

无油轴承技术在离心式 压缩机中的应用

汇报人：周宇

汇报单位：珠海格力电器股份有限公司

目录 Contents

1

无油轴承技术概况

2

无油压缩机技术进展

3

产品化应用与推广

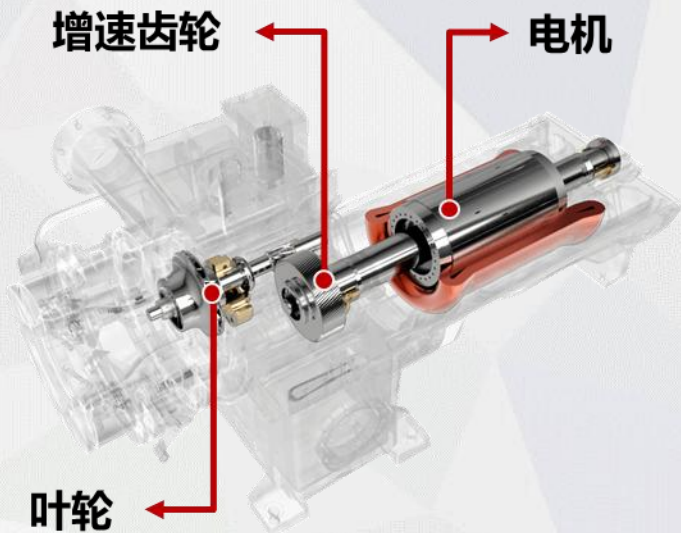
第一部分

技术概况

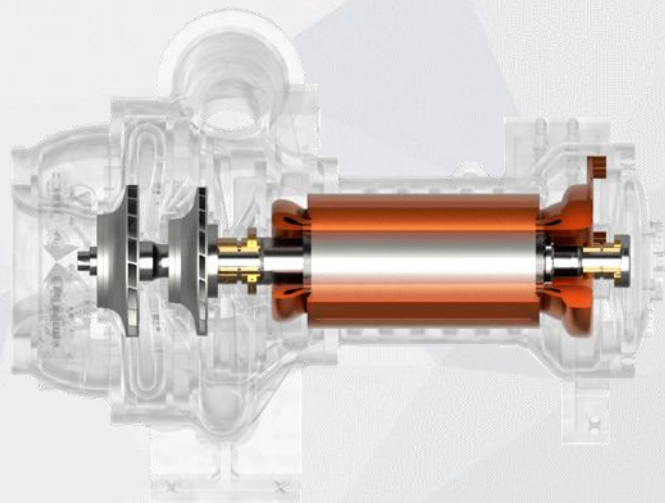
技术背景

让世界爱上中国造

- 离心压缩机通过叶轮高速旋转做功，高、低速轴及齿轮啮合面均需要油膜润滑
- 高速电机直驱技术取消增速齿轮，运动部件减少，使得无油轴承技术成为可能



经典油润滑离心压缩机结构

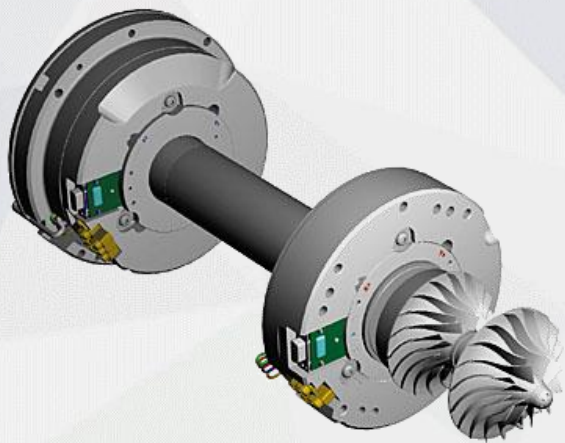


高速直驱离心压缩机结构

无油技术路径：磁悬浮轴承

让世界爱上中国造

- 利用**电磁力**将转子悬浮，实现无油无摩擦运行，是近20年离心机技术一次重大发展
- 随着磁悬浮技术成熟与普及，引领无油化成为冷水机组发展主要技术趋势之一



磁悬浮离心压缩机原理示意

磁悬浮压缩机生产厂家



2002年, TURBOCOR
磁悬浮离心压缩机TT400

丹佛斯、格力、美的、约克、
麦克维尔、飞旋.....

磁悬浮离心机生产厂家



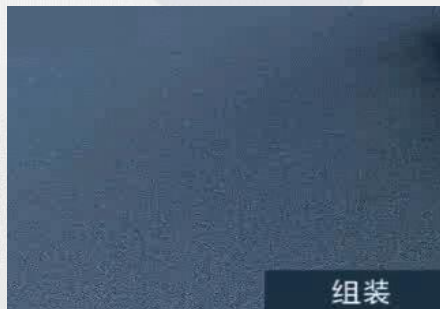
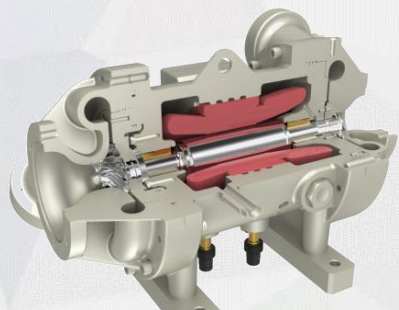
2019年, 格力
1300RT磁悬浮机组

格力、海尔、美的、约克、麦
克维尔、必信、申菱、克莱门
特、天加、西屋康达.....

无油技术路径：气悬浮轴承

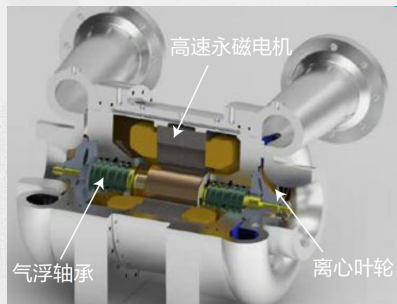
让世界爱上中国造

- 利用**气膜浮力**实现转子悬浮，也是重要的无油轴承技术之一
- 按气膜形成原理分**动压**与**静压**两条路线，均有厂家产品化应用



动压气悬浮

代表厂家：格力、LG、势加透博



静压气悬浮

代表厂家：福腾流体（万辰）

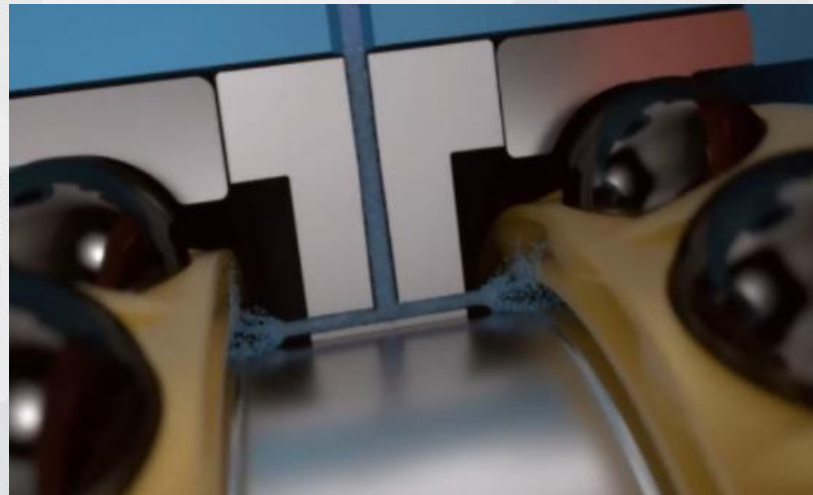
无油技术路径：冷媒润滑轴承

让世界爱上中国造

- 无油轴承另一种形式：液体制冷剂取代润滑油对陶瓷球滚动轴承进行润滑
- 因存在机械接触，转速受限，通常在低压冷媒R1233zd(E)离心机产品应用



制冷剂液膜尺度对比



制冷剂润滑陶瓷轴承结构

无油轴承产品布局

让世界爱上中国造

- **油轴承承载力 > 磁悬浮 > 气悬浮**，为保证轴承支撑刚度，无油轴承体积通常较大
- 磁悬浮适合中小冷量段轻载工况，电磁体及位移传感器的存在，限制进一步做小
- 气悬浮轴承纯机械结构，尤其动压气悬浮需求转速高，适合离心压缩机高速小型化

	磁悬浮	气悬浮	油轴承	推荐方案
大冷量段	轴承尺寸大 抗冲击性能差	轴承尺寸大 抗冲击性能差	转速低 损耗小 承载强	油轴承
中等冷量	尺寸适中 泄露敏感性一般	转子重量较大 摩擦较严重	转速较高 轴承损耗大	磁悬浮轴承
小冷量	轴承尺寸大 泄露损失大	轴承尺寸小 泄露损失小 转速高悬浮稳	转速高 轴承损耗大	气轴承



离心机不同冷量段轴承方案适配

第二部分

技术进展

离心机产品阵营

让世界爱上中国造

离心式冷水机组

定频



350~3000RT
常温冷水系列
中温数据中心系列
高温热泵系列

变频



250~3000RT
常温冷水系列
中温数据中心系列
高温热泵系列
低温冰蓄冷系列

磁悬浮



100~1300RT
常温冷水系列
中温数据中心系列

一体化集成式
磁悬浮压缩机

动压气悬浮



80~300RT
常温冷水系列

一体化集成式
气悬浮压缩机

产品线

新品

集成式磁悬浮压缩机

让世界爱上中国造

➤ 压缩机与变频器高度集成，安装使用方便，利于多机头模块化组合



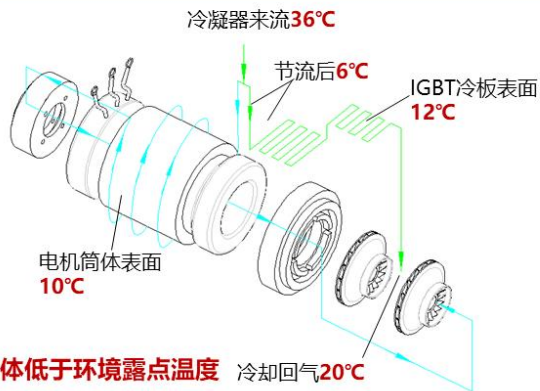
冷量规格	100~150RT 180~220RT 250~300RT
尺寸 (100~220RT)	797×535×560 mm
检测精度	<ul style="list-style-type: none">• 12.5万次/秒轴承检测• 2μm悬浮精度
轴承安全	<ul style="list-style-type: none">• 零转速着陆• 掉电自发电• 陶瓷备降轴承• 双轴承电源冗余设计
噪声	< 75dB(A)
调试功能	Wifi, 无线监测、调试
寿命	30年

集成式磁悬浮压缩机

让世界爱上中国造

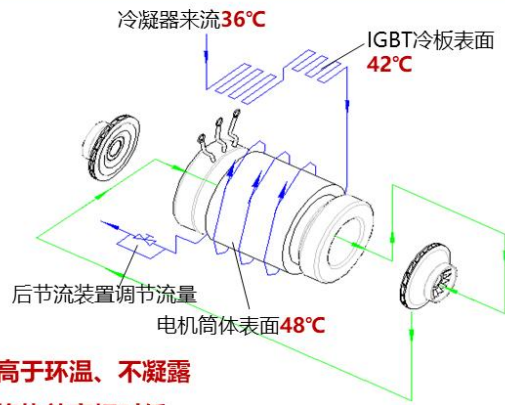
- **关键技术：** 高温显热冷却及全密闭空间热管理技术
- **解决问题：** 变频器集成于冷媒冷却电机表面凝露问题、功率部件散热风机积灰问题
- **达成效果：** 密闭空间整体温度高于环境温度，无凝露、积灰卡死隐患

潜热冷却方案



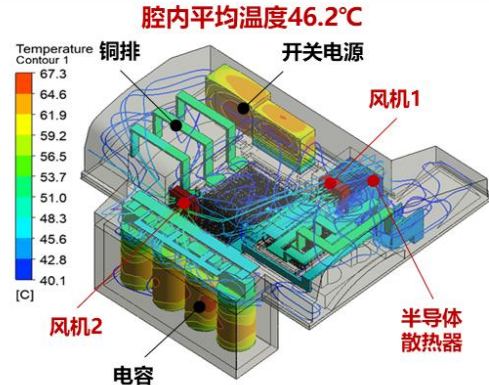
整体低于环境露点温度
冷却效率高，易凝露

显热冷却方案



高于环温、不凝露
换热效率相对低

半导体散热+双风机结构腔体冷却

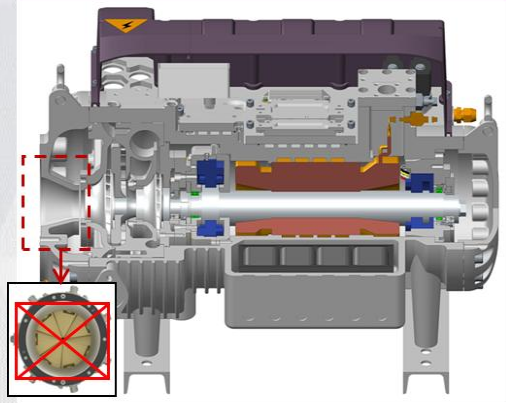


集成式磁悬浮压缩机

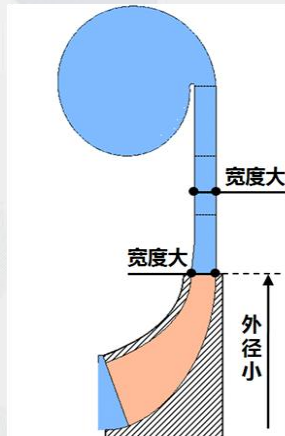
让世界爱上中国造

- **关键技术：** 高压比、小流量，无导叶扩稳设计技术
- **解决问题：** 减少小冷量压缩机进气流动损失占比，提升压缩机气动效率
- **达成效果：** 无需进口导叶机构实现宽运行范围

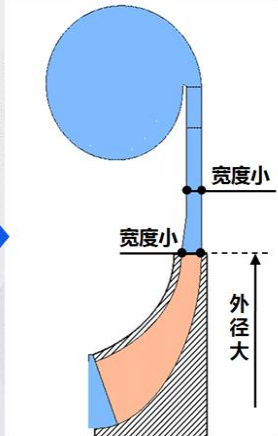
取消进口导叶机构



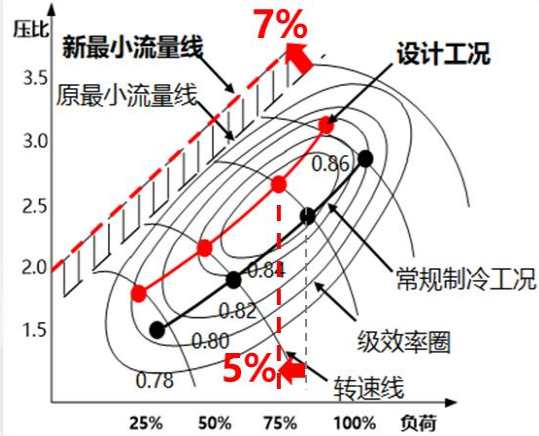
常规气动设计



高压比小流量设计



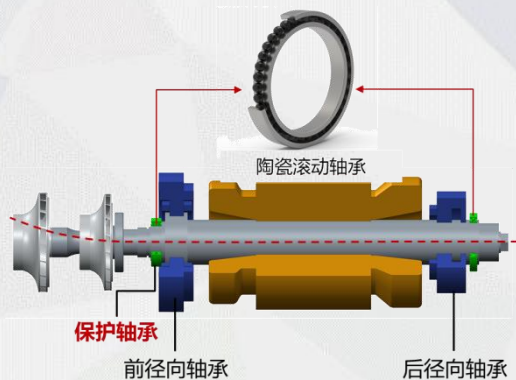
压缩机性能曲线图



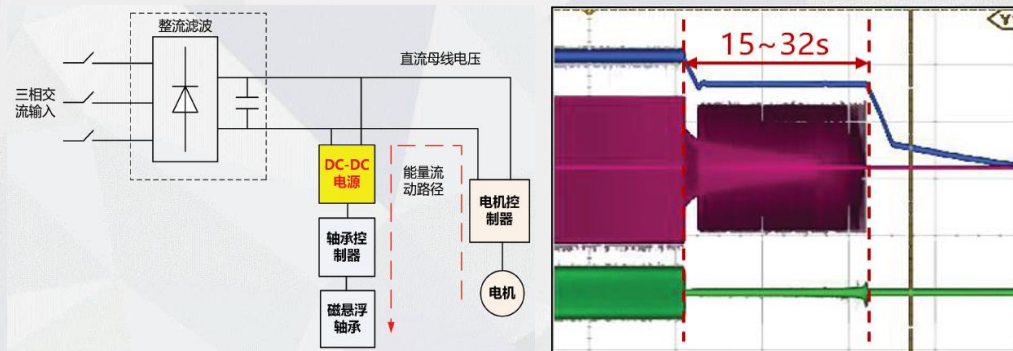
集成式磁悬浮压缩机

让世界爱上中国造

- **关键技术：**多重轴承保护技术（零转速软着陆、断电回馈、高刚度保护轴承）
- **解决问题：**磁悬浮轴承异常断电跌落问题
- **达成效果：**断电能量回馈技术维持15s以上轴承供电软着陆，保护轴承耐400次以上全速跌落



无保持架深沟球陶瓷保护轴承

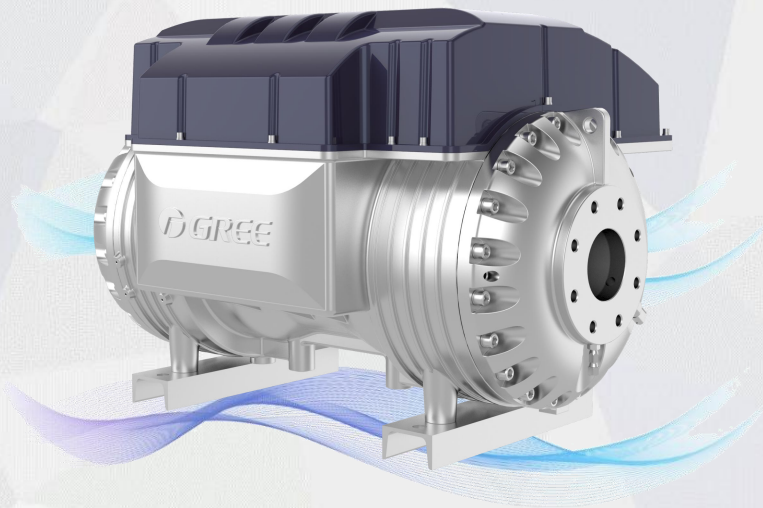


磁悬浮变频器能量回馈拓扑与波形

集成式气悬浮压缩机

让世界爱上中国造

➤ 压缩机与变频器高度集成，安装使用方便，利于多机头模块化组合



冷量规格	100~150RT 180~220RT
尺寸	860×624×562 mm
轴承方案	• 动压箔片气体轴承
结构方案	• 双级压缩叶轮对置 • 二级叶轮径向进气
噪声	< 75dB(A)
调试功能	Wifi, 无线监测、调试
寿命	30年

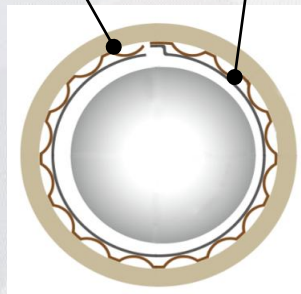
集成式气悬浮压缩机

让世界爱上中国造

关键技术：高承载大阻尼箔片气体轴承

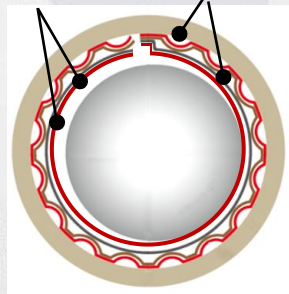
研制了制冷剂用“双波双顶”的高承载大阻尼箔片气体轴承，额定转速下承载最大超过1200N，安全裕量 > 3

单层波箔 单层顶箔

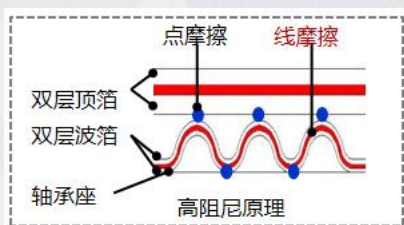
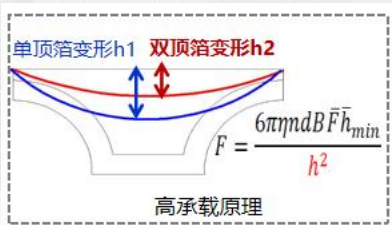


普通轴承

双层顶箔 双层波箔



“双波双顶”轴承



“双波双顶”实物

箔片径向轴承设计参数

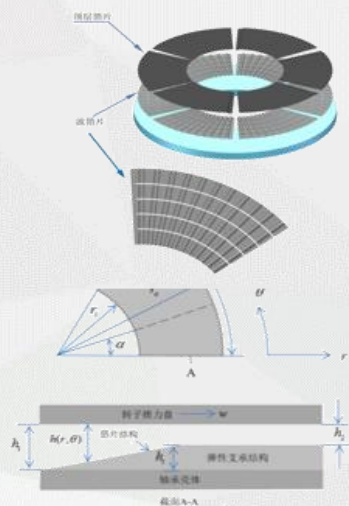
参数	值
转子重量	-
额定转速	-
最低运行转速	-
轴承内径	-
轴承长度	-
运行介质	R134a

集成式气悬浮压缩机

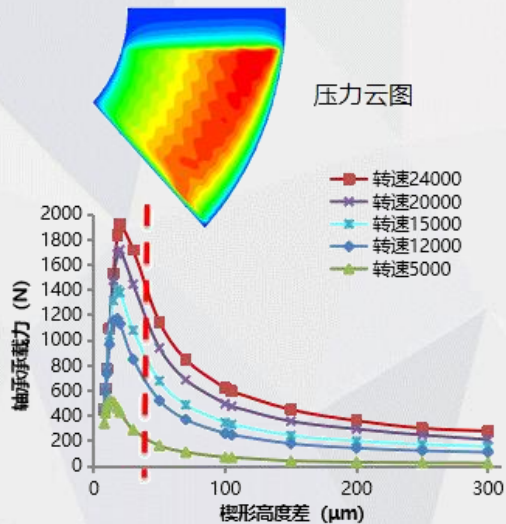
让世界爱上中国造

关键技术：高承载大阻尼箔片气体轴承

研制了制冷剂用高承载推力轴承结构，并研究了不同转速与推力轴承楔形高度差对轴承承载力的影响，额定转速下承载达到1075N



箔片推力轴承示意图



不同转速下与楔形高度下的轴承承载

箔片轴向轴承设计参数

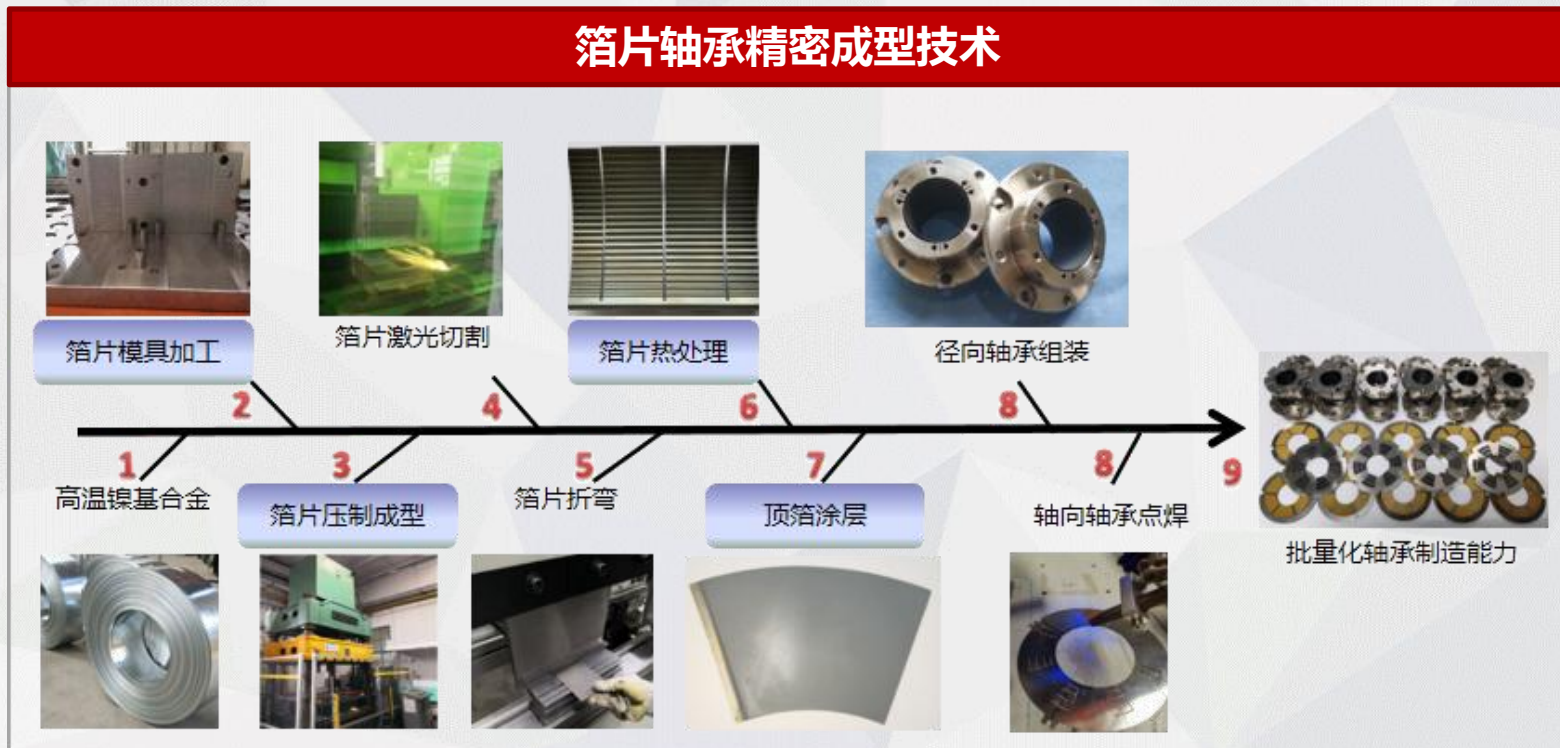
参数	值
额定转速	-
最低运行转速	-
额定转速承载	-
低速承载	-
轴承内径	-
轴承外径	-
运行介质	R134a

集成式气悬浮压缩机

让世界爱上中国造

- 关键技术：箔片轴承批量制造能力

箔片轴承精密成型技术

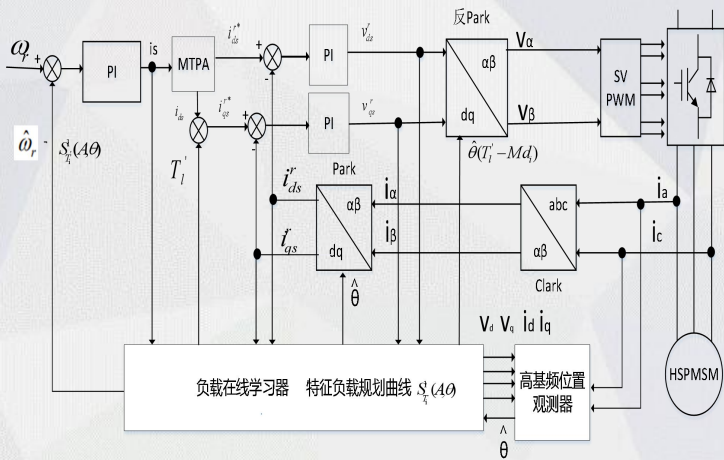


集成式气悬浮压缩机

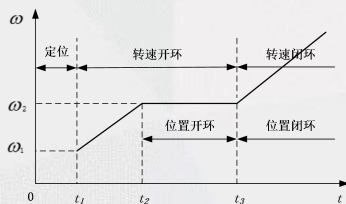
让世界爱上中国造

关键技术：快速起停及刹车技术

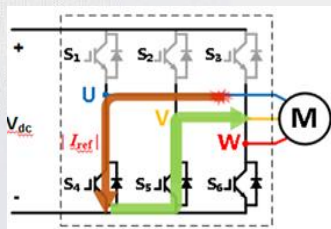
研究了基于负载自学习的高速永磁电机矢量控制算法以及快速起停算法，降低转子与轴承摩擦时间，启动时间由常规40s降低至4s，异常停机高速掉电自发电控制技术实现3S快速制动



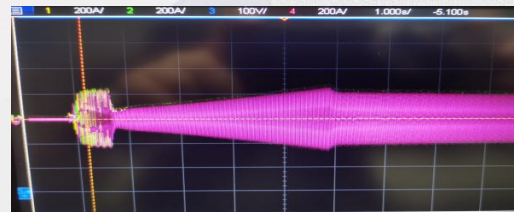
负载自学习的高速永磁同步电机矢量控制



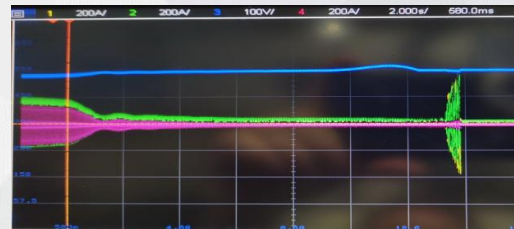
快速启动过程



电磁制动控制过程



大力矩快速启动波形



停机电磁制动波形

集成式气悬浮压缩机

让世界爱上中国造

关键技术：低摩擦耐启停涂层

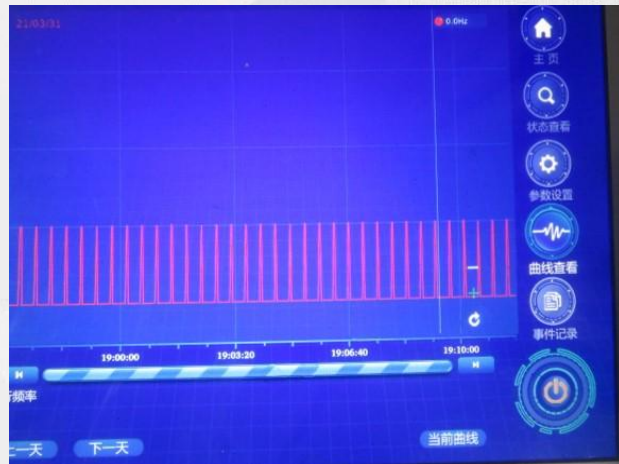
遴选制冷剂环境专用低摩擦耐磨涂层，提升轴承寿命；压缩机起停实验超过12万次，寿命超过30年



低摩擦耐磨涂层



压缩机起停测试

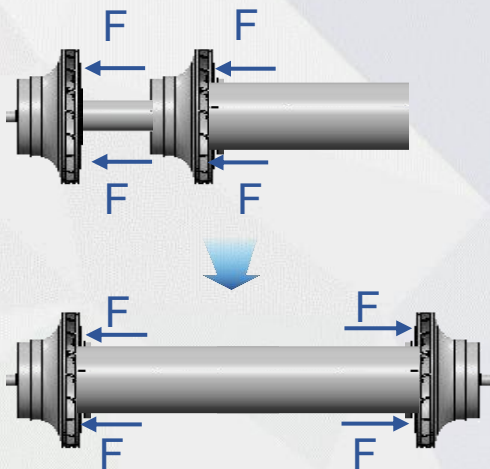


压缩机起停测试曲线

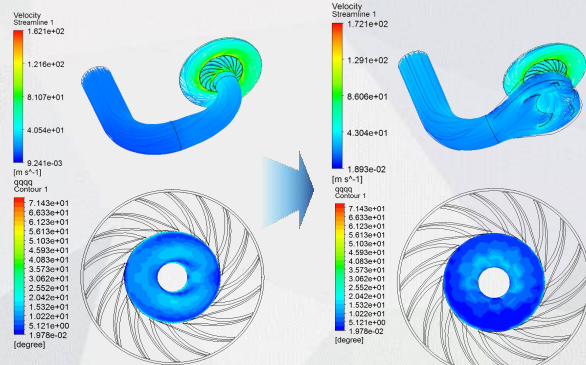
集成式气悬浮压缩机

让世界爱上中国造

- **关键技术：**双级叶轮水平对置，二级叶轮径向进气技术
- **解决问题：**单悬臂结构轴向轴承受力不均，双悬臂结构弯道回流器尺寸大
- **达成效果：**轴承受力小，轴向力自平衡；长度尺寸降低5%



双级叶轮水平对置



二级叶轮径向消旋进气

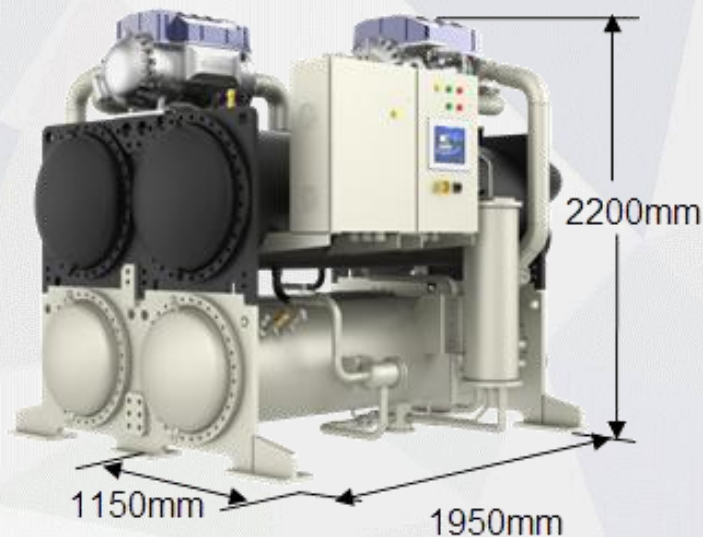


第三部分 应用与推广

模块化多机头离心机组

让世界爱上中国造

- 面向既有建筑节能改造市场，研制集成式磁/气悬浮模块化多机头机组
- 单模块外形 $< 2\text{m} \times 1.2\text{m} \times 2.2\text{m}$ ，可叉车、电梯运输；1~4机头模块化组合覆盖130~850RT

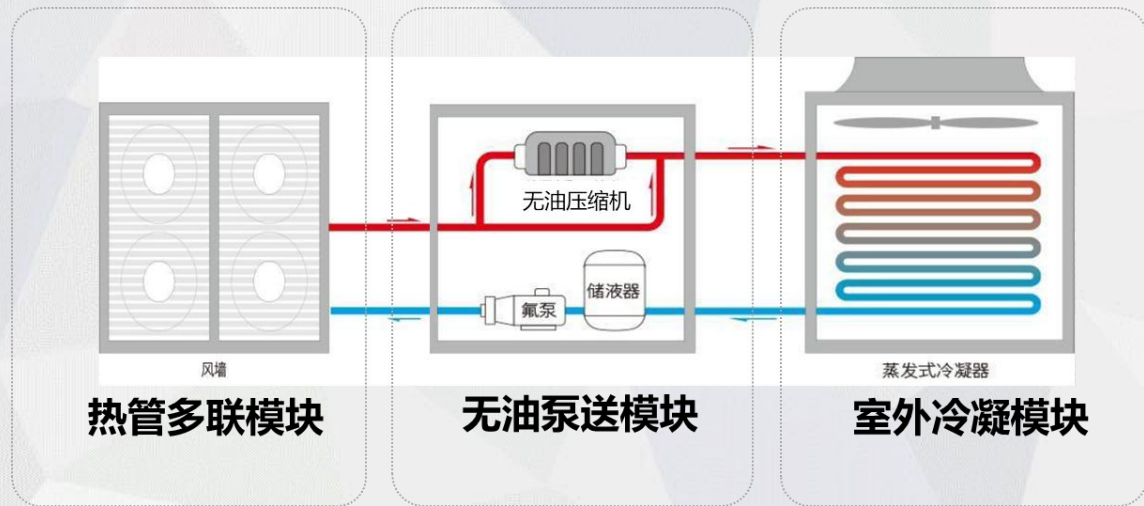


结构	冷量范围
单机头	130~230RT
双机头	300~450RT
三机头	500~650RT
四机头	700~850RT

数据中心直膨系统

让世界爱上中国造

- 无油压缩机、氟泵联合供冷的制冷剂直膨系统是中小型数据中心冷却技术发展方向
- 模块化设计、预制化交付，单机300~450kW颗粒度设计，安装扩容维护简单，实现极致算力

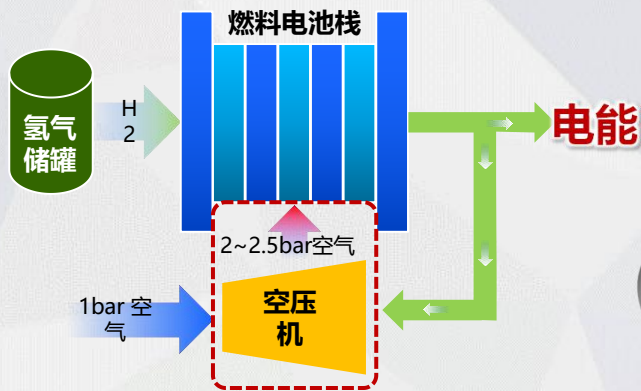


无油泵柜模块

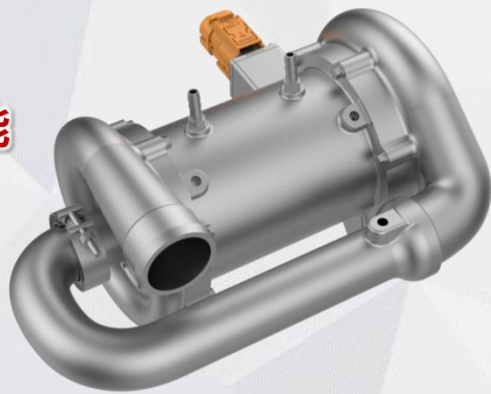
氢燃料电池无油空压机

让世界爱上中国造

- 气悬浮无油空压机，向氢燃料电池输送清洁高压空气，相当于燃料电池发动机的肺
- 额定转速9万转/分，流量125g/s，启停寿命15万次，随机振动6.0g，运行温度 > 100°C



燃料电池空压机原理



车用燃料电池空压机



氢能源汽车



2024

谢谢观看