职工高等工业专科学校机制专业
试用教材

液压传动

习题及实验课程设计指导书

中国机械工程学会职工高等教育专业学会
机械制造委员会 编

北京科学技术出版社

液 压 传 动
——例题习题集
实验指导书
课程设计（大型作业）指导书
中国机械工程学会职工高等教育机械专业委员会 编

北京科学技术出版社出版
（北京西直门外南路19号）

北京科学技术出版社发行
大郊亭印刷厂印刷
787×1092毫米 16 开本 9.5 印张 231千 字
1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷
印数 1—10000册

ISBN7-5304-0352-4/T.66 定价：2.70元

前　　言

为了更好地贯彻原教育部颁布的职工高校机械制造专业教学计划，我们在编写职工高等工业专科学校机械专业试用教材《液压传动》（第二版）后，编写了与该书配套的辅助教材《液压传动例题习题集、实验指导书、课程设计（大型作业）指导书》合订本。

本书由以下三部分组成：

第一部分　例题习题集

全部例题和习题均密切与教材内容相配合，分章出题。重视概念、突出重点，通过例题和习题加深学生对课堂教学内容的进一步消化和吸收，培养学生的独立分析问题和解决问题的能力。

第二部分　实验指导书

根据教学大纲的要求，我们编写了五个实验项目：1．液压系统中工作压力形成原理实验；2．液阻特性实验；3．液压泵工作特性实验；4．溢流阀性能实验；5．节流调速回路性能实验。以上五项实验内容，力求学生自己动手，以加强学生的动手能力，通过这种实践性教学环节，有利于培养应用型技术人材。

第三部分　课程设计（大型作业）指导书

液压传动课程设计（大型作业）是在学生学完《液压传动》课程后进行的。通过这一实践性教学环节，可以使学生对液压传动基本知识、液压元件结构、原理和基本回路以及液压系统设计等理论知识起到巩固和深化的作用；引导学生掌握液压传动系统设计计算的一般方法和步骤；使学生具备合理地确定执行机构的结构形式、选用各种标准液压元件，并能应用基本回路组成满足设计要求的液压系统。

本书以生产实际中的典型实例来剖析液压系统设计计算的全过程，并对液压缸的结构设计作了具体地指导，还有多种常用液压元件规格、型号，参数的附表供选择时参考。这对启迪和培养学生的实际工作和独立设计能力是十分有益的。

参加本书第一部分编写的有：韩尚勇、任建勋；第二部分由徐焕铭编写；第三部分由周国柱、屠梦英、钱韵秋编写。

全书由韩尚勇和周国柱同志主编，由张仲毅副教授主审。

本书不足之处，敬请读者批评指正。

中国机械工程学会职工高等教育机械专业委员会

一九八八年八月

目　录

第一部分　例题习题集

第二部分　实验指导书

第三部分　课程设计（大型作业）指导书

第一部分　例题习题集

第　一　章

1-1　什么叫液压传动？

1-2　液体传动有哪两种形式？它们的主要区别是什么？

1-3　液压传动由哪几部份组成？试举例说明它们在系统中的作用。

1-4　液压传动有什么优缺点？

1-5　试举例说明液压传动的工作原理。

1-6　有一液压千斤顶（见图Ⅰ-1-1），大、小活塞直径比为 $D/d=5$，杠杆比 $L=5l$，若 $F=100$N，求所顶起的重物W之重量是多少牛顿（N）？

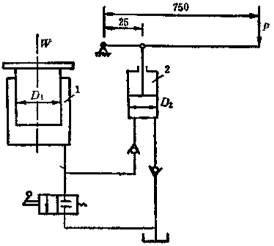


图 Ⅰ-1-1

第　二　章

2-1　有一液压油 200cm³，50℃时流过恩氏粘度计，$t_1=153$ s，而20℃、200cm³的蒸馏水流过的时间 $t_2=51$ s，问该油的 °E、ν、μ 各为多少？在 40℃时之 ν 又为多少？（$\rho=0.9\ \mathrm{dyn\cdot s^2/cm^4}$）

［解］　根据恩氏粘度的定义得

$$°E_{50}=\frac{t_1}{t_2}=\frac{153}{51}=3$$

50℃时　$\nu_{50}=7.31°E-\dfrac{6.31}{°E}$

$$=19.83\times10^{-2}\quad \mathrm{cm^2/s}$$

$$=19.83\times10^{-6}\quad \mathrm{m^2/s}$$

$$\mu=\nu\rho=19.83\times10^{-3}\times0.9$$

$$=17.85\times10^{-3}\mathrm{Pa\cdot s}$$

40℃时　∵　$\nu_{40}=\nu_{50}\left(\dfrac{50}{t}\right)^n$

查表（参见书表 2-2）$n=1.99$

$\nu_{40} = 19.83 \times \left(\frac{50}{40}\right)^{1.89} \times 10^{-6}\mathrm{m^2/s} = 30.9 \times 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$

注：只有运动粘度 $\nu \leqslant 76 \times 10^{-6}\mathrm{m^2/s}$，温度 $t = 30 \sim 150℃$ 条件下，方可应用$\nu_t = \nu_{50}\left(\frac{50}{t}\right)^n$，否则求得结果误差较大。

2-2　有两种液压油，在相同温度下，甲液为21L，$°E_1 = 5$；乙油为9 L，$°E_2 = 7$，将两种油混合，试用两种方法，求混合油的粘度。

［解］甲油混合比为 $\frac{21}{21+9}\% = 70\%$

乙油混合比为 $\frac{9}{21+9}\% = 30\%$

查表（书表2-1)系数 $C = 17.9$

∴混合油的粘度

方法一

$$°E = \frac{a°E_1 + b°E_2 - C(°E_1 - °E_2)}{100}$$

$$= \frac{70 \times 5 + 30 \times 7 - 17.9(7-5)}{100}$$

$$= 5.25$$

方法二　参见《液压传动设计手册（上）》

已知　$°E_1 = 5$　$B_1 = 59.8$，$°E_2 = 7$　$B_2 = 66.7$

$\therefore B = a\,B_1 + b\,B_2 = 0.7 \times 59.8 + 0.3 \times 66.7 = 61.87$

查粘度—温度换算表得：$°E = 5.5$

可见两种方法求得的数值不相同，但因第二种方法较准确，故取 $°E = 5.5$。

2-3　在液压传动中，液压油起什么作用？对液压油有哪些要求？

2-4　什么叫粘度？粘度有几种表示方法？它们相互如何换算？

2-5　液压油的粘度是怎样随温度的变化而变化的？举例说明。

2-6　常用的液压油有哪些种类？以国产的液压油为例说明其化学稳定性。

2-7　液压传动中对液压油提出些什么主要要求？液压油为什么要定期更换？

2-8　起重设备使用的液压油，如果粘度过低会影响起重能力，为什么？

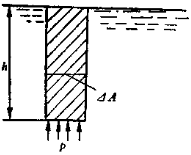
2-9　怎样判断液压油的优劣？怎样选择液压油？

2-10　试将某种液压油（自选）进行各种粘度换算，并假定油温为50℃。

2-11　试将两种不同数量和不同粘度的液压油进行调和，然后根据其粘度大小，找出相近的液压油牌号。

2-12　若液体的重度为γ，自由液面处为大气压力，求液面下深为h处的压力。一潜水员在海面下18m处工作。若海水的重度$\gamma = 10000\mathrm{N/m^3}$，问潜水员在该处所受压力比海面的压力大多少？

［解］　如图Ⅰ-2-1所示，从自由液面向下取一横截面积为ΔA、高度为h的一段圆柱液体，该柱体与周围液体处于平衡状态。作用在此圆柱上的力有：



图Ⅱ-2-1

(1) 液柱自重$G=\gamma\Delta Ah$

(2) 垂直向下作用在液柱顶部的压力

$$p_1=p_a\Delta A$$

(3) 垂直向上作用在液柱底部的压力

$$p_2=p_{ab}\Delta A$$

(4) 其它液体作用在液柱周围水平方向的压力，因其大小相等方向相反，故相互抵消。

沿液体轴线方向（即铅直方向）力的平衡关系为

$$p_2=p+G$$

即

$$p_{ab}\Delta A=p_a\Delta A+\gamma\Delta Ah$$

所以

$$p_{ab}=p_a+\gamma h$$

式中 p_{ab}——液面下深度为h处流体的绝对压力；

p_a ——液面上的大气压力；

γ ——液体的重度；

h ——液面下深度。

作用于液面下深度h处的相对压力为

$$p=p_{ab}-p_a=\gamma h$$

可知：重力作用下水平面为等压面。

因为海平面上压力等于大气压力p_a，将$\gamma=10000\ \mathrm{N/m^3}$、$h=18\ \mathrm{m}$代入上式，可得深度为18m处大于海面上压力的数值为

$$p=\gamma h=10000\times18=180000\mathrm{N/m^2}$$

2-13 以一质量$M=50$ kg的物体作用于面积为100 cm²的活塞上，若活塞处于平衡态态，问与活塞下面相接触处水的压力多大？能使水和水银产生多大的压力头？

[解] 作用在活塞上的力

$$F=Mg=50\times9.81=490.5\mathrm{N}$$

活塞的面积 $A=100\mathrm{cm^2}=0.01\mathrm{m^2}$

所以与活塞下面相接触处水的压力为

$$p=\frac{F}{A}=\frac{490.5}{0.01}=49050\mathrm{N/m^2}$$

压力p能使水和水银产生的压力头分别为

$$h_{\mathrm{w}}=\frac{p}{\gamma_{\mathrm{w}}}=\frac{49050}{9.81\times1000}=5\ \mathrm{m}$$

$$h_{\mathrm{Hg}}=\frac{p}{\gamma_{\mathrm{Hg}}}=\frac{49050}{9.81\times13600}=0.368\mathrm{m}=368\mathrm{mm}$$

2-14 如图Ⅰ-2-2所示，容器A中部分空气被抽出，容器下端接一玻璃管与水槽相通，玻璃管内水面上升的高度$h=2$ m，水的密度$\rho=1000\mathrm{kg/m^3}$。试求容器A中的绝对压力p_A，分别用应力单位和水柱高表示；并求容器中的真空度。

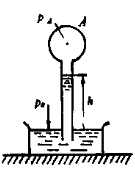


图 Ⅰ-2-2

2-15　图Ⅰ-2-3表示切断平炉煤气供应的水封装置。若已知进气管和连通管插人水中的深度分别为 $H_1=20\text{cm}$ 和 $H_2=30\text{ cm}$，出气管压力 $p_2=1.962\times10^4\ \text{N/m}^2$，试确定水封能封住的最大压力 p_1。

〔解〕 设进气管及连通管中水面与水封水面的高差分别为 h_1 和 h_2，并设容器 A 上部气体的压力为 p_3。

则在容器 A 中 C 处的压力 $p_c=p_3+\gamma h_1$

在容器 B 中 D 处的压强 $p_D=p_2+\gamma h_2$

在进气管和连通管中，由于煤气重度很小，煤气柱所引起的压力变化可忽略不计。

故　$p_c=p_1$，$p_D=p_3$

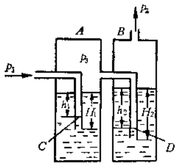
所以　$p_1=p_3+\gamma h_1=(p_2+\gamma h_2)+\gamma h_1=p_2+\gamma\ (h_1+h_2)$

当　$h_1=H_1=20\text{cm}$，$h_2=H_2=30\text{cm}$ 时

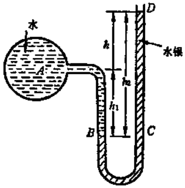
p_1 为最大。这时

$p_1=p_2+\gamma\ (H_1+H_2)=1.96\times10^4+9.81\times10^3(0.20+0.30)=24525\ \text{N/m}^2=2.4525\ \text{N/cm}^2$ 即该水封能封住的最大压力为 $2.4525\ \text{N/cm}^2$。

2-16　用U形水银测压管量测大于大气压的管路中水的压力。图Ⅰ-2-4中U形管的左支



图Ⅰ-2-3



图Ⅰ-2-4

管 B 点以上是水，B 点以下及右支管内为水银。

(a) 写出这种测压计所测压力的表达式；

(b) 若左支管中水银面比 A 点低30cm，而右支管中的水银面比 A 点高20cm，试求 A 点的表压 p_A（水银的比重 $S=13.6$）。

〔解〕 (a) 如图所示，显然 B 与 C 处于同一等压面上，即为　$p_B=p_C$

由左支管　$p_B=p_A+\gamma h_1$

由右支管　$p_C=p_a+\gamma_{Hg}h_2=0+\gamma_{Hg}h_2=S\gamma h_2$

（以表压计，大气压等于零）

故得　$p_A+\gamma h_1=S\gamma h_2$ 即　$p_A=S\gamma h_2-\gamma h_1$

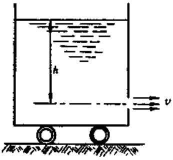
由图可知　$h_2=h_1+h$，代入上式得

$$p_A=S\gamma\ (h_1+h)-\gamma h_1=(S-1)\ \gamma h_1+S\gamma h$$

将 $h_1=30\text{cm}$，$h=20\text{cm}$，$\gamma=9.81\text{kN/m}^3$ 代入上式得　$p_A=(13.6-1)\ 9.81\times10^3\times0.3+13.6\times9.81\times10^3\times0.2=63.8\text{kN/m}^2$

2-17　在液箱液面下深为 h 处开一个小孔，孔口面积为 S，若不计孔口出流阻力及液箱

轮子与地面的摩擦阻力，试导出出流液体对于液箱的反推力。(见图Ⅰ-2-5)



图Ⅰ-2-5

［解］ 液体通过小孔出流的理论速度

$v_2=\sqrt{2gh}$ ，而出流前的速度 $v_1=0$

速度变化 $=v_1-v_2=-\sqrt{2gh}$

每秒钟通过孔口的水量 $Q_m=\rho Sv_2$，因而，作用于液箱的射流反推力 $P=$ 通过孔口的质量流量 × 流过小孔的速度变化

$$P=\rho Sv_2\times(-v_2)=-\rho Sv_2{}^2=-2gS\rho h=-2\gamma Sh$$

负号表示 P 与 v_2 的方向相反。上式表明：孔口出流时射流的理论反推力恰好是孔口处静压力的两倍。

2-18 温度为0 ℃的空气，以每秒4m的速度在直径为100mm的管中流动，试确定其流动型态。若管中的流体先后换成水和油，它们的流速都为每秒0.5m，水的运动粘度 $\nu=1.792\times10^{-6}\mathrm{m^2/s}$，油的运动粘度 $\nu=30\times10^{-6}\mathrm{m^2/s}$，试问水和油在管中各呈何种流动型态？

［解］ 由空气的粘度与温度的关系表查得空气在0 ℃时的运动粘度 $\nu=1.33\times10^{-5}\mathrm{m^2/s}$。

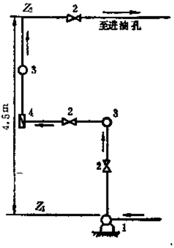
空气流的雷诺数 $R_e=\dfrac{vd}{\nu}=\dfrac{4\times0.1}{1.33\times10^{-5}}=30075>2300$，所以管中空气流呈紊流状态。

水流的雷诺数 $R_e=\dfrac{vd}{\nu}=\dfrac{0.5\times0.1}{1.792\times10^{-6}}=28000>2300$，所以水在该管中呈紊流状态。

油液流的雷诺数 $R_e=\dfrac{vd}{\nu}=\dfrac{0.5\times0.1}{30\times10^{-6}}=1670<2300$，所以油在该管中呈层流状态。

2-19 润滑油经液压泵加压后通过输油管送至水力发电机组的推力轴承。管道全长80m，直径为50mm，油泵出口断面与推力轴承进油孔的高差为 $Z_2-Z_1=4.5\mathrm{m}$，沿程阻力系数 $\lambda=0.695$，油的重度 $\gamma=8830\mathrm{N/m^3}$，管道中各种管件的局部水头损失系数总和为 $\Sigma\zeta=5$。问液压泵出口压强为 $p_1'=3.24\times10^5$ Pa 时能否保证 $Q=5\mathrm{m^3/h}$ 的供油量。

［解］ 管道布置如图Ⅰ-2-6。对液压泵出口断面1—1及管道出口(即进入进油孔前)断面2—2应用能量方程得



图Ⅰ-2-6

$$Z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}=Z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{v^2}{2g}+\frac{\lambda l}{d}\times\frac{v^2}{2g}+5\times\frac{v^2}{2g}$$

式中 v——管道内的断面平均流速。

根据已知条件求得

$$Q=5\mathrm{m^3/h}=\frac{5}{60\times60}=1.39\times10^{-3}\mathrm{m^3/s}$$

$$v=\frac{Q}{A}=\frac{4Q}{\pi d^2}=\frac{4\times1.39\times10^{-3}}{3.14\times0.05^2}=0.11\mathrm{m/s}$$

将已知各值代入能量方程并注意到 $\dfrac{p_2}{\gamma}=0$，可得

$$\frac{p_1}{\gamma}=(Z_2-Z_1)+\frac{\lambda l}{d}\times\frac{v^2}{2g}+5\times\frac{v^2}{2g}=4.5+\left(\frac{0.695\times80}{0.05}+5\right)\frac{0.71^2}{2\times9.81}$$

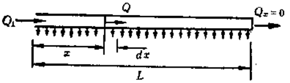
$= 33.3\ \text{m}$（油柱）

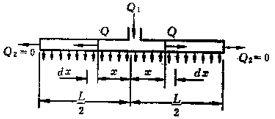
输送油所需的压力

$$p_1 = 33.3 \times 8830 = 294000\text{N/m}^2 = 2.94 \times 10^5\text{Pa} = 2.94 \times 10^5\text{Pa}$$

油泵出口压力 $p_1' = 3.24 \times 10^5\ \text{Pa} > p_1 = 2.94 \times 10^5\text{Pa}$，故液压泵出口压力能满足所需供油量。

2-20　直径 100mm、长 4800m 的干管，以 7.5 l/h-m 的沿程均匀泄流量在全部长度内沿程泄水。已知 $\lambda = 0.024$，计算下述情况下供水入干管之点与泄水干管末端间的最大水头差：（a）供水入干管之点在管端（图Ⅰ-2-7a）；（b）供水入干管之点在干管中部（图Ⅰ-2-7b）。





图Ⅰ-2-7

［解］　具有沿程均匀泄流的管道，其各断面的流速及能头损失是沿程变化的。求解时可以先分析一段微元长度，然后积分求解。

设距进口为 x 的断面，其平均流速为 v，流量为 Q，微分段 dx 的能头损失为 dh。则由达西公式

$$dh = \frac{\lambda dx}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

式中　D——干管直径。

令　Q_1 为总入流量；K 为单位长度的泄流量；Q_2 为管端的泄流量；l 为沿程泄流段长。

因　　总流入量 = 总泄流量

据题意，当 $x = l$、$Q_1 = Kl$ 时，$Q = Q_2 = 0$；则当 $x \leqslant l$ 时，通过 x 断面的流量为

$$Q = K\ (l - x)$$

液流通过该断面的平均流速为 $v = \dfrac{Q}{A} = \dfrac{4K}{\pi D^2}(l - x)$，$dx$ 段内的能头损失

$$dh = \frac{\lambda dx}{D} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{\lambda}{2gD} \times \frac{16K^2}{\pi^2 D^4}(l - x)^2 dx$$

供水入干管之点与泄流端点间的能头损失

$$h = \int_{x=0}^{x=l} dh = \frac{16\lambda K^2}{2g\pi^2 D^5}\int_{x=0}^{x=l}(l - x)^2\ dx = \frac{0.0275\lambda K^2 l^3}{D^5}$$

以 $\lambda = 0.024$ 及 $K = 7.5l/h\text{-m} = \dfrac{7.5 \times 10^{-3}}{3600} = 2.085 \times 10^{-6}\text{m}^3/\text{s-m}$，$D = 0.1\text{m}$ 代入得

$$h = \frac{0.0275 \times 0.024 \times (2.085 \times 10^{-6})^2}{(0.1)^5} l^3 = 2.87 \times 10^{-10} l^3$$

（a）当供水入干管之点在管端时 $l = L = 4.8 \times 10^3\text{m}$

最大水头差为

$$h = 2.87 \times 10^{-10} \times 4.8 \times 10^3 = 31.7\ \text{m}$$

（b）当供水入干管之点在管中部时

$$l=\frac{L}{2}=\frac{1}{2}\times4.8\times10^{3}\mathrm{m}$$

最大水头差为

$$h=2.87\times10^{-10}\times\frac{1}{2}\times4.8\times10^{3}=3.96\mathrm{m}$$

2-21　液流从贮液管的垂直侧壁上的小孔口中水平射出，从收缩断面处量起，水平射程为x，孔口中心离地高为y。试用x、y来表示出流流速。若贮液箱内液面比孔口中心高出H，求流速系数的表达式。

［解］　图Ⅰ-2-8中A点位于出流收缩断面中心，B点是液流着地点。若用t表示流体质点从A到B所经过的时间，则

$$x=vt,\qquad y=\frac{1}{2}gt^{2}$$

由上两式解得

$$t=\sqrt{\frac{2y}{g}};\qquad v=\sqrt{\frac{gx^{2}}{2y}}$$

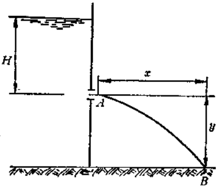
又，已知理论流速$=\sqrt{2gH}$，所以

$$流速系数=\frac{实际流速}{理论流速}=\frac{\sqrt{\dfrac{gx^{2}}{2y}}}{\sqrt{2gH}}=\sqrt{\frac{x^{2}}{4yH}}$$

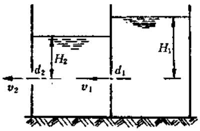
2-22　试推导出薄壁小孔口恒定淹没出流的流速、流量表达式。

将棱柱体形水流用隔板分成两部分（图Ⅰ-2-9），右半部水面保持恒定。隔板上有直径为$d_1=0.1$m的圆形孔口A_1，位于右半部液面下4.8m处。在左半部的侧面与前一孔口相同高度的地方，开有直径为$d_2=0.125$m的圆形孔口A_2。当水池两半部的水面稳定后，左半部水面高度及孔口出流量各为多少？

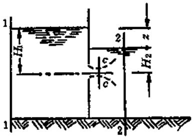
［解］　图Ⅰ-2-10中，薄壁孔口左、右两边的水头恒定，下游水位高于孔口，并把出流水



图Ⅰ-2-8



图Ⅰ-2-9



图Ⅰ-2-10

股淹没。现设左、右两边的水面分别比孔口高出H_1和H_2，取过孔口中心线的水面为基准面，对1—1和2—2两断面列出能量方程

$$H_1+\frac{v_1^{2}}{2g}=H_2+\frac{v_2^{2}}{2g}+\zeta_1\frac{v_C^{2}}{2g}+\zeta_2\frac{v_C^{2}}{2g}$$

式中 ζ_1——水流经孔口收缩的局部阻力系数；

ζ_2——突然扩大的局部阻力系数，当 $v^2\approx 0$ 时，$\zeta_2=1$，也可将 $(\zeta_1+\zeta_2)$ 称为孔口局部阻力系数；

v_C——孔口处的平均流速。

左、右两边的流速 v_1 和 v_2 可认为等于零，于是

$$H_1-H_2=(\zeta_1+\zeta_2)\frac{v_C^2}{2g}=(1+\zeta_1)\frac{v_C^2}{2g}$$

即得
$$v_C=\frac{1}{\sqrt{1+\zeta_1}}\sqrt{2g(H_1-H_2)}=\varphi\sqrt{2gZ}$$

式中 $Z=H_1-H_2$，是孔口两边的水位差；

$\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\zeta_1}}$——淹没出流的流速系数。

不难看出，此表达式与自由孔口出流的流速系数表达式完全一样。于是，流量

$$Q=A_Cv_C=\varepsilon A\varphi\sqrt{2gZ}=\mu A\sqrt{2gZ}$$

从以上推导说明：淹没出流与自由出流的流速和流量表达式是完全一样的，只是前者的有效水头 Z 应该用孔口两边液面的水位差。不仅如此，由实验证明，这两种情况下的收缩系数、流速系数和流量的数值也基本相同。

图Ⅰ-2-9中，A_1 孔出流为淹没出流，A_2 孔出流为自由出流，按题意，通过两孔口的流量应相等。于是有

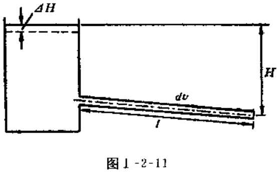
$$Q_1=\mu A_1\sqrt{2g(H_1-H_2)}$$
$$Q_2=\mu A_2\sqrt{2gH_2}$$
$$\mu A_1\sqrt{2g(H_1-H_2)}=\mu A_2\sqrt{2gH_2}$$

两边消去 $\mu\frac{\pi}{4}\sqrt{2g}$ 得 $d_1^2\sqrt{H_1-H_2}=d_2^2\sqrt{H_2}$，将 $d_1=0.1\text{m}$，$d_2=0.125\text{m}$，$H_1=4.8\text{m}$ 代入上式可解得
$$H_2=1.395\text{m}$$

$$Q_1=Q_2=\mu A_1\sqrt{2g(H_1-H_2)}=0.61\times\frac{\pi}{4}0.1^2\sqrt{2\times 9.81(4.8-1.395)}$$
$$=0.039\text{m}^3/\text{s}$$

所以，左半部液面比孔中心高出 1.39m，此时两孔出流量相等，其值为每秒 0.039m^3。

2-23 一圆柱形水箱，直径为 0.9m，通过一根 3.6m 长、50mm 直径的管道放水，管道为锐缘进口，沿程阻力系数 $\lambda=0.04$。求箱内液面从 2.4m（以通过管道出口中心为基准面）降至 1.2m 所需的时间。



图Ⅰ-2-11

［解］ 如图Ⅰ-2-11所示。设任意时刻 t 的出口水头为 H。对水箱自由表面及管道出口断面应用能量方程（因管道较短应计入局部损失），即

$$H=\frac{v^2}{2g}+\left(0.5\times\frac{v^2}{2g}+\frac{\lambda l}{d}\times\frac{v^2}{2g}\right)$$

则 $$v=\frac{\sqrt{2g}\,H^{1/2}}{\sqrt{1.5+(\lambda l)/d}}$$

式中 v——为 t 时刻管道的平均流速。

t 时刻通过管道的流量为

$$Q=Av=\frac{1}{4}\pi d^2\times v=\frac{\frac{\pi}{4}d^2\sqrt{2g}\,H^{1/2}}{\sqrt{1.5+(\lambda l)/d}}$$

由此，当 dt 时间内水位降落为 dH 时，应有 $-AdH=Qdt$

本题中 A 为常数。以 Q 值代入上式

$$dt=\frac{-A\sqrt{1.5+(\lambda l)/d}\;H^{-\frac{1}{2}}dH}{\frac{1}{4}\pi d^2\sqrt{2g}}$$

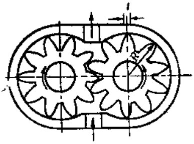
积分上式可求得水位从 H_1 降至 H_2 所需时间

$$T=-\frac{4A\sqrt{1.5+(\lambda l)/d}}{\pi d^2\sqrt{2g}}\int_{H_1}^{H_2}H^{-\frac{1}{2}}dH=\frac{8A\sqrt{1.5+(\lambda l)/d}}{\pi d^2\sqrt{2g}}\cdot(H_1^{1/2}-H_2^{1/2})$$

以 $A=\frac{1}{4}\pi\times(0.9)^2\mathrm{m}^2$，$d=0.05\mathrm{m}$，$\lambda=0.04$，$l=3.6\mathrm{m}$，$H_1=2.4\mathrm{m}$，$H_2=1.2\mathrm{m}$ 代入上式，即得出水箱水位从 2.4 m 降至 1.2 m 所需时间

$$T=\frac{8\times3.14\times(0.9)^2\sqrt{1.5+(0.04\times3.6)/0.05}}{4\times3.14\times(0.05)^2\sqrt{2\times9.81}}\times(\sqrt{2.4}-\sqrt{1.2})=138.9\,\mathrm{s}$$

2-24 某齿轮液压泵见图Ⅰ-2-12。压力 $p=140$ 个工程大气压（98066.5pa），理论流量 $Q=70\mathrm{l/min}$，泵转速 $n=1200$ rpm。齿顶圆直经 $D=78\mathrm{mm}$，齿顶厚 $t=3\mathrm{mm}$，齿宽 $b=30\mathrm{mm}$，齿顶与壳体间隙 $h=0.06\mathrm{mm}$，每个齿轮与壳体接触齿数 $Z_0=6$，油的动力粘度 $\mu=0.042$ Pa·s。试计算：(a) 齿顶与壳体的间隙的漏损量占理论流量的百分比；(b) 齿顶与壳体的最佳间隙 h_0；(c) 最佳间隙时的总功率损失。



图Ⅰ-2-12

［解］ (a) 齿顶间隙泄漏量 ΔQ_0 占理论流量 Q 的百分数

齿顶间隙为两同心圆弧的间隙。因齿顶圆齿厚较小，可采用两平行平板间隙的流量公式。齿顶间隙内油的流动，是在压出口到吸入口的压差及齿轮相对泵体转动的剪切联合作用下的流动。因速度与压差方向相反，故速度用 $-v$ 代入计算流量。

$$Q=\frac{bh^3}{12\mu l}\Delta p-\frac{bh}{2}v$$

一个齿顶的压降 $$\Delta p=\frac{p-0}{Z_0}=\frac{p}{Z_0}$$

$$v=\frac{\pi nD}{60}=\frac{3.14\times1200\times7.8}{60}=489.8\mathrm{cm/s}$$

将 $b=3\,\mathrm{cm}$，$h=6\times10^{-3}\,\mathrm{cm}$，$l=0.3\,\mathrm{cm}$，$\mu=0.042$ Pa·s，$v=489.8\mathrm{cm/s}$，$\Delta p=13.73\times10^6\mathrm{Pa}$ 代入下式

两齿轮总泄漏量 $\Delta Q_0 = 2\left(\frac{bh^3}{12\mu l}\frac{p}{Z_0} - \frac{bh}{2}v\right)$

$$\Delta Q_0 = 2\left(\frac{3\times(6\times10^{-3})^3}{12\times0.042}\times\frac{13.73\times10^6}{6\times0.3} - \frac{3\times6\times10^{-3}}{2}\times489.8\right) = 10.8\text{cm}^3/\text{s}$$

$Q = 70\ \text{l/min} = 1166.7\text{cm}^3/\text{s}$;

$$\frac{\Delta Q_0}{Q} = \frac{10.8}{1166.7} = 0.93\%$$

(b) 齿顶与壳体间的最佳间隙 h_0

总功率损失 (N) = 摩擦功率损失 (N_f) + 漏损功率损失 (N_0)。如 N 最小则间隙 h 最佳。

$$N_f = T_0 v = \tau_0 btZ_0 v$$

式中 $\tau_0 = \tau_y = 0$ 由式 (2-44)

$$\tau = \left[\frac{\mu v}{h} - \frac{\Delta p}{l}\left(y - \frac{h}{2}\right)\right]_{y=0}, \quad \tau_0 = \frac{\mu v}{h} + \frac{\Delta p}{2l}h; \quad l = tZ_0$$

阻止齿轮运动的摩擦力所引起的功率损失 (N_f) 为

$$N_f = \left(\frac{\mu v}{h} + \frac{\Delta ph}{2tZ_0}\right)btZ_0 v = \frac{btZ_0\mu v^2}{h} + \frac{\Delta phbv}{2}$$

间隙漏损的功率损失 (N_0) 为

$$N_0 = \Delta p\times Q = \Delta pb\left(\frac{\Delta ph^3}{12\mu l} - \frac{hv}{2}\right) = \frac{\Delta p^2bh^3}{12\mu tZ_0} - \frac{\Delta pbhv}{2}$$

则 $N = \frac{btZ_0\mu v^2}{h} + \frac{\Delta pbv}{2} + \frac{\Delta p^2bh^3}{12\mu tZ_0} - \frac{\Delta pbhv}{2} = b\left(\frac{tZ_0\mu v^2}{h} + \frac{\Delta p^2h^3}{12\mu tZ_0}\right)$

使 $\frac{dN}{dh} = 0$，即可获得使 N 最小的最佳间隙 h_0

$$\frac{dN}{dh} = -\frac{\mu tZ_0 v^2}{h_0^2} + \frac{\Delta p^2 h_0^2}{4\mu tZ_0} = 0$$

$$\frac{\Delta p^2 h_0^4 - 4\mu^2 t^2 Z_0^2 v^2}{4\mu tZ_0\ h_0^2} = 0$$

即 $\Delta p^2 h_0^4 = (2\mu tZ_0 v)^2$

故 $$h_0 = \sqrt{\frac{2\mu vZ_0 t}{\Delta p}} = \sqrt{\frac{2\times0.042\times489.8\times6\times0.3}{13.73\times10^6}} = 0.0023\ \text{cm}$$

(c) 最佳齿顶间隙的总功率损失

$$N = b\left(\frac{tZ_0\mu v^2}{h} + \frac{\Delta p^2h^3}{12\mu tZ_0}\right)$$

$$= 3\times10^{-2}\left(\frac{3\times10^{-3}\times6\times0.042\times4.898^2}{6\times10^{-5}} + \frac{13.73^2\times10^{12}\times(6\times10^{-5})^3}{12\times0.042\times3\times10^{-3}\times6}\right) = 143.7\text{W}$$

2-25 输水管长为 1200m，水在管中的初始流速为 1.8m/s，若在 1 秒钟内关闭管路的出水阀门，管中水作匀减速运动。假定管壁为绝对刚性，水为不可压缩流体，试根据动量的变化计算阀门处断面的压力增值。

〔解〕 已知初速 $v_0=1.8\text{m/s}$，关阀时间 $T_s=1\text{s}$，则在关闭阀门的1秒钟内管中水的速度变化率为

$$a=\frac{0-v_0}{T_s}=-v_0\ (\text{m/s}^2)$$

管中水的质量 $m=\rho AL$

式中 A ——管道横断面面积；

L——管道长度。

根据动量定理：

阀门作用于水体上的力 = 动量变化率

即 $$P'=\rho ALa$$

则水体作用于阀门上的力为 $P=-P'$，即

$$P=-\rho ALa$$

代入 $\rho=1000\text{kg/m}^3$，$L=1200\text{m}$，$a=-v=-1.8\text{m/s}^2$，即可得出由于阀门突然关闭所引起的压力增值

$$p=\frac{P}{A}=-\rho La=-(1000\times1200)\times(-1.8)=2160\text{kN/m}^2=2.16\times10^6 p_a$$

2-26 叙述如何用压力计或测压管来测量液体的压力。若用测压管测量输油管道中的压强，已知测压管中液面比管道中心高出 1.2 m，油液的密度为 640 kg/m^3，求管道中心处的压力 p（用牛顿/米²表示），见图 I-2-13。(题后括号内为答案，下同)

(7.53kN/m^2)

2-27 直径为 125cm 的圆板倾斜地浸没在水中，最高点在水面下 60cm，最低点在水面下 150cm，求水作用于此圆板上的总压力及压力中心的淹没深度。见图 I-2-14。

(12.639kN；1.098m)

2-28 比重计重 0.3N，其底球直径 $D=3\text{cm}$，管外径 $d=1.5\text{cm}$（图 I-2-15）。将此比

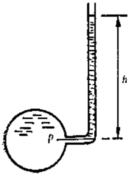


图 I-2-13

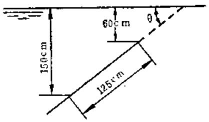


图 I-2-14

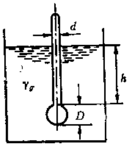


图 I-2-15

重计放入汽油中，汽油的重度为 $\gamma_g=720\times9.81\text{N/m}^3$，求此比重计浸沉在汽油中的深度 h_1。又，若将此比重计放入煤油中，此时的浸沉深度 $h_2=15\text{cm}$，求煤油的重度 γ_k。

(16cm；7384N/m^3)

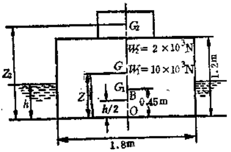
2-29 有一直径为 1.8m 的圆柱浮筒，高 1.2m，重 10000N，浮在密度为 1025 kg/m^3 的海水上。浮筒重心离底的高度为 0.45m。现将一重 2×10^3N 的载荷正放于浮筒的顶部(见图 I-2-16)，假若浮筒加上此载荷后仍然保持稳定平衡，则载荷重心离浮筒底部的最大允许高

度 Z_2 是多少？ (1.746m)

2-30 有一90°异径管，水流从Ⅰ处流进，流速 $v_1=6m/s$，从Ⅱ处流出。Ⅰ、Ⅱ处的管内径分别为 $D_Ⅰ=0.2m$，$D_Ⅱ=0.1m$，其压力分别为 $p_1=14\times10^5Pa$，$p_2=12\times10^5Pa$（均指绝对压力）。管周围的大气压力为 $p_a=1.013\times10^5Pa$，水的密度取1000 kg/m^3。求水流经此管的动量变化率以及流体对此弯管的作用力。见图Ⅰ-2-17。

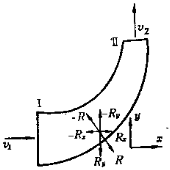
（x方向：-1131N、y方向：4524N；

R：47216N）

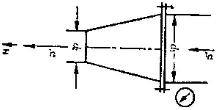


图Ⅰ-2-16

2-31 在水管的一端接上一个喷嘴，喷嘴出口直径 $d_1=50mm$，出口直径 $d_2=25mm$。喷嘴与管之间靠法兰用四个螺栓连接。喷嘴入口处的表压力为2个工程大气压（2×98066.5 Pa），流量 $Q=0.005m^3/s$，求每个螺栓所受到的拉力。见图Ⅰ-2-18。(86.75N)



图Ⅰ-2-17



图Ⅰ-2-18

2-32 动力粘度μ为$0.048N/m^2\cdot s$的油以0.3m/s的平均速度流经直径为18mm的管子，试计算通过45m长的管子所产生的压力降，并求在距离管壁3mm处的流速。已知油的密度ρ为$900kg/m^3$。

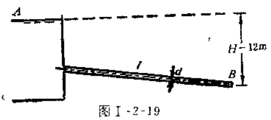
$(64\times10^3N/m^2$；$0.333m/s)$

2-33 用直径 $d=20cm$，长度 $L=3000m$ 的旧钢管（$\Delta=0.19mm$）输送石油，已知石油密度 $\rho=900\ kg/m^3$，若流量为每小时100t，石油的平均运动粘度在冬季 $\nu=1.092\ cm^2/s$，夏季 $\nu=0.355\ cm^2/s$，求其沿程水头损失。

〔冬季：26.3m（油柱）；夏季：27.1m（油柱）〕

2-34 截面积为 $0.093m^2$ 的水管，通过流量为 $0.283m^3/s$ 的水，其面积突然扩大到 $0.377m^2$，若小管中的压力为 $4.8kN/m^2$，求(a)扩大的能头损失；(b)扩大后大管中的压力；(c)使水经过扩大段所需要的功率。

（0.267m（水柱）；$6.53kN/m^2$；0.741kW）



图Ⅰ-2-19

2-35 直径为100mm长为450m的管道自水库取水泄入大气中，管道出口比水库水面低12m，沿程阻力系数 $\lambda=0.04$。求流量，见图Ⅰ-2-19。

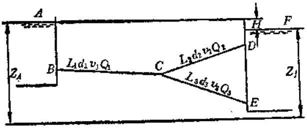
$(8.96\times10^{-3}m^3/s)$

2-36　两水池的水位差为6m，用一组管道连接，管道的第一段BC长3000m，直径600mm，C点后分为两根各长3000m、直径300mm的并联管，各在D点及E点进入下水池。设管道的沿程阻力系数$\lambda=0.04$。问总流量为若干？见图Ⅰ-2-20。

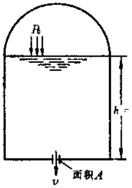
(0.072m³/s)

2-37　贮液箱中水深保持为$h=1.8$m，液面上的压力$p_0=70$kN/m²（相对压力），箱底开一孔，孔直径$d=50$mm。若流量系数$\mu=0.61$，求用此底孔排水时的出流量，见图Ⅰ-2-21。

(0.0159m³/s)



图Ⅰ-2-20



图Ⅰ-2-21

2-38　图Ⅰ-2-22中的管嘴是向上开口的，由保持恒定水头的大水箱供水，液流通过此管嘴向上喷出成喷泉。若水流流过此管嘴的能头损失为实际出流速度头的20%，并假定水箱中液面比管嘴出口面高出$z_0=5$m，求此管嘴的出流速度以及此水流可达到的高度。

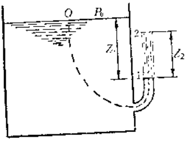
(2.859m/s；4.167m)

2-39　一垂直圆柱形水箱内的水通过一底部孔口泄出。试导出泄空水箱内全部水体所需时间的表达式。设水箱直径为1.8m，底部孔口直径为50mm，若放空2.8m³水体所需时间为395s，求初始时刻箱内水位离箱底的高度，孔口流量系数$\mu=0.6$。图Ⅰ-2-23。

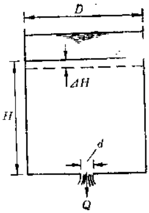
(2.44m)

2-40　一圆柱形水箱，直径$D=1.8$m，顶部开启与大气相通；水流通过一条长$l=30$m、直径$d=50$mm的水平管道从底部流入水箱；管道的另一端与水泵相连，由水泵供水，并在水泵出口处保持45kN/m²的计示压力。求使水箱水位从管道入口以上的0.9m升至1.8m所需的时间。设沿程阻力系数$\lambda=0.04$。见图Ⅰ-2-24。

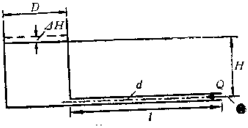
(717.4s)



图Ⅰ-2-22



图Ⅰ-2-23



图Ⅰ-2-24