

# 控制阀闪蒸和空化现象及阻塞流的计算

刘芳

(中国五环工程有限公司, 武汉 430033)

**摘要:** 通过对管路中控制阀可能出现的闪蒸和空化的原因进行分析并阐述了闪蒸和空化造成的危害, 提出了提高材质硬度、降低流体流速、选用合适的控制阀类型和流向、采用多级降压的方法控制压降, 使汽蚀不发生等有效措施来防止闪蒸和空化带来的破坏, 延长控制阀的使用寿命。同时分析了产生阻塞流的原因, 分别介绍了产生阻塞流和不产生阻塞流的情况下流量系数的计算方法, 并通过一个实例详述如何判断是否出现阻塞流以及阻塞流出现时阀门流量系数的计算方法。

**关键词:** 控制阀; 闪蒸; 空化; 阻塞流; 流量系数

**中图分类号:** TP214

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1007-7324(2010)02-0064-02

## 1 控制阀闪蒸和空化现象

在控制阀内流动的液体, 常常出现闪蒸和空化现象, 它们的发生不但影响口径的选择和计算, 而且将导致严重的噪声、振动、材质的破坏等, 直接影响控制阀的使用寿命。因此, 在阀门的计算和选型中, 闪蒸和空化是不可忽视的问题。

### 1.1 出现闪蒸和空化的原因分析

不可压缩的液体通过控制阀阀芯、阀座节流时, 在流道的不同处, 其压力和流速的变化如图 1 所示。

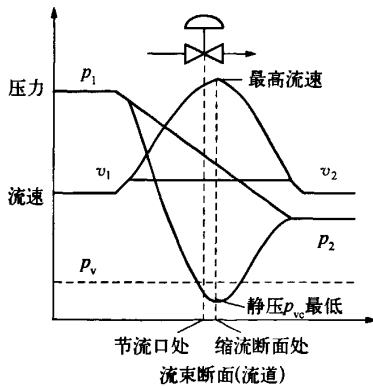


图 1 流体流过控制阀的压力及流速变化

流体通过缩流断面处即流束的最小截面处时, 流速最大, 静压最低。若缩流断面处的压力  $p_v$  降低到不大于流体入口温度对应下的饱和蒸汽压  $p_v$  时, 部分液体就会汽化成气体, 形成汽液两相共存的现象, 这种现象称为闪蒸。闪蒸造成汽液两相流, 气体与液体同时流过阀芯和下游管道, 造成冲刷, 其特点是阀芯呈现平滑抛光的外形, 冲刷最严重的地方一般是在流速最高处, 通常位于阀芯和阀座环的接触线上或附近<sup>[1]</sup>, 其流速变化如图 1 所

示。此时, 有许多蒸汽及溶解在液体中的气体逸出, 形成许多蒸汽与气体混合的小气泡。当流体流出缩流区域时, 随着阀内流通面积的增大, 流速减小, 由于相互摩擦, 部分能量转变为内能, 静压得以部分恢复, 形成阀压降  $\Delta p$ , 而阀后压力  $p_2$  不能再恢复到  $p_1$ 。若恢复到或高于  $p_v$  时, 气泡将迅速凝结而破裂。气泡破裂的瞬间, 在气泡原来占有的空间就形成具有高真空的空穴, 液体在高压差的作用下, 以极高的速度流向空穴, 形成有冲击力的微喷射流和压力波, 由于气泡中的气体和蒸汽来不及在瞬间全部溶解和凝结, 因此在冲击力的作用下又分成小气泡, 再被高压力的流体压缩、凝结、破裂, 循环往复。这种气泡产生和破裂的全过程称为空化。如果这些气泡在阀内流路和阀内件表面凝结、破裂, 对材料表面产生高频冲击, 形成的冲击力高达几百甚至上千牛顿, 冲击的压强高达几千兆帕, 冲击频率可达几万赫兹, 从而使材料产生疲劳导致机械剥蚀的损害。同时, 从液体中逸出的活性气体如氧气借助气泡凝结时放出的热量, 也会对金属材料产生化学腐蚀。这种由于空化导致金属等材料因机械剥蚀和化学腐蚀受到损害的现象称为控制阀空化气蚀<sup>[2]</sup>。所以, 空化是一种两阶段现象: 液体内部形成空腔或气泡, 即闪蒸阶段; 这些气泡破裂, 即空化阶段。气蚀是空化作用对材料的侵蚀。

### 1.2 闪蒸和气蚀造成的危害

气泡的形成和破灭均在极短的时间内完成, 但

收稿日期: 2009-12-07。

作者简介: 刘芳(1983—), 女, 湖北武汉人, 2008年毕业于武汉工程大学检查技术与自动化装置专业, 硕士, 现工作于中国五环工程有限公司电控室, 主要从事自控专业工程设计工作。

其破灭时产生的冲击力是相当大的,会对阀门及管道产生极大的破坏作用,主要体现在三个方面:

a) 阀门损坏。空化现象造成的气蚀对阀芯和阀座的破坏极其严重,密封面因经常受到空化现象产生的冲击,形成类似于煤渣的粗糙表面,致使阀门泄漏。气蚀造成的损坏可延伸至邻近的下游管道。

b) 振动。空化现象发生时使阀门在垂直和水平方向产生剧烈的振动,加速了管道和阀门的机械磨损,同时振动造成紧固件松动,直接威胁安全生产。

c) 噪声。空化现象由于气泡爆裂会产生一种类似于砂石流过阀门的噪声,影响操作环境。

### 1.3 防止闪蒸或气蚀的措施

a) 以某种方式改变工艺系统以防止气蚀的产生。例如通过降低液体温度或在一定差压下提高阀前或阀后压力,使流体在缩流处不低于其蒸汽压,则气蚀就可以避免;将阀门移到下游处有较高静压头的位置可以提高  $p_2$  的值;增加一个限流孔板或类似的背压装置也能升高阀门  $p_2$  的值。

b) 提高材质硬度。选用硬质合金作为阀芯,或在可能发生闪蒸的部位焊接硬质材料,提高材质硬度,减少冲刷。采用套筒阀比直通单、双座阀更适用于较高压差产生闪蒸和空化的场合,在产生空化的情况下,气泡破裂产生的冲击力作用在阀芯下面的空间和套筒内,冲击能量也没有直接作用于阀芯上,使阀体免受闪蒸和空化的破坏。

c) 降低流体流速。设计合理流路,降低下游流体流速,从而降低冲刷速度。例如:在控制阀下游设置扩径管,降低流速。

d) 选用合适的控制阀类型和流向。不同的控制阀和流向,其压力恢复系数  $F_L$  不同。选用  $F_L$  大的控制阀类型和流向,可防止发生阻塞流。例如:对易汽化的液体,不宜选用高压力恢复的球阀或蝶阀,可选用低压力恢复的单座阀等。

e) 控制压降,使汽蚀不发生。采用多级降压的方法,使控制阀的压降分为几级,每个较小的压降都保证不使缩流处压力低于液体的饱和蒸汽压力,从而消除气泡的产生,使气蚀不发生。例如,采用直通高压差控制阀可有效地防止高压差流体产生闪蒸、气蚀等破坏,也可消除高压差气体或蒸汽所产生的噪音<sup>[3]</sup>。

除此之外,还可以采用增加阀门窗口后的管道截面,先采用节流孔节流,最后装控制阀;需加热的流体的流量控制阀尽量设在加热前等方法,因为液

体的温度越高,就越容易产生气蚀和闪蒸。以上措施均可以有效地降低或避免闪蒸或气蚀破坏。

## 2 阻塞流现象

阻塞流是指不可压缩流体或可压缩流体在流过控制阀时所达到的最大流量状态(即极限状态)。在固定入口条件下,  $p_1$  保持一定而逐步降低  $p_2$  时,流经控制阀的流量会增加到一个极限值,再继续降低  $p_2$ ,流量不再增加,这个极限流量即为阻塞流。由阻塞流产生的条件即可得知,出现阻塞流时不一定会发生闪蒸和空化现象,但发生闪蒸和空化时势必会产生阻塞流。

若节流孔后发生空化作用,许多气泡集中在节流孔后,自然影响了流量的增加,产生了阻塞情况。因此,闪蒸和空化作用产生前后的流量系数计算公式必然不同。

以下以液体介质的流量系数的计算为例:在计算液体介质的流量系数时,应首先判别流体是否为阻塞流。

非阻塞流判别式:  $\Delta p < F_L^2(p_1 - F_F p_v)$

流量系数  $K_v$  值的计算公式:

$$K_v = 0.02q_v \sqrt{\frac{\rho}{p_1 - p_2}} \quad (1)$$

阻塞流判别式:  $\Delta p \geq F_L^2(p_1 - F_F p_v)$

流量系数  $K_v$  值的计算公式:

最大允许压差

$$K_v = 0.01q_v \sqrt{\frac{\rho}{F_L^2(p_1 - F_F p_v)}} \quad (2)$$

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{p_v}{p_c}} \quad (3)$$

式中  $p_1, p_2$ ——阀入口、出口取压点测得的绝对压力,MPa;  $\Delta p$ ——阀入口和出口间的压差,MPa;  $p_v$ ——阀入口温度饱和蒸汽压(绝压),MPa;  $p_c$ ——热力学临界压力(绝压),MPa;  $F_F$ ——液体临界压力比系数;  $F_L$ ——液体压力恢复系数,表示控制阀内部流体流经缩流处后,动能转换为静压的恢复能力,且与阀门和流路特性有关的函数<sup>[4]</sup>;  $q_v$ ——液体体积流量;  $m^3/h$ ;  $\rho$ ——液体密度,  $kg/m^3$ ;  $K_v$ ——流量系数。

## 3 流量系数计算实例

下面以甲醇贫液水冷器出口控制阀为例介绍产生阻塞流时流量系数的计算。

条件: 介质为甲醇;  $q_v = 50 m^3/h$ ;  $\rho = 776 kg/m^3$ ;  $t = 40^\circ C$ ;  $p_v = 0.0354 MPa$ ;  $p_1 =$

(下转第68页)

用户在实际用水过程中经常使机械式水表处在临界或低于始动流量状态下工作,造成用水量丢失,导致漏损率提高,影响了炼油厂的经济效益。然而机械式水表较大的压损会造成新鲜水外供耗电量的增加。为节能、节水提高炼油厂新鲜水外供的经济效益,该厂在黑龙江龙凤镇安装了一台 DN200 口径电池供电超声水表,从 2008 年 1 月投入使用到 2008 年 6 月,观察中发现用户在正常用水时,机械水表和电池供电超声水表相差不大。在 22:00~0:00 点用水流量大多处于  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  左右,机械式水表间断性计量,而电池供电超声水表正常计量;在 0:00~6:30 点用水流量基本处于  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  以下,低于机械式水表的始动流量,机械式水表无计量显示。由于电池供电超声水表在  $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$  以上是正常测量的,所以电池供电超声水表仍在正常计量。经过 6 个月的比对和观察,电池供电超声水表可为炼油厂挽回新鲜水外供损失近 6 千元。按这个数字统计每年可为炼油厂挽回经济损失近 7 万元。电池供电超声水表的应用不但解决了原机械式水表计量丢量问题,提高了炼油厂新鲜水外供的经济效益,还解决了炼油厂边远地区新鲜水外供计量仪表的供电问题,同时为计量仪表安装节省了大量的材料(仪表电源、电缆等)和维修费用。

(上接第 65 页)

$4.5 \text{ MPa}$ ;  $p_2 = 0.5 \text{ MPa}$ ;  $\Delta p = 4 \text{ MPa}$ ;  $p_c = 8.13 \text{ MPa}$ 。

计算:选用多级降压套筒阀,查表得  $F_L = 0.9$ ; 判别工况后  $F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{p_v}{p_c}} = 0.94$ 。

在最大流量下:  $\Delta p_T = F_L^2 (p_1 - F_F p_v) = 3.618 \text{ MPa}$

由阻塞流判别式知:  $\Delta p > \Delta p_T$ , 故会产生阻塞流。

$$K_v = 0.01q_v \sqrt{\frac{\rho}{F_L^2 (p_1 - F_F p_v)}} = 7.32$$

$$C_v = 1.167 K_v = 8.545$$

从以上实例可知,若给定阀压降较大,在进行流量系数计算时,应首先判断是否产生阻塞流。因为在产生阻塞流的情况下,流量系数中计算用的阀压降不再是给定阀压降,而是产生阻塞流的最小压降。所以这时候算出的流量系数将大于用给定压降算出的流量系数,必须选择更大尺寸的阀才能保

## 5 结束语

在水资源和能源日趋紧缺的今天,电池供电超声水表在龙凤镇新鲜水交接计量上的应用,彻底解决了机械式水表始动流量高、漏损率高、压损大、准确率低、使用寿命短等诸多问题,提高了炼油厂新鲜水外供计量的准确度,解决了炼油厂边远地区新鲜水外供计量仪表的供电问题,大大提高了炼油厂节能、节水及能源计量方面的经济效益和社会效益。

### 参考文献:

- [1] 国家石油和化学工业局. SH3005—1999 石油化工自动化仪表选型设计规范[S]. 北京: 中国石化出版社, 1999.
- [2] 蔡武昌, 孙准清, 纪纲. 流量测量方法和仪表的选用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [3] 袁易全. 近代超声检测与应用[M]. 南京: 南京大学出版社, 1996.
- [4] 吴卫玲, 宋喜报. 基于超声原理的流量计设计及软件实现[J]. 使用测试技术, 2000, (5): 23-24.
- [5] 陈守仁. 自动检测技术及仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [6] 朱炳兴, 王森. 仪表工习题集[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [7] 汤光华, 宋涛. 电子技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [8] 刘欣荣. 流量计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [9] 朱德祥, 张廷柱, 朱福茂. 流量仪表原理和应用[M]. 上海: 华东化工学院出版社, 1992.

证流过给定的流量<sup>[5]</sup>。

## 4 结束语

该文对控制阀常见的闪蒸和空化问题剖析了原因并给出了相应的预防措施。流量系数是表示控制阀容量大小、结构及流路形式对流通能力的影响的重要参数, 该文通过实例介绍了阀门的选型和流量系数的计算方法。

### 参考文献:

- [1] 何衍庆, 邱宜振. 控制阀工程设计与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 吴国照. 控制阀使用与维修[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [3] EMERSON. 控制阀手册[M]. 新加坡: Fisher Controls Device Co. Ltd., 1999.
- [4] 陆德民, 张振基, 黄步余. 石油化工自动控制设计手册[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [5] 何谦, 陈明洪, 马志勇. 阻塞流及其对控制阀流量系数计算的影响[J]. 大氮肥, 2004, 27(3): 190-193.
- [6] 奚文群, 谢海维. 控制阀口径计算指南[G]. 化学工业部自动控制设计技术中心站, 2008.
- [7] 明赐东. 调节阀计算、选型、使用[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.