

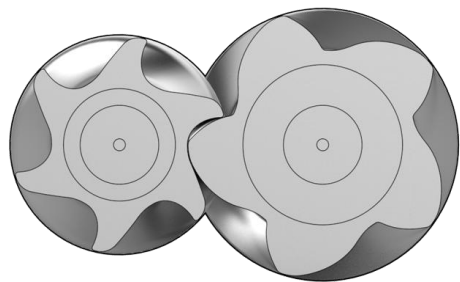
小压比 | 双级螺杆

压缩机新技术及应用

汇报人：武晓昆 博士

中国制冷展·压缩机新技术研讨会

北京 2024.4.8





LHVE-7系列 行业唯一全系COP7.0+
THE Impossible Screw Chillers.



单系统技术参数

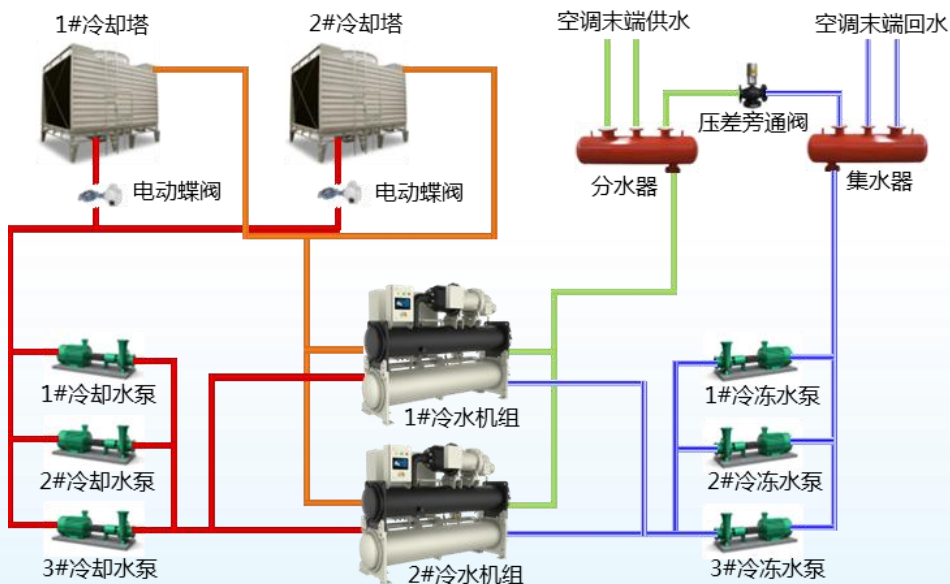
制冷量	压缩机数量	COP	GB-IPLV
150RT	1	7.21	10.08
180RT	1	7.22	10.10
200RT	1	7.12	10.03
300RT	1	7.16	10.07
400RT	1	7.13	10.00

双系统技术参数

制冷量	压缩机数量	COP	GB-IPLV
350RT	2	7.47	10.48
400RT	2	7.53	10.50
500RT	2	7.51	10.44
600RT	2	7.48	10.34
800RT	2	7.46	10.28

- 我国制冷空调耗电量占全社会总用电量的**15%**，是节能降碳的重点领域
- 冷水机组是公共建筑的核心制冷设备，也是主要耗能部件，占**建筑总能耗的35%**

建筑制冷机房核心设备



螺杆式冷水机组的典型应用场景



毛主席纪念堂



珠海歌剧院



东莞万达广场



深圳民生金融大厦



俄罗斯世界杯工程（摩尔多瓦竞技场）



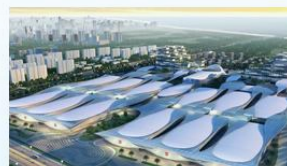
港珠澳大桥珠海口岸



深圳文体中心



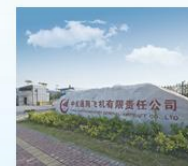
巴基斯坦驻中国大使馆



青岛世界博览城



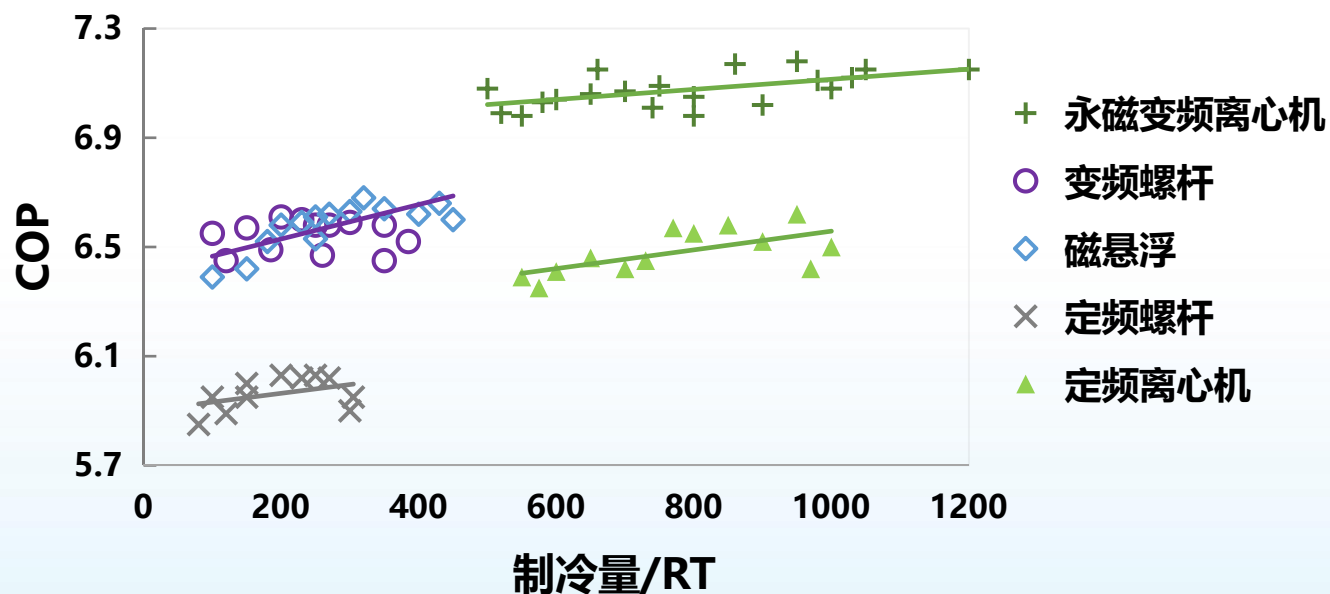
广州亚运会系列场馆



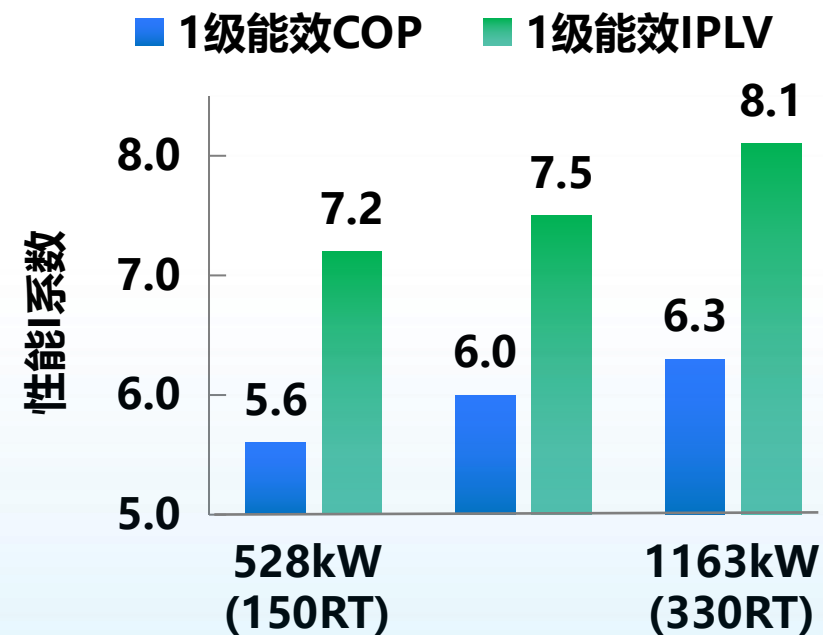
中航通用飞机航空产业基地

- 冷量越大，现有能效水平越高；国家标准：相同一级能效水平，标准值**高出12.5%**
- 螺杆机单机冷量覆盖100-450RT（**中小冷量段**）；能效水平突破7.0的难度极大

全冷量段单机头冷水机组能效水平现状

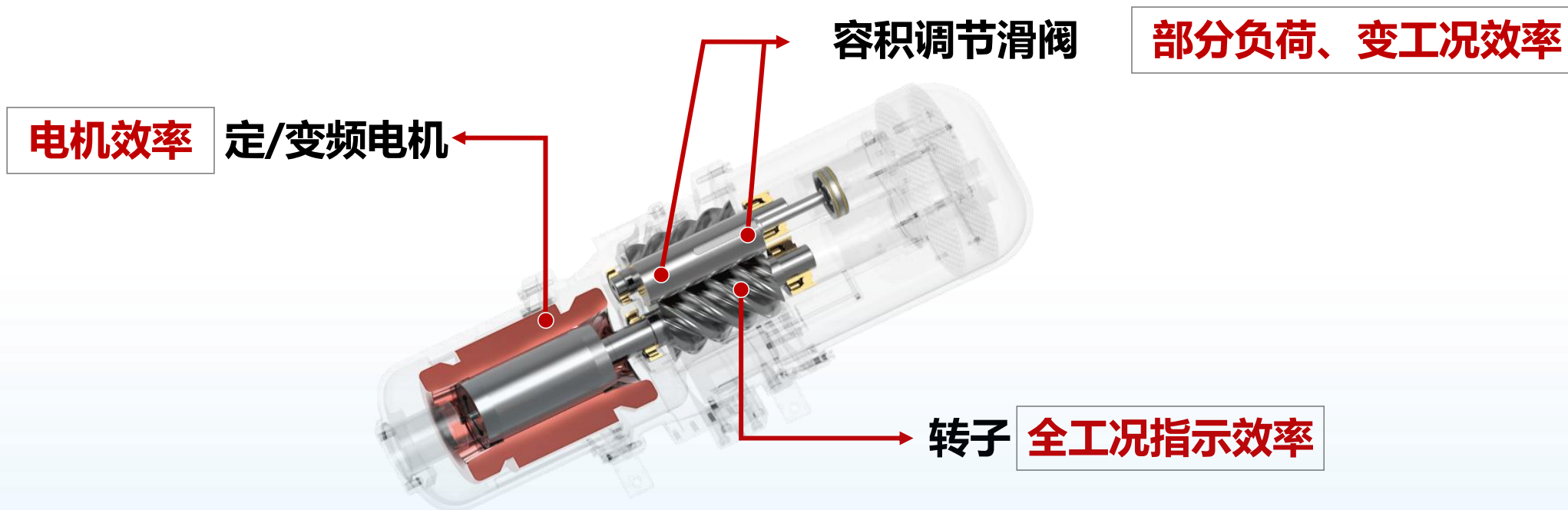


GB 19577 能效标准



■ “心脏” — 螺杆压缩机的效率组成

传统螺杆制冷压缩机的基本结构原理图

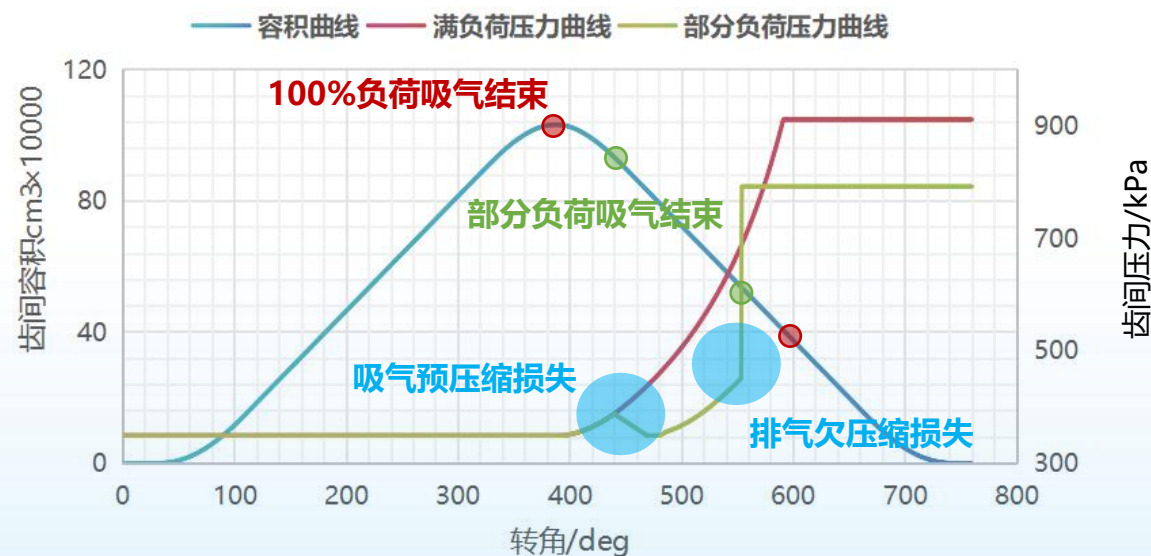
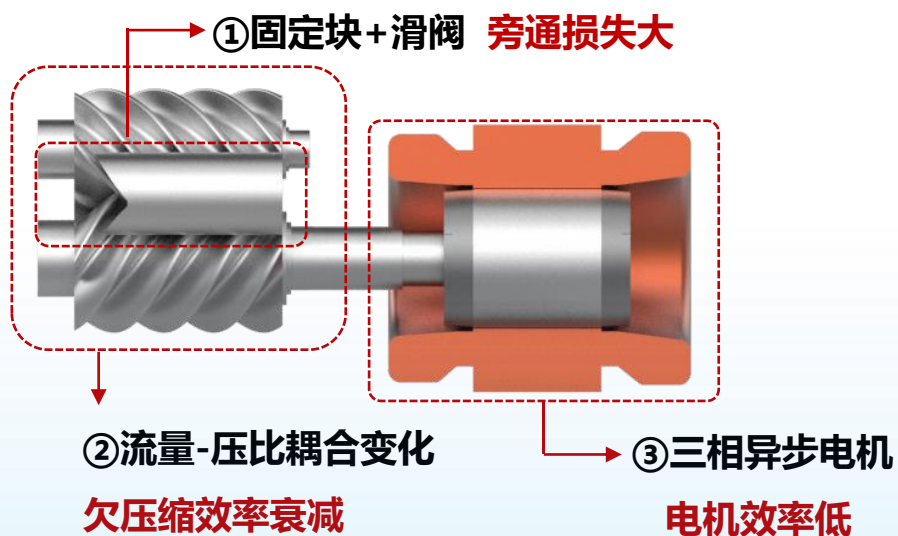


效率提效的**潜力**? 效率提效的**新方向**?

■ 方向一：定频向**永磁变频**发展

- 定频采用滑阀调节吸气流量，预压缩**旁通损失**大；压比耦合变化，欠压缩**排气损失**大
- 三相异步电机在部分负载下**电机效率**低；常规定频水冷螺杆IPLV仅**7.1-7.3**

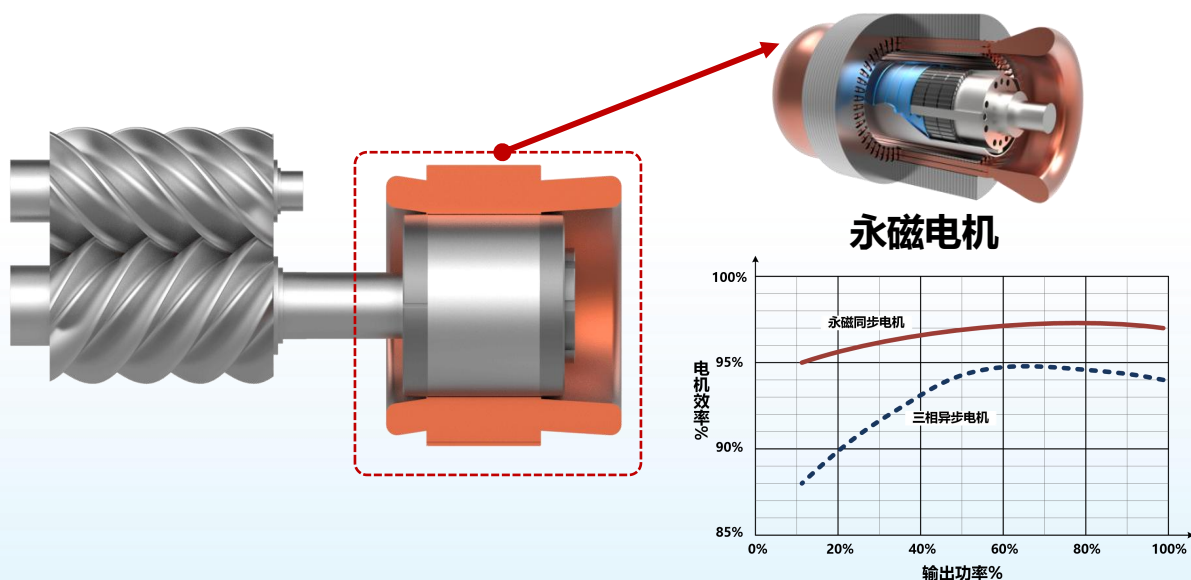
定频螺杆压缩机的效率损失机制



■ 方向一：定频向**永磁变频**发展

- 永磁变频电机，全负载电机效率提升；调速范围宽，可完全取消负荷调节滑阀
- 变转速实现流量调节，**无滑阀旁通损失**；(仅)永磁变频水冷螺杆**IPLV**达到**8.5以上**

永磁变频直驱螺杆压缩机



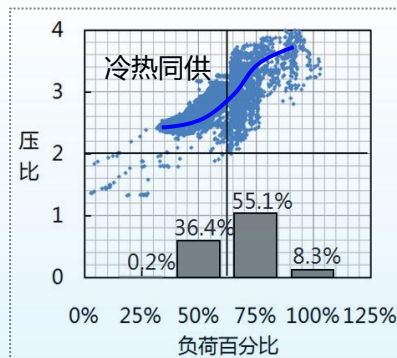
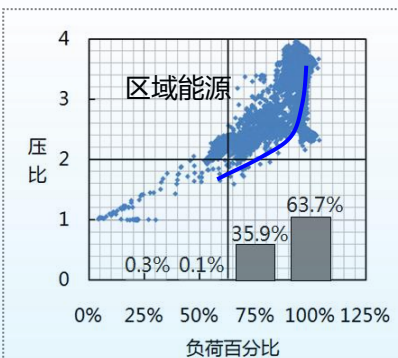
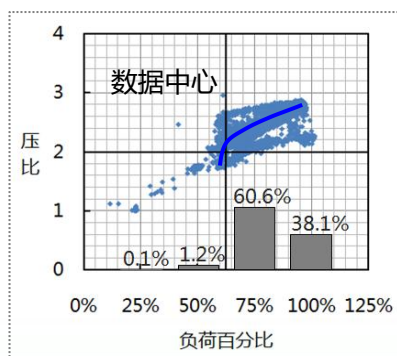
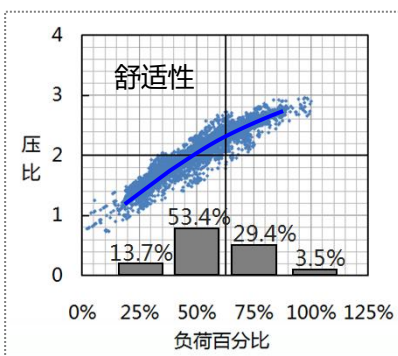
(仅)永磁变频螺杆机的部分负荷性能



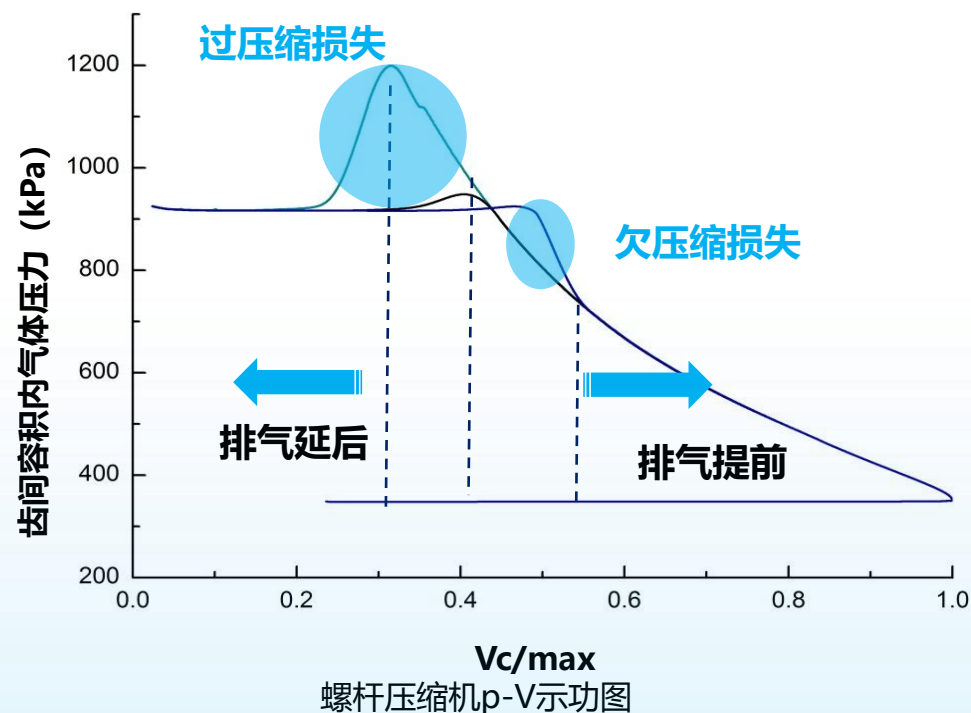
■ 方向二：定压比向**变压比**发展

- 不同气候环境、建筑类型时用户需求各有不同，不同应用场合下负荷-工况在特定时间内的运行特征不同，容易**忽视的内外压比适配**

不同应用场景下压比变化



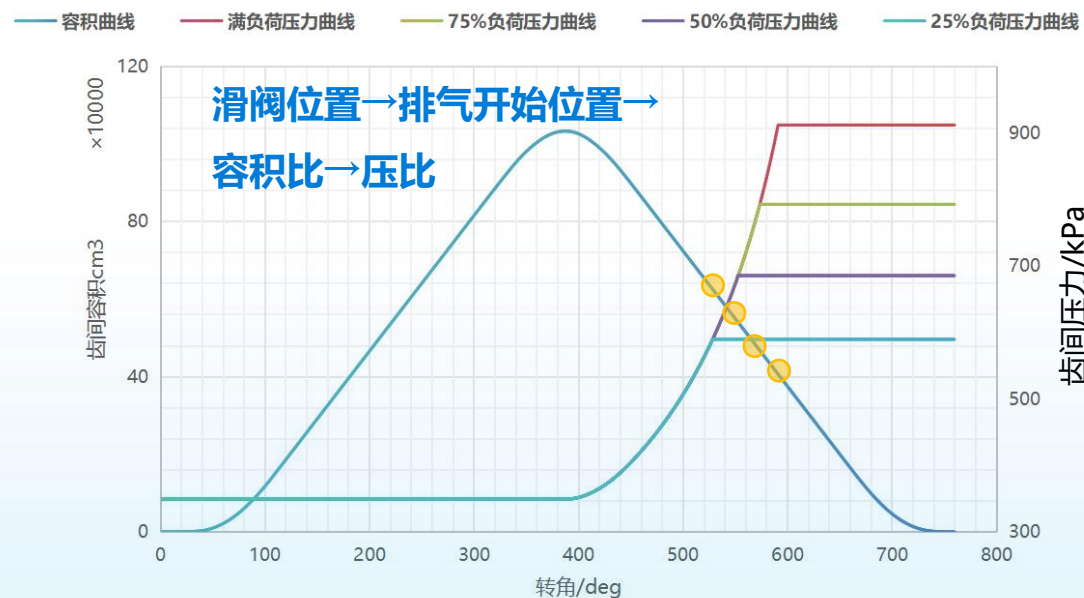
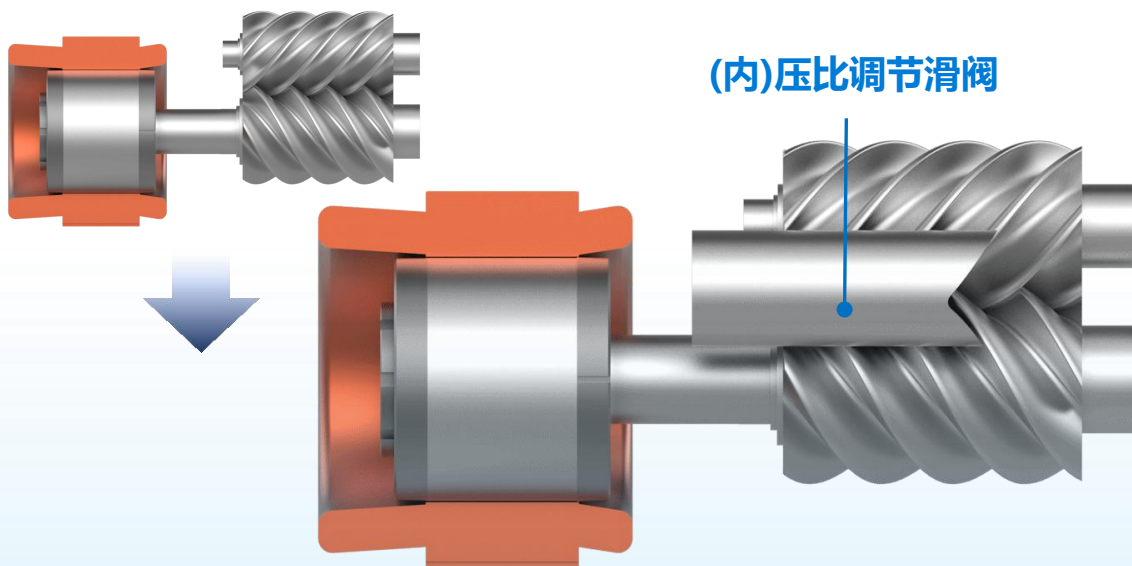
固定压比螺杆压缩机的效率损失机理



■ 方向二：定压比向**变压比**发展

- V_i =排气开始/吸气结束容积比； V_i 滑阀轴向移动改变排气位置实现压比可变调节；
- 多种控制方法：①多电磁阀控制有级多段调节；②位置传感器无级调节；...

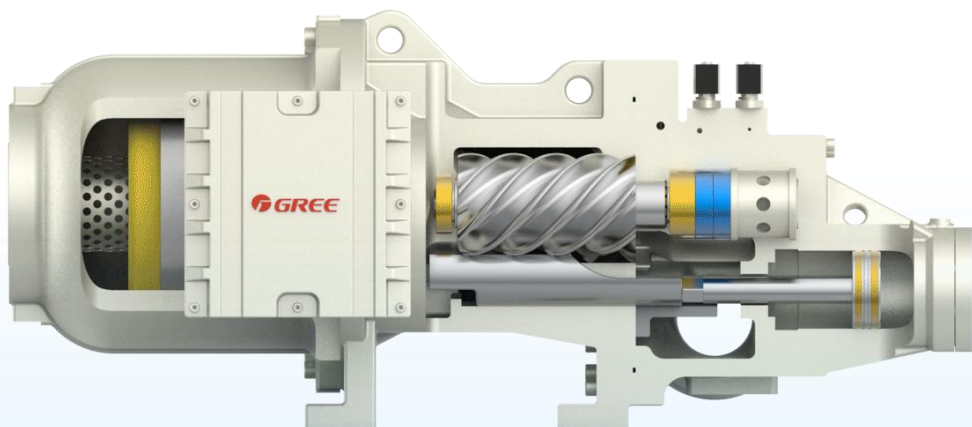
可变(内)压比变频螺杆压缩机



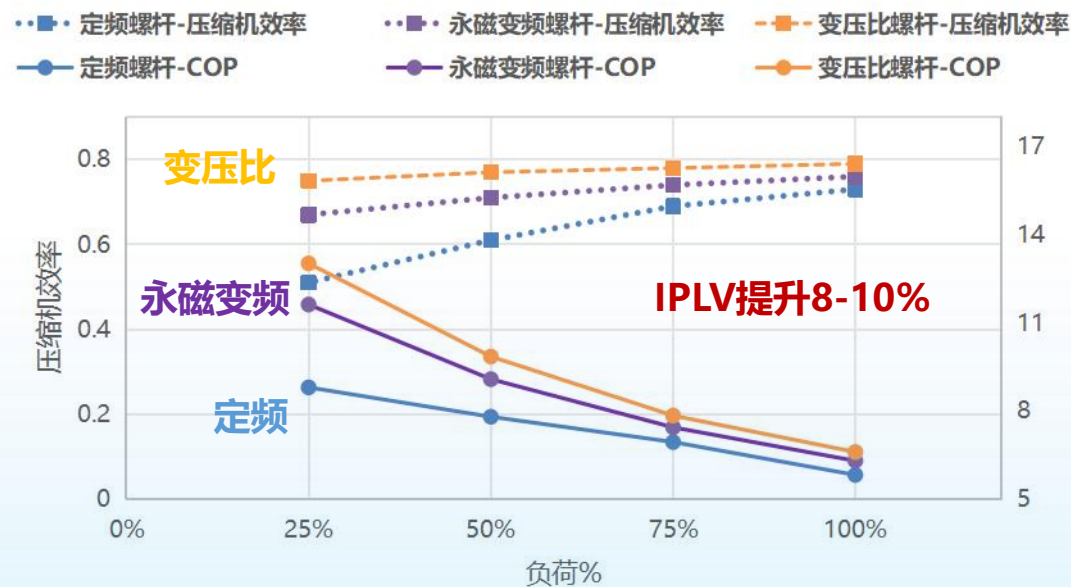
■ 方向二：定压比向**变压比**发展

- 永磁变频调节流量，Vi滑阀调节压比，**压比-流量**调节独立、精准且连续
- 可变压比(单级)螺杆冷水机组**IPLV**达到**9.3-9.6**，较仅永磁变频再**提升8-10%**

可变(内)压比永磁变频(单级)螺杆压缩机



可变(内)压比永磁变频螺杆机的部分负荷性能

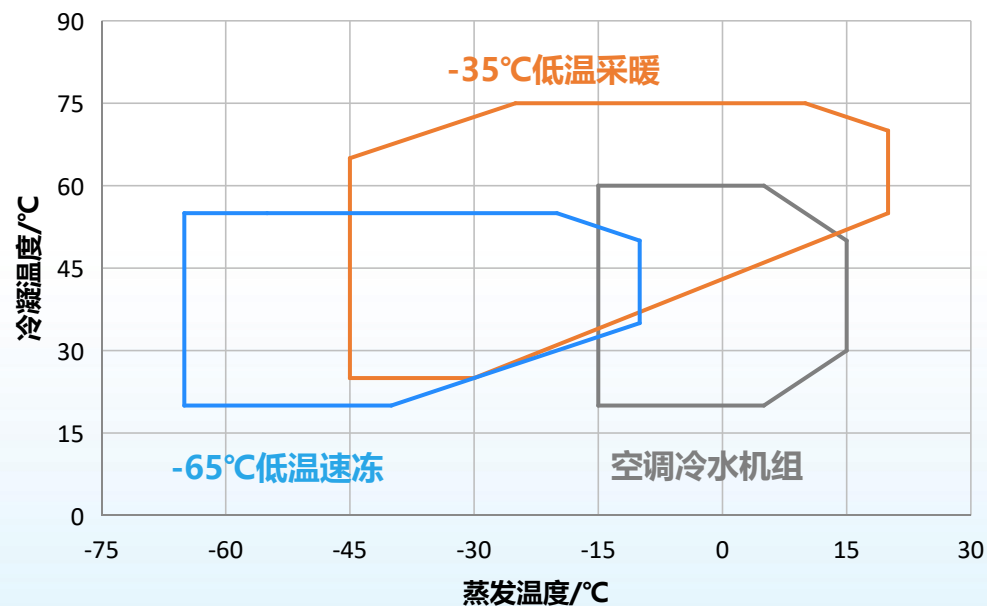


■ 方向三：单级压缩向**双级**发展

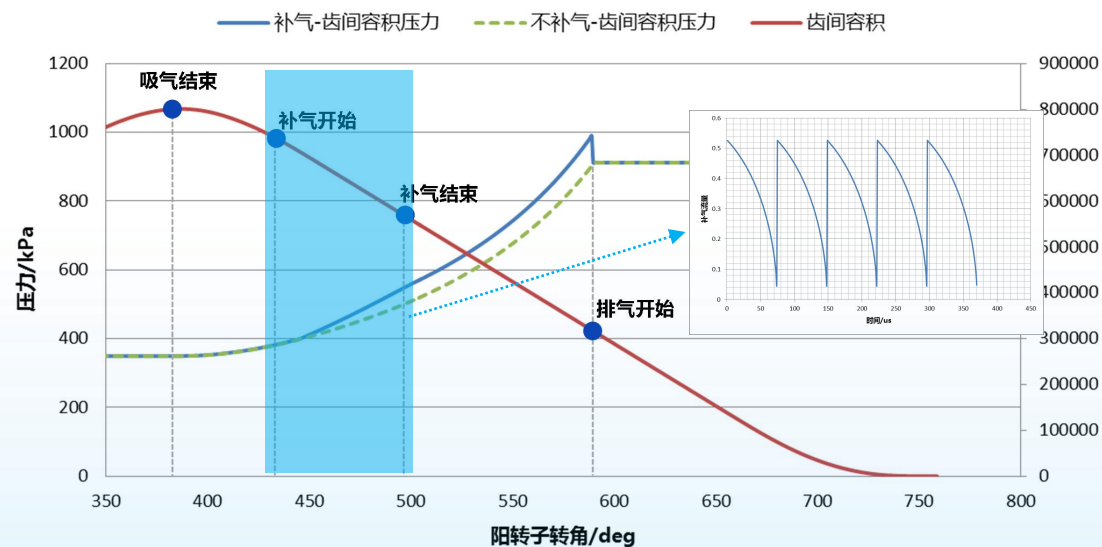
➤ **传统观念**：双级螺杆更适合**大压比**工况，在低温速冻、低环温热泵已有应用

➤ **小压比**冷水机组仍为单级压缩；部分带喷气增焐，齿间脉动大，循环性能不提升

不同应用场景下螺杆压缩机运行压比



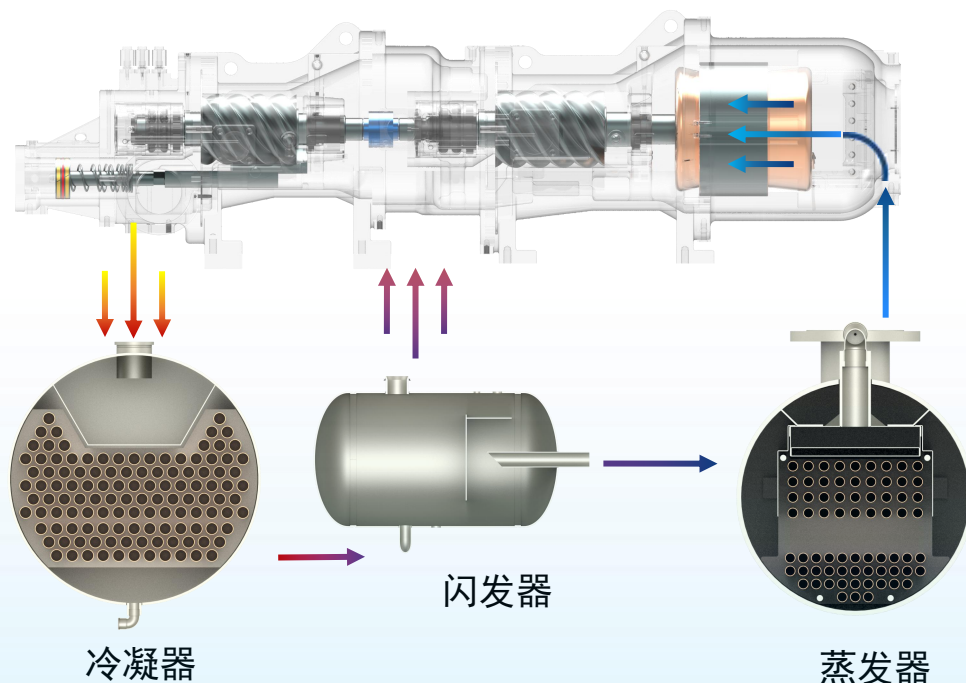
单级压缩齿间补气的问题与不足



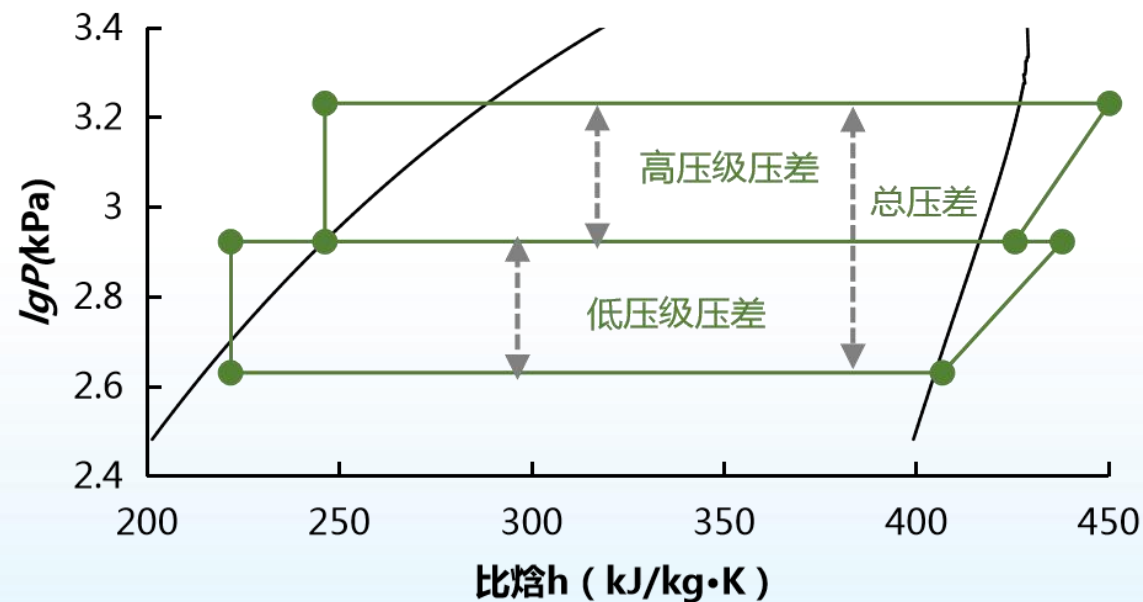
■ 方向三：单级压缩向**双级**发展

- 双级压缩，高压级转子强制输气，中间压力稳定；闪发式补气，无传热温差，**循环性能提升6%**；每一级转子的泄漏压差降低40%-60%，**泄漏损失接近零**

双级压缩 闪发补气



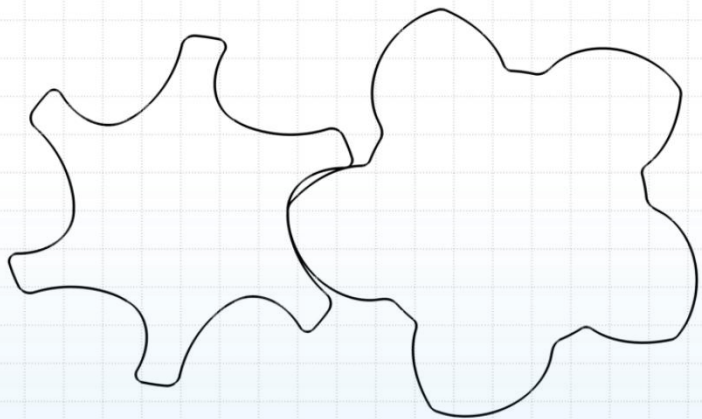
水冷冷水机组工况下的双级循环p-h图



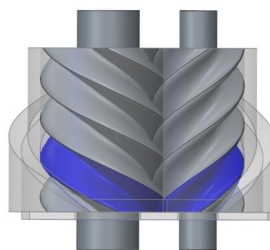
■ 方向四：转子型线通用化向**定制化**发展

- 转子型线设计、试切难度大，投入成本高，技术迭代周期长，定型后通用化应用
- 在齿数比、扭转角、长径比、转子材料方面精准适配应用**工况特点**、**工质物性**及**转速**

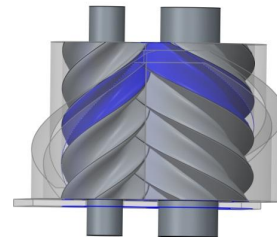
转子型线设计



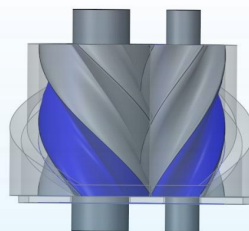
适应不同工况特点的转子设计



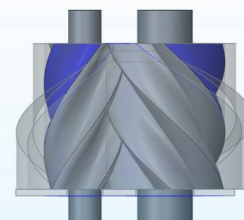
高速低压比小压差



高速高压比小压差



低速低压比小压差



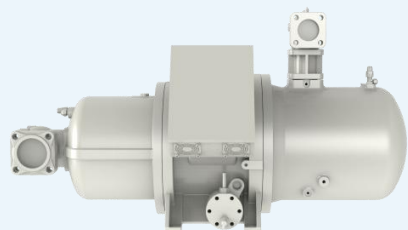
低压比大压差



四代技术创新

十年研发破局

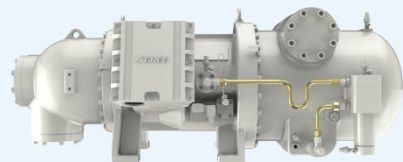
//~2014年



I代螺杆机

三相异步电机
COP 5.1-5.6
IPLV 7.3-7.5

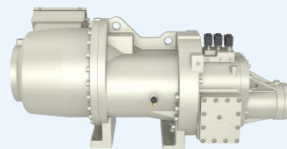
//~2017年



II代螺杆机

永磁变频
COP 6.0-6.3
IPLV 8.5-9.0

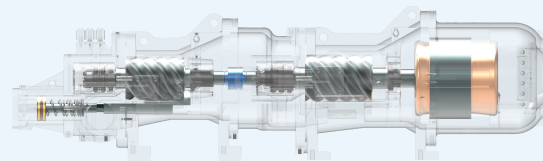
//~2021年



III代螺杆机 (超磁)

压比自适应
COP 6.5-6.7
IPLV 9.3-9.6

//~2024年



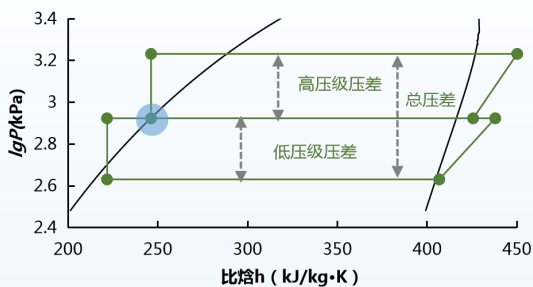
IV代螺杆机

小压比双级压缩
COP 7.0+
IPLV 10.0+

首次将双级螺杆压缩机技术应用于水冷冷水机组应用

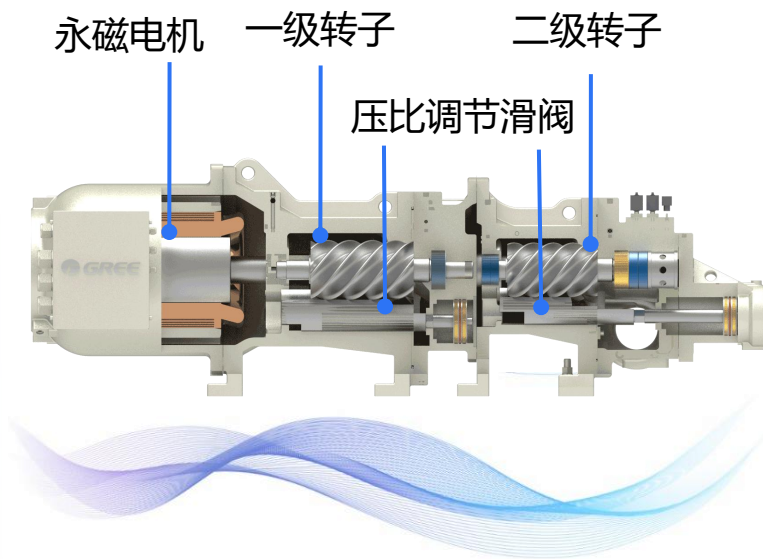
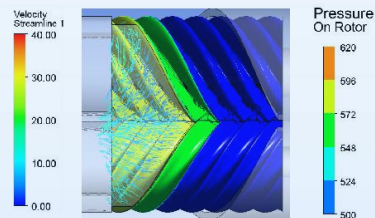
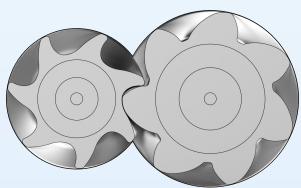
双级压缩 闪发式补气

- 螺杆压缩机强制输气，**中间腔压力稳定**
- 闪发补气，无换热损失，**循环性能提升6%**



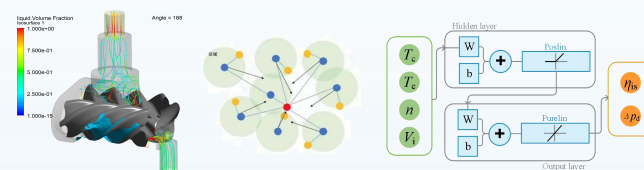
小压比高效转子型线

- 运行压差降低40%-60%，**泄漏损失小**
- 同齿异构型线抑制排气脉动，**效率提升4%**



流量-压比解耦精准适配

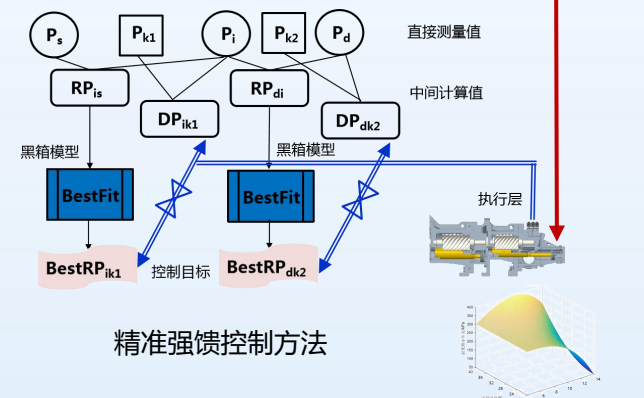
- 永磁变频调节流量，滑阀调节压比
- 真实物理模型样本，全工况AI机器学习**
- 无位置**压比精准适配**，提升变工况效率



真实物理模型

随机森林


机器学习



精准强馈控制方法



No: 2023JD1277





检验报告

Inspection Report

产品名称: 螺杆式冷水机组
Product: 螺杆式冷水机组
委托单位: 珠海格力电器股份有限公司
Client: 珠海格力电器股份有限公司
生产单位: 珠海格力电器股份有限公司
Manufacturer: 珠海格力电器股份有限公司
检验类别: 委托检验
Inspection Type: 委托检验

合肥通用机电产品检测院有限公司
Hefei General Machinery & Electrical Products Inspection Institute
国家压缩机制冷设备质量检验检测中心
National Quality Inspection Center of Compressor and Refrigerator Products

合肥通用机电产品检测院有限公司
Hefei General Machinery & Electrical Products Inspection Institute
国家压缩机制冷设备质量检验检测中心
National Quality Inspection Center of Compressor and Refrigerator Products

检验报告

Inspection Report

No. 2023JD1277 共 4 页 第 3 页 Page 3 of 4 Pages

检验结果 (附表) 检验日期: 2023 年 11 月 15 日
至: 2023 年 11 月 17 日
Inspection Results Date of Test: Nov. 15, 2023 To: Nov. 17, 2023

序号 No.	检验项目 Inspection Item	技术要求 Technical Requirements	检验数据 Inspected Data	评价 Evaluation
1	名义制冷量	制冷量应不小于名义规定值的 95%; ≥601.255kW; 额定值: 632.900kW。 机组消耗总功率应不大于机组名义消耗总功率的 110%; ≤96.470kW; 额定值: 87.700kW。	622.117kW	合格
2	名义制冷消耗总电功率	名义工况的性能系数 COP 应符合表 4 的要求, 并应不低于机组的明示值 (当机组明示值的 92% 高于表 4 规定的值时) 的 92%; ≥6.64kW/kW; 额定值: 7.22kW/kW。	86.113kW	合格
3	名义制冷性能系数 COP	综合部分负荷性能系数 IPLV 应符合表 4 的规定, 并应不低于明示值的 92% (当机组明示值的 92% 高于表 4 规定的值时); ≥9.37kW/kW; 额定值: 10.18kW/kW。	7.22kW/kW	合格
4	综合部分负荷性能系数 IPLV [®]		10.10kW/kW	合格

备注:
1. 名义制冷工况: 使用例 水流量 111.23m³/h; 出口水温 7.11℃
 标准例 进口水温 29.30℃; 水流量 143.21m³/h
2. 表中名义制冷量、名义制冷消耗总电功率、名义制冷性能系数 COP、综合部分负荷性能系数 IPLV[®] 的测试方法是依据 GB/T 18430.1-2007 标准中第 6.3.2.1 条、第 6.3.2.4 条、第 6.3.3 条的规定。
3. 表中名义制冷量、名义制冷消耗总电功率、名义制冷性能系数 COP、综合部分负荷性能系数 IPLV[®] 的判定是依据 GB/T 18430.1-2007 标准中第 5.4(a) 条、第 5.4(b) 条、第 5.4(c) 条、第 5.5.1.3 条的要求。

TB01-708B-00-2019

合肥通用机电产品检测院有限公司
Hefei General Machinery & Electrical Products Inspection Institute
国家压缩机制冷设备质量检验检测中心
National Quality Inspection Center of Compressor and Refrigerator Products

检验报告

Inspection Report

No. 2023JD1277 共 4 页 第 4 页 Page 4 of 4 Pages

检验结果 (附表) 检验日期: 2023 年 11 月 15 日
至: 2023 年 11 月 17 日
Inspection Results Date of Test: Nov. 15, 2023 To: Nov. 17, 2023

序号 No.	检验项目 Inspection Item	技术要求 Technical Requirements	检验数据 Inspected Data	评价 Evaluation
5	制冷量	/	601.936kW	/
6	制冷消耗总电功率	/	84.544kW	/
7	制冷性能系数 COP	/	7.12kW/kW	/
8	综合部分负荷性能系数 IPLV [®]	/	12.01kW/kW	/

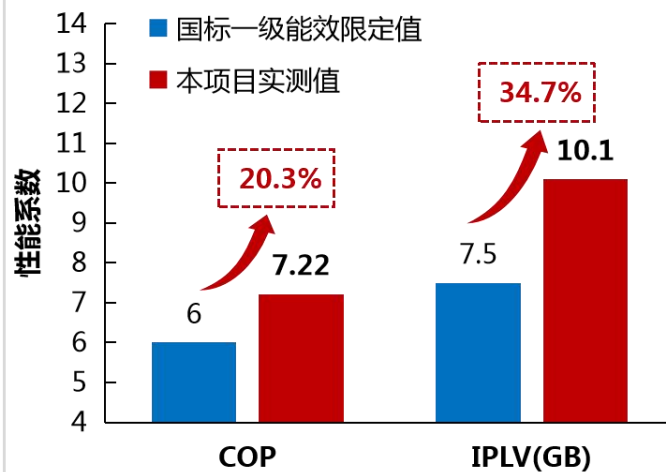
备注:
1. 名义制冷工况: 使用例 水流量 95.12m³/h; 出口水温 6.74℃
 标准例 进口水温 29.34℃; 水流量 120.94m³/h
2. 表中制冷量、制冷消耗总电功率、制冷性能系数 COP、综合部分负荷性能系数 IPLV[®] 的测试方法是按照 ASHRA Standard 550/990-2023(S1) 的相关要求。

TB01-708B-00-2019

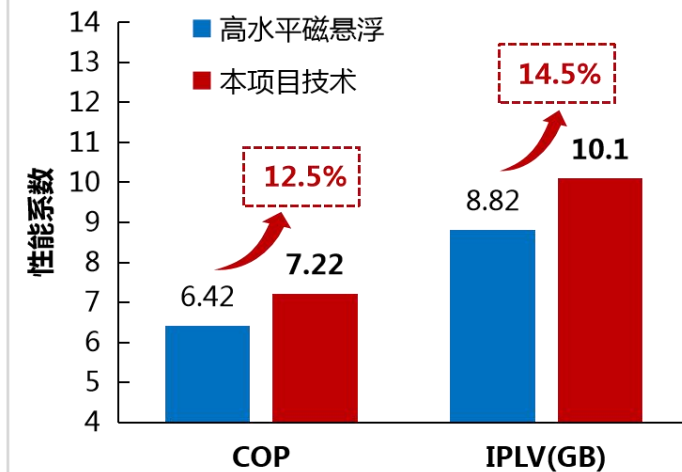
单机头 **180RT** | COP **7.22** | IPLV(GB) **10.1** | IPLV(ARI) **12.01**



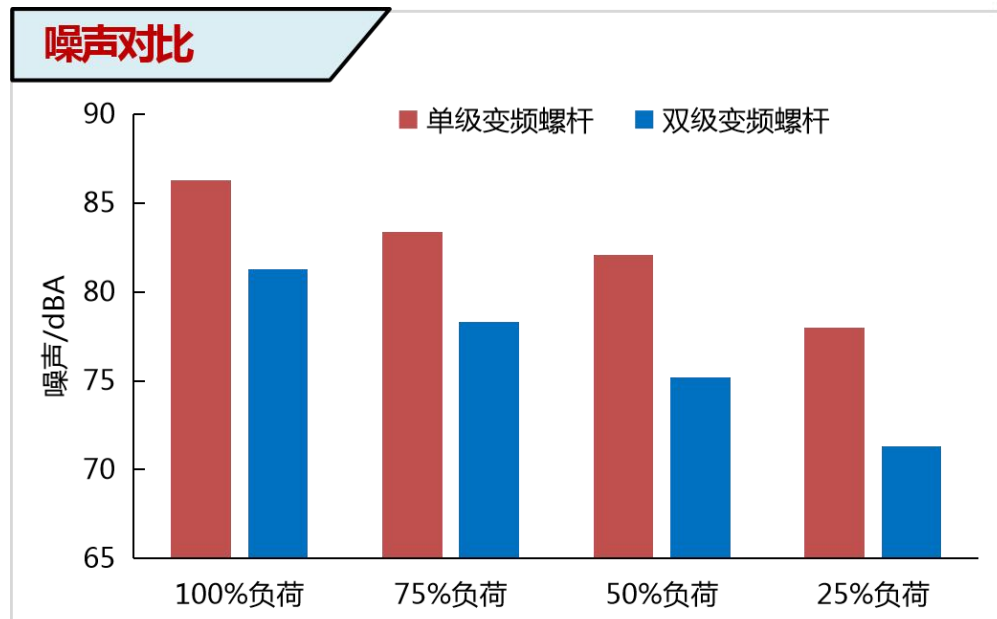
VS. 国家标准 GB 19577-2015



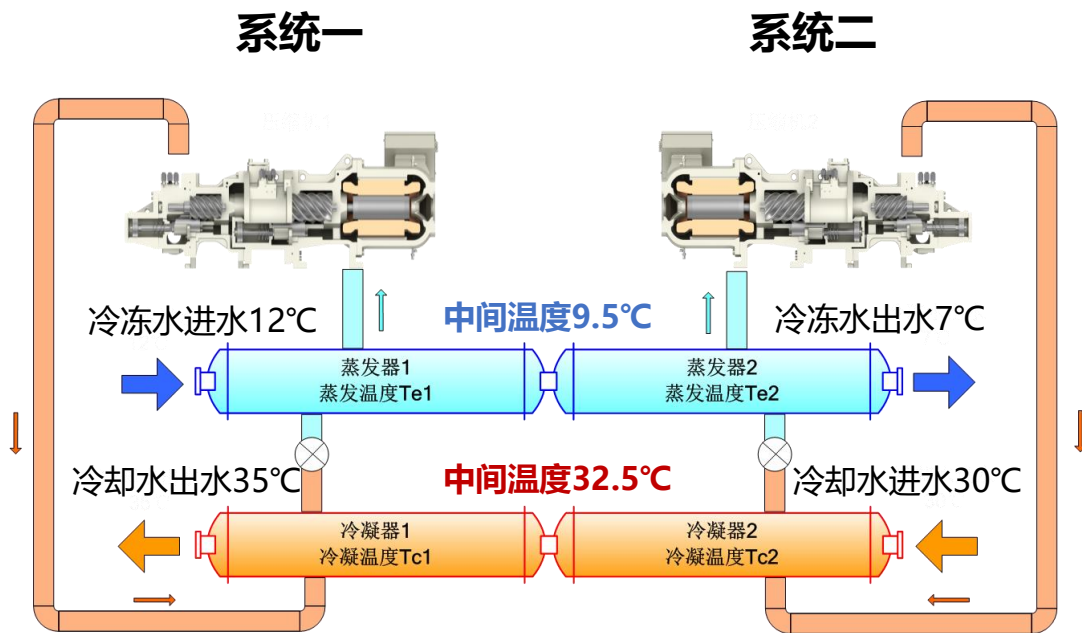
VS. 高水平磁悬浮



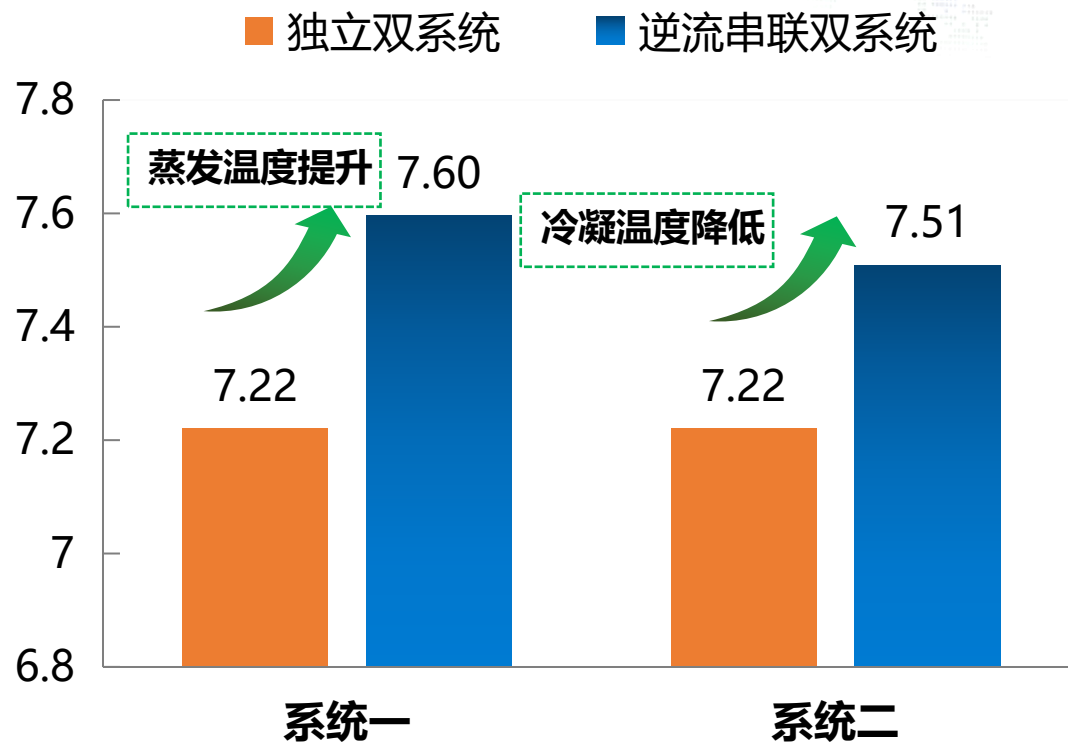
单机头**180RT** | COP**7.22** | IPLV(GB)**10.1** | IPLV(ARI)**12.01**



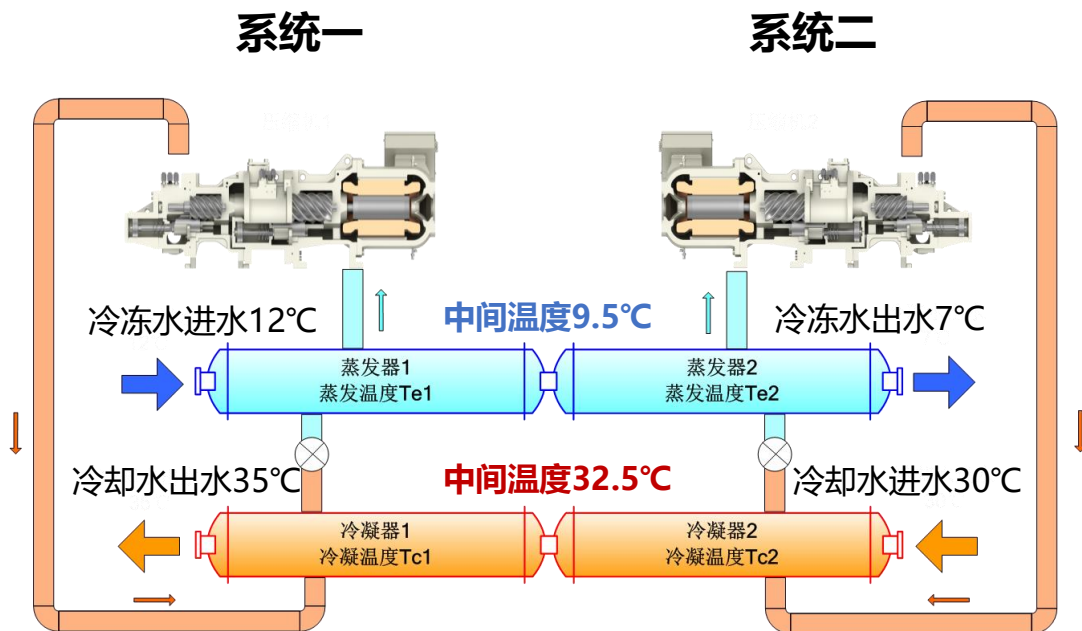
变频运行 部分负荷噪声低至**73dB(A)**



水路串联系统流程图



系统性能再提升5%



双机头**400RT** | COP**7.53** | IPLV(GB)**10.5** | IPLV(ARI)**12.3**

- 兼容新一代**正压**环保工质，GWP**低至1**，能效保持**COP7.0+**

制冷剂	GWP	安全性	相对制冷量	相对性能	5°C饱和压力
R134a	1430	A1	100%	100%	350 kPa
R513A	573	A1	108.1%	97.2%	418 kPa
R515B	299	A1	74.5%	100.2%	259 kPa
R1234ze	1	A2L	74.5%	100.2%	259 kPa
R1233zde	1	A1	仅21.2%	103%	59 kPa (负压)

1 高效

1



2 低碳

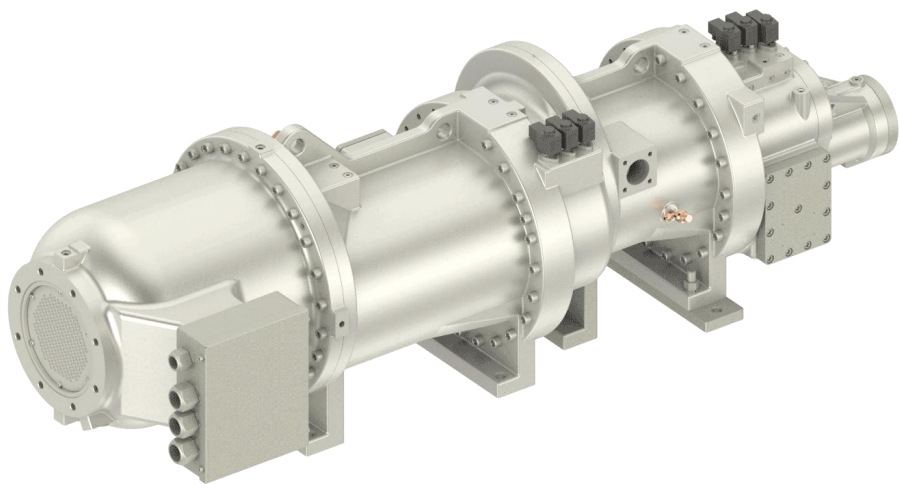
2

3

3 低噪声

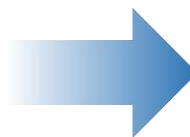
4

4 高可靠



小压比双级永磁变频变压比技术

传统领域



水冷螺杆能效7.0+



蒸发冷螺杆能效6.0+



风冷螺杆能效4.0+

家居 / 公建 / 工业 / 冷链 / 供热 / 新能源

中央空调**领军者** 系统**节能用格力**



格力中央空调：W2D25
格力冷冻冷藏：E1D01



官方公众号