

流量控制阀 试验方法

Hydraulic fluid power—Valves—  
Testing method of flow control valves

1 适用范围

本标准适用于以液压油(液)为工作介质的流量控制阀稳态性能和瞬态性能试验。  
比例控制阀和电液伺服阀的试验方法另行规定。

2 术语

2.1 旁通节流

将一部分流量分流至主油箱或压力较低的回路,以控制执行元件输入流量的一种回路状态。

2.2 进口节流

控制执行元件的输入流量的一种回路状态。

2.3 出口节流

控制执行元件的输出流量的一种回路状态。

2.4 三通旁通节流

流量控制阀自身需有旁通排油口的进口节流回路状态。

3 符号、量纲和单位

符号、量纲和单位见表1。

表1 符号量纲和单位

| 名 称        | 符 号           | 量 纲 <sup>1)</sup> | 单 位               |
|------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 阀的公称通径     | $D$           | $L$               | m                 |
| 力          | $F$           | $MLT^{-2}$        | N                 |
| 阀内控制元件的线位移 | $L$           | $L$               | m                 |
| 阀内控制元件的角位移 | $\beta$       | —                 | rad               |
| 体积流量       | $q_v$         | $L^3T^{-1}$       | m <sup>3</sup> /s |
| 管道内径       | $d$           | $L$               | m                 |
| 压力、压差      | $p, \Delta p$ | $ML^{-1}T^{-2}$   | Pa                |
| 时          | $t$           | $T$               | s                 |
| 油液质量密度     | $\rho$        | $ML^{-3}$         | kg/m <sup>3</sup> |
| 运动粘度       | $\nu$         | $L^2T^{-1}$       | m <sup>2</sup> /s |
| 摄氏温度       | $\theta$      | $\Theta$          | °C                |
| 等熵体积弹性模量   | $K_s$         | $ML^{-1}T^{-2}$   | Pa                |
| 体积         | $V$           | $L^3$             | m <sup>3</sup>    |

注:1)  $M$ ——质量;  $L$ ——长度;  $T$ ——时间;  $\Theta$ ——温度。

## 4 通则

### 4.1 试验装置

#### 4.1.1 试验回路

4.1.1.1 图 1、图 2 和图 3 分别为进口节流和三通旁通节流、出口节流及旁通节流时的典型试验回路。图 4 为分流阀的典型试验回路。

允许采用包含两种或多种试验条件的综合回路。

4.1.1.2 油源的流量应能调节,油源流量应大于被试阀的试验流量。油源的压力脉动量不得大于 $\pm 0.5$  MPa。

4.1.1.3 油源和管道之间应安装压力控制阀,以防止回路压力过载。

4.1.1.4 允许在给定的基本回路中,增设调节压力、流量或保证试验系统安全工作的元件。

4.1.1.5 与被试阀连接的管道和管接头的内径应和阀的公称通径相一致。

#### 4.1.2 测压点的位置

##### 4.1.2.1 进口测压点的位置

进口测压点应设置在扰动源(如阀、弯头)的下游和被试阀上游之间。距扰动源的距离应大于 $10d$ ,距被试阀的距离为 $5d$ 。

4.1.2.2 出口测压点应设置在被试阀下游 $10d$ 处。

4.1.2.3 按 C 级精度测试时,若测压点的位置与上述要求不符,应给出相应修正值。

#### 4.1.3 测压孔

4.1.3.1 测压孔的直径不得小于 $1\text{mm}$ ,不得大于 $6\text{mm}$ 。

4.1.3.2 测压孔的长度不得小于测压孔直径的 2 倍。

4.1.3.3 测压孔中心线和管道中心线垂直,管道内表面与测压孔交角处应保持尖锐,但不得有毛刺。

4.1.3.4 测压点与测量仪表之间连接管道的内径不得小于 $3\text{mm}$ 。

4.1.3.5 测压点与测量仪表连接时,应排除连接管道中的空气。

#### 4.1.4 温度测量点的位置

温度测量点应设置在被试阀进口测压点上游 $15d$ 处。

#### 4.1.5 油液固体污染等级

4.1.5.1 在试验系统中,所用的液压油(液)的固体污染等级不得高于 $19/16$ 。有特殊要求时可另作规定。

4.1.5.2 试验时,因淤塞现象而使在一定时间间隔内对同一参数进行数次测量所得的测量值不一致时,在试验报告中要注明此时间间隔值。

4.1.5.3 在试验报告中注明过滤器的安装位置、类型和数量。

4.1.5.4 在试验报告中注明油液的固体污染等级,并注明测定污染等级的方法。

### 4.2 试验的一般要求

#### 4.2.1 试验用油液

4.2.1.1 在试验报告中注明下列各点:

- a. 试验用油液种类、牌号;
- b. 在试验控制温度下的油液粘度和密度;
- c. 等熵体积弹性模量。

4.2.1.2 在同一温度下,测定不同的油液粘度影响时,要用同一类型但粘度不同的油液。

#### 4.2.2 试验温度

4.2.2.1 以液压油(液)为工作介质试验元件时,被试阀进口处的油液温度为 $50^{\circ}\text{C}$ 。采用其他工作介质或有特殊要求时,可另作规定。在试验报告中应注明实际的试验温度。

4.2.2.2 冷态起动试验时油液温度应低于 25℃。在试验开始前,使试验设备和油液的温度保持在某一温度。试验开始后,允许油液温度上升。在试验报告中要记录温度、压力和流量对时间的关系。

4.2.2.3 选择试验温度时,要考虑该阀是否需试验温度补偿性能。

#### 4.2.3 稳态工况

4.2.3.1 被控参数的变化范围不超过表 2 的规定值时为稳态工况。在稳态工况下记录试验参数的测量值。

表 2 被控参数平均指示值允许变化范围

| 被 控 参 数 | 测 试 等 级 |      |      |
|---------|---------|------|------|
|         | A       | B    | C    |
| 流量, %   | ±0.5    | ±1.5 | ±2.5 |
| 压力, %   | ±0.5    | ±1.5 | ±2.5 |
| 油温, °C  | ±1.0    | ±2.0 | ±4.0 |
| 粘度, %   | ±5      | ±10  | ±15  |

4.2.3.2 被测参数测量读数点的数目和所取读数的分布,应能反映被试阀在整个范围内的性能。

4.2.3.3 为了保证试验结果的重复性,应规定测量的时间间隔。

#### 4.3 耐压试验

4.3.1 在被试阀进行试验前应进行耐压试验。

4.3.2 耐压试验时,对各承压油口施加耐压试验压力。耐压试验压力为该油口的最高工作压力的 1.5 倍,以每秒 2% 耐压试验压力的速率递增,保压 5min,不得有外渗漏。

4.3.3 耐压试验时各泄油口和油箱相连。

### 5 试验内容

#### 5.1 流量控制阀

##### 5.1.1 稳态流量—压力特性试验

被控流量和旁通流量应尽可能在控制部件设定值和压差的全部范围内进行测量。

##### 5.1.1.1 压力补偿型阀

在进口和出口压力的规定增量下,对指定的压力和流量从最小值至最大值进行测试(见图 5 曲线)。

##### 5.1.1.2 无压力补偿型阀

参照 GB 8107—87《液压阀压差—流量特性试验方法》有关条款进行测试。

##### 5.1.2 外泄漏量试验

对有外泄口的流量控制阀应测定外泄漏量,试验方法同 5.1.1。绘出进口流量—压差特性和出口流量—压差特性。进口流量与出口流量之差即为外泄漏量。

##### 5.1.3 调节控制部件所需“力”(泛指力、力矩、压力)的试验

在被试阀进口和出口压力变化范围内,在各组进、出口压力设定值下,改变控制部件的调节设定值,使流量由最小升至最大(正行程),又由最大回至最小(反行程),测定各调节设定值下的对应调节“力”。

在每次调至设定位置之前,应连续地对被试阀作 10 次以上的全行程调节的操作,以避免由于淤塞引起的卡紧力影响测量。同时,应在调至设定位置时起 60s 内完成读数的测量。

每完成 10 次以上全行程操作后,将控制部件调至设定位置时,要按规定行程的正或反过来确定调节动作的方向。

注:需测定背压影响时,本项测试只能采用图 1 所示回路。

##### 5.1.4 带压力补偿的流量控制阀瞬态特性试验

在控制部件的调节范围内,测试各调节设定值下的流量对时间的相关特性。

进口节流和三通旁通节流的试验回路,按图 1 所示,对被试阀的出口造成压力阶跃来进行试验。出口节流和旁通节流的试验回路分别按图 2 和图 3 所示,对被试阀进口造成压力阶跃来进行试验。

在进行瞬态特性测试时可不考虑外泄漏量的影响。

5.1.4.1 在图 1~图 3 中,阀 9 的操作时间(参阅图 6)应满足下列两个条件:

- a. 不得大于响应时间的 10%;
- b. 最大不超过 10ms。

5.1.4.2 为得到足够的压力梯度,必须限制油液的压缩影响。检验方法见式(1)。

$$\frac{dp}{dt} = \frac{q_{vs} \cdot K_s}{V} \dots\dots\dots (1)$$

由式(1)估算压力梯度。其中  $q_{vs}$  是测试开始前设定的稳态流量;  $K_s$  是等熵体积弹性模量;  $V$  是被试阀 5 与阀 8a 和 8b 之间的连通容积;  $p$  是阶跃压力(在图 1 和图 2 中,由压力表 4b 读出;在图 3 中,由压力表 4a 读出)。式(1)估算的压力梯度至少应为实测结果(见图 6)的 10 倍。

5.1.4.3 瞬态特性试验程序

a. 关闭阀 9,调节被试阀 5 的控制部件,由流量计 7a 读出稳态设定流量  $q_{vs}$  调节阀 8a,读出流量  $q_{vs}$  流过阀 8a 时造成的压差  $\Delta p_2$ (下标“2”表示流量  $q_{vs}$  单独通过阀 8a 的工况),用式(2)计算:

$$K = \frac{q_{vs}}{\sqrt{\Delta p_2}} \dots\dots\dots (2)$$

由式(2)求出阀 8a 的系数  $K$ 。对图 1、图 2 和图 3,  $\Delta p_2$  分别是压力计 4b 和 4c、4a 和 4b 及 4a 和 4c 的读数差。

b. 打开阀 9,调节阀 8b,读出  $q_{vs}$  通过阀 8a 和 8b 并联油路所造成的压差  $\Delta p_1$ (下标“1”表示流量  $q_{vs}$  通过并联油路的工况)。压差  $\Delta p_1$  的读法与压差  $\Delta p_2$  读法相同。

在瞬态过程中,当流量  $q_v$  为式(3)时:

$$q_v = q_{v1} = K \sqrt{\Delta p_1} \dots\dots\dots (3)$$

可以认为是被试阀响应时间的起始时刻,称  $q_{vs}$  为起始流量(见图 6)。

c. 操作阀 9(由开至关),造成压力阶跃进行检测。

5.1.4.4 测试方法

选择下述方法中的一种进行瞬态特性测试:

a. 第一种方法——间接法(采用高频响应压力传感器),用压力传感器测出阀 8a 的瞬时压差  $\Delta p$  以式(4)求出通过被试阀 5 的瞬时流量  $q_v$ 。

$$q_v = K \sqrt{\Delta p} \dots\dots\dots (4)$$

注:在这种方法中允许采用频响较低的流量计,因为它只用来测读稳态流量。

b. 第二种方法——直接法(采用高频响应的压力传感器和流量传感器),直接用流量传感器读出瞬时流量。用压力传感器来校核流量传感器相位的准确性。

注:阀 9 操作时间可参照图 6 确定。对第一种方法,阀 9 操作的起始时刻为  $\Delta p$  开始上升的时刻(图 6 上的 B 点),阀 9 操作的终止时刻为流量  $q_v$  开始上升的时刻(图 6 上的 A 点)。

5.2 分流阀

5.2.1 稳态流量—压力特性试验

在进口流量的变化范围内,测量各进口流量设定值下 A、B 两个工作口的分流流量对各自压差的相关特性。

A、B 口的出口压力,分别调阀 7a(或同时调阀 7b)和阀 7c(或同时调阀 7d)来实现,由压力计 4b 和 4c 读出。调定出口压力后,被试阀进口压力随之确定,由压力计 4a 读出。A、B 口与进口的压力差就可计算出。

A、B 口的分流流量分别由流量计 8a 和 8b 读出,两出口分流流量之和即为进口流量。

按表 3 的规定,调定 A、B 的出口压力,在规定进口流量范围内,测每一进口流量下的进口压力和出口流量。

对于两分流口等流或不等流的阀都应注明分流比。

表 3 出口压力规定

| 序 号 | A 口  | B 口  |
|-----|--|--|
| 1   | $p_{\min}$   | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ |
| 2   | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ | $p_{\min}$   |
| 3   | $p_{\max}$   | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ |
| 4   | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ | $p_{\max}$   |
| 5   | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ | $p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow p_{\min}$ |

### 5.2.2 瞬态特性试验

在进口流量变化范围内,测量在阀 6a 和 6b 作不同配合操作(同时动作或不同时动作)时产生的不同压力阶跃情况下的各分流流量对时间的相关特性。

试验回路中阀 6a 和 6b 的操作时间与 5.1.4.1 中关于阀 9 的规定相同,回路中加载部分的压力梯度的要求与 5.1.4.2 的有关规定相同。

应注明阀的分流比。

#### 5.2.2.1 试验程序

a. 关闭阀 6a 和 6b,分别调节阀 7a 和阀 7c,使 A、B 口的出口压力为最高负载压力(这时, A 口出口压力以  $p_1$  表示,由压力计 4b 读出; B 口的出口压力以  $p_5$  表示,由压力计 4c 读出),分别由流量计读出 A 口和 B 口和稳态流量  $q_{vSA}$  和  $q_{vSB}$ ,由压力计 4d 和 4e 读出压力  $p_2$  和  $p_6$ 。由式(5)、式(6)计算:

$$\Delta p_{2A} = p_1 - p_2 \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta p_{2B} = p_5 - p_6 \dots\dots\dots (6)$$

求出  $\Delta p_{2A}$  和  $\Delta p_{2B}$  ( $\Delta p_{2A}$  和  $\Delta p_{2B}$  分别表示  $q_{vSA}$  单独通过阀 7a 形成的压差,  $q_{vSB}$  单独通过阀 7c 形成的压差)。

以式(7)、式(8)求出阀 7a 的系数  $K_A$  和阀 7c 的系数  $K_B$ 。

$$K_A = q_{vSA} / \sqrt{\Delta p_{2A}} \dots\dots\dots (7)$$

$$K_B = q_{vSB} / \sqrt{\Delta p_{2B}} \dots\dots\dots (8)$$

b. 开启阀 6a 和 6b,将阀 7b 和 7d 调至使 A 口和 B 口的出口压力为最小负载压力(这时 A 口出口压力以  $p_3$  表示,由压力计 4b 读出; B 口的出口压力以  $p_7$  表示,由压力计 4c 读出)。分别由压力计 4d 和 4e 读出压力  $p_4$  和  $p_8$ 。

以式(9)、式(10)计算:

$$\Delta p_{1A} = p_3 - p_4 \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta p_{1B} = p_7 - p_8 \dots\dots\dots (10)$$

$\Delta p_{1A}$  表示  $q_{VSA}$  通过 7a 和 7b 的并联油路形成的压差,  $\Delta p_{1B}$  表示  $q_{VSB}$  通过阀 7c 和 7d 并联油路形成的压差。

由式(11)、式(12)求得瞬态特性响应起始时刻的流量  $q_{V1A}$  的  $q_{V1B}$ 。

$$q_{VA} = q_{V1A} = K_A \sqrt{\Delta p_{1A}} \dots\dots\dots (11)$$

$$q_{VB} = q_{V1B} = K_B \sqrt{\Delta p_{1B}} \dots\dots\dots (12)$$

c. 操作阀 6a 和(或)6b, 产生压力阶跃, 操作顺序如表 4。

表 4 阀 6a 和 6b 操作顺序

| 序 号 | 阀 6a | 阀 6b |
|-----|------|------|
| 1   | 突 闭  | 始终开启 |
| 2   | 始终开启 | 突 闭  |
| 3   | 突 闭  | 突 闭  |

5.2.2.2 测量方法

选择下述方法中的一种进行瞬态特性测试:

a. 第一种方法——间接法(采用高频响应压力传感器), 由压力传感器 4b 和 4d 的读数算出阀 7a 的瞬时压差  $\Delta p_A$ , 由压力传感器 4c 和 4e 的读数算出阀 7c 的瞬时压差  $\Delta p_B$ , 以式(13)、式(14)分别算出 A、B 口的瞬时流量  $q_{VA}$  和  $q_{VB}$ :

$$q_{VA} = K_A \sqrt{\Delta p_A} \dots\dots\dots (13)$$

$$q_{VB} = K_B \sqrt{\Delta p_B} \dots\dots\dots (14)$$

b. 第二种方法——直接法(流量和压力仪表都采用高频响应传感器), 分别通过流量传感器 8a 和 8b 读出 A 口和 B 口的瞬时流量  $q_{VA}$  和  $q_{VB}$ , 可由相应的压力传感器读出瞬时压差  $\Delta p_A$  和  $\Delta p_B$ , 用以校核流量传感器的相位准确性。

6 试验报告

6.1 试验数据和结果应写出报告, 其中所用符号和单位按表 1 规定。

6.2 试验有关资料

试验前商定的有关被试阀及其试验条件的资料应写在报告中, 至少包括下述各项:

6.2.1 各阀种均需的资料

- a. 制造厂厂名;
- b. 制造厂标牌(型号、系列号等等);
- c. 制造厂有关阀的说明;
- d. 阀的连接管道和管接头的明细表;
- e. 制造厂有关过滤的要求;
- f. 试验回路中所装过滤器精度等级;
- g. 试验油液的实际固体污染等级;
- h. 试验油液(牌号和说明);
- i. 试验油液的运动粘度;

- j. 试验油液的密度；
- k. 试验油液的等熵体积弹性模量；
- l. 试验油液的温度；
- m. 环境温度。

### 6.2.2 分流阀所需的附加资料

- a. 最小流量；
- b. 给定的分流比。

### 6.3 试验结果

所有的测试结果应用表格和图形曲线来表示,并写在报告中。

#### 6.3.1 耐压压力

记录耐压压力值。

#### 6.3.2 流量控制阀

- a. 稳态流量—压力特性(在指定的设定范围内)(见图 5)；
- b. 调节控制部件所需的“力”,即:力、力矩和压力；
- c. 在设定的各压力和流量条件下的瞬态特性(见图 6)；
  - (A)流量-时间瞬态特性;或压力-时间特性及其计算得到的流量-时间特性(均用图形表示)；
  - (B)响应时间和瞬态恢复时间；
  - (C)流量超调量相对于最终稳态流量的比值。

#### 6.3.3 分流阀

- a. 稳态流量-压力特性；
- b. 在 A 和 B 口的各压力和流量值下的瞬态特性(见图 6),即:
  - (A)流量-时间瞬态特性,或压力-时间特性及其计算得到的流量-时间特性(均用图形表示)；
  - (B)响应时间及瞬态恢复时间；
  - (C)流量超调量或分流误差相对于最终稳态流量的比值。

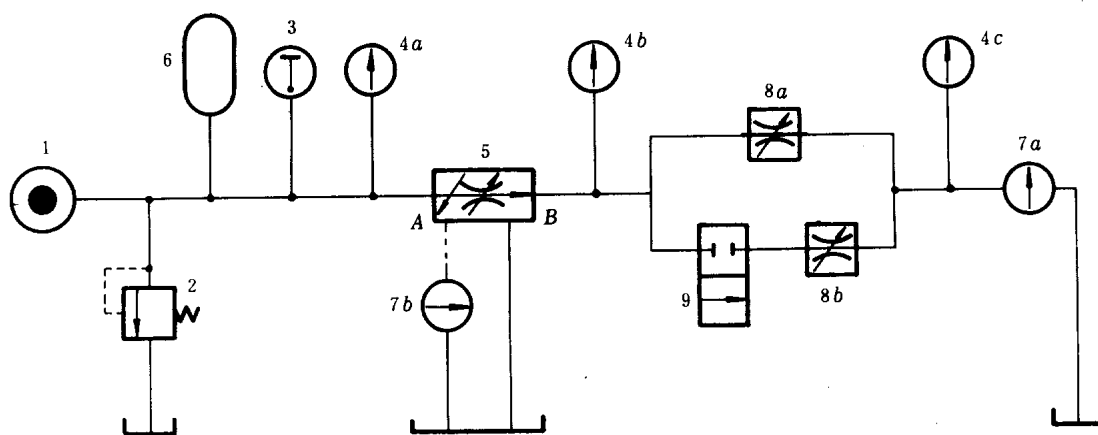


图 1 流量控制阀用作进口节流和三通旁通节流时的试验回路

- 1—液源； 2—溢流阀； 3—温度计； 4—压力计(做瞬态试验时应用高频响应压力传感器)；
- 5—被试阀； 6—蓄能器(需要和可能的情况下加设)； 7—流量计(采用瞬态试验第二种方法时应用高频响应流量传感器)； 8—节流阀； 9—二位二通换向阀

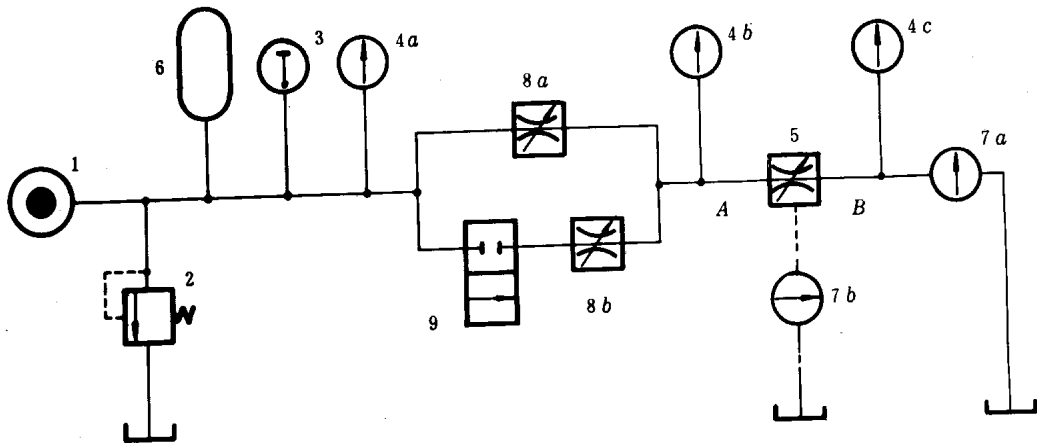


图 2 流量控制阀用作出口节流的试验回路

1—液压源； 2—溢流阀； 3—温度计； 4—压力计(瞬态试验时用高频响应压力传感器)；  
5—被试阀； 6—蓄能器(需要和可能的情况下加设)； 7—流量计(采用瞬态试验第二种  
方法时应用高频响应传感器)； 8—节流阀； 9—二位二通换向阀

注：阀 5 和阀 8 之间用硬管连接，其间容积应尽可能小。

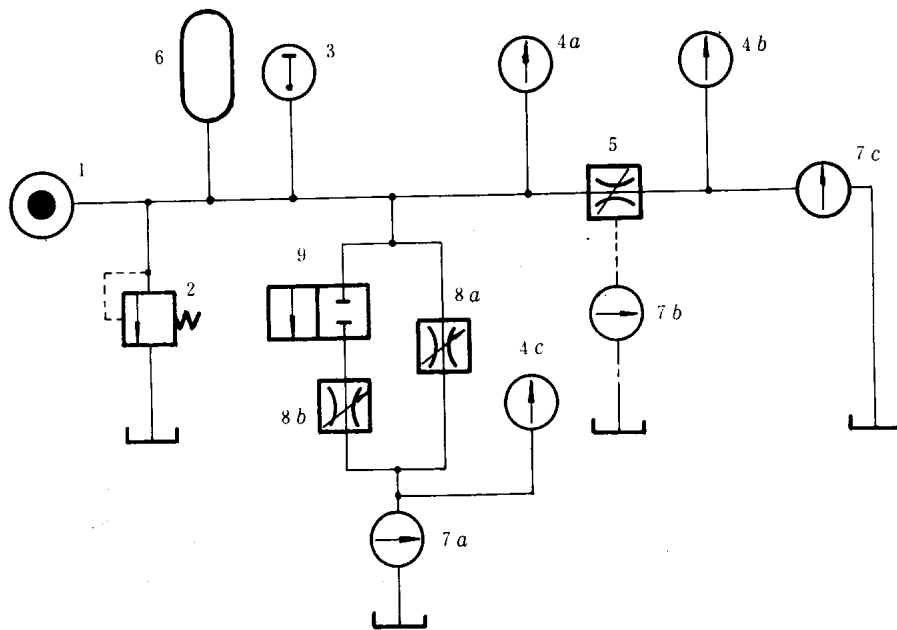


图 3 流量控制阀用作旁通节流时的试验回路

1—液压源； 2—溢流阀； 3—温度计； 4—压力计(瞬态试验时应采用高频响应压力传感器)；  
5—被试阀； 6—蓄能器(需要和可能的情况下加设)； 7—流量计(采用瞬态试验第二种方法  
时应用高频响应流量传感器)； 8—节流阀； 9—二位二通阀

注：阀 5 和阀 8 之间用硬管连接，其间容积应尽可能小。



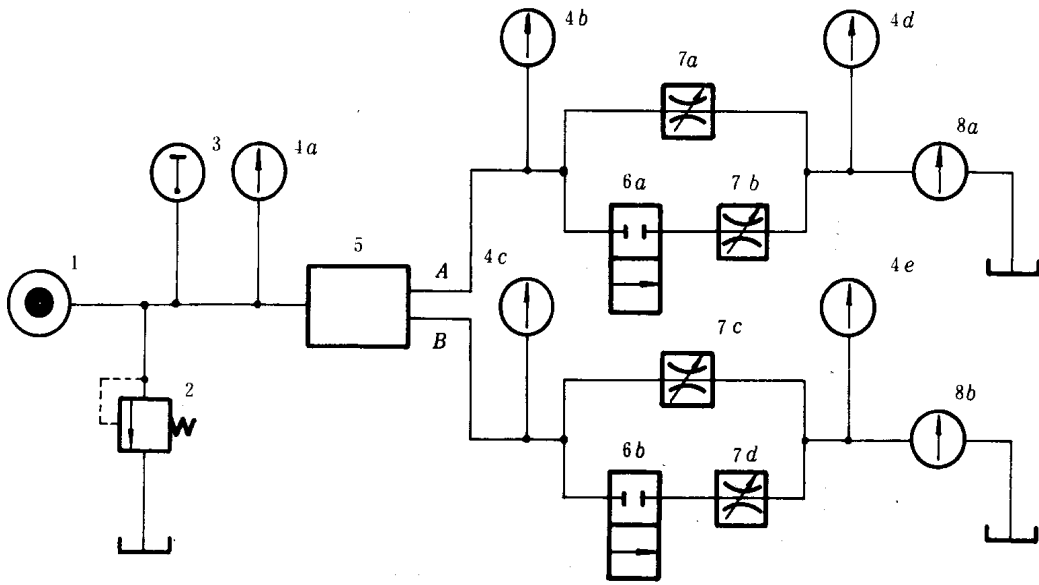


图 4 分流阀试验回路

1—液压源；2—溢流阀；3—温度计；4—压力计（瞬态试验时应采用高频响应压力传感器）；  
5—被试阀；6—二位二通阀；7—节流阀；8—流量计（采用瞬态试验第二种方法时应用高频  
响应流量传感器）

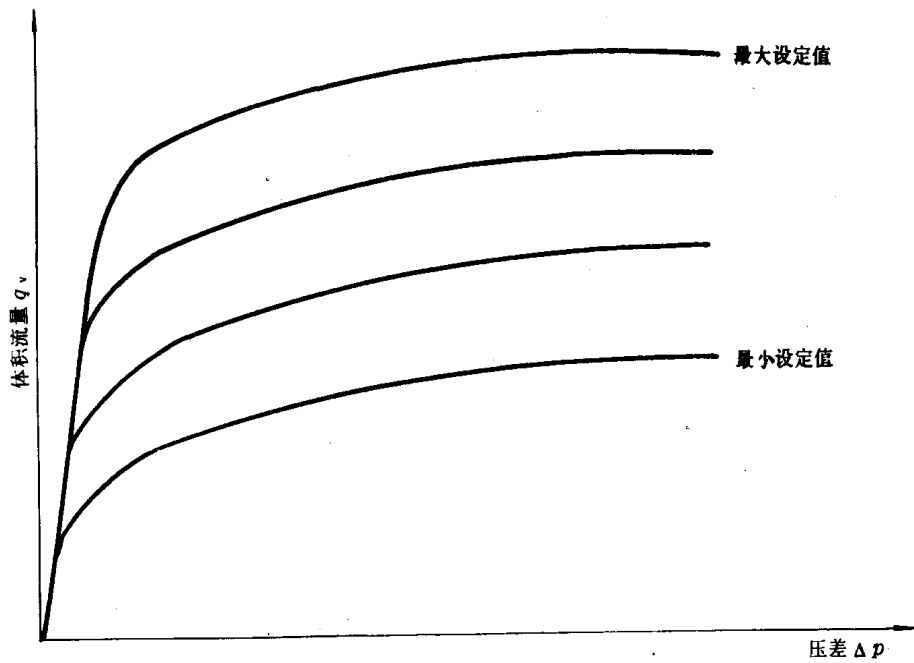


图 5 流量控制阀稳态特性曲线

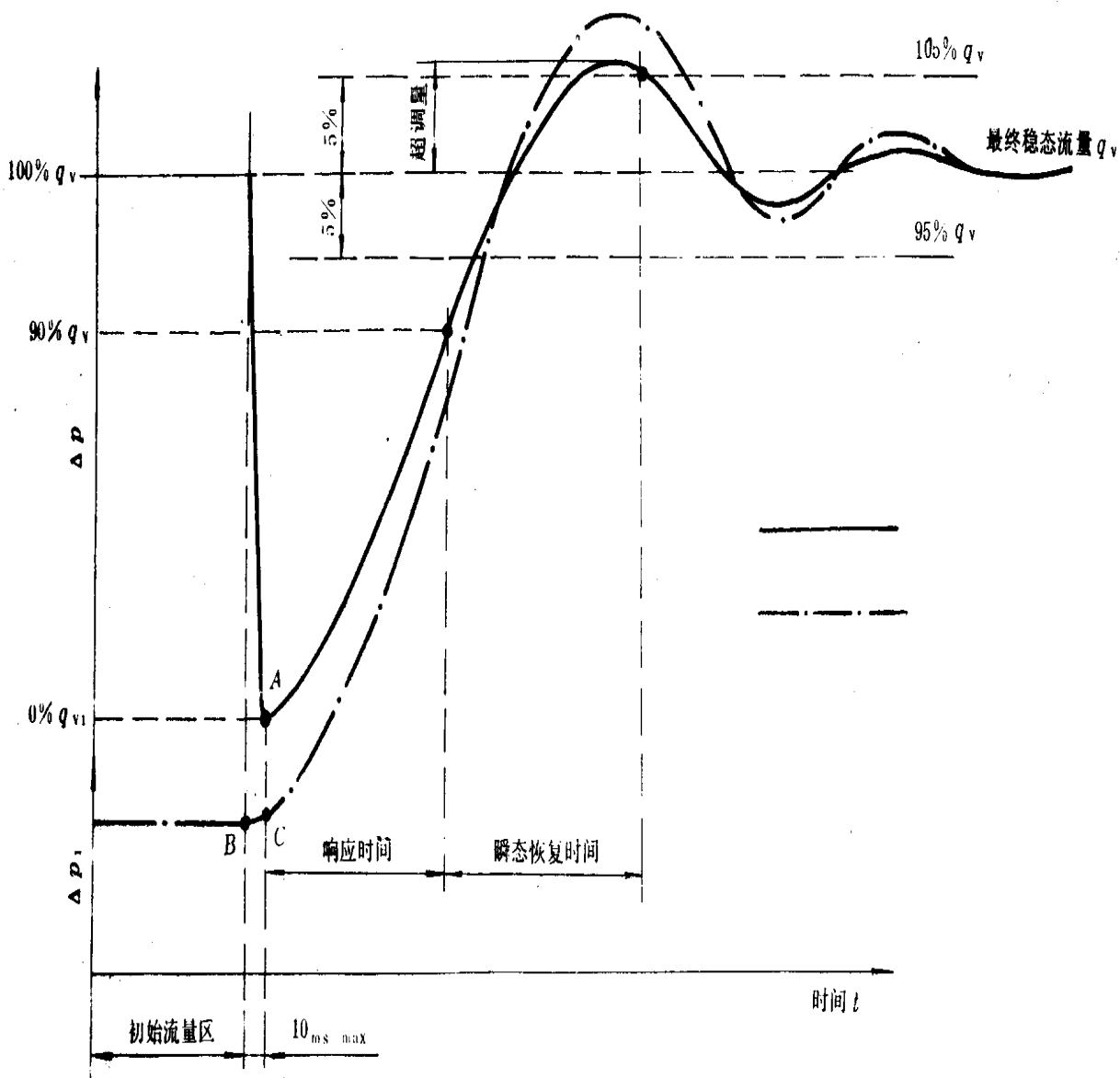


图 6 流量控制阀瞬态特性曲线

— 瞬时流量,  $q_v$ ; - · - 压差  $\Delta p$

实测压力梯度  $\frac{dp}{dt}$ , 以 B、C 点连线的斜率计算

附 录 A  
测 试 等 级  
(补充件)

## A1 测试等级

根据 GB 7935—87《液压元件 通用技术条件》的规定按 A、B、C 三种测试等级中的一种进行试验。

## A2 误差

经标定或与国家标准比较表明,凡不超过表 A1 中所列范围的系统误差的任何测试装置和方法均可采用。

表 A1 测试系统的允许系统误差

| 测试仪表参数                           | 测 试 等 级 |      |       |
|----------------------------------|---------|------|-------|
|                                  | A       | B    | C     |
| 流量, %                            | ±0.5    | ±1.5 | ±2.5  |
| 压差 $p < 200\text{kPa}$ 表压时, kPa  | ±2.0    | ±6.0 | ±10.0 |
| 压差 $p \geq 200\text{kPa}$ 表压时, % | ±0.5    | ±1.5 | ±2.5  |
| 温度, C                            | ±0.5    | ±1.0 | ±2.0  |

注:表中给出的百分数极限范围是指被测量值的百分比,而不是试验参数的最大值或测量系统的最大读数的百分比。

## 附加说明:

本标准由全国液压气动标准化技术委员会提出并归口。

本标准由上海铁道学院、中船总公司七院七〇四所负责起草。