

# 液浮无油变频 离心压缩机及制冷系统技术研究



# 金属轴承在高速环境下耐磨性、耐腐蚀性等方面性能较弱 陶瓷轴承、磁悬浮轴承历经几十年发展得到成熟应用

## 陶瓷轴承发展大事记

1953

英国开始研究氮化硅陶瓷材料制作燃气涡轮机高温零件

1972

第一套陶瓷轴承诞生于美国宇航局 (NASA)

1980年代

全球知名轴承公司实现陶瓷轴承量产并应用于航空发动机等领域

1996

混合陶瓷轴承在纯制冷剂润滑下的可行性测试成功，轴承崭新如初

2016

开利全球首发使用 R1233zd 负压制冷剂陶瓷轴承无油离心机

至今

国内高端陶瓷轴承技术日趋成熟，广泛应用在航空航天领域，并扩展到高速电机、压缩机等民用产品

1960

美国德雷伯实验室在空间制导和惯性轮上成功地使用了磁悬浮轴承

1976

法国卫星导向飞轮使用磁悬浮轴承替代传统金属轴承

1988

美国将研究高温磁悬浮轴承的航空发动机列入 IHPTET 计划中

2001

第一台 Turbocor 磁悬浮制冷压缩机在美国加州安装使用

至今

磁悬浮轴承广泛应用于航空航天、高速机床、高速电机、压缩机、鼓风机、真空泵等设备上

## 磁悬浮轴承发展大事记

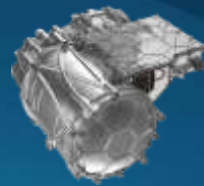
加工技术不断进步 | 工艺水平日益提高 | 陶瓷轴承成本不断下降  
已经从航空航天高精尖领域小范围应用，逐步推广到国民经济各个领域

军用 | 高精尖



航天发动机

民用



电动汽车电机



高速电机



压缩机

指标	密度 g/cm <sup>3</sup>	摩擦系数	硬度 HV	弹性模量 Gpa	使用温度 °C	比电阻 Ω
金属轴承	7.8	0.27	800	208	120	1
陶瓷轴承	<b>3.2</b>	<b>0.12</b>	<b>1700</b>	<b>320</b>	<b>450</b>	<b>1018</b>
优异性	↓ 59%	↓ 56%	↑ 113%	↑ 54%	↑ 275%	绝缘性强



低密度

对外圈离心作用降低40%



耐高温

耐受温度高达450°C



自润滑

表面光滑，无油自润滑



高硬度

承压强，高转速



耐腐蚀

绝缘好，无电腐蚀

# 海信正压液浮技术路线

## 无油变频离心压缩机的全新探索

### 陶瓷轴承液浮

4%

#### 摩擦功耗

较滑动油轴承降低96%

0

#### 无油运行

制冷剂润滑

### 正压制冷剂

0

#### 无抽气装置

无外界气体渗漏

97%

#### 压差供液

压差供液时间 $\geq$ 97%

30%

#### 形成更厚润滑膜

滚珠运行速度比负压高30%

#### 保持架

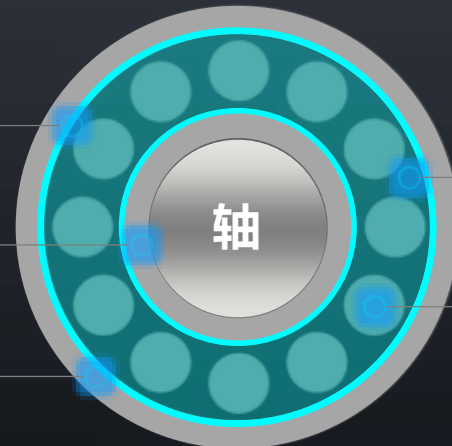
增强纤维材质

#### 轴承内圈

航发特种钢材

#### 轴承外圈

航发特种钢材



#### 过冷液态制冷剂

充分润滑

#### 陶瓷滚珠

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 高强度高硬度

# 海信正压液浮无油变频离心机总览

## 超高能效

航天级陶瓷轴承，轴承功耗低于1kW  
多物理场耦合气动技术，等熵效率91.6%



## 无油运行

正压液浮技术，制冷剂润滑  
无需润滑油，维护费用更低



## 稳定可靠

双重制冷剂自适应供应，全过程保障轴承润滑  
轴向载荷智能调控，轴承设计寿命20万小时



### 550~1200RT

## 宽域运行

压缩机最低运行负荷低至10%以下  
可在冷却水温低至10°C时高效运行



## 智能便捷

制冷量与能效在线监测  
ECO-B云平台运维监控



## 低噪环保

R1234ze(E)低GWP制冷剂兼容设计  
满载噪音≤76dB(A)



1200RT

单压机最大容量

7.2\*

国标COP

10.0\*

国标IPLV

≤50kPa

水阻力

30%\*

最低流量

200,000h

轴承设计寿命

≤76dB(A)

满负荷噪音

# 超高能效，引领行业

航天级高精密轴承  
表面粗糙度0.1 $\mu$ m级

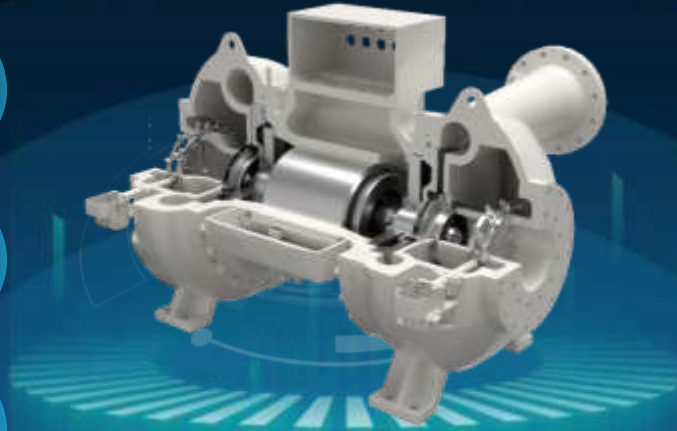
0.1 $\mu$ m

多物理场耦合技术  
等熵效率高达91.6%

91%

专利切向补气技术  
气动效率提高2%

2%



4%

气封间隙优化  
气动效率提高4%

30%

IGV优化设计  
吸气损失降低30%

98%

永磁同步电机  
电机效率达98.4%



权威机构检测结果

7.20

GB\_COP

10.0

GB\_IPLV



其他品牌产品为同等容量正压磁悬浮变频离心机  
数据基于公开发行业资料

## 高强度 | 高精度 | 优异润滑性

### 航空航天领域陶瓷轴承

P4

#### 航空航天领域超精密轴承

尺寸精度优于ISO4级公差等级  
内外径公差 $\leq 3\mu\text{m}$

0

#### 无油运行

制冷剂自适应润滑

> 20万

#### 超长寿命

轴承设计寿命超过 200,000 h \*



航空航天领域发动机应用

#### 航发特种钢材

轴承内外圈基材

#### Si3N4 陶瓷滚珠

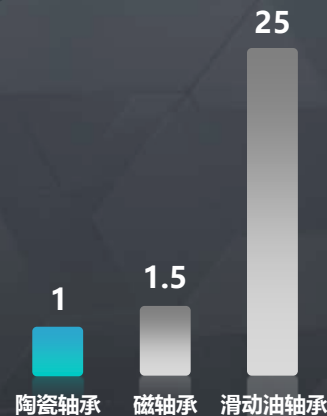
高强度 | 高硬度

#### 保持架

增强纤维材质



P4高精度陶瓷轴承



轴承系统功耗对比 (相对比例)

## Multi-Conditions 全年多工况多场景兼容高效运行

### 舒适空调工况

91%

等熵效率最高点

基于7°C/30°C工况\*

7.2

整机COP

基于7°C/30°C工况

### 中温水工况

89%

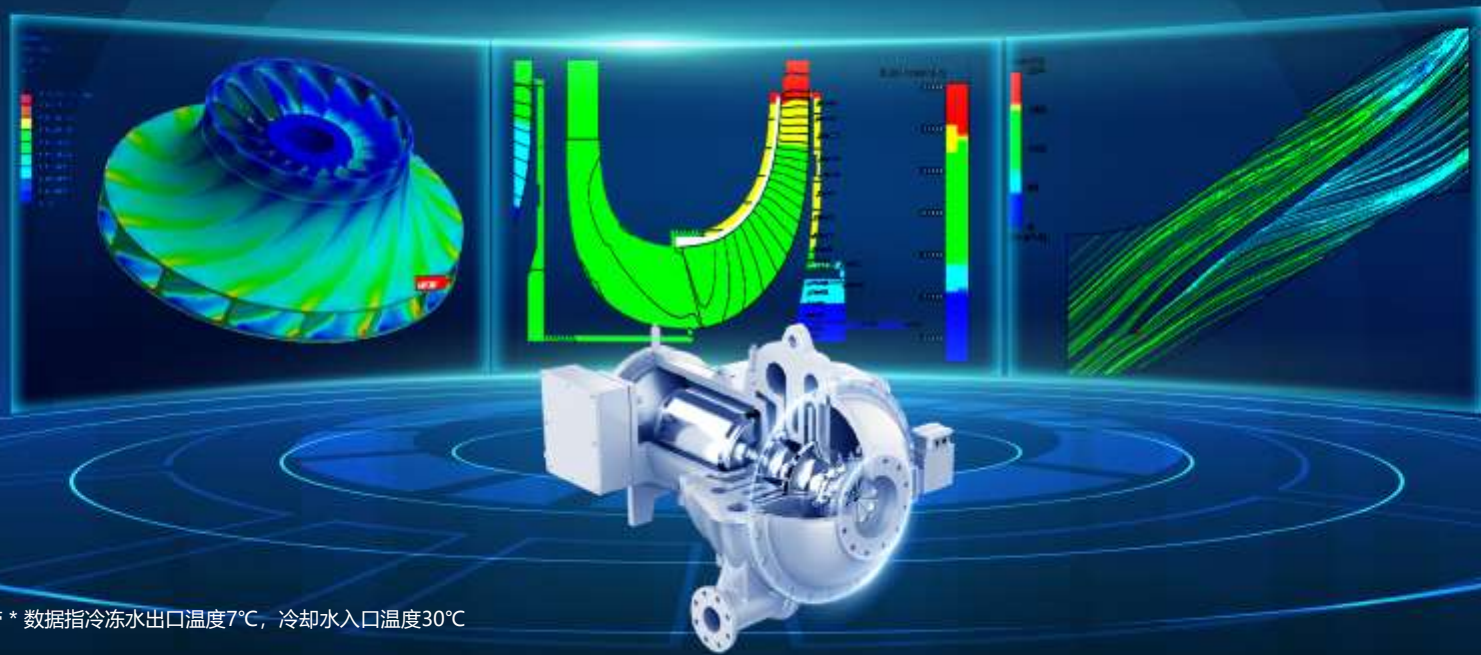
等熵效率

基于18°C/32°C工况

10.4

整机COP

基于18°C/32°C工况



带\* 数据指冷冻水出口温度7°C，冷却水入口温度30°C



## Dual-Supply

### 正压液浮-压缩机全工作周期稳定可靠

#### 启动阶段

- 开启制冷剂泵预润滑模式
- 双制冷剂泵设计，自动切换
- 均时运转，延长使用寿命

#### 突然断电

- 压差可持续供液，保障轴承润滑
- 供液时间远超转轴停转时间

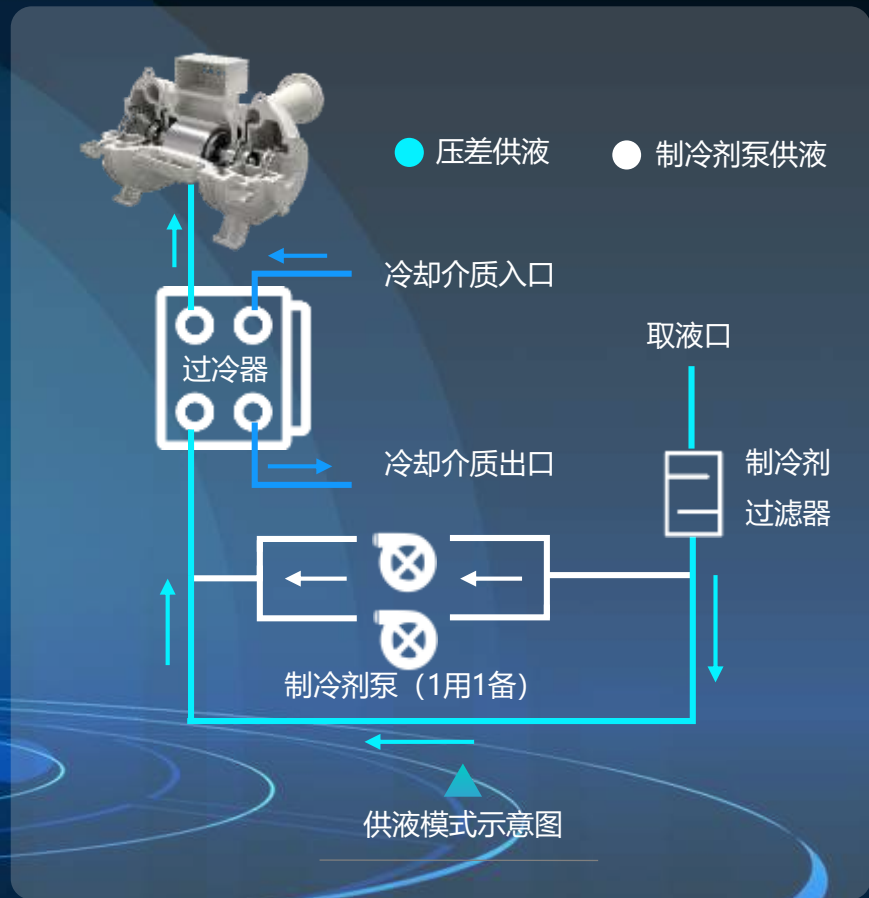


#### 运行阶段

- 自动切换为压差供液模式
- 压比在线监测，超低压比自动切换为冷媒泵供液模式

#### 正常停机

- 压差持续供液，保障轴承润滑



## Dual-Supply

### 正压液浮-工业级智能双供液自动调度模式



**正压液浮**  
浸润式液膜润滑



**二次过冷**  
纯液态供液



**双重供液**  
制冷剂泵与压差自适应调节



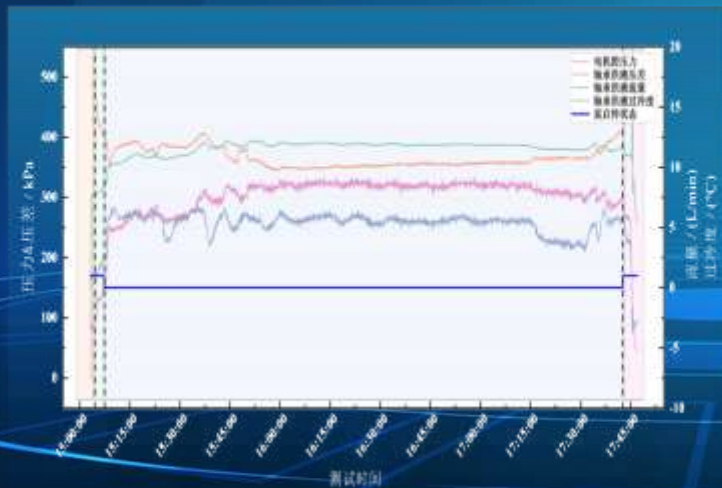
**断电无忧**  
系统余压供液



启动→运行→停机→异常断电，全过程可靠



权威机构测试供液模式可靠性



## 先行控制 | 反馈控制

高精度轴向载荷算法，压缩机全工况轴向载荷实时智能调控

<  
1500

低轴向载荷

最大压比下轴向载荷 < 1500N

70%

显著优化

相比常规机组轴向载荷降低70%

>  
60%

轴承寿命提高

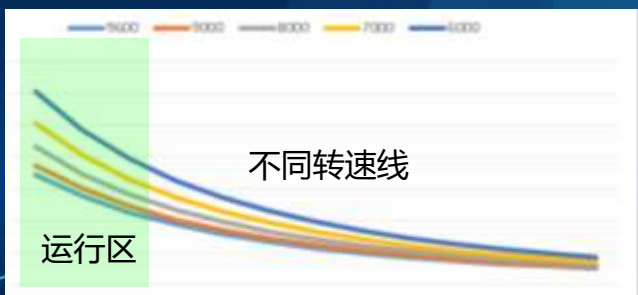
轴承寿命提高60%以上

▶ 轴承寿命与轴向载荷关系图

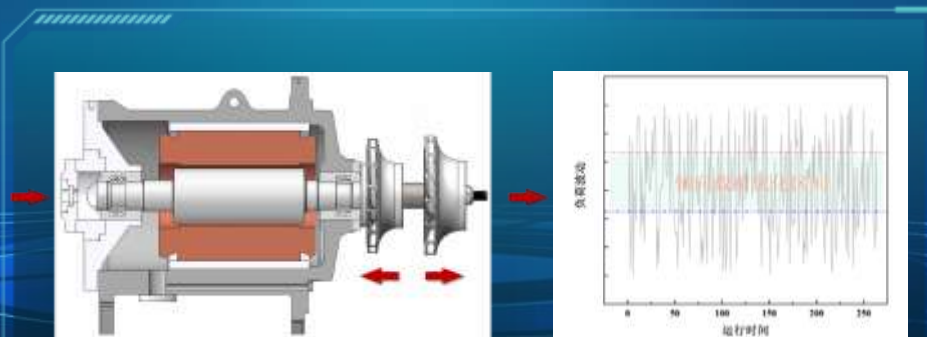
▶ 轴向载荷动态平衡控制技术

▶ 权威机构测试轴向载荷控制技术可靠性

轴承设计寿命



轴向载荷



## Multi-Refrigerants R134a | R1234ze(E) 冷媒兼容设计



HFC

R134a

ODP=0 GWP=1300

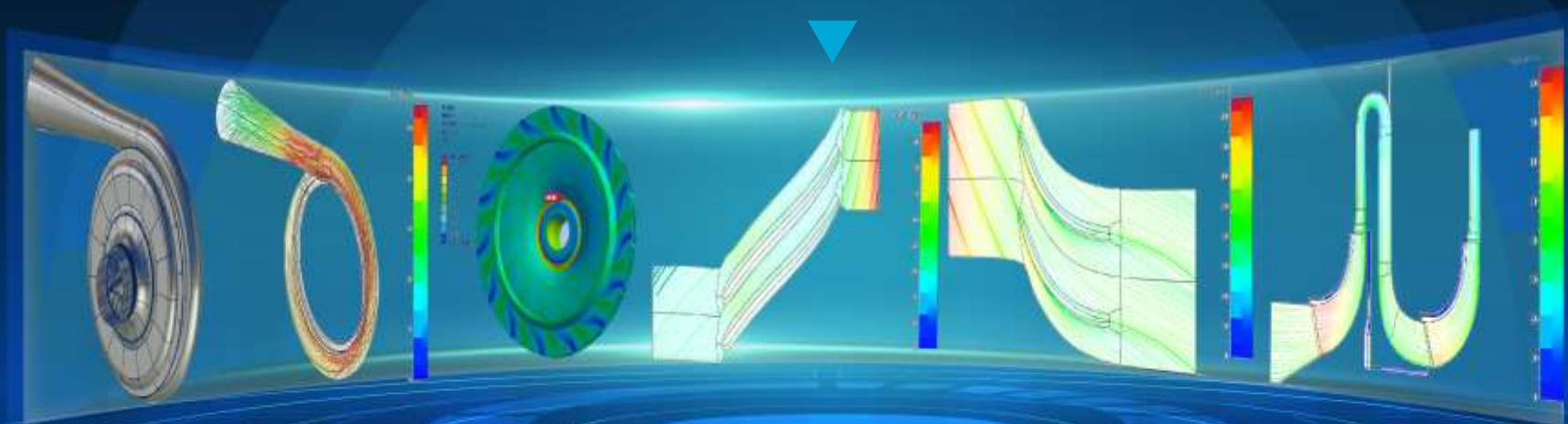


HFO

R1234ze(E)

ODP=0 GWP < 1

气动 | 结构 | 系统 深化设计



# 制冷量 | 能效

数据实时在线评估并显示，无需电能表，让数据洞察直观快捷



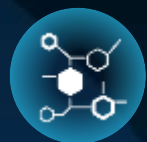
**实时计算反馈**  
制冷剂侧精准分析



**高精度**  
计算误差 $\leq 5\%$

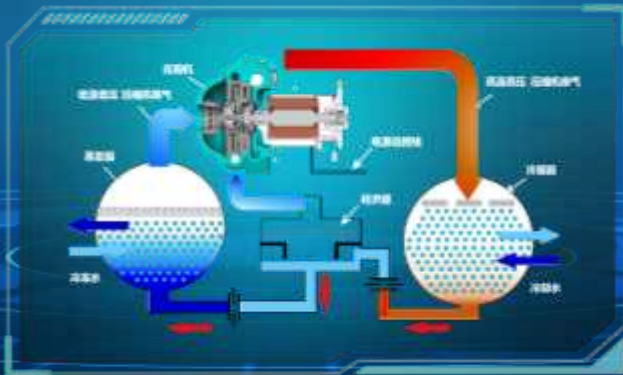
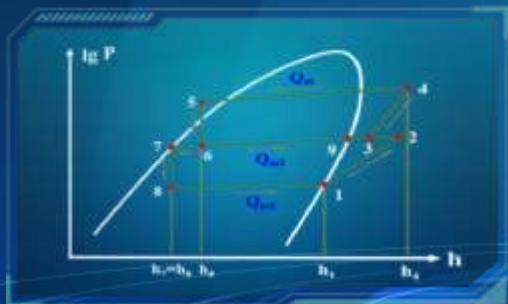


**节约成本**  
无需额外增加电能表等设备



**数据可视化\***  
机组控制屏与远程系统实时显示

## 制冷系统与压机运行参数耦合求解技术



\*制冷量与能效实时显示为可选项

高效设计 | 可靠运行 | 全工况优化 | 无油变频

可应用在民用 | 商用 | 工业等众多场景

医疗医药

数据中心

商业楼宇

工业制造



//

//

# 该项目创新性强，核心技术达到国际领先水平

中国制冷学会科技成果评审专家委员会一致结论

2

## 国际领先

两项核心技术获评国际领先

3

## 创新技术

3项创新技术全球首创

40

## 专利技术

40项专利技术



创新不止 未来可期

