



电气自动化技能型人才实训系列

DIANQI ZIDONGHUAJINENGXING RENCAI SHIXUN XILIE

DIANQIZIDONGHUA
JINENGXINGRENCAI
SHIXUNXILIE

液压传动与气动控制实训

杨莉华 王光福 编著



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电气自动化技能型人才实训系列

DIANQI ZIDONGHUAJINENGXING RENCAI SHIXUN XILIE

液压传动与气动控制实训

杨莉华 王光福 编著

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从工程应用角度出发,介绍了液压控制元件性能测试,液压泵的拆装,液压控制阀的拆装,PLC、数据采集系统实训,气压传动实训等内容。本书在编排上注重实际应用能力和综合素质的培养,突出工作任务与知识的联系,实现理论知识与操作技能的有机整合,旨在提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高职院校机械类各个专业的教学用书,也可作为液压技术人员培训用书,还可供从事液压设备使用和维护的现场技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气动控制实训/杨莉华,王光福编著. —北京:中国电力出版社,2012.3

(电气自动化技能型人才实训系列)

ISBN 978-7-5123-2846-4

I. ①液… II. ①杨…②王… III. ①液压传动②气动技术
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 052153 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 232 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书遵循“以能力为本位，以职业实践为主线”的课程理念，以完成具体的工作任务为目标，将教程内容设计成各个模块。本书在编排上注重实际应用能力的培养，突出工作任务与知识的联系，实现理论知识和操作技能的有机整合，让学生在职业实践活动的基础上掌握知识，增强教学内容与职业岗位能力要求的相关性，提高学生实际动手能力。

本书介绍了液压元件性能测试，液压泵的拆装，液压控制阀的拆装，PLC、数据采集系统实训，气压传动实训等内容。为了便于读者学习，提高分析和解决实际问题的能力，本书对各个任务涉及的相关知识点进行了提炼，对重点内容进行了深入浅出的叙述，力图做到知识全面而又实用。同时，各部分都布置有练习题，以供学生拓展练习。

本书是《液压与气压传动》的配套书，可作为高职院校机械类各个专业的教学用书，也可作为液压技术人员培训用书，还可供从事液压设备使用和维护的现场技术人员参考使用。

本书共分五个单元。每个单元包含不同的工作任务，各个任务相对比较独立，教师可以根据教学需要灵活选取合适的教学内容。

本书由四川机电职业技术学院杨莉华副教授和王光福副教授编著，程龙泉副教授审阅了全书，并提出了宝贵的意见。在编写过程中，参考了冯家麟老师的“液压故障分析方法”讲座内容和已经出版的部分液压与气压传动方面的教材、实训教程等，并从中选择了部分典型实例，同时，听取了本院任课教师的意见和建议。在此，特对以上老师表示衷心的感谢。由于编者学识水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编著者
2012年3月

目 录

前言

第一单元 液压控制元件性能测试	1
任务 1 电液比例溢流阀静态特性测试	1
任务 2 电液比例溢流阀动态特性测试	8
任务 3 电液比例换向阀静态特性测试	10
任务 4 电液比例换向阀的开环控制实验	13
任务 5 电液比例换向阀的简单闭环控制实验	16
任务 6 电液比例换向阀的节流特性实验	19
第二单元 液压泵的拆装	22
任务 1 齿轮泵的拆装	22
任务 2 轴向柱塞泵的拆装	25
任务 3 叶片泵的拆装	31
第三单元 液压控制阀的拆装	37
任务 1 单向阀的拆装	37
任务 2 换向阀的拆装	41
任务 3 压力控制阀的拆装	43
任务 4 流量控制阀的拆装	53
任务 5 插装阀故障分析与排除	57
任务 6 电液比例阀故障分析与排除	62
任务 7 伺服阀故障分析与排除	66
第四单元 PLC、数据采集系统实训	75
任务 1 PLC 控制系统的硬件组态及 I/O 扩展	75
任务 2 PLC 的基本指令编程、梯形图编程的学习	81
任务 3 PLC 在液压传动系统中的应用	90
任务 4 智能化数据采集系统	96
任务 5 液压泵的性能测试	102
第五单元 气压传动实训	109
任务 1 气动实训装置的操作	109

任务 2 YL-335A 的整体控制	123
任务 3 气源调节装置操作实训	125
任务 4 气动回路连接实训	126
参考文献	134

第一单元 液压控制元件性能测试

任务1 电液比例溢流阀静态特性测试



任务目标

1. 掌握电液比例溢流阀的使用方法，了解电液比例溢流阀的内部结构及工作原理。
2. 了解电液比例溢流阀的压力控制系统，掌握其性能测试方法及特性分析方法。
3. 了解电液比例溢流阀的各种静态特性：稳态压力控制特性、稳态负载特性、通流能力实验、压力偏移和压力振摆实验，掌握相关特性测试原理及验证回路。
4. 了解计算机辅助测试（CAT）技术的运用以及相关仪器的使用方法。
5. 了解电液比例溢流阀在实际工业生产中的运用。



相关知识

一、电液比例测试技术

电液比例控制技术是连接现代电子技术和大功率工程控制设备之间的桥梁，已经成为现代控制工程的基础技术构成之一。在应用液压传动与控制 and 气压传动与控制的工程系统中，凡是系统的输出量，如压力、流量、位移、转速、速度、加速度、力矩等，能随输入控制信号连续成比例地得到控制的，都可称为比例控制系统。

电液比例测试技术是电液比例控制技术的重要组成部分，包括电液比例控制元件的测试方法和电液比例控制元件在测试过程中的应用两方面的内容。后者也可归结为电液比例控制元件的工程应用问题。电液比例控制元件本身的测试原理和方法是电液比例测试技术的核心内容，具体包括比例元件的测试项目和测试指标、测试用液压回路和电测系统的设计、比例元件和系统的实验方法及实验结果的表达方法、测试的标准化等问题。

二、电液比例测试系统的组成

按功能划分，电液比例测试系统可分为以下几个部分：

1. 动力装置

动力装置是为电液比例测试系统提供液压能源的设备。它把电能转换成液压能，其核心部件是液压泵。

2. 加载装置

加载装置的作用是在测试环境下，模拟出被测试对象在实际应用中的工况。由于被测对象在实际应用中的工况具有多样性和复杂性，故要完全复现被测对象的实际工作过程只能在现场完成。在实验室环境下，电液比例测试系统的加载装置一般由实验标准规定具体的形式，如采用压力阀

完成压力加载，采用流量控制阀完成流量加载（调节），采用节流阀完成压力和流量的复合加载。

加载装置的设计要注意以下原则：

（1）加载装置通常是一种耗能元件，应尽可能采取节能措施，如进行功率回收、控制加载装置的工作时间。

（2）加载装置应保证足够的控制精度和分辨率，加载过程的可控性好。否则，就无法模拟负载工况的准确性，影响测试精度。

（3）加载装置中应考虑有安全保护措施，因为加载过程往往伴随着危险因素。

采用比例技术设计的加载装置，不仅可以应用于比例元件和系统的测试，也可应用于其他测试设备，作为调节方便和高精度的加载手段。

3. 测试对象

测试对象由用户需要或测试需要决定，测试系统的其他部分都是根据测试对象的需要设计的。

测试对象确定之后，测试人员应对其功能、技术参数、工作环境、工况特点、安装尺寸和输入输出接口等进行全面的分析和了解。这是实验过程开始前的重要准备工作。在此基础上，还要分析实验条件是否满足测试对象的要求。必要时，应设计合理的实验条件。

鉴于电液比例控制产品日益增多和复杂程度不断提高，目前，电液比例测试系统在信号、接口、动力源、加载装置等方面已开始按通用化的要求来设计。实验人员应根据测试对象的要求设计出合理的测试条件。

4. 检测装置

检测装置的作用是把测试过程中的参数从测试系统中提取出来，并转换成所需要的信号形式，传递到分析、记录装置中去。

测试系统的测试精度和可靠性在很大程度上取决于检测装置。

设计检测装置需要掌握好以下原则：

（1）根据被测试参数（位移、压力、流量、温度、电流、电压、扭矩、转速等）选择对应的传感器，且传感器的量程要与测试参数的最大变化范围相匹配。必要时，可采用不同量程的传感器组合使用。测试过程中，按需要选取量程适当的传感器，以提高分辨率和测试精度。

（2）传感器在系统中的布置应保证能测取到真实信号，而不是伪信号。这方面，实验标准作了明确的规定。

（3）传感器输出信号应便于识别、传达、转换、处理，且在此过程中不受负载效应和系统固有频率的影响而产生失真。

（4）传感器的测量精度要与测试要求相适应。国家标准对测试精度的等级作了明确规定，表1-1摘录了其中一部分。一般来说，C级适用于出厂实验，B级适用于型式实验，A级适用于科研及新技术的开发实验。设计测试方案时，不能采用精度低的传感器，但盲目追求高精度的传感器不仅毫无必要，还会增加投资和测试成本。

表 1-1 测试的精度等级

被 控 参 量	测 量 精 度 等 级		
	A	B	C
流量（%）	±0.5	±1.5	±2.5
压力（%）	±0.5	±1.5	±2.5
油温（℃）	±1.0	±2.0	±4.0
黏度（%）	±5.0	±10.0	±15.0

5. 控制装置

比例元件的测试过程包含给定信号（激励信号）和加载信号连续变化的过程，电液比例测试系统是一个测试过程要求能进行自动控制的系统。控制装置要完成电液比例测试系统动力装置、加载装置、信号发生和数据记录过程的全程控制。

目前，计算机辅助测试技术的采用，将电液比例元件和系统的测试过程以及对该过程的控制结合为一个整体，共用一个计算机硬件系统和测试软件，实现了真正意义上的测控一体化，使电液比例测试过程实现了完全自动化。测控一体化技术提高了电液比例测试系统的装备水平。

设计电液比例测试系统的控制装置要考虑以下原则：

（1）控制装置的可靠性要高，避免因控制失误造成损坏测试对象和测试系统的后果。

（2）确保数据采集过程中，激励信号和加载信号的同时对应关系，即采集到的给定信号和测试对象的输出信号应是同时采集和记录的，二者的采集和记录时刻不应存在时间差。实际的控制装置要做到这一点是困难的，但通过改进控制装置能使这一偏差达到最小。否则，测试结果的可靠性就要大打折扣。

（3）应有足够高的测试效率，控制装置操作方便、数据观测直观。

6. 信号源

信号源提供测试对象和加载装置在进行静态测试和动态测试过程中所需要的正确信号。

信号源的配置或设计应遵循以下原则：

（1）信号源应能产生三角波、正弦波、方波、恒幅信号和噪声信号。这些信号因测试项目不同，可根据测试对象和加载装置的需要组合搭配使用。

（2）各种信号的幅值应能按需要方便地进行组合、叠加和调整。

（3）信号频率调整方便，控制精度高。

一般情况下，进行静态控制特性测试时，采用超低频的三角波或正弦波信号，信号频率低于 0.01Hz 且基本保持恒定即可，以免测试对象、加载装置、记录系统的动态特性影响测试结果的可靠性。

进行频率特性测试时，采用最大幅值恒定的正弦波信号，信号频率要能从低频到高频连续变化，其中，最高频率根据测试对象的频宽决定，通常要达到测试对象频宽值的 $3\sim 5$ 倍以上。

进行给定信号阶跃响应特性实验时，要求采用阶跃信号或低频方波信号，阶跃信号的最大和最小幅值应能根据需要方便地进行调整。

7. 数据记录和分析装置

数据记录装置用于记录测试过程的输入、输出信号。数据分析装置将记录装置捕捉到的输入、输出信号按需要进行转换，并按规定的算法进行运算，输出运算结果。

数据记录和分析装置都有标准设备，如 X-Y 记录仪、光线示波器、频率分析仪等。采用计算机的电液比例测试系统，其显示器、打印机、绘图仪、计算机内存和硬盘均可作为数据记录装置，其数据的处理和分析由相关软件完成后，再交给显示器和打印机输出测试结果。

目前，计算机辅助测试（CAT）技术已经成熟。采用 CAT 的电液比例测试系统，可以把计算机作为信号源，让计算机产生幅值和频率都精确可控的各类信号，并按需要进行组合；也可把计算机作为数据记录和处理、分析装置，实现数据存储、运算并输出测试的最终结果——实验报告。计算机还可以参与各种控制过程，简化电液比例测试系统的设计和装置的结构。CAT 方案

淡化了控制装置、信号源、数据处理和分析装置之间的差别,采用 CAT 技术的电液比例测试系统,测试效率高,数据保存长久且管理方便。

三、电液比例溢流阀的特性及其分析

电液比例溢流阀的静态特性主要由控制特性(电液比例溢流阀的控制电压和输出压力之间的关系见图 1-1,普通溢流阀无此特性)、负载特性(压力—流量特性,见图 1-2 曲线 CE、CF、CG)、最低开启压力(控制电压为零时电液比例溢流阀的开启压力与流量之间的关系,见图 1-2 曲线 AB)来反映。电液比例溢流阀的动态特性采用阶跃特性(时域)和频率特性(频域)来反映。

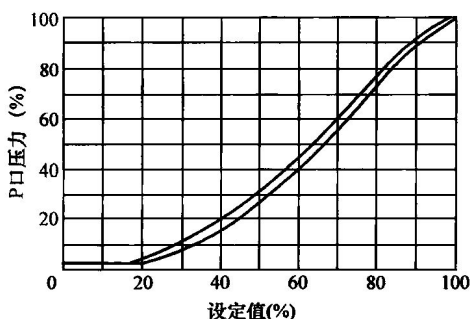


图 1-1 电液比例溢流阀的控制特性

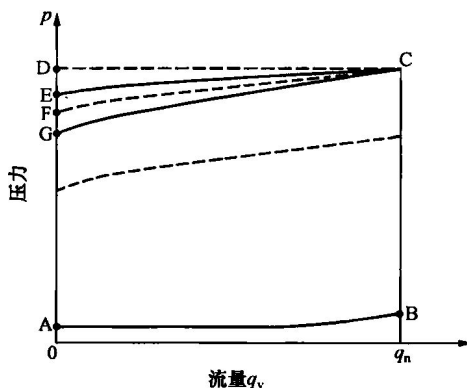


图 1-2 电液比例溢流阀的负载特性

(1) 由图 1-1 可知,电液比例溢流阀的控制特性中,有较大的死区和滞环。其中,较大的死区是电液比例溢流阀特有的,滞环则是由于阀内的摩擦和磁滞始终与变化方向相反造成的。

(2) 图 1-2 所示的负载特性中,也存在较大的调压误差(稳态误差),且带有滞环特征。但流量较大的区域段具有良好的线性。因此,设计液压系统时,应确保通过溢流阀的最小流量大于溢流阀压力稳定所需要的最小流量。

(3) 与手调溢流阀一样,电液比例溢流阀的调压误差也主要是由负载流量(干扰量)、阀内运动副的摩擦力、稳态液动力(扰动力)等因素引起的。

1) 调压误差受负载流量的影响情况因阀而异。

溢流阀与定量泵和负载并联使用,当负载流量为零时,泵打出的液压油全部经过溢流阀阀口流回油箱,此时溢流阀阀口开至最大。设此时的阀芯位置为零位,若不考虑阀内运动副的摩擦力、稳态液动力等因素,此时被控量正好与期望的压力相等。

当负载流量增加时,流过溢流阀阀口的流量必然减小,此时溢流阀阀口趋于关闭,阀芯位移增大。对于带力控制型和带行程控制型比例电磁铁的直动式比例溢流阀,由于比例电磁铁具有水平的位移—力特性,若给定电信号不变,作为指令力的电磁力也基本不变,故当流过溢流阀阀口的流量发生变化时,溢流阀的调定压力也基本不变(忽略阀内摩擦力、稳态液动力和比例电磁铁非线性误差等因素)。

对于带位置调节型比例电磁铁的直动式比例溢流阀,衔铁位置由输入信号决定,若给定电信号不变,衔铁便处于一个确定的位置,指令力弹簧的压缩量还与通过的流量有直接的关系,流量越小,指令力弹簧的压缩量越小,压力越低,故不同流量下的压力值不同(类似于手调溢流阀受流量扰动引起的调压误差)。

因此,负载流量对不同类型的直动式比例溢流阀的调压误差有不同的影响。

2) 阀内运动副的摩擦力对调压误差(干扰误差)的影响过程见图 1-2 曲线 CE 和 CG。

曲线 CF(虚线)代表阀内摩擦力为零的情况, Δp_{EF} 和 Δp_{FG} 分别代表阀芯在关闭、开启过程中, 由摩擦力所引起的调压误差。由于摩擦力始终与阀芯运动方向相反, 故阀开启与闭合时的方向并不相同, 导致启闭特性曲线形成一个滞环。

3) 稳态液动力的方向与电磁力(指令力)的方向相同, 因此, 导致稳态液动力变化的因素都将直接造成溢流阀的调压误差。稳态液动力的大小与阀口通过的液压功率有关, 压力、流量同时增加会导致液动力急剧增加, 其数量级有可能与指令力相当, 最后导致调压误差也迅速增大。

电液比例溢流阀的最大调压误差为上述三种调压误差的总和。

(4) 直动式比例溢流阀的最低压力要比手调溢流阀的高。这是因为除了存在像手调溢流阀的阀内过流阻力和回油管阻力外, 比例电磁铁中还存在一定的初始控制电流(如调零电位器产生消除死区的零偏电流), 该电流产生一个初始的压紧力作用在阀芯上, 造成打开阀芯需要的油压力较大, 其曲线形状见图 1-2 中曲线 AB。

在不同压力等级和不同溢流流量下, 电液比例溢流阀有不同的最低调节压力。过高的最低调节压力会限制比例阀的使用范围。

(5) 不同结构的电液比例溢流阀可通过配置不同形式的比例电磁铁得到。不管电液比例溢流阀的结构形式如何变化, 从控制原理的角度看, 电液比例溢流阀都是一个压力负反馈控制系统。只是电液比例溢流阀的结构形式不同, 其压力控制系统的系统控制框图具有不同的形式而已。

在压力控制系统中, 放大器输出的电信号是控制量, 溢流阀输出的压力是被控制量, 通过阀口的流量是干扰量。对于直动式溢流阀, 锥阀芯是压力反馈系统的检测和比较元件。对于先导型溢流阀, 主阀芯为压力负反馈系统的检测和比较元件。

(6) 手调压力阀的不同压力等级是通过更换不同刚度的调压弹簧来实现的, 而比例压力阀的不同压力等级是依靠阀口孔径来实现的。

直动式溢流阀的最低调节压力不仅与溢流流量相关, 而且与压力等级有关。这是因为压力等级越高, 阀口孔径越小, 同样流量通过阀口的阻力就越大。

(7) 图 1-2 所示的负载特性中, 由 ABCD 围成的面积代表电液比例溢流阀的功率域, 它规定了电液比例溢流阀的压力和流量变化范围。选用电液比例溢流阀时, 理论上, 将溢流阀流量与压力限定在功率域范围内, 阀都能起到调压和稳压的作用。

(8) 与普通直动式溢流阀一样, 直动式比例溢流阀不宜实现大流量的控制。这是因为锥阀芯直接作用在阀口上, 该阀口既是节流通道的, 其节流面积又等于测压面积, 在压差一定的条件下, 通过阀的流量越大, 要求的节流面积也越大。这样, 作用在阀芯锥面上的液压力就会变大, 对应地要求比例电磁铁提供的指令也要增大。要实现高压和大流量的控制, 可采用先导型比例溢流阀, 它具有开环增益高、启闭特性好、较高的压力控制精度等特点。

(9) 不同结构的压力间接检测型先导式电液比例溢流阀的工作原理都是相同的。



任务实施

一、实验器材

完成该任务所需要的器材见表 1-2。

二、实验液压原理图

电液比例溢流阀静态特性测试液压回路见图 1-3。

表 1-2

任务实施器材

编 号	器 材	数 量	编 号	器 材	数 量
1	液压比例综合实验台	1 台	8	温度传感变送器	1 个
2	电液比例溢流阀	1 只	9	流量传感变送器	1 个
3	直动式溢流阀	1 只	10	节流阀	2 个
4	二位二通电磁换向阀（动合）	1 只	11	调速阀	1 个
5	二位二通电磁换向阀（动断）	1 只	12	蓄能器	1 个
6	流量传感器	1 只	13	数据采集系统	1 套
7	压力传感器、压力表	3 个			

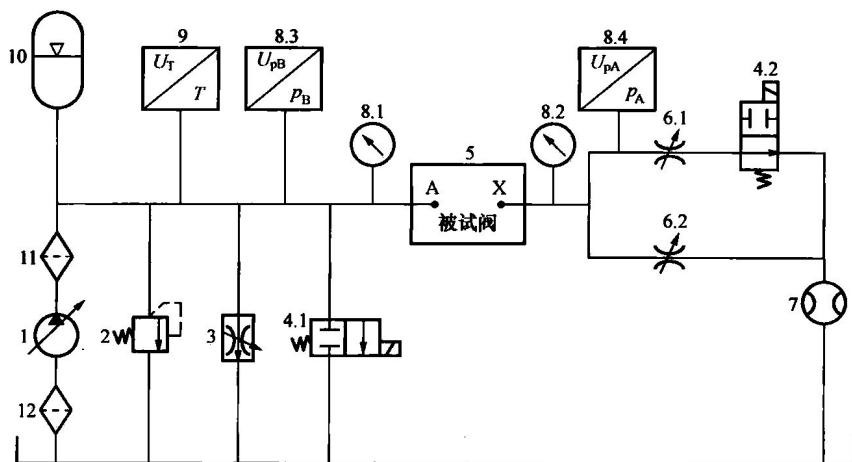


图 1-3 电液比例溢流阀静态特性测试液压回路

1—液压泵；2—溢流阀；3—调速阀；4.1、4.2—二位二通电磁换向阀；
5—被试阀（比例溢流阀）；6.1、6.2—节流阀；7—流量传感器；8.1、8.2、8.3、8.4—压
力表（压力传感器）；9—温度传感器；10—蓄能器；11—精过滤器；12—粗过滤器

三、操作步骤

1. 稳态压力控制特性实验

- 按照液压原理图准备好实验器材并搭接实验测试回路，确保回路正确无误。
- 完全松开溢流阀 2，并关闭调速阀 3 后，启动液压泵，逐渐调节溢流阀 2，调至测试所需压力（一般为 5~6MPa），作安全阀用。
- 关闭快速切换阀 4.1，调节调速阀 3，使实验流量全部通过被试比例溢流阀。
- 打开数据采集系统的波形输出界面，通过 1721 板卡的 D/A 输出功能，通过信号发生器以小于或等于 0.05Hz 的频率，在小于起始电信号和额定电信号之间输入变化的电信号，同时通过压力传感器测量相应的压力值。
- 记录一个完整周期的压力变化曲线以及压力—输入电流（电压）的动态曲线。参考曲线见图 1-4。

2. 稳态负载（等压力）特性实验

将溢流阀 2 的压力调高，作安全阀用。关闭快速切换阀 4.1。打开数据采集系统，选择实验所需采集的信号，如压力、流量、输入电信号等，然后进入波形输出界面，通过 1721

板卡的 D/A 输出通道, 在分别给定放大器一组额定电信号的 25%、50%、75%、100% 的电流的情况下, 通过调节调速阀 3 来改变通过被试阀的流量, 使其在起始实验流量和实验流量之间变化。连续扫描一周所得到的压力与流量 ($p-q$) 曲线即为稳态负载特性曲线。参考曲线见图 1-5。

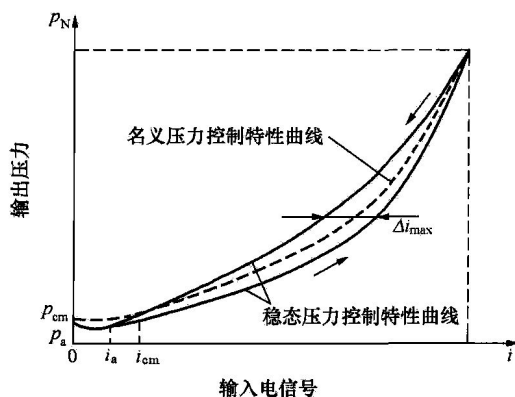


图 1-4 电液比例溢流阀稳态压力控制特性曲线

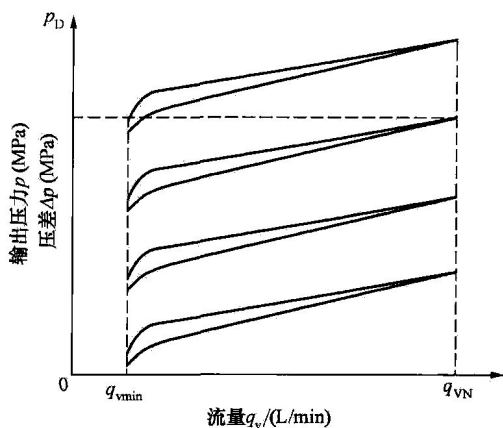


图 1-5 稳态负载（等压力）特性曲线

3. 通流能力实验

调节溢流阀 2 为被试阀的额定压力, 关闭快速切换阀 4.1, 使被试阀的输入信号为零, 并使节流阀 6.1、6.2 的开度为最大。逐步调节调速阀 3, 使通过电液比例溢流阀的流量从实验流量的 10% 增至实验流量, 并使流量尽可能大。同时测定电液比例溢流阀的前后压差, 然后绘出压降—流量曲线。参考曲线见图 1-6。

4. 压力偏移和压力振摆实验

将溢流阀 2 的压力调高, 作安全阀用。关闭快速切换阀 4.1, 调节调速阀 3, 使实验流量通过被试阀。直接用放大器上的电压输入电位器, 给被试阀输入额定电信号, 然后打开数据采集系统, 选择实验需要采集的信号, 如压力、输入电信号等, 在 3min 内观察压力偏移值和压力振摆值, 并求出偏移量。

5. 耐压实验

被试阀各油口应进行耐压实验。耐压实验压力为额定压力的 1.5 倍。耐压实验时缓慢增压至耐压实验压力后, 保压 5min, 不得出现外渗现象。耐压实验不合格, 不再进行其他项目实验。

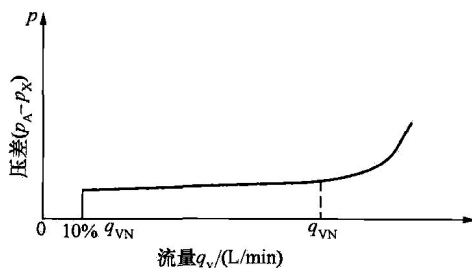


图 1-6 通流能力特性曲线



练习题

1. 根据实验数据, 在直角坐标纸上绘出溢流阀各性能曲线或直接运用数据采集系统采集到的数据, 在 X-Y 曲线中, 生成需要的动态曲线。
2. 对曲线进行分析、处理。分析实验曲线与理论曲线之间的区别, 最终得出实验结论。

任务2 电液比例溢流阀动态特性测试

任务目标

1. 了解电液比例溢流阀的控制系统，掌握电液比例溢流阀性能测试方法及其特性分析方法。
2. 了解电液比例溢流阀的动态特性：输入点信号阶跃响应特性测试、负载流量阶跃响应特性实验。
3. 学习实验的基本技能，如制订实验方案、观测实验结果、编写实验报告等。了解计算机辅助测试（CAT）技术的运用以及相关仪器的使用方法。
4. 了解电液比例溢流阀在实际工业生产中的运用。

相关知识

当溢流阀在溢流量发生由零至额定流量的阶跃变化时，它的进口压力，也就是它所控制的系统压力，将迅速升高并超过额定压力的调定值，然后逐步衰减到最终稳定压力，从而完成其动态过渡过程。

流量阶跃变化时溢流阀的进口压力响应特性曲线见图 1-7。

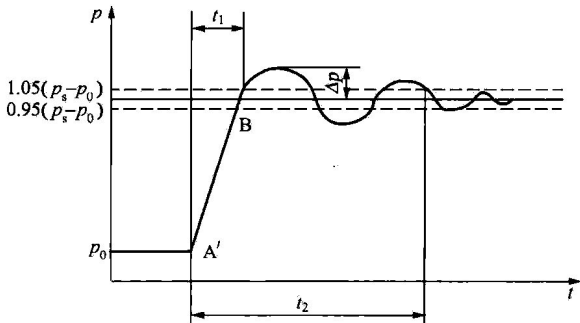


图 1-7 流量阶跃变化时溢流阀的进口压力响应特性曲线

t_1 —响应时间； t_2 —过渡过程时间； p_s —额定压力调定值； p_0 —初始稳态压力； Δp —压力超调量

定义最高瞬时压力峰值与额定压力调定值 p_s 的差值为压力超调量 Δp ，它是衡量溢流阀动态定压误差及稳定性的重要指标，并将 $\Delta p/p_s$ 比值的百分比称为压力超调率。一个性能良好的溢流阀，一般其压力超调率不大于 10%，否则可能导致元件损坏、管道破裂或其他故障。显然，响应时间 t_1 越小，溢流阀的响应越快；过渡过程时间 t_2 越小，溢流阀的动态过渡过程时间越短。

(1) 溢流阀的动态特性一般用其阶跃响应特性来表示，也有用频率响应特性表示的情况。

(2) 溢流阀的动态性能是在系统中的溢流阀面对压力信号突然变化情况下，阀所能维持的系统压力变化情况。例如，在一个实验系统中，溢流阀调定压力为 100bar (1bar=100kPa)，而在控制系统作用下，溢流阀所在系统的压力从 10bar 突然上升到 100bar，这个时候记录下来的系统压力变化曲线，一般为从 10bar 开始沿着一定的斜率上升到 100bar 之后，还要超过一点再回落下来，经过几次振荡最后稳定在 100bar 上面。我们考察溢流阀阶跃响应动态特性，一般从 3 个角度：压力飞升速率（单位时间上升到压力）、超调量（超过调定值的最大值）、响应时间（从压力变化开始到基本稳定到调定值为止，有一套严格的定义）。

(3) 元件的动态特性是与所在系统相关的。

(4) 作为工程应用，我们关心的是压力飞升速率这个指标。它分为 3 个等级：A 级为 3000~4000MPa/s；B 级为 600~800MPa/s；C 级为 120~160MPa/s。比较时需要在一个等级之内

进行。

另外，在实验台设计时，因为涉及溢流阀、液压泵等的动态特性测试，所以对容腔所能达到的压力飞升速率也很关注。



任务实施

一、实验器材

完成该任务所需要的器材见表 1-3。

表 1-3 任务实施器材

编 号	器 材	数 量	编 号	器 材	数 量
1	液压比例综合实验台	1 台	8	温度传感变送器	1 个
2	电液比例溢流阀	1 只	9	节流阀	2 个
3	直动式溢流阀	1 只	10	调速阀	1 个
4	二位二通电磁换向阀（动合）	1 只	11	蓄能器	1 个
5	二位二通电磁换向阀（动断）	1 只	12	数据采集系统	1 套
6	流量传感器	1 只	13	油管、压力表	若干
7	压力传感器、压力表	3 个			

二、实验液压原理图

电液比例溢流阀动态特性测试液压回路见图 1-8。

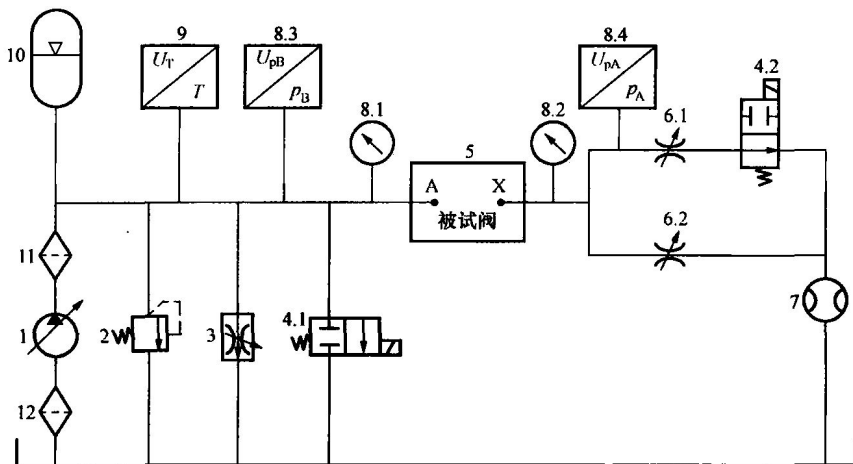


图 1-8 电液比例溢流阀动态特性测试液压回路

1—液压泵；2—溢流阀；3—调速阀；4.1，4.2—二位二通电磁换向阀；
5—被试阀；6.1，6.2—节流阀；7—流量传感器；8.1，8.2，8.3，8.4—压
力表（压力传感器）；9—温度传感器；10—蓄能器；11—精过滤器；12—粗过滤器

三、操作步骤

1. 输入电信号阶跃响应特性实验

按实验原理图搭接好实验回路。调节液压泵 1 的流量为被试阀的实验流量，将溢流阀 2 的压力调高，作安全阀用。调定输入电信号使被试阀的输出压力为 75% 额定压力。

阶跃输入电信号至调定值，直至输出达到稳定，然后再阶跃断开输入电信号，同时通过数据

采集系统,记录压力传感器 8.3 的压力信号变化情况,生成实时曲线,记录阶跃信号和输出压力,即可得到输入电信号阶跃响应特性曲线,参考曲线见图 1-9。图中 t_1 为延迟时间,即从输入电信号开始至输出压力发生变化的时间; t_2 为调整时间,即从输入电信号开始至输出压力进入给定误差范围 ($p_D \pm 0.05 p_D$),并不再超出此范围的时间; t_3 为卸载时间,即从断开阶跃信号开始至输出压力为卸荷压力的时间; $\Delta p_{\max}$ 为瞬时压力超调量。

2. 负载流量阶跃响应特性实验

调节液压泵 1 的流量为实验流量,将溢流阀 2 的压力调高,作安全阀用。关闭调速阀 3,测定输入电信号使被试阀的输出压力为 75% 额定压力,全开节流阀 6.1、6.2,通过快速切换阀 4.1 的快速切换实现负载流量阶跃,同时记录流量和输出压力,即可得到负载流量阶跃响应特性曲线,参考曲线见图 1-10。图中 t_1 为延迟时间,即从负载流量变化开始至输出压力发生变化的时间; t_2 为调整时间,即从负载流量变化开始至输出压力进入给定误差范围 ($p_D \pm 0.05 p_D$),并不再超出此范围的时间。

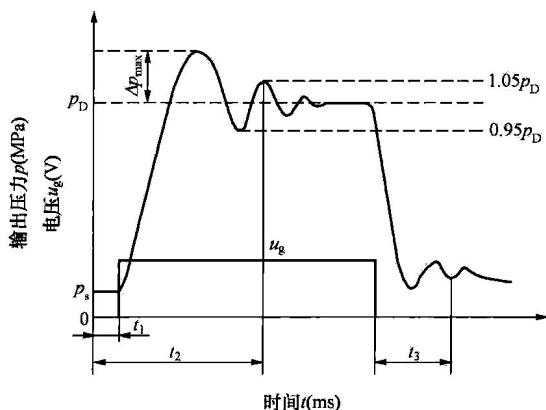


图 1-9 电液比例溢流阀输入电信号阶跃响应特性曲线

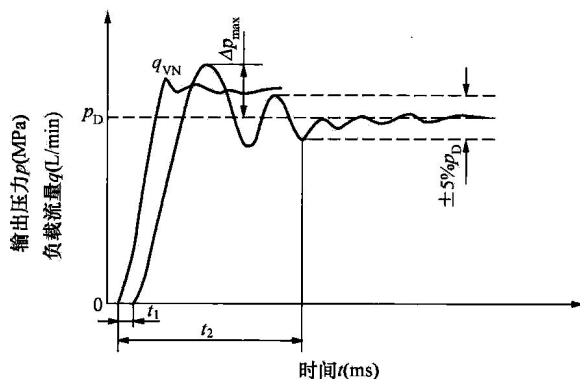


图 1-10 电液比例溢流阀负载流量阶跃响应特性曲线



练习题

1. 根据实验数据,在直角坐标纸上绘出溢流阀各性能曲线或直接运用数据采集系统采集到的数据,在 X-Y 曲线中,生成需要的动态曲线。
2. 对曲线进行分析、处理。分析实验曲线与理论曲线之间的区别,最终得出实验结论。
3. 自行设计一组频率响应特性测试的测试方案。

任务 3 电液比例换向阀静态特性测试



任务目标

1. 了解电液比例控制系统,掌握电液比例换向阀性能测试方法及其特性分析方法。
2. 了解电液比例换向阀的各种性能特点:流量与输入信号特性曲线、压力与输入信号特性曲线、流量与负载压差特性曲线、流量与温度特性曲线等。
3. 学习实验的基本技能,如制订实验方案、观测实验结果、编写实验报告等。了解计算机

辅助测试（CAT）技术的运用，以及相关仪器的使用方法。

4. 了解电液比例换向阀在实际工业生产中的运用。



相关知识

电液比例阀性能指标的测试在科学研究和工程应用中，有着极为重要的意义。计算机辅助测试（CAT）技术的兴起和应用，为电液比例阀和电液伺服阀性能测试开辟了良好的发展前景。通过 CAT 技术对电液比例阀进行静态特性测试，主要测试比例阀的压力特性、流量特性及内泄漏特性，并对测试结果进行分析。

在静态工况下所获得的阀芯的轴向位移与输入信号之间的关系称为阀的静态控制特性。电液比例换向阀的静态特性包括压差—流量特性和换向阀能正常换向时的压力与流量的边界范围。影响换向阀特性的因素有压力、流量、温度、介质特性、加工精度、装配精度、电压稳定性、检测设备精度等。比例方向阀静态特性实验需要绘制以下曲线：①流量与输入信号特性曲线；②压力与输入信号特性曲线；③流量与阀压降特性曲线；④流量与负载压差特性曲线；⑤流量与温度特性曲线。



任务实施

一、实验器材

完成该任务所需要的器材见表 1-4。

表 1-4

任务实施器材

编 号	器 材	数 量	编 号	器 材	数 量
1	液压比例综合实验台	1 台	7	单向阀	4 个
2	电液比例换向阀	1 只	8	调速阀	2 个
3	直动式溢流阀	1 只	9	蓄能器	1 个
4	二位三通电磁换向阀	1 只	10	数据采集系统	1 套
5	流量传感器	1 只	11	油管、压力表、截止阀等	若干
6	压力传感器、压力表	3 个			

二、实验液压原理图

电液比例换向阀静态特性测试回路见图 1-11。

三、操作步骤

1. 在恒定压降下的控制特性

按实验原理图搭接好实验回路。测试前打开调速阀 10.1、10.2，让二位三通电磁换向阀得电。打开数据采集系统，进入实时数据采集界面，选择压力、流量、输入信号等点进行实时数据采集。然后进入波形输出界面，通过 1721 的 D/A 输出通道，选择输出波形为三角波。输出频率控制在 0.05Hz 以内。记录一个完整的信号周期内的输出流量—输入信号关系曲线。参考曲线见图 1-12。

可以求得以下指标：①额定信号下的输出流量；②流量增益；③线性度；④滞环；⑤死区特性（即阀口遮盖状态）；⑥对称度；⑦极性；⑧功率域。

2. 压力与输入信号特性实验

本实验的目的是控制油口 A 和 B 的压力增益。为此，关闭截止阀 5.1、5.2，调整供油压力到被试阀的最大供油压力。