

丹佛斯Flexline™柔性平台 安全，高效，灵便

安全可靠，先进灵活及省时高效的Flexline™柔性平台包括三大家族产品组合：



ICV Flexline™
—工业控制阀



ICF Flexline™
—工业组合阀



SVL Flexline™
—工业管路元件

所有产品均基于模块化设计。从设计到安装运行，从维修到设备保养都变得简单易行。为您带来综合成本的节约。

登录 www.danfoss.com/flexline 了解更多Flexline™柔性平台产品信息。

领先技术 通行全球

超过60年的工业制冷元件制造及应用经验，丹佛斯是您诉求高品质路上最坚实的伙伴。

我们的世界级领先技术搭配本土卓越的服务及支持，为您提供最优秀的产品和服务。

丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司
上海市宜山路900号
科技大楼C楼22层
邮编：200233
电话：（021）61513000
传真：（021）61513000

丹佛斯北京办事处
北京市朝阳区工体北路甲2号
盈科中心A座20层
邮编：100027
电话：（010）85352388
传真：（010）85352399

丹佛斯广州办事处
广州市珠江新城花城大道87号
7楼04单元
邮编：510623
电话：（020）28348000
传真：（020）28348001

丹佛斯青岛办事处
青岛市崂山区秦岭路18号
国展财富中心2-325室
邮编：266100
电话：（0532）85018100
传真：（0532）85018106

丹佛斯天津办事处
天津市南开区南京路358号
今晚大厦10层
邮编：300100
电话：（022）27505888
传真：（022）27505999

丹佛斯武汉办事处
武汉市武昌区临江大道96号
万达中心写字楼1707室
邮编：430062
电话：（027）85619770
传真：（027）85619731

丹佛斯成都办事处
成都市下南大街2号
宏达国际广场11层-1104室
邮编：610041
电话：（028）87774346
传真：（028）87774347

丹佛斯西安办事处
西安市南二环西段64号
凯德广场写字楼907
邮编：710065
电话：（029）89327558
传真：（029）89327578

Danfoss对于其目录，手册以及其他印刷材料中可能存在的差错概不负责任。Danfoss公司保留不预先通知便可自行改变其产品的权利。倘若这种改变对于已定产品的基本性能规格没有发生变化，则这种权利也适用于已经定购的产品。本资料里各商标的所有权属于相关各公司。Danfoss以及Danfoss徽标字形是Danfoss A/S的商业标志。版权所有。

DKRCE.PA.000.C3.41

© Copyright Danfoss | Produced by RC-MC | 2016.03

应用手册

应用手册

工业制冷系统 氨和二氧化碳应用

工业制冷系统氨和二氧化碳应用



前言	3
1. 概述	4
2. 压缩机控制	6
2.1 压缩机容量控制	6
2.2 通过喷液控制排气温度	10
2.3 曲轴箱压力控制	13
2.4 反向流控制	14
2.5 小结	15
3. 冷凝器控制	16
3.1 风冷式冷凝器	16
3.2 蒸发式冷凝器	21
3.3 水冷式冷凝器	24
3.4 小结	26
4. 液位控制	27
4.1 高压液位控制系统 (HP LLRS)	27
4.2 低压液位控制系统 (LP LLRS)	31
4.3 小结	35
5. 蒸发器控制	36
5.1 直接膨胀控制	36
5.2 泵循环供液控制	41
5.3 直接膨胀冷风机的热气除霜	44
5.4 泵循环冷风机的热气除霜	50
5.5 多温转换	53
5.6 介质温度控制	54
5.7 小结	56
6. 润滑油系统	57
6.1 油冷却	57
6.2 油压差控制	61
6.3 油回收系统	64
6.4 小结	66
7. 安全系统	67
7.1 卸压装置	67
7.2 压力和温度限制装置	71
7.3 液位装置	72
7.4 小结	73
8. 制冷剂泵控制	74
8.1 通过压差控制实现泵保护	74
8.2 泵旁通流量控制	76
8.3 泵压控制	77
8.4 小结	78
9. 其他	79
9.1 氟系统中的干燥过滤器	79
9.2 氨系统的除水	81
9.3 排空系统	85
9.4 热回收系统	87

10. 在制冷系统中使用二氧化碳作为制冷剂.....	90
10.1 采用二氧化碳作为制冷剂.....	90
10.2 二氧化碳制冷剂在工业制冷中的应用.....	91
10.3 设计压力	93
10.4 安全	95
10.5 效率	96
10.6 二氧化碳系统中的冷冻油.....	96
10.7 二氧化碳、氨和R134a系统对元件要求的比较	98
10.8 二氧化碳系统中的水.....	100
10.9 除水	103
10.10 水是怎样进入二氧化碳系统的?	105
10.11 二氧化碳系统中需要考虑的其他问题	106
11. 工业制冷中的二氧化碳二次制冷系统	109
12. 二氧化碳制冷系统的控制方法	118
13. 二氧化碳亚临界系统的设计.....	119
13.1 液位的电子控制方案.....	119
13.2 泵循环风机的热气除霜.....	120
14. 二氧化碳系统中的干燥过滤器	122
15. 丹佛斯二氧化碳亚临界制冷元件.....	125
15.1 丹佛斯二氧化碳亚临界制冷元件(续).....	126
16. 附录	133
16.1 典型制冷系统.....	133
16.2 调幅控制	13

前言

丹佛斯应用手册可用作工业制冷从业人员的参考资料。

本手册的目的是回答与工业制冷系统控制有关的各种问题：为什么说某种控制方法是制冷系统所必需的？为什么必须按照此种方式设计？可以使用哪些类型的元件？如何为不同的制冷系统选择相应的控制方法？在回答这些问题的同时，本手册介绍了不同控制方法(包括丹佛斯工业制冷产品)的原理，并提供了相应的控制范例。

同时还提供了各个元件的主要技术数据。最后，本手册还对每种控制方法不同的解决方案进行了比较，以便让读者了解如何进行选择解决方案。

在本手册中，我们建议将导阀控制的伺服主阀ICS作为压力和温度调节阀来使用。

对于设备的最终设计，很有必要使用其他工具，例如制造商的产品目录和计算软件(例如丹佛斯工业制冷产品目录和Coolselector2软件)。

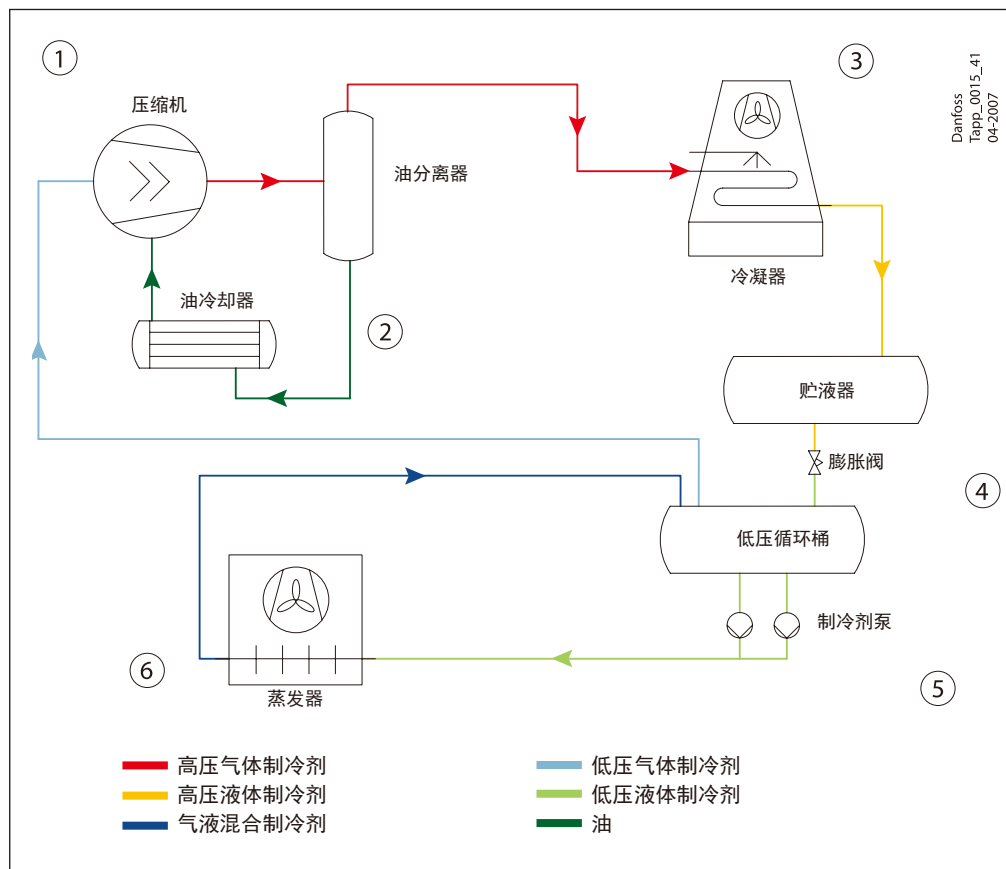
Coolselector2软件用于丹佛斯工业制冷阀件的计算与选择。

Coolselector2软件随设备免费附送，请联系当地的丹佛斯销售公司。

如果您对本应用手册描述的控制方法、应用和控制有任何问题，欢迎与丹佛斯公司联系。

1. 概述

泵循环制冷系统



① 压缩机控制

原因

- 首先：控制吸气压力；
- 其次：可靠的压缩机运转(启动/停止，等)。

实现方式

- 通过将热气从高压端旁通到低压端，或通过对压缩机ON/OFF进行分级控制，或通过对压缩机的转速等方式，将压缩机的容量控制到与制冷负载相一致；
- 在排气管上安装止回阀，以防止制冷剂倒流回压缩机；
- 将压缩机吸气口和排气口的压力和温度保持在工作范围之内。

② 润滑油控制

原因

- 保持最佳的润滑油温度和压力，以保证压缩机的可靠运转。

实现方式

- 压力：保持和控制压缩机内的压差，以保证润滑油循环，保持曲轴箱的压力(仅限于活塞式压缩机)；
- 温度：旁通进入油冷却器的部分润滑油；控制进入油冷却器的冷却空气或冷却水的流量；
- 油位：控制氨系统和低温氟系统中的润滑油回油。

1. 概述(续)

③ 冷凝器控制

原因

- 将冷凝压力保持在高于最小接受值以上，以保证有足够的液体流过膨胀装置；
- 保证系统中制冷剂的合理分配。

实现方式

- 开/关操作或控制冷凝器风扇的速度，控制冷却水的流量，控制冷凝器中的制冷剂量。

④ 液位控制

原因

- 根据实际需求，提供适量的从高压端流向低压端的液体制冷剂；
- 确保膨胀装置安全可靠的运行。

实现方式

- 根据液位范围，控制膨胀装置的开启度。

⑤ 制冷剂泵控制

原因

- 通过将流经泵的液体流量保持在允许的操作范围内，使泵无故障运行；
- 使系统中泵的压差保持恒定。

实现方式

- 设计一个旁通循环，这样泵的流量就可以保持在最小允许流量之上；
- 如果无法达到足够的压差，则将泵关闭；
- 安装一个压力调节阀。

⑥ 蒸发系统控制

原因

- 首先：保持介质温度恒定；
- 其次：优化蒸发器的运行；
- 对于直接膨胀系统：保证没有液体制冷剂进入压缩机的吸气管。

实现方式

- 根据需要调节流入蒸发器的制冷剂的流量；
- 蒸发器除霜。

⑦ 安全系统

原因

- 避免容器内产生过高的压力；
- 保护压缩机，防止其因液击、过载、润滑油不足以及高温等原因而损坏；
- 防止泵因气蚀现象而损坏。

实现方式

- 在容器上和其他必要的位置上安装安全阀；
- 如果压缩机和泵的入口/出口的压力或压差超出允许的范围，则将其关闭；
- 当低压循环桶或贮液器中的液位超过了允许的液位，则将系统或系统的一部分关闭。

2. 压缩机控制

压缩机是制冷系统的“心脏”。它有两个基本功能：

1. 保持蒸发器中的压力，这样液体制冷剂就可以在要求的温度下蒸发。
2. 压缩制冷剂，使得制冷剂可以在正常温度下冷凝。

因此压缩机控制的基本功能就是，根据制冷系统的实际需要调整压缩机的容量，从而使得系统能够保持要求的蒸发温度。

如果压缩机容量大于需求量，则蒸发压力和温度将低于要求的值，反之亦然。

此外，不允许压缩机在其规定的温度和压力范围之外运行。

2.1 压缩机容量控制

选择制冷系统的压缩机时，一般要求其能够满足最大可能的热负荷。但是，正常操作中的热负荷往往低于设计热负荷。也就是说，通常需要控制压缩机的容量，以便与实际的热负荷相匹配。可以通过以下几种常用方式来对其进行控制：

1. 分级控制

此种控制方式的做法：卸载多缸压缩机中的气缸，打开或关闭螺杆压缩机的吸气口，启动或停止多压缩机系统中的部分压缩机。该系统不但简单易用，而且在部分负载过程中效率降低的幅度也微乎其微。此种控制方式尤其适用于装有若干多缸往复压缩机的系统。

2. 滑阀控制

控制螺杆压缩机容量最常用的装置是滑阀。油驱动滑阀的运动能够使部分吸入气体不被压缩。滑阀能够使流量持续平稳地从100%调节至10%，但在部分负载情况下，效率也会下降。

3. 变速控制

变速调节。此解决方案效率高，适用于各种类型的压缩机。可以使用双速电机或变频器来改变压缩机的转速。双速电机可以通过高热负荷时高速运转（如冷却阶段）、低热负荷时低速运转（如储存阶段）的方式调节压缩机的容量。变频器能够连续地改变旋转速度，以满足实际需要。变频器应遵循最大和最小限速、温度和压力控制、压缩机电动机保护，以及电流和扭矩限制。使用变频器，启动电流较低。

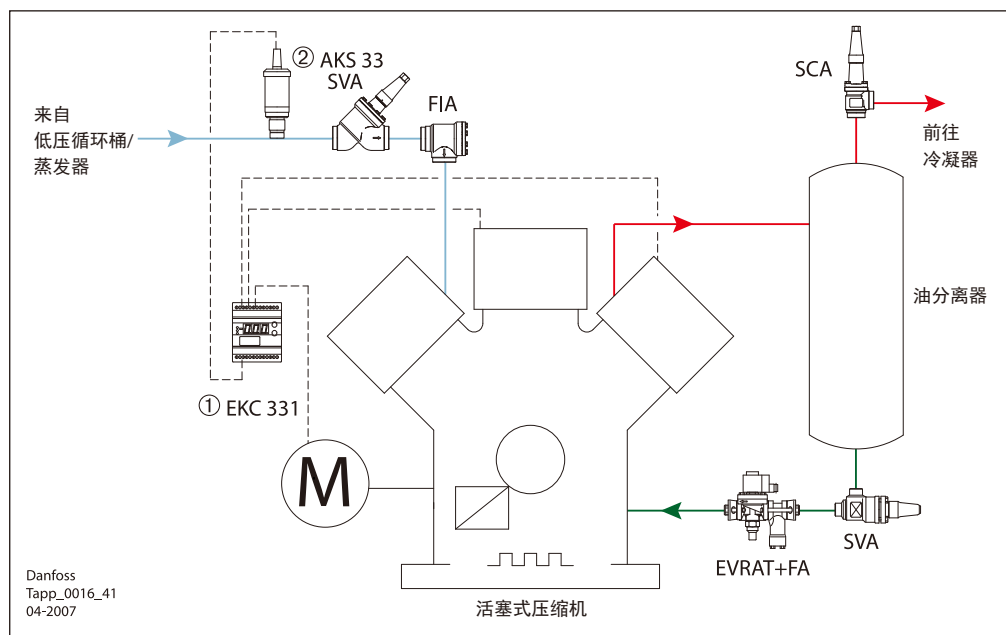
4. 热气旁通

该解决方案适用于固定容量的压缩机，更多情况下用于商业制冷。为了控制制冷量，排气管的部分热气会被旁通到低压回路中。这样可以通过两种方式降低制冷量：减少液体制冷剂的供应量，以及将部分热量释放到低压回路。

应用范例 2.1.1: 压缩机容量的分级控制

— 高压气体制冷剂
— 低压气体制冷剂
— 润滑油

① 分级控制器
② 压力变送器



对压缩机容量的分级控制可以通过使用分级控制器 EKC 331①来实现。EKC 331是一个四级的控制器，最多有四个中继输出。它能够根据压力变送器AKS 33②或AKS 32R测量的吸气压力信号来对活塞式压缩机电机的加载或卸载进行控制。EKC 331以中性区域控制为基础，它可以控制一个最多带有四个大小相同的压缩机系统。

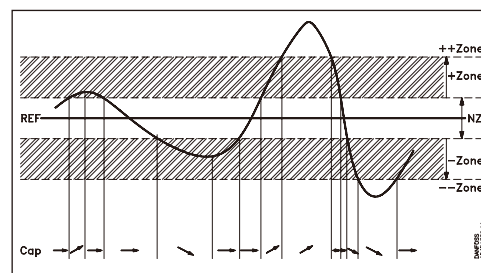
EKC 331T可以接收PT 1000温度传感器发出的信号，这对二次系统而言可能是必需的。

中性区域控制

中性区域应以参考值为依据进行设置，在中性区域范围内不会发生加载/卸载。如果超出中性区域以外(阴影区“+zone”和“-zone”)，当测量压力偏离中性区域设定值时，就会发生加载/卸载。

如果在阴影区(称为“++zone”和“--zone”)以外进行控制，那么压缩机容量的变化速度就会比在阴影区发生的速度略快一些。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 331(T)手册。



技术数据

	压力变送器 - AKS 33	压力变送器 - AKS 32R
制冷剂	所有制冷剂，包括氨	所有制冷剂，包括氨
操作范围 [bar]	-1 至 34	-1 至 34
最大工作压力 PB [bar]	55，根据产品系列而定	60，根据产品系列而定
操作温度范围 [°C]	-40 至 85	
补偿温度范围 [°C]	低压：-30 至 +40 / 高压：0 至 +80	
额定输出信号	4 至 20 mA	10 至 90% 的电源电压

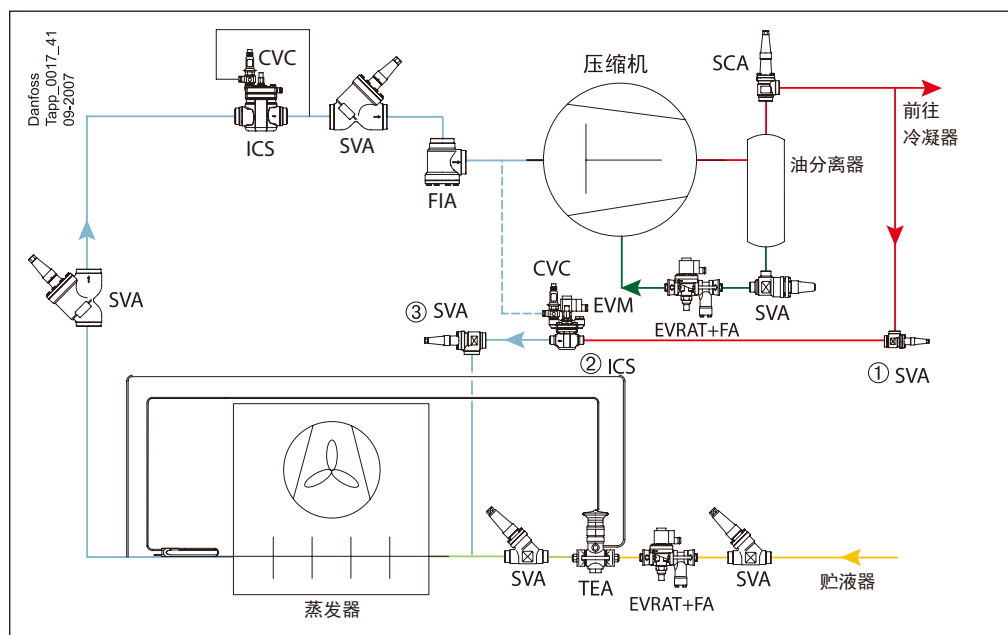
	压力变送器 - AKS 3000	压力变送器 - AKS 32
制冷剂	所有制冷剂，包括氨	所有制冷剂，包括氨
操作范围 [bar]	0 至 60，根据产品系列而定	-1 至 39，根据产品系列而定
最大工作压力 PB [bar]	100，根据产品系列而定	60，根据产品系列而定
操作温度范围 [°C]	-40 至 80	-40 至 85
补偿温度范围 [°C]	低压：-30 至 +40 / 高压：0 至 +80	低压：-30 至 +40 / 高压：0 至 +80
额定输出信号	4 至 20 mA	1 至 5V 或 0 至 10V

应用范例 2.1.2:

通过热气旁通控制压缩机容量

红色 高压气体制冷剂
 黄色 高压液体制冷剂
 蓝色 低压气体制冷剂
 绿色 低压液体制冷剂
 深绿色 润滑油

- ① 截止阀
 ② 能量调节阀
 ③ 截止阀



热气旁通可以用来控制有固定容量压缩机的制冷能力。装有CVC导阀的导阀控制伺服阀ICS①可以根据吸气管上的压力控制热气旁通量。CVC是一个背压控制的导阀，当吸气压力低于设定值时，它可以打

开ICS并增加热气旁通量。通过这种方式，压缩机前端的吸气压力可以保持恒定，因此制冷能力能够满足实际的负载要求。

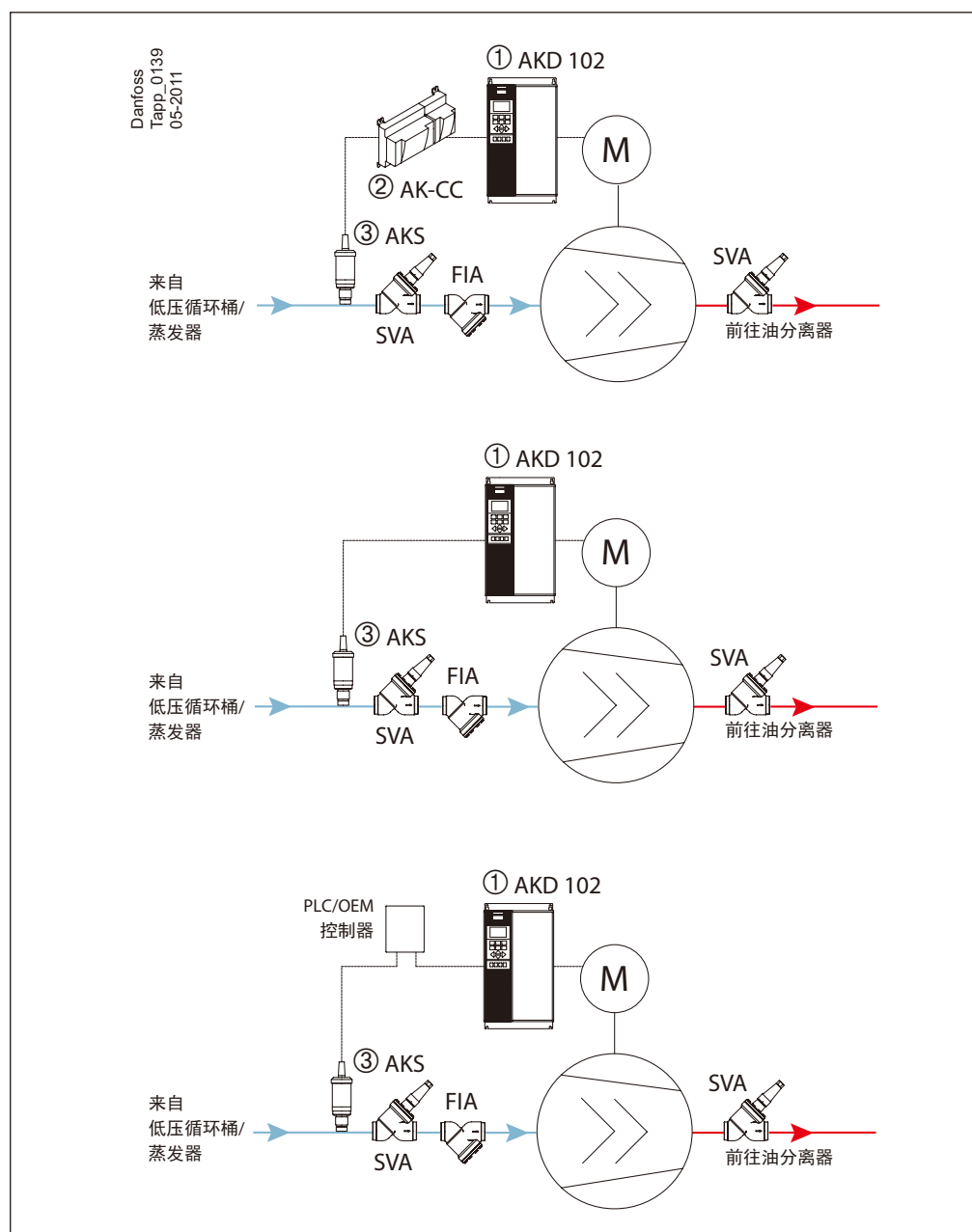
技术数据

	导阀控制的伺服阀 - ICS
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 +120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150

	导阀 - CVC(LP)
制冷剂	所有常用的制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	高压端：28 低压端：17
压力范围 [bar]	-0.45 至 7
K _v 值 [m³/h]	0.2

	导阀 - CVC (XP)
制冷剂	所有常用的制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	高压端：52 低压端：28
压力范围 [bar]	4 至 28
K _v 值 [m³/h]	0.2

- ① 变频器
- ② 控制器
- ③ 压力变送器



- 节能
- 更好地控制效果和稳定性
- 噪音更低
- 使用寿命较长
- 安装简单
- 易于对系统进行控制

	变频器 AKD 102		变频器 VLT FC 102 / FC 302
额定功率 [kW]	1.1 至 45	1.1 至 250	最高至 1200
电压 [V]	200 至 240	380 至 480	200 至 690

2.2

通过喷液控制排气温度

压缩机制造商通常建议将排气温度控制在某个值以下防止温度过高，延长使用寿命，并防止高温时出现油分解现象。

从制冷剂的压焓图可以看到在下列情况下，排气温度可能会很高：

- 压缩机运转时，压差很高。
- 压缩机吸入了具有较高过热度的制冷剂气体。
- 压缩机运转时，通过热气旁通进行容量控制。

可通过以下方法降低排气温度：

一种方法：在往复式压缩机中安装水冷装置。

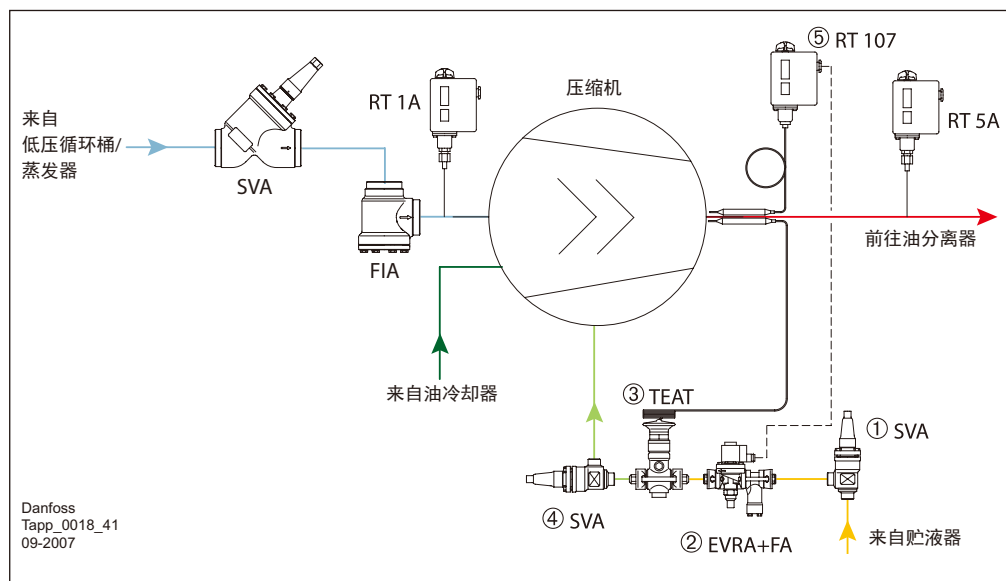
另一种方法：喷射制冷剂液体，从冷凝器或贮液器的出口向吸气管、中间冷却器或螺杆压缩机侧孔喷射液体制冷剂。

应用范例 2.2.1：

通过喷液膨胀阀喷射制冷剂液体

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂
- 润滑油

- ① 截止阀
- ② 电磁阀
- ③ 喷液膨胀阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 温度控制器



当排气温度升高并超出温度控制器RT 107⑤的设定值时，RT 107将接通电磁阀EVRA②，后者会将液体喷射到螺杆压缩机的侧孔。

喷液膨胀阀TEAT③能够根据排气温度控制喷射的液体流量，从而防止了排气温度继续升高。

技术数据

	温度控制器 - RT
制冷剂	氨和氟利昂制冷剂
外壳	IP66/54
感温包温度范围 [°C]	65 至 300
环境温度 [°C]	-50 至 70
调节范围 [°C]	-60 至 150
温度差 Δt [°C]	1.0 至 25.0

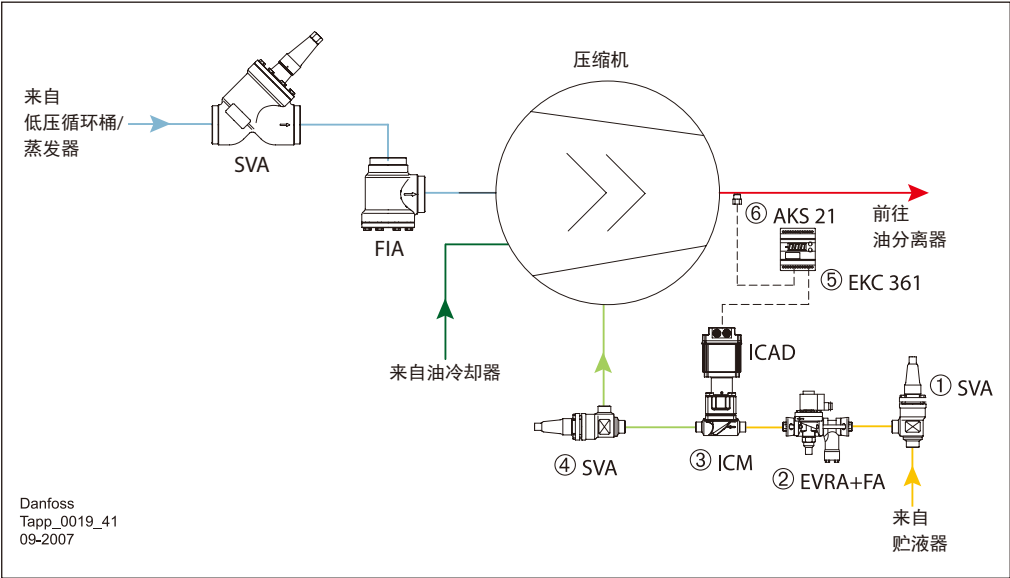
	喷液膨胀阀 - TEAT
制冷剂	氨及氟利昂制冷剂
调节范围 [°C]	感温包最高温度150 比例带：20
最大工作压力 [bar]	20
额定容量* [kW]	3.3 至 274

* 工况： $T_e = +5^\circ\text{C}$, $\Delta p = 8 \text{ bar}$, $\Delta T_{\text{sub}} = 4^\circ\text{C}$

应用范例 2.2.2:
使用电动阀喷射制冷剂液体

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂
- 润滑油

- ① 截止阀
- ② 电磁阀
- ③ 电动阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 控制器
- ⑥ 温度传感器



液体喷射的电子方案可以通过电动阀ICM③来实现。AKS 21 PT 1000温度传感器⑥会测量排气温度并将信号传送给温度控制器EKC 361⑤。EKC 361控制

ICAD电动阀驱动器调整ICM电动阀的开度，以限制和保持要求的排气温度。

技术数据

	电动阀 - ICM(用于膨胀)
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 80
额定容量* [kW]	72 至 22700
* 工况: $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, $\Delta p = 8.0 \text{ bar}$, $\Delta T_{\text{sub}} = 4\text{K}$	
	驱动器 - ICAD
介质温度范围 [°C]	-30 至 50(环境温度)
控制输入信号	0/4 - 10mA, 或 0/2 - 10
最大速度下的开/关时间	3 至 45 秒(取决于阀门尺寸)

应用范例 2.2.3：
通过ICF组合阀喷射液体的紧凑
解决方案

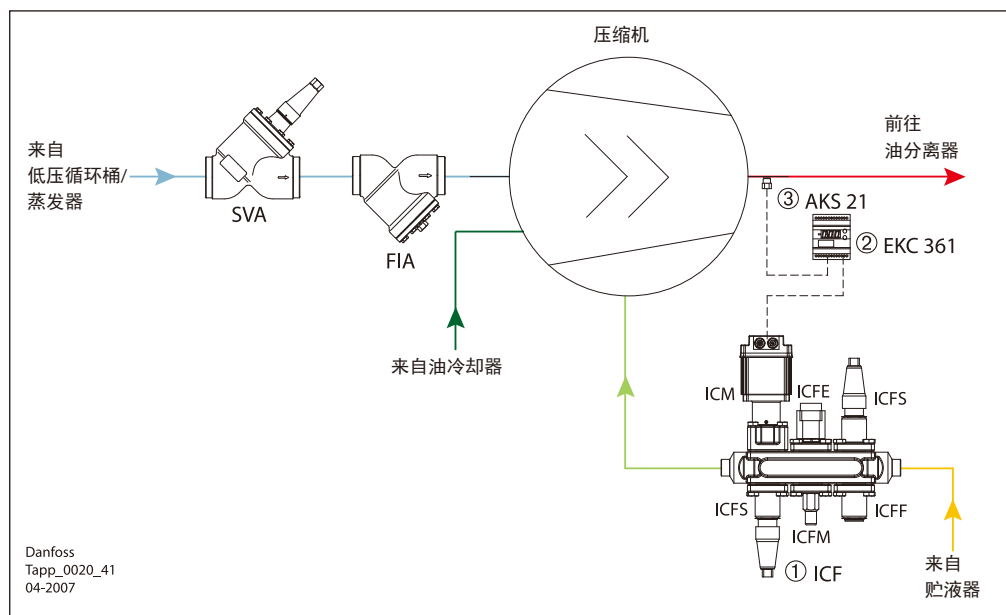
- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂
- 润滑油

① 组合阀包括以下模块：



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 电磁阀手动开启模块
- 电动阀模块
- 截止阀模块

- ② 控制器
- ③ 温度传感器



对于制冷剂液体喷射控制，丹佛斯可以提供非常紧凑的模块化ICF组合阀①。最多可以将六个不同的模块组装到同一个阀体上。此解决方案的工作方式与范例 2.2.2 相同，非常紧凑且易于安装。

技术数据

	ICF 组合阀
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 40

2.3

曲轴箱压力控制

在启动过程中或除霜后，必须控制吸气压力，否则吸气压力会升得很高，压缩机电机也会过载运转。

多活塞往复压缩机的部分活塞，或旁通装有滑阀的螺杆压缩机的部分吸入气体等等。

如果过载，压缩机的电机可能会损坏。

2. 控制往复压缩机的曲轴箱压力。通过在吸气管上安装背压控制的调节阀(该阀门在吸气管中的压力降到设定值以下时才会开启)，可以使吸气压力保持在某一个水平之下。

有两种方法可以解决这个问题：

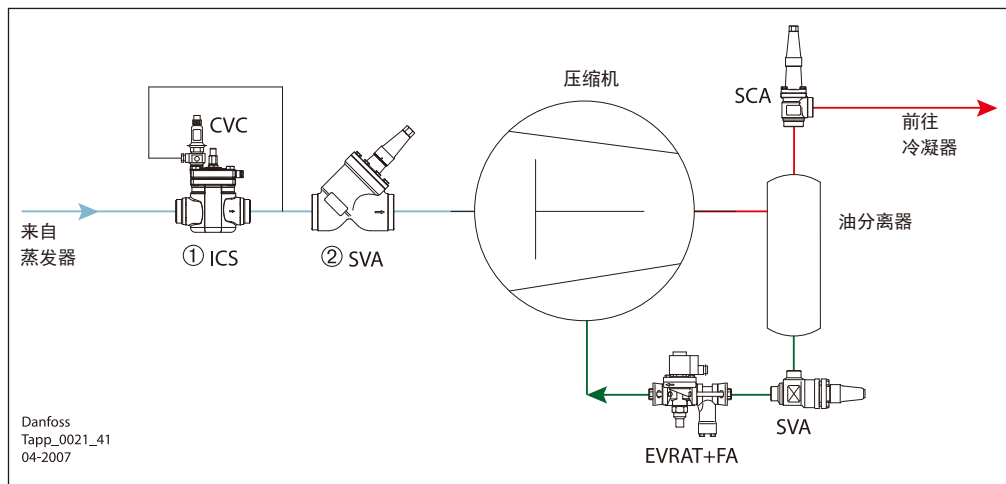
1. 在部分负荷情况下启动压缩机。可以使用容量控制方法在部分负载的情况下启动压缩机，例如，卸载

应用范例 2.3.1:

使用 ICS 和 CVC 控制曲轴箱压力

— 高压气体制冷剂
— 低压气体制冷剂
— 润滑油

① 曲轴箱压力调节阀
② 截止阀



为了在启动、除霜后或者吸气压力可能过高的其他情况下控制曲轴箱压力，可以在吸气管上安装带有背压控制阀CVC的导阀控制的伺服主阀ICS①。仅当下游的吸气压力降低到导阀CVC的设定值时，ICS

才会被打开。通过这种方式，吸气管中的高压气体会被逐步释放到曲轴箱中，从而保证了压缩机的容量能够得到控制。

技术数据

	导阀控制伺服主阀 - ICS
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 +120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150
制冷量* [kW]	11 至 2440

* 工况： $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, $T_l = 30^{\circ}\text{C}$, $\Delta p = 0.2 \text{ bar}$, $\Delta T_{\text{sub}} = 8\text{K}$

	导阀 - CVC(LP)
制冷剂	所有常用的制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	高压端：28 低压端：17
压力范围 [bar]	-0.45 至 7
K_v 值 [m³/h]	0.2

	导阀 - CVC(XP)
制冷剂	所有常用的制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	高压端：52 低压端：28
压力范围 [bar]	4 至 28
K_v 值 [m³/h]	0.2

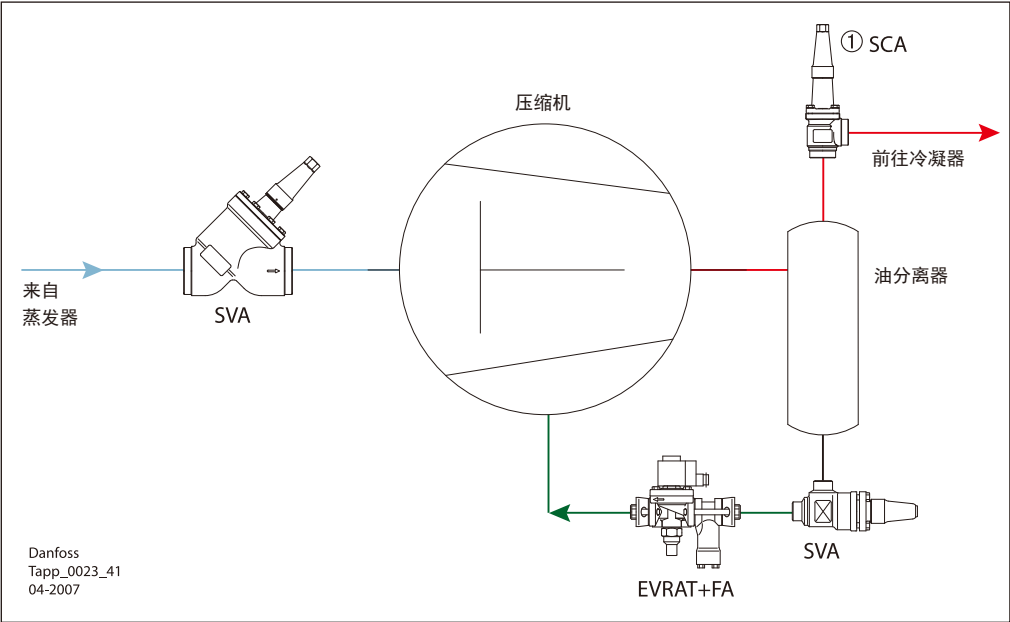
2.4
反向流控制

应用范例 2.4.1：
反向流控制

- 高压气体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 润滑油

① 截止止回阀

任何情况下都应避免制冷剂在冷凝器中冷凝并倒流回油分离器和压缩机。对于活塞式压缩机，反向流会导致发生液击。对于螺杆压缩机，反向流会导致压缩机反向旋转并会损坏压缩机齿轮。因此，应当避免制冷剂反向流入油分离器，进而流入处于静止状态的压缩机。为了避免出现反向流，需要在油分离器的出口位置安装止回阀。



- 截止止回阀SCA①既可以在系统运转时用作止回阀，也可以用作截止阀，用于关闭排气管。这种组合式的截止/止回阀解决方案不仅易于安装，而且与常规的截止阀加止回阀相比，其流阻较低。
2. 考虑常规以及部分负载两种情况。正常情况下的速度应当接近建议值，同时部分负载情况下的速度应当高于建议的最低值。

关于如何选择阀门的详细信息，请参考产品目录。

- 选择截止止回阀时，重要的是注意以下几点：
1. 根据容量而非管道尺寸大小选择阀门。

技术数据

	截止止回阀 - SCA
材料	阀体：低温钢，可用于低温操作 阀杆：抛光不锈钢
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-60 至 150
开启压差 [bar]	0.04(提供强度为0.3 bar 的弹簧作为备件)
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	15 至 125

2.5

小结

解决方案		应用	优点	缺点
压缩机容量控制				
使用 EKC 331 和 AKS 32/33 对压缩机容量进行分级控制		适用于多缸压缩机、装有多 个吸气口的螺杆压缩机以及 装有多台并行运行的压缩机 的系统。	操作简单； 部分负载和满负荷时的效率 几乎相同。	控制不连续，尤其是当只有 几个步骤时； 吸气压力会出现波动。
通过使用 ICS 和 CVC 的热 气旁通控制压缩机容量		适用于具有固定容量的压 缩机。	能够根据实际的热负载有效 而持续地控制流量； 热气有利于润滑油从蒸发器 中返回。	部分负载情况下，效率低； 耗能能源。
压缩机变速容量控制		适用于所有能够在减速情况 下运转的压缩机。	启动电流低； 节能； 噪音较低； 使用寿命较长； 安装简单。	压缩机必须适合于减速 运转。
通过喷液控制排气温度				
使用 TEAT、EVRA(T) 和 RT 进 行液体喷射控制的机械解 决方案		适用于排气温度可能升得过 高的系统。	简单有效。	喷射液体制冷剂可能会对压 缩机有害。效率不及中间冷 却器。
使用 EKC 361 和 ICM 进行喷 液控制的电子解决方案 使用 EKC 361 和 ICF 组合阀 进行喷液控制的电子解决 方案		适用于排气温度可能升得过 高的系统。	灵活，紧凑； 可以远程监控和控制。	不适用于易燃制冷剂； 喷射液体制冷剂可能会对压 缩机有害； 效率不及中间冷却器。
曲轴箱压力控制				
使用 ICS 和 CVC 控制曲轴 箱压力		适用于往复式压缩机，一般 用于中小型系统。	简单可靠； 在启动过程中或热气除霜 后，能够有效保护往复式 压缩机。	使吸气管上出现一定的压 降。
使用 ICS 和 CVP 控制曲轴 箱压力				
反向流控制				
使用 SCA 进行反向流控制		适用于所有制冷设备。	操作简单； 易于安装； 低流阻。	使排气管上出现一定的压 降。

3. 冷凝器控制

当周围空气温度或负载条件有较大变化时，需要控制冷凝压力，以防其降得过低。冷凝压力过低会造成膨胀装置内的压差不足，蒸发器不能得到足够的制冷剂。这意味着冷凝器容量控制主要用在温带气候地区，而较少用于亚热带和热带地区。

控制的基本理念：当环境温度较低时控制冷凝器容量，这样冷凝压力就会保持在最低允许值之上。

冷凝容量的控制，可以通过调节冷凝器中循环空气或是水的流量，或通过调节有效换热面积的办法来实现。

可以为不同类型的冷凝器设计不同的解决方案：

3.1 风冷式冷凝器

3.2 蒸发式冷凝器

3.3 水冷式冷凝器

3.1 风冷式冷凝器

风冷式冷凝器由翅片管组成。冷凝器可以是水平型、垂直型或V型。空气在轴流或离心风机的作用下从冷凝器的底部穿过换热器从顶部流出。

风冷式冷凝器用于空气湿度相对较高的工业制冷系统。可以通过以下方式实现对风冷式冷凝器冷凝压力的控制：

3.1.1 风冷式冷凝器的分级控制

第一种方式是使用一定数量的压力控制器(可采用丹佛斯产品RT-5)它们将根据设定的不同接通和切断压力进行调整。

第二种控制风扇的方法是使用一个中性区域压力控制器(例如丹佛斯产品RT-L)。它与分级控制器一同使用，后者安装有与风扇数量相对应的接触器。

但是这个系统反应过快，因此需要使用时钟来控制风扇的接通与切断。

第三种方法是使用丹佛斯产品EKC-331分级控制器进行控制。

3.1.2 风冷式冷凝器的风扇速度控制

当环境原因要求降低噪音级别时，主要使用此种冷凝器风扇控制方法。

对于这种控制方式，可以使用丹佛斯变频器AKD。

3.1.3 风冷式冷凝器的压力范围控制

若要对风冷式冷凝器的压力范围或容量进行控制，则需要安装贮液器。该贮液器的容积必须足够大，以满足冷凝器中制冷剂量的变化要求。

可以通过以下两种方式实现对这种冷凝器压力范围的控制：

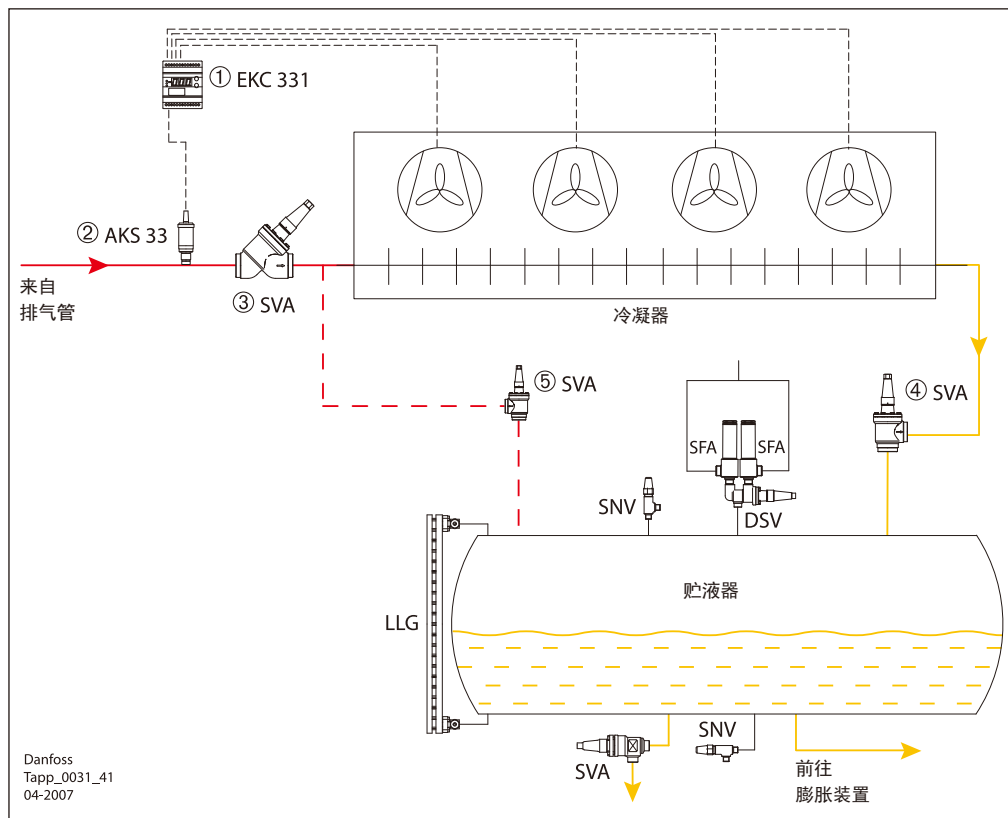
1. 主阀ICS或PM与恒压导阀CVP(高压)组合在一起，安装在冷凝器入口端的热气管道上；ICS主阀与压差导阀CVPP(高压)组合在一起，安装在热气管道与贮液器之间的管道上。在冷凝器与贮液器之间的管道上安装止回阀NRVA以防止液体从贮液器流动到冷凝器。

2. 主阀ICS与恒压导阀CVP(高压)组合在一起，安装在冷凝器与贮液器之间的管道上。ICS与压差导阀CVPP(高压)组合在一起，安装在热气管道与贮液器之间的管道上。这种方法主要用在商业制冷中。

应用范例 3.1.1:
使用分级控制器 EKC 331 对风扇
进行分级控制

— 高压气体制冷剂
— 高压液体制冷剂

- ① 分级控制器
② 压力变送器
③ 截止阀
④ 截止阀
⑤ 截止阀



EKC 331①是一个四级控制器，最多有四个中继输出。它能根据压力变送器AKS 33②或AKS 32R测量的冷凝压力信号控制风扇的开关。EKC 331①可以基于“中性区域控制”控制冷凝容量，这样冷凝压力就可以保持在所需的最小压力之上。

有关中性区域控制的详细信息，请参考2.1节。

安装有SVA⑤的旁通管是一个调压管，有助于平衡贮液器的压力与冷凝器的入口压力，这样冷凝器中的液体制冷剂就可以被排放到贮液器中。

在某些设备上使用EKC 331T，输入信号可以来自PT 1000温度传感器，例如AKS 21。温度传感器通常安装在冷凝器的出口位置。

注意！ EKC 331T + PT 1000温度传感器解决方案的精确性要低于EKC 331 + 压力变送器解决方案。原因是制冷系统中液体过冷度或不凝性气体的存在，导致冷凝器出口温度不能完全反映实际的冷凝压力。如果过冷度不足，那么当风扇启动时可能会出现闪发气体。

技术数据

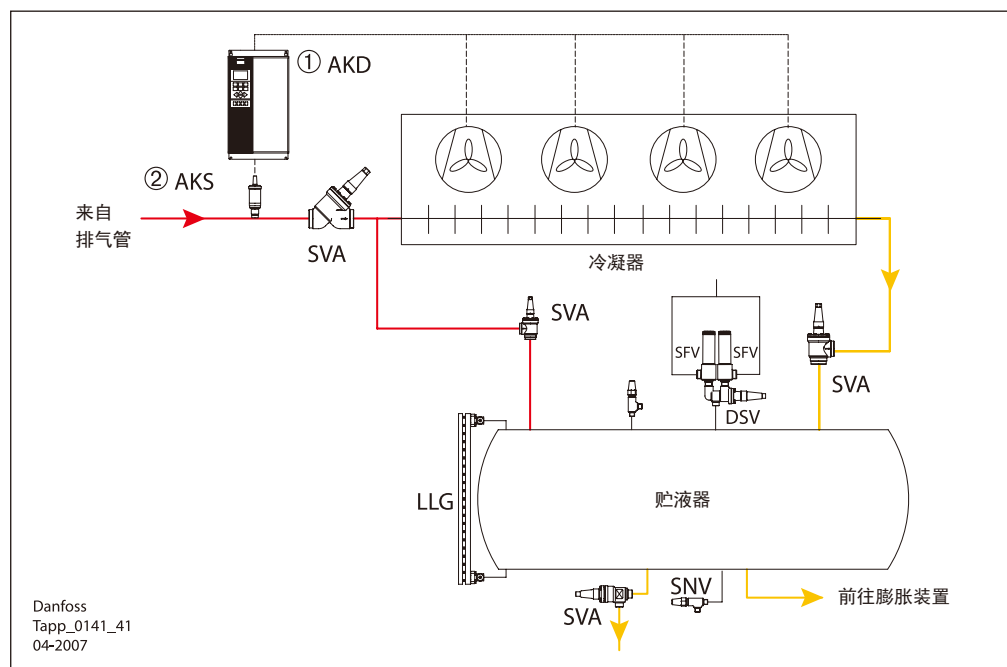
	压力变送器 - AKS 33	压力变送器 - AKS 32R
制冷剂	所有制冷剂，包括氨	所有制冷剂，包括氨
操作范围 [bar]	-1 至 34	-1 至 34
最大工作压力 [bar]	55，根据产品系列而定	60，根据产品系列而定
操作温度范围 [°C]	-40 至 85	
补偿温度范围 [°C]	低压：-30 至 +40 / 高压：0 至 +80	
额定输出信号	4 至 20 mA	10 至 90% 的电源电压

	压力变送器 - AKS 3000	压力变送器 - AKS 32
制冷剂	所有制冷剂，包括氨	所有制冷剂，包括氨
操作范围 [bar]	0 至 60，根据产品系列而定	-1 至 39，根据产品系列而定
最大工作压力 [bar]	100，根据产品系列而定	60，根据产品系列而定
操作温度范围 [°C]	-40 至 80	-40 至 85
补偿温度范围 [°C]	低压：-30 至 +40 / 高压：0 至 +80	
额定输出信号	4 至 20 mA	1 至 5V 或 0 至 10V

应用范例 3.1.2:
风冷式冷凝器的风扇速度控制

■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂

① 变频器
② 压力变送器



变频器控制具有以下优点:

- 节能
- 改善控制效果
- 更低噪音
- 使用寿命较长
- 安装简单
- 易于对系统进行完全控制

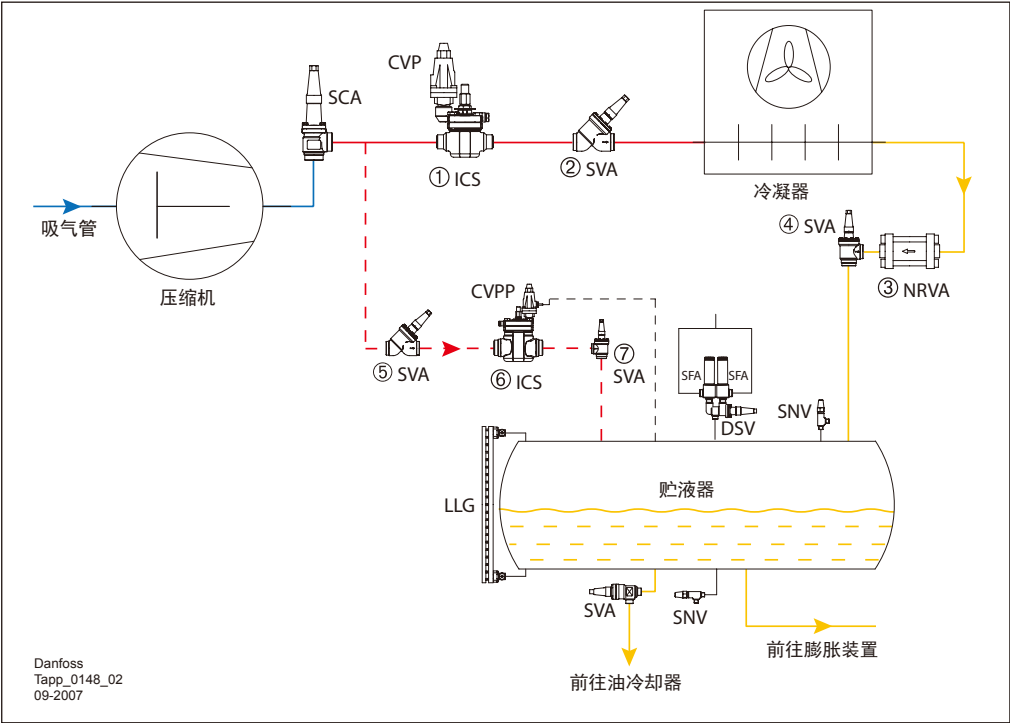
技术数据

	变频器 AKD 102		变频器 VLT FC 102 / FC 302
额定功率 [kW]	1.1 至 45	1.1 至 250	最大至1200
电压 [V]	200 至 240	380 至 480	200 至 690

应用范例 3.1.3：
风冷式冷凝器的压力范围控制

— 高压气体制冷剂
— 低压液体制冷剂

- ① 压力调节阀
- ② 截止阀
- ③ 止回阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 压差调节阀
- ⑦ 截止阀



该调控解决方案能够在环境温度较低时，将贮液器中的压力保持在足够高的水平。

当排气压力达到导阀CVP的设定压力值时，ICS导阀控制的伺服主阀①将打开；当压力降到导阀CVP的设定压力值以下时，ICS导阀操作式伺服阀将关闭。

装有CVPP差压导阀的ICS主阀保持贮液器中有足够

的压力。该压差调节阀也可以用溢流阀(OFV)代替。

NRVA止回阀所在的管路确保冷凝器中较高压力的制冷剂液体流入贮液器并防止倒流。这就需要设置一个足够大的贮液器接收制冷剂液体。当冷凝器在压缩机关闭期间温度更低时，NRVA止回阀还可以防止液体从贮液器倒流入冷凝器。

技术数据

	导阀控制的伺服主阀 - ICS
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150
额定制冷量* [kW]	排气管路上： 20 至 3950 液体管路上： 179 至 37000

* 工况：氨， $T_{liq}=30^{\circ}\text{C}$ ， $P_{disch.}=12\text{bar}$ ， $\Delta P=0.2\text{bar}$ ， $T_{disch.}=80^{\circ}\text{C}$ ， $T_e=-10^{\circ}\text{C}$

	压差导阀 - CVPP
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	CVPP(低压)： 17 CVPP(高压)： 最大至 40
调节范围 [bar]	CVPP(低压)： 0 至 7 CVPP(高压)： 0 至 22
K_v 值 m^3/h	0.4

技术数据(续)

	恒压导阀 - CVP
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	CVP(LP): 17 CVP(HP): 最大至40 CVP(XP): 52
压力范围 [bar]	CVP(LP): -0.66 至 7 CVP(HP): -0.66 至 28 CVP(XP): 25 至 52
K _v 值 [m³/h]	CVP(LP): 0.4 CVP(HP): 0.4 CVP(XP): 0.2

	溢流阀 - OFV
材料	阀体: 钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	20/25
开启压差范围 [bar]	2 至 8

3.2 蒸发式冷凝器

蒸发式冷凝器以水和空气作为冷却介质，通过喷头把水顺着气流相反的方向喷洒水滴。由于利用水分的蒸发作用吸热，因此大大提高了冷凝器的冷凝换热能力。

现在的蒸发式冷凝器通常被装入一个钢制或塑料的外壳内，冷凝器底部或上部装有轴流风扇或离心式风扇。

蒸发冷凝器中与湿气流的热交换表面是由钢管组成的。在进入冷却水喷淋区域之前的干燥空气中，通常可以安装由钢制翅片管组成的预冷器。该预冷器用于降低

进入湿空气换热区域的制冷剂热温度。使用这种方式，可大大减少换热器主管表面上钙质水垢的形成。

与常规的水冷式冷凝器相比，此种类型的冷凝器可大大减少耗水量。蒸发式冷凝器的容量可以通过双速风扇或风扇的变速控制器进行控制，当环境温度很低时可以关闭水循环泵。

蒸发式冷凝器通常在相对湿度较高的地区使用。在很冷的环境中(环境温度 $<0^{\circ}\text{C}$)，必须排出蒸发式冷凝器中的水进行除霜防护。

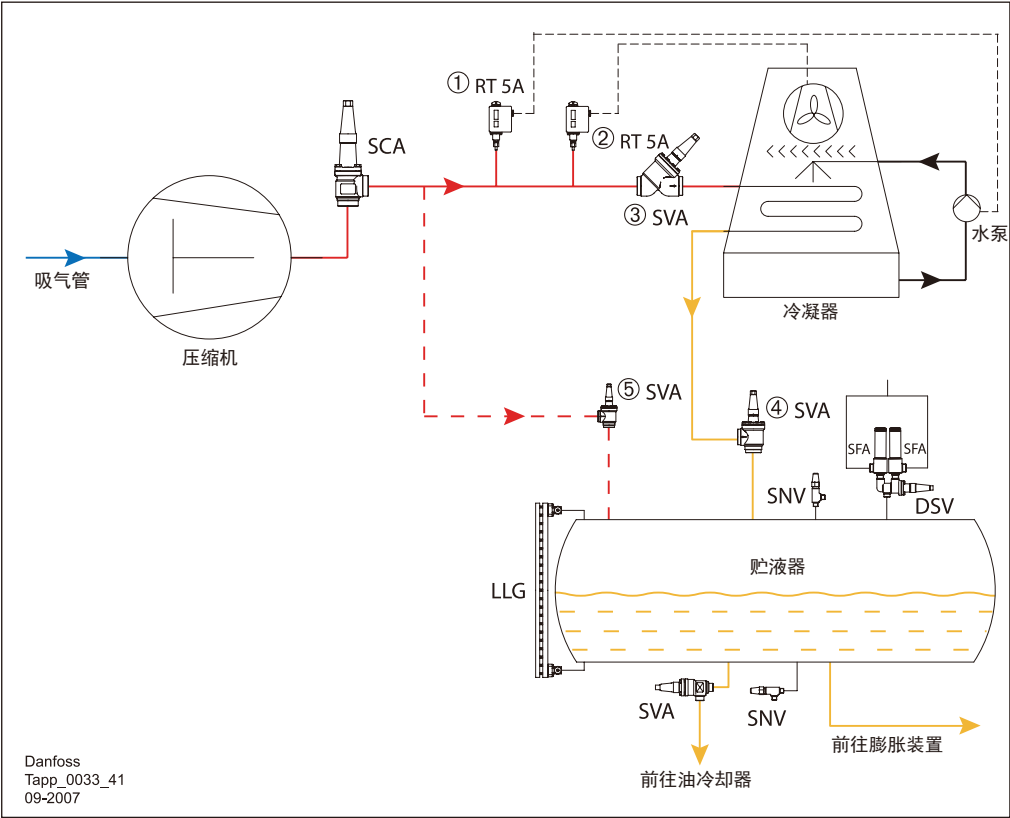
3.2.1 蒸发式冷凝器的控制

可以通过下列不同的方法来实现对蒸发式冷凝器的冷凝压力或冷凝器容量的控制：

1. 通过RT或KP压力控制器对风扇和水泵进行控制(早期即如此)。
2. 通过RT-L中性区域压力控制对风扇和水泵进行控制。
3. 采用分级控制器控制双速风扇和水泵。
4. 采用变频器控制风扇和水泵转速。
5. 可以采用Saginomiya(日本鹭宫)的流量开关监控系统的水循环是否正常工作。

应用范例 3.2.1：
使用压力控制器 RT 对蒸发式冷
凝器进行分级控制

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 水
- ① 压力控制器
- ② 压力控制器
- ③ 截止阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀



该解决方案能够在环境温度较低的情况下将冷凝压力以及贮液器中的压力保持在足够高的水平。

当冷凝器的入口压力降到压力控制器 RT 5A ② 的设定值之下时，控制器将关闭电扇，进而降低冷凝能力。

在环境温度极低的情况下，当关闭了所有的风扇并且冷凝压力降到 RT 5A ① 的设定值以下时，RT 5A ① 将会关闭水泵。

当泵关闭时，冷凝器 and 水管都必须排空，以防止结垢和结冰。

技术数据

	高压压力控制 - RT 5A
制冷剂	氨和氟利昂制冷剂
外壳	IP66/54
环境温度 [°C]	-50 至 70
调节范围 [bar]	RT 5A: 4 至 17
最大工作压力 [bar]	22
最大测试压力 [bar]	25

3.3
水冷式冷凝器

水冷式冷凝器过去往往采用壳管式换热器，但是现在通常是新式设计的板式换热器。

水冷式冷凝器不太常用，因为这种类型的冷凝器耗水量大，而很多地方一般都由于缺水 and/或水价较高的原因而无法使用大量的水。

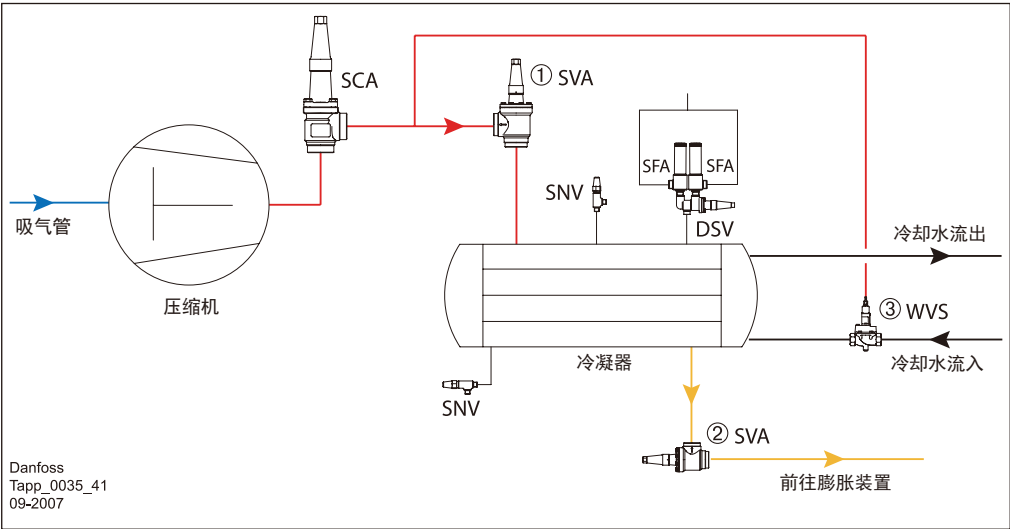
现在，水冷式冷凝器常见于冷水机组中，冷却水被冷却塔冷却，并被循环使用。它还可用作热回收冷凝器，用来提供热水。

可以采用通过压力控制的水阀，或电子控制器控制的电动水阀根据冷凝压力控制冷却水的流量进而控制冷凝压力。

应用范例 3.3.1：
使用水阀控制水冷式冷凝器的
水流量

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 水

- ① 截止阀
- ② 截止阀
- ③ 水阀



此解决方案能够使冷凝压力保持恒定水平。制冷剂冷凝压力被通过毛细管引导到水阀WVS③，并相应地调整WVS③的开启。水阀WVS是一个比例调节阀。

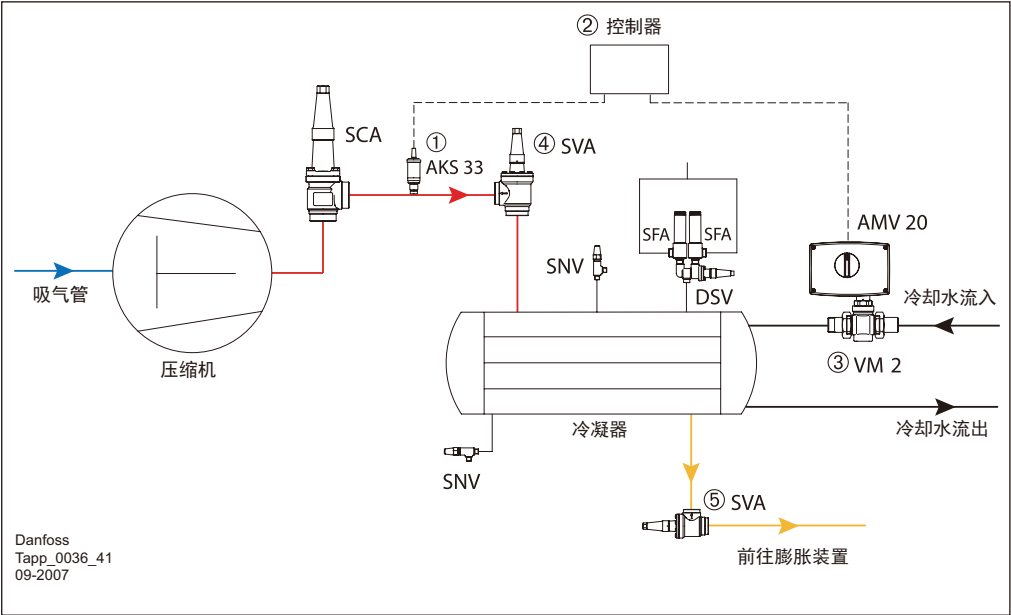
技术数据

	水阀 – WVS
材料	阀体：铸铁 波纹管：铝及防腐钢
制冷剂	氨、CFC、HCFC、HFC
介质	淡水、中性盐水
介质温度范围 [°C]	-25 至 90
可调节关闭压力 [bar]	2.2 至 19
制冷剂侧的最大工作压力 [bar]	26.4
液体侧的最大工作压力 [bar]	10
DN [mm]	32 至 100

应用范例 3.3.2:
使用电动阀控制水冷式冷凝器的
水流量

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 水

- ① 压力变送器
- ② 控制器
- ③ 电动阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀



控制器②接收来自压力变送器AKS 33①测量的冷凝压力信号，之后向电动阀VM 2③的驱动器AMV 20发送相应的调制信号。通过这种方式，就可以调整冷却水的流量，并使冷凝压力保持恒定。

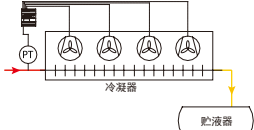
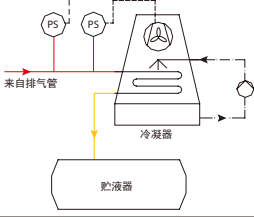
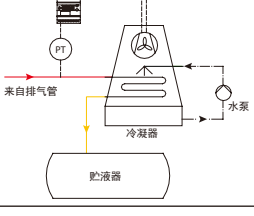
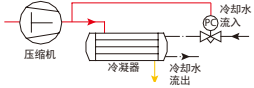
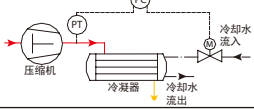
在此解决方案中，可以在控制器中配置PI或PID控制方式。

VM 2和VFG 2是电动阀，可用于区域供热，也可以用于控制制冷设备中的水流量。

技术数据

	电动阀 - VM 2
材料	阀体：红铜
介质	循环水/乙二醇水的比例可高达 30%
介质温度范围 [°C]	2 至 150
最大工作压力 [bar]	25
DN [mm]	15 至 50

3.4 小结

解决方案		应用	优点	缺点
风冷式冷凝器控制				
使用分级控制器 EKC 331 对风扇进行分级控制		主要用于热带气候地区的工业制冷行业，在气候较冷的地区则很少使用。	分级或通过风扇变速控制风量； 节能； 无须用水。	不适于环境温度很低的情况； 使用风扇分级控制所产生的噪音较大。
风冷式冷凝器的风扇速度控制		适合于所有能够在减速情况下运转的冷凝器。	启动电流低； 节能噪音较低； 使用寿命较长； 安装简单。	不适于环境温度很低的情况。
蒸发式冷凝器控制				
使用压力控制器 RT 对蒸发式冷凝器进行分级控制		用于制冷量要求很大的工业制冷系统中。	与水冷式冷凝器相比，大大减少了用水量，而且比较容易进行容量控制； 节能。	不适合在相对湿度较高的国家或地区使用； 在低温气候下，必须采取特殊的预防措施，以确保水泵在关闭时将水管中的水排出。
使用分级控制器 EKC 331 分级控制蒸发式冷凝器		用于制冷量要求很大的工业制冷系统中。	与水冷式冷凝器相比，大大降低了用水量，而且比较容易进行容量控制； 可以实现远程控制； 节能。	不适合在相对湿度较高的国家或地区使用； 在低温气候下，必须采取特殊的预防措施，以确保水泵在关闭时将水管中的水排出。
水冷式冷凝器控制				
使用水阀进行液体流量控制		冷水机组、热回收冷凝器。	很容易进行容量控制。	水资源匮乏时不适合使用。
使用电动阀控制液体流量		冷水机组、热回收冷凝器。	易于对冷凝器和热回收进行容量控制； 可以实现远程控制。	此种类型的设备价格要远高于常规设置； 水资源匮乏时不适合使用。

4. 液位控制

液位控制在工业制冷系统的设计中是一个很重要的因素。它能控制供液，从而使液位保持恒定。

设计液位控制系统时，可能会用到两个主要不同的系统，即：

- 高压液位控制系统(HP LLRS)
- 低压液位控制系统(LP LLRS)

高压液位控制系统的典型特征：

1. 重点在系统冷凝侧的液位
2. 合适的制冷剂充注量至关重要
3. 贮液器较小，甚至不使用贮液器
4. 主要用于冷水机组以及其他制冷剂充注量较小的系统(例如，小型冷冻设备)

低压液位控制系统的典型特征：

1. 重点在系统蒸发侧的液位
2. 贮液器通常较大
3. 制冷剂充注量(足够)大
4. 主要应用于分散系统

可以通过机械或电子控制的手段来实现这两种系统。

4.1 高压液位控制系统(HP LLRS)

设计高压液位控制系统(HP LLRS)时，应考虑以下几点：

一旦冷凝器中的制冷剂凝结为液体，这些制冷剂液体就被输送到蒸发器(低压侧)中。

液体离开冷凝器后，过冷度很小或几乎没有。当液体流向低压一端时，这是需要考虑的重要一点。如果管道或元件中出现压力损失，那么就可能会出现闪发气体，并会导致制冷量降低。

必须准确计算制冷剂的充注量，以确保系统中有足够量的制冷剂。如果充注过量，那么蒸发器或低压循环桶中的制冷剂将溢出并导致液体进入压缩机(液击)的

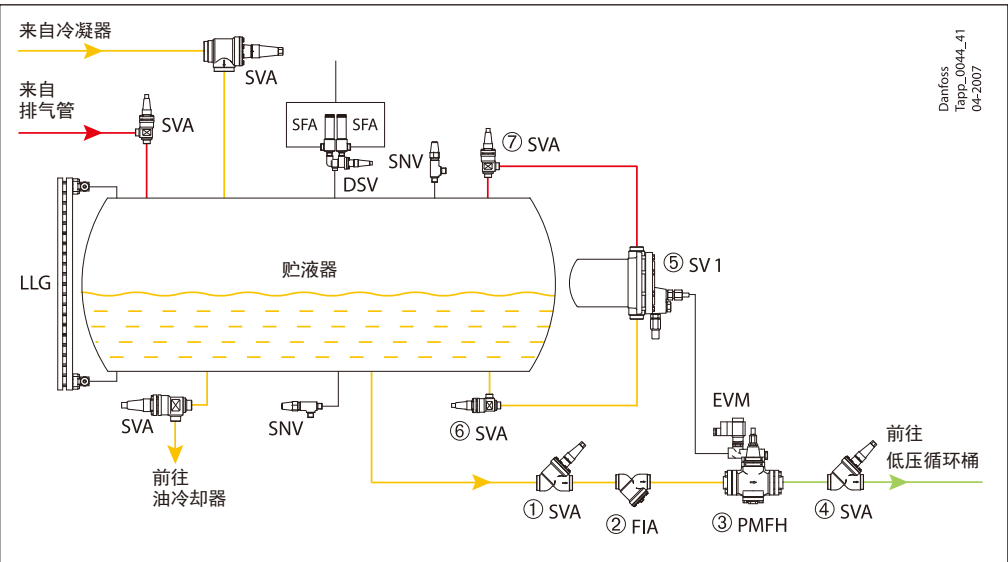
风险就会增大；如果系统的充注量不足，那么就无法为蒸发器提供足够的制冷剂。在设计低压容器(低压循环桶/壳管蒸发器)的尺寸时必须十分小心，既要满足所有情况下的制冷剂充注量要求，同时又避免出现液击现象。

由于上述原因，高压液位控制系统(HP LLRS)尤其适合于制冷剂充注量需求较少的系统，例如冷水机组或小型冷冻设备。冷水机组通常不需要贮液器，即使是安装导阀并为油冷却器提供制冷剂时需要使用贮液器，小型贮液器已经可以满足需求。

应用范例 4.1.1：
高压液位控制的机械解决方案

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 液位控制的伺服主阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 浮球阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 截止阀



在大型的高压液位控制系统(HP LLRS)系统上，SV 1⑤或SV 3浮球阀用作主阀PMFH③的导阀。如上所示，当贮液器的液位高于设定液位时，浮球阀SV 1⑤会向主阀PMFH发送信号并将其打开。

技术数据

	PMFH 80 - 1 至 500
材料	低温球墨铸铁
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及 CFC
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	28
最大测试压力 [bar]	42
额定容量* [kW]	139 至 13900

* 工况：氨, +5/32°C, T_i = 28°C

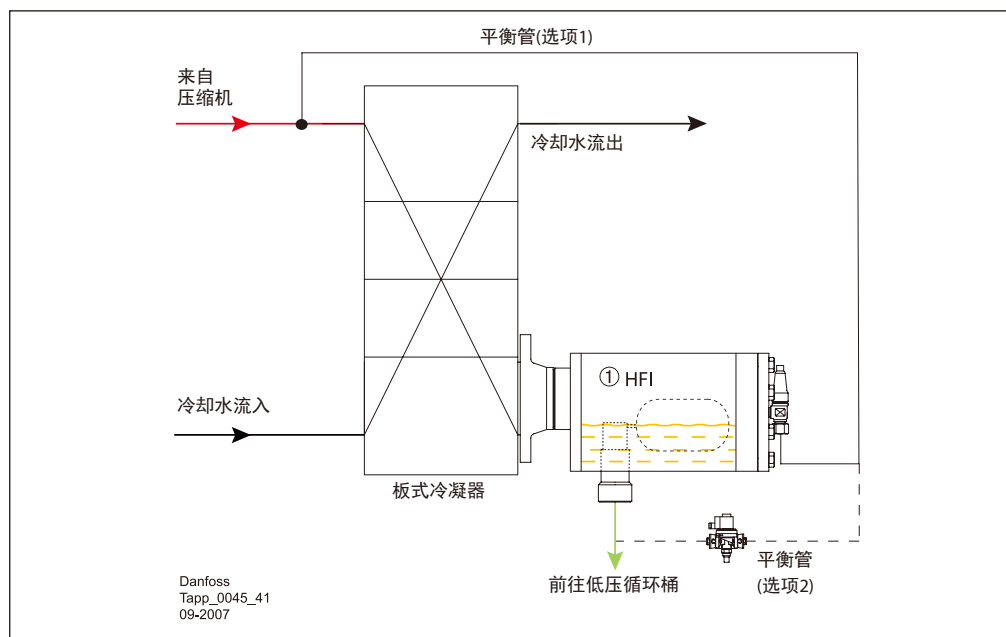
	浮球阀 - SV 1 及 SV 3
材料	阀体：钢 顶盖：低温铸铁 浮球：不锈钢
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及 CFC
介质温度范围 [°C]	-50 至 65
P 波段 [mm]	35
最大工作压力 [bar]	28
最大测试压力 [bar]	36
K _v 值 [m³/h]	SV 1: 0.06 SV 3: 0.14
额定容量* [kW]	SV 1: 25 SV 3: 64

* 工况：氨, +5/32°C, T_i = 28°C

应用范例 4.1.2:
使用 HFI 控制 高压液位的机械
解决方案

■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂/低压液体
■ 液体制冷剂
■ 水

① 高压浮球阀



如果冷凝器是一个板式换热器，则机械浮球阀HFI①可用于控制液位。

HFI是一个直接传动的浮球阀，因此不需要压差来启动。

有必要在HFI阀体与系统的高压侧或低压侧(选项1或选项2)安装平衡管如图所示，通过平衡管可以把阀体

中的积聚的制冷剂气体排出。如果没有把制冷剂气体及时排出，将使液体制冷剂无法进入HFI阀体导致HFI阀无法打开。

选项1是最简单的解决方案，选项2要求在均衡管内安装电磁阀。

技术数据

	机械浮球阀 - HFI
材料	特种钢，适用于低温应用
制冷剂	氨及其他不易燃制冷剂。对于浓度高于 700kg/m³的制冷剂，请咨询丹佛斯公司
介质温度范围 [°C]	-50 至 80
最大工作压力 [bar]	25
最大测试压力 [bar]	50(无浮球)
额定容量* [kW]	400 至 2400

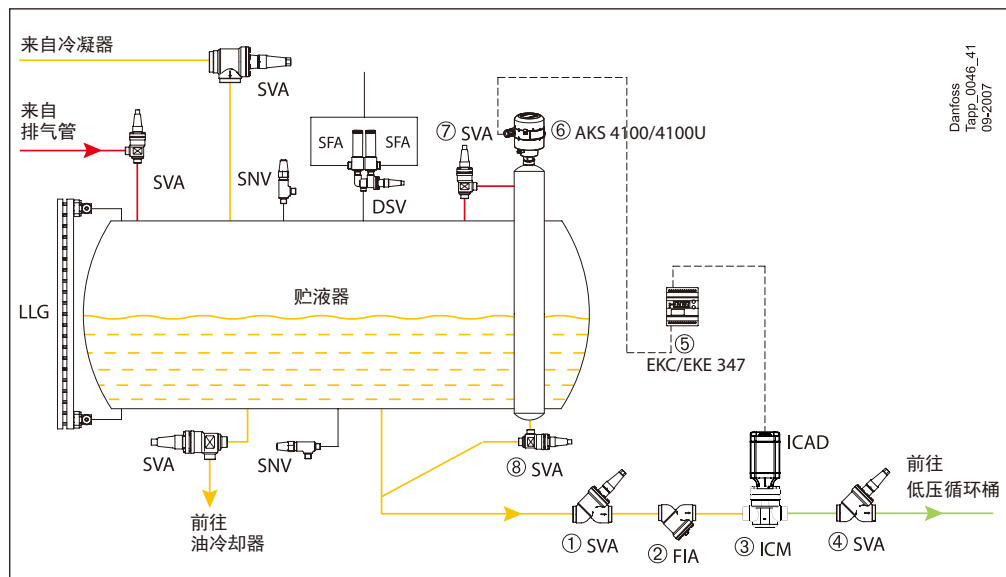
* 工况：氨，-10/35°C

应用范例 4.1.3:

高压液位控制的电子解决方案

— 高压气体制冷剂
— 高压液体制冷剂
— 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
 ② 过滤器
 ③ 电动阀
 ④ 截止阀
 ⑤ 控制器
 ⑥ 液位传感器
 ⑦ 截止阀
 ⑧ 截止阀



Danfoss
 Tapp_0046_41
 09-2007

在设计液位控制系统(LLRS)电子解决方案时, 液位信号可由液位开关(ON/OFF)AKS 38或液位传感器AKS 4100/4100U(4-20 mA)发出。

电子信号将被发送到可以控制膨胀阀的EKC/EKE 347电子控制器。

液体喷射可以通过以下不同的方式进行控制:

- 使用装有ICAD驱动器的电动阀ICM进行控制。
- 使用脉冲式电子膨胀阀AKVA进行控制。只有当阀门脉冲可接受时, 才应使用AKVA阀。

- 使用起膨胀阀作用的调节阀REG与EVRA电磁阀来实施ON/OFF控制。
- 图示的系统是AKS 4100/4100U⑥液位传感器, 它会向EKC/EKE347⑤液位控制器发送液位信号。ICM③电动阀可起到膨胀阀的作用。

技术数据

	电动阀 - ICM(用于膨胀)
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 80
额定容量* [kW]	73 至 22700

* 工况: 氨, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, $\Delta p = 8.0 \text{ bar}$, $\Delta T_{\text{sub}} = 4\text{K}$;

	液位传感器 - AKS 4100/4100U
材料	螺纹与管道: 不锈钢 上面的部件: 铸铝
制冷剂	氨、R22、R404a、R134a、R718、二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 100
操作压力 [bar g]	-1 至 100 (-14.5 psi 至 1450 psi)
测量范围 [mm]	800 至 8000

4.2

低压液位控制系统(LP LLRS)

设计低压液位控制系统(LP LLRS)时, 应考虑以下几点:

使低压容器(低压循环桶/壳管蒸发器)中的液位保持在一个恒定的水平。这对系统来说是安全的, 因为如果低压循环桶中的液位过高, 则可能会使压缩机遭受液击; 如果液位过低, 则可能会导致泵循环系统中的制冷剂泵出现气蚀现象。

贮液器的容积必须足够大, 以便在以下几种情况下收集蒸发器排出的液体制冷剂: 当部分蒸发器中的制冷剂含量随冷却负载的变化而变化时; 当系统中的部分蒸发器由于维护而关闭时; 当系统中的部分蒸发器由

于除霜而被排空时。根据以上几点, 低压液位控制系统(LP LLRS)尤其适合于配备了很多蒸发器, 且制冷剂充注量很大的分散系统, 如冷藏库。使用低压液位控制系统(LP LLRS), 即使在无法准确计算制冷剂充注量的情况下, 这些系统也可以安全地运行。

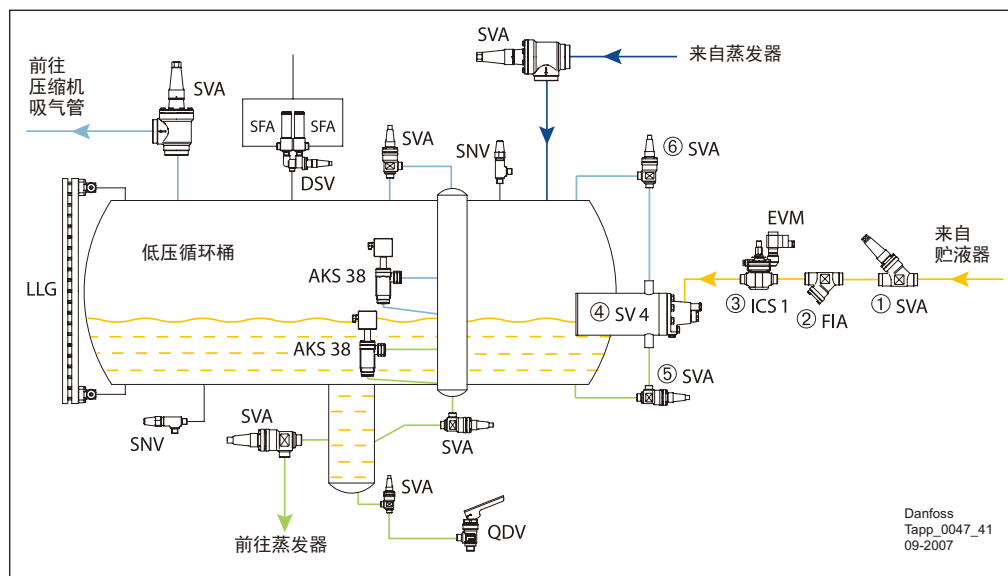
总之, 高压液位控制系统(HP LLRS)适合用于紧凑的系统, 例如冷水机组; 其优点是成本低(贮液器较小或不用贮液器)。而低压液位控制系统(LP LLRS)非常适合于装备有许多蒸发器和长管道的分散系统, 例如大型冷库, 其优点是安全性和可靠性较高。

应用范例 4.2.1:

低压液位控制的机械解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 低压浮球阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀



SV浮球阀可以“监控”低压容器中的液位。如果流量比较小, 则SV④阀可以在低压容器中直接用作膨胀阀, 如图所示。

技术数据

	SV 4-6
材料	阀体: 钢 顶盖: 低温铸铁(球面) 浮阀: 不锈钢
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及 CFC
介质温度范围 [°C]	-50 至 +120
P 波段 [mm]	35
最大工作压力 [bar]	28
最大测试压力 [bar]	42
K _v 值 [m³/h]	SV 4: 0.23 SV 5: 0.31 SV 6: 0.43
额定制冷量* [kW]	SV 4: 102 SV 5: 138 SV 6: 186

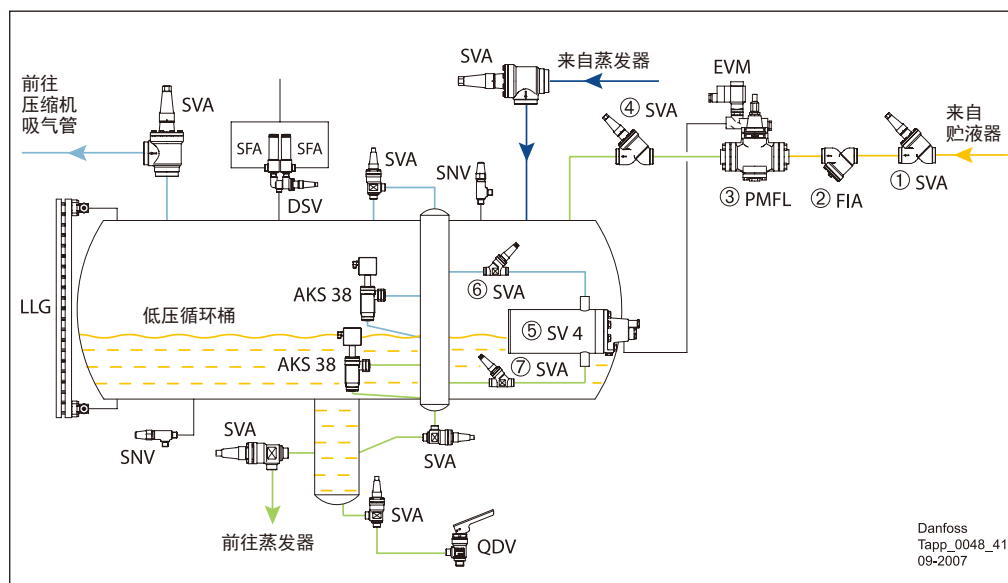
* 工况: 氨, +5/32°C, ΔT_{sub} = 4K。

应用范例 4.2.2:

低压液位控制的机械解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 液位控制的伺服主阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 低压浮球阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 截止阀



如果流量较大，则浮球阀SV 4⑤可用作PMFL主阀的导阀。如上所示，当贮液器中的液位降到设定值以下时，浮球阀SV 4⑤将向PMFL阀发送一个信号并将其打开。

技术数据

	PMFL 80 - 1 至 500
材料	低温球墨铸铁
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及 CFC
介质温度范围 [°C]	-60 至 +120
最大工作压力 [bar]	28
最大测试压力 [bar]	42
额定容量* [kW]	139 至 13900

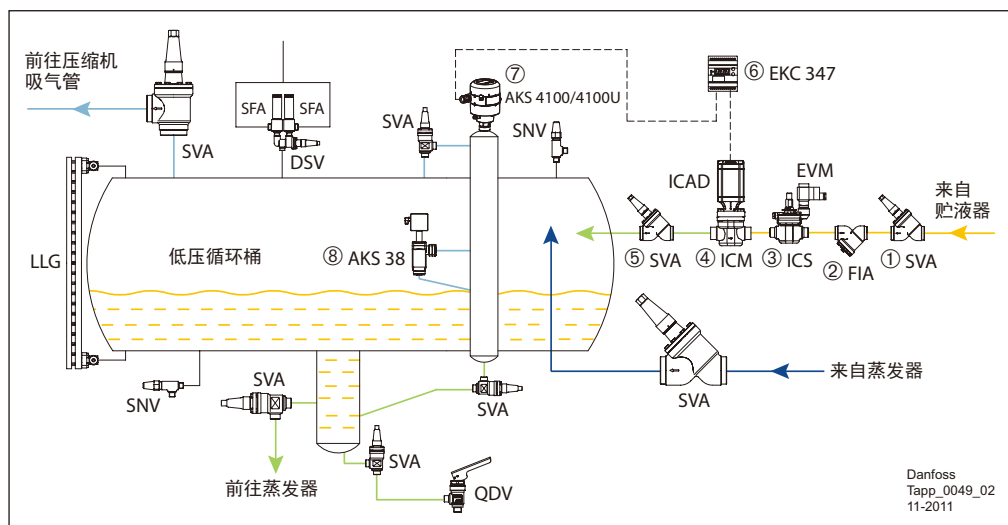
* 工况：氨，+5/32°C， $\Delta T_{sub} = 4K$ 。

应用范例 4.2.3:

低压液位控制的电子解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 电动阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 控制器
- ⑦ 液位传感器
- ⑧ 液位开关



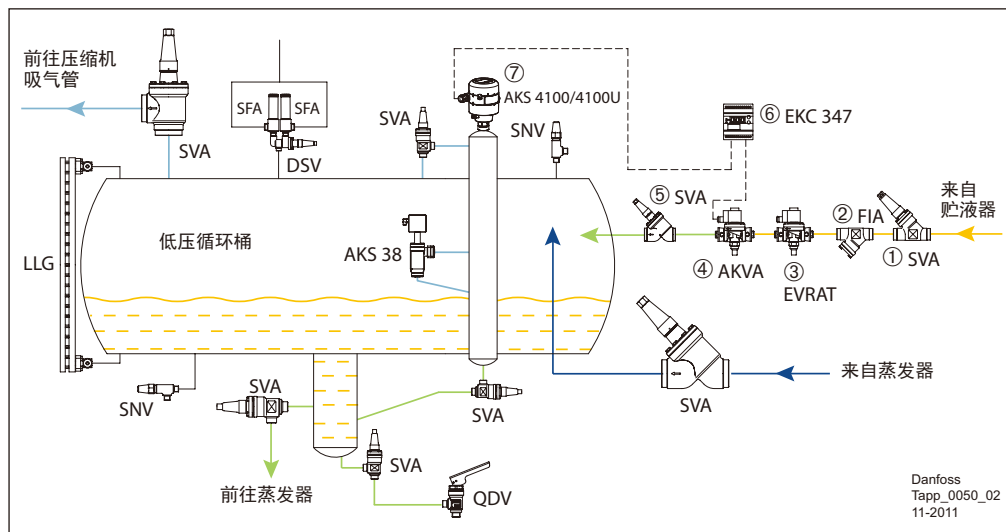
液位传感器 AKS 4100/4100U⑦能够监控低压循环桶中的液位并向液位控制器EKC/EKE 347⑥发送液位信号，后者会向电动阀ICM的驱动器ICAD发送调节信号。ICM④电动阀可起到膨胀阀的作用。

应用范例 4.2.4:

低压液位控制的电子解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 电子膨胀阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 控制器
- ⑦ 液位传感器



该解决方案与解决方案4.2.3类似。但是在这个范例中，电动阀ICM将被脉冲式电子膨胀阀AKVA替代。电磁阀EVRAT ③将用作额外的电磁阀，以确保在“关闭”周期内100%关闭。

液位控制器EKC/EKE 347⑥还能够提供上下限定液位以及报警液位的中继输出。但是，推荐安装一个液位开关AKS 38作为高液位报警。

技术数据

	电子膨胀阀 - AKVA
材料	AKVA 10: 不锈钢 AKVA 15: 铸铁 AKVA 20: 铸铁
制冷剂	氨
介质温度范围 [°C]	AKVA 10: -50 至 +60 AKVA 15/20: -40 至 +60
最大工作压力 [bar]	42
DN [mm]	10 至 50
额定容量* [kW]	4 至 3150

* 工况: 氨, +5/32°C, $\Delta T_{sub} = 4K$ 。

应用范例 4.2.5:

低压液位控制的电子解决方案

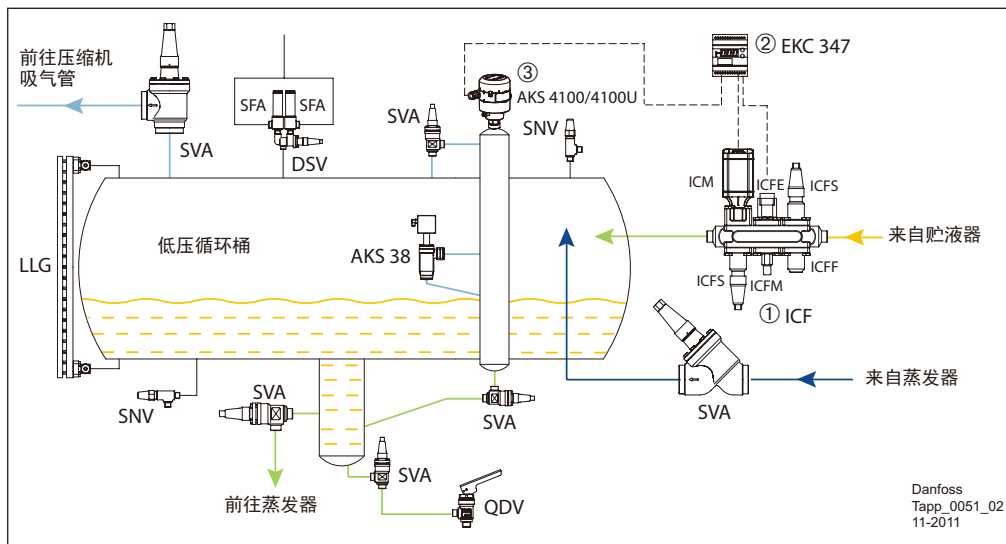
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

① ICF组合阀:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 电磁阀手动开启模块
- 截止阀模块
- 电磁阀模块

- ② 控制器
- ③ 液位传感器



丹佛斯可以提供一个非常紧凑的ICF组合阀①。最多可以将六个不同的模块组装到同一个阀体上，安装过程非常简便。

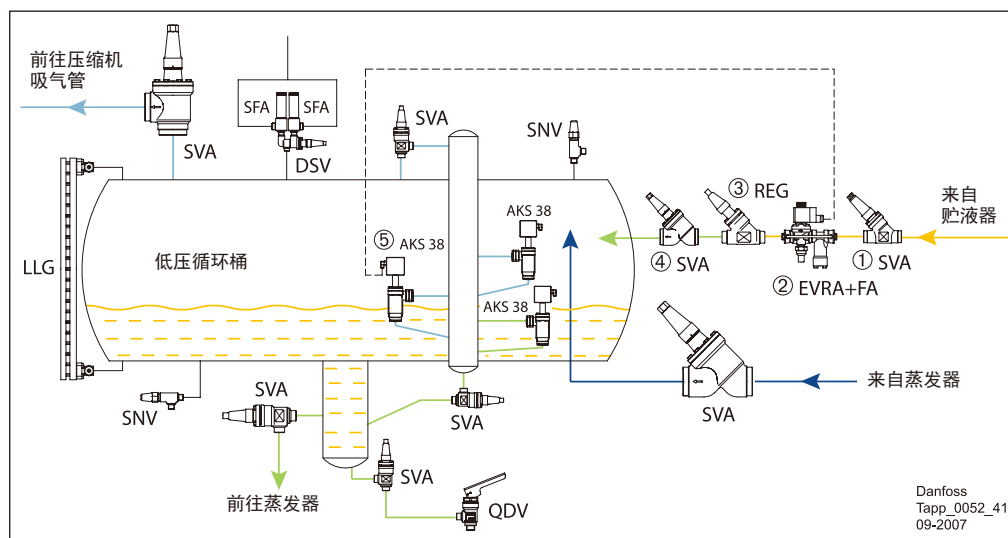
模块ICM起到膨胀阀的作用，而模块ICFE则用作电磁阀。该解决方案的工作方式与范例4.2.3类似；同时还可使用与范例4.2.4类似的ICF方案。请参考有关ICF的文献资料，了解更多信息。

应用范例 4.2.6:

低压液位控制的电子解决方案

- 黄色 高压液体制冷剂
 蓝色 制冷剂的气液混合物
 浅蓝色 低压气体制冷剂
 绿色 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
 ② 电磁阀
 ③ 手动调节阀
 ④ 截止阀
 ⑤ 液位开关



Danfoss
Tapp_0052_41
09-2007

该解决方案通过“开/关”来控制液体注入。液位开关AKS 38⑤能够根据低压循环桶中的液位控制电磁阀EVRA②的开关。手动调节阀REG③可起到膨胀阀的作用。

技术数据

	液位开关 - AKS 38
材料	阀体：铬酸锌铸铁
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 +65
最大工作压力 [bar]	28
测量范围 [mm]	12.5 至 50

	手动调节阀 - REG
材料	低温钢，可用于低温操作
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 +150
最大工作压力 [bar]	40
测试压力 [bar]	强度测试：80 泄漏测试：40
DN [mm]	6 至 65
K _v 值 [m³/h]	对于完全打开的阀门：0.17 至 81.4

	电磁阀 - EVRA
制冷剂	氨、R22、R134a、R404a、R410a、二氧化碳、R502
介质温度范围 [°C]	-40 至 +105
最大工作压力 [bar]	42
额定制冷量* [kW]	21.8 至 2368
K _v 值 [m³/h]	0.23 至 25.0

* 工况：氨，-10/+25°C，Δp = 0.15 bar

应用手册

工业制冷系统的自动化控制

4.3

小结

解决方案		应用	优点	缺点
高压机械解决方案： SV 1/3 + PMFH		适用于制冷剂充注量较小的系统，例如冷水机组。	纯机械操作； 制冷量调节范围大。	不能远程控制，SV和PMFH之间的距离仅限于几米； 反应稍慢。
高压机械解决方案： HFI		适用于制冷剂充注量较小且仅装有板式冷凝器的系统。	纯机械操作； 较为简单的解决方案，尤其适用于板式换热器。	不能提供热虹吸油冷却。
高压电子解决方案： AKS 4100/4100U + EKC/ EKE 347 + ICM		适用于制冷剂充注量较小的系统，例如冷水机组。	灵活紧凑； 可以远程进行监控和控制； 包含功能广泛。	不允许使用易燃制冷剂。
低压机械解决方案： SV 4-6		适用于小型系统。	纯机械操作； 操作简单，成本低廉。	制冷量较小。
低压机械解决方案： SV 4-6 + PMFL		尤其适用于分散系统，例如冷库。	纯机械操作； 制冷量调节范围大。	不能远程控制，SV和PMFL之间的距离仅限于几米； 反应稍微有点慢。
低压电子解决方案： AKS 4100/4100U + EKC/ EKE 347 + ICM		尤其适用于分散系统，例如冷库。	灵活紧凑； 可以远程进行监控和控制； 制冷量调节范围大。	不允许使用易燃制冷剂。
低压电子解决方案： AKS 4100/4100U + EKC/ EKE 347 + AKVA		尤其适用于分散系统，例如冷库。	灵活紧凑； 可以远程进行监控和控制； 制冷量调节范围大； 对工况变化的反应速度快于电动阀； 失效保护阀(NC)。	不允许使用易燃制冷剂； 系统需允许脉动。
低压电子解决方案： AKS 4100/4100U + EKC/ EKE 347 + ICF		尤其适用于分散系统，例如冷库。	灵活紧凑； 可以远程进行监控和控制； 制冷量调节范围大； 易于安装。	不允许使用易燃制冷剂。
低压电子解决方案： AKS 38 + EVRA + REG		尤其适用于分散系统，例如冷库。	操作简单； 成本低廉。	液位调整范围仅40mm； 很大程度上取决于REG阀的调整； 不适合用于热负荷波动较大的系统。

5. 蒸发器控制

蒸发器是制冷系统的一部分。在该制冷系统中，热量将从用户希望冷却的介质(例如空气、盐水或产品本身)转移到制冷剂。

因此，蒸发器控制系统的主要功能就是获得期望的介质温度。而且控制系统还应当保证蒸发器始终有效、无故障地运行。

需要特别注意的是，以下方法可能是蒸发器所必需的：

- 供液控制第5.1和5.2节描述了两种不同类型的供液，即直接膨胀(DX)以及泵循环供液。
- 除霜(参见5.3和5.4节)对于在0°C以下运转的冷风机而言十分必要。

- 多温转换(参见5.5节)，适用于需要在不同温度级别下进行操作的蒸发器。
- 介质温度控制(参见5.6节)。当介质温度需要十分精确地保持恒定时，需要进行此项控制。

在介绍介质温度控制和除霜时，我们将分别论述直接膨胀(DX)蒸发器和泵循环供液蒸发器，因为二者在控制系统方面存在一定的差异。

5.1 直接膨胀控制

要对直接膨胀蒸发器的供液进行设计，需要满足以下要求：

- 确保蒸发器中的液体制冷剂完全蒸发以防止压缩机受到液击。
- 被冷却的介质在离开蒸发器时的温度需要，保持在要求的范围内。

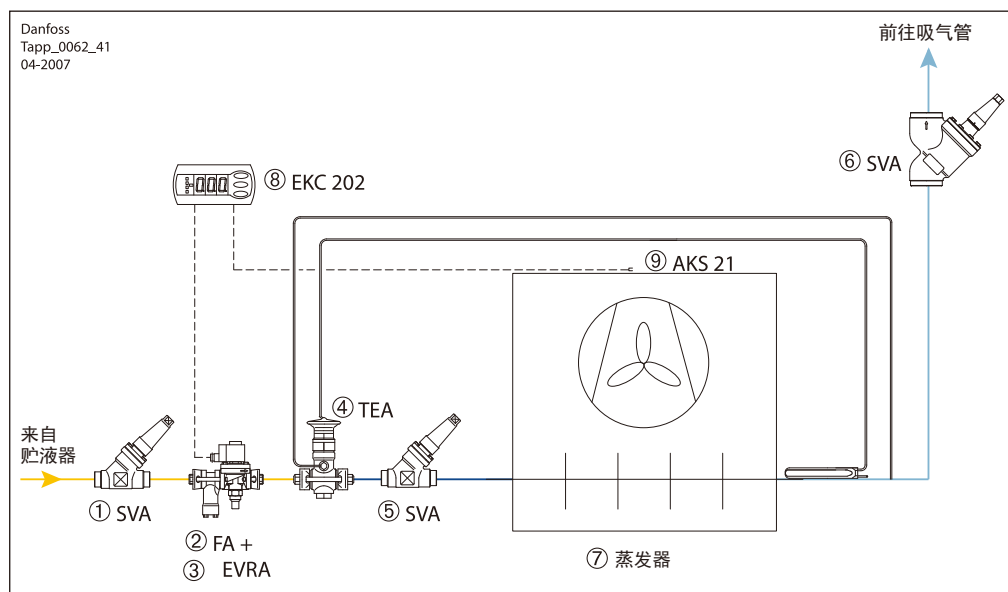
蒸发器的供液由受过热度控制的膨胀阀控制，它能够将蒸发器出口的过热度保持在要求范围之内。此膨胀阀可以是一个热力膨胀阀，也可以是一个电子膨胀阀。

温度控制通常通过ON/OFF控制来实现，它能够根据介质的温度状况来决定启动或者停止蒸发器供液。

应用范例 5.1.1： 直接膨胀蒸发器，使用热力膨胀 阀控制

— 高压液体制冷剂
— 制冷剂的气液混合物
— 低压气体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 热力膨胀阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 蒸发器
- ⑧ 数字温度控制器
- ⑨ 温度传感器



应用范例5.1.1显示了没有热气除霜的直接膨胀蒸发器的典型应用。

蒸发器的供液是通过热力膨胀阀TEA④控制的，它可以使蒸发器出口的制冷剂过热度保持在一个恒定的水平。TEA专为氨系统设计，丹佛斯还提供用于氟利昂制冷剂的的热力膨胀阀。

介质温度由数字温度控制器EKC 202⑧控制，它能够根据PT 1000温度传感器AKS 21⑨发出的介质温度信号控制电磁阀EVRA③的开/关转换。

此方案还适用于自然除霜或电除霜的直接膨胀蒸发器。

自然除霜的实现方法：停止流向蒸发器的制冷剂流，并使风扇保持运转。电除霜的实现方式是：停止流向蒸发器的制冷剂流，关闭风扇，同时打开蒸发器翅片组内的电加热器。

蒸发器控制器 EKC 202

数字温度控制器将控制蒸发器的所有功能，包括温度控制器、风扇、除霜和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 202手册。

技术数据

	热力膨胀阀 - TEA
制冷剂	氨
蒸发温度范围 [°C]	-50 至 30，根据产品系列而定
最大感温包温度 [°C]	100
最大工作压力 [bar]	19
额定制冷量* [kW]	3.5 至 295

* 工况：-15°C/+32°C， $\Delta T_{sub} = 4^\circ\text{C}$

	电磁阀 - EVRA(T)
制冷剂	氨、R22、R134a、R404a、R410a、二氧化碳、R502
介质温度范围 [°C]	-40 至 +105
最大工作压力 [bar]	42
额定制冷量* [kW]	21.8 至 2368
K_v 值 [m³/h]	0.23 至 25.0

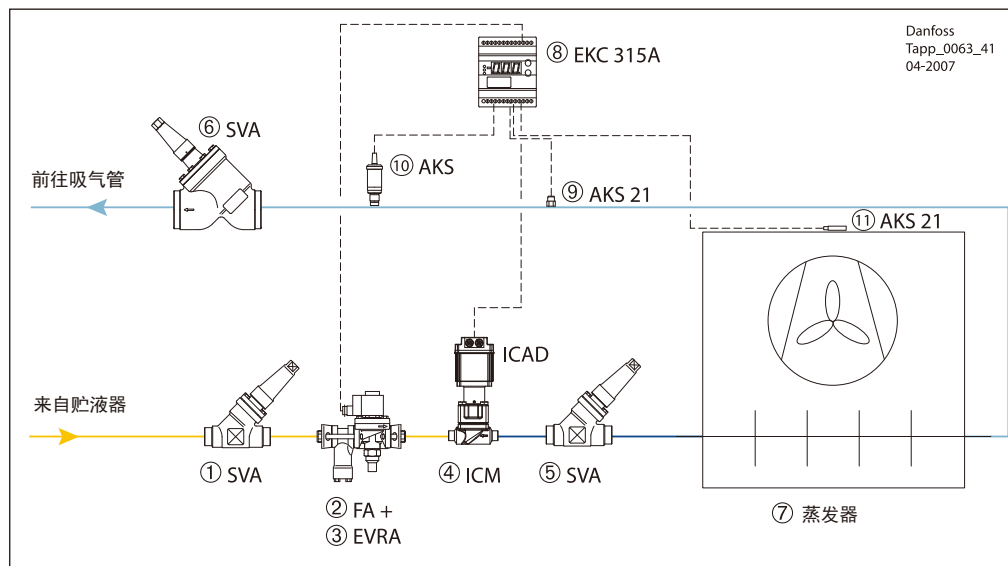
* 工况：氨，-10/+25°C， $\Delta p = 0.15 \text{ bar}$

	过滤器 - FA
制冷剂	氨及氟利昂制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 +140
最大工作压力 [bar]	28
DN [mm]	15/20
过滤网	150 μ 不锈钢滤网
K_v 值 [m³/h]	3.3/7.0

应用范例 5.1.2: 直接膨胀蒸发器、使用电子 膨胀阀控制

— 高压液体制冷剂
— 制冷剂的气液混合物
— 低压气体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 电动阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 蒸发器
- ⑧ 控制器
- ⑨ 温度传感器
- ⑩ 压力变送器
- ⑪ 温度传感器



应用范例5.1.2显示了没有热气除霜的电控直接膨胀蒸发器的典型应用。

蒸发器的供液由电动阀ICM④控制，而ICM则由蒸发器控制器EKC 315A⑧控制。EKC 315A控制器将通过压力变送器AKS⑩和温度传感器AKS 21⑨测量蒸发器出口位置的过热度，并控制ICM阀门的开度，以便将过热度保持在最佳的水平。

同时，控制器EKC 315A将用作数字温度控制器，根据温度传感器AKS 21⑪发出的介质温度信号控制电磁阀EVRA③的开/关转换。

与解决方案5.1.1相比，这个方案会在过热度最佳的情况下操作蒸发器，同时还可以不断地调整电动阀的阀门开启，以确保流量和效率处于最高水平。蒸发器的换热面积将得以充分利用。此外，本方案还能够提供精度很高的介质温度控制。

蒸发器控制器EKC 315A

数字控制器将会控制蒸发器的所有功能，包括温度控制、膨胀和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 315A手册。

技术数据

	电动阀 - ICM(用于膨胀)
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 80
额定制冷量* [kW]	73 至 22700

* 工况: 氨, $T_c = -10^\circ\text{C}$, $\Delta p = 8.0 \text{ bar}$, $\Delta T_{\text{sub}} = 4\text{K}$;

	压力变送器 - AKS 3000	压力变送器 - AKS 32
制冷剂	所有制冷剂, 包括氨	所有制冷剂, 包括氨
操作范围 [bar]	0 至 60, 根据产品系列而定	-1 至 39, 根据产品系列而定
最大工作压力 [bar]	100, 根据产品系列而定	60, 根据产品系列而定
操作温度范围 [°C]	-40 至 80	-40 至 85
补偿温度范围 [°C]	低压: -30 至 +40 / 高压: 0 至 +80	低压: -30 至 +40 / 高压: 0 至 +80
额定输出信号	4 至 20 mA	1 至 5V 或 0 至 10V

应用范例 5.1.3：
直接膨胀蒸发器、电子膨胀阀的
ICF组合阀

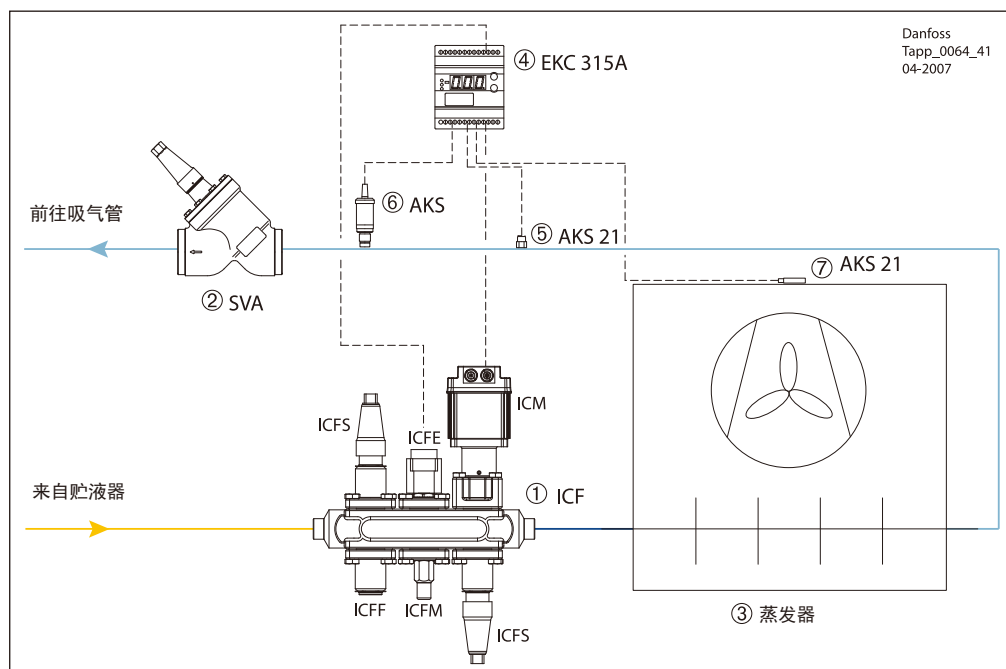
■ 高压液体制冷剂
■ 制冷剂的气液混合物
■ 低压气体制冷剂

① ICF组合阀有
以下模块：



截止阀模块
过滤器模块
电磁阀模块
电磁阀手动开启模块
电动阀模块
截止阀模块

- ② 截止阀
- ③ 蒸发器
- ④ 控制器
- ⑤ 温度传感器
- ⑥ 压力变送器
- ⑦ 温度传感器



应用范例5.1.3显示了电控直接膨胀蒸发器的关于ICF组合阀控制的新解决方案，无需进行热气除霜，与范例5.1.2类似。

ICF组合阀能够在同一个阀体下容纳多达六个不同的模块，从而提供了一个紧凑且易于安装的控制解决方案。

蒸发器的供液由电动阀模块ICM控制，而ICM则由蒸发器控制器EKC 315A④控制。EKC 315A控制器将通过压力变送器AKS⑥和温度传感器AKS 21⑤测量蒸发器出口位置的过热度，并控制ICM阀的开启度，以便将过热度保持在最佳的水平。

同时，控制器EKC 315A可用作一个数字温度控制器，它可以根据温度传感器AKS 21⑦发出的介质温度信号，控制电磁阀模块ICFE的开/关转换。

与5.1.1中的方案类似，这个解决方案会在过热度最佳的情况下操作蒸发器，同时还可以不断地调整电动阀的开度，以确保流量和效率处于最高水平。蒸发器的换热面积将得以充分利用。此外，本方案还能够提供精度很高的介质温度控制。

蒸发器控制器EKC 315A

数字控制器将会控制蒸发器的所有功能，包括温度控制、膨胀和报警。

更多信息，请参考丹佛斯EKC 315A手册。

应用范例 5.1.4:
直接膨胀蒸发器和采用ICF组合阀
的电子膨胀阀

■ 高压液体制冷剂
■ 制冷剂气液混合物
■ 低压气体制冷剂

① ICF组合阀控制方案含有:



截止阀模块
过滤器模块
电子膨胀阀模块
截止阀模块

② 吸气截止阀

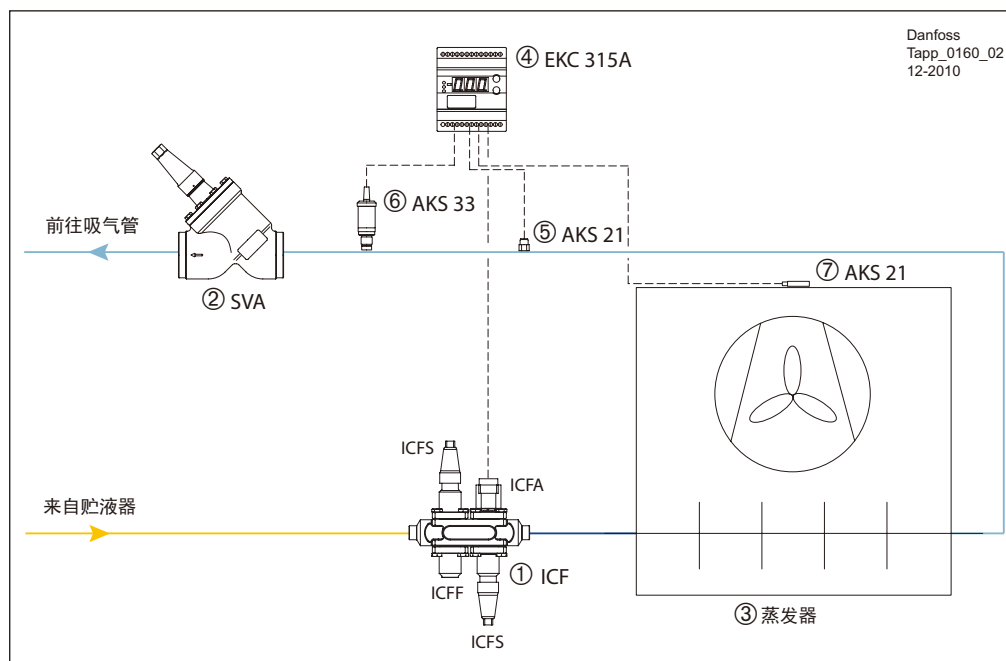
③ 蒸发器

④ 控制器

⑤ 温度传感器

⑥ 压力变送器

⑦ 温度传感器



Danfoss
Tapp_0160_02
12-2010

本应用范例显示了一个不带热气除霜的电子控制直接膨胀蒸发器的ICF组合阀方案。

ICF组合阀在同一阀体内能够容纳多达六个不同模块, 提供了一个紧凑、易于安装的控制方案。

供液由ICFA电子膨胀阀控制, 该膨胀阀通过EKC 315A蒸发器控制器④控制。EKC 315A控制器通过压力变送器AKS 33⑥和在蒸发器出口上的温度传感器AKS 21⑤测量过热度, 并通过控制ICFA阀的开度将过热度维持在最佳水平。

本解决方案通过蒸发器的过热度进行优化控制, 并持续地调整供液阀的开度以确保最大供液能力和效率。蒸发器的表面积也得到了充分利用。

此外, 本解决方案提供了更加精确的介质温度控制。

EKC 315A蒸发器控制器。
该数字式控制器可以控制所有的蒸发器, 包括温度开关、膨胀阀和警报器。

详细细节请参考丹佛斯EKC 315A手册。

此处显示的ICF组合阀控制方案可由传统的阀组解决方案代替(SVA截止阀、FA/FIA过滤器、AKVA电子膨胀阀和另一个SVA截止阀)。

控制器EKC 315A 可用于ICF组合阀以及传统的阀组解决方案中。

5.2 泵循环控制

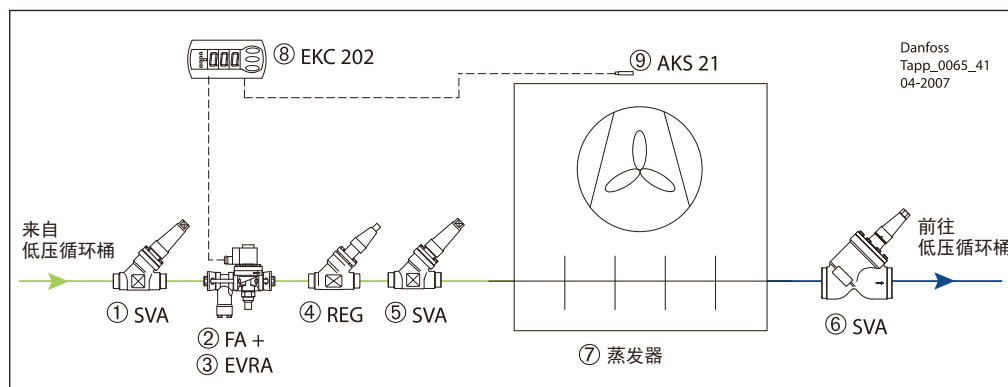
应用范例 5.2.1:
泵循环蒸发器(无热气除霜)

— 制冷剂的气液混合物
— 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 手动调节阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 蒸发器
- ⑧ 数字温度控制器
- ⑨ 温度传感器

与直接膨胀系统相比较，泵循环系统控制更为简单，因为大小合适的低压循环桶的存在，可以有效的避免压缩机受到液击。

低压循环桶确保只有“干燥”制冷剂气体返回压缩机。蒸发控制也得到了简化，因为仅要求基本的开/关来控制蒸发器。



应用范例5.2.1显示了泵循环蒸发器(无热气除霜)的典型安装，它也同样适用于自然除霜或电除霜的泵循环系统中的蒸发器。

数字温度控制器EKC 202⑧能够将介质温度保持在所需的范围之内，它可以根据PT 1000温度传感器AKS 21⑨发出的介质温度信号控制电磁阀EVRA③的开关转换。

蒸发器的供液量由手动调节阀REG ④。因此，为调节阀设置正确的开度是非常重要的。如果开度过大，

则将导致电磁阀频繁操作，结果会造成磨损；如果开度过小，则将导致蒸发器没有足够的液体制冷剂。

蒸发器控制器EKC 202

数字温度控制器将会控制蒸发器的所有功能，包括温度控制、风扇、除霜和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 202手册。

技术数据

	手动调节阀 - REG
材料	低温钢，可用于低温操作
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 +150
最大工作压力 [bar]	40
测试压力 [bar]	强度测试：80 泄漏测试：40
DN [mm]	6 至 65
K _v 值 [m³/h]	对于完全打开的阀门：0.17 至 81.4

应用范例 5.2.2:

泵循环蒸发器，无热气除霜的
ICF模块化组合阀控制解决方案

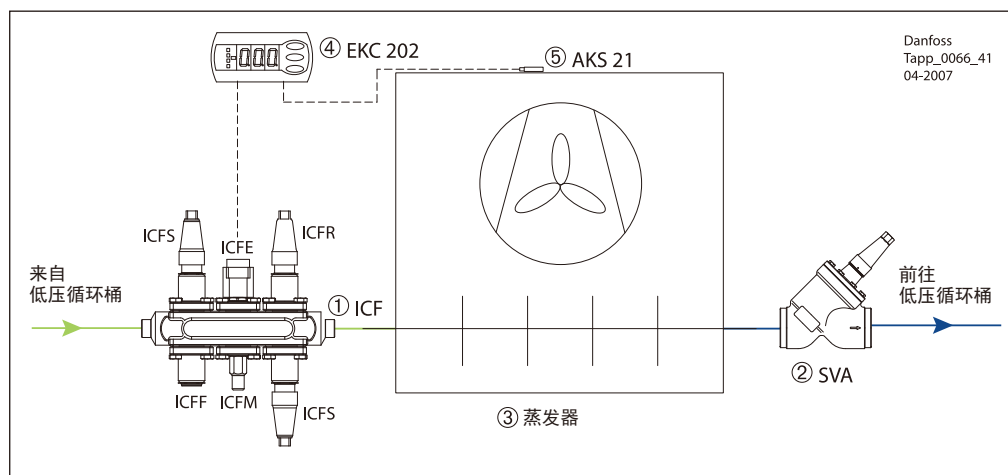
— 制冷剂的气液混合物
— 低压液体制冷剂

① ICF组合阀有
以下模块：



截止阀模块
过滤器模块
电磁阀模块
电磁阀手动开启模块
手动调节阀模块
截止阀模块

- ② 截止阀
- ③ 蒸发器
- ④ 数字温度控制器
- ⑤ 温度传感器



Danfoss
Tapp_0066_41
04-2007

应用范例5.2.2包括了与范例5.2.1类似的关于ICF组合阀控制的新解决方案，也同样适用于自然除霜或电除霜的泵循环系统中的蒸发器。

ICF组合阀能够在同一个阀体下容纳多达六个不同的模块，从而提供了一个紧凑且易于安装的控制解决方案。

数字温度控制器EKC 202④会将介质温度保持在所需的范围之内，它能够根据PT 1000温度传感器AKS 21⑤发出的介质温度信号控制ICF中电磁阀ICFE的开/关转换。

蒸发器的供液量由手动调节阀ICFR的控制。因此，为调节阀设置正确的开度是非常重要的。如果开度过大，则将导致电磁阀频繁操作，结果会造成磨损；如果开度过小，则将导致蒸发器没有足够的液体制冷剂。

蒸发器控制器EKC 202

数字温度控制器将控制蒸发器的所有功能，包括温度控制、风扇、除霜和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 202手册。

应用范例 5.2.3:

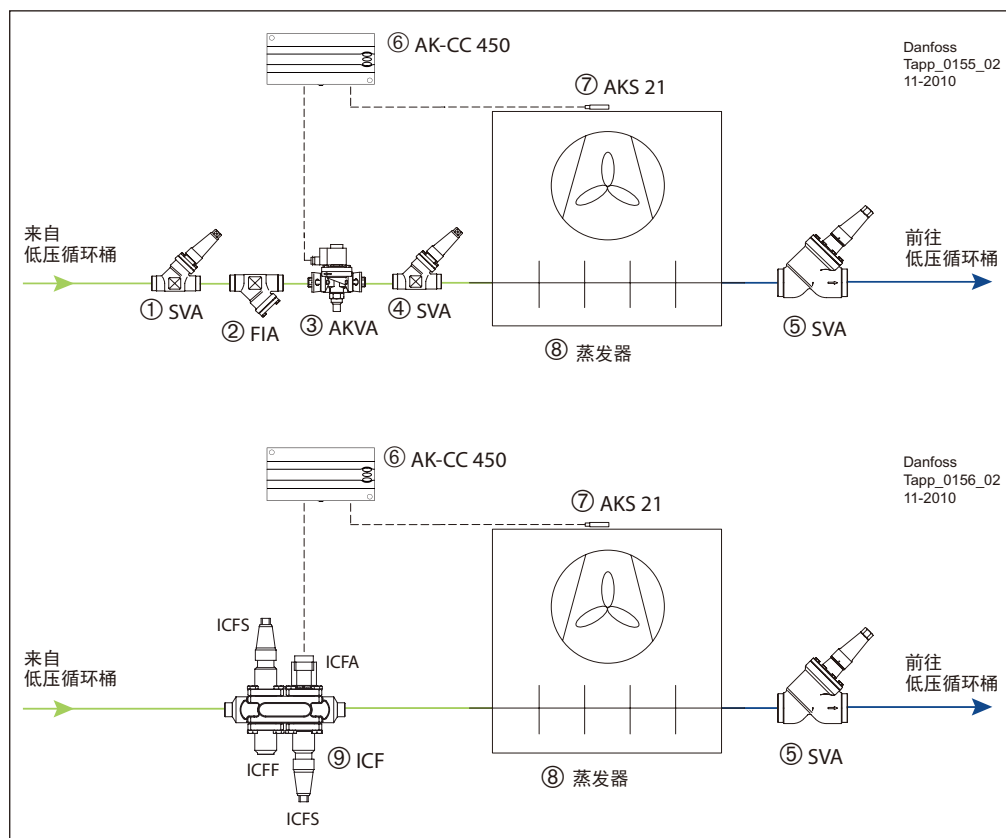
使用脉冲式电子膨胀阀AKVA/ICF组合阀对满液式冷风机进行供液，带有电除霜或盐水除霜

■ 制冷剂气液混合物
■ 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电子膨胀阀
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 控制器
- ⑦ 温度传感器
- ⑧ 蒸发器
- ⑨ ICF组合阀控制方案，包括：



截止阀模块
过滤器模块
电子膨胀阀模块
截止阀模块



Danfoss
Tapp_0155_02
11-2010

Danfoss
Tapp_0156_02
11-2010

在传统的满液式系统中，往往通过温度开关持续测量空气温度来控制供液。

电磁阀打开几分钟或更长时间，直到空气温度达到设置点。在供液时，制冷剂的流量是恒定的。

这是控制空气温度的一个非常简单的方式，但由温度开关引起的温度波动可能会在某些应用中引起有害的副作用，例如湿度降低或控制不准确。

除了上述的周期性供液，也可以按实际需求持续的进行供液。这里可由一个脉冲式电子膨胀阀AKVA阀③或一个带有ICF A模块的ICF⑨模块化组合阀实现。

持续地测量空气温度并与参考温度比较。当空气温度达到设置点时，AKVA阀③的开启比例减少。从而减小了循环期间的开启时间，降低了制冷量。AKVA阀脉冲周期通常为3到6秒。

在一个满液式系统中，这意味着制冷剂受到连续的控制，并按实际需求供液。当制冷剂供应变少时，循环倍率下降。

这样做的结果是更多的制冷剂被蒸发，在冷风机中产生一定量的过热气体。

这样做的直接效果是更加平均的分配冷风机中换热表面的温度，确保制冷剂和空气之间的温度差 ΔT 更小。

这种在满液式系统的供液方式非常普遍。供液量可以更加准确的得到控制，提高了控制的精确度和系统能效。

5.3

直接膨胀冷风机的热气除霜

某些应用中，冷风机将在低于 0°C 的蒸发温度下工作。在这种情况下，热交换的表面就形成一层霜，其厚度将随时间的延长而增加。积聚的霜会降低传热系数，同时还会阻碍空气的循环，进而会引起蒸发器性能下降。因此必须对这些冷风机进行定期除霜，以将性能保持在所需的级别。

工业制冷行业中常用的几种除霜方法如下：

- 自然除霜
- 电除霜
- 热气除霜

自然除霜的实现方法：停止流向蒸发器的制冷剂流，并使风扇保持运转。这种方式仅适用于室内温度高于 0°C 的情况。除霜的时间会很长。

电除霜的实现方式：关闭风扇并停止流向蒸发器的制冷剂流，同时打开蒸发器翼片组内的电加热器。借助时钟功能和/或除霜终止温度控制器，可以在热交换表面完全没有冰霜时结束除霜操作。尽管这种解决方案易于安装且初期投资比较低，但是其操作成本(电能)要大大高于其他的解决方案。

热气除霜系统的除霜方式：将热气喷射到蒸发器，从而除去其表面的冰霜。该解决方案比其他系统要求更多的自动化操作，但是其随时间推移所产生的操作成本是最低的。喷射到蒸发器上的热气所产生的一个积极效果是可以将油消除并回收。为了确保足够的热气性能，该解决方案仅能用于配备有三个或三个以上蒸发器的制冷系统中。在特定时间内接受除霜的蒸发器最多只能占蒸发器总容量的三分之一。

应用范例 5.3.1:

直接膨胀蒸发器(热气除霜系统)

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂

供液管

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 电子膨胀阀
- ⑤ 截止阀

吸气管

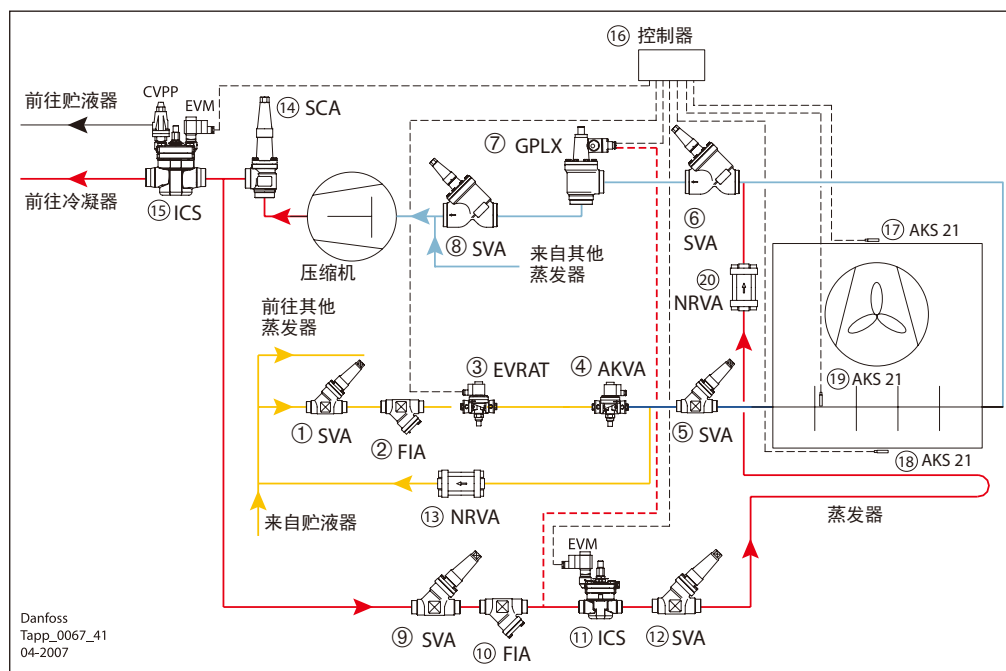
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 两步开启式电磁阀
- ⑧ 截止阀

热气管路

- ⑨ 截止阀
- ⑩ 过滤器
- ⑪ 电磁阀
- ⑫ 截止阀
- ⑬ 止回阀

排气管

- ⑭ 截止止回阀
- ⑮ 压差调节阀
- ⑯ 控制器
- ⑰ 温度传感器
- ⑱ 温度传感器
- ⑲ 温度传感器
- ⑳ 止回阀



上图所示是一个使用热气除霜的直接膨胀蒸发器系统。但是这种除霜方法并不常用，尤其对于氨直接膨胀蒸发器系统而言更不常用，它更适合于氟系统。

制冷周期循环

液体管路上的伺服阀ICS③由其电磁导阀EVM控制，并保持开启状态。供液由电子膨胀阀AKVA④控制。

吸气管上的两步开启式电磁阀GPLX/ICLX⑦保持开启状态，除霜电磁阀ICS⑪由其电磁导阀EVM控制，并处于关闭状态。止回阀NRVA⑬能够防止泄水盘结冰。

伺服阀ICS⑮由其电磁导阀EVM控制，并处于开启状态。

除霜循环

初始化除霜循环之后，供液电磁阀ICS③将会关闭。风扇会持续运转120-600秒(取决于蒸发器大小)，以抽空蒸发器中的液体。

风扇将停止，并且GPLX/ICLX将关闭。GPLX/ICLX⑦阀由于阀体中热气的存在将暂时继续保持在打开的位置。

当电磁阀关闭该阀时，热气逐渐在该阀内冷凝，并在伺服活塞的顶部形成液体，此时活塞上的压力逐渐与吸气压力平衡。

由于阀内存在冷凝液体，这一平衡过程需要一定的时间。GPLX/ICLX主阀的完全关闭所需要的时间取决于温度、压力、制冷剂和阀的尺寸。

因此不可能为各个阀直接规定一个准确的关闭时间。越低的压力通常会导致关闭时间越长。

在蒸发器内使用热气除霜时，考虑GPLX/ICLX主阀的关闭时间是非常重要的。

另外需要额外延长10-20秒，以便让蒸发器中制冷剂沉到底部，而同时不出现沸腾现象。之后，电磁阀ICS⑪将被其电磁导阀EVM打开，并将向蒸发器提供热气。

在除霜循环中，伺服阀ICS⑮的电磁导阀EVM处于关闭状态，因此ICS⑮将由压差导阀CVPP控制。

之后，ICS⑮会在热气压力和贮液器压力之间形成一个压差 Δp 。这个压差能够确保在除霜过程中将冷凝的液体压出，并通过止回阀NRVA⑬进入液体管路。

当蒸发器中的温度(通过AKS 21⑱测得)达到设定值时，除霜操作将会结束，电磁阀ICS⑪将关闭，ICS⑮的电磁导阀EVM将打开，两步开启式电磁阀GPLX/ICLX⑦也将打开。

由于蒸发器和吸气管之间存在较高的压差，因此很有必要使用一个两步开启式电磁阀，例如丹佛斯GPLX/ICLX。当压差较高时，GPLX/ICLX的流量将只有10%，从而确保压力在阀门完全打开之前能够达到平衡，进而保证了系统的平稳运行并避免了在吸入管内出现液击。

GPLX/ICLX完全打开后，ICS③将会打开，制冷循环也将重新开始。风扇在延迟一段时间之后也将启动，以便冷却蒸发器表面残留的液滴。

应用范例 5.3.2:

使用脉冲式电子膨胀阀对满液式冷风机进行供液，带热气除霜

- 高压气体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂

① ICF组合阀控制方案包括:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电子膨胀阀模块
- 止回阀模块
- 焊接连接模块
- 截止阀模块

② 压力调节阀

③ 电动阀

④ 截止阀

⑤ 控制器

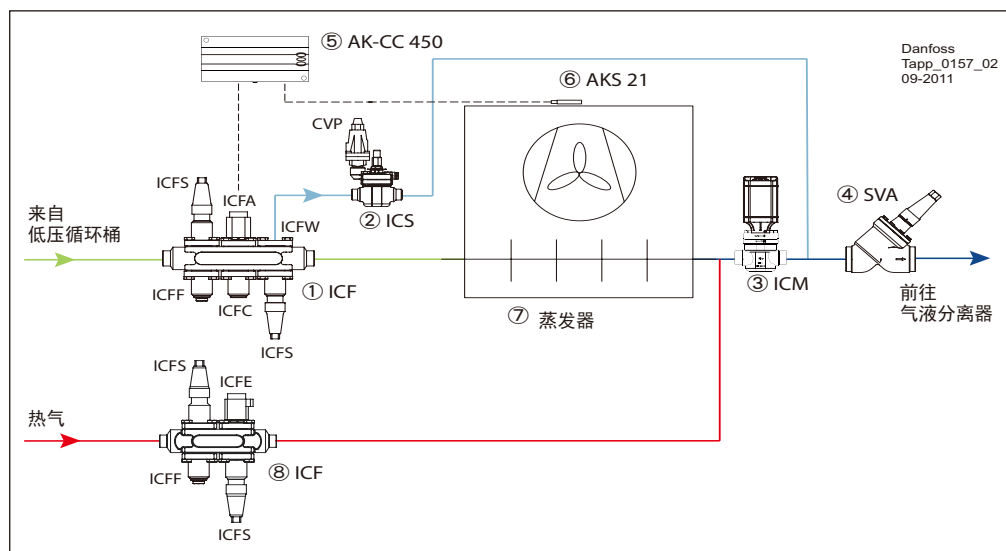
⑥ 温度传感器

⑦ 蒸发器

⑧ ICF组合阀控制方案包括:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 截止阀模块



应用范例5.3.2显示使用ICF组合阀控制解决方案对带有热气除霜功能的配泵液体循环蒸发器的安装。

ICF组合阀的一个阀体可容纳多达6个模块，十分容易进行安装。

制冷循环

ICF组合阀⑧上的ICFA模块根据实际需求连续的对供液进行控制。

吸气管路中的电动阀ICM③保持打开，ICF组合阀⑧内的除霜电磁阀模块ICFE保持关闭。

除霜循环

除霜循环开始后，ICF⑧上的供液模块ICFA关闭。风扇保持运转120至600秒(时间取决于蒸发器的尺寸)，以使蒸发器内的液体制冷剂充分蒸发。

风扇停止，ICM阀关闭。

之后有10至20秒的延迟，以便蒸发器内的液体沉淀到底部而不出现蒸发气泡。接下来ICF⑧内的电磁阀模块ICFE打开，为蒸发器提供热气。

在除霜循环期间，来自蒸发器的冷凝制冷剂被排出到低压侧。除霜压力由ICS和CVP②控制。

当蒸发器内的温度达到设定值或除霜计时器计时结束，除霜终止，ICF组合阀⑧内的电磁阀模块ICFE关闭，在稍稍延迟后，电动阀ICM③打开。

由于蒸发器和吸气管路之间的压力差，有必要缓慢释放压力，使得完全打开前压力达到平衡，以确保平稳操作，避免吸气管路内发生冲击现象。

采用电动阀ICM③的好处是除霜压力可通过缓慢地打开该阀来达到平衡。经济有效的做法是使用ICM开/关模式并采用一个非常慢的开启速度打开ICM阀。也可以使用调节模式,完全由PLC控制ICM阀的开度和开启速度来达到平衡。

ICM充分打开后，ICF组合阀①内的供液电磁阀模块ICFA打开，开始制冷循环。风扇在一定的延迟时间后启动，以便将残留蒸发器表面上液滴凝固。

技术数据

	导阀控制的伺服主阀 - ICS
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150
额定制冷量* [kW]	在热气管路上: 20 至 4000 在无相变的液体管路上: 55 到 11300

* 工况: 氨, $T_{liq} = 30^{\circ}\text{C}$, $P_{disch.} = 12 \text{ bar}$, $\Delta P = 0.2 \text{ bar}$, $T_{disch.} = 80^{\circ}\text{C}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, 循环比 = 4

	两步开启式电磁阀 - ICLX
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂, 包括氨所有常用的不易燃制冷剂, 包括氨
介质温度范围 [°C]	-60 ~ +120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	32 至 150

* 工况: 氨, $\Delta P = 0.05 \text{ bar}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, $T_{liq} = 30^{\circ}\text{C}$, 循环比 = 4

	止回阀 - NRVA
材料	阀体: 钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 140
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	15 至 65
额定制冷量* [kW]	在液体管路上(无相变): 160.7 至 2411

* 工况: 氨, $\Delta P = 0.2 \text{ bar}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, 循环比 = 4

	过滤器 - FIA
材料	阀体: 钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨
介质温度范围 [°C]	-60 至 150
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	15 至 200
过滤网	100/150/250/500 μ 不锈钢滤网

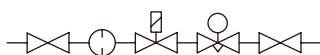
	电动阀 - ICM(用作控制阀)
材料	阀体: 低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150
额定制冷量	在热气管路: 2.3 至 4230 在吸气管: 0.85 至 1570

* 工况: 氨, $T_{liq} = 30^{\circ}\text{C}$, $P_{disch.} = 12 \text{ bar}$, $\Delta P = 0.2 \text{ bar}$, $T_{disch.} = 80^{\circ}\text{C}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, 循环比 = 4

应用范例 5.3.3:
使用ICF组合阀的直接膨胀蒸发器
和热气除霜系统

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂

① 液体管路ICF组合阀装备有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 电磁阀手动开启模块
- 电动阀模块
- 截止阀模块

② 截止阀

③ 两步开启式电磁阀

④ 截止阀(吸气管)

⑤ 热气管路ICF组合阀装备有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 截止阀模块

⑥ 止回阀

⑦ 止回阀

⑧ 截止止回阀

⑨ 压差调节阀

⑩ 控制器

⑪ 过热度控制器

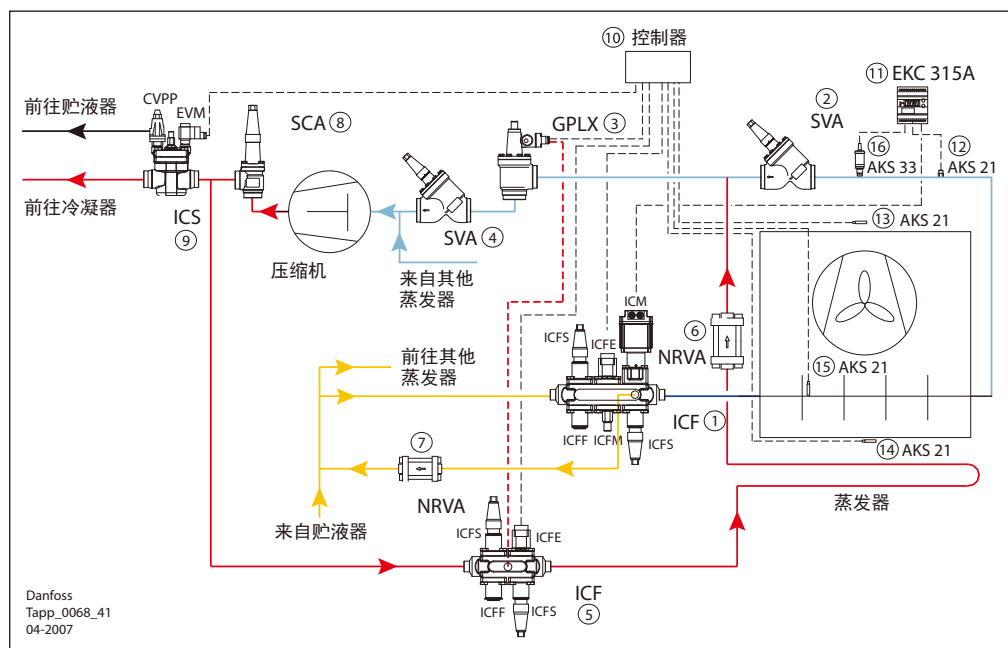
⑫ 温度传感器

⑬ 温度传感器

⑭ 温度传感器

⑮ 温度传感器

⑯ 压力变送器



应用范例5.3.3显示了使用ICF组合阀新控制方案且带有热气除霜的直接膨胀蒸发器。

ICF组合阀能够在同一个阀体下容纳多达六个不同的模块,从而提供了一个紧凑且易于安装的控制解决方案。

制冷循环

液体管路上ICF组合阀中的电磁阀模块ICFE①保持开启状态。供液由ICF①中的电动阀ICM控制。

吸气管上的两步开启式电磁阀GPLX/ICLX③保持开启状态,ICF⑤中的除霜电磁阀ICFE则保持关闭状态。

伺服阀ICS⑨由其电磁导阀EVM控制,并处于开启状态。

除霜循环

初始化除霜循环之后,ICF①中的供液电磁阀ICFE将被关闭。风扇将持续运转120-600秒(取决于蒸发器大小),以抽空蒸发器中的液体。

风扇停止,GPLX/ICLX 关闭。GPLX/ICLX 阀③由于阀体中热气的存在将暂时继续保持在打开的位置。

当电磁导阀关闭该阀时,热气逐渐在该阀内冷凝,并在伺服活塞的顶部形成液体,此时活塞上的压力逐渐与吸气压力平衡。

由于阀内存在冷凝液体,这一平衡过程需要一定的时间。GPLX/ICLX主阀的完全关闭所需要的时间取决于温度、压力、制冷剂和阀的尺寸。

因此不可能为各个阀直接规定一个准确的关闭时间。越低的压力通常会导致关闭时间越长。

在蒸发器内使用热气除霜时,考虑GPLX/ICLX主阀的关闭时间是非常重要的。

另外需要额外延长10-20秒,以便让蒸发器中的液体下沉到底部,而同时不出现气体沸腾现象。随后,ICF⑤中的电磁阀ICFE将打开,并将向蒸发器供应热气。

在除霜循环中,伺服阀ICS⑨的电磁导阀EVM处于关闭状态,因此ICS⑨将由压差导阀CVPP控制。之后,ICS⑨会在热气压力和贮液器压力之间形成一个压差 Δp 。

这个压差能够确保在除霜过程中将冷凝的液体压出,并通过止回阀NRVA⑦进入液体管路。

当蒸发器中的温度(通过AKS 21⑮测得)达到设定值时,除霜操作将会结束,ICF⑤中的电磁阀ICFE将关闭,ICS⑨的电磁导阀EVM将打开,两步开启式电磁阀GPLX/ICLX③也将打开。

由于蒸发器和吸气管之间存在较高的压差,因此很有必要使用一个两步开启式电磁阀,例如丹佛斯产品GPLX/ICLX③。当压差较高时,GPLX/ICLX③的流量将只有10%,从而确保了阀门在完全打开之前的压力能够达到平衡,进而保证了系统的平稳运行并避免了在吸气管内出现液击。

完全打开GPLX/ICLX③之后,ICF①中的供液电磁阀ICFE将打开并启动制冷循环。风扇在延迟一段时间之后也将启动,以便冷却蒸发器表面残留的液滴。

应用范例 5.3.4:

全部采用焊接连接的带有ICF模块化组合阀和ICM电动阀的带有热气除霜功能的直接膨胀蒸发器

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂

① 液体管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 电磁阀手动开启模块
- 电动阀模块
- 截止阀模块

② 截止阀

③ 压力调节(电动阀)

④ 截止阀(吸气管)

⑤ 热气管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 截止阀模块

⑥ 止回阀

⑦ 截止止回阀

⑧ 截止止回阀

⑨ 压差调节阀

⑩ 控制器

⑪ 过热度控制器

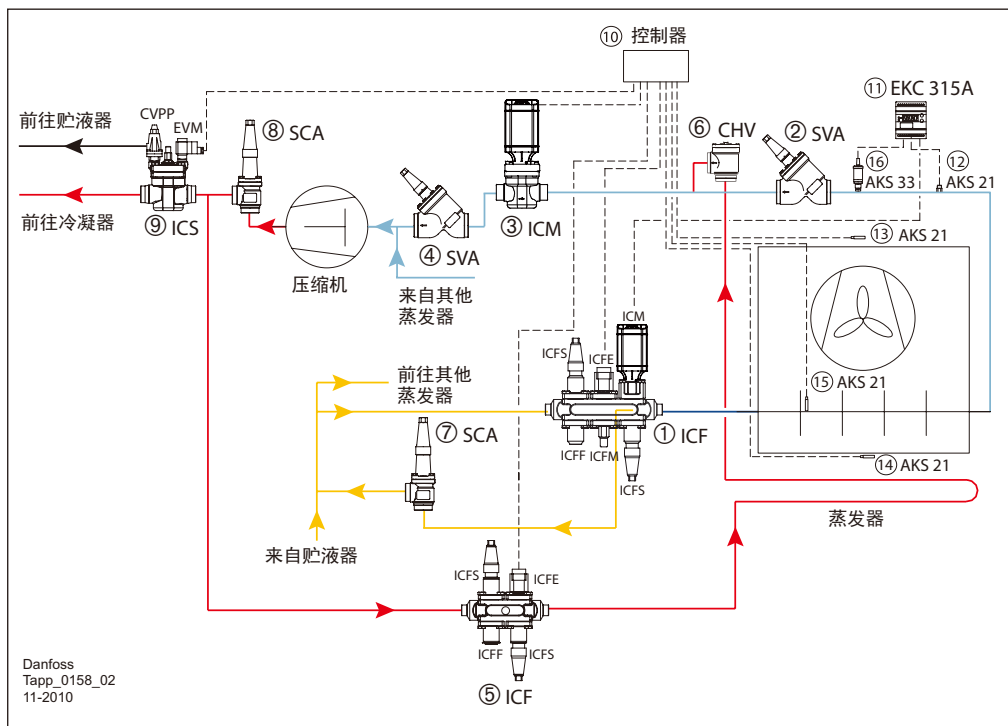
⑫ 温度传感器

⑬ 温度传感器

⑭ 温度传感器

⑮ 温度传感器

⑯ 压力变送器



ICF模块化组合阀的一个阀体可容纳多达6个模块，是十分容易安装的控制解决方案。

制冷循环

液体管路中ICF模块化组合阀①的电磁模块ICFE保持打开。供液由ICF模块化组合阀①内的电动阀ICM模块控制。

吸气管上的电动阀ICM③保持打开，并且ICF模块化组合阀⑤内的除霜电磁模块ICFE保持关闭。

伺服阀ICS⑨通过其电磁导阀EVM控制，保持打开。

除霜循环

除霜循环开始后，ICF模块化组合阀①上的供液电磁阀模块ICFE关闭。风扇保持运转120至600秒(运转时间取决于蒸发器的尺寸)，以使蒸发器内的液体制冷剂充分蒸发。

风扇停止，电动阀ICM③关闭。

之后有10至20秒的延迟，以便蒸发器内的液体沉淀到底部而不出现蒸发气泡。然后ICF模块化组合阀⑤内的电磁模块ICFE打开，为蒸发器提供热气。

在除霜循环期间，伺服阀ICS⑨的电磁导阀EVM关闭，此时伺服阀由压差导阀CVPP控制。随后ICS伺服阀⑨使热气压力和贮液器压力之间建立压差 Δp 。

该压差使得除霜时冷凝的液体能够通过单向阀SCA⑦进入液体管路。

当蒸发器内的温度(由温度传感器AKS 21 测量得到)达到设定值时，除霜终止，ICF模块化组合阀⑤内的电磁阀模块ICFE关闭，ICS⑨的电磁导阀EVM打开，电动阀ICM③也打开。

由于蒸发器和吸气管之间的压力差较高，因此有必要缓慢的释放压力，使得完全打开ICM阀之前使压力达到平衡，以确保平稳操作，避免吸气管内发生液击现象。

使用电动阀ICM③的优点是除霜压力可通过缓慢地打开该阀达到平衡。其中一个经济有效的做法是使用ICM开/关模式并选择一个非常慢的开启速度。此外也可以使用持续调节模式通过PLC来控制阀的开度和开启速度以达到压力平衡。

ICM③完全打开后，ICF模块化组合阀①内的供液电磁阀模块ICFE打开，进入制冷循环。此时风扇延迟启动，以便凝固在蒸发器表面上残留的液滴。

5.4

泵循环冷风机的热气除霜

应用范例 5.4.1:

泵循环蒸发器(带有热气除霜系统)

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压液体制冷剂

液体管

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 止回阀
- ⑤ 手动调节阀
- ⑥ 截止阀

吸入管

- ⑦ 截止阀
- ⑧ 两步开启式电磁阀
- ⑨ 截止阀

热气管路

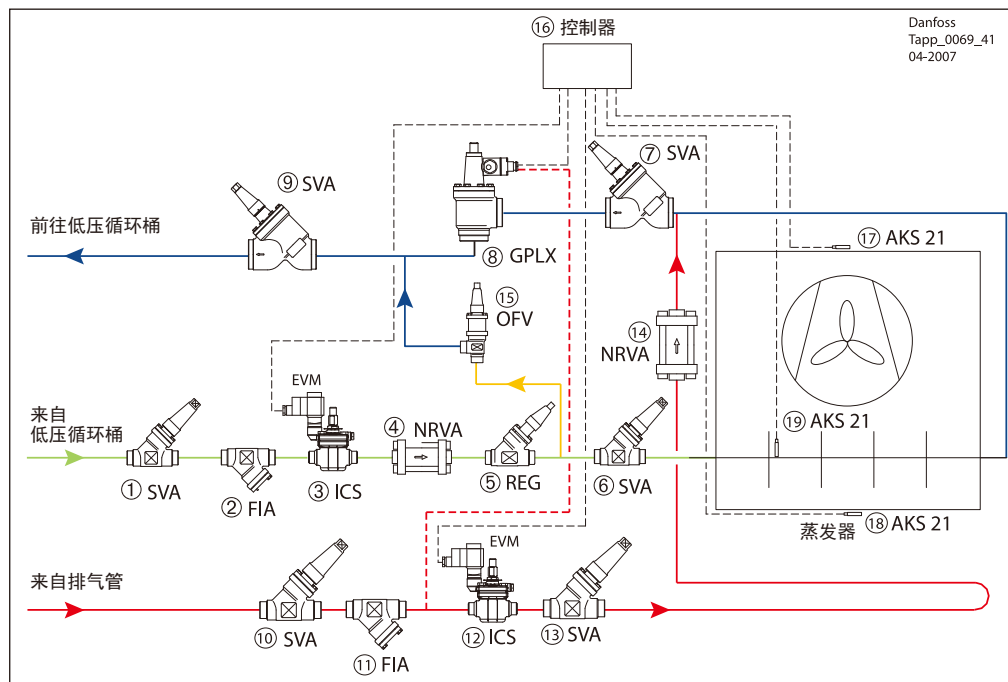
- ⑩ 截止阀
- ⑪ 过滤器
- ⑫ 电磁阀
- ⑬ 截止阀
- ⑭ 止回阀

溢流管路

- ⑮ 溢流阀

控制

- ⑯ 控制器
- ⑰ 温度传感器
- ⑱ 温度传感器
- ⑲ 温度传感器



应用范例5.4.1显示了泵循环蒸发器(带有热气除霜)的典型应用。

制冷循环

液体管路上的电磁阀ICS③处于开启状态。供液由手动调节阀REG⑤控制。

吸气管上的两步开启式电磁阀GPLX/ICLX⑧处于开启状态，除霜电磁阀ICS⑫则处于关闭状态。

除霜循环

除霜循环开始后，供电电磁阀ICS③将会关闭。风扇会持续运转120~600秒(取决于蒸发器大小)，以抽空蒸发器中的液体。

风扇停止，GPLX/ICLX 关闭。GPLX/ICLX阀⑧由于阀体中热气的存在将暂时继续保持在打开的位置。

当电磁导阀关闭该阀时，热气逐渐在该阀内冷凝，并在伺服活塞的顶部形成液体，此时活塞上的压力逐渐与吸气压力平衡。

由于阀内存在冷凝液体，这一平衡过程需要一定的时间。GPLX/ICLX主阀的完全关闭所需要的时间取决于温度、压力、制冷剂和阀的尺寸。

因此不可能为各个阀直接规定一个准确的关闭时间。越低的压力通常会导致关闭时间越长。

在蒸发器内使用热气除霜时，考虑GPLX/ICLX主阀的关闭时间是非常重要的。

具有与GPLX/ICLX同样的功能(两步开启式电磁阀)。GPLX/ICLX 在大压差条件下仅有10%的容量，这样可以使压力在阀完全打开前被平衡，以确保平稳操作并避免在吸气管中发生液击现象。

另外需要额外延长10~20秒，以便让蒸发器中的液体下沉到底部，而同时不出现气体沸腾现象。随后，电磁阀ICS⑫将打开，并将向蒸发器供应热气。

在除霜过程中，当压差足够大时，溢流阀OFV将自动被打开。溢流阀能够使蒸发器排出的冷凝的热气释放到湿回气管中。也可以根据容量大小将OFV替换为压力调节阀ICS+CVP或高压浮球阀SV 1/3，后者只允许液体排向低压端。

当蒸发器中的温度(通过AKS 21⑲测得)达到设定值时，除霜操作将会终止，电磁阀ICS⑫将关闭，而两步开启式电磁阀GPLX/ICLX⑧则将打开。

完全打开GPLX/ICLX之后，供液电磁阀ICS③将打开并启动制冷循环。风扇在延迟一段时间之后也将启动，以便冷却蒸发器表面残留的液滴。

技术数据

	溢流阀 - OFV
材料	阀体: 钢
制冷剂	所有常用的制冷剂, 包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20/25
开启压差范围 [bar]	2 至 8

应用范例 5.4.2:

泵循环蒸发器，带有热气除霜系统，使用ICF组合阀和SV 1/3浮球阀

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压液体制冷剂

① 液体管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 止回阀模块
- 手动调节阀模块
- 截止阀模块

② 截止阀模块

③ 两步开启式电磁阀

④ 截止阀

⑤ 热气管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 截止阀模块

⑥ 止回阀

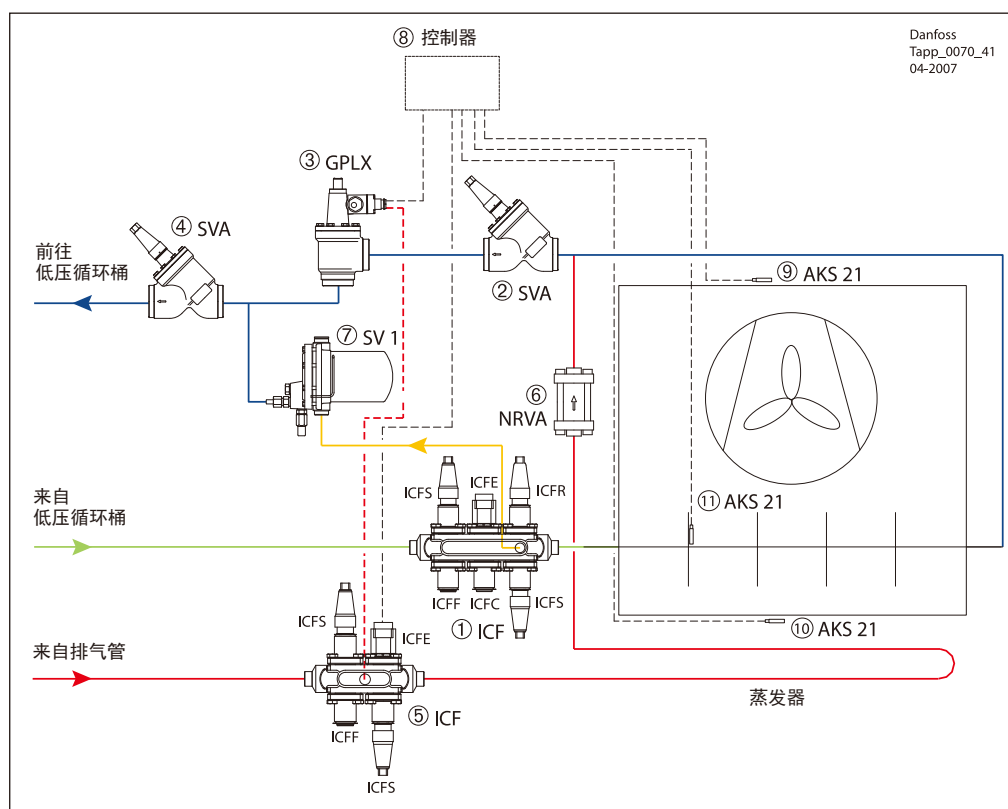
⑦ 浮球阀

⑧ 控制器

⑨ 温度传感器

⑩ 温度传感器

⑪ 温度传感器



应用范例5.4.2显示了泵循环蒸发器的典型应用，这些蒸发器均使用全新ICF组合阀解决方案和SV 1/3浮球阀进行热气除霜。

ICF组合阀能够在同一个阀体下容纳多达六个不同的模块，从而提供了一个紧凑且易于安装的控制解决方案。

制冷循环

液体管路上ICF①中的电磁阀ICFE保持开启状态。供液由ICF①中的手动调节阀ICFR 进行控制。

吸气管上的两步开启式电磁阀GPLX/ICLX③保持开启状态，ICF⑤中的除霜电磁阀ICFE则保持关闭状态。

除霜循环

初始化除霜之后，ICF的供液电磁模块ICFE①将关闭。风扇会持续运转120~600秒(取决于蒸发器大小)以抽空蒸发器中的液体。

风扇停止，GPLX/ICLX关闭。GPLX/ICLX阀③由于阀体中热气的存在将暂时继续保持在打开的位置。

当电磁阀关闭该阀时，热气逐渐在该阀内冷凝，并在伺服活塞的顶部形成液体，此时活塞上的压力逐渐与吸气压力平衡。

由于阀内存在冷凝液体，这一平衡过程需要一定的时间。GPLX/ICLX主阀的完全关闭所需要的时间取决于温度、压力、制冷剂 and 阀的尺寸。

因此不可能为各个阀直接规定一个准确的关闭时间。越低的压力通常会导致关闭时间越长。

在蒸发器内使用热气除霜时，考虑GPLX/ICLX主阀的关闭时间是非常重要的。

另外需要额外延长10~20秒，以便让蒸发器中的液体下沉到底部，而不出现气体沸腾现象。随后，ICF⑤中的电磁阀ICFE将打开并将向蒸发器供应热气。

在除霜过程中，蒸发器排出的冷凝的热气将被排到低压端。排液过程由高压浮球阀SV 1或3⑦来完成控制。与解决方案5.4.1中的溢流阀OFV相比，此处的浮球阀能够根据阀体中的液位来控制溢流。

使用浮球阀能够保证热气在冷凝为液体之前不会从蒸发器中排出，这使系统的整体除霜效率得到提高。此外，浮球阀是专为调节控制而设计提供了非常稳定的控制解决方案。

当蒸发器中的温度(由AKS 21⑪测得)达到设定值时，除霜操作将会终止，ICF⑤中的电磁阀ICFE将关闭而在短暂的延迟之后，两步开启式电磁阀GPLX/ICLX③将会打开。

完全打开GPLX/ICLX之后，ICF①中的供液电磁模块ICFE将会打开并启动制冷循环。风扇在延迟一段时间之后也将启动，以便冷却蒸发器表面残留的液滴。

具有与GPLX/ICLX同样的功能(两步开启式电磁阀)。GPLX/ICLX 在大压差条件下仅有10%的容量，这样可以使压力在阀完全打开前被平衡，以确保平稳操作并避免在吸气管中发生液击现象。

应用范例 5.4.3:

全部采用焊接连接的带有ICF模块化组合阀和具有CVP导阀的ICS伺服主阀的带有热气除霜功能的泵循环蒸发器

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压液体制冷剂

① 液体管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 止回阀模块
- 手动调节阀模块
- 截止阀模块

② 截止阀模块

③ 压力调节器(电动阀)

④ 截止阀

⑤ 热气管路ICF组合阀模块有:



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 截止阀模块

⑥ 止回阀

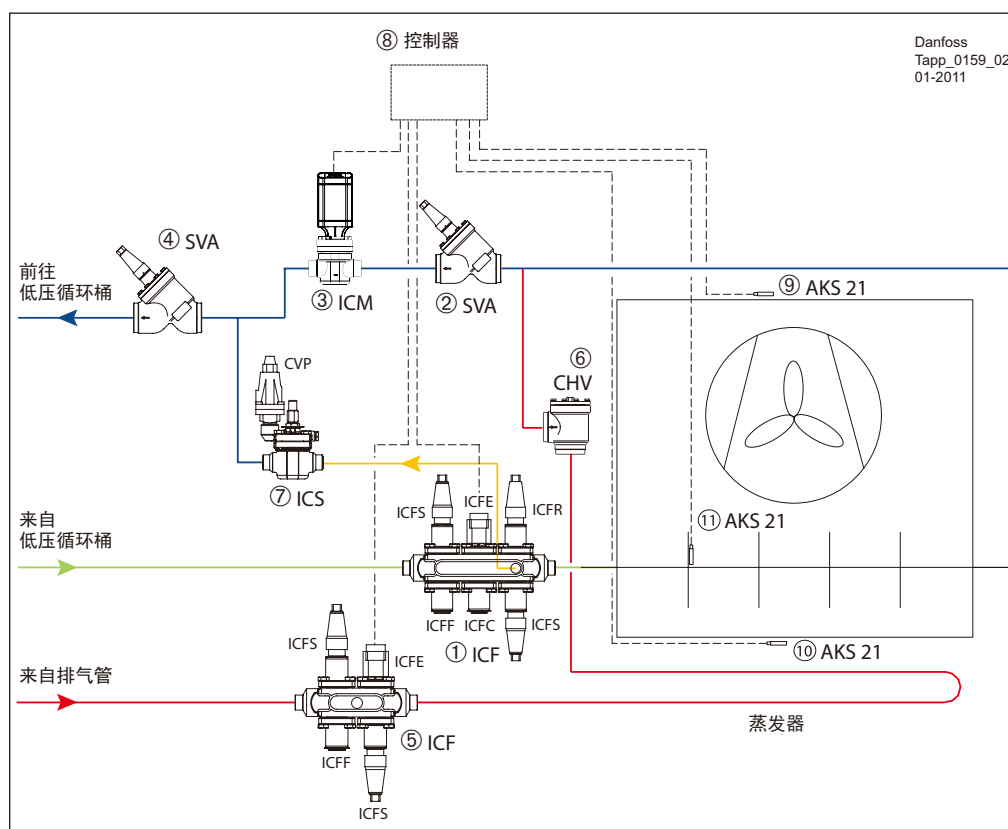
⑦ 压力调节器

⑧ 控制器

⑨ 温度传感器

⑩ 温度传感器

⑪ 温度传感器



Danfoss
Tapp_0159_02
01-2011

ICF模块化组合阀的一个阀体可容纳多达6个模块，是十分容易安装的控制解决方案。

制冷循环

液体管路中ICF模块化组合阀①中的电磁阀模块ICFE保持打开，供液由ICF模块化组合阀①内的手动调节阀模块ICFR控制。

吸气管中的电动阀ICM③保持打开，ICF模块化组合阀⑤内的除霜电磁阀模块ICFE保持关闭。

除霜循环

除霜循环开始后，ICF模块化组合阀上的液体供应电磁阀模块ICFE关闭。风扇保持运转120至600秒(时间取决于蒸发器的尺寸)，以使蒸发器内的液体制冷剂充分蒸发。

风扇停止，ICM阀关闭。

之后有10至20秒的延迟，以便蒸发器内的液体沉淀到底部而不出现蒸发气泡。然后ICF模块化组合阀⑤内的电磁阀模块ICFE打开，为蒸发器提供热气。

在除霜循环期间，来自蒸发器的冷凝后的热气被排入低压侧。除霜压力由ICS+CVP⑦控制。

当蒸发器内的温度(由温度传感器AKS 21 测量得到)达到设定值时，除霜终止，ICF模块化组合阀⑤内的电磁阀模块ICFE关闭，在稍稍延迟后电动阀ICM③也打开。

由于蒸发器和吸气管之间的压力差较高，因此有必要缓慢的释放压力，使得完全打开ICM阀之前使压力达到平衡，以确保平稳操作，避免吸气管内发生液击现象。

使用电动阀ICM③的优点是除霜压力可通过缓慢地打开该阀达到平衡。其中一个经济有效的做法是使用ICM开/关模式并选择一个非常慢的开启速度。此外也可以使用持续调节模式通过PLC来控制阀的开启和开启速度以达到压力平衡。

ICM③完全打开后，ICF模块化组合阀①内的供液电磁阀模块ICFE打开，进入制冷循环。此时风扇延迟启动，以便凝固在蒸发器表面上残留的液滴。

5.5 多温转换

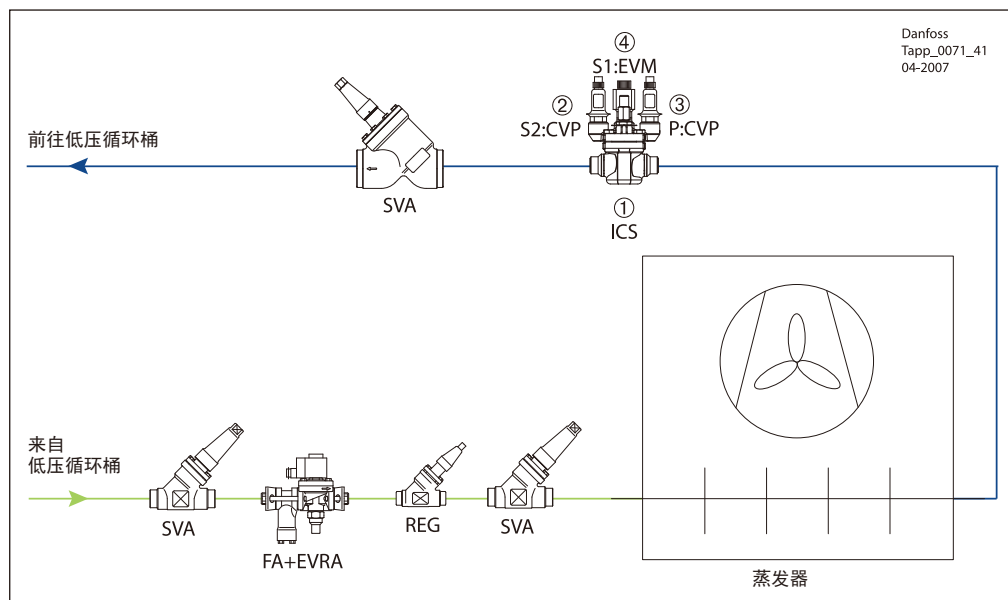
应用范例 5.5.1：
蒸发压力控制，在两个压力之
间转换

■ 制冷剂的气液混合物
■ 低压液体制冷剂

- ① 压力调节阀
- ② 恒压导阀
- ③ 恒压导阀
- ④ 电磁导阀

在加工工业中，将同一蒸发器用于不同温度设置的现象十分普遍。

如果要求蒸发器在两个不同的固定蒸发压力下运转，这可以通过使用装有两个恒压导阀的伺服阀 ICS 来实现。



应用范例5.5.1显示了如何控制蒸发器中两个蒸发压力的解决方案。该解决方案可用于装有任何类型除霜系统的直接膨胀或泵循环蒸发器。

伺服阀ICS在S1端口装有一个EVM(NC)电磁导阀，在S2和P端口则分别装有两个CVP恒压导阀。

CVP在S2端口应设定为较低的操作压力，P端口的CVP则设定为较高的操作压力。

当S1端口的电磁阀控制接通电源时，蒸发器的压力将取决于S2端口CVP导阀的设定值。当电磁阀控制器切断电源时，蒸发压力将取决于P端口CVP导阀的设定值。

示例：

	I	II
出口空气温度[°C]	+3	+8
蒸发温度[°C]	-2	+2
温度变化[K]	5	6
制冷剂	R22	R22
蒸发压力[bar]	3.6	4.4

S2: CVP预设置为3.6 bar,
P: CVP预设置为4.4 bar。

- I: EVM导阀打开。
因此，蒸发压力将由S2: CVP控制。
- II: EVM控制器关闭。因此，蒸发压力将由P: CVP控制。

5.6 介质温度控制

我们为制冷系统中需要进行精确温度控制要求的场合提供了相关的解决方案。

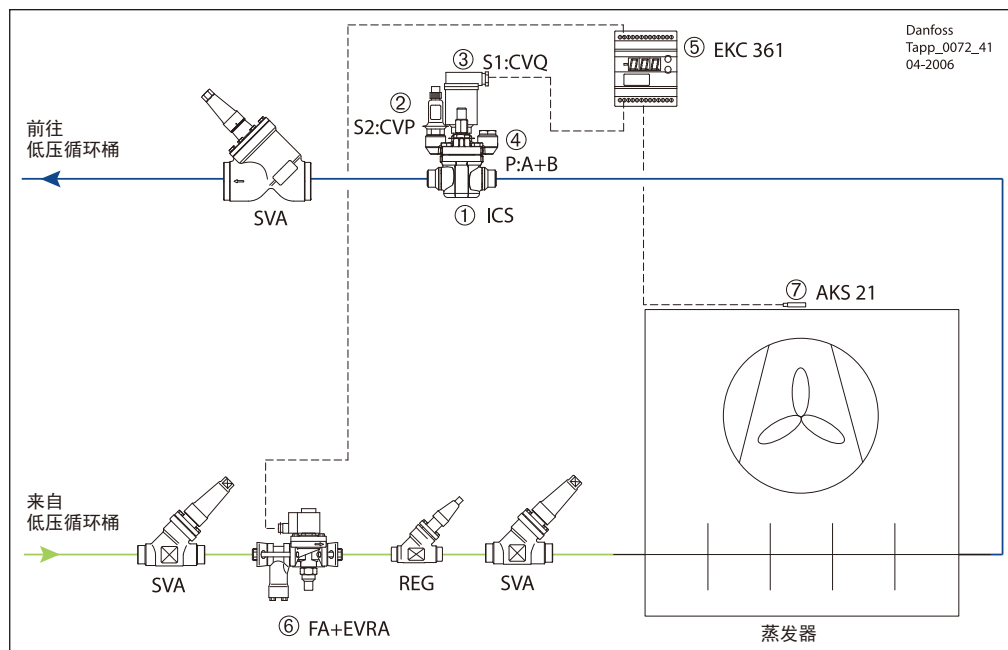
例如：

- 储存水果和食品的冷藏室
- 食品行业中的工作间
- 液体工业冷却

应用范例 5.6.1：
使用导阀控制的伺服主阀ICS控制
介质温度

— 制冷剂的气液混合物
— 低压液体制冷剂

- ① 压力调节阀
- ② 恒压导阀
- ③ 电子控制温度导阀
- ④ 盲塞
- ⑤ 控制器
- ⑥ 带有过滤器的电磁阀
- ⑦ 温度传感器



应用范例5.6.1显示了一个精确控制介质温度的方案。此外，在应用中，还需要防止蒸发器出现过低压力，以避免产品结冰。

该解决方案可用于装有任何类型除霜系统的直接膨胀或泵循环蒸发器。

在S2端口装有CVQ导阀的ICS ①伺服阀由介质温度控制器EKC 361和装在S1端口的CVP导阀共同控制。ICS的P端口则采用A+B盲塞断开连接。

CVP根据应用所允许的最小压力进行设定。

通过控制CVQ的开度使得蒸发压力满足冷库中对制冷量和制冷温度的需求，EKC 361介质温度控制器可以把该应用中的介质温度控制在令人满意的水平。

该解决方案中受控温度的精确度可达 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 。如果温度达到此范围以内，那么EKC控制器将关闭安装在液体管路上的电磁阀。

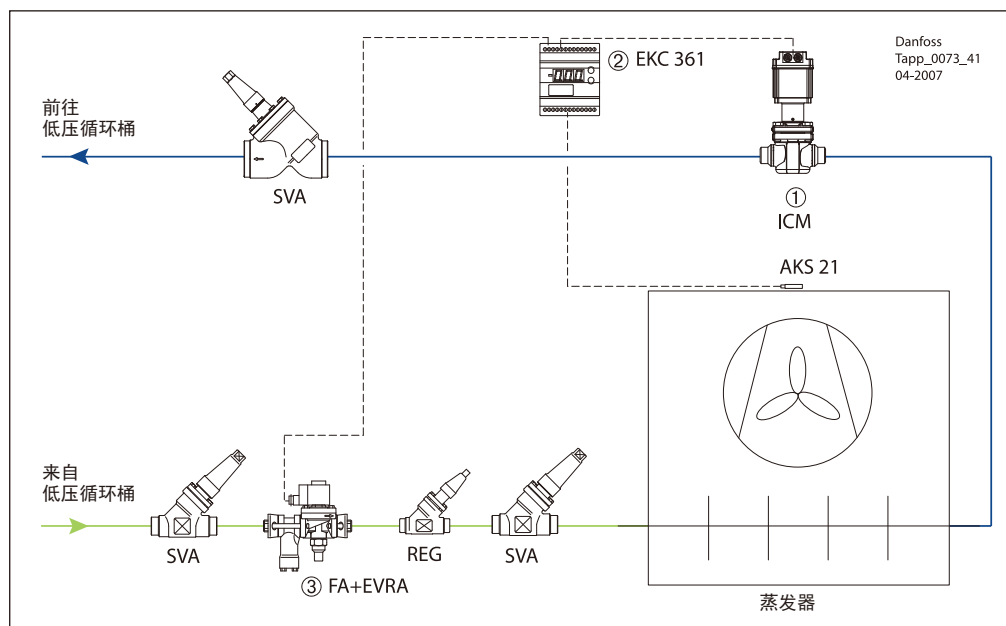
介质温度控制器EKC 361可以控制蒸发器的所有功能，包括温度控制和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 361手册。

应用范例 5.6.2:
使用电动阀控制介质温度

— 制冷剂的气液混合物
— 低压液体制冷剂

- ① 压力调节阀(电动阀)
- ② 控制器
- ③ 带有过滤器的电磁阀



应用范例5.6.2显示了不使用开/停控制即可实现精确介质温度控制的方案。

该设计可以用于装有任何类型除霜系统的直接膨胀或泵循环蒸发器。

该方案选择的是由介质温度控制器EKC 361控制的电动阀ICM。

通过控制电动阀ICM的开度使得蒸发压力满足冷库中对制冷量和制冷温度的需求，EKC 361介质温度控制器可以把该应用中的介质温度控制在令人满意的水平。

该方案中受控温度的精确度可达 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 。如果温度达到此范围以内，那么EKC控制就会关闭安装在液体管路上的电磁阀。

介质温度控制器EKC 361可以控制蒸发器的所有功能，包括温度控制和报警。

更多详细信息，请参考丹佛斯EKC 361 控制器手册。

5.7

小结

解决方案		应用	优点	缺点
直接膨胀控制				
直接膨胀蒸发器，使用热力膨胀阀TEA，电磁阀EVRA和控制器EKC 202进行控制。		所有直接膨胀系统	安装简单，没有低压循环桶和泵系统。	与循环系统相比，制冷量和效率都比较低； 不适合使用易燃制冷剂。
直接膨胀蒸发器，使用电动阀ICM/ICF，电磁阀EVRA和控制器EKC 315A进行控制。		所有直接膨胀系统	过热度最优化； 反应快； 可以进行远程控制； 容量范围广。	不适合使用易燃制冷剂。
泵循环控制				
泵循环蒸发器，使用REG、EVRA 和 EKC 202 进行控制		泵循环系统	大容量高效的蒸发器。	制冷剂充注量较高且存在波动。
热气除霜控制 - 直接膨胀冷风机				
带有热气除霜控制的直接膨胀蒸发器		所有直接膨胀系统	快速除霜； 热气可以带出低温蒸发器中残留的油份。	不适合蒸发器数量少于3的系统。
热气除霜控制 - 泵循环冷风机				
带有热气除霜的泵循环蒸发器		所有的泵循环系统	快速除霜； 热气可以带出低温蒸发器中残留的油份。	不适合蒸发器数量少于3的系统。
带有SV 1/3控制的热气除霜的泵循环蒸发器		所有的泵循环系统	快速除霜； 热气可以带出低温蒸发器中残留的油份； 浮球阀能够有效稳定的调节热气流。	不适合蒸发器数量少于3的系统。
多温转换				
使用ICS和CVP进行多温控制		蒸发器需要在不同温度范围工作的场合	蒸发器可以在2个不同的温度之间进行转换。	在吸气管路中安装控制阀导致吸气管路存在压降。
介质温度控制				
使用ICS、CVQ和CVP控制介质温度		非常精确的温度控制，与最低压力保护(结霜)联合使用	CVQ可以精确地控制温度； CVP可以将压力保持在所要求的最低压力以上。	在吸气管路中安装控制阀导致吸气管路存在压降。
使用电动阀ICM控制介质温度		非常精确的温度控制	ICM可以通过调整开度非常精确地控制温度。	制冷量受到ICM阀本身制冷能力的限制。

6. 润滑油系统

总的来说,工业制冷压缩机都是用油进行润滑的。润滑油通过油泵或者高低压端的压差进入压缩机运动的部件(轴承、转子、汽缸壁等)。为了保证压缩机能够可靠有效地运转,应当对以下润滑油参数进行控制:

- 油温,应当保持在厂商规定的限定范围内。润滑油的粘性应当适当,温度应当保持在燃点以下。
- 油压,润滑油的压差应当保持在最小允许值以上。

制冷系统中通常会有一些辅助清洁设备,它们可用于润滑油的清洁、润滑油从制冷剂中的分离、润滑油从低压端中返回的操作,并可用在配有多个活塞式压缩机的系统中保持油位的均衡,以及润滑油排空等操作。其中大部分的组件和设备都将由压缩机厂商提供。

工业制冷设备中的润滑油系统设计主要由压缩机类型(螺杆式或活塞式)和制冷剂(氨、HFC/HCFC或二氧化碳)决定。一般来说,不互溶的润滑油用于氨,而互溶的润滑油则用于氟制冷剂。由于润滑油系统与压缩机的关系非常紧密,因此上述部分要点已经压缩机控制(第2节)或将在安全系统(第7节)中进行描述。

6.1 油冷却

制冷压缩机(包括所有的螺杆压缩机和部分活塞式压缩机)一般都需要进行油冷却。排气温度过高会对油造成破坏,进而导致压缩机受损。对于润滑油而言还有一点很重要,即油的粘性一定要适当,而这在很大程度上取决于温度。仅将温度保持在临界限定值以下还不够,还需要对其进行控制。一般来说,压缩机生产厂商都会针对润滑油的温度做出相应的规定。

在制冷行业中,有几种不同类型的油冷却系统。最常用的类型有:

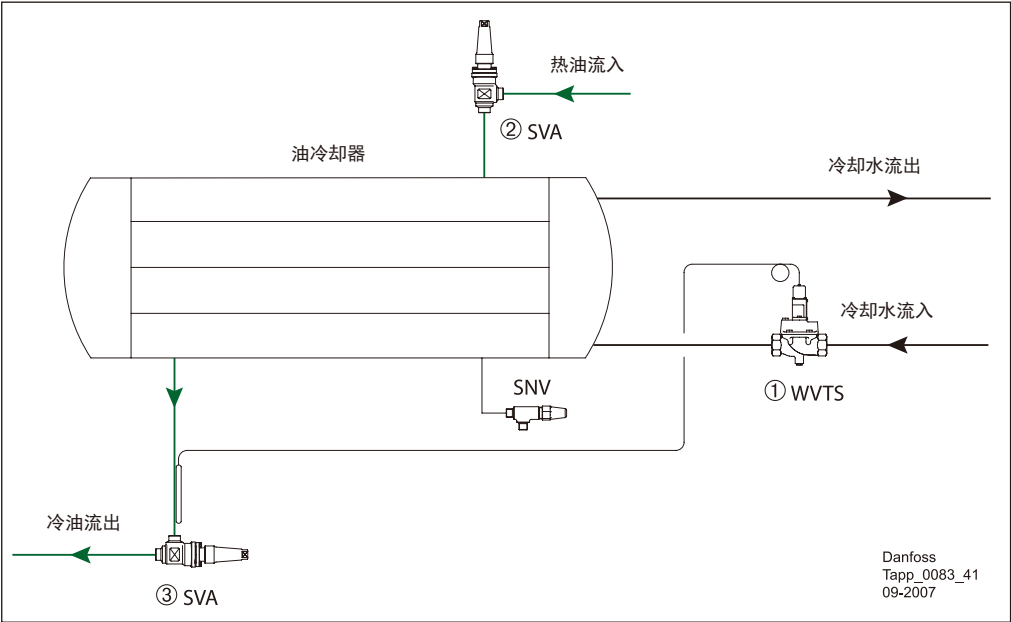
- 水冷却
- 风冷却
- 热虹吸冷却

可以通过直接向压缩机中间端口喷射制冷剂的方法冷却润滑油。对于活塞式压缩机而言,通常不需要任何特殊的油冷却系统,因为温度对活塞式压缩机的重要性并不像对螺杆压缩机那么突出,并且润滑油是在曲轴箱中进行冷却的,因此温度对它的重要性不像螺杆式压缩机那么突出。

应用范例 6.1.1：
用水进行油冷却

— 水
— 润滑油

- ① 水阀
② 截止阀
③ 截止阀



这些类型的系统通常用于能够获得廉价水资源的场合。否则，需要安装冷却塔来冷却水。水冷式油冷却器常见于船用冷库。

请联系当地丹佛斯销售部门，了解组件是否适合用海水作为冷却介质。

水流量由水阀WVTs①控制，该水阀能够根据油温控制水流量。

技术数据

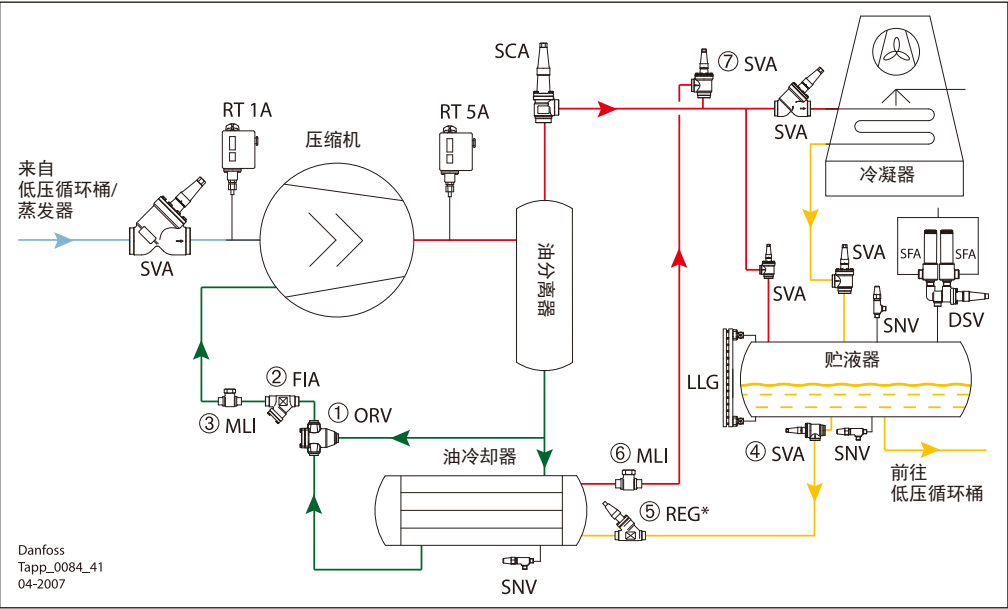
	水阀 - WVTs
材料	阀体：铸铁
介质	淡水、中性盐水
最大工作压力 [bar]	10
操作温度范围 [°C]	感温包：0 至 90 液体：-25 至 90
DN [mm]	32 至 100
最大 K _v 值 [m³/h]	12.5 至 125

	水阀 - AVTA
介质	淡水、中性盐水
最大工作压力 [bar]	16
操作温度范围 [°C]	感温包：0 至 90 液体：-25 至 130
DN [mm]	10 至 25
最大 K _v 值 [m³/h]	1.4 至 5.5

应用范例 6.1.2:
热虹吸油冷却

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 润滑油

- ① 油调节阀
- ② 过滤器
- ③ 视液镜
- ④ 截止阀
- ⑤ 手动调节阀
- ⑥ 视液镜
- ⑦ 截止阀



这种类型的系统操作起来非常方便，因为润滑油在系统内部冷却。仅需增加冷凝器的大小，就可满足从油冷却器获得的热量的要求。但是，热虹吸油冷却要求在现场增加额外的管道；有时候也需要安装额外的优先级高的容器(在没有安装高压贮液器或其位置过低的情况下)。

高压液体制冷剂由于重力作用从贮液器流入油冷却器，并在此蒸发和冷却润滑油。随后，制冷剂气体重新回到贮液器，或在某些情况下回到冷凝器入口。热虹吸油冷却器的供液管道和湿回气管道上的压降必须保持最小，这一点至关重要。

否则，制冷剂将无法从油冷却器返回，系统也将无法正常工作。尽量少安装SVA截止阀。不得安装依赖压降动作的电磁阀。建议在返回管道上安装一个MLI⑥视液镜。

油调节阀ORV①可将油温保持在适当的范围。ORV将油温保持在由其热力感温元件定义的限定值范围之内。如果油温过高，则所有的油将返回到油冷却器。如果油温过低，则所有的油将被直接旁通回压缩机。

* 对于大型的油冷却器而言，安装REG调节阀将起到很大的作用。

技术数据

	油调节阀 - ORV
材料	阀体：耐低温钢
介质	所有常见的制冷油和常见的制冷剂，包括氨
最大工作压力 [bar]	40
温度范围 [°C]	连续工作状态：-10 至 85 短时间工作状态：-10 至 120
DN [mm]	25 至 80

6.2
油压差控制

在制冷压缩机的正常运转过程中，润滑油被油泵输送或高压和低压端间的压差而循环流动。最重要的阶段是启动阶段。

对于第二种方法，需要检查压缩机制造商是否允许几秒钟的空转。一般来说，这对于装有滚珠轴承的螺杆压缩机而言是可行的，而对于滑动轴承则不可行。

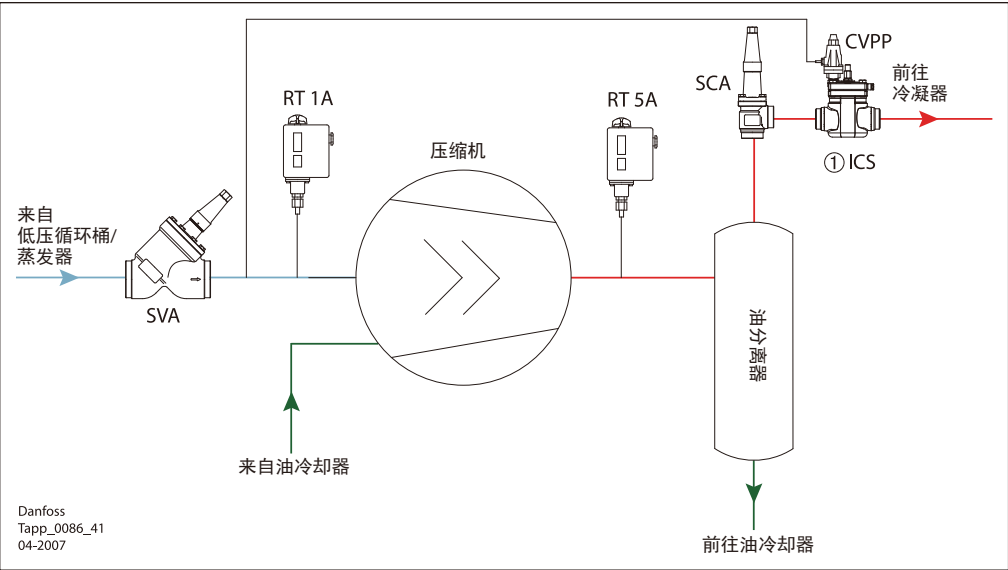
其中至关重要的一点是迅速建立合适的油压，否则压缩机将损坏。

使制冷压缩机中的油压差迅速建立的基本方法有两种。一是使用外部油泵；二是在油冷却器后的压缩机排气管上安装控制阀。

应用范例 6.2.1：
使用 ICS 和 CVPP 控制油压差

■ 高压气体制冷剂
■ 低压气体制冷剂
■ 润滑油

① 压差调节阀



在此应用中，应使用装有压差导阀CVPP的伺服阀 ICS①。CVPP阀的导管与压缩机入口处的吸气管相连。ICS①将在压缩机启动之时关闭。

这种解决方案的主要优势在于其灵活性，因为压差可以在现场调整。

由于压缩机和阀门之间的管道非常短，因此排放压力将迅速增加。只需很短的时间就可将阀门完全打开，使压缩机在正常条件下运行。

技术数据

	导阀控制的伺服主阀 - ICS
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150
额定制冷量* [kW]	20 至 4000

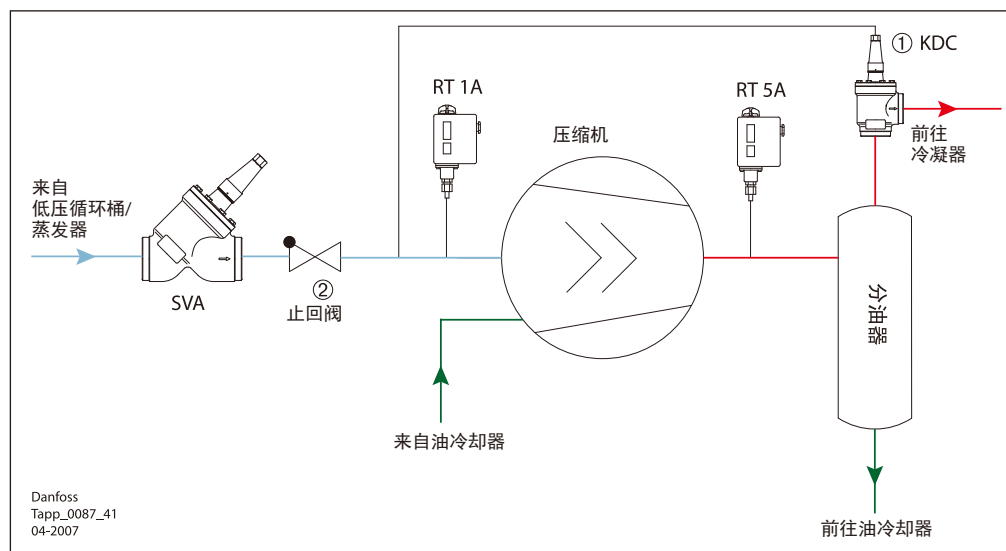
* 工况：氨，热气管路， $T_{liq} = 30^{\circ}\text{C}$ ， $P_{disch} = 12\text{ bar}$ ， $\Delta P = 0.2\text{ bar}$ ， $T_{disch} = 80^{\circ}\text{C}$ ， $T_e = -10^{\circ}\text{C}$

	压差导阀 - CVPP
材料	阀体：不锈钢
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	CVPP (LP): 17 CVPP (HP): 最高至40
调节范围 [bar]	CVPP (LP): 0 至 7 CVPP (HP): 0 至 22
K_v 值 m^3/h	0.4

应用范例 6.2.2:
使用 KDC 的油压差控制

— 高压气体制冷剂
— 低压气体制冷剂
— 润滑油

- ① 多功能压缩机阀
② 止回阀
(通常为压缩机的 组成部分)



此范例的操作原理与范例6.2.1相同。多功能压缩机调节阀KDC①在油分离器和吸气管路之间的压差超过设定值后才打开。与此同时，油分离器中的压力也大于冷凝压力。

KDC①阀门有一些优点，例如它能够用作止回阀(它不能通过背压方式打开)，并且打开阀门时所形成的压降较小。

但是KDC①也有一些不足，KDC阀是不可调节的，压差设定值数量有限，而且需要在吸气管中安装止回阀②。

如果不安装止回阀，那么将会有大流量的反向流从油分离器流向压缩机。另外，在压缩机和油分离器之间不能安装止回阀，否则 KDC 可能需要很长的时间才能关闭。

技术数据

	多功能压缩机阀 - KDC
材料	低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	65 至 200
额定容量* [kW]	435 至 4207

* 工况：氨，+35°C/-15°C， $\Delta P = 0.05$ bar

使用 KDC 和 EVM 导阀控制油压差



6.3 油回收系统

工业制冷的氨系统中往往只有压缩机需要用到润滑油。压缩机侧的油分离器的作用就是防止润滑油进入制冷系统中的其它部位。

但是，润滑油还是会通过油分离器流动到制冷系统的其它部位，并经常聚集在低压循环桶和蒸发器等低压端，导致降低了它们的效率。

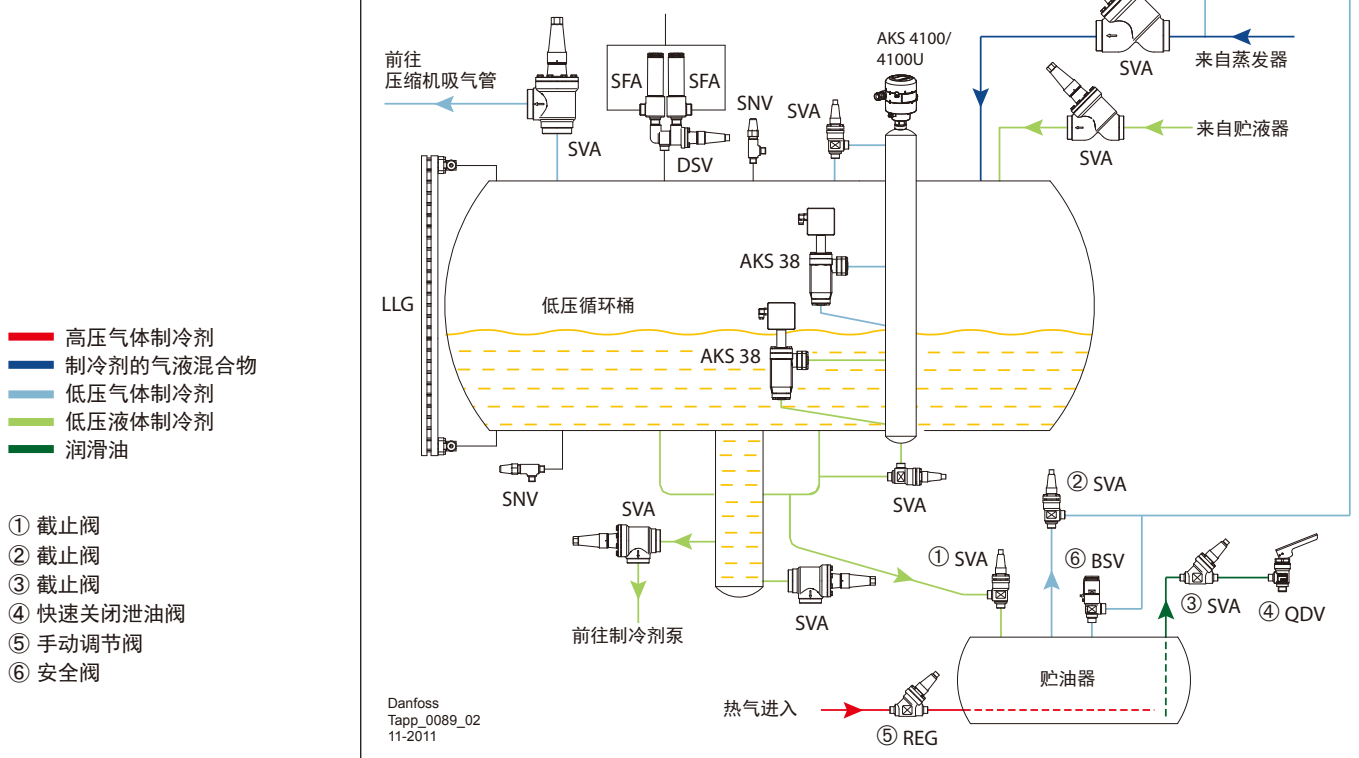
如果有过量的润滑油从压缩机进入系统，压缩机中的润滑油将减少，就会有油位降至压缩机制造商设定的

最小限定值以下的危险。回油系统主要和能够与油互溶的制冷剂一起使用，如 HFC/HCFC 系统。因此，回油系统有两大功能：

- 抽走低压端的润滑油。
- 重新为压缩机供油。

但是，务必知道任何从氨制冷系统低压端抽走的油不适合再供压缩机使用，而且应将其从制冷系统中清除。

应用范例 6.3.1：
从氨系统中排出润滑油



在氨系统中使用不互溶的润滑油。由于润滑油比液态氨重，因此它将停留在低压循环桶的底部，而无法通过吸气管返回压缩机。

因此，通常情况下氨系统中的润滑油将被从低压循环桶排放到贮油器。这样就可以比较容易地将油从氨中分离出来。

在排放润滑油时，关闭截止阀①和②，并打开热气管路，从而让热气来提高压力并加热冷却油。

随后，使用快速关闭泄油阀QDV④排放润滑油，当油被排空，氨开始出现时，可以快速关闭QDV。

必须在QDV和贮油器之间安装截止阀SVA③。此阀门在排油之前打开，并在油排空之后关闭。

在将油从氨中排出的过程中，必须采取必要的安全预防措施。

技术数据

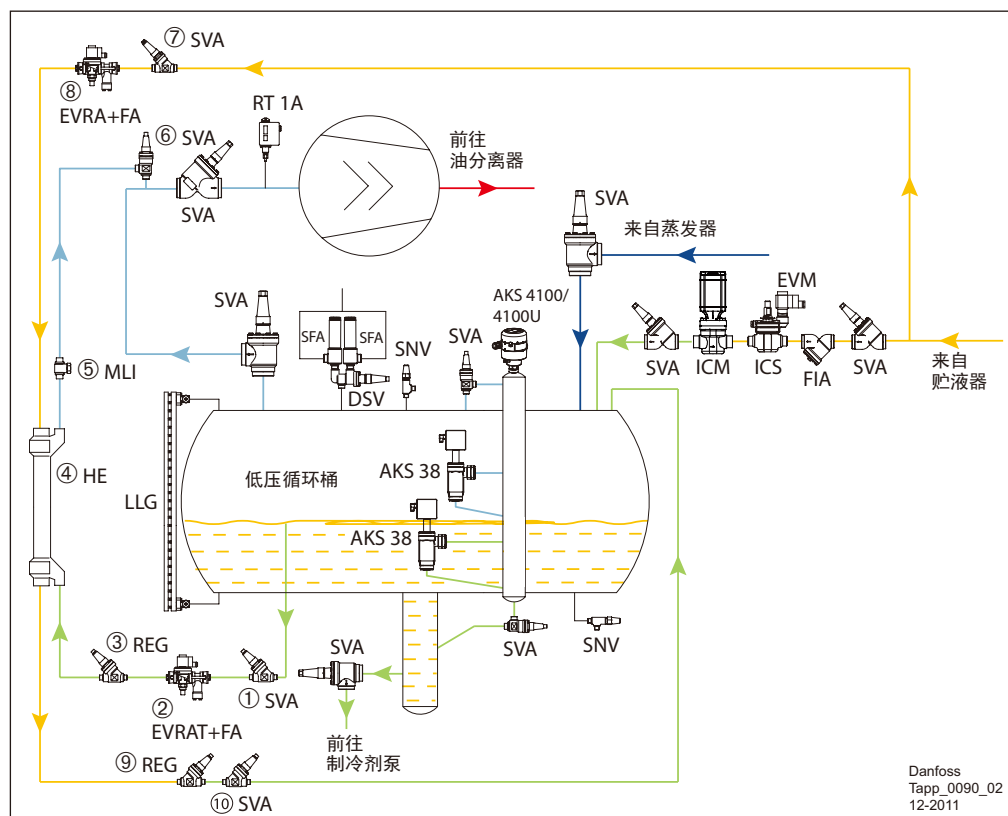
	快速关闭泄油阀 - QDV
材料	阀体：钢
制冷剂	通常与氨一同使用；适用于所有常见的不易燃制冷剂
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
最大工作压力 [bar]	25
DN [mm]	15

应用范例 6.3.2:

从氟系统中排出润滑油

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 电磁阀
- ③ 手动调节阀
- ④ 换热器
- ⑤ 视液镜
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 截止阀
- ⑧ 电磁阀
- ⑨ 手动调节阀
- ⑩ 截止阀



在氟系统中，主要使用可溶的润滑油。在管路设置良好的系统中(斜面、油循环等)，无须对油进行回收，因为油会随着制冷剂气体返回。

但是在低温设备中，润滑油可能会驻留在低压容器内。润滑油要比常用的氟制冷剂轻，因此不可能按照氨系统中使用的简单方法将其排出。

润滑油驻留在制冷剂的上部，其液位会随着制冷剂的液位而发生波动。

在此系统中，由于存在重力作用，制冷剂将从低压循环桶移动到换热器④。

低压制冷剂被高压液体制冷剂加热蒸发。

制冷剂气体与润滑油混合在一起并返回吸气管。从低压循环桶流出的制冷剂将被从工作液位的位置中取出。

手动调节阀REG③应调节到从视液镜⑤看不到制冷剂液滴的状态。丹佛斯换热器可以用于回收润滑油。

制冷剂也可以从泵排放管取出。在这种情况下制冷剂是否从工作液位的位置取出与否其实并不重要。

技术数据

	换热器 - HE
制冷剂	所有氟利昂制冷剂
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	HE0.5、1.0、1.5、4.0: 28 HE8.0: 21.5
DN [mm]	液体管路: 6 至 16 吸气管: 12 至 42

6.4

小结

解决方案		应用	优点	缺点
油冷却系统				
水冷, WVTS 水阀		船舶设备车间等冷水资源成本低廉的地方	简单高效。	可能成本较高, 需要单独的水管。
热虹吸冷却, ORV		所有类型的制冷设备	润滑油由制冷剂进行冷却, 同时设备效率不受影响。	需要额外的管道, 并在规定的高度安装高压贮液器。
空气冷却, ORV		装有供电组的大型商业制冷系统	安装简单, 无需额外的管道或水。	在不同的季节, 油温可能会有较大的波动; 风冷设备对于大型系统而言可能太大。
油压差控制				
ICS + CVPP		螺杆压缩机(必须得到压缩机厂商的确认)	配置灵活; 可以有不同的设定值。	需要安装止回阀。
KDC			无需排气止回阀, 压降低于 ICS 解决方案。	需要在吸气管上安装止回阀, 不能改变设定值。
KDC+EVM			与上述的相同, 但无须在吸气管上安装止回阀。	需要外部管道, 不能改变设定值。
回油系统				
从氨系统中回收油, QDV		所有的氨系统	简单安全。	需要手工操作。
从氟系统中回收油, HE		低温氟系统	不需要手动操作。	调整操作比较复杂。

7. 安全系统

所有的工业制冷系统都设计有不同的安全系统以保护它们免受危险情况(例如超压)的影响。

应当防止或减轻任何可以预见的内部超压，使其对人员、财产和环境造成的危险程度降至最低。

政府对安全系统要求的控制非常严格，因此需要经常核实当地不同国家的法规对安全的要求。

卸压装置(例如安全阀)的设计原理：自动释放超压，以便不超过允许的最高压力值，并且在压力降到允许限定值以下后复位。

温度控制器或限温器是一个温度驱动的装置，用于避免出现危险的温度；这样，系统就可以在出现问题或故障时部分或全部停止。

压力控制器是一种具有自动复位功能的用于防止出现低压或高压的装置。

安全压力控制器是一种通过手动复位对压力进行限制的安全断路装置。

液位开关是一个液位驱动装置，用于防止出现不安全的液位。

制冷剂探测器是一个能够对环境中预设制冷剂气体浓度产生感应的装置。丹佛斯生产制冷剂探测器 GD，欲了解更多信息，请参阅具体的应用手册。

7.1 卸压装置

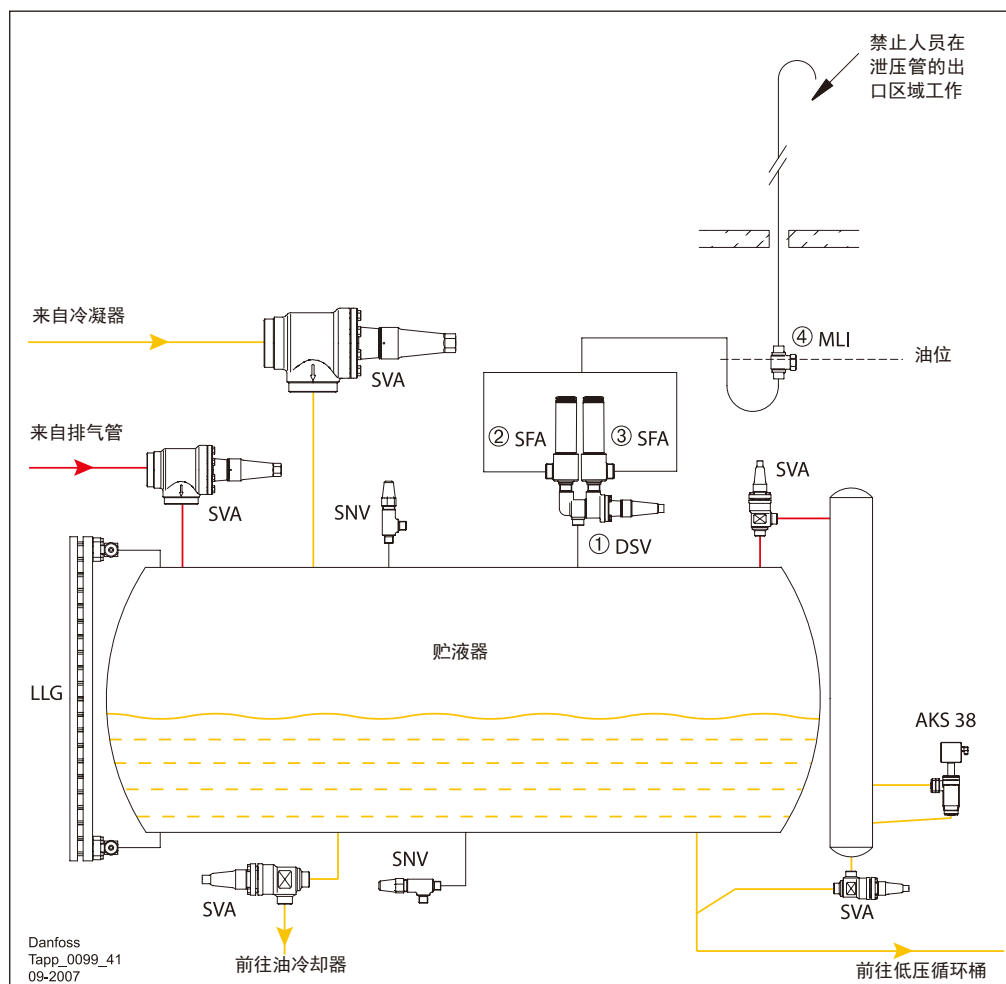
安装安全阀以防止系统中的压力超过任何组件以及整个系统的最大允许压力。出现超压时安全阀会将制冷剂从超压的部分或制冷系统中释放出去。

安全阀的主要参数是释放压力和回座压力。通常释放压力不应超过设定压力的10%。此外，如果阀门没有回座或在很低的压力下回座，则制冷系统将会损失大量的制冷剂。

应用范例 7.1.1:
安全阀 SFA + DSV

■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂

- ① 双座安全阀
- ② 安全阀
- ③ 安全阀
- ④ 视液镜



系统中的所有容器以及压缩机上都必须安装卸压装置。

一般情况下，通常使用依赖背压的安全阀(SFA)。安全阀应当与双座安全阀DSV①一同安装，以保证在对其中某个阀门进行维护时，另外一个阀门仍可运转。

卸压装置需安装在靠近其要保护的系统零件的位置。为了检查安全阀是否已经将压力排放到了大气中，可以在阀门的后面安装一个带有视液镜MLI④且装满油的U形管。

请注意：有些国家不允许安装U形管。

安全阀出口管的设计必须保证当制冷剂被排出时，不会对人员造成危险。

通向安全阀的出口管中的压降对于阀门的功能而言非常重要。我们建议您在设计这些管路时参考相关的标准。

技术数据

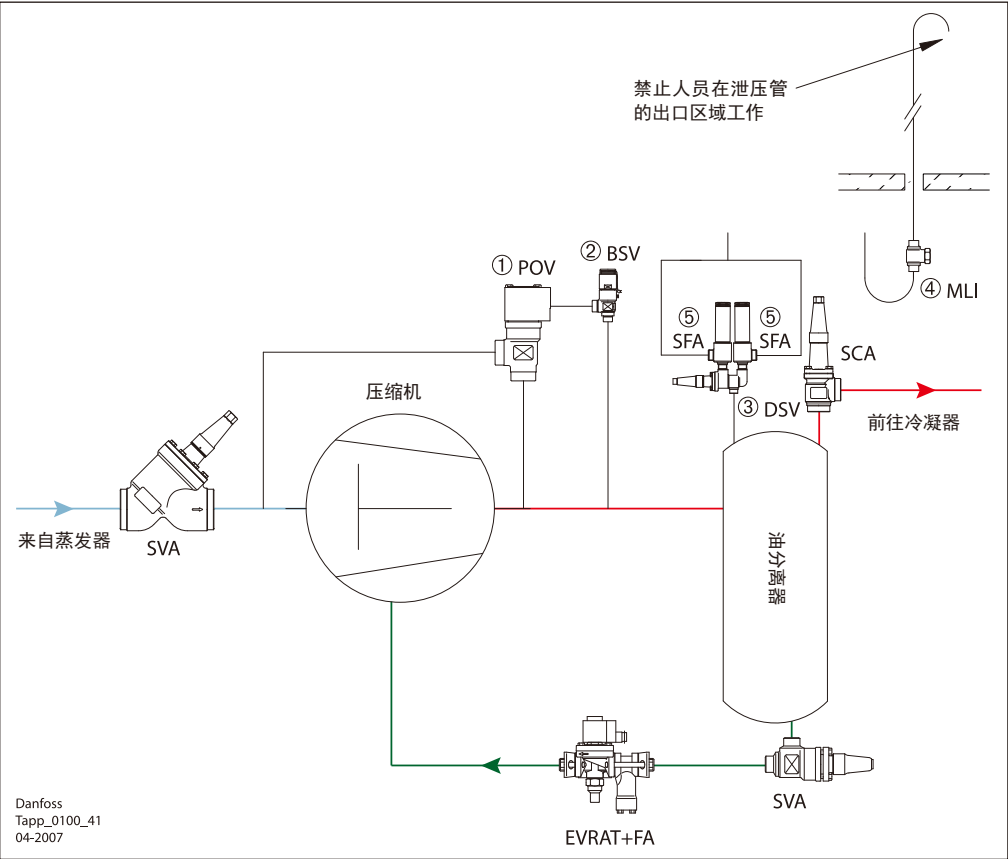
	安全阀 - SFA 15(依靠背压)
材料	阀体: 特种钢, 适合用于低温应用
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及其他制冷剂(取决于密封材料的兼容性)
介质温度范围 [°C]	-30 至 100
液体面积 [mm²]	130
设定压力 [bar]	10 至 40

	安全阀 - SFV 20-25 (依靠背压)
材料	阀体: 获准用于低温操作的特种钢
制冷剂	氨, 二氧化碳, HFC, HCFC, 其他制冷剂(根据与垫片材料的兼容性选择)
介质温度范围 [°C]	-30 至 100
液体面积 [mm²]	SFV 20: 254 / SFV 25: 415
设定压力 [bar]	10 至 25

	双座安全阀 - DSV 1/2
材料	阀体: 特种钢, 适合用于低温应用
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂, 包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 100
最大操作压力 [bar]	40
K _v 值 [m³/h]	DSV 1: 17.5 DSV 2: 30

应用范例 7.1.2：
内部安全阀BSV 和 POV

- 高压气体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 润滑油
- ① 导阀控制的内部安全阀
- ② 内部安全阀
- ③ 双座安全阀
- ④ 视液镜
- ⑤ 安全阀



为了将制冷剂从高压端释放到低压端，必须使用不依赖背压的卸压阀(BSV/POV)。

BSV②可用作低流量的直接安全阀，也可用作主阀POV①的导阀。当排气压力超过设定值时，BSV将打开POV，以便将高压气体释放到低压端。

安装不依赖于背压的安全阀时无须安装切换阀。如果需要替换或者重新调整阀门，则必须先关闭压缩机。如果油分离器的排气管上安装了截止阀，那么必须采取措施保护油分离器和压缩机，使其免受因外部热量或压缩热量而造成的超压破坏。

可以通过同时安装标准安全阀SFA⑤和双座安全阀DSV③来进行保护。

技术数据

	内部安全阀 – BSV (不依靠背压)
材料	阀体：特种钢，适合用于低温应用
制冷剂	氨、二氧化碳、HFC、HCFC 及其他制冷剂(取决于密封材料的兼容性)
介质温度范围 [°C]	作为外部安全阀时：-30 至 100 作为POV的导阀时：-50 至 100
设定压力 [bar]	10 至 25
液体面积 [mm²]	50

	导阀控制的内部安全阀 – POV
材料	外壳：钢
制冷剂	氨、HFC、HCFC 及其他制冷剂(取决于密封材料的兼容性)
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
设定压力 [bar]	15 至 25
流通面积 [mm²]	POV 600: 835 POV 1050: 1244 POV 2150: 2734
DN [mm]	40/50/80

7.2

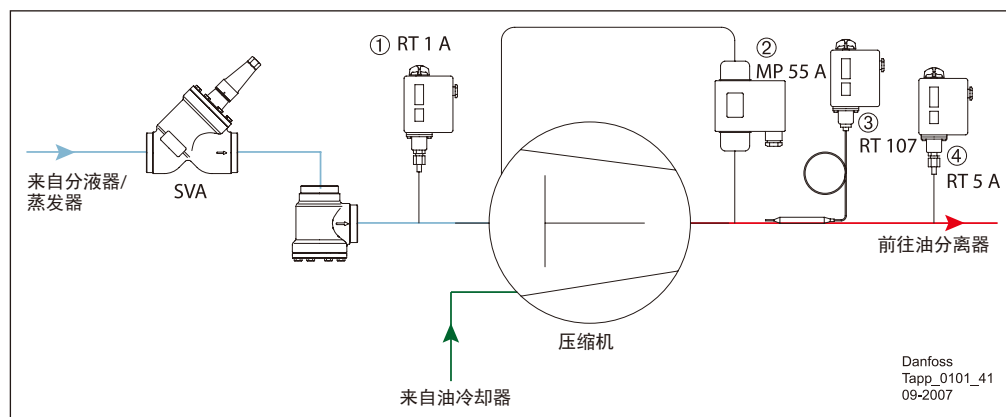
压力和温度控制器

应用范例 7.2.1:

压缩机的压力/温度控制器

— 高压气体制冷剂
— 低压气体制冷剂
— 润滑油

- ① 低压控制器
② 油压差控制器
③ 高温控制器
④ 高压控制器



为保护压缩机免受过高排气压力温度或过低吸气压力的损害，需要安装开关KP/RT。

活塞式压缩机使用油压差控制器MP 54/55②在油压过低时停止压缩机。

RT 1A①是一个低压控制器，RT 5A④是一个高压控制器，RT 107③是一个温度控制器。

压缩机启动过程中，如果压缩机没有在规定的时间段内(0 - 120秒)形成足够的压差，则油压差控制器会将其关闭。

高压控制器的设定值必须低于高压端安全阀的设定值，低压控制器的设定置由压缩机厂商确定。

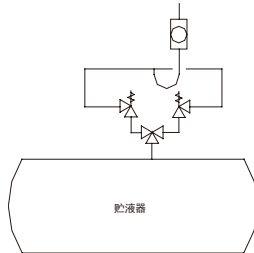
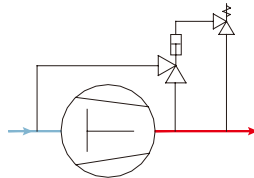
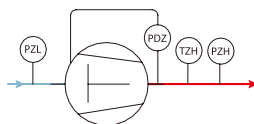
技术数据

温度控制器 - RT	
制冷剂	氨和氟制冷剂，根据产品系列而定
外壳	IP66/54
最大感温包温度 [°C]	65 至 300
环境温度 [°C]	-50 至 70
调节范围 [°C]	-60 至 150
温度差 Δt [K]	1.0 至 25.0

压差控制器 - MP 54/55/55A	
制冷剂	MP 54/55: 氟里昂制冷剂 MP 55A: 氨
外壳	IP20
调节范围 ΔP [bar]	MP 54: 0.65/0.9 MP 55/55A: 0.3 至 4.5
最大工作压力 [bar]	17
最大测试压力 [bar]	22
操作范围 在低压端 [bar]	-1 至 12

7.4

小结

解决方案		应用
安全阀		
安全阀 SFA + 双座安全阀 DSV		保护容器、压缩机和换热器免受过压的破坏
内部安全阀 BSV + 导阀控制的内部安全阀 POV		保护压缩机和泵免受过压损坏
压力控制器控制		
压力控制器 RT		保护压缩机免受过高排气压力和过低吸气压力的破坏
压差控制器 MP 55		保护往复压缩机免受过低油压的破坏
温度控制器 RT		保护压缩机免受过高排气温度的破坏
液位装置		
液位开关 AKS 38		保护系统免受容器的制冷剂液位过高/过低的破坏
液位视镜 LLG		对容器中液体制冷剂液位进行可视化监控

8. 制冷剂泵控制

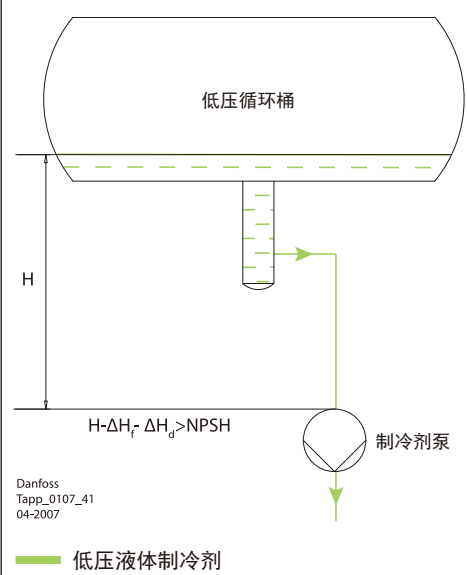
一般而言，工业制冷系统的液体制冷剂都会采用泵循环。与直接膨胀类型的系统相比，泵循环系统具有下列优势：

- 泵能够有效地向蒸发器分配液体制冷剂，并能够使气体与液体的混合物有效地返回低压循环桶。
- 可以将过热度降低到OK，借此提高蒸发器的效率同时不会存在压缩机受到液击。

安装泵时务必小心谨慎，以免出现气蚀现象。当泵入口处的制冷剂液体静压低于(对应于此处的液体温度的)饱和压力时，才会发生气蚀现象。

因此，泵以上的液体高度H必须至少能够补偿液体流过管道和阀门时因摩擦形成的压力损失 ΔH_f 、管道入口损失 ΔH_d ，以及液体进入泵叶轮的加速度 ΔH_p (泵净正吸入压头，其缩写形式为NPSH)，如图8.1所示。

图 8.1
泵的连接



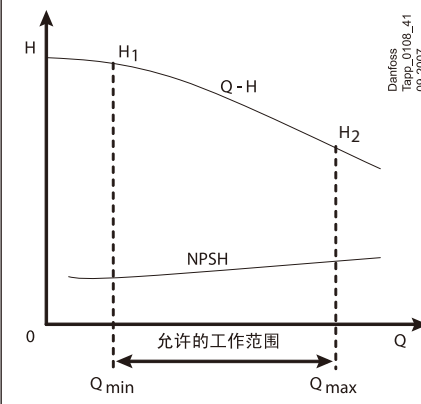
为了保证制冷剂泵的无故障运行，流经泵的制冷剂流量必须保持在允许的操作范围内，如图8.2所示。

如果流量过低，则电动机的热量会将部分制冷剂蒸发掉，并造成泵空转或泵出现气蚀现象。

如果流量过高，泵的NPSH(净正吸入压头)特性将在一定程度上受到损害，以至于可用的净正吸入压头变得很低，从而无法防止气蚀现象。

因此，必须设计相应的系统，使制冷剂泵能够将液体流量保持在操作范围内。

图 8.2
泵典型的 Q-H 曲线



8.1 通过压差控制实现泵保护

泵很容易受到气蚀现象的破坏。为了避免出现气蚀现象，重要的一点是使泵保持有足够的正吸入压头。为了获得足够的吸入压头，需要在低压循环桶上安装低液位开关 AKS 38。

但是即使安装了低液位开关，使低压循环桶中的液位保持在最低允许的液位之上，也还是有可能发生气蚀现象。

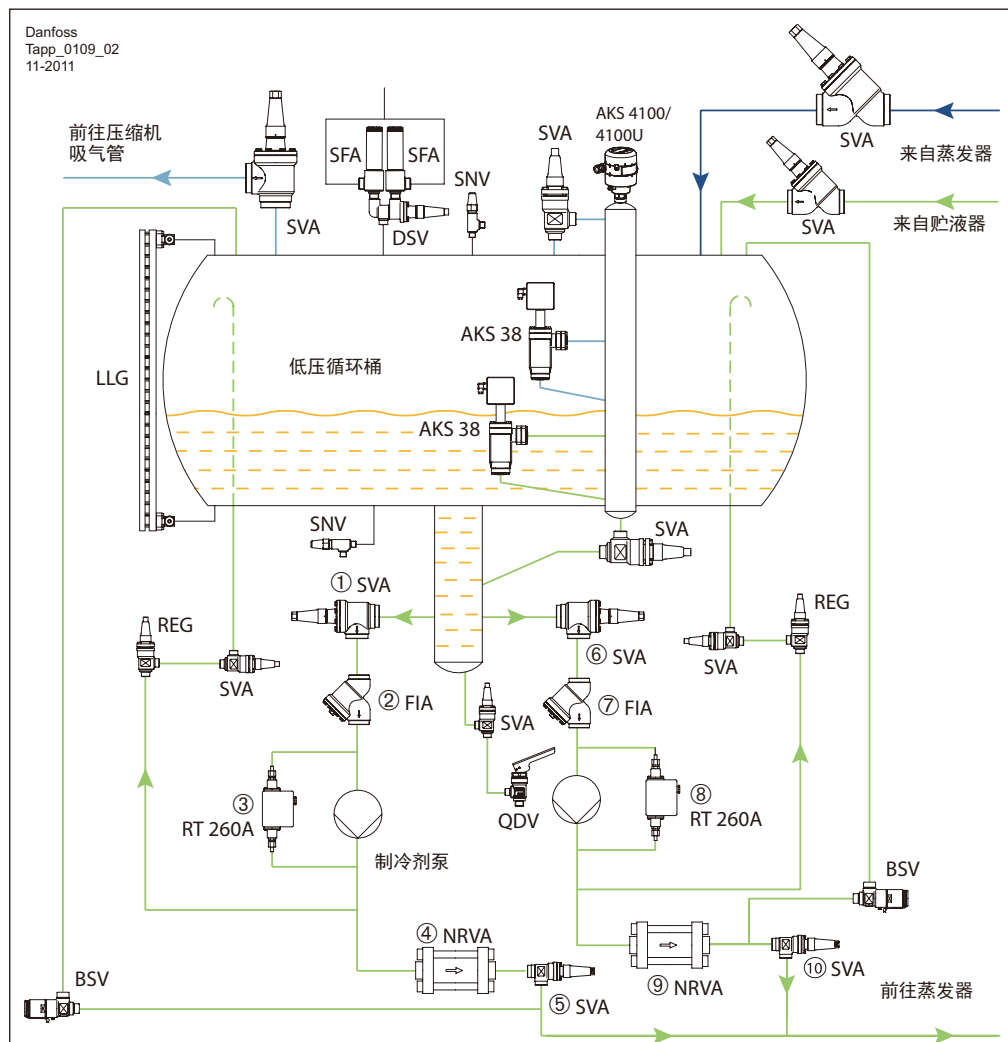
例如，蒸发器上的不当操作可能会引起流经泵的液体流量增大，低液位开关可能会失效，泵前面的过滤器可能会被堵塞，等等。

所有这些都可能会出现气蚀现象。因此当压差降到图8.2中的H₂值(相当于Q_{max})时，为了保护泵不受到破坏，必须将其关闭。

应用范例 8.1.1:
通过压差控制器RT 260A实现泵
保护

■ 制冷剂的气液混合物
■ 低压气体制冷剂
■ 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 压差控制器
- ④ 止回阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 过滤器
- ⑧ 压差控制器
- ⑨ 止回阀
- ⑩ 截止阀



压差控制用于防止出现压差过低。RT 260A③和⑧不附带定时继电器，它们在压差降到压力控制设定值以下时，立即断开。

在泵管上安装过滤器FIA②和过滤器⑦可以清除微粒，保护泵和自动控制阀免遭破坏、阻塞和一般的磨损。可以将过滤器安装在泵的吸入管上，也可以将其安装在排放管上。

如果将过滤器安装在泵前面的吸入管上，则它主要保护泵免受微粒的破坏。这在试运行的初始清理过程中尤为重要。由于压降过大可能会导致气蚀现象，因此建议安装一个500μm的滤网，在清理时可以使用更细的滤网，但是在设计管路时请务必将压降考虑在内。此外，在每隔一段时间之后就需要更换一次滤网。

如果将过滤器安装在排放管上，那么压降就没有那么重要了，此时可以使用150-200μm的过滤器。需要注意的是，在这样的安装方式中微粒在被清除出系统之前仍然可能进入泵中。

泵的排放管上安装了止回阀NRVA④和⑨，以便防止在泵停止时出现倒流。截止止回阀SCA也可用于该用途(NRVA和SVA可由SCA代替，参见应用范例8.1.2)。

技术数据

	压差控制器 - RT 260A/252A/265A/260AL
制冷剂	氨和氟利昂制冷剂，根据产品系列而定
外壳	IP66/54，根据产品系列而定
环境温度 [°C]	-50 至 70
调节范围 [bar]	0.1 至 11，根据产品系列而定
最大工作压力 [bar]	22/42，根据产品系列而定

8.2
泵旁通流量控制

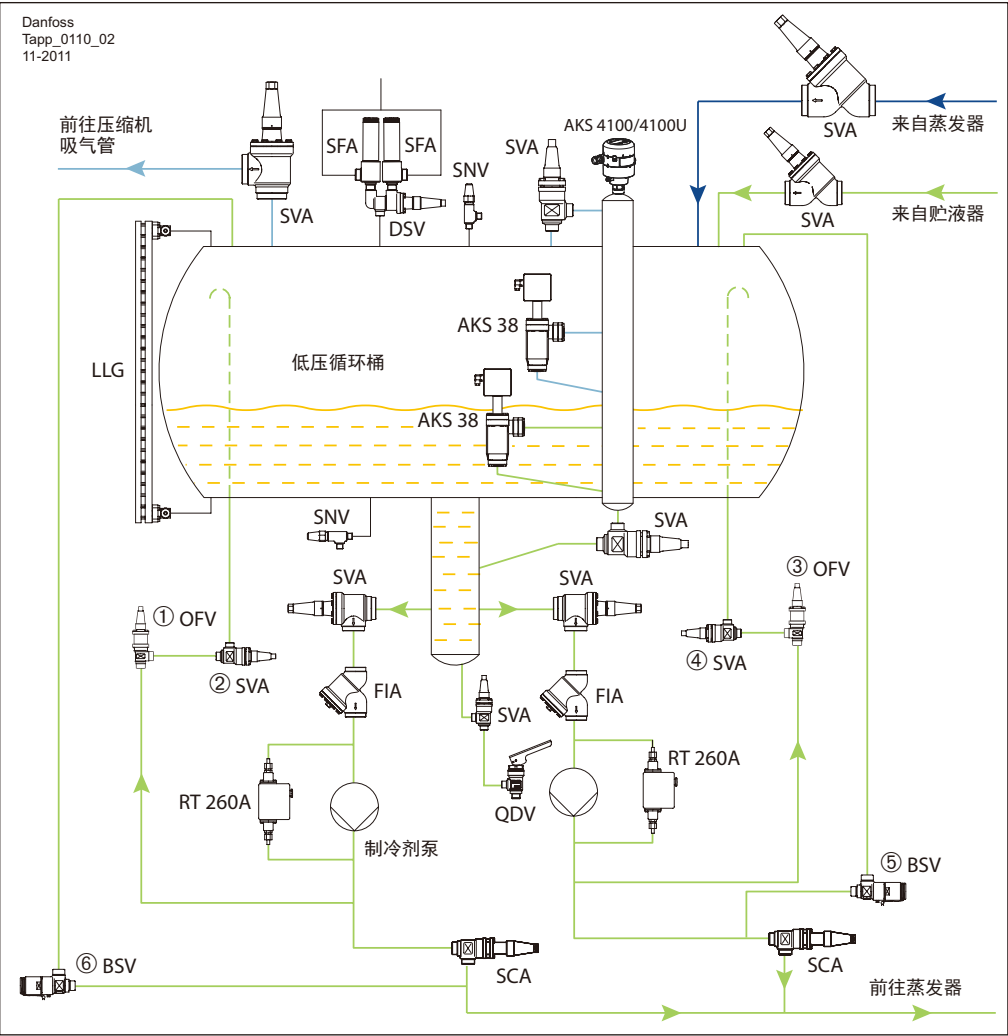
将流经泵的流量保持在最小允许值(图8.2上的 Q_{min})之上最常见的方法：为泵设计旁通流量。

即使系统中所有蒸发器都停止供液，旁通管仍然能够保证泵中有最少量的液体流量。

旁通管可以安装有手动调节阀REG或溢流阀OFV，甚至只是一个流口。

应用范例 8.2.1：
使用OFV控制泵的旁通流量

- 制冷剂的气液混合物
 - 低压气体制冷剂
 - 低压液体制冷剂
- ① 溢流阀
② 截止阀
③ 溢流阀
④ 截止阀
⑤ 内部安全阀
⑥ 内部安全阀



每个泵都设置了装有OFV溢流阀的旁通回路。

内部安全阀BSV的设计目的是释放超压。例如当截止阀关闭时，滞留在管道中的液体制冷剂会受热产生超压。

技术数据

	溢流阀 - OFV
材料	阀体：钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 150
最大工作压力 [bar]	40
DN [mm]	20/25
压差范围 [bar]	2 至 18

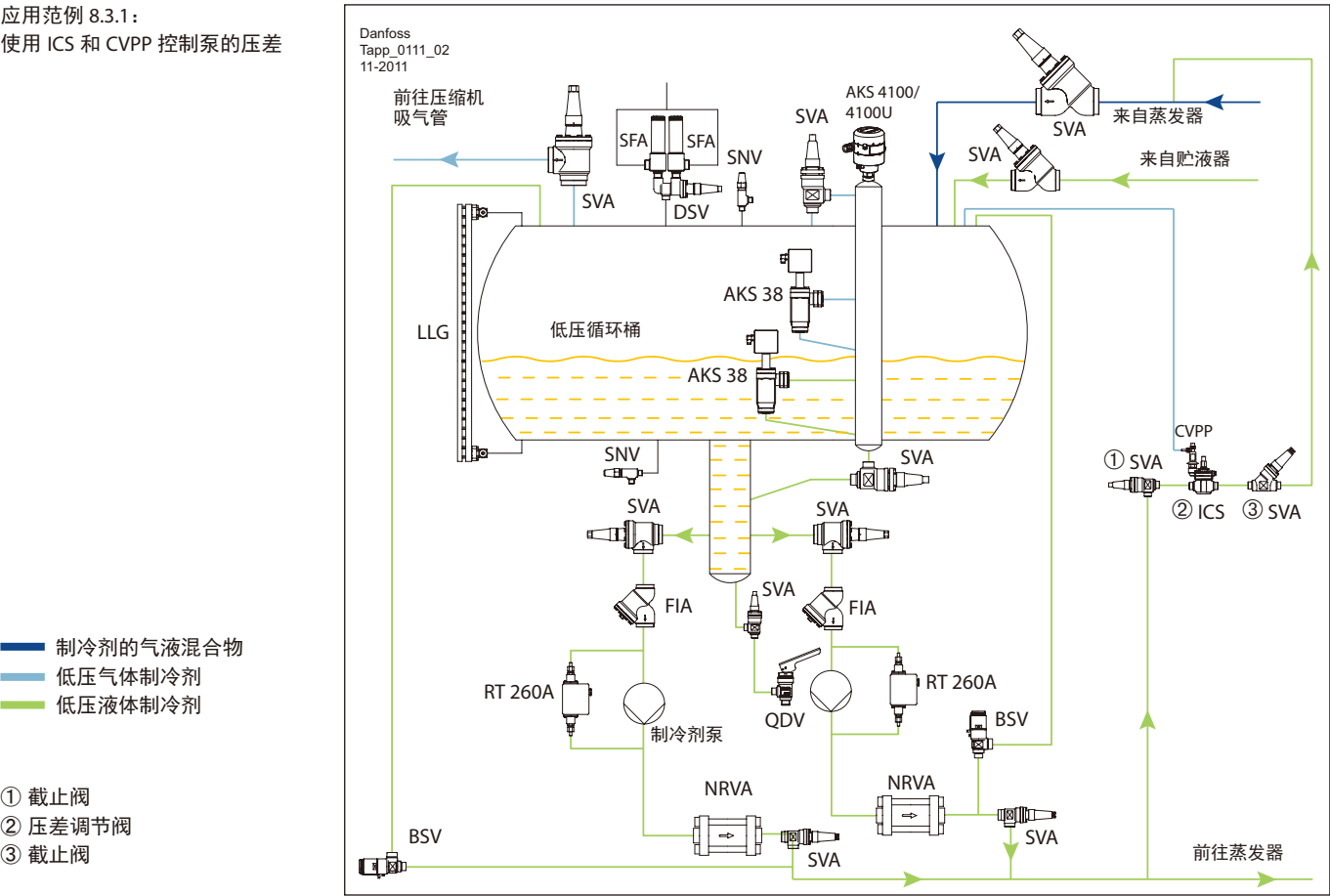
	内部安全阀 - BSV(不依靠背压)
材料	阀体：特种钢，适合用于低温应用
制冷剂	氨、二氧化碳、HFC、HCFC 及其他制冷剂(取决于密封材料的兼容性)
介质温度范围 [°C]	用作外部安全阀时：-30 至 100 用作POV的导阀时：-50 至 100
设定压力 [bar]	10 至 25
液体面积 [mm²]	50

8.3
泵压控制

应用范例 8.3.1:
使用 ICS 和 CVPP 控制泵的压差

对于某些类型的泵循环系统而言，非常重要的一点是可以在各个蒸发器前安装预设好开度的调节阀用于维持蒸发器间的压力平衡。

使用导阀控制的伺服主阀ICS和导阀CVPP可以使泵的压差保持恒定，从而使节流阀上的压差保持恒定。



技术数据

	导阀控制的伺服主阀 - ICS
材料	阀体：低温钢
制冷剂	所有常用的制冷剂，包括氨和二氧化碳
介质温度范围 [°C]	-60 至 120
最大工作压力 [bar]	52
DN [mm]	20 至 150

	压差导阀 - CVPP
制冷剂	所有常用的不易燃制冷剂，包括氨
介质温度范围 [°C]	-50 至 120
最大工作压力 [bar]	CVPP (LP): 17 CVPP (HP): 最大至40
调节范围 [bar]	CVPP (LP): 0 至 7 CVPP (HP): 0 至 22
K _v 值 [m³/h]	0.4

8.4

小结

解决方案		应用	优点	缺点
通过压差控制实现泵保护				
通过压差控制器 RT 260A 实现泵保护		适用于所有的泵循环系统	操作简单； 可有效保护泵免受低压差破坏(与高流量对应)。	不适用于易燃制冷剂。
过滤器和止回阀				
在泵管上安装过滤器 FIA 和止回阀 NRVA		适用于所有的泵循环系统	操作简单； 可有效保护泵免受逆流和微粒的破坏。	泵入管上的过滤器如果发生堵塞，则可能会导致发生气蚀现象； 对于过滤器安装在泵排放管的情况而言，微粒依然可能进入泵中导致气蚀现象发生。
泵旁通流量控制				
使用REG控制泵的旁通流量，使用安全阀BSV进行保护		适用于所有的泵循环系统	操作简单； 可有效可靠地保持泵的最小流量； 安全阀可以有效地防止压力过大。	会浪费部分泵动力。
泵压控制				
使用 ICS 和 CVPP 控制泵压		适用于要求蒸发器前面的调节阀压差保持恒定的泵循环系统	为蒸发器提供恒定的压差和循环比。	会浪费部分泵动力。

9. 其他

9.1 氟系统中的干燥过滤器

水、酸和微粒会自然地出现在氟利昂制冷系统中。水可能会因安装、维护、泄漏等因素而进入系统。

制冷剂 and 油的分解会导致酸的形成。

微粒则通常来自钎焊/焊接残料以及制冷剂与油之间的反应等。

如果无法将酸、水和微粒的含量保持在所允许的限定范围内，那么制冷系统的寿命将会大大缩短，甚至还会烧坏压缩机。

如果蒸发温度在 0°C 以下的系统中含水量过大，则会导致结冰，从而堵塞控制阀、电磁阀、过滤器等。系统中的微粒会增加压缩机和阀门的磨损程度，同时也加大了产生堵塞的可能性。如果没有水分，酸将不具有腐蚀性。但是在水溶液中，酸就会腐蚀管道和钢板并使压缩机中受热的轴承表面产生电镀层。

此镀层将在热的轴承表面形成包括油泵、曲轴、操纵杆、活塞环、吸气阀以及排气阀的弹簧片等。随着电镀层厚度的增加，轴承的润滑间隙将会减少，从而导致轴承的旋转温度越来越高。

由于轴承间隙的润滑油循环减少，轴承的冷却将受到影响，这将导致这些组件的温度越来越高。排气温度升高会影响阀板开始发生泄漏。随着问题逐渐变得严重，压缩机也很快会发生故障。

干燥过滤器能防止以上所有情况的发生。干燥过滤器主要有两个功能：干燥功能和过滤功能。

干燥功能主要是提供化学保护，包括水分和酸的吸附。目的是防止金属表面发生腐蚀，油和制冷剂发生分解，并避免电动机烧毁。

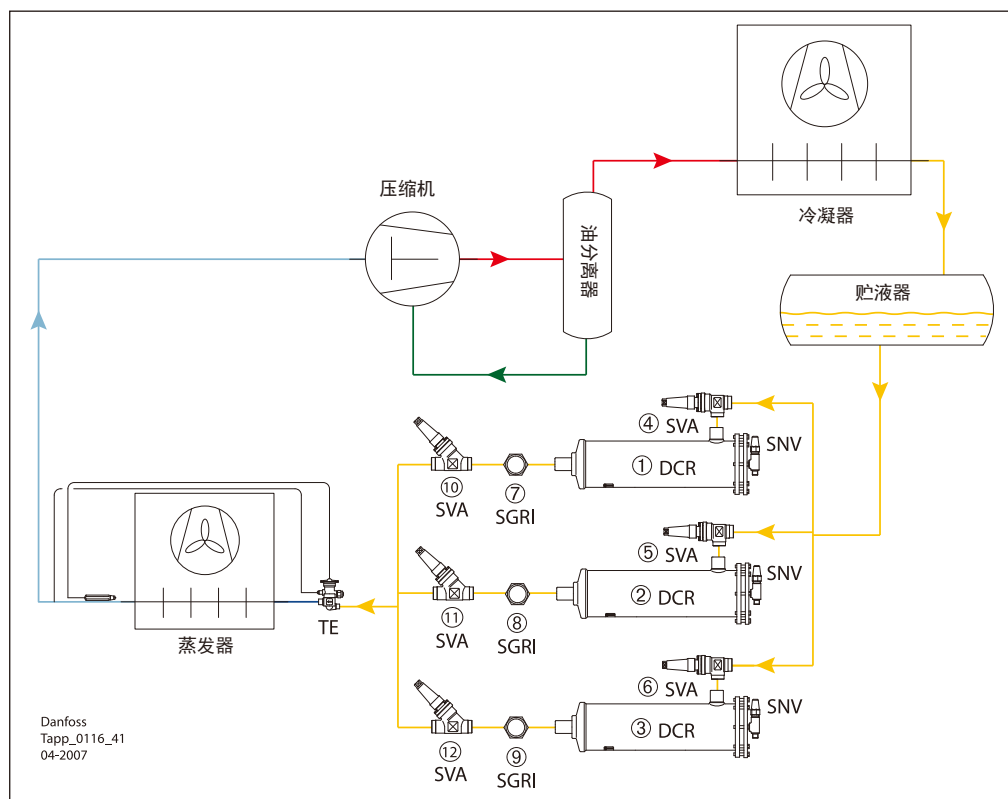
过滤功能主要是提供物理保护，包括截留任何种类的微粒和杂质，从而减少压缩机的磨损，保护其免受破坏，并大大延长其寿命。

应用范例 9.1.1:

氟系统中的干燥过滤器

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 润滑油

- ① 干燥过滤器
- ② 干燥过滤器
- ③ 干燥过滤器
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 视液镜
- ⑧ 视液镜
- ⑨ 视液镜
- ⑩ 截止阀
- ⑪ 截止阀
- ⑫ 截止阀



对于氟利昂系统，干燥过滤器一般安装在膨胀阀前面的液体管路上。在这条管路上，流经干燥过滤器的只有纯液体，这与膨胀阀后面的两相液体流不同。

干燥过滤器两端的压降很小，此管路上的压降对系统性能的影响也是微乎其微。干燥过滤器装置还可以防止膨胀阀中结冰。

在工业设备中，一个干燥过滤器的容量可能不足以干燥整个系统，因此需要并行安装多个干燥过滤器。

DCR是一个带有可更换滤芯的干燥过滤器。有三种类型的滤芯：DM、DC以及DA。

- **DM**: 100%分子筛滤芯，适用于HFC制冷剂和二氧化碳。
- **DC**: 80%分子筛和20%的活性氧化铝滤芯，适用于CFC和HCFC制冷剂并与HFC制冷剂相容。
- **DA**: 30%分子筛和70%的活性氧化铝滤芯，适用于压缩机烧毁后的清理，并与CFC/HCFC/HFC等制冷剂兼容。

除上述一般的滤芯外，丹佛斯可以提供客户定制的滤芯。丹佛斯还提供装有固定滤芯的干燥过滤器。有关更多信息，请参考产品目录或联系当地的丹佛斯销售公司。

在干燥过滤器之后安装视液镜(类型SGRI，带有HCFC/CFC指示器)显示干燥后水分含量。丹佛斯公司还提供装有其他类型制冷剂指示器的视液镜。有关更多信息，请参考丹佛斯产品目录。

技术数据

	干燥过滤器 - DCR
制冷剂	CFC/HFC/HCFC/二氧化碳
材料	外壳: 钢
最大工作压力 [bar]	高压: 46
操作温度范围 [°C]	-40 至 70
滤芯	DM/DC/DA

9.2

氨系统的除水

与氟系统和二氧化碳系统相比，氨系统中的水问题比较独特：

氨和水的分子结构类似，微小且有极性，因此氨和水是完全可以互溶的。

由于氨和水分子的相似性，因此没有有效的干燥过滤器可以用于氨系统。而且由于水高度溶于氨，所以很难从氨水溶液中提取水分。

水和氨将会共存并且可以成为一种非共沸制冷剂，这种制冷剂的饱和P-T关系已经不再与无水氨相同。

以下因素说明了为什么氨系统很少被设计为直接膨胀系统：一方面，如果有水，液态氨很难完全蒸发，而这会导致液击；另一方面，当饱和P-T关系发生改变时，热力膨胀阀应如何正确发挥作用？

泵循环系统能够很好地避免可能出现的水对压缩机的破坏。如果只有气体进入吸入管，那么就可以避免；而只要液体中没有太多的水，那么气体中就几乎不会含有水分(<建议最大值的0.3%)，这样就能有效地避免水污染油的问题。

尽管泵循环系统能够有效地避免压缩机遭到破坏，它同时也必须承担水所带来的不引人注意的损失：

■ 系统的COP会降低

制冷剂的饱和P-T关系将会与纯氨不同。尤其是在一定的压力下，制冷剂的蒸发温度要高于一般情况，这就会降低系统的制冷能力，并增加动力消耗。

■ 腐蚀

有了水的存在，氨将变得有腐蚀性并开始腐蚀管道、阀门、容器等。

■ 压缩机问题

如果水分被带入压缩机(例如，当低压循环桶失效时)，那么压缩机中将出现油及腐蚀的问题。

因此，为了使系统保持有效无故障的运行，建议对水的含量进行定期检测，如果水含量超出了允许范围，则采用某些措施除水。

基本上，下列三种方式可以解决水污染问题：

■ 改变充注量

适合于充注量较小的系统(例如带有板式蒸发器的冷水机组)，而且还必须遵守当地法规。

■ 从蒸发器中清除

适合于没有热气除霜的重力循环系统。在这些系统中，当氨蒸发时水会保持为液态并残留在蒸发器中。

■ 水精馏器

部分受到水污染的氨被排放到精馏器中并在其中加热，其中的氨被蒸发出水则被排出。这对泵循环系统而言是唯一的除水方法。

有关水污染以及氨制冷系统除水的详细信息，请参考IIAR公报108。

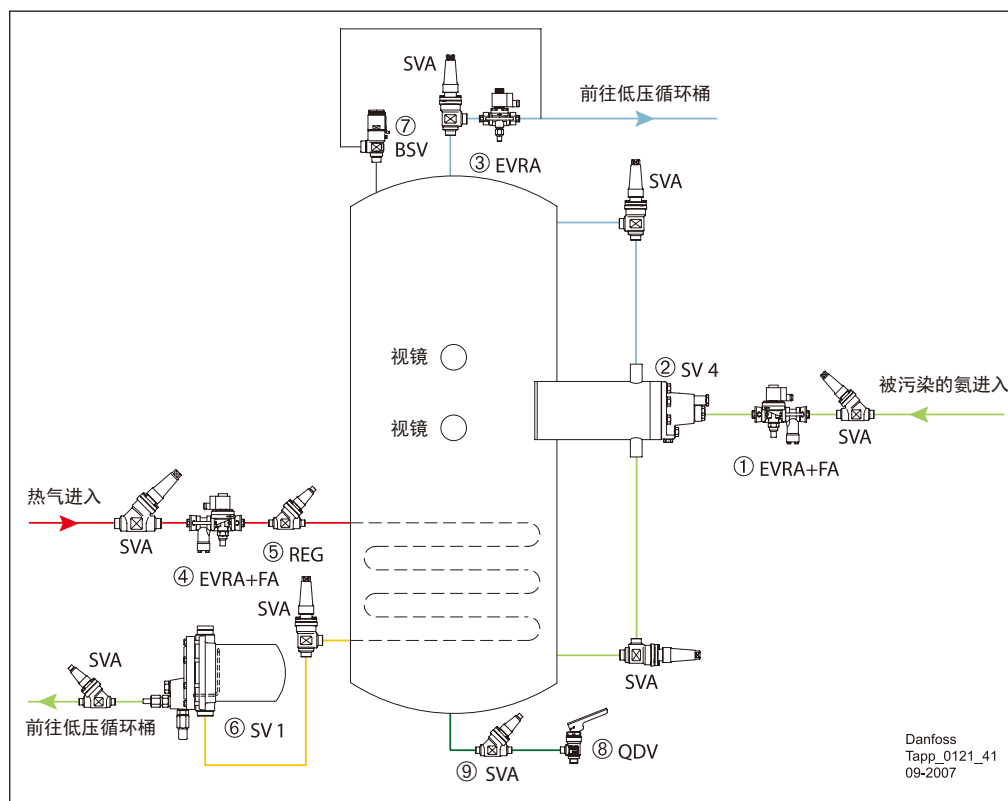
需要指出的一点是：水含量过低也有不利的一面，即有可能会造成某种特殊形式的钢腐蚀。但是，这在实际设备中不可能出现。

应用范例 9.2.1:

浮球阀控制的热气加热水精馏器

■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂
■ 低压气体制冷剂
■ 低压液体制冷剂
■ 润滑油

- ① 电磁阀
- ② 低压浮球阀
- ③ 电磁阀
- ④ 电磁阀
- ⑤ 手动调节阀
- ⑥ 高压浮球阀
- ⑦ 内部安全阀
- ⑧ 快速排放阀
- ⑨ 截止阀



Danfoss
Tapp_0121_41
09-2007

除水流程如下:

1. 接通电磁阀EVRA①和③。被污染的氨将被排放到精馏容器。当容器中的液位达到设定液位时，浮球阀SV 4②将关闭。
2. 接通电磁阀EVRA④。热气被输送到容器内部的盘管并开始对被污染的氨加热。氨开始蒸发，水仍残留在液体中。浮球阀SV 1/3⑥(装有特殊的工具，如点线所示)能够根据热负载控制热气的流量，并将加热温度保持为热气的冷凝温度。当容器中的氨蒸发，液位下降时，浮球阀SV 4②将会打开并将更多受到污染的氨排放到容器中。
3. 当精馏结束时，容器和盘管中的液位都将停止变化，浮球阀②和⑥将会关闭。断开电磁阀①和④，然后打开截止阀SVA和排放阀QDV⑧，将残留在容器中的水分全部排空。
4. 关闭快速排放阀QDV⑧和截止阀SVA⑨，然后断开电磁阀③停止除水流程。如有必要，重复第一步，继续除水流程。

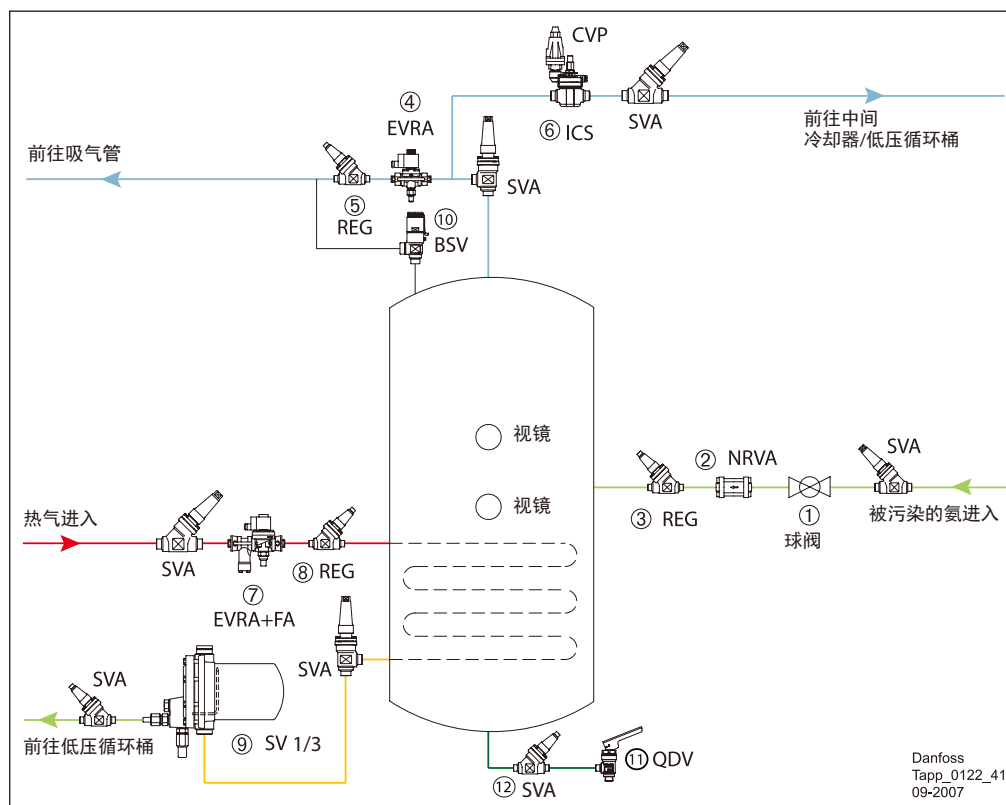
出于安全方面的考虑，需要在容器上安装安全阀BSV⑦，以避免形成过压。

应用范例 9.2.2:

用热气加热装有浮球阀和球阀的水精馏器

■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂
■ 低压气体制冷剂
■ 低压液体制冷剂
■ 润滑油

- ① 球阀
- ② 止回阀
- ③ 手动调节阀
- ④ 电磁阀
- ⑤ 手动调节阀
- ⑥ 压力调节阀
- ⑦ 电磁阀
- ⑧ 手动调节阀
- ⑨ 高压浮球阀
- ⑩ 内部安全阀
- ⑪ 快速排放阀
- ⑫ 截止阀



这是一个手动的除水流程。

除水步骤如下:

1. 接通电磁阀EVRA④, 然后手打开球阀①。低压端受污染的氨将被排放到水精馏器中。当容器中的氨达到要求的液位时(通过视液镜监控测得), 关闭球阀①并断开电磁阀EVRA④。
2. 接通电磁阀EVRA⑦, 热气被输送到容器内部的线圈并开始对被污染的氨进行加热, 随后氨将蒸发, 水分则残留在液体中。浮球阀SV 1/3⑨(内部装有特殊的工具, 如点线所示)能够根据热负载控制热气的流量, 并将加热温度保持为热气冷凝的温度。
3. 当容器停止沸腾时(通过视液镜监控测得), 断开电磁阀EVRA⑦, 然后打开截止阀SVA⑫。利用快速排放阀QDV⑪将水/氨混合物从容器中排出。

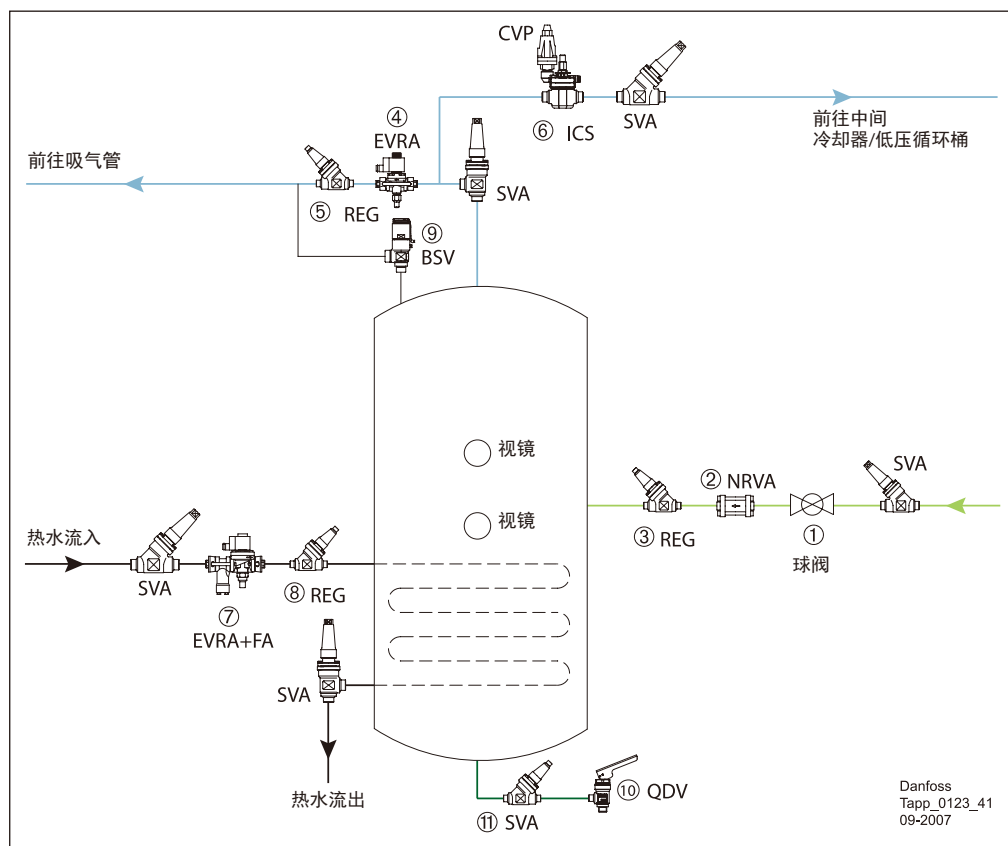
在蒸馏过程中, 重要的是要保持容器压力和温度适当。温度不能太高, 否则水分会蒸发; 温度也不能太低, 否则会有太多的氨溶在液体里, 残留在容器中, 如果与水一起排出则会造成浪费。这一点是通过装有恒压导阀CVP的伺服阀ICS⑥来实现的, ICS能够将容器中的压力保持在最佳的级别。

出于安全考虑, 需要在容器上安装安全阀BSV⑩, 以避免形成过压。

应用范例 9.2.3：
通过热水加热水精馏器

— 低压气体制冷剂
— 低压液体制冷剂
— 润滑油
— 水

- ① 球阀
- ② 止回阀
- ③ 手动调节阀
- ④ 电磁阀
- ⑤ 手动调节阀
- ⑥ 压力调节阀
- ⑦ 电磁阀
- ⑧ 手动调节阀
- ⑨ 内部安全阀
- ⑩ 快速排放阀
- ⑪ 截止阀



这是一个使用热水作为加热源的手动除水流程。热水通过热回收供应。

除水步骤如下：

1. 接通电磁阀EVRA④，然后打开球阀①。低压端受污染的氨将被排放到水精馏器中。当容器中的氨达到要求的液位时(通过视液镜监测得)，关闭球阀①并断开电磁阀EVRA④。
2. 打开电磁阀EVRA⑦。热水被输送到容器内部的盘管中并开始对被污染的氨进行加热，随后氨将蒸发，水分则残留在液体中。
3. 当容器停止沸腾时(通过视液镜监测得)，断开电磁阀EVRA⑦然后打开截止阀⑪。利用快速排放阀QDV⑩将水从容器中排出。

在蒸馏过程中，重要的是要保持容器压力和温度适当。温度不能太高，否则水分会蒸发；温度也不能太低，否则会有太多的氨溶在液体里，残留在容器中，如果与水一起排出则会造成浪费。这一点是通过装有恒压导阀CVP的伺服阀ICS⑥来实现的，ICS能够将容器中的压力保持在最佳的级别。

出于安全考虑，需要在容器上安装安全阀BSV⑨，以避免形成过压。

9.3

排空系统

存在不凝性气体

在制冷系统安装过程中, 系统的管路及部件都暴露在空气中。如果不采用良好的抽真空措施, 那么制冷系统中就会有残留空气。

此外以下情况中, 空气会进入制冷系统: 系统发生泄漏, 系统打开进行维护, 空气渗透到系统组件中, 在焊接位置发生泄漏(当氨的压力低于大气压力, 即低于 -34°C 的蒸发温度时), 添加油时等等。

而且制冷剂中的杂质和(或)制冷剂或润滑油由于排放温度较高而产生的分解等也会产生不凝性的气体, 例如氨会分解成氮和氢。

位置与探测

不凝性气体一般滞留在制冷系统的高压端, 主要存在于冷凝器温度最低和发生搅动情况较少的位置。

检查系统中是否存在不凝性气体的一个简单方法: 比较实际的冷凝压力(从贮液器的压力计读取)和饱和压力(与在冷凝器出口测得的温度相对应的数据)之间的压差。

例如若在氨系统冷凝器的出口位置测得温度为 30°C , 相关的饱和压力为 10.7 bar g , 而压力计的读数为 11.7 bar g , 那么压差是 1 bar 。这个压差就是由于不凝性气体的存在而造成的。

产生的问题

空气易于在冷凝器的管道上形成一层膜, 将热传递表面与冷凝器中的制冷剂隔离开。结果冷凝器的冷凝能力将下降, 进而造成冷凝压力增大。系统效率将随之降低; 同时根据冷凝压力的大小, 出现与油相关问题的可能性也将增加。

冷凝能力下降的确会是一个事实, 但却无法判断。排空设备制造商已经提供一些数据, 这些数据表明冷凝压力每增大一个 bar , 冷凝能力将会降低 $9\text{--}10\%$ 。如果要求更为准确的计算结果, ASHRAE 提供了一些估算准则以及根据估算结果进行的一些研究的范例(HVAC 系统与设备手册, 不凝性气体)。

其他制造商则认为风险和相关的成本增长来自压缩机端。当冷凝压力和排气温度上升时, 由于润滑油的问题, 轴承将面临更大的风险, 同时压缩机的运行成本也将增加。成本估算与工厂中压缩机的类型和大小有关。

总之, 不凝性气体的存在是人们所不希望出现的, 但又不可避免, 通常需要安装排空设备。

排空系统

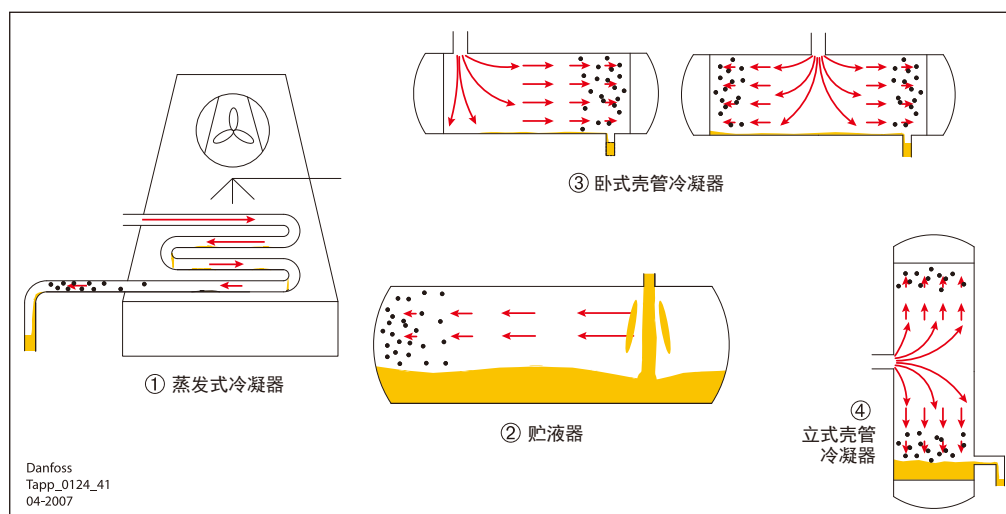
可以通过手动方式将空气或不凝性气体从系统中排除。这项操作由维护人员来完成, 可能会导致损失过多的制冷剂。

另一种排空方法称作制冷排空: 来自取样点的气体将在一个装有冷凝盘管的冷却室中被冷却, 以便冷凝制冷剂, 随后气体将返回系统。随后冷却室中剩余的气体应当被清除到大气中。冷却并冷凝的理念是使制冷剂的排出量尽可能的少。

用在冷却盘管中的制冷剂可以和制冷设备中的相同, 也可以是另外一种制冷剂。

确定排空点的位置比较困难, 这要取决于系统和冷凝器的类型。以下是一些排空点的范例, 在图中冷凝器盘管和容器中的箭头表示的是液流的速度。箭头长度缩短则表示速度减小。

空气聚集则用黑点表示。应当在这些空气浓度很高的位置进行排空取样。

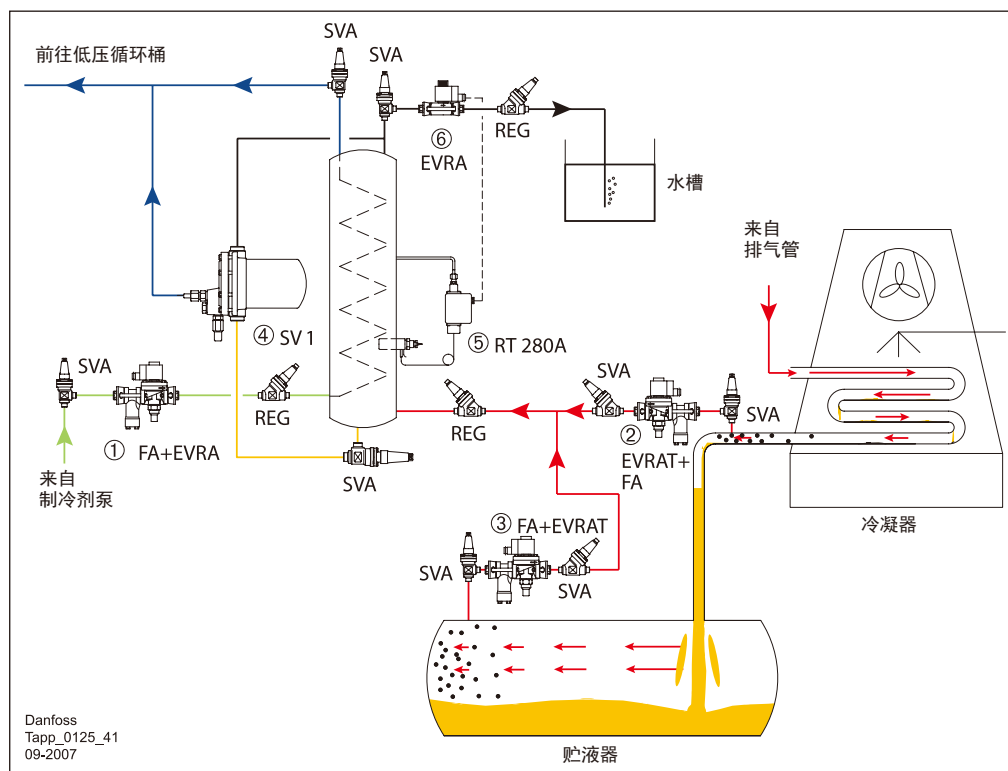


应用范例 9.3.1:

使用系统制冷剂的自动排空系统

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压液体制冷剂
- 空气

- ① 电磁阀
- ② 电磁阀
- ③ 电磁阀
- ④ 浮球阀
- ⑤ 压力开关
- ⑥ 电磁阀



排空步骤如下:

1. 接通电磁阀EVRA①, 这样低压液体制冷剂就会进入盘管并冷却容器中的制冷剂。
2. 接通电磁阀EVRAT②或③。气体制冷剂连同积聚的气体被抽到容器中, 在容器中制冷剂气体发生冷凝, 空气上升到容器的顶部。浮球阀SV 1④自动将冷凝的液态制冷剂排出。
3. 由于空气在容器顶部积聚, 与液体制冷剂的饱和压力相比, 容器内的总压力出现了上升。当此压力达到压力开关RT 280A⑤的设定值时, 打开电磁阀EVRA⑥并将容器中的空气排出。

9.4 热回收系统

可以通过回收降低排气过度获得的热量和(或)冷凝器的冷凝热来满足某些热量需求。这些热量需求包括：加热办公室或车间内的空气，加热用于冲洗或加工的水，预热锅炉供水等。

为提供经济的热回收解决方案，重要的是要保证游离热量与加热需求在时间、温度级别以及热流等方面相匹配。例如对于生成热水，即需要高温热量时，可以回收过热度减低的热量。而对于办公室供暖，通常可以考虑回收所有的冷凝器热量。

设计优良的控制系统对于确保带有热回收装置的制冷系统有效无故障地运行至关重要。

控制的目的是协调热回收与制冷之间的关系：

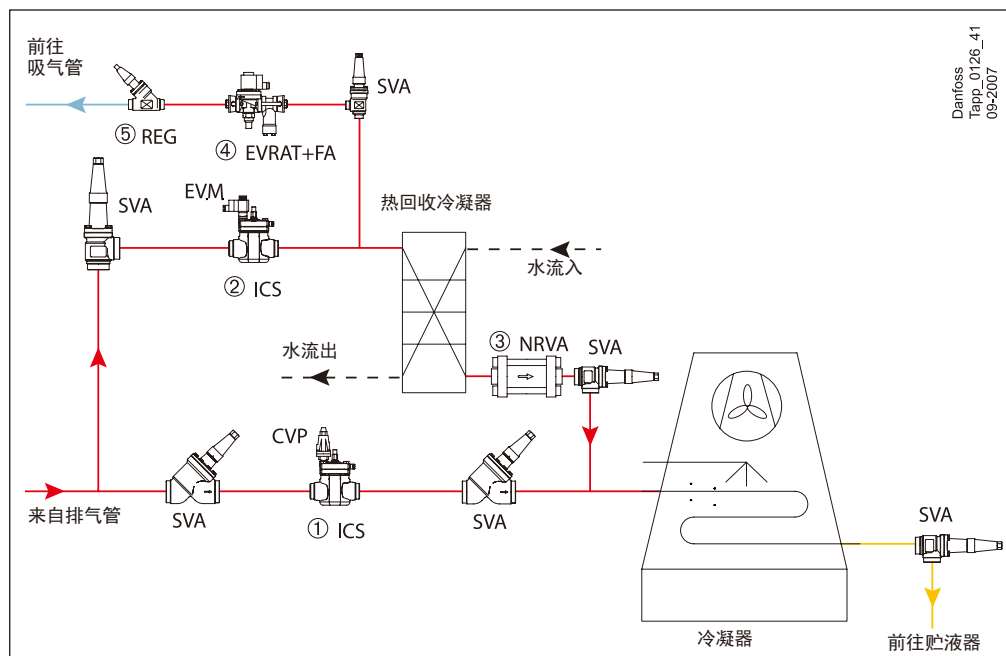
1. 无论热回收运行与否，都应当确保制冷的基本功能。热回收停止时，冷凝压力不应太高。且对于直接膨胀系统，冷凝压力也不能太低(请参阅第3节)。
2. 热回收的各项要求，例如温度和热流量必须得到满足。
3. 按照需求对热回收循环进行无故障开/关控制。

热回收控制需要非常复杂的设计，每个系统可能都会不同。以下是部分范例：

应用范例 9.4.1： 热回收换热器和冷凝器的串联控制

— 高压气体制冷剂
— 高压液体制冷剂
— 低压气体制冷剂
— 水

- ① 压力调节阀
- ② 电磁阀
- ③ 止回阀
- ④ 电磁阀
- ⑤ 手动调节阀



此热回收系统既适用于空气，也适用于水。

无热回收的制冷循环

从排气管排出的热气被直接通过装有恒压导阀CVP(HP)的导阀控制的伺服主阀ICS①引导到主冷凝器。止回阀NRVA③能够防止热气流回流至热回收冷凝器。

热回收循环

导阀操控式伺服阀ICS②由电磁阀EVM的开/关转换通过时钟、温度控制器等控制。热气进入回收冷凝器。

由于冷凝能力的增强，排气压力的下降，ICS①将正常关闭。如果排气压力上升，恒压导阀CVP(HP)将会打开伺服阀ICS①，这样部分热气就可以流向主冷凝器。

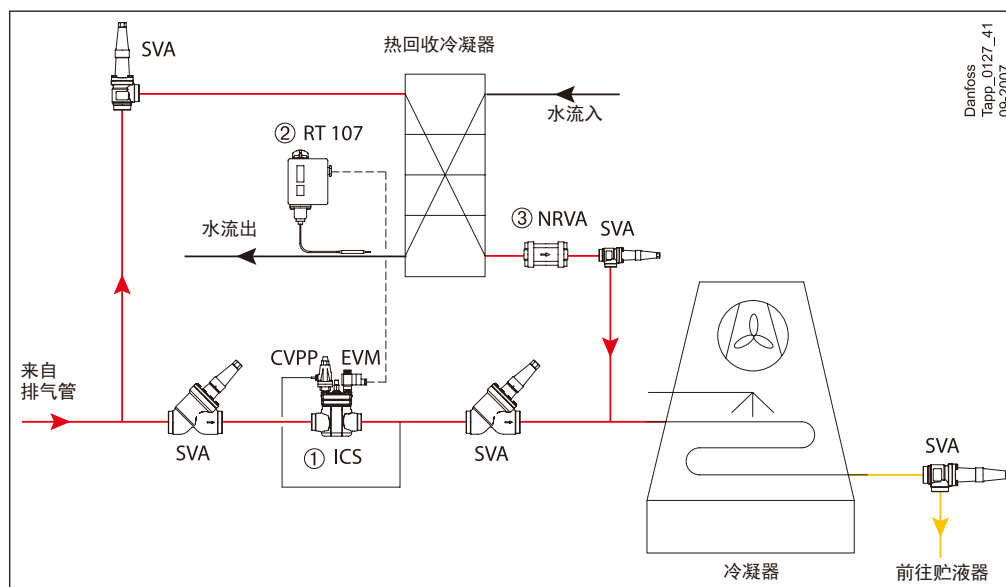
在夏季，热回收冷凝器闲置的时间要长一些。为了避免液体在冷凝器中发生聚集的风险，电磁阀EVR④和调节阀REG⑤可以保证定期蒸发回收冷凝器中的任何冷凝物。

应用范例 9.4.2:

热回收换热器和冷凝器的串联控制

— 高压气体制冷剂
— 高压液体制冷剂
— 水

- ① 压差调节阀
② 温度控制器
③ 止回阀



Danfoss
Tapp. 0127_41
09-2007

这种热回收系统适用于装有几个压缩机的中央制冷设备。

假设只能使用一小部分压缩机流量，那么所有的排气管路都应当先通过热回收冷凝器，然后通过主冷凝器。

压缩机容量使用的越多，热回收冷凝器中的压降就会越高。

当压降超过压差的设定值时，伺服阀ICS①的导阀CVPP(高压)将部分打开，过压气体将被直接导入主冷凝器。

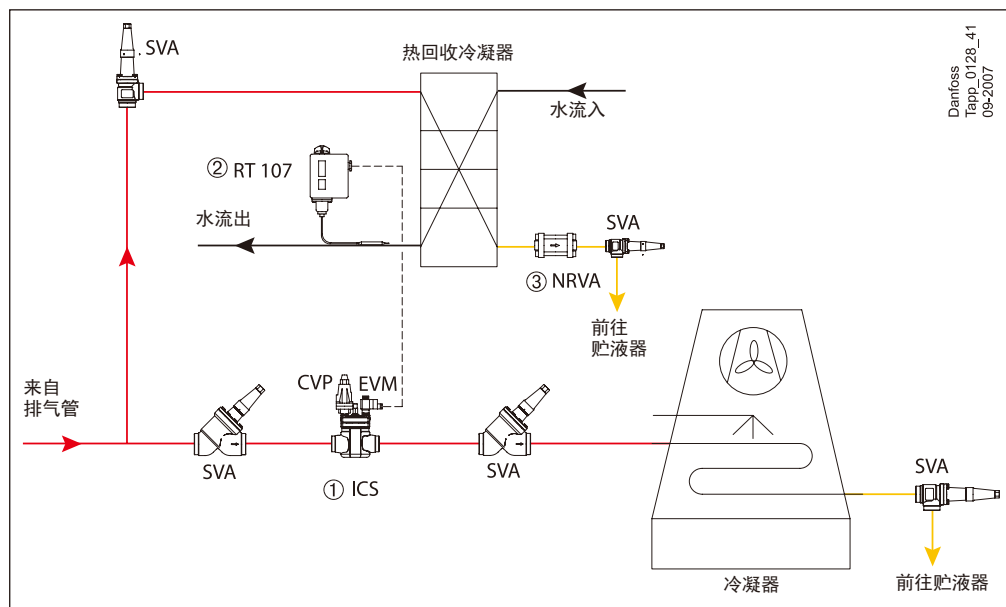
当通过热回收冷凝器达到了期望的水温或空气温度时，温度控制器RT 107②将会激活开/关导阀EVM，伺服阀ICS①将完全开启。

应用范例 9.4.3:

热回收换热器和冷凝器的并联控制

— 高压气体制冷剂
— 高压液体制冷剂
— 水

- ① 压力调节阀及电磁阀
② 温度控制器
③ 止回阀



Danfoss
Tapp. 0128_41
09-2007

此热回收系统适用于带有几个压缩机的系统，例如用于加热中央供暖给水的系统。

在正常操作下，伺服阀ICS①由温度控制器RT 107进行控制的电磁导阀EVM通过开/关控制，保持开启状态。

在冬季，当热量需求使热回收成为必需时，电磁阀导阀EVM将被关闭，该操作将导致伺服阀ICS①关闭。如果冷凝压力超过恒压导阀CVP(高压)的设定值时，伺服阀ICS①将被打开，过压气体将被引导到主冷凝器。

止回阀NRVA能够防止制冷剂倒流至热回收冷凝器。

10. 在制冷系统中使用 二氧化碳作为制冷剂

制冷系统中使用二氧化碳并不是新鲜事。早在十九世纪五十年代, Alexander Twining(参考资料[1])就首先提出了将二氧化碳用作制冷剂, 并在英国申请了专利。Thaddeu S.C. Lowe用二氧化碳进行了军用气球的试验, 而且他在1867年设计了使用二氧化碳制冷剂的制冰机。Thaddeu S.C. Lowe还开发了一台装在船上的机器, 用于运输冷冻肉。

从文献资料中可了解到随后几年二氧化碳系统得到了发展, 并在二十世纪二十和三十年代达到顶峰。由于无毒又不可燃, 二氧化碳通常成为航运业的优先选择, 而氨(NH₃ 或 R717)则更多地用于工业用途(参考资料 [2])。二氧化碳在市场上的消失主要是在“神奇的制冷剂”氟利昂的出现并成功市场化之后。

氨成为工业制冷的主要制冷剂达许多年之久。在二十世纪九十年代, 由于ODP(臭氧破坏潜势)和GWP(全球变暖潜势)的原因, 开始限制氯氟烃类(CFC)和氢氟烃类(HFC)化合物的使用, 并对大型氨系统内的制冷剂充注量加以严格限制, 人们对使用二氧化碳作为制冷剂所能带来的优点又重新感兴趣了。

二氧化碳和氨、烃类(例如丙烷和丁烷)和水被划分为天然制冷剂。所有这些制冷剂都具有各自的缺点。

氨有毒, 烃类可燃, 水的应用范围有限。相比之下, 二氧化碳无毒且不可燃。

二氧化碳在许多方面与其他常用制冷剂不同。二十世纪二十年代以来的技术发展为二氧化碳的应用扫除了众多障碍, 但使用者必须意识到其独特的特性, 并采取必要的预防措施避免二氧化碳制冷系统中可能出现的问题。

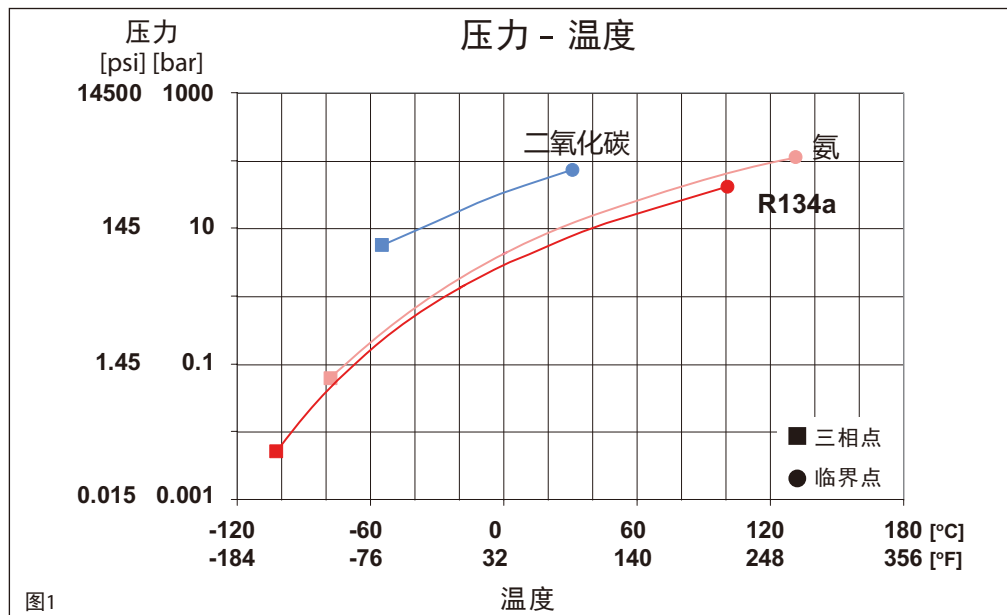
图1显示了二氧化碳、R134a和氨的压力/温度曲线。二氧化碳的特性相对于其他制冷剂的明显不同在于:

- 在既定温度下操作压力较高
- 操作温度范围较窄
- 三相点处需要的压力很高
- 临界点处在较低的温度下

三相点和临界点通常对于常用制冷剂来说并不重要, 但二氧化碳则不同, 其三相点的压力相对较高, 为5.2 bar [75.1 psi], 更重要的是, 这比标准大气压力还要高。

如果不采取合适的预防措施则会产生问题。另外, 二氧化碳的临界点非常低: 31.1 °C [88.0 ° F], 这极大地影响了系统的设计。

下表中, 针对二氧化碳的不同特性与R134a和氨作了比较。



制冷剂	R 134a		氨		二氧化碳	
天然工质	否		是		是	
臭氧破坏潜势(ODP)*	0		0		0	
全球变暖潜势(GWP)*	1300		-		1	
临界点 bar [psi]	40.7	[590]	113	[1640]	73.6	[1067]
°C [° F]	101.2	[214]	132.4	[270]	31.1	[87.9]
三相点 bar [psi]	0.004	[0.06]	0.06	[0.87]	5.18	[75.1]
°C [° F]	-103	[-153]	-77.7	[-108]	-56.6	[-69.9]
可燃易爆	否		(是)		否	
有毒	否		是		否	

10.1

采用二氧化碳作为制冷剂

二氧化碳可在许多不同的系统类型中用作制冷剂，包括亚临界和跨临界。对于任何二氧化碳制冷系统，都必须考虑其临界点和三相点。

我们熟悉的典型二氧化碳的制冷循环一般为亚临界循环，即其工作温度和压力的整个范围都在临界点之下并在三相点之上。

单级亚临界二氧化碳系统很简单，但也会受到温度范围限制和压力较高带来的不利影响(图10.1.2)。

跨临界二氧化碳系统目前仅用于小型商业系统，例如汽车空调、小型热泵和超市制冷，但一般不用于工业系统(图10.1.3)。本手册将不对跨临界系统进行描述。

二氧化碳亚临界循环的操作系统压力通常在5.7到35bar [83到507psi]的范围，对应温度范围为-55到0°C [-67到32°F]。如果蒸发器要使用热气除霜，则工作压力的范围大约要再高出10bar [145psi]。

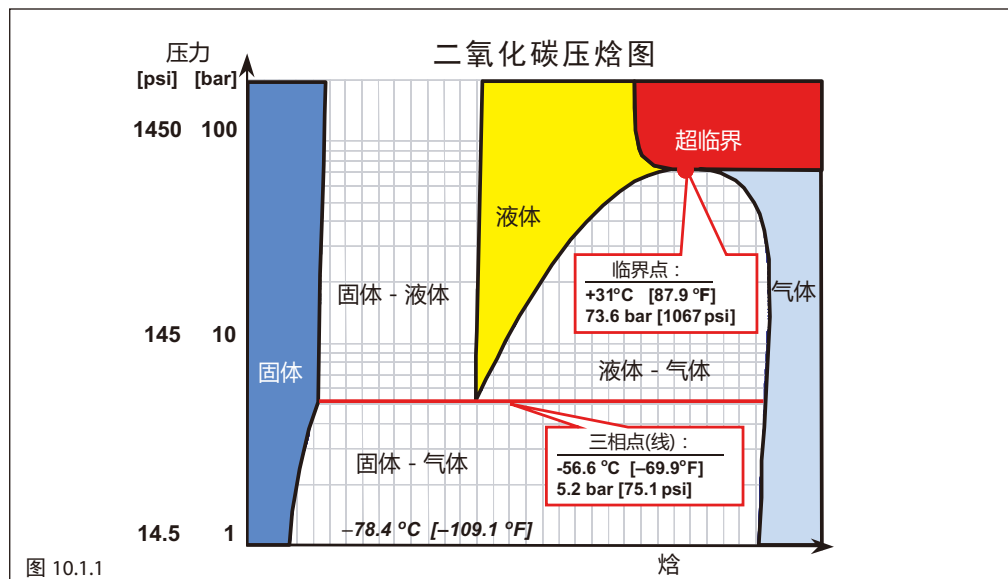


图 10.1.1

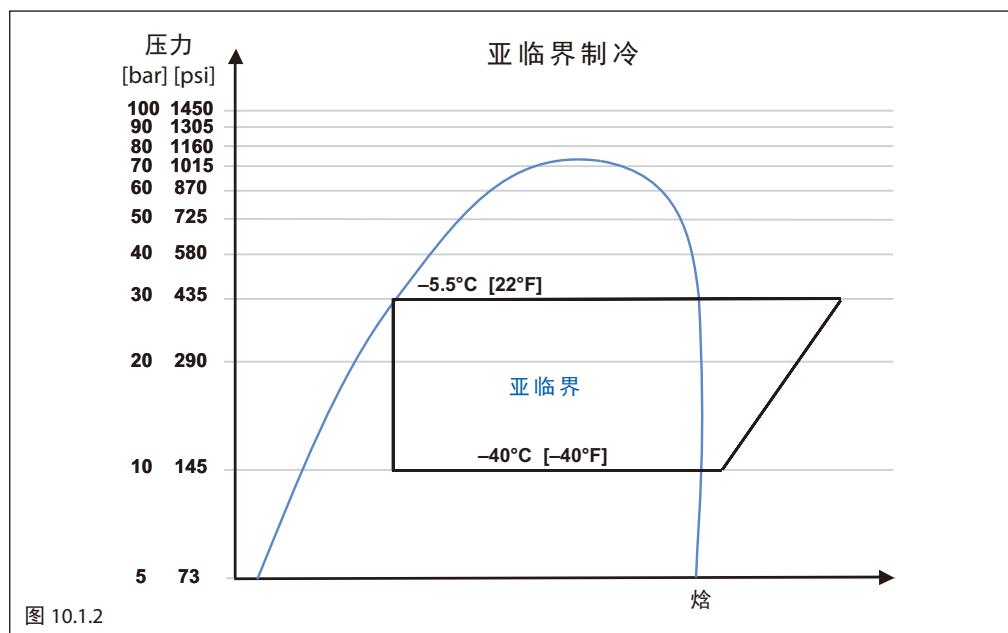
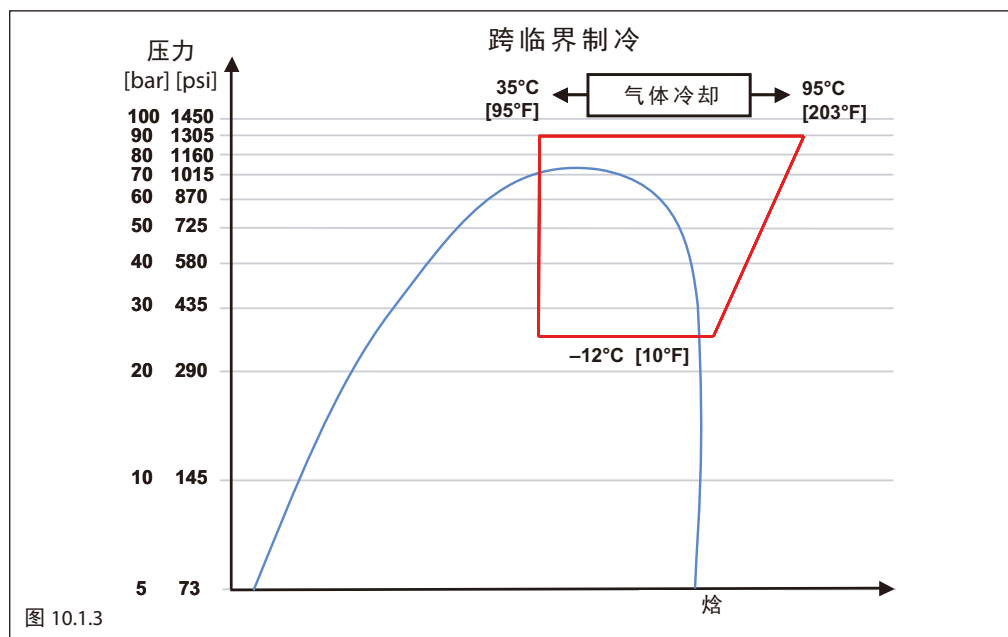


图 10.1.2

10.1 采用二氧化碳作为制冷剂(续)

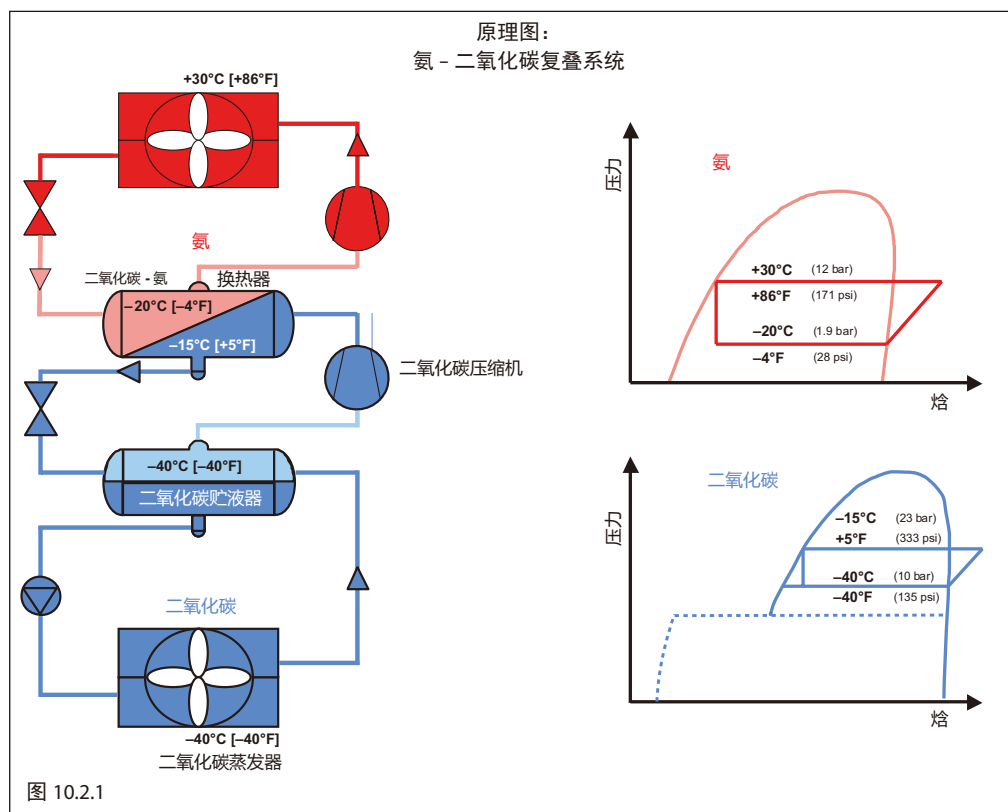


在工业制冷中二氧化碳复叠系统或混合系统的设计应用最为普遍，这是因为此时二氧化碳的压力可被限制在一定范围，这样就可以使用目前市场上能够提供的零部件(例如压缩机、控制器和阀件产品)。

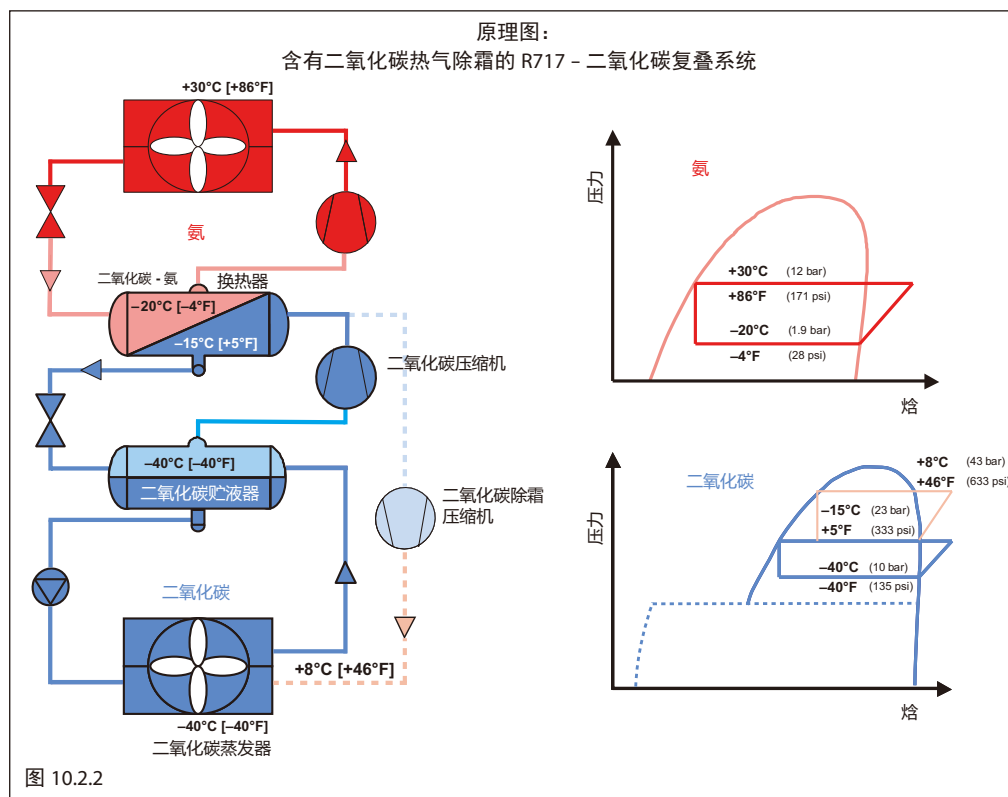
二氧化碳复叠/混合系统的设计形式多种多样，可以是直接膨胀系统、泵循环系统、二次制冷系统或上述几个系统的组合。

10.2 二氧化碳制冷剂在工业制冷中的应用

图10.2.1显示了一个采用二氧化碳作为相变制冷剂的蒸发温度为 -40°C [-40°F]的低温制冷系统，复叠系统的高压侧使用氨作制冷剂。



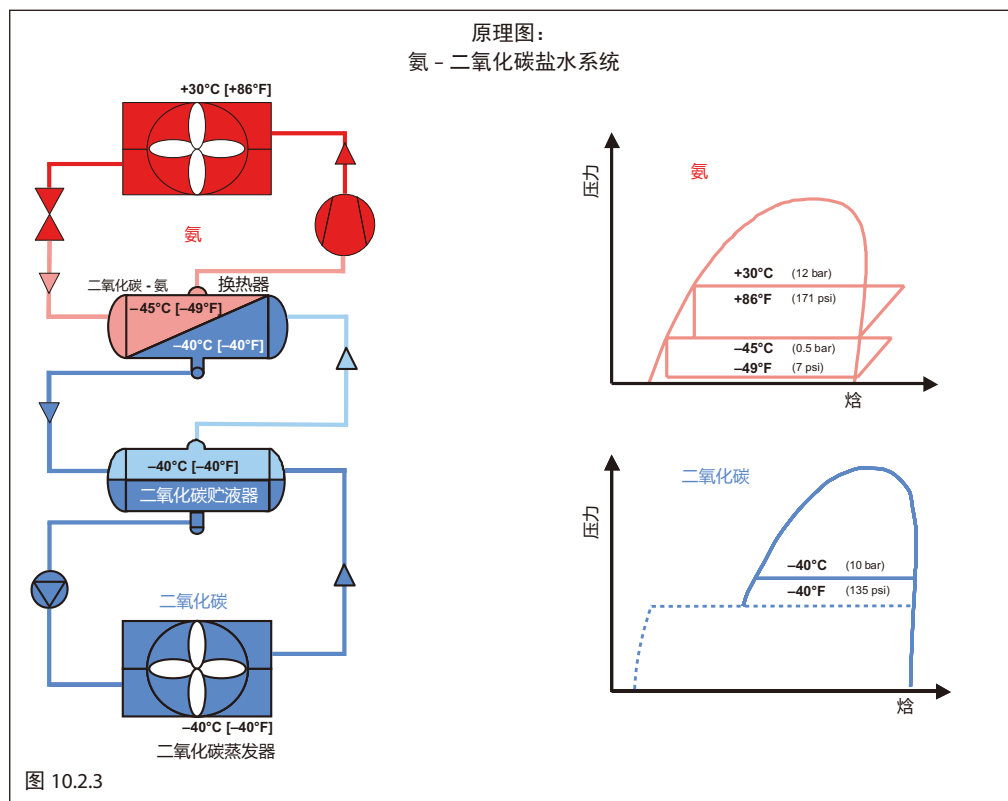
10.2 二氧化碳制冷剂在工业制冷中的应用(续)



二氧化碳侧是一个泵循环系统。其中，液体二氧化碳从贮液器/循环桶通过泵输送到蒸发器。在蒸发器中，其中一部分二氧化碳在返回到贮液器之前被蒸发。蒸发掉的二氧化碳气体在压缩机中被压缩，并在二氧化碳 - 氨复叠换热器中冷凝。

复叠换热器在氨系统中充当蒸发器。与传统的氨系统相比，在上述复叠系统中氨的充注量将大约减少到原来的1/10。

图10.2.2显示了与图10.2.1相同的系统，但包含了二氧化碳热气除霜功能。



10.2 二氧化碳制冷剂在工业制冷中的应用(续)

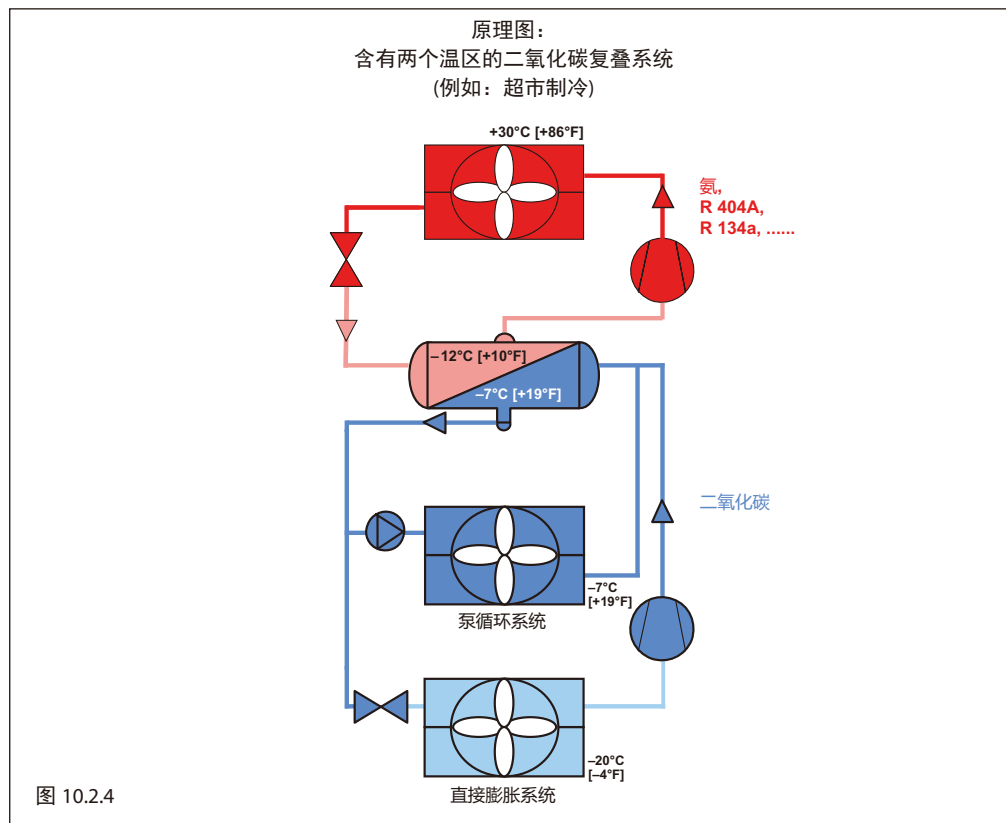


图10.2.3所示为一个低温制冷系统温度为 -40°C [-40°F]，二氧化碳在氨系统低温侧作二次制冷系统。

蒸发的二氧化碳在 $\text{CO}_2\text{-NH}_3$ 换热器中进行冷凝。换热器在氨系统中用作蒸发器。

二氧化碳系统是一个泵循环系统，二氧化碳液体从贮液器中通过泵压到蒸发器。在回到贮液器前会在这里进行部分蒸发。

图10.2.4所示为一个满液式和直接膨胀式的混合系统，如一个要求两个温区的超市制冷系统。

10.3 设计压力

在决定二氧化碳系统设计压力时需要考虑两个重要因素：

- 停机时的压力
- 除霜时的压力

重要的一点，比如在没有任何压力控制的静止状态下，系统关闭，系统压力会随环境温度上升而增加。如果温度达到 0°C [32°F]时，压力会达到34.9 bar [505 psi]，而 20°C [68°F]时压力为57.2 bar [830 psi]。对于工业制冷系统而言，设计一个可以在静止时承受系统平衡压力的系统是非常昂贵的。因此，普遍的做法是安装一个小型的辅助冷凝机组来限制停机状态下的最大压力在一个合理的水平，如30 bar [435 psi]。

二氧化碳可以应用到多种除霜方式中(如自然、水、电或热气)。热气除霜是最有效的方式，特别是在低温区，但是要求压力很高。设计压力为52 bar-g [754 psi]时，能达到的除霜温度大约为 10°C [50°F]。

在温度为 10°C [50°F]时，饱和压力为45 bar。给安全阀加10%的压力开启余量，相当于给压力峰值加大约5%，那么允许的最大工作压力为约52 bar [-754 psig](图10.3.2和10.3.3)。

10.3
设计压力(续)

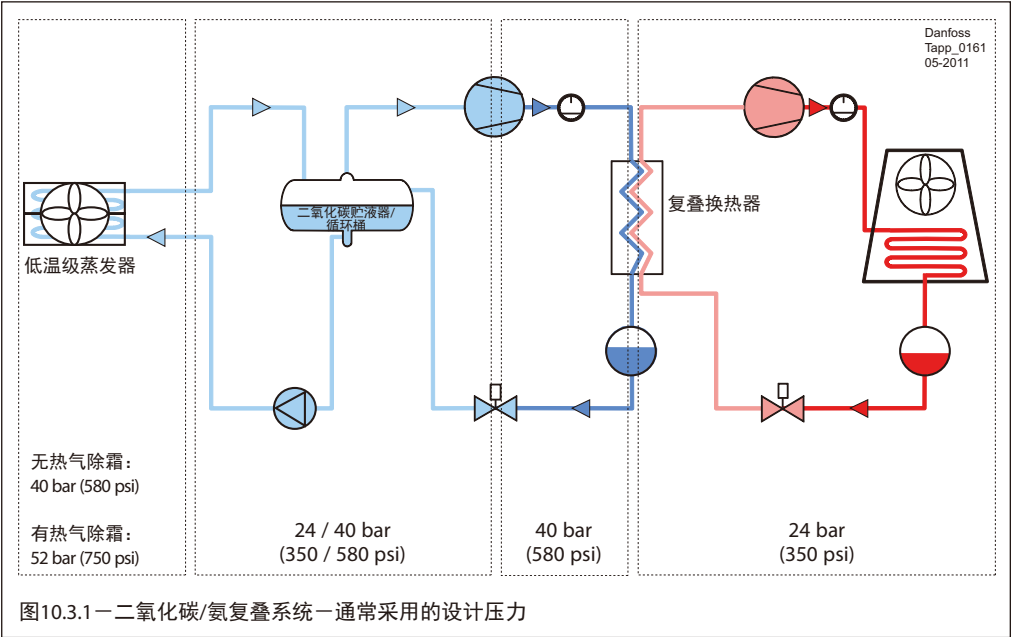


图10.3.1—二氧化碳/氨复叠系统—通常采用的设计压力

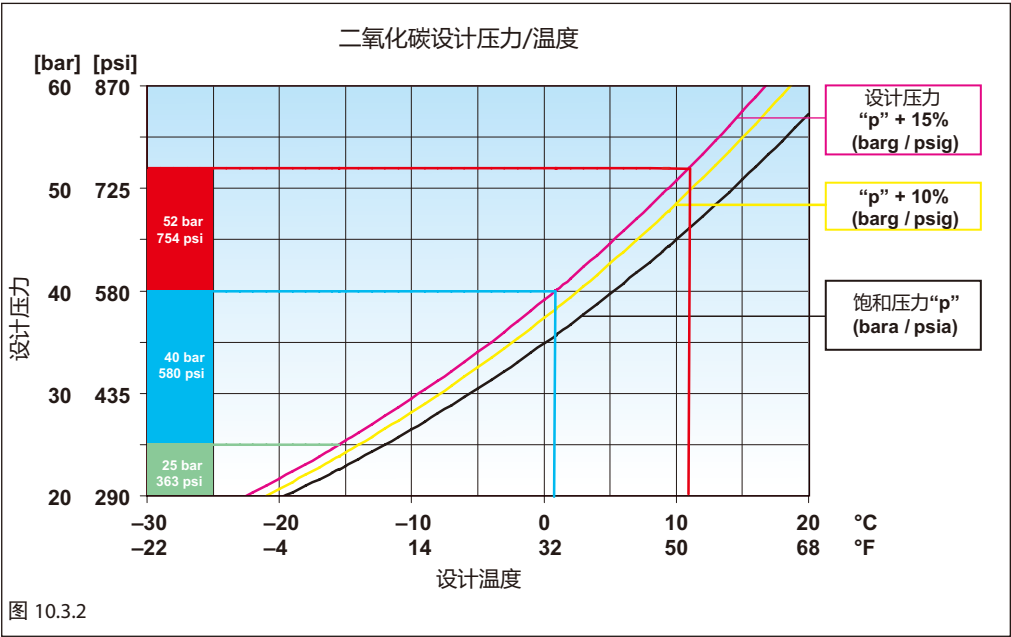


图 10.3.2

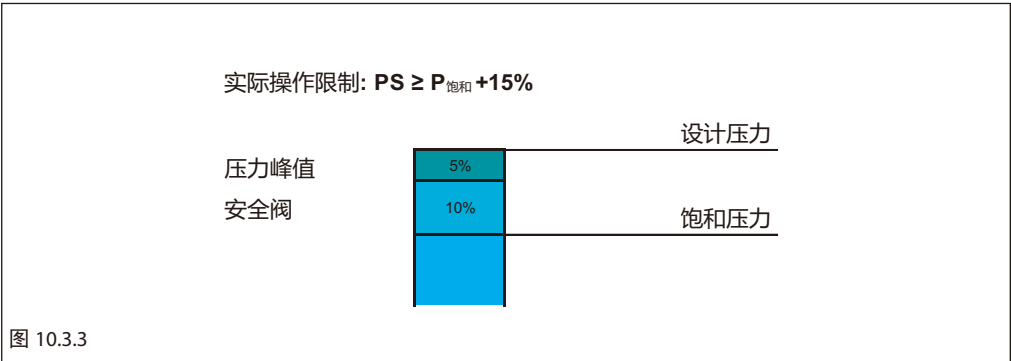


图 10.3.3

10.4 安全

二氧化碳是无色无味的物质，属于不可燃且无毒的制冷剂，但是即使是所有这些特征看起来都很正面的情况下，二氧化碳用作制冷剂还是存在一些不利的因素。

由于二氧化碳没有气味，当其发生泄漏时无法被人直接察觉(参考资料 [6])。

二氧化碳比空气重，因此会沉积到地面或地板上，这样会产生危险的情形。尤其是在凹坑或封闭空间内，二氧化碳能够将氧气挤走，以致产生的混合气体足以令人窒息。二氧化碳的相对密度为1.529(以0°C[32° F]时空气的密度为1)。这一危险需要在设计和操作时特别注意。对于二氧化碳系统始终要求进行泄漏检测和良好的通风。

与氨相比，二氧化碳是较为安全的制冷剂。TLV(阈值)是二氧化碳气体在空气中的最大浓度，在该值以下，工作人员可忍受一个8小时的工作时长。TLV安全极限：氨为25 ppm而二氧化碳为5000 ppm (0.5%)

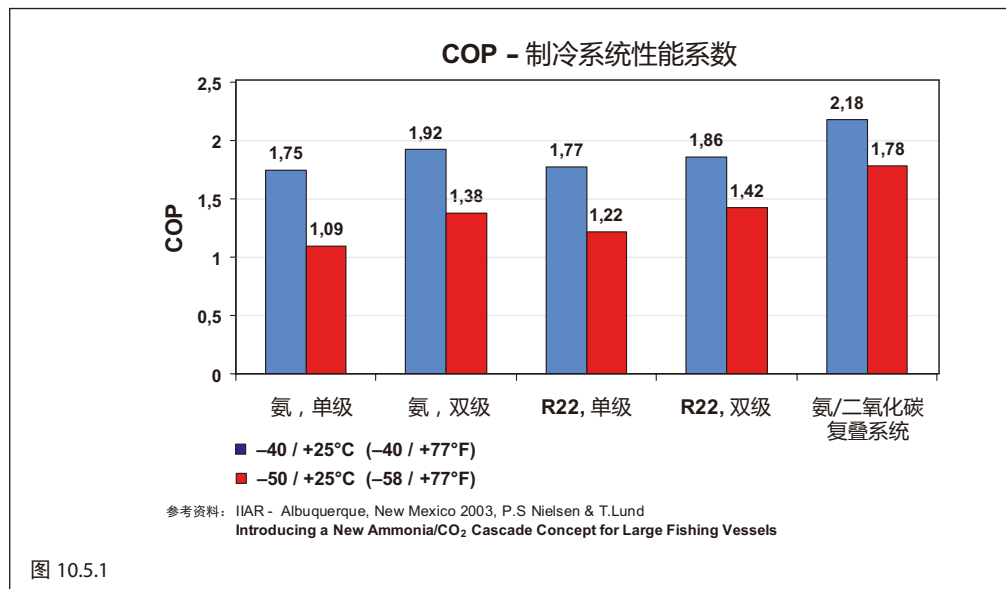
空气中存在的二氧化碳浓度为0.04%。当浓度过高时，会出现以下不良反应：

- 2% 呼吸频率增加50%
- 3% 呼吸频率增加100%
- 5% 呼吸频率增加300%
- 8-10% 自然的呼吸已经中断，呼吸变得几乎不可能。并将导致头痛、头晕、出汗、丧失知觉
- >10% 可导致丧失知觉和死亡
- >30% 很快导致死亡

10.5
效率

在二氧化碳-氨复叠系统中，必须使用复叠换热器。使用复叠换热器时，由于在两种制冷剂之间存在换热温差，导致效率降低。

然而由于二氧化碳压缩机的效率较高，二氧化碳的换热能力更好，因此与传统的氨系统相比，二氧化碳-氨复叠系统的整体效率并未降低(图10.5.1和参考资料[3])

10.6
二氧化碳系统中的冷冻油

在采用传统压缩机的二氧化碳制冷系统中，即可以采用与二氧化碳不互溶或者互溶的冷冻油(参见下表)。

对于互溶的冷冻油，例如酯类油(POE)，它们的回油系统较为简单。但是由于POE油对水的亲和力更高，这时就要确保冷冻油的稳定性。

对不互溶的冷冻油，例如矿物油(PAO)，其回油系统相对复杂。PAO的密度比液体二氧化碳的密度低。因此，润滑油会浮在制冷剂的顶部，使其比在氨系统中更难被清除。另外，为了避免降低蒸发器效率，使用不互溶冷冻油的二氧化碳系统，其油分离效果必须更加有效。

在使用二氧化碳作为载冷剂的盐水系统以及使用无油压缩机的泵循环系统中，循环中的二氧化碳没有油的存在。从效率的观点来看这是最适宜的，因为这样可在蒸发器中产生良好的换热系数。但是这也要求所有的阀门及控制元件保持干燥。

二氧化碳和冷冻油

冷冻油的类型	PAO 矿物油 (合成冷冻油)	POE 酯类油 (酯类油)
可溶性	低(不互溶)	高(互溶)
水解性	低	亲水性高
油分离系统	特殊要求: ■ 高过滤性能 ■ 多芯过滤器 ■ 活性炭过滤器	无特殊要求 (与HCFC/HFC系统要求类似)
回油系统	特殊要求: ■ 从低温贮液器处将油排出 (油的密度比二氧化碳低 - 与氨相反)	简单 (与HCFC/HFC系统要求类似)
面临的问题	■ 油分离和回油系统 ■ 在冷冻油长期积累处，例如蒸发器等部位	■ 亲水性高 ■ 油的长期稳定性 ■ 要求“清洁的”制冷剂系统

10.6 二氧化碳系统中的冷冻油(续)

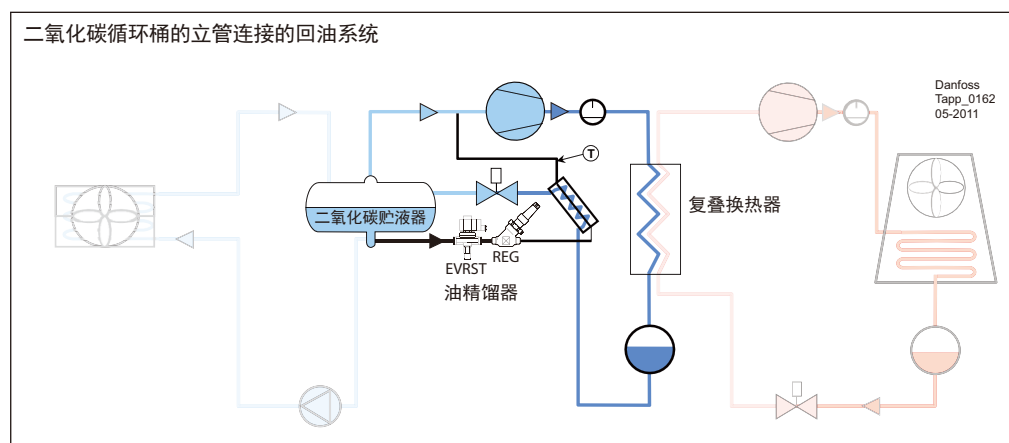
由于油无法直接被吸回压缩机，泵循环桶中的冷冻油浓度会逐渐提高。如果蒸发器内的油浓度变得太高，粘性将使油“粘”到换热表面，从而降低系统的性能。

通过持续地将来自泵分离器的油/二氧化碳液体沸腾，设备的油浓度保持在低的水平。在油精馏器内的沸腾过程中，二氧化碳液体变得过冷，来自二氧化碳循环桶的油/二氧化碳液体混合物沸腾过后，被吸回二氧化碳压缩机。

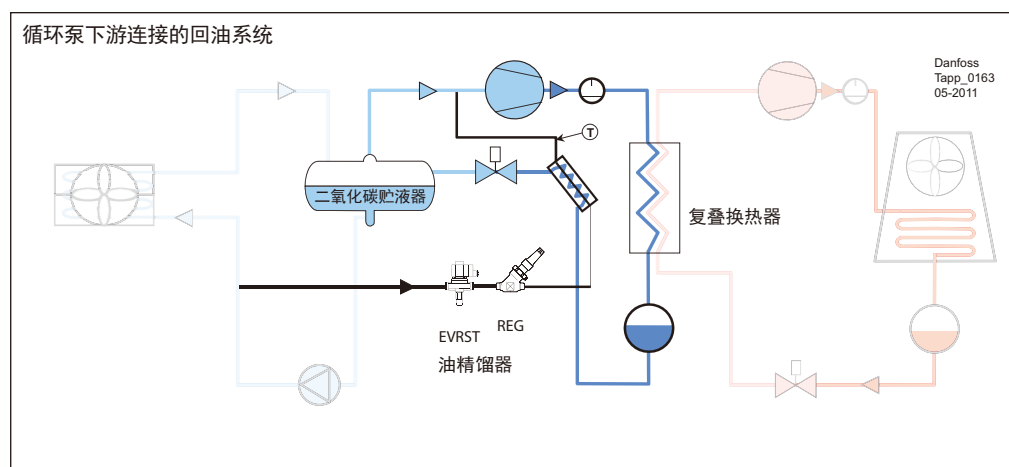
绝不可以将二氧化碳液体直接返回压缩机，这将导致压缩机损坏，因此要求回气管中的二氧化碳处于过热状态。

可以通过安装在电磁阀下游的REG阀控制过热度。

应用范例 10.6.1： 使用互溶性冷冻油的回油系统



应用范例 10.6.2： 使用互溶性冷冻油系统的回油系统

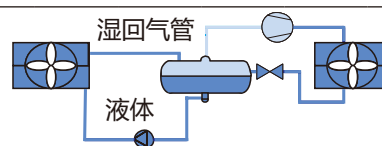


10.7

二氧化碳、氨和R134a系统对元件要求的比较

与氨和R134a相比，二氧化碳在许多方面有所不同。以下比较可证明这一事实，为了做“真正的”比较，系统工况(如蒸发温度、冷凝温度等)将保持不变。

湿回气管/液体管路横截面积比较

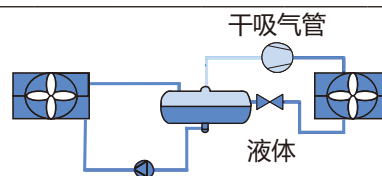


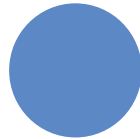
制冷剂				R 134a		氨		二氧化碳		
湿回气管	容量	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]	
	ΔT	K	[F]	0.8	[1.4]	0.8	[1.4]	0.8	[1.4]	
	Δp	bar	[psi]	0.0212	[0.308]	0.0303	[0.439]	0.2930	[4.249]	
	速度	m/s	[ft/s]	11.0	[36.2]	20.2	[66.2]	8.2	[26.9]	
										
直径	mm	[inch]	215	[8.5]	133	[5.2]	69	[2.7]		
湿回气管面积		mm²	[inch²]	36385	[56.40]	13894	[21.54]	3774	[5.85]	
液体管路				速度	m/s	[ft/s]	0.8	[2.6]	0.8	[2.6]
										
直径		mm	[inch]	61	[2.4]	36	[1.4]	58	[2.3]	
液体管路		mm²	[inch²]	2968	[4.6]	998	[1.55]	2609	[4.04]	
管路总横截面 “湿回气管+液 面积 体管” 面积		mm²	[inch²]	39353	[61.0]	14892	[23.08]	6382	[9.89]	
液体管路横截面总面积		%		8		7		41		

$L_{eqv} = 50 [m] / 194 [ft]$ - 泵循环.: $n_{circ} = 3$ - 蒸发温度.: $TE = -40[^\circ C] / -40[^\circ F]$

表 1

干吸气管/液体管路横截面积比较



制冷剂				R 134a		氨		二氧化碳				
干吸气管	容量	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]			
	ΔT	K	[F]	0.8	[1.4]	0.8	[1.4]	0.8	[1.4]			
	Δp	bar	[psi]	0.0212	[0.308]	0.0303	[0.439]	0.2930	[4.249]			
	速度	m/s	[ft/s]	20.4	[67]	37.5	[123]	15.4	[51]			
												
直径	mm	[inch]	168	[6.6]	102	[4.0]	53	[2.1]				
干吸气管横截面积				mm²	[inch²]	22134	[34.31]	8097	[12.55]	2242	[3.48]	
液体管路				速度	m/s	[ft/s]	0.8	[2.6]	0.8	[2.6]	0.8	[2.6]
												
直径				mm	[inch]	37	[1.5]	21	[0.8]	35	[1.4]	
液体管路				mm²	[inch²]	1089	[1.69]	353	[0.55]	975	[1.51]	
管路总横截面 “干吸气管+ 液体管路”面积				mm²	[inch²]	23223	[36.00]	8450	[13.10]	3217	[4.99]	
液体管路横截面总面积				%	5	4	30					

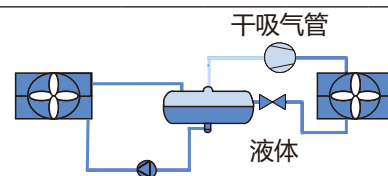
$L_{eqv} = 50 [m] / 194 [ft]$ - 蒸发温度.: $TE = -40[^\circ C] / -40[^\circ F]$ - 冷凝温度.: $TE = -15[^\circ C] / -5[^\circ F]$

表 2

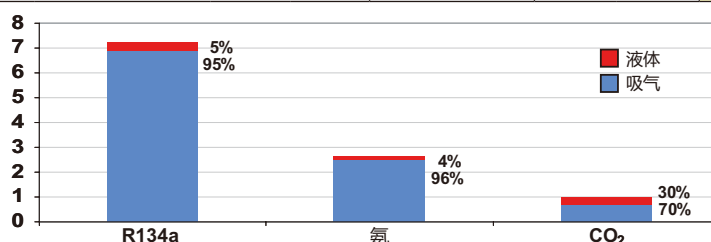
10.7

二氧化碳、氨和R134a系统对元件要求的比较(续)

管路横截面积的比较
干吸气管/液体管路



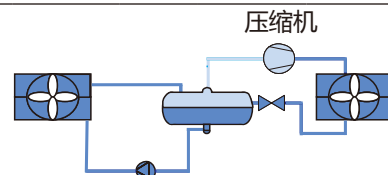
制冷剂			R 134a	氨	二氧化碳
容量	kW	[TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
干吸气管	干吸气管横截面积	mm ² [inch ²]	22134 [34.31]	8097 [12.55]	2242 [3.48]
液体管路	液体管路	mm ² [inch ²]	1089 [1.69]	353 [0.55]	975 [1.51]
管横截面总面积	“干吸气管+液体管路”面积	mm ² [inch ²]	23223 [36.00]	8450 [13.10]	3217 [4.99]
相对横截面积		-	7.2	2.6	1.0
液体管路横截面总面积		%	5	4	30
气体管路横截面面积		%	95	96	70



$L_{eqv} = 50 \text{ [m]} / 194 \text{ [ft]}$ - 蒸发温度.: $TE = -40^{\circ}\text{C} / -40^{\circ}\text{F}$ - 冷凝温度.: $TE = -15^{\circ}\text{C} / -5^{\circ}\text{F}$

表 3

压缩机排气量的比较

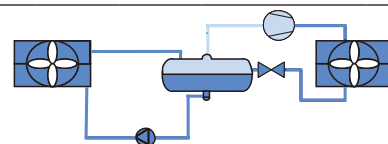


制冷剂			R 134a	氨	二氧化碳
制冷剂容量	kW	[TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
要求的压缩机排气量	m ³ /h	[ft ³ /h]	1628 [57489]	1092 [38578]	124 [4387]
相对排气量	-	-	13.1	8.8	1.0

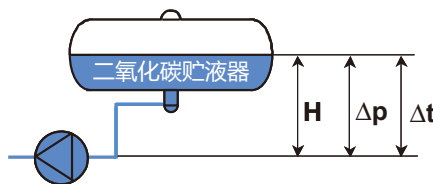
蒸发温度.: $TE = -40^{\circ}\text{C} / -40^{\circ}\text{F}$ - 冷凝温度.: $TE = -15^{\circ}\text{C} / -5^{\circ}\text{F}$

表 4

压力/液体立管内过冷度的比较



制冷剂			R 134a	氨	二氧化碳
液体层高度 “H”	m	[ft]	3 [9.8]	3 [9.8]	3 [9.8]
液体层产生的压力 “ Δp ”	bar	[psi]	0.418 [6.06]	0.213 [2.95]	0.329 [4.77]
液体立管内产生的过冷度 “ Δt ”	K	[$^{\circ}\text{F}$]	14.91 [26.8]	5.21 [9.4]	0.88 [1.6]



蒸发温度.: $TE = -40^{\circ}\text{C} / -40^{\circ}\text{F}$

表 5

泵循环系统中的湿回气管：

对泵循环系统的比较可以发现，对于湿回气管，二氧化碳系统的管路比氨或R134a系统小得多(表3)。在二氧化碳湿回气管中，容许存在的压降大约比氨或R134a湿回气管高10倍。这一现象是由于二氧化碳

气体密度相对较高。这里统一以循环倍率为3作为基准进行比较。如果针对每种制冷剂的循环倍率进行优化，那么得到的结果会稍有不同。

在直接膨胀系统中的回气管：

在与干吸气管的比较中可以发现，在压降和管路尺寸方面的比较结果与前面的比较非常接近(表2)。

液体管路：

对于泵循环和直接膨胀系统，二氧化碳液体管路的计算尺寸比氨的大得多，但只比R134a的稍大一些(表1和表2)。这可以通过氨的潜热比二氧化碳和R134a大得多来进行解释。

参考三种制冷剂相对的液体和气体管路横截面积的表格(表1)可以发现，二氧化碳系统的总横截面积比氨系统的小2.5倍，比R134a的小大约7倍。这一比较结果很好的显示了三种制冷剂的相对安装成本。由于二氧化碳系统相对较小的气体体积和较大的容积制冷量，二氧化碳系统对制冷负荷的波动相对敏感。因此必须设计具有足够体积的循环桶以对较小的二氧化碳制冷剂管的体积进行补偿。

在同样负载下对三种制冷剂的压缩机输气量进行计算(表4)，可以发现二氧化碳压缩机比氨或R134a系统用的压缩机要小很多。

对具有相同输气量的压缩机而言，二氧化碳系统的压缩机容量比氨系统的大8.8倍，比R134a系统的大13倍。

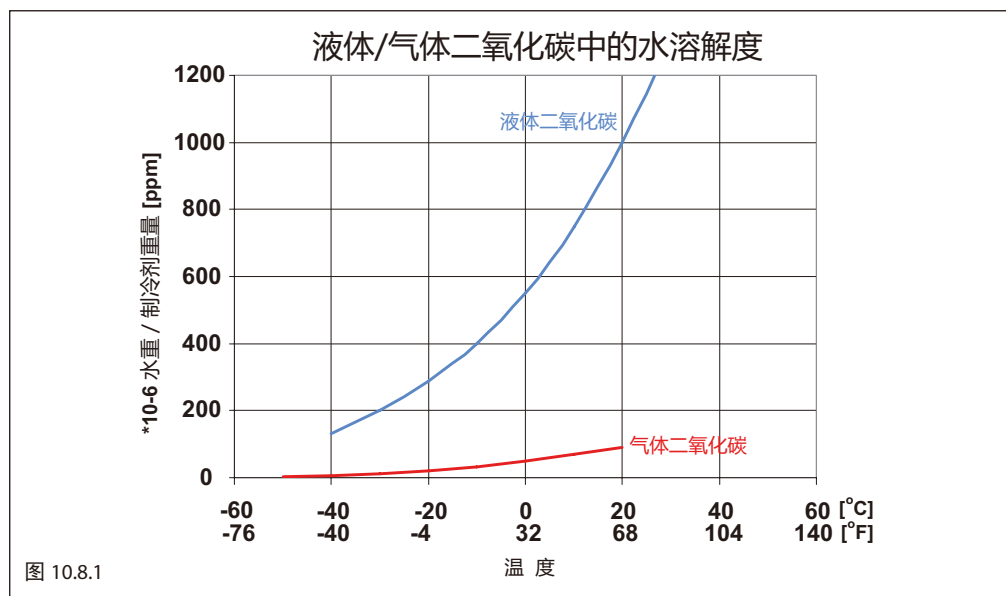
对三种制冷剂在给定高度的立管内产生的过冷度作了计算(表5)可以发现二氧化碳系统液体立管产生的过冷度比氨和R134a系统的小得多。在设计二氧化碳系统时必须注意这一特征，以防止液体二氧化碳循环泵出现气蚀现象或其他问题。

10.8 二氧化碳系统中的水

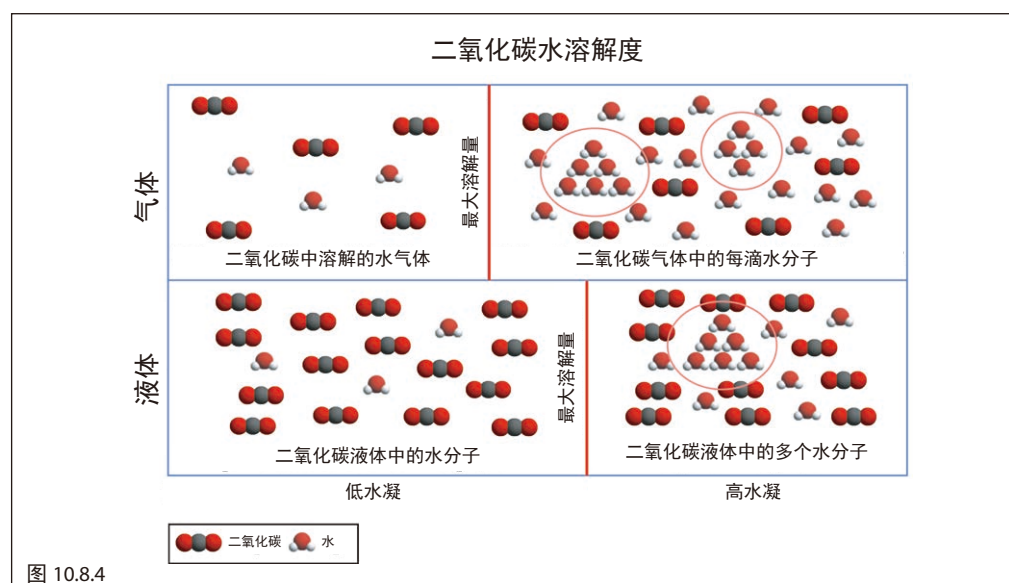
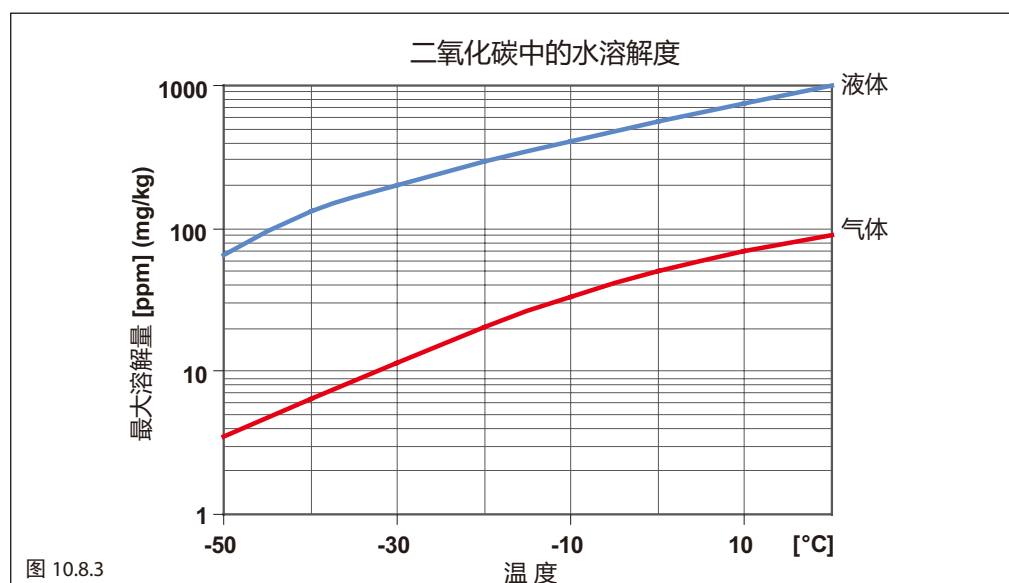
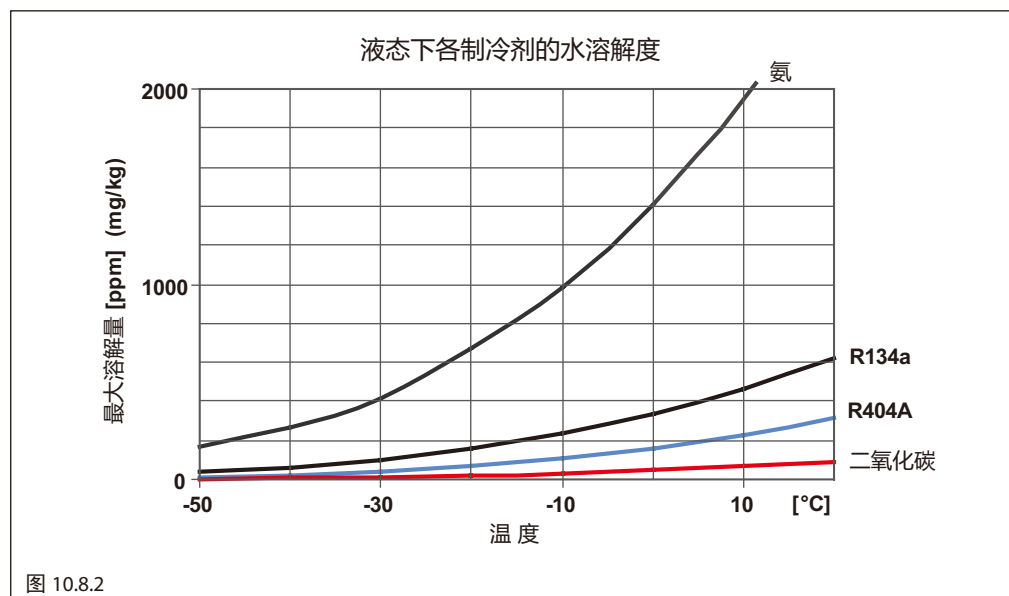
在氨系统中需要对冷冻油定期更换，对不凝性气体定期进行清除，以减少油、水和固体污染物等的积聚，防止系统出现问题。

与氨系统相比，二氧化碳就没那么敏感。但是，若系统中存在水，仍可能产生问题。一些早期的二氧化碳装置曾经报告称控制阀以及其他零部件发生问题，调查显示许多问题是由系统中水的冻结引起的。目前通常使用干燥过滤器来将系统中的含水量保持在可接受的水平。

二氧化碳系统中可接受的含水量比其他通用的制冷剂要低得多。图10.8.1显示二氧化碳液体和气体中水以液相和气相形式存在时的水溶解度，作为温度的函数。在二氧化碳液相下的水溶解度比气相下的水溶解度要高得多。二氧化碳气相下的水溶解度也就是所谓的露点。



10.8
二氧化碳系统中的水(续)



10.8

二氧化碳系统中的水(续)

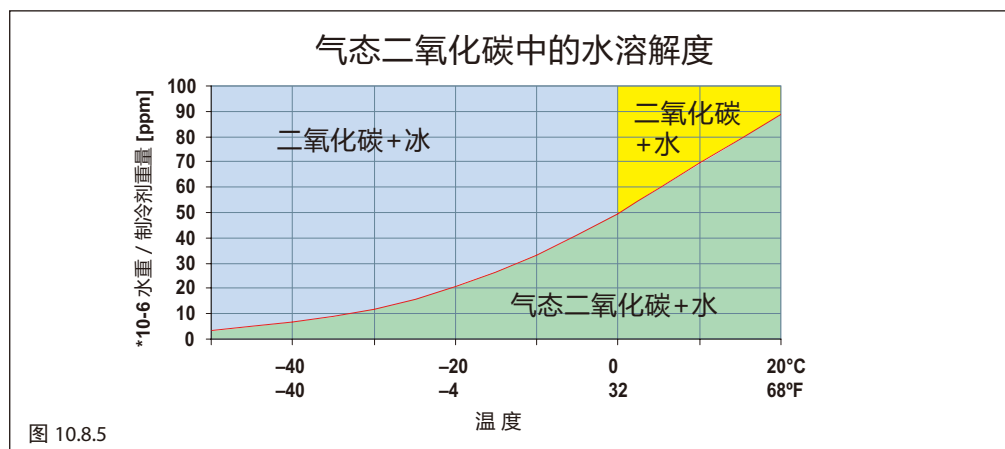


图 10.8.5

图10.8.1中有图表显示了二氧化碳中水的溶解度比R134a或氨中的要低得多。在-20℃ [-4° F]时，在液相中的水溶解度为：

- 二氧化碳为20.8 ppm
- R134a 为158 ppm
- 氨为672 ppm

在这些溶解度水平下，水在制冷剂中保持溶解状态，不会损害系统。图10.8.4的显示，如果水浓度低于最大溶解度限制值，水(H₂O)分子被溶解，但是如果水

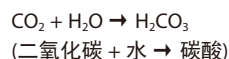
浓度高于最大溶解度限制值，水分子则从溶液中析出，形成小水滴。

如果水超过在二氧化碳系统中的溶解限制值，就可能发生问题，尤其是当温度低于0℃的时候。在这种情况下水将结冰，产生的冰晶可堵塞控制阀、电磁阀、过滤器或其他设备(图10.8.5)。这个问题在满液式和直接膨胀的二氧化碳系统中尤为明显，但在二次制冷系统中就没那么明显，这是因为其使用了对水的存在不太敏感的部件。

化学反应

值得注意的是，上述的反应不会发生在一个保养良好的系统中，在这样的系统中含水量低于最大溶解度限制值。

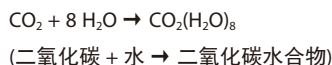
在一个封闭系统，例如制冷系统中，二氧化碳可与油、氧以及水发生反应，尤其是在温度和压力增加的情况下。例如若含水量超过最大溶解度，二氧化碳可以形成碳酸，如下所示(参考资料[4] 和 [5])：



在二氧化碳系统中，水的浓度有可能被提升至较高的水平。众所周知，碳酸对有些金属具有相当高的腐蚀性。但这种反应不会发生在保养良好的系统中，因为在这样的系统中，水的含量将被保持在最大溶解度以下。

水蒸汽

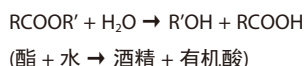
如果水的浓度相当高，气相的二氧化碳会和水蒸汽发生反应，形成二氧化碳气体水合物。



二氧化碳水合物是大分子，可在高于0℃ [32° F]温度下存在。这可能会造成控制阀和过滤器出现问题，这些问题与由冰引起的问题类似。

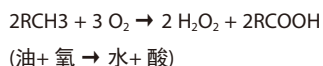
POE冷冻油

通常情况下，酯类(例如POE)会与水反应，如下所示：



如上所示，如果有水存在，POE会与水反应，生成酒精和有机酸(羟基酸)，这种酸的酸性相当大，可以腐蚀系统中的金属。因此，如果使用POE润滑剂，必须限制二氧化碳系统中的水浓度。

PAO冷冻油



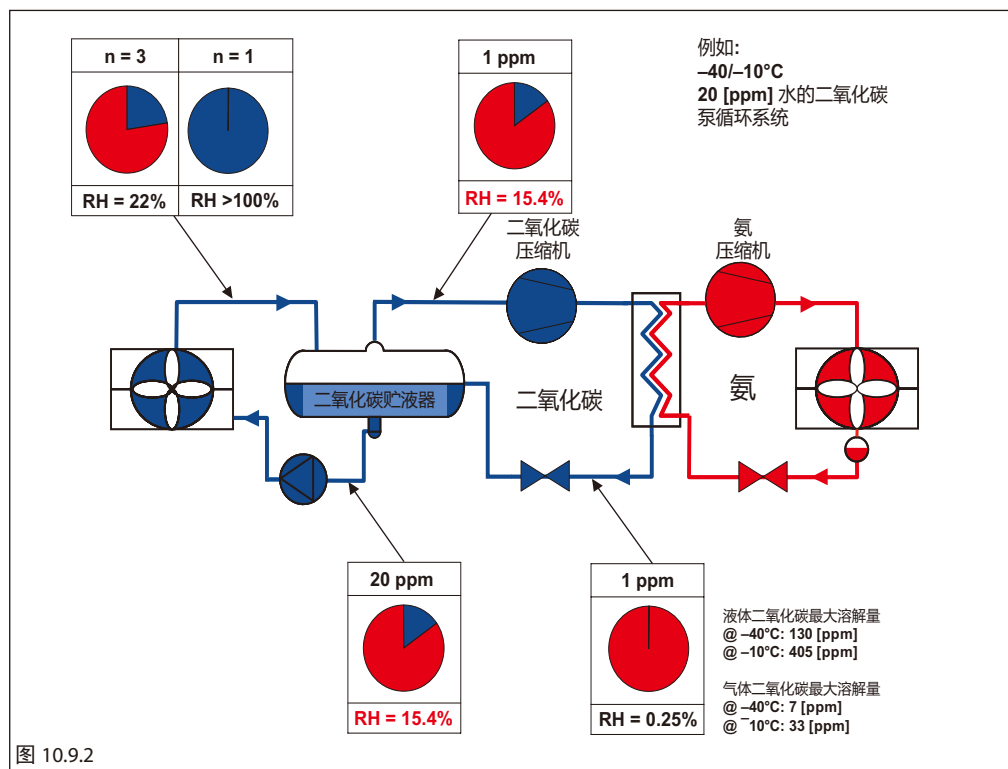
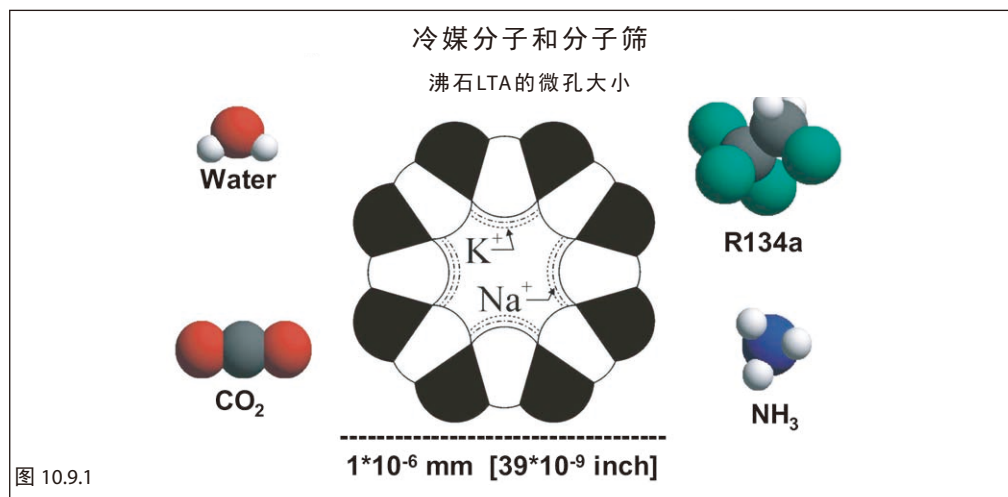
PAO冷冻油也称为合成油。PAO通常非常稳定。但是，如果存在足够的自由氧(例如由于管道内的腐蚀所产生的氧)，氧将与冷冻油反应，形成羟基酸。

10.9 除水

控制制冷系统中的含水量是防止上述化学反应的一个非常有效的方法。

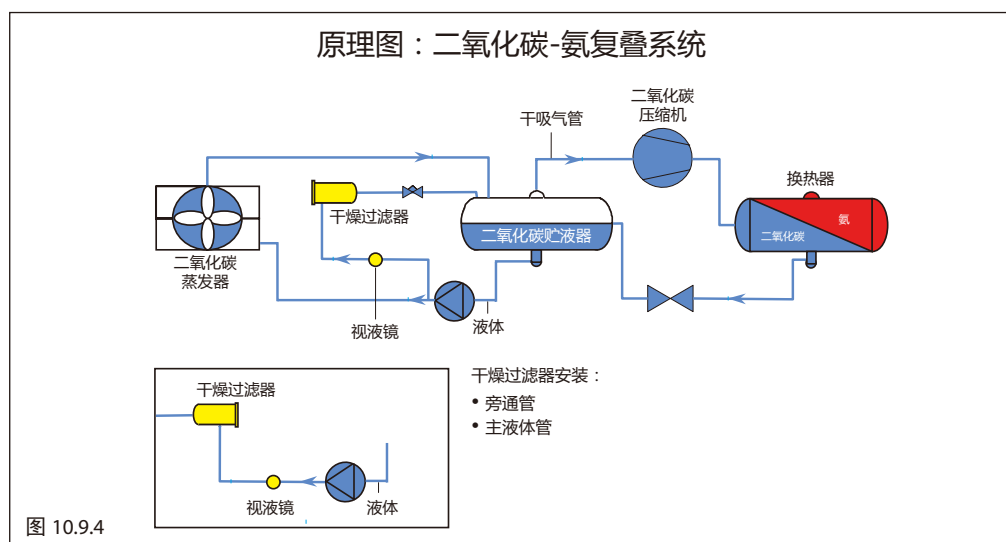
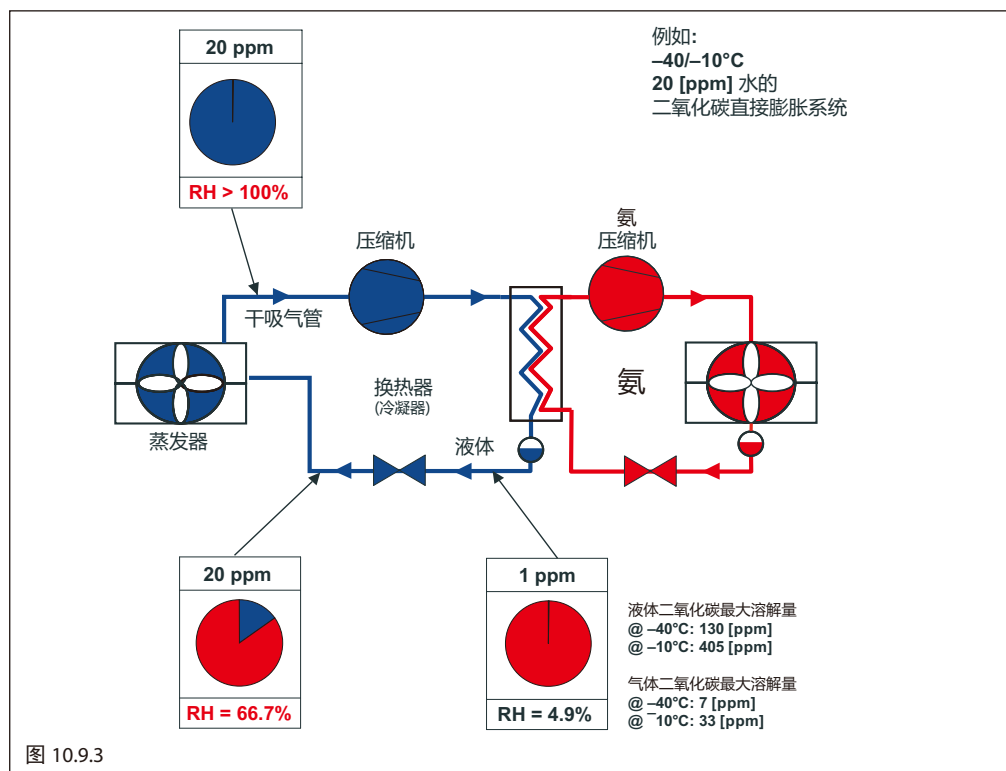
在氟利昂系统中，通常使用干燥过滤器来去除水，通常的型号会配有一个沸石分子筛的滤芯。沸石上有许多极小的孔，可以充当分子筛(图10.9.1)。

水分子小到足以通过滤网，并且由于其具有强极性，水分子将被吸附在沸石分子筛上。而R134a的分子太大，无法穿透筛子。当移出可更换的该芯块时，水也一起被带走了。



10.9

除水(续)



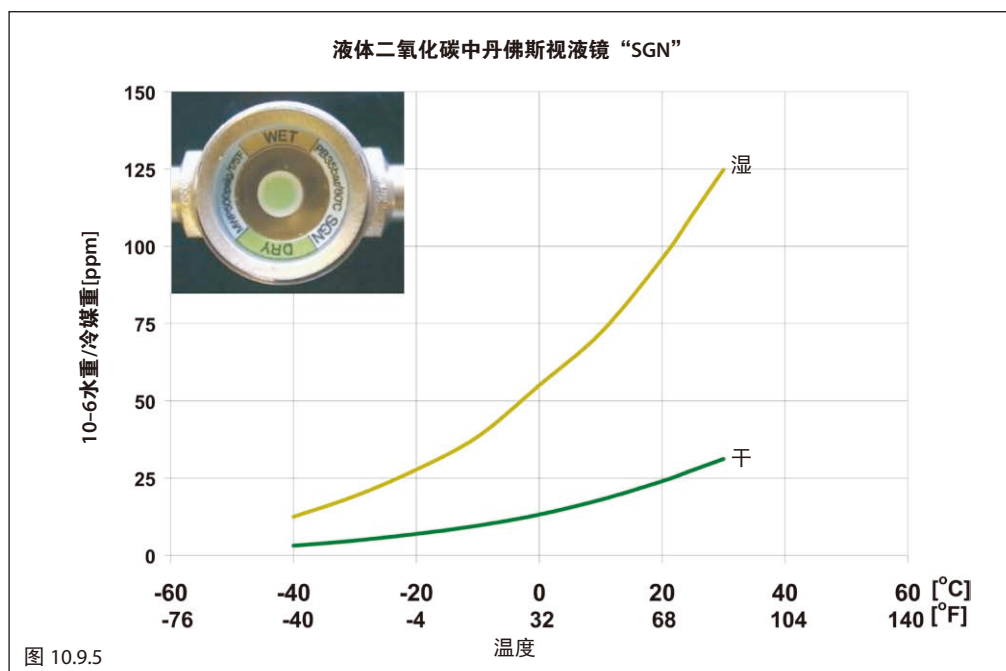
二氧化碳是无极性的分子，因此清除的方法有所不同。像水分子一样，二氧化碳分子同样小到足以通过滤网，但是吸附在分子筛上的水分子会排斥二氧化碳分子。由于水和氨都具有很强的极性，沸石分子筛过滤器无法用于氨系统。即使二氧化碳系统中干燥器的工作原理不同，其除水效率却同样十分良好。它的吸水能力与R134a系统中的大致相同。

检测和清除水的最有效点位是在含水量高的位置。水在二氧化碳中的溶解度在气相比在液相时要低得多，因此在液体管路中可以溶解更多的水。

图10.9.2显示了一个在-40°C温度蒸发的泵循环系统中相对湿度的变化情况。图中显示，在湿回气管中的相对湿度是最高的，并且与循环倍率有关。在直接膨胀系统中，相对湿度的变化有所不同，此时最高湿度出现在吸气管中(图10.9.3)。

根据这一原理，在贮液器的液体管路或液体旁通管路内特别地安装了视液镜和干燥过滤器(图10.9.4)。幅宽由这些设备显示的湿度水平根据温度和指示器的类型而不同。在图10.9.5中，丹佛斯产品SGN视液镜显示的是液体二氧化碳的温度水平。

10.9 除水(续)



10.10 水是怎样进入二氧化碳系统的?

与氨系统不同，二氧化碳系统内的压力始终高于大气压。但是，水仍然可以进入二氧化碳系统。

水可以通过五种不同的方式进入二氧化碳系统。

1. 扩散
2. 维护或维修
3. 在安装/调试时水未清除干净
4. 被水污染的冷冻油进入系统
5. 被水污染的二氧化碳进入系统

很明显，所有这些方式都应该避免或需要将水进入系统的可能性减到最小。

下面描绘一下水污染系统的可能，可以想象：由于承包商相信二氧化碳是一种非常安全的制冷剂，认为二氧化碳系统可以在不需要遵循氨系统的安全要求的情况下进行施工。那么系统一旦打开后，空气将进入，空气中的湿气将在管道内冷凝。如果承包商施工后没有彻底清除系统，则有些水可能留在系统中。

在另一种情形中，承包商忘记了在系统中使用的冷冻油POE对水具有高的亲和性，并且未给装有冷冻油的容器盖上盖子。那么在POE被充入系统后，水可能就会开始影响系统。

10.11

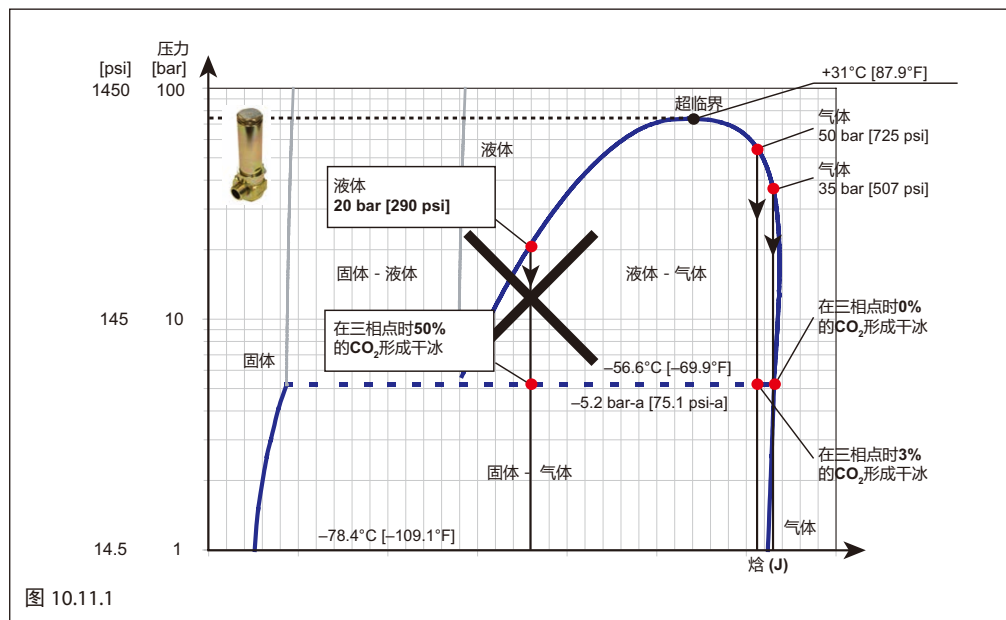
在二氧化碳系统中需要考虑的其他问题

二氧化碳膨胀—由于安全阀引起相变

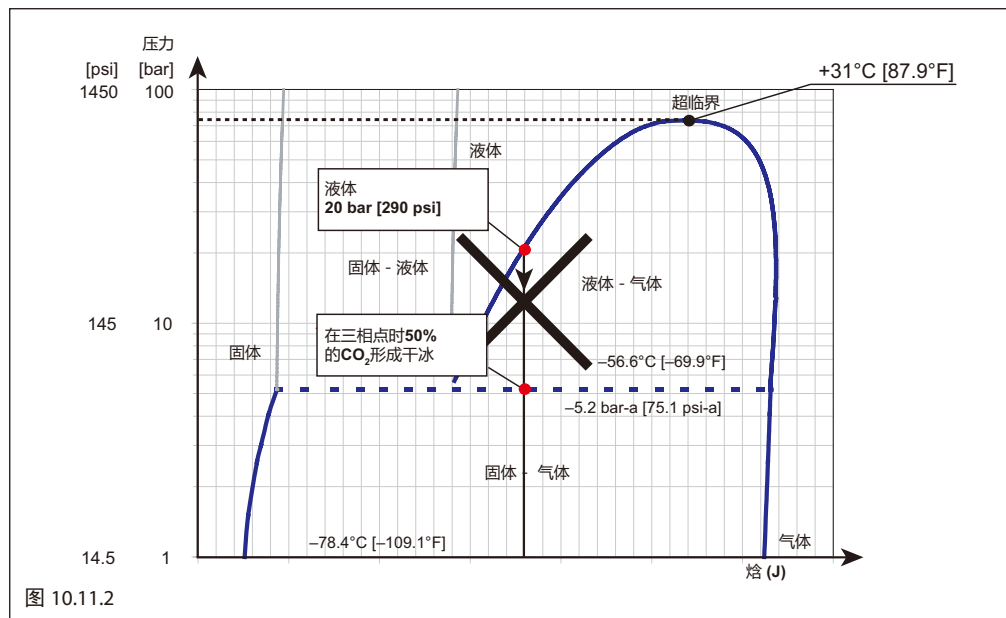
安全阀

二氧化碳特别高的三相点在一定的条件下会导致二氧化碳固体形成。图10.11.1显示了安全阀在三种不同条件下开启时发生的膨胀过程。如果安全阀在气

相设定压力为35 bar [507 psi]或更低(例如在最右边的线),泄压管内的压力将越过5.2 bar [75.1 psi]时的三相点。一旦压力低于该点,二氧化碳将变为纯气体。



二氧化碳膨胀—由于过滤器/二氧化碳充注引起相变



如果气相中安全阀的设定压力为50 bar [725 psi](例如在两相区的中间),泄压管内的压力将经过三相点,并有3%的二氧化碳将在泄压过程中变为固态干冰。在最糟的情形下(例如泄压管含有多个转弯且较长),固体二氧化碳可能在泄压管内阻塞。对这一问题最有效的解决方法是安装没有泄压管的安全阀,将系统直接向大气释放压力。由于二氧化碳的相变不发生在此阀内,而是刚好在阀的出口处,在这种情形下,二氧化碳固体可能直接产生在大气中,不会造成较大的影响。

如果安全阀设定为在液体管路且压力为20bar [290 psi]时开启,减压后的二氧化碳将经过三相点,于是50%的二氧化碳将在减压过程中变为固体干冰,使得泄压管处于被阻塞的高度危险之中。因此,为了安全地保护液体管路防止形成干冰,应把安全阀和系统中压力高于三相点压力5.2 bar [75.1 psi]的位置进行连接。

二氧化碳充注

在二氧化碳处于气相时进行充注并使系统压力达到 5.2 bar [75.1 psi]，这一操作非常重要。因此强烈推荐编制一份二氧化碳系统的充注程序。必须意识到在对系统充注制冷剂并在达到三相点前，二氧化碳

只以固态或气态形式存在于制冷系统中。另外系统将处于非常低的温度，直到压力充分提高(图10.11.2)。例如在 1bar [14.5 psi]时，二氧化碳的升华温度为-78.4°C [-109° F]。

对过滤器进行清洁

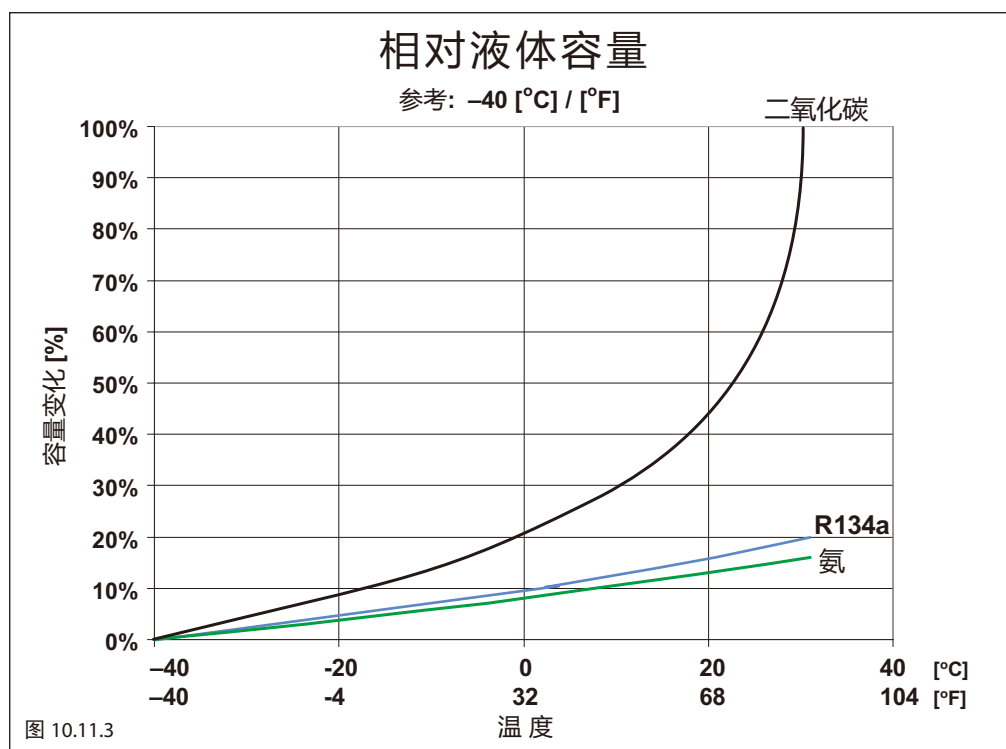
同样的考虑适用于清洁二氧化碳系统中的液体滤网或过滤器。即使二氧化碳是无毒的，也不能将二氧化碳直接排放到系统外。一旦液体二氧化碳接触空气，正如上面所述，液相将部分转变为固相，并使

温度急剧降低。这一急剧的温度下降会对系统材料造成巨大的冲击，进而导致材料损坏。因为系统中的管路和部件通常不是设计用于这么低的温度情形，因此这样的操作是违反规范的。

积液现象

积液现象是制冷剂系统内的一个潜在安全隐患，必须予以避免。这一隐患对于二氧化碳系统的风险性甚至高于氨或R134a系统。图10.11.1内的图表显示对

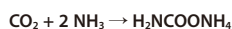
三种制冷剂的相对液体体积变化情况。如图所示，液体二氧化碳的膨胀率比氨和R134a高很多，尤其是当温度接近临界点时。



二氧化碳-氨复叠系统中的泄漏

二氧化碳-氨复叠系统中大多数的致命泄漏发生在二氧化碳和氨之间的复叠换热器中。二氧化碳的压力比氨高，因此发生泄漏时二氧化碳将进入氨系统，从而引起污染。

当二氧化碳接触氨时，将立即生成氨基甲酸铵，氨基甲酸铵具有腐蚀性(参考资料[5])。



材料兼容性

与氨不同，二氧化碳适用于所有的普通金属材料。当使用铜或黄铜时，从材料兼容性的观点来看几乎没有限制。

二氧化碳和聚合物的兼容性要复杂得多。由于二氧化碳是一种非常惰性和稳定的物质，与聚合物的化学反应通常不会发生。这时对二氧化碳的主要关注点是物理化学效应，例如渗透、膨胀、产生气蚀和内部裂纹。这些效应与二氧化碳在相关材料中的可溶性和扩散能力有关。

丹佛斯公司已经进行了许多测试以确保用于二氧化碳系统的丹佛斯零部件能够在所有情况下承受二氧化碳的影响。

这些测试表明了二氧化碳的不同之处，丹佛斯也针对一些产品进行了修改。其中的关键点是二氧化碳具有大量溶于聚合物的能力。因此有一些通常使用的聚合物与二氧化碳将不会相容，例如有些密封材料。

当压力在接近临界压力并且温度较高的时候，二氧化碳对聚合物的影响尤其明显。幸运的是由于二氧化碳工业制冷系统中的压力和温度相对较低，这些问题对于工业制冷来说不大重要。

结论

二氧化碳具有很好的特性，尤其是在低温下，但还是不能取代氨。最普遍的二氧化碳工业制冷系统是混合系统，它的高温侧使用氨制冷。

从许多方面来看，二氧化碳是一种看作简单的制冷剂，但重要的是要意识到二氧化碳具有一些与其他普通制冷剂不同的独特特征。了解这些差异，并在设计、安装、调试和操作中加以考虑，将有助于避免这些问题。

压力低于40 bar 的二氧化碳工业制冷系统零部件在市场上十分容易获得。一些用于传统制冷剂的零部件也能用于二氧化碳制冷系统。高工作压力下的二氧化碳工业制冷系统零部件相对较少，关键零部件是否容易在市场上获得是影响二氧化碳应用增长的一个重要因素。

参考资料

- [1] Bondinus, William S ASHRAE Journal April 1999
- [2] Lorentzen, Gustav, Reprint from IIR Conference 1994 Proceedings "New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Condition"
- [3] P.S Nielsen & T.Lund IIR - Albuquerque, New Mexico 2003, Introducing a New Ammonia/CO₂ Cascade Concept for Large Fishing Vessels
- [4] Broesby-Olsen, Finn Laboratory of Physical Chemistry, Danfoss A/S International Symposium on HCFC Alternative Refrigerants. Kobe 1998 IIF - IIR Commission B1,B2 and E2, Purdue University
- [5] Broesby-Olsen, Finn Laboratory of Physical Chemistry, Danfoss A/S IIF - IIR Commissions B1, B2, E1 and E2 - Aarhus Denmark 1996
- [6] IoR. Safety Code for Refrigeration Systems Utilizing Carbon Dioxide The Institute of Refrigeration. 2003.
- [7] Vestergaard N.P. IIR - Orlando 2004. CO₂ in subcritical Refrigeration Systems
- [8] Vestergaard N.P. RAC - refrigeration and air condition magazine, January 2004. Getting to grips with carbon dioxide.

11. 工业制冷中的二氧化碳作为载冷剂的制冷系统

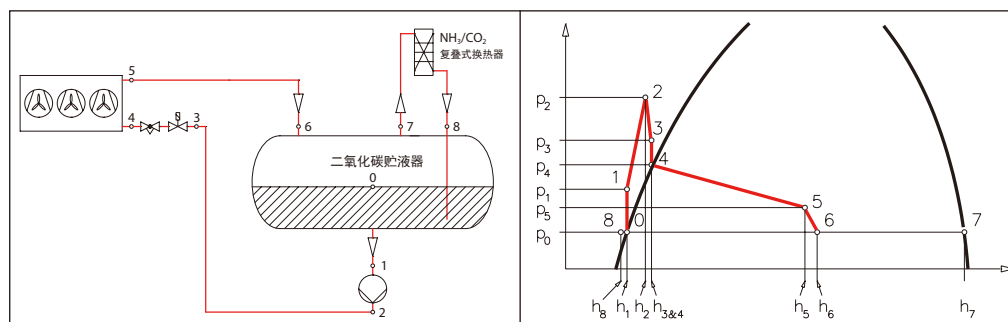


图 11.1 – 二氧化碳作为载冷剂的制冷系统简图

系统简介

用于低温或中温应用的氨/二氧化碳作为载冷剂制冷系统(图11.1), 包括

- 以一个复叠换热器作为氨蒸发器的标准的氨制冷系统
- 二氧化碳在蒸发器中作为相变载冷剂(满液式系统1-6)

二氧化碳通过重力作用在复叠式换热器和贮液器间循环, 使得贮液器内的二氧化碳温度得到很好的控制。

二氧化碳气体向上(7)流入复叠式换热器, 在那里被氨冷却凝结后成为液体二氧化碳(8)流回二氧化碳贮液器。在氨侧, 可以使用高压浮球阀(HFI)或通过直接膨胀向蒸发器供液(例如使用电动阀ICM, 以及复叠控制器EKC 313)。

与传统的氨/盐水系统的区别

系统性能:

氨/二氧化碳载冷制冷系统与传统氨/盐水系统相比具有明显的低能耗及高COP的特点, 这是因为:

- 蒸发温度和板换的效率
一般来说氨制冷剂的蒸发温度比通常情况下可以高几度。这是因为二氧化碳在冷风机和板式换热器中的传热效率更高, 因此导致热交换器内较低的换热温差。这直接减少了氨压缩机的能量消耗。一些数据显示氨/二氧化碳载冷制冷系统的COP与纯氨系统的COP接近。

泵所需的能量

循环泵所需的能量较少因为需要循环的二氧化碳较少与此同时二氧化碳的密度也较低。另外二氧化碳的循环倍率也相对较低(通常在1.1和2之间), 因此可以采用更小的泵。

满液式蒸发器中的管路尺寸:

由于二氧化碳的高比焓和低密度, 可使用与传统盐水系统相比更小的管路用于供液和回气。

二氧化碳的循环体积更小意味着可以使用更小的泵, 这将使二氧化碳作为载冷剂制冷系统的能耗更低。

由于二氧化碳系统较小的管路尺寸使其表面积更小, 因此与较大的盐水/乙二醇管路相比二氧化碳作为载冷剂制冷系统的热损失更小。

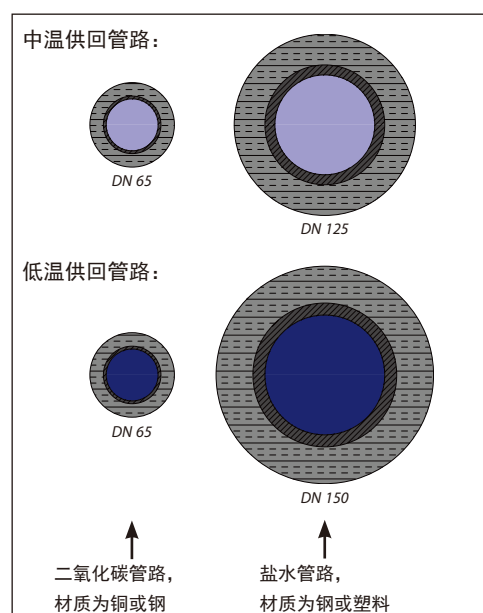


图 11.2 – 管路尺寸比较

与传统的氨/盐水系统系统的区别(续)

能耗的优化管理:

使用好的控制方法可能使氨/二氧化碳系统的能耗进一步降低。提高系统的效率(COP)的好办法是降低氨压缩机内的压比。有两种方法:

- 将冷凝器保持在尽可能低的压力下
- 让蒸发在尽可能高的压力下进行

冷凝器控制与传统系统的类似, 其风扇可通过AKD 102变频驱动控制, 冷凝压力将根据周围温度变化。

可通过使用丹佛斯机组控制器AK-PC 730/840来完成。

对吸气压力的管理是二氧化碳作为载冷剂的制冷系统与盐水或乙二醇系统的另一个区别。

假定系统设计如图11.3所示, 来自二氧化碳贮液器的压力信号可用于控制氨压缩机的容量(氨系统)。如果二氧化碳贮液器的压力下降, 那么氨压缩机的转速也下降, 以保持二氧化碳的压力。

这一功能可由AK-PC 730 / 840机组控制器提供。

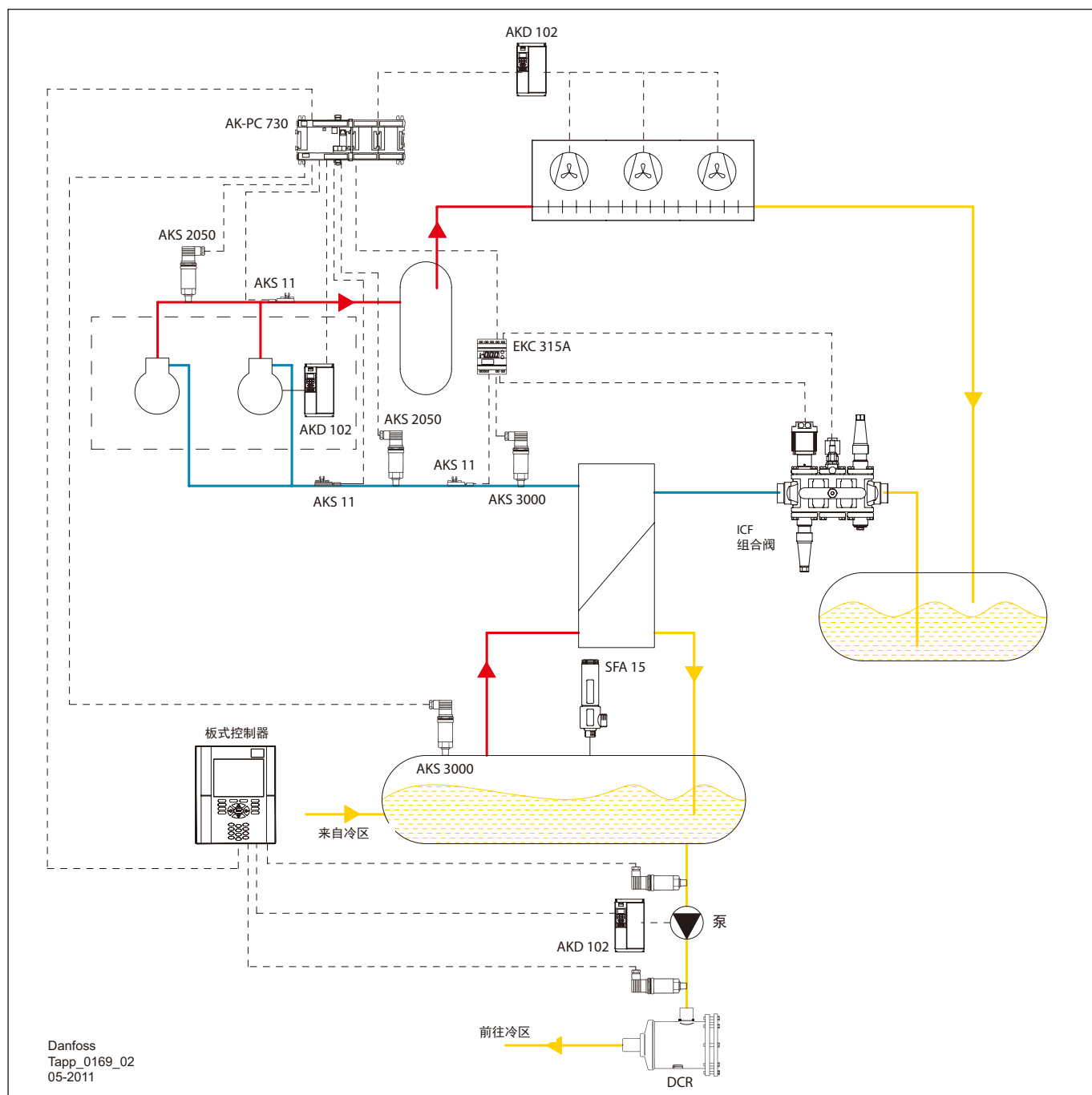


图11.3 二氧化碳作为载冷剂的制冷系统的系统控制

二氧化碳循环泵的变频控制

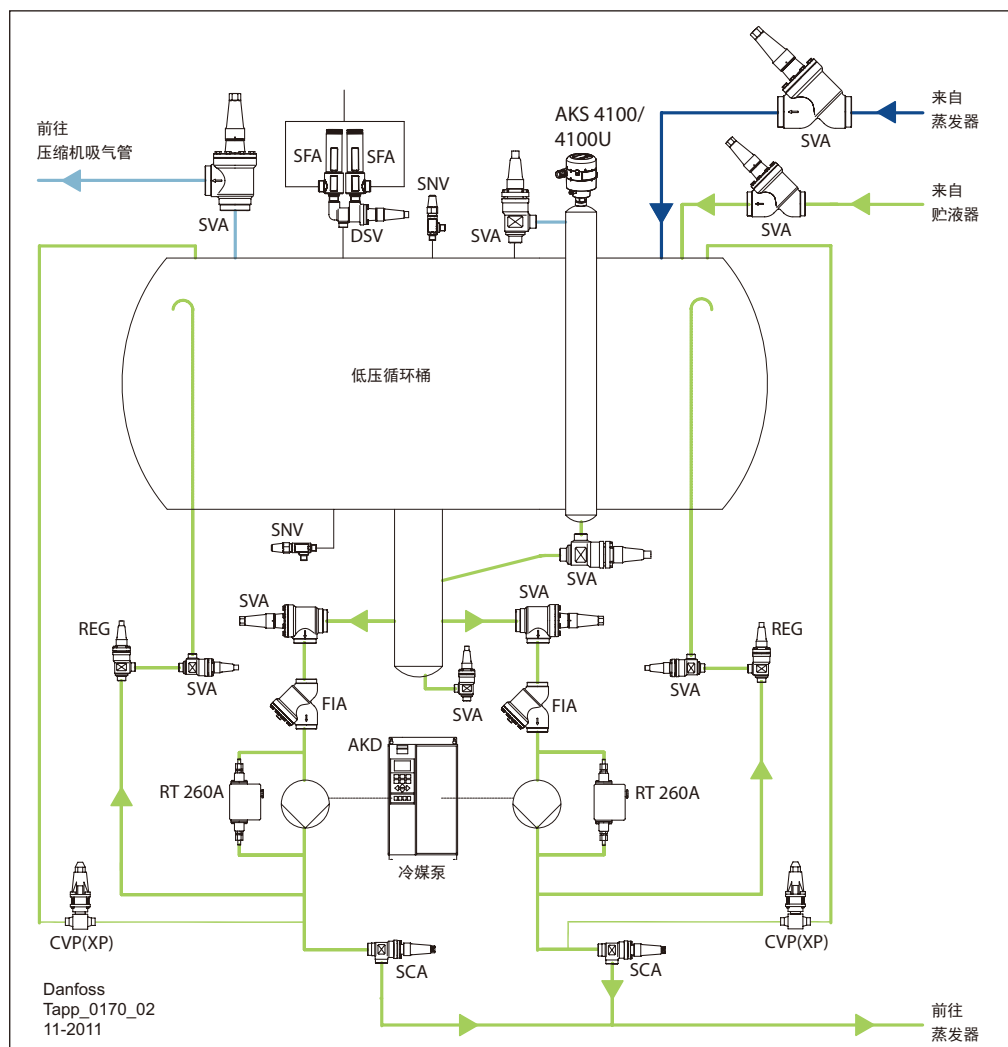


图11.4 带有AKD和相关阀门及控制方案的二氧化碳循环系统

有两种方法来控制液体二氧化碳循环泵：使用简单的开/关分级控制或使用变频器（AKD型）。

变频器操作变得越来越普遍，主要有两个原因：节能和使蒸发器盘管内液体的分配更合理。

节能：

二氧化碳循环泵通常由恒定压差控制。在标准条件下，能量消耗与固定速度的泵的能耗相同或稍高。在部分负载条件下运行时，固定速度的泵由于压力差下降仍将消耗能量。而使用变频器的循环泵可以在较低的速度运行，能耗较少。

根据运行时间和实际运行条件，节省的能量也不同。但是，与按开/关操作全速运行的泵相比，节省的能量可高达50%。

蒸发器内的液体分布更好

保证蒸发器/冷风机良好性能的要求是确保系统内制冷剂/载冷剂液体的良好分布。

制冷剂/载冷剂良好分布的前提是蒸发器有稳定的压差。

由变频器控制的循环泵能确保压力在所有的负载条件下保持在一个稳定的水平。在低负荷时，能耗也较低，在高负荷时，又能满足充足的二氧化碳供应。

由变频器（AKD 102型）控制的二氧化碳泵的典型管路如图11.4所示。由变频器驱动循环泵的另一好处是可以省略Q-max（最大流量）孔板。

二氧化碳作为载冷剂的系统的除霜

有几种方法用于二氧化碳作为载冷剂的系统除霜：

- 电除霜。这是最简单的也是最消耗能量的方法。在某些应用中额外的能量消耗可能相当明显。
- 热气除霜。如果压缩机采用系统内置进行除霜，可以使用二氧化碳气体。该压缩机只在需要除霜时才使用。该方法比电动除霜更为经济。

这一方法与传统的氨除霜系统类似。

- 盐水除霜。通过使用盐水，可以利用来自氨系统的热量对二氧化碳蒸发器进行除霜。本方法尤其适用于在氨系统中采用水冷式冷凝器的场合。
- 水除霜。在某些情况下(尤其是温度高于零度的室内)，蒸发器可使用喷水除霜。

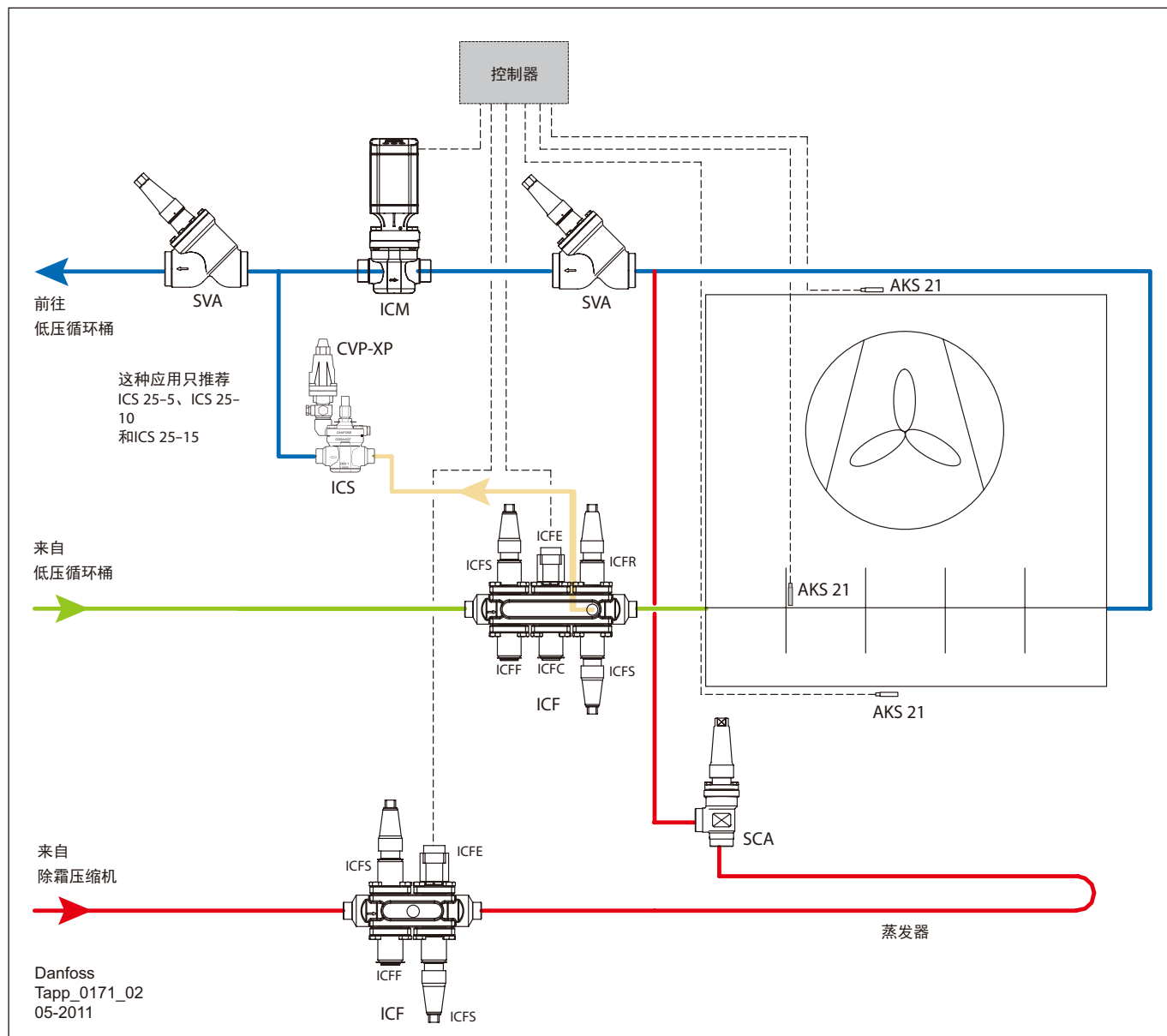


图 11.5 二氧化碳热气除霜

二氧化碳作为载冷剂的系统的除霜(续)

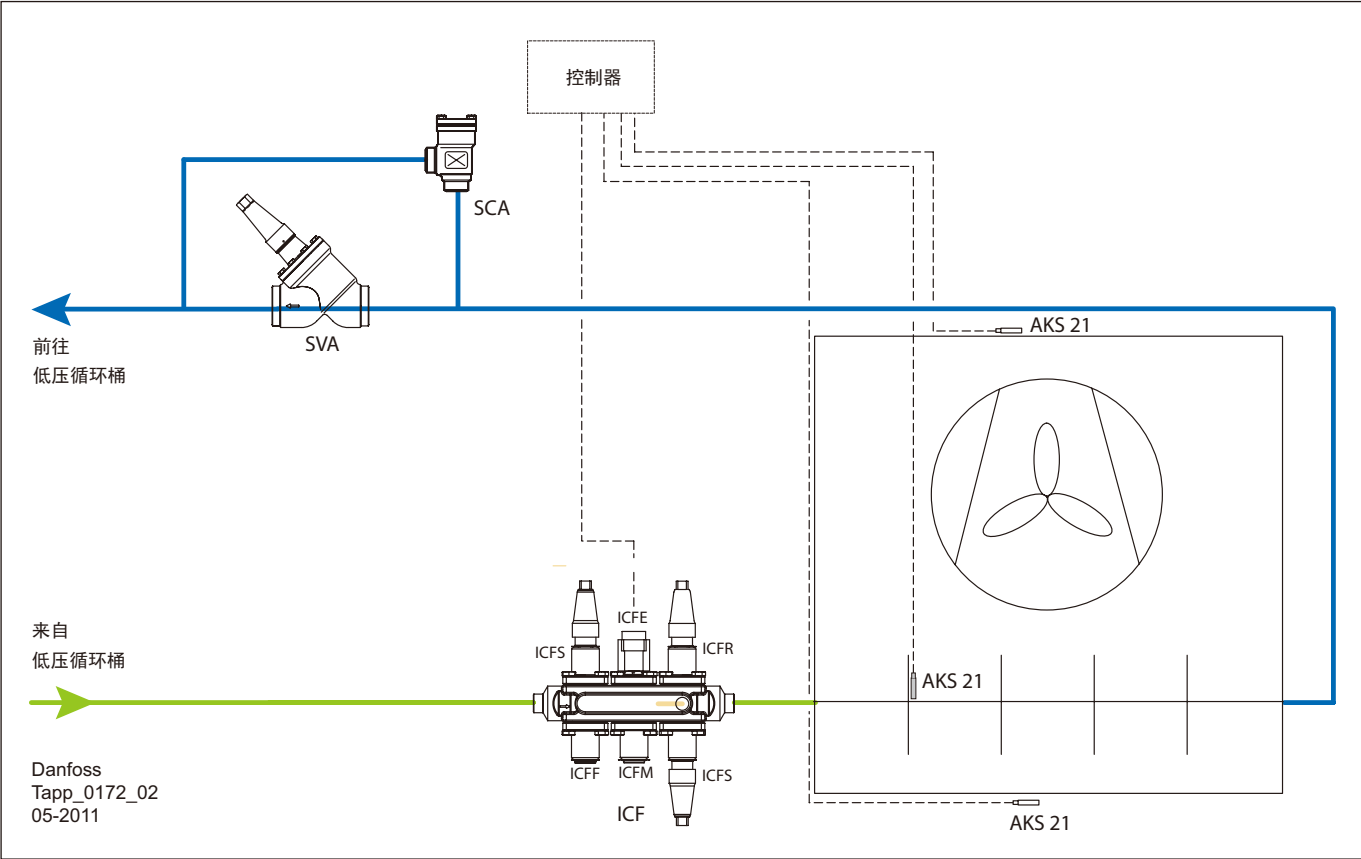


图11.6 二氧化碳电除霜或作为载冷剂的除霜

二氧化碳系统的蒸发器控制

传统的工业制冷系统是满液式/泵循环系统。在一个满液式系统中，向蒸发器供应了比满足负荷所需更多的液体。提供给蒸发器的液体的数量由“循环倍率”确定。

循环倍率 n	产生的流动气体质量	提供的流动液体质量	流出的液体质量
1	x	x	0

供应过多的液体可以提高冷风机的效率，这是基于以下原因：蒸发器表面积被充分利用、更好的传热，更高的换热系数。
另外，满液式系统容易控制。

在准确温度下注入的液体从循环桶被泵输送到蒸发器。

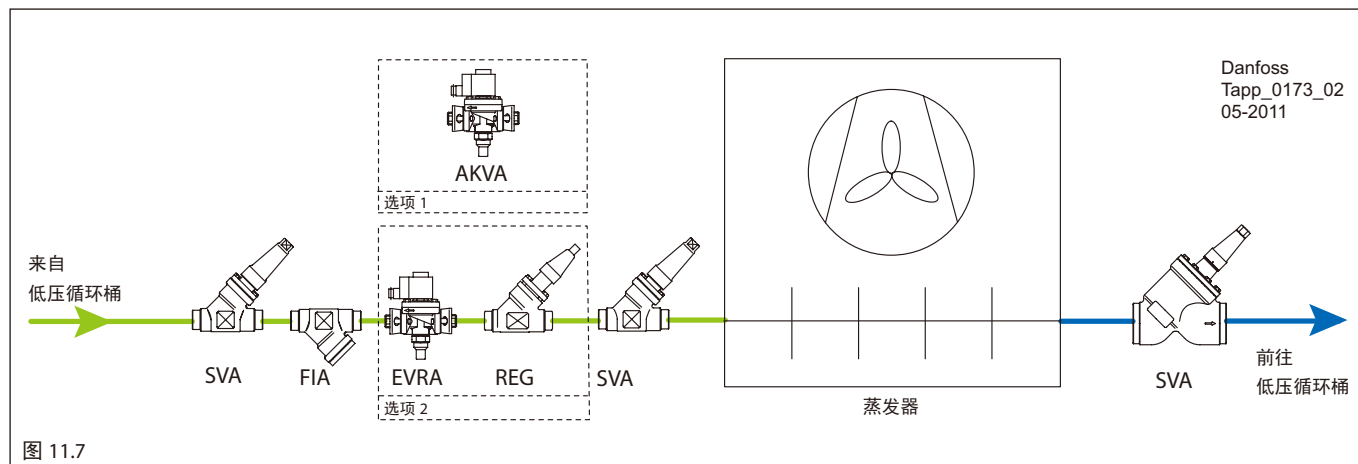
当刚好足够的液体提供给冷风机且完全蒸发时，循环倍率为1。如果供应两倍的液体，则循环倍率为2。参见下表：

需要供液时，蒸发器前面的电磁阀打开。通常在电磁阀之后安装一个手动调节阀，以设定需要的循环倍率并在系统内达到压力平衡。

二氧化碳制冷系统的蒸发器控制 (续)

蒸发器内的温度控制方式：

- 由手动调节阀进行分液 + 用开/关电磁阀进行温度控制
- 采用脉冲式电磁阀进行分液和温度控制
- 由手动调节阀进行分液 + 用脉冲式电磁阀进行温度控制



二氧化碳制冷系统中采用传统供液阀

在传统的满液式系统中，供液由一个温度开关控制，该温度开关持续测量空气温度。

电磁阀根据温度开关的状态持续打开几分钟或更长时间，直到空气温度达到设置点。在进行供液时，制冷剂的流量是恒定的。

这是控制空气温度的一个非常简单的方式，但是温度开关的回差会引起的温度变化。这可能会在某些应用中引起副作用，例如湿度下降或控制不精确。

冷风机的制冷量

冷风机的制冷量以下的公式表示：

制冷剂侧：

$$Q_{\text{冷风机}} = \text{质量流量} \times \Delta h \quad (1)$$

质量流量 [Kg/s 液体蒸发]

Δh [KJ/K]

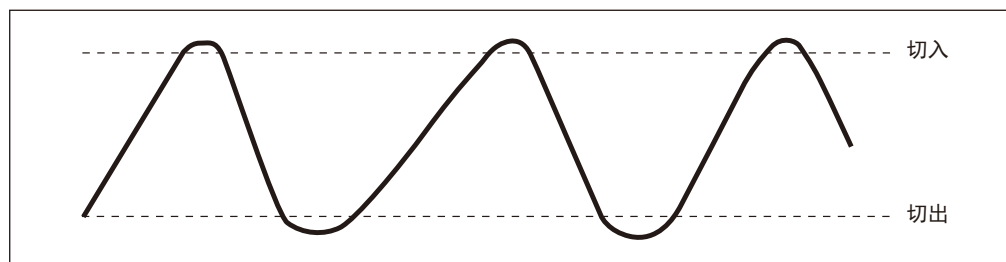
制冷剂/空气侧：

$$Q_{\text{冷风机}} = k \times A \times \Delta T \quad (2)$$

k [W/(m².K)]: 换热系数, (根据空气和制冷剂的换热系数而定, 空气和制冷剂的换热系数根据空气/制冷剂的流量以及在冷风机内使用的材料的热传导系数决定)

A [m²]: 冷风机的面积

ΔT [K]: 蒸发温度和空气温度之间的温差



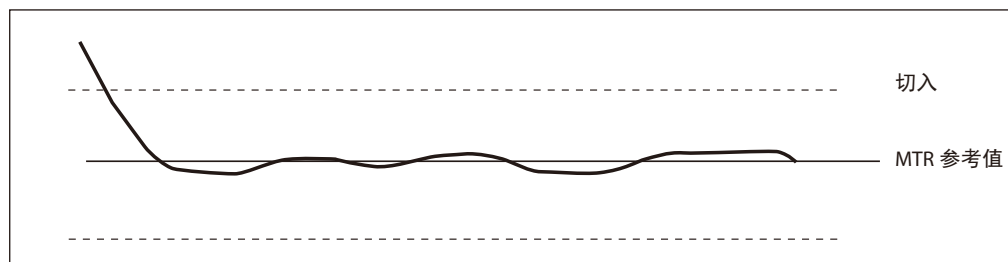
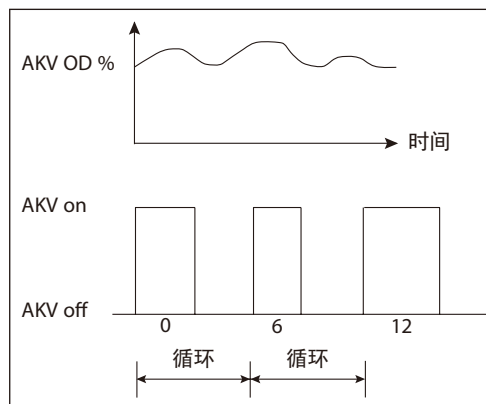
使用脉冲调节阀AKV(A)对冷风机供液

除了上述的间歇性供液，也可以根据实际需求持续地进行供液。这可由一个PWM阀AKV(A)来完成。系统持续地对空气温度进行测量并与参考温度比

较，当空气温度达到设定值时，AKV(A)的开启周期减小，相当于在循环期间的开度减小，使制冷量降低。反之则制冷量增加。AKV(A)阀循环时间通常为3到6秒。

在一个满液式系统中，这意味着制冷剂流量受到持续控制，并按需求供液。当注入的制冷剂变少时，循环的速度下降。

这样做的直接效果是冷风机的表面温度分布较为均匀，使制冷剂和空气之间的换热温差 ΔT 减小。



观察式子(1)和(2)，可得出结论，减少供液将导致：

- ΔT 降低(蒸发温度更接近环境温度)
- K值下降

- 冷风机上的换热面积减少(“湿的”表面更少)

所有这些都会使冷风机的制冷量减小。

满液式系统进行供液的方法具有高度的操作灵活性，可以对供液量进行准确控制，提高控制的精确度和系统效率。

另外，这些类型的冷库经常用于存储不同数量和种类的水果，因此负载适配是必须灵活有效的。

典型应用是储存水果/蔬菜的冷库，其实际的负荷常常发生频繁的变化。一个冷却过程循环(AKV阀充分打开)要比一个储存过程(AKV阀处于PWM模式)多用许多制冷量。

如何在满液式二氧化碳系统中选用合适的AKV(A)阀？

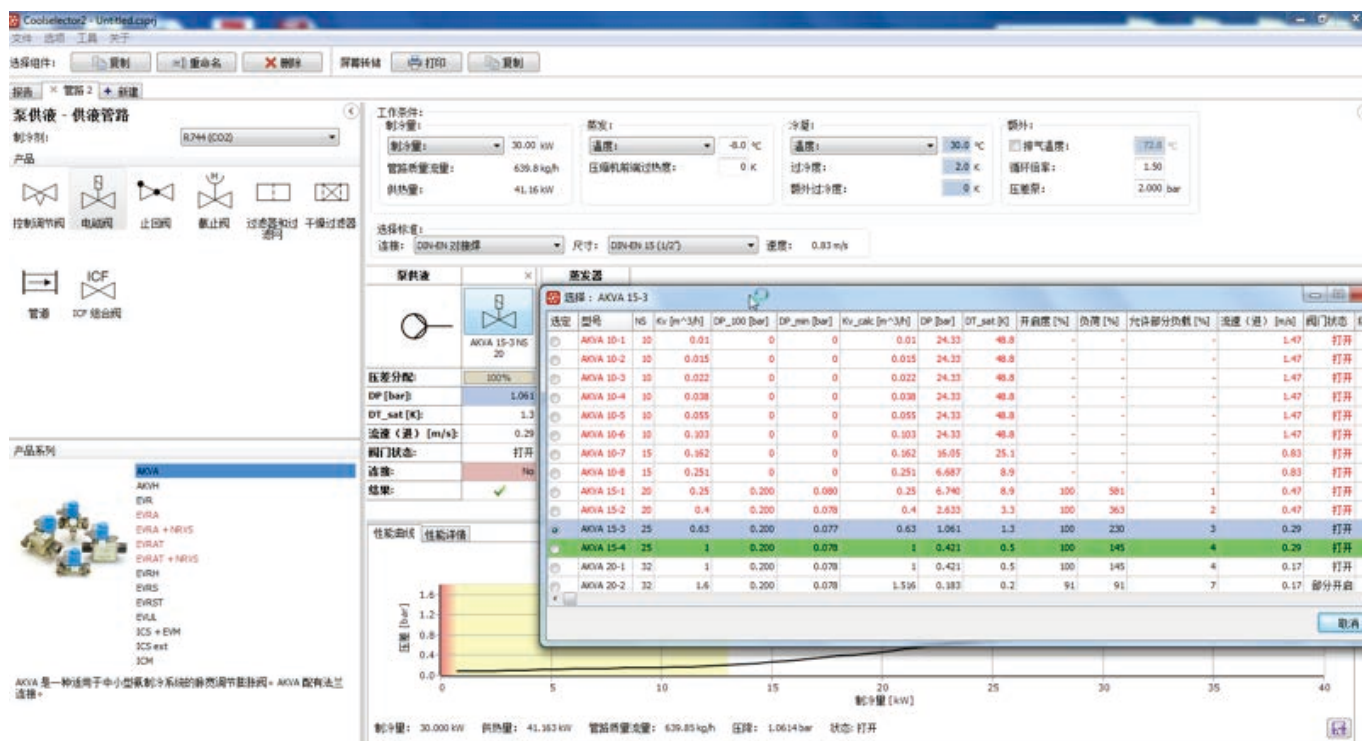
在选择满液式系统中使用的阀时，我们需要知道在给定最高循环倍率下冷风机的最大制冷量，也就是最大供液量。其次，我们必须确定已提供AKV(A)阀上的压降。AKV(A)这里可以使用丹佛斯的CoolSelector软件作为选型的参考。

在实际操作中，能满足满液式系统中单个AKV(A)操作所需的最小压降为1bar (如果能够提供足够循环压力的话可以定得更高)。

请注意要求的总循环压力取决于几个因素，例如系统压降(冷风机的分液器/喷嘴、零部件、管路、弯头、静压头等等)。

示例：

- 制冷剂：二氧化碳
- 循环倍率 $N = 1.5$
- 蒸发温度 $T_o = -8^{\circ}\text{C}$
- 提供的通过阀的压降：1 bar
- 冷风机制冷量：30 kw



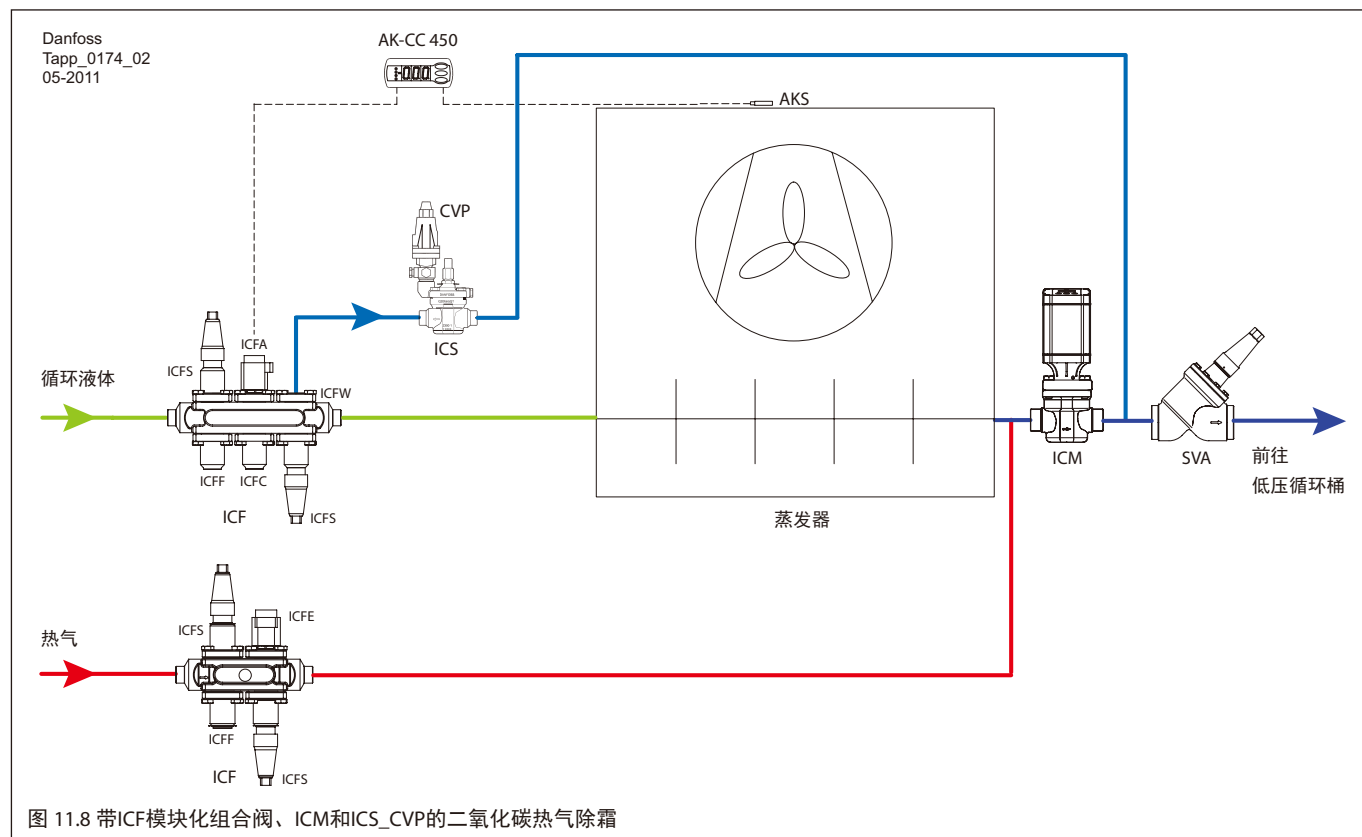
CoolSelector推荐使用AKVA 15-3, ($K_v = 0.63\text{m}^3/\text{h}$), 在循环倍率为1.5时, 阀的压降为1 bar 的情况下能够产生30kw的功率。如果需要更高功率, 应提供一个更大的阀或更高的压降

请记住所有的AKVA阀都有42 bar 的最大工作压力, AKV 在AKV 10系列和AKV 15-1,2,3中仅有一个42 bar 的最大工作压力。

采用ICF组合阀的二氧化碳制冷系统

图11.8所示为一个采用标准AKVA阀进行供液的例子。一个ICF模块化组合阀也可以很好用于这样的应用中。

如果冷风机使用二氧化碳除霜，则需要一个带止回阀模块的ICF版本。



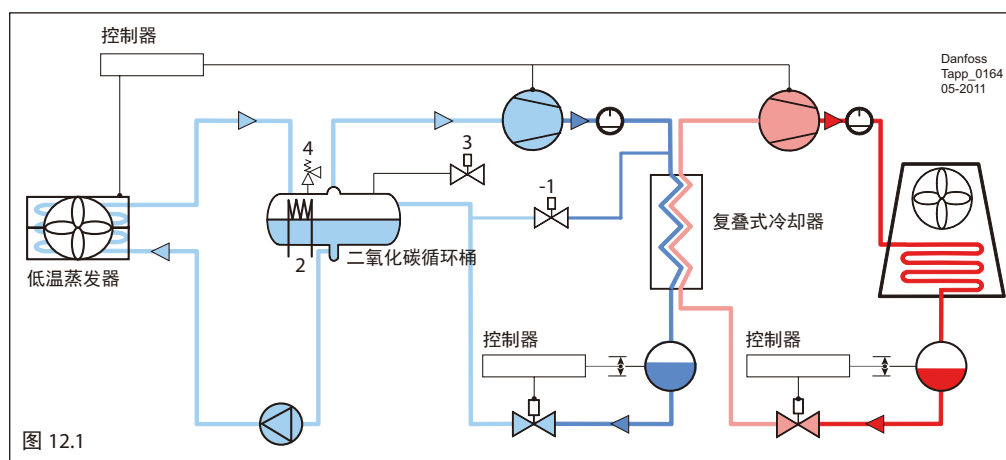
应特别注意湿吸气管中的电磁阀。通常使用的除霜温度大约为9-10°C，对应于该电磁阀上游的压力为44-45 bar。

根据循环桶的压力，该阀的最大开启压差可能太小以致无法打开。较好的做法是使用一个像EVRST(最大工作压力 = 50 bar)那样的小旁通阀，在打开主阀之前首先打开，以平衡压力。ICM 20-32的最大开启压差是52 bar，因此即使循环桶压力处于5.2 bar的三相点附近也能够在除霜循环后打开。

使用ICM的优点之一是除霜压力可通过缓慢打开阀门来平衡。经济有效的做法是使用ICM开/关模式和选择一个非常慢的关闭速度(I04)。使用调节模式时，阀的开度和开启速度完全由PLC控制，也可以达到平衡。

12. 二氧化碳制冷系统的控制方法

- 1 旁通阀
- 2 辅助制冷系统 / 停机冷却设备
- 3 电磁阀
- 4 安全阀



压缩机控制

二氧化碳系统与普通的工业制冷设备相比，其压缩机的控制方式没有区别，但二氧化碳系统采用复叠系统时，必须确保氨压缩机在二氧化碳压缩机接到启动信号之前就已经启动或准备启动(参见有关压缩机控制的章节)。

液位控制

二氧化碳系统与普通的工业制冷设备相比，其液位控制方式没有区别(参见有关液位控制的章节)。

二氧化碳循环桶内由于较高的压力工况下可能用到的控制设备

如果二氧化碳循环桶内的压力上升到高于正常范围，可采取以下步骤减少二氧化碳的溢流：

1. 二氧化碳压缩机可强制启动并使二氧化碳液体泵强制停止，以防止温度较高的二氧化碳液体返回到循环桶。
2. 如果有故障使得二氧化碳压缩机无法启动，压力将继续上升。这将迫使停机冷却设备启动。
3. 如果压力继续上升，可强制打开电磁阀，释放二氧化碳，把压力下降到规定的压力范围内。
4. 最后的保护装置是安全阀，在其设定压力下开启。

二氧化碳循环桶出现低压工况下可能用到的控制设备
如果二氧化碳循环桶内的压力下降到低于正常范围，可采取以下步骤减小形成干冰的风险：

1. 打开旁通阀，使系统能够在二氧化碳循环桶中保持足够高的吸气压力。这也可以防止压缩机在制冷负荷突然下降时停机，例如在冷冻过程中负荷发生变化时。这样可以确保压缩机持续运行，并使系统为制冷负荷突然升高作好准备。
2. 二氧化碳压缩机可强制关机，以避免形成干冰。

13. 二氧化碳亚临界系统的设计

通常情况下，二氧化碳亚临界系统中阀的设计和选择与传统的氨系统没有区别，仅仅在于其工作压力较高并需要搭配回油系统。

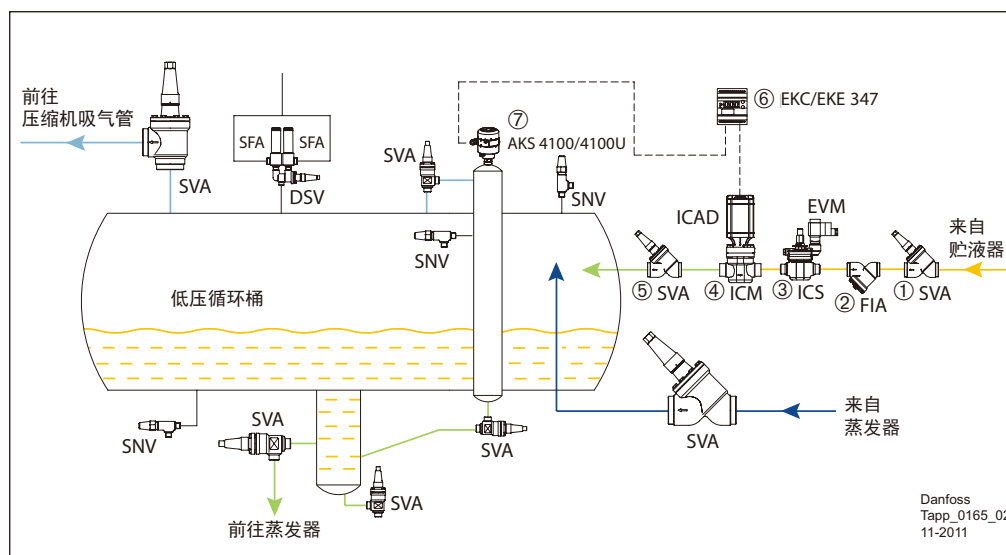
因此，本手册前面章节给出的示例对二氧化碳系统也有效。但是通常来说建议在二氧化碳制冷系统中尽量避免法兰连接。

13.1 液位的电子控制方案

应用范例 13.1.1：
低压液位电子控制解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 电动阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 控制器
- ⑦ 液位传感器



液位传感器AKS 4100/4100U⑦监测循环桶内的液位并输出一个液位信号给液位控制器EKC/EKE 347⑥该控制器发出模拟信号给电动阀ICM④的驱动装置，驱动ICM电动阀以起到膨胀阀的作用。

液位控制器EKC/EKE 347⑥也为液位上限和液位下限以及设定的报警液位提供延迟输出。

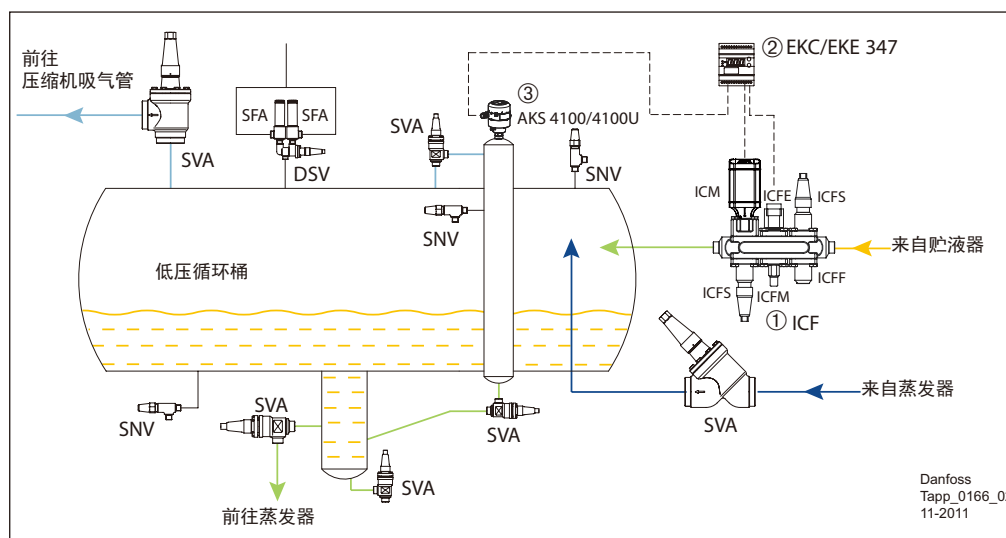
应用范例 13.1.2：
低压液位电子控制解决方案

- 高压液体制冷剂
- 制冷剂气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

① ICF模块化组合阀，包括：



- 截止阀模块
- 过滤器模块
- 电磁阀模块
- 手动开启模块
- 电动阀模块
- 截止阀模块
- ② 控制器
- ③ 液位传感器



丹佛斯可提供一个非常紧凑的ICF组合阀①解决方案。在同一阀体内可安装多达六个不同的模块。在这里ICM模块充当膨胀阀，ICFE为电磁阀模块。

本解决方案与示例4.2.3相同。类似示例4.2.4的ICF模块化组合阀解决方案也可以用于二氧化碳系统。具体方式请参考ICF模块化组合阀资料以了解详细信息。

13.2

泵循环风机的热气除霜

应用范例 13.2.1:

泵循环蒸发器，带热气除霜功能

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 气液混合制冷剂
- 低压液体制冷剂

液体管

- ① 截止阀
- ② 过滤器
- ③ 电磁阀
- ④ 止回阀
- ⑤ 手动膨胀阀
- ⑥ 截止阀

吸气管

- ⑦ 截止阀
- ⑧ 电磁阀
- ⑨ 吸气管截止阀

热气管

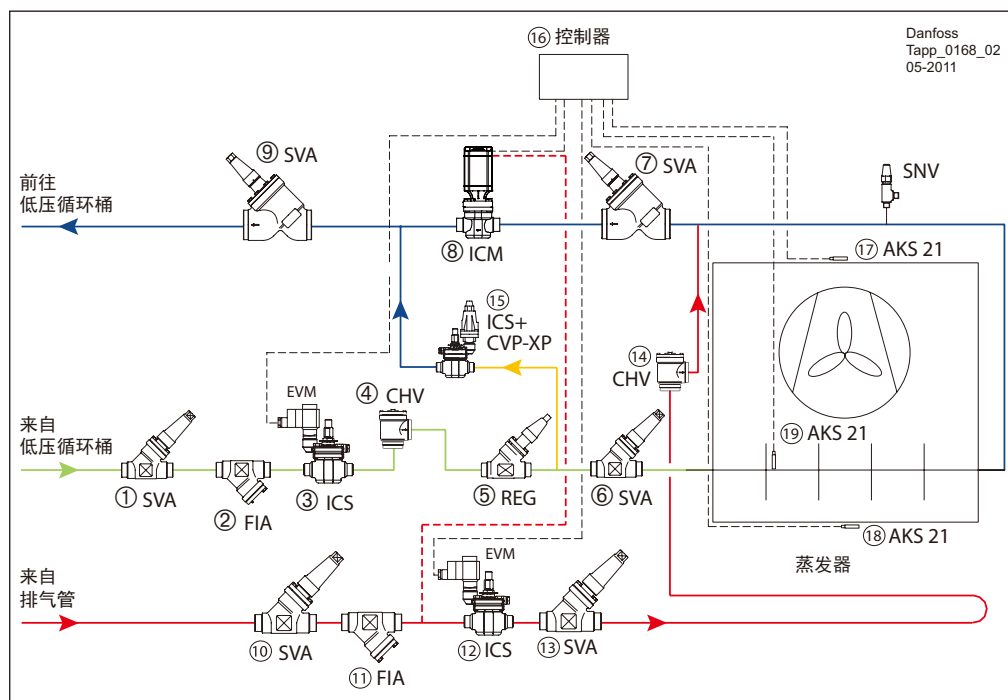
- ⑩ 截止阀
- ⑪ 过滤器
- ⑫ 电磁阀
- ⑬ 截止阀
- ⑭ 止回阀

溢流管

- ⑮ 溢流阀

控制

- ⑯ 控制器
- ⑰ 温度传感器
- ⑱ 温度传感器
- ⑲ 温度传感器



应用范例13.2.1为使用ICV阀进行热气除霜功能控制的泵循环蒸发器简图。

制冷循环

液体管路中的供液电磁阀ICS③保持打开。供液量由手动调节阀REG⑤控制。吸气管中的电磁阀ICM⑧保持打开，除霜电磁阀ICS⑫保持关闭。

除霜循环

除霜循环开始后，供液电磁阀ICS③关闭。风扇保持运转120至600秒(时间取决于蒸发器的尺寸)，以使蒸发器内的液体制冷剂充分蒸发。

风扇停止，ICM阀⑧关闭。

之后有10至20秒的延迟，以便蒸发器内的液体沉淀到底部而不出现蒸发气泡。然后电磁阀ICS+EVM⑫打开，为蒸发器提供热气。

由于热气管路和蒸发器之间的压力差，建议缓慢释放压力，使得在阀完全打开前压力达到平衡，以确保平稳操作，避免吸气管路内产生液击现象。

使用电磁阀ICM⑧的好处之一是除霜压力可通过缓慢地打开该阀来达到平衡。

经济有效的做法是使用ICM开/关模式和选择一个非常慢的开启速度。如果使用调节模式，阀的开度和开启速度完全由PLC进行控制，也可以达到平衡。

在除霜循环期间，来自蒸发器的冷凝热气被注入低压侧。除霜压力由ICS和CVP⑮控制。

当蒸发器内的温度(由AKS 21测量)达到设定值时，除霜终止，电磁阀ICS+EVM⑫关闭，稍稍延迟后，电磁阀ICM⑧打开。

由于蒸发器和吸气管之间的压力差，有必要缓慢释放压力，使得完全打开前压力达到平衡，以确保平稳操作，避免吸气管路内发生冲击现象。

使用电磁阀ICM⑧的好处之一是除霜压力可通过缓慢地打开该阀来达到平衡。经济有效的做法是使用ICM开/关模式和选择一个非常慢的开启速度。如果使用调节模式，阀的开度和开启速度完全由PLC进行控制，也可以达到平衡。

ICM充分打开后，供液电磁阀ICS③打开，开始制冷循环。风扇在一个延迟后启动，以便凝固在蒸发器表面上残留的小液滴。

13.2

泵循环风机的热气除霜(续)

应用范例 13.2.2:

采用完全焊接形式的ICF模块化组合阀的泵循环蒸发器, 带热气除霜功能

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂气液混合物
- 低压气体制冷剂

① 液体管路中的ICF模块化组合阀, 包括:



截止阀模块
过滤器模块
电磁阀模块
止回阀模块
手动膨胀阀模块
截止阀模块

② 截止阀

③ 压力调节阀(电动阀)

④ 截止阀

⑤ 热气管路上的ICF模块化组合阀包括:



截止阀模块
过滤器模块
电磁阀模块
截止阀模块

⑥ 止回阀

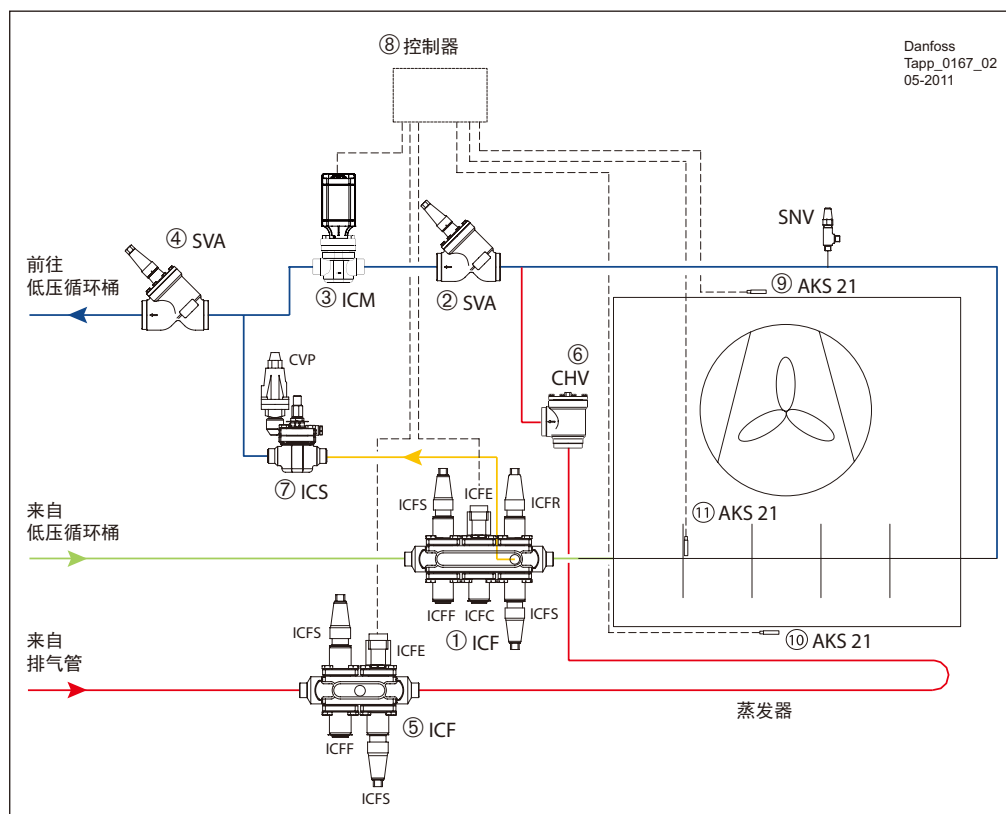
⑦ 压力调节阀

⑧ 控制器

⑨ 温度传感器

⑩ 温度传感器

⑪ 温度传感器



应用范例13.2.2显示了使用ICF模块化组合阀的对带热气除霜功能的泵循环蒸发器简图。

ICF模块化组合阀在同一阀体内能够容纳多达六个不同模块, 为系统提供了一个紧凑、易于安装的控制方案。

制冷循环

液体管路中ICF模块化组合阀①中的电磁阀模块ICFE保持打开, 供液(膨胀)由ICF模块化组合阀①内的手动调节阀模块ICFR控制。

吸气管路中的电动阀ICM③保持打开, ICF⑤内的除霜电磁阀模块ICFE保持关闭。

除霜循环

除霜循环开始后, ICF模块化组合阀①的供液电磁阀模块ICFE关闭。风扇保持运转120至600秒(时间取决于蒸发器的尺寸), 以使蒸发器内的液体制冷剂充分蒸发。风扇停止, ICM阀关闭。之后有10至20秒的延迟, 以便蒸发器内的液体沉淀到底部而不出现蒸发气泡。然后ICF模块化组合阀⑤内的电磁阀模块ICFE打开, 为蒸发器提供热气。

在除霜循环期间, 来自蒸发器的冷凝热气被注入到低压侧。除霜压力由ICS+CVP⑦控制。

当蒸发器内的温度(由AKS 21测量)达到设定值时, 除霜终止, ICF模块化组合阀⑤内的电磁阀模块ICFE关闭, 在稍稍延迟后, 电动阀ICM③打开。

由于蒸发器和吸气管之间较大的压力差, 有必要缓慢释放压力, 使得阀体完全打开前压力先达到平衡, 以确保平稳操作, 避免吸气管内发生液击现象。

使用电动阀ICM③的好处之一是除霜压力可通过缓慢地打开该阀来达到平衡。经济有效的做法是使用ICM开/关模式和选择一个非常慢的开启速度。如果使用调节模式, 阀的开度和开启速度完全由PLC进行控制, 也可以达到平衡。

ICM完全打开后, 在ICF模块化组合阀①内的供液电磁阀模块ICFE打开, 开始制冷循环。风扇在一个延迟后启动, 以便凝固残留在蒸发器表面上小液滴。

Danfoss
Tapp_0167_02
05-2011

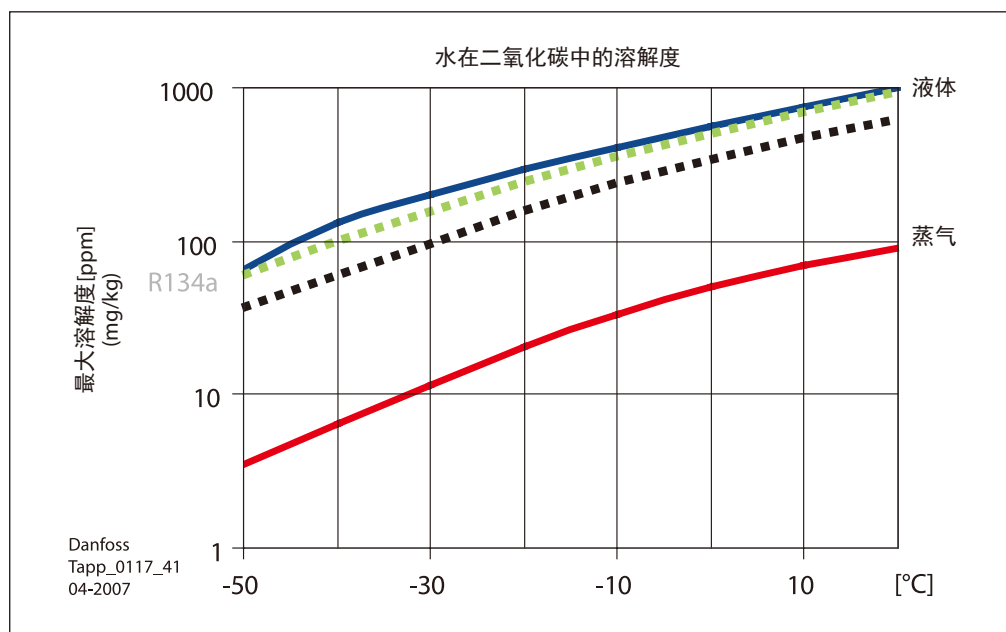
14 二氧化碳系统中的干燥过滤器

在很多情况下，二氧化碳都是一种不很复杂的制冷剂。但是与其他常用的制冷剂相比，它具有一些独有的特征，其中之一就是水在二氧化碳中的溶解性。如下图所示，R134a液体和气体相的可溶性几乎没有差别。但是，如果使用了二氧化碳，二者的区别就会比较大。

当系统中存在水、酸和小颗粒时，在氟系统中发生的变化也同样会出现在二氧化碳系统中，例如颗粒引起堵塞，酸引起腐蚀等。

而且，水溶于二氧化碳的特性也将增加二氧化碳系统结冰的风险。在蒸发器中当液态二氧化碳蒸发时，水溶于制冷剂的能力将大大降低，尤其是在循环比接近1时，这就带来了形成自由水的风险。如果发生此现象且温度低于0℃，则自由水将冻结，而冰晶体将堵塞控制阀、电磁阀、过滤器和其他设备。

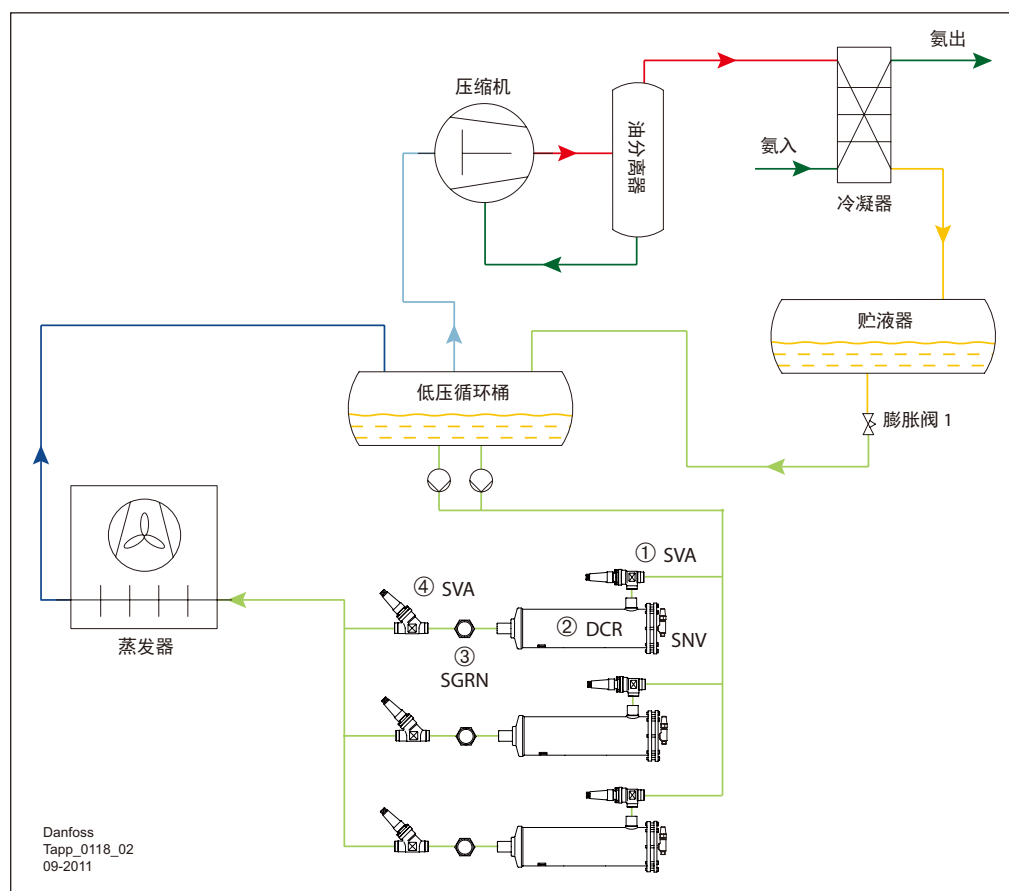
避免出现上述冻结、堵塞以及化学反应等现象最为有效的办法仍然是安装干燥过滤器。而且氟系统中使用的沸石型干燥过滤器也已经被证明对二氧化碳系统同样有效。要在二氧化碳系统中安装干燥过滤器，必须考虑其独特的水溶性。



应用范例 14.1:
二氧化碳液体循环系统中的干燥
过滤器

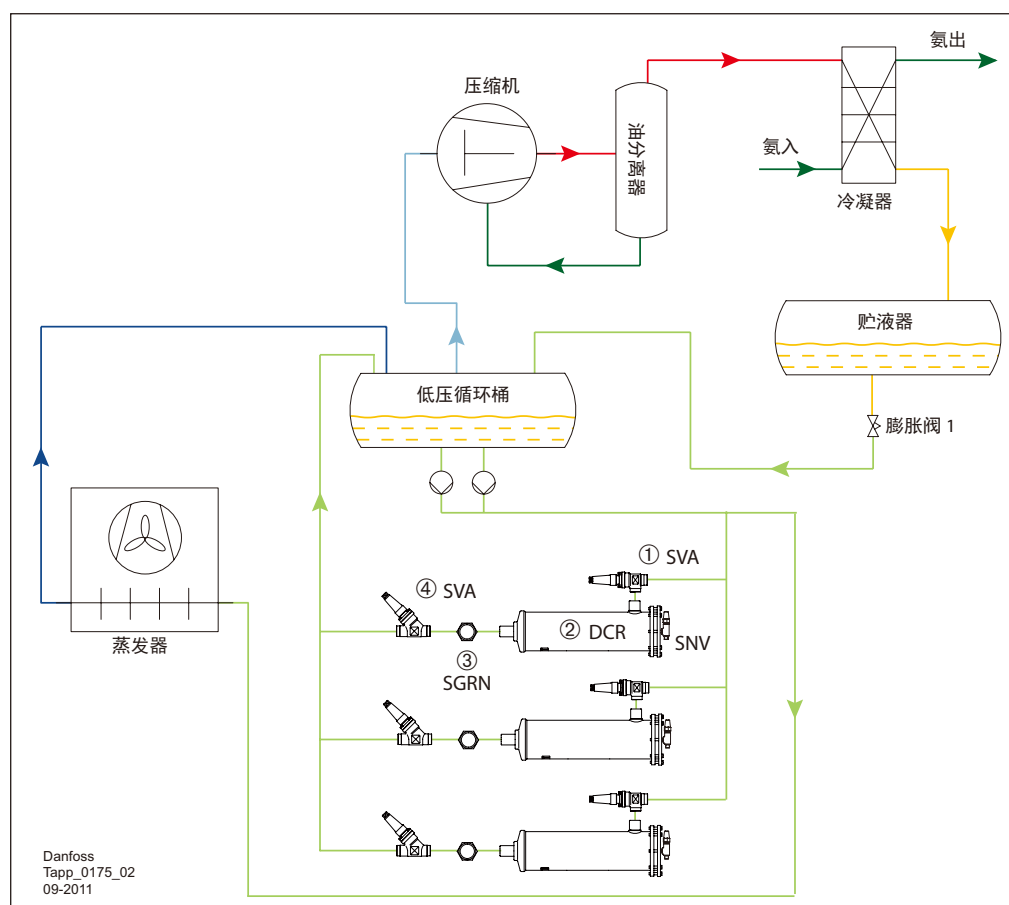
■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂
■ 气液混合制冷剂
■ 低压气体制冷剂
■ 低压液体制冷剂
■ 油

① 截止阀
② 干燥过滤器
③ 视镜
④ 截止阀



■ 高压气体制冷剂
■ 高压液体制冷剂
■ 气液混合制冷剂
■ 低压气体制冷剂
■ 低压液体制冷剂
■ 油

⑤ 截止阀
⑥ 过滤干燥器
⑦ 视镜
⑧ 截止阀



应用范例 14.1:
二氧化碳泵循环系统中的干燥
过滤器(续)

要在二氧化碳系统中安装干燥过滤器, 必须考虑下列标准:

- **相对湿度**
相对湿度应该较高。
- **压降**
干燥过滤器的压降必须很小。而且系统的性能不能受到此压降的干扰和影响。
- **两相流**
应当避免两相流流过干燥过滤器。因为这会增加冻结和堵塞的危险(由于独特的水溶性特征)。

建议在二氧化碳泵循环系统中蒸发器前面的液体管路上安装干燥过滤器。在这些管线上, 相对湿度值比较高, 不存在两相流, 而且对压降不敏感。

建议不要安装在其他位置, 原因如下:

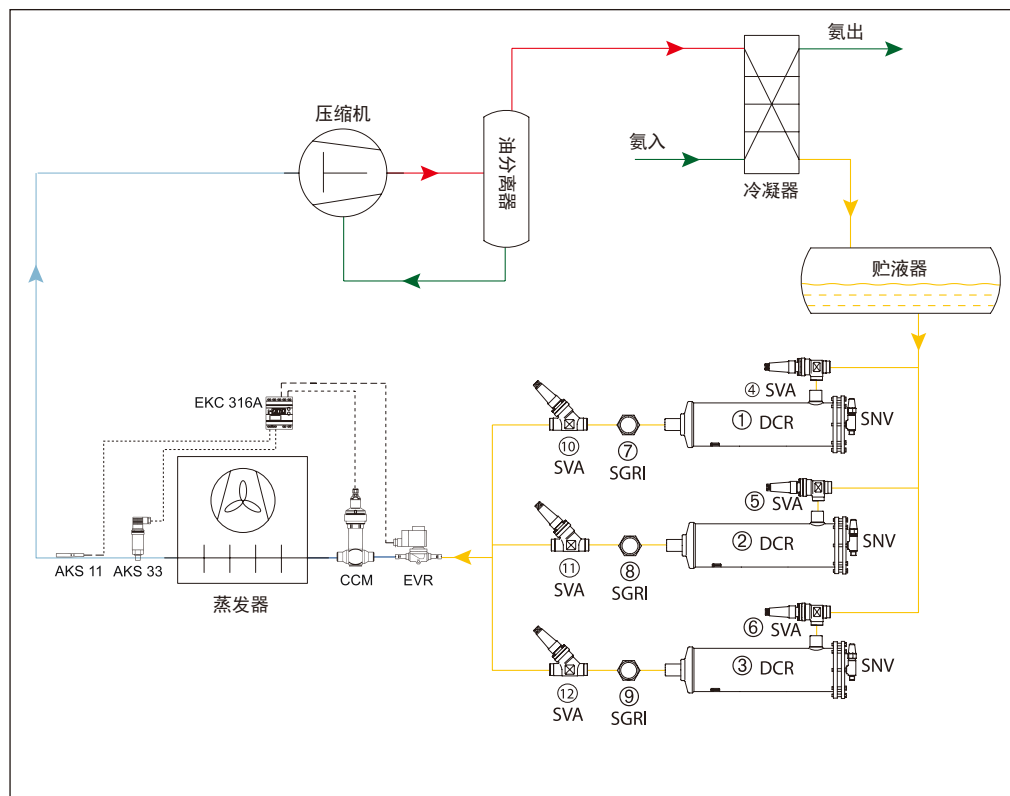
1. 在压缩机-冷凝器-膨胀阀循环中, 相对湿度值比较低。在低压循环桶中, 90%以上的水都是以液相存在的, 因为与液相比, 气体二氧化碳的可溶性比较低。因此, 吸入气体带入压缩机循环的水分很少。如果此循环中安装了干燥过滤器, 那么干燥器的吸水量将会很少。
2. 在湿回气管中, 由于两相流的原因, 存在“冻结”的风险(如上所述)。
3. 在制冷剂泵前面的液体管路中, 压降增加了泵出现气蚀现象的风险。

如果一个干燥过滤器的处理能力不够, 那么可以考虑并联安装多个干燥过滤器。

应用范例 14.2:
二氧化碳系统中的干燥过滤器

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 润滑油

- ① 干燥过滤器
- ② 干燥过滤器
- ③ 干燥过滤器
- ④ 截止阀
- ⑤ 截止阀
- ⑥ 截止阀
- ⑦ 视液镜
- ⑧ 视液镜
- ⑨ 视液镜
- ⑩ 截止阀
- ⑪ 截止阀
- ⑫ 截止阀



在二氧化碳直接膨胀系统中, 整个系统中水的浓度都是相同的, 所以相对湿度取决于制冷剂的水溶性。

尽管由于高温液态二氧化碳较高的水溶性导致膨胀阀之前的液体管线中的相对湿度比较相对较小, 但是我们仍然建议在此管线安装干燥过滤器, 原因如下:

1. 吸气管和排气管对压降比较敏感, 而且吸气管中出现冰冻的风险比较高。因此尽管这里的相对湿度值比较高, 但还是建议不要在此处安装干燥过滤器。
2. 在膨胀阀后面的液体管路, 由于两相流的原因, 也应避免安装干燥过滤器。

15. 丹佛斯二氧化碳亚临界制冷元件



丹佛斯亚临界二氧化碳 - 工业制冷产品部件

如今，丹佛斯可提供广泛应用于工业制冷二氧化碳系统的零部件。

下面所列的大多数零部件已经经过了评估和升级，因此适合在相关技术文件中规定的二氧化碳制冷的压力和温度范围内使用。压力是这些零部件的重要限制因素。

高压二氧化碳制冷应用所需的特殊零部件已经得到了开发。最常用的类型将在下面的部分中依次列出。

工业制冷产品

请注意特殊高压型号通常只根据特殊订单提供，并且应交货时间可能需要相应的延长。

压力设备法规(PED)

丹佛斯主要工业制冷阀均经过核准，符合压力设备法规(PED)以及欧洲标准(CE)并标有CE标记。

丹佛斯亚临界二氧化碳 - 工业制冷产品元件			DN	PS 40 bar [580 psi]	PS 52 bar [754 psi]
主阀, 电磁阀	ICS 1 ICS 3	所有	20-150		
组合阀	ICF	所有	20-40		
ICS导阀	CVP-XP				
	CVP-XP				
	CVC-XP				
	CVP-HP				
	CVPP-HP				
	EVM (NC)				65 bar
	EVM (NO)				
截止阀	SVA-S	所有	6-200		
	SVA-L	所有	15-40		
调节阀	REG-SA/SB	所有	15 - 65		
截止止回阀	SCA-X	所有	15-125		
过滤器	FIA	所有	15-200		
止回阀	CHV-X	所有	15- 125		
电磁阀	EVRS/EVRST	所有	3-20		
	ICS + EVM	所有	20-150		
电子膨胀阀	AKVA	所有	10-20		
	ICM	所有	20-65		
	ICMTS	所有	25		140 bar
	CCMT	所有	15		140 bar
	CCM	所有	15-25		90 bar
安全阀和双座安全阀	SFA	15	-		
	DSV	1, 2	20-32		
	POV	40, 50, 80	40-80		
干燥过滤器	DCRH	高压			46 bar
液位传感器	AKS 4100/4100U	-	-		
气体探测器	GD				

这些产品系列均为标准型号。所有产品经过CE标准检验。

产品必须特殊制造(能达到更高的测试压力，特殊标识和文件记录。)所有产品经过CE标准检验。

15.1

丹佛斯二氧化碳亚临界制冷部件
(续)

商业制冷产品

丹佛斯亚临界二氧化碳 - 商业制冷产品元件		PS 42 bar [609 psi]	PS 46 bar [667 psi]	PS 52 bar [754 psi]	PS 90 bar [1305 psi]	PS 140 bar [2031 psi]
电磁阀	EVR 2 - EVR 15					
	EVUL					
	EVUB					
截止阀(球阀)	GBC 用于 CO ₂					
止回阀	NRV 用于 CO ₂					
电子膨胀阀	AKVH 10					
	AKV 15					
	ETS 12.5 - 100					
	CCM10 - 40					
	CCMT2 - 8					
压力调节阀	ICM15					
	ICV					
	MBR					
干燥过滤器	DCR					
	DML					
	DMT					
视液镜	SG (Inline)					
	SG (Socket)					

这些产品系列均为标准型号。所有产品经过CE标准检验。

产品必须特殊制造(能达到更高的测试压力，特殊标识和文件记录。)所有产品经过CE标准检验。

二氧化碳系统控制器

系统控制器:	AK-CC 550A, AK-CC 750
蒸发器控制器:	EKC 315A, AKC 316, EKD 316, EKC 312
系统控制器:	EKC 331T, AK-PC 530, AK-PC 420, AK-PC 781, AK-PC 840
冷水机组控制器:	AK-CH 650, AK-CH 650A
复叠系统控制器:	EKC 313
压力控制器:	EKC 326A

电磁阀线圈



由于在冷凝器和蒸发器之间存在较高的压力差，对某些应用中电磁阀的最大开启压差(MOPD)要求可能超过标准线圈的能力。

典型应用的示例为：

- 喷液冷却压缩机
- 热气除霜
- 膨胀阀前面的开/关阀(供液阀)

因此丹佛斯提供了MOPD范围高达40 bar 的20W线圈产品。

该20W线圈系列包含了用于24, 110和 230 伏交流电 50 Hz的供电电压的线圈。

16. 附录

16.1

典型制冷系统

制冷系统基本的特征是制冷循环以及向蒸发器供应制冷剂的方式。按照制冷循环划分，工业制冷系统可分为三种类型：

直接膨胀(DX)

这是最基本的循环：压缩 - 冷凝 - 膨胀 - 蒸发。

双级压缩制冷系统

在这种类型的系统中，压缩分为两个阶段，一般由两台压缩机进行。中间冷却器通常用于优化系统性能。

复叠系统

此系统实际上是一个两个复叠的基本循环。高压循环中的蒸发器同时也用作低压循环中的冷凝器。

按照向蒸发器供应制冷剂的方式制冷，制冷系统可以分为以下两种基本类型：

直接膨胀系统

制冷剂的气液混合物在膨胀之后，被直接输送到蒸发器。

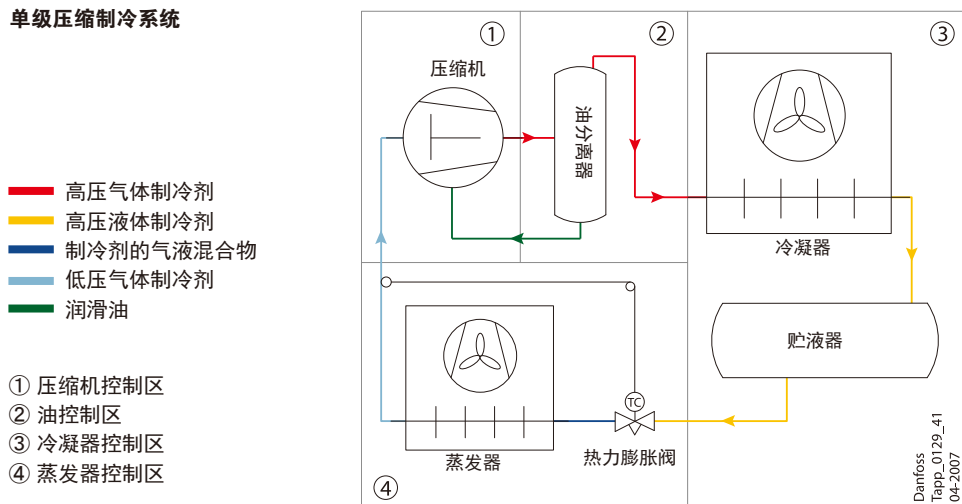
循环系统

制冷剂的液体和气体膨胀后被分离到低压循环桶，然后只将液体输送到蒸发器。液体循环可以是重力循环，也可以是泵循环。

这些类型的制冷系统将通过下列范例进一步说明。

直接膨胀 (DX)
单级压缩制冷系统

图 16.1.1 直接膨胀单级压缩制冷系统



直接膨胀单级压缩制冷系统是最基本的制冷系统，在空调和小型制冷系统中的应用非常广泛，如图16.1.1。压缩机将低压气体制冷剂压缩至冷凝器。在冷凝器中高压气体将冷凝成高压液体，随后高压液体通过热力膨胀阀膨胀到蒸发器。在蒸发器中，低压液体将蒸发成为低压气体并将再次被抽取到压缩机。

油分离器和贮液器虽然与制冷循环无关，但是它们对于控制而言非常重要：油分离器从制冷剂中分离并收集润滑油，再将这些油输送回压缩机。油循环对于保证压缩机的安全高效运行(例如，良好的润滑)而言非常重要。润滑油控制(第6节)对于将油的温度和压力保持在允许的级别上非常重要。

当不同组件的制冷剂含量随着负载而发生变化，或者部分组件由于维护而被关闭时，贮液器可以吸收或释放制冷剂。贮液器还可以将供给膨胀阀的液体制冷剂保持在恒定压力级别上。

热力膨胀阀的开度由过热度控制，这对蒸发器和压缩机的功能而言非常重要：

- 通过在蒸发器出口位置保持恒定过热度，热力膨胀阀能够根据负载量向蒸发器提供适量的液体制冷剂。
- 一定的过热度可以确保只有气体才能进入压缩机吸气管。吸气管的液滴会导致液击，这就相当于敲打压缩机。

请注意，热力膨胀阀只能保持恒定的过热度，而不能保持恒定的蒸发温度。值得一提的是，如果没有其他的控制，则蒸发温度将随负载的增减而升降。由于保持恒定的蒸发温度是为了制冷，所以其他的操作也还是必要的，如压缩机控制和蒸发器控制。**压缩机控制**可以调整系统的制冷能力；**蒸发器控制**可以确保有适量的制冷剂流入到蒸发器。有关这两种控制的详细内容，请分别参阅第2节和第5节。

理论上冷凝温度越低，制冷效率越高。但是在直接膨胀系统中，如果贮液器中的压力过低，则膨胀阀的压差就会过低，以至于无法提供足够流量的制冷剂。因此如果直接膨胀系统的冷凝能力可能会变化很大，那么控制器必须设计为能够防止过低的冷凝压力。这在**冷凝器控制**(第3节)中有详细论述。

直接膨胀主要的缺陷是效率较低，由于需要保持一定的过热度，因此：

- 蒸发器的部分热交换面积被气体占据，因此热传输效率较低。
- 压缩机压缩过热度气体消耗的能量比压缩饱和气体消耗的能量要多。

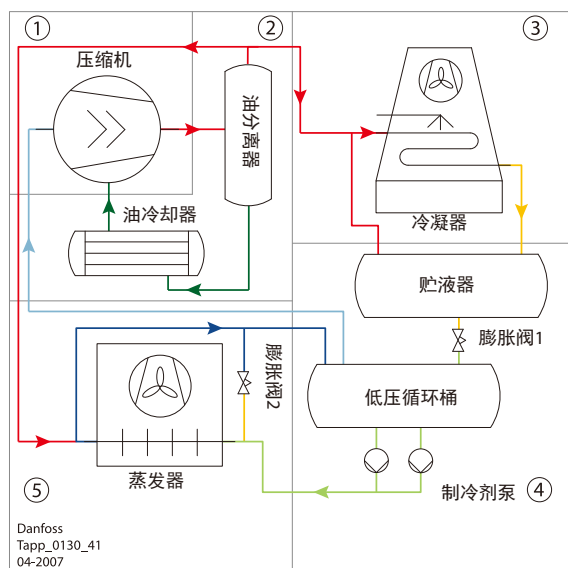
特别是在低温制冷设备或大型制冷设备中，这个缺陷尤其严重。在这些制冷系统中，循环系统往往设计为泵循环或自然循环以节省能源。

单级压缩泵循环制冷系统

- 高压气体制冷剂
- 高压液体制冷剂
- 制冷剂的气液混合物
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂
- 润滑油

- ① 压缩机控制区
- ② 油控制区
- ③ 冷凝器控制区
- ④ 液位控制区
- ⑤ 蒸发器控制区

图16.1.2带有泵循环和热气除霜的单级压缩制冷系统



单级压缩制冷系统的管路(如图16.1.2所示)与图16.1.1所示的直接膨胀系统有很多相似之处。主要的区别是：在此系统中，进入压缩机吸气管的制冷剂气体是饱和气体而不是过热度气体。

这是由在蒸发器和压缩机之间安装的低压循环桶所造成的。在低压循环桶中，气液混合物中的液体有一部分来自蒸发器，一部分来自膨胀阀1。只有饱和气体才能进入压缩机吸气管，同时制冷剂泵只将液体送入蒸发器。

由于吸入气体没有过热，因此蒸发温度将会低于直接膨胀系统的温度。由于压缩机同等功率下没有过热度的系统可以得到更低的蒸发温度，因此该系统中压缩机的工作效率更高。如果蒸发器的表面面积全部用来冷却而没有部分用来过热制冷剂，蒸发器将提供更大的容量。因此，循环系统比相应的直接膨胀系统更加有效。

冷凝器入口和贮液器间的管路用来均衡压力，以确保冷凝器中的冷凝液体能够顺畅地流入贮液器。

在泵循环系统中，保持泵正常运转非常重要，即不能意外中断泵的运行。因此泵控制非常重要，确保泵拥有合适的压差，保证有持续的供液以及泵状况不会受损。此主题在第7节中有详细论述。

由于在泵循环系统中没有过热度，因此无法用热力膨胀阀来控制。

膨胀阀1的控制一般由低压循环桶的液位或者贮液器/冷凝器的液位来决定。这也是所谓的液位控制，有关详细信息，请参阅第4节。

如果该蒸发器采用翅片和管路设计且在空气中使用，并且该蒸发温度低于0℃，蒸发器表面将结一层霜/冰，这来源于空气中存在的水/湿气。必须定期清除霜/冰层，否则将限制流过蒸发器的气流流动并减少蒸发器容量。

可以使用的除霜方法是热气、电热、空气和水。在图16.1.2中，使用热气除霜。压缩机的部分热气可用于蒸发器除霜。

热气使蒸发器变暖并融化蒸发器上的冰层，同时热气冷凝成高压液体。利用溢流阀，可使高压液流通过吸气管回流到低压循环桶中。

热气除霜仅适用于至少包含三个并联蒸发器的系统。

在除霜时，必须保证至少有2/3的蒸发器(按容量)和最多有1/3的蒸发器用于除霜，否则将没有足够的热气供除霜过程使用。

在制冷循环和除霜循环之间进行转换的方法在“蒸发器控制”一节(第5节)中有详细论述。

双级压缩制冷系统

典型的双级压缩制冷系统如图16.1.3所示。贮液器中的部分液体制冷剂首先膨胀为中间压力，然后蒸发，用以冷却中间冷却器中的另外一部分液体制冷剂。

随后，中间低压级压缩机排气到中间冷却器，经过冷却后，进入高压级压缩机。

这样一来就可以节省吸气压力中部分气体压缩到中间压力的能量，从而降低了高压压缩机的排气温度。

所以效率高而排放温度低的双级压缩制冷系统尤其适合于低温制冷系统。

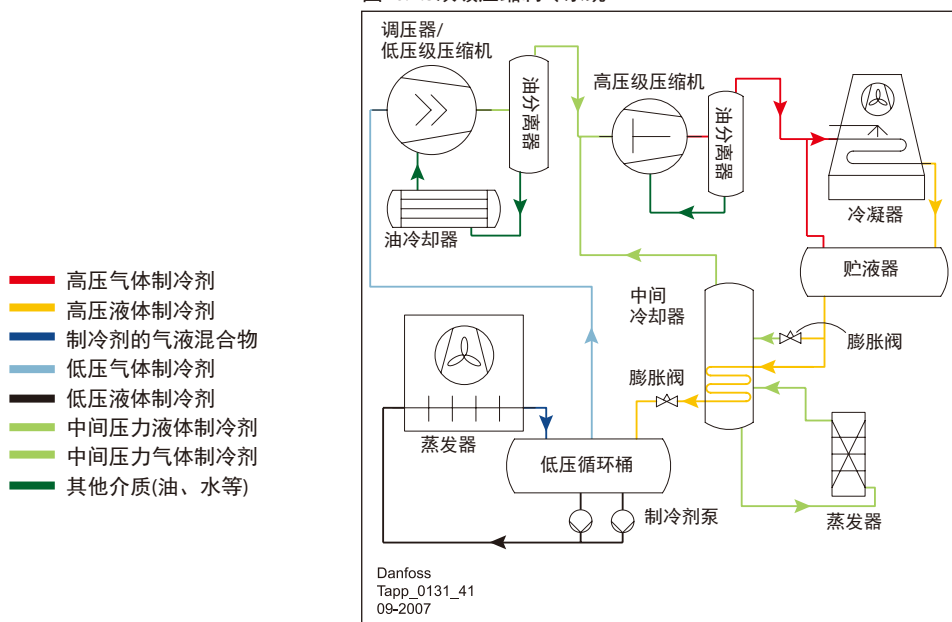
中间冷却器也可以向中间温度蒸发器提供制冷剂。在图16.1.3中，中间冷却器通过重力循环向板式蒸发器提供制冷剂。

与泵循环相比，重力循环是通过蒸发器中的热虹吸效应而不是通过泵进行驱动的。重力循环较为简单且可靠性强(取决于泵是否出故障)，但总的来说传热性能没有泵循环好。

双级压缩制冷系统可能在理论上比较高效。然而很难找到一种既适合高温又适合低温制冷系统的制冷剂。

在高温下，制冷剂的压力将会变得很高，从而对压缩机提出了很高的要求；在低温下，制冷剂压力有可能是真空，这将导致空气更多地泄漏到系统中(系统中的空气会降低冷凝器换热性能。参阅第9.3节)。因此，对于低温制冷系统而言复叠系统可能是一个比较好的选择。

图16.1.3双级压缩制冷系统



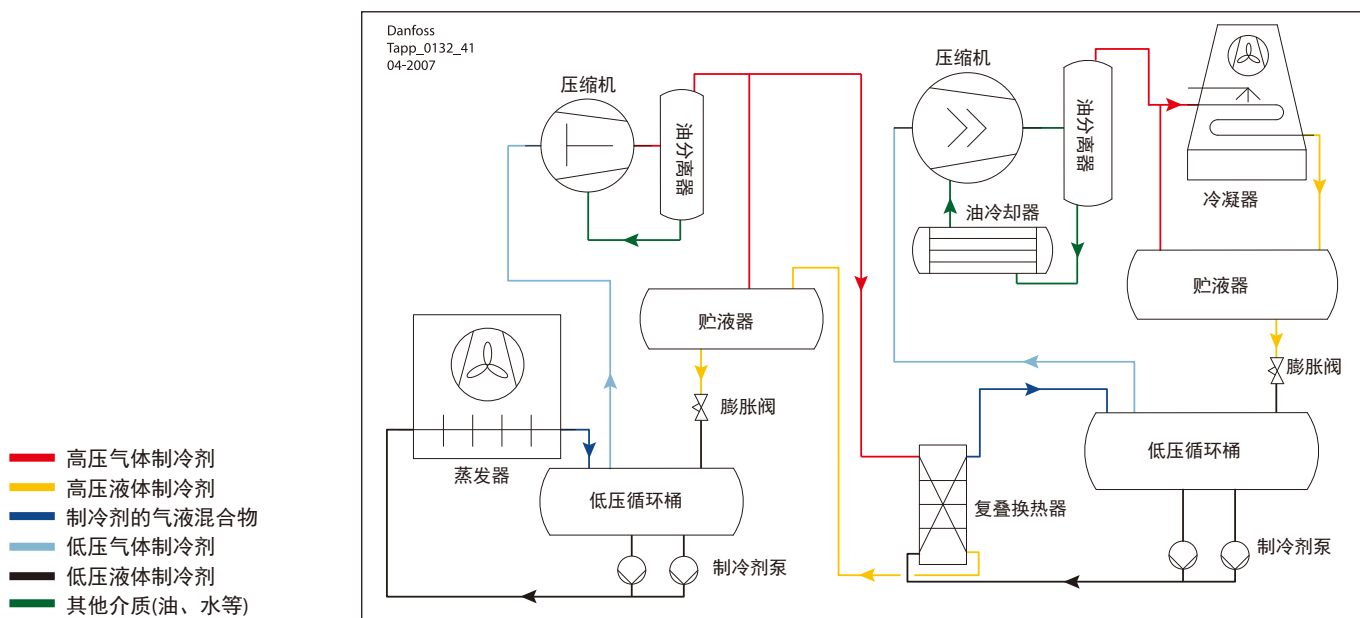
复叠系统

复叠系统由两个单独的制冷系统组成，如图16.1.4所示。一个复叠冷凝器将两个管路连接在一起，这个冷凝器既作为高温循环的蒸发器使用，也作为低温循环的冷凝器使用。

两个循环的制冷剂可以不同，并针对每一个管路进行优化。例如高温循环可以使用氨作为制冷剂，而低温循环则可以使用二氧化碳作为制冷剂。

这个二氧化碳/氨复叠系统所需的氨充注量比较少，而且与类似的双级氨系统相比，用在低温制冷中的效率更高。

图16.1.4复叠制冷系统



17
ON/OFF 与调幅控制

下面详细阐述了ON/OFF双位控制和调幅控制的基本理论。目的是使读者对控制理论和用到的技术术语

有一个基本的认识 and 了解。此外我们还给出了一些实用的建议。

缩写与定义	P 比例控制 I 积分控制 D 微分控制 PB P、PI或PID控制器中的比例范围[%]用百分比表示，过程变量(PV)，需要改变，以便让控制器将输出(y)范围在0~100%之间进行变化 K_p P、PI或PID控制器中的放大系数 T_i PI或PID控制器中的积分时间[s] T_d PID控制器中的微分时间[s] PID 典型的控制器，包含P、I和D功能 SP 设定值 PV 过程变量(受控参数：温度、压力、液位等) 偏移量(x) 设定值(SP)与过程变量(PV)的差值 y 控制器计算后的输出量 延迟时间 如果过程变量(PV)测量是物理安装的，因此信号总是有一个时间延迟，对比而言，如果过程变量(PV)测量是本地安装的，则没有延迟。
-------	--

17.1 ON/OFF 控制

在某些情况下，实际操作中的控制应用可以通过ON/OFF控制实现。这意味着调节装置(阀门，温度控制器)只能有两种位置：接触点关闭或打开。这种控制原理就叫做ON/OFF控制。以前ON/OFF曾广泛在制冷行业，尤其是装有温度控制器的冷冻机中使用。

但是ON/OFF原理也可以用在使用PID原理的高级系统中，例如ON/OFF阀(丹佛斯AKV/A型)通过专用电子控制器上的PID控制可用参数来控制过热度。(丹佛斯EKC 315A型产品)

ON/OFF控制器仅在某些给定的限定值范围内起作用，例如最大和最小值。如果超出这些限定值，则ON/OFF控制器将无法采取任何措施。

一般来说，使用ON/OFF的原因包括：

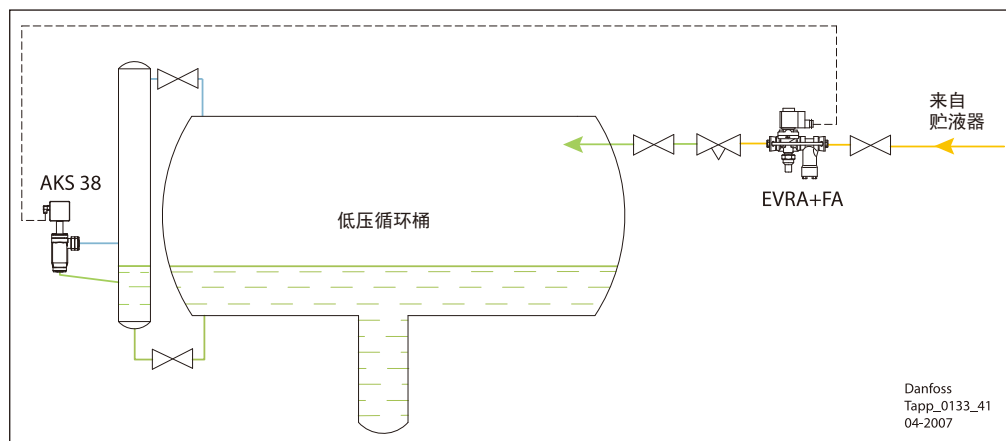
- 价格低廉，较为简单，不包含反馈回路。
- 如果ON/OFF设备正在运转，而PV稍微有一点偏离SP，这种情况是可以接受的。
- 受控参数有足够的容量，ON/OFF操作不会对PV有任何影响。
- 对于存在延迟时间的系统，ON/OFF控制有一定的优势。

在ON/OFF系统中，用户将得到一个反馈，这与调幅系统类似，但是ON/OFF系统的特点是：PV将发生变化，而系统无法消除任何偏移量。

17.1.1 ON/OFF 控制范例

为了控制处于最小和最大液位之间的液位，可以使用ON/OFF装置，如丹佛斯AKS 38型。AKS 38是一个浮球开关，能够控制ON/OFF电磁阀的开关。

- 高压液体制冷剂
- 低压气体制冷剂
- 低压液体制冷剂

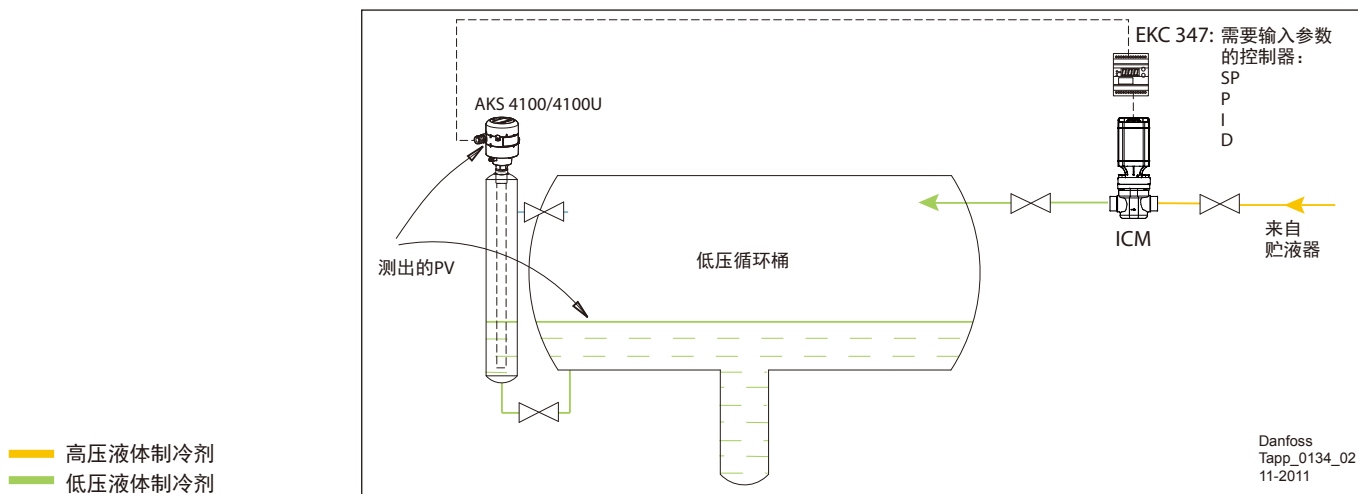


17.2 调幅控制

调幅控制与ON/OFF系统之间的主要区别就是：当PV发生变化时，调幅系统会不断地作出反应。

而且，使用电子控制器能够比较灵活地改变不同的控制参数，例如P、I和D。这就为用户提供了很大的灵活性。这一点非常有用，因为用户可以对控制器进行调整以适应不同的应用。

调制控制的范例



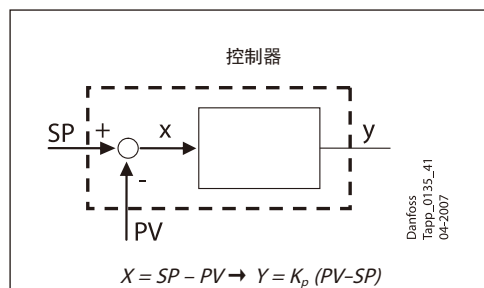
P、I和D基本原理

一般来说，在常用的控制器中，此工具(调制控制)通常用于调整P、PI或PID设置的参数。

- 在 P 控制器中，可以调整：PB或 K_p ;
- 在 PI 控制器中，可以调整：PB或 K_p 和 T_i ;
- 在 PID 控制器中，可以调整：PB或 K_p 和 T_i 以及 T_d 。

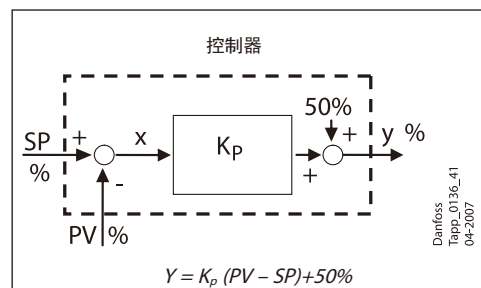
P-控制器

在每个控制器中，都有一个 P 组件存在。在P-控制器中，输入和输出之间存在线性关系。



实际的P-控制器设计宗旨是：当 $SP=PV$ 时，控制器必须提供一个与系统的正常负载相对应的输出。

通常情况下，这就意味着：输出将是最大输出的50%。例如为了保持SP不发生变化，自动调节阀必须以50%的开启角度超时运转。



有些控制器不使用PB，但使用 K_p 。

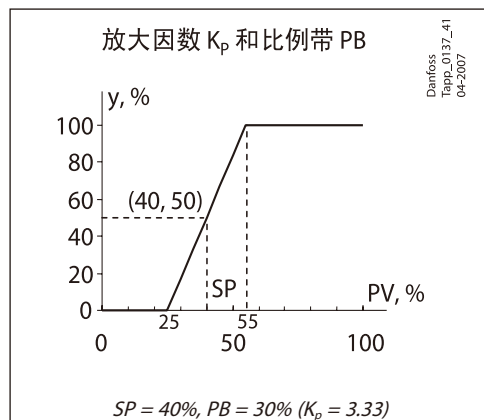
PB和 K_p 之间的关系是：

$$PB[\%] = 100/K_p$$

请注意：PB可以大于100%，相对而言， K_p 则小于1。

17.2 调幅控制(续)

P-控制器(续)



当PV=SP=40%时, 调节器提供输出值(y)达50%。(这是指阀门的打开角度为50%)。

如果PV增加至46%, 那么PV和SP间将偏差6%。当假定 K_p 为3.33, 6%的偏差指输出增加了 $6\% \times 3.33 = 20\%$, 也就是说, 如果PV增加至46%, 那输出就增加至 $50\% + 20\% = 70\%$ 。

6%的偏差是P调节器无法避免的, 所导致的偏差是由P调节器的基本功能造成的。

为了实现最小偏差, 调节装置(阀门)以便保证调节器的输出(y)可以控制流程, 使其等于标准的平均负载, 这一点很重要。这样一来, 偏差量将会越来越小, 而且最终将趋向于零。

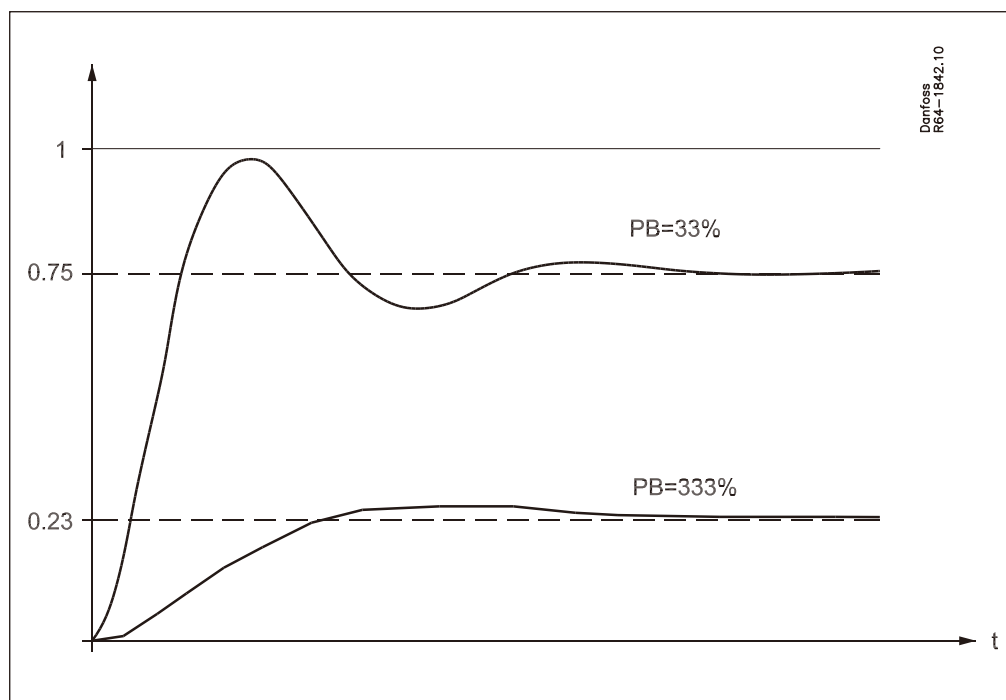
P-控制器调整特点

P是基本的控制组件。在大多数情况下, P将建立永久性的偏移, 这个偏移可以是微乎其微的小, 也可以是异乎寻常的大。但是有P控制器总比没有要好(没有反馈, 没有闭环)。

下图说明了直接P控制循环的普遍有效性。它显示了当P控制循环受SP影响, 增加了+1个单位的情况下, PB=33%和PB=333%的循环的不同反应。

PB 的变化有两个重要的结果:

- PB减小(放大系统较大), 偏移量较少, 即负载变化的效果更好, 但是出现波动的可能性也将增加。
- P-波段(放大系统较小), 偏移量较多, 但是出现波动的可能性则有所降低。
- PB较小意味着: 从理论上讲, 接近于ON/OFF控制。



17.2

调幅控制(续)

I-控制器

I-控制器最重要的特点：它能清除偏移量，这也是使用该控制器的原因。只要存在偏移，I-控制器就会持续改变其输出。但是与实际情况相比，完全清除偏移的能力是成一定比例的。

I-控制器清除偏移量的良好特性也有负面的影响：它会增加控制循环中出现波动的可能性。

基本上来说，P-控制器波动的可能性要低于I-控制器。

对于负载量的变化，I-控制器的抵制能力要低于P-控制器。

PI 控制器

P 和 I 优势互补，二者组合到一起组成PI-控制器，就能体现出强大的优势。

在PI 控制器中，可能要调整以下参数：PB 和 T_i 。 T_i 通常输入秒或分钟。

当需要填写 T_i 时，需要在稳定性与消除偏移量之间取得一个平衡。

T_i 降低(积分影响增大)说明偏移量的清除操作加快，但是也增加了发生波动的可能性。

D-控制器

D-控制器(导数)最重要的特征：它可以对变化作出反应。这同时也说明：如果偏移量恒定，那么D-控制器将无法采取任何措施来清除偏移量。D-组件使系统能够迅速地回应负载的变化。

D 效应提高了稳定性并使系统处理速度较快。这对于偏移量而言没有任何意义，但能够降低发生波动的可能性。D 会对错误的变更作出反应。对于负载变化，循环的反应速度要比没有D 的情况下快。对变更的快速反应说明了发生波动的情况减少。

在受D 影响的控制器中，可以调整 T_d 。 T_d 通常输入秒或分钟。

必须注意：不能使 T_d 太大，因为太大(例如当SP 改变时)的影响将是巨大的。在设备的启动过程中，直接去除D 影响可能会比较有利。($T_d=0$)

上述内容说明任何情况下都不能单独使用D 控制器。其典型应用是：发挥其抑制波动的功能，与PD 或PID 组合使用。

PID-控制器

将三种组件组合为一个PID 控制器已经成为一种普遍的用法。

PID 的一般准则/特性：

- PB 下降改进了偏移量(偏移量较少)，但是稳定性有所下降。
- I 组件能够清除偏移量。I 越大(T_i 越小)，偏移量的清除速度就越快。

■ I 组件增加了波动的可能性。D 组件抑制了出现波动的可能性，并使控制加速。

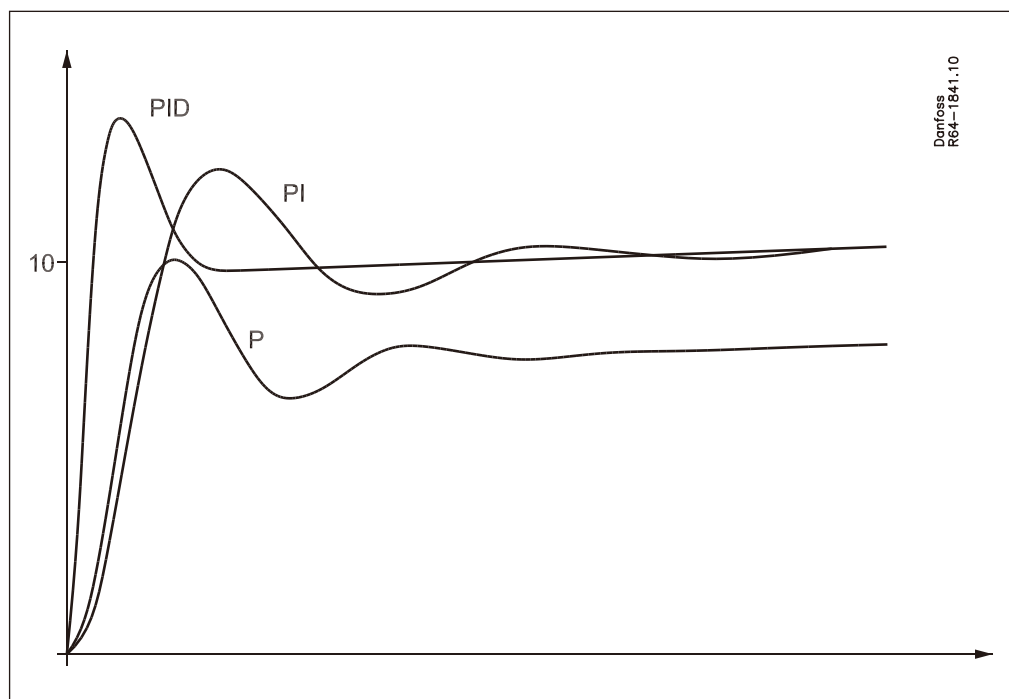
■ D 越大(T_d 越大)，影响就越大，但不会超过一个特定的限定值。 T_d 值太大意味着它对一个突发的变化反应过于强烈，从而使得控制循环变得不稳定。

17.2
调幅控制(续)

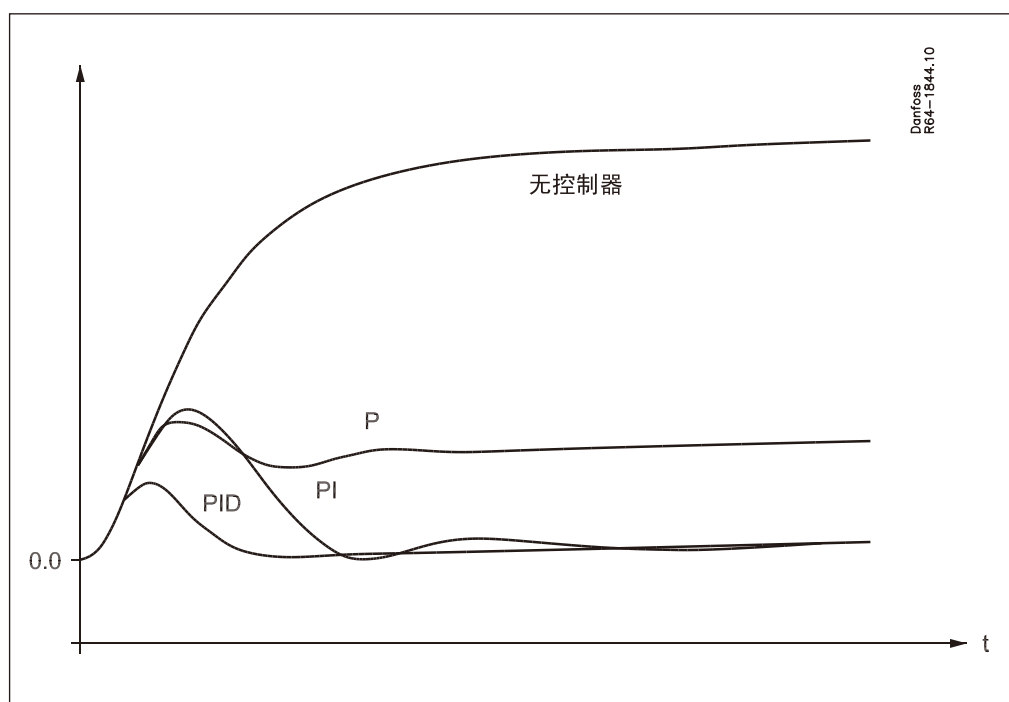
典型的 PID 瞬间状态曲线 1: 最佳的 PID 设定值

设置情况:

	PB	T_i	T_d
P	66.7 %	-	-
PI	100 %	60 s	-
PID	41.7 %	40 s	12 s



上面显示了不同的控制原理, 当受SP影响时, 增加1个单位。



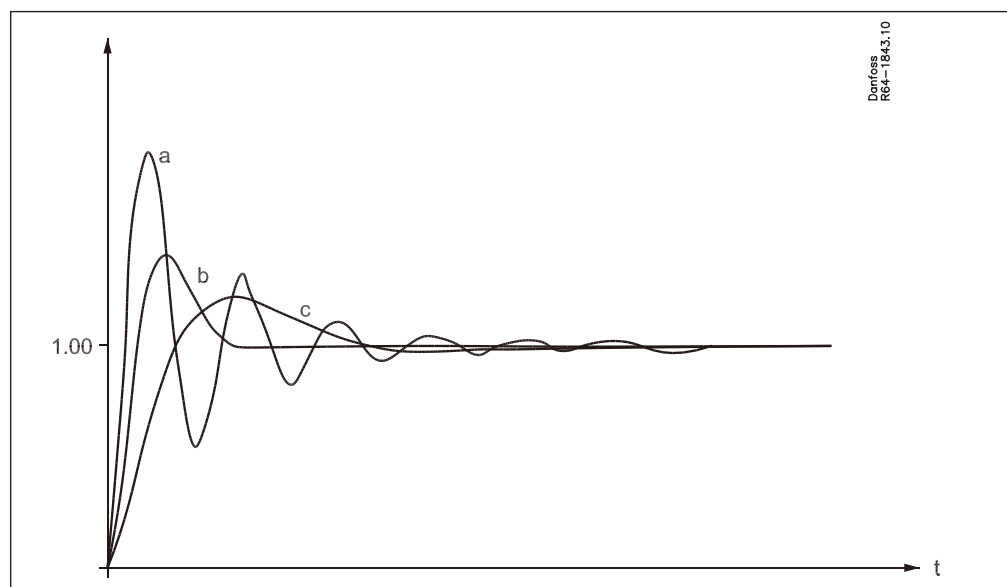
设置如上, 负载变化 1。

17.2 调幅控制(续)

典型的 PID 瞬间状态曲线 2: PB 变化

设置情况:

	PB	T_i	T_d
PID-a	25.0 %	40 s	12 s
PID-b	41.7 %	40 s	12 s
PID-c	83.3 %	40 s	12 s



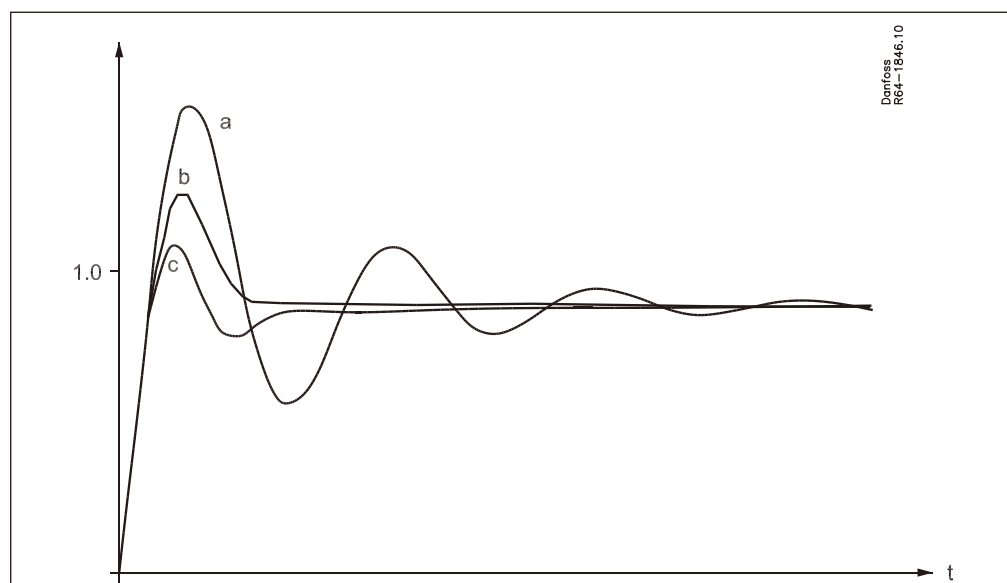
以上显示了当 PID 控制的 PB 变化受到 SP 影响时, 会出现+1个单位的变化。由上面的信息, 可以清楚地

看到, 当 PB 太小时, 系统将变得非常不稳定(摇摆不定)。当 PB 太大时, 系统将变得很慢。

典型的 PID 瞬间状态曲线 3: T_i 的变化

设置情况:

	PB	T_i	T_d
PID-a	41.7 %	20 s	12 s
PID-b	41.7 %	40 s	12 s
PID-c	41.7 %	120 s	12 s



以上显示了在受到 SP 影响, 发生 +1 个单位的改变时, PID 控制的 T_i 的变化情况。由上面的信息, 可以很清楚地看到: 当 T_i 太小时, 系统将变得非常不稳

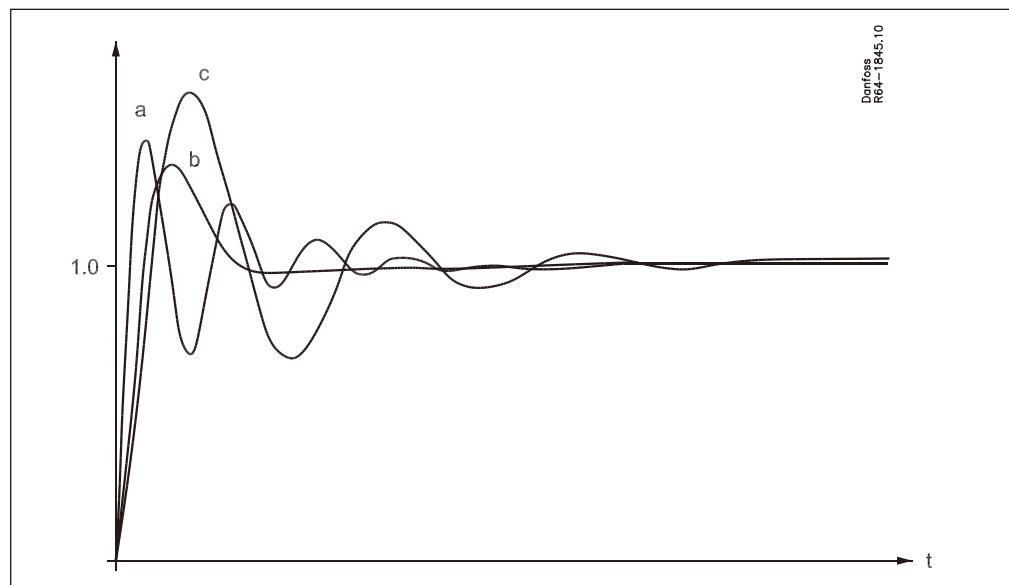
定(摇摆不定)。当 T_i 太大时, 需要花费很长的时间来清除最后的偏移量。

17.2
调幅控制(续)

典型的 PID 瞬间状态曲线 4: T_i 的变化

设置情况:

	PB	T_i	T_d
PID-a	41.7 %	40 s	24 s
PID-b	41.7 %	40 s	12 s
PID-c	41.7 %	40 s	6 s



以上显示了在受到SP影响，发生+1个单位的改变时，PID控制的 T_i 的变化情况。由上面的信息，我们可以清楚地看到：无论 T_d 是太大还是太小，与最佳

值($T_d=12$)相比，系统的稳定性都会大大降低(摇摆不定)。

注释

注释

