



冰轮环境
MOON-TECH

智慧 绿能 生态

INTELLIGENT·GREEN ENERGY·ECOLOGY



工业制冷用HCs自然工质复叠机组及应用

汇报人：侯丽艳

冰轮环境技术股份有限公司

2024.4.9





目录

智慧 绿能 生态

INTELLIGENT·GREEN ENERGY·ECOLOGY



01 HCs自然工质的特点及优势

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术

03 典型应用流程及案例

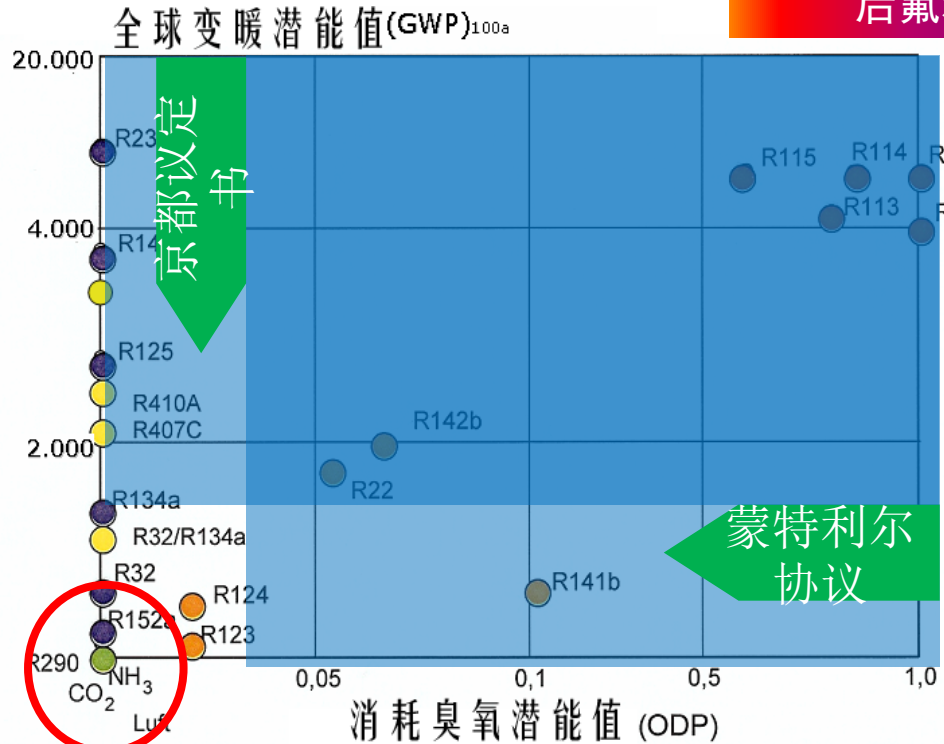
04 总结



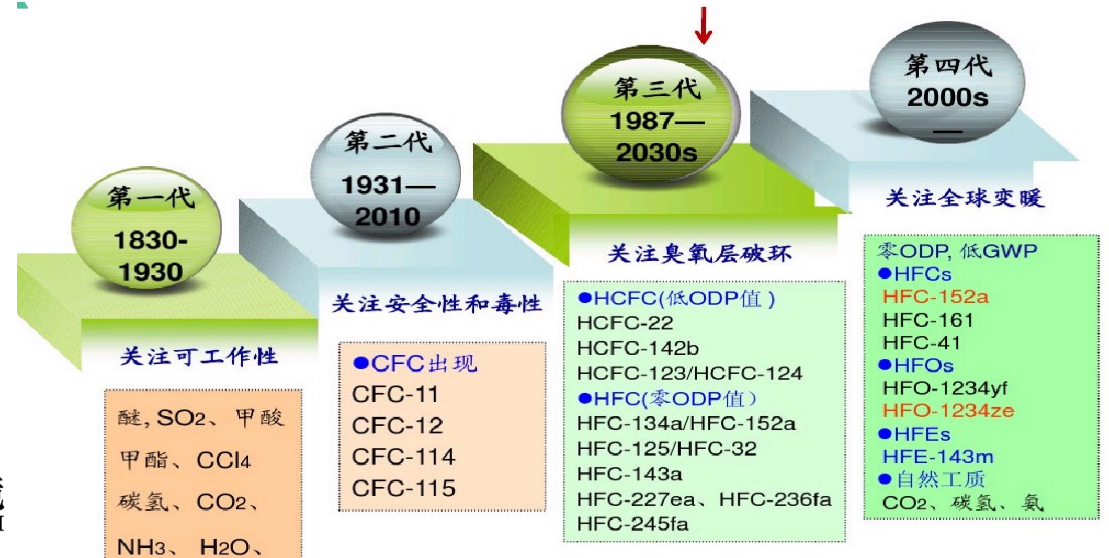
01 HCs自然工质的特点及优势

高效 · 环保 · 安全

01 HCs自然工质的特点及优势



- 1987年：蒙特利尔议定书，限制（氯氟烃）CFCs的使用
- 1997年：京都决议案，限制对（含氢氯氟烃）HCFCs的使用



R22



R134a
R507
R410
R404



中华人民共和国生态环境部
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

政府信息公开

名称	关于控制副产三氟甲烷排放的通知		
索引号	000014672/2021-00626	分类	大气环境管理
发布机关	生态环境部办公厅	生成日期	2021-09-14
文号	环办大气函〔2021〕432号	主题词	

关于控制副产三氟甲烷排放的通知

中华人民共和国生态环境部
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

政府信息公开

名称	关于公开征求国家生态环境标准《一氟二氯甲烷生产设施副产三氟甲烷排放核算方法与报告技术规范（征求意见稿）》意见的通知		
索引号	000014672/2024-00006	分类	大气环境管理
发布机关	生态环境部办公厅	生成日期	2024-01-08
文号	环办标准函〔2024〕1号	主题词	

关于公开征求国家生态环境标准《一氟二氯甲烷生产设施副产三氟甲烷排放核算方法与报告技术规范（征求意见稿）》意见的通知

中华人民共和国生态环境部
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China

政府信息公开

名称	关于核发2024年度消耗臭氧层物质和氢氟碳化物生产、使用和进口配额的通知		
索引号	000014672/2024-00053	分类	大气环境管理
发布机关	生态环境部办公厅	生成日期	2024-01-29
文号	环办大气〔2024〕3号	主题词	

关于核发2024年度消耗臭氧层物质和氢氟碳化物生产、使用和进口配额的通知

2024年R23的国内生产配额：合计2952t，内用生产配额2348t，以此为基线，逐年削减

类别	物质*			异构体数目	消耗臭氧潜能值 (ODP)****	100年全球升温潜能值 (GWP)*****	备注
	代码	化学式	化学名称				
第五类 含氢氯氟烃	(HCFC-21)***	CHFCl ₂					
	(HCFC-22)***	CHF ₂ Cl					
	(HCFC-31)	CH ₂ FC1					
	(HCFC-121)	C ₂ HFC1 ₄					
	(HCFC-122)	C ₂ HFC1 ₃					
	(HCFC-123)	C ₂ HFC1 ₂					
	(HCFC-123)***	CHCl ₂ CF ₃	1,1-二氯				
	(HCFC-124)	C ₂ HFC1					
	(HCFC-124)***	CHFClCF ₃	1-氟-1,				
	(HCFC-131)	C ₂ H ₂ FC1 ₂					
	(HCFC-132)	C ₂ H ₂ F ₂ Cl ₂					
	(HCFC-133)	C ₂ H ₂ F ₃ Cl					
(HCFC-141)	C ₂ H ₃ FC1 ₂						
第九类 氢氟碳化物	(HFC-125)	CHF ₂ CF ₃	五氟乙烷			3500	
	(HFC-143a)	CH ₂ CF ₃	1,1,1-三氟乙烷			4470	主要用途为制冷剂、发泡剂、灭火剂、气雾剂等。按照《议定书》及相关修正案规定,2024年生产和使用应冻结在基线水平,2029年在冻结水平上削减10%,2035年削减30%,2040年削减50%,2045年削减80%。基线水平为2020-2022年HFCs平均值加上HCFCs基线水平的65%,以二氧化碳当量为单位计算。
	(HFC-41)	CH ₃ F	一氟甲烷			92	
	(HFC-152)	CH ₂ FCH ₂ F	1,2-二氟乙烷			53	
	(HFC-152a)	CH ₃ CHF ₂	1,1-二氟乙烷			124	
	(HFC-23)	CHF ₃	三氟甲烷			14800	

01 HCs自然工质的特点及优势

类型	R1234yf	R1234ze	R290	R1270	R170	R1150	NH3	R23	R32	R507	R452A	R449
标准沸点 (°C)	-28	-19	-42.2	-47.7	-88.9	-104	-33.5	-82	-51.7	-46.7	-46.9	-45.7
临界温度 (°C)	95	109	96.7	92.4	32.3	9.2	132.4	26	78.1	70.9	75.1	82.2
GWP	1	6	3	20	20	20	0	12000	670	3900	2141	1397
ASHRAE 安全分类	A2L	A1	A3				B2低可燃高 毒性	A1	A2 无 毒 可 燃	A1 无毒不可燃		
应用情况	美国汽车 空调行业	美国热泵行 业	空调行业 石油炼化行业	炼化行业 应用广泛	低温复叠系统的低温段 石油炼化行业应用广泛		应用广泛	低温复叠用	日本主流制 冷剂	主流低温制 冷剂	欧洲最新开发	
价格	昂贵, 难买		价格低廉								昂贵, 难买	昂贵, 难买
分析	不适用于低温制冷 ✘		最大障碍可燃性, 需要防爆				需要控制充 注量	配额生产, 价格高	有可燃性, 需要考虑防 爆	由 R125 和 R143 混合 而成	R32 R125 R1234YF混 合,	R32 R125 R134A R1234YF
淘汰情况	最新HFO, 符合要求		自然工质, 符合要求✓				自然工质, 符合要求	属于淘汰范围✘			部分组分属于淘汰范围✘	



- ✓ 低GWP、压力适中、温区广、价格低廉、易获得
- ✓ R290/R1270和R170/R1150复叠替代R507A /R23的最佳选择

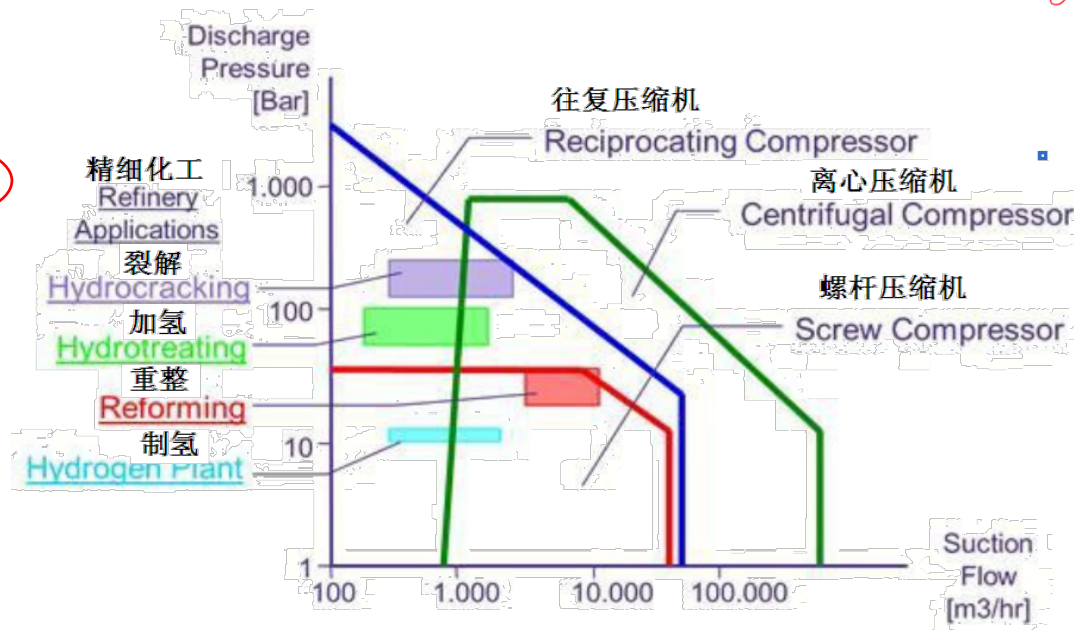
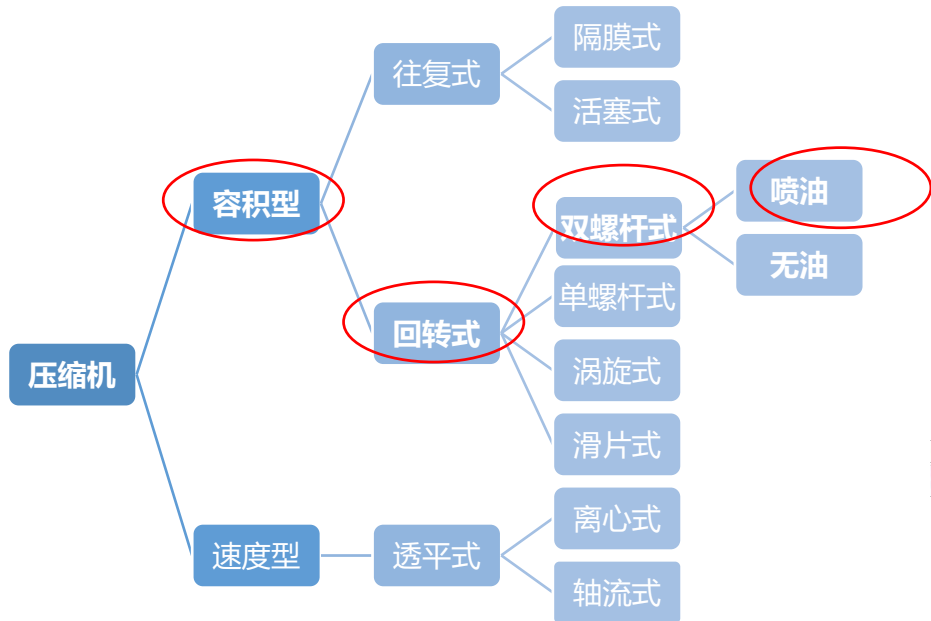
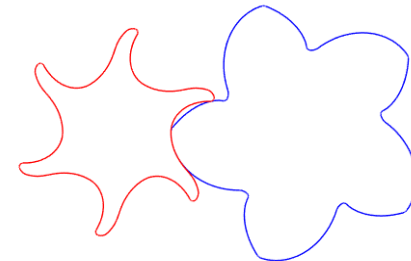


02 HCs自然工质复叠机组关键技术

适用温区、系统特点、关键技术

02 HCs工质螺杆制冷机组设计——螺杆制冷压缩机

压缩机是一种输送气体和提高气体压力的机械设备，在石油、石化、天然气、化工、煤炭行业的工业生产中是必不可少的关键设备，被称为化工等过程生产领域的**心脏**。



螺杆压缩机特点

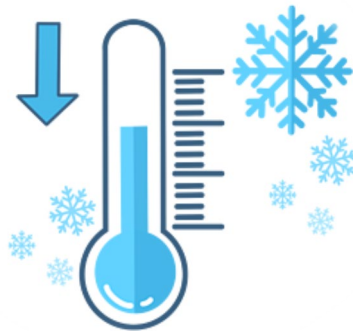
- ✓ 螺杆压缩吸入过热、饱和、少量带液均可，皮实可靠；
- ✓ 通过转子腔喷油，提高密封及效率；
- ✓ 可实现单级较大压比、大温升；
- ✓ 变工况能力强，吸排气压力允许在一定范围内波动，抗波动性强
- ✓ 负荷调节能力强，无喘振；

冰轮压缩机型线优势

冰轮从70年代就与西安交通大学展开密切的校企合作，所用型线均由西安交通大学压缩机研究所**邢老师**开发，是目前**世界上最先进的型线**！

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术-温区

目的：为了获取更低温度



制冷技术划分

120K (-153.15°C) 以上 普通制冷

120~20K (-153.15~-253.15°C) 深度制冷

20~0.3K (-253.15~-272.85°C) 低温制冷

0.3K以下 (-272.85°C) 超低温制冷

蒸汽压缩制冷

-40°C 以上 单级压缩

-40~-55 °C 双级压缩

-40~-120°C 两级、三级复叠

或自复叠

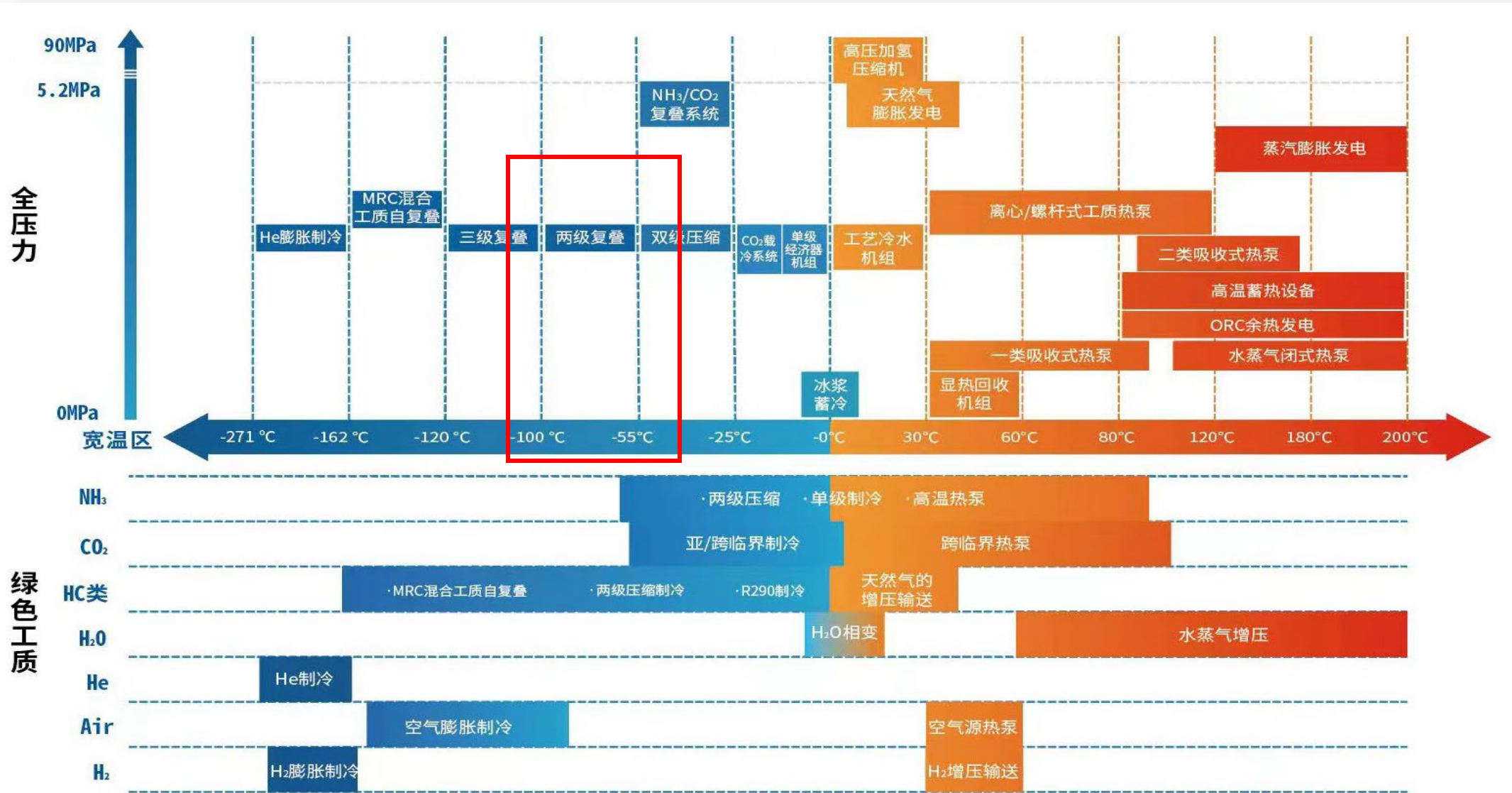
-120°C以下 混合冷剂



摘：制冷原理与装备（吴业正）

02

HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术-冰轮产品温区全覆盖



02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术-最佳替代

-50~-80°C——R290-R170

-75~-100°C——R1270-R1150

-50~-100°C温区

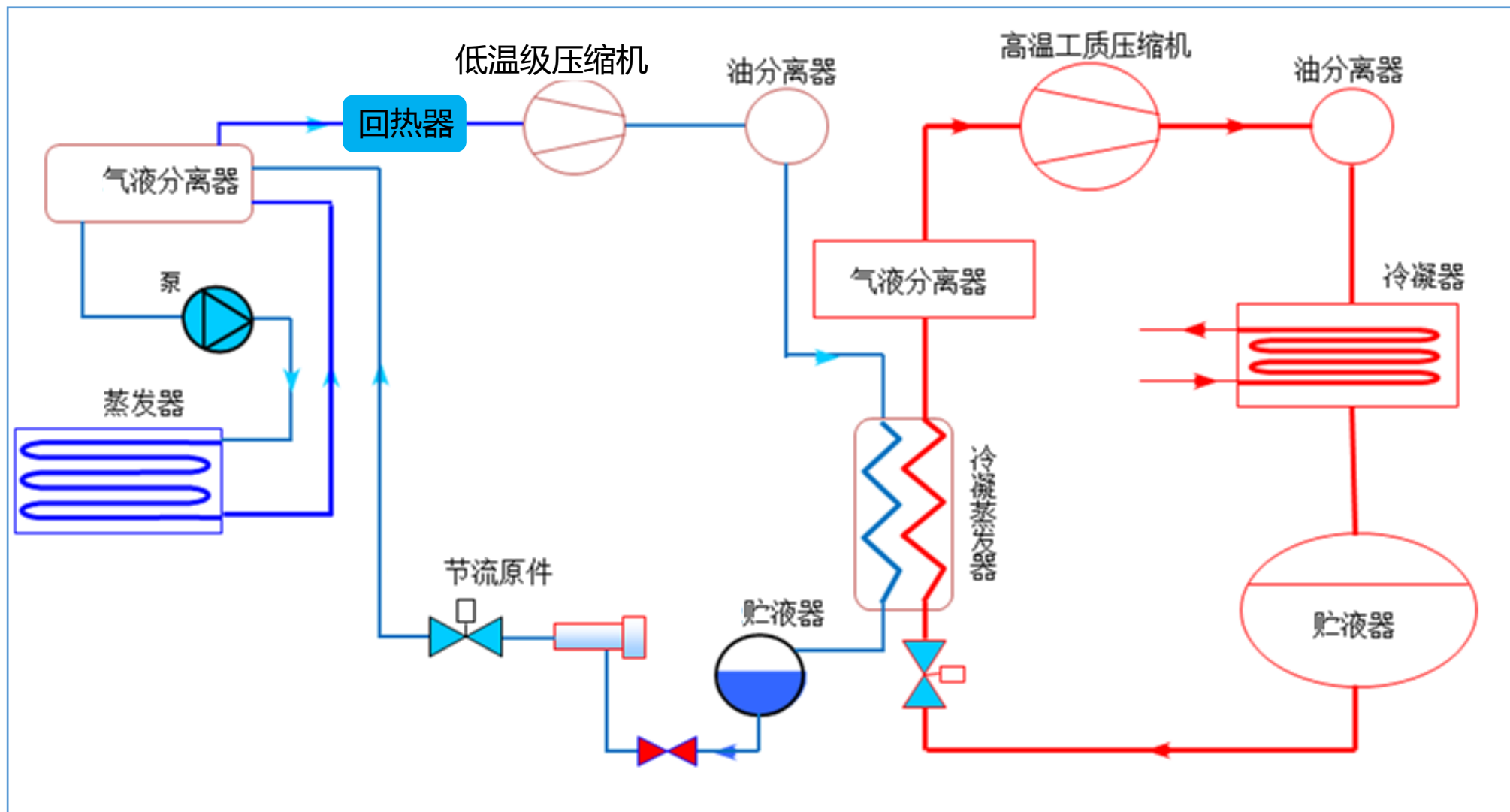


替代

R22/R23或者R507A /R23

R507A/R23/R14三级复叠

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术-流程



02 HCs碳氢制冷剂热物性对比分析——理论

制冷剂	高温级				低温级			
	R22	R507A	R290	R1270	R23	R170	R23	R1150
制冷量kW			500				500	
工况°C	+36/-40				-70/-20		-85/-40	
单位质量 理论制冷量kW	144	87	233	243	161	326	184	334
单位质量理论 压缩功kW	67	50	114	118	53	105	56	105
吸气比容m ³ /kg	0.21	0.13	0.38	0.31	0.12	0.21	0.25	0.19
单位容积制冷量kW	700	650	612	783	1381	1547	726	1741
单位体积轴功率kW	326	372	301	381	454	501	220	548
理论所需气量m ³ /h	2572	2770	2940	2300	1303	1163	2480	1034
理论循环COP	2.14	1.74	2.04	2.05	3.04	3.09	3.30	3.18
COP对比	1	0.81	0.95	0.96	1	1.01	1	0.96

- ✓ 高温级制冷剂：**R290/R1150与R22相当，远高于R507A；**
- ✓ 低温级制冷剂：**R170优于R23，R1150相当**

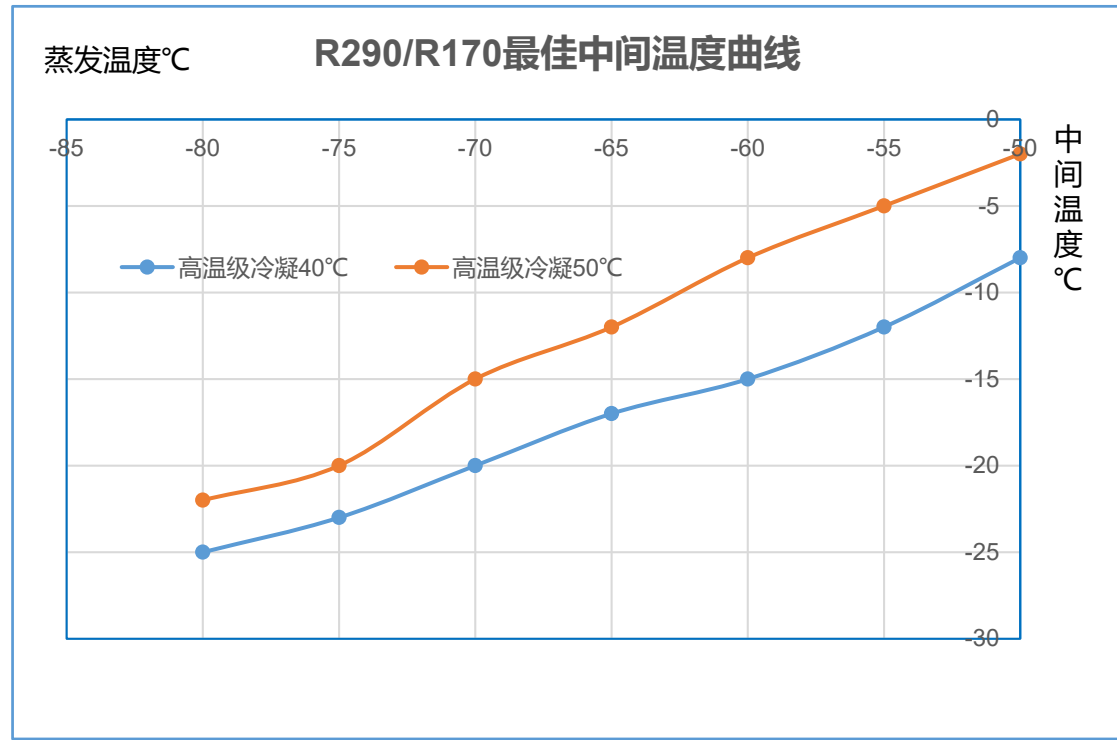
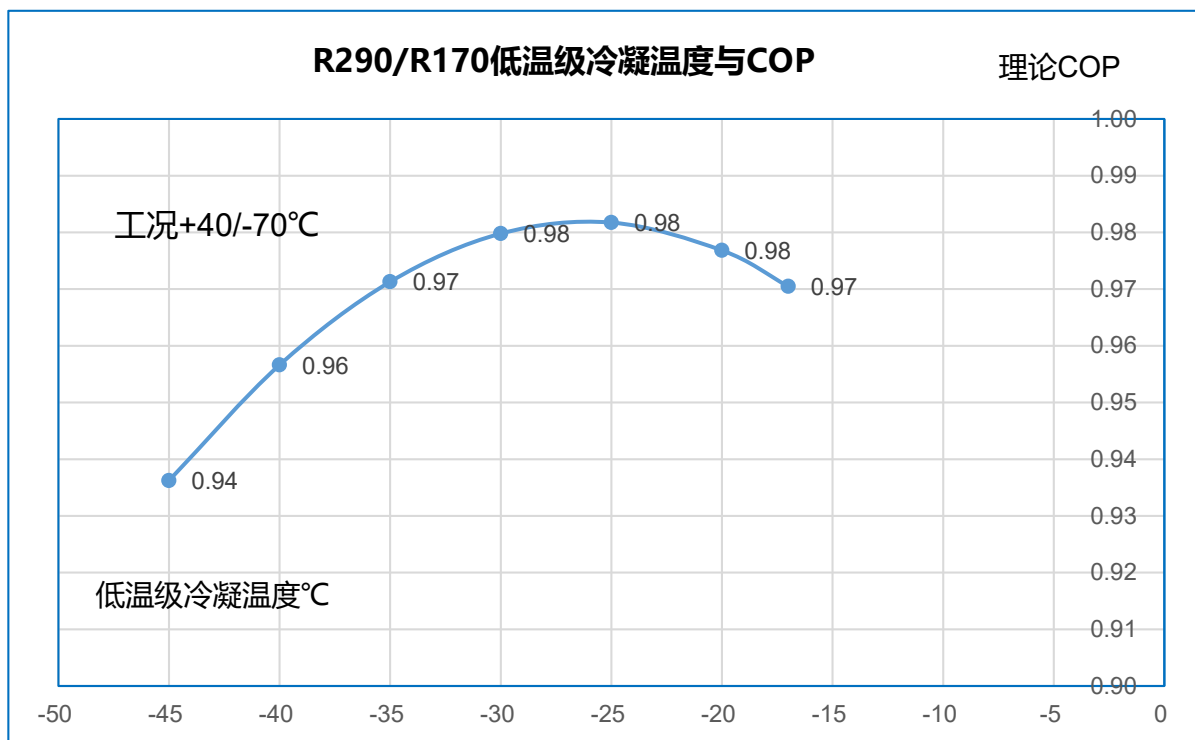
备注：理论循环，冷凝器无过冷，吸气侧无过热
物性采用NIST物性包计算



02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——最佳中间温度确定

最佳中间温度选择推荐值

- 理论COP最高
- 整机效率最高原则：高低温级压比逼近
- 高温级冷却条件限制
- 压缩机的最高工作压力限制

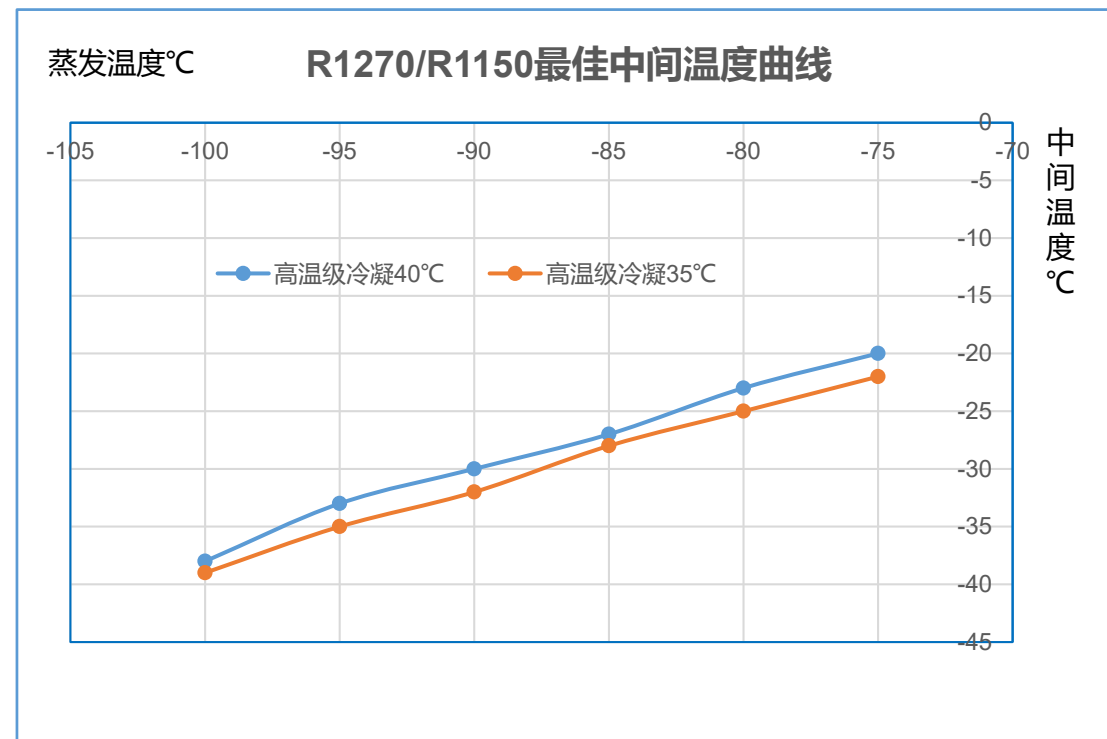
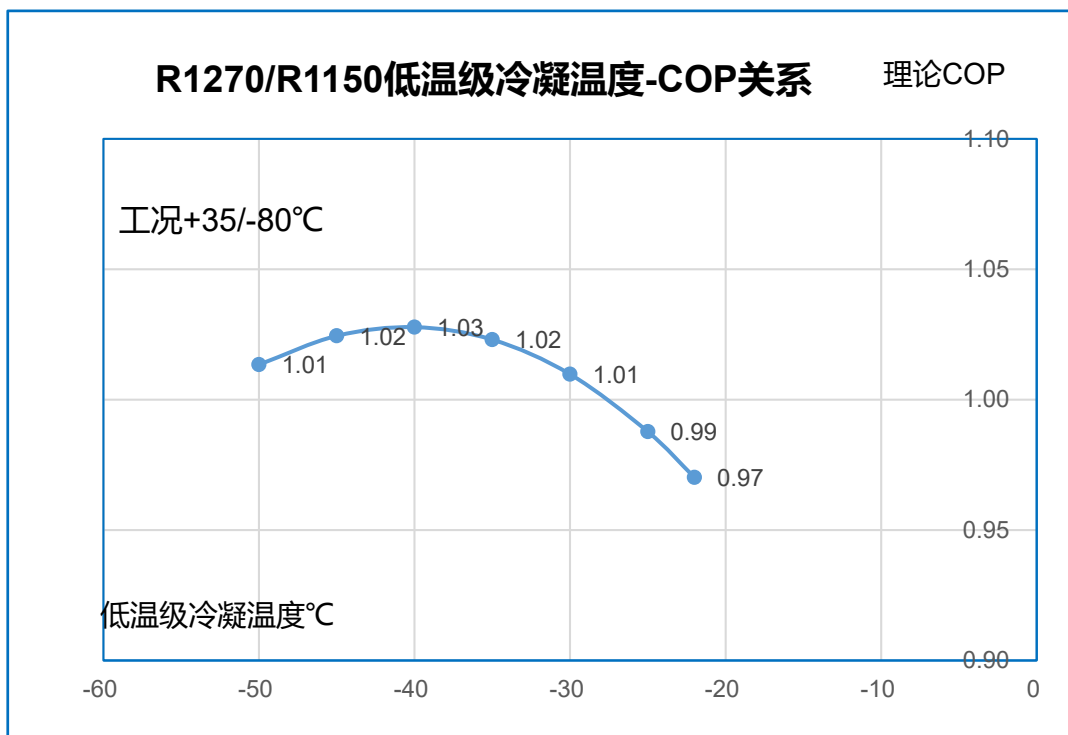


注：按照设计压力25bar给出的推荐值

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——最佳中间温度确定

最佳中间温度选择推荐值

- 理论COP最高
- 整机效率最高原则：高低温级压比逼近
- 高温级冷却条件限制
- 压缩机的最高工作压力限制



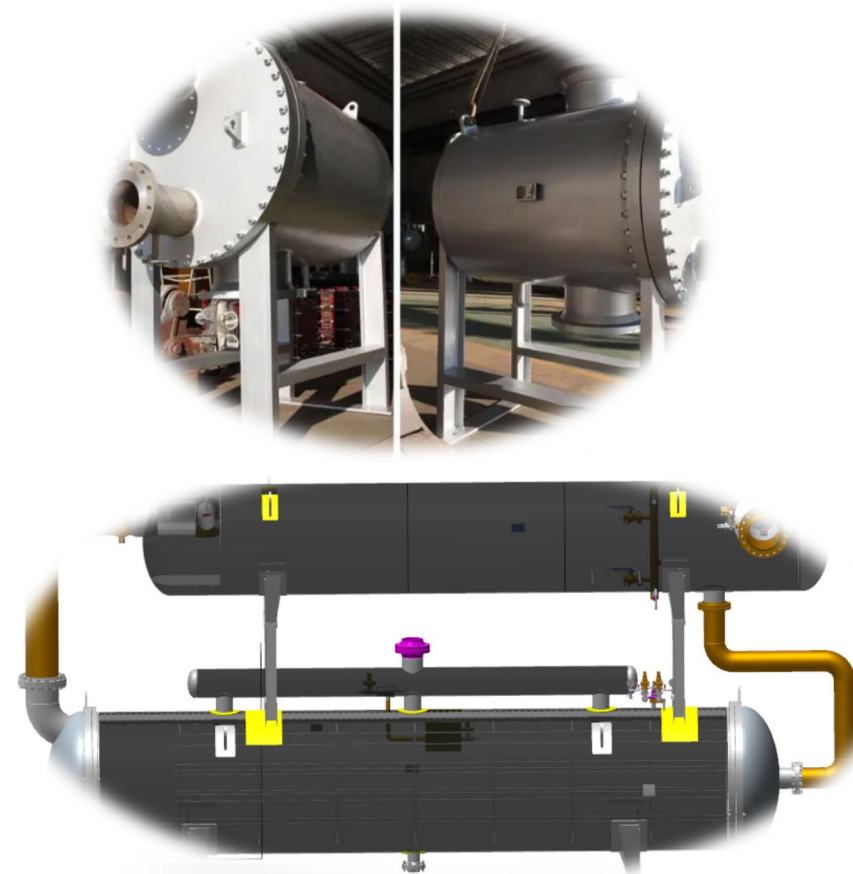
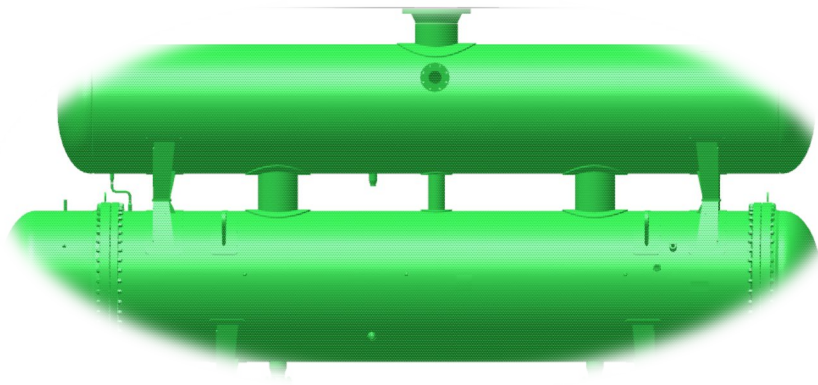
注：按照设计压力25bar给出的推荐值

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——冷凝蒸发器

冷凝蒸发器

- 不断提升换热效率，降低驱动温差 (3~5°C) ；
- 降低充注量

结构形式



供液方式

直接膨胀干式蒸发

小型复叠系统
结构紧凑、控制简单

直膨满液蒸发

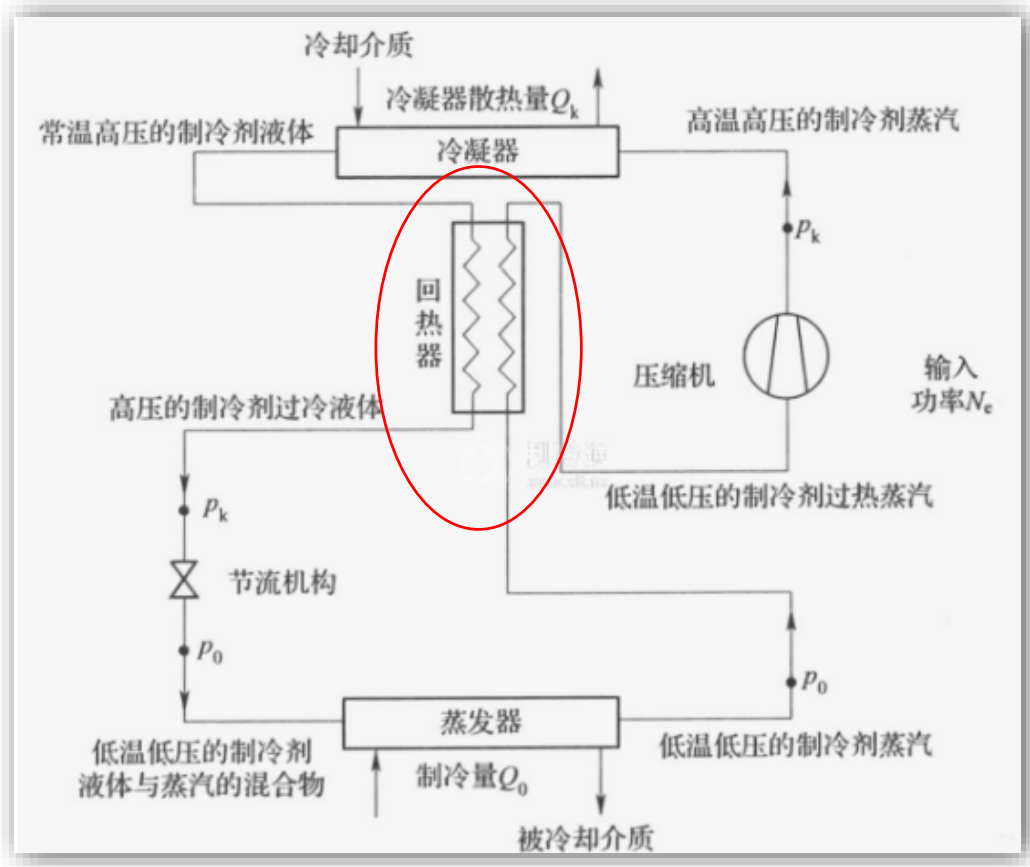
重力虹吸蒸发

中大型系统
根据占地、换热、成本综合选择

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——回热器

回热循环及回热器

- 受压缩机吸气温度的限制，复叠机组需增加回热器
- 一般采用管壳式换热器，设计需考虑阻力降的影响



- 不同制冷剂回热循环对性能的影响

工质	R170	R23	R1150	R23
工况 (°C)	-20/-70		-40/-80	
回热后吸气温 (°C)	-45		-45	
过热度 (°C)	25	25	35	35
制冷量变化比	0.97	0.96	0.92	0.93
轴功率变化比	1	1	0.99	0.99
COP变化比	0.98	0.97	0.94	0.94

注：带回热循环/不带回热循环

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——停机保压

复叠机组低温级停机后的压力维持方案：膨胀容器或维持机组



优缺点对比	膨胀容器	维持机组
是否为动设备	否	是
是否需要应急电源	否	是
操作便捷性	简单	复杂
维护便捷性	无	定期维护
可靠性	高	低
占地面积	大	小
推荐方案	优选	可选

不同工质膨胀后容积的对比情况（设计压力2.3MPa为例）

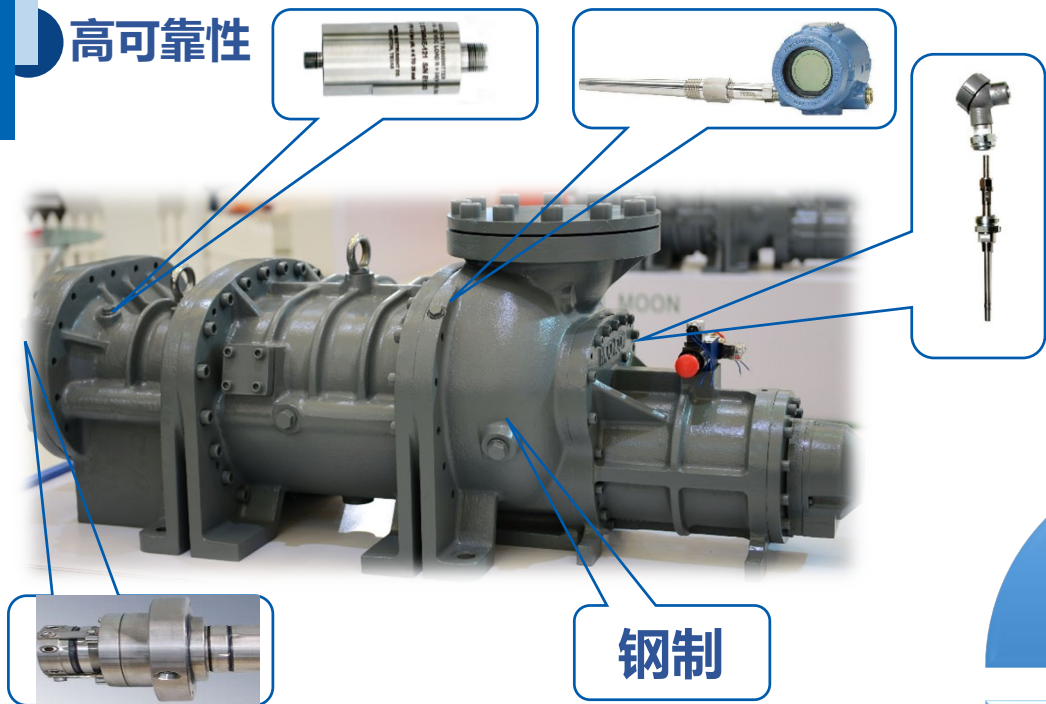
制冷剂	工况 (°C)	贮液器m3	气液相容积比	膨胀后容积m3
R23	-70/-20	10	14.9	45
R170	-70/-20	10	13.1	39
R1150	-85/-40	10	15.6	46

结论

- 结合占地及具体系统大小选择
- 优先推荐选用膨胀容器

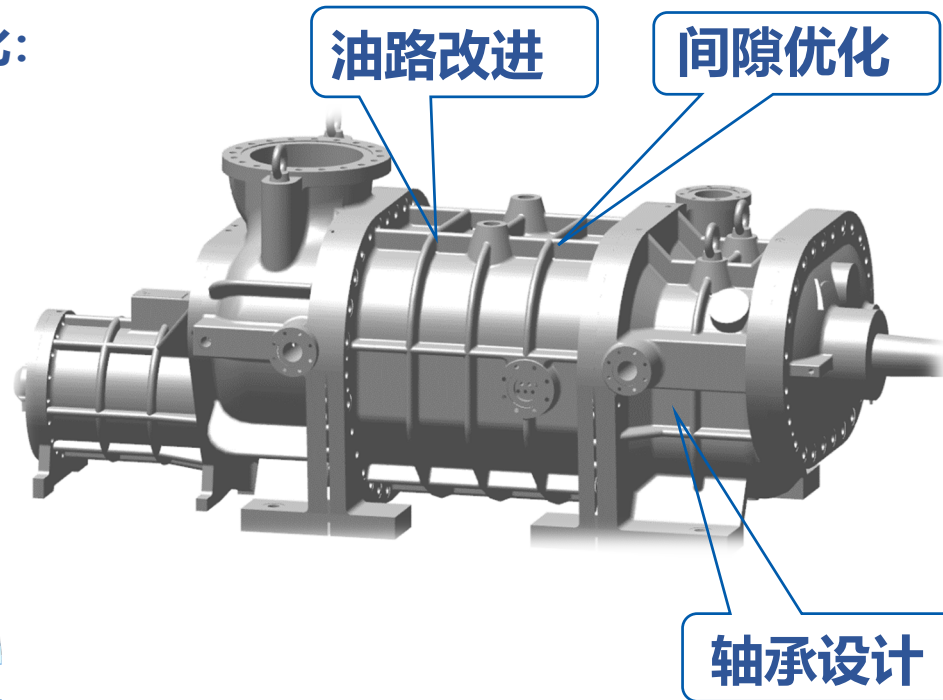
02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——压缩机

高可靠性



钢制

大型化:



油路改进

间隙优化

轴承设计



高可靠性

大型化

特殊设计

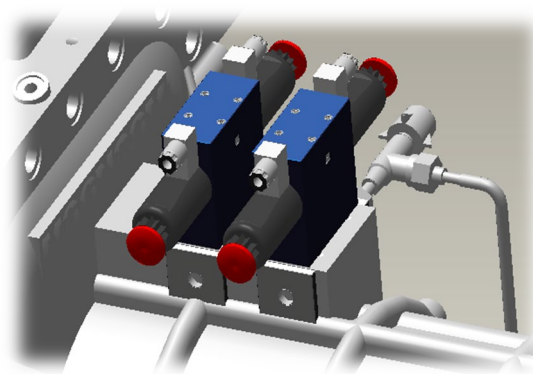
内容积比可调

特殊设计: N.dm



全滑动轴承
可靠性更高

内容积比可调: 集成



02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——润滑油

● 作用

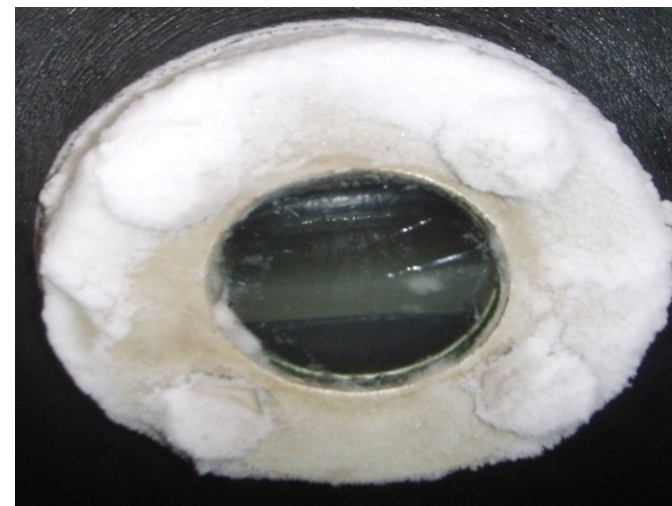
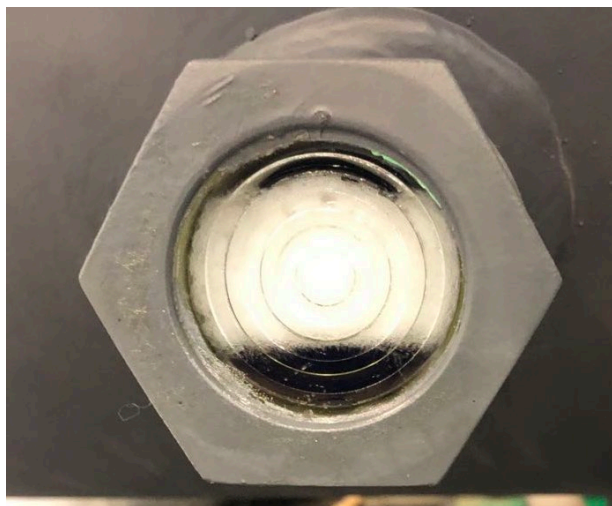


心脏 血液 营养液



● 选型原则

- 介质兼容性：腐蚀性
- 溶解特性：
液相：高温下部分相溶，低温下不溶
气相：不容、饱和蒸气压低
- 系统的回油方式
- 充注量、润滑油牌号
- 成本



02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——分离过滤器

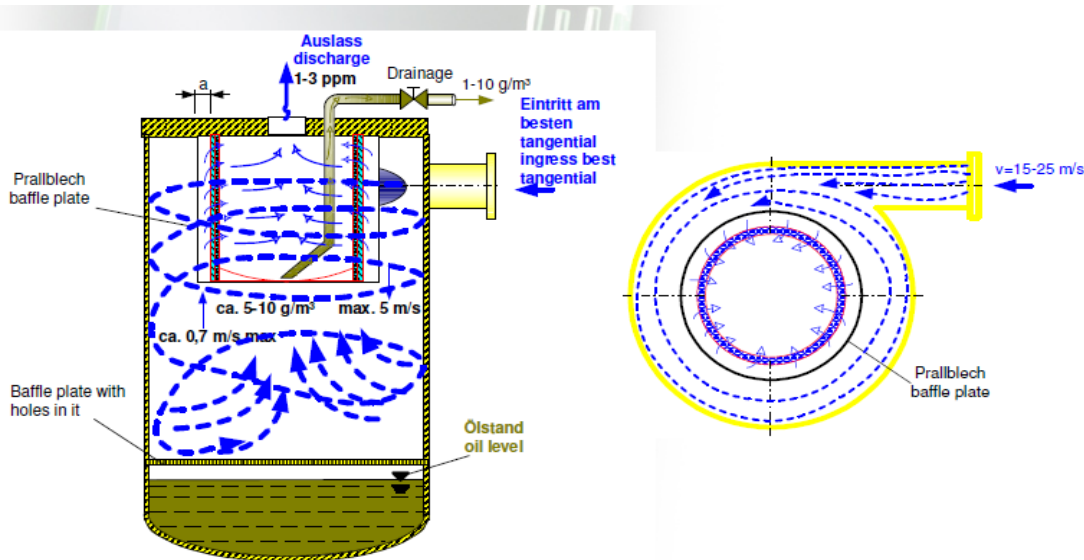
执行标准：API619 fifth edition (ISO10440-1) /API614/ASME/TEMA/GB150

➤ 入口分离器

- ✓ 一般根据末端蒸发器型式及工况波动情况按需配置
- ✓ 入口分离器：卧式、立式 根据机组布置选配
- ✓ 分离效率要求：

➤ 高效油分离器

- ✓ 分离效率：
闭式循环带回油的系统：分离精度1~3PPM
无回油或回油困难系统：<1PPM-**精油分离器**
- ✓ 腐蚀余量：3mm (API619)
- ✓ 油分存油容积：2min retention min/max/normal
(减少频繁充注及系统故障)

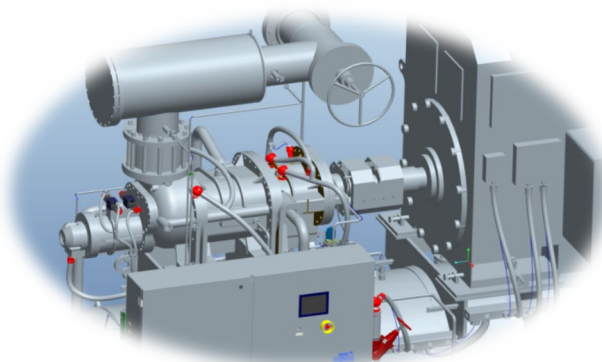


➤ 油过滤器

- ✓ 过滤精度：
轴承、轴封控制系统：10um/99.5%
转子腔喷油：供方与买方协商

02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——控制与保护

● 完善的控制与保护



- ✓ 在线监测：压缩机轴位移、轴承测温、轴承振动、电机振动
- ✓ 3年不停机可靠运行：油泵、过滤器、滤芯等在线不停机切换
- ✓ 仪器仪表：控制连锁点3取2

● 防爆安全设计



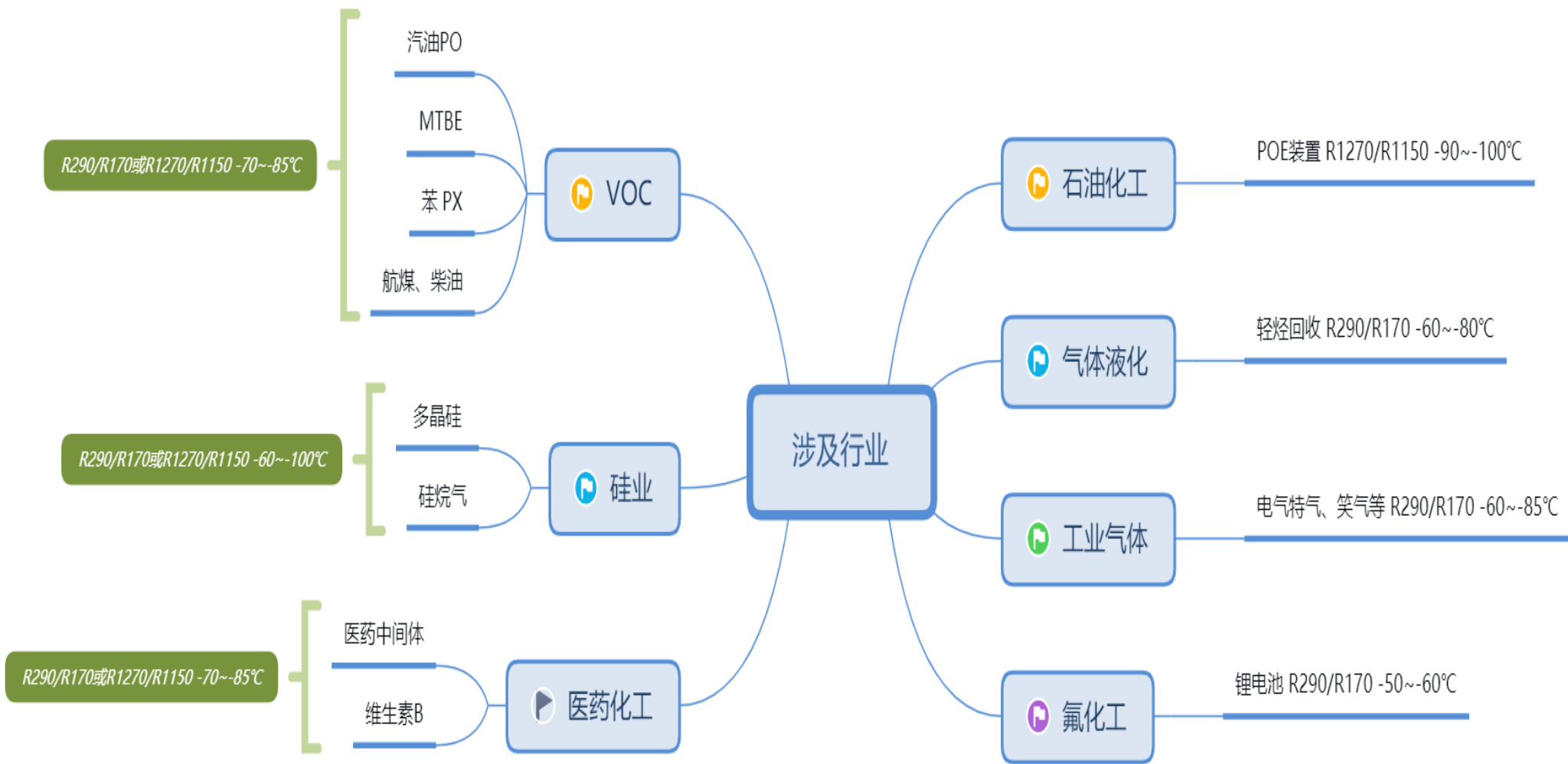
- ✓ 在线浓度监测：在线监测、报警
- ✓ 防爆电气元件或整机防爆认证：CCC认证
自2019/10/1，防爆电气纳入CCC认证管理范畴；自2020/10/1，未取得认证及未标注强制性标志的，不得出厂、销售、进口或在其他经营活动中使用。
(市场监管总局关于防爆电气等产品由生产许可转为强制性产品认证管理实施要求的公告)
- ✓ 安全阀的可靠性：API520/API526



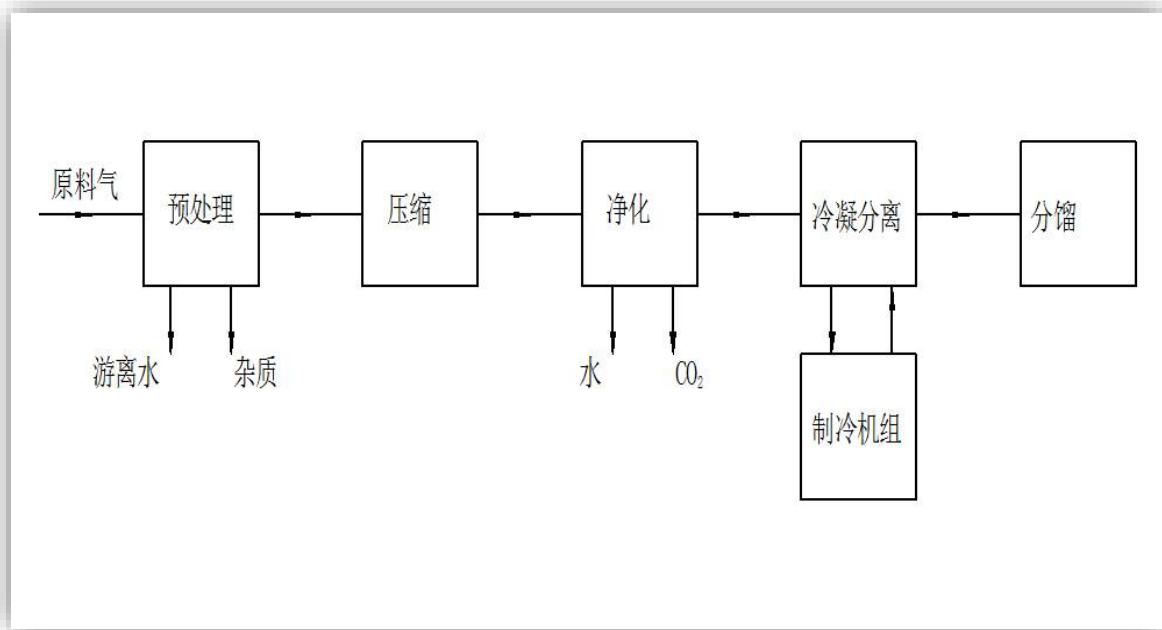
03 典型应用流程及实例

石油化工 · 多晶硅 · 轻烃回收 · VCO回收

03 HCs自然工质复叠机组应用-细分行业



03 典型流程——天然气液化/轻烃回收



工艺：通过制冷机组原料气冷却，使其中各组分冷凝成液，从而进行分离回收，同时对尾气进行回热。

项目/参数	单级	双级	复叠
液化温度℃	-20~-40	-40~-50	-50~-100
制冷剂	R290/R1270	R1270	R1270/R1150 R290/R170

应用领域：油田天然气处理和轻烃回收。

工艺特点：气体组分复杂，流量波动。

典型应用：

天然气冷却、天然气液化、轻烃回收

典型案例：

辽宁某油田公司轻烃回收项目

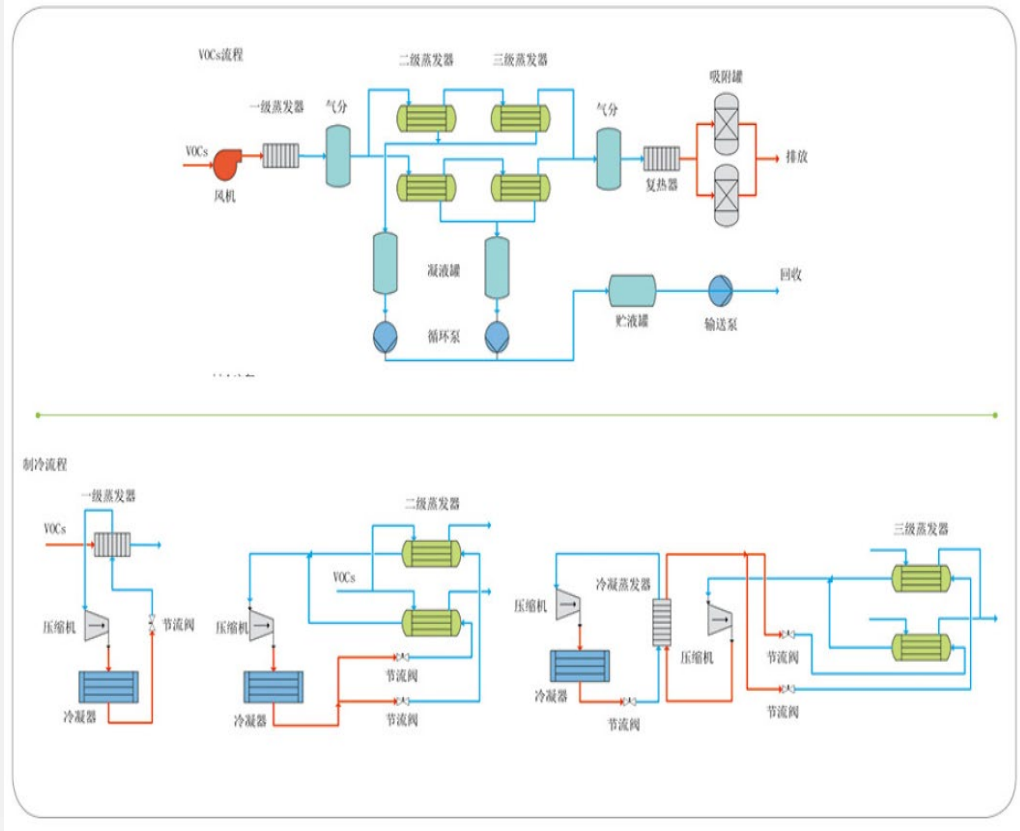
- ✓ 处理气量最高**15万方/天**，入口温度40℃，入口压力1.6MPaG；
- ✓ 一级制冷剂**R290**，二级制冷剂**R290/R170**复叠，装机总功率560kW。
- ✓ 一级冷却至-20℃，二级冷却至-68℃，回温至30℃，**C3收率93%**；

榆林某天然气处理总厂

- ✓ 年天然气处理总量200亿立方米；
- ✓ 回收C₂以上组分，年产量150.2吨；
- ✓ **R290**制冷机组：4台套，总装机功率**5000kW**

03 典型流程—VOC回收

工艺流程



	一级	二级	三级
工况	0/48	-35/+48	-75/-15
制冷剂	R290	R1270	R1270/R1150

🌿 应用领域：石化加工行业VOCs治理；汽油储存、运输行业油气回收。

🌿 工艺特点：VOCs、油气组分复杂；入口气量，温度，浓度波动范围大；入口含水气，需不停机切换蒸发器进行融霜。

应用业绩：某码头装卸船油气回收

🌿 汽油油气处理气量2300m³/h(Max3000m³/h)

🌿 浓度35~50%

🌿 一级冷却至5℃，二级冷却至-30℃，三级冷却至-70℃

🌿 排放浓度小于18g/m³,回收效率>96%

🌿 工艺：采用多级连续冷却的方法，使混合气中的各组分的温度低于凝点从气态变为液态，除水蒸汽外的空气仍保持气态，从而实现VOCs与空气的分离。

03

典型流程——硅烷/多晶硅

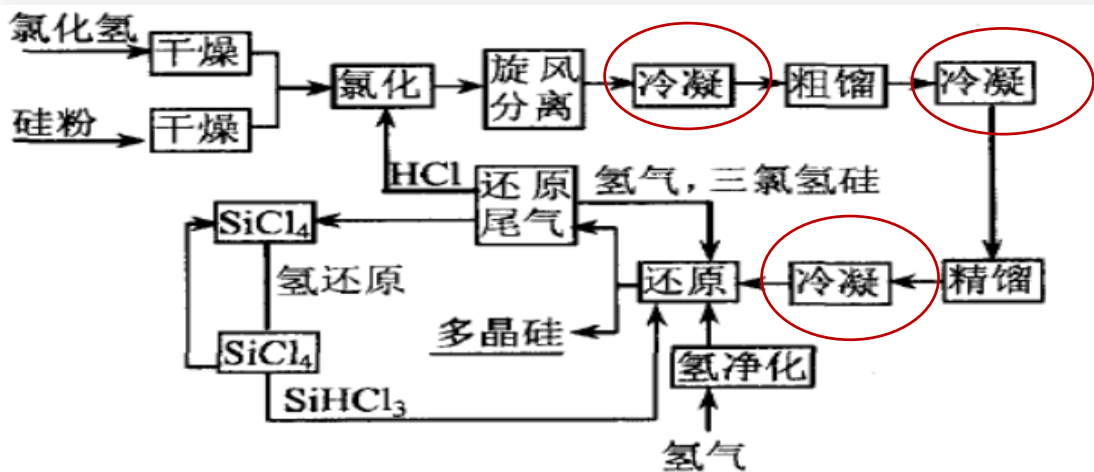


图1 西门子法工艺流程

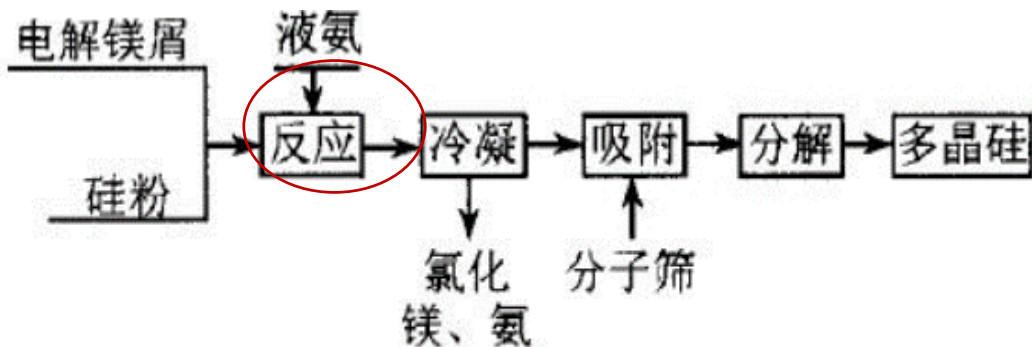


图2 硅烷法工艺流程

🌿 工艺：目前多晶硅工艺中的冷却大都采用直接蒸发或间接冷却，带走不同阶段的反应热。

	冷氢化	还原尾气
蒸发温度 ^{°C}	-30~-45	-55/-65/-90
制冷剂	R1270	R1270/R1150
载冷剂		二氯甲烷

🌿 应用领域：多晶硅、颗粒硅、硅烷

🌿 工艺特点：负荷频繁波动且波动范围大，一般考虑备用机及零负荷待机运行以及负荷波动引起的回气带液问题等。

应用案例：河南某硅烷、徐州某多晶硅

🌿 河南硅烷：R1270/R1150丙烯乙烯复叠

冷氢化：-33^{°C}丙烯盐水

歧化单元：-66^{°C} / -87^{°C}

总装机功率：810kW/2150kW

🌿 徐州某多晶硅

R507A/R1150复叠系统

蒸发温度：-100^{°C}

总装机功率：1600kW

04 总结

工业领域全温区替代氟利昂类制冷剂的最佳选择

一、HCs自然工质特点

- ◆ 环保，可作为替代优选制冷剂
- ◆ 热力性能优异，防爆安全设计
- ◆ 价格低廉易获得

二、HCs压缩机、换热器、系统较成熟，应用需关注

- ◆ HCs压缩机
- ◆ 换热器
- ◆ 单级、双级、复叠系统

三、化工及石油炼化行业应用广泛

- ◆ 精细化工、多晶硅、轻烃回收、低温环境

Natural Refrigerants



R290

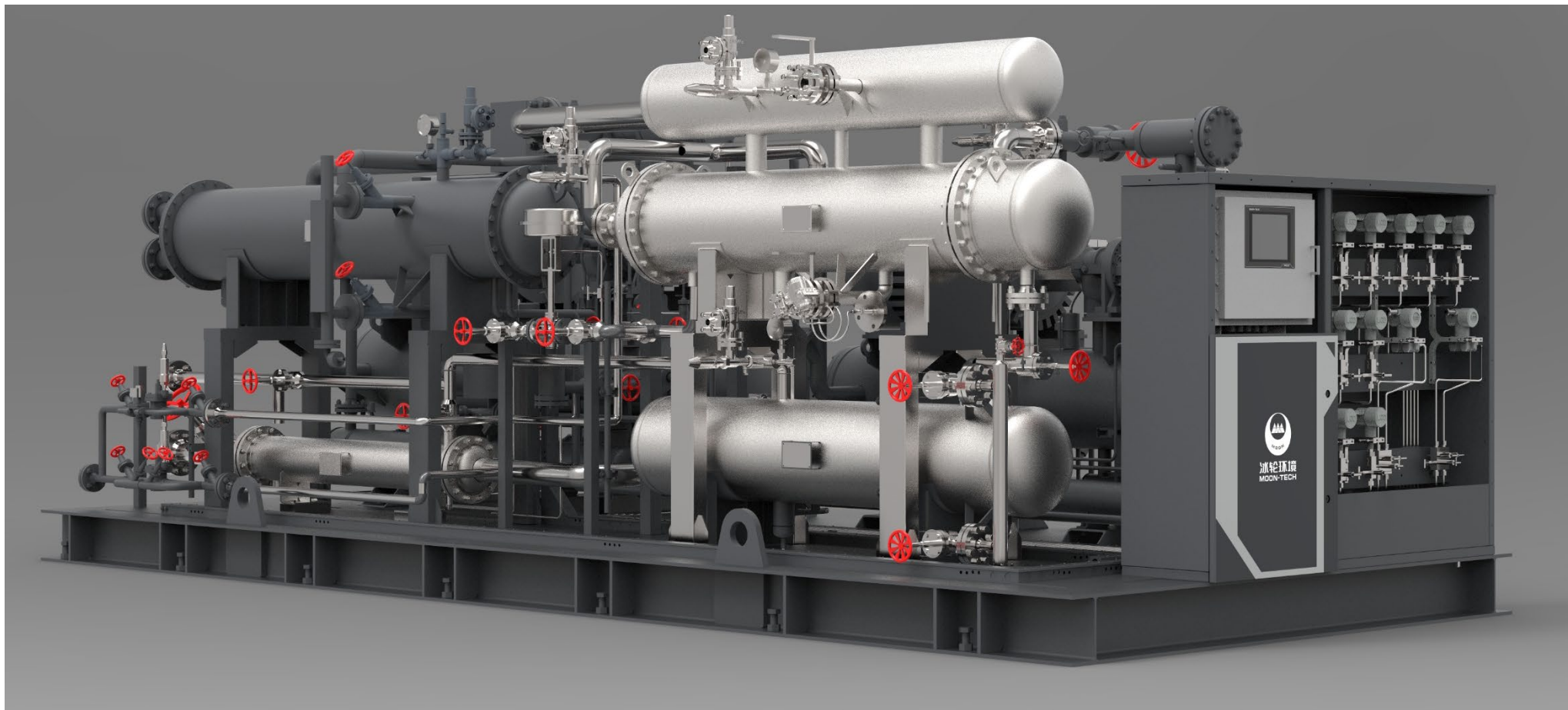
R1270

R170

R1150



冰轮环境 MOONTECH 创新产品



-100°C自然工质复叠机组

04 总结

冰轮环境：完备的产品链 Product

「十七大系列」 万余种类型号

储能蓄能

洁净排放

冻干设备

锅炉产品

螺杆式压缩机组

离心式压缩机组

吸收式制冷（热泵）机组

活塞式压缩机组

涡旋式压缩机组

速冻装置

换热设备

船用制冷设备

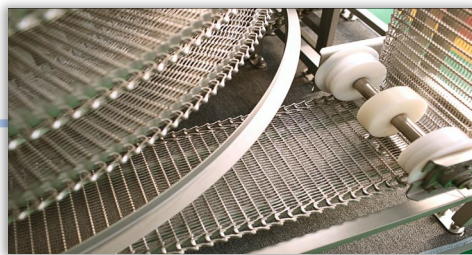
多联机

压力容器

精密铸件

包装仓储

氢能装备

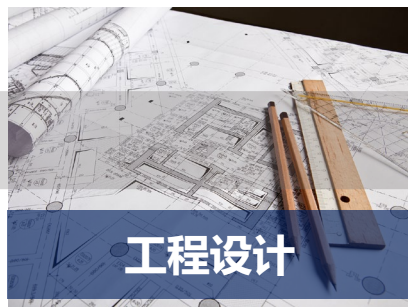


P R O D U C T

04 总结

冰轮环境：完整的增值服务链 Service

智慧冷热系统解决方案服务商



一站式管家服务 提供产品全生命周期服务保障 令用户全程无忧



让温度更有温度
BEYOND JUST TEMPERATURE

致力于人类生活
质量的提高

Making A Better Life

欢迎批评指正