

商用空调螺杆制冷压缩机的 低碳新技术及应用

武晓昆 博士

上海·中国制冷展

2021.04.07

CONTENTS

目录

01 碳中和下的机遇与挑战

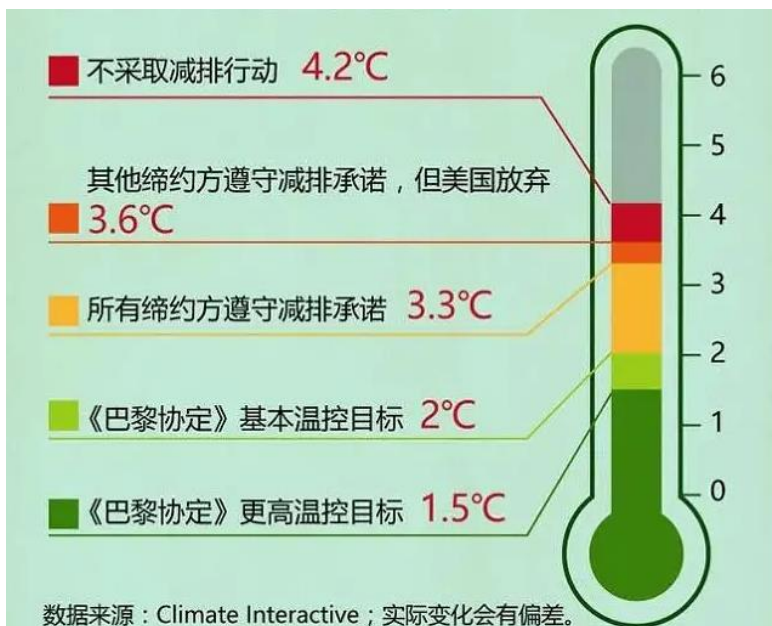
02 高效设计新理念

03 节能低碳新技术

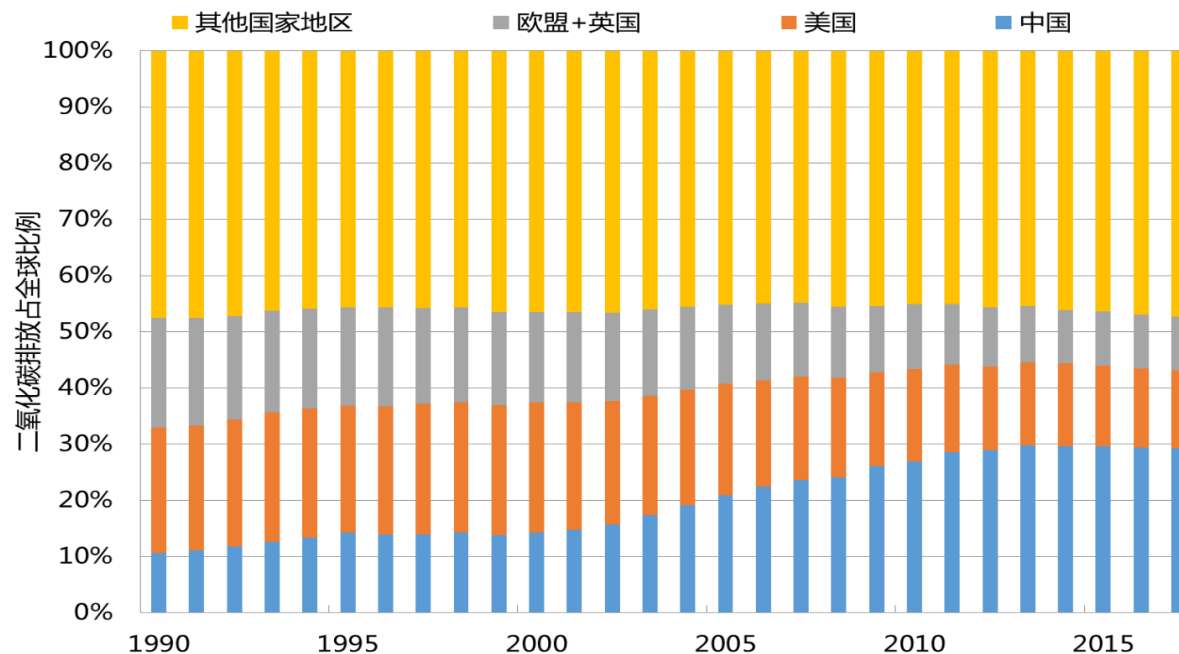
04 应用及展望

30·60碳目标下的机遇与挑战

- 2015年《巴黎协定》：到2100年，全球平均气温升幅 $< 2^{\circ}\text{C}$ ，并向 1.5°C 努力；
- 2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会上宣布：我国力争在**2030年**前CO₂排放达到峰值，努力争取**2060年**前实现碳中和，**未来40年发展大局**；



到2100年，气温升高预测



全球CO₂排放
约**400亿吨**

中国约占**29%**

各经济体碳排放占比（1990-2018）

30·60碳目标下的机遇与挑战

- 2019年6月，发改委、工信部等7部门联合印发《绿色高效制冷行动方案》；
- 绿色、低碳、节能、高效成为制冷行业发展的焦点、热点，**重大机遇**；

到2022年

- 家用空调、多联机等制冷产品的市场能效水平提升**30%**以上；
- 绿色高效制冷产品市场占有率提高**20%**；
- 实现年节电约**1000亿千瓦时**。

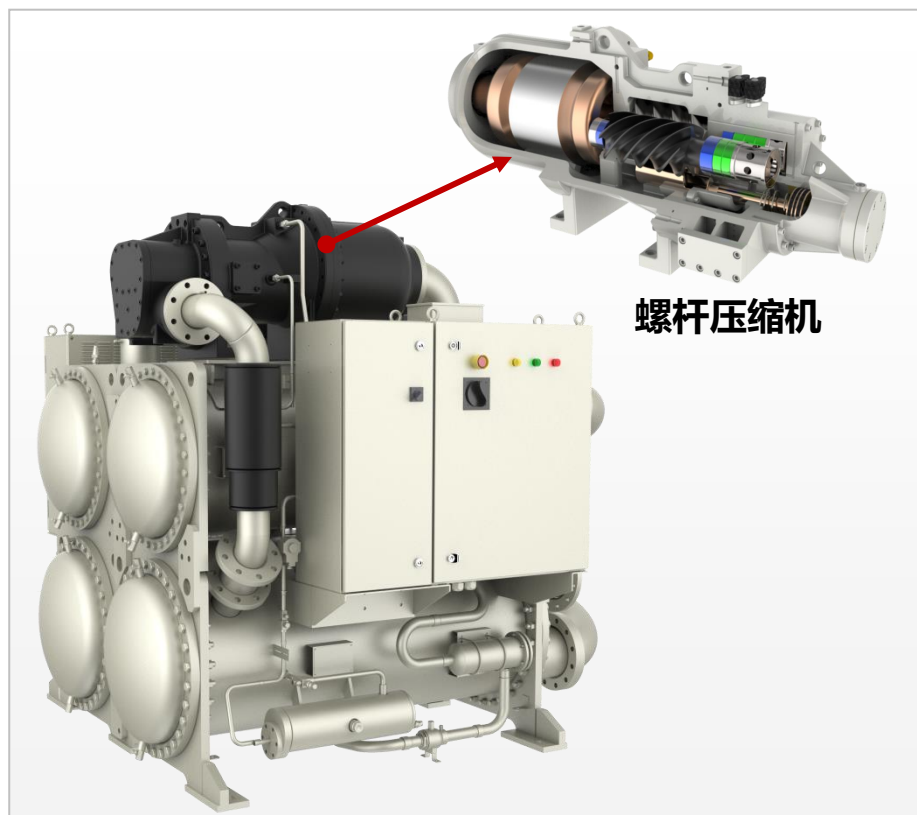
到2030年

- 大型公共建筑制冷能效提升**30%**；制冷总体能效水平提升**25%**以上；
- 绿色高效制冷产品市场占有率提高**40%**以上；
- 实现年节电**4000亿千瓦时**。

30•60碳目标下的机遇与挑战

让世界爱上中国造
Made in China, Loved by the world

- **螺杆式冷水机组**，大型公共建筑的冷源供给，冷量**100-600RT**，市场容量占比**35%**；
- 设备提效的**潜力**？设备提效的**新方向**？



毛主席纪念堂



俄罗斯世界杯工程（摩尔多瓦竞技场）



巴基斯坦驻中国大使馆



珠海歌剧院



港珠澳大桥珠海口岸



青岛世界博览城



东莞万达广场



深圳文体中心



深圳民生金融大厦



广州亚运会系列场馆



中航通用飞机航空产业基地

压缩机的高效设计新理念

让世界爱上中国造
Made in China, Loved by the world

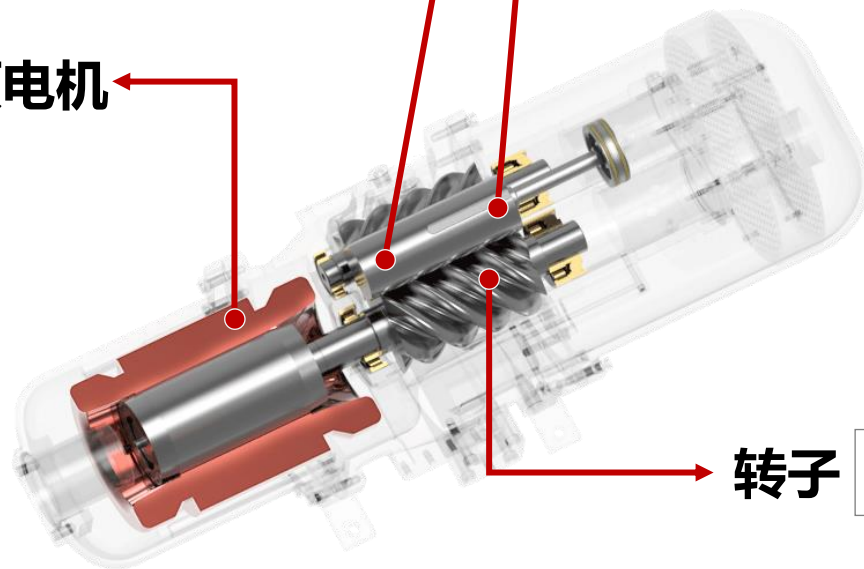
■ 压缩机的效率组成

电机效率

定/变频电机

VI/负荷调节滑阀

部分负荷、变工况效率



转子

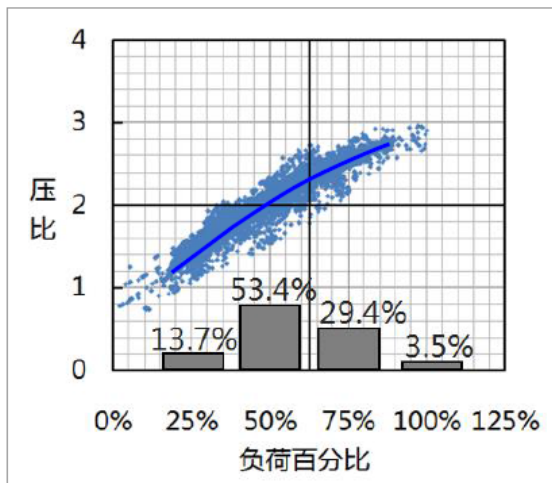
全工况效率

螺杆制冷压缩机的基本结构图

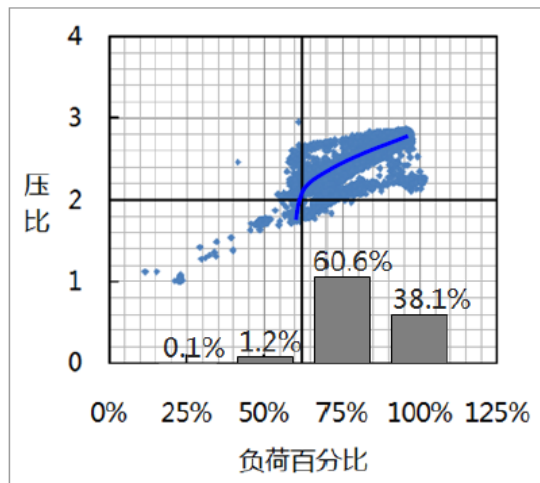
压缩机的高效设计新理念

■ 大数据统计相结合的压缩机效率提升**潜力挖掘**

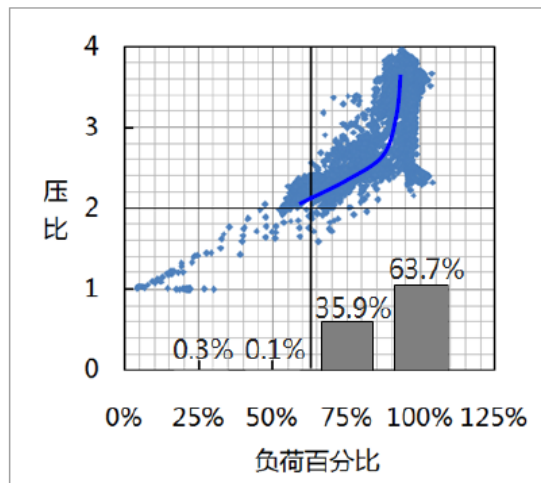
- 需求特点 (用户): 不同气候环境、建筑类型时用户需求各有不同
- 运行特性 (机组): 不同应用场合下负荷-工况在**特定时间内**的特性不同



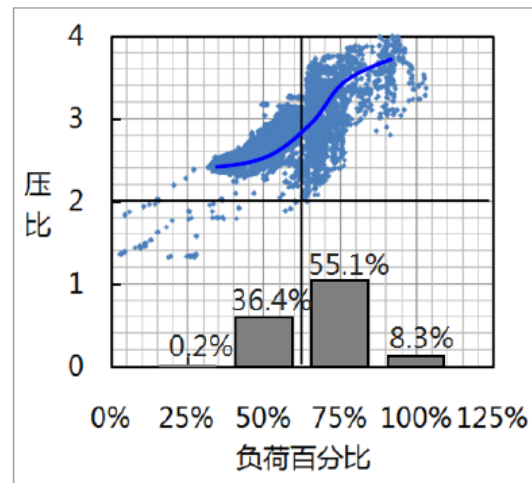
舒适性空调运行特性
(变负荷变压比)



数据中心空调运行特性
(大负荷变压比)



冰蓄冷空调运行特性
(大负荷高压比)



采暖(热泵)空调运行特性
(大负荷高压比)

- 压缩机按**额定工况单点**设计, 非设计工况运行区效率衰减
- 压缩机**通用化**设计, 压缩机高效区与高权重运行时间区难以匹配

压缩机的高效设计新理念

■ 大数据统计相结合的压缩机效率提升**潜力挖掘**

➤ 两个**关键点**:

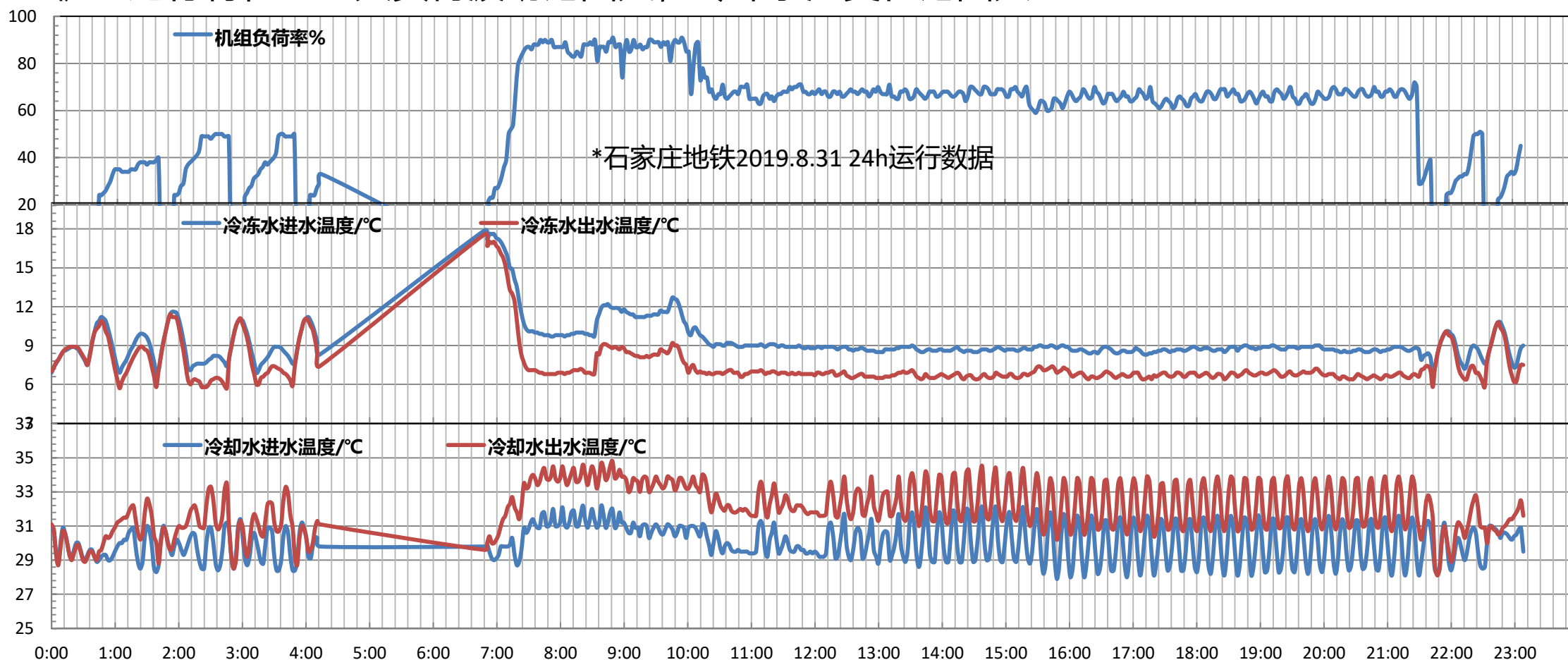
- 提升额定效率的同时，高效区与机组运行**时间适配**
- 与机组实际运行需求结合的**压比适配**、**能力适配**



压缩机的高效设计新理念

■ Case: 轨道交通冷水机组

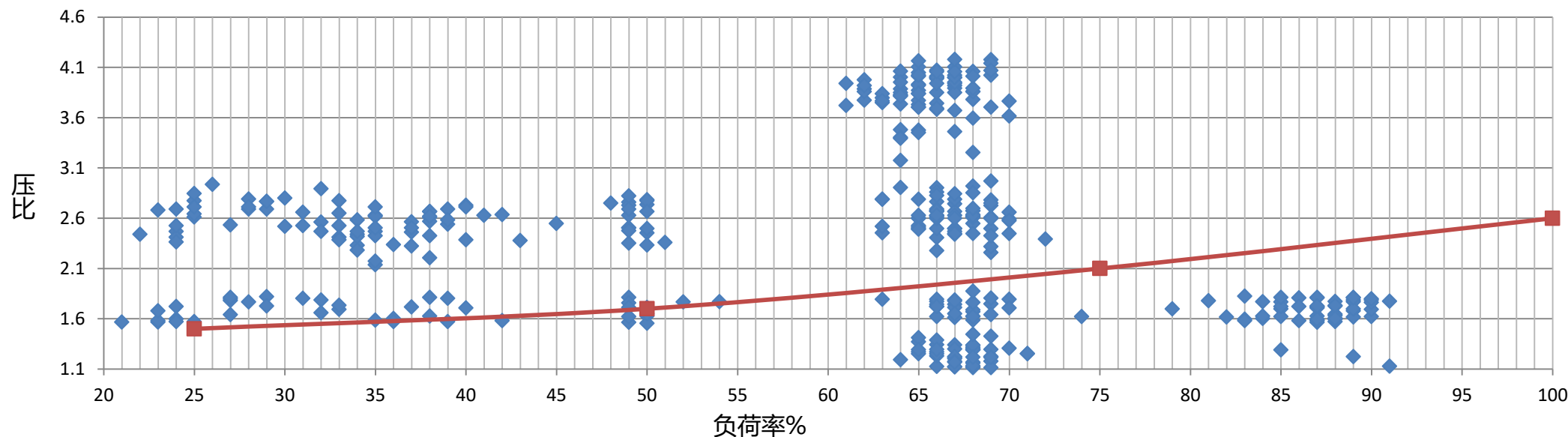
- 用户需求特点：人流密度与时间强耦合，冷却水水温与季节气候强耦合
- 机组运行特性：全天负荷波动范围大，冷却水温变化范围大



压缩机的高效设计新理念

■ Case: 轨道交通冷水机组

- 压缩机运行压比与负荷变化偏离“空调工况线”，小负荷-高压比，大负荷-低压比
- 压缩机负荷主要集中在65%~70%区域



地铁车站冷水机组全天负荷率-压比变化

能力适配：流量变化满足需求，不多不少

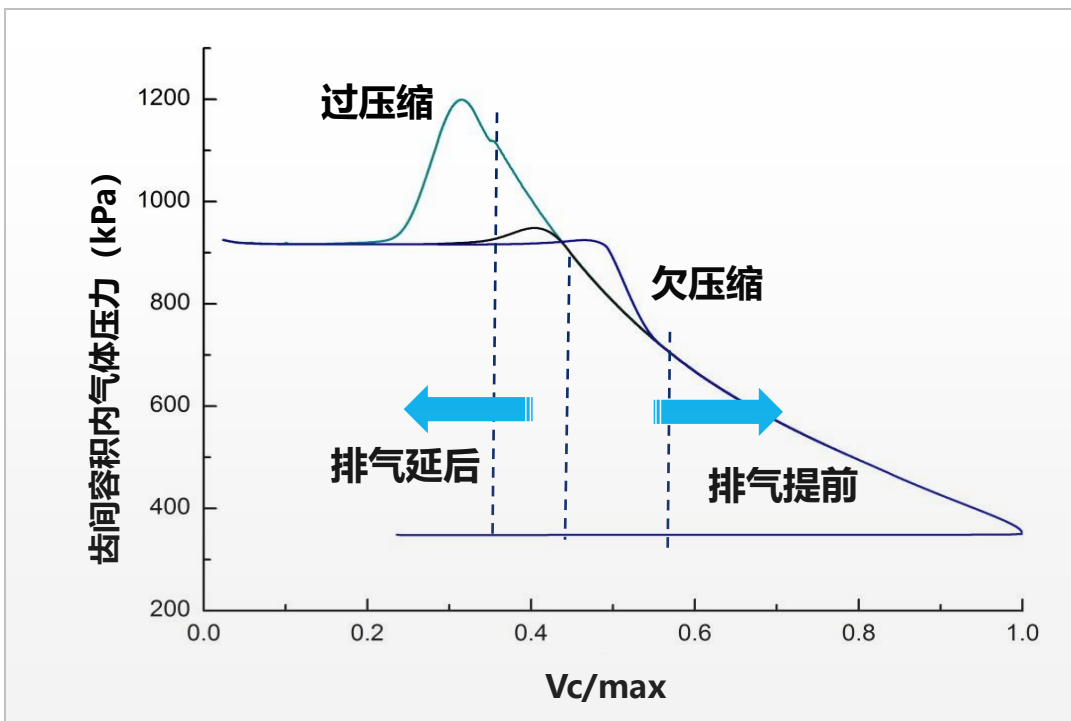
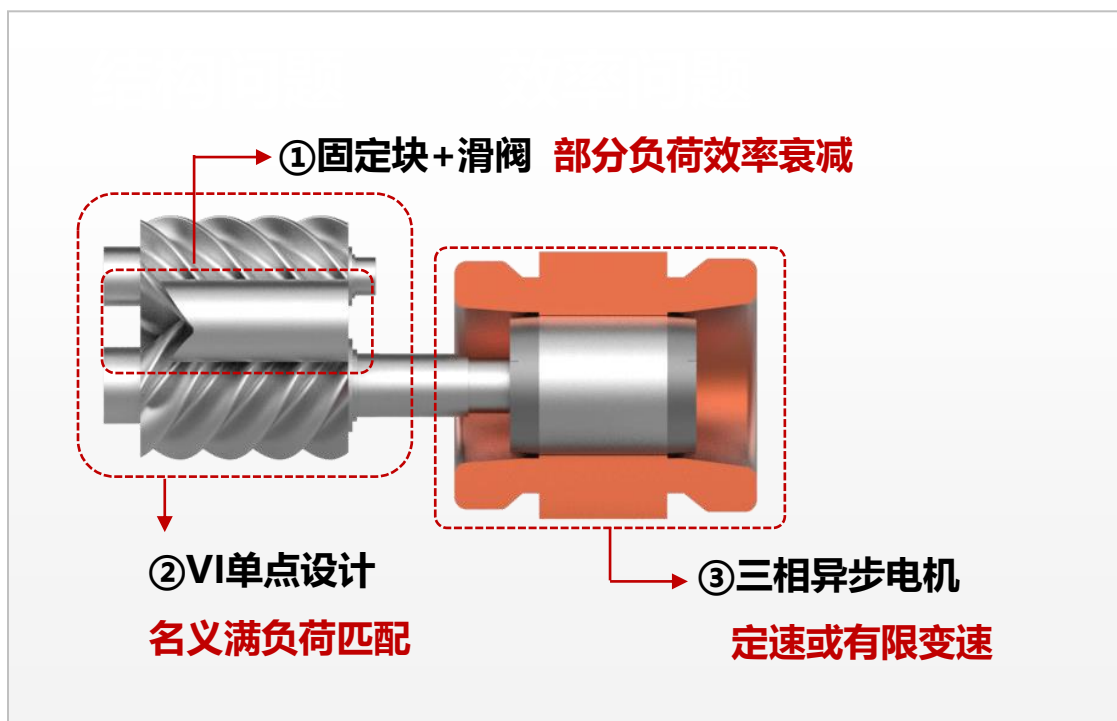
压比适配：多负荷多压比调节

高效区适配：某负荷多压比调节同时处于压缩机最高效率区

压缩机的高效设计新理念

■ 容易忽视的压比适配

➤ 定频/异步变频螺杆：滑阀旁通实现负荷调节，出现**过压缩与欠压缩**，均造成能量浪费

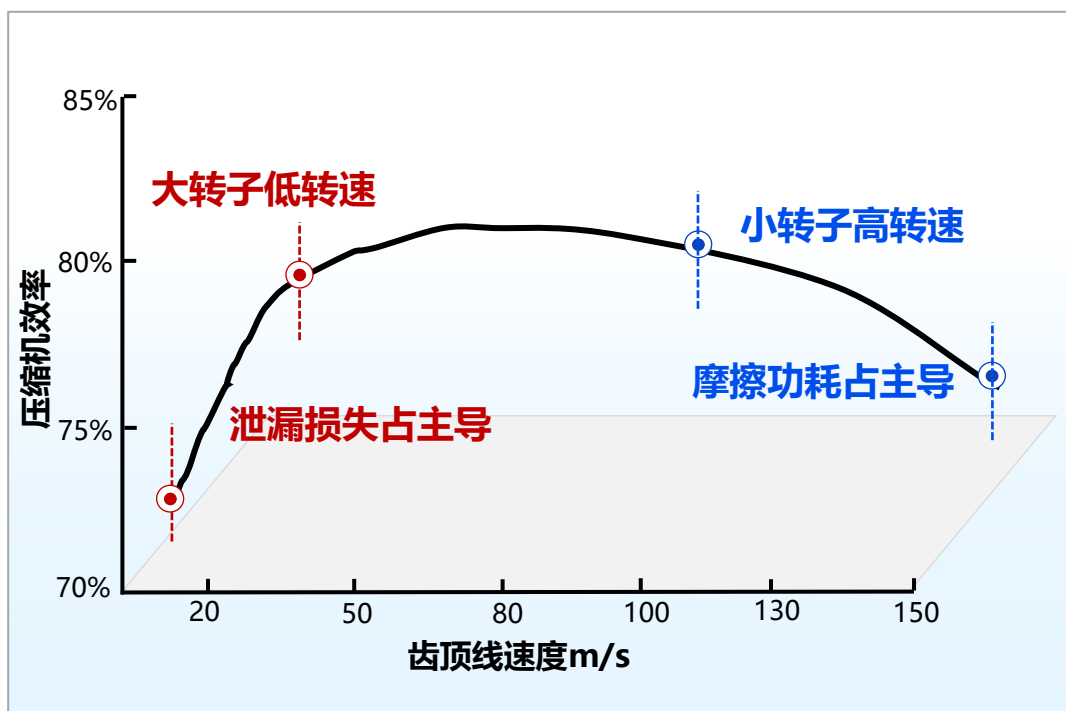


螺杆压缩机p-V示功图

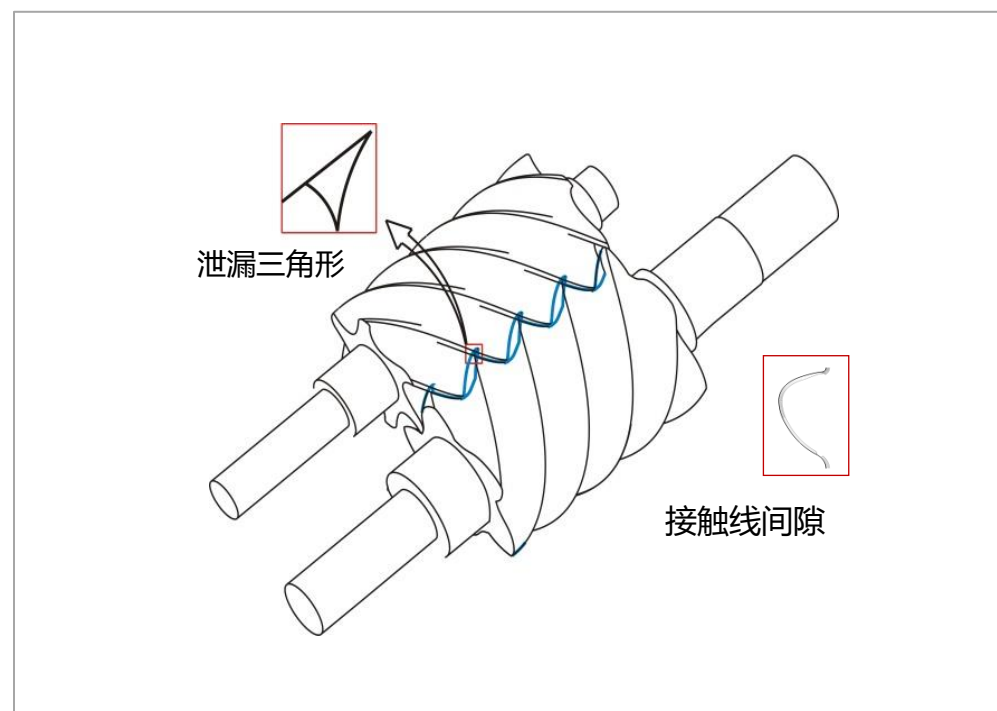
压缩机的高效设计新理念

■ 一直存在的**泄漏&摩擦损失**

➤ 大转子低转速，泄漏损失大；小转子高转速，摩擦功耗大



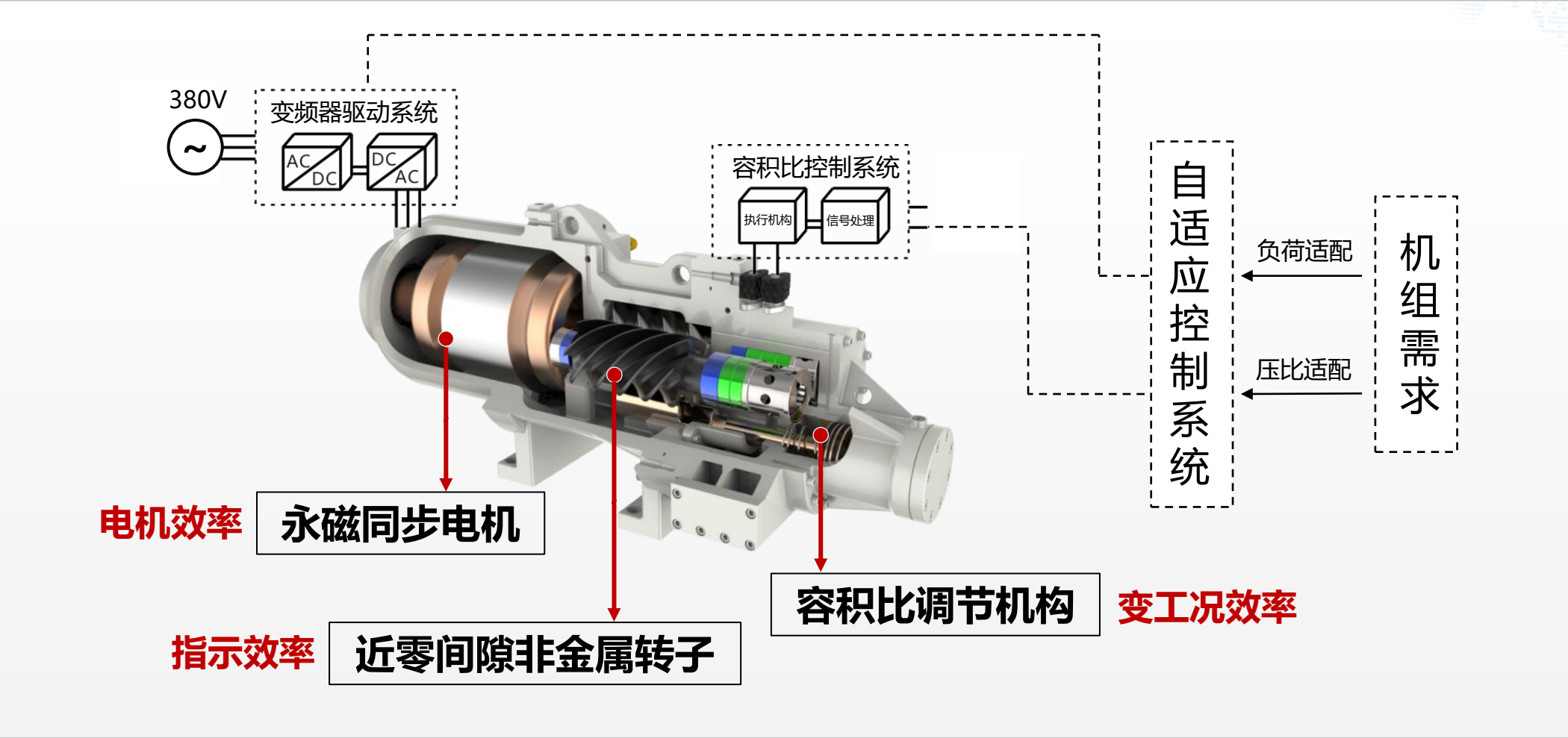
压缩机效率随齿顶线速度变化



泄漏三角形及接触线泄漏通道

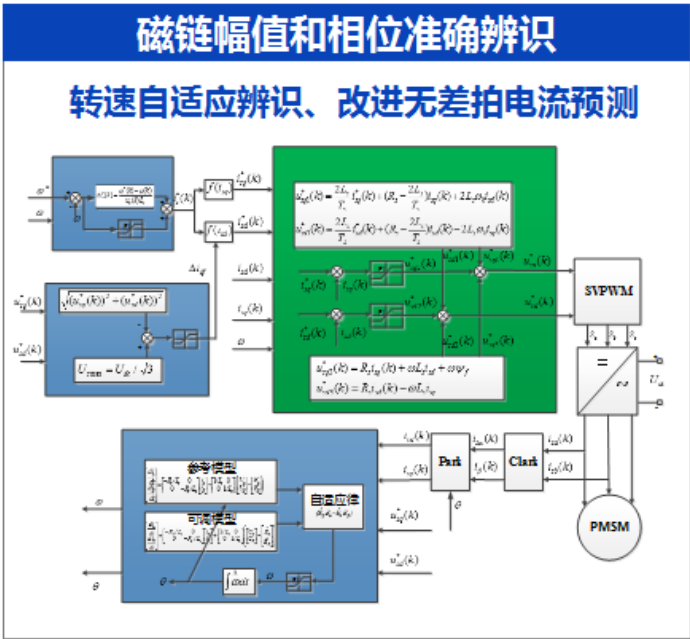
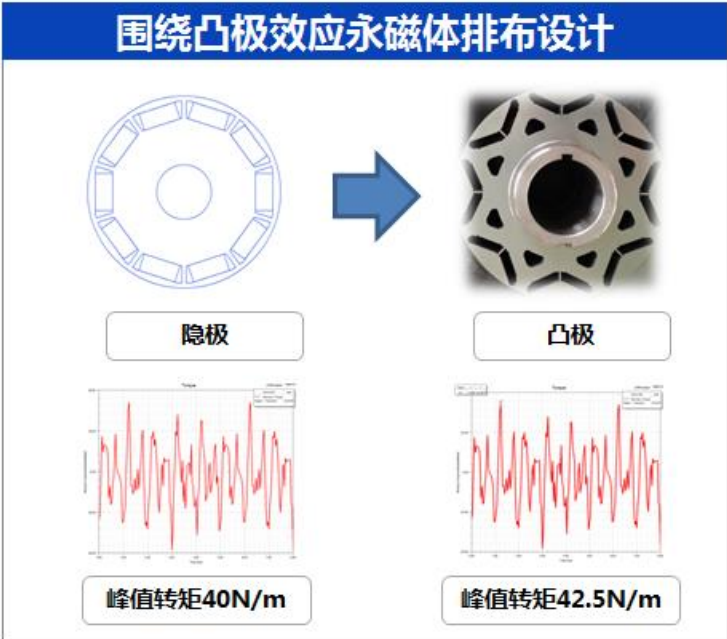
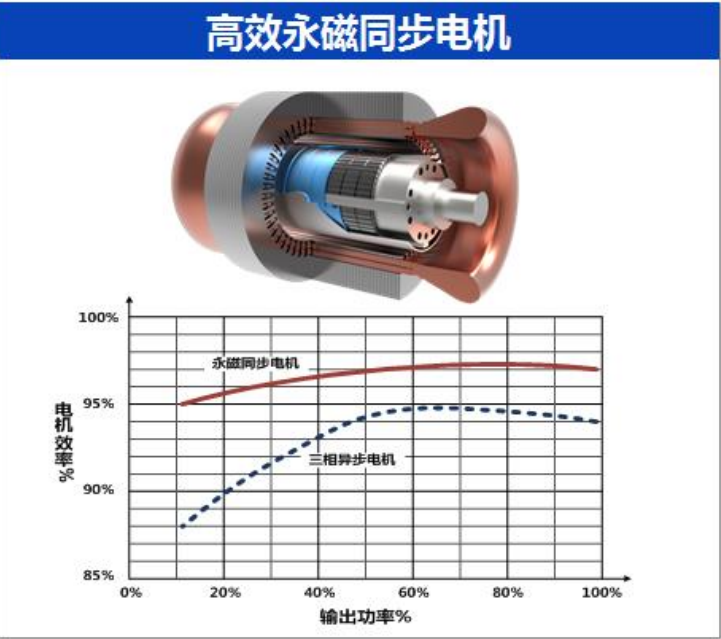
螺杆制冷压缩机低碳新技术

■ 永磁变频自适应变容积比螺杆制冷压缩机



■ 宽负载高效永磁同步电机

- 无励磁损失，效率最高可达**96.2%**，部分负载电机效率大幅提升；
- 变频驱动转速调节范围宽，负荷**10%~100%**，拓展滑阀**容积比调节**功能；



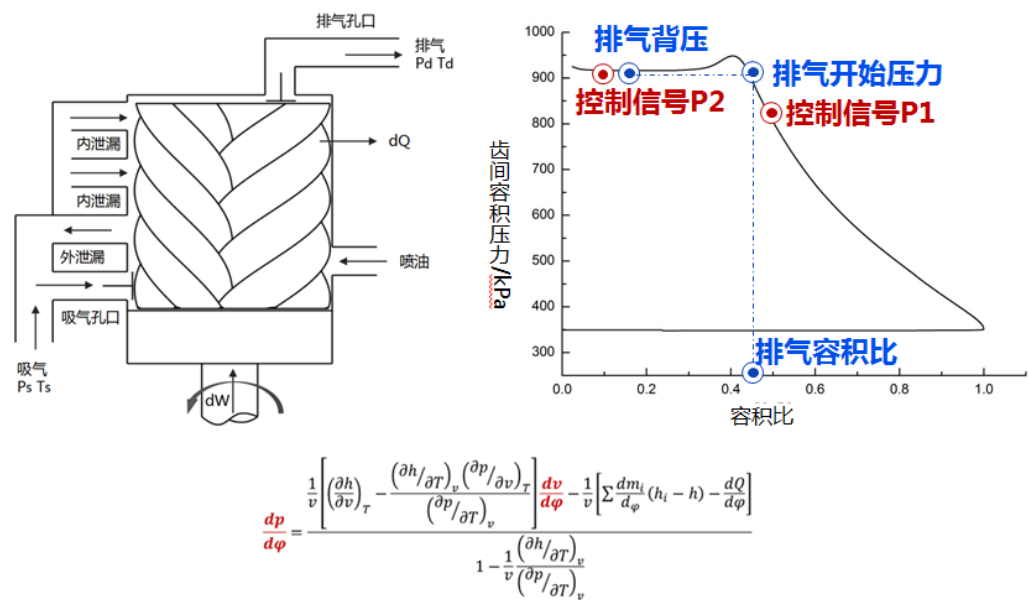
螺杆制冷压缩机低碳新技术

让世界爱上中国造

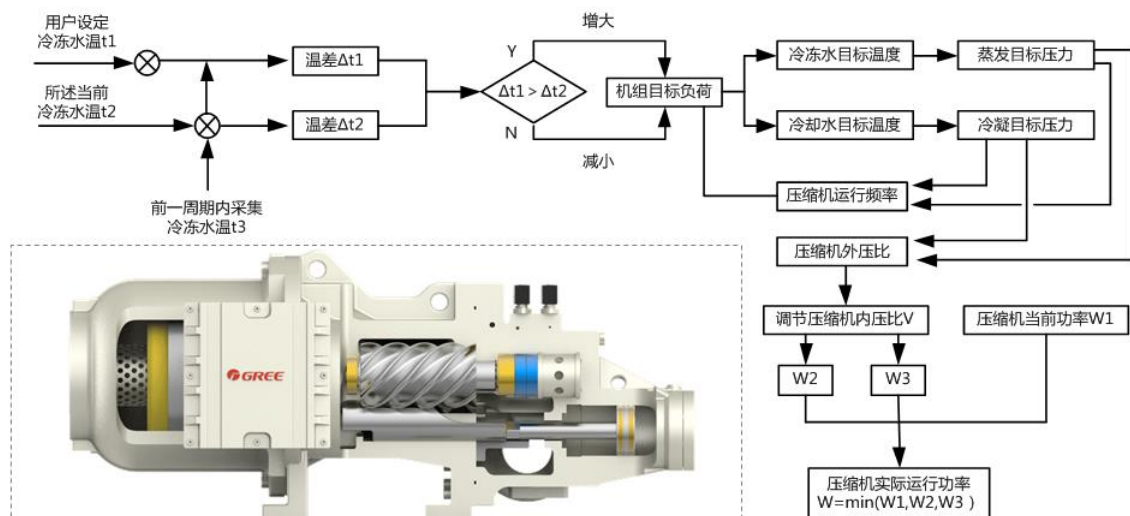
■ 液压驱动型容积比调节机构及自适应控制方法

- 基于压差控制的连续内容积比VI调节精准适配外部压比变化;
- 定制匹配各类应用场景，水冷单冷1.4~2.4，风冷热泵2.2~4.8，冰蓄冷1.4~3.5;

齿间容积-压力精确转换



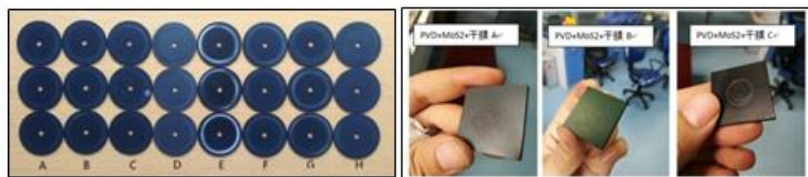
压比独立调节机构及全工况自适应控制方法



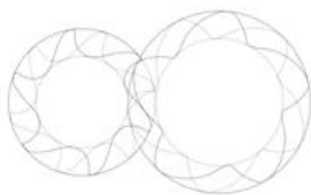
■ 近零间隙非金属高效转子Profile-GRE

- 高分子自润滑耐磨材料，um级高精度磨削加工成型，最小泄漏三角形设计；
- 啮合间隙较金属转子降低**73%**，端面间隙减小**50%**，齿顶间隙降低**30%**；

高分子自润滑耐磨材料转子



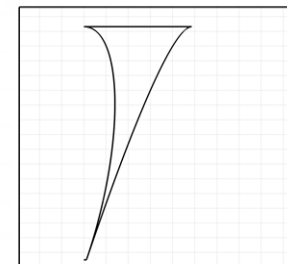
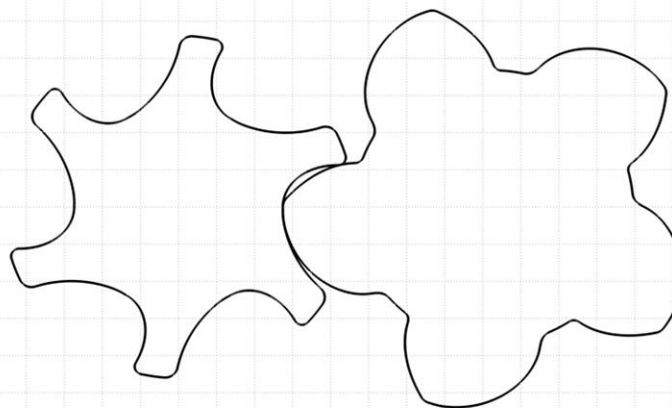
封严涂层材料选配



GEX高效转子型线

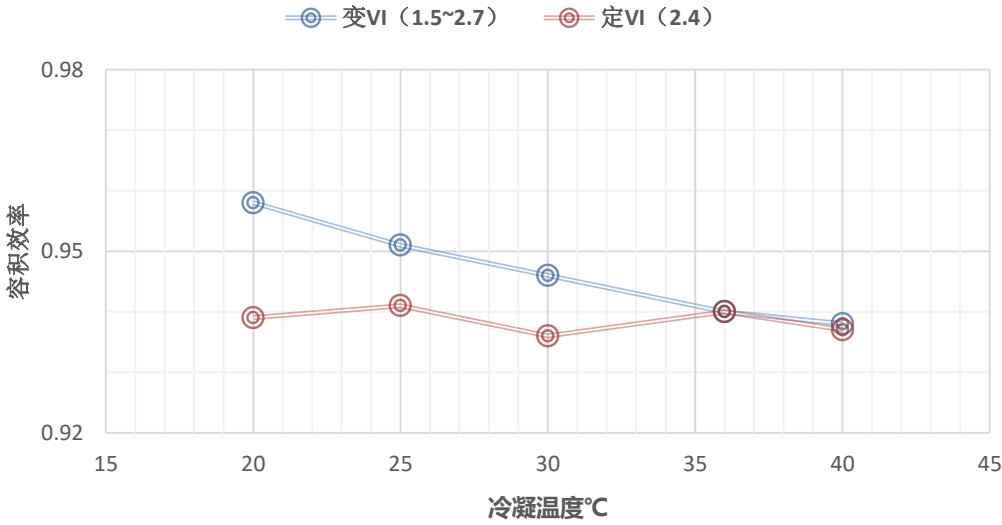
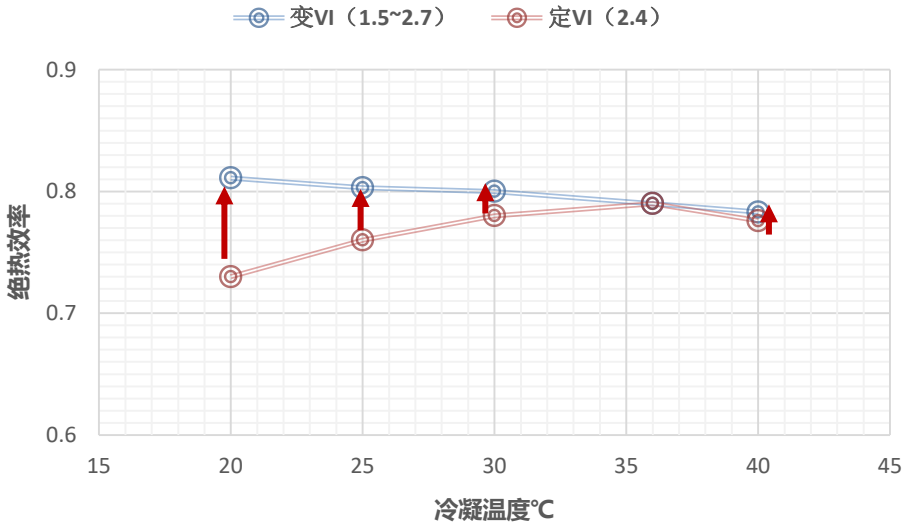


Profile-GRE泄漏三角形



容量-压比的调节特性：定速变VI

	蒸发温度	冷凝温度	压比	转速	变VI	定VI
高冷却水温	5	40	2.9	3000	2.7	2.4
名义制冷	5	36	2.6	3000	2.4	
IPLV-75%	5	30	2.2	3000	2	
IPLV-50%	5	25	1.9	3000	1.7	
IPLV-25%	5	20	1.6	3000	1.5	



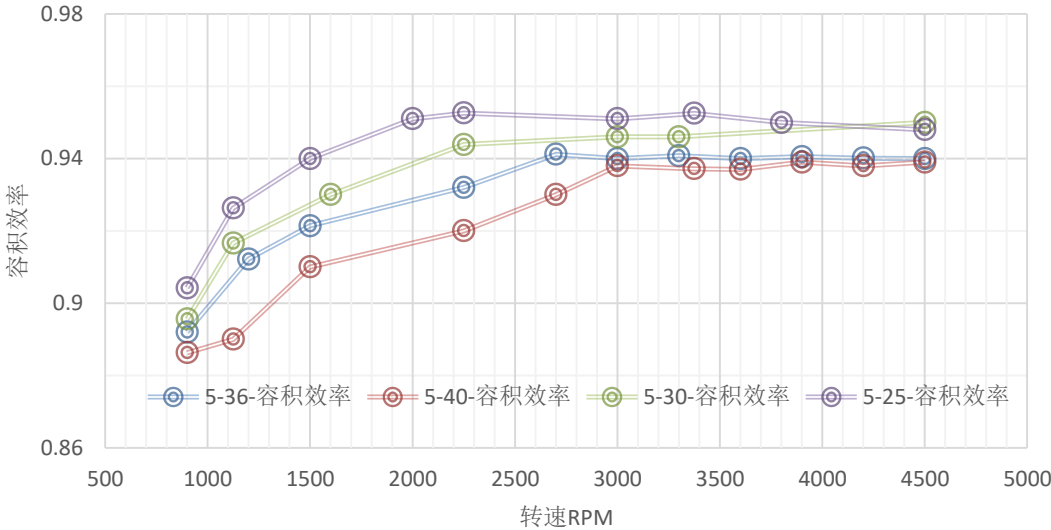
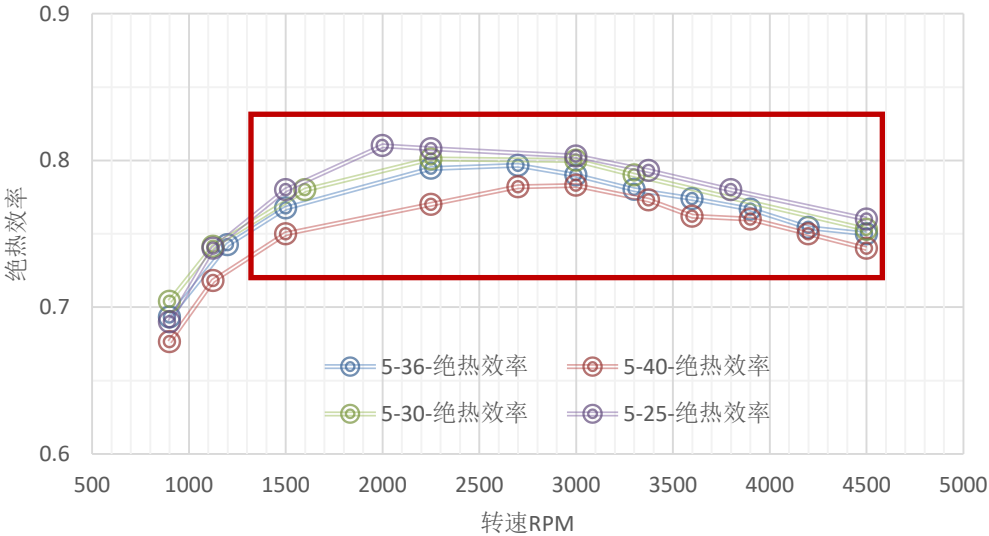
压比匹配调节VI，压缩机非设计工况绝热效率提升

压缩机运行特性分析

容量-压比的调节特性：定VI变速

	蒸发温度	冷凝温度	压比	变转速	固定最佳VI
高冷却水温	5	40	2.9	900~4500	2.7
名义制冷	5	36	2.6	900~4500	2.4
IPLV-75%	5	30	2.2	900~4500	2
IPLV-50%	5	25	1.9	900~4500	1.7
IPLV-25%	5	20	1.6	900~4500	1.5

定最佳VI，宽转速范围内压缩机保持较高绝热效率0.75~0.81



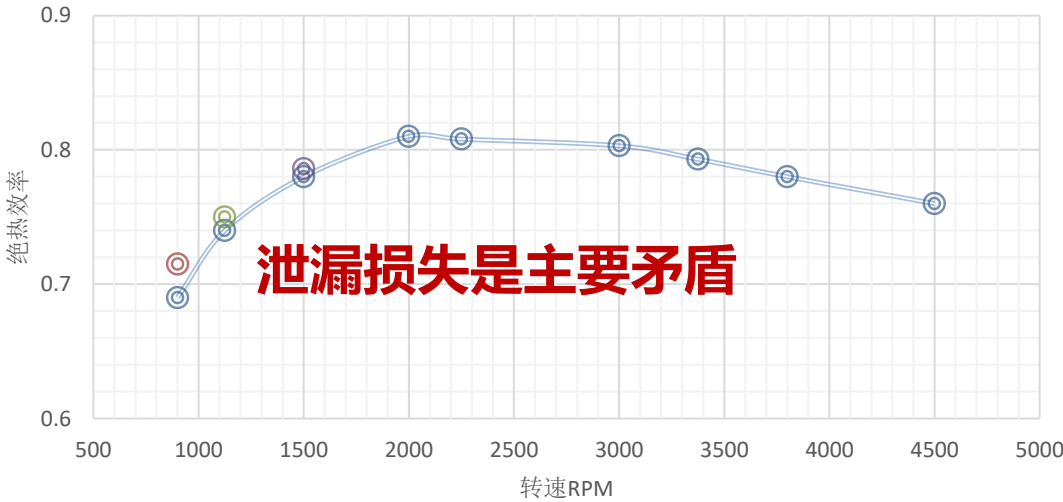
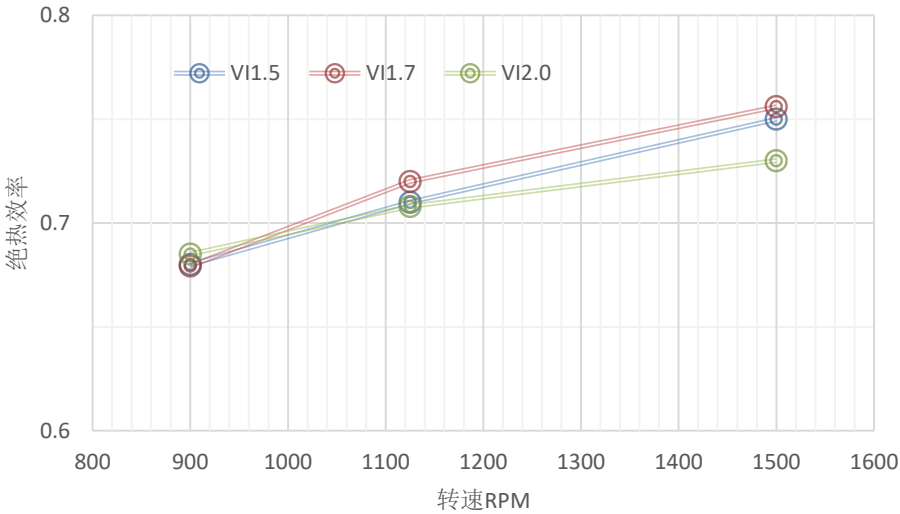
能力适配+高效区适配：大转子低转速适配大负荷高效区、小转子高转速适配小负荷高效区

压缩机运行特性分析

容量-压比的调节特性：协同调节I

蒸发温度	冷凝温度	压比	变转速	固定VI	变VI	
5	25	1.9	1500	1.5	1.7	2
			1125	1.5	1.7	2
			900	1.5	1.7	2

I类协同：低转协同增大VI，缓解泄漏引起的轻度欠压缩，效率提升但幅度有限；

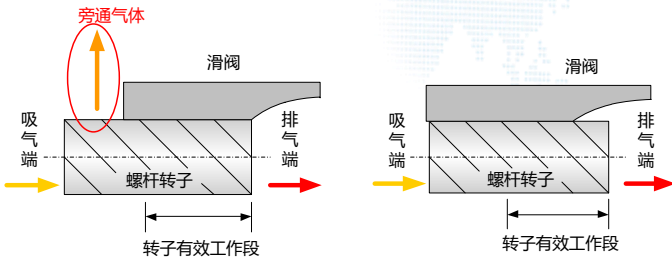


泄漏损失是主要矛盾

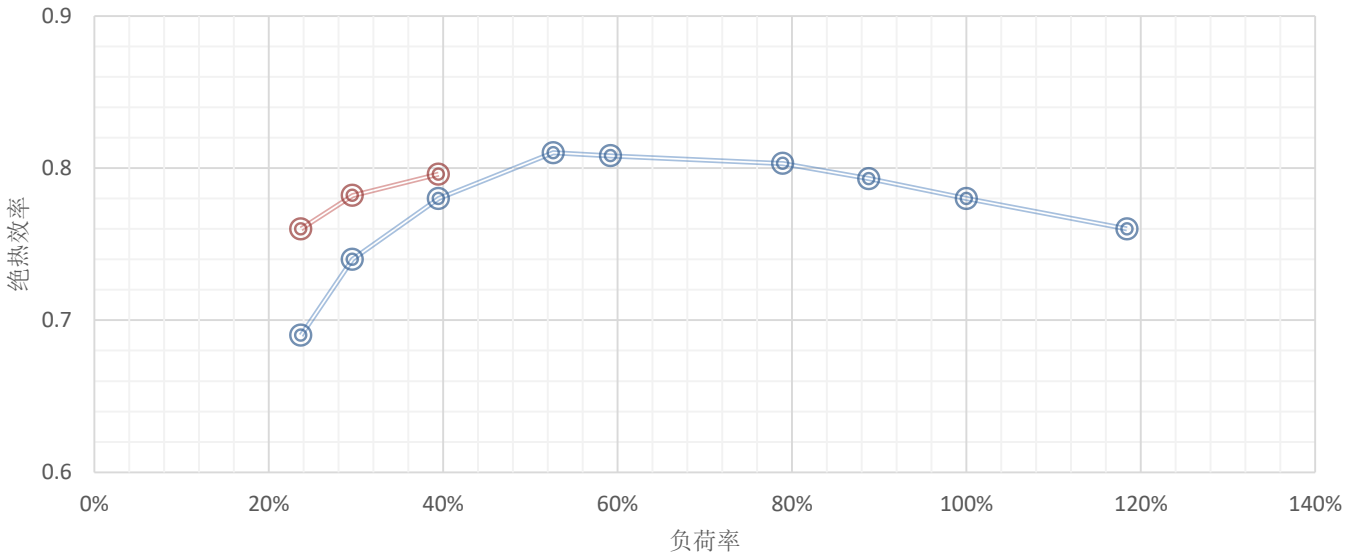
压缩机运行特性分析

■ 容量-压比的调节特性：协同调节II

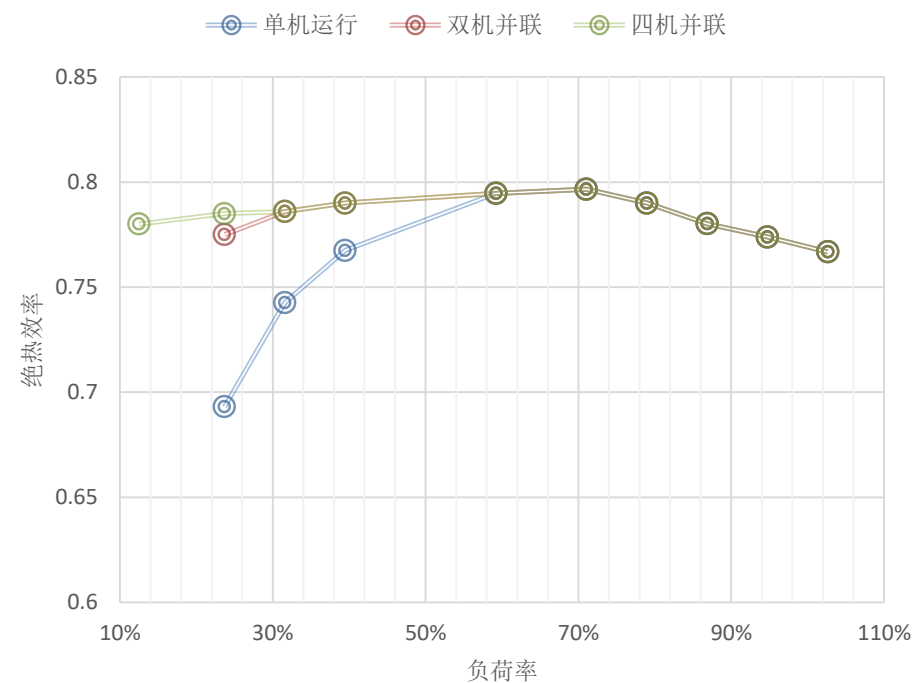
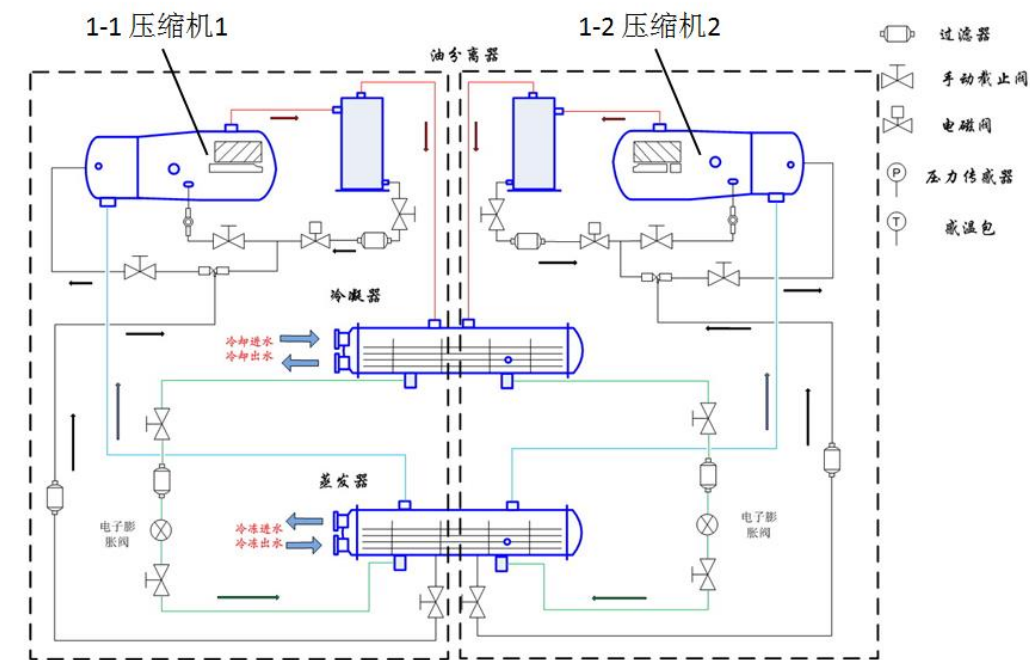
蒸发温度	冷凝温度	压比	变转速	吸气容积	轴向VI	径向VI
5	25	1.9	3000	50%	1.7	无
			1500	100%	3.5	1.7
			2250	50%	1.7	无
			1125	10%	3.5	1.7
			1800	50%	1.7	无
			900	100%	3.5	1.7



II类协同：小负荷开启吸气旁通，压缩机升转速，泄漏损失降低，效率大幅提升；



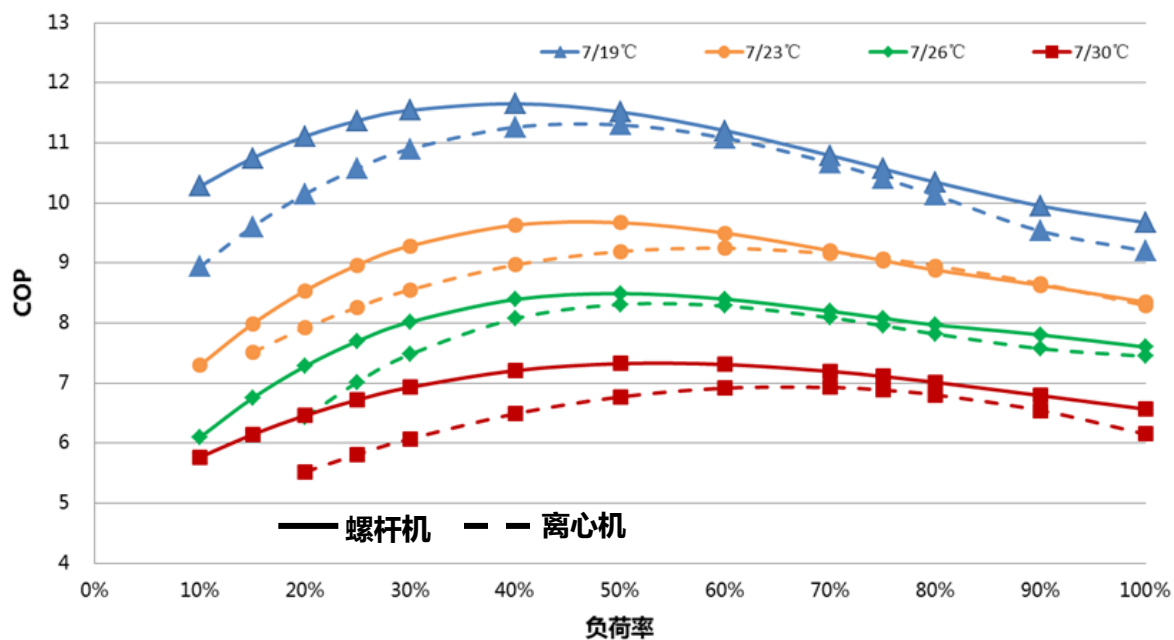
容量-压比的调节特性：协同调节III



III类协同：多机并联协同调节，小负荷压缩机转速提升，规避效率急速衰减区

■ 新型高效螺杆式冷水机组 VS 磁悬浮离心机（同冷量单机150RT）

- 效率全面领先，**COP**较磁悬浮高**6%~8%**，**IPLV**较磁悬浮高**10%~15%**
- 不受压比的限制，可在**更高压比、更小负荷区**稳定运行；



全工况能效对比

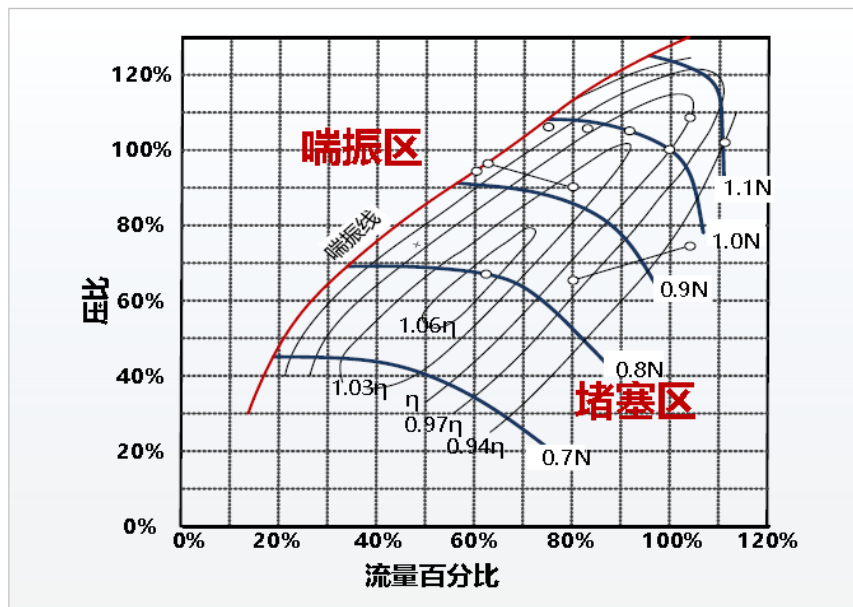
100~300RT **王者归来**



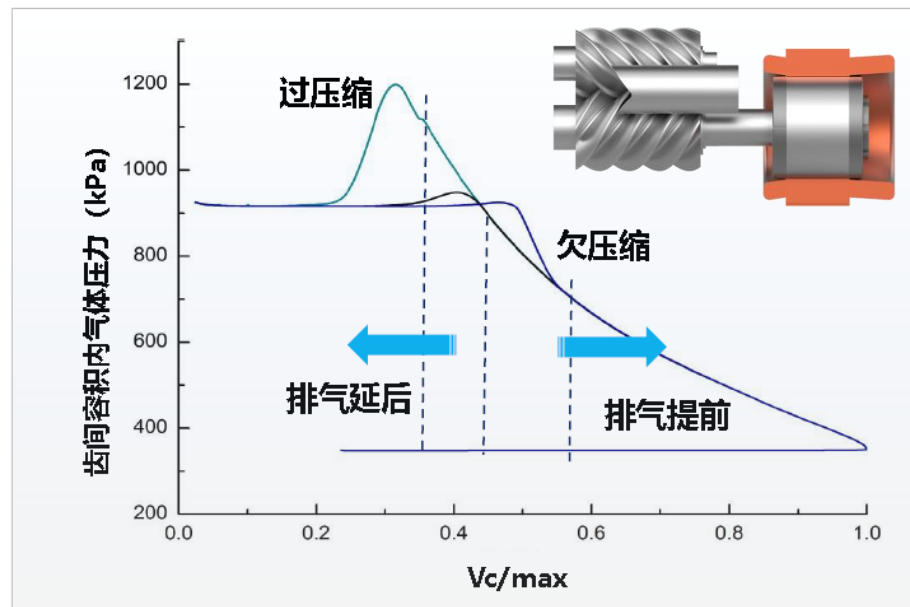
COP=6.68, IPLV=11.2

■ 新型高效螺杆式冷水机组 VS 磁悬浮离心机（同冷量单机150RT）

- 配置永磁同步电机+变频驱动，**电机效率持平**；
- 磁悬浮离心机：压比 $\propto$ 转速²，压比与能力耦合，**变工况效率衰减大**；
- 变容积比螺杆机：独立内压缩过程，容积比独立调节压比，**变工况效率稳定**；



离心压缩机



螺杆压缩机

冷量-压比调节特性对比

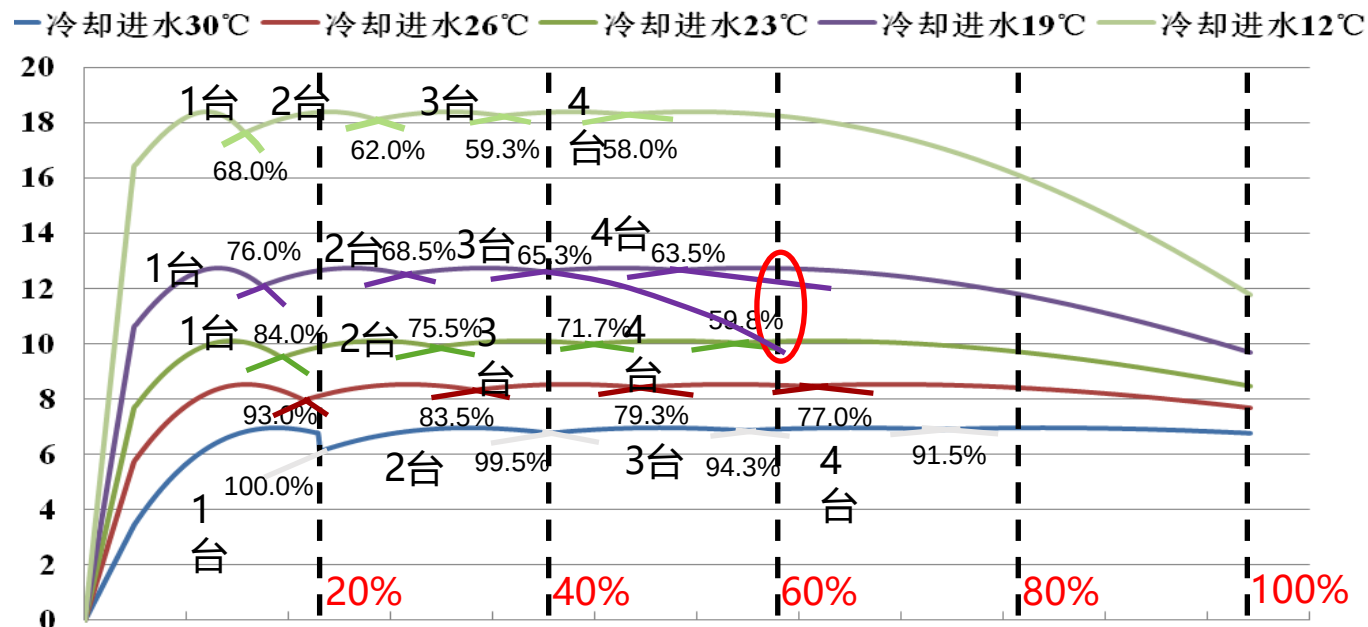
■ 模块化紧凑型多机并联螺杆式冷水机组

- III类协同调节：小负荷下压缩机转速控制在最佳齿定线速度区；
- 并联运行策略：**合理负荷分配，规避压缩机低转速下效率急速衰减区；**



四模块450RT

COP=6.71, IPLV=12.08



多模块并联机组性能运行特性

敬请指导！

让世界爱上中国造

Made in China, Loved by the world