

液压传动 思考与分析

余大江 编 吴克晋 审阅

国铁道出版社



液 压 传 动 思 考 与 分 析

余大江 编

吴克晋 审阅

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 7 年 · 北 京

内 容 简 介

本书是液压传动课程的教学辅导读物。为帮助读者灵活地掌握液压传动中的基本概念，避免冗长的计算，在编写形式上吸取了英文“托福”试题的特点。

全书分七章，共收集例题 291 个。大部分习题属于选择判断题，全部习题均有答案，并有说明或题解。书中大部分内容来自全国四十余所高校的液压传动课的试题和习题，一些内容来自生产上的实际问题。

本书可供大专院校、电视大学、业余大学机械专业学生使用，也可供工程技术人员在设计液压回路时参考。

液 压 传 动 思 考 与 分 析

余大江 编

吴克晋 审阅

中国铁道出版社出版

责任编辑 宋黎明 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13.125 字数：328 千

1987年5月 第1版 第1次印刷

印数：0001—6,500册 定价：2.45元

前 言

随着科学技术的迅猛发展，液压技术已在国民经济的各个部门中得到广泛的应用。液压传动课程已成为机械专业的一门必修课。随着教学改革的深入发展，各高校逐步实行学分制、自由听课制，各地电视大学、业余大学蓬勃发展，这样对教材的习题和例题也提出了新的要求。为了搞好启发式的教学辅导工作，帮助学生掌握课程的基本内容、基本理论和基本方法，特此编写了这本习题集。为帮助读者灵活地掌握液压传动中的基本概念，并避免冗长的计算，在编写形式上吸取了英文“托福”试题的特点。书中采用了大量的选择判断题，并留有空格，以便于读者边判断边阅读，并可在短期内对各类题有一个深刻的印象。

全书共七章计291个例题，全部习题均有答案，有些习题还附有说明或题解。这本书的大部分原始资料来自全国四十余所高等院校的液压传动课的试题和习题。另外一些资料来自生产上的实际问题，对某些在高校流行的、答案上尚有争议的习题为慎重起见，编者做了实验验证。部分习题在浙江工学院进行了试用。

本书可作为液压传动课程的教学参考资料或习题课讲义，并适合大专院校、电视大学、业余大学机械专业学生自学，也可供工程技术人员使用。考虑到读者水平的不同，习题分成三类：（1）习题序号无任何标记的，适合目前大专学生使用。（2）习题序号的右上角带“*”的，仅适用大学本科机械专业学生使用。（3）带有“**”的习题，可供有兴趣的学生提高使用。

本书由北京工业学院吴克晋老师审阅修定。在编写过程中，得到北方交通大学范振武、南京工学院章宏甲等老师的帮助。许多院校提供了宝贵资料，在此表示衷心的感谢。

由于本人业务水平较低，书中的错误和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

一九八五年三月

目 录

第一章 液压流体力学基础	1
§ 1—1 液 压 油.....	1
§ 1—2 静止流体力学.....	3
§ 1—3 液体流动中的一些基本概念.....	13
§ 1—4 伯努利方程.....	17
§ 1—5 动量定理.....	27
§ 1—6 沿程损失和局部损失.....	39
§ 1—7 孔口出流.....	50
§ 1—8 缝隙流动.....	56
§ 1—9 液压冲击.....	65
第二章 液压泵和液压马达	68
§ 2—1 基本概念和术语.....	68
§ 2—2 功率、转矩及效率的计算.....	73
§ 2—3 齿轮泵和齿轮马达.....	79
§ 2—4 双作用式叶片泵和液压马达.....	83
§ 2—5 变量叶片泵.....	85
§ 2—6 柱塞泵和柱塞液压马达.....	88
§ 2—7 各种泵之间的一些差异.....	90
第三章 液 压 缸	94
§ 3—1 活 塞 缸.....	94
§ 3—2 柱塞缸及摆动缸.....	100
§ 3—3 液压缸的结构.....	102
§ 3—4 静态和动态特性估算.....	104
第四章 液 压 阀	107
§ 4—1 方向控制阀.....	107
§ 4—2 压力控制阀.....	110
§ 4—3 流量控制阀.....	114
第五章 速度控制回路	118
§ 5—1 节流阀调速回路.....	118
§ 5—2 调速阀调速回路.....	126
§ 5—3 容积调速回路.....	131
§ 5—4 容积节流调速回路.....	136
第六章 压力控制回路	141
§ 6—1 调压回路.....	141

§ 6—2	卸荷回路	144
§ 6—3	蓄能器回路	146
§ 6—4	减压回路	148
§ 6—5	平衡回路和锁紧回路	154
§ 6—6	增压和增力回路	161
§ 6—7	卸压回路	163
§ 6—8	顺序回路	164
第七章	其它基本回路	174
§ 7—1	差动回路	174
§ 7—2	增速缸式回路	177
§ 7—3	双泵供油回路	181
§ 7—4	速度换接回路	187
§ 7—5	换向回路	195
§ 7—6	同步回路	197
§ 7—7	多缸回路的互锁和干涉	201
主要参考文献	204

第一章 液压流体力学基础

§ 1—1 液 压 油

1—1 我国油液牌号与50°C时的平均粘度有关系, 如油的密度 $\rho=0.9\text{g/cm}^3$, 试回答以下几个问题:

- 1) 30号机油的平均运动粘度为 () m^2/s ;
- 2) 30号机油的平均动力粘度为 () $\text{Pa}\cdot\text{s}$;
- 3) 在液体静止时, 40号机油与30号机油所呈现的粘性哪个大 ()。

答: 1) $30 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$; 2) $27 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$; 3) 均不呈现出粘性。

【说明】我国油液牌号以50°C时平均运动粘度的厘斯数来确定, 采用国际单位后则写成 $30 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 其对应的动力粘度可利用关系式:

$$\begin{aligned}\mu &= \rho\gamma = 900\text{kg/m}^3 \times 30 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s} = 27 \times 10^{-3}\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}) = 27 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \\ &= 27 \times 10^{-3}\text{N}(\text{m}^2\cdot\text{s}) = 27 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

1—2 20°C时水的运动粘度为 $1 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 密度 $\rho_{\text{水}}=1000\text{kg/m}^3$; 20°C时空气的运动粘度为 $15 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 密度 $\rho_{\text{空气}}=1.2\text{kg/m}^3$; 试比较水和空气的粘度:

- (A) 水的粘性比空气大;
- (B) 空气的粘性比水大。

答: (A)。

【说明】流体粘性是流体对于剪切力所表现的一种抵抗作用, 动力粘度 μ 是衡量液体粘性的指标, μ 表示流体在单位速度梯度下流动时, 单位面积上产生的内摩擦力。运动粘度 ν 无特殊物理意义, 它仅是 μ/ρ 的表示法。就物理意义来说, ν 不是一个粘度的量, 因此对于不同介质的流体要比较粘性的大小, 只能用动力粘度 μ 来比较。

$$\begin{aligned}\mu_{\text{水}} &= 1000 \times 1 \times 10^{-6} = 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s} \\ \mu_{\text{空气}} &= 1.2 \times 15 \times 10^{-6} = 18 \times 10^{-6}\text{Pa}\cdot\text{s}\end{aligned}$$

故水的粘度比空气大。

1—3 粘度指数高的油, 表示该油 ()。

- (A) 粘度较大;
- (B) 粘度因压力变化而改变较大;
- (C) 粘度因温度变化而改变较小;
- (D) 粘度因温度变化而改变较大;
- (E) 能与不同粘度的油液混合的程度。

答: (C)。

1—4* 液体体积压缩系数的倒数, 称为液体的体积弹性模量, $K = -\frac{V \Delta p}{\Delta V}$ 。当油从

标准大气压开始加压时，随着压力升高，液压油的体积模量 K 与压力的关系应符合下述（ ）的规律。

(A) 压力加大时 K 值增大，但其变化不呈线性关系，当压力超过某一值后， K 值基本上不再加大；

(B) 油是不可压缩的， K 值是一个基本不变的恒值；

(C) 在体积模量表达式中出现负号，表示压力增大时 K 值减小；

(D) 压力加大时 K 值增大，其变化呈线性关系。

答：(A)。

【说明】油在低压时，随着压力增大体积减小，公式中出现负号，表明体积模数 K 值始终正值。但 K 值并非常数，只有满足 $p \geq 30 \times 10^5 \text{Pa}$ 的条件下， K 值可视为常数，该压力对应的体积模量折算系数 $\lambda_K \approx 1$ 。

1—5* 溶解在油中的空气含量增加时，液压油的等效体积弹性模量（ ）。但混入油中的空气含量增加时，液压油的等效体积弹性模量（ ）。

(A) 增大；(B) 减小；(C) 基本不变。

答：(C)；(B)。

1—6* 试讨论下述情况时，液压油的等效体积弹性模量 K 值会发生什么变化：

1) 某一液压系统中，在一个大气压时测定油中混入1%体积的空气，当系统压力增加至 $50 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，液压油的等效体积弹性模量将（ ）；

2) 某一液压系统中，在一个大气压时测定油中含有5%的溶解空气，如系统先采用放气和空载循环的方法来排除空气，然后再将压力上升至 $50 \times 10^5 \text{Pa}$ ，液压油的等效体积弹性模量将（ ）。

(A) 增大；(B) 减小；(C) 基本不变。

答：1) (A)；2) (A)。

【说明】对于第一种情况，压力增加后，纯液压油的体积模量要增大，此外一部分混在油中的空气将溶解到油中，混入空气的减少也使得等效体积弹性模量增大。对第二种情况，系统通过放气和循环是不能减少溶解在油中的空气含量的，而且溶解在油中的含气量并不影响 K 值的大小。但是压力从大气压上升到 $30 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，液压油的 K 值将随压力升高而增大，超过 $30 \times 10^5 \text{Pa}$ 后 K 值才基本不变，因此压力从大气压上升到 $50 \times 10^5 \text{Pa}$ 的整个过程中， K 值是增大的。

1—7* 有一钢管里充满液压油，已知该油中混入空气的含量为1%，溶入空气的含量为4%，钢管的内径为 d 、壁厚为 δ ，纯油的体积模量为 K ，钢的杨氏模量为 E ，空气的体积模量为 K_a ，若求液压油的等效体积模量 K' 时可选用下述（ ）关系式。

(A) $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{1}{E} + \frac{1}{K_a}$

(B) $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{d}{E\delta} + \frac{1}{100K_a}$

(C) $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{1}{E} + \frac{1}{100K_a}$

(D) $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + \frac{1}{E} + \frac{5}{100K_a}$

答：(B)。

【说明】钢管的体积弹性模量 K_c 可按材料力学金属薄壁圆筒公式考虑， $K_c = \frac{E\delta}{d}$ ；溶

解的空气含量对油的等效体积模量不发生影响，故只需考虑1%的混入空气即可。

1—8 在一定温度下，如油压低于某个值时，油中溶解得过饱和的空气将迅速从油中分离出来，产生大量气泡，这个压力称为空气分离压，空气分离压比饱和蒸汽压要高。某矿物油的空气分离压在手册上查得为100毫米水银柱高，该压力系指（ ）。

(A) 绝对压力；(B) 压力表压力；(C) 真空度。

答：(A)。

【说明】空气分离压和蒸气饱和压一般均用绝对压力来表示。

1—9 油的抗乳化性，系指油中虽混有水分，但能迅速（ ）的性质。

(A) 溶解；(B) 分离；(C) 混合；(D) 乳化；(E) 相容。

答：(B)。

§ 1—2 静止流体力学

1—10 图1—1所示密封油箱分别与两个水银测压管相连，油箱上部充气，各液面的高度如图所示。

1) 在油箱右侧选取三个水平面A—A，B—B，C—C，其中（ ）为等压面；

2) 试比较同一水平线上的1，2，3，4，5各点的压强的大小。

答：1) A—A；2) $p_3 = p_4 > p_1 = p_2 > p_5$ 。

【说明】静止液体内等压面是水平面这一结论，只能适用于互相连通的同一种液体。对于图示B—B、C—C两个水平面，由于每个水平面分别穿过了两种不同的液体，它们不是等压面。对于A—A水平面，恰好是两种介质的分界面，分界面以下为互相连通的同一种液体，故为等压面。

由于空气重量很小，油箱上部空气的压力处处相同 $p_2 = p_0$ ；

1—2液面为互相连通的同种液体 $p_1 = p_2 = p_0 + h_1 \gamma_{Hg}$ ；

3—4液面为互相连通的同种液体 $p_3 = p_4 = p_0 + h_3 \gamma$ ；

根据静力平衡方程 $p_5 = p_4 + h_5 \gamma_{Hg}$ ；

由图可知 $h_1 > h_5$ ，比较上述4个公式得

$$p_3 = p_4 > p_1 > p_5$$

油箱上部空气压力 $p_0 = p_2 + h_1 \gamma_{Hg}$ 其表压力为 $h_1 \gamma_{Hg}$ 。

1—11 如图1—2所示，在初始时刻，封闭水箱中的水面高度2与筒体1，管3、4的水面高度均相同，筒1可以升降，借以调节箱中水面压强（筒1直径远小于箱体，故筒1升降时容积变化可以忽略不计）。

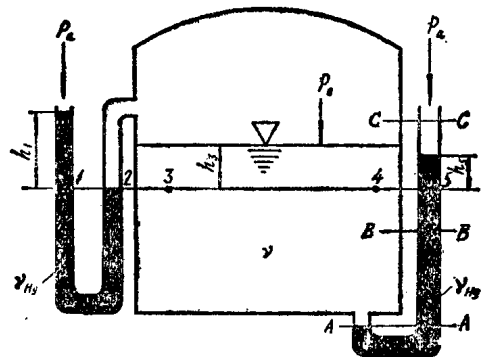


图 1—1

- 1) 如将筒1上升一定高度后, 试分析各液面的位置哪点最高, 哪点最低;
- 2) 筒1位置上升后, 试比较图示同一水平线上的 a, b, c, d 四点的压力大小;
- 3) 如将筒1下降到初始位置以下的高度, 图示各液面的位置将发生什么变化。

答: 1) $h_1 = h_3 > h_2 = h_4$; 2) 相同; 3) 不变。

【说明】1) 筒1升高后液面也随着升高, 液面为大气压的管3也升高同样高度, 1、3两液面始终等高。筒1升高后对箱体內的液体产生一个附加压力, 使上部的气体压缩, 由于箱体2与管4液面受到相同的压缩气体压力, 互相又连通, 故两液面在同一水平面上(即近似初始时刻的箱体液面)。

$$h_1 = h_3 > h_2 = h_4。$$

2) 图示 a, b, c, d 四点的静止液体, 满足连通、同种介质、同一高度的条件, 故

$$p_a = p_b = p_c = p_d。$$

3) 筒体下降一定距离后, 由于筒体液面始终为大气压, 根据受力平衡原理, 在箱体液面高度和上部气体作用下, 筒体液面将恢复到初始时刻的高度, 因此

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4。$$

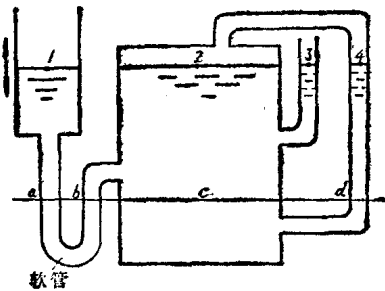


图 1-2

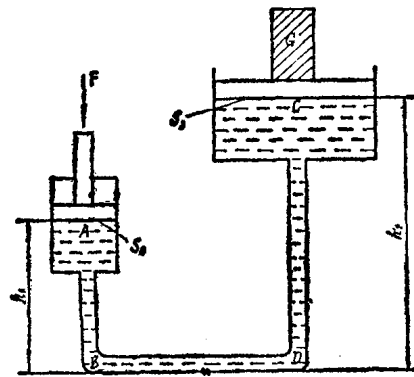


图 1-3

1-12 图1-3所示的两个液压缸活塞面积分别为 S_1, S_2 , 由管路连通, 小活塞在力 F 作用下, 与大活塞的负载 G 平衡。试判断下列哪几种解答是正确的:

(A) $p_A = \frac{F}{S_1}, p_B = h_1\gamma + p_A, p_C = \frac{G}{S_2}, p_D = h_2\gamma + p_C;$

(B) $p_A = p_B = p_C = p_D;$

(C) $p_A = \frac{F}{S_1} = p_B = p_D, p_C = \frac{G}{S_2};$

(D) $p_A = \frac{F}{S_1}, p_B = \frac{F}{S_1} + h_1\gamma = p_D, p_C = \frac{F}{S_1} - (h_2 - h_1)\gamma。$

答: (A)、(D)。

【说明】静止液体中的压力处处相等系指 $h\gamma$ 项略去不计, 实际上只有位于同一液面高度的液体静压力才能相等, 位置越高, 压力越低。

故 $p_B = p_D > p_A > p_C$

对于 C 点的压力, 由于比 A 点位置高 $(h_2 - h_1)$, 也可以用下式表示:

$$p_c = p_A - (h_2 - h_1)\gamma = \frac{F}{S_1} - (h_2 - h_1)\gamma$$

1-13 图示 1-4 所示为两液压缸内充满油液，缸的体积 V 和缸体自重 G 均相等，柱塞与缸之间的摩擦力不计。 $h_1 < h_2$ ，柱塞端面处压力分别为 p_{A1} 、 p_{A2} ，缸体顶端处压力为 p_{B1} 、 p_{B2} 。试比较下述压力的大小（填 $>$ 、 $<$ 、 $=$ ）。

1) (p_{A1} p_{A2}) ; 2) (p_{B1} p_{B2}) 。

答：1) $p_{A1} = p_{A2}$; 2) $p_{B1} > p_{B2}$ 。

【说明】因为所有的力都作用在柱塞端面上，合力相同，面积也相同，故

$$p_{A1} = p_{A2} = \frac{\Sigma F}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{V\gamma + G}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

由静压方程可知

$$p_{B1} = p_{A1} - h_1\gamma \quad p_{B2} = p_{A2} - h_2\gamma$$

因为 $h_1 < h_2$ ，故 $p_{B1} > p_{B2}$

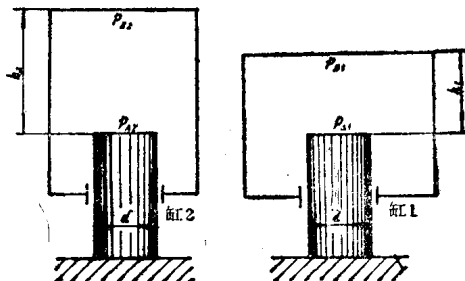


图 1-4

1-14 某容器在不同高度位置 A 和 B 处分别装有两根测压管，容器的总液面高 H 始终不变，如注入两种不同重度液体的数量不同，图 1-5 为两液面分界线在测压点 B 点上面的情况，图 1-6 为两液面分界线在 A' 、 B' 点之间的情况。试分别比较两图中总液面高度 H ，测压管 A 液面高度 h_A 及测压管 B 液面高度 h_B 三者的大小关系。

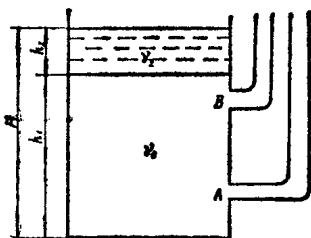


图 1-5

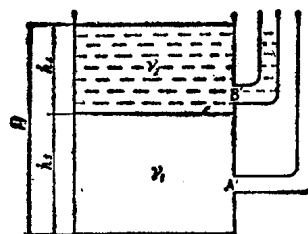


图 1-6

答：图 1-5： $H > h_A = h_B$ ；

图 1-6： $H = h'_B > h'_A$ 。

【说明】图 1-5 取 h_1 高度为等压面，列平衡方程得：

$$(h_A - h_1)\gamma_1 = (h_B - h_1)\gamma_1 = h_2\gamma_2$$

由图可知 γ_2 的介质在容器上部， $\gamma_1 > \gamma_2$ ，故

$$h_A = h_B = h_1 + h_2 \frac{\gamma_2}{\gamma_1} < H$$

图 1-6：测压管 B' 始终充满 γ_2 液体，故 $h'_B = H$ 取 h_3 高度为等压面，列平衡方程得：

$$(h_{A'} - h_3)\gamma_1 = h_4\gamma_2$$

$$h_{A'} = h_3 + h_4 \frac{\gamma_2}{\gamma_1} < h_3 + h_4 = H$$

故

$$H = h'_B > h_{A'}$$

1-15 在液压系统中安装一复式水银测压计, 如图 1-7 所示。试比较 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 各点的压力大小。

答: $p_4 > p_3 = p_2 > p_1$

【说明】取 $a-a$ 面为等压面, 因 $\gamma_{Hg} > \gamma$, 则 $p_4 > p_3$; 取 $b-b$ 面为等压面, 因 $\gamma_{Hg} > \gamma$ 则 $p_2 > p_1$; p_2 与 p_3 在同一水平线, 是等压面, $p_2 = p_3$ 。

1-16 如图 1-8 所示的测压装置, 假定容器 A 中水面上的表压力 $p_M = 0.245 \times 10^5 \text{ Pa}$, $h_1 = 500 \text{ mm}$, $h = 200 \text{ mm}$, $h_2 = 100 \text{ mm}$, $h_3 = 300 \text{ mm}$, 水的重度 $\gamma_1 = 9810 \text{ N/m}^3$, 酒精的重度 $\gamma_2 = 7840 \text{ N/m}^3$, 水银的重度 $\gamma_3 = 134000 \text{ N/m}^3$, 试求 B 容器中空气的压力 p_B 。

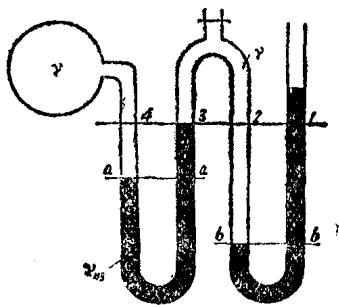


图 1-7

解: 水平面 1-1, 2-2, 3-3 分别满足连通和同一种液体的条件, 均为等压面。然后在图示四个不同介质的交界面上, 依次列静压力平衡方程。

等压面 1-1 表压力

$$p_1 = p_M + \gamma_1(h + h_1)$$

等压面 2-2 的表压力: 应比等压面 1-1 小 $\gamma_3 h_1$

$$p_2 = p_1 - \gamma_3 h_1 = p_M + \gamma_1(h + h_1) - \gamma_3 h_1$$

等压面 3-3 的表压力: 应比等压面 2-2 大 $\gamma_2 h_2$

$$p_3 = p_2 + \gamma_2 h_2 = p_M + \gamma_1(h + h_1) - \gamma_3 h_1 + \gamma_2 h_2$$

分界面 4 的表压力: 应比等压面 3-3 小 $\gamma_3 h_3$

由于空气的重度小, 故容器 B 中的表压力即为分界面 4 的表压力:

$$\begin{aligned} p_B = p_4 &= p_3 - \gamma_3 h_3 = p_M + \gamma_1(h + h_1) + \gamma_2 h_2 - \gamma_3(h_1 + h_3) \\ &= 24500 + 9810 \times (0.5 + 0.2) + 7840 \times 0.1 - 134000 \times (0.2 + 0.3) \\ &= -34850 \text{ N/m}^2 \approx -0.35 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

容器中的表压力值为负, 说明 B 容器存在着真空, 其真空度近似为 $0.35 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

1-17 有人要对相当长的地基进行平整, 为测地基平面是否水平, 他采用一根橡皮管, 如图 1-9 所示那样在两端各插一根玻璃管, 并把水注入。他所依据的原理是两玻璃管内液面总是在同一水平面上的, 这就构成一个水准仪, 若两根玻璃管的液面到地面的高度

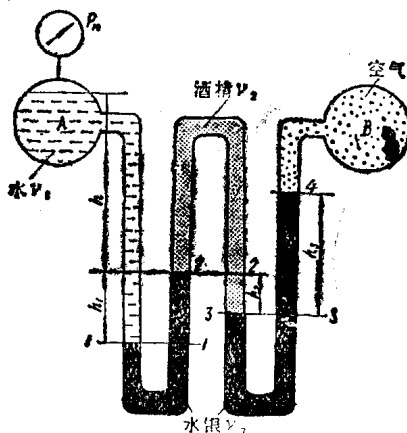


图 1-8

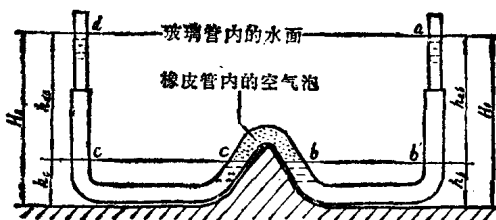


图 1-9

是相同的, $H_1 = H_2$, 则说明该两点的地基平面处在同一水平上。现在管内存留一段空气泡, 有人认为这段空气泡对两端玻璃管内水平高度的读数没有影响, 而另一人则说这会引起测量的严重不准 (天然障碍物的最高点, 不得超过玻璃管内的水面), 试分析哪种说法是对的。

解: 1) 当管内有空气泡后, 构成水平仪的条件:

在橡皮管最高点两侧, 取等压面 $b-b'$ 和 $c-c'$, 空气重量不计, 等压面上的压力分别为

$$p_b = h_{ab}\gamma; \quad p_c = h_{dc}\gamma$$

因空气泡内压力是相同的, $p_b = p_c$, 所以橡皮管最高点两侧液面的高度差也是相同的, $h_{ab} = h_{dc}$ 。

从图中可知, $H_1 = h_{ab} + h_b$, $H_2 = h_{dc} + h_c$ 。

如果两地玻璃管内的液面到地面高度相等, 位于同一水平面, $H_1 = H_2$, 则

$$h_{ab} + h_b = h_{dc} + h_c$$

即

$$h_b = h_c$$

这就是管内有空气泡后, 仍可构成水平仪的条件: 与空气泡两端接触的液面 b 点和 c 点应处在同一水平面。

2) 测量时如 b 点和 c 点液面不在同一水平面的情况:

与管内空气泡接触的液面 b 和 c 点, 无论是否在同一高度, 两点压力始终是相等的, 两点到液面的高度也总是相等的, $h_{ab} = h_{dc}$, 这是一种随遇平衡, 因此当初始时刻 b 点和 c 点液面不在同一水平面即 $h_b \neq h_c$ 时, 则

$$h_{ab} + h_b \neq h_{dc} + h_c$$

即

$$H_1 \neq H_2$$

公式表示如果橡皮管内存留一段空气泡, 两玻璃管液面并非在同一水平面, 因而用两液面到地面高度是否相等来判断地基水平程度的方法是不可取的, 其测量误差取决于空气泡 b 点和 c 点两液面的高度差。因此, 用此法时管内不应有空气泡。

1—18** 为了精确测定重度为 γ 的液体中 A 、 B 两点的微小压差, 特设计图 1—10 所示的微压计。测定时的各液面差 H 、 a 、 b 分别如图所示。试求 γ 与 γ' 的关系及同一高度的容器 A 、 B 两点的压差。

解: 取等压面 1—1, 3—3, 4—4, 并设等压面 1—1 右侧到 g_1 的距离为 x_1 , 等压面 3—3 右侧到 g_2 的距离为 x_2 , 与空气接触的两个面 g_1 、 g_2 压力分别为:

$$p_{g1} = p_1 - x_1\gamma$$

$$p_{g2} = p_3 + x_2\gamma$$

因空气重度可以忽略不计, 空气段的压力均视为相同

$$p_3 + x_2\gamma = p_1 - x_1\gamma$$

$$p_3 = p_1 - (x_1 + x_2)\gamma = p_1 - (b - a)\gamma$$

又由等压面 3—3 左侧, 可得 p_3 与 p_1 的另一关系式

$$p_3 = p_1 - b\gamma'$$

将上式代入得

$$b\gamma' = p_1 - p_3 = (b - a)\gamma$$

$$\gamma' = \left(1 - \frac{a}{b}\right)\gamma$$

由等压面 4—4 可得两容器的压差

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_A - p_B = H(\gamma - \gamma') \\ &= H\left(1 - \frac{b - a}{b}\right)\gamma = \frac{a}{b}\gamma H \end{aligned}$$

1-19 图示 1-11 所示 U 型测压计中, 我们可知容器 A 中具有真空度。第一次测量时, 当地的大气压 p_1 为 1 个标准大气压, 测压计所示水银高度为 h ; 第二次测量时, 当地的大气压 p_2 比 1 个标准大气压要小, 测压计所示水银高度仍为 h 。从两次测量结果中, 试判断:

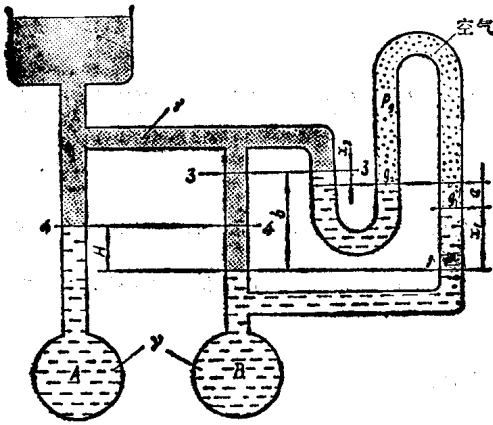


图 1-10

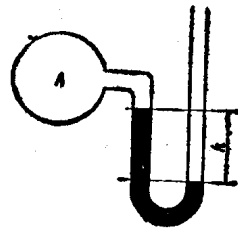


图 1-11

- 1) 第一次测量时, 容器 A 中具有真空度比第二次测量时容器所具有的真空度要 () ;
- 2) 第一次测定时, 容器中的绝对压力比第二次测量时容器具有的绝对压力要 () 。
(A) 大; (B) 小; (C) 相等。

答: 1) (C); 2) (A)。

【说明】真空度实质就是负表压力, 是相对压力。在两次测量中, 其值均为 h 水银柱高, 所以两次测量所得真空度是相等的。

真空度 = 当地大气压 - 绝对压力 (当 $p < p_0$)

绝对压力 = 当地大气压 - 真空度

由题意, 第一次测定时, 当地大气压比较高, 故第一次测定时, 容器中的绝对压力相应要大一些。

1-20 当用 U 型测压计测量容器 A 的真空度时 (见上题图示), 下列提法中哪些是正确的。

- (A) 只有在容器 A 的压力为标准大气压时, 真空度恰为零;

- (B) 只有在容器A的压力为当地大气压时，真空度恰为零；
- (C) 容器中可能达到的真空度的最大数值为1个标准大气压；
- (D) 容器中可能达到的真空度的最大数值为当地大气压；
- (E) 在标准大气压下，容器中可能达到的真空度的最大数值为零，最小数值为 $-1.033 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

答：(B)、(D)。

1—21 如图1—12所示，两个容器中充满油液，已知U形水银测压计中 $h = 160 \text{mm}$ ，油的密度 $\rho = 900 \text{kg/m}^3$ ，水银的密度 $\rho_{Hg} = 13600 \text{kg/m}^3$ 。求：

- 1) 两容器的压力差 Δp ；
- 2) 如果容器1与大气相通，假定测压计读数仍保持 $h = 160 \text{mm}$ ，容器2的真空度为多少？绝对压力为多少？

解：取0—0面为等压面，所以有：

$$p_1 + h\gamma = p_2 + h\gamma_{Hg}$$

- 1) 两容器压差 Δp ：

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_1 - p_2 = h(\gamma_{Hg} - \gamma) = h(\rho_{Hg} - \rho)g \\ &= 0.16 \times (13600 - 900) \times 9.81 \\ &= 0.2 \times 10^5 \text{Pa} \end{aligned}$$

- 2) 容器2的真空度：

容器中压力为大气压 p_a 时，测压计读数未变，两容器压力差不变。

$$p_a - p_2 = 0.2 \times 10^5 \text{Pa}$$

方法一：视 p_a 、 p_2 均为绝对压力。根据定义，绝对压力比大气压小的那部分数值叫真空度。容器2的真空度为 $0.2 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

方法二：视当地大气压为基准零值， $p_a = 0$ ， $p_2 = -0.2 \times 10^5 \text{Pa}$ （表压）。由于真空度即负表压，故容器2的真空度为 $0.2 \times 10^5 \text{Pa}$ （前面不加负号）。

容器2的绝对压力 p_2 ：

若当地大气压为1个标准大气压

$$p_2 = 1.013 - 0.2 = 0.813 \times 10^5 \text{Pa}$$

若当地大气压为 $1 \times 10^5 \text{Pa}$

$$p_2 = 1 - 0.2 = 0.8 \times 10^5 \text{Pa}$$

1—22** 图1—13所示差压计中水银读数 $h = 30 \text{cm}$ ，其它液体为油，A、B二容器位置高差 $l = 1 \text{m}$ ， $\gamma_{Hg} = 133400 \text{N/m}^3$ ，油 $\gamma = 8800 \text{N/m}^3$ 。

- 1) 根据差压计中的水银柱差 h ，是否可用下述两个关系式确定A、B两点的压力差。

(A) $p_A - p_B = \gamma_{Hg} h$ ；

(B) $p_A - p_B = h(\gamma_{Hg} - \gamma)$ 。

- 2) 试求图示A、B两容器中心处的压力差。

解：1) 两个方法均不适用图示情况，公式(A)适用于A、B两容器的介质为同种气体（忽略其重量）。(B)适用于A、B两处为同种液体，且在位置高度相同的场合。

- 2) 取等压面0—0，平衡方程为

$$p_A - Z_A \gamma + h \gamma = p_B - Z_B \gamma + h \gamma_{Hg}$$

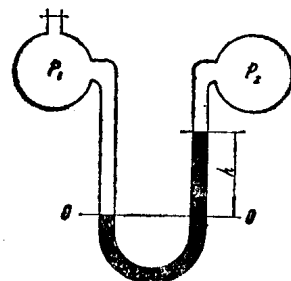


图 1—12

$$\begin{aligned}
 p_A - p_B &= h(\gamma_{Hg} - \gamma) - (Z_B - Z_A)\gamma \\
 &= 0.3 \times (133400 - 8800) - 1 \times 8800 \\
 &= 0.285 \times 10^5 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

应该注意到，当被测点的高度不相等的时候，压差计的读数中还包含着高度项的影响，并非代表A、B两点的压力差。

如果A、B两容器的介质不是同种液体（其重度为 γ_A 及 γ_B ），位置高度也不相同，则平衡方程为：

$$\begin{aligned}
 p_A - Z_A\gamma_A + h\gamma_A &= p_B - Z_B\gamma_B + h\gamma_{Hg} \\
 p_A - p_B &= (\gamma_{Hg} - \gamma_A)h + \gamma_A Z_A - \gamma_B Z_B
 \end{aligned}$$

1—23* 如图1—14所示泵在压油时，作用在活塞上的力为P，活塞面积为A，单向阀1将吸油管封闭，油顶开单向阀2进入系统，单向阀阀座直径为d，油管直径均为 d_1 ，位置高度分别为 h_1 、 h_2 、 h_3 ，所有管路均充满重度为 γ 的油，半径为R的钢球自重不计， $R \ll h_1$ 、 h_2 ，试确定钢球压在（单向阀1）阀座上的力。

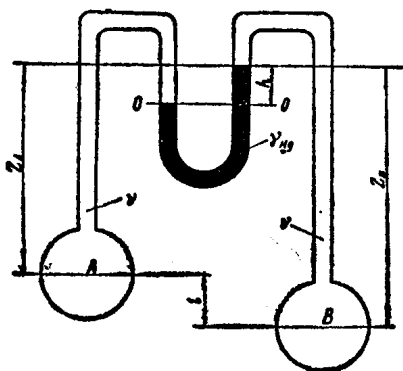


图 1-13

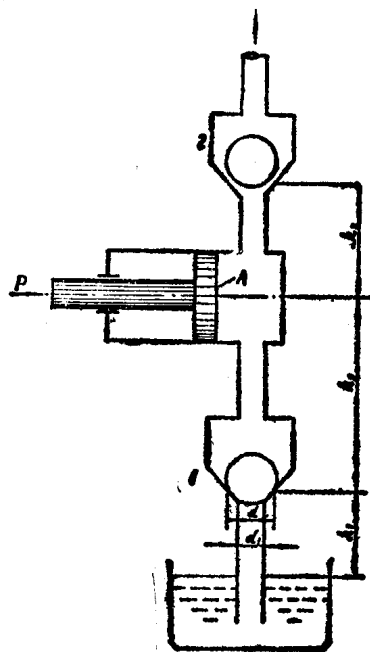


图 1-14

- (A) $F = \left(\frac{P}{A} + h_3\gamma + h_2\gamma\right) \frac{\pi}{4} d^2$
- (B) $F = \left(\frac{P}{A} + h_3\gamma + h_2\gamma + h_1\gamma\right) \frac{\pi}{4} d^2$
- (C) $F = \left(\frac{P}{A} + h_2\gamma + h_1\gamma\right) \frac{\pi}{4} d^2$
- (D) $F = \left(\frac{P}{A} + h_3\gamma + h_2\gamma - h_1\gamma\right) \frac{\pi}{4} d^2$
- (E) $F = \left(\frac{P}{A} + h_2\gamma - h_1\gamma\right) \frac{\pi}{4} d^2$

答：(C)

【说明】在泵轴线处压力始终为 P/A ，该压力值已包含了 $h_3\gamma$ 及外载荷等因素，故等式中不出现 h_3 项。

作用在钢球阀座下半部的向上合力

$$F_1 = (p_a - h_1\gamma) \frac{\pi}{4} d^2$$

作用在钢球阀座上半部的向下合力

$$F_2 = \left(\frac{P}{A} + h_2\gamma + p_a \right) \frac{\pi}{4} d^2$$

作用在阀座上总的向下合力

$$F = F_2 - F_1 = \left(\frac{P}{A} + h_2\gamma + h_1\gamma \right) \frac{\pi}{4} d^2$$

1—24 图 1—15所示锥阀处于关闭的位置，阀芯两端的压力分别为 p_1 、 p_2 ($p_1 > p_2$)，液体对阀芯的作用力为 ()。

- (A) $\frac{\pi}{4} D^2 (p_1 - p_2)$;
- (B) $\frac{\pi}{4} D^2 p_2 + \frac{\pi}{4} d^2 p_1$;
- (C) $\frac{\pi}{4} d^2 (p_1 - p_2)$;
- (D) $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p_2 + \frac{\pi}{4} d^2 p_1$ 。

答：(D)。

【说明】在阀腔上半部， p_2 的压力使阀芯受到一个向上的力，沿作用方向的投影面积为 $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ ，故向上力的大小为 $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p_2$ 。在阀腔下半部 p_1 的作用力也向上，其值为 $\frac{\pi}{4} d^2 p_1$ ，两者相加即可。

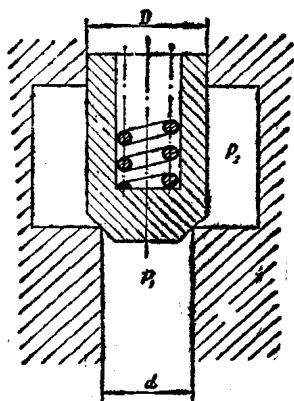


图 1—15

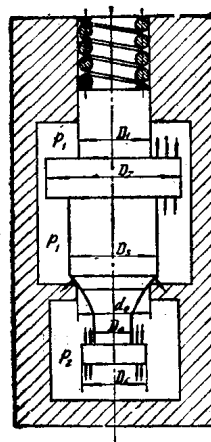


图 1—16

1—25 图 1—16所示溢流阀的主阀芯处于关闭状态，其阀芯的直径分别为： $D_1 = 14$ mm； $D_2 = 35$ mm； $D_3 = 15$ mm； $D_4 = 8$ mm； $D_5 = 12$ mm。阀座直径 $d_0 = 13.6$ mm。当阀芯关闭时，背压力 $p_2 = 5 \times 10^5$ Pa。在压力 $p_1 = 100 \times 10^5$ Pa时，压力油顶开阀芯而溢流。如阀芯自重忽略不计，试计算弹簧的预紧力应为多少。

解：油压力作用在阀芯上的轴向力即为弹簧预紧力，分析阀受力情况：

阀芯上半腔均充满高压油 p_1 ，作用在阀芯上的油压力在沿轴向的投影面积有重叠现象；