

文章编号: 1671-6612 (2021) 05-738-04

# 氨制冷装置用压力容器的安全阀泄放管设计

熊从贵<sup>1</sup> 胡家扬<sup>2</sup> 何 静<sup>1</sup> 宋玲丽<sup>1</sup>

(1. 台州龙江化工机械科技有限公司 温岭 317500;  
2. 台州市特种设备检验检测研究院 台州 318000)

**【摘 要】** 针对现行标准对氨制冷装置的安全阀泄放管的要求, 结合氨制冷装置的特点, 通过计算, 发现泄放管的当量长度较大时, 选用常规的弹簧式安全阀存在背压较大的风险, 影响安全阀的正常工作。提出应根据制冷装置的实际情况校核安全阀的选型, 提出了不同情况下安全阀泄放管设计的参考方案。

**【关键词】** 氨; 制冷装置; 安全阀; 泄放管  
中图分类号 TB65 文献标识码 B

## Design of Discharge Pipeline for Safety Valve of Pressure Vessel for Ammonia Refrigerant Equipment

Xiong Conggui<sup>1</sup> Hu Jiayang<sup>2</sup> He Jing<sup>1</sup> Song Lingli<sup>1</sup>

(1. Taizhou Longjiang Chemical Machinery Science and Technology Co., Ltd, Wenling, 317500;  
2. Taizhou Special Equipment Inspection and Testing Institute, Taizhou, 318000)

**【Abstract】** According to the requirements of the current standard for the discharge pipeline of safety valve in ammonia refrigerant equipment, combined with the characteristics of ammonia refrigerant equipment, through calculation, it is found that when the equivalent length of the discharge pipeline is large, there is a risk of back pressure is larger when using conventional spring-type safety valve, which affects the normal operation of the safety valve. It is suggested that the selection of safety valve should be checked according to the actual situation of refrigerant equipment, and the reference scheme for the design of discharge pipeline of safety valve under different conditions is put forward.

**【Keywords】** ammonia; refrigerant equipment; safety valve; discharge pipeline

## 0 前言

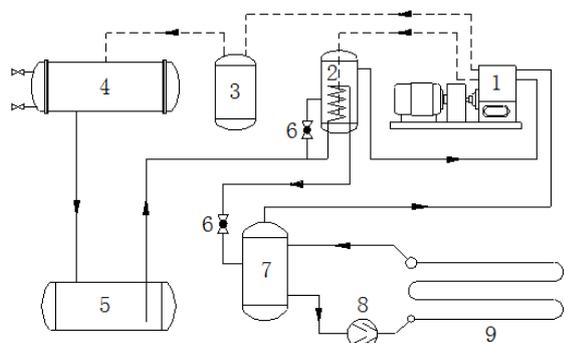
安全阀是保障压力容器、压力管道等承压设备不发生超压破坏的重要保护装置, 安全阀泄放管则是在安全阀开启后, 将承压设备内泄放的介质输送到指定位置的输送管道。GB 50072-2010《冷库设计规范》<sup>[1]</sup>和 AQ 7015-2018《氨制冷企业安全规范》<sup>[2]</sup>均规定氨制冷系统安全阀的泄放总管出口采取对空排放, 排放口应高于周围 50m 范围内除冷库以外的最高建筑物的屋脊 5m。安全阀通常设置在制冷系统机房内的压力容器和压力管道上, 机房的高度一般不超过 8m, 周围 50m 范围内存在比机房

更高的建筑物是常见的, 在这种情况下要将泄放总管的排放口设置成高于最高建筑物屋脊 5 m, 无疑是很难以实现的, 因此, 几乎没有单位按此要求施工, 标准的本条规定形同虚设。GB/T 150.2-2011《压力容器 第 1 部分: 通用要求》<sup>[3]</sup>规定易爆或者毒性程度为极度、高度、中度危害介质不能排到大气中, 应将泄放介质引至安全地点进行妥善处理; GB/T 9237-2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》<sup>[4]</sup>规定制冷剂可以妥善排放到大气中, 但是排放口必须远离建筑物的新风口, 或者采用适量的吸收物质进行吸收处理; GB 50072-201X《冷库设计法规范》

(报批稿)<sup>[5]</sup>规定氨制冷系统的安全阀泄压管出口应高于周围50m范围内的除冷库以外的最高建筑物屋脊5m,如不能满足此要求的,则应将泄压管的出口接入氨吸纳水池内进行处理。文献[3]提出了与文献[1,2]完全不同的要求,文献[4,5]则提出了另一种可操作的解决方案,并规定了详细的技术措施。

## 1 氨制冷系统的特点

氨制冷装置用压力容器是用于制冷循环的辅助设备,用于贮存、分离氨制冷剂,达到优化制冷循环的目的。制冷循环由压缩、冷凝、膨胀、蒸发4个基本过程单元组成,氨制冷剂在封闭的制冷系统中反复实现制冷剂的压缩、冷凝、膨胀、蒸发。



1—制冷压缩机; 2—中间冷却器; 3—油分离器;  
4—冷凝器; 5—贮液器; 6—膨胀阀; 7—低压循环桶;  
8—泵; 9—蒸发器

图1 双级压缩制冷循环

Fig.1 Two-stage compression refrigeration cycle

根据氨制冷剂在制冷系统中的工作压力不同,将制冷系统分为高压侧和低压侧。图1是典型的双级压缩制冷循环示意图,膨胀阀是制冷系统高压侧和低压侧的分界点,制冷压缩机高压级排气口至膨胀阀入口之间的装置为高压侧,膨胀阀出口至制冷压缩机高压级吸气口之间的装置为低压侧。制冷系统正常工作时高压侧的工作压力一般等于制冷剂冷凝温度下的饱和蒸气压力,通常氨的冷凝温度不高于36℃,即工作压力为1.3MPa;低压侧的工作压力一般等于制冷剂蒸发温度下的饱和蒸气压力,而蒸发温度则由制冷工艺确定,通常在-15℃~-45℃之间,即低压侧的工作压力通常低于0.2MPa。制冷系统高压侧和低压侧的工作压力不相同,设计压力、安全阀的整定压力也不相同,且相

差较大,通常低压侧安全阀的整定压力在1.4MPa左右,高压侧安全阀的整定压力在2.1MPa左右。

## 2 背压对安全阀性能的影响

背压是安全阀排放口处的压力,由排放背压和附加背压组成,泄放介质流经安全阀及其排放系统在安全阀的出口处形成的压力为排放背压,安全阀出口处存在的由其他压力源在排放系统中引起的静压力为附加背压<sup>[6]</sup>。文献[7]分析了背压对安全阀开启压力、排放压力、回座压力和排放量的影响。对于直接载荷式安全阀,背压的存在会导致开启压力、排放压力和回座压力升高,压力升高值等于背压;对于平衡式安全阀和先导式安全阀,背压对开启压力没有影响,但排放压力和回座压力均会降低。在临界条件下对排放量没有影响,但在亚临界条件下,背压增加则排放量减少。文献[8]分析了背压对弹簧式安全阀开启压力和排放量的影响。对于非封闭式弹簧安全阀,背压使安全阀的开启压力减小;对于封闭式弹簧安全阀,背压使安全阀的开启压力增加。该文献还提出:安全阀开启后,因泄放介质流动产生积聚背压,安全阀后的总背压会升高,当总背压小于临界流动压力时为临界流动,通过安全阀阀嘴的理论排放量由阀前的绝对压力决定,与阀后压力无关;当背压超过临界流动压力时,排放量会减小。文献[9]通过对弹簧式安全阀带背压排放和大气排放的对比试验,发现背压会导致安全阀的整定压力、回座压力、排放压力升高,排放量减少,但整定压力、回座压力、排放压力的升高值均小于背压,且差值较大。

## 3 制冷压力容器安全阀排放系统的背压计算

文献[5]对安全阀泄放总管出口的处理方法作出了具体规定,要求接入氨吸纳水池内的泄压管出口应在水面下靠近池底处,距离水面最深不超过9m,此时泄压管出口处的液体静压力为88000Pa。目前,通常是同一氨制冷系统的多个安全阀泄放支管串联在一根泄放总管上,泄放总管的流通面积较小,不能满足标准、规范的要求。另外,安全阀泄放管的弯头太多,一个弯头紧接着一个弯头,泄放介质在泄放管内的流动阻力较大。下面举例计算泄放介质在泄放管内的流动阻力。

举例：安全阀型号 A42F-25C，公称直径 DN32mm，安全阀整定压力 2.05MPa，泄放管内径 39mm，泄放介质为氨，泄放管当量长度取  $L=30\text{m}$ 。对于  $\phi 45\text{mm}$  的钢管，一个  $90^\circ$  标准弯头、一个标准三通产生的局部流体阻力均相当于长度为 40 倍管道内径的直管所产生的局部流体阻力<sup>[10]</sup>。泄放管的流体阻力按公式 (1)<sup>[10]</sup> 计算。

$$\Delta P = \lambda \frac{L \rho u^2}{d \cdot 2} \quad (1)$$

式中， $\Delta P$  为压力降，Pa； $\lambda$  为摩擦系数； $L$  为管道当量长度，m； $d$  为管道直径，mm； $\rho$  为流体密度， $\text{kg/m}^3$ ； $u$  为管道内流体流速，m/s。

(1) 按照文献[3]附录 B 计算泄放压力下安全阀的实际泄放量  $C_r$ ：

$$C_r = \frac{CKP_f A}{13.16 \times 3600 \times \sqrt{\frac{ZT_f}{M}}} \quad (2)$$

式中， $C$  为气体特性系数，

$$C = 520 \sqrt{k \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, \quad k \text{ 为气体绝热指数，查得}$$

氨的气体绝热指数  $k=1.31$ ，计算结果  $C=347.9$ ； $K$  为泄放装置的排放系数，取  $K=0.6$ ； $P_f$  为安全阀泄放压力（绝对压力），MPa。包括设计压力与超压限度， $P_f=2.05+0.205+0.1=2.355 \text{ MPa(A)}$ ； $A$  为安全阀实际泄放面积， $\text{mm}^2$ ，公称直径 DN32 的全启式安全阀的泄放面积  $A=314\text{mm}^2$ ； $Z$  为气体的压缩系数，查得氨气的压缩系数  $Z=0.8$ ； $T_f$  为泄放装置的泄放温度，K；氨泄放压力下的饱和温度  $T_f=315\text{K}$ ； $M$  为气体的摩尔质量， $\text{kg/kmol}$ 。氨的摩尔质量  $M=17.03\text{kg/kmol}$ 。

$$C_r = \frac{CKP_f A}{13.16 \times 3600 \times \sqrt{\frac{ZT_f}{M}}} = 0.847\text{kg/s}$$

(2) 计算泄放管内介质流速  $u$

泄放压力下氨气的比容： $v=0.0555\text{m}^3/\text{kg}$

$$u=0.847 \times 0.0555 / (3.14 \times 0.0195^2) = 39.37\text{m/s}$$

(3) 计算摩擦系数  $\lambda$

按文献[10]计算流体的雷诺数  $R_e=2547497$ ，摩擦系数：

$$\lambda = 0.0056 + \frac{0.5}{R_e^{0.32}} = 0.01$$

(4) 计算泄放管内流体流动压力降  $\Delta P$

$$\Delta P = \lambda \frac{L \rho u^2}{d \cdot 2} = 107525\text{Pa}$$

泄放总管出口处的液体静压力与泄放介质在泄放管内的流动压力降之和为  $195525\text{Pa}$ ，约  $0.2\text{MPa}$ 。弹簧式安全阀的允许背压不大于其整定压力的 10%，因此，选用弹簧式安全阀符合安全阀的选用规定。同时，应该注意到如果该安全阀泄放管的当量长度超过  $30\text{m}$  时，所选安全阀的允许背压会超出允许范围，将影响安全阀的正常使用，使安全阀所在设备发生超压破坏的风险增加。

#### 4 制冷压力容器安全阀泄放管的设计建议

制冷系统的安全阀泄放支管普遍采用串联的方式与泄放总管连接，泄放总管的流通面积应不小于各泄放支管流通面积之和。当吸纳水池的位置低于安全阀时，泄放支管可以参考图 2 (a) 从泄放总管的侧面顺流向接入，也可以参考图 2 (b) 从泄放总管的顶部顺流向接入，但严禁从泄放总管的底部接入，防止总管内的液体聚集到泄放支管内，影响安全阀的正常开启，同时泄放总管的水平段应向出口端倾斜。在吸纳水池最高液面以上的泄放总管上钻直径  $10\text{mm}$  的防虹吸孔，可以用破真空阀代替防虹吸孔，破真空阀应安装在吸纳水池以外的泄放总管上。

氨制冷系统的安全阀应选用封闭式的全启式结构。安全阀进口管道的通径不得小于压力容器上安全阀接管通径，管道且应短而直。安全阀泄放支管应水平或向上引出，不应向下。泄放总管应尽量减少弯头，当管道布置受现场条件限制导致弯头较多时，应加大弯头的弯曲半径，增加泄放总管的流通面积。泄放支管与泄放总管之间应采用焊接连接，保证连接处的致密性，泄放支管、泄放总管及其连接结构应按安全阀的泄放压力进行强度校核。高压侧、低压侧的泄放总管应分别设置，防止高压侧和低压侧的安全阀同时开启时，导致低压侧的安全阀背压太大，影响低压侧安全阀的正常使用。氨吸纳水池内的水量应按  $1\text{kg}$  氨不少于  $10\text{L}$  水计算，且吸纳水池的水应不少于  $1200\text{L}$ 。

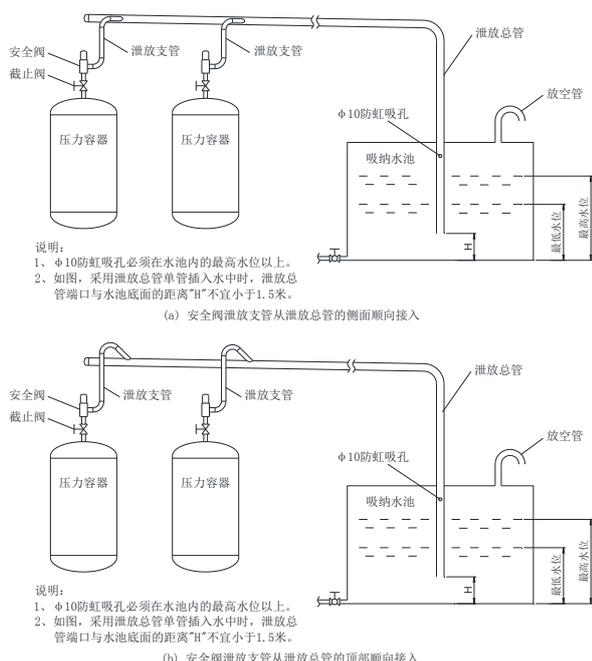


图 2 吸纳水池处于低位

Fig.2 The absorption pool is lower

当吸纳水池的位置高于安全阀时,泄放总管的设计如图 3 所示,压力容器上的每只安全阀泄放支管顺流向汇入泄放总管,泄放总管的水平段应向出口端倾斜,并在泄放总管水平段的最低点钻直径 16mm 的漏液孔,在吸纳水池最高液面以上的泄放总管上钻直径 10mm 的防虹吸孔。也可以用破真空阀代替防虹吸孔,破真空阀应安装在吸纳水池以外的泄放总管上。

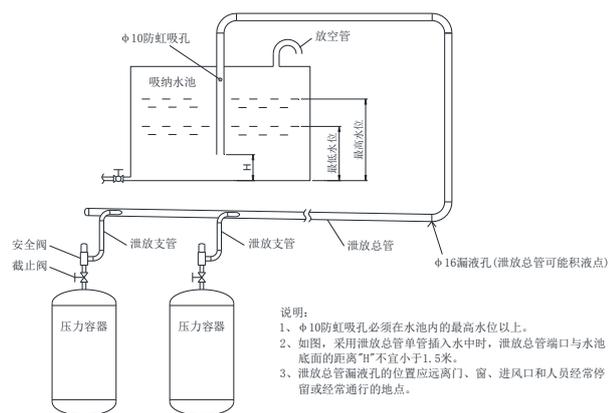


图 3 吸纳水池处于高位

Fig.3 The absorption pool is higher

## 5 结束语

制冷装置用压力容器多数为标准化的通用产

品,而且设备专业的技术人员在制冷装置用压力容器设计过程中,在进行安全阀的设计选型时不可能知道泄放管的长度,因此选用封闭式的弹簧全启式安全阀,虽然能够满足既定条件下的设计要求,但由于产品用于不同的制冷系统,仍然存在安全阀不能满足使用要求的情况。因此,管道专业或系统专业的技术人员还需要根据安全阀所在制冷系统的特点,根据安全阀的安全泄放量计算背压,根据允许背压调整泄放管道的规格,或者选用平衡式或先导式安全阀,在选型时可以参考 GB/T 37816-2019 《承压设备安全泄放装置选用与安装》<sup>[11]</sup>,该标准规定当安全阀的背压小于整定压力的 10% 时,可以选用弹簧式安全阀;当安全阀的背压超过整定压力的 10% 且不大于整定压力的 30% 时,应选用平衡式安全阀;当安全阀的背压大于整定压力的 30% 且小于整定压力的 80% 时,应选用先导式安全阀。

## 参考文献:

- [1] GB 50072-2010,冷库设计规范[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [2] AQ 7015-2018,氨制冷企业安全规范[S].北京:煤炭工业出版社,2018.
- [3] GB/T 150.1-2011,压力容器 第 1 部分:通用要求[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [4] GB/T 9237-2017,制冷系统及热泵 安全与环境要求[S].北京:中国质检出版社,2017.
- [5] GB50072-201X,冷库设计法规范(报批稿)[S].
- [6] TSG ZF001-2006,安全阀安全技术监察规程[S].北京:中国计量出版社,2006.
- [7] 闫正伟,金寿根.背压对安全阀性能的影响[J].化工装备,2004,(6):1:24-26.
- [8] 郑鲜,易珂,郑艳,等.背压对常规式弹簧安全阀动作性能的影响[J].石油化工设计,2015,(4):43-45.
- [9] 赵昆玉,孙琦,谢青延.背压对液氨制冷系统用安全阀技术性能指标影响的讨论[J].中国特种设备安全,2017,(33):5:67-71.
- [10] 王振中.化工原理(上册)[M].北京:化学工业出版社,1986.
- [11] GB/T 37816-2019,承压设备安全泄放装置选用与安装[S].北京:中国标准出版社,2019.