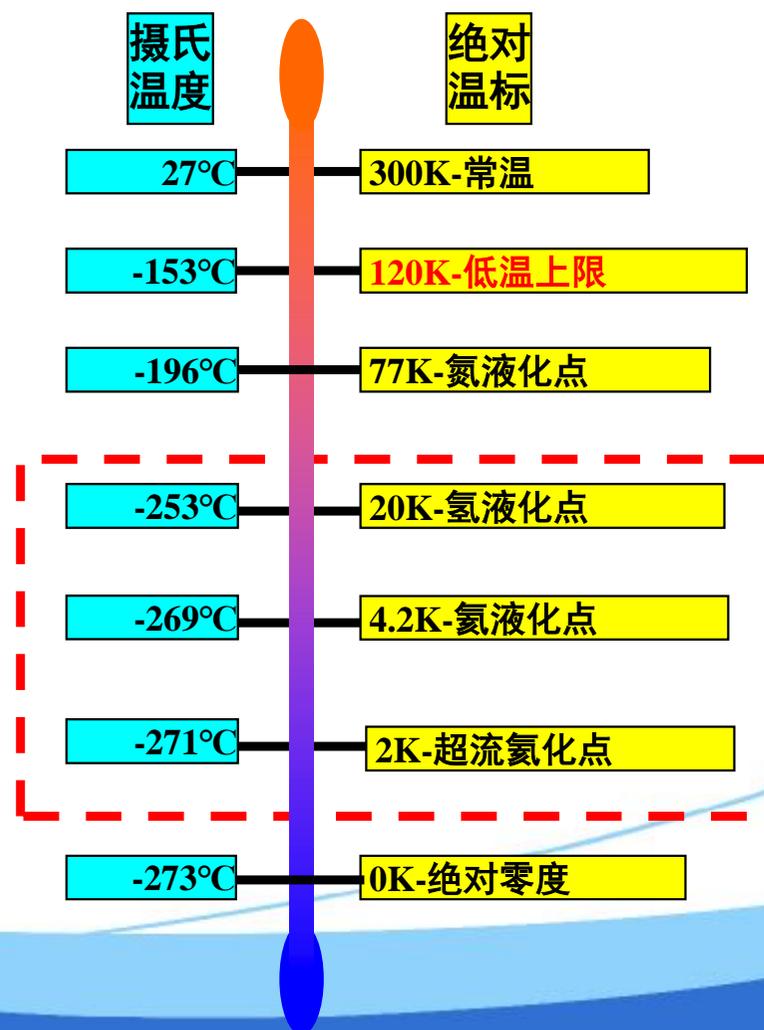
基本原理

将物质的温度降至低于环境温度的操作，称为冷冻或制冷。

- 温度范围在 -100°C 以上 \rightarrow 普通冷冻或普冷；
- -100°C 至 4.2K \rightarrow 深度冷冻或深冷；
- 4.2K 以下 \rightarrow 极低温。

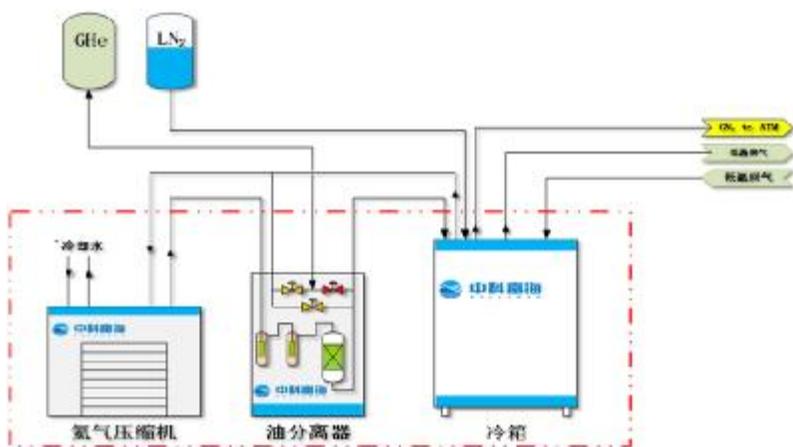
氦气

特征：单原子气体，是所有气体中最难液化的，是不能在标准大气压下固化的物质；

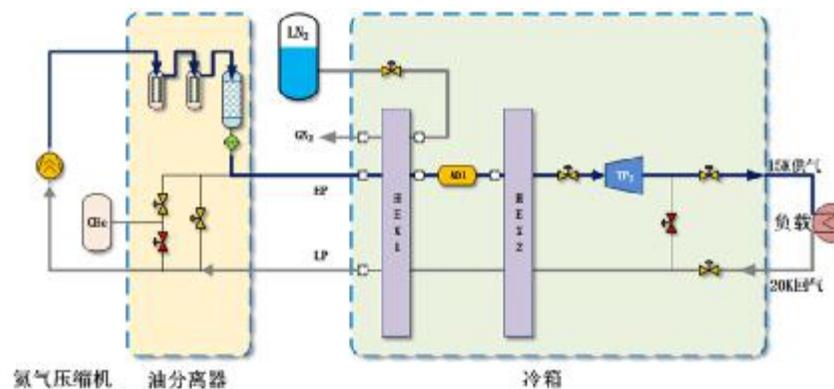


技术概述

20K制冷机



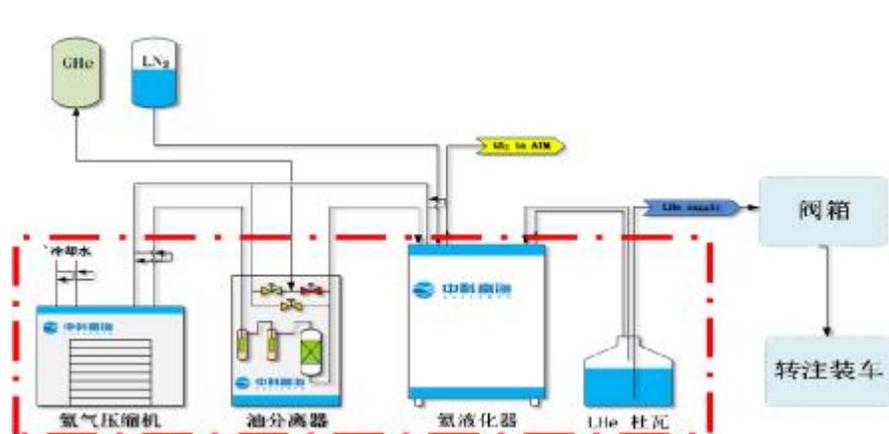
- 设备组成：氮气压缩机、油分离器、冷箱；
- 可选：氮气缓冲罐、液氮罐、管道及设备安装



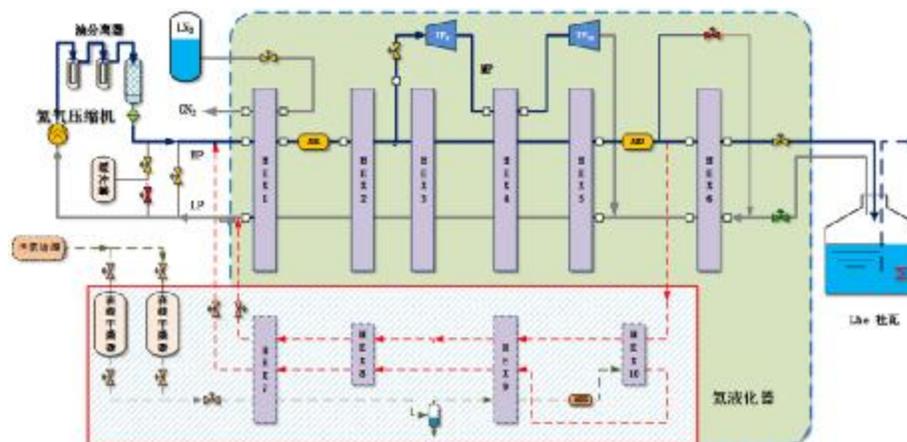
- ? 20K制冷机为负载提供稳定的20K冷量；
- ? 可选：有/无液氮预冷；

技术概述

氮液化器



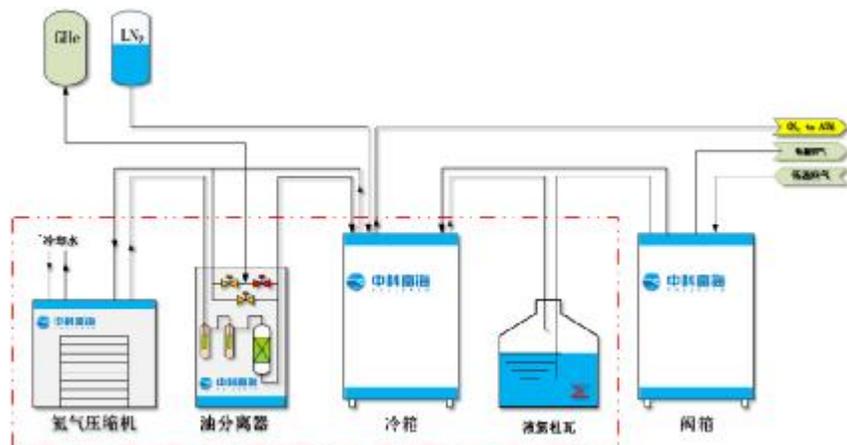
- 设备组成：氮气压缩机、油分离器、冷箱、液氮杜瓦；
- 可选：氮气缓冲罐、液氮罐、阀箱、管道及设备安装。



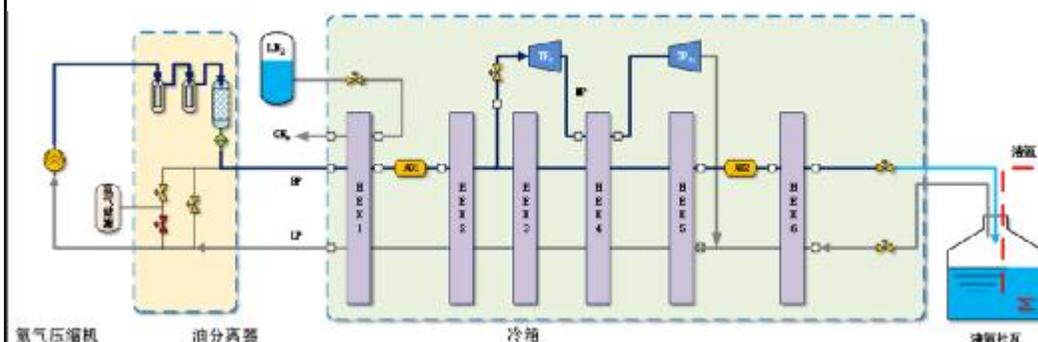
- ? 稳定生产液氮；
- ? 可选：有/无液氮预冷；
- ? 可选：有/无内纯化。

技术概述

4.5K制冷机



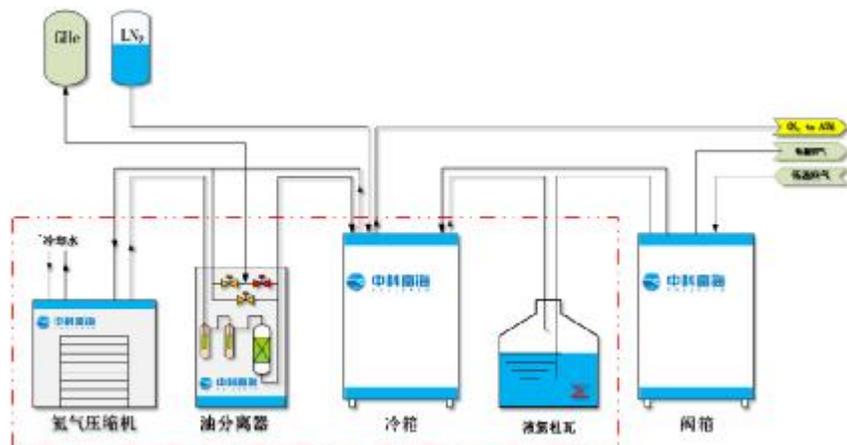
- 设备组成：氮气压缩机、油分离器、冷箱、液氮杜瓦；
- 可选：氮气缓冲罐、液氮罐、阀箱、管道及设备安装。



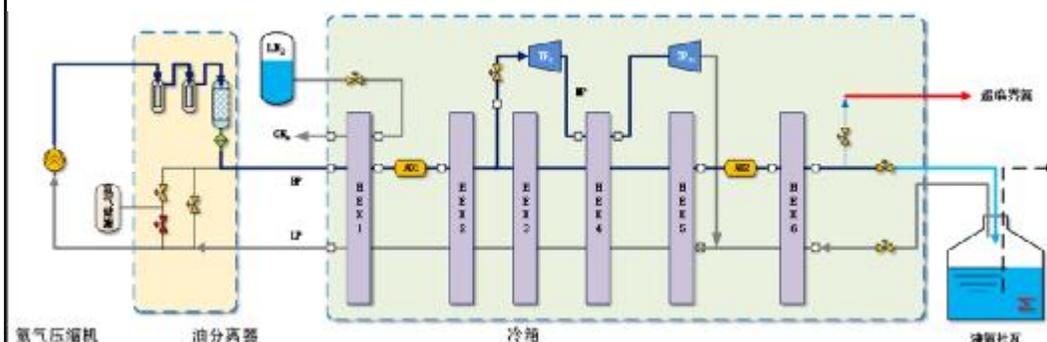
- ? 4.5K制冷机为负载提供稳定的4.5K冷量；
- ? 可选：有/无液氮预冷；
- ? 有制冷/液化两种模式。

技术概述

4.5K制冷机



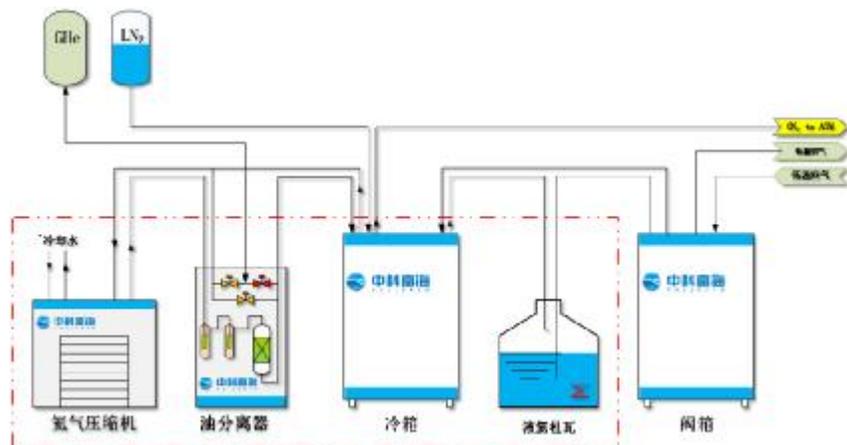
- 设备组成：氮气压缩机、油分离器、冷箱、液氮杜瓦；
- 可选：氮气缓冲罐、液氮罐、阀箱、管道及设备安装。



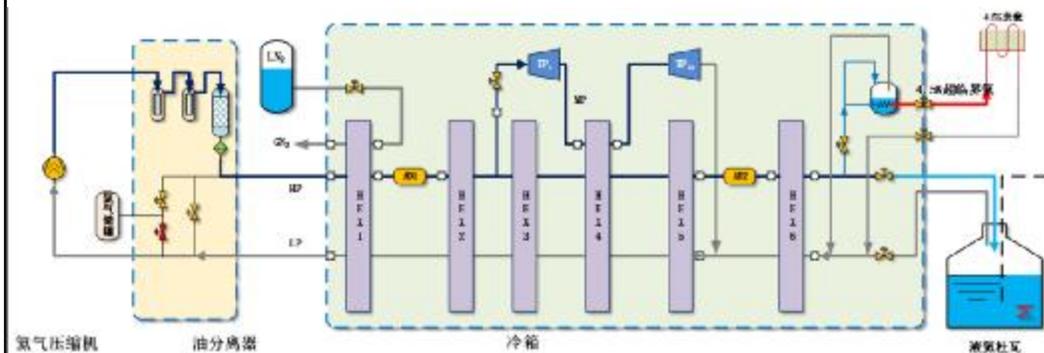
- ? 4.5K制冷机为负载提供稳定的4.5K冷量；
- ? 可选：有/无液氮预冷；
- ? 有制冷/液化两种模式。

技术概述

4.5K制冷机



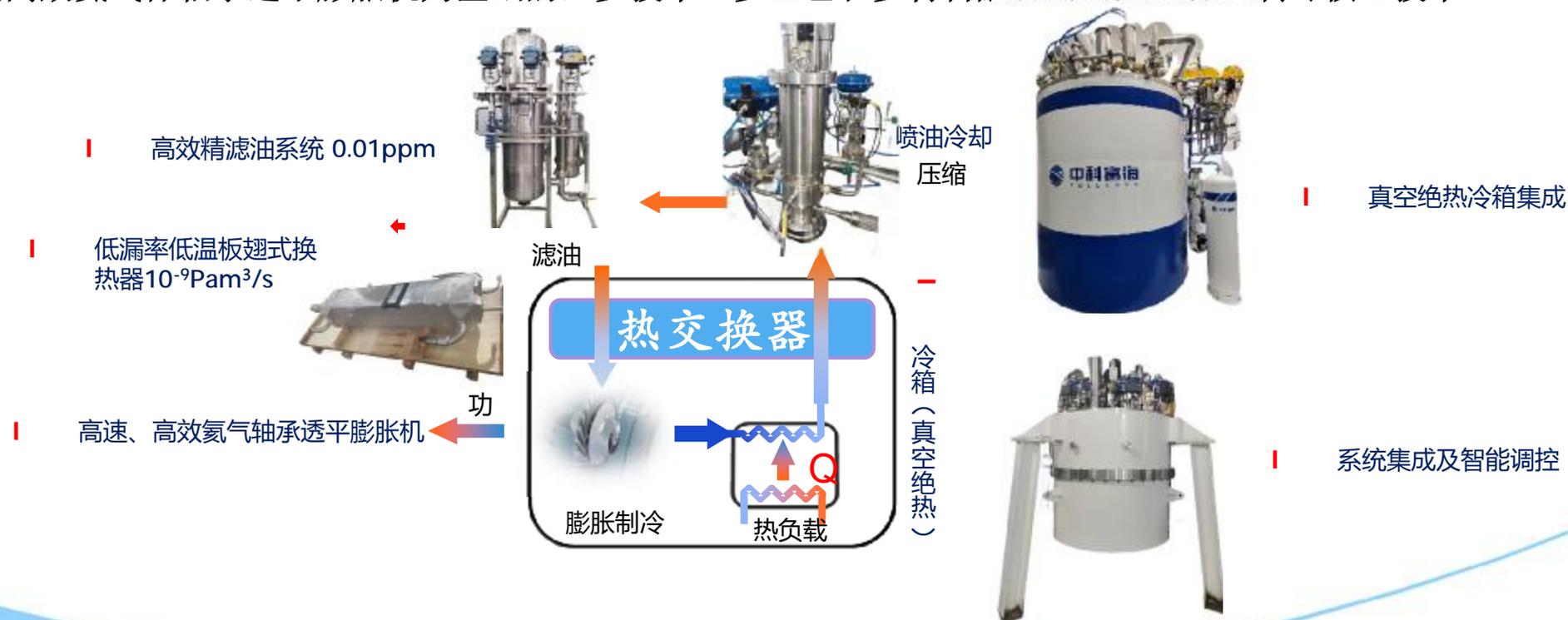
- 设备组成：氮气压缩机、油分离器、冷箱、液氮杜瓦；
- 可选：氮气缓冲罐、液氮罐、阀箱、管道及设备安装。



- ? 4.5K制冷机为负载提供稳定的4.5K冷量；
- ? 可选：有/无液氮预冷；
- ? 有制冷/液化两种模式。

技术概述

以高速高效氦气体轴承透平膨胀机为基础的，多技术、多工艺和多材料融合的的人型低温制冷核心技术





02

主要设备



主要设备

压缩机



压缩机:

ρ 变频、水冷、单级、喷油、双螺杆、降噪撬装厢式结构

ρ MTBF: $\geq 8000\text{h}$

ρ 出口气体油含量: $\leq 3\text{ppm}$

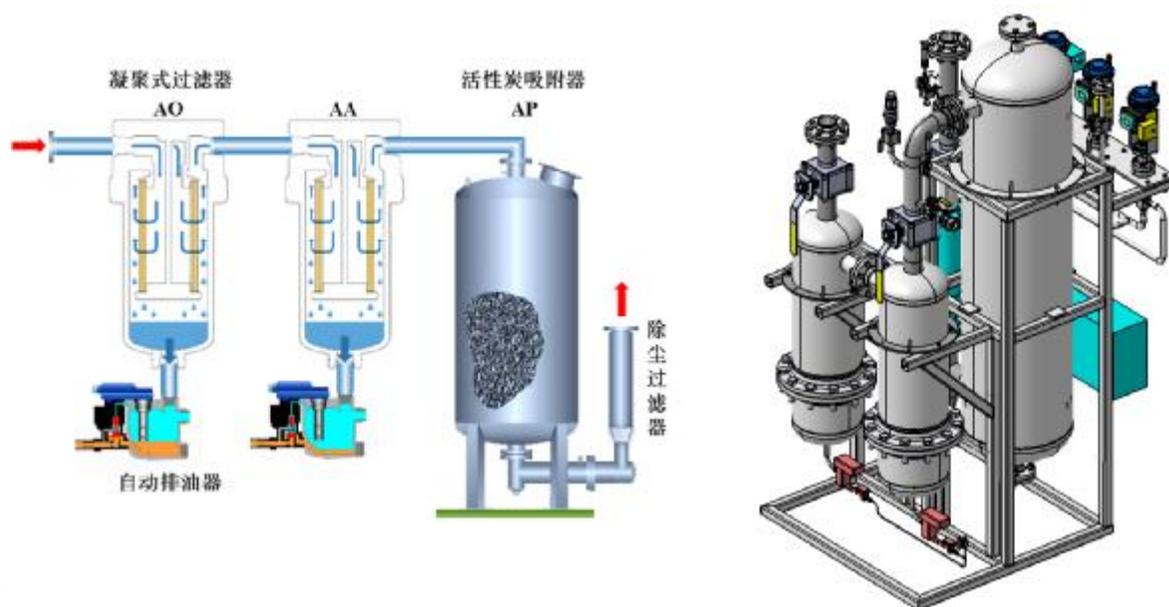
ρ 漏率: $\leq 1 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

ρ 绝热效率: $\geq 85\%$

ρ 系列化产品: T75~T800WPH

主要设备

油分离器

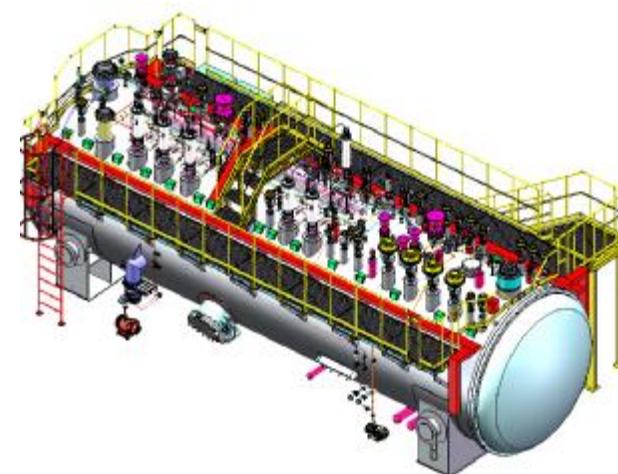


油分离器:

- ρ 油分+气体管理系统撬装设备
- ρ 油分: 2/3级凝聚式过滤器+活性炭桶, 出口气体油含量 $\leq 10\text{ppbw}$
- ρ 气体管理系统: 加载、卸载、旁通阀, 稳定系统高低压
- ρ 漏率: $\leq 5 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
- ρ 系列化产品: FHOR-350~FHOR-1200

主要设备

冷箱



冷箱：

ρ 立式/卧式冷箱；

ρ 真空封闭容器；

ρ 复合真空泵 10^{-4} Pa

ρ 换热器、透平、低温吸附器等；

ρ 漏率： $\leq 5 \times 10^{-8}$ Pa.m³/s

主要设备

氮制冷系统



杜瓦的安装面板配备以下仪器：

- p 超导液面计
- p 复合压力表
- p 温度传感器
- p 安全泄压阀及爆破片
- p 系列化产品FHDW100~20000



03

应用案例



部分应用案例



液氦温区20K系列产品

- ① 600W@20K-航天八院/重庆建峰
- ② 2000W@20K-九院二所/九院七所

氦液化器系列产品

- ① 40L/h-理化所/亿飒/安徽万瑞/深燃众源
- ② 70L/h-松山湖/AP
- ③ 140L/h-内蒙万瑞
- ④ 300L/h-中石油塔西南

液氦温区4.5K制冷机系列产品

- ① 200W@4.5K氦制冷机-韩国KSTAR-NBI（中性束注入器）
- ② 250W@4.5K-中科院高能所
- ③ 400W@4.5K制冷机-原子能院
- ④ 500W@4.5K制冷机-西物院/能量奇点/泰基/九院十所
- ⑤ 1000W@4.5K制冷机-高能所PAPS（先进光源）
- ⑥ 850W@4.5K制冷机-散裂中子源
- ⑦ 1000W@4.5K制冷机-广东省先进能源实验室
- ⑧ 4000W @4.5K制冷机-广东省先进能源实验室

600W@20K 氦制冷机-航天八院

u 项目状态：2022年8月交付验收



2kW@20K 氦制冷机-九院七所

u 项目状态：2021年12月交付验收



40L液化器-深燃众源

u 项目状态：2020年7月交付验收



70L液化器-松山湖材料实验室

u 项目状态：2023年5月交付验收



200W@4.5K氦制冷机-韩国KSTAR-NBI中性束注入器

u 项目状态：2019年交付



400W@4.5K制冷机-原子能院

u 项目状态：2020年11月交付



500W@4.5K制冷机-西物院

u 项目状态：2022年6月交付



850W@4.5K制冷机-散裂中子源科学中心

u 项目状态：2022年6月交付

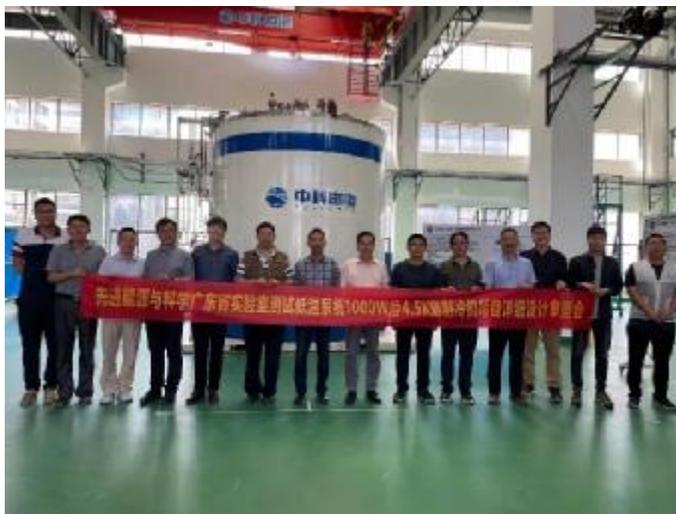


实施案例——液氮温区4.5K百瓦级系列产品



1000W@4.5K制冷机-广东省先进能源实验室

U 项目状态：2023年6月交付



4000W@4.5K制冷机-广东省先进能源实验室

U 项目状态：2024年9月通过性能验收





04

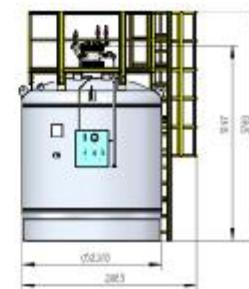
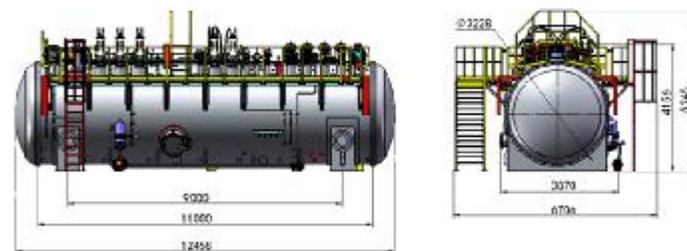
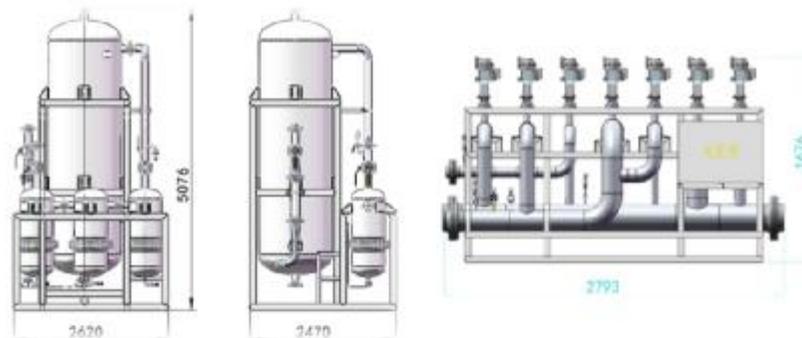
4kW制冷机



4kW制冷机——主要设备列表



序号	设备名称	规格型号	设计尺寸(LxWxHmm)	数量
1	氮气中压压缩机	T250WPH	5000×2300×2500	2
2	氮气高压压缩机	T400WPH	4500×2300×2500	2
3	氮气中压压缩机变频柜	/	1200x600x2150	2
4	氮气高压压缩机变频柜	/	1500x600x2150	2
5	油分离器	/	2500×2700×5100	2
6	GMP阀架	/	2500×1500×1850	1
7	4.5K冷箱	CB-1200	12500×6650×5100	1
8	外置纯化器	FHCH25L	Φ500×1050	1
9	液氮杜瓦	5000L	φ2516×3560	1
10	氮气纯度分析仪	HY-0080P-HEM	800×600×1600	2



4kW制冷机——公用工程消耗



序号	项目		规格	合计		备注
1	配电功率	压缩机	380V/220V	1623kW	1700 kW	
		电加热器		57 kW		
		控制		20 kW		
2	冷却水		压力3~6 barg, 温度 < 25°C;	158t/h		
3	仪表空气		压力5~7bara	40Nm ³ /h		

序号	指标名称	指标要求	指标说明	测试结果	备注
1	自身降温时间	≤3天	自开启透平至5000L液氮杜瓦开始积液	28h37min	
2	4.5K制冷量	≥2350W	开启杜瓦电加热器，杜瓦液位不降低	2350W	
3	5-75K制冷量	≥3165W	开启5-75K管路电加热器模拟负载	3234.77W	
4	50K-75K制冷量	≥12900W	开启50-75K管路电加热器模拟负载	12957.78W	
5	稳定运行时间	≥72h	同时满足2、3、4条件下连续运行	73h	

4kW制冷机——验收



高能量密度平台 4.5K 氮制冷机 性能测试验收会验收意见

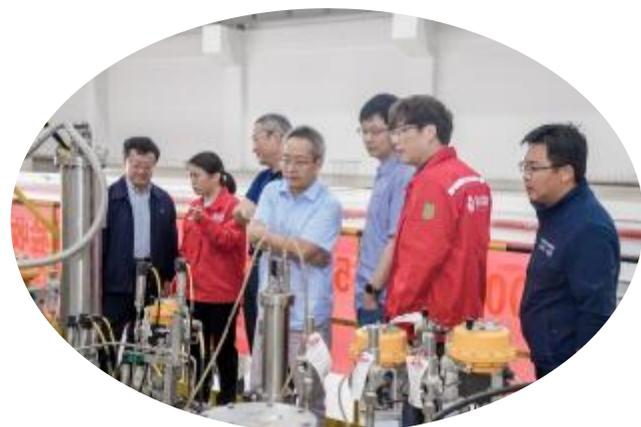
2024年9月28日，中国科学院近代物理研究所/先进能源科学与技术广东实验室组织专家（名单附后）在甘肃省兰州市进行了由北京中科富海低温科技有限公司承担的“高能量密度平台 4.5K 氮制冷机”项目性能测试验收。专家组听取了项目组的汇报，现场见证了4.5K氮制冷机运行情况，复核了性能测试结果。经质询讨论，形成意见如下：

- 1) 测试方法、仪器仪表及过程符合技术协议的性能测试要求；
- 2) 测试结果表明制冷机的各项性能指标均达到技术协议要求；
- 3) 其中制冷机系统中的4台氮气压缩机及7台透平膨胀机的绝热效率均达到设计效率，氮气压缩机的最高绝热效率达到87.8%；氮气透平膨胀机的最高绝热效率达到84%。制冷机的单位制冷比功耗（COP）为330 W/W，达到国际同等规模4.5K氮制冷机的同等性能水平。

专家组一致同意高能量密度平台 4.5K 氮制冷机通过性能测试。

专家组组长：[Signature]

2024年9月28日





05

总结



总结



- ρ 大型氦制冷机在国内外各种大科学装置上都有广泛的应用
- ρ 国产制冷机的应用经验表明：
 - ? 我国已实现了关键核心设备的国产化；
 - ? 国产化制冷机完全可以实现长期稳定可靠运行。

感谢各位同仁对国产制冷机的肯定、支持与帮助，
使得国产制冷机越走越远！

感谢您的聆听

Thank you for your attention



姓名：中科富海

电话：010-86468866

邮箱：info@fuhaicryo.com

网址：www.fuhaicryo.com