

关于气动阀临界压力比 b 及其流量公式的探讨

司 冀 王永盛 史维祥

(西安交通大学 SMC 气动技术中心, 陕西西安 710049)

摘要: 本文对 ISO 6358 标准规定的表述元件流量特性的两个参数声速流导 C 和临界压力比 b 进行了研究, 提出临界压力比 b 合理选定的新建议并和原测定方法进行比较, 分析其合理性。对元件音速段和亚音速段流量公式进行研究, 通过大量实验及理论分析, 提出了准确度高、简单和使用方便的新流量计算公式。

关键词: 声速流导; 临界压力比; 新流量计算公式

中图分类号: TH138.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-0813(2011)02-0047-05

An Approach to Critical Pressure Ratio b and Its Flow-rate Formulas for Pneumatic Valve

SI Ji WANG Yong-sheng SHI Wei-xiang

(Xi'an Jiaotong University SMC Pneumatic Technology Research Center, Xi'an 710049, China)

Abstract: In this paper, the sonic conductance C and critical pressure ratio b , which represent flow characteristics of the pneumatic elements in accordance with the ISO 6358, are researched. The proposal for critical pressure ratio b new definition is presented, which is compared with original method to analyze the reasonableness of new method. The flow-rate calculation formulas of sonic and subsonic section are studied. Through a great deal of experiments and theoretical analysis, a higher precise, simple and convenient flow-rate formula is put forward.

Key Words: sonic conductance; critical pressure ratio; new flow-rate formula

0 引言

ISO 6358 标准规定用声速流导 C 和临界压力比 b 作为表述气动元件流量特性的两个特性参数^[1]。由于难以保证两个特性参数测量及计算的准确性, 因此通过它们来计算气动元件的流量特性曲线, 其准确性难以保证^[2]。

基于上述问题, 本文通过对气动阀进行大量实验, 对声速流导 C 和临界压力比 b 进行分析, 并依据合理的 b 值, 推导出新的气动元件流量公式。

1 气动阀流量特性曲线测定

1.1 测试回路及测试系统

针对 ISO 6358 标准规定的测试方法“费时费气”的缺点, 我们对其进行了改进(见图 1), 新的系统可方便快捷地直接得到气动元件流量特性曲线并且直接给出声速流导 C 和临界压力比 b , 新系统大大提高了气动阀流量特性的测试效率, 节省了能源, 提高了测试精度。

收稿日期: 2010-10-8

作者简介: 司冀(1985-), 男, 硕士研究生, 西安交通大学机械工程学院机械电子工程专业, 现从事流体传动领域的科学研究。

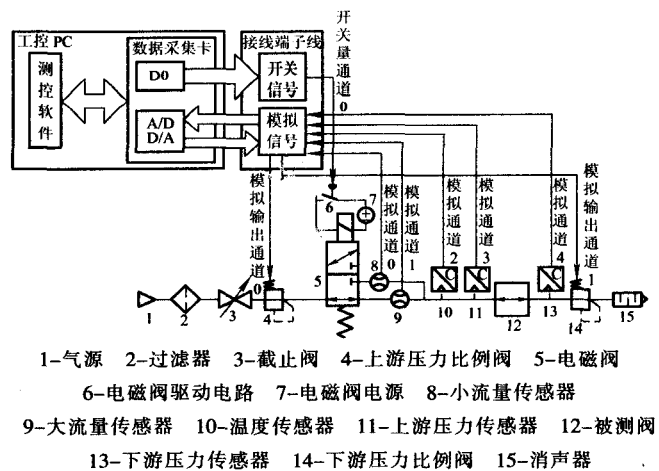


图 1 改进后的计算机测试系统

1.2 测试结果

根据改进的测试系统, 对气动阀 VQ4201 进行多组实验, 图 2 为其中一实例。以往发表的论文常只对阀在一两个压力及开口量下做简单几组实验, 这样不能代表整个阀工作范围内的流量特性, 如节流阀、减压阀等都在不同压力及开口下工作。后面我们所有的实验都进行了此方面研究, 并且为使所得结果可靠, 曾试验了大小两种换向阀。

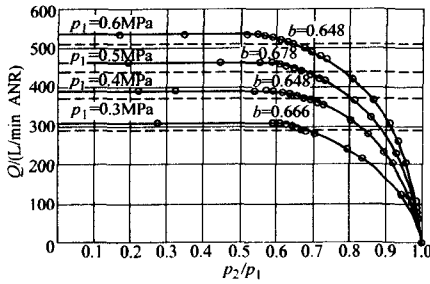


图2 阀芯开度 $x=0.2\text{mm}$ 时气动阀流量特性曲线

2 关于声速流导 C 与临界压力比 b 的研究

根据气动阀的实验数据,对 C 与 b 这两个特性参数进行分析。

2.1 声速流导 C

ISO 6358 规定以公式(1)计算声速流导 C ,这里分析其与气动阀上游压力和阀芯开度的关系^[3]。

$$C = \frac{q_m^* \sqrt{T_1}}{\rho_a p_1^* \sqrt{T_0}} \quad (1)$$

从图3和图4中的实验结果可以看出, C 值与气动阀上游压力和阀芯开度近似线性关系,但是同等开度下 C 值随上游压力的变化远远小于同等上游压力下 C 值随阀芯开度的变化。因此,声速流导 C 主要受阀芯开度影响,开度给定, C 值基本确定。

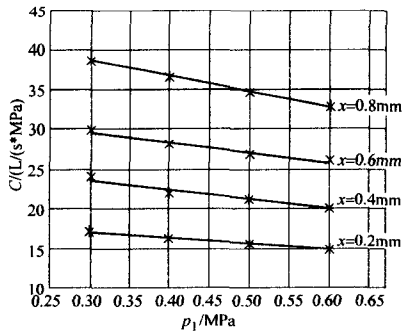


图3 声速流导 C 与气动阀上游压力 p_1 关系

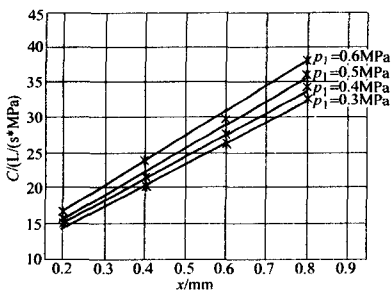


图4 声速流导 C 与阀芯开度 x 关系

2.2 临界压力比 b

ISO 6358 规定以公式(2)计算临界压力比 b 值。实

践证明,这种方法计算出的 b 值不能够反映出气动元件实际气动性能^[4]。

$$b = 1 - \frac{\Delta p_c}{p_1} \frac{1}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{q_m}{q_m^*}\right)^2}} \quad (2)$$

既然 b 值是在气动元件流量特性曲线上定义的, b 值就应直接从实验曲线上来确定,这样就避免了由理论公式本身的问题对计算 b 值的影响。本文建议在流量特性曲线上用 $0.95Q_m^*$ 对应的压力比值作为该气动元件的临界压力比 b 值(见图5)。

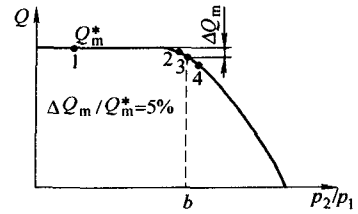


图5

参照自动控制理论,在时域响应中,调节稳定时间 t_s 确定为达到目标的 95%,亦即在工程上,当参数达到 95%就可以认为已达到目标了。

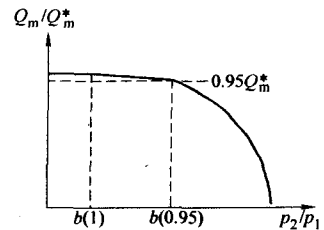


图6

从图6上可看到若 $Q_m/Q_m^*=1$ 时来确定 b 值是不合理的,这时所确定的 b 值过小(如 $b < 0.2$),在工程上认为,在后面较大区内都应属壅塞流。

此外在流量测试中,流量计、压力计及测试方法等所形成的综合误差有一定数值,所测出的 Q_m/Q_m^* 为 1 亦不一定是元件流量比值真正为 1。在实践中,有时较小的流量测试误差会造成压力比 p_2/p_1 很大的变化,故 b 值亦较难测准,所以在上述原则下提出下面两种具体确定 b 值的方案。

方案 1: 除 $0.95Q_m^*$ 外再测 $0.97Q_m^*$ 及 $0.93Q_m^*$ 两个点(见图5),取对应于 3 个点处 p_2/p_1 的平均值作为 b 值。

方案 2: 图解法,在 $0.95Q_m^*$ 附近多测 3~4 个辅助点,做出过这些点的光滑曲线,在该曲线上找与 $0.95Q_m^*$ 值对应的 p_2/p_1 值即定为 b 值。

对两种方法计算出的 b 值进行对比,如图7所示。

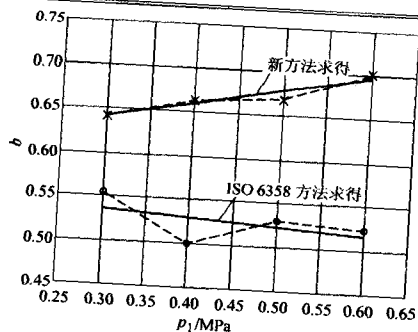


图7 $x=0.8\text{mm}$ 时 b 值随元件上游压力变化图

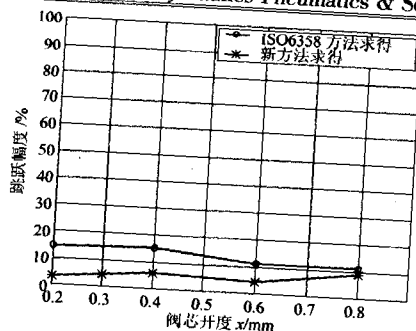


图11 同等开度下 b 值跳跃幅度对比图

图中可以看出,相比式(2)计算出的 b 值,新方法测定的 b 值比较有规则地变化,且两者数值差别较大。下面进一步分析 b 与上游压力 p_1 及开度 x 的关系。

由图 8、9 可以看出,临界压力比 b 的变化与元件上游压力 p_1 和阀开口量 x 近似线性关系,但 b 值变动范围较小。

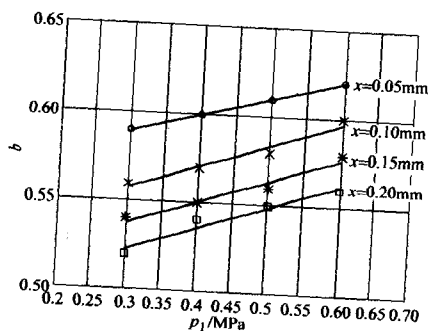


图8 临界压力比 b 与上游压力 p_1 关系图

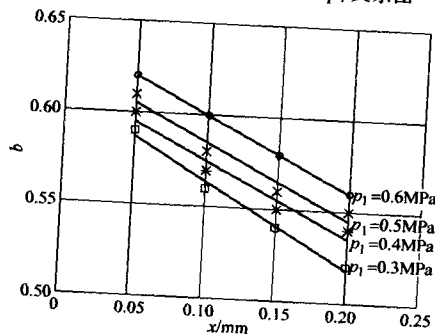


图9 临界压力比 b 与开度 x 关系图

再分析两种方法求得的 b 值在不同上游压力和不同开度下的稳定性,如图 10 和图 11 所示。

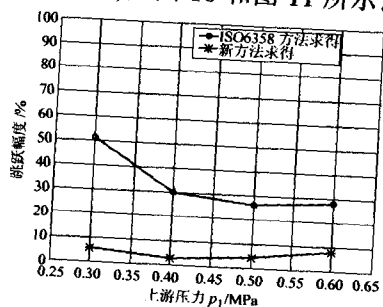


图10 同等压力下 b 值跳跃幅度对比图

从图中可以看出,新方法求得的 b 值比较稳定,大约在 0.6~0.7 之间,新方法较 ISO 6358 方法的优点是简便易行、求得的 b 值更符合实际且比较稳定。

3 关于气动阀流量公式的研究

3.1 音速段

本实验气直接排于大气并处于音速,在气动阀不同上游压力和不同阀芯开度下,分析壅塞流时流量与气动阀上游压力 p_1 和阀芯开口量 x 的关系。

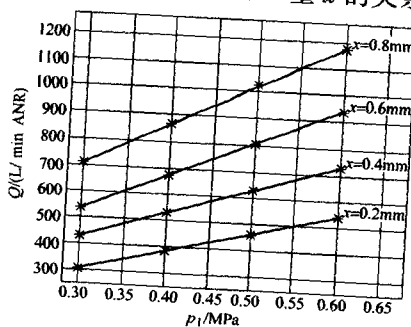


图12 不同开度下壅塞流量 Q^* 与上游压力 p_1 关系图

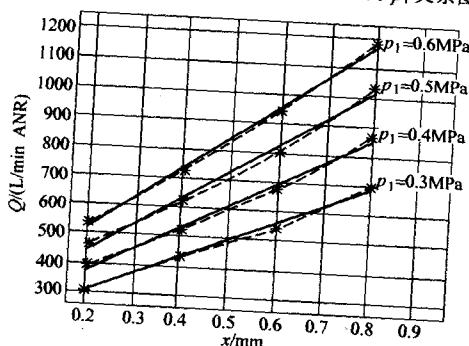


图13 不同上游压力下壅塞流量 Q^* 与阀口开度 x 关系图

可以看出,壅塞流量 Q^* 与上游压力和开度基本成线性关系,这就验证了音速段流量理论计算公式的合理性。

通过曲线拟合,得到计算壅塞流的经验公式:

$$Q^* = C_v p_1 x \quad (3)$$

C_v 为定常数,可通过上述两图的斜率求得。

3.2 亚音速段

ISO 6358 规定有计算气动元件亚音速段流量的公

式,代进 b 值,就可得到元件流量特性曲线。图 14 为用实验结果检验其合理性的对比图。

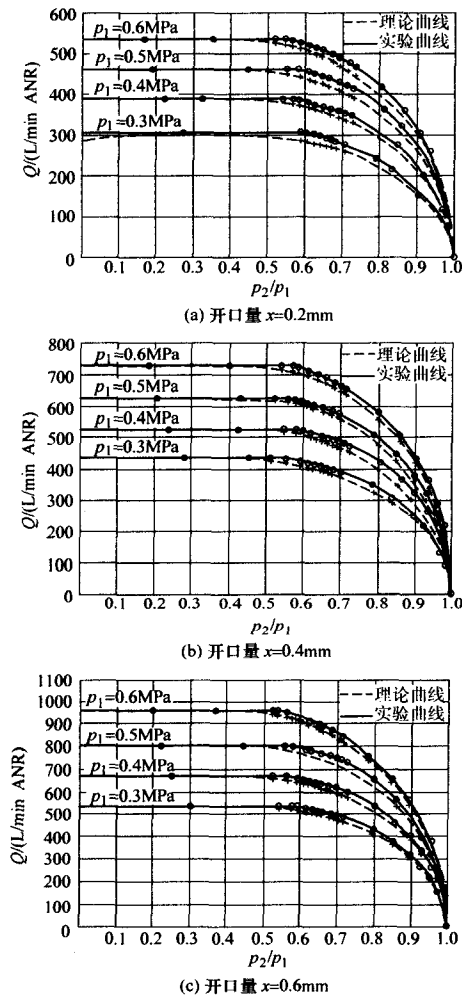


图 14 实验测得阀 VQ4201 流量曲线与理论公式计算所得曲线对照图

通过以上四幅图的对比,不难发现在亚音速区,理论计算所得流量曲线和实验曲线有明显偏差。

南京理工大学的滕燕、李小宁对 ISO 6358 标准的气动元件流量特性表达式做过深入研究。表明了导入 ISO 流量扩展式的必要性。分析引入的参数 n, m, a 对流量特性曲线形状的影响^[5]。

其扩展表达式为:

$$q = q_m^* \left[1 - \left(\frac{p_2/p_1 - b}{a - b} \right)^m \right]^n \quad (4)$$

$p_2/p_1 > b$

根据 ISO6358 规定的 b 值计算公式计算出来的 b 值较小且不稳定,不能够代表气动元件的实际特性,结合前边讨论的求临界压力比的新方法,我们用新方法所得的 b 值来推导新的流量公式。

西安交通大学气动研究中心在理论上证明了气动元件在亚音速段的流量特性曲线近似一椭圆曲线^[6]。结合大量实验,通过参数调整和曲线拟合分析,发现 1/4 椭圆确实能较好地拟合气动元件的流量特性曲线。因此,根据椭圆标准方程,既然要精确拟合实际曲线,那么假设椭圆曲线过点 $(b, 0.95q^*)$ 和 $(1, 0)$, 其中, b 值为用新方法测定,以此求得新的流量公式为:

$$\left(\frac{q}{q^*} \right) + \left[\frac{p_2/p_1 - (1.454b - 0.454)}{1 - (1.454b - 0.454)} \right]^2 = 1 \quad (5)$$

$p_2/p_1 > b$

图 15 为用新的流量公式求得的流量曲线与实验所得流量曲线的对照图。

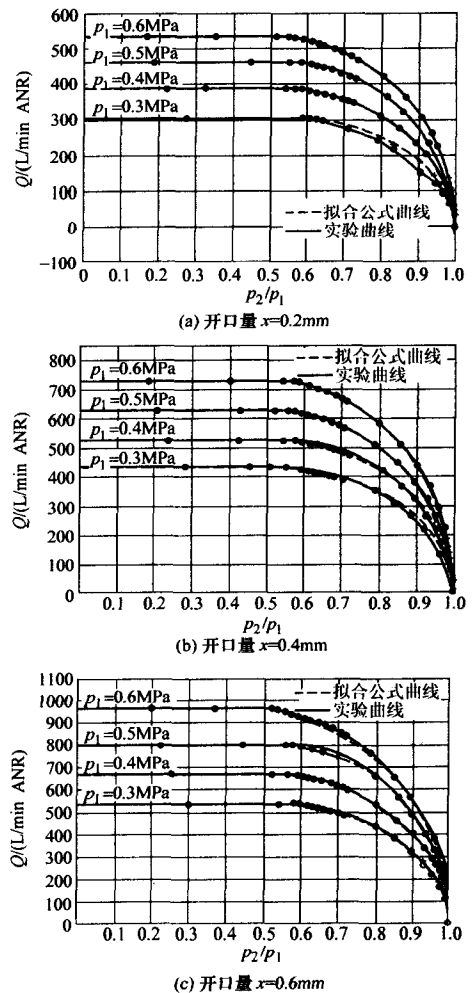


图 15 实验测得阀 VQ4201 流量曲线与新公式计算所得曲线对照图

可以看出,新推导的流量公式与实际流量特性曲线相吻合,和图 14 相比精度显著提高。

为了验证公式的通用性和正确性,我们又对换向阀 SY5520-5DZ-C6 进行实验,图 16 为通过拟合公式(5)计算所得流量曲线与实验所得流量曲线的对照图。

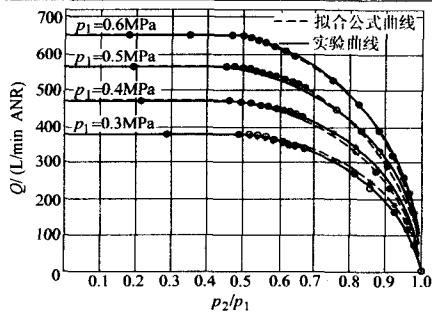


图16 实验测得SY5520-5DZ-C6流量曲线与新公式计算所得曲线对照图

可以看出,新推导的流量公式有很好的通用性,亦再次证明了新公式的正确性。

由此可以得出一个重要结论,只要在流量特性公式(4)中选取合理的 b 值,就可以较正确地代表所测气动元件亚声速段流量特性,而不用另求 n, m ,同时,同时也间接性地证明了 b 值的新测量方法符合实际。以上结论至少适用于直角边阀。

本研究中心对用声速放气法测元件有效截面积 S 和其测试系统各种问题进行了深入研究,取得显著成果^[7]。研究发现:

(1)由于国标规定的测试方法中被测阀的有效截面积包括了上游系统的有效截面积,这样测出的结果误差较大,为此应排除上游系统有效面积对被测阀有效面积的影响(常相当大)。因此国家规定的测试方法进行修改,建议国家标准中应规定系统的上游压力降应低于整个压力降的1/5。

(2)大量实验反复证明国家标准规定的声速放气法,只要实验方法及实验系统设计正确,所得出的结果正确可靠。

4 结论

(1)声速流导 C 随着元件上游压力增大线性减小,

随着阀芯开口量增大线性增大,并且其大小主要受开口量影响,因此可以认定只要开口量一定, C 值基本确定。

(2)作为讨论方案,本文提出在流量压力比曲线上以 $0.95Q_m^*$ 对应的上下游压力比值作为 b 值,对原有方法和新测定方法测得的 b 值进行比较,证实新方法更为合理。

(3)对音速段和亚声速段流量计算公式进行分析。在音速区用大量实验证明了理论计算公式的合理性。而对亚音速段,只要合理选取 b 值,就可以以1/4椭圆来近似替代元件亚音速段流量特性曲线,以此推导出气动元件在亚音速段新的流量计算公式,此公式既简单又准确。这亦间接性证明了新方法定义 b 值的合理性与正确性。

参 考 文 献

- [1] ISO 6358-1989, Pneumatic fluid power -Components using compressible fluids -Determination of flow-rate characteristics[S].
- [2] 徐文灿.国际标准 ISO 6358 可靠性剖析[J].液压与气动,1991(1).
- [3] SMC(中国)有限公司.现代实用气动技术[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [4] 蔡茂林.现代气动技术理论与实践.第一讲:气动元件的流量特性[J].液压气动与密封,2007(2).
- [5] 滕燕,李小宁.对 ISO 6358 标准的气动元件流量特性表示式的研究[J].液压与气动,2004(2).
- [6] 史佚,陈乾斌,等.气动元件等温流动近似流量公式的探讨[J].液压气动与密封,2010(9).
- [7] 陈乾斌,等.关于求解气动阀有效截面积的问题[J].液压气动与密封,2010(3).

阀岛

阀岛, Valve Terminal,是由多个电控阀构成的控制元器件,它集成了信号输入/输出及信号的控制,犹如一个控制岛屿。

阀岛是新一代气电一体化控制元器件,已从最初带多针接口的阀岛发展为带现场总线的阀岛,继而出现可编程阀岛及模块式阀岛。阀岛技术和现场总线技术相结合,不仅确保了电控阀的布线容易,而且也大大地简化了复杂系统的调试、性能的检测和诊断及维护工作。借助现场总线高水平一体化的信息系统,使两者的优势得到充分发挥,具有广泛的应用前景。

阀岛一般可分为以下几种类型:(1)带多针接口的阀岛(2)带现场总线的阀岛(3)可编程阀岛(4)模块式阀岛。