

调节阀尺寸选择的参数分析

甄尚雪

中国石化工程建设有限公司 北京 100101

【摘要】调节阀在化工生产中使用广泛,选择合理的尺寸非常重要。调节阀尺寸选择需要考虑阀门的流通能力和流速等因素。评价流通能力的重要因素是流量系数 C_v 。流过的工况有其特定的计算 C_v ,阀门也有额定 C_v 。介质特性变化、阻塞流、闪蒸等会影响工况的计算 C_v 数值。阀门结构会影响阀门额定 C_v 值。另外流速大小对阀门尺寸也有重大影响。故流通能力和流速是调节阀尺寸选择时常考虑的因素。

【关键词】调节阀尺寸,计算 C_v ,额定 C_v ,流速

Parameter analysis of control valve size selection

Zhen Shangxue

Sinopec Engineering Construction Co., LTD Beijing 100101

【Abstract】Control valves are widely used in chemical production, and selecting the appropriate size is crucial. When choosing the size of a control valve, factors such as flow capacity and velocity must be considered. A key factor in evaluating flow capacity is the flow coefficient C_v . The operating conditions have their specific calculated C_v values, and valves also have rated C_v values. Changes in medium properties, blockage, flashing, and other factors can affect the calculated C_v value. Valve structure can influence the rated C_v value. Additionally, the magnitude of the velocity significantly impacts the valve size. Therefore, flow capacity and velocity are essential considerations when selecting the size of a control valve.

【Key words】control valve size, C_v calculation, rated C_v , flow rate

引言

调节阀在化工领域使用广泛,是控制回路终端负责最终执行的组件。如何选择调节阀尺寸是项目设计过程中的重要一环。

根据 GB/T 17213,对于调节阀的尺寸的选择,流通能力是关键指标。反应流通能力的参数是流量系数。通过工况工艺参数计算得出流量系数,与阀门额定流量系数值比对,最终选择相匹配的调节阀尺寸。

另一个影响因素是介质的流速。过大流速影响阀门的正常使用,尤其对于气体介质尤为明显。气体介质流出阀门时的流速如果过快,可能会产生较大的噪音。所以调节阀尺寸选择要考虑流速、噪声等问题。

1. 流通能力 C_v

流动系数 C_v 值: 阀门在全开状态下, 压差为 1 psi 时, 通过阀门的流量 (单位 GPM)。计算公式如下:

$$C_v = Q \sqrt{\frac{SG}{\Delta P}}$$

Q —流量 (GPM), SG —流体比重 (相对于水), ΔP —压差 (psi)。

此篇讨论英制单位 C_v 。阀门流通系数在实际工程设计中常用到的是计算 C_v 和额定 C_v 。计算 C_v 是根据实际工况

参数计算出的阀门所需流通能力值,表示阀门在实际工况中需要具备的流通能力。计算 C_v 是阀门选型的基础,确保阀门能够满足实际工况的流量要求。计算 C_v 反映的实际需求。

额定 C_v 是阀门制造商提供的参数,表示阀门在全开状态下的最大流通能力。用于描述阀门在标准条件下的流量特性,反映阀门流通能力。

1.1 影响计算 C_v 的因素

介质的物性对计算 C_v 影响很大,流量和阀门出入口压差的变化对 C_v 的影响也比较明显。以下用一组设计生产中的介质物性来计算出计算 C_v ,并分别调整它的流量和压差来体现计算 C_v 的变化规律。

1.1.1 工艺参数对计算 C_v 的影响

1.1.1.1 同介质阀门出入口压差和流量对 C_v 的影响

调节国内某丁二烯装置泵出口流量,液位调节阀,通过调节设备液位变化来控制管道中介质的流量。其物理性质为: 介质为液态二聚物, 烃; 最大流量 2347 kg/h; 正常流量 1143 kg/h; 正常上游压力 0.9 MPa; 调节阀压降 0.05 MPa, 正常操作温度 540℃; 操作密度 593.7 kg/m³; 液体饱和蒸汽压 0.4 MPa; 临界压力 4.29 MPa。

当此工况条件中保持阀门出入口压差不变, 固定为 0.05 MPa, 流量取最大流量 2347 kg/h; 正常流量 1143 kg/h。计算此阀的计算 C_v 。当流量为 2347 kg/h 时, C_v 为 4.9797; 而当流量降低为 1143 kg/h 时, C_v 为 2.425。当流量减小时,

如果压降和流体比重保持不变, 流量系数 C_v 会线性减小。

当此工况条件中保持通过阀门的流量不变, 阀门出入口压差变化时, 压差取 0.05MPa 和 0.1MPa。计算此阀的计算 C_v 。当压差为 0.05MPa 时, 计算 C_v 是 4.9797。而当压差为 0.1MPa 时, 计算 C_v 是 3.521。当压差变大, 即使流量不变, 流量系数 C_v 也会变小。

上述两种情况是理想状态下 C_v 随压差和流量变化的情况, 实际上流量和压差不会如上述单独变化, 而是一起变化, 工况 C_v 值计算取决于 Q 和 ΔP 的综合影响。如果 ΔP 随 Q 的减小而减小, 且 ΔP 的变化速度比 Q 更快, 则 C_v 可能会增大。如果压差 ΔP 变大, 流量 Q 也增大, 但增大的速度较慢, C_v 可能保持不变。例如将压差由 0.05MPa 提高一倍至 0.1MPa, 流量仅增加至 1610kg/h。计算 C_v 的计算结果基本保持不变。对于阀门本体, 因为流量与压差的平方根成正比, 当阀门开度不变时, 压差变大, 流量即会相应增大。所以计算 C_v 值应落在阀门 0~100% 开度 C_v 值曲线上对调节性能比较好的区间上。如果工艺参数发生波动, 阀门可以很好地调整开度, 以适应参数扰动, 达到控制目标。1.1.1.2 不同介质密度对计算 C_v 的影响

本节讨论同流量、同阀门出入口压差的不同介质, 密度不同, 计算 C_v 是否相同。 C_v 本质是一个体积单位。根据 C_v 的计算公式, 当相同流量相同压差的不同介质经过阀门时, 它们的计算 C_v 并不一定相同, 这也就意味着流量及压差相同的不同介质所需的阀门尺寸不一定相同。

某项目数据 A: 泵出口流量调节, 流量 2500kg/h, 上游压力 0.8MPaA, 阀门压差 0.05MPa, 介质 C4、C5, 液体介质, 密度 609.8kg/m³。数据 B: 泵出口流量调节, 流量 2500kg/h, 上游压力 0.81MPaA, 阀门压差 0.05MPa, 介质 C4, 液体介质, 密度 645.7kg/m³。数据 A 经计算得出计算 C_v 为 5.23379。数据 B 经计算得出计算 C_v 为 5.086284。

质量流量一样时, 密度不一样, 故介质体积不一样, 计算 C_v 也就不一样, 那么阀门流通能力也就不一样。根据质量公式: $V=m/\rho$ 。密度大的液体, 体积小, 计算 C_v 小。密度大的液体, 体积大, 计算 C_v 大。由此可见, 同样的流量下, 密度小的介质应该选择阀门流通能力大的。

1.1.2 阻塞流对计算 C_v 的影响

阻塞流是指不可压缩流体或可压缩流体在流过调节阀时所达到的最大流量状态 (即极限状态)

ΔP_{cr} 为开始产生阻塞流时的阀门压降, ΔP_{cr} 的计算公式为:

$$\Delta P_{cr} = F_L^2 (P_1 - F_F P_c)$$

式中, P_v 为液体的饱和蒸汽压力; FL 为压力恢复系数, 由阀门供应商提供; FF 为液体临界压力比系数, 是 P_v 与液体临界压力 P_c 之比的函数, 可由下式进行计算:

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{P_v / P_c}$$

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, 判别式:

$$\Delta P \geq \Delta P_{cr}$$

根据 1.1.1.1 工程实例的阀门工艺数据, $P_1=0.9MPaA$; $P_v=0.4MPaA$; $P_c=4.29MPaA$; $\Delta P=0.05MPa$, 计算这台阀是否会发生阻塞流。 $\Delta P_{cr}=FL^2 \times 0.5502$

FL 值是阀门流体流过节流口后动能转为静压的能力。 FL 值越小压力恢复能力越强。不同产品 FL 值不一样。蝶阀、球阀这类压力恢复能力高的 FL 值就会低, 普遍集中在 0.5~0.68 左右。单座阀、闸阀这类压力恢复能力低的 FL 值就会高, 普遍集中在 0.8~0.9 左右。根据上述计算得知, 若要 $\Delta P_{cr}=\Delta P$, 即 $FL^2 \times 0.5502=0.05$, FL 约为 0.3。但通常的阀门 FL 范围都在 0.3 之上, 也就是说此处这台阀门无论是采用什么阀门, ΔP_{cr} 都大于 ΔP , 不会有阻塞流。

用阻塞流判定公式算出介质工况是否有产生阻塞流的可能, 如若通过判定公式发现将产生阻塞流, 则后续用阻塞流情况的 C_v 公式继续计算 C_v 。

对发生阻塞流的阀门工况, 若工艺条件中给定的压降明显较大, 在计算流量系数时, 需首先对是否会产生阻塞流进行判断。当压差一直增大, 计算 C_v 不再明显变化时即发生阻塞流。当介质通过阀门产生阻塞流时, 流量系数与正常工况下的不一样, 阻塞流情况下流量系数将大于正常给定工艺条件下计算出的流量系数, 因此调节阀最终的阀门尺寸要加大。这样才能保证工艺要求的流量, 使得阀门正常使用。

1.1.3 相态变化对计算 C_v 的影响

闪蒸是不可压缩流体通过调节阀节流后, 从缩流断面直至阀出口的静压 P_2 降低到等于或者低于该流体在阀入口温度下的饱和蒸汽压 P_v 时, 部分液体汽化使阀后形成气液两相的现象。闪蒸发生到一定程度, 空化气泡占据流道, 限制液体通过能力, 导致流量饱和, 此时继续降低阀后压力, 流量不再增加, 出现阻塞流。如果阀后压力恢复到饱和蒸汽压以上, 气泡破裂产生汽蚀, 造成阀门内部结构损坏。所以在确定调节阀尺寸时要考虑到介质是否会发生闪蒸情况。

与闪蒸有关的压力是调节阀缩流断面处的压力 P_{vc} 。如果 $P_{vc} < P_v$ (液体饱和蒸汽压), 气泡就会在流束中形成, 说明闪蒸开始, 但流量仍可调节。如果 $P_{vc} < FF P_v$ (FF 为临界压力比, 由流体性质决定的小于 1 的常数), 这时会大量气化, 如上所述出现阻塞流

某装置塔器塔釜出入口水流量调节, 介质成分水, 乙腈, 液体状态, 流量 16092kg/h, 上游压力 0.64MPaA, 压差 0.4MPa, 操作温度 40℃, 密度 939kg/m³, 饱和蒸汽压 0.371MPaA, 临界压力 20.84MPaA。

(上游压力-阀门压差) < 饱和蒸汽压, 即 $0.64-0.4=0.24 < 0.371$ 。可发现阀门出口压力明显低于该流体的饱和蒸汽压。根据闪蒸工况的物理参数特点, 初步判定此阀发生闪蒸。

闪蒸可以采用合适的阀芯结构或 C_v 稍大的阀门, 使用阀门缩流处的流速适当降低从而提高阀内最小压力, 尽量让

下降的压力高于液体的饱和蒸汽压。同时选取适合的阀体材料、通过阀芯加硬等措施来尽量减小介质闪蒸对阀门的破坏。所以对于闪蒸工况，在选择调节阀尺寸时应适当考虑放大。

1.2 影响阀门额定 C_v 的因素

尺寸相同的调节阀，如果阀芯类型不同，额定 C_v 也就不同。不同的阀芯设计会改变流体通过阀门时的路径和阻力。阀芯结构不同，阻力系数不同， C_v 就不同了。同样尺寸的调节阀，阻力高的阀芯结构额定 C_v 会偏小，阻力低的结构额定 C_v 会偏大。以下用单座阀和偏心旋转阀这两种常见阀芯来说明。参考某品牌的单座阀和三偏心蝶阀。若都选择调节阀尺寸为 DN200，8 寸阀门。8 寸的单座阀额定 C_v 在 640–720 之间，蝶阀则在 1100–2250 之间。这是因为单座阀由于结构复杂，流体通过时会产生较大的压降，导致 C_v 较低，单座阀的设计更注重密封性和控制精度，牺牲了部分流通能力。蝶阀的流道简单，流通面积更大，流体通过时的压降较小，因此 C_v 较高。

公称口径 Valve size inch (mm)	阀芯尺寸 Plug size inch (mm)	额定 C_v 值 Rated C_v			行程: mm Stroke	
		P-port		Q-port ON-OFF	P-port	Q-port
		高特性形 *①	大 C_v *②			
8 (200)	5 (125)	280	—	—	70	—
	6 (150)	365	—	—	70	—
	8 (200)	640	700	720	70	60

图 1 某品牌顶部导向型单座调节阀产品数据

公称口径 Valve size inch (mm)	L 级阀体 L CLASS BODY		M 级阀体 M CLASS BODY	
	60° 开度 60° Open	90° 开度 90° Open	60° 开度 60° Open	90° 开度 90° Open
	60° Open	90° Open	60° Open	90° Open
8 (200)	1,100	2,250	1,000	1,690

图 2 某品牌高性能蝶阀产品数据

1.3 结合计算 C_v 和阀门额定 C_v 考虑调节阀尺寸

确定调节阀尺寸要先得到计算 C_v ，然后用计算 C_v 去结合额定 C_v 选择一个合适的阀门尺寸。这是为了确保阀门在实际工况中能够满足流量调节的要求。保证阀门在调节范围内具有良好的控制性能，提高系统的可靠性和稳定性。

计算 C_v 值是基于实际工况得出的需求值。介质流经阀门时各种情况都影响计算 C_v 的大小，在确定计算 C_v 时若发现有阻塞流、闪蒸等特殊工况，在选择调节阀尺寸时应放一定余量。

额定 C_v 值是阀门的能力值。额定 C_v 会根据阀芯的结构不同、阀芯材质等因素而变化。

如果额定 C_v 值小于计算 C_v 值，阀门无法提供足够

的流通能力。如果额定 C_v 值远大于计算 C_v 值，阀门在正常工作时可能处于很小的开度，导致调节精度下降。所以额定 C_v 值应根据计算 C_v 值按适当比例。

2. 调节阀出口流速

除计算 C_v 和阀门额定 C_v 外，阀门出口的流速也是择调节阀尺寸的考虑因素之一，其影响着控制阀的可靠性、稳定性和使用寿命。阀出口流速如果过快，往往会造成流体对阀体的过度冲刷，引起装置的严重振动和不稳定、噪音严重超标等问题。

在流量系数的讨论中多围绕液体或汽液两相状态讨论。当介质为气体状态时，要考虑气动噪声情况选择合适的阀门尺寸。噪音的大小主要是阀门出口流速决定的。在这方面很多标准中要求把气体介质的阀门出口流速控制在 0.3–0.5 马赫。

在 API 6A 中建议阀门内流速不超过 0.3 马赫，以避免气蚀、噪音和振动。

在 IEC 60534–8 系列标准中虽然没有直接规定流速限值，但高流速（通常超过 0.5 马赫）会导致气动噪声显著增加，因此建议控制流速以降低噪音。

在 ISO 10434 中建议流速控制在 0.3–0.5 马赫之间，以避免气蚀和噪音问题

在实际操作中，当依据计算 C_v 和额定 C_v 选择出合适的调节阀尺寸后，按照标准规范的要求，考虑到阀门噪音影响，应查看阀门出口流速是否在 0.3–0.5 马赫之间，不要超出规范建议的流速范围，若超出则再细化调整阀门选型。以确保阀门的正常使用。

3. 总结

在选择调节阀尺寸时，流通能力是核心因素。本篇主要围绕工况计算 C_v 、阀门额定 C_v 及阀门出口流速来讨论其对调节阀尺寸选择的影响。但对于调节阀尺寸的选择还应考虑经济性价比和阀门后期的维护成本等。这是一个多维度，综合性极强的内容。选择合适的尺寸可以确保阀门在实际应用中高效、稳定地运行，同时降低能耗和维护成本，为系统的长期可靠运行提供保障。

参考文献

- [1]叶雷.调节阀特性及海上油气生产系统调节阀计算[J].工程科技 I 辑·石油天然气工业·机械工业石油和化工设备, 2023, 10: 43–45.
 - [2]叶长流.调节阀阻塞流问题分析[J].工程科技 II 辑·工程科技 II 辑·核动力工程, 2013, S2: 95–98.
- 作者简介: 甄尚雪 (1992–), 女, 北京化工大学, 硕士学位, 于中国石化工程建设有限公司从事自动化设计工作, 任中级工程师。