

工艺管路对节流阀性能 参数影响的分析

刘 婷, 段茂强

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 以火箭发动机零部件液流试验的挤压式系统为基础, 分析和讨论了典型单流路试验系统和双流路试验系统对节流阀各项性能参数的影响, 并提出了在目前技术改造项目中, 设计自动化液流试验系统时关于节流阀的参数计算及选取原则。

关键词: 工艺管路; 节流阀; 性能参数

中图分类号: V460.1

文献标识码: A

文章编号: (2004)05-0057-06

Effect of Flow Pipes on Throttle Valve Performance Parameters

Liu Ting, Duan Maoqiang

(Shaanxi Engine Design Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on pressure fed system the performance variation of flow throttle valve in different test systems (single-path and double-path) are analyzed and discussed. Calculation and selection criteria of flow throttle valve parameters are proposed for the automatic flow testing system design of current facility upgrading program.

Key words: flow pipes; throttle valve; performance parameters

1 引言

节流阀从原理上讲, 是一个局部阻力可以改变的节流元件。当流体流经调节阀时, 通过控制

信号对电动执行机构的动作来改变阀芯与阀座之间的流通面积, 形成局部阻力, 使流体压力及流速产生变化 (与节流式流量计类似), 从而达到调节流量的目的。阀芯的行程 (即关联流通面积) 与系统相对流量的对应关系称为阀门的流量特性, 即

收稿日期: 2003-11-22; 修回日期: 2003-12-12。

作者简介: 刘婷 (1975—), 女, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机流体力学技术。

$$\frac{Q_v}{Q_{v\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right) \quad (1)$$

式中, $\frac{Q_v}{Q_{v\max}}$ 为相对流量, 即节流阀在某一开度时流量 Q_v 与全开流量 $Q_{v\max}$ 之比; $\frac{l}{L}$ 为相对位移, 即节流阀在某一开度时阀芯位移 l 与全开位移 L 之比。

目前市场上提供的节流阀, 主要有线性、等百分比性、抛物线性、快开特性等, 其固有流量特性曲线见图 1。

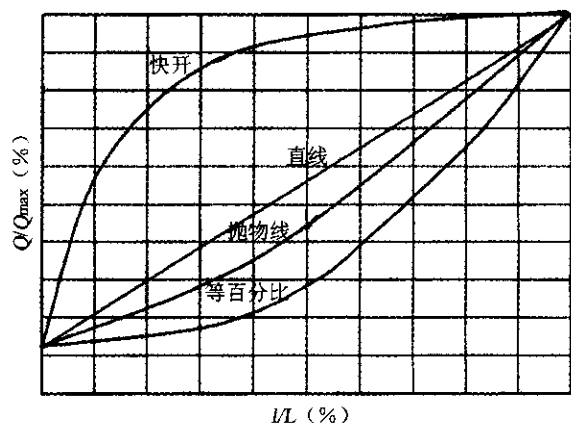


图 1 阀门固有流量特性

Fig.1 The flux characteristic curve of a valve

调节阀的固有流量特性是在不考虑前后压差变化的情况下得出的, 但在实际的工艺管路系统中, 当节流阀的阀芯动作时, 前后的压差是要发生变化的, 而压差的变化又会引起流量的变化, 而且这种变化过程非常复杂。因此, 较固有流量特性而言, 调节阀的工作流量特性要发生畸变, 这种畸变与工艺管路的状况有很大关系。

自动化液流试验系统是通过软件控制来完成试验参数的自动控制与调节的, 一般要求通过预先设定的流量点来调节系统流量。对于不同状态的工艺管路, 当采用软件来控制节流阀门并动作单元行程时, 引起的系统流量变化往往会大相径庭, 这不仅会给试验参数的调节精度带来误差, 甚至当选用不当调节阀时, 可能会无法调节到预设的流量点, 或调节过程过缓, 无法满足批量试验的任务要求。

2 试验工艺管路对节流阀调节参数的影响分析

为获得实际的参考价值, 以挤压式试验系统为例进行分析。

2.1 典型单流路试验系统

典型单流路试验系统为串联管路系统, 参照图 2 所示, 此系统为新建的某小流量自动化液流试验的简单模型。

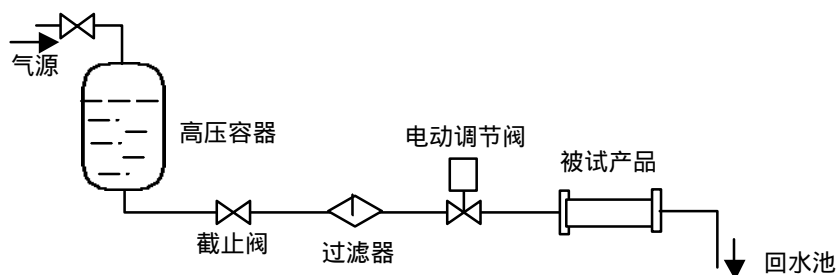


图 2 典型单流路试验系统原理图

Fig.2 Schematic diagram of a typical single-path system

对于该系统, 作如下定义:

Δp_s 为系统总的压降, 即 Δp_s 等于容器压力, 为 p_c (表压);

Δp_v 为节流阀在某一开度下的压降;

Δp_{ls} 为管路系统的压降; 故有 $\Delta p_s = \Delta p_v + \Delta p_{ls}$;

s 为阀阻比, 即节流阀全开时, 阀门的压降与系统总压降的比值, 即 $s = \frac{\Delta p_{v\max}}{\Delta p_s}$ 。

由调节阀的流量方程可知, 通过阀门的流量 Q_v 和流量系数 K_v 有关, 而 K_v 又随阀门的开度而变, 假设节流阀的压差恒定为 $\Delta p_{v\max} = \Delta p_v$, 则可得

$$\frac{Q_v}{Q_{v\max}} = \frac{K_v \sqrt{\frac{\Delta p_v}{r}}}{K_{v\max} \sqrt{\frac{\Delta p_{v\max}}{r}}} = \frac{K_v}{K_{v\max}} \quad (2)$$

式中, Q_v 、 K_v 、 Δp_v 为某一开度下通过阀门的流量、流量系数、前后压差; $Q_{v\max}$ 、 $K_{v\max}$ 、 $\Delta p_{v\max}$ 为阀门全开时的流量、流量系数、前后压差; r 为流体的密度。

由公式 (1)、(2) 可得

$$K_v = K_{v\max} f\left(\frac{l}{L}\right) \quad (3)$$

$$Q_v = K_{v\max} f\left(\frac{l}{L}\right) \sqrt{\frac{\Delta p_v}{r}} \quad (4)$$

由流体的连续性可得

$$Q_v = K_{v\max} f\left(\frac{l}{L}\right) \sqrt{\frac{\Delta p_v}{r}} = Q_{ls} = K_{ls} \sqrt{\frac{\Delta p_{ls}}{r}} \quad (5)$$

式中, Q_{ls} 为通过管道系统的水流量; Δp_{ls} 为管路系统压降 (除节流阀压降外所有设备的压降总和); K_{ls} 为管路和设备 (截止阀、过滤器、流量计、被试产品等) 的流量系数。

由公式 (5) 及 $\Delta p_s = \Delta p_v + \Delta p_{ls}$ 得

$$\Delta p_v = \frac{\Delta p_s}{\left(\frac{1}{M} - 1\right) f^2\left(\frac{l}{L}\right) + 1} \quad (6)$$

其中

$$M = \frac{K_{ls}^2}{K_{ls}^2 + K_{v\max}^2}$$

式中, M 为定义量。

为了获得实用的使用公式, 考虑节流阀全开时, 有 $f^2\left(\frac{l}{L}\right) = 1$, 则此时阀上的压差 $\Delta p_{v\max}$ 为

$$\Delta p_{v\max} = M \Delta p_s \quad (7)$$

可见, 此时的 M 表示了节流阀全开时压差与系统总压差的比值, 即 $M = s$ 。因此, 公式 (6) 可以转化为

$$\Delta p_v = \frac{\Delta p_s}{\left(\frac{1}{s} - 1\right) f^2\left(\frac{l}{L}\right) + 1} \quad (8)$$

$$Q_v = f\left(\frac{l}{L}\right) \sqrt{\frac{s}{(1-s)f^2\left(\frac{l}{L}\right) + s}} Q_{v\max} \quad (9)$$

公式 (8) 与公式 (9) 分别表示了节流阀的压差以及流量的变化规律, 对于某一系统, s 值的计算是一项很繁琐的工作, 在工程中可以通过试验的方法直接获得。图 3 为直线和等百分比特性的节流阀在串联管路系统中的工作流量特性图。

由图 3 可得出如下结论:

(1) 串联管路系统会使节流阀的调节比降低, 当管道阻力损失越大时, 实际的可调比越小。

(2) 串联管路系统中, 节流阀在小开度状态时, 系统流量对节流阀行程的变化敏感; 在大开度状态时, 系统流量对于节流阀的行程变化较为迟钝。

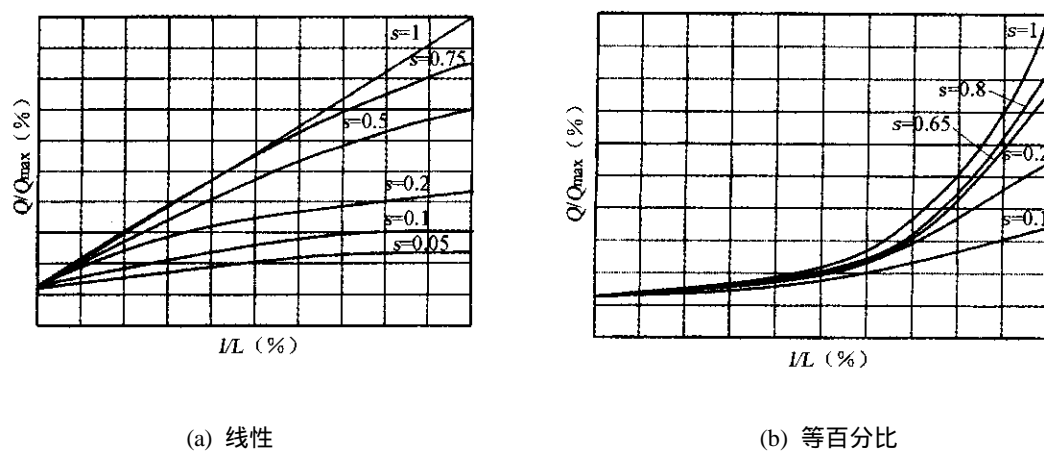


图 3 串联管路调节阀的工作特性

Fig.3 Operation characteristic of a regulating valve in single-path system

2.2 典型双流路试验系统

双组元液流试验系统均为典型的双流路试验系统，属于并联管路系统，其对调节阀的流量特性及可调比的影响更为复杂，由图 4 可知：

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 = K_{v1} \sqrt{\frac{\Delta p_1}{r}} + K_{v2} \sqrt{\frac{\Delta p_2}{r}} \quad (10)$$

式中， Q_{Σ} 、 Q_1 、 Q_2 为系统总流量、支路 1 与支

路 2 的流量； Δp_1 、 Δp_2 为节流阀 1 与节流阀 2 前后的压差； K_{v1} 、 K_{v2} 为节流阀 1 与节流阀 2 的流量系数。

支管路 1 的相对流量为

$$\frac{Q_1}{Q_{\Sigma}} = \frac{K_{v1} \sqrt{\frac{\Delta p_1}{r}}}{K_{v1} \sqrt{\frac{\Delta p_1}{r}} + K_{v2} \sqrt{\frac{\Delta p_2}{r}}} \quad (11)$$

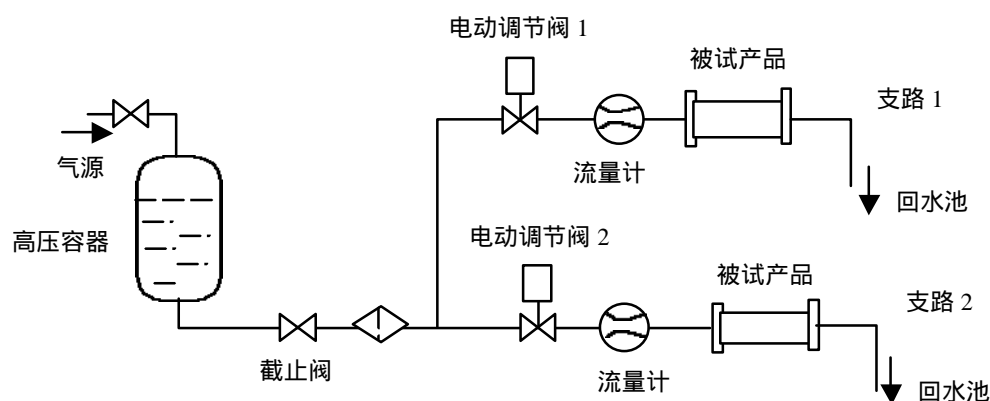


图 4 典型双流路系统原理图

Fig.4 Schematic diagram of a typical double-path system

为了便于分析,对管路系统的工作状态作以下假设:

- (1) 假定支路1的节流阀全开;
- (2) 假定支路2的节流阀保持开度恒定;
- (3) 假定令 $\Delta p_{v2} = a^2 \Delta p_{v1max}$, 其中 a 为某一系数;

(4) 假定 X 表示节流阀2保证一定开度、节流阀1全开时支管路1的最大流量与此时系统的总流量的比值

$$X = \frac{Q_{1max}}{Q_{\Sigma}} = \frac{K_{v1max}}{K_{v1max} + aK_{v2}}$$

则可推出

$$\frac{Q_1}{Q_{\Sigma}} = X f_1\left(\frac{l}{L}\right) \quad (12)$$

公式(12)表达了双流路试验系统条件下节流阀的流量变化规律,但要计算出其中的 a 系数及 X 值,却是非常复杂的。我们仍然可以通过试验的方法获得:即在保证系统总压降不变的条件下(容器内气源压力恒定),将节流阀1开到最大,分别测试节流阀2在0~100%范围内不同开度下的 Q_{1max} 、 Q_{Σ} 、 Δp_{1max} 、 Δp_2 参值,即可换算出节流阀2在不同开度下的 a 系数及 X 值。

图5为双流路试验系统中,直线和等百分比特性节流阀的固有流量特性曲线图。

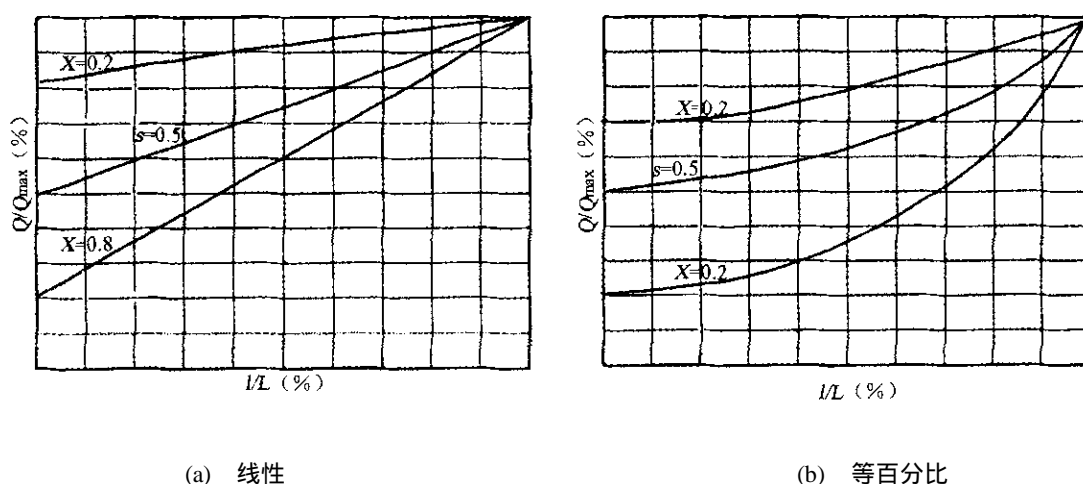


图5 双流路试验系统调节阀的工作特性

Fig.5 Operation characteristic of a regulating valve in double-path system

由图5可得出如下结论:双流路试验系统对于节流阀的调节比的影响最大,会使节流阀在整个行程变化范围内所能控制的流量变化减小。因此,从阀门的调节比角度来讲,要尽量避免使用并联管路。但是对于压力源恒定的系统(如泵压试验系统)也可以利用其特点,在串联管路系统中并联旁路,来辅助调节串联管路上节流阀,达到微小流量调节的工艺要求。

3 节流阀的选取原则

基于上述分析,得知工艺管路系统对于节流

阀的影响很大,在设计上采用软件自动控制的自动化试验系统时,必须要根据实际的试验指标及系统的实际情况来选取节流阀。

首先要进行节流阀流量特性的选择,四种阀门流量特性如下:

(1) 直线特性:阀门在开度小时,流量的相对变化值较大,灵敏度高,不易控制;而在开度大时,流量的相对变化较小,调节速度缓慢。

(2) 等百分比特性:阀门在小开度时,节流阀调节缓和;在大开度时,调节灵敏有效。

(3) 抛物线型:流量特性曲线介于直线与对数曲线之间,弥补了直线型阀门在小开度时调节性

能差的缺点。

(4) 快开型: 其阀芯是平板形的, 一般用于快速启闭的阶跃式流量系统。

其次, 要进行节流阀的口径选择及流量系数 K_v 的确定, 方法如下:

(1) 计算流量的确定: 根据试验设备、试验常用流量范围来确定最大流量 Q_{\max} 和最小流量 Q_{\min} 。设计者总是希望系统的工作能力越大越好, 但是选择的 Q_{\max} 越大, 会使计算的 K_v 值加大, 导致节流阀经常处于小开度状态工作, 阀芯受流体冲蚀严重, 造成调节比减小、调节性能变坏, 严重时甚至会引起小流量调节不到位的情况。解决矛盾的最简单有效的方法可根据不同的试验系统来确定。

(2) 对于挤压系统, 可以通过调节气源压力来改变 s 值, 以获得较广范围的可调比及更好的调节特性 (参照公式 (8)、(9))。

(3) 对于泵压系统, 由于系统压力源为泵的出口压力, 因此只能采用并联多台不同口径及 K_v 值的调节阀, 进行分段或辅助调节系统流量。

(4) 计算压差的确定: 根据选择的节流阀流量特性及工艺管路的特点选定 s 值, 然后确定计算压差。 s 值最好不要小于 0.15, 一般取值范围为 0.3~0.5。

(5) 流量系数 K_v 值的确定: 要注意一般的技术参数中给出的调节阀 K_v 值是额定流量系数, 因此, 确定流量系数时应代入额定流量及额定压降, 并将求得的流量系数放大取整, 参考选型样本进行选取。

(6) 根据系统的要求及以上的计算结果进行阀座直径、工称直径等参数的确定。

4 实例验证

在建造某小流量自动化液流试验系统 (图 2

所示) 的过程中根据设计系统的最大流量及压力、以及常用流量范围选用 MVY-64 型电动调节阀, 主要技术指标如下:

- (1) 固有流量特性: 线性;
- (2) 额定流量系数: 0.32;
- (3) 最大行程: 10mm;
- (4) 可调比: 30: 1;
- (5) 执行机构调节灵敏度: 0.5%。

以喷注管液流试验为例, 喷注管的额定流量为 2.2g/s, 设定调节阀的调节精度范围为 2.15~2.25g/s。在系统调试过程中, 发现各个喷注管实际流阻差异对于调节阀的影响较大, 当流阻较大时, 阀阻比 s 就会减小, 导致调节阀的调节比 R 减小 (参照图 3a 所示), 从而使调节速度变缓; 反之, 当喷注管的实际流阻较小, 调节阀动作最小单元时, 系统流量变化却超出了设定的精度范围。通过分析以及将各项参数代入公式 (8)、(9) 计算, 获得调节阀最佳调节效果所需的系统总压 p_s 值约为 0.28MPa~0.3MPa, 并通过试验得到验证。目前按照此状态已经进行二千多台次喷注管的液流试验。

5 结论

通过分析表明自动化试验系统与人工调节系统对于调节阀的选取原则不同, 自动化系统中节流阀的选取不是简单的通径、压力、固有流量特性的选取, 而是需要根据试验工艺管路的系统特点、实际工作情况, 进行合理的分析计算后, 有针对性地选取和配置。只有充分了解试验系统对节流阀各项性能参数的影响, 选取合适的节流阀, 才能使整个自动化试验系统的设计更加合理, 试验系统更加完整、协调、可靠的工作。

(编辑: 马杰)