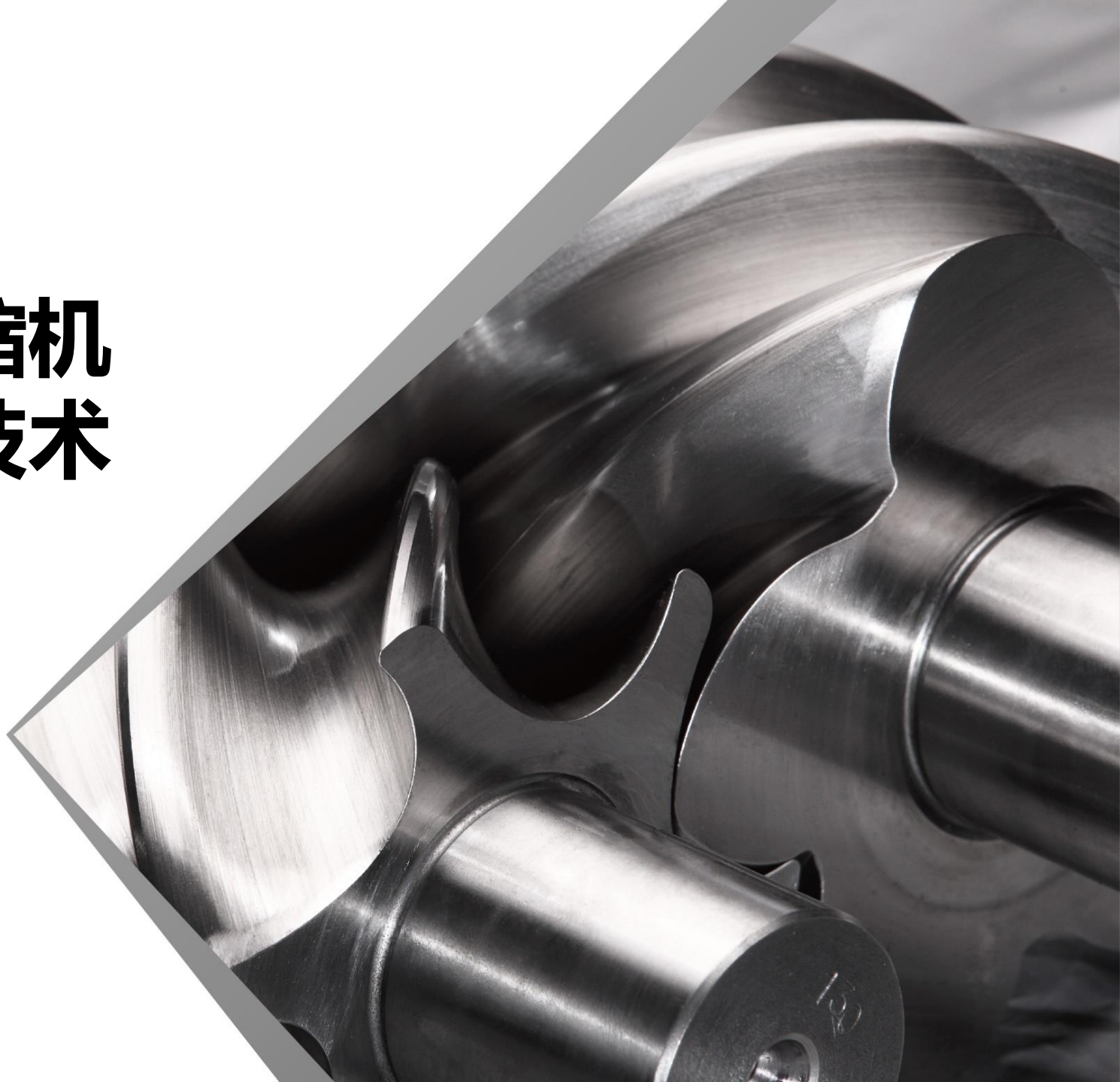


冷冻冷藏螺杆压缩机 能效提升技术

冰轮环境技术股份有限公司

剧 成 成





碳中和目标及进程

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布的《全球温控1.5℃特别报告》指出，实现1.5℃温控目标有望避免气候变化给人类社会和自然生态系统造成不可逆转的负面影响，而这需要各国共同努力，在2030年实现全球净人为CO₂排放量比2010年减少约45%，在2050左右达到净零。

中国：2020年9月22日，中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会

- 力争2030年前达到峰值
- 努力争取2060年实现碳中和（比欧盟缩短30年）

欧盟委员会2019年底发布的《欧盟绿色新政》

- 1990年碳排放达峰
- 力争到2050年成为“碳中和大陆”（60年后实现碳中和）

日本2050年力争实现碳中和

美国2050年全球经济范围内温室气体排放相对2050年下降80%

央视新闻

两会知识

这些场合，碳中和被高亮提及

2020年9月22日，第七十五届联合国大会一般性辩论

习近平：中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。

2020年12月16日，中央经济工作会议

会议确定：2021年要抓好八项重点任务。其中包括做好碳达峰、碳中和工作。

2021年3月5日，十三届全国人大四次会议

政府工作报告：扎实做好碳达峰、碳中和各项工作。制定2030年前碳排放达峰行动方案。

2021年3月7日，国务委员兼外交部长王毅回答中外记者提问

王毅：中国去年宣布了碳达峰、碳中和等国家自主贡献新目标，展现了贯彻新发展理念、建设清洁美丽世界的坚定决心。

@央视新闻

制冷行业碳中和的思考

制冷行业碳中和思考

A

COP+ 零部件效率↑



高效机房，高效压缩机、紧凑高效换热器。。。

B

冷热耦合技术



C

制冷剂替代技术



➤ 主要耗能部件压缩机效率的提升

- 换热器效率的提升
- 系统能效的提升

将能源吃干榨净

发改委：我国制冷用电已占到全社会用电量的15%以上！

冰轮环境
MOON-TECH

智慧 绿能 生态
Intelligent Green energy Ecology

➡ 螺杆压缩机简介

商业制冷用（冷冻冷藏）

- **以喷油螺杆为主**

- 特点：**高效节能**、环保、一体化

工业制冷及工艺流程用（石油石化）

- 以喷油螺杆配置高效除油、干式、喷液螺杆为主
- 特点：可靠、无油、大型化

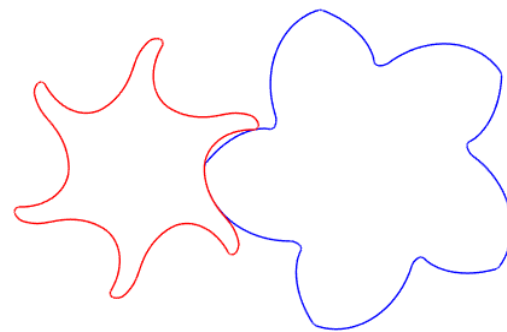
工作原理：

螺杆压缩机是容积式压缩机的一种，气体介质的压缩是靠装置于机壳内互相平行啮合的阴阳转子的齿槽之容积变化而达到。

转子副在与它精密配合的机壳内转动使转子齿槽之间的气体不断地产生周期性的容积变化而沿着转子轴线，由吸入侧推向排出侧，完成吸入、压缩、排气三个工作过程。

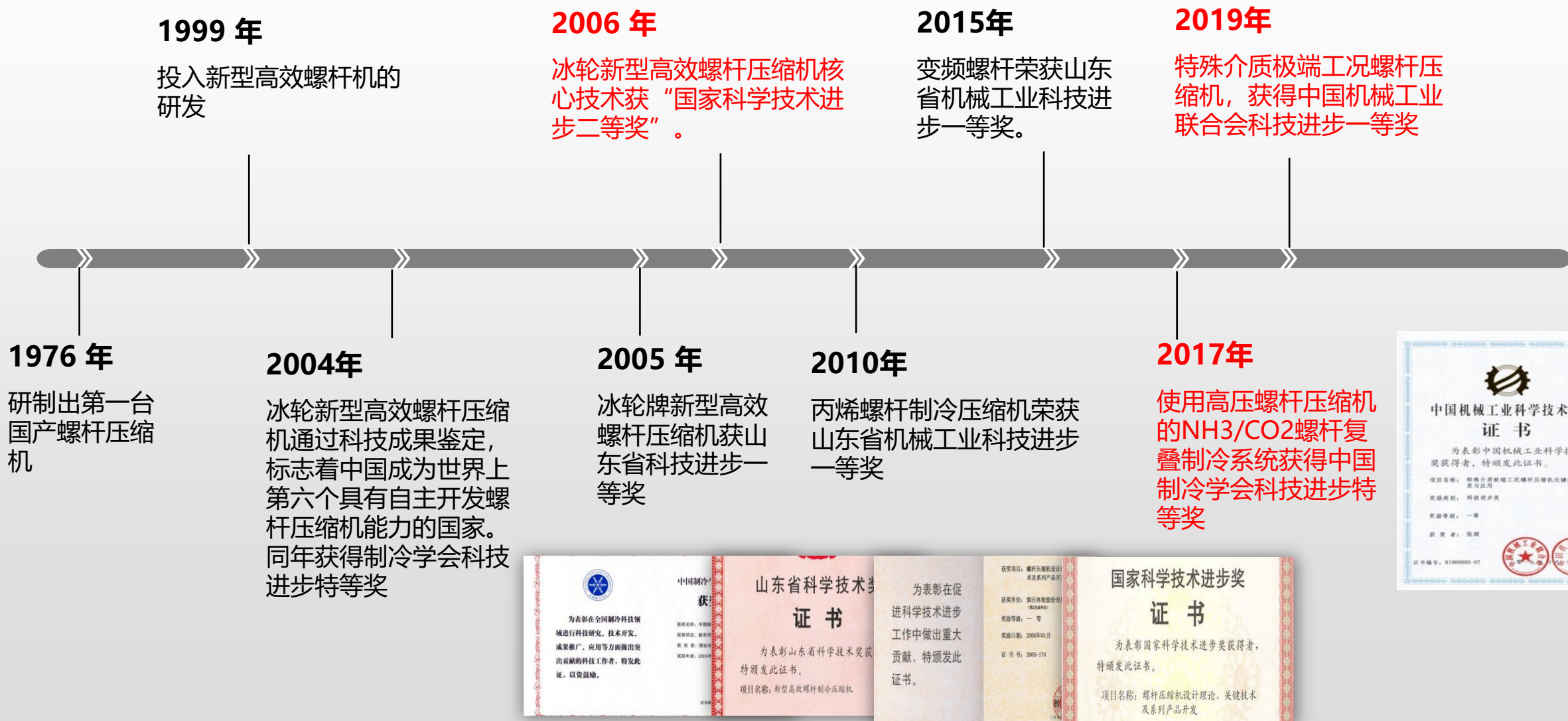
与离心式和往复式压缩机相比，螺杆压缩机具有以下优势：

- 可靠性高、运动件、易损件少；维护费用、劳动强度低
- 动力平衡性好，刚性好，回转式运动，不平衡力小
- 适用性强，强制输气，对介质的分子量变化不敏感
- 多相混输，耐液击，可输送含液、粉尘以及易聚合气体
- 广谱高效，可以进行内容积比、滑阀和变频调节





冰轮螺杆压缩机发展历程





影响螺杆压缩机效率的相关因素

设计

- 介质
- 型线、间隙、孔口
- 轴承定位
- 半封电机冷却（专利）技术

制造

- 型线转化加工
- 端面、轴端加工

应用

流量
工况
系统



等熵绝热
压缩功率

相同工况受介
质特性的影响

绝热指示
功率

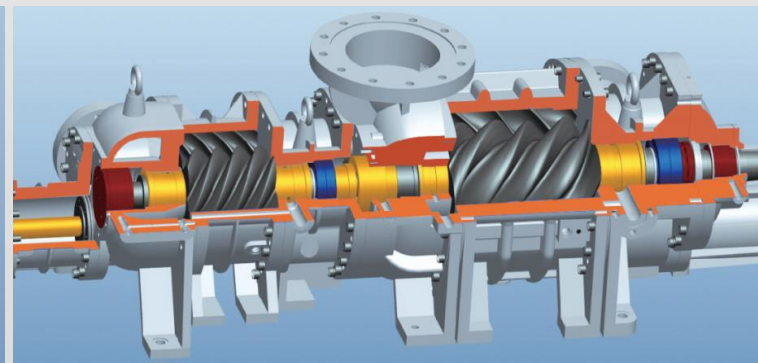
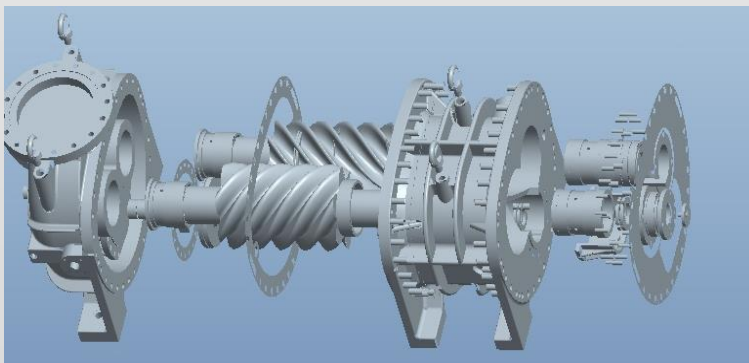
型线、间隙、
孔口等

轴功率

机械摩擦损失

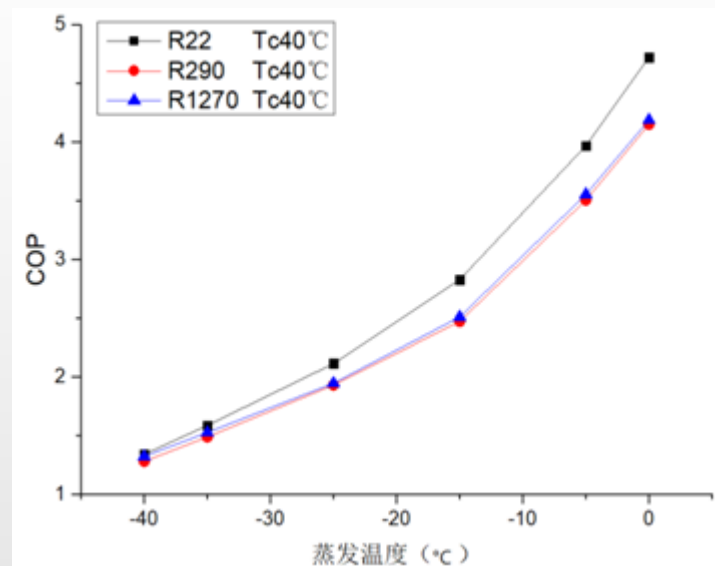
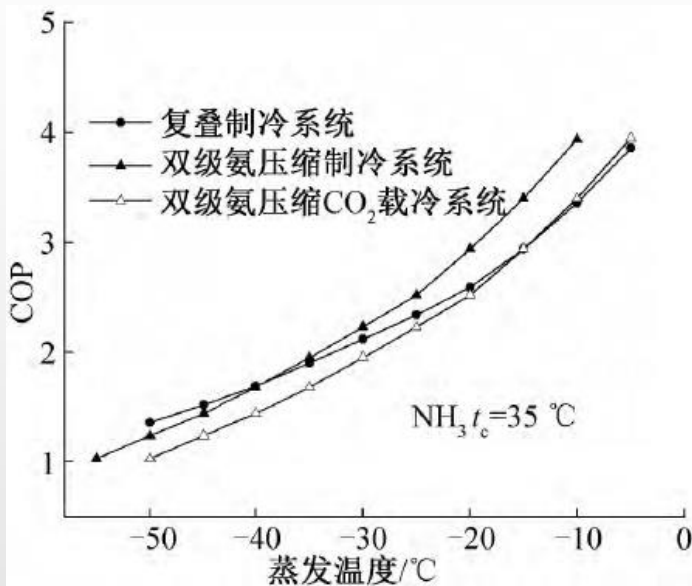
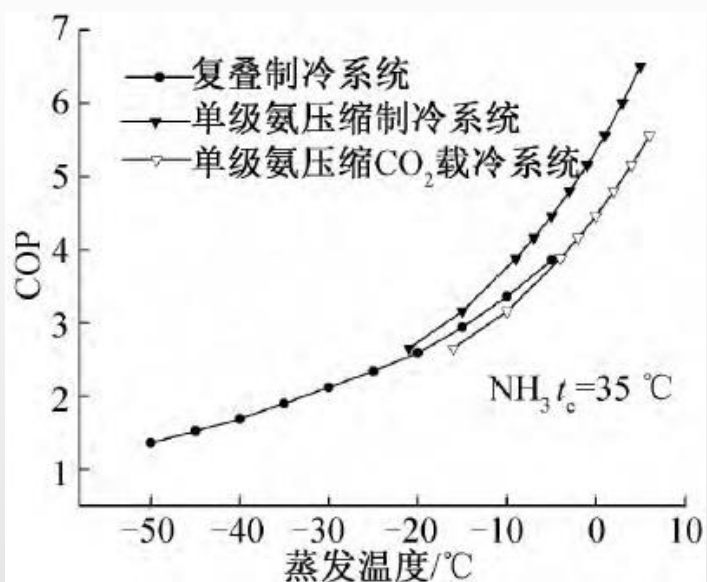
实际
耗功

电机效率、传
动效率





不同制冷剂的效率分析



➤ 在 -25°C 以下， NH_3/CO_2 复叠制冷系统效果优于 NH_3 单级压缩制冷系统

➤ 在 -35°C 以下， NH_3/CO_2 复叠制冷系统效果优于 NH_3 双级压缩制冷系统

来源：《 CO_2 复叠制冷系统与载冷剂制冷系统适用范围研究》

不仅有效率的趋势，在减少 NH_3 的充注量的安全性更具竞争力！

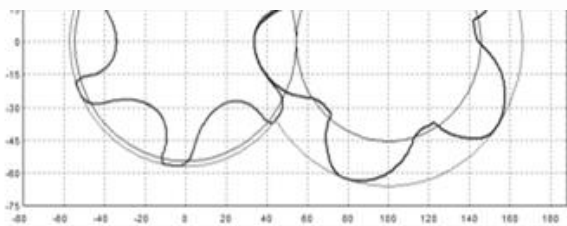
对于大型工业制冷板块采用R290代替R22

说明：来源于MOON选型软件

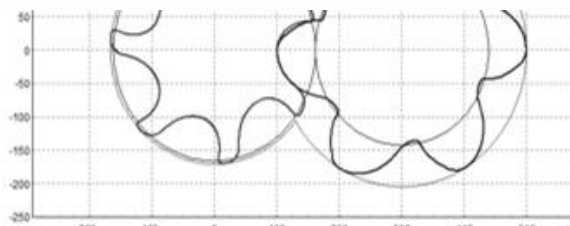
不仅有效率的考虑，还有环保的压力！



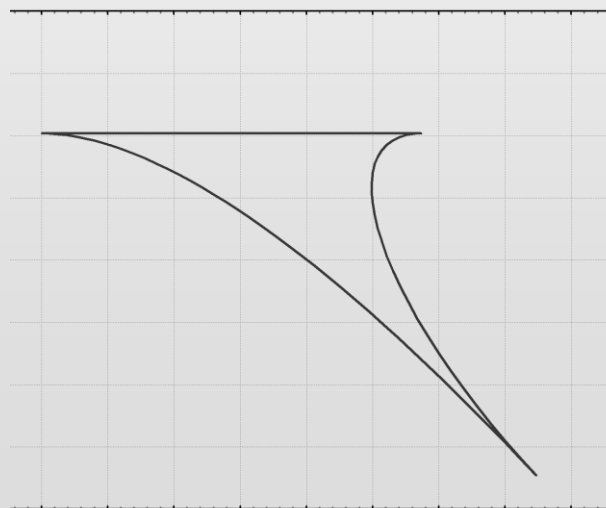
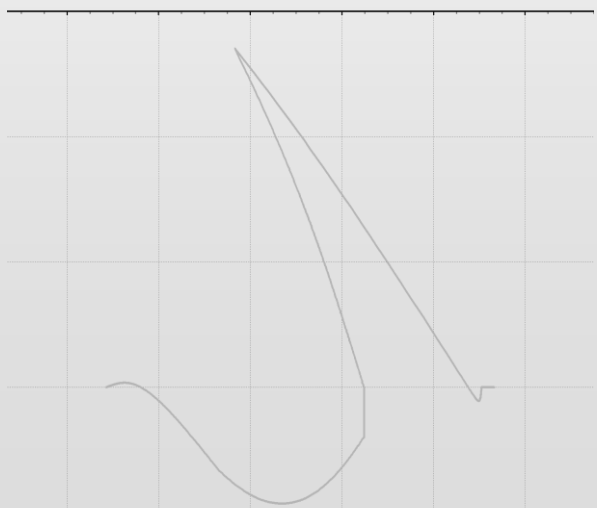
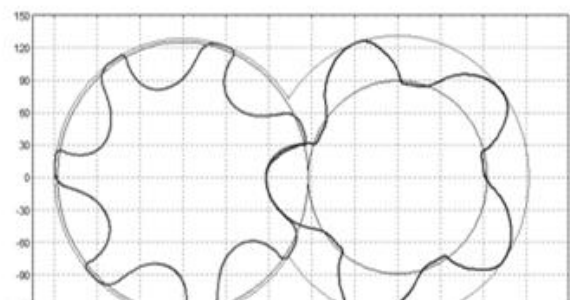
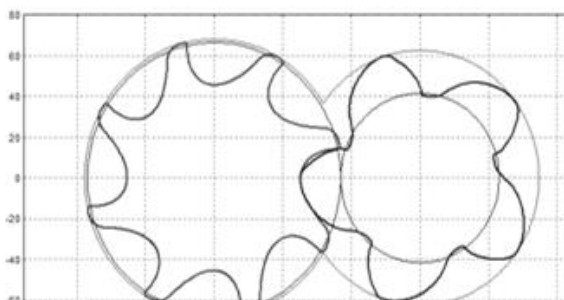
型线优化——型线设计



LG125转子 (5:6)



LG400转子 (6:7)



备注：型线需要基于不同介质的压缩过程特性，进行针对性的开发，如CO₂、He等

✓ 压缩机是制冷系统的核心，转子是螺杆压缩机的核心，而型线是核心中的核心

冰轮型线技术优势

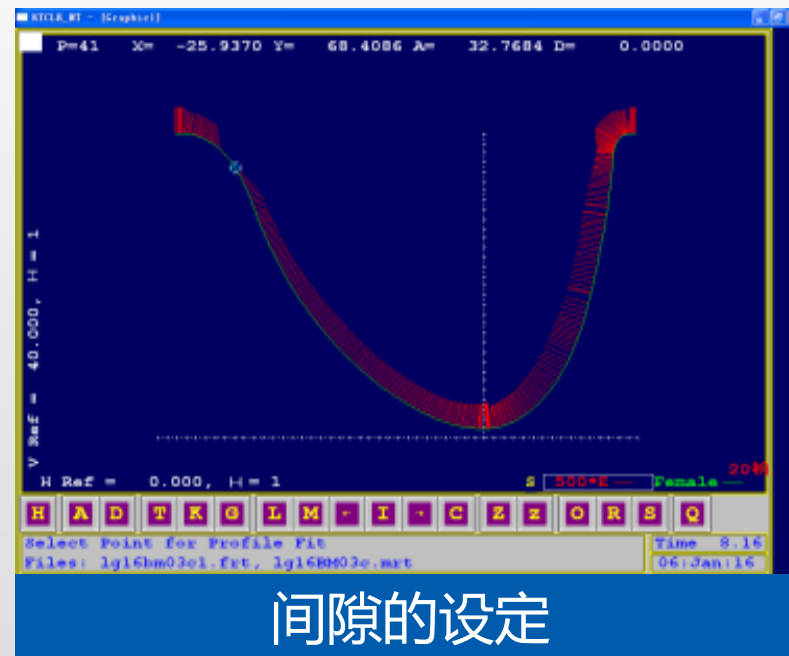
- 组成齿曲线均为圆弧或圆弧包络线
- 各组成齿曲线间光滑连接，型线上无尖点，流线性好，利于形成面密封
- 接触线连续，横向气密性好
- 利于油膜密封的形成
- 啮合特性优良，力矩分配均匀，振动小，噪声低

长期产学研合作，型线均来自于西安交通大学压缩机研究所



型线优化——型线处理

- 研究了啮合间隙、齿顶间隙、端面间隙对容积效率和绝热效率的影响
- 归纳出单位间隙变化对性能和可靠性的影响
- 明确了不同介质、工况下压缩机的关键间隙的设计原则

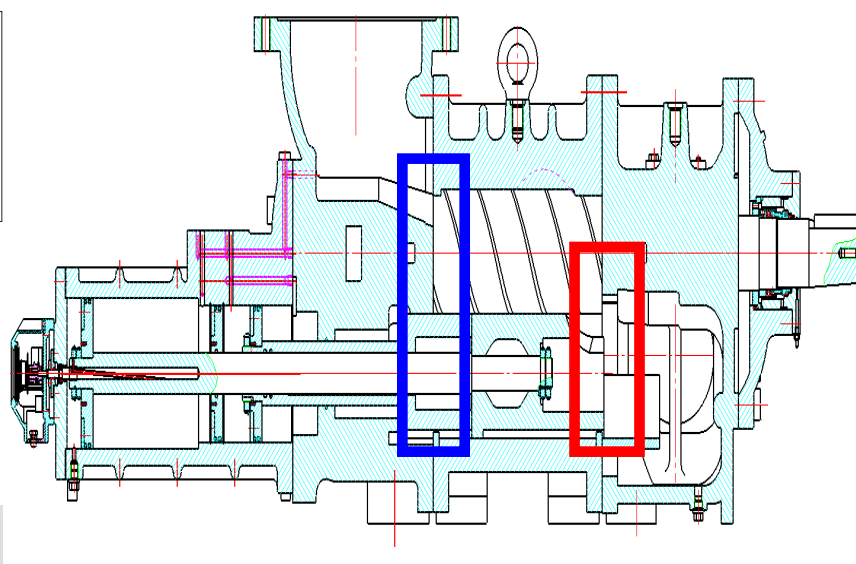
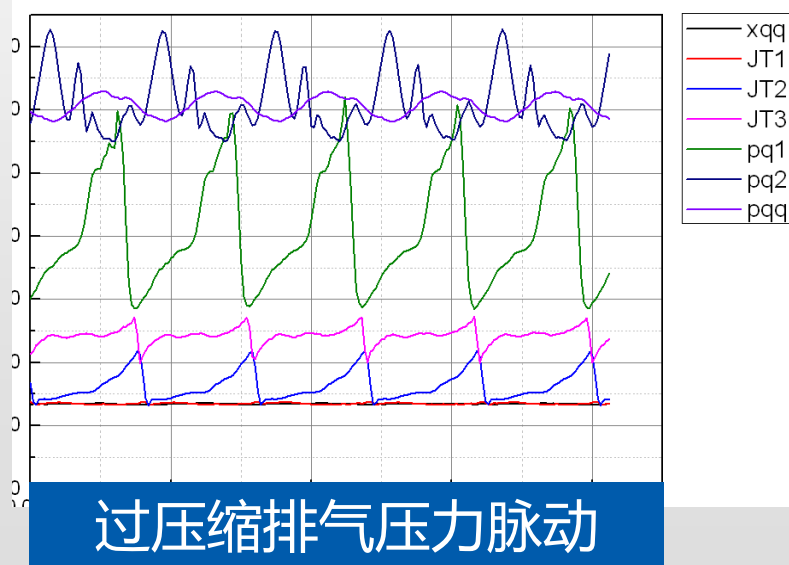


摸索出了型线的最佳处理方式，实现了理论型线向实际型线的二次设计

型线优化——孔口（型线的延申）

和西安交通大学在冰轮国家地方联合工程实验室，进行了动力学和轴心轨迹实验研究

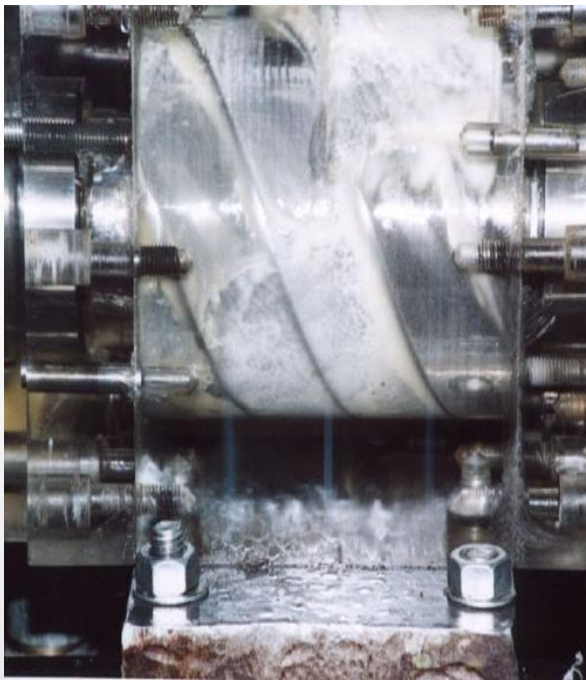
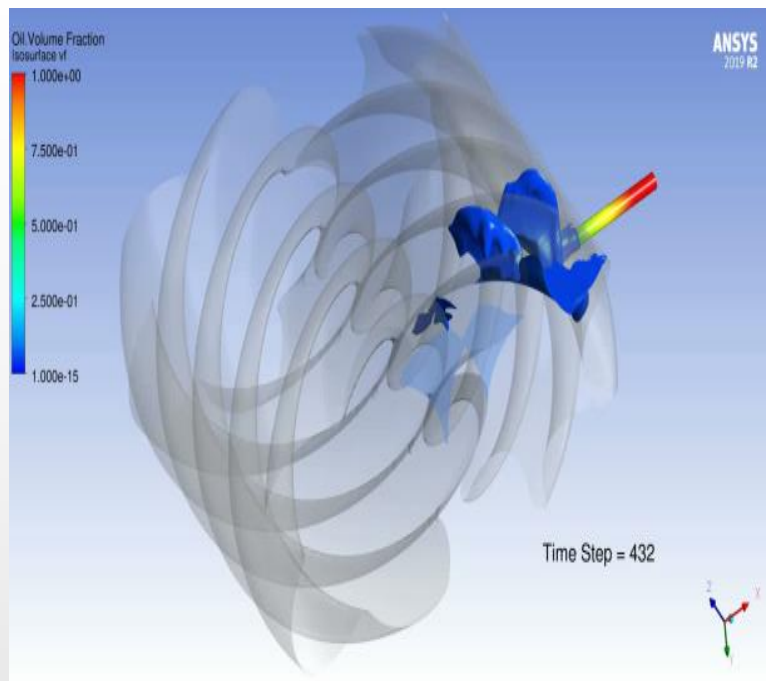
- ❧ 试验了不同孔口在相同工况下过压缩、欠压缩时绝热效率的变化规律
- ❧ 通过优化吸气角，缩小吸气封闭容积，减小了吸气损失
- ❧ 测试了P-V指示图和排气压力脉动，并据此设置最佳排气开始角及排气孔口结构，避免排气封闭容积，降低压缩功耗及噪音
- ❧ 明确了不同工况下内外压比的设计原则



通过优化型线的三个关键点：型面、间隙和孔口，减少内泄漏率，实现容积效率和绝热效率的提升



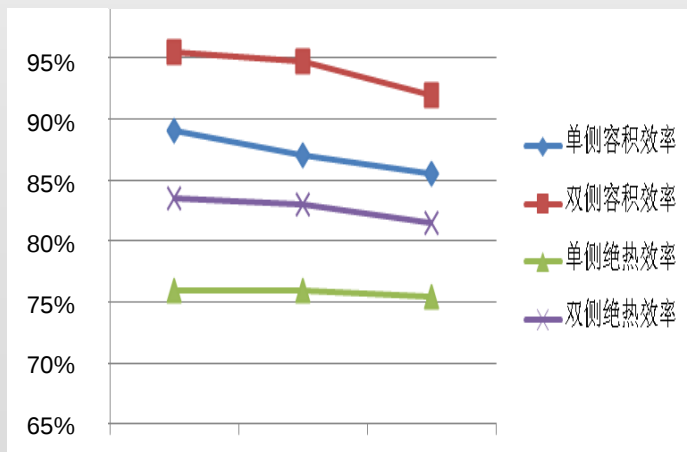
间隙密封——高效喷油



🔗 喷油起到润滑轴承、密封转子间隙、降低压缩终了温度、降低机械运转噪声的作用

🔗 通过仿真，建立了不同位置、不同孔径、不同压力、不同油温下的喷油雾化模型

🔗 搭建压缩机系统试验台，验证喷油对耗功、效率的影响，找到通过喷油提高容积效率和制冷量的极限喷油量；



掌握了不同制冷剂、不同工况的最佳需油量！

喷油模拟计算及喷油试验可视化研究（与西安交通大学联合）

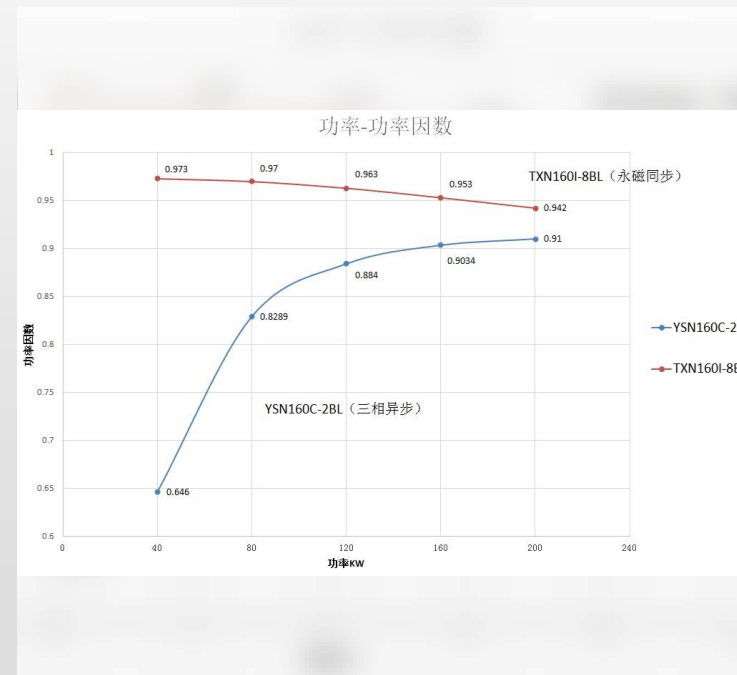


高效电机——电机的选择与冷却

- 对于开启螺杆，推荐采用GB中的高能效等级电机。
- 对于封闭式螺杆，推荐采用高效永磁同步电机（需配备变频器）。

与传统电磁感应电机相比驱动效率高5%~10%。部分负荷时节能优势更加明显。

IEC60034-2 国际标准	GB18613-2020 中国新标准	GB18613-2012 中国在用标准
IE5	能效一级	
IE4	能效二级	能效一级
IE3	能效三级	能效二级
IE2		能效三级





高效电机——电机的选择与冷却



➤针对传统电机冷却存在的弊端：

- 吸气冷却的温升与压降对制冷量造成影响，压缩机效率低
- 排气冷却温升高，电机发热严重，电机效率，安全性差
- 冷却气流冲刷电机，电机工作环境恶劣

➤试验了喷液冷却和水套冷却：

- 喷液冷却：引起冷量下降、“潮车”、喷液均匀性
- 水套冷却：冬季防冻、结垢、腐蚀、间壁换热

➤专利电机油冷却技术：

- 冷却介质和电机直接接触，冷却效率高
- **不损耗系统冷量，将电机发热转化为油冷负荷**
- 电机内部无气流冲刷，安全可靠





精确轴承定位

- 轴承承载一对转子的受力，是螺杆压缩机平稳运行的保障；
- 冰轮联合西安交通大学，在精确受力计算的基础上，对运行设备进行大量拆检分析，提出了**针对性的轴承配置型式**。



滚动轴承

- ✓ 精度高、需油量少、摩擦力小；
- ✓ 随转子直径的增大，气体力的增加大于轴承承载能力的增加，承载有限；
- ✓ 全滚动轴承仅适宜转子直径20以下螺杆制冷压缩机



滑动轴承

- ✓ 结构简单、承载大、平稳可靠、无噪声、转速高、寿命极长
- ✓ 需油量大、需预润滑
- ✓ 适宜中大型重载工艺螺杆压缩机
- ✓ 功率与转速之积大于 4×10^6 时，应采用流体动压径向轴承和推力轴承



可倾瓦轴承

- ✓ 一种更为复杂的滑动轴承
- ✓ 适宜大型重载回转机械

可靠性和高效之间进行权衡!

精益制造

➤ 转子：（驱动性和气密性最优）

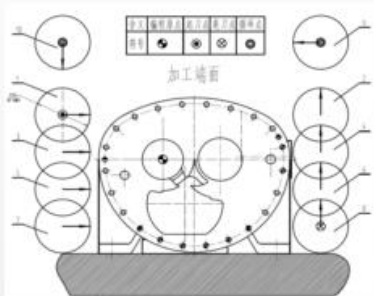
- 磨削加工，相对于铣削加工精度更高
- 采用多轴联动，实现动态不等距间隙的处理

➤ 端面：（定位性和密封性最优）

- 创新了一种补偿型平面走刀加工工艺

➤ 智能制造：（精确和个性化）

- 布局压缩机智能制造工厂
- 精益加工装备集群化
- AGV全智能坐标点运输
- 机器人智能扫描和精整



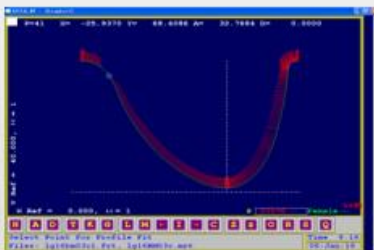
平面走刀工艺



平面铣削加工



加工机床



不等距程序优化



刀具角度优化



检测补偿优化



铸造执行系统 (MES)



AGV全智能坐标定点运输

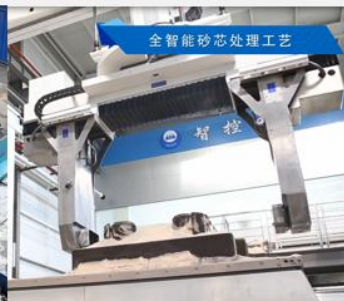


智慧熔炼 浇注

无工装裸浇工艺独一无二



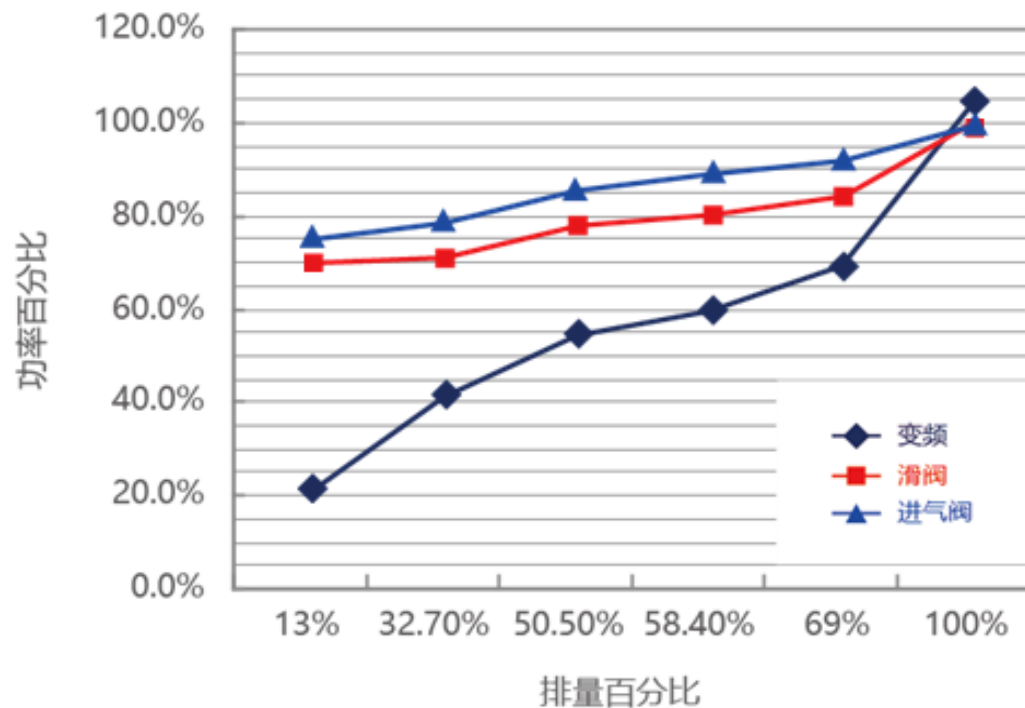
全智能砂芯处理工艺



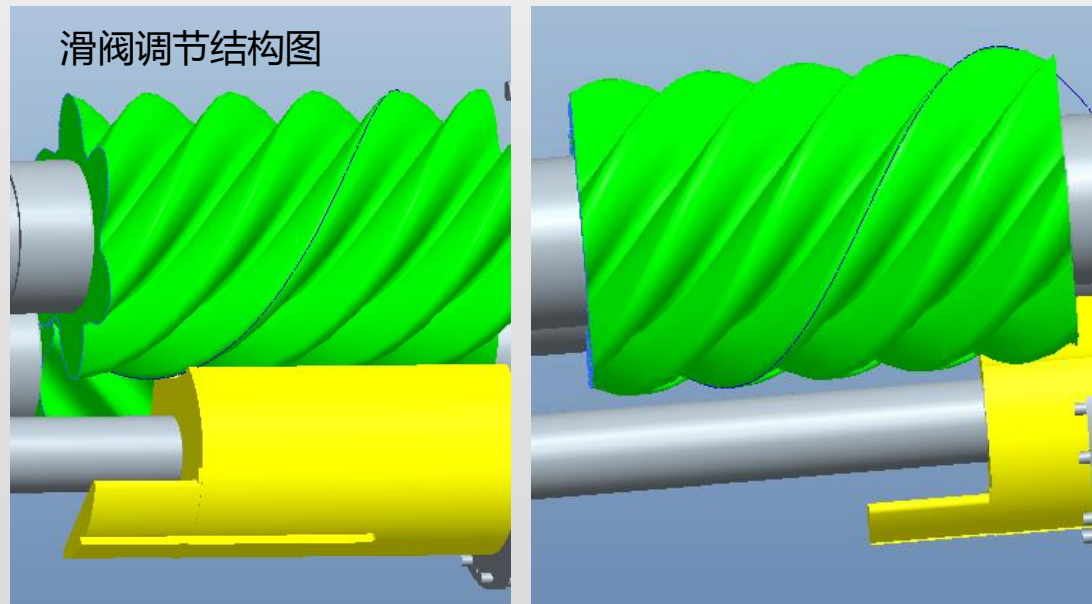


容量调节

- 变频调节：通过调节转速，调整供气量；
 - 滑阀调节：缩短转子有效工作长度，调整供气量；
 - 吸气节流：改变吸气口密度，并且压差增大容积流量减少，减少供气量；
 - 热气旁通：将排气口的高压气引至吸气口，形成循环，减少供气量；
 - 柱塞旁通：部分压缩腔和吸气腔串通，有级调节。
-
- 压缩机可以通过进口压力、出口压力、流量或者这些参数的组合来进行流量的调控，API619指明可以通过入口节流、调速、滑阀容量控制装置或者从出口到入口的旁通来实现流量的调控。
 - 冰轮针对变频调节、滑阀调节和进气阀调节进行了大量的试验。摸清了每一种调节方式的优势与弊端。如下：

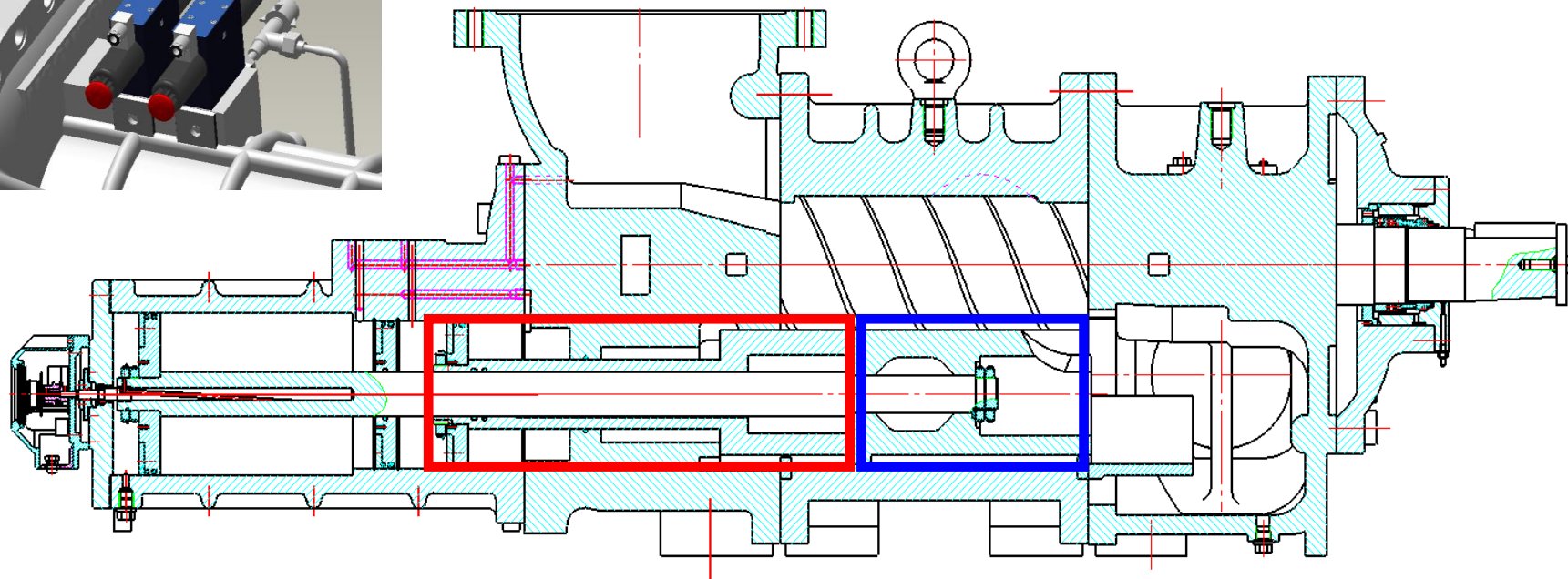
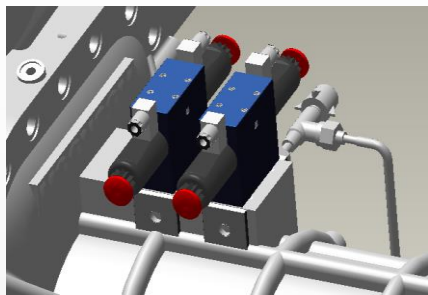


滑阀调节结构图

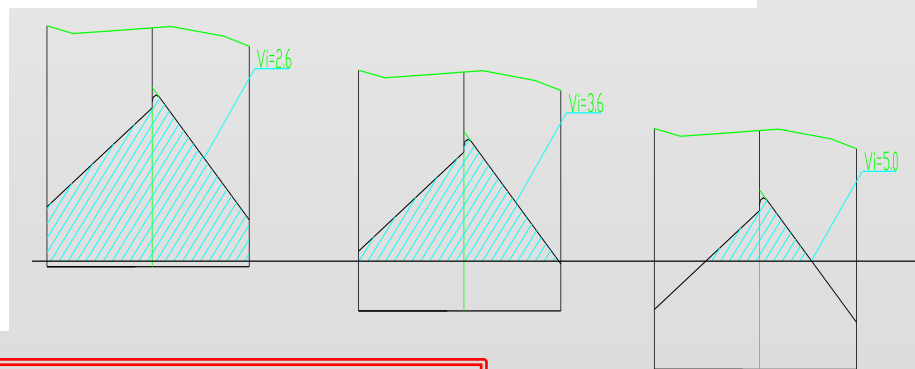
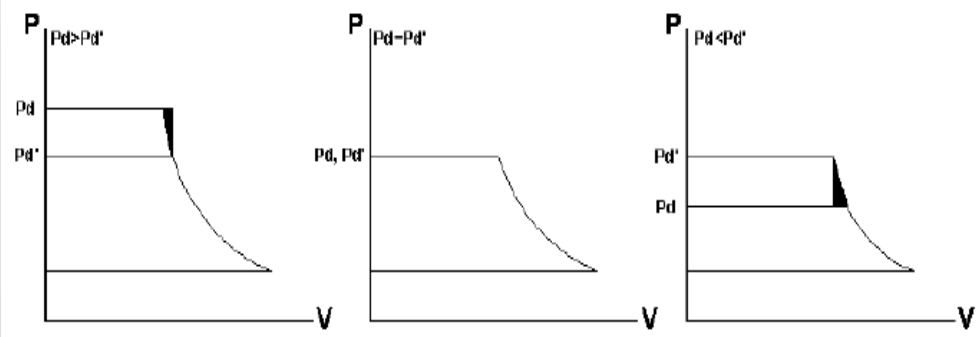




工况调节



$$V_i = \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{1/k}$$

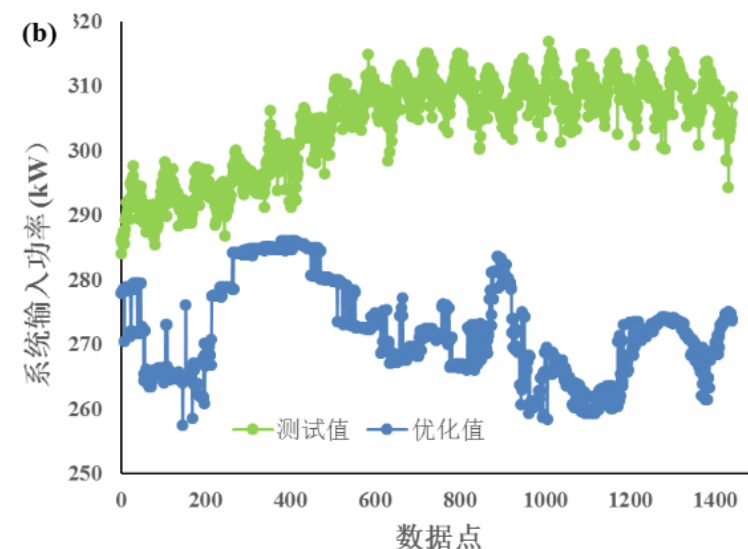
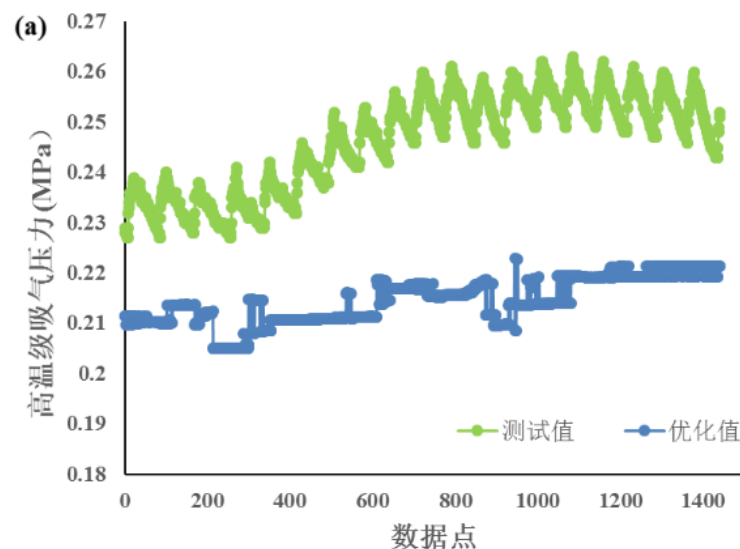
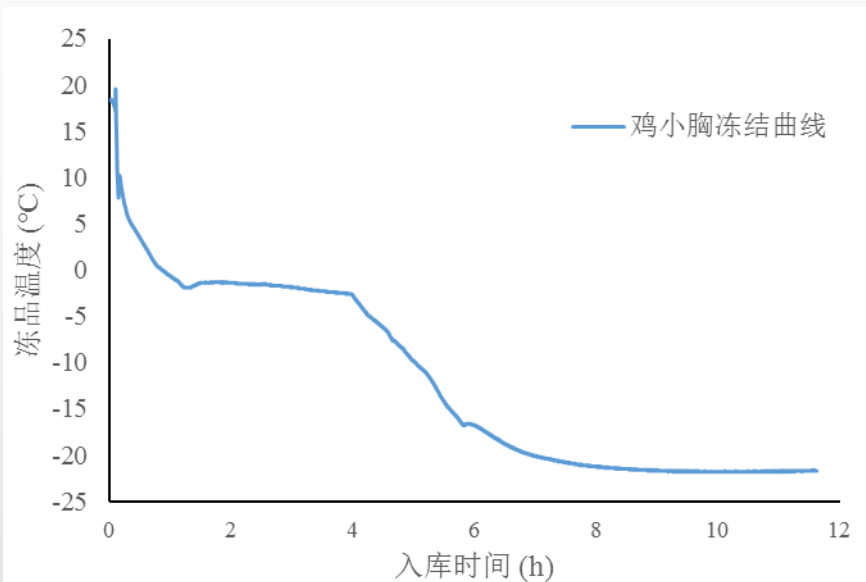


当吸排气压力经常波动时推荐采用内容及比调节!



智慧、高效、柔性系统调节

在已知如何高效调整之后，什么时候应该调整？什么时候不应该调整？



- 结合客户的制冷需求及冻结工艺，以海量运行数据为基础，进行冷能供给侧的时时最优控制技术；
- 人工智能模型选取最小二乘支持向量机，辅以遗传算法进行模型参数优化，并对优化后的模型进行训练；

案例：

优化复叠系统中间压力，系统的输入功率，比优化前降低了10.52%；

优化速冻库库温（前期库温固定不变），随冻品的冻结曲线进行动态调整，蒸发温度、压缩机载位均可动态调整，避免过冻、减少冷量耗散、提升了能源利用率；

效率水平——氦气螺杆

同行高度评价：

填补国内空白，
整体性能国际先
进，部分指标国
际领先

科学技术成果鉴定证书

JK 鉴字[2018]第 050 号

成果名称：特殊介质极端工况螺杆压缩机
(型号：LG40S、RCU25K)

完成单位：合肥通用机械研究院有限公司

鉴定形式：会议鉴定

组织鉴定单位：中国机械工业联合会

鉴定日期：2018 年 10 月 21 日

鉴定批准日期：2018 年 10 月 21 日

鉴定意见

2018 年 10 月 21 日，中国机械工业联合会与中国通用机械工业协会在烟台，共同组织召开了由该协会环境技术股份有限公司和南京交通大学联合研制的氦气螺杆压缩机（型号：LG40S、RCU25K）产品研制鉴定会。鉴定委员会由《名单附后》和代表考察了生产和试验环境，见证了样机的部分性能试验，听取了研制单位所作的总体汇报。查阅了有关设计、制造、试验、检测及质保等文件资料，经质询和讨论，形成如下鉴定意见：

一、提交的技术资料齐全、内容翔实，符合鉴定要求。

二、产品样机采用先进设计方法和制造工艺，结构设计合理，材料选择适当，性能参数满足技术规格书和相关标准要求。主要技术特点和创新点如下：

1、开发基于氦气特性的专用转子曲线和变向腔设计加工方法，优化了转子型面，同轴和孔口位置等参数，实现了热态工况下小间隙运行。

2、开发了组合式多点供油技术，有效降低了氦气压缩过程中的温升。

3、开发了新型金属面涂胶膜密封技术；采用隔离液及双端面机械密封，优化了导油环，解决了氦气螺杆压缩机的密封和动密封难题。

4、建立了油气分离器的计算模型，采用多级高效分离方式，解决了氦气与润滑油的分离难题。

三、产品样机完成了压缩机的性能、噪声、振动等试验，并经第三方检测，结果满足技术条件、试验大纲和相关标准要求。压缩机容积效率达到 93%以上（国外同类产品为 88%），中压、高压工况等效率分别达到 54.9%和 63.8%（国外同类产品分别为 53%和 58.9%）。

四、产品样机已于 2017 年 4 月在北京中科富海项目上投用至今，运行平稳可靠。

五、研制单位研发能力强，制造工艺装备与试验检测条件完善，质量管理体系运行有效，具备批量生产能力。

鉴定委员会认为，研制的氦气螺杆压缩机产品填补国内空白，整体性能达到国际先进水平，其中容积效率、等温效率等关键技术指标处于国际领先水平，可进一步推广应用。

鉴定委员会一致同意通过鉴定。

鉴定委员会主任：郭东明 副主任：郭东明（签字）

2018 年 10 月 21 日

鉴定委员会名单

序号	鉴定会职务	姓名	工作单位	所学专业	现从事专业	职称/职务	签名
1	主任	郭东明	大连理工大学	机械制造	机械制造	院士/校长	郭东明
2	副主任	邢桂坤	中国寰球工程公司	化工机械	转动设备	教高/专业副总	邢桂坤
3	委员	张华	上海理工大学	制冷	制冷与低温	教授/副校长	张华
4	委员	谭跃进	合肥通用机械研究院有限公司	低温工程	压缩机	教高	谭跃进
5	委员	刘新建	中国科学院理化技术研究所	低温物理	压缩机	研究员/副所长	刘新建
6	委员	龚翎会	中国科学院低温工程重点实验室	低温制冷	压缩机	研究员/主任	龚翎会
7	委员	肖矛	合肥通用机电产品检测院有限公司	热能动力	压缩机	教高/部门主任	肖矛
8	委员	李红旗	北京工业大学环境与能源工程学院	制冷	制冷	教授/博士	李红旗
9	委员	李青	航天低温推进剂技术国家重点实验室	低温工程	低温工程	研究员/副主任	李青

中国机械工业科学技术奖 证书

为表彰中国机械工业科学技术
奖获得者，特颁发此证书。

项目名称：特殊介质极端工况螺杆压缩机关键技术研发与应用

奖励类别：科技进步奖

奖励等级：一等

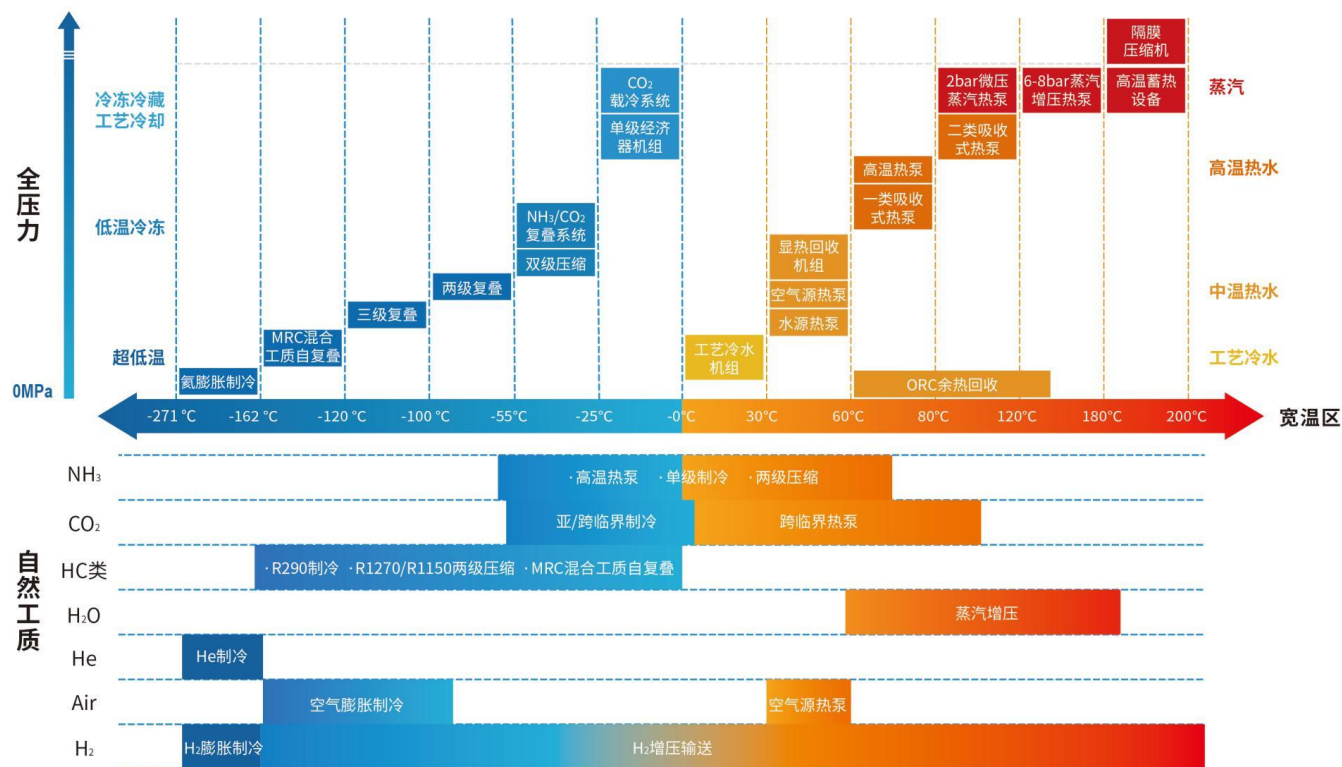
获奖者：张超

证书编号：R1906095-07





压缩机范围

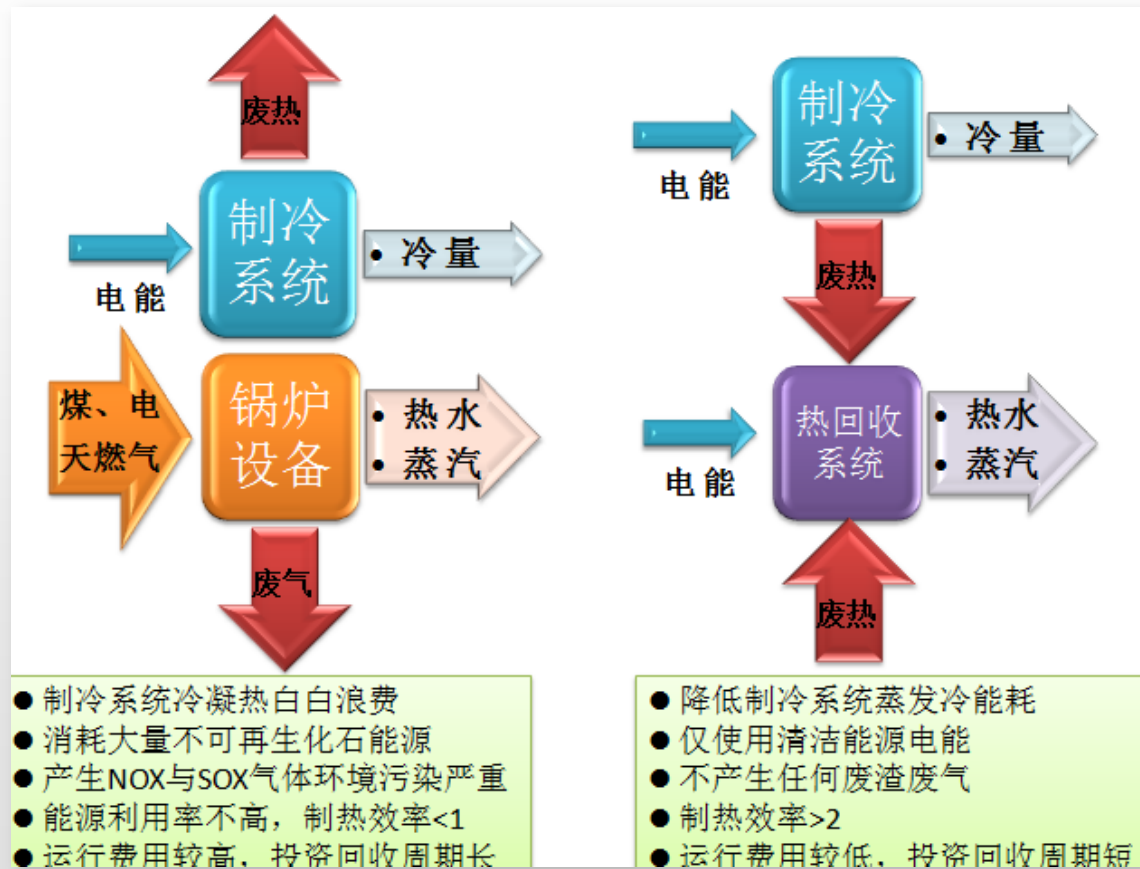


最大输气量可达
15000m³/h!



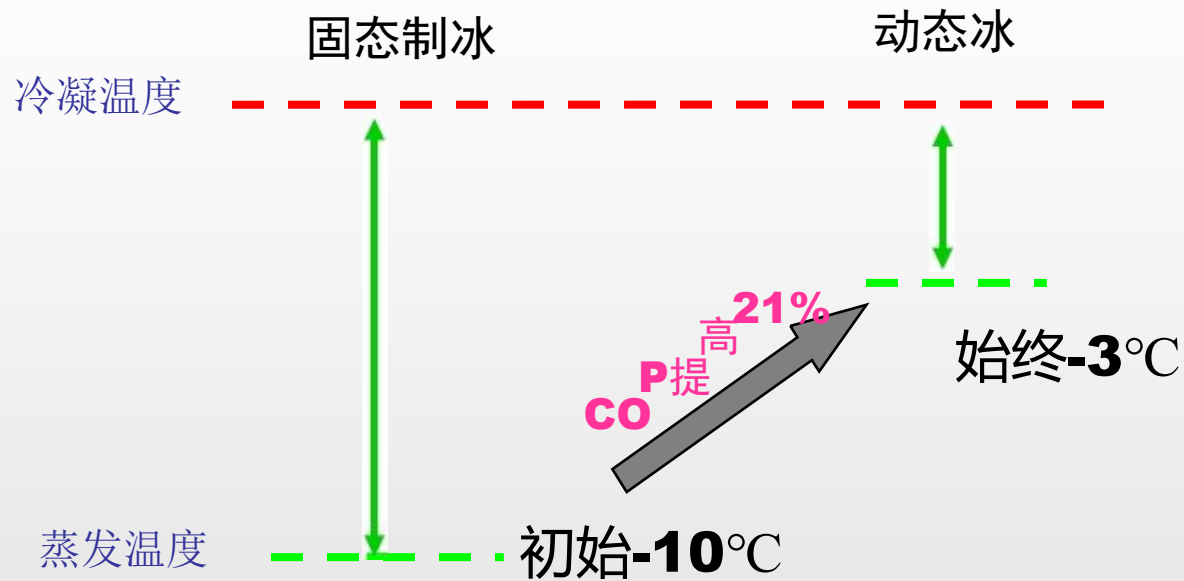
相关系统节能技术的推荐

宽温区高效制冷供热耦合集成系统



对制冷系统冷凝热进行回收：综合COP可达6！

高效过冷水动态冰浆系统



采用动态冰浆蓄冷技术

蒸发温度可由 -10°C 提升至 -3°C ，COP提升约21%

同时利用谷电蓄冷，优化电力输配

拥抱变化 共赢未来



冰轮环境
MOON-TECH



冰轮环境公众号



冰轮环境官网

地址：山东省烟台市冰轮路1号

邮编：264002

电话：800-860-2811

网址：www.moon-tech.com