



冰轮环境
MOON-TECH

智慧 绿能 生态

INTELLIGENT·GREEN ENERGY·ECOLOGY



丙烷自然工质螺杆压缩机设计及应用

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

02 丙烷自然工质制冷压缩机设计关键点

03 典型应用流程及案例

04 总结

智慧 绿能 生态

INTELLIGENT·GREEN ENERGY·ECOLOGY

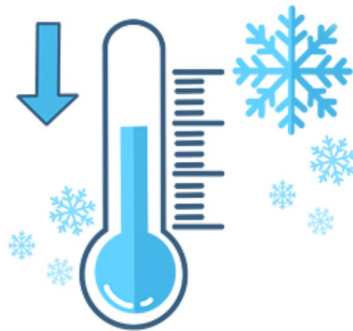


01 HCs自然工质的特点及优势

环保 · 安全 · 高效 · 易获得

01 HCs自然工质+螺杆机组+工业制冷用

应用温区：-100°C以上



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~-100°C 两级复叠

摘：制冷原理与装备（吴业正）



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/R170/R1150是替代R507A /R22/R23的最佳选择

01 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



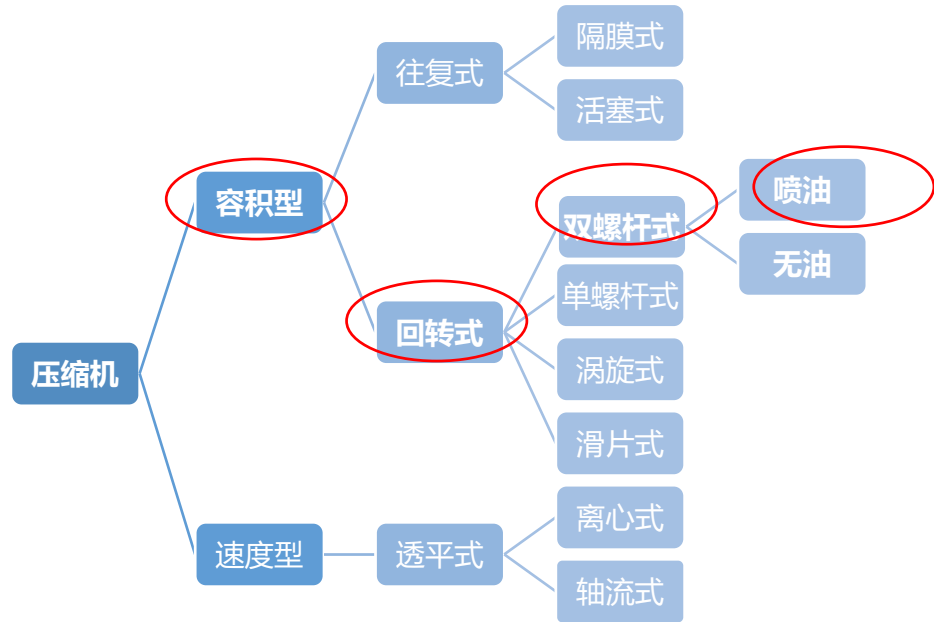
02 HCs自然工质制冷压缩机设计关键点

总体要求 · 压缩机 · 压力容器 · 换热器 · 配套阀门及电气控制

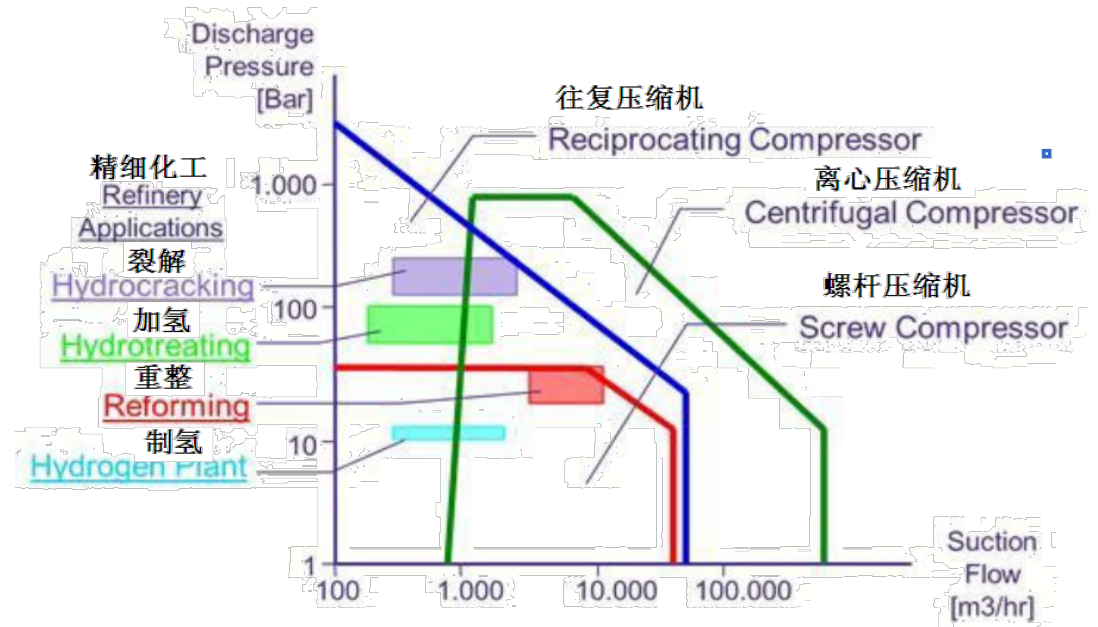
02

R290工质螺杆制冷机组设计——压缩机形式选择

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”。



压缩机分类



不同型式压缩机适用范围

- ✓ 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；

02 R290工质螺杆制冷机设计——总体体系要求与支撑

执行标准

GB、HG、NBT

API、SH、SY

ASHRAE

ASME/TEMA、IEC

认证资质



U Stamp



ATEX
Ex



APIQ体系

TS

体系支撑

基础体系

固定式压力容器规则设计 (A1A2A3)
(大型≥ 2m 高压 ≤ 35MPa、球罐)

空冷式热交换器产品
安全注册A2 (P ≤ 10MPa)

安全

可靠

大型化



冰轮环境
MOON-TECH

压缩机执行标准：API619 fifth edition (ISO10440-1) /GB/T25357/GB/T19410

5.2.8 Casings shall be made of steel if

- a) the rated discharge gauge pressure is over 2 750 kPa (27,5 bar; 400 psi),
- b) the discharge temperature is over 260 °C (500 °F);
- c) the gas is flammable or toxic.

NOTE In cases where cast-iron casings are acceptable, other considerations such as repair ability of the casing due to close rotor/casing clearances can be a consideration in specifying a steel casing.

5.5.1.2 Shafts shall be forged steel unless otherwise approved by the purchaser.

5.6.1.8 If either the process or seal-support fluid are toxic or flammable, a separation seal is required in addition to the primary seal to prevent leakage to the atmosphere or to the bearing housing. This separation seal shall be capable of acting as a temporary, emergency backup seal should the primary seal fail during operation. The second seal in a tandem seal or a separate single or double seal may be used as the separation seal. Flammable liquids shall be as defined in NFPA 30. See Figures 2 and 3 for typical arrangements of separation seals.

6.4.4.3 Vibration and position detectors

- **6.4.4.3.1** If specified, non-contacting vibration and axial-position transducers shall be supplied, installed, and calibrated in accordance with ANSI/API 670. See Figures B.3 and B.4.
- **6.4.4.3.2** If specified, seismic-vibration transducers shall be supplied, installed and calibrated in accordance with ANSI/API 670.
- **6.4.4.3.3** If specified, vibration, axial position and seismic monitors shall be supplied and calibrated in accordance with ANSI/API 670.

6.4.4.4 Bearing temperature monitor

- If specified, a bearing-temperature monitor shall be supplied and calibrated in accordance with ANSI/API 670. See Figures B.5 and B.6.

NOTE Due to size restrictions, there is the possibility of not being able to incorporate bearing-temperature monitoring on smaller models of compressors. On oil-flooded screw compressors, bearing-temperature monitoring might not be practical.

材料/加工工艺/
加工设备的更改

密封要求的升级

可靠性的提高

压缩机执行标准: API619 fifth edition (ISO10440-1) /GB/T25357/GB/T19410

Table 6 — Bearing selection

Condition	Bearing type and arrangement
Radial and thrust bearing speed and life within limits for rolling element bearings and Machine energy density below limit	Rolling element radial and thrust
Radial bearing speed or life outside limits for rolling element bearings and Thrust bearing speed and life within limits for rolling element bearings and Machine energy density below limit	Hydrodynamic radial and rolling element thrust or Hydrodynamic radial and thrust
Radial and thrust bearing speed or life outside limits for rolling element bearings or Machine energy density above limit	Hydrodynamic radial and thrust

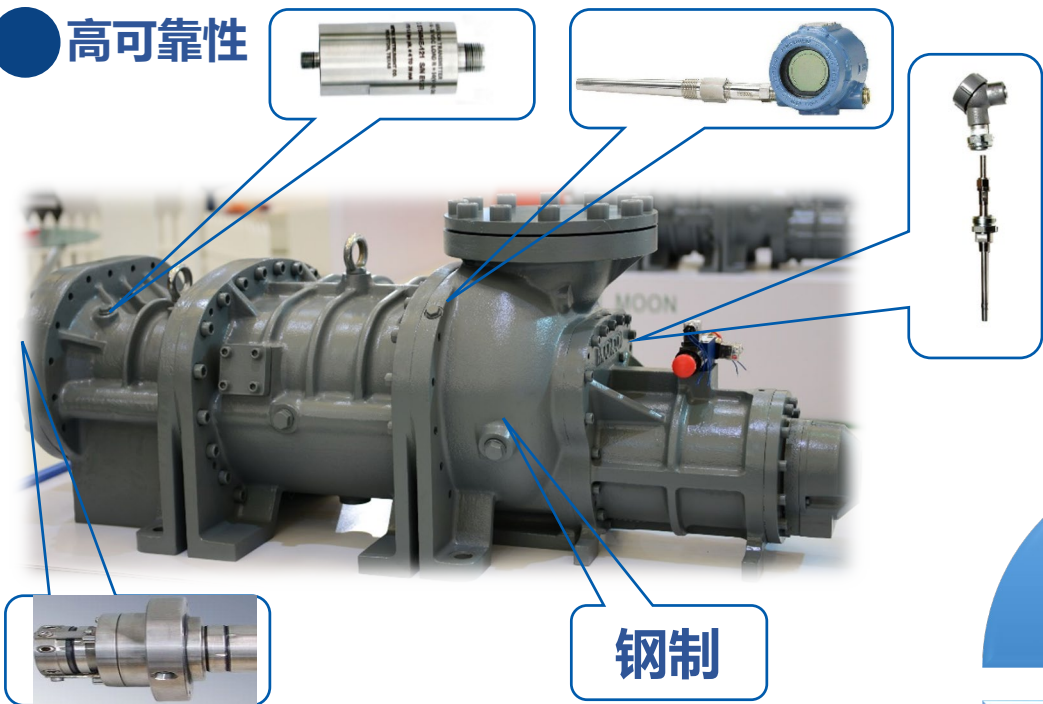
Table 7 — Bearing limits

Limiting Factor	Conditions
Rolling element bearing speed	Factor ^a $N \cdot d_m$ shall not exceed the following values for pressurized oil-lubricated bearings ^b : Bearing type $N \cdot d_m$ Radial: single-row ball bearings 500 000 cylindrical-roller bearings Radial: tapered roller bearings 350 000 spherical roller bearings Thrust: single-row ball bearings 350 000 Thrust: double-row angular-contact tapered roller bearings 300 000 250 000
Rolling element bearing life	Basic rating, L_{10} , in accordance with ISO 281 ^c of at least 50 000 h with continuous operation at rated conditions, and at least 32 000 h at maximum radial and axial loads and rated speed. NOTE The calculated bearing life is based on lubrication with clean, filtered oil. In oil-flooded screw compressors, aggressive and/or contaminated process gases can significantly shorten the actual bearing life.
Energy density	When the product of machine-rated power, expressed in kW (hp), and rated speed, expressed in rev/min, is $4,0 \times 10^6$ kW/min ($5,4 \times 10^6$ hp/min) or greater, hydrodynamic radial and thrust bearings are required.
^a	N is the rotative speed, expressed in revolutions per minute; d_m is the mean bearing diameter, $(d + D)/2$, expressed in millimetres; D is the bearing outer diameter, expressed in millimetres; d is the bearing inner diameter, expressed in millimetres.
^b	For flooded screw compressors with special directed (jet) lubrication arrangement, the acceptable $N \cdot d_m$ factor for radial and thrust ball bearings may be increased according to the bearing manufacturer's recommendation.
^c	For the purpose of this provision, ABMA Standard 9 is equivalent to ISO 281.

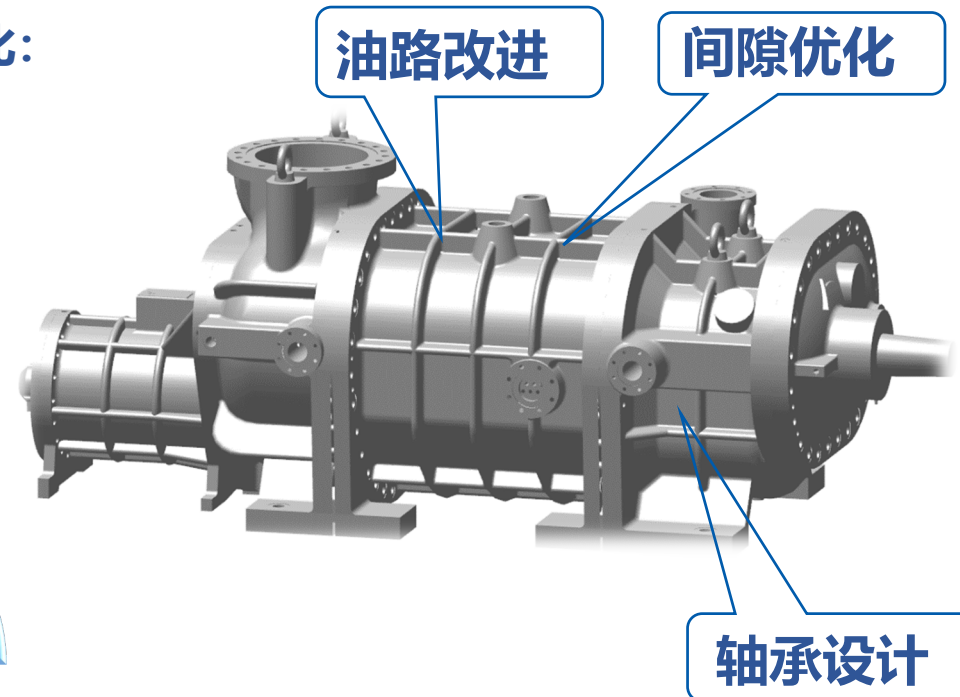
额定功率超过1350kW
(转速2960r/min)
API标准推荐配置流体
动压轴承

02 R290工质螺杆制冷机组设计——压缩机

● 高可靠性



● 大型化:

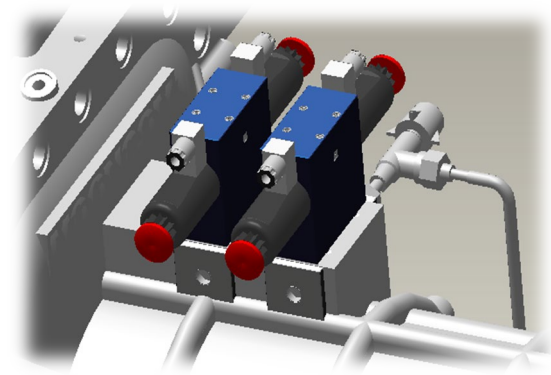


● 特殊设计: N.dm



全滑动轴承
可靠性更高

● 内容积比可调: 集成



02 R290工质螺杆制冷机组设计——润滑油

● 作用

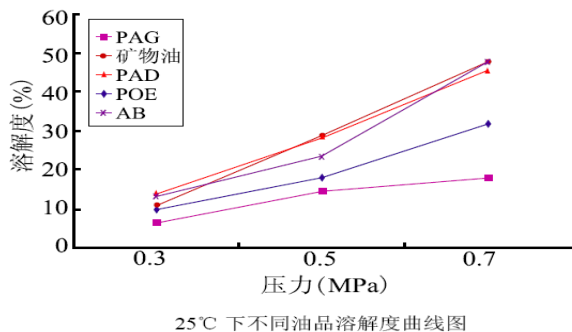


心脏 血液 营养液



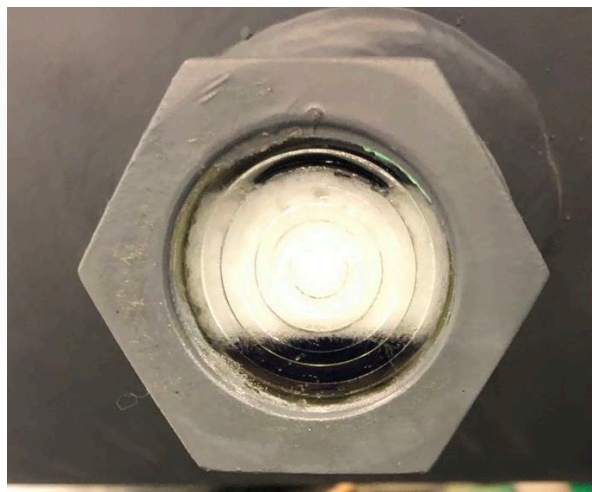
● 选型原则

- 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



25°C 下不同油品溶解度曲线图

不同润滑油与R290在25°C时的溶解度曲线

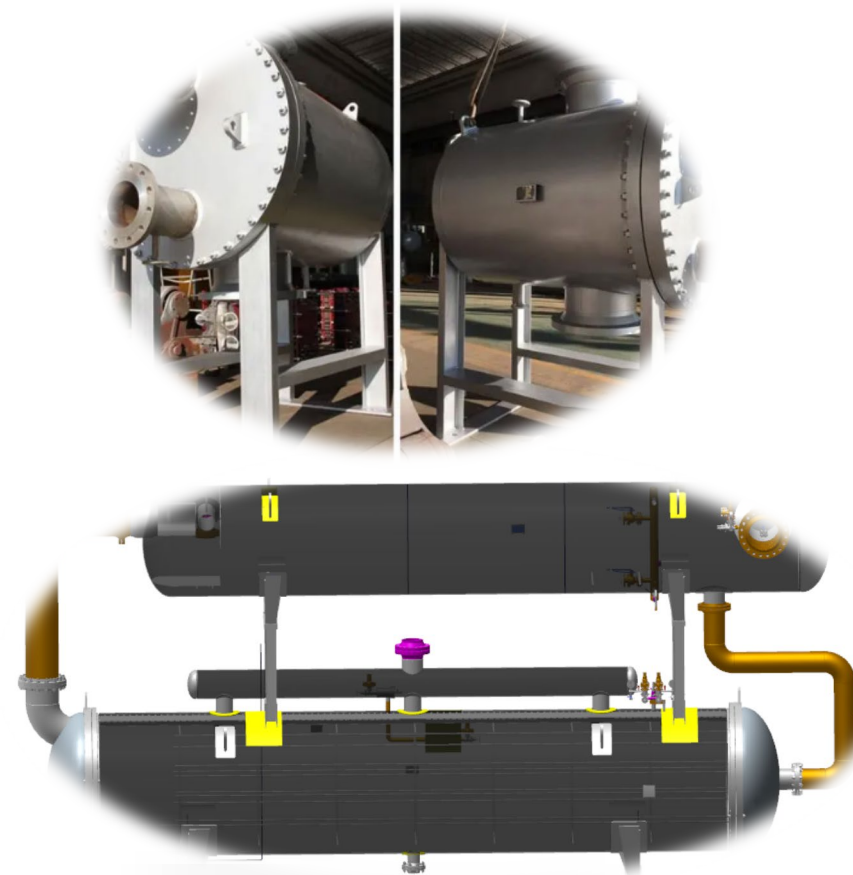
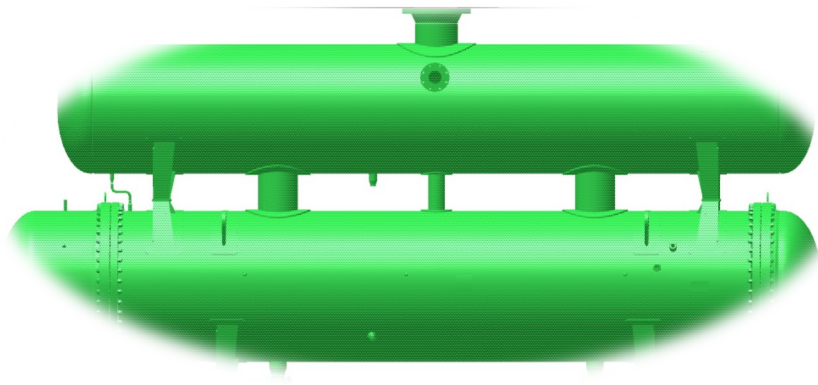


02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——蒸发器

蒸发器

- 不断提升换热效率，降低驱动温差（3~5℃）；
- 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——分离过滤器

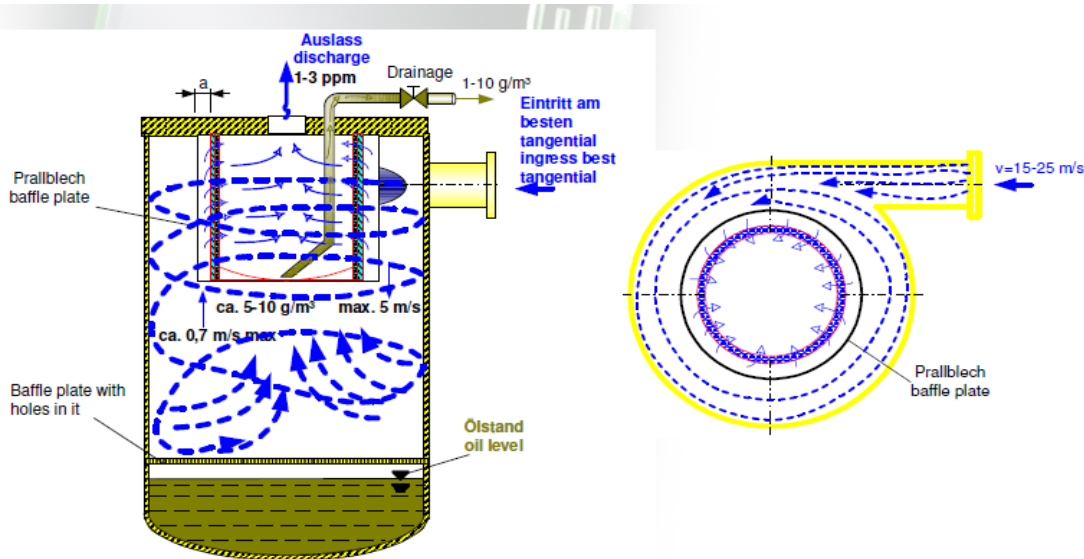
执行标准：API619 fifth edition (ISO10440-1) /API614/ASME/TEMA/GB150

➤ 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)

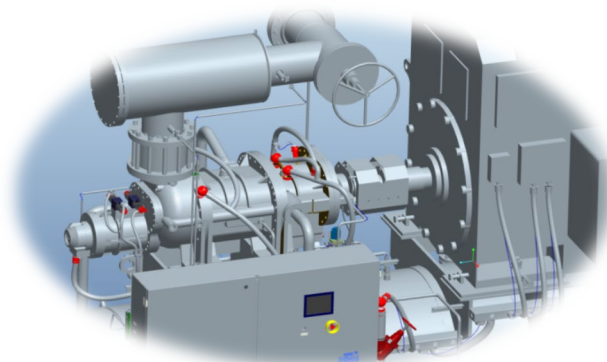


➤ 油过滤器

- ✓ 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

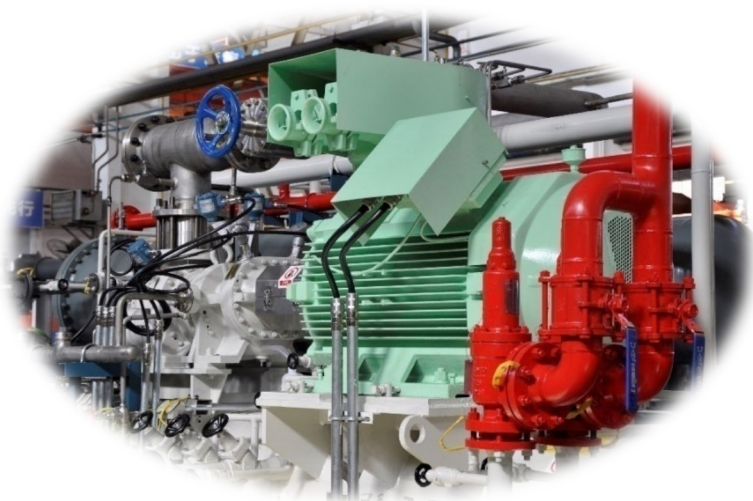
02 HCs自然工质复叠螺杆机组关键技术——控制与保护

● 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



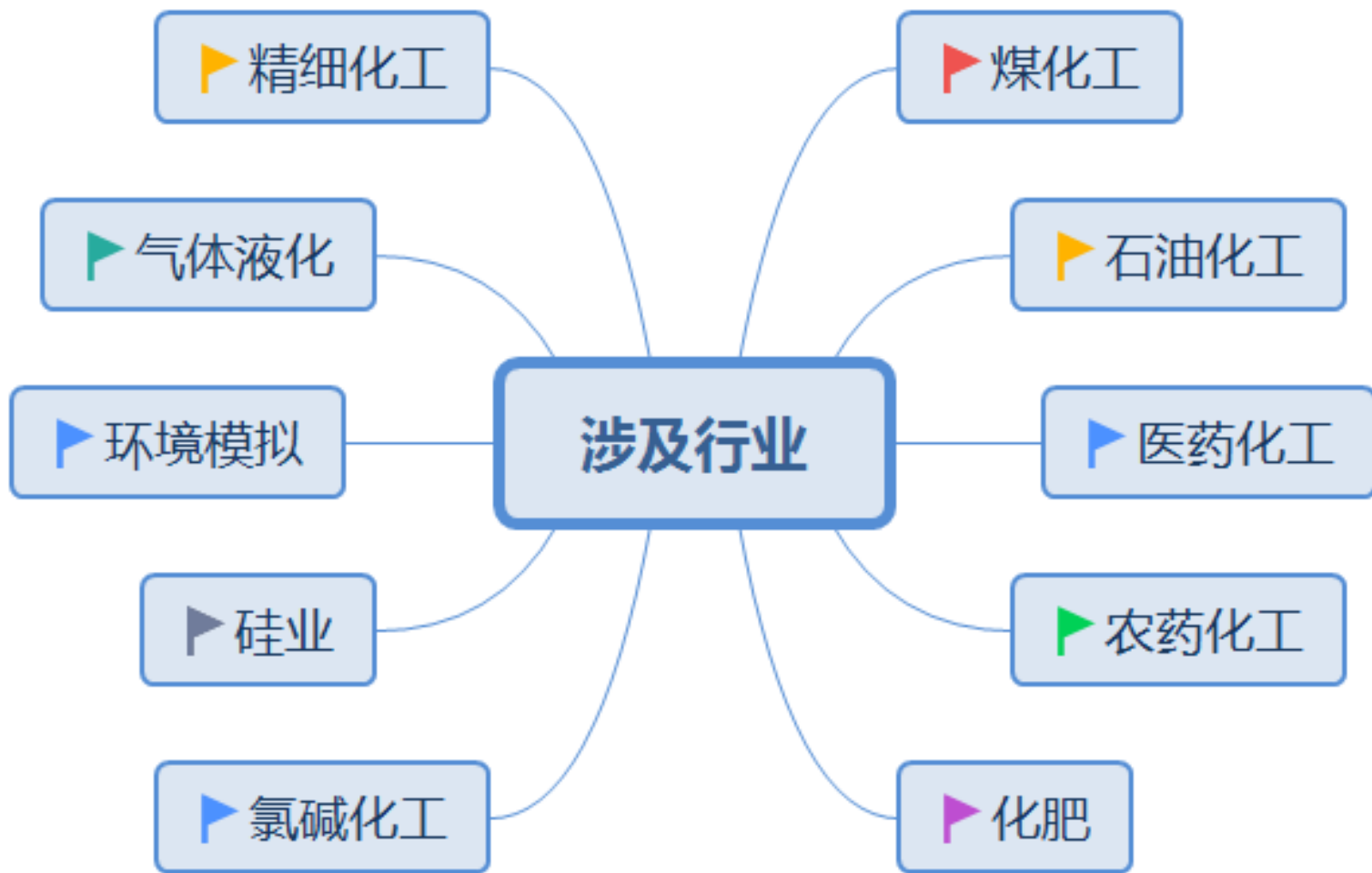
- ✓ 在线浓度监测：在线监测、报警
- ✓ 防爆电气元件或整机防爆认证：CCC认证
自2019/10/1，防爆电气纳入CCC认证管理范畴；自2020/10/1，未取得认证及未标注强制性标志的，不得出厂、销售、进口或在其他经营活动中使用。
(市场监管总局关于防爆电气等产品由生产许可转为强制性产品认证管理实施要求的公告)
- ✓ 安全阀的可靠性：API520/API526 回座压力/排放压力上限 (93%/110%)



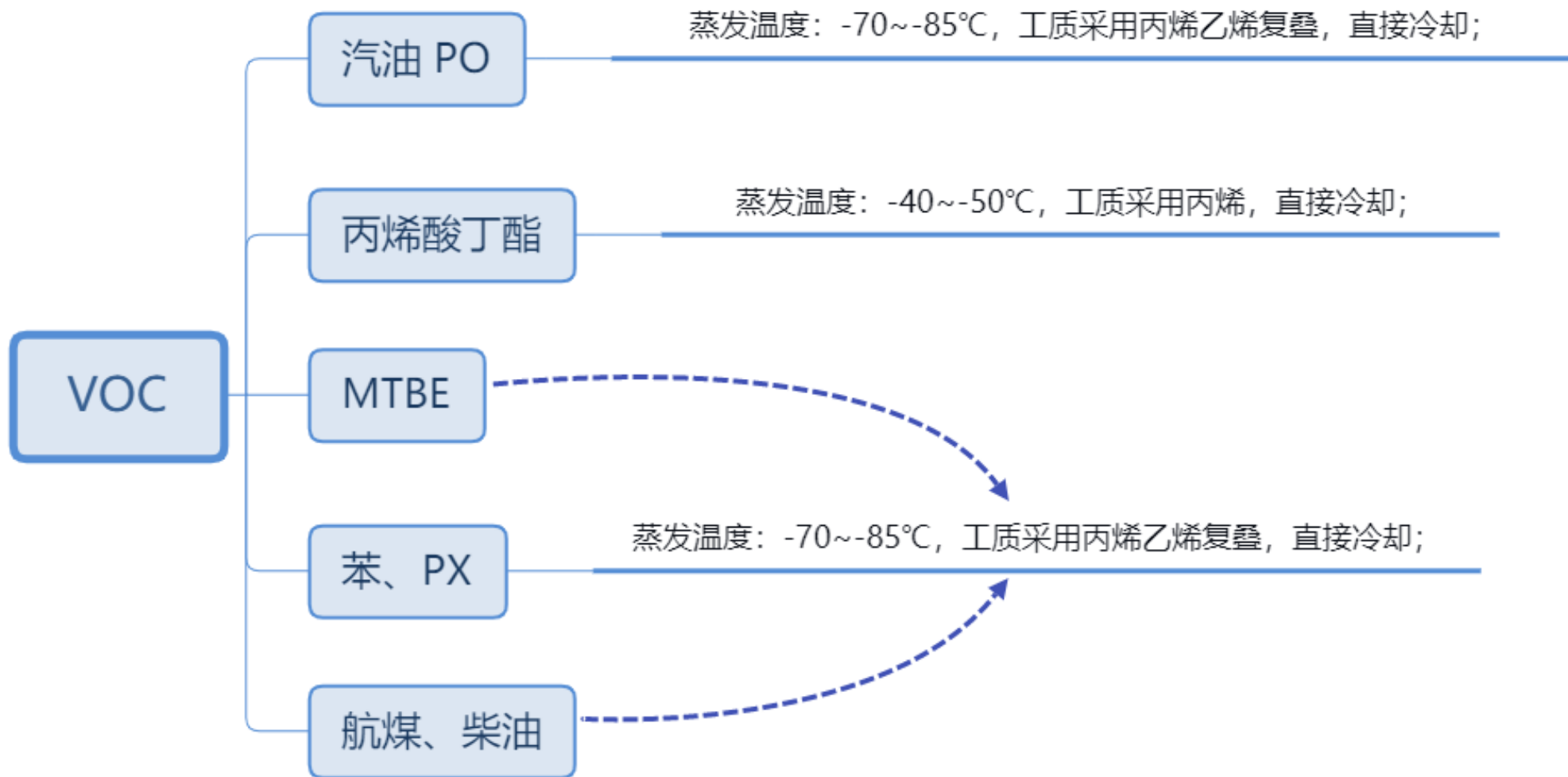
03 典型应用流程及实例

石油化工 · 多晶硅 · 轻烃回收 · VCO回收

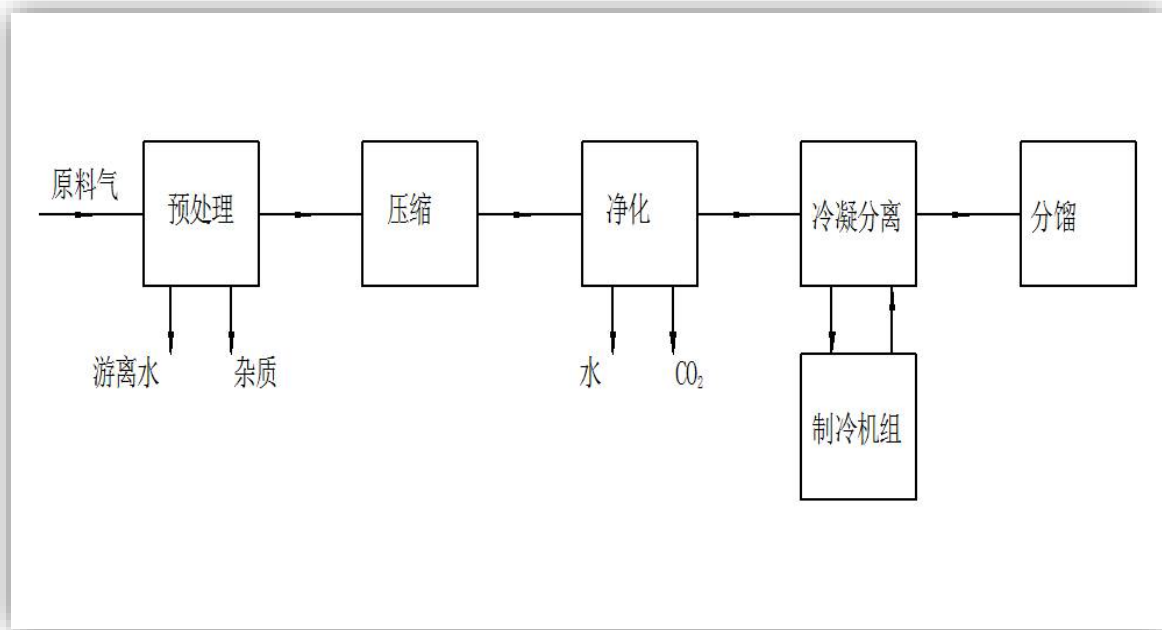
03 HCs自然工质复叠机组应用-细分行业



03 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	单级或双级
液化温度 ℃	-20~-40	-40~-50	-50~-100	<-100
制冷剂	R290/R1270	R1270	R1270/R1150 R290/R170	混合冷剂

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

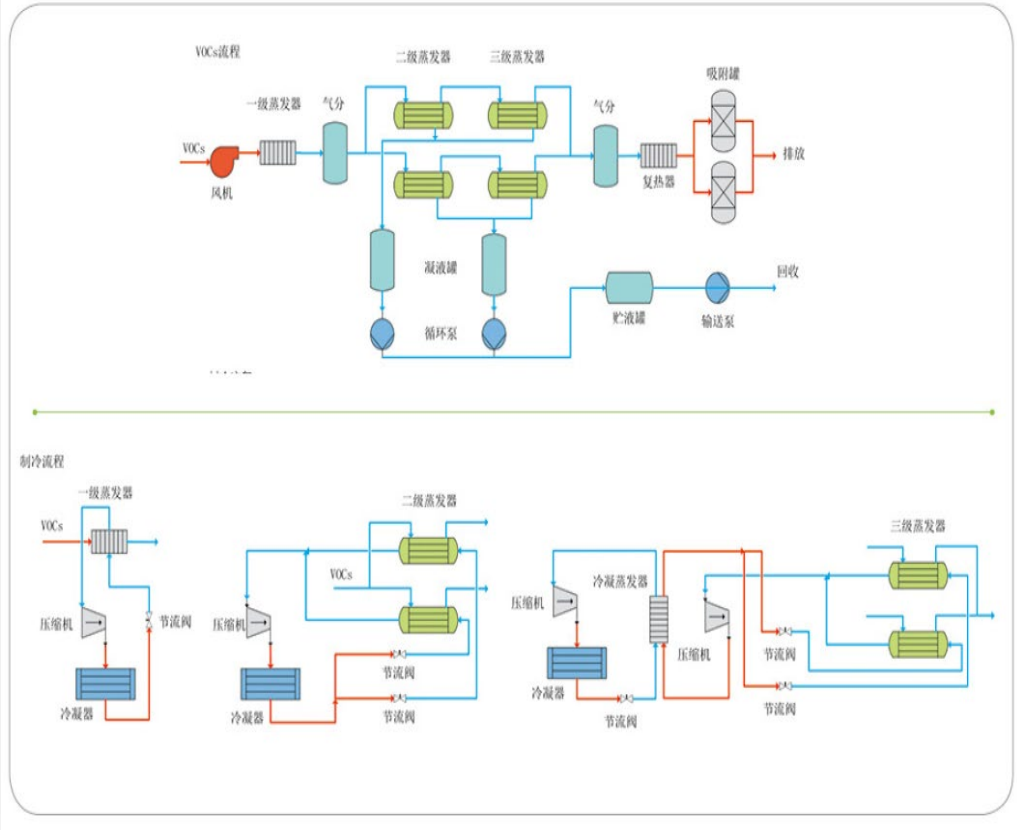
- ✓ 处理气量最高**15万方/天**，入口温度40℃，入口压力1.6MPaG；
- ✓ 一级制冷剂**R290**，二级制冷剂**R290/R170**复叠，装机总功率560kW。
- ✓ 一级冷却至-20℃，二级冷却至-68℃，回温至30℃，**C3收率93%**；

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

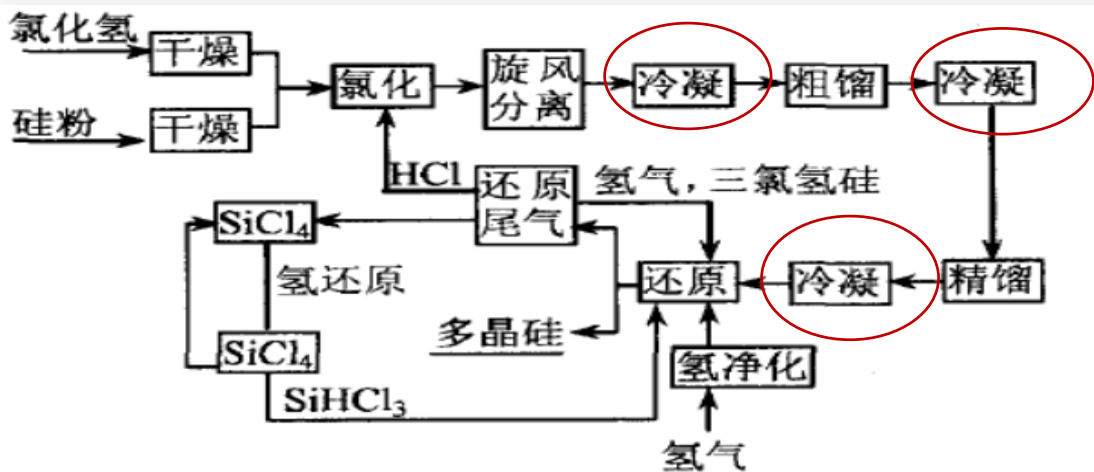


图1 西门子法工艺流程

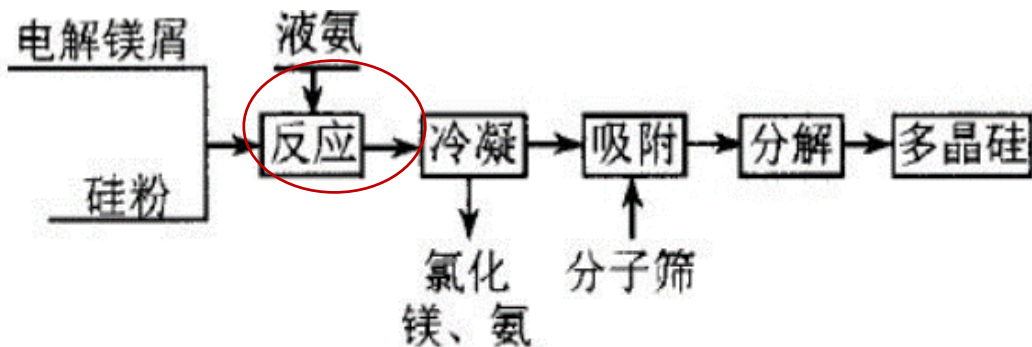


图2 硅烷法工艺流程

🌿 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

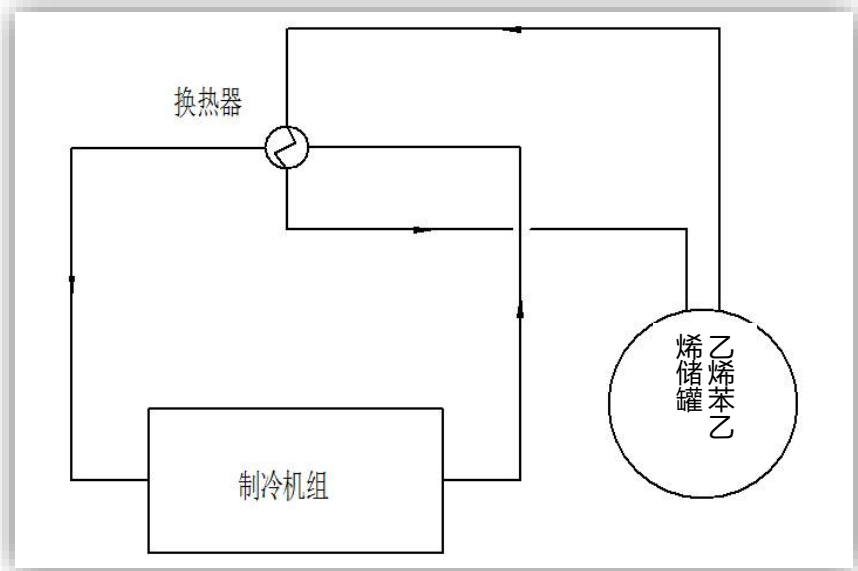
🌿 徐州某多晶硅

R507A/R1150复叠系统

蒸发温度：-90^{°C}

总装机功率：1600kW

03 HCs自然工质复叠机组应用-细分行业



应用领域：乙烯产品存储运输、苯乙烯罐区保冷。

工艺特点：

✓ 维持机组需要待机运行，随时启动，频繁启停

✓ 乙烯压力 > 2.0MPa，温度~-30~-37℃。

✓ 苯乙烯：产品温度10~20℃，出水温度5℃

典型应用案例：

宁夏某能源公司/延长某油田乙烯维持制冷机组

✓ 乙烯处理量60万吨/年，入口温度-29℃，出口温度-35℃，入口压力2.3MPaG；

✓ 制冷工况-40/40℃，制冷剂R1270，装机总功率185kW。

安徽某新材料公司：35万吨/年苯乙烯生产储运

✓ 双工况运行：10/5℃乙二醇及40/0℃乙烯液

✓ 总制冷量：6400kW，总装机功率2000kW

山东某化工公司：160万吨/年催化裂化项目

✓ 2X2万立乙烯储罐：直接蒸发-43℃

✓ 总制冷量：1600kW，总装机功率1500kW

工艺：

✓ 乙烯贮罐因冷损失，造成乙烯蒸发形成气体。

乙烯气体通过制冷机组进行冷却冷凝，再返回贮罐。

✓ 苯乙烯储存过程中易发生聚合反应

(离子机理/自由基机理)，自由基机理——热激发

一般通过制冷机组维持最佳储存温度，保证苯乙烯

的品质。

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

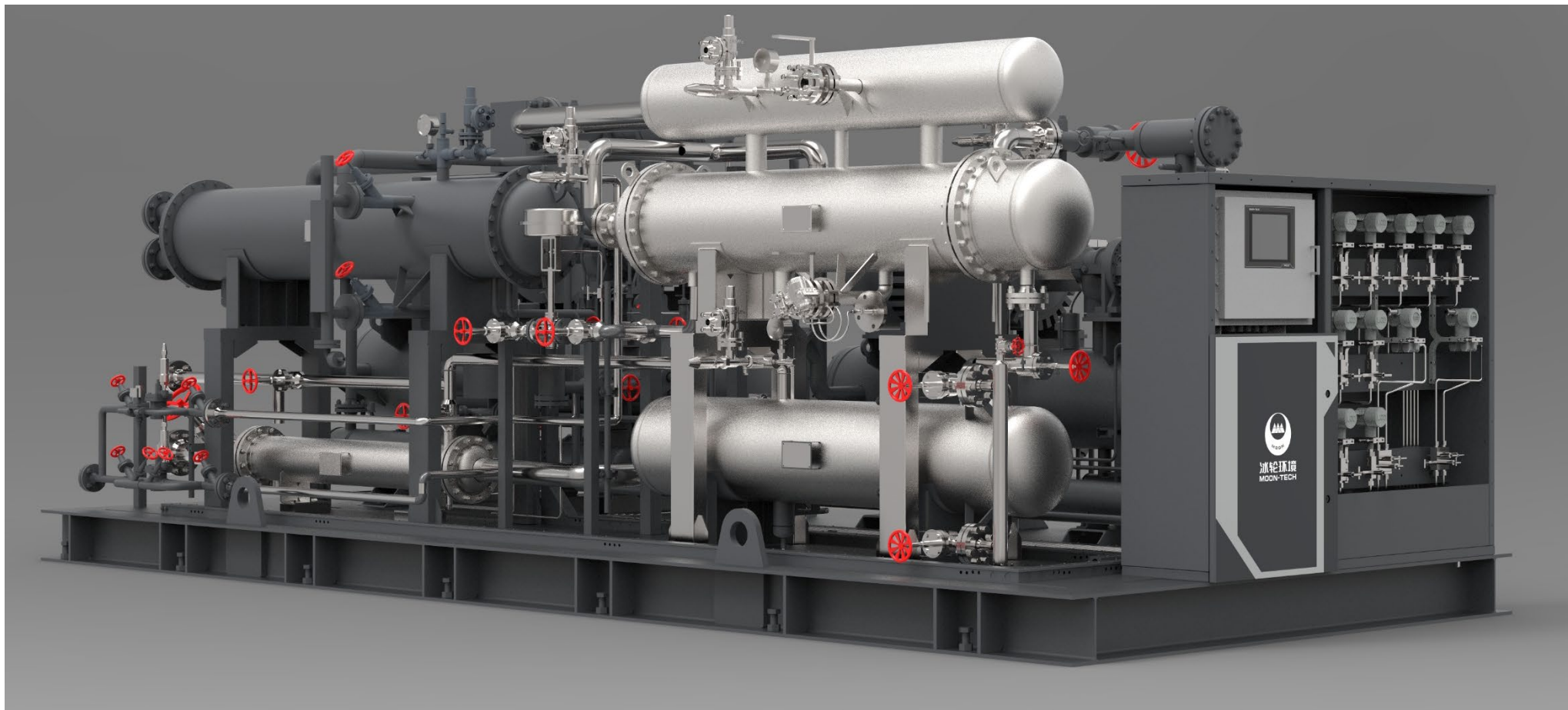
R1270

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

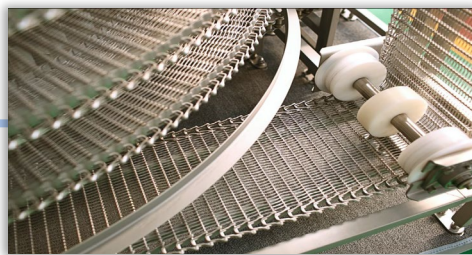
多联机

压力容器

精密铸件

包装仓储

氢能装备

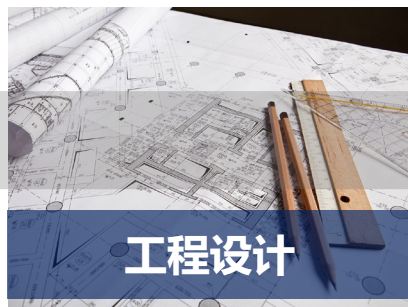


P R O D U C T

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