

# 富士豪

## 环境友好型制冷剂的压缩 系统的性能研究

主讲人：富士豪中国·技术部经理

金 伟 150 2187 3189

邮 箱：engineer-china@frascold.net

富士豪

# 提纲

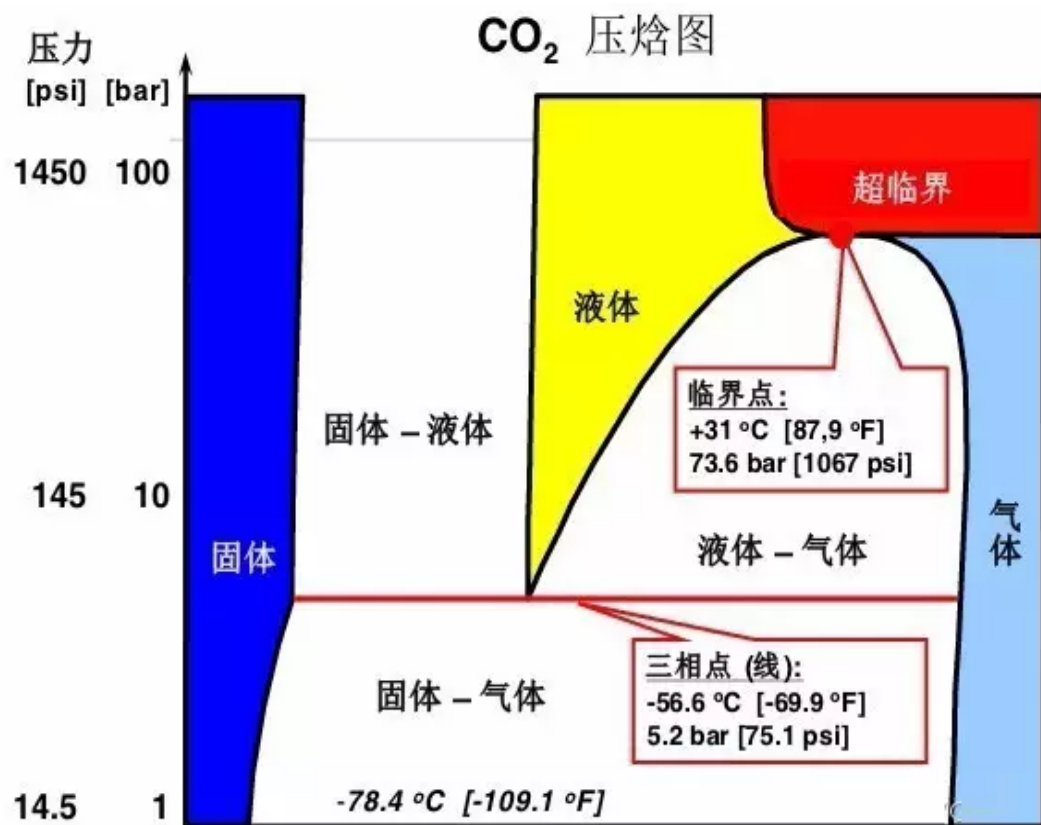
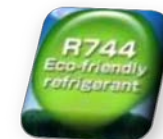
- ❑ 背景与使命
- ❑ CO<sub>2</sub>作为制冷剂的性能介绍
- ❑ CO<sub>2</sub>亚临界系统应用介绍
- ❑ CO<sub>2</sub>跨临界系统应用介绍
- ❑ 案例分享
- ❑ 最新成果与方向
- ❑ 设计考虑因素
- ❑ 总结

# 背景与使命

- ❑ 标准、法规、立法和市场趋势应对全球变暖问题
- ❑ 二氧化碳作为一种可行的选择
- ❑ 需要系统设计者的支持



### 亚临界和跨临界的区分



	Ttrip / °C	Ptrip / bara	Tcrit / °C	Pcrit / bara
R22	-157,4	0,000006	96,2	49,9
R134a	-103,3	0,004	101,1	40,6
R717	-77,6	0,006	132,3	113,3
CO <sub>2</sub> (R744)	-56,6	5,2	31,1	73,6

Blue is better



# CO2作为制冷剂的性能介绍

富士豪



## 亚临界和跨临界的区分

### 亚临界

- ❑ 冷凝压力低于临界点

### 跨临界

- ❑ 排气压力高于临界点

• CO2 临界点  
31 ° C / 73.6 bar

- ❑ 冷凝过程和普通制冷剂一样 (冷凝压力低于 31 ° C)

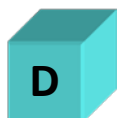
- 复叠系统的低压级

- ❑ 在冷凝过程中温度和压力相关联

- ❑ 没有冷凝过程，只有气体冷却过程 (没有发生相变)

- ❑ 在气体冷却过程中，压力和温度是独立的，不相关联

## 亚临界 SK3

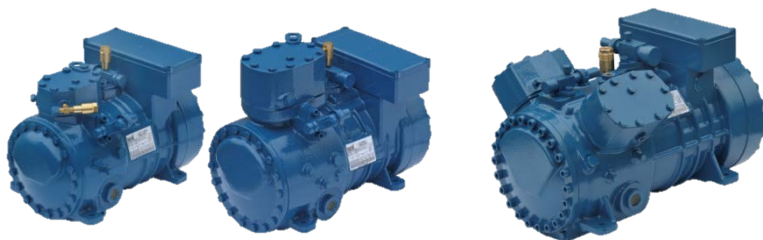


2 缸

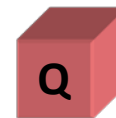
9个型号  
1,7 – 11,3 m<sup>3</sup>/h  
0,7 – 5 HP

4缸

2个型号  
14,9 – 19,8 m<sup>3</sup>/h  
7 - 9 HP



## 跨临界 TK



2缸

7个型号  
1,9 – 3,5 m<sup>3</sup>/h  
3 - 5 HP

4缸

20个型号  
3,8 – 25,3 m<sup>3</sup>/h  
5 - 40 HP





# CO2作为制冷剂的性能介绍

富士豪



**CO2 作为制冷剂来使用:**

## 与材料的腐蚀性

- CO2 有一定的腐蚀性（有水的情况下）
- 必须使用低含湿度的CO2 (< 10 ppm).  
可以在市场上以低廉的价格买到
- CO2和水经化学反应会形成弱酸  
(碳酸,  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ , 可以腐蚀钢铁)
- 防止碳酸的形成
  - 使用干燥过滤器
  - 在制冷剂充注前保持系统良好的真空度
- CO2 可以与市场上大多数材料化学相容，但不是所有的材料都能满足二氧化碳运行时的温度和压力
- 使用的材料必须要具有非常低的渗透率，比如氢化丁腈橡胶

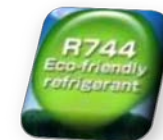
Blue is better



# CO2作为制冷剂的性能介绍

富士豪

CO2 作为制冷剂来使用:



## 优点

- 单位容积制冷量大
  - 较小的压缩机排气量
  - 制冷管道直径可以缩小
- 高 COP 在低温应用领域
- 优良的热传导性
  - 制冷剂与环境介质之间的换热温差可以减小
- 非常低的 GWP (= 1)
  - 符合环保要求
- 无毒，不易燃 (A1 类)
- 即使存在压降也无关紧要

## 缺点

- 非常低的临界点 (31° C)
- 技术专业度比较高
- 工作压力高 (特别是在跨临界)

Blue is better





# CO2作为制冷剂的性能介绍



## 富士豪



Frascold Selection Software 3 v1.7



文件 额外 互联网 帮助

检查计算 选型计算

选择模式: 冷冻 / 空调  
制冷剂: R22  
参考温度: 露点温度

供电: 400/3/50

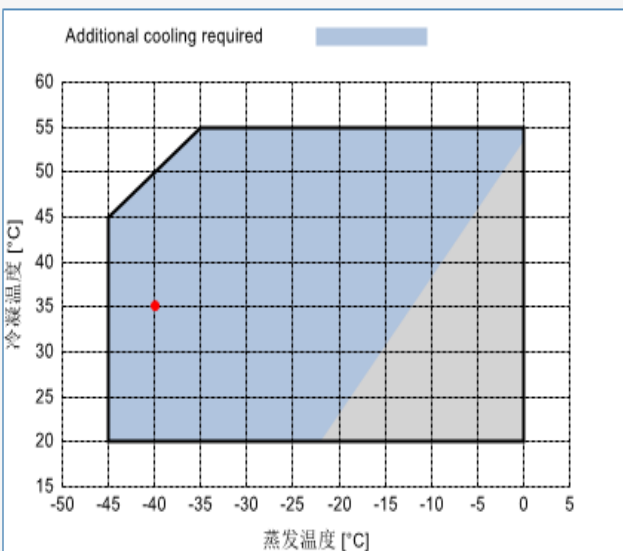
蒸发温度 (露点): -40.00 °C  
吸气温度: 20.00 °C  
有用过热部分: 100 %

冷凝温度 (露点): 35.00 °C  
过冷: 0.0 K

压缩机: 压缩机的定速数目 (tent. data) 压缩机的变速数目 频率 液体系统 Connection  
(#1): Q4-20.1Y 1 100 0 50 没有 DOL-STAR  
(#2):

Single Stage Series, for HFC - HCFC - HFO - HC

<<	详情	>>	Q4-20.1Y
▶	制冷量	kW	2.457
	制冷量 [ *参考 ]	kW	2.457
	蒸发器冷量	kW	2.457
	功率输入	W	1728
	冷凝器冷量, 理论值	kW	4.186
	电流	A	4.99
	COP/EER	W/W	1.42
	流量	kg/h	48
	运行频率	Hz	50
	供电	-	400/3/50/DOL-STAR
	选择模式	-	冷冻 / 空调
	运行模式	-	100能量的 %
	蒸发压力	bar	1.05
	吸气过热	K	60
	吸气温度	°C	20
	排气温度	°C	200.47
	冷凝压力	bar	13.54
	液体温度	°C	35
	比率 (%)	%	100.0%
	信息	-	
	油量	l/min	-
	热交换 (油冷却器)	kW	-
	油冷却器出口油温	°C	-
	鉴定由..	-	Frascold tentative data



\*参考: 工况依据 EN12900  
- 吸气温度 - 20 °C  
- 液体过冷 - 0 K  
鉴定由..  
- Frascold tentative data

FRASCOLD SPA

输出

打印

计算

离开



# CO2作为制冷剂的性能介绍



## 富士豪

Frascold Selection Software 3 v1.7

文件 额外 互联网 帮助

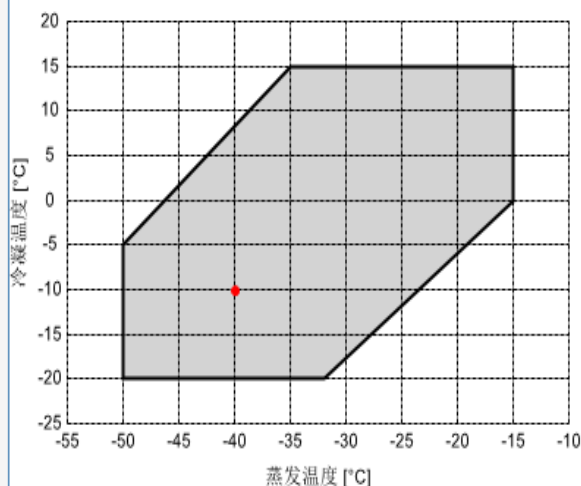
选择模式: 冷冻 / 空调  
制冷剂: R744  
参考温度: 露点温度

供电: 400/3/50

蒸发温度 (露点): -40.00 °C  
吸气过热: 10.0 K  
有用过热部分: 100 %

冷凝温度 (露点): -10.00 °C  
过冷: 0.0 K

压缩机 压缩机的定速数目 冷量级 (tent. data) 压缩机的变速数目 频率 液体系统 Connection  
(#1): Q9 20SK2 1 100 0 50 没有 DOL-STAR  
(#2):



\*参考: 工况依据 EN12900  
- 吸气过热 - 10 K  
- 液体过冷 - 0 K  
鉴定由...  
- Frascold tentative data

FRASCOLD SPA

输出

打印

检查计算 选型计算

SK2 Series, for CO2 subcritical [55bar]		
<<	详情	>>
制冷量	kW	29.271
制冷量 [ *参考 ]	kW	29.271
蒸发器冷量	kW	29.271
功率输入	W	7148
冷凝器冷量, 理论值	kW	36.419
电流	A	13.23
COP/EER	W/W	4.09
流量	kg/h	392
运行频率	Hz	50
供电	-	400/3/50/DOL-STAR
选择模式	-	冷冻 / 空调
运行模式	-	100能量的 %
蒸发压力	bar	10.04
吸气过热	K	10
吸气温度	°C	-30
排气温度	°C	55.14
冷凝压力	bar	26.49
液体温度	°C	-10
比率 (%)	%	100.0%
信息	-	
油量	l/min	-
热交换 (油冷却器)	kW	-
油冷却器出口油温	°C	-
鉴定由..	-	Frascold tentative data

计算

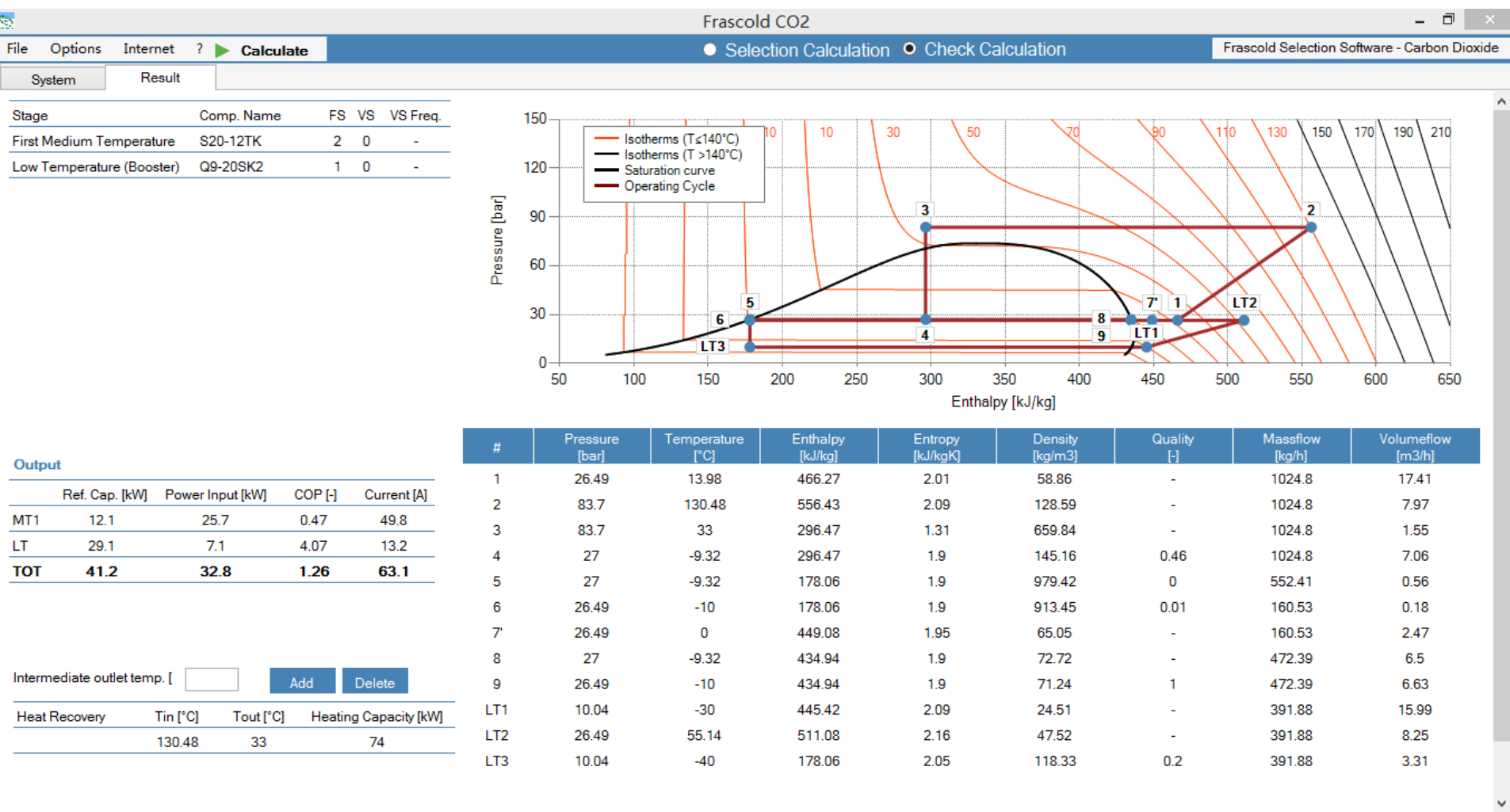
离开



# CO2作为制冷剂的性能介绍



富士豪





# CO2亚临界系统应用介绍

富士豪

## CO2 亚临界循环 – 复叠系统的应用



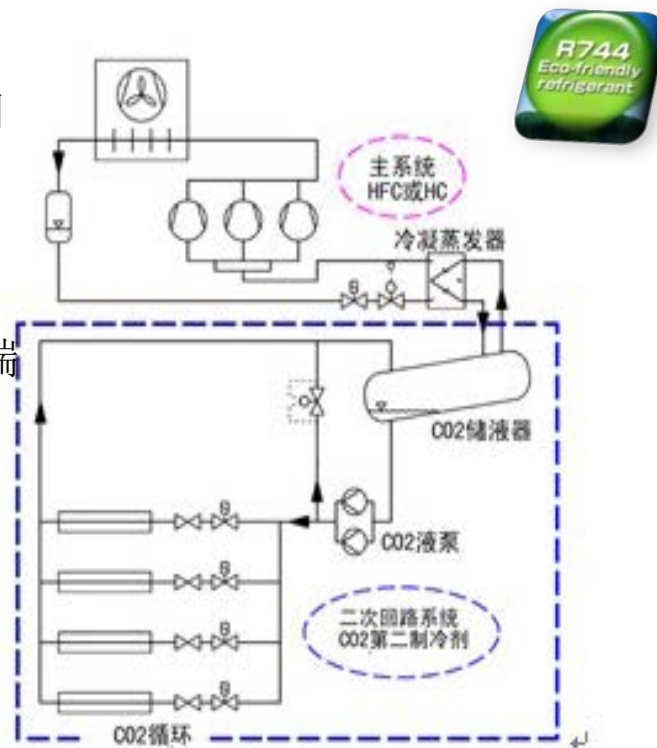
- CO2可与常规压力的制冷剂组成典型的系统
- 适用于低温应用
- 需要一个冷却回路来冷却 CO2（使其冷凝）
  - 可用低GWP 值得制冷剂 (NH3, R290) >> 非常完美的绿色方案!
- 高效独立的环境条件（换热温差小）

Blue is better

### CO2 作为载冷剂 - 泵循环

- 与乙二醇水溶液系统相比, CO2 可以作为液态制冷剂
- 可用于中温/高温的应用领域
- 需要一个额外的辅助冷却回路
  - 可选用低GWP值的制冷剂 (NH3, R290)

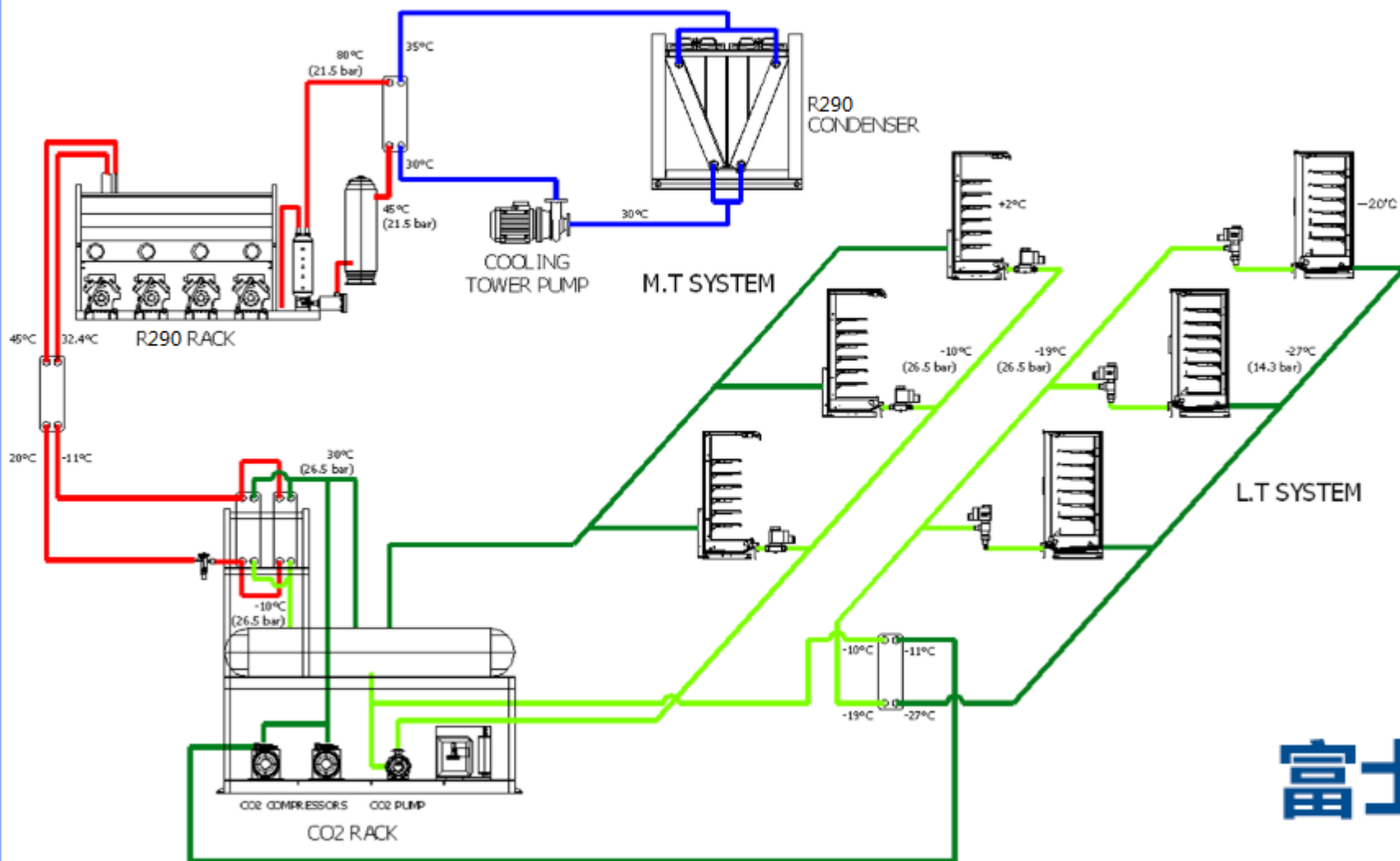
CO2 通过这个辅助的冷却回路冷凝后, 再由泵送到末端



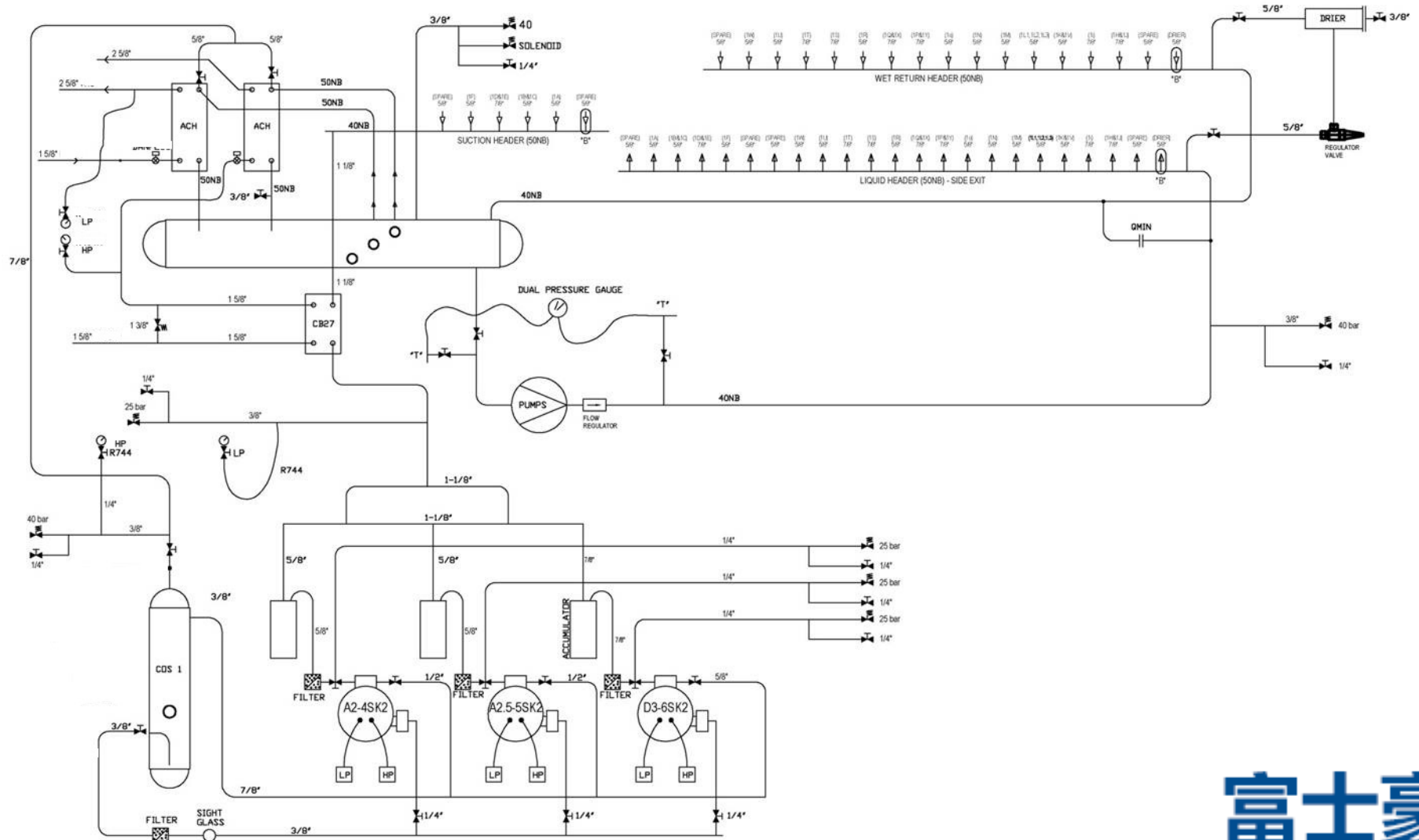
### 赞成的理由:

- 辅助冷却回路可以使用有毒的或者易燃易爆的制冷剂, 因为它不接触用户末端
- 输送CO2 需要较小的能耗(对于泵) 和较细的管道(比起乙二醇溶液)
- CO2 能提供较大的换热量, 并且比较便宜(比起乙二醇溶液)
- 和复叠系统相比, 不需要考虑二氧化碳系统的回油问题

# CO2亚临界系统应用介绍



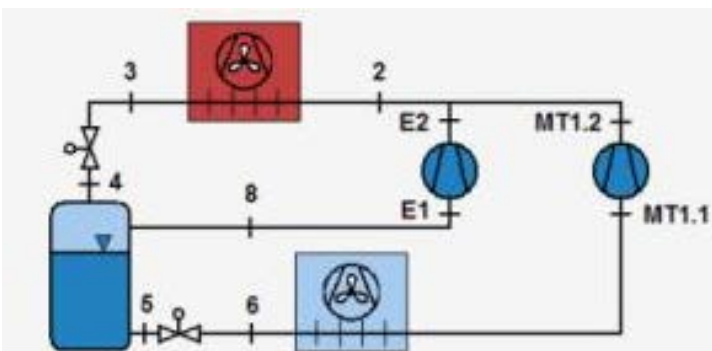
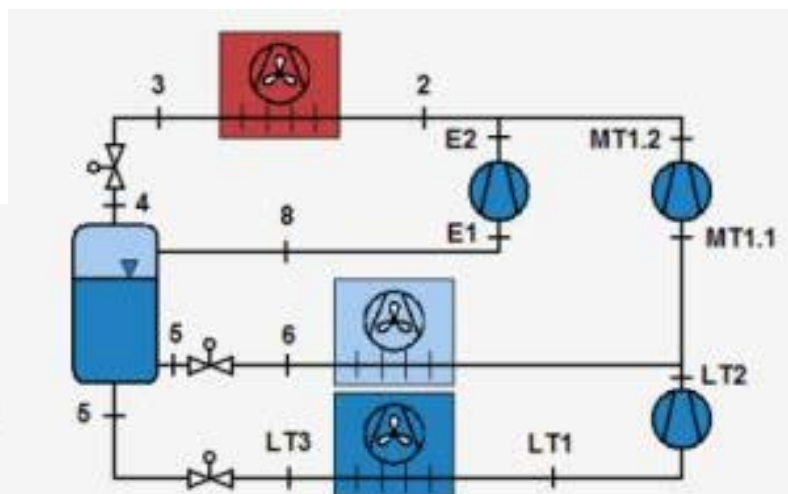
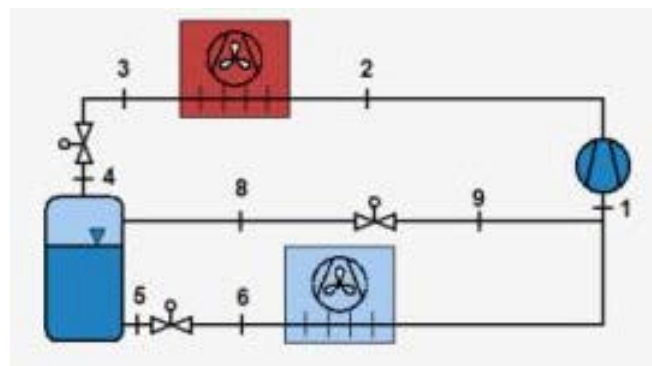
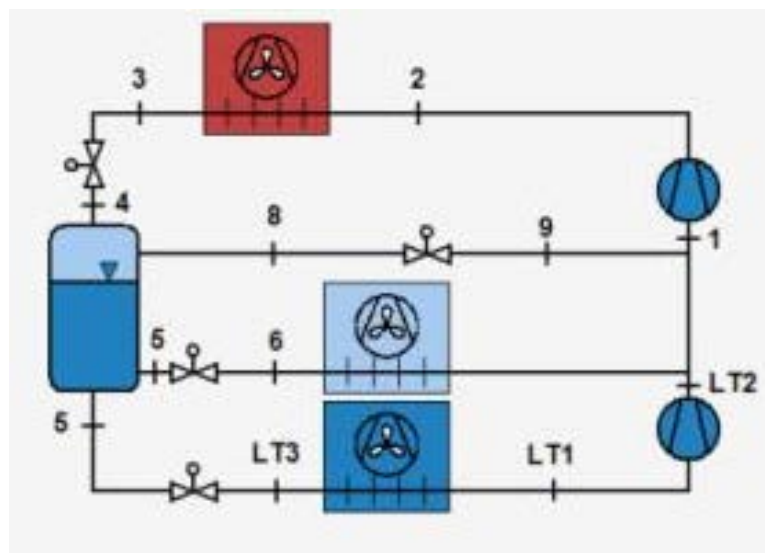
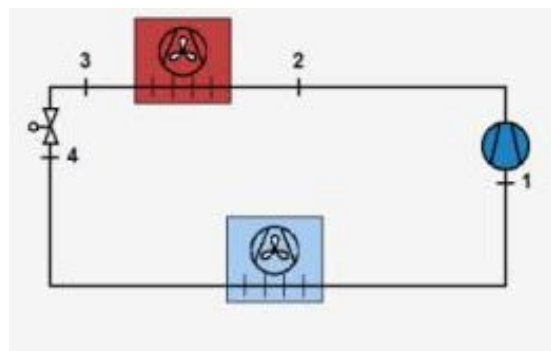
# CO2亚临界系统应用介绍



富士豪



# CO2跨临界系统应用介绍





# CO2跨临界系统应用介绍

File Extrac Internet Help

Fraasold Selection Software - Carbon Dioxide

System Result

Gas Cooler

Outlet Temperature [°C]: 33,0

Pressure [bar]: 89,0

Flash Gas Bypass

☒ Add flash gas on First Medium Temperature

Medium Pressure [bar]: 49,0

Power Supply

First Medium Temperature

Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]

(#1): Q9-7TK 1 0 50

(#2): ☐

Evaporating temperature [°C]: -10,0 ☒ Low Temperature (Booster)

Superheating [K]: 10,0

Evaporator Superheating [K]: 5,0

Low Temperature (Booster)

Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]

(#1): A07-1.85K2 1 0 50

(#2): A2-45K2 1 0 50 ☒

Evaporating temperature [°C]: -30,0 Booster on level: 1

Superheating [K]: 10,0 ☐ Desuperheater

Evaporator Superheating [K]: 5,0

☒ Second Medium Temperature

Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]

(#1): Q9-7TK 1 0 50

(#2): ☐

Evaporating temperature [°C]: -20,0

Superheating [K]: 10,0

Evaporator Superheating [K]: 5,0

☒ Third Medium Temperature

Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]

(#1): Q9-7TK 1 0 50

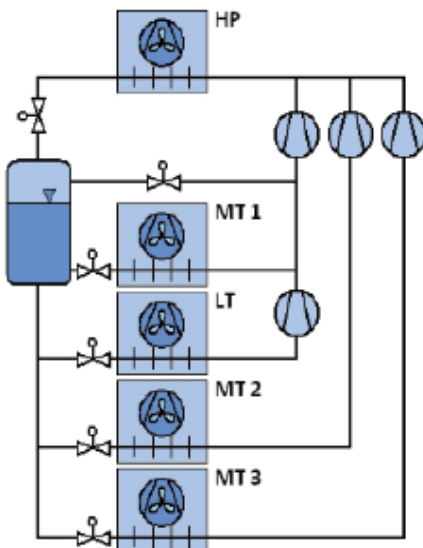
(#2): ☐

Evaporating temperature [°C]: -25,0

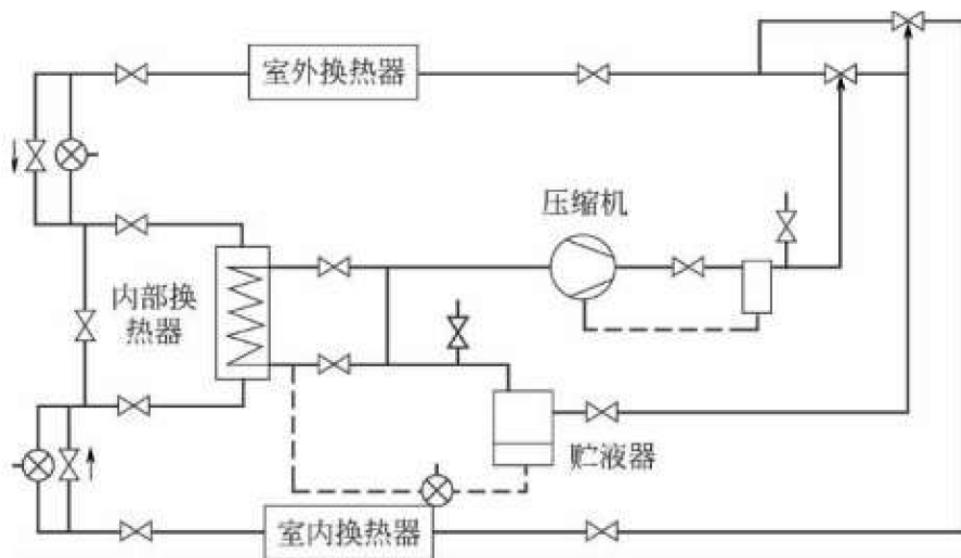
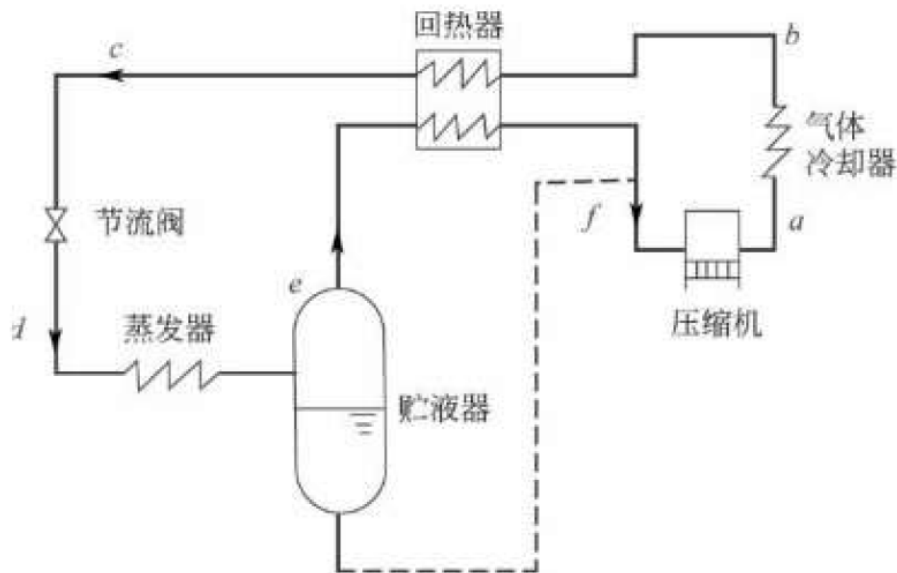
Superheating [K]: 10,0

Evaporator Superheating [K]: 5,0

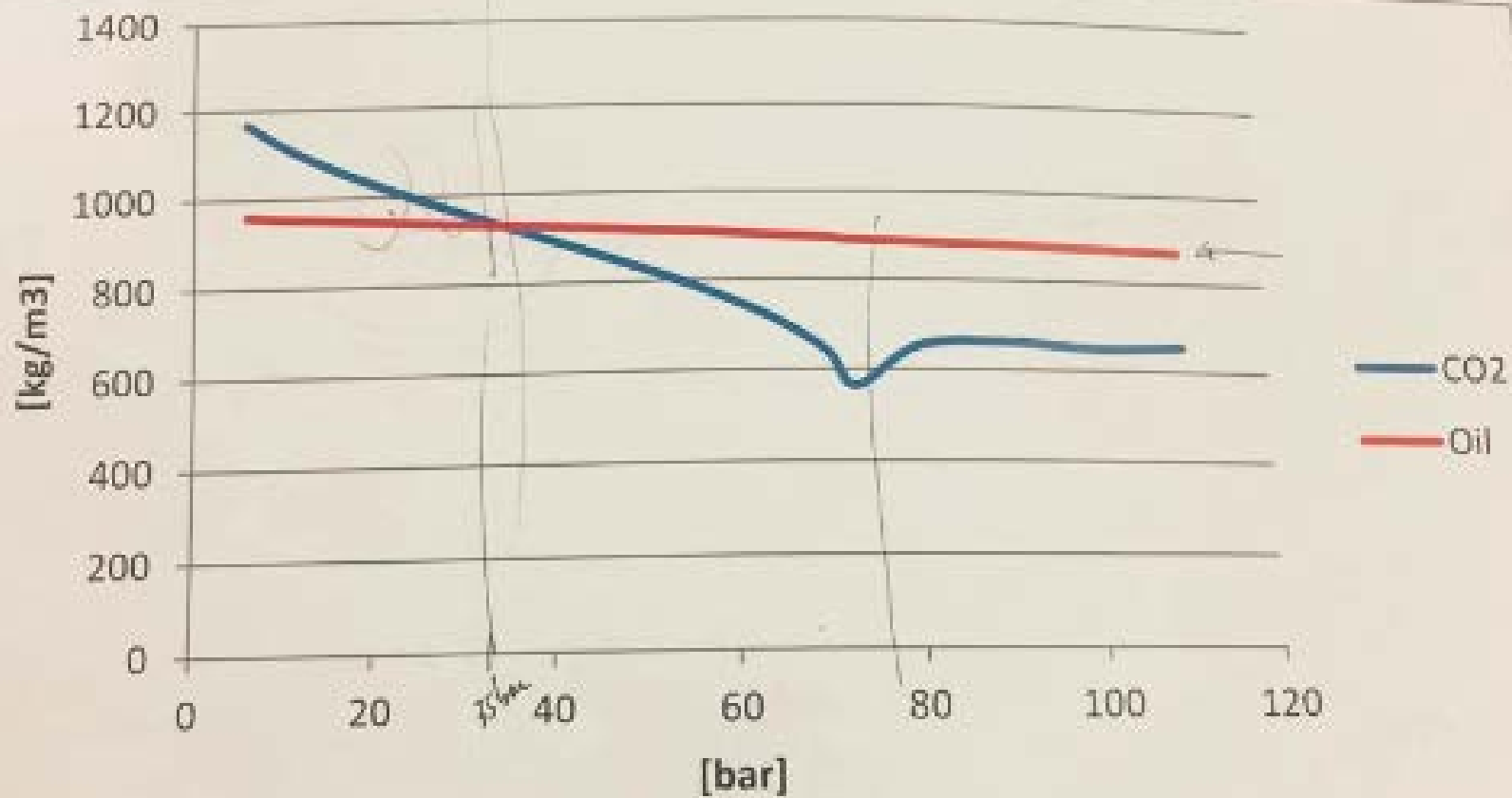
Start Exit



# CO<sub>2</sub>跨临界系统应用介绍



# CO<sub>2</sub>跨临界系统应用介绍



# CO2跨临界系统应用介绍

## FRASCOLD SPA

Frascold Selection Software 3 v1.7



半密闭往复式



开启式往复式



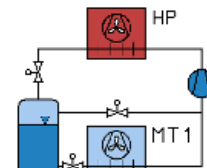
冷凝机组



半密闭螺杆机



开启式螺杆机



周期计算工具

跨临界CO2循环

压缩机制造商和系统设计师之间的协同设计

理解和利用CO2系统及物理性质：

低密度和高制冷能力（比HFC制冷剂的高3-10倍）

临界点（31° C / 73,8 bar）

适用于低温应用（沸点@ 78° C）干冰直接升华的温度

OPD = 0 , GWP =1 → 可持续

富士豪

# 案例分享1 (商超)

输入数据: 预设压缩机数量, 是否带变频  
气冷器压力& 气冷器出口温度  
闪发气体压力& 是否并联压缩或双级配打  
负荷 → TN = 90 kW @ -8°C ; BT = 18 kW @ -35°C

Frascold CO2

File Extras Internet Help

Selection Calculation Check Calculation Frascold Selection Software - Carbon Dioxide

System Selection Result

Gas Cooler  
Pressure [bar]: 89.2 ☐ Transcritical ☐ Subcritical  
Outlet Temperature [°C]: 35.0 ☒ Suggest gas cooler pressure

Flash Gas Bypass  
☒ Add flash gas on First Medium Temperature  
Medium Pressure [bar]: 42.0

Power Supply  
400 V / 50 Hz

First Medium Temperature  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]  
(#1): S20-14TK 3 1 62  
(#2): ☐  
Evaporating temperature [°C]: -8.0 Refrigerating capacity [kW]: 90.000  
Superheating [K]: 10.0  
Evaporator Superheating [K]: 5.0 ☒ Low Temperature (Booster) ☒ Eco (Parallel Compressor)

Low Temperature (Booster)  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]  
(#1): D4.5-9SK2 2 1 63  
(#2): ☐  
Evaporating temperature [°C]: -35.0 Refrigerating capacity [kW]: 18.000  
Superheating [K]: 10.0  
Evaporator Superheating [K]: 5.0 ☐ Desuperheater  
Booster on level: 1

Eco (Flash Gas Parallel Compressors)  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Max frequency  
(#1): S15-10TK 0 1 70  
Suction Superheating [K]: 1.0 ☐ allow flash gas bypass

☐ Second Medium Temperature

Start Application Envelope

富士豪

# 案例分享1 (商超) - Result

Fracold CO2

File Extras Internet Help

System Selection Result

Stage	Comp. Name	FS	VS	VS Freq.
First Medium Temperature	S10-10TK	3	1	62
Low Temperature (Booster)	(A1.5-4SK)	2	1	57
Parallel Compression	S15-10TK	0	1	67

## Warning

- It's suggested a total suction gas superheating > 20 K

## Output

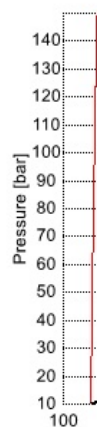
	Ref. Capacity [kW]	Power Input [kW]	COP	Current [A]
MT1	105,6	47,3	2,23	79,8
LT	18,6	5,6	3,35	12,3
Eco	-	15,3	-	26
<b>TOT</b>	<b>124,2</b>	<b>68,1</b>	<b>1,82</b>	<b>118,1</b>

Intermediate outlet temp.

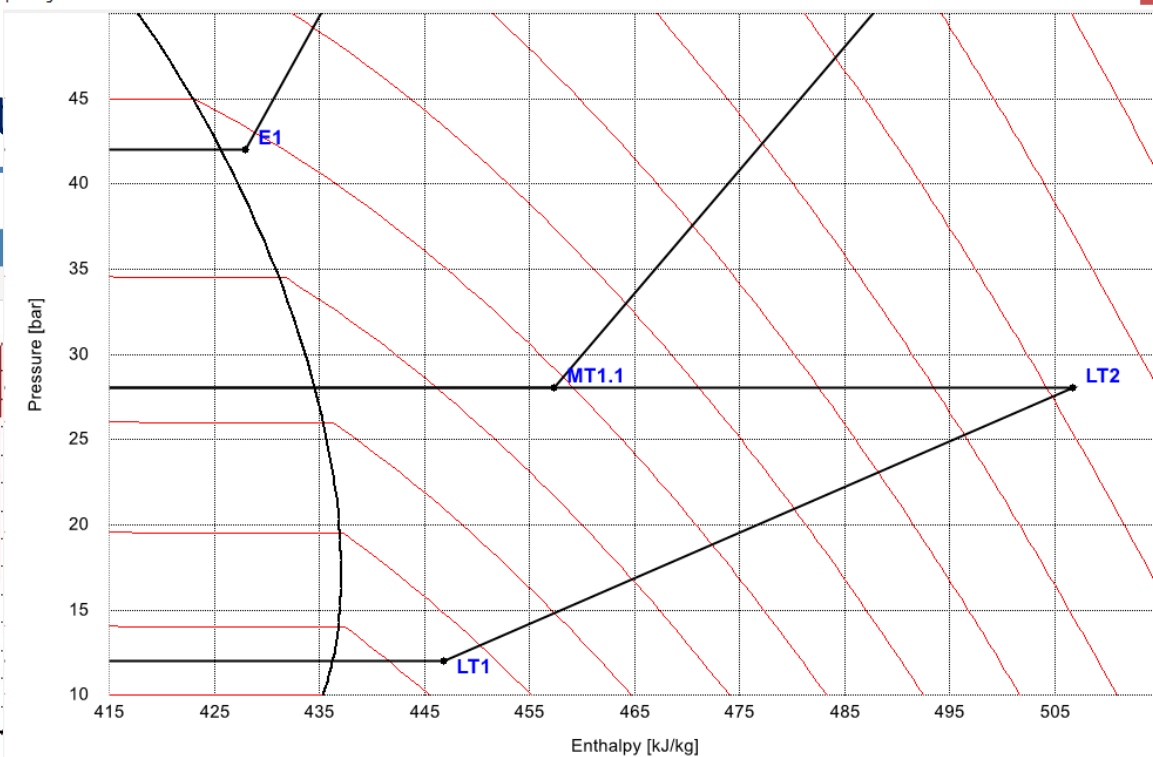
Add

Delete

Heat Recovery	Tin [°C]	Tout [°C]	Heating Capacity [kW]
	101,33	35	196,8



ph Diagram Zoom



#	Pi	Ref. Capacity [kW]	Power Input [kW]	COP	Current [A]	Heat Recovery	Tin [°C]	Tout [°C]	Heating Capacity [kW]
2	89,24	101,33	514628,84	1974,78	161,06	-	3303,05	20,51	
3	89,24	35	300140,63	1320,12	656,43	-	3303,05	5,03	
4	42	7,22	300140,63	1802,66	123,24	0,39	3303,05	26,8	
5	42	7,22	218275,91	1063,17	881,02	-	1998,85	2,27	
6	28,03	-8	218275,91	1888,19	75,83	0,15	1698,91	22,4	
E1	42	8,22	427858,62	1810,67	121,24	-	1304,2	10,76	
E2	89,24	72,81	469994,8	1850,61	199,53	-	1304,2	6,54	
MT1.1	28,03	9,52	458575,09	1976,17	65,17	-	1998,85	30,67	
MT1.2	89,24	123,05	543751,4	2050,41	143,46	-	1998,85	13,93	
LT1	12,02	-25	446754,2	2066,29	29,22	-	299,95	10,27	
LT2	28,03	58,71	513455,05	2155,56	49,85	-	299,95	6,02	
LT3	12,02	-35	218275,91	2022,99	31,22	0,3	299,95	9,61	

Start

Application Envelope

富士豪



## 案例分享2 (商超)

输入数据: 预设压缩机数量, 是否带变频  
气冷器压力& 气冷器出口温度  
闪发气体压力& 是否并联压缩或双级配打  
负荷  $\rightarrow$  TN = 90 kW @  $-8^{\circ}\text{C}$ ; BT = 18 kW @  $-35^{\circ}\text{C}$

Frascold CO2

File Extras Internet Help

Selection Calculation Check Calculation Frascold Selection Software - Carbon Dioxide

System Selection Result

Gas Cooler  
Pressure [bar]: 89.2 ☐ Trascritical ☐ Subcritical  
Outlet Temperature [°C]: 35.0 ☒ Suggest gas cooler pressure

Flash Gas Bypass  
☒ Add flash gas on First Medium Temperature  
Medium Pressure [bar]: 42.0

Power Supply  
400 V / 50 Hz

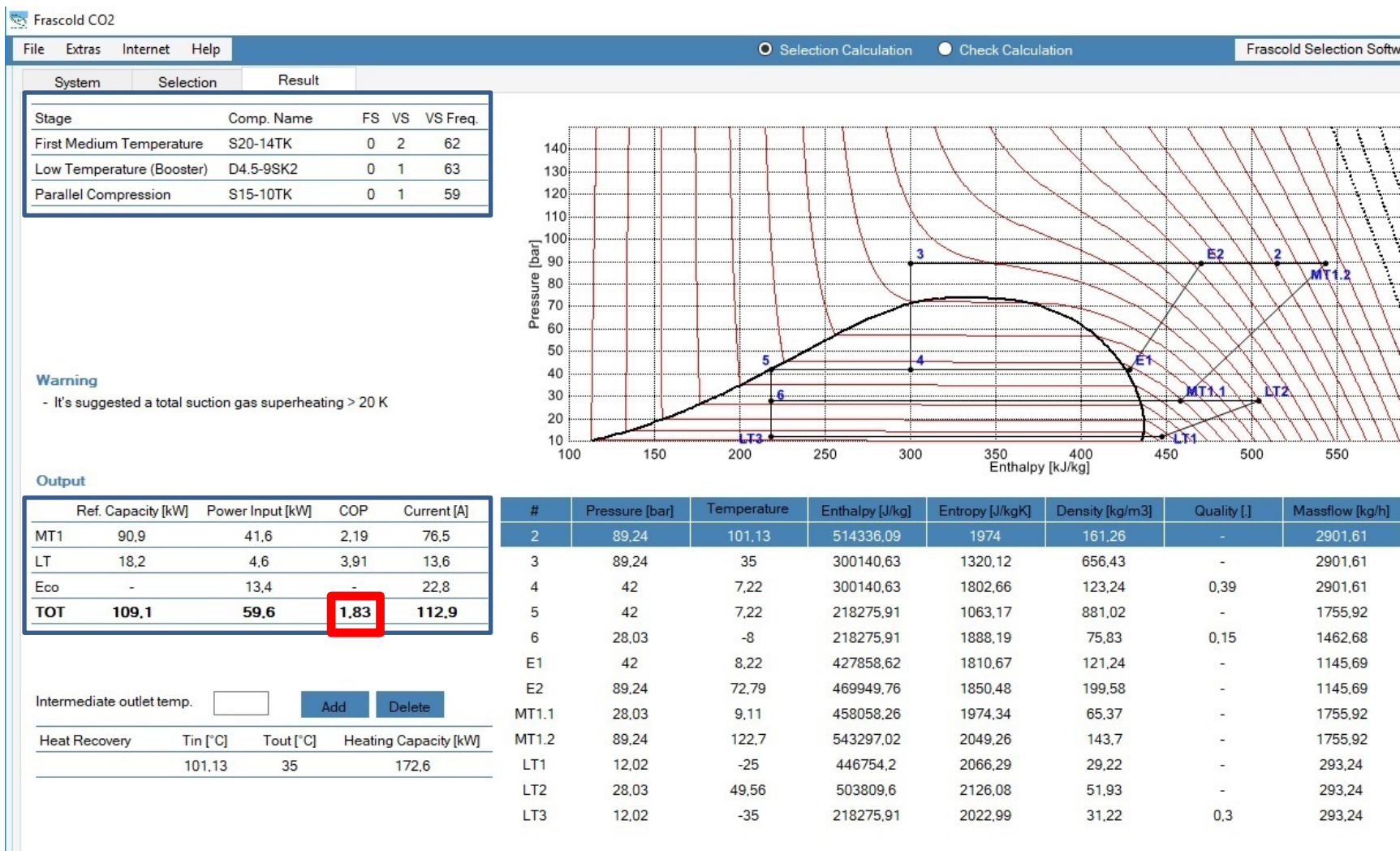
First Medium Temperature  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]  
(#1): S20-14TK 0 2 62  
(#2): ☐  
Evaporating temperature [°C]: -8.0 Refrigerating capacity [kW]:  
Superheating [K]: 10.0 90,000  
Evaporator Superheating [K]: 5.0 ☒ Low Temperature (Booster)  
☒ Eco (Parallel Compressor)

Low Temperature (Booster)  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Frequency [Hz]  
(#1): D4.5-9SK2 0 1 63  
(#2): ☐  
Evaporating temperature [°C]: -35.0 Refrigerating capacity [kW]:  
Superheating [K]: 10.0 18,000  
Evaporator Superheating [K]: 5.0 ☐ Desuperheater  
Booster on level: 1

Eco (Flash Gas Parallel Compressors)  
Compressor Name Fixed speed Variable speed Max frequency  
(#1): S15-10TK 0 1 70  
Suction Superheating [K]: 1.0 ☐ allow flash gas bypass

☐ Second Medium Temperature

# 案例分享2 (商超) - Results





## 案例分享1 vs 案例分享2

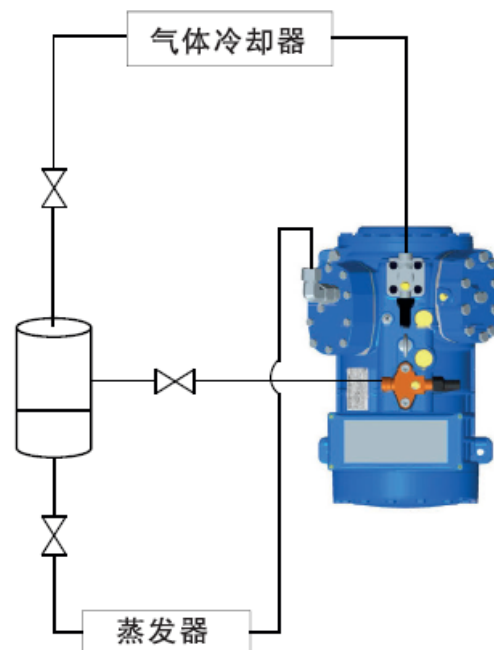
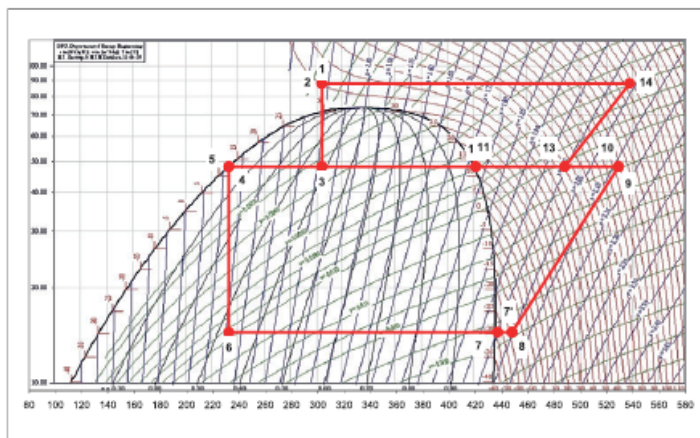


# 最新成果与方向

## 双级CO<sub>2</sub>跨临界压缩机

新型号 Q9-5.3STK 是一款双级 CO<sub>2</sub> 跨临界压缩机，可设计用在带闪蒸桶循环的系统中，具有一个温度级别或中温和低温两个不同温度级别。当蒸发温度为 -30℃、排气压力为 87 bar、气体冷却器出口温度为 35℃条件下，压缩机能够提供约8kW 的制冷能力。

- 第一级排气量5.3 m<sup>3</sup>/h，第二级排气量为 3.5 m<sup>3</sup>/h
- 电机规格 9HP
- 汽缸数量：2+2
- 最大允许压力：排气侧 Ps = 140bar，吸入侧 Ps = 80bar
- POE 85 油

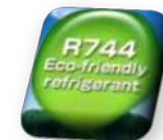




# 设计考虑因素

富士豪

## 设计考虑因素— 制冷剂泄露到环境中



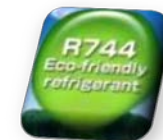
- ✓ 根据使用类型的不同，EN378 标准必须被考虑进去  
EN378: 《制冷装置和热泵 安全技术和环境相关的要求》
- ✓ R744 (类别 A1) 标准中规定的极限大约是 0.1 kg/m<sup>3</sup>
  - ⇒ 大约 50000 ppm, 用体积比表示就是: 5%
  - ⇒ 因此, 检测单位体积二氧化碳含量的传感器必须要,  
对于一个充注了 50 kg CO<sub>2</sub> 的系统, 需要约500 m<sup>3</sup>的安全空间



# 设计考虑因素

富士豪

## CO2 的安全问题



✓ CO2 存在普通环境中:

1. 超过 5000 ppm 是危险
2. 标准环境: 350-400 ppm
3. 传感器设置: 1500 ppm

✓ 对于在不是在敞开环境中使用情况（经常关门）

位置: 高于地面1.5 m

建议: 使用风扇强制性通风



# 设计考虑因素

富士豪



## CO2 的安全问题

三种系统要考虑:

1. CO2 作为载冷剂
2. CO2 用于复叠系统
3. CO2 跨临界应用

- ✓ 低压侧: 在这3个系统中, 工作压力是相同的  
(显然取决于蒸发温度也是要相同的)
- ✓ 液体管路:
  1. 在系统1中, 供液管和回流管的压力是相同的  
(15/30 bar 对于 低/中温.)
  2. 在系统2中 最大压力通常是 40 bar
  3. 在系统3中 最大压力通常是 60 bar
- ✓ 高压侧:
  1. 在系统1中: 30 bar (在 HFCs标准系统)
  2. 在系统2中: 可达 40 bar (亚临界过程)
  3. 在系统3中: 120 bar (跨临界)

Blue is better





# 设计考虑因素

富士豪

## CO2 的安全问题



- ✓ 按照相关标准执行
  - EN 378-2 《制冷装置和热泵 安全技术和环境相关的要求》
  - EN13136 《制冷系统和热泵 - 泄压装置和相关管道 - 方法计算》
- ✓ 商用和工业用压缩机 EN12693: 在安全系数 “3” 的情况下，安全阀可排放到大气中
- ✓ 请注意! 安全阀打开的时候可能会形成干冰
- ✓ 部分设备可以被隔离 (两侧都能被切断流动性)，必要要考虑静止压力过高 (对于被存储的液体)
- ✓ 高压安全阀的关闭值应该设到释放压力的 90%

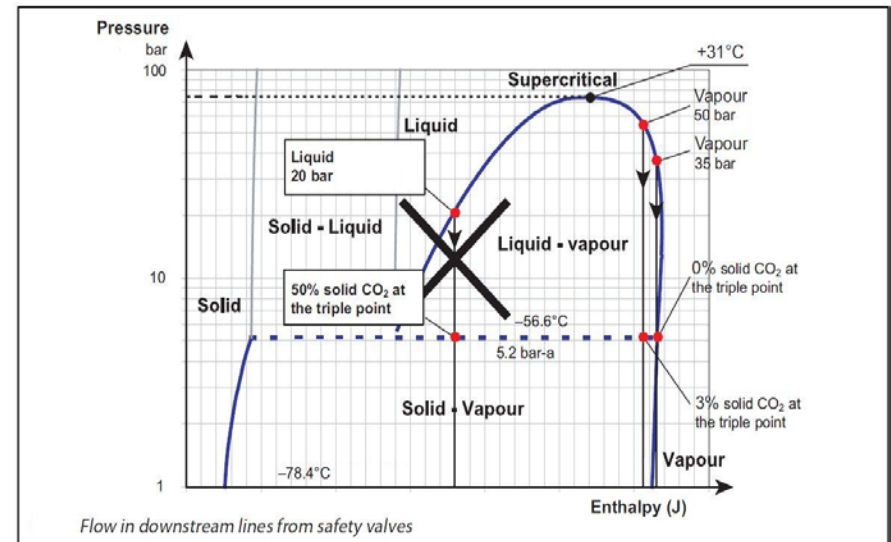
## CO2 的安全问题 – 充注方法



- 系统要有一个非常好的真空度
- 干燥的 CO2 (<10 ppm of 含水量)
- 不用液态 CO2 来破空
- 在高压侧加入 CO2 气体至少到 6.5 bar (建议 10-15 bar)
- 完全充注液态 CO2 到储液器或者液管

### 注意

- 为了防止蒸发器回液  
过热度必须要 10-15 K



## 不同方式的除霜系统



### 热气除霜

#### 注意

- 仅在冷凝温度高于 5° C时 使用
- 小心：在低压回路中输入高压气体，要确保该低压回路能承受该高压
- 适用于多蒸发器系统中：当一个蒸发器需要除霜的时候

### 电加热除霜

#### 注意

- 可适用于任何冷凝温度
- 电加热的高功率，导致整个系统的 COP 值下降
- 适用于没有空间来增加额外的除霜回路的单蒸发器系统中

### 热乙二醇溶液除霜（乙二醇作为高压侧的载冷剂时）

#### 注意

- 可适用于任何冷凝温度
- 整个系统的 COP 值高，因为需要一个泵
- 适用于单蒸发器系统中
- 需要一个泵把高压侧的乙二醇载冷剂送到蒸发器除霜回路中



## 总结

---

- ❑ 二氧化碳在商业制冷方面有着光明的前景
- ❑ CO<sub>2</sub>需要好的系统协同设计
- ❑ 最好的系统往往是不同因素的权衡
- ❑ 一个客户对应一个解决方案

富士豪

Thanks

“Blue ... is better !”

富士豪