



高效、低噪声技术

在轻型商用压缩机领域的研究应用

长虹华意商用研发中心

引言

在双碳和能效升级的双重背景下，
对轻商制冷压缩机的能效、噪声
和制冷方案要求更为严苛。

能效升级

01

定频、变频超高效，能效迭代升级10%

噪声控制

02

降噪技术突破，逼近现有家用冰箱水平

制冷方案

03

应用边界更为清晰，可靠性明显提升

目 录

CONTENTS

01

高效制冷技术

02

低噪控制技术

03

制冷解决方案

04

智领未来技术

01

— 高效制冷技术

01 背景介绍

3060计划



2030 碳达峰
2060 碳中和

可靠



新欧标能效

ENERGY



整体提升20%以上

节材

高效

02 高效技术

泵体结构

- 动力分析
- 动压润滑

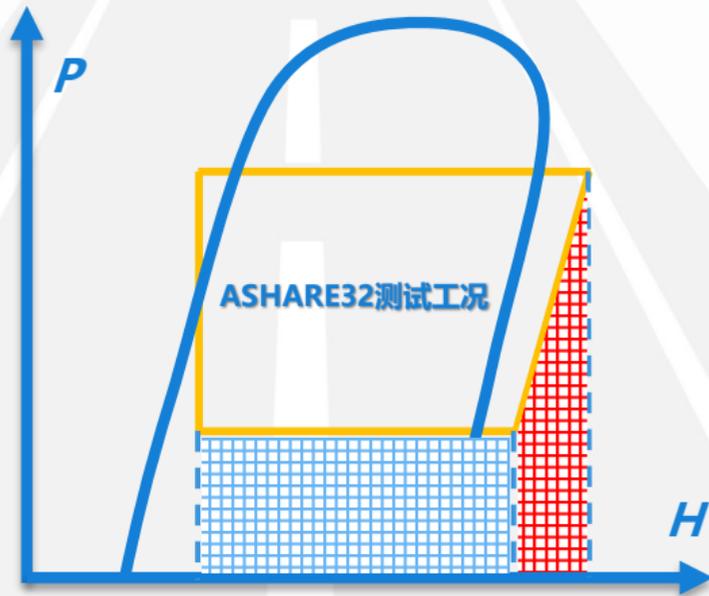
电磁技术

- 电磁耦合
- 绕线工艺



理论COP2.75W/W

产品COP1.90W/W



排气系统

- 排气脉动
- 热流耦合

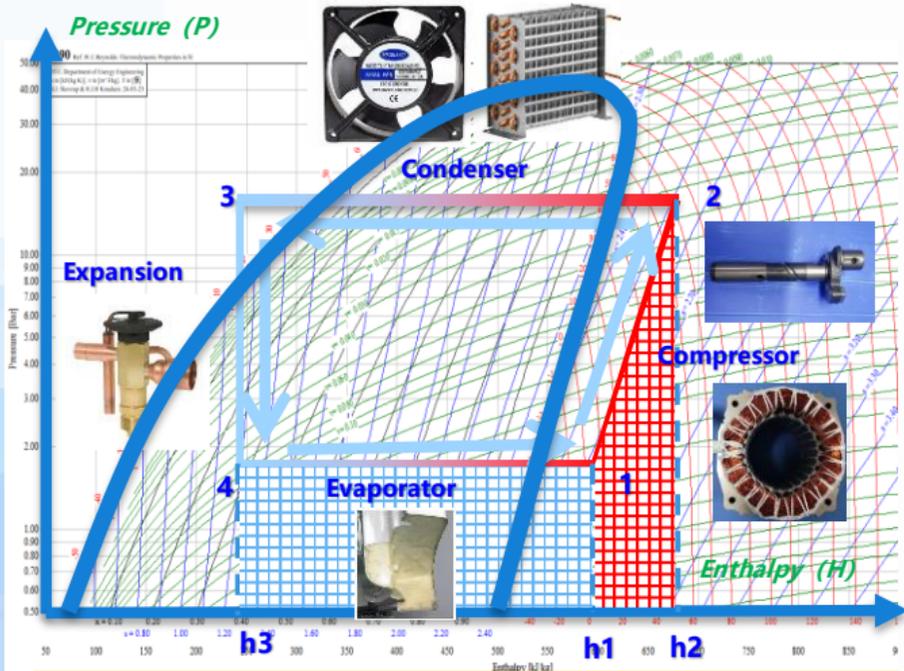
阀组流场

- 流道导流
- 运动规律

理论COP

制冷循环能效提升

Pressure-Enthalpy diagram



Cooling Capacity = $h_1 - h_3$ Power = $h_2 - h_1$ COP = $(h_1 - h_3) / (h_2 - h_1)$



Theoretical Coefficient of Performance

Efficiency Improvement technology

Process 2→3 **12%**
Thermal efficiency
Refrigerant pressure drop
Temperature difference for heat transfer

Process 3→4 **3%**
Non-adiabatic throttling
Ineffective gas pressure loss

Process 4→1 **5%**
Heat leakage loss

Efficiency **20%**

Process 1→2 **6%**
Mechanical efficiency
Motor efficiency
Isentropic efficiency

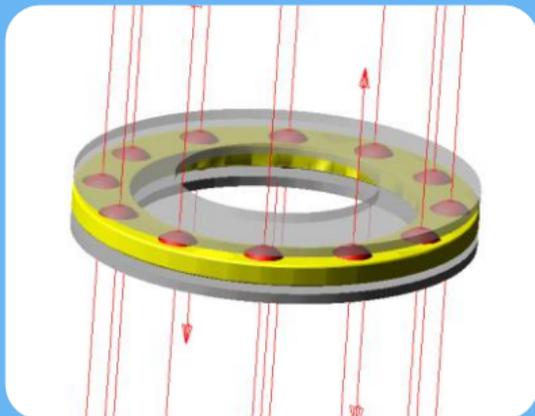
Efficiency **6%**



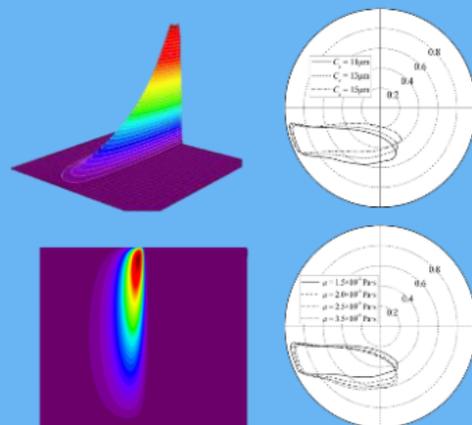
泵体结构动力学分析



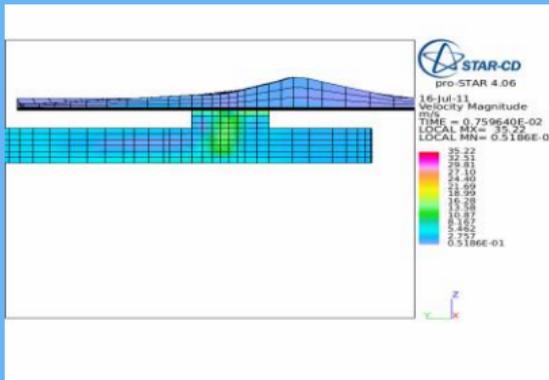
滚珠轴承多刚体动力学分析



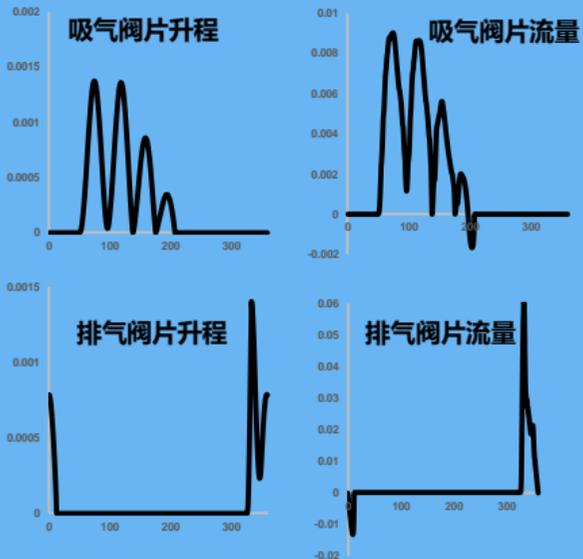
轴承流体动压润滑分析



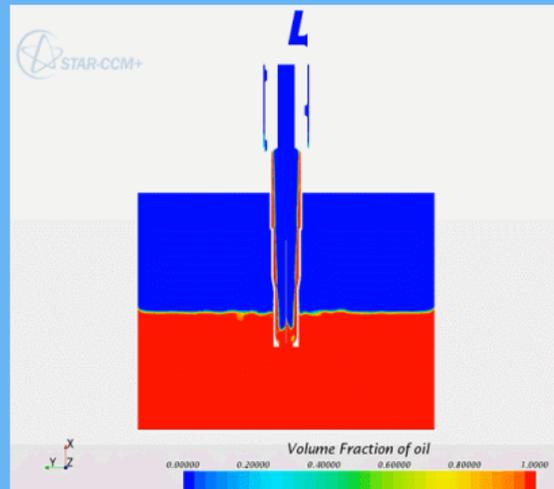
阀组流固耦合分析



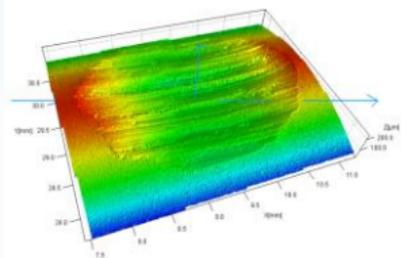
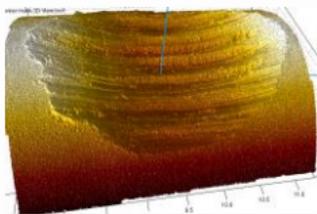
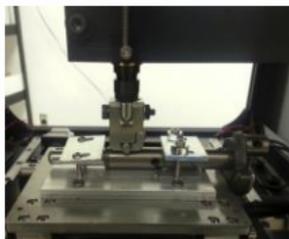
阀片运动规律分析



油路泵油分析



压缩机摩擦磨损机理试验研究



摩擦磨损机

- ✓ 试验模拟摩擦副状态
- ✓ 摩擦副磨损机理探究
- ✓ 摩擦面3D形貌分析

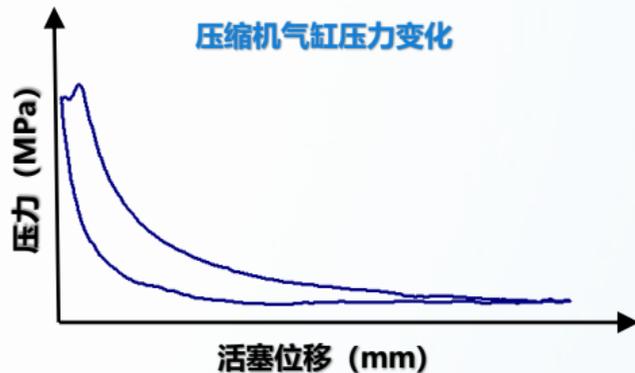
压缩机P-V指示图测试应用研究



P-V测试台

- ✓ 工作过程分析
- ✓ 效率评估和热力学分析
- ✓ 结构设计优化

压缩机气缸压力变化

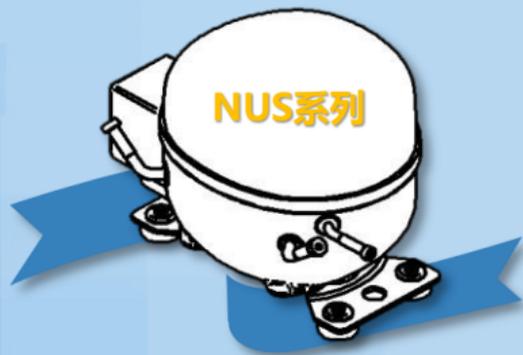


05 应用案例

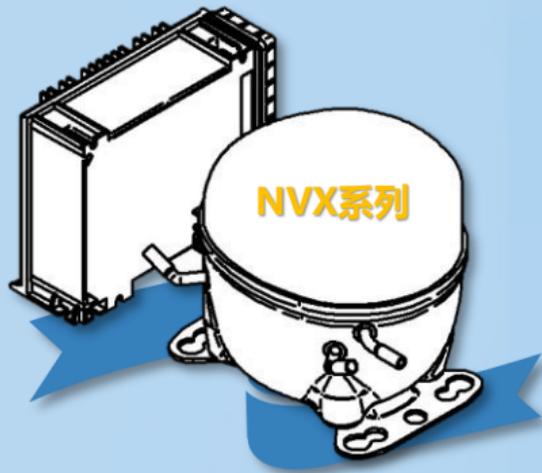
最高能效比**超1.85**
超欧标**D级能效**



能效比**达1.90**
超欧标**C级能效**



关注泵体动力，降低摩擦损耗
改善阀片导流，提升流动效率



关注智能控制，提升匹配效率
更宽转数范围，更强匹配适应



02

— 低噪控制技术

Decrease

噪声限值

大幅降低了冰箱冷柜噪声值，
要求产品整体运行**更加安静**。



冰箱冷柜噪声限值

新欧标比原欧标

降低**5-10**分贝

分为等级ABCD

Focus

变频控制噪声

随着变频控制技术普及，开始
关注**变频器运行**时的噪声水平。

Optimize

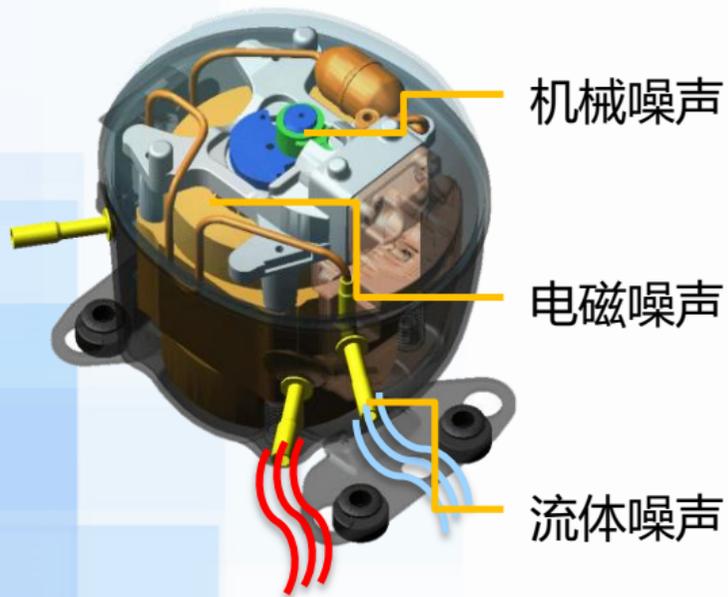
频率分布

要求冰箱冷柜的**噪音频谱优化**，
降低高频噪音比例，减少刺耳感。

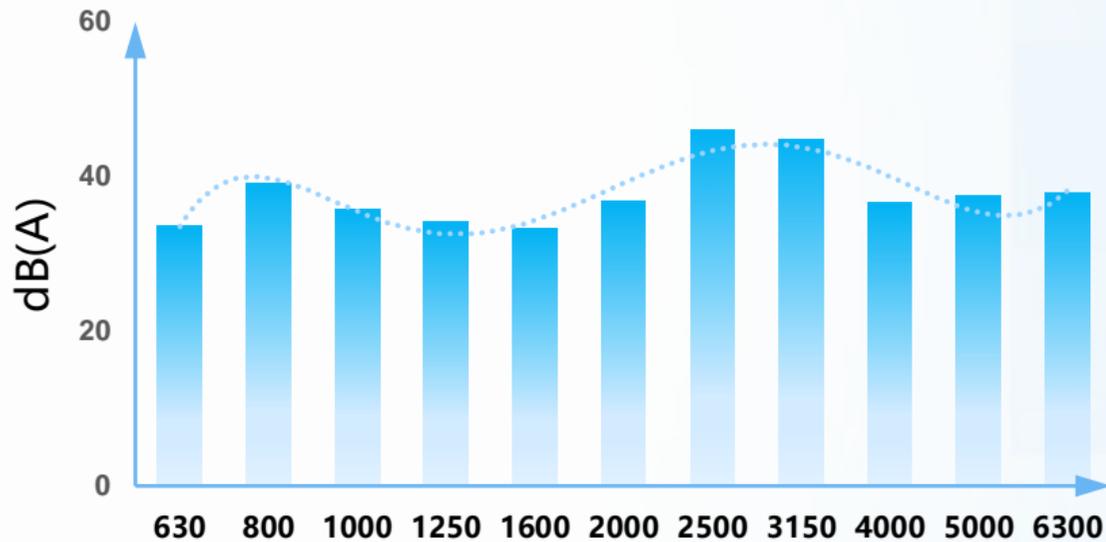
Equal

负载和空载噪声

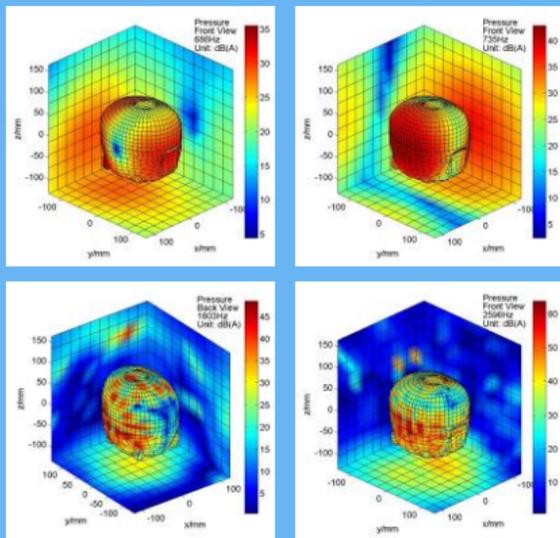
同时关注冰箱冷柜在**空载和满
载负荷**运行时的噪声限值。



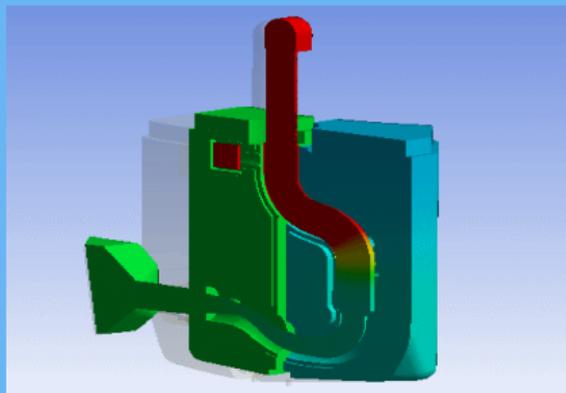
不同频率点噪声的针对性研究



声全息试验技术

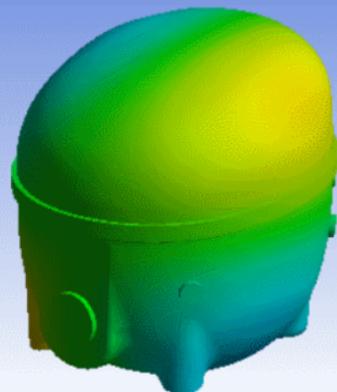
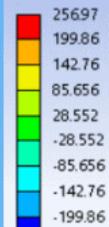


消音器声学分析

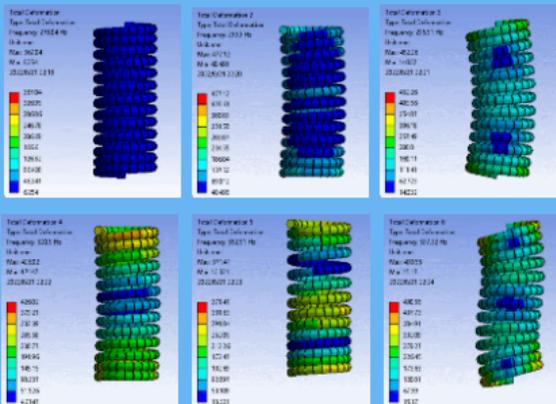


壳体空腔模态分析

Acoustic Pressure
Type: Acoustic Pressure
Frequency: 1023.8 Hz
Sweeping Phase: 0. °
Unit: MPa
Max: 256.97
Min: -256.97
2022/8/21 22:44



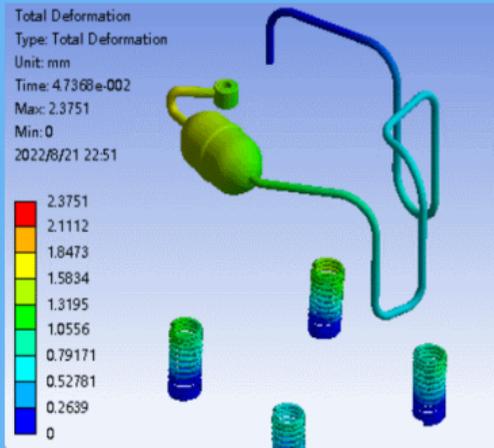
弹簧模态分析



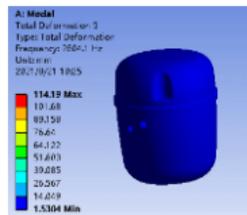
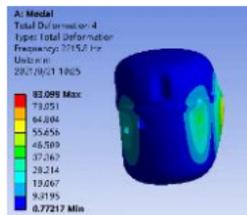
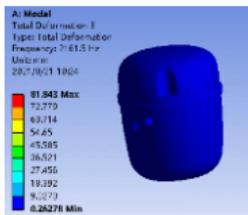
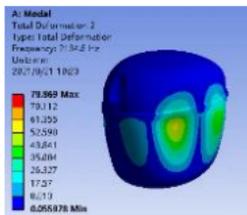
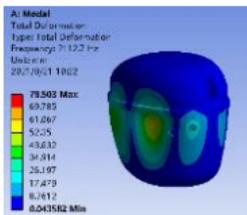
刚柔耦合动力学分析



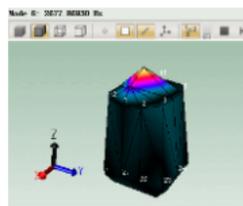
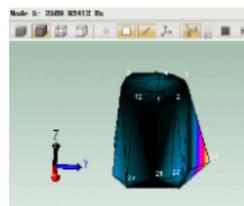
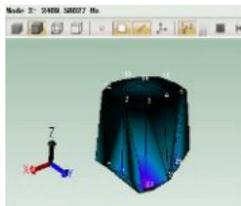
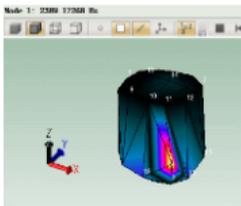
支撑系统动力学分析



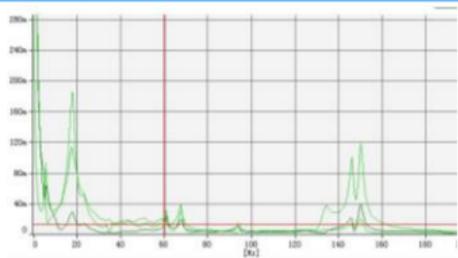
仿真



试验

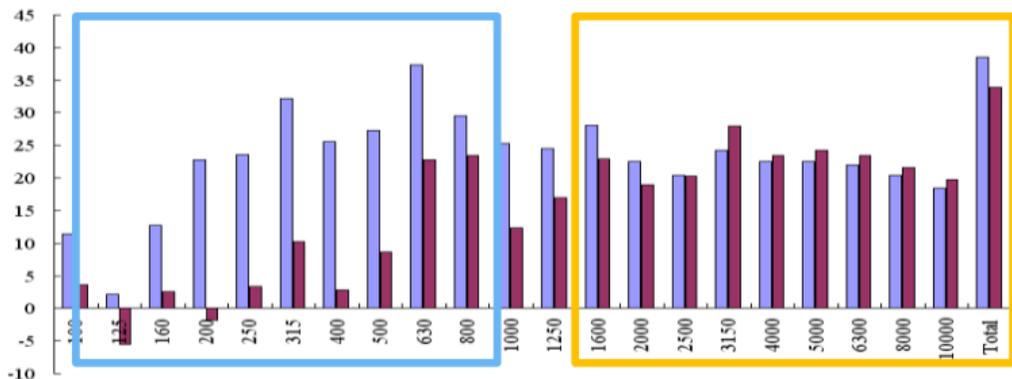
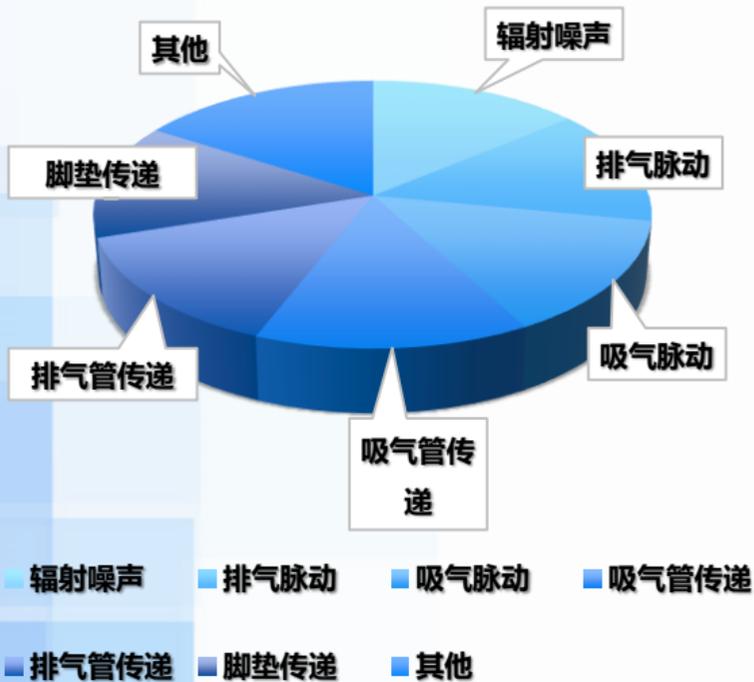


应用

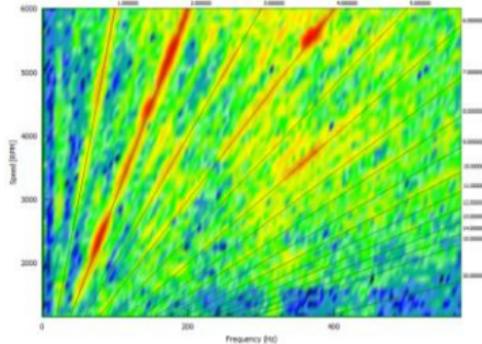


05 噪声应用

箱体噪声 压缩机主要成分



单机和整机噪声FFT对比



噪声阶次图

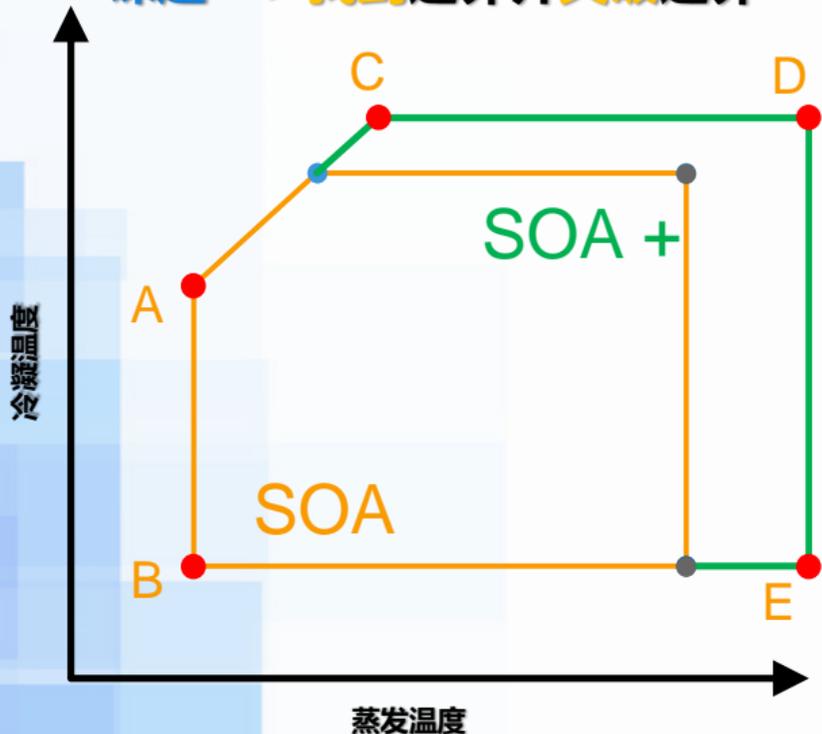
强化故障诊断
定位噪声声源
分析运行状态

03

— 制冷解决方案

01 背景介绍

课题一：找到边界并突破边界

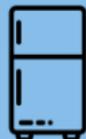


课题二：有效运行且高效运行

往复式活塞式制冷压缩机

轻商制冷应用场景

低温LBP
-40~-10°C



冰箱



冷柜



冰淇淋柜

中温MBP
-20~0°C



饮料柜



展示柜

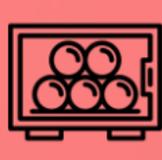


自动贩卖机

高温HBP
-15~10°C



饮水机



酒柜



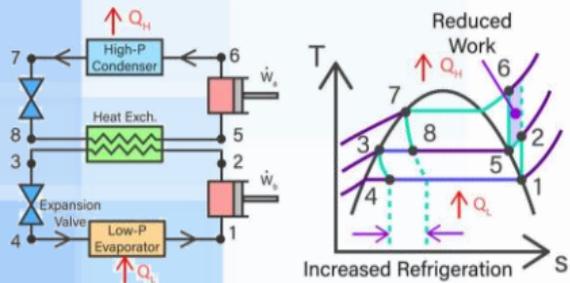
除湿机

-40°C 到 -80°C

双级复叠制冷系统

特点: 在正常工作压力范围和压比的前提下, 能实现低温制冷温-80°C左右, 技术成熟。

缺点: 两套相对独立的制冷循环系统, 2台压缩机, 制作成本高。



混合工质制冷系统

特点: 利用混合熵变效应, 温度可以拉到-80°C左右, 调整工质的组成比例, 调节最低制冷温度。

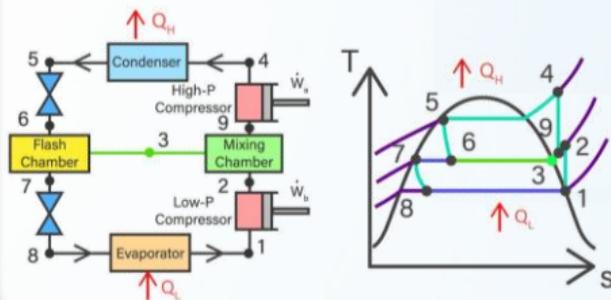
缺点: 一套制冷系统, 1台压缩机, 压缩机可靠性要求高。



双级压缩机制冷系统

特点: 获得制冷温度-40°C~-80°C左右, 技术成熟。

缺点: 一套制冷循环系统, 2台压缩机, 控制复杂。



02 超低温技术



型号: DWBD-55W151E	气候类型: ST
容量: 151L	额定耗电量: 0.83kW.h/24h
尺寸: 940*560*800mm	冷冻能力: 34kg/24h



家用化:

R290+R600a

商用化:

R170+R600a

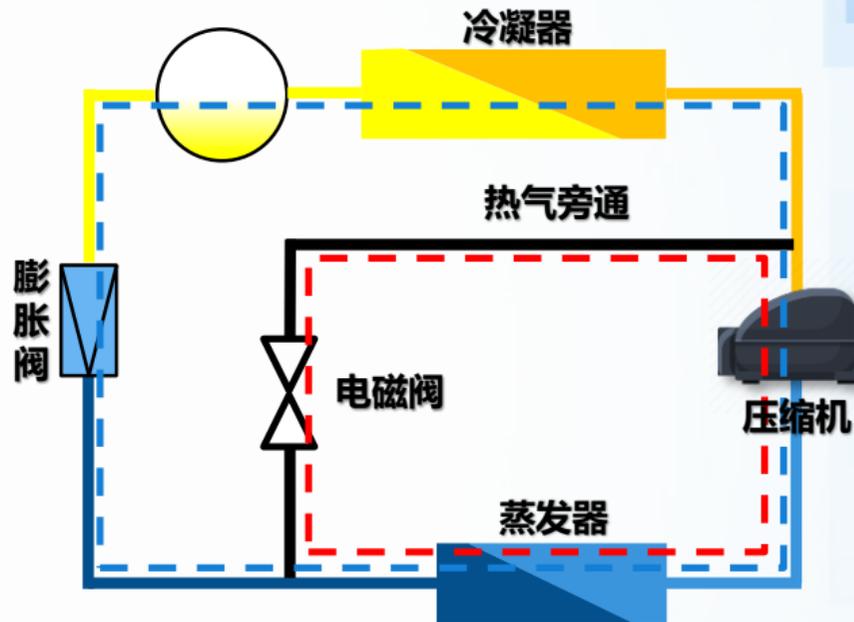
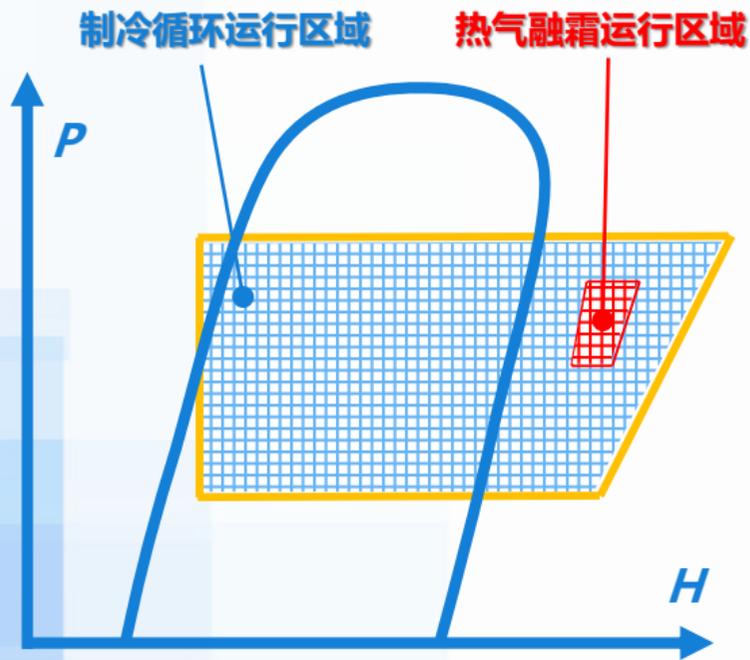


机械结构设计

电机结构设计

整机润滑设计

03 热气融霜技术



新欧盟指令中明确**不允许采用规避程序**，化霜对能耗的影响比重增加，化霜规则优化和化霜效率的提高贡献比例加大。

可靠性寿命估算依据及加速因子

温度加速因子

$$AF_T = \text{EXP} \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

×

应力加速因子

$$AF_P = \left(\frac{S_1}{S_0} \right)^n$$

加速因子

$$AF = AF_T \times AF_P$$

其中，n为系数（这里取2）、 E_a 为活化能（一般取0.3~1.2eV，这里取0.56eV）、k为玻尔兹曼常数
 T_0 为正常工况壳体温度、 T_1 加速工况壳体温度； S_0 为正常工况吸排气压差， S_1 为加速工况吸排气压差

热气融霜破坏性考核

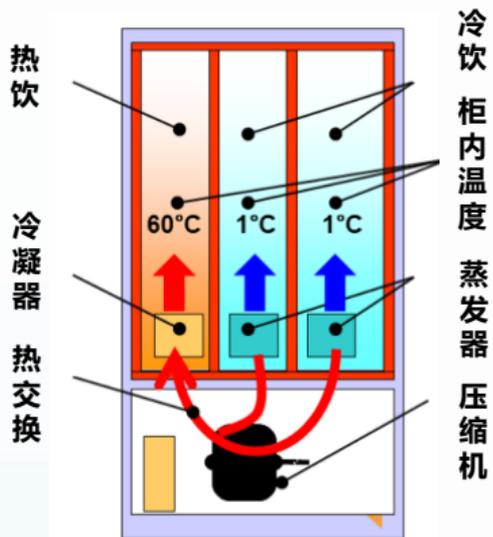
热气融霜可靠性考核

具备热气融霜能力的厨房冰箱

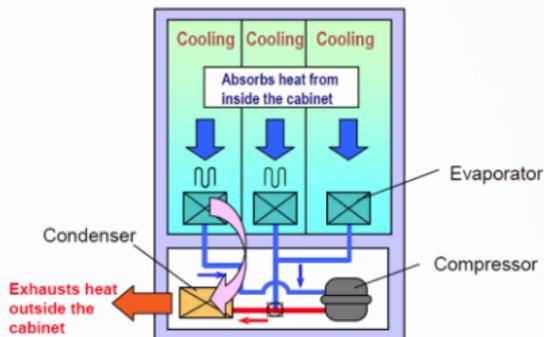


04 双温技术

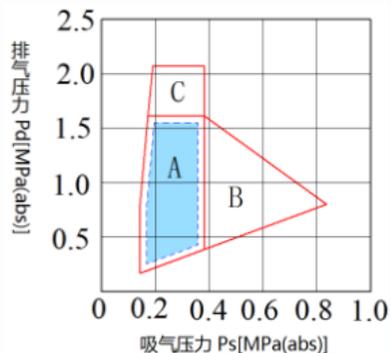
双温自动贩卖机



通过空气循环向贩卖机保管仓室传递“冷热源”，达到制冷、加热目的。

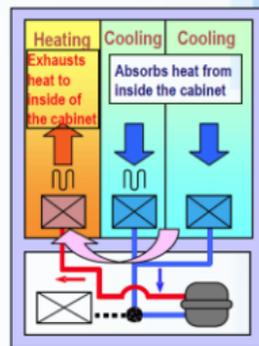


制冷SOA

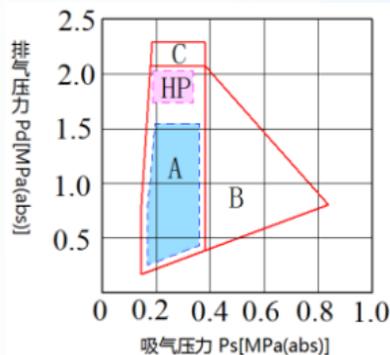


工作范围:

- A: 稳定工作区——正常使用
- B: 短暂工作区——临时使用如拉温
- C: 峰值区——过载使用

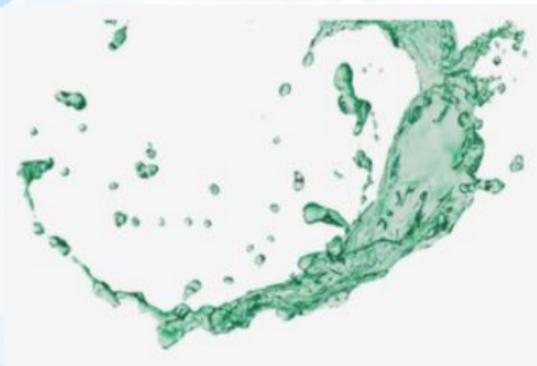


热泵SOA



- HP: 热泵区间
- A: 正常使用

04 双温技术



液 击



润 滑

解决三大技术难题



启动、过载



GUY72YC

适应-30°C低温环境下的正常使用



05 冷凝机组

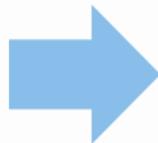
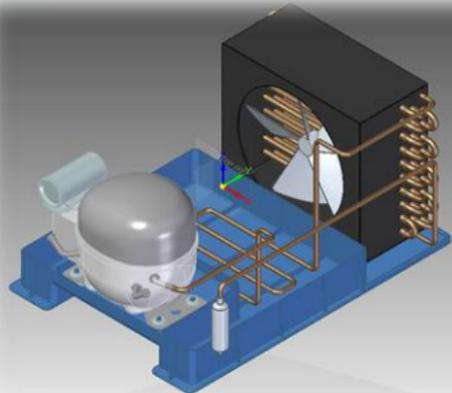
模块化冷凝机组
与客户合作开发的



模块化、快速维修

压缩机与箱体互认才能启动使用

免接水盘，减少震动，提高换热效率



04

—
智领未来技术

小型

平台轻量化设计

响应国家节能环保
引领行业标准提升

变频

高效化
宽转数
低噪声

拓展应用领域
提升终端用户体验

静音

噪声逼近家用
提升声音品质

双碳、环保、节材

高效

COP达1.90

高端市场
品牌价值

智能

物联网监测和诊断

应用场景拓展
从公共场合
向办公、家居场合

01 技术规划

cubigel[®]
compressors
Live the cooling experience



B

2.5-4.5cc



F

4.5- 8.1cc



U

4.5-10.0cc



U/L

8.1-10.7cc



U+/P

12-18cc



X

16-23cc



New X

18-26cc



S

23-38cc

2021

COP 1.80

2022

COP 1.82

2023

COP 1.85

2024

COP 1.87

2025

COP 1.90

02 技术突破

MSC ADAMS

ANSYS

ANSYS Fluent
STAR-CD

LMS Acoustics

Ansoft
MAXWELL

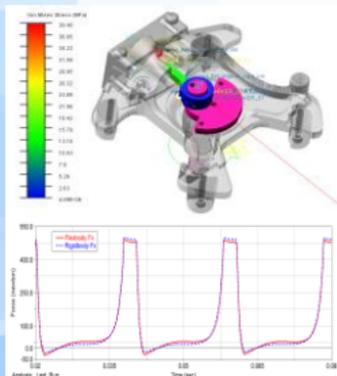
多刚体动力学
刚柔耦合动力学

结构动力学
冲击动力学

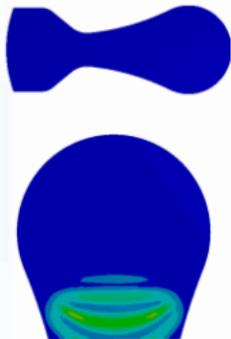
流固耦合
热流耦合
多相流

声源声场
声振耦合

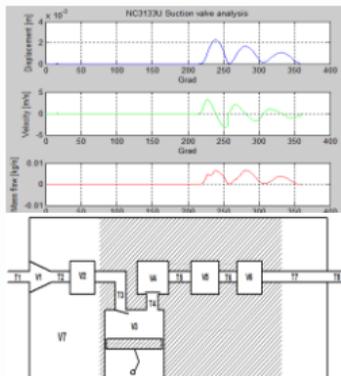
电机电磁



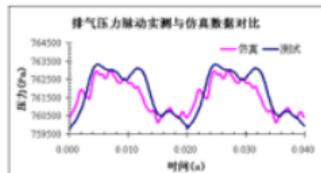
刚柔耦合



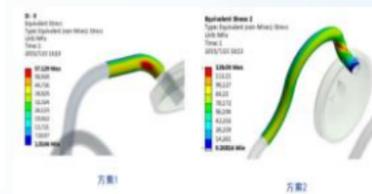
阀片拍击



阀片运动规律



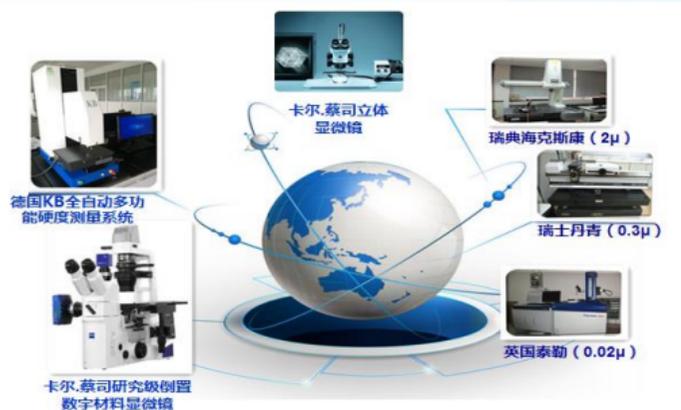
匹配噪声



传递系统

行业领先的实验资源：CNAS国家认可实验室，符合TAP和TDAP程序的UL和VDE认可实验室。为技术研发和质量控制提供有力保障。

- **9个专业实验室：** 9 professional laboratories：
材料实验室、流体力学实验室、热力学实验室、磨擦与润滑实验室、
化学实验室、精密实验室、声学实验室、EMC实验室、电机与控制实验室。
- **6个压缩机实验室：** 6 compressor laboratories
压缩机性能实验室、压缩机噪声实验室、压缩机过载实验室、
压缩机堵转实验室、压缩机启动实验室、应用匹配实验室。
- **6个可靠性实验室：** 6 reliability laboratories
压缩机可靠性实验室、变频器可靠性实验室、电容可靠性实验室、
两器可靠性实验室、阀组可靠性实验室、运输可靠性实验室。



03 实验室配置



Performance Lab
性能实验室



Noise Lab
噪声实验室



Stalling Lab
堵转实验室



Overload Lab
过载实验室



Winding Lab
绕组实验室



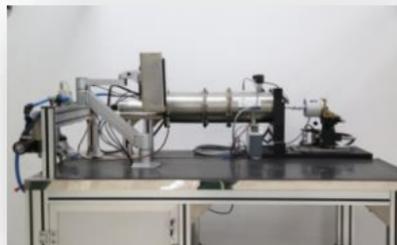
Matching Application Lab
匹配应用实验室

03 实验室配置



材料实验室

Materials laboratory



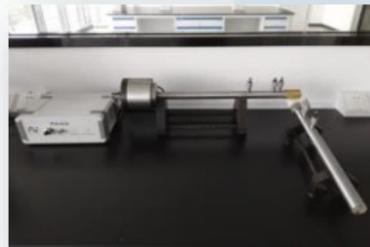
流体实验室

Fluid Laboratory



热力学实验室

Thermodynamic laboratory



声学实验室

Acoustical Laboratory



EMC实验室

EMC Laboratory



磨擦与润滑实验室

Friction and Lubrication Laboratory



化学实验室

Chemistry Laboratory



精密实验室

Precision laboratory

变频促进整机能效提升

Same Coefficient of Performance

Compressor
Cost
40-70%↑



Fixed-speed Compressor

Variable Frequency Compressor

Electricity
Cost
20-30%-year



ASHARE LBP Condition



ASHARE MBP Condition

Variable Frequency Compressor
Energy Saving 13%

Variable Frequency Compressor
Energy Saving 16%



1028L Beverage
4.5Kwh/24h



3.76 Kwh/24h

04 智慧技术

cubigel[®]
compressors
Live the cooling experience



NVT35FSC



NVT50FSC



NVT70FSC



NUT100FSC



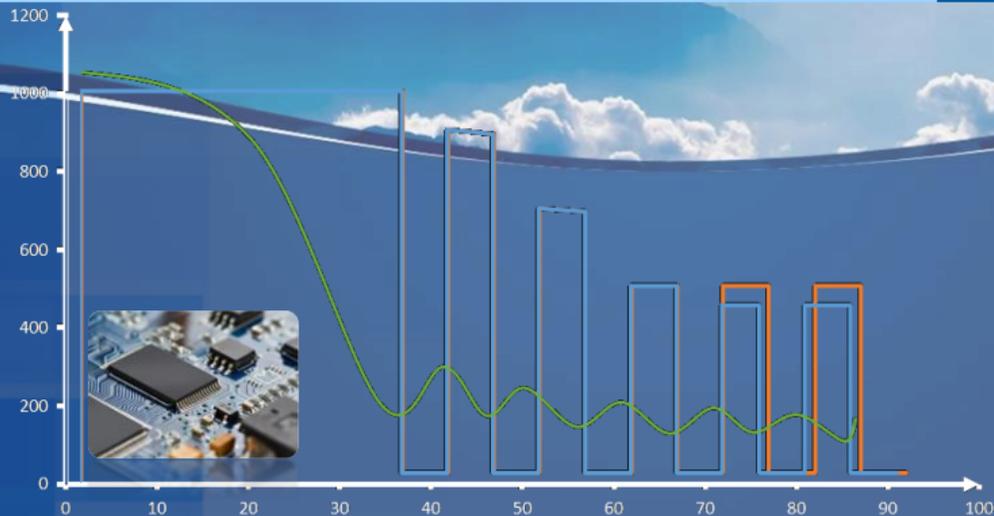
NUT125FSC



NUT160FSC

3.5~10cc

10~15cc



多维度信息采集

硬件加速器提升运算速度

30%

智能适配-插电即用

参数识别精度 $\pm 2\%$

插电即用



智能服务-全过程服务

全球服务

全天候监控

全过程展现



智能学习-节能高效

节能30%

个性化策略

智能识别-多场景服务

静音启停

热气融霜

LBP/MBP场景

感谢

您的聆听