

ICS 75.180.10

E 92

备案号: 4048—1999

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6400—1999

气举阀性能试验方法

Recommended practice for gas lift valve
performance testing

1999-08-09 发布

2000-04-01 实施

国家石油和化学工业局 发布

目 次

前言	V
API 前言	VI
0 总论	1
1 范围	1
2 定义和缩略语	2
2.1 定义	2
2.2 缩略语	3
3 试验场所	3
3.1 引言	3
3.2 一般说明	3
3.3 试样	4
3.4 试验装置	4
3.5 节流控制阀	5
3.6 压力缓冲保护	5
3.7 流量测量	7
3.8 测压孔	7
3.9 压力测量	8
3.10 测温孔	8
3.11 温度测量	8
3.12 平衡控制阀	8
3.13 供气	9
3.14 文件	9
4 气举阀探针测距试验	10
4.1 引言	10
4.2 需要设备	11
4.3 探针测距试验程序	11
4.4 确定阀的承载率	12
4.5 确定最大有效阀杆行程	13
4.6 文件	13
5 流量系数试验程序	15
5.1 引言	15
5.2 试样	15
5.3 流量系数试验	16

5.4	数据评价	16
5.5	C_v 和 X_t 试验数据的应用	18
5.6	文件	18
6	气举阀性能试验	20
6.1	引言	20
6.2	流动性能试验文件	21
6.3	稳定生产压力试验准备	21
6.4	稳定生产压力试验 (CPPT)	22
6.5	稳定注入压力试验 (CIPT)	23
7	相关性试验的建立	25
7.1	探针测距试验	25
7.2	流量系数试验	25
7.3	气举阀性能试验	25
7.4	试验数据的使用	25
附录 A (标准的附录)	简化流动性能模型	26
附录 B (标准的附录)	(TUALP) 流动性能模型	27
附录 C (提示的附录)	引用标准信息	38

前 言

本标准是根据美国石油学会标准规范 API RP 11V2《气举阀性能试验推荐作法》(1995年2月1日第1版)制定的,在技术内容上与该推荐作法等同,编写规则也基本与之等同。

这样,通过使气举采油设备的试验技术与国外先进技术一致或等同,以提高气举阀的现有试验水平,保证其制造质量,且尽快适应国际贸易、技术合作和经济交流飞跃发展的需要。

制定本标准时,对 API RP 11V2 中引用的国外标准相对应的全部中译文本的出处列在附录 C (提示的附录)中。由于将国外标准转化为国内标准时应符合 GB/T 1.1—1993 格式的规定,故将第 1 章的题目“试验范围”改为“范围”。根据 GB/T 1.1—1993 中的规定,该标准保留采用对象的前言。因 API RP 11V2《气举阀性能试验推荐作法》中公式计算单位为英制,部分公式无法转换成国际单位制形式,所以均未加以转换,而图和表中的英制单位均转换成国际单位制形式。

本标准的附录 A、附录 B 都是标准的附录。

本标准的附录 C 是提示的附录。

本标准由全国石油钻采设备和工具标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:大庆石油学院石油机械系。

本标准参加起草单位:塔里木石油勘探开发指挥部油气开发研究中心。

本标准主要起草人 张玉斌 宫恒心 贾光政 刘彩玉

API 前 言

API 出版物有必要提出一般性的问题。对于一些特殊情况，应该重查一下地方、州和联邦的法律和规章。

API 既不承担那些雇主、制造商和供应商在健康保险、安全保险和劳动保护方面用来警告、正常训练和装备他们的雇员及其他陈述的义务，也不承担他们在地方、州或联邦的法律下的责任。

关于特殊材料和工作条件的安全与健康保险及适当的劳务保护的资料，应该从雇主、材料的制造商和供应商或材料的安全数据表中获得。

任何 API 出版物的内容将不被认为以含蓄的或其他方式授权于拥有专利证书的任何方法、装置或产品进行制造、销售或应用。该出版物的任何内容不应被认为能保证任何人逃脱承担侵犯专利的赔偿责任。

通常，API 标准至少每 5 年被重审、修订或撤销一次。有时，一次可延期两年再加入这个重审的周期。作为一个现用的或已被授权延期过的 API 标准，从出版日期算起 5 年后将不再有效，直到再版。

从 API 编辑部可以查明这些出版物的情况。API 出版物及材料目录每年出版一次，并且按季度修订。

在 API 标准化程序下出版的文件将保证文件拟定过程中适当的通告和合作，同时该文件被指定为 API 标准。涉及到这个标准的内容说明问题，或涉及到这个标准在这个程序下被拟定的意见和问题，应该直接写信给美国石油学会勘探开发部的管理者。在这里出版的材料的全部或部分允许再版或翻译，但也应该向管理者提出请求。

API 出版物可以被关心它的任何人应用。学会已经对保证这个出版物中的数据准确性与可靠性做了各种努力。但是学会在出版物方面并不作出表示、担保或保证，因此拒绝对应用中损失或损坏的结果，或违反与出版物冲突的联邦、州或城市的规章承担任何义务或责任。

API 标准出版便于在证明、探测工程和操作试验方面的广泛应用。这些标准无意阻止在这些标准应该被利用的时间和地点的、与探测工程有关判断上的应用需要。API 标准的公式化和出版物无意用任何方法阻止任何人应用任何其他的试验。

按 API 标准的制造要求制造设备或材料的任何制造商，单独负责执行那些标准的所有适当的要求。API 不对那些实际上是依靠适当的 API 标准制做的产品作出表示、担保或保证。

0 总论

本标准包括钢丝可投捞式和油管可取式注入压力操作和生产压力操作气举阀流动性能试验的试验程序。注入压力操作是指由注入压力提供的导致球和阀杆动作的最大作用力。生产压力操作是指由生产压力提供的导致球和阀杆动作的最大作用力。

本标准包括：

- a) 推荐动态试验系统技术要求（见第3章）。
- b) 推荐试验设备，描述确定给定阀波纹管总成的承载率和最大有效行程所必需的试验程序（见第4章）。
- c) 描述确定整个阀杆行程范围内阀的流量系数所必需的试验程序（见第5章）。
- d) 描述得出气举阀性能曲线的两种方法（见第6章）。
- e) 为建立用于预测阀特性的数学模型或相关因素，推荐所要求的试验数量（见第7章）。
- f) 在不同于已试验过的那些条件下，使用试验数据预测阀特性的两种方法 [见附录A（标准的附录）和附录B（标准的附录）]。

设计推荐的试验方案，以使用最少的实验室试验数据提供信息。

1 范围

- a) 试验场所建议（参见第3章）

这部分概述了试验阀时所需的设备，以确定：

- 1) 阀的流量系数 (C_v)；
- 2) 压降比率系数 (X_T)；
- 3) 气举阀性能曲线。

- b) 气举阀探针测距试验（参见第4章）

概述这个试验方法，当压力施加到整个波纹管表面时，用于确定阀杆行程。经分析得出的试验结果使用户得出的阀承载率超过预期实际应用条件范围。该试验同时确定最大有效阀杆行程。

- c) 流量系数试验程序（参见第5章）

该试验程序推荐用于确定作为阀杆行程函数的流量系数 (C_v) 所要求的试验方法。经分析得出的试验结果使用户得出的流量系数 (C_v) 和压降比率系数 (X_T) 超过预期实际应用条件范围。

- d) 气举阀性能试验方法（参见第6章）

该试验程序列出推荐的试验方法，用于测量在进口和出口压力和其他控制条件下阀的流动特性。

- e) 试验数据的使用（参见第7章）

这部分推荐为取得足够的试验数据应进行的试验数量，以便在不同于已试验过的那些条件下，建立描述阀的特性的数学模型或相关因素，用作对附录A（标准的附录）和B（标准的附录）中所描述方法的参考。

f) 定义和缩略语 (参见第 2 章)

这部分解释用于本标准的所有定义和缩略语。

g) 简化流动性能模型 [附录 A (标准的附录)]

该附录描述了对试验数据的分析方法。该方法将预测在不同于已试验过的那些条件下的流动性能,且简化了流动性能模型,还作了有关阀的动力学的几条假设。

h) TUALP 流动性能模型 [附录 B (标准的附录)]

该附录描述了对试验数据的分析方法。该方法将预测在不同于已试验过的那些条件下的流动性能,且开发了数学模型,还得到土桑 (Tulsa) 大学人工举升项目研究计划 (TUALP) 的支持。

2 定义和缩略语

2.1 定义

2.1.1 A_b : 有效波纹管面积。

2.1.2 A_p : 由公称阀孔直径算出的面积。

2.1.3 A_s : 阀杆—阀座接触面积,即由阀杆接触阀座的圆的直径算出的面积。

2.1.4 B_{lr} : 波纹管总成承载率 (第 4 章)。

2.1.5 C_v : 阀的流量系数 (第 5 章)。

2.1.6 dp : 压差 (按上下文定义)。

2.1.7 dx : 阀杆自阀座移动的距离。

2.1.8 F_k : 比热容系数,等于 $k/1.40$ 。

2.1.9 H : 由制造厂家确定的系数,用以计算在稳定注入压力试验中阀入口试验压力。

2.1.10 k : 举升气的比热容比。

2.1.11 p_1 : 试验装置的入口压力。

2.1.12 p_2 : 试验装置的出口压力。

2.1.13 p_{vst} : 为到达阀杆行程所需压力 (按 6.3.2 定义)。

2.1.14 p_{iod} : 在阀深度,操作注入压力。

2.1.15 p_0 : 相对稳定出口压力和接近 0 的气体流量下的入口压力。

2.1.16 p_{pd} : 在阀深度,流动生产压力。

2.1.17 p_{vc} : 调试台关闭压力,即在 15.5℃ (60°F) 下,当出口压力等于入口压力、气体流量接近 0 时测得的入口压力。

2.1.18 p_{vcT} : 阀关闭压力,即在已知温度下,当出口压力等于入口压力、气体流量接近 0 时,测量并计算的入口压力。

2.1.19 p_{vo} : 调试台开启压力,即在 15.5℃ (60°F)、出口压力为 0 的情况下,测得的使气体开始通过阀流动所需要的、施加到面积 ($A_b - A_s$) 上的压力。

2.1.20 p_{voT} : 阀开启压力,即在已知温度下,出口压力为 0 时,测量并计算的使气体开始通过阀流动所需要的、施加到面积 ($A_b - A_s$) 上的压力。

2.1.21 q : 在 101kPa (14.73psi) 和 15.5℃ (60°F) 标准状态下每小时标准立方米流量。

2.1.22 q_{gi} : 在 101kPa (14.73psi) 和 15.5℃ (60°F) 标准状态下每日千标准立方米流量。

2.1.23 S_g : 气体相对密度 (空气为 1.0)。

2.1.24 T_1 : 试验装置的入口气体温度。

2.1.25 T_v : 在下入深度,阀的温度。

2.1.26 X : 压力比,即通过试验件测得的压差与绝对入口压力的比值, $dp / (p_1 + 14.7)$ 。

2.1.27 X_1 : 压降比例系数,即相对于给定入口压力的最大压力比率 (X),在这个比率下,出口压力的下降不会增加流量。当 $F_k X_1$ 等于或大于这个压力比率时,将出现流动阻塞,由第 5 章确定。

2.1.28 Y: 膨胀系数。

2.1.29 Z_1 : 入口压缩系数。

2.2 缩略语

ASME: 美国机械工程师学会

ANSI: 美国国家标准协会

API: 美国石油学会

CIPT: 稳定注入压力试验

CPPT: 稳定生产压力试验

DCV: 出口控制阀

ECV: 平衡控制阀

GLV: 气举阀

IPO: 注入压力操作

ISA: 美国仪器学会

MSCFD: 千标准立方英尺/日

MSCMD: 千标立方米/日

PPO: 生产压力操作

RP: 标准

SCFD: 标准立方英尺/日

SCMD: 标准立方米/日

UCV: 入口控制阀

VST: 阀杆行程

3 试验场所

3.1 引言

这一部分概述了气举阀试验所必需的试验设备。预先考虑的试验类型需要一个大容量高压气源。

当建造这种设备时,应遵从国家有关法律、法规及其他有关规定。构成气举阀试验系统的管线、阀和缓冲器应能承受高压气。因此,试验系统的建造、试验和阀的选择应遵从现有的管线管理系统和容器的管理规程。

直径超过 152mm (6in) 的缓冲器或其他容器应遵从《ASME 锅炉及压力容器规范》第Ⅷ部分 第一册 压力容器,或第Ⅷ部分 第二册 压力容器 另一规程。这些规程为所采用容器的设计、建造和鉴定提供技术要求。管线的材料、壁厚和相关额定压力应遵从 ANSI/ASME B31.8—1989《煤气输配管道系统》(上、下册)。管线材料应规定为 B 级。法兰应遵从 ANSI/ASME B16.5—1988《管法兰与法兰连接》;阀包括在 ANSI/ASME B16.34—1988《阀门—法兰连接,螺纹连接和对焊连接》。

注意,可以使用 API 阀和法兰,但它们包括在 API Spec 6D《管线阀门(闸阀、旋塞阀、球阀和止回阀)规范》,1991 年 1 月第 20 版。这些 API 法兰可能不能与 ANSI/ASME 法兰互换。

管线,阀,法兰或压力容器的设计压力至少应该比在气举阀试验期间所预期的最高压力大 20%。

3.2 一般说明

作为最小的试验系统,流动试验系统包括图 1 所示的内容,列出如下:

- a) 试样;
- b) 试验装置;
- c) 节流控制阀;
- d) 压力缓冲罐;
- e) 流量测量装置;

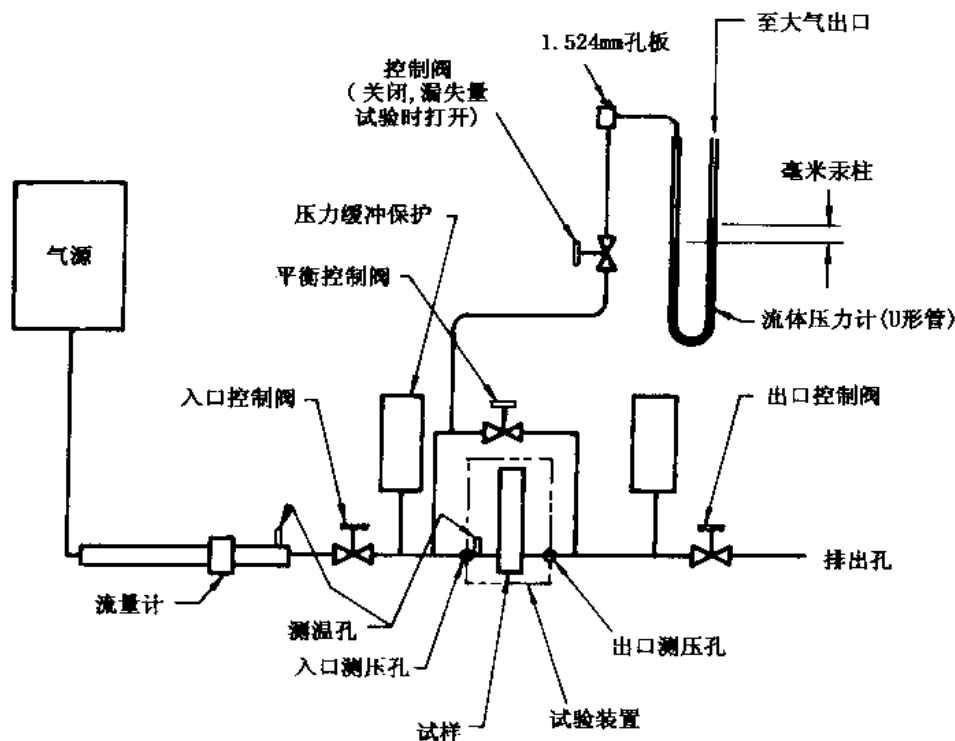


图1 流动试验系统简图

- f) 测压孔；
- g) 温度传感器；
- h) 平衡控制阀。

3.3 试样

3.3.1 钢丝可投捞式阀

试样由下列部件构成，如图2所示。

- a) 完全装配好的试验阀，包括制造厂家推荐的单流阀；
- b) 带有相配的定位锁环；
- c) 在相配的阀接受器（试验用偏心口袋）中安装和定位。

3.3.1.1 试验阀

应按照制造厂家的建议，将阀完全装配好。用可替代的密封方法代替外部V形圈填料密封。

3.3.1.2 定位锁环

定位锁环应与阀接受器和阀相匹配。

3.3.1.3 阀接受器

阀接受器应与阀和定位锁环相匹配，且应在阀入口的上下提供密封方法，并记录阀接受器入口面积和阀接受器与阀入口之间的最小环形过流面积。

3.3.2 油管可取式阀

油管可取式阀的试样由下列部件构成，如图3所示。

- a) 完全装配好的试验阀，包括制造厂家所建议的单流阀；
- b) 将试验阀用螺纹连接到作为调试台附件的相配阀接受器上。

3.4 试验装置

3.4.1 引言

试验装置包括试样和位于进口与出口压力测量装置之间的所有固定用的装置。通过试验装置的流

程不能有任何节流口、缩径弯头或三通，也不能有内部阻塞。弯头应有不小于 101.6mm (4in) 的弯曲半径。图 4 和图 5 表示遵从这些建议的试验装置举例。试验装置不应在入口压力测量装置与阀之间，或者阀与出口压力测量装置之间造成过大压降。

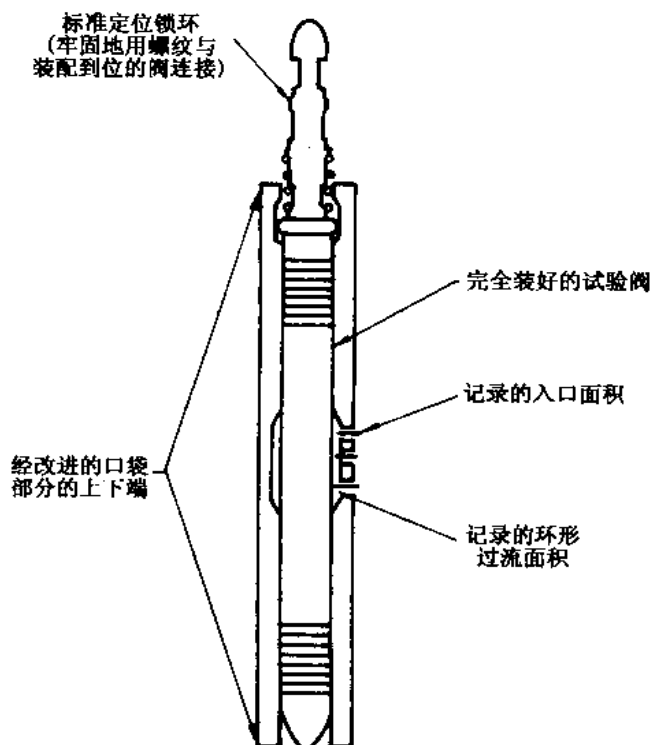


图 2 钢丝可投捞式阀试样

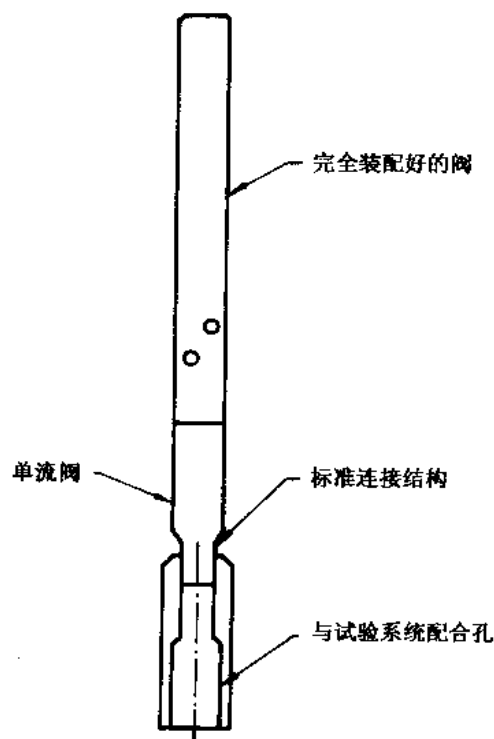


图 3 油管可取式阀试样

3.4.2 试验装置入口

试样的试验装置入口可延长至距离试样不大于 609.6mm (24in) 并且应具有至少 25.4mm (1in) 的最小内径。试验装置入口应垂直于试样，这样在试样入口周围就有一个无阻碍的环形腔。该环形腔应在试样入口上下延长至不小于 12.7mm (0.5in)，并且应具有至少 6.4mm (0.25in) 的环形径向宽度。

3.4.3 试验装置出口

试样的试验装置出口可延长至距离试样不大于 609.6mm (24in)，并且应具有至少 38.1mm (1.5in) 的内径。试验装置出口应与试验装置入口同心，这样试样与试验装置的中心线才能平行并同心。试验装置出口应具有由试样开始至少 152.4mm (6in) 长的直线延长段。

3.5 节流控制阀

3.5.1 引言

利用入口和出口的节流控制阀，控制作用在试验装置上的压力。至于这些阀的类型，则不作限制。

3.5.2 流量

两个控制阀应该具有超过试样额定流量的足够流量。

3.6 压力缓冲保护

3.6.1 引言

推荐用于试验装置的入口端和出口端压力缓冲保护。阀的工作特性可能引起压力波动，压力缓冲保护的目的是用于减缓压力波动影响。压力波动可能造成压力表的严重损坏，严重妨碍控制与监测试验的能力。

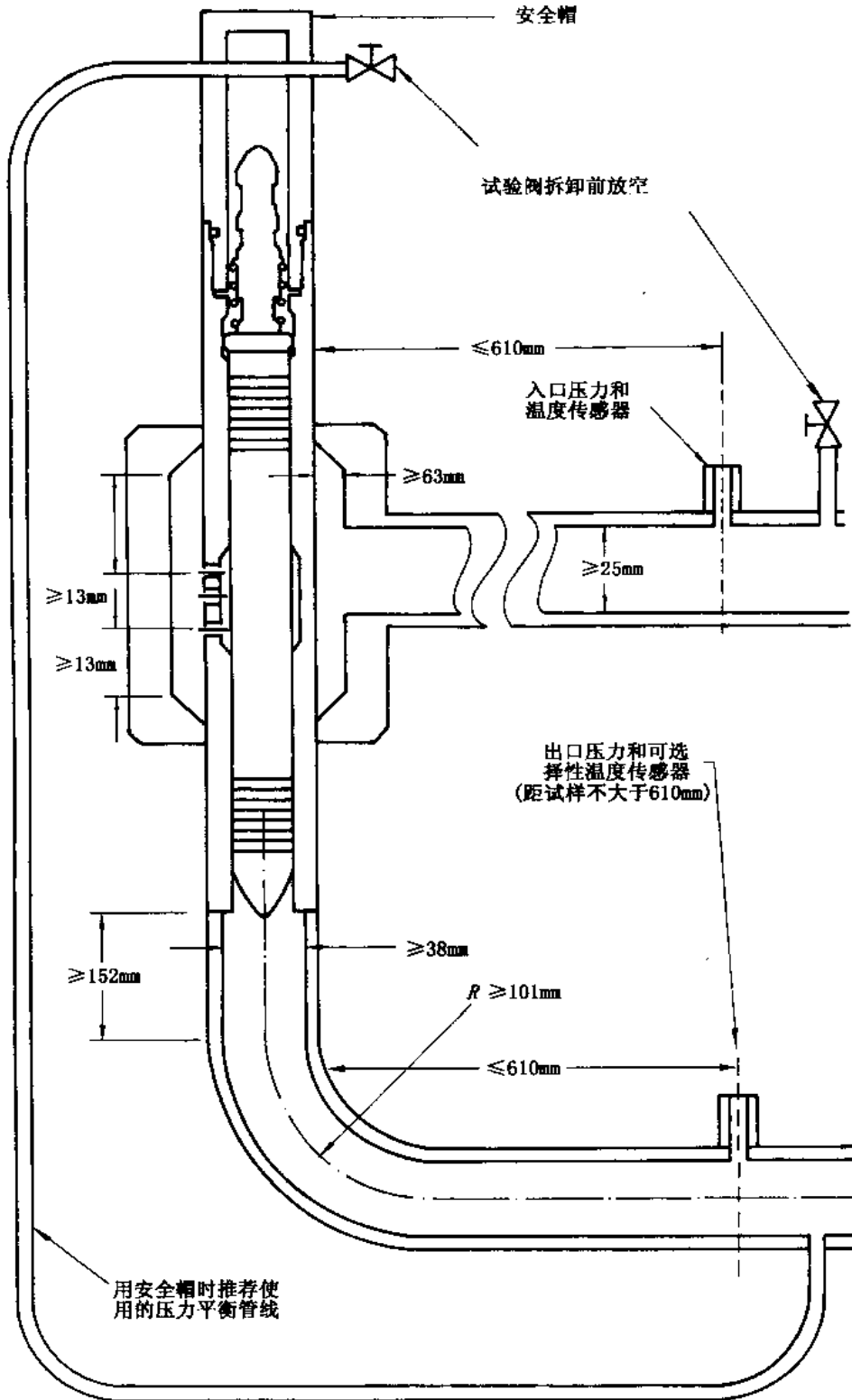


图 4 钢丝可投捞式阀试验系统举例

3.6.2 缓冲罐

缓冲罐可用来获得足够的缓冲保护。这些罐应与试验装置入口端和出口端垂直安装，这样每个罐都可单独与作用在试验装置的入口和出口压力进行充分的压力传递。在压力缓冲罐管线入口端可选装一个控制阀。

压力缓冲罐的容量应不小于 0.057m^3 (2ft^3)。最好是出口压力缓冲罐的容量为进口压力缓冲罐的

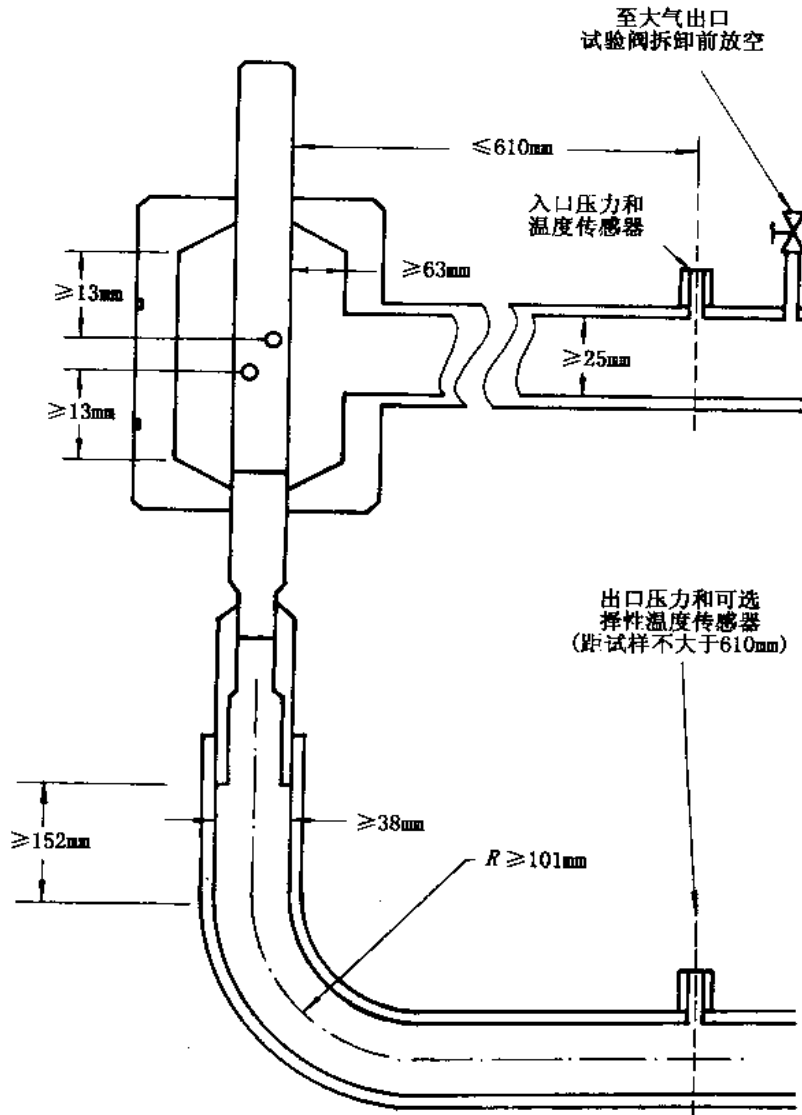


图5 油管可取式气举阀试验系统举例

两倍。

3.6.3 替代方法

也允许采用能够减小试样内压力波动不大于 69kPa/s (10psi/s) 的替代缓冲保护装置。

3.7 流量测量

3.7.1 方法

流量测量仪表和方法可以是能够满足指定精确度的任何装置。

3.7.2 精确度

流量应该在不超过测量值的 $\pm 5\%$ 的误差内来确定。所用测量方法的分辨率和重复率应该在实际流量的 $\pm 1\%$ 之内。测量仪表应根据需要及时校准，以保证规定的精确度。流量计算的 AGA 法以及有合格证的仪表将满足这些要求。

3.8 测压孔

3.8.1 引言

需要 2 个测压孔。这两个测压孔用来确定作用在试样上的入口和出口压力。这两个测压孔的位置确定在试验装置的首端和末端。测压孔的几何尺寸应符合图 6 中给定的尺寸。

3.8.2 位置

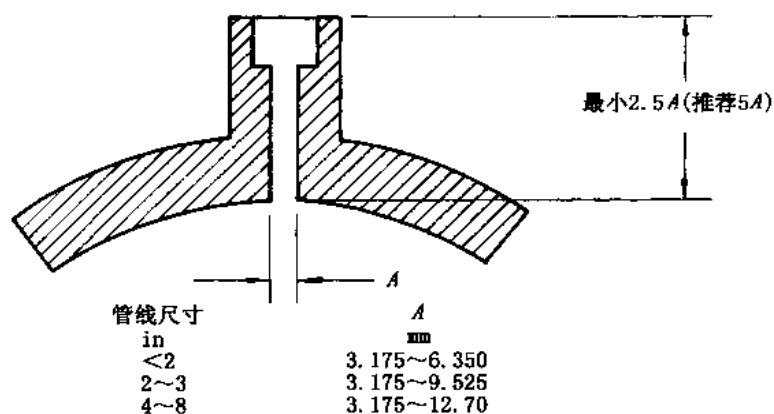


图6 推荐使用的测压孔

入口和出口测压孔位置应尽可能接近试样，且距离试样不大于 609.6mm (24in)。

3.8.3 方向

当流体位于水平方向流动时，入口和出口测压孔应位于沿管线中心线延伸的水平面以上。测压孔中心线应垂直于管线中心线。

3.9 压力测量

3.9.1 精确度

所有压力和压差的测量应达到任何误差不超过实际值 $\pm 1\%$ 的精确度。压力测量装置应按要求经常校准，以保证规定精确度。

3.9.2 压力报告要求

试验装置入口和出口压力测量应连续可视地显示给操作者，以控制试验装置的试验压力。

应提供一种方法，以产生在试验装置入口和出口测压孔所测压力的打印记录报告。这种方法应在压力测量装置的 $\pm 2\%$ 精确度内报告压力。

3.10 测温孔

3.10.1 引言

需要两个测温孔。一个测温孔要求在试验装置的入口边，另一个测温孔应装于流量测试装置上。其中一个可供选择的出口测温孔可位于试验装置的出口边。

3.10.2 位置

入口测温孔应位于试验装置的入口一侧之内。用于流量测试的测温孔位置按照流量测试装置制造厂家的建议确定。对可供选择的出口测温孔没有要求，然而如果采用，则建议其位置在试验装置的出口一侧。

3.10.3 方向

当流体位于水平流动时，测温孔应该位于沿管线中心线延伸的水平面之上。

3.11 温度测量

3.11.1 精确度

用于测量气体温度的仪表，其误差不应超过实际温度值的 $\pm 1.1^\circ\text{C}$ ($\pm 2^\circ\text{F}$)。

3.11.2 测量要求

气体温度应该在流量测试装置上和试验装置入口处测量。

3.11.3 温度报告要求

应提供一个方法，以产生在流量测试装置上和试验装置入口处所测温度的打印记录报告。这种方法应在温度测量装置 $\pm 2\%$ 精确度内报告温度值。

3.12 平衡控制阀

进行试验的方法可以要求试验前入口和出口压力相平衡。平衡控制阀位于试验装置入口和出口之间，并能够给试样加旁通。

这种阀可以是任何结构，但当关闭时，在预期压力条件下，其漏失量不应大于 14.15SCMD (500SCFD)。

3.13 供气

空气和其他可压缩流体在这一试验过程中用作基本流体，但不能使用水蒸气，因水蒸气在试样缩径处很可能达到其凝固点，在试验期间要当心避免结冰。

3.14 文件

将获得下列资料，以用做证明试验装置符合要求。数据表格 1 是用于达到该目的方便表格。

数据表格 1

1. 是否有试验装置安装简图? (Y/N) _____
3.2 中 a) ~h) 个项目是否已被指明? (Y/N) _____
2. 是否有试验装置安装详图? (Y/N) _____
试样到入口压力表的距离: _____
试样到出口压力表的距离: _____
阀接受器入口数量: _____
阀接受器入口直径: _____
阀与阀接受器间的环形过流面积: _____
从试样的外径到环绕试样的环形腔室内径的尺寸: _____
从试样的入口到环形腔密封处的尺寸: _____
3. 入口控制阀描述: _____
入口控制阀在全开位置时的流通能力: _____
出口控制阀描述: _____
出口控制阀在全开位置时的流通能力: _____
4. 入口压力缓冲保护装置的型号: _____
出口压力缓冲保护装置的型号: _____
5. 流量测量仪表的型号: _____
流量测量仪表的精确度: _____
6. 入口压力测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
出口压力测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
压差测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
7. 记录方法和压力记录仪器: _____
压力测量记录仪表的精确度: _____
8. 入口温度测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
出口温度测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
9. 记录方法和温度记录仪器: _____
温度测量记录仪表的精确度: _____
a) 确认 3.2 中 a) ~h) 的布局和位置的简图。
b) 试验装置的详细图纸表示:
1) 由试验装置入口至试样的距离;
2) 由试验装置出口至试样的距离;
3) 阀接受器入口数和尺寸及阀与用作钢丝可取式装置的阀接受器之间环形过流面积;

- 4) 试样周围环形腔的位置和尺寸。
- c) 节流控制阀的类型和排量。
- d) 压力缓冲保护装置的类型和尺寸。
- e) 流量测试装置的类型和精确度。
- f) 压力测试装置的类型和精确度。
- g) 压力记录打印输出装置的类型和精确度。
- h) 温度测量装置的类型和精确度。
- i) 温度记录打印输出装置的类型和精确度。

4 气举阀探针测距试验

4.1 引言

气举阀探针测距试验的目的是确定气举阀的相对“刚度”，并确定最大可达到的阀杆头行程。当气压进入探针测距试验装置时，气压作用在阀波纹管的整个面积上，将阀杆上提离开阀座。当这一压力增加时，阀杆头进一步由阀座上提。通过使用阀探针测距试验装置（参考图 7），可以确定随着压力增加，阀杆头行程的精确测量值，测量结果被列表并绘制成曲线。图 7 为阀探针测距试验装置的一个例子，但不限制可用来完成该试验的许多其他可用装置。

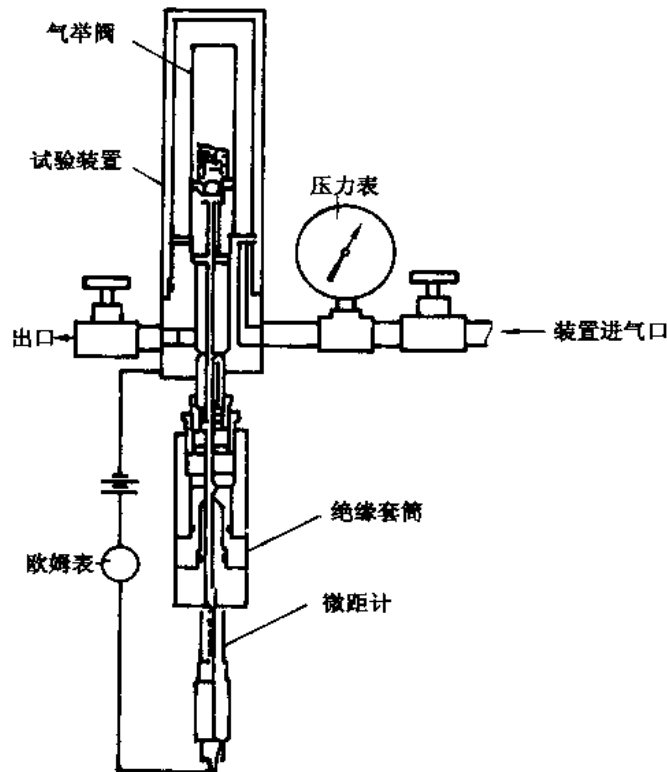


图 7 典型的探针测距试验装置

当以压力为纵坐标，阀杆头行程为横坐标时，将得出以阀杆头行程为主的相关直线。该直线的斜率代表阀的“刚度”。斜率的数值被称为波纹管总成的承载率 (B_{lr})，以 kPa/mm (psi/in) 为单位。本文中“波纹管总成”包括波纹管和施加载荷以保持阀杆坐在阀座上的装置。承载率越高，阀的“刚度”越硬；反之，承载率越低，阀的“刚度”越软。

如果用同一个阀作上述试验，只改变开启压力（阀罩充压或弹簧调整），那么阀罩充压或弹簧调整对波纹管总成承载率的影响可为同一类型的阀的承载率提供参考（当调整为不同的开启压力时）。

波纹管总成承载率是一个实用数值，它可用来比较不同类型的阀或在不同的载荷条件下，评价同

一个阀和在设计气举管柱时使用。

4.2 需要设备

4.2.1 气举阀调试台

几种典型的调试台已经在 SY/T 6401—1999 《气举井下装置》附录 B (标准的附录) 中描述。调试台应有控制和测量施加到气举阀阀接受器上的压力的装置。图 7 所示装置也是一个适用于探针测距试验的调试台的例子。

4.2.2 气举阀接受器

阀接受器应将压力从压力源传递至阀, 且不得漏失。当阀关闭时, 阀接受器应包括用于阀座上、下传递压力的装置。

4.2.3 气举阀位置测量

气举阀位置测量方法应能够在 $\pm 0.127\text{mm}$ ($\pm 0.005\text{in}$) 的误差范围内确定阀杆位置。

图 7 所示的位置测量装置是一个设计好的精确测量阀杆头行程的微距计探针, 而阀杆头行程是施加到整个波纹管面积上压力的函数。该装置使用一个与接在阀下部的电传导探针相连的微距计。电传导探针应与阀杆头相接触, 并且应与阀体电绝缘。探针接在微距计筒上, 这样微距计的调整将导致探针的等量调整, 该装置将满足测量精确度要求。阀杆位置测量的其他方法也可采用。

4.2.4 压力表

压力表用于测压, 其精确度为测试误差不大于测试值的 $\pm 0.5\%$ 。

4.3 探针测距试验程序

4.3.1 试验用阀的准备

充氮阀和组合阀 (弹簧加载和充氮) 应在 $5\,515\text{kPa}$ (800psi), $8\,274\text{kPa}$ ($1\,200\text{psi}$) 阀开启压力 (表压) 和在制造厂家推荐最大压力下进行探针测距试验。试验温度为 15.5°C (60°F), 其压力可在 $\pm 69\text{kPa}$ ($\pm 10\text{psi}$) 范围内变化。

弹簧加载阀应在制造厂家推荐的最大关闭压力 (p_{vc}) 下, 进行探针测距试验。

4.3.2 组装试验设备

将位置测量仪表 (微距计与探针总成) 装在阀上。将阀和位置测量仪表装入阀调试台上的相应阀接受器中。

如图 7 所示, 将欧姆表用一根导线接到微距计筒上, 用另一根导线将其接到气举阀上。

4.3.3 位置测量装置校准

当阀杆在阀座上, 且没有压力加到试验阀接受器上时, 调整位置测量装置, 使其行程读出 0mm (0in)。

在微距计与探针总成中, 松开探针杆筒帽, 调整微距计筒至零位。向上滑动探针杆, 直至欧姆表电阻读数为 0 或接近 0。这时探针杆刚好与阀杆接触, 牢固地拧紧探针杆筒帽, 以防当气压加到阀上时, 探针杆被推出。用微距计筒退回探针杆, 然后推进它, 直到刚好接触。读微距计读数时, 如果读数不为 0, 则重复 4.3.3, 直至得出 0 读数。

注: 如经三或四次调试, 还没得出 0 的微距计读数, 那么可调整微距计至一个接近 0 的可读数值。在数据单上记录相对 0 压力值的这一微距计读数。阀杆行程将通过从记录单上每个记录的读数减去 0 压力下的微距计读数来调整。

4.3.4 探针测距试验

4.3.4.1 慢慢给试验阀接受器加压, 直至位置测量装置显示阀杆不再接触阀座。当试验压力加到波纹管整个面积上时, 是阀刚好打开的压力 (p_{vOT}), 记录这一压力值。

在微距计与探针总成上, 表现为欧姆表的电阻读数明显增加。

4.3.4.2 以合适的增量诸如 69, 103, 138, 172kPa (10, 15, 20, 25psi) 压力给试验阀接受器加压。

注：如果因疏忽，使试验压力超过目标压力，那么不必减小至目标压力；而是记录所得到的这一压力，并继续试验。

4.3.4.3 调整位置测量装置，以确定另一个阀杆位置。在微距计与探针总成中，用微距计筒推进探针杆，直至探针杆接触阀杆头。这将由欧姆表电阻读数的明显减小来提示。

4.3.4.4 在数据表格 2 中，记录该压力和阀杆位置。

4.3.4.5 采用同一压力增量，重复步骤 4.3.4.2 至 4.3.4.4，经三至四个压力增量，直到阀杆不再移动，或移动的增量很小，至少记录到 5 个阀杆位置。

4.3.4.6 以适当的增量，诸如 69, 103, 138, 172kPa (10, 15, 20, 25psi) 压力，给试验阀接受器减压。

参照微距计与探针总成，在减压之前，通过倒转微距计筒，退回探针杆至足够远，以防止在压力减小期间与阀杆头接触。

注：如果由于疏忽，压力降至小于目标压力，那么就不要再增压至目标压力，而是记录这个压力值，并继续试验。

4.3.4.7 调整阀杆位置测量装置，以确定另一阀杆位置。参照微距计与探针总成，用微距计筒推进探针，直至它与阀杆头接触。这将由欧姆表电阻读数的明显减小来表示。

4.3.4.8 用数据表格 2 记录该压力和阀杆位置。

4.3.4.9 用同一压力增量重复步骤 4.3.4.6 至 4.3.4.8，直至阀杆回到阀座上 [初始微距计读数的 $\pm 0.127\text{mm}$ ($\pm 0.005\text{in}$)]，并至少记录 5 个阀杆位置。

4.4 确定阀的承载率

4.4.1 把试验数据画在线性坐标纸上，以压力读数为纵轴，以阀杆位置读数为横轴，如图 8 所示。

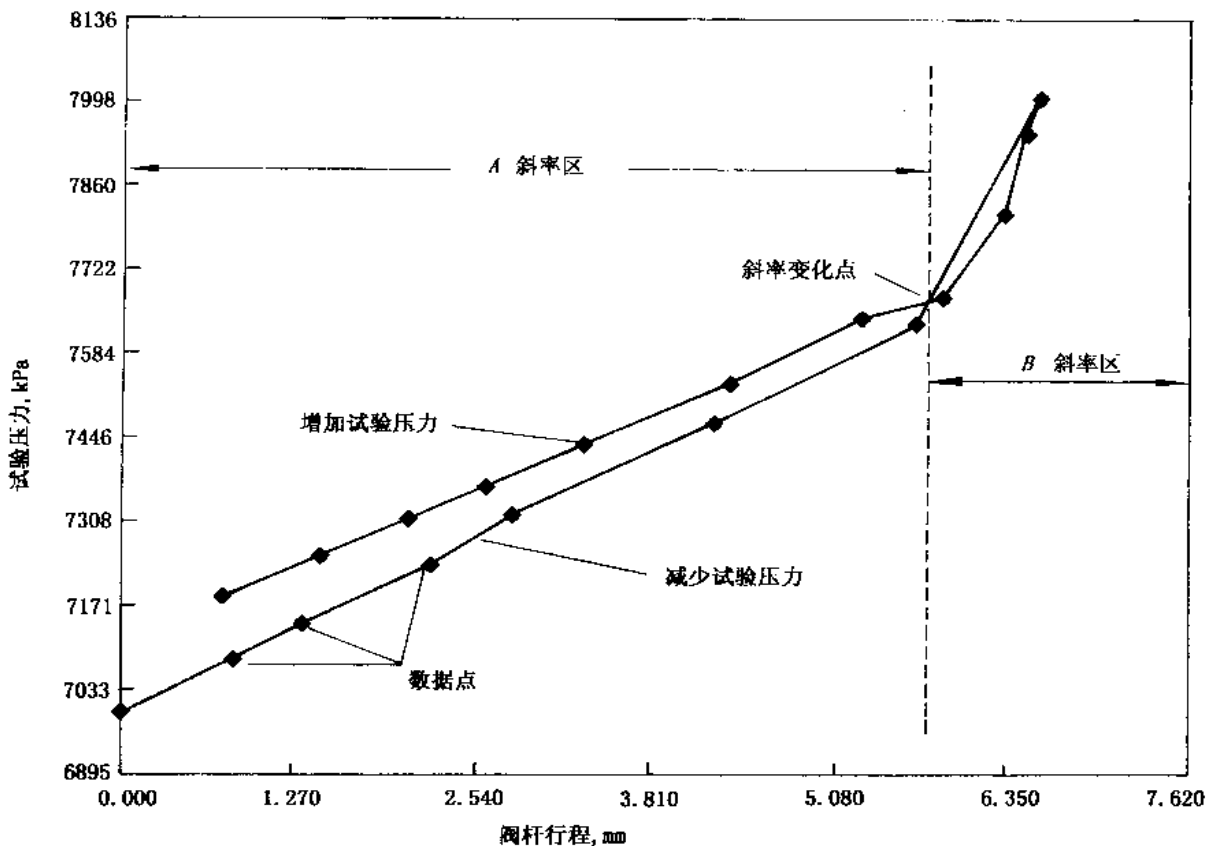


图 8 探针测距试验的典型数据

注意图 8 有两个明显的斜率不同区。A 斜率区是阀的有效可用行程范围。B 斜率区是波纹管遇到相当大的行程阻力的行程范围，代表不能正常使用的行程。这个附加行程阻力是因许多不同因素的影响造成的，但通常是“波纹管堆叠”的结果。

A 斜率区是由为零的阀杆行程至承载率的斜率急剧向上变化的拐点为止。这个拐点可直观地确定。

4.4.2 画出对应于斜率 A 的最佳拟合直线（参见图 9）。

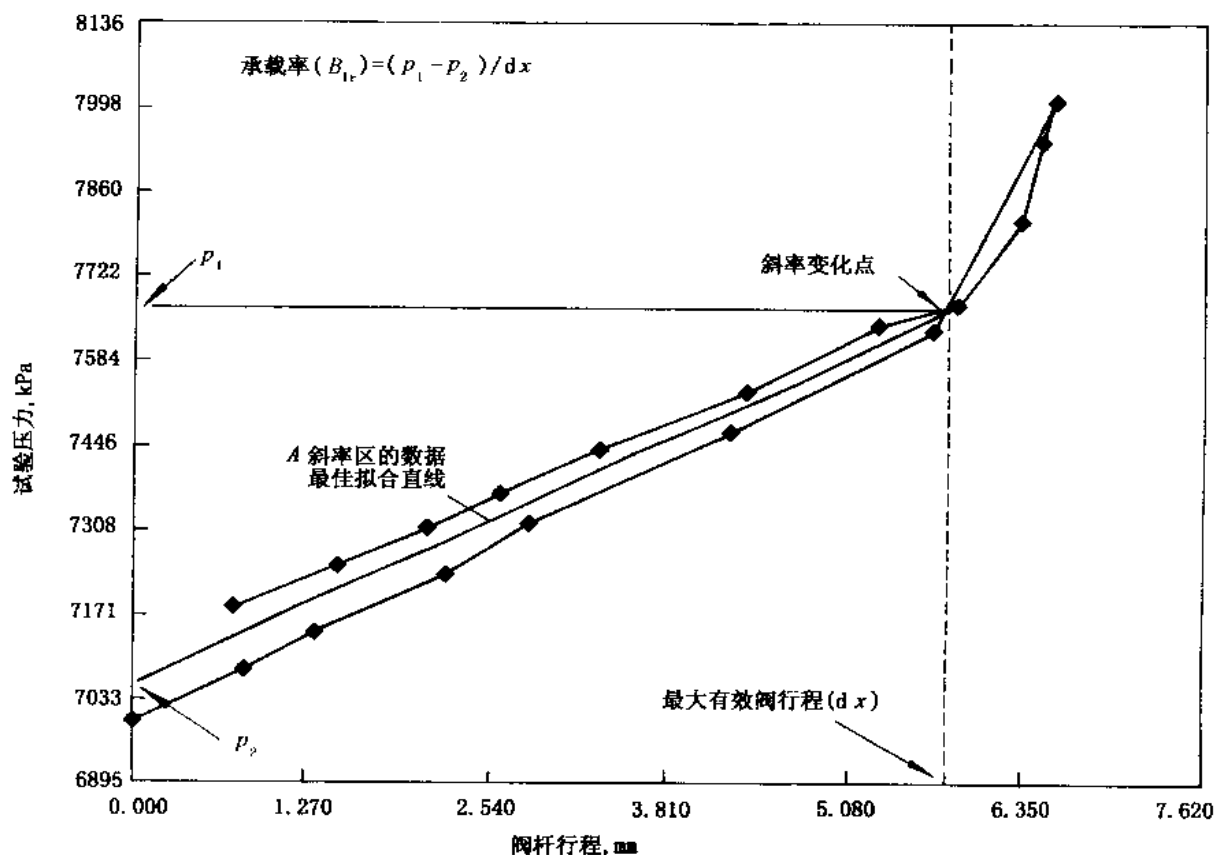


图 9 阀的承载率确定

4.4.3 按照公式计算这条最佳拟合直线的斜率（参见图 9），这条直线的斜率是阀的波纹管总成的承载率（ B_{lr} ）。其计算公式为：

$$\text{Slope(斜率)} = (p_1 - p_2) / dx \quad (\text{kPa/mm})$$

4.4.4 波纹管总成承载率（ B_{lr} ）文件应包括所有数据点、最佳拟合直线和 B_{lr} 计算的图。

4.5 确定最大有效阀杆行程

最大有效阀杆行程是 A 斜率区内可得出的最大行程（如图 9 所示）。

4.6 文件

以下文件将用于说明这一部分探针测距试验的实施情况。数据表格 2 是用于记录数据的便利方法。

- a) 探针测距试验设备总成图。
- b) 压力表的类型与精确度。

- c) 被试阀的标志、制造厂家零件号和标明日期的阀总装图。
- d) 试验数据包括：
- 1) 阀调试压力；
 - 2) 试验压力；
 - 3) 阀杆位置。
- e) 图示：
- 1) 试验压力与阀杆位置；
 - 2) 最佳拟合直线。
- f) 波纹管总成承载率 (B_{lr})。
- g) 最大有效阀杆行程。

数据表格 2

1. 是否有探针测距试验装置的总装图? (Y/N) _____
 2. 压力测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
 3. 阀的标志: _____
阀的制造厂家零件号: _____
是否有标有日期的安装阀装配图? (Y/N) _____
 4. 试验数据:
阀的设定压力 (p_{vo} 或 p_{vc}): _____
- | | 试验压力
kPa (psi) | 阀杆位置 | |
|-----|-------------------|------|-----|
| | | 实际值 | 修正值 |
| 1. | 0 | | |
| 2. | | | |
| 3. | | | |
| 4. | | | |
| 5. | | | |
| 6. | | | |
| 7. | | | |
| 8. | | | |
| 9. | | | |
| 10. | | | |
| 11. | | | |
| 12. | | | |
| 13. | | | |
| 14. | | | |
| 15. | | | |
| 16. | | | |
| 17. | | | |
| 18. | | | |
5. 是否给出试验压力与阀杆位置关系图? (Y/N) _____
是否给出最佳拟合直线图? (Y/N) _____
 6. 波纹管总成承载率 [B_{lr} , kPa/mm (psi/in)]: _____

5 流量系数试验程序

5.1 引言

本程序目的在于确定作为阀杆行程函数的气举阀流量。在适当处理该项试验的数据时，在任何压力条件下，将允许进行精确的气体通道计算。这一部分试验所收集到的流量数据与气体通道的几何形状有关，因而仅适用于试样的特定结构。

5.2 试样

5.2.1 钢丝可投捞式阀试样

试样应包括下列部件：

a) 一个改进的阀，它应具有这样一种性能，即允许对阀杆相对阀座的位置进行准确的机械调整。调整不应影响通过阀的正常流道。如果通常气举阀包括一个单流阀，那么制造厂家推荐的单流阀应是气举阀总成的一部分（参见图 10）。

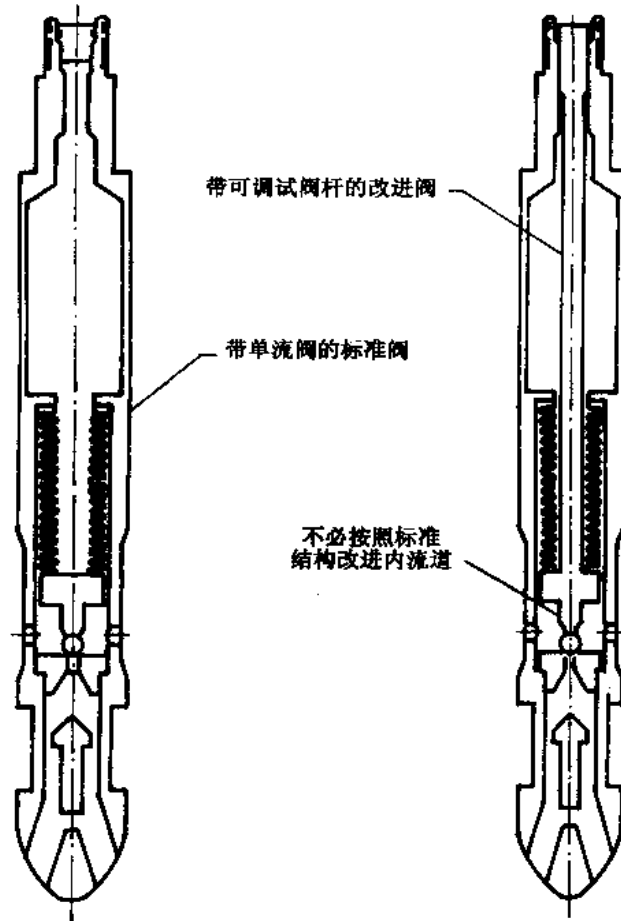


图 10 用于流量系数试验的改进阀

b) 一个合适的定位锁环，它应可靠地用螺纹连接在气举阀上。定位锁环也可以改进，以便能很容易地进行阀杆的调节，只要这种改进不妨碍定位锁环与气举阀螺纹连接的可靠性或可靠地将定位锁环与气举阀总成定位在相配的阀接受器内。

c) 将试样插进一个相配的阀接受器。

5.2.2 油管可取式阀试样

试样应包括下列部件：

a) 一个经改进的阀，它应具有这样一种性能，即允许阀杆相对阀座的位置进行准确的机械调整。

调整不应影响通过阀的正常流道。如果通常气举阀包括一个单流阀，那么制造厂家推荐的单流阀应是阀总成的一部分。

b) 将气举阀装在相配的阀接受器上。

5.2.3 阀杆位置测量

阀杆的调整性能应允许阀杆相对阀座位置测量的误差在 $\pm 0.127\text{mm}$ ($\pm 0.005\text{in}$) 范围内，阀杆相对阀座的位置将在预计的试验压力条件下，阀的流量小于 14.15SCMD (500SCFD) 时，在阀完全关闭的情况下来确定。此时，阀杆相对阀座的测量结果等于 0.00mm (0.00in)。

5.2.4 阀杆试验位置

对每种结构阀和阀杆—阀座应试验至少 5 个阀杆位置。其中至少有一次试验应在不大于 5% 的最大有效阀杆行程和一次 100% 最大有效阀杆行程下进行试验，参见 4.5。

最少有三个阀杆位置试验应在大于 5%、小于 90% 的最大有效行程范围内进行。选择这三个阀杆位置的目的在于得到在流量变化最大的行程范围内的流量数据。

5.3 流量系数试验

5.3.1 定义

参见第 2 章。

5.3.2 试验压力范围

对于每个阀杆行程应进行最少 5 个适当间隔的压力比 (X) 试验。对试验数据的分析可能需要一些附加试验。

5.3.3 测量要求

对于每次压力比 (X) 试验，应测量流量、试验装置入口液体温度 (T_1)、试验装置入口压力 (p_1)、试验装置出口压力 (p_2) 和试验装置进出口压差 (dp)。

流量测量按 3.7 进行，压力测量按 3.9 进行，温度测量按 3.11 进行。

5.3.4 试验方法

5.3.4.1 试验装置入口和出口压力 (p_1 和 p_2) 时，在每次试验前，应在大于 689kPa (100psi) 的同一压力下调整平衡。试验装置入口和出口压力表读数彼此相差应在 2% 压差计的读数误差之内，对水而言为 $\pm 50.8\text{mm}$ ($\pm 2\text{in}$)。流量测量装置能测出小于 14.15SCMD (500SCFD) 的流量。

5.3.4.2 试验开始并稳定流量，以至试验装置的压力比 (X) 小于 0.05。按照 5.3.3 记录数据。

5.3.4.3 压力比 (X) 应增至出现节流。在稳定的入口压力和下降的出口压力下，流量不再增加时，节流才出现。按 5.3.3 记录数据，并记录节流出现点的压力比 (X)。

5.3.4.4 在出现节流过程中，压力比 (X) 在 10% ~ 90% 范围内，分别在三个附加压力比 (X) 下稳定流量。按 5.3.3 记录在每个压力比下的数据。附加压力比 (X) 可以在这个范围内试验。

5.4 数据评价

5.4.1 引言

这部分内容规定用来评价试验数据的程序，试验数据是按 5.3 给定的步骤采集的。该程序将在给定的阀行程内，得出一个给定阀的流量系数 (C_v) 和压降比例系数 (X_1) (参见图 11)。

5.4.2 计算

用下列公式，对每个试验压力比，求乘积 YC_v 。

$$YC_v = q[S_g(T_1 + 460)Z_1/X]^{1/2}/[1360 \times (p_1 + 14.7)]^{[1]}$$

采用说明：

[1] 因本标准中的公式不宜进行单位转换，所有公式都以英制计算，计算后的最终结果再转换成国际单位制的量值。该式之后所出现的公式均按此方法处理，不再复注。

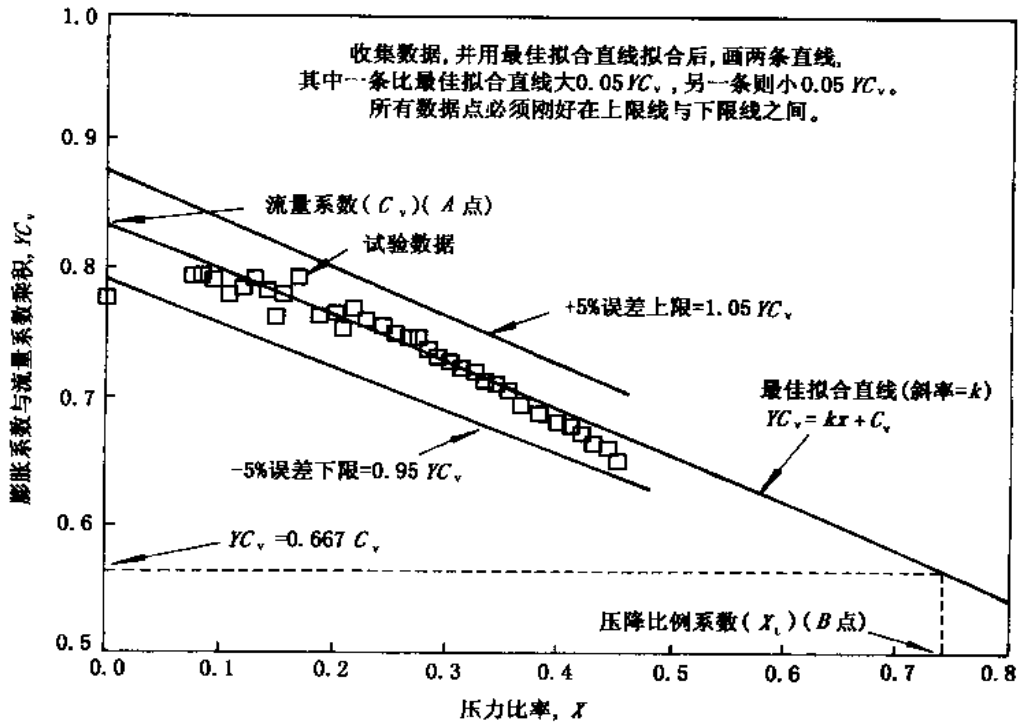


图 11 流量数据评价

5.4.3 分析

YC_v 计算值将在线性坐标纸上画出, 以 YC_v 为纵轴, 以压力比 (X) 为横轴。按数据划出一条最佳拟合直线。如果任何试验数据点偏离该直线超过 5%, 则在那个压力比 (X) 附近再取另一个试验数据, 以查明试样工作是否不正常。

5.4.4 确定流量系数 (C_v)

C_v 值从坐标图纵轴与拟合直线的交点读取 (注意图 11 中的 A 点)。

5.4.5 确定压降比率系数 (X_t)

从纵轴 $YC_v = 0.667C_v$ 点开始做一水平线, 直至与拟合直线相交。从该交点向下画垂线与横轴相交。 X_t 值作为垂线与横轴的交点在横轴上读取 (注意图 11 中的点 B)。

如果直线的斜率 (M) 为已知, 作为选择, X_t 也可用下列公式求出, 即:

$$X_t = (0.667YC_v - C_v)/M$$

5.4.6 计算膨胀系数 (Y)

膨胀系数 (Y) 值计算如下:

$$Y = 1 - X/(3F_k X_t)$$

膨胀系数 (Y) 的计算值不可能超过 1.0, 应大于或等于 0.667。如果 X 大于 $F_k X_t$, 那么, 应取 X 等于 $F_k X_t$ 。

5.4.7 流量系数 (C_v) 与阀杆行程的记录

在线性坐标系上做出流量系数与阀杆行程关系曲线, C_v 为纵轴, 阀杆行程为横轴。阀杆行程轴的范围由 0.00mm (0.00in) 开始, 至 4.5 中确定的阀杆最大有效行程。

每个试验点应用一个符号表示。采用由制造厂家推荐的任何方法将这些数据点拟合成一条曲线,

这样不作试验就能得出流量系数。

5.4.8 压降比例系数 (X_t) 与阀杆行程的记录

压降比例系数 (X_t) 与阀杆行程关系曲线应在线性坐标系中作出, X_t 为纵轴, 阀杆行程为横轴。阀杆行程轴的范围从 0.00mm (0.00in) 开始, 至 4.5 中确定的最大有效阀杆行程。

每个试验点将用一个符号表示, 采用由制造厂家推荐的方法, 将这些数据点拟合成一条曲线, 以便不作试验就能得出压降比例系数。

5.5 C_v 和 X_t 试验数据的应用

用流量系数按下列公式计算流量。

$$q_{gi} = 32.64C_v(p_{iod} + 14.7)Y\{X/[S_g(T_v + 460)Z_1]\}^{1/2}$$

式中: $X = (p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} + 14.7)$ 。

在上述公式中, 如果压力比 (X) 小于 $F_k X_t$, 那么就使用实际压力比 (X); 反之, 就使用 $F_k X_t$ 作为 X 值。

5.6 文件

下列文件将用于记录这部分试验的结果。数据表格 3 是用于记录数据的方便表格。

- a) 被试阀的标志、制造厂家零件号和标明日期的总装图。
- b) 改进阀的图纸。
- c) 最大有效阀杆行程 (参见 4.5)。
- d) 流量测量类型与精确度。
- e) 压力测量类型与精确度。
- f) 温度测量类型与精确度。
- g) 阀杆行程。
- h) 在每个试验点, 包括下列试验数据:
 - 1) 试验装置入口压力 (p_1);
 - 2) 试验装置出口压力 (p_2);
 - 3) 试验装置压差 (dp);
 - 4) 试验装置入口温度 (T_1);
 - 5) 流量。
- i) 下列变量的计算:
 - 1) 每个试验点的压力比 (X);
 - 2) 按照 5.4.2, 每个试验点的 YC_v 之积;
 - 3) 最佳拟合直线系数 (即系数 A 和 B , $YC_v = AX + B$, 为最佳拟合数据);
 - 4) 作为参考, 最佳拟合直线所用每个数据点的 +5% 上限;
 - 5) 作为参考, 最佳拟合直线所用每个数据点的 -5% 下限。
- j) 数据点坐标图和最佳拟合直线。
- k) 流量系数 (C_v)。
- l) 压降比例系数 (X_t)。
- m) 流量系数 (C_v) 与阀杆行程关系曲线图。
- n) 压降比例系数 (X_t) 与阀杆行程关系曲线图。

数据表格 3

1. 阀的标志符号: _____
 阀的制造厂家零件号: _____
 是否标有日期的安装阀的装配图? (Y/N) _____
2. 是否有安装阀的改进图? (Y/N) _____
3. 阀的最大有效行程 (见 4.5): _____
4. 流量测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
5. 入口压力测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
 出口压力测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
 压力差测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
6. 入口温度测量仪表的型号: _____, 精确度: _____
7. 阀杆行程: _____
8. 试验数据:
- | | 入口压力
kPa (psi) | 出口压力
kPa (psi) | 压力差
kPa (psi) | 入口温度
℃ (°F) | 流量
SCMD (SCFD) |
|----|-------------------|-------------------|------------------|----------------|-------------------|
| 1. | | | | | |
| 2. | | | | | |
| 3. | | | | | |
| 4. | | | | | |
| 5. | | | | | |
| 6. | | | | | |
| 7. | | | | | |
| 8. | | | | | |
| 9. | | | | | |
9. 计算:
- | | 压力比 (X) | $Y C_v$ | +5% 误差限 | -5% 误差限 |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |
| 7. | | | | |
| 8. | | | | |
| 9. | | | | |
- 最佳拟合直线的系数 A: _____ B: _____
10. 是否给出数据点和最佳拟合直线图? (Y/N) _____
11. 流量系数 (C_v): _____
12. 压力降比例系数 (X_c): _____
13. 是否有流量系数与阀杆行程的关系曲线图? (Y/N) _____
14. 是否有压力降比例系数与阀杆行程的关系曲线图? (Y/N) _____

6 气举阀性能试验

6.1 引言

本部分推荐两种试验方法。

一种方法是用于现场阀试验的。当生产压力稳定在几个压力值时，在每个值上改变注入压力，以了解在注入压力变化时气举阀是如何工作的。该方法属于“稳定生产压力试验”（CPPT）。

另一种方法也是用于现场阀试验的。当注入压力稳定在几个压力值时，在每个值上改变生产压力，以了解在生产压力变化时气举阀是如何工作的。该方法属于“稳定注入压力试验”（CIPT）。

这两种试验应等效采用，用第3章中推荐的试验系统进行。被试气举阀（GLV）（试样）可以是充氮的、弹簧调节的、或者是弹簧调节与充氮组合式的阀。气举阀可以是注入压力操作（IPO），也可以是生产压力操作（PPO），但应遵守3.3中的试样规定。

图12表示气举阀（GLV）的典型三维曲线图性能，包括入口压力（ p_1 ）、出口压力（ p_2 ）和流量（ q_{gi} ）。

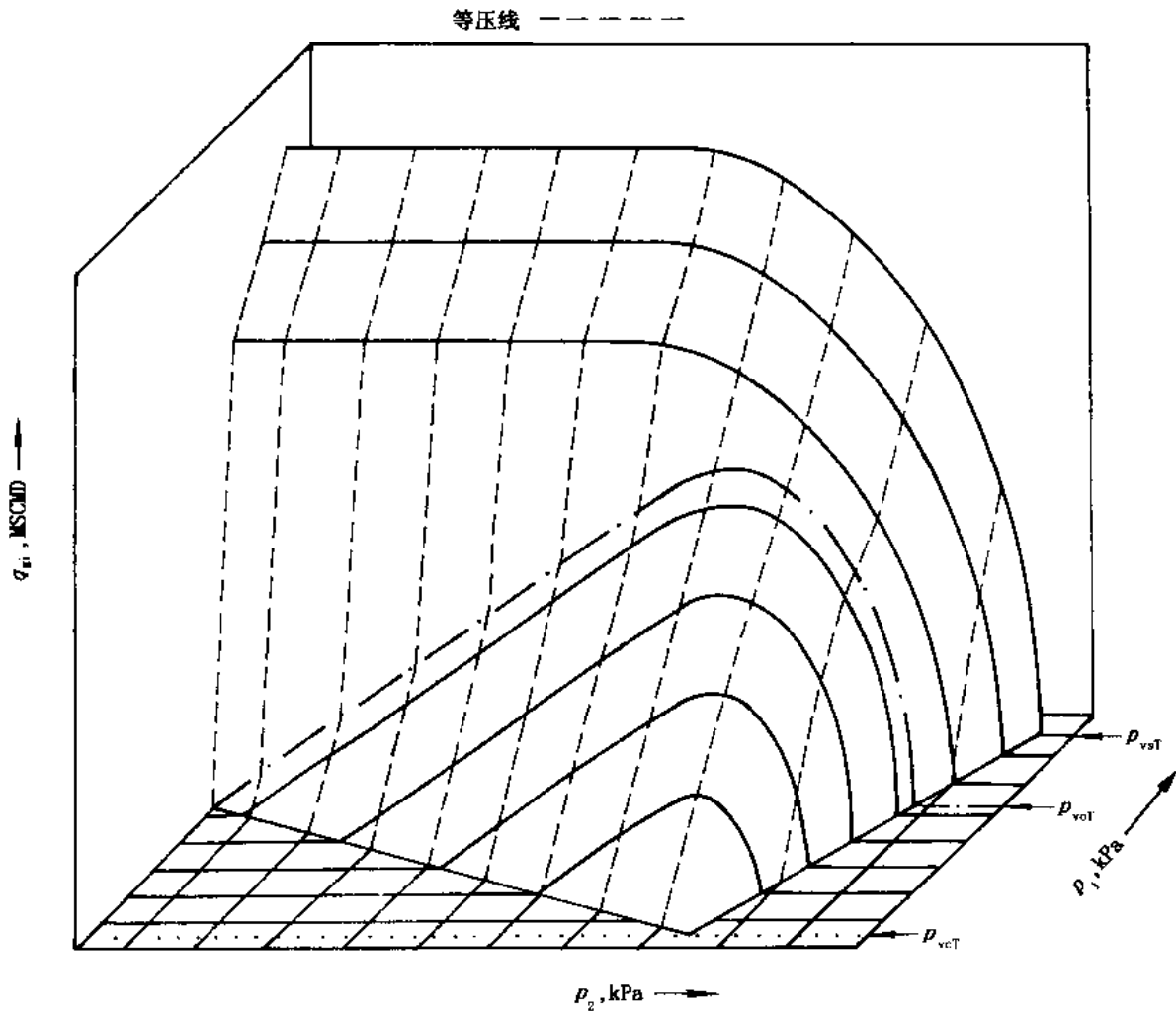


图12 气举阀稳定注入压力试验的三维曲线图

在同一个三维坐标图上画出由一个稳定注入压力试验（CIPT）或者一个稳定生产压力试验（CPPT）得到数据点的可能性，已在1991年10月由API 11V2工作小组验证。图12说明气举阀

(GLV) 是如何随 p_1 (入口压力) 的增加, 从节流状态过渡到非节流状态。假如 q_{gi} 和 p_2 被看做是一个垂直平面, 这个垂直平面就将有一个特定的 p_1 值。同样, 假如 q_i 和 p_1 被看做是一个垂直平面, 那个垂直平面就将有一个特定的 p_2 值, 并且该值可被看成是一条等压线 (虚线)。

总之, 图 12 表示一个稳定生产压力试验 (CPPT) 的结果, 随着注入压力 (p_1) 的改变, 采用虚线等压线表示稳定生产压力 (p_2)。同时, 它也表示一个稳定注入压力试验 (CIPT) 的结果, 随着生产压力 (p_2) 的改变, 采用实曲线等压线表示稳定的注入压力 (p_1)。

6.2 流动性能试验文件

6.2.1 阀的说明: 记录被试阀的制造厂家公司名、总成或零件号标志, 包括带有材料明细表的被试阀总装图。

6.2.2 阀杆—阀座和波纹管的尺寸: 记录有效波纹管面积、阀孔内径、阀杆头说明和阀座锥面结构。

6.2.3 阀特性: 记录阀杆—阀座接触面积与有效波纹管面积之比 (A_s/A_b)。

6.2.4 等效过流断面面积与阀杆行程关系曲线:

确定一条表示等效过流面积与阀杆行程关系曲线, 是以在 6.2.2 中表示阀杆头和阀座几何结构的一个正圆锥截头锥台表面面积随阀杆行程变化为根据画出的, 从 0 阀杆行程至最大等效过流面积等于阀孔面积时的最大阀杆行程。该曲线确定全开阀杆行程。

6.2.5 阀的调试台调试压力应在 15.5°C (60°F) 条件下, 单位为 kPa (psi)。阀的调试压力按照制造厂家的规定, 可以是 p_{vc} 或 p_{vc} 。

6.2.6 应按第 4 章中的规定进行阀的探针测距试验, 数据表格 2 的副本包括在该文件内。

6.3 稳定生产压力试验准备

6.3.1 确定最大阀杆行程 (VST), 用于计算稳定压力试验时注入压力的增量。最大阀杆行程是有效阀杆行程或全开阀杆行程中较小的一个。有效阀杆行程是由阀的探针测距试验确定的, 并且在第 4 章中定义。全开阀杆行程取决于阀杆头 (通常为硬质合金球) 和阀座的结构。全开阀杆行程是获得等于阀孔面积的等效面积 (由阀杆刚刚离开阀座而构成的正圆锥体的截头锥台的最大表面面积) 所需的阀杆行程。

6.3.2 在一个稳定的试验装置出口压力 (p_2) 下, 为达到最大阀杆行程, 计算该入口压力高于阀初始开启压力 (p_0) 的试验装置入口压力 (p_1) 所需的最大增量。

这个最大压力增量 (dp) 对于一个给定气举阀和 p_2 的所有值而言是一个常数。如果最大阀杆行程等于或大于有效阀杆行程, 那么为达到在计算中使用的、由探针测距试验得出的有效阀杆行程, 应该在阀的关闭压力 (p_{vc}) 之上增加最大压力增量。如果阀杆行程等于或大于全开阀杆行程, 那么在计算中就使用由探针测距试验得出的气举阀波纹管总承载率 (B_r) 和全开阀杆行程。

当阀杆行程 (VST) 等于有效阀杆行程时:

$$dp_{\max} = 1.2dp / (1 - A_s/A_b)$$

式中: dp ——由探针测距试验得出的注入压力增量。

当阀杆行程 (VST) 等于全开阀杆行程时:

$$dp_{\max} = 1.2VSTB_r$$

6.3.3 对于稳定试验装置出口压力 (p_2) 试验, 计算入口高于阀初始开启压力 (p_0) 的压力增量 (dp) 值。该压力增量在 6.3.2 计算的最大压力增量 dp_{\max} 的整个范围内, 推荐采用至少 4 个相等增量间隔的试验 dp 值来计算, 例如, 采用 25% dp_{\max} , 50% dp_{\max} , 75% dp_{\max} 和 100% dp_{\max} 。

6.3.4 将气举阀安装在调试台上, 在试验装置出口压力 (p_2) 等于 0kPa (0psi) 的情况下, 确定在试验装置气体温度下的阀开启压力 (p_{vOT}), 并记录 p_{vOT} 。

6.3.5 由于被试阀的关闭压力 (p_{vcT}) 难以在试验台上精确测量, 所以通过计算 p_{vcT} , 以便在 6.3.6

中选择试验装置出口压力 (p_2)。阀关闭压力计算公式为:

$$p_{vcT} = p_{voT}(1 - A_s/A_b)$$

6.3.6 根据决定注入压力操作阀整个工作范围的阀关闭压力 (p_{vcT}), 计算试验装置出口压力 (p_2) 的至少 4 个相等增量的间隔值。在阀整个工作范围内, p_2 的推荐值是 20% p_{vcT} , 40% p_{vcT} , 60% p_{vcT} 和 80% p_{vcT} 。

6.4 稳定生产压力试验 (CPPT)

6.4.1 根据计算的试验装置出口压力 (p_2), 调节入口和出口控制阀, 以使通过气举阀的气体流量接近 0。记录阀入口的最初开启压力 (p_0) 和与其相对应的 p_2 。

6.4.2 根据由 6.4.1 得出的、相对于经调整稳定的试验装置出口压力 (p_2) 的阀入口的最初开启压力 (p_0) 和由 6.3.3 得出的压力增量值 (dp) 计算试验装置入口压力 (p_1)。

$$p_1 = p_0 + dp$$

6.4.3 增加试验装置入口压力 (p_1), 使其达到 6.4.2 计算的 p_1 。在达到稳定流动状态 (接近稳定的 p_1 , p_2 和气体流量) 以后, 记录用于计算稳定气体流量的所需相应的数值, 即试验装置入口气体温度 (T_1), p_1 和对每个更高的 p_1 应保持稳定试验的 p_2 。

6.4.4 对于稳定试验的试验装置出口压力 (p_2), 根据 6.3.2 得出的最大压力增量, 进行最终的、最高试验装置入口压力试验, 试验后检查在 0 出口压力下的阀开启压力 (p_{voT})。如果 p_{voT} 的变化大于前一个 p_{voT} 的 0.5%, 则重复 6.4.3, 以得到最终的 p_2 值。

6.4.5 选择下一个 p_2 , 重复 6.4.1 至 6.4.4 的试验, 直至得出的一系列最终稳定的 p_2 值。

6.4.6 计算每一次试验的气量, 用入口压力作为每一试验装置出口压力 (p_{pf}) 下气体流量的函数, 画出曲线, 该曲线如图 13 所示。

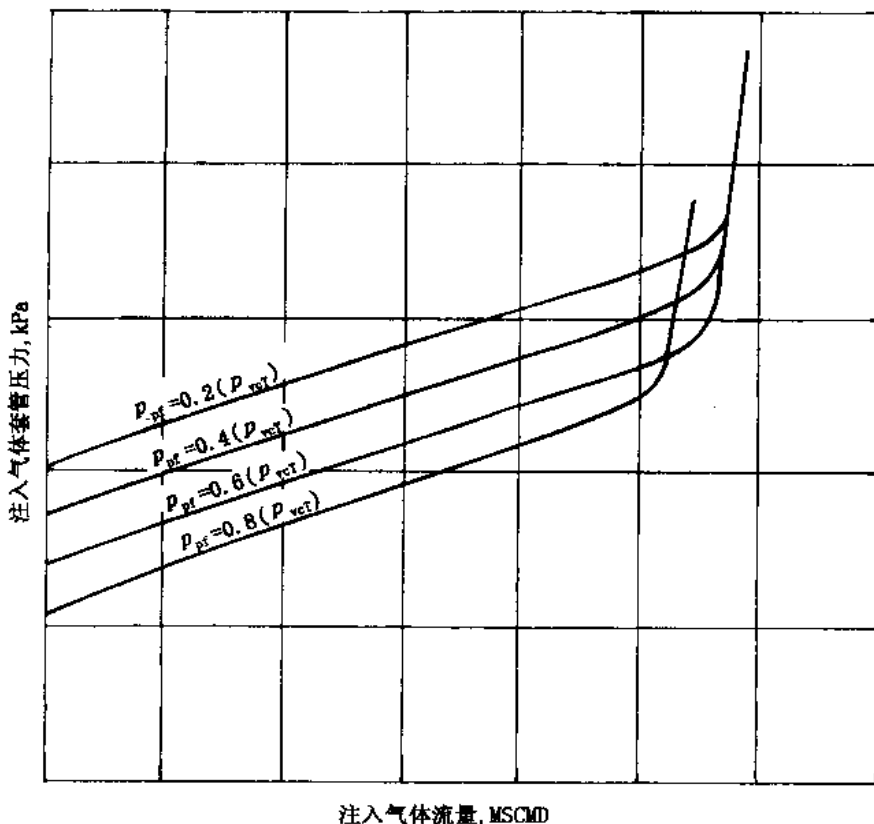


图 13 气举阀稳定生产压力试验数据的典型曲线图

6.5 稳定注入压力试验 (CIPT)

6.5.1 按 3.4 的规定将试样装入试验装置, 测量在一定温度下, 阀开启压力 p_{voT} 。

6.5.2 再次参见第 3 章的图 1, 在一定温度下, 给流动试验系统充压至阀开启压力 (p_{voT})。一定要关闭平衡控制阀 (ECV)。在 p_{voT} 作用下打开气举阀 (GLV), 使入口与出口相通, 记录 p_{voT} 和试验刚刚开始前的温度。按下列步骤开始节流状态的试验。

6.5.2.1 在将出口压力 (p_2) 由 p_{voT} 降至 $0.9p_1$ 的同时, 通过调节入口控制阀 (UCV) 来保持入口压力 $p_1 = p_{voT} - 0.1 \times (p_{voT} - p_{vcT})$ 。

记录适当的数值, 用以计算数据表格 4 中的稳定流量。记录 p_1 , p_2 和气举阀流动温度。

6.5.2.2 通过以相等增量降低出口压力 (p_2) 来重复这个过程, 为的是至少 6 个流量被稳定并被测量, 直至气举阀 (GLV) 关闭, 或 p_2 降至 0kPa (0psi)。

注意: 与探针测距试验一样, 保持 p_2 处于下降状态很重要。如果处于接近一个所要求的 p_2 值, 然而因疏忽又未保持此值, 就不要再返回到所要求的 p_2 值, 但应以一个略低的 p_2 稳定压力代替。

6.5.2.3 在稳定并记录上述 6 个出口压力 p_2 的同时, 应保持入口压力 (p_1) 在目标值 ± 34.5 kPa (5psi) 的范围内。

6.5.2.4 试验以后, 检查阀开启压力 p_{voT} , 应不超过阀初始开启压力 p_{voT} 的 0.5%。记录这个阀开启压力 p_{voT} 和试验结束时的温度。

6.5.2.5 按照 6.5.2, 给基本流动试验系统再次充压至入口压力: $p_1 = p_{voT} - 0.25 \times (p_{voT} - p_{vcT})$, 并重复以上步骤。

6.5.2.6 按照 6.5.2, 给基本流动试验系统再次充压至入口压力: $p_1 = p_{voT} - 0.5 \times (p_{voT} - p_{vcT})$, 并重复以上步骤。

6.5.2.7 按照 6.5.2, 给基本流动试验系统再次充压至入口压力: $p_1 = p_{voT} - 0.65 \times (p_{voT} - p_{vcT})$, 并重复以上步骤。

6.5.3 在入口压力 (p_1) 大于阀开启压力 (p_{voT}) (非节流状态) 情况下试验阀。用 6.3.1 和 6.3.2 的方法计算大于 p_{voT} 的最大 dp 。

6.5.3.1 给流动试验系统再次加压至入口压力: $p_1 = p_{voT} + dp_{max}$

6.5.3.2 在出口压力 (p_2) 由 p_1 降至 $0.9p_1$ 的同时, 保持 p_1 不变。稳定 p_2 在 $0.9p_1$, 并记录这个相应的数值, 以计算稳定流量并填在数据表格 4 中。

6.5.3.3 通过以相等的增量降低出口压力 (p_2), 重复该过程, 以便至少 5 个流量值被稳定、被测量, 且应有两个最低的 p_2 值低于入口压力的一半。

6.5.3.4 给流动试验系统再充压至入口压力: $p_1 = p_{voT} - 0.5dp_{max}$, 并由 6.5.3.2 起重复做。

6.5.3.5 如果阀制造厂家打算将用于油井的阀只处于节流状态, 那么, 该厂家可能只选用 6.5.3.1 中最大 dp 的很小百分比, 并且是 6.5.3.4 中 dp_{max} 的一半。

数据表格 4

阀的标志：_____，设定压力 [15.5℃ (60°F)] p_{vo} ：_____ kPa (psi)

供货单位，装配号与说明：_____

波纹管面积：_____ mm² (in²)，阀杆座接触面积：_____ mm² (in²)，入口孔径：_____ mm² (in²)

探针测距试验日期：_____，最大有效行程：_____ mm (in) [当 Δp 为 _____ kPa (psi)]

波纹管总成平均承载率：_____ kPa/mm (psi/in)，技师姓名：_____

性能试验日期：_____，测量管内径 _____ mm (in)，气体密度 _____

试验开始时间：_____， p_{voT} _____ kPa (psi) (在 _____ °C 条件下)

试验终止时间：_____， p_{voT} _____ kPa (psi) (在 _____ °C 条件下)

试验号 No	气体孔板流量计数据					气举阀安装数据			
	孔板内径 mm (in)	压力 kPa (psi)	压差 mm 汞柱	流动 温度 °C	计算气 体流量 SCMD	入口 压力 kPa (psi)	出口 压力 kPa (psi)	入口 温度 °C	通过阀 的压降 kPa (psi)

6.5.4 画这些数据的曲线图。这曲线图的形状如图 14 所示。

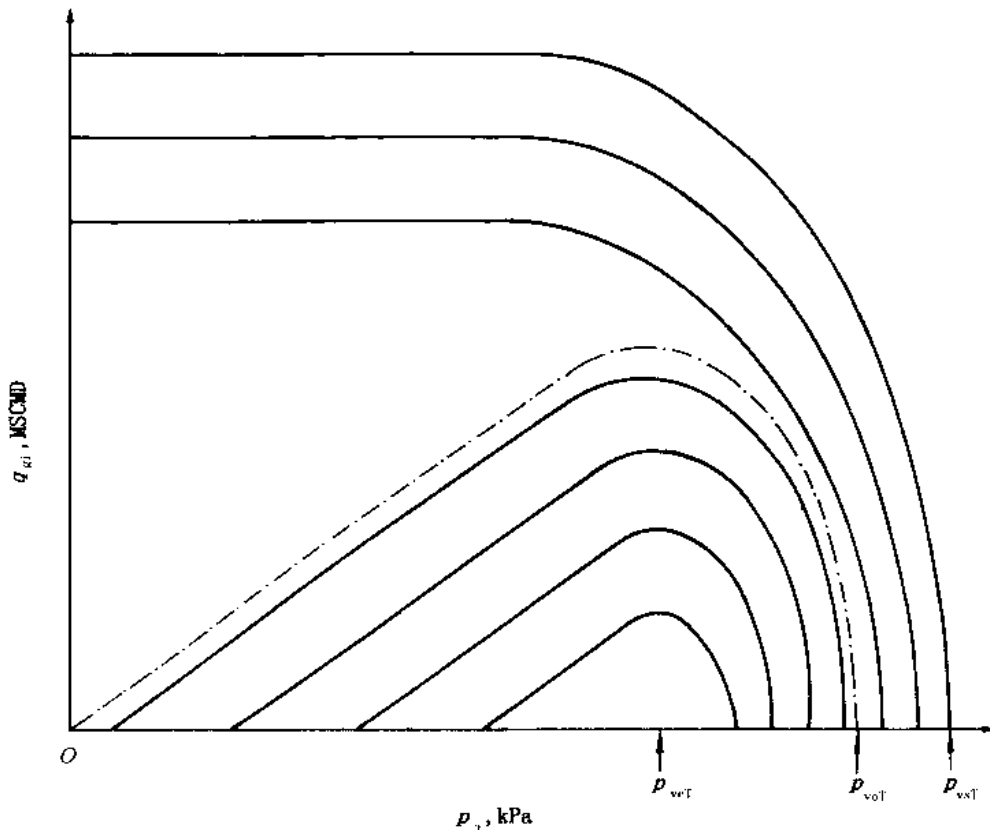


图 14 气举阀稳定注入压力试验数据的典型曲线图

6.5.5 数据累加。如果用手工累加数据，则使用数据表格 4 比较便利。

7 相关性试验的建立

为达到使用试验数据预测在非试验条件下气举阀性能的目的，要求建立数学模型或相关性。本标准规定为提供建立数学模型所需要资料而进行试验的类型和方法。这些试验的全部或部分数据可用于建立数学模型。以下是关于建立数学模型所要求试验数量的建议。

7.1 探针测距试验

第 4 章规定为确定阀的波纹管总成承载率 (B_{lr}) 和阀的最大有效行程所要遵循的程序，同时还给出试验数量和进行试验的调整压力。

7.2 流量系数试验

第 5 章规定为确定作为阀杆行程函数的阀流量系数 (C_v) 和压降比例系数 (X_t) 所要遵循的程序。第 5 章推荐用于确定阀的整个工作范围所要求的试验数量。当正确操作时，第 5 章中所给出的程序将提供适用于任何压力范围和任何一种气体的数据。

7.3 气举阀性能试验

第 6 章规定为得到在给定调整压力下阀的动态工作性能所遵循的程序。为建立数学模型得到足够数据，要求进行不同调整压力下的附加试验。

按第 6 章规定的试验程序，一组阀至少应进行 3 个调整压力下的试验。其中两个调整压力应该是制造厂家推荐的最小和最大调整压力，而第三个调整压力应该是居于最小和最大之间的压力值。选定的调整压力之间至少应该相差 1 379kPa (200psi)。

例如，被推荐在 4 137kPa (600psi) 和 12 410kPa (1 800psi) 之间工作的阀应该在 4 137, 8 274 和 12 410kPa (600, 1 200 和 1 800psi) 的调试压力下进行试验更可取。然而，试验也可在 5 516, 6 895 和 8 274kPa (800, 1 000 和 1 200psi) 的调整压力下进行。

7.4 试验数据的使用

按前一部分中所规定的试验程序将得到足够的数据用以建立阀性能的数学模型，该模型可用于预测在非试验条件下的气体通道直径。在附录 A (标准的附录) 和附录 B (标准的附录) 中给出了两套数学模型的例子。其他形式的模型也可使用，在此不作描述。

附录 A (标准的附录) 是采用按第 4 章和第 5 章收集的试验数据建立的一个简化数学模型。在流动状态下，对阀杆位置作出几种假设条件下建立的这个简化数学模型，不适于在各种情况下对气体通道直径的预测。简化数学模型不需要由本标准第 6 章收集到的数据。如果收集第 6 章的数据，就可用于“修改”简化数学模型，以便计算出在阀内部动态压力，因而产生更精确的数学模型。使用第 6 章的数据，修改简化数学模型的方法已超出本标准的范围。

附录 B (标准的附录) 是一个更为复杂的数学模型，它采用由第 6 章收集的试验数据。该模型依赖大量动态阀试验的统计相关性。这个更加复杂的数学模型不需要采用第 4 章和第 5 章收集的数据。如果收集到第 4 章和第 5 章的数据，那么就可被用于“修改”复杂的数学模型，以便计算阀的承载率和流量。利用第 4 章和第 5 章的数据，“修改”复杂数学模型的方法不在本标准的范围之内。

附录 A
(标准的附录)
简化流动性能模型

A1 简化模型

在下列各条中所描述的数学模型被简化, 并将使用第 4 章和第 5 章中收集的数据。该模型以下列假设为根据:

- a) 试验装置的测量出口压力不同于阀孔压力;
- b) 试验装置的测量出口压力不必完全作用在整个阀杆面积上;
- c) 由套压和油压作用的面积随阀杆的运动变化。

修改简化数据模型应包括从第 6 章得来的那些数据, 以更精确地确定在流动状态下的阀杆动态位置。

A2 确定阀杆位置

在预期的井内压力和温度条件下, 用静态力平衡方程确定阀的静止阀杆位置, 该方程包括阀杆行程和阀承载率。关于氮气加载或弹簧加载阀的静态力平衡方程如下:

$$p_{vcT}A_b + B_{lr}A_b dx = p_{iod}(A_b - A_s) + p_{pd}A_s \quad \dots\dots\dots(A1)$$

$$dx = [p_{iod}(A_b - A_s) + p_{pd}A_s - p_{vcT}A_b] / B_{lr}A_b \quad \dots\dots\dots(A2)$$

A3 确定 C_v 和 X_t

由 C_v 与阀杆行程关系曲线来读取由 A2 计算出的静止阀杆行程的流量系数 (C_v)。

由 X_t 与阀杆行程关系曲线来读取由 A2 计算出的静止阀杆行程的压降比例系数 (X_t)。

A4 计算流量

采用下列公式计算流量:

$$q_{gi} = 32.64 C_v (p_{iod} + 14.7) Y \{ X / [(T_v + 460) S_g Z] \}^{1/2} \quad \dots\dots\dots(A3)$$

式中: $X = (p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} + 14.7)$ 或 $X = F_k X_t$ (X 取两个计算结果之中较小值);

$Y = 1 - [X / (3F_k X_t)]$, $F_k = k / 1.40$;

k ——举升气体的比热容比。

附录 B
(标准的附录)
(TUALP) 流动性能模型

B1 引言

本附录描述用于预测注入压力操作气举阀动态工作性能的一种经济有效的方法。该推荐方法以土桑大学人工举升项目对气举阀工作性能所进行的广泛研究为根据。为了全面说明针对一个阀孔尺寸的气举阀工作特性，几乎需要6人/h的工作量。通过采用计算的标准误差和对数据曲线的定性分析来研究注入压力操作气举阀的预期精度。在数学模型与实验数据之间，最大百分比误差出现在描述很小流量的曲线末端，但其绝对偏差是比较小的。以下提出的极限偏差适用于任何阀孔尺寸。

流动状态	充氮气加载	弹簧加载
阀孔全开	±5%	±5%
变阀孔截面	±30%	±15%

这些误差范围是根据大量试验得出的。在25.4mm (1in) 气举阀上就采集3 967个数据点，其中包括Camco Bk 阀的1 560个数据点，Camco Bk-1 阀477个数据点，McMurry-Hughes JR-STD 阀1 112个数据点，Teledyne-Meria NM-16R 阀818个数据点。另外2 590个数据点是在Camco R-20, 1.5in 阀上采集的，而取自McMurry-Hughes VR-STD 和 Teledyne-Meria LN-20R 阀的数据点则有限。在各种情况下，这些数据点都复盖一个很宽范围的流动状态和阀孔尺寸，对25.4mm (1in) 气举阀而言，就进行了178个阀孔全开流动试验和159个变阀孔截面试验。对1.5in 气举阀而言，就画出了158条阀孔全开流动曲线和95条变阀孔截面曲线。因为百分比无量纲，所以按绝对百分比误差计。阀孔全开流动流量误差很少超过13%，然而在很小流量下，一些变阀孔截面流动流量出现很大的百分比误差，在少数情况下，高达93%。尽管如此，上述给定值将适用于油田。

用6.5中的方法采集试验数据。本附录分为下列部分：

- a) B1 为内容介绍；
- b) B2 为区别注入压力操作气举阀的阀孔全开流动状态与变阀孔截面流动状态；
- c) B3 为确定适用于阀孔全开流动数学模型的系数；
- d) B4 为确定适用于变阀孔截面流动数学模型的系数；
- e) B5 为规定在阀孔全开流动和变阀孔截面流动状态之间的转换；
- f) B6 为规定使用阀孔全开流动数学模型计算气体流量的方法；
- g) B7 为规定使用变阀孔截面流动数学模型计算气体流量的方法；
- h) B8 为符号说明。

B2 气举阀工作性能的流动状态

图B1说明两种类型的流动：阀孔全开流动和变阀孔截面流动。这两种类型按照性能曲线斜率更进一步细分成两种状态。这两种类型的流动表现出一种状态，在这一状态下，随着阀两边压差的增加，通过阀的气体流量也在增加。这种情况在图B1中以性能曲线的右边表示，该处斜率为正值，因为对一条给定的曲线而言，注入压力保持稳定，生产压力画在水平轴上。这样，增加生产压力，使其接近注入压力水平，也就等于降低了压差，负的斜率与横坐标相交，在此压差降至0。对阀孔全开流动类型，按常规称该状态为临界点以下的流动。对变面积流动类型，称它为“低于最大流量流动”。“最大”是指变阀孔截面流动曲线的最大值不一定出现在“临界”流量点，“低于”是指压差而不是生产压力。

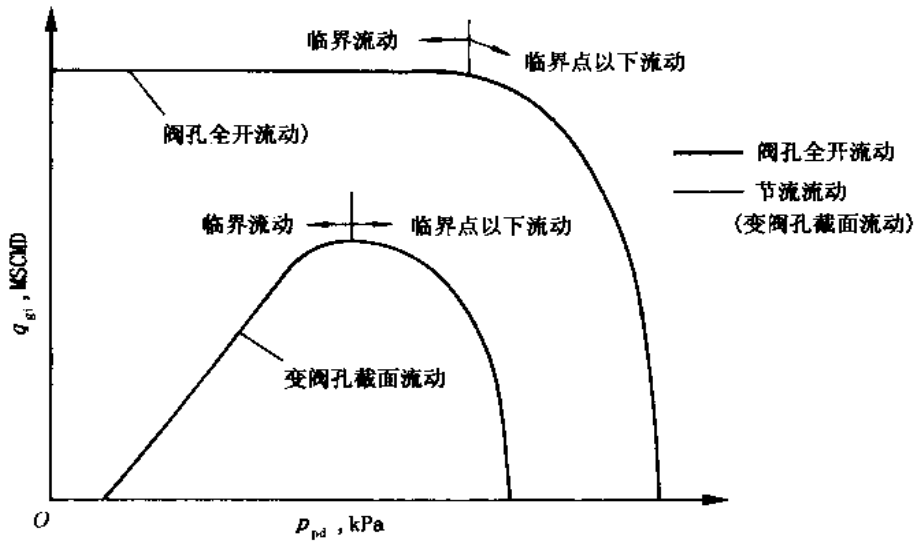


图 B1 代表气举阀性能的流动状态图

这两种类型的流动之间的区别由生产压力低于一个临界值时的特性曲线的左边决定，阀孔全开流动的临界压力为 p_{pd} (见图 B2)，变阀孔截面流动的临界压力为 p_{pdmax} (见图 B3)。在阀孔全开流动中，曲线的斜率为 0，这意味着不管随着生产压力的降低，压差增大多少，曲线的斜率都是 0，即流量不变。因此，在阀孔全开流动中，称这种状态为临界流动。而与此相反，变阀孔截面流动却随压差增大，而显示流量减小。当压差变得太大时，就达到流量完全中断的极限。一再强调压差，而不是生产压力，并且称该状态为“超最大”流动。与阀完全关闭时的压差相对应的生产压力被称作阀关闭压力 p_{pk} 。

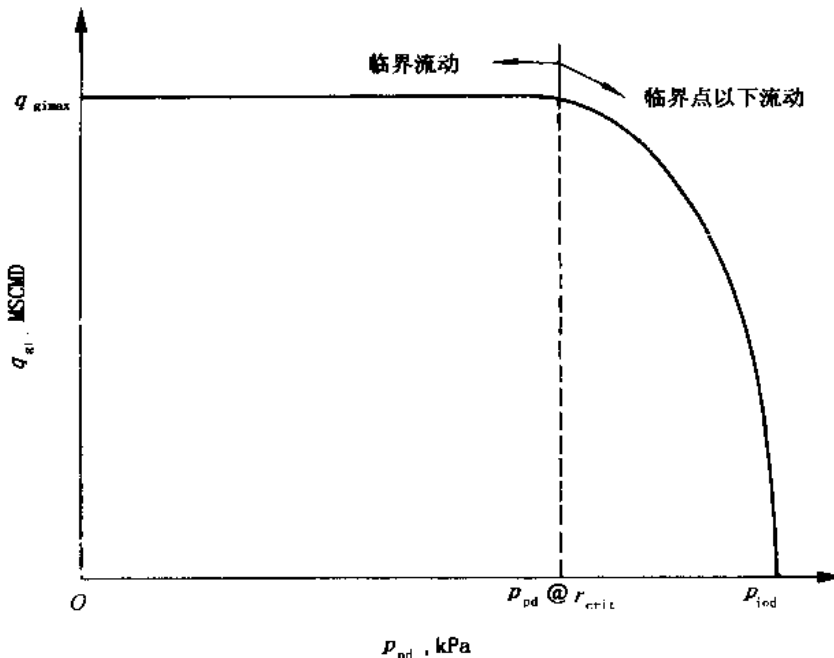


图 B2 阀孔全开流动状态

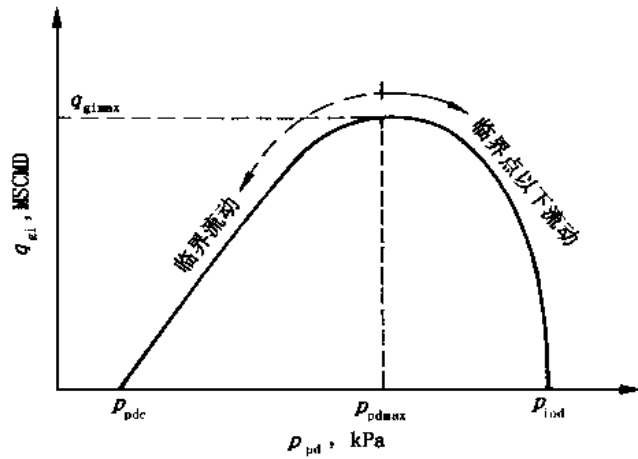


图 B3 变阀孔截面流动

图 B4 表示两种类型流动之间的相互关系。注入压力画在第三个轴上。当注入压力超过转换压力 (p_{trm}) 时, 阀孔全开流动出现。当生产压力小于转换压力而大于阀关闭压力时, 变阀孔截面流动出现。

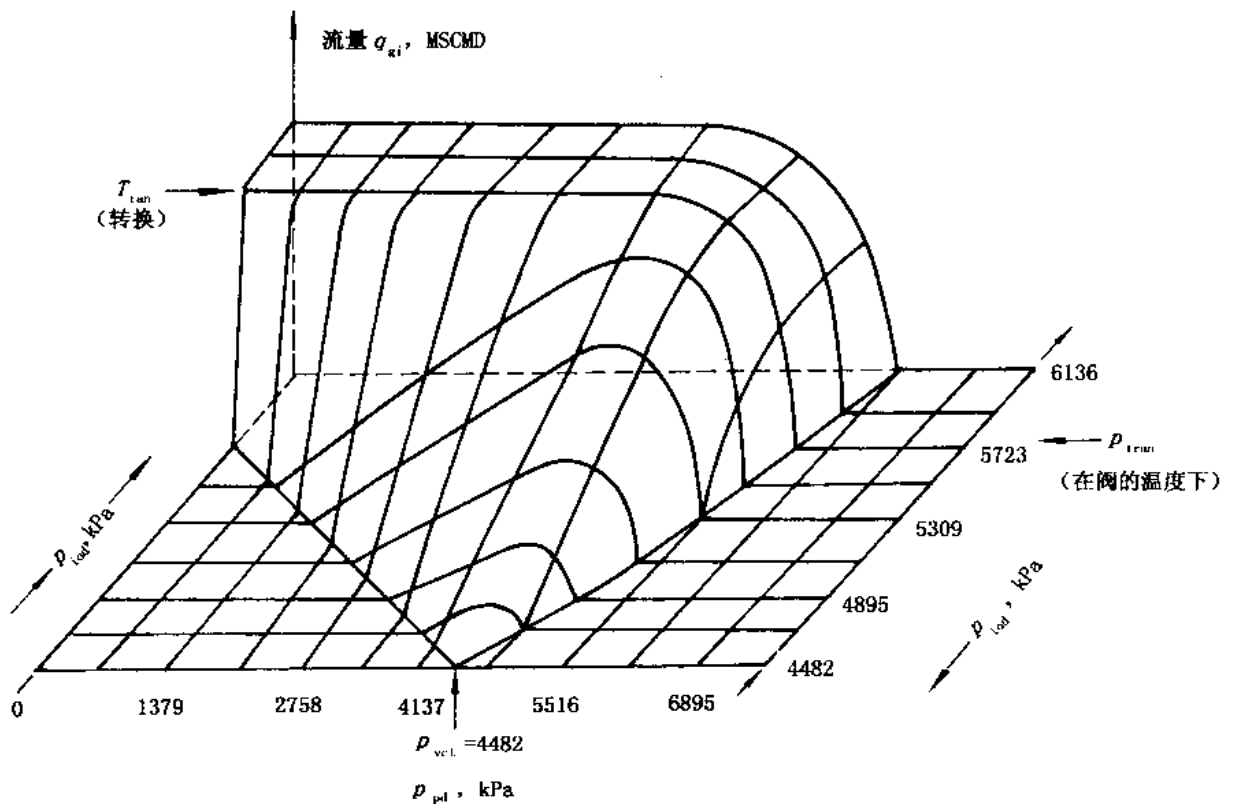


图 B4 理想的三维充氮气举阀性能曲线图

B3 阀孔全开流动状态

用于预测阀孔全开流动的气举阀流量的方程:

$$q_{gi} = 1.241 A_p C_d Y \sqrt{\frac{p_{iod}(p_{iod} - p_{pd})}{T_v Z_v S_g}} \dots\dots\dots(B1)$$

式中： q_{gi} ——流量，MSCFD；
 A_p ——阀孔面积，in²；
 Y ——膨胀系数；
 C_d ——与 $(1 - \beta^4)^{1/2}$ 项结合的试验卸载系数；
 S_g ——气体相对密度（空气为 1.0）；
 T_v ——注入气温度，°R；
 Z_v ——在阀工作条件下，气体压缩系数；
 p_{iod} ——注入压力，psi；
 p_{pd} ——生产压力，psi。

注意，在方程 (B1) 中， p_{iod} 和 p_{pd} 以 psi 为单位。

采用阀的一个关闭压力 p_{vcT} 和两个不等的注入压力作出的两条阀孔全开流动曲线的一个最小值被用于计算，这两个曲线由试验确定，适用于每个阀孔尺寸的乘积 $C_d Y$ 。阀关闭压力应接近阀预期工作范围的中间值。按照 B5 和 6.5.3 中的讨论结果，两个注入压力应大于与所选用阀的关闭压力 (p_{vcT}) 相对应的转换压力 (p_{tran})。下列步骤建立了用每个阀孔尺寸的试验数据确定乘积 $C_d Y$ 应该采用的方法。

a) 对每个测量数据点，由方程 (B1) 导出乘积 $C_d Y$ ：

$$C_d Y = \frac{q_{gi}}{1.241 A_p} \sqrt{\frac{T_v Z_v S_g}{p_{iod} (p_{iod} - p_{pd})}} \dots\dots\dots(B2)$$

其中 p_{iod} 与 p_{pd} 的单位是 psi。

b) 对每一个阀孔尺寸画出 $C_d Y$ 与无因次压力比 $(p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} k)$ 的关系曲线，如图 B5 所示。 k 是在一定的容积和压力下的比热容比（空气为 1.40）。压力 p_{iod} 和 p_{pd} 的单位为 psi。

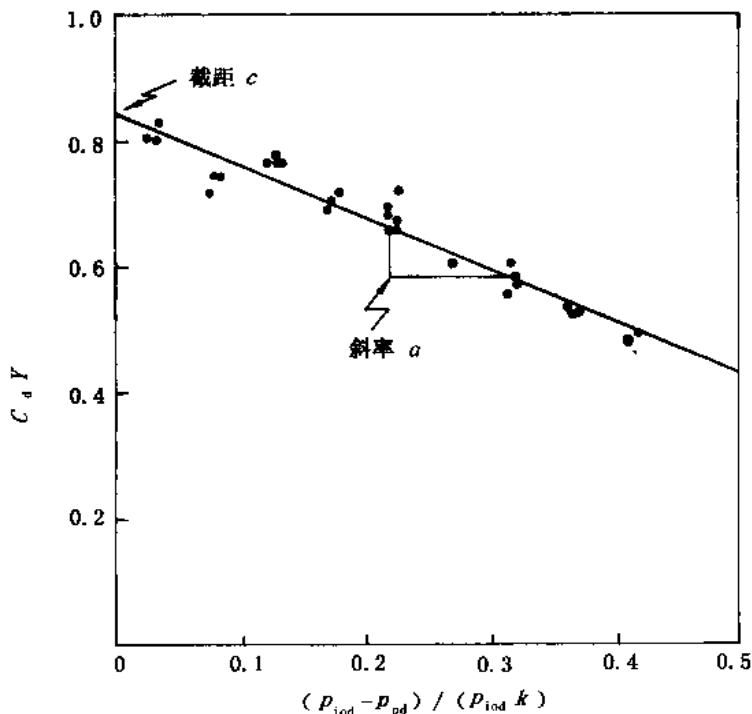


图 B5 6.35mm (0.25in) 阀孔直径气举阀 $C_d Y$ 与 $(p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} k)$ 的关系曲线

c) 根据数据画一条最佳拟合直线，得到斜率 a 和截距 c 。这样求 $C_d Y$ 的方程将是：

$$C_d Y = a(p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} k) + c \quad \dots\dots\dots(B3)$$

如图 B5 中所示的例子， $a = -0.838$ ， $c = 0.844$ 。

d) 适用于临界流动曲线（在该曲线上，气体流量变为常量，并且与生产压力的下降无关）的临界压力比可用图解法，从 $(q_{gimax} - q_{gi}) / (p_{iod} - p_{pd})$ 与压力比 p_{iod} / p_{pd} 的关系曲线确定，其中 p_{pd} 与 p_{iod} 的单位是 psi。对于在图 B6 中所考虑的例子，临界压力比 r_{crit} 等于 0.67，因而使流量变成常量

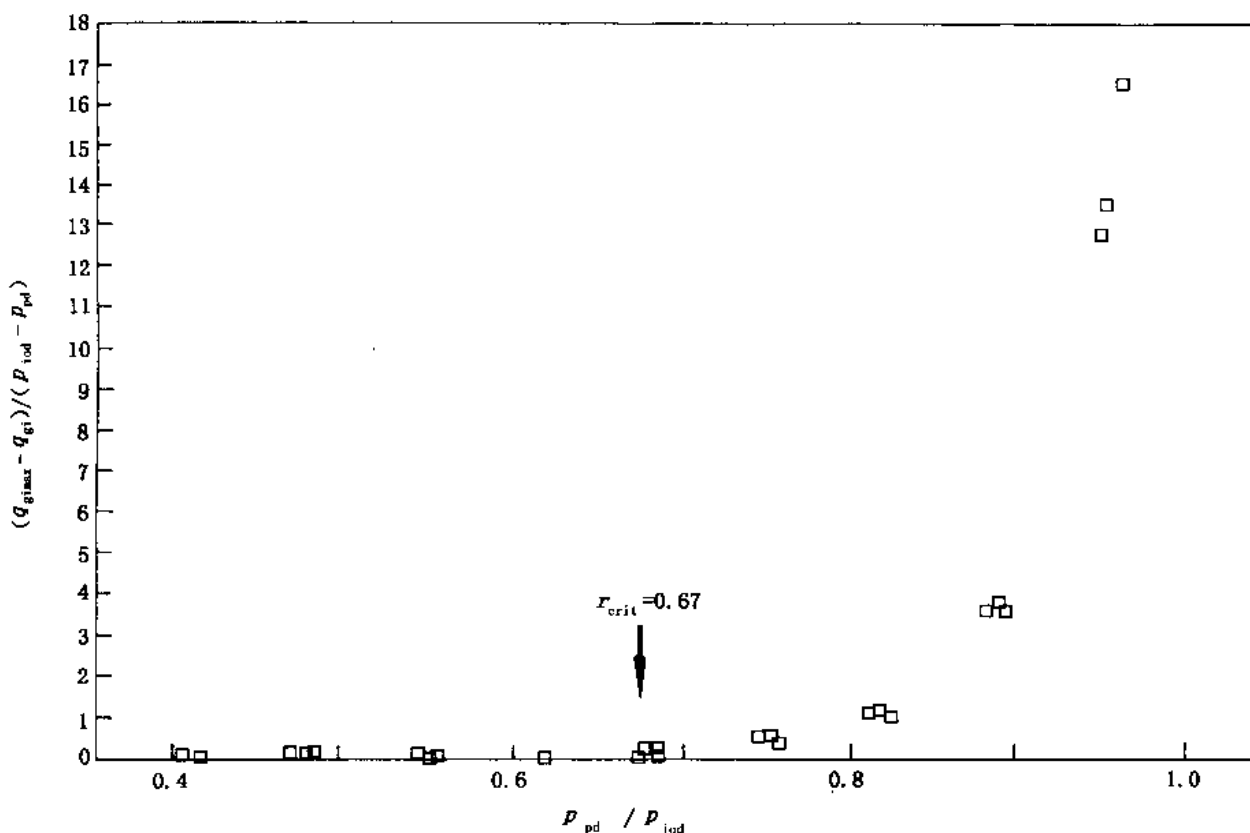


图 B6 6.35mm (0.25in) 阀在 $(q_{gimax} - q_{gi}) / (p_{iod} - p_{pd}) = 0$ 时临界压力比是 0.67 的生产压力，即：

$$p_{iod} = r_{crit} p_{pd} \text{ (等号左端的 } p_{iod} \text{ 为在 } r_{crit} \text{ 下的生产压力)} \quad \dots\dots\dots(B4)$$

若 $p_{pd} < p_{pd}$ (不等号右端的 p_{pd} 为在 r_{crit} 下的计算生产压力) $\dots\dots\dots(B5)$

则流动将处于临界阀孔全开流动状态。

若 $p_{pd} > p_{pd}$ (不等号右端的 p_{pd} 为在 r_{crit} 下的计算生产压力) $\dots\dots\dots(B6)$

则流动将处于临界点以下阀孔全开流动状态，如图 B2 所示。

B4 变阀孔截面流动状态

要预测每一个阀孔尺寸的阀的变阀孔截面流动性能，至少需要通过试验确定的 4 条变阀孔截面流动曲线。为了保证关系曲线覆盖预期的可能工作压力范围，采用两个阀关闭压力 p_{vcT} ，一个在预期工作范围的下限，一个在上限。对每一个阀的关闭压力 p_{vcT} ，还应使用两个相对应的注入压力 p_{iod} 。所

选择的注入压力要覆盖与每个阀关闭压力相对应的预期工作范围。每一个选择的注入压力应大于阀的关闭压力 p_{vcT} ，但小于相对应的 p_{vcT} 的转换压力 p_{tran} ，以保证阀将在变阀孔截面流动区工作。这个试验压力的选择也在 6.3.5 中进行了讨论。

下列步骤给出可用来确定一些系数的方法，而这些系数描述一个给定阀和阀孔尺寸的变阀孔截面流动性能。B4 中前 5 个步骤 a) 至 e) 确定系数用以预测当 p_{pd} 超过生产关闭压力 p_{pdc} ，而小于 p_{pdcmax} 时的变阀孔截面流动。B4 中步骤 f) 确定当 p_{pd} 大于 p_{pdcmax} ，但小于 p_{iod} 时，预测流量所需要的参数。B4 中步骤 g) 检验油管效率系数 F_e 。

a) 确定每条变阀孔截面流动曲线的外推生产关闭压力，但这不是用标准力平衡方程预测的同一关闭压力。外推生产压力是通过外推变阀孔截面流动曲线的斜率，由每条试验变阀孔截面流动曲线得出的，如图 B7 所示。对于该例， $p_{pdc} = 1\ 724\text{kPa}$ (250psi)。

b) 对于每一变阀孔截面流动，确定最大流量 q_{gimax} 。对试验变阀孔截面流动曲线（如图 B7 所示） $q_{gimax} = 11\ 749\text{m}^3/\text{d}$ (415 MSCFD)。

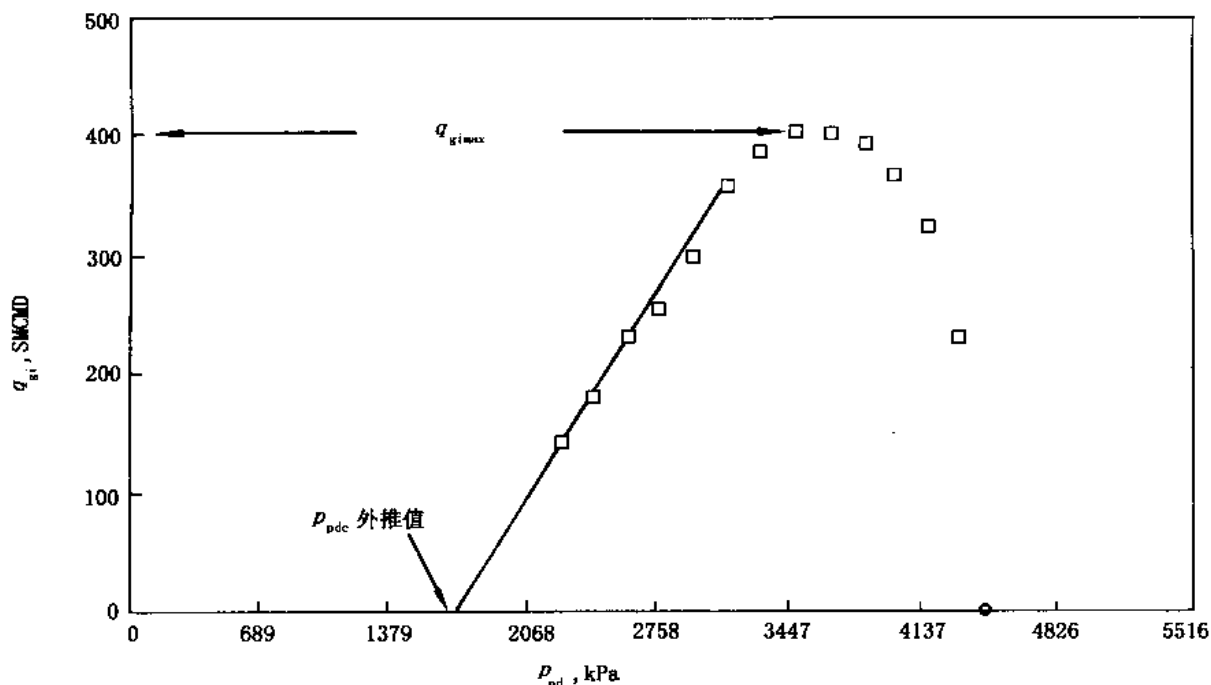


图 B7 由节流流动试验曲线确定 p_{pdc} 和 q_{gimax}

c) 对每一个试验数据点，画出无量纲流量 q_{gi}/q_{gimax} 对无量纲压力 N 的关系曲线，这里：

$$N = (p_{pd} - p_{pdc}) / (p_{iod} - p_{pdc}) \quad \dots\dots\dots(B7)$$

应该把所有变阀孔截面流动曲线的值都叠加到一个坐标图上，如图 B8 所示，接着确定相对于最大无量纲流量的无量纲压力 N_{max} ，如图 B8 所示。对该例， $N_{max} = 0.55$ 。

d) 对于每一条变阀孔截面流动曲线，计算生产压力 p_{pdcmax} ，在 p_{pdcmax} 下得到最大无量纲流量。通过将 B4 的步骤 c) 中确定的 N_{max} 代入方程 (B7)，并求出 p_{pdcmax} ：

$$p_{pdcmax} = N_{max}(p_{iod} - p_{pdc}) + p_{pdc} \quad \dots\dots\dots(B8)$$

对于该例：

$$p_{pdcmax} = 470\text{psi}(3\ 240\ \text{kPa})$$

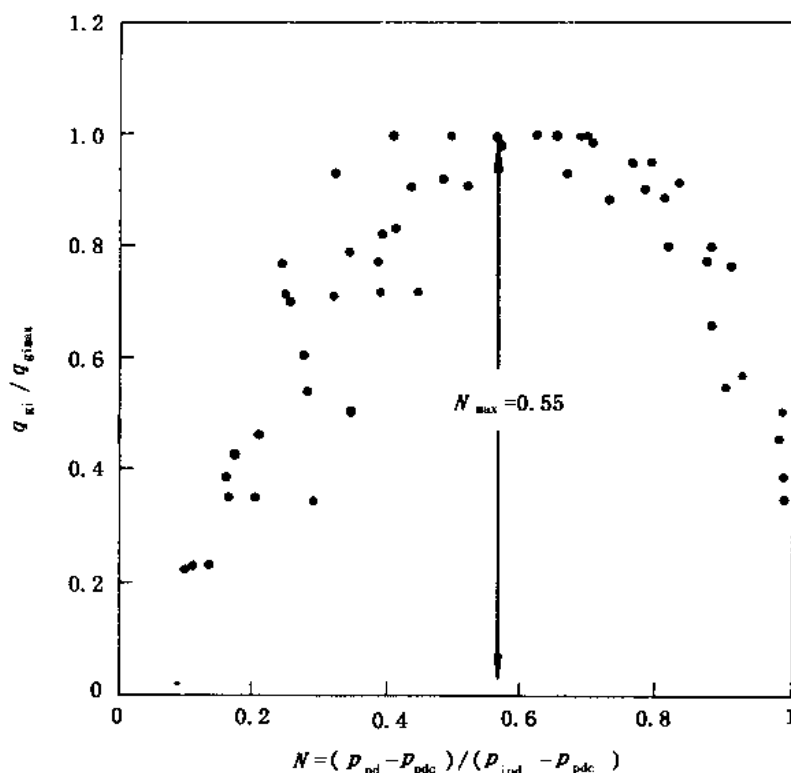


图 B8 从 q_{gi}/q_{gimax} 与 N 的关系曲线确定系数 N_{max}

e) 当 p_{pd} 在 p_{pdc} 和 p_{pdmx} 之间时, 确定每条变阀孔截面流动曲线的斜率 ($Slope$), 使用方程:

$$Slope(\text{斜率}) = q_{gimax} / (p_{pdmx} - p_{pdc}) \quad \dots\dots\dots(B9)$$

然后通过斜率数据拟合一条直线, 并确定系数 m 和 b :

$$Slope(\text{斜率}) = mp_{vcT} + b \quad \dots\dots\dots(B10)$$

例如, 由图 B9, 系数 m 和 b 被确定为:

$$m = 0.127 \times 10^{-2} \text{MSCFD}/\text{psi}/\text{psi}$$

$$b = 1.25 \text{MSCFD}/\text{psi}$$

注意, 计算斜率可以是正数, 也可以是负数, 由阀的变阀孔截面流动性能曲线决定。

f) 对每一条变阀孔截面流动曲线和一个特定阀孔尺寸, 由力平衡方程计算动态油管敏感系数 F_e :

$$F_e = (p_{iod} - p_{vcT}) / (p_{iod} - p_{pdc}) \quad \dots\dots\dots(B11)$$

注意, 动态油管敏感系数不同于 R , R 是阀孔面积与波纹管面积之比。最终 F_e 通过求所有变阀孔截面曲线的油管敏感系数平均数来计算。对于该例, F_e 的平均值被确定为 0.09。

B5 阀孔全开流动和变阀孔截面流动之间的转换

对于一个特定阀孔尺寸和阀关闭压力而言, 在阀孔全开流动状态与变阀孔截面流动状态之间的转换可以由下列方程计算:

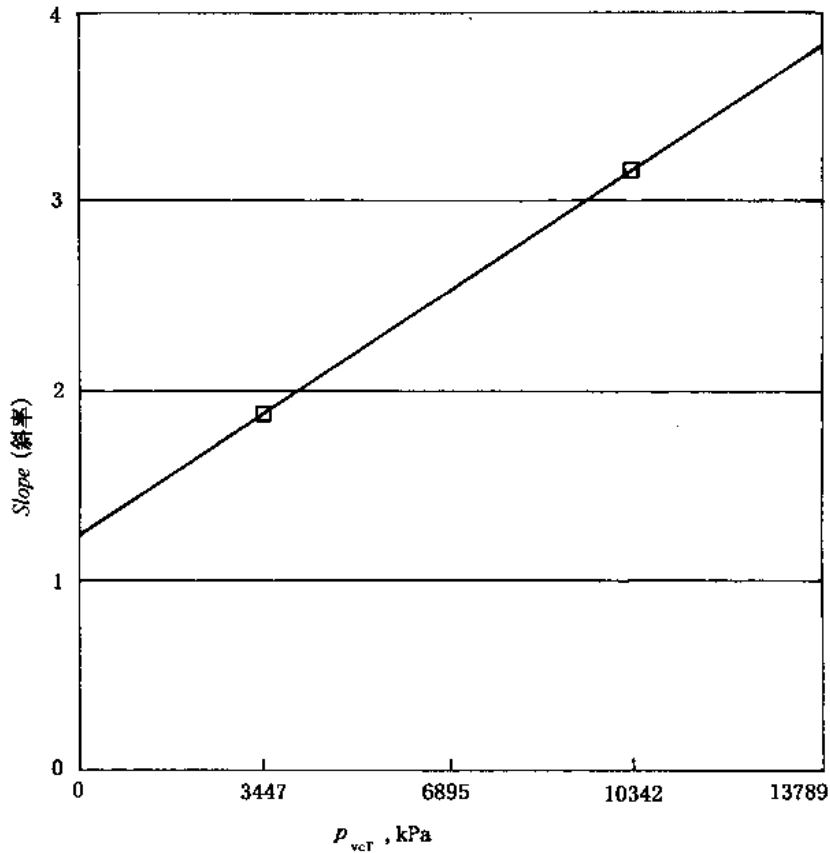


图 B9 适用于 6.35mm (0.25in) 阀孔直径的
阀节流流动曲线斜率与 p_{vcT} 的关系曲线

$$p_{tran} = p_{vcT}(1 + F_e) \dots\dots\dots(B12)$$

用于确定转换压力的另一个标准是假设这种转换出现在给定温度下的调试台开启压力 p_{voT} 之下，因此：

$$p_{tran} = p_{vcT} = \frac{p_{voT}}{1 - R} \dots\dots\dots(B13)$$

方程 (B12) 和方程 (B13) 可能导致转换压力的一些不同预测值。在方程 (B12) 与方程 (B13) 中，优先推荐方程 (B12)。

B6 用阀孔全开流动数学模型逐步计算气体流量的程序

该部分概述了逐步使用现有数学模型，对于在阀孔全开流动状态下工作的阀，逐步计算气体流量的程序。对于一个给定阀，阀孔尺寸为 A_p ，阀关闭压力为 p_{vcT} ，注气压力为 p_{iod} ，生产压力为 p_{pd} ，流动温度为 T_v ，已知气体性质，计算流量如下：

a) 确定工作条件是否将导致阀孔全开流动，也就是用方程 (B12) 或方程 (B13) 计算的结果是否是 $p_{iod} > p_{tran}$ 。如果是这种情况，那么继续按阀孔全开流动计算，否则转至 B7。

b) 在临界压力比条件下，用方程 (B4) 计算在 r_{crit} 下的生产压力 ($p_{pd} @ r_{crit}$):

$$p_{pd} @ r_{crit} = r_{crit} p_{iod} \dots\dots\dots(B14)$$

c) 对于被选择的阀和阀孔直径尺寸, 比较生产压力 p_{pd} 与在 r_{crit} 下计算的生产压力 ($p_{pd}@r_{crit}$), 如果:

$$p_{pd} > p_{pd}@r_{crit} \quad \dots\dots\dots(B15)$$

那么由方程 (B17) 和方程 (B18), 用 p_{pd} 计算流量 q_{gi} 。但是, 如果:

$$p_{pd} < p_{pd}@r_{crit} \quad \dots\dots\dots(B16)$$

那么在方程 (B17) 和方程 (B18) 中, 用 p_{pd} 代替 $p_{pd}@r_{crit}$ 。

d) 用在 B6 步骤 c) 中确定的 p_{pd} 的适当值和方程 (B3) 来计算乘积 $C_d Y$:

$$C_d Y = a(p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} k) + c \quad \dots\dots\dots(B17)$$

式中的 a 和 c 在 B3 步骤 c) 中确定。

e) 用这个 $C_d Y$ 值和 B6 步骤 c) 中确定的 p_{pd} , 由方程 (B1) 计算阀孔全开流动产生的气体流量:

$$q_{gi} = 1.241 A_p C_d Y \sqrt{\frac{p_{iod}(p_{iod} - p_{pd})}{T_v Z_v S_g}} \quad \dots\dots\dots(B18)$$

注意, 对于 B6, 压力 p_{pd} 和 p_{iod} 的单位换算成 psi。

B7 用变阀孔截面流动数学模型逐步计算气体流量的方法

该部分概述了逐步计算通过处于变阀孔截面流动状态中阀的气体流量的方法:

a) 确定工作条件是否处于变阀孔截面流动状态, 即是否 $p_{iod} > p_{tran}$, 这里 p_{tran} 由方程 (B12) 和方程 (B13) 计算。如果表明是变阀孔截面流动, 那么继续计算产生的变阀孔截面流量, 否则转到 B6。

b) 对于给定阀与阀孔尺寸, 用系数 F_e [由方程 (B11) 确定] 计算生产关闭压力:

$$p_{pdc} = (p_{iod} - p_{vcT}) / F_e \quad \dots\dots\dots(B19)$$

c) 利用方程 (B8), 用与阀和阀孔尺寸相对应的 N_{max} 计算 p_{pdcmax} [N_{max} 在 B4 步骤 c) 中确定]:

$$p_{pdcmax} = N_{max}(p_{iod} - p_{pdc}) + p_{pdc} \quad \dots\dots\dots(B20)$$

d) 如果 $p_{pdc} < p_{pd} < p_{pdcmax}$, 继续进行 B7 步骤 e)、f) 和 g); 否则, 当 $p_{pd} > p_{pdcmax}$, 则转至 B7 步骤 h)。

e) 考虑到超最大区的变阀孔截面流动性能, 对给定阀和阀孔尺寸, 使用 B4 步骤 c) 计算所得的系数 m 和 b 及变阀孔截面斜率:

$$Slope(\text{斜率}) = m p_{vcT} + b \quad \dots\dots\dots(B21)$$

f) 最后, 计算流量:

$$q_{gi} = Slope(\text{斜率})(p_{pd} - p_{pdc}) \quad \dots\dots\dots(B22)$$

g) 如果在不同温度 T_m , 而不是注入温度 T_v , 或者注入气体相对密度 S_g 不同于用来进行流动性能试验 (通常是空气) 的气体相对密度 S_{gm} 下进行流动试验, 那么, 对 B7 的步骤 f) 中的计算流量进行修正:

$$q_{gi} = q_{gi}[\text{步骤 f}]) \sqrt{\frac{T_m Z_m S_{gm}}{T_v Z_v S_g}} \quad \dots\dots\dots(B23)$$

式中： Z_m ——在 T_m 和 p_{iod} 下的气体压缩系数；
 Z_v ——在 T_v 和 p_{iod} 下的注入气体压缩系数；
 S_{gm} ——用于进行流动试验的气体相对密度（空气为 1.0）；
 S_g ——注入气体的相对密度（空气为 1.0）；
 T_m ——进行流动测试时的气体温度，°R；
 T_v ——注入气体温度，°R。

h) 当 $p_{iod} > p_{pd} > p_{pdmax}$ ，而且流动处于低于最大区时，采用修正阀孔全开流动方程计算流量。确定修正系数的方法，如下所示：

首先用方程 (B19) 至方程 (B23)，令 $p_{pd} = p_{pdmax}$ ，计算 q_{gimax} （变阀孔截面）。接着用方程 (B17) 至 (B18)，令 $p_{pd} = p_{pdmax}$ ，计算 q_{gi} （阀孔全开流动），最后计算修正系数：

$$\text{Cor. Fac.} = \frac{q_{gimax}(\text{变阀孔截面})}{q_{gi}(\text{阀孔全开, } p_{pd} = p_{pdmax})}$$

i) 如果 $p_{iod} > p_{pd} > p_{pdmax}$ ，那么用修正阀孔全开流动方程计算流量。由方程 (B18)，用在 B3 中确定的 a 和 c 值与生产压力 p_{pd} ，再用方程 (B17) 和 (B18) 计算乘积 $C_d Y$ ：

$$C_d Y = a(p_{iod} - p_{pd}) / (p_{iod} k) + c \quad \dots\dots\dots(B24)$$

j) 采用一个 $C_d Y$ 值，并用阀孔全开流动方程 (B18) 来计算阀孔全开流量：

$$q_{gi} = 1.241 A_p C_d Y \sqrt{\frac{p_{iod}(p_{iod} - p_{pd})}{T_v Z_v S_g}} \quad \dots\dots\dots(B25)$$

注意，在方程 (B24) 和方程 (B25) 中，压力 p_{pd} 和 p_{iod} 的单位应换算成 psi。

k) 最后，用 B7 步骤 h) 计算的适当修正系数，将 B7 步骤 j) 中计算得出的阀孔全开流量修正为变阀孔截面流量：

$$q_{gicorr} = \text{Cor. Fac.} \cdot q_{gi} \quad \dots\dots\dots(B26)$$

式中 Cor. Fac. ——修正系数。

B8 符号说明

a —— $C_d Y$ 方程的斜率；
 A_b ——波纹管面积，in²；
 A_p ——阀孔面积，in²；
 b ——节流斜线方程的交叉点，MISCFD/psi；
 c —— $C_d Y$ 方程的截距；
 C_d ——包含 $\sqrt{(1 - \beta^4)}$ 项的试验卸载系数；
 $C_d Y$ ——卸载系数 (C_d) 与膨胀系数 (Y) 的乘积；
 Cor. Fac. ——当 $p_{pdmax} < p_{pd} < p_{iod}$ 时的节流修正系数；
 F_e ——动态油管敏感系数；
 S_g ——注入气相对密度（空气 1.0）；

- S_{gm} ——流动试验所用气体的密度；
 k ——比热容比 (c_p/c_v , 空气 1.40)；
 m ——节流斜线方程的斜率, MSCFD/psi/psi；
 N ——无因次生产压力 ($p_{pd} - p_{pdc}$) / ($p_{iwd} - p_{pdc}$)；
 N_{max} ——最大节流流动下的无因次生产压力；
 p_{iwd} ——注入压力 (或入口) 压力, psi；
 p_{pd} ——生产压力, psi；
 p_{pdc} ——生产关闭压力, psi；
 p_{pdcmax} ——最大节流流动下的生产压力, psi；
 p_{tran} ——全开阀孔与节流流动之间的转换压力, psi；
 p_{vcT} ——在温度 T_v 下的阀关闭压力, psi；
 p_{voT} ——作用于面积 ($A_b - A_s$) 上的压力。为在已知温度下, 当阀的出口压力为零时, 通过阀的初始流量所要求的压力, psi；
 q_{gi} ——气体体积流量, MSCFD；
 q_{gicorr} ——修正的节流流动体积流量, MSCFD；
 q_{gimax} ——最大体积流量, MSCFD；
 q_{gimax} ——由节流流动方程计算的最大体积流量, MSCFD；
 R ——阀孔面积与波纹管面积之比；
 r_{crit} ——临界压力比；
 T_v ——注入气温度, °R；
 T_m ——流量测试时的气体温度, °R；
 Y ——气体膨胀系数；
 Z_v ——在注入条件下气体压缩系数；
 Z_m ——气体压缩系数, 按该系数进行流量测试。

附 录 C
(提示的附录)
引用标准信息

1. ANSI/ASME B16.5—1988 管法兰与法兰连接 . 扬子石油化工公司档案馆 . 1994 年 2 月
 2. ANSI/ASME B16.34—1988 阀门—法兰连接, 螺纹连接和对焊连接 . 扬子石油化工公司档案馆 . 1995 年 1 月
 3. ANSI/ASME B31.8—1989 煤气输配管道系统 (上、下册) . 盘锦天然气化工厂 . 天津科技翻译公司翻译印刷, 1988 年 2 月
 4. ASME 锅炉及压力容器规范 . 第Ⅷ部分 . 第一册 . 压力容器和第Ⅷ部分 . 第二册 . 压力容器另一规程 . 1989 年版 . 中国石油设备工业协会 . 1992 年 2 月
 5. API Spec 6D 管线阀门 (闸阀、旋塞阀、球阀和止回阀) 规范 . (第 20 版) 1991 年 1 月 1 日 . 石油工业出版社, 1993 年 12 月
-