

设计与制造

多孔式套筒控制阀 阀笼节流孔的设计

The Design of Throttling Holes for Multi-holes Cage Guided Control Valve

文/吴建曼 陈志滔 浙江金锋自动化仪表有限公司

本文介绍如何根据给定的额定Cv值来对多孔式套筒控制阀阀笼上的节流孔进行设计，节流孔的设计包括孔大小、数量以及排列形式的确定。再利用CFD软件对设计方法进行流体模拟分析来论证计算方法的准确性，为广大控制阀设计人员提供一种计算方法。

引言

在工业自动化流体控制系统中，控制阀是得到广泛应用的流体控制设备之一，用来调节系统的流量或者压力参数。当阀门前后压差较大时介质流过控制阀节流处，由于节流口面积的急剧变化，流通面积缩小，流速升高，压力下降，易产生阻塞流，出现闪蒸空化现象，这种现象是诱发阀内件破坏以及噪音的主要原因。当阀门前后压差不大时，介质正常流动选用常规的控制阀即可满足要求。而当压差较大时，为了降低噪音以及消除气蚀的破坏，我们必须采用多孔式套筒控制阀来解决这个问题。多孔式套筒控制阀降压的原理是采用了带有多个小孔的阀笼，当介质从各对小孔喷射进去后，介质从各阀笼的小孔流过，分担总压差的一部分。各个阀笼的局部压差能防止液体压力低于汽化压力，消除气泡的形成。根据阀门前后压差的不同阀内件可设计成一级降压，二级降压，三级降压，这种阀内件的设计在国内外的各个厂家中都是十分常见的。其中最著名的就是Fisher公司的Cavitrol系列阀内件（见图1）。

对于工程师来说该类型阀内件的结构设计是不复杂的只要根据阀门的腔体将多个套筒阀笼相互嵌套形成一个降压阀笼组放置在阀体内即可；而真正的难点在于如何根据给定的额定Cv值以及流量特性来确定阀笼上的孔大小，数

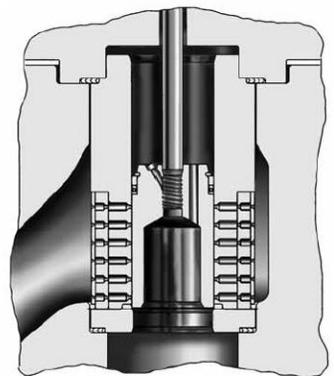
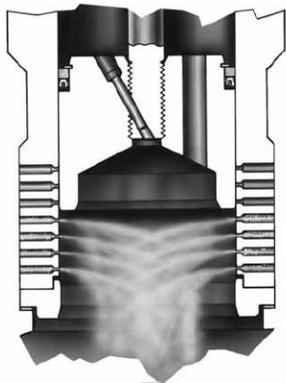


图1 Cavitrol系列阀内件

量以及排列形式，额定Cv值以及流量特性对于一台控制阀的调节性能是至关重要的。在笔者与国内众多厂家的技术人员接触过程中了解到对于多孔式阀笼节流孔大小、数量设计这一问题上，很多技术人员给出的设计依据是将同口径阀门的阀笼上节流孔总面积与传统套筒控制阀的窗口面积进行比值然后得出Cv值也成正比关系。由于传统的套筒控制阀与多孔式的套筒控制阀流阻系数的不同，将节流面积与阀门的额定Cv值成正比关系作为设计依据显然不够严谨。下面笔者就将对这一问题进行剖析，为广大控制阀设计人员提供一种计算方法。

设计原理

一台阀门的总流通能力 C_v 受两个因

素影响，即阀座的流通能力 C_{vb} 及多孔式阀笼的流通能力 C_{vc} 。从理论上讲提高 C_{vb} 或 C_{vc} 可以使阀的 C_v 增加。但阀座的流通能力 C_{vb} 取决于阀的公称口径，公称口径确定后，一般阀座直径也就确定了，所以 C_{vb} 是定值。阀门的总流通能力可以用以下公式概括：

当阀笼为一级降压时，阀门的总流通能力 C_v ：

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_{vb}^2} + \frac{1}{C_{vc1}^2}}}$$

阀座的流通能力 C_{vb} ：

$$C_{vb} = \frac{\pi D_b^2 K_b}{4 \times 25.4^2}$$

一级阀笼的流通能力 C_{vc1} ：

$$C_{vc1} = \frac{\pi D_{c1}^2 K_{c1}}{4 \times 25.4^2} \times n_1$$

当阀笼为二级降压时，阀门的总流通能力 C_v ：

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_{vb}^2} + \frac{1}{C_{vc1}^2} + \frac{1}{C_{vc2}^2}}}$$

阀座的流通能力 C_{vb} ：

$$C_{vb} = \frac{\pi D_b^2 K_b}{4 \times 25.4^2}$$

一级阀笼的流通能力 C_{vc1} ：

$$C_{vc1} = \frac{\pi D_{c1}^2 K_{c1}}{4 \times 25.4^2} \times n_1$$

二级阀笼的流通能力 C_{vc2} ：

$$C_{vc2} = \frac{\pi D_{c2}^2 K_{c2}}{4 \times 25.4^2} \times n_2$$

当阀笼为三级降压时，阀门的总流通能力 C_v ：

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_{vb}^2} + \frac{1}{C_{vc1}^2} + \frac{1}{C_{vc2}^2} + \frac{1}{C_{vc3}^2}}}$$

阀座的流通能力 C_{vb} ：

$$C_{vb} = \frac{\pi D_b^2 K_b}{4 \times 25.4^2}$$

一级阀笼的流通能力 C_{vc1} ：

$$C_{vc1} = \frac{\pi D_{c1}^2 K_{c1}}{4 \times 25.4^2} \times n_1$$

二级阀笼的流通能力 C_{vc2} ：

$$C_{vc2} = \frac{\pi D_{c2}^2 K_{c2}}{4 \times 25.4^2} \times n_2$$

三级阀笼的流通能力 C_{vc3} ：

$$C_{vc3} = \frac{\pi D_{c3}^2 K_{c3}}{4 \times 25.4^2} \times n_3$$

其中：

D_b —阀座的内孔直径，单位为mm

K_b —阀的总流通系数，无量纲

D_{c1} 、 D_{c2} 、 D_{c3} —分别代表一级、二级、三级阀笼节流孔直径，单位为mm

K_{c1} 、 K_{c2} 、 K_{c3} —分别代表一级、二级、三级阀笼的流通系数，无量纲

n_1 、 n_2 、 n_3 —分别代表一级、二级、三级阀笼节流孔数量

以上公式中 K_b 、 K_{c1} 、 K_{c2} 、 K_{c3} 的取值可按表1和表2选取。

实际案例

已知介质为水，温度为40℃，阀前压力 $P_1=2.8\text{Mpa}$ （G），阀后压力 $P_2=0.3\text{Mpa}$ （G），最大、正常、最小流量分别为1650m³/h，1280m³/h，

K_b	阀座直径 = 阀门口径	阀座直径 < 阀门口径
直通阀体	$K_b=19.7$	$K_b=21$
角式阀体	$K_b=19.7$	$K_b=31$

K_c	K_{c1}	K_{c2}	K_{c3}
直通 / 角式阀体	31	21.92	17.89

备注：流通系数与阀体流动相关，以上表格数值为笔者所在企业的试验数值。其他厂家在进行设计计算时也可借鉴这些数值，总体出入不会太大。

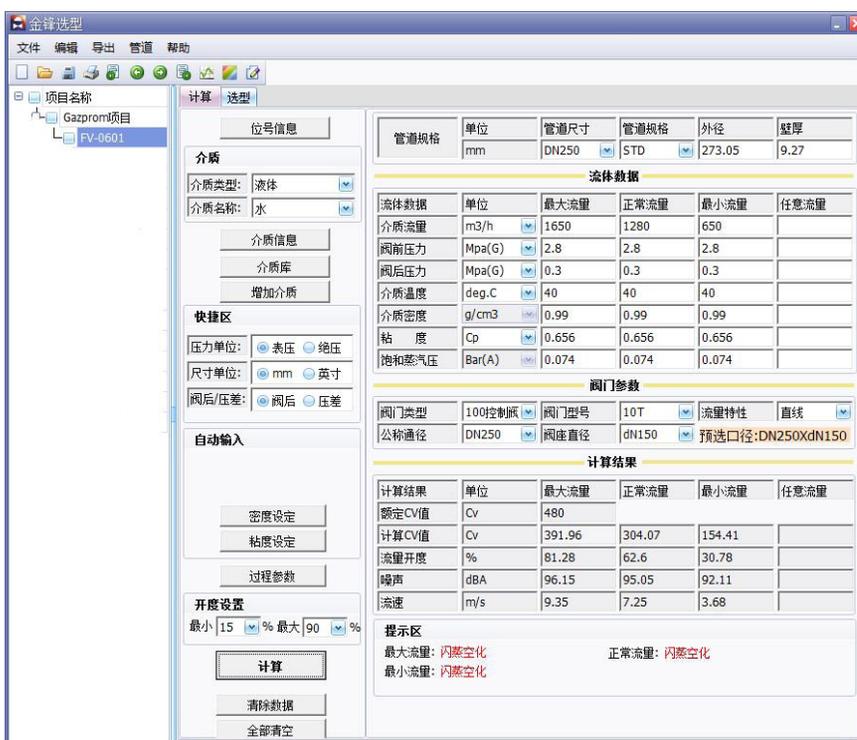


图2 选型软件计算结果

备注：阀门的压力恢复系数FL取0.9，可调比R取50。

阀门口径	DN ≤ 50	DN ≤ 100	DN ≤ 200	DN ≤ 400
节流孔直径（单位 mm）	Φ=3.2	Φ=5.0	Φ=6.4	Φ=10.0

650m³/h，流量特性要求为直线特性；我们将以上的参数输入控制阀选型软件里面进行计算，得到计算结果如下（见图2）。

从以上计算结果我们可知，该工况下介质在流经控制阀时已经出现闪蒸空化现象，而且噪音较大。因此我们选型采用一级降压多孔式套筒控制阀，阀门的额定Cv值为480，流量特性为线性。接下来我们将根据这两个参数来对阀笼进行设计。

1、确定节流孔的直径；根据笔者的设计经验考虑到阀门的调节精度，降压效果，流动干涉以及排列分布等因素

对于不同口径的阀门，节流孔的直径可按表3选取。

2、确定阀门口径、阀座直径；我们选择的阀门口径为250mm，阀座直径 $D_b=250\text{mm}$ 。

3、阀门总流通系数、阀笼流通系数的确定；根据上文所述的选取方法， $K_b=19.7$ ， $K_{c1}=31$

4、根据上文提到的公式，经过初步计算之后，结果如下：

节流孔直径 $D_{c1}=10\text{mm}$ ，一排孔为6个，总共为22排（必须为偶数），总孔数 $n_1=132$ 。下面我们对初步计算结果进行验证。

阀座的流通能力

$$C_{vb} = \frac{\pi D_b^2 K_b}{4 \times 25.4^2}$$

将已知的参数带入公式，得到

$$C_{vb} = 1499$$

一级阀笼的流通能力

$$C_{vc1} = \frac{\pi D_{c1}^2 K_{c1}}{4 \times 25.4^2} \times n_1$$

将已知的参数带入公式，得到

$$C_{vc1} = 498$$

阀门的总流通能力

$$C_v = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{C_{vb}^2} + \frac{1}{C_{vc1}^2}}}$$

将已知的参数带入公式，得到

$$C_v = 473$$

备注：由于考虑到节流孔的排列分布，节流孔需要对称等因素。最终的阀门额定Cv值不可能与选择Cv值一模一样，我们认为只要重合率在95%以上我们就视为设计合理。

5、节流孔的排列分布；节流孔排列分布时我们必须按照两个原则，首先必须按照流量特性排列。其次阀芯在动作的过程中节流面积始终要有变化，不能出现断流的情况。我们根据以上两个原则对上述例子的阀笼节流孔进行排列，排列分布结果（见图3，图4）。

CFD软件模拟分析

为了验证以上的计算方法是否正确，我们利用CFD软件Ansys的Fluent对这个案例进行流体模拟计算。

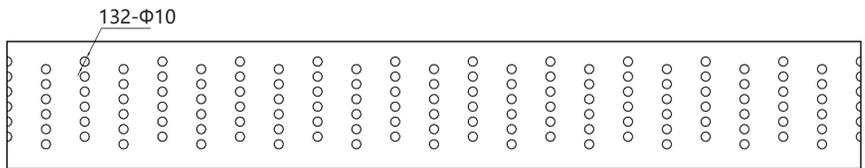


图3 直线特性节流孔排列

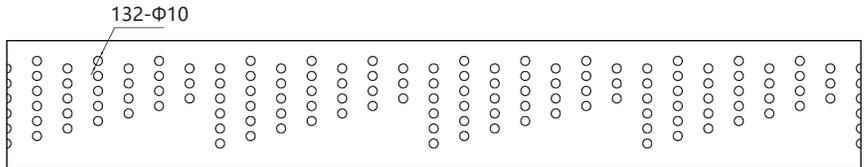


图4 等百分比特性节流孔排列

备注：当流量特性为等百分比时，排列的节流孔流量特性只能为近似等百分比。

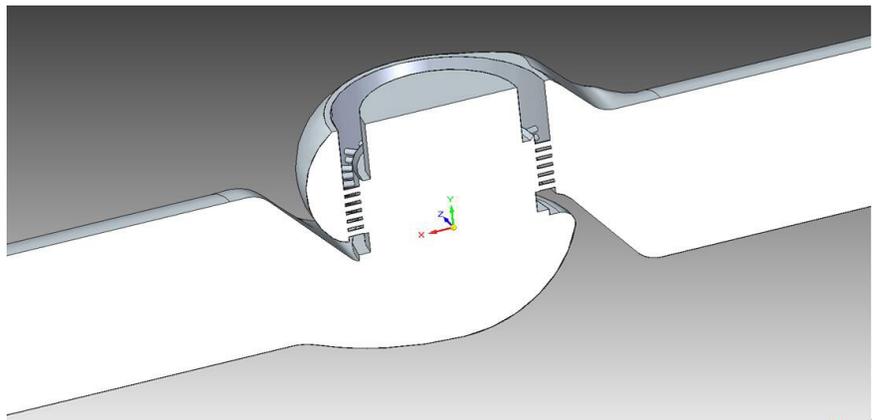


图5 流道计算区域

1、采用的C_v值计算公式如下：

$$C_v = 1.156 \times 10 \times Q \times \sqrt{\rho / \Delta P}$$

其中：Q为体积流量，单位为m³/h；ρ为水的相对密度（取ρ=1）；ΔP为压力差值，单位为Kpa；

2、我们利用软件模拟形式试验时的试验条件，在软件中定义样机的入口

处体积流量Q，出口处的压力P₂设置为0，求阀门的入口处压力P₁，再由求得的P₁-P₂得到ΔP的值，再根据公式计算出样机的额定C_v值，该过程也正好与形式试验时求解额定C_v值的过程相同。

3、我们利用UG三维实体建模软件，建立样机的三维模型，所建的实

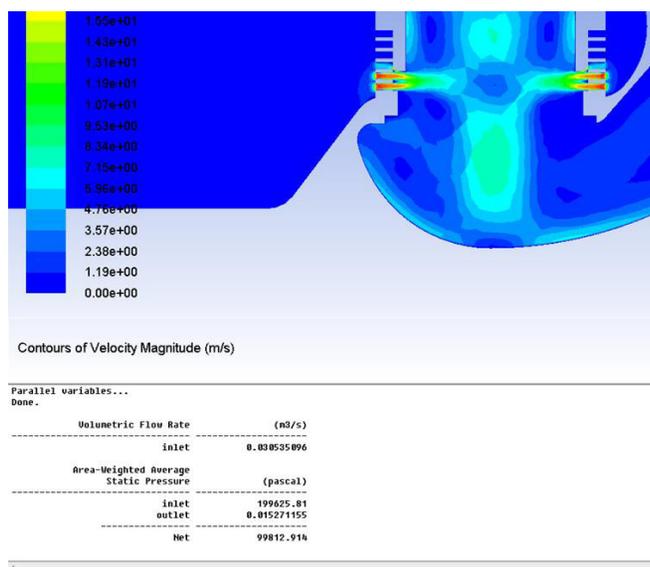


图6 开度为30%模拟计算结果

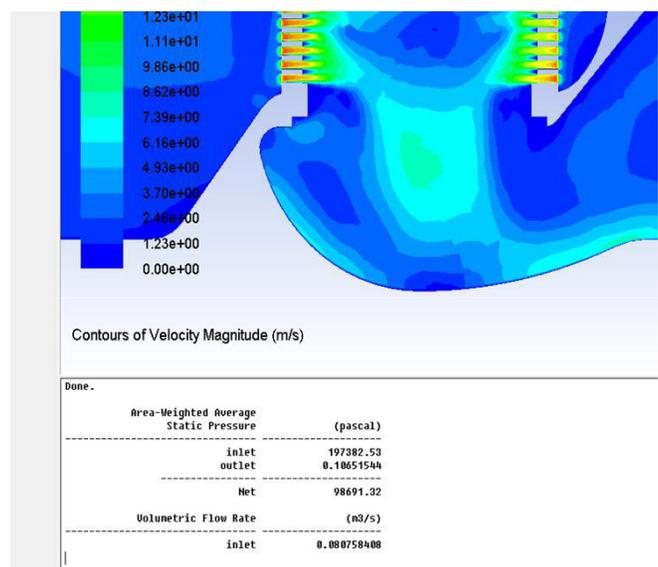


图7 开度为90%模拟计算结果

体模型要准确地反映控制阀内部流道的实际情况。为了减少计算机的计算量我们取流道的一半进行计算（见图5），在求解结果的基础上乘上2倍即为整机的计算结果（见图6，图7）。

表4 不同开度下软件模拟的结果

% 阀门开度	P ₁ , Kpa	P ₂ , Kpa	Q, m ³ /s	Q, m ³ /h	Kv	Cv
10	-	-	-	-	-	-
20	199	0	0.021	151	107	124
30	199	0	0.0305	220	156	180
40	-	-	-	-	-	-
50	199	0	0.0481	346	245	284
60	-	-	-	-	-	-
70	198	0	0.0653	470	334	386
80	-	-	-	-	-	-
90	197	0	0.0808	581	414	478
100	197	0	0.0811	583	416	480

我们对阀门几个开度下的情况进行模拟，计算结果如表4所示：从表4的模拟结果可知，在开度为100%时阀门的额定Cv值为480，与我们设计要求的473有差异，但是差异很小，并不会影响阀门在实际工况中的使用。这说明了我们的上述推荐的计算方法是准确的，可以适用于多孔式控制阀阀笼的设计与计算。

结语

多孔式套筒控制阀是一种在平时选型中使用十分普遍的控制阀，其阀笼的节流孔设计是保证整台阀门调节精确以及运行稳定的关键。本文笔者根据自己的多年设计经验，介绍了一种设计计算的方法，并举例一级降压阀笼的节流孔设计做了说明，最后利用CFD流体模拟技术对计算方法的准确性做了验证。考虑到篇幅关系，二级、三级降压阀笼节流孔设计不再做举例，读者可以根据文章中推荐的公

式以及参数进行举一反三设计。限于笔者的能力与水平，文中如有不当之处敬请指正，笔者将不胜感激。CVM

本文参与艾默生Fisher®杯有奖征文评选

欢迎您对本文的评论，也希望您能参加《控制阀信息》有奖征文活动，期待您的来稿！

评论和投稿请发送至：
cvm@jixunmedia.com



本文参考资料

- [1] 吴国熙. 控制阀使用与维修 (M). 北京: 化学工业出版社, 1999.
- [2] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [3] 陆培文. 控制阀实用技术 [M] 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] 明赐东. 控制阀应用1000问 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.



艾默生 FISHER® 杯

EMERSON Process Management FISHER

有奖征文征稿启事

《控制阀信息》是中国控制阀行业第一本市场类、信息类的杂志，旨在繁荣中国控制阀市场，传递控制阀信息，为国内外控制阀厂商搭建与市场沟通的桥梁，创建一流的控制阀品牌服务。2016年《控制阀信息》编辑部再次携手艾默生费希尔阀门部举办“艾默生FISHER®杯”有奖征文评选活动，向广大读者诚挚征稿。

一等奖：1名，奖金3000元

二等奖：2名，奖金1000元

三等奖：3名，奖金500元

征文主题：

- 控制阀综述栏目
国内外控制阀市场的评论与分析
- 应用园地栏目
控制阀的安装与维护经验；
控制阀的故障判断与处理总结；
控制阀的改造或替换案例；
控制阀产品选型和采购的心得体会；
控制阀设计；
控制阀机械加工与制造；
控制阀标准与测试；
气、电、液执行机构选型与应用。

投稿要求：

- 所有稿件须在《控制阀信息》杂志上首次发表才可参加“艾默生FISHER®杯”有奖征文的评选。
- 语言通顺、主题明确，能清楚地阐明所涉及的主题。
 - 稿件均为电子文档，字数不少于2000字，要求配图。
 - 给出标题、摘要及参考文献。
 - 给出作者简介，包括姓名、性别、出生年月、工作单位、职称或职务、现从事工作。
 - 给出通讯地址及联系方式（电话、传真、电子邮件），便于联系及样刊、稿费（100元/版）、奖品的邮寄。

稿件评审：

- 由《控制阀信息》资深编辑与专家委员组成论文评审组，对所有刊出的文章进行筛选，选出入围及获奖论文。
 - 开通读者评选通道，欢迎广大读者的热情参与，选出您最喜爱的文章。
- 通道一：**勾选杂志夹页中您认为值得获奖的文章，以传真或邮寄的方式反馈给我们。
- 通道二：**直接将您最喜爱的文章的评价发至：
cvm@jixunmedia.com
- 通道三：**关注“集讯传媒”微信公众号：jixunmedia 参与有奖征文评选活动。
- 有奖征文活动时间为2016年1月1日至2016年12月10日。
 - 获奖论文评审时间为2016年12月10日至2016年12月30日。

投稿方式：

地址：上海市新村路423弄1号楼1006室
《控制阀信息》编辑部
邮编：200065
电话：021-6253 5989、6258 7270
编辑QQ：787767083
E-mail：cvm@jixunmedia.com
Http://www.jixunmedia.com