

液压传动实验讲义

赵 铁

焦作工学院机械系液压实验室

前 言

一、实验教学目的

液压传动实验是与工程实际联系很紧密的实验，通过液压传动实验除了帮助加深理解液压传动中的基本概念，巩固理解教学知识，更重要是通过实验培养学生分析问题的能力。

二、实验要求

1、认真做好实验前的准备。

认真预习实验指导书，必须完成指导书中的问答、填空。

注：由于此课程学时关系不能完全让同学们自行拟定实验执行方案、步骤、记录表格、分组等。我们采用在指导书中设问答、填空的方式，同学们根据要求，完成填空并回答问题，完善其实验方案。

2、实验前由指导教师检查预习情况，没有作好实验准备的不能进行实验。每个实验小组要分好工，自行组织讨论。

3、试验中要严格按照实验方案中的内容要求及步骤进行。认真回答指导教师的提问。

试验完成后认真整理所测得数据、绘制曲线、作出结论、回答问题。

4、严格遵守实验室各项纪律。

三、实验项目

1、液压系统中工作压力形成实验。

2、液阻特性实验。

3、液压泵性能实验。

4、溢流阀静态性能实验。

5、节流调速回路的特性实验。

以上各实验可根据专业的不同，选择其中几个符合本专业性质的进行实验。

注：标有*为选作内容。

实验一 液压系统中工作压力形成的原理

一、实验目的

- 1、了解液压系统的基本组成部分，熟悉各类测试仪器。
- 2、了解液压系统中油泵输出压力的形成。
- 3、深入理解油缸中工作压力形成的原理。

二、实验内容提要

1、液压系统有四大基本组成部分：动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件，对照实物（QCS002 实验台）指出各部分的具体元件、液压系统中各参数的测试方法。

2、油泵输出压力的形成。

油泵输出压力的大小不决定于油泵自身，而决定于油泵输出油液在流动过程中所遇到的阻力。在油泵强度条件许可的范围内，泵的输出压力随着阻力的变化而变化。通过实验观察这些现象。

3、油缸中工作压力的形成。

油缸工作腔的压力是取决于油缸活塞移动所遇到的阻力（即负载）——压力决定于负载。

观察油缸从空载逐渐加重力外负载（砝码）压力的变化情况，并进行讨论和分析。

三、实验装置及液压系统原理图（见图 1-1）

实验装置：QCS002 实验台。

四、实验步骤

实验前准备工作：

- ① 了解液压系统的基本组成部分（由系统原理图对照实物）。
- ② 实验油的温度应在 $20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围，如果不在实验温度范围时，应相应的采取冷却（电风扇）、加热（电加热器 26）措施。
- ③ 接电开车前，先将调速阀 5、6 关闭，并将溢流阀 4 手柄放松。

实验开始：

1、油泵的输出压力形成实验

① 作好以上准备工作，启动电动机，这时液压油泵 2 将电机输出的_____能转变为_____能向系统输入，由于 5、6 号阀关死，所以油泵 2 输出的油液只能经过_____流回油箱。

② 逐渐拧紧溢流阀 4 的手轮，以增加液流_____。从压力表 P_1 观察压力变化情况（YB—6 型叶片泵，工作压力为 63kgf/cm^2 ，所以压力不要超过 63kgf/cm^2 ）。

③ 油泵 2 达 63kgf/cm^2 压力时，再平稳放松溢流阀 4 手轮，使 P_1 表指示为最小，再重复以上步骤两次。

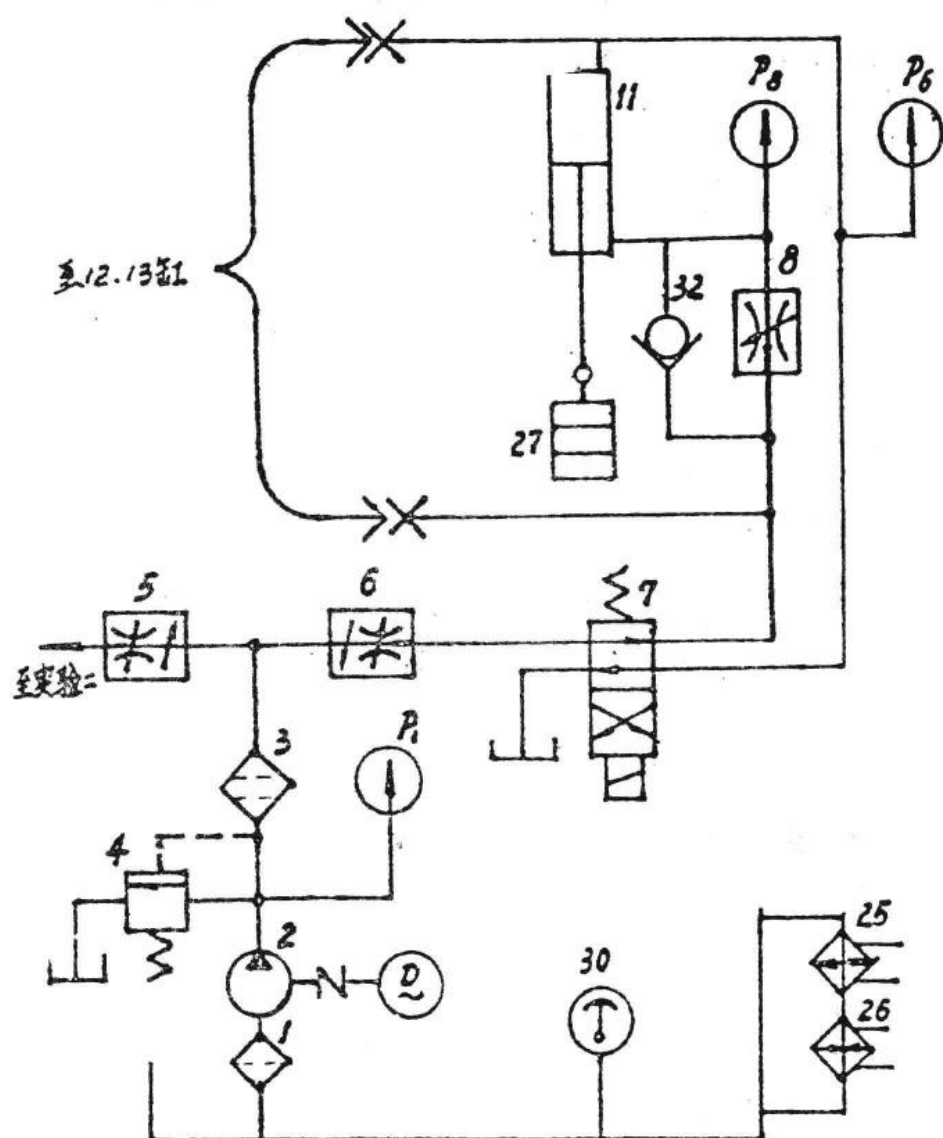


图 1-1

④最后将油泵的输出压力调至 15kgf/cm^2 ，为下一个实验作准备。

2、油缸中工作压力的形成实验

① 慢慢打开调速阀 6，从液压缸 11、12、13 号中任选一个缸（11 号油缸）作为实验缸，其它两缸油路应关闭（已关闭）。

② 将 11 号缸不加砝码，通过_____换向，使活塞往复运动到头，进行 3~5 次排除系统内的空气。此时调整_____使活塞的运动速度不易过快，记录下最后两次的 P_1 、 P_5 、 P_8 的压力值（此后不要再动溢流阀 4，调速阀 6 和节流阀 8）。

③ 使电磁阀 7 带电接通液压缸_____腔，使活塞_____行。在实验缸的砝码托盘上分别挂上不同的砝码，再使用电磁阀 7 断电_____行，观察

活塞开始运动，运动中间（平稳运行）和运动停止三阶段压力表的变化情况，并记录各负载情况下的 P_1 、 P_2 的压力值，重复作 2 次。

五、实验数据记录，液压油泵型号：_____油温_____℃

系统压力 (kgf/cm^2) P_1 =

负载重块数目 (块)	0		1		2		3	
工作腔压力 (kgf/cm^2)								
活塞开始运动 (瞬时)								
活塞平稳运动								
活塞停止运动								

*六、课外讨论：液压油缸实验系统反映出什么问题？简述改进措施。

实验二 液阻特性实验

一、实验目的

本实验通过对不同类型液流阻力（简称液阻力）的实验，定量的确定“流量——压力特性”，计算出与液阻特性有关的指数 φ ，深入理解孔口液流的液阻特性。

二、实验内容提要

液压系统中，油液流经液阻：薄壁小孔、细长小孔、*短孔时产生压力损失，流量 Q 与压力损失 ΔP 之间有如下表达式：

$$Q = \frac{1}{R} \Delta P^\varphi$$

回答下列问题：

① 在此实验中，式中 R 可否认为是常数，为什么？

② 式中哪些参数可以直接测出？

式中： φ ——与液阻特性有关的指数。

上式取对数得： $\lg Q = \lg R^{-1} + \varphi \lg \Delta P$

取 $\lg \Delta P$ 为横坐标，取 $\lg Q$ 为纵坐标， $\lg R^{-1}$ 为纵坐标上的截距，则 φ 为直线的斜率，理想情况下：

当液阻为薄壁小孔时， $\varphi=0.5$

当液阻为细长小孔时， $\varphi=1$

当液阻为短孔时， $0.5 < \varphi < 1$

在油液流动状态不变，油温变化很小的情况下，进行实验，改变流经液阻的流量，分别用压力表测得薄壁小孔、细长小孔和短孔的进出口压力。计算后，分别作出它们的流量——压力特性曲线，求得 φ 值，并进行分析。

各液阻的几何尺寸：

细长小孔： $L=200(\text{mm})$, $d=2.75(\text{mm})$

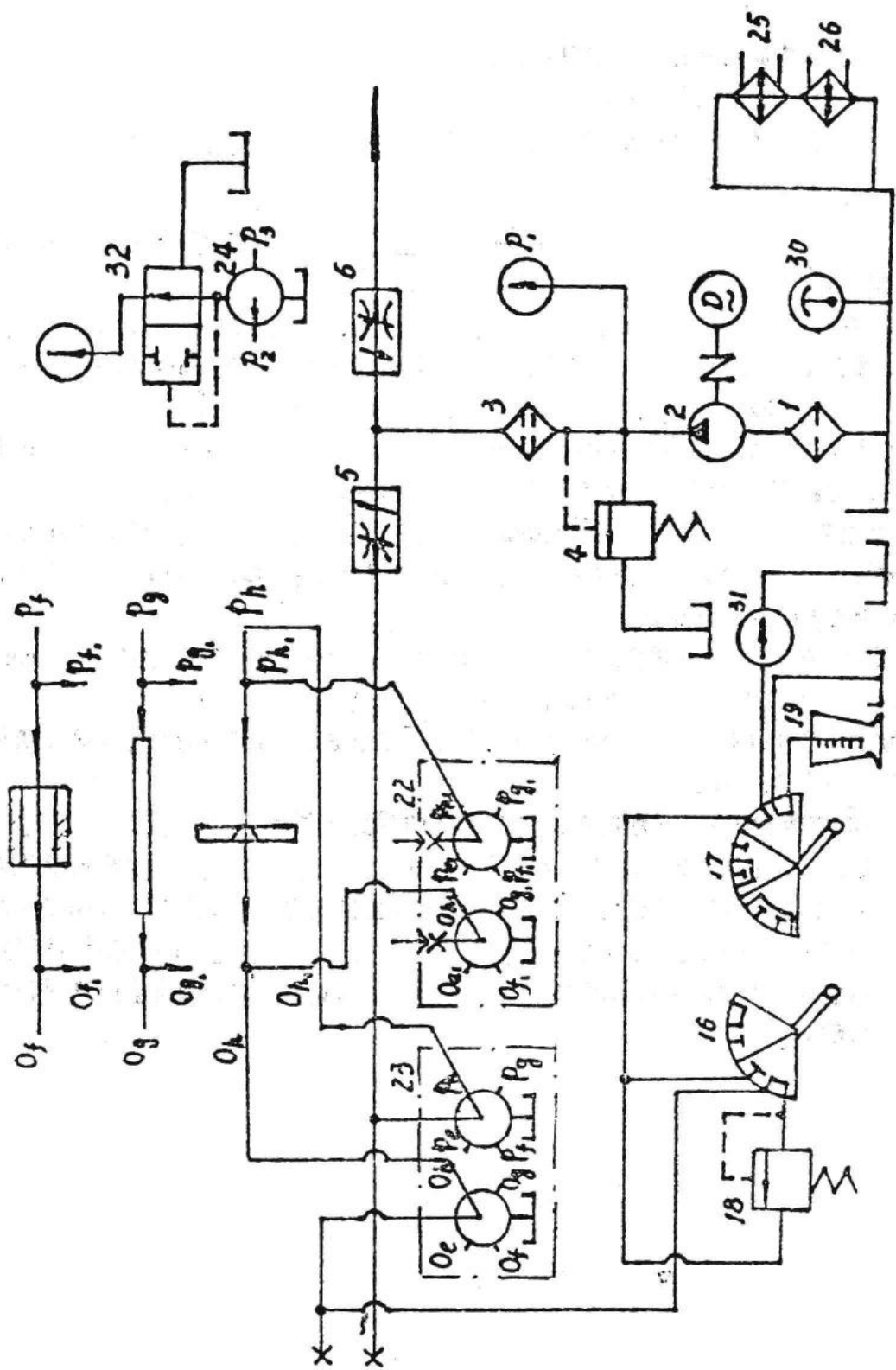


图 2-1

薄壁小孔: $L=16(\text{mm})$, $d=2(\text{mm})$

短孔: $L=16(\text{mm})$, $d=2(\text{mm})$

三、实验装置及液压系统原理图 (见图 2-1)

实验装置: QCS002 实验台。

注: 流量的测量采用椭圆齿轮流量计, 用秒表计时, 直接观察流量的累积数差。

四、实验步骤:

1、关闭_____和_____, 通过溢流阀 4 调液压系统的压力 P_1 至 15kgf/cm^2 。

2、慢慢打开调速阀 5, 油经阀 5 到达_____阀, 阀_____将压力油依次分配到薄壁小孔、细长小孔和短孔等, 各路回油也由此阀集中后, 通到_____通转阀_____ (不过经背压阀 18) 及通转阀_____流至流量计 31, 然后回油箱, 其他手柄全部关闭 (注: 在记录数据前先将各液阻通油两分钟左右, 此时流量不宜过大), 与本系统无关的一些阀和手柄在图 2-1 中未画出。

3、准备好秒表, 熟悉压力表、流量计的刻度, 用_____调节流量大小, 一般流量可在 $1\sim 4 (1/\text{min})$ 范围进行实验 (薄壁小孔和短孔时取 $2\sim 4 (1/\text{min})$)。在此范围内可任意选择 5~6 个流量值。

说明: 每调节第一个流量值, 对应一个 P_2 和 P_3 压力值, 经验表明, 流量 $1\sim 4 (1/\text{min})$ 范围内压力 P_2 的最大值在 $6 (\text{kgf/cm}^2)$ 左右。

为使压力值的读数准确, 方便和简化实验, 可先使 P_3 为整格刻度值, 具体数值见记录表, 而后测 P_3 和 Q 。

4、实验对象的进口压力 P_2 和出口压力 P_3 的测量, 先用_____使流量变很小 (现象: 流量计指针转动很慢), 再用_____, 分别接通压力表开关 24, 经 24 转换, 可分两次在标准压力表中直接读出进口压力 P_2 和出口压力 P_3 。先将 24 压力表开关转到 P_2 位置再调_____使 P_2 压力为规定值, 待压力 P_2 稳定后 (约 10 秒钟), 转换 24 压力表开关测 P_3 , 用秒表和流量计记录下流量值, 填入表格。

五、实验数据记录：实验液压油牌号：_____

实验 序号	数据 对象	测 算 内 容	系统压力 P_1 kgf/cm^2	油 温 $^{\circ}\text{C}$	压 力		流 量
					进口压力	出口压力	Q
					P_2 kgf/cm^2	P_3 kgf/cm^2	l/min
1	细长小孔				1.5		
					2		
					2.5		
					3		
					3.5		
					4		
2	薄壁小孔				3		
					3.5		
					4		
					4.5		
					5		
					5.5		
3	短孔				3		
					3.5		
					4		
					4.5		
					5		
					5.5		

实验三 液压泵性能实验

一、实验目的:

- 1、了解液压泵的主要性能。
- 2、通过实验学会测定油泵的压力、流量、容积效率、总效率以及输入、输出功率的方法。

二、实验内容提要:

液压泵的主要性能包括:能否达到额定压力、额定压力的流量(额定流量),容积效率、总效率。压力脉动(振摆)值,噪声,寿命,温升等项。前三项是最重要的性能,泵的测试主要是检查这几项。

被测泵的各项技术指标:

型号: YB—6 单级定量叶片液压泵。

额定压力 63 kgf/cm^2 , 公称排量 6 ml/r 。

容积效率 $\geq 80\%$, 总效率 $\geq 65\%$ 。

1、液压泵的流量——压力特性。

液压泵因内泄漏将造成流量的损失。压力愈高,漏损就愈大。通过实验得出流量—压力特性曲线 $q=f_1(p)$ 。

① 泵的理论流量 $Q_{理}$ 是按液压泵设计时的几何参数和运动参数计算,但在实际生产中我们的实验中的额定转速下空载(零压)时的流量 $Q_{空}$ 代替 $Q_{理}$ 。

② 额定流量:指泵在额定压力和额定转速的工作情况下,测出的流量称 $Q_{额}$ 。

2、液压油泵输出功率——压力特性:

油泵输出功率:
$$N_{出} = \frac{PQ}{612} (kw)$$

式中: P 、 Q ——均为液压油泵的额定值。(kgf/cm^2 、 $1/\text{min}$)

3、液压泵的容积效率 $\eta_{容}$:

$$\eta_{容} = \frac{Q_{实}}{Q_{理}}$$

$Q_{实}$ ——油泵在额定压力下的实际流量。

$Q_{理}$ ——油泵在空载(零压)时的流量 $Q_{空}$ 代替 $Q_{理}$ 。

则:

$$\eta_{容} = \frac{Q_{实}}{Q_{空}}$$

4、液压泵的总效率 $\eta_{总}$:

$$\eta_{总} = \frac{N_{出}}{N_{入}}$$

或:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{机}} \cdot \eta_{\text{泵}} \quad (\text{略去} \eta_{\text{液}})$$

油泵输入功率:
$$N_{\lambda} = \frac{m \cdot n}{974} (kw)$$

油泵输入功率的测试方法可以用①扭矩仪; ②平衡电机装置; ③电功率表等方法得出。此次实验我们用③电功率表, 此表指示出数值 $N_{\text{表}}$ 为电动机的输入功率, 查出电动机效率约 $\eta_{\text{电}} = 0.805$, 则油泵的输入功率 $N_{\lambda} = N_{\text{表}} \cdot \eta_{\text{电}}$ 。

则:
$$\eta_{\Sigma} = \frac{N_{\text{出}}}{N_{\lambda}} = \frac{P \cdot Q}{612 \cdot N_{\text{表}} \cdot \eta_{\text{电}}}$$

三、实验装置及液压系统图

实验装置 QCS003, 秒表 (图 3-1)。

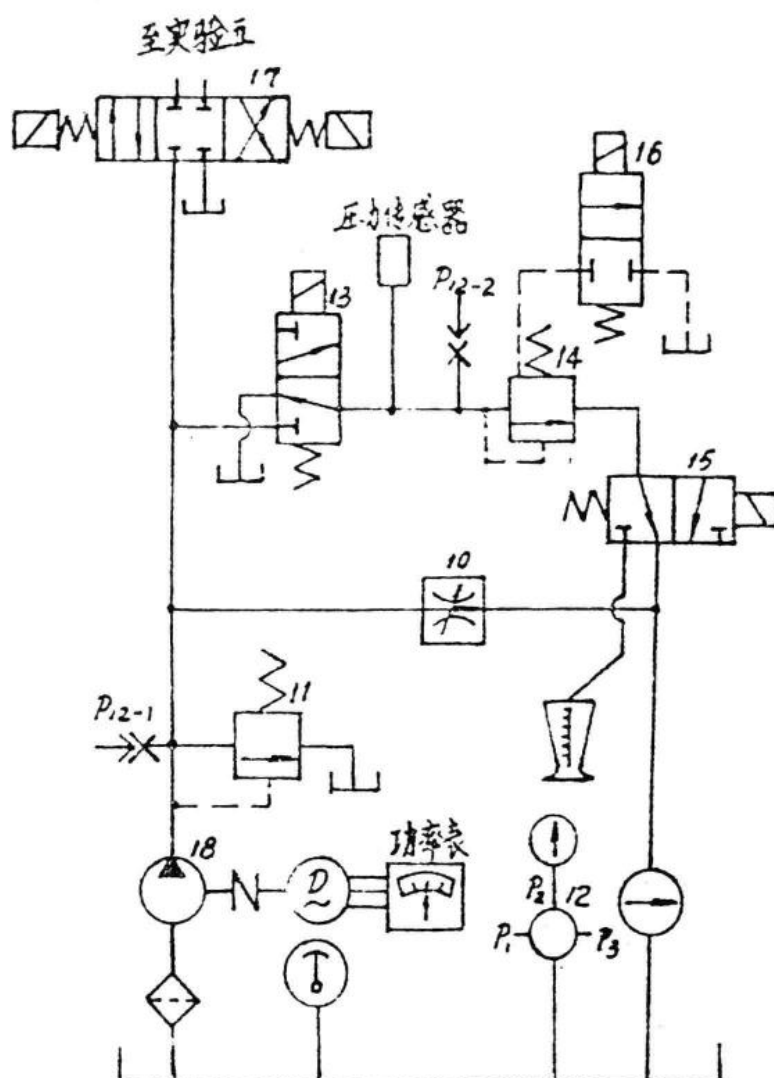


图 3-1

四、实验步骤

1、打开总电源开关，使电磁阀_____处于中位，电磁阀_____处于常态，溢流阀 11 手柄放松。

2、启动液压泵 18，关闭_____，将溢流阀 11 的压力调至高于泵的额定压力——安全阀压力 $70 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 。

3、将压力表开关 12 转到 $P_{12.1}$ 测量压力。

4、然后调节_____的开度，作为泵的不同负载，被试泵的压力可从 $0\sim70 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 范围内间隔 10 kgf/cm^2 取一点测，对应测出流量 Q ，（流量 Q 用椭圆齿轮流量计和秒表测出）和电动机的输入功率 $N_{\text{入}}$ 。

注：每测一个点都要先运转 1~2 分钟再测有关数据。

五、实验数据记录：实验条件：被试泵型号_____

油 温 _____ $^{\circ}\text{C}$

油泵性能试验记录表

测试内容	数据序号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 被试泵压力 P (kgf/cm ²)									
2 被试泵流量 Q (l/min)									
3 电机输入功率 N _电 (KW)									

*课外讨论：图 3-1 节流阀 10 是否可以用其它阀代替？若可以举一例说明。

实验四 溢流阀静态性能实验

一、实验目的

深入理解溢流阀稳定工作时的静态特性，着重测试静态特性中的调压范围及压力稳定性，卸荷压力及压力损失和启闭特性三项，从而对溢流阀的静态特性作适当的分析。

二、实验内容提要

1、调压范围及压力稳定性

① 被试溢流阀应能达到规定的调节范围 ($5\sim 63\text{ kgf/cm}^2$)，并且压力上升与下降应平稳。

② 在被试溢流阀的最高压力值时的（在调压范围内）压力振摆，压力振摆应不超过规定值 ($\pm 2\text{ kgf/cm}^2$)。

③ 压力偏移值，在被试溢流阀最高压力值时一分钟时不超过规定值 ($\pm 2\text{ kgf/cm}^2$)。

2、卸荷压力及压力损失

① 卸荷压力：被试阀的远程控制口与油箱直接接通时，此时通过该阀试验流量的压力损失为卸荷压力，卸荷压力不超过规定值 (2 kgf/cm^2)。

② 压力损失：被试阀的调压手轮至全开位置，在试验流量下被试阀进出油口的压力差即为压力损失，其值应不超过规定值 (4 kgf/cm^2)。

3、启闭特性

① 开启压力：被试阀压力调至调压范围最高值，且系统供油量为试验流量时，调节系统压力逐渐升压，此阀由闭合状态转向开启状态。当通过被试阀的溢流量为试验流量 1% 时的系统压力值称为被试阀的开启压力，规定开启压力不得小于额定压力的 85%。

② 闭合压力：被试阀的压力调至调压范围最高值，且系统供油量为试验流量时，调节系统压力逐渐降压，此阀由开状态转向闭合状态。当通过被试阀的溢流量为试验流量 1% 时的系统压力值称为被试阀的闭合压力。规定闭合压力不得小于额定压力的 80%。

三、实验装置及系统原理图：见实验三系统图 (3-1)

实验装置 QCS003 教学实验台、秒表、量杯。

四、实验步骤

实验前准备：

1、熟悉量杯、流量计、压力表的刻度，人员具体分工负责。

2、在启动油泵前先放松溢流阀 11。

3、三位四通电磁阀_____应处于_____位和_____，应处于关闭状态，被试阀 14，才有可能接到回路中去进行试验。

完成以上准备后开始试验：

1、调压范围及压力稳定性

① 在_____处于常态下（阀不通电时），将溢流阀 11 调至被试阀 14 的

最高调节压力的 10%即 70kgf/cm^2 ，压力通过压力表开关 12 转至 P_1 测出其压力。

② 然后使阀_____通电，将被试阀 14 接入回路。

③ 将被试阀 14 压力调至 63kgf/cm^2 ，测出此时流过阀的流量，即为试验流量 $Q_x(\text{ml/min})$ 。

④ 平稳调节被试阀 14 的调压手轮从全开至全闭，再全闭至全开，通过压力表 P_{12-2} 观察压力上升、下降情况是否均匀，并测量调压范围。

⑤ 在④过程中观察压力振摆值，并记录。

⑥ 调节被试阀 14 至调节压力范围最高值 63kgf/cm^2 ，由压力表 P_{12-2} 测量一分钟的压力偏移值。

2、卸荷压力及压力损失

(1) 卸荷压力

① 将被试阀 14 至调压范围最高值 63kgf/cm^2 ，过阀溢流量为试验流量，将二位二通电磁阀_____通电，被试阀的远程控制口接油箱，用压力表 P_{12-2} 测量压力值。

注意：当被试阀压力_____，应将 P_{12-2} 的压力表开关转至 0，待 16 通电后，再将压力表开关转至压力接点读出卸荷压值。为什么？答：_____（压力表开关转至 0 位为压力表关闭）。

(2) 压力损失

在实验流量下，调节被试阀 14 全开位置，用压力表 P_{12-2} 测量压力值。

3、启闭特性

①（二位三通电磁换向阀 13，仍处通电位置，二位三通电磁阀 15 处常态）。关闭溢流阀 11，调节被试阀 14 至调压范围最高值 63kgf/cm^2 ，并锁紧其调节手柄，此时，通过被试阀 14 的流量为_____流量。这时液压油的流动路线为_____。

② 调节_____，使系统分 10 级（具体数据见记录）逐渐降压，记下各级被试阀相应的压力和溢流量。小流量：压力约在 57kgf/cm^2 时，用量杯测量；使_____通电，溢流量从油管中排出，至量杯，（注意测量的精确性），电磁阀 15 换向前要先将大量杯对准排油管，防止溅油。待油泵稳定后进行测量。直到被试阀 14 的溢流量减少到试验流量的 1%，此时的压力表 P_{12-2} 的读值就是闭合压力。再继续分级逐渐降压，记录下相应的压力和溢流量，直到被试阀刚刚停止溢流为止。（现象：液流从油管中排出时不呈线流即可）。

注：调节压力要平稳，只向一个方向调（升高或降低）不要在一个过程中来回调节。

③ 反向调节溢流阀 11，从被试阀 14 不溢流开始，使系统分级逐渐升压，从被试阀的溢流量呈线流状起测出各级相应的压力与流量，当被试阀 14 的溢流量达到试验流量的 1%时，此时的压力为开启压力，再继续调节溢流阀 11，一直升至被试阀 14 的调压范围最高值 63kgf/cm^2 ，记下各级相应的应力与溢流量。

注：一般情况，很难正好测得试验流量的 1%值，实际测试中只要测得接近并小于试验流量的 1%值即可，然后用内插法求得闭合压力。

公式：
$$P_x = \frac{Q_x - Q_1}{Q_0 - Q_1} P_0 + \frac{Q_x - Q_0}{Q_1 - Q_0} P_1$$

式中：P₀、Q₀及 P₁、Q₁为 P_x、Q_x附近的两组值，根据所得数据，绘制被试阀启闭特性曲线。

五、试验数据记录：被试阀型号：_____油温_____℃

项 目		实 验 记 录 值										规定值
调 压 范 围		(kgf/cm ²)										5~63
压 稳 定 性	压 力 振 摆	(kgf/cm ²)										±2
	压 力 偏 移	(kgf/cm ²)										±2
卸 荷 压 力		(kgf/cm ²)										2
压 力 损 失		(kgf/cm ²)										4
启 闭 特 征	试 验 流 量		在 (63 kgf/cm ² Q _x =(ml / min)									
	测 试 顺 序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	闭 合 过 程	压 力 kgf/cm ²										
		溢流量 (ml/min)										
	开 启 过 程	压 力 (kgf/cm ²)										
		溢流量 (ml/min)										

*课外讨论：图 3-1 中为什么要用 2 位 3 通电磁阀，若改用 2 位 2 通电磁阀是否合理？

实验五 节流调速回路性能实验

一、实验目的

- ① 了解节流阀、调速阀回路的调速性能。
- ② 深入理解、分析比较节流阀和调速阀进口节流调速回路的性能差别。

二、实验内容提要

采用节流阀进口节流调速回路的调速性能：

如图由：油泵 1→(溢流阀 2)→换向阀 3→节流阀 7→液压油缸 19→节流阀 8 等组成了节流阀进口节流调速回路。

活塞的阻力平衡方程为：

$$F = P_a A_a \quad (\text{如图 5-1})$$

式中：F——液压缸活塞上承受的外加负载
以及活塞和活塞杆与液压缸的摩擦力；

P_a ——液压缸工作腔压力；

A_a ——液压缸活塞面积。

令： $P_a = \frac{F}{A_a}$ 为负载压力，则 $P_F = P_a$

P_F 的变化主要决定于加载负荷的变化，即改变 $P_{12.2}$ (如图 5-2) 值的可得到所拟定的负载压力值。

进入液压缸无杆腔推动活塞运动的负载流量 Q_F 为： $Q_F = A(P_B - P_F)^m = KA(\Delta P)^m$

式中：K——节流的流量系数；

A——节流阀度；(流通截面积)；

m——压差指数。

通过对上述特性方程的参数进行测试，可得到节流阀进口调速回路的流量——压力——开度特性曲线。

Q_F 的测算法：

由：
$$Q_F = TA_a = \frac{s}{t} A_a$$

式中：s——油缸 19 活塞杆行程；(已知)

t——活塞杆行程所需时间。(测)

用秒表测出 t 代入上式求出 Q_F 。

三、实验装置及液压系统原理图。(见图 5-2)

实验装置 QCS003 实验台。

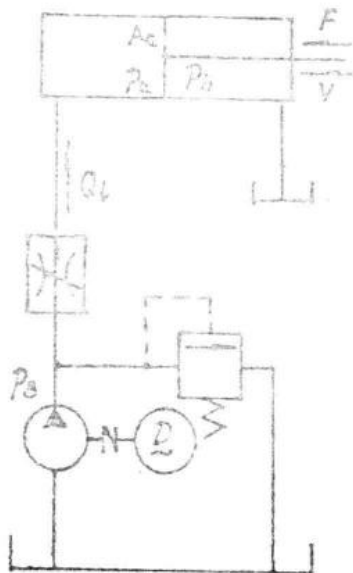


图 5-1