



普通高等教育实验实训规划教材

机械类

液压传动实验指导书

金晓宏 朱学彪 李远慧 卢云丹 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育实验实训规划教材

机械类

液压传动实验指导书

金晓宏 朱学彪 编
李远慧 卢云丹
湛从昌 主审

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育实验实训规划教材。

本书是针对本科相关专业的“液压传动”课程实验编写的,考虑到部分院校在教学计划中将流体力学基础纳入液压传动课程之中,书中编入了3个流体力学基础实验。本书主要内容包括四部分:流体力学基础实验,包括静压方程、雷诺和伯努利方程及管路阻力实验;液压传动基础实验,包括元件拆装、泵阀性能和液压回路构建及动作性能实验;电液控制实验,包括电液伺服阀性能、电液伺服位置控制系统性能和电液比例系统控制实现实验;液压传动设计创新实验,包括步进梁动作流程控制、电液柔性控制装置设计与开发和微型液压动力系统建模仿真与控制4个实验。

本书可作为高等学校本科机械类及近机类各专业“液压传动”课程的实验指导书,也可供高职高专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动实验指导书/金晓宏等编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育实验实训规划教材. 机械类

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9586 - 9

I. 液… II. 金… III. 液压传动—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TH137—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 191046 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年11月第一版 2009年11月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 4印张 88千字

定价 6.80元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

实验是科学探索的手段之一,而教学实验有着更丰富的内涵。首先,教学实验肩负着赋予初学者运用实验手段进行已知问题认知的职责;其次,教学实验过程渗透了对初学者的实验组织、实验方法和实验技巧的培养;同时,教学实验也给予初学者在传承前人优秀认知手段基础上求实与创新的活力。基于编者对教学实验内涵的理解,本书中的实验项目按验证认知、知识综合和设计创新三个层次进行选材与具体内容设计。一门课程实验学时不多,实验项目要覆盖教学内容的方方面面是不现实的,更没有必要。因此,编者摒弃设备使用说明书式的实验项目罗列,也避开设计手册式的完整资料堆积,通过系统化提炼选取实验项目,举一反三,旨在通过实验教学过程,表达传承和创新这一以学生为主体、教师为主导的教学理念。流体力学、元件拆装、元件性能实验为基础认知型实验,以基础训练和基本技能培养为核心,加强自主动手能力培养;液压回路和电液控制系统实验为知识综合型实验,以综合解决问题为重点,培养知识综合运用能力。实验项目中,对技能的训练遵从循序渐进、由浅入深的原则。

本书主要特点:以基础训练和基本技能培养为核心,加强自主动手能力培养;以综合解决问题为重点,培养知识综合运用能力;融入创新设计内涵,培养初步创新理念和基本技法。

主要实验项目内容包括:流体力学基础的静压方程实验、雷诺实验、伯努利方程与沿程阻力实验;液压传动基础的泵马达和阀类拆装实验、液压泵和溢流阀静态特性实验、多缸顺序动作实验、油缸往复自动换向回路实验、节流调速回路性能实验、液压传动回路构建实验;电液控制的电液伺服阀构与静态性能实验、电液伺服位置控制系统实验和电液比例控制系统运动实现实验;设计创新型实验包括颇具行业特色的4个实验,即加热炉步进梁动作流程控制实验、电液伺服阀的性能测试与软件开发实验、电液柔性控制装置设计与开发实验和微型液压动力系统建模与仿真实验。书中附录给出了压力表标定及其实验数据误差的计算方法。书中思考题标记有“*”者,要求相关知识比较深入才能解答。考虑到实验项目内容在不同实验设备上的通用性,本书没有过多介绍实验设备及其元部件的细节。

本书由武汉科技大学金晓宏、朱学彪、李远慧、卢云丹编写。李远慧编写实验1和2.1;金晓宏编写实验2.4~2.8、3.2和附录;朱学彪编写实验2.2、2.3、3.1和3.3;陈新元和曾良才参加了实验4的初稿编写;卢云丹编写实验中的PLC控制内容。全书由金晓宏统稿。

本书由武汉科技大学湛从昌教授主审。湛教授提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

在本书的编写过程中,得到了武汉科技大学教务处和机械自动化学院等多方的大力支持。在此,谨表由衷的谢意。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大者批评指正。

编者

2009年9月

目 录

前言

1 流体力学基础	1
1.1 静压方程实验	1
1.2 雷诺实验	3
1.3 伯努利方程及管路阻力实验	6
2 液压传动基础	10
2.1 液压泵马达拆装实验	10
2.2 液压阀拆装实验	12
2.3 液压泵静态特性实验	13
2.4 溢流阀静态性能实验	16
2.5 多缸顺序动作实验	18
2.6 油缸往复自动换向回路实验	20
2.7 节流调速回路实验	22
2.8 液压传动回路构建实验	26
3 电液伺服控制和比例控制	32
3.1 电液伺服阀结构与静态性能实验	32
3.2 电液伺服位置控制系统实验	35
3.3 电液比例控制系统运动实现实验	39
4 液压传动设计创新型实验	41
4.1 加热炉步进梁动作流程控制	41
4.2 电液伺服阀性能测试与软件开发	44
4.3 电液柔性控制装置设计与开发	45
4.4 微型液压动力系统建模与仿真	47
附录 I 弹簧管压力表的校验	50
附录 II PLC 电气接线原理图	53
附录 III 实验项目学时安排	54
参考文献	56

1 流体力学基础

本部分包括流体力学基础的三个实验,即静压方程实验、雷诺实验和伯努利方程及管路阻力实验。

1.1 静压方程实验

一、实验目的

- (1) 掌握用测压管测量流体静压强的技能。
- (2) 验证不可压缩流体静力学基本方程。
- (3) 通过对流体静力学现象的实验分析,进一步加深对基本概念的认识和理解。

二、实验内容

- (1) 了解连通器内静止液体的等压面和压强传递。
- (2) 测压管中流体静压强的测定。

三、实验原理与实验设备

1. 实验原理

重力作用下流体静力学基本方程为

$$\frac{p}{\rho g} + z = c(\text{常数}) \quad (1-1)$$

式中: z 为单位重力作用下液体的位能,即位置水头; $p/\rho g$ 为单位重力作用下液体的压能,即压强水头,其中, ρ 为流体密度, g 为重力加速度,取 $g=9.807\text{m/s}^2$ 。

式(1-1)表明,重力作用下,静止的连通流场内流体各点能量相同,因此,任取流场内两点,有

$$p_1 + \rho g z_1 = p_2 + \rho g z_2 \quad (1-2)$$

利用式(1-2)可实现测压管测压。如图1-1所示,其中图1-1(a)为 $p_1 < p_2$, 图1-1(b)为 $p_1 > p_2$ 。

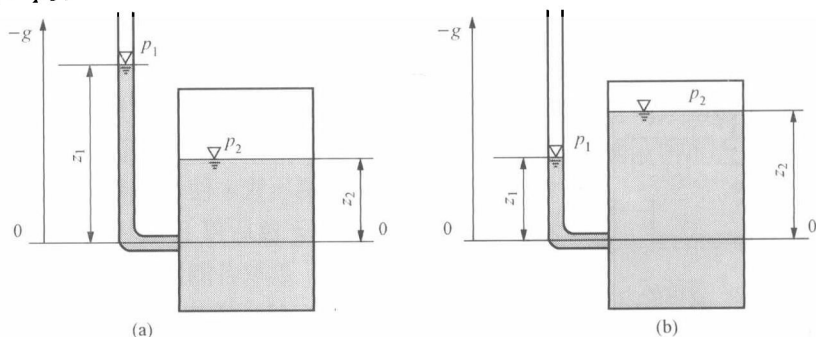


图 1-1 测压管测压原理

(a) $p_1 < p_2$; (b) $p_1 > p_2$

式(1-2)的基准0—0选取具备任意性,但一经确定,不得变更;通常,基准选择应便于计算和测量。对于基准的任意性,说明如下:假定基准选取在 p_2 的自由表面上,则有 $p_1 + \rho g(z_1 - z_2) = p_2$,可见与式(1-2)无异。

由式(1-2)可知,位置基准0—0所在平面为静止流场的等压面。

记 $z_2 = h$, $p_2 = p_0$, 流场自由表面也属于流场,于是由式(1-2)可知,任意点处总能量 p 为

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-3)$$

式中: p_0 为自由表面压强; h 为液体自由表面下指定点液体深度。

2. 实验设备

测定静水压强实验设备可采用图1-2所示流体静力学实验装置,该装置所有测管液面标高均以带标尺测压管2的零读数为基准。图1-2所示为水箱内表面通大气的状态,此时 $p_0 = p_a$,相应地,通气阀4打开,其余各阀门为关闭状态。

水箱内表面压力 p_0 增大的操作:加压打气球阀门打开,其余各阀门关闭,挤捏加压打气球,可使 p_0 在原有基础上增加。水箱内表面压力 p_0 减小的操作:打开减压放水阀12,其余各阀门关闭,可使 p_0 在原有基础上减小,出现一定的真空。

四、实验步骤

(1)在指导老师的指导下,认识实验装置;了解仪器的使用及操作过程,包括减压、加压的方法;检查仪器是否密封完好,如果有漏气现象,应立刻查明原因,处理排除故障后,才能进行实验。

(2)关闭阀门8和12,打开通气阀4,观察测压管,此时水箱内为大气压状态($p_0 = p_a$),选取带标尺测压管标尺的零点为基准,记录实验点A、B、C和D与所选标尺基准的距离,同时记录水温。

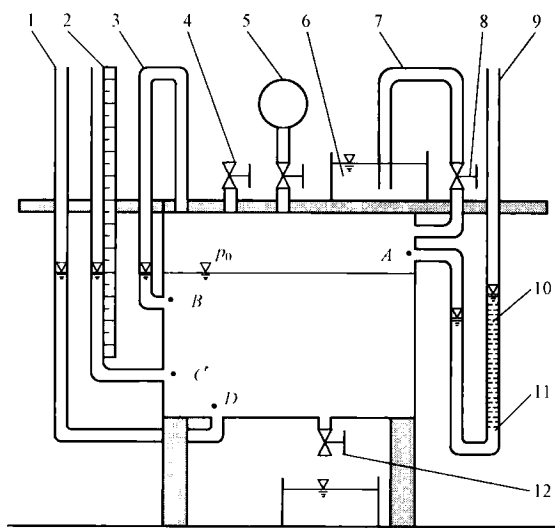


图1-2 流体静力学实验装置

- 1 测压管; 2 带标尺测压管; 3—连通管; 4 通气阀;
5 加压打气球; 6 液杯; 7—真空测压管; 8 截止阀;
9—U形测压管; 10—油柱; 11 水柱; 12—减压放水阀

(3)进行加压操作,关闭阀门4、8和12,然后用打气球充气,使水箱液面形成一定的正压($p_0 > p_a$),测压管1、2和9内液柱上升;观察测压管,待测压管内液柱高度合适时,停止加压操作,待水位稳定后,读取各测压管读数,填入表1-1中。

(4)缓慢打开通气阀4,使水箱内恢复为常压状态($p_0 = p_a$),然后关闭通气阀4。

(5)进行减压操作,缓慢开启水箱底部减压放水阀12进行放水,实现减压。观察测压管,使水箱形成一定的负压($p_0 < p_a$),然后停止减压,等测压管水位稳定后,读取各测压管读数,填入表1-1中。

(6)操作实验装置,缓慢打开通气阀4,观察测压管,使水箱为常压状态($p_0 = p_a$),然后停止操作。

表 1-1

实验数据记录表

次数	管号	水箱液面标高 (cm)	各测压管液面标高读数 (cm)			
			测压管 1	测压管 2	测压管 3	测压管 9
1	$p_0 < p_a$					
2	$p_0 > p_a$					

实验常数：位置标高 A 点_____ cm, B 点_____ cm, C 点_____ cm, D 点_____ cm;
油柱总长度_____ cm, 当地大气压 p_a _____ Pa; 水温_____ °C .

注 标高的基准点自行确定, 各测量点标高均以相对基准点的距离进行读数, 基准点上方读数为正。

五、实验报告要求

- (1) 记录的实验常数和测量值。
- (2) 根据以上的记录数据, 计算两次实验测定中 A 点、B 点、D 点和水箱液面的绝对压强及相对压强。

- (3) 根据所计算出来的压强, 验证: 在 $p_0 > p_a$ 和 $p_0 < p_a$ 时, 均有

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = z_A + \frac{p_A}{\rho g} = z_B + \frac{p_B}{\rho g}$$

- (4) 完成思考题。(3) 和 (4) 任选一, (5) 和 (6) 任选一。

六、实验注意事项

- (1) 未经指导教师检查或指导教师不在场时不得启动实验装置; 不得接触与实验无关的电器开关或按钮。
- (2) 启动实验装置前确认已按照指导老师要求做好准备工作。
- (3) 实验过程中, 若发现任何异常或故障, 应立即停止实验, 排除故障, 经指导教师确认后, 方可重新进行实验。
- (4) 实验完毕后, 清理元器件, 注意元器件的保养和实验台的清洁。

七、思考题

- (1) 测压管水头的含义是什么? 测压管水头线是一根什么线? 同一静止液体内的测压管水头线是根什么线?
- (2) 如果测压管太细, 会对测压管液面的读数产生什么影响?
- (3) 在加压过程中, 测压管 1、2 和 9 的液柱上升高度是否一致? 为什么? 如果不一致, 为什么?
- (4) 为了使密闭容器内气体 p_0 减压, 利用减压放水阀 12 将容器内部分液体放掉, 此过程中, 测压管 1、2、3 和 9 的液柱下降的高度是否一致? 为什么? 如果不一致, 为什么?
- (5) 试写出用测压管 7 测量水箱内真空度的操作过程和所需记录的参数。
- (6) 制订实验步骤和所需的记录参数, 计算出测压管 9 中油液密度。

1.2 雷 诺 实 验

一、实验目的

- (1) 掌握圆管流态判别准则。
- (2) 建立对层流、紊流两种流动形态及其特征的直观感性认识。

(3) 了解无量纲参数方法在流体力学实验研究中的意义。

二、实验内容

(1) 测定临界雷诺数，了解雷诺数与流体流动形态的关系。

(2) 观察流体流动中的层流、紊流两种流动形态，流动轨迹随流速的变化情况。

三、实验原理与实验设备

1. 实验原理

流体流动时，影响流体流动形态的因素除流速 v (m/s) 外，还有管径（或当量管径） D (m)，流体的密度 ρ (kg/m³) 和动力黏度 μ [kg/(s·m) 或 Pa·s]，由上述四个物理量组成的无因次数——雷诺数，记为 Re ，即

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (1-4)$$

式中： ν 为流体的运动黏度， $\nu = \mu/\rho$ ，m²/s。

雷诺数 Re 是判定流体流动类型的一个基准数。实际流体流动时有截然不同的两种流动形态存在：层流和紊流（也称湍流）。当流体处于层流的流动形态时，流体质点做直线运动且流线互相平行。当流体处于紊流的流动形态时，流体质点紊乱地向各个方向做无规则运动，但对整个流体主体仍可看做是向某一规则方向流动。由雷诺数判定流体流动形态： $Re < 2000$ 时为层流； $Re > 4000$ 时为紊流； $2000 < Re < 4000$ 时为过渡区，在此区间流型可能表现为层流，也可能表现为紊流。所以， $Re = 2000$ 时为层流临界值； $Re = 4000$ 时为紊流临界值。

2. 实验设备

雷诺数测定实验台，其结构原理示意图如图 1-3 所示。

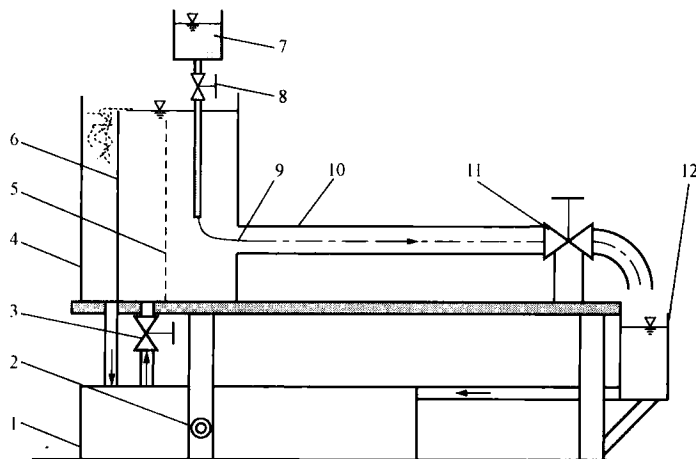


图 1-3 实验装置结构原理示意图

- 1—循环供水泵装置；2—水泵电器开关；3—水箱进水阀；4—水箱；5—带孔稳流板；
6—溢流隔板；7—墨水盒；8—墨水开关；9—墨水针头；10—透明直导管；
11—流量调节阀；12—量筒

四、实验步骤

(1) 在指导老师的指导下，认识了解本次实验所使用的实验装置。记录本次实验中，实验装置的相关参数，如管径、水温等。

(2) 打开进水阀 3, 关闭流量调节阀 11 和墨水开关 8; 触动开关 2, 启动水泵电机, 将水充入水箱 4; 待水箱出现溢流并保持水面稳定状态后, 在墨水盒 7 中加入墨水, 打开墨水开关 8, 当墨水将针头 9 附近 30mm 范围的水层染上颜色后, 停止加入墨水。

(3) 本实验借助墨水的运动, 来观察管内水的流动形态及流动形态的转变。缓慢打开装置中的流量调节阀 11, 待墨水水流成一条直线后, 并逐渐加大阀门开口度, 当水流量达到一定的值后, 观察墨水随流体流速变化形成的流动轨迹的变化。观察此时墨水由层流转变到紊流的特征。当管中的流体处于完全紊流状态后, 逐步关小流量调节阀 11, 再重新观察墨水由紊流逐渐向层流转变的特征。

(4) 重新调整阀门 11 的开度, 使管中的流体处于紊流的状态。逐渐关小调节阀 11, 使流量减小, 观察管中墨水的形态, 当墨水在整个玻璃管中呈一条稳定直线, 那么此时流体的雷诺数为下临界状态。记录此时的流量, 并计算出此临界雷诺数, 并将由通过实验获得的数据计算出来的下临界雷诺数与书中的临界雷诺数值进行比较。以上实验步骤重复做 3 次。流动状态与数据记录表见表 1-2。

表 1-2 流动状态与数据记录表

序号	墨水线形态	水体形态	量筒水量 (m^3)	量筒积水时间 (s)	流量 q_v (m^3/s)	雷诺数 Re	实测雷诺数 平均值
1	完全散开	上临界					
2							
3							
4	稳定直线	下临界					
5							
6							

水管内径 $D=$ _____ mm; 水温 $t=$ _____ $^{\circ}\text{C}$; 运动黏度 $\nu=$ _____ cm^2/s

注 运动黏度 $\nu=0.01775/(1+0.0337t+0.000221t^2)$ (cm^2/s)。

(5) 重新调整实验装置。将流量调节阀 11 关闭, 待实验装置中的流体处于完全稳定状态后, 缓慢打开调节阀 11, 观察玻璃管中的流体状态, 当玻璃管中流体由层流过渡到紊流时, 如果墨水形成的直线开始散开, 此时流体所对应的流动状态即为上临界状态, 流体的雷诺数就是上临界雷诺数。以上实验步骤重复做 3 次。

(6) 实验完毕后, 切断电源, 放空实验装置中各处的积水。

五、实验报告要求

- (1) 介绍雷诺数实验台主要组成结构和工作原理, 应给出原理示意图。
- (2) 说明实验装置参数和流体介质, 并记录实验测量值。
- (3) 叙述实验操作过程及实验操作体会。
- (4) 完成思考题 2 个, 任选。

六、实验注意事项

- (1) 未经指导教师检查和指导教师不在场, 不得启动实验装置; 不得接触与实验无关的电器开关或按钮。
- (2) 启动实验装置前确认已按照指导老师要求做好准备工作。
- (3) 实验过程中, 若发现任何异常或故障, 应立即切断电源, 排除故障, 经指导教师确

认后,方可重新进行实验。

(4) 在实验过程中,每次进行流量控制阀的调节阀 11 调节时,应等待管中的流体形态稳定后,再进行下次阀门的调节;并且,在进行测定临界雷诺数的实验时,关闭流量调节阀 11 的阀门过程中,不允许出现开大阀门的操作。

(5) 为了形成层流流动形态,并保持稳定,水箱的溢流应尽量小,否则会由于水箱较大的进水量及溢流量,带来较大的扰动,影响实验结果。同时,要注意保持实验装置的稳定,不要人为造成实验装置的震动,导致实验结果出现误差。

(6) 实验完毕后,清理元器件,注意元器件的保养和实验台的清洁。

七、思考题

(1) 雷诺数的物理意义是什么?

(2) 雷诺数的上临界值与下临界值是否一致?通常采用哪个临界雷诺数作为区别层流与紊流的判据?为什么?

(3) 试分析层流和紊流在运动学特性和动力学特性方面的差异点。

(4) 流体流动形态的判据为什么采用无量纲的雷诺数,而不采用临界流速?

1.3 伯努利方程及管路阻力实验

一、实验目的

(1) 通过实验,加深对水力动力学现象的认识。

(2) 验证流体恒定总流的伯努利方程,加深对流动流体各种能量概念及各能量形式相互转换的理解。

(3) 掌握压头、流量、流速等流体力学参数的测试技能。

(4) 训练培养学生将理论分析应用于实验研究的能力。

二、实验内容

(1) 验证伯努利方程。

(2) 测压管水头线测量,分析测压管水头线的变化规律。

(3) 观察沿流程的总能量坡线变化规律。

三、实验原理与实验设备

1. 实验原理

流体在流动中存在三种机械能,即位能、动能和静压能。当管路条件改变时(如位置高度、管径等),这三种能量相互之间会发生能量转化;对于实际流体,由于流动过程中有一部分机械能因摩擦和碰撞而损失,因此各截面上的机械能总和是不相等的,其差值就是流体在这两截面之间运动所损失的机械能。在实验管路中,对已经选取的基准面,沿管内水流方向取若干个过水断面,那么从断面 i ($i=1, 2, 3, \dots, n$) 至断面 $i+1$ 的伯努利方程式可写为

$$z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho g} + \frac{\alpha_{i+1} v_{i+1}^2}{2g} + h_{wi} \quad (1-5)$$

式中: α 为过流断面动能修正系数,实验时使流动保持紊流,可取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$; h_{wi} 为断面 i 至断面 $i+1$ 间的流动阻力引起的能量损失, m。

式(1-5)将能量表达为以长度为量纲的形式,于是,对液体流动,可以直接用液柱来表示各项能量。如图1-4所示,对已经选取的基准面0—0, $z_i + p_i/\rho g$ 可以从设置在各断面管壁处的普通测压管中直接获得;图中来流流体质点以速度 u_i 流至皮托管中心开口时,速度被阻滞,若记 H_i 为过流断面中心流线的总水头,则此时有

$$H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{u_i^2}{2g}$$

即利用皮托管可以测量总水头 H_i , 由于流线上的流速 u_i 不完全等于断面平均流速 v_i , 因此总水头的测量对管流总流而言是近似的。不过,它在几何上直观表达在流动过程中各项能量的变化情况,当流动充分紊流且实验精度无严格要求时,过流断面中心流线的 u_i 可以近似看成断面平均流速 v_i ; 为了精确表达断面的平均流速 v , 实验时可通过测量管路的流量并计算获得,从而得到各断面测压管水头和总水头。

2. 实验设备

伯努利方程实验台装置如图1-5所示,此为浙江大学水利实验室所提供的实验装置。该装置采用普通测压管测量静压,用皮托管测量全压。在图1-5所示装置中,透明实验导管各段直径为均匀段 $d_1 = 13.7\text{mm}$, 缩管段 $d_2 = 10.0\text{mm}$, 扩管段 $d_3 = 20.0\text{mm}$; 导管轴线高程 $z_z = 210\text{mm}$; 水箱液面高度 $z_L = 500\text{mm}$; 其他主要参数见表1-3。

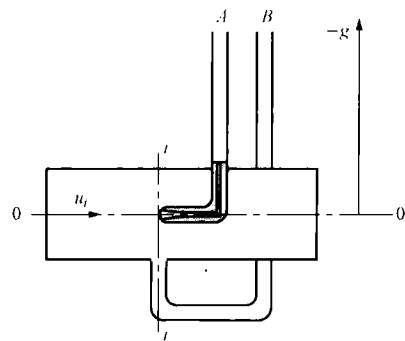


图 1-4 等直管段中的皮托管和测压管
A 皮托管; B 普通测压管

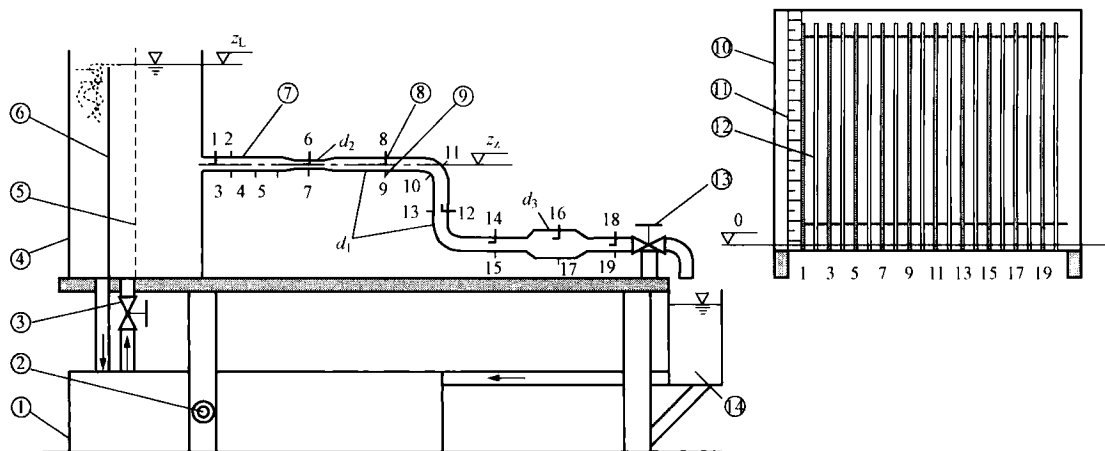


图 1-5 伯努利方程实验装置结构原理示意图

- ①—循环供水泵装置; ②—水泵电器开关; ③—水箱进水阀; ④—水箱; ⑤—带孔稳流板;
- ⑥—溢流隔板; ⑦—透明实验导管; ⑧—皮托管测点; ⑨—普通测压管测点;
- ⑩—测压管集架; ⑪—标尺; ⑫—测压管; ⑬—流量调节阀; ⑭—量筒

四、实验方法与步骤

(1) 了解实验设备各部件及其功能,从功能、形状、安装部位等方面的差异区分普通测压管与皮托管,弄清普通测压管与皮托管两者测量功能的区别;确认各普通测压管、皮托管的编号;确认皮托管测压孔口是否正对来流;记录本次实验中实验装置的相关参数(见表

1-3) 及水温等。

表 1-3 管道径和测量点参数表

测点编号	皮托管	1				6	8		12	14	16	18
	测压管		2、3	4	5	7	9	10、11	13	15	17	19
管内径 (mm)		13.7	13.7	13.7	13.7	10.0	13.7	13.7	13.7	13.7	20.0	13.7
编号点间距	起点至终点	—1	1—2	2—4	4—5	5—6	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18
	数值 (mm)	40	40	60	60	40	135	60	100	290	160	160

注 表中数值为参考值。

(2) 打开进水阀 3, 关闭流量调节阀 13; 按下开关 2, 启动水泵电机, 将水充入水箱 4; 待水箱出现溢流并保持水面稳定状态后, 检查测压管集架各测压管水面是否平稳。若不平衡, 检查管路中是否存在气泡等, 必要时进行处理, 使各测压管的水面调平且在同一水平线上。

(3) 缓慢打开流量调节阀 13 后进行如下工作: ①观察测压管水头线和总水头线的变化趋势; ②分析位置水头、压强水头之间的相互关系; ③分析不同测点处水头是否相同, 并分析原因; ④当管路中流量发生改变时, 管路中水头是否发生变化, 如何变化。

(4) 调节流量调节阀 13, 待管路中水流量稳定后, 按表 1-4 记录管路流量及各测压管液面读数。调节改变管路中的流量, 重新记录管路流量及各测压管液面读数。

(5) 实验完毕后, 切断电源, 放空实验装置中各处的积水。

表 1-4 $z_i + p_i / \rho g$ 数值记录表

测点编号	1	2	3	4	5	7	9	10	11	13	15	17	19	$q_V (\text{cm}^3/\text{s})$
试验 次数	1													
	2													
	3													

注 建议基准面取为标尺的零点。

五、实验报告要求

(1) 叙述伯努利方程各项的能量含义, 介绍皮托管和普通测压管的测压原理, 可给出原理示意图辅助说明。

(2) 记录所用实验装置参数、流体介质和所有的实验测量值。

(3) 根据以上所获得的测量数据, 计算流速水头和总水头。

(4) 绘制流量最大时的总水头线 (H_t) 和测压管水头线 ($z_i + p_i / \rho g$); 要求坐标系按纵坐标为水头, 横坐标为导管流程。

(5) 简要叙述实验操作过程及实验操作体会。

(6) 思考题 (1) ~ (5) 中任选 2 个, 思考题 (6) 和 (7) 中任选 1 个, 完成之。

六、实验注意事项

(1) 未经指导教师检查和指导教师不在场, 不得启动实验装置; 不得接触与实验无关的电器开关或按钮。

(2) 启动实验装置前确认已按照指导老师要求做好准备工作。

(3) 实验过程中, 若发现任何异常或故障, 立刻向指导老师汇报, 经指导教师确认并排除故障后, 方可重新进行实验。

(4) 实验完毕后, 清理元器件, 注意元器件的保养和实验台的清洁。

七、思考题

- (1) 流量变化对测压管水头线有何影响？为什么会有这种影响？
- (2) 分析测压管水头线和总水头线的变化趋势，两者有何区别，产生这种区别的原因是什么？
- (3) 皮托管测量与实际测量的总水头线存在一定的差异，为什么？
- (4) 不同测点的测压管读数代表的是何物理量的数值？
- (5) 图 1-4 所示的皮托管和测压管的液柱高差是否可以用来计算流速？该流速是点速度还是断面平均流速？
- (6) 如何利用本实验装置测定沿程损失阻力系数？
- (7) 如何利用本实验装置测定局部损失阻力系数？

2 液压传动基础

本部分包括液压泵马达拆装实验、液压阀拆装实验、液压泵静态特性实验、溢流阀静态性能实验、多缸顺序动作回路实验、油缸往复自动换向回路实验、节流调速回路实验和液压传动回路构建实验。

2.1 液压泵马达拆装实验

一、实验目的

- (1) 通过对液压泵马达的拆装,了解泵、马达的内部结构和特点,理解其工作原理。
- (2) 培养实物装配与拆卸技能。
- (3) 强化实际工程应用概念。

二、实验内容

拆装轴向柱塞泵、柱塞马达、齿轮泵和单双作用叶片泵。

三、实验要求

- (1) 了解液压泵马达的铭牌、型号等内容。
- (2) 掌握液压泵马达的职能符号(定量、变量、单向、双向)及选型要求等。
- (3) 通过拆装,掌握液压泵内每个零部件的构造,分析其加工方法及特殊性。
- (4) 通过实物,分析油液在液压泵中从吸油口到出油口的完整输运过程。
- (5) 通过实物,分析液压马达从供油输入到产生扭矩输出的完整实现过程。
- (6) 通过主要零部件,比较泵与马达的基本结构异同。
- (7) 从液压泵实物结构上分析其产生困油的原因和解决困油的具体做法。
- (8) 分析影响液压泵正常工作及容积效率的因素,了解易产生故障的部件并分析其原因。
- (9) 掌握泵和马达的拆装方法和要点。

四、拆装步骤要点

1. 准备工作

通过结构图,了解元件的各零部件装配关系,包括相互固定、相对运动、与密封件关系、是否为组件、定位点等;由内至外,分析装配和拆卸的顺序;认识拆装所需工具,如内六角扳手、螺丝刀、专用工具等;安排零部件存放点,精密件需采用专门洁净托盘存放;准备好装配用的洁净煤油等清洗液和针入度较高的润滑脂或液压油。

2. 拆卸要点

拆卸顺序是由外及里;通常,松开螺栓的顺序按对角方式进行,松开力矩不宜大于螺栓拧紧扳手力矩的25%,单根螺栓松开至少分两次完成;个别零部件(如柱塞和滑靴)采用特殊工艺装配,不能独立拆开,勿强行分解;拆卸密封件要避免划伤其表面;拆卸下的零件依顺序分类并做好标记,注意原来的装配方向,妥善放置于存放点。

3. 装配要点

仔细清洗所有零件；依照由内到外（即先内部后封口）的原则，按拆卸时的反顺序和所做标记进行装配；通常，按对角方式均匀拧紧螺栓，单根螺栓至少分两次完成拧紧过程；装配有相对滑动的零件和密封件时，可在其表面上涂一些润滑脂或液压油以方便装配，亦可减少密封件擦伤；密封圈装配后，不得有扭挤现象；唇形、V形密封圈和油封都有装配方向，装配时需确认。装配后，手动旋紧主动轴，应旋转平稳、无卡滞或转动力矩不均现象；否则，需重新装配。装配完毕后，清理场地，存放好元件、工具等。

五、实验报告要求

- (1) 在定量轴向柱塞泵、单作用叶片泵（变量）、齿轮油泵和双作用叶片泵或柱塞马达中，选一元件，具体叙述其主要结构及工作原理；要求图文并茂，结构图手绘。
- (2) 叙述其中一个元件的拆装顺序及拆装中使用的主要工具。
- (3) 任选5个思考题，完成之。
- (4) 叙述拆装过程的感受。

六、思考题

- (1) 定量轴向柱塞泵滑靴轴心线上的小孔起什么作用？它与斜盘接触的底面上为何有圆形沉割槽？试分析滑靴的运动轨迹，讨论它与斜盘接触底面上的沉割槽是否可以是以中心小孔为起点的螺旋槽？
- (2) 分析所拆装的轴向柱塞泵困油问题的解决方案，讨论CB型齿轮泵解决困油的方法是否可以移植到轴向柱塞泵上来。如果可行，请提出结构原理。
- (3) 柱塞泵配油盘的配油窗口如何保证泵的吸压油口不相互串通？缸体上进出油窗口的分布圆直径与柱塞的分布圆直径是否相同？为什么？
- (4) 分析柱塞泵与柱塞马达的进油口在壳体内外的结构，比较进出油口差异。
- (5) 齿轮泵的两齿轮端面泄漏量是齿轮泵的主要泄漏，所拆装的齿轮泵是如何在结构上设法减少该泄漏的？
- (6) 数一数齿轮泵轮齿个数，测量齿顶齿根尺寸，计算齿轮的模数。
- (7) 比较不同压力级别场合下使用的齿轮泵的困油解决方案，从解决困油现象的原理、实际可实现方法和经济性三方面分析，给出分析结论。
- (8) 叶片泵的叶片根部容腔由于叶片的伸缩会产生体积变化，分析实物结构是如何消除该体积变化带来的困油现象的。
- (9) 比较单作用叶片泵与双作用叶片泵定子内曲面的不同，假定两种泵的转子和叶片各尺寸相同时，将单作用叶片泵的定子放到双作用叶片泵上，双作用叶片泵能变成单作用叶片泵吗？如果可以，还应改变哪些零部件？
- (10)* 叶片泵的叶片有一定厚度，其造型也不是标准的长方体，从实物叶片的造型出发，分析其合理性，并讨论能否减少一些厚度？
- (11) 泵马达装配后，是否需要通油空载清洗后方可进行调试？
- (12)* 分析油封的密封原理，给出提高油封寿命在安装时要注意的事项。（建议查找足够有依据的资料后完成本思考题）

2.2 液压阀拆装实验

一、实验目的

(1) 通过对液压阀(压力阀、换向阀、流量阀)的拆装,了解阀的基本结构和特点,理解阀的工作原理。

(2) 培养实物装配与拆卸技能。

(3) 强化实际工程应用概念。

二、实验内容

拆装 YF 型溢流阀和 DB 型溢流阀、减压阀、顺序阀、电磁换向阀、电液换向阀、单向阀、节流阀、流量阀等。

三、实验要求

(1) 了解各类阀的铭牌、型号。

(2) 掌握阀类元件的职能符号及其工作原理。

(3) 了解每个零部件的作用、结构及工艺要求。

(4) 通过实物,分析各阀的完整工作过程。

(5) 理解液压力与弹簧力之间的平衡关系,掌握两个力相互转换的实现方法。

(6) 理解压力阀阀口开启与闭合的过程。

(7) 了解调压弹簧与复位弹簧的作用、性质和区别。

(8) 理解先导阀的作用和实物实现方法。

(9) 了解阀类元件常见故障及处理措施。

四、拆装步骤要点

参考液压泵拆装实验中的拆装步骤要点。

五、实验报告要求

(1) 叙述三位四通电磁换向阀结构及工作原理。写出何为三位四通阀中位机能,画出 O、M、H、Y、P 型中位机能职能符号图,并叙述其在工作中的作用。

(2) 写出调压弹簧与复位弹簧的作用、性质和区别。

(3) 思考题(1)~(4) 任选 2 题;其他思考题任选 3 题,完成之。

(4) 写出其中一个阀的完整拆装过程和拆装中使用的主要工具。

六、思考题

(1) 实物中,为了避免弹簧歪斜导致弹簧力不对心,试分析阀类元件中弹簧的导向方式,归类给出实物中的解决方案。

(2) 有的阀类元件有泄漏油口,如果将此油口阻塞,该阀能否正常工作?为什么?请给出两个以上的元件具体结构加以说明。比较这种容腔阻塞与泵的困油有何不同。

(3) 普通压力阀和流量阀都有调整压力或流量的零件——调节手轮,试比较调节手轮的锁紧方式及其相应结构的异同。

(4) 就所拆装的阀而言,阀的油口密封有哪几种形式?请按管式安装、板式连接和法兰连接等阀的安装方式归类,并绘制油口密封原理示意图。

(5)* 比较二级同心和三级同心溢流阀阀芯与阀体(或阀套)所构成的溢流口形状的异