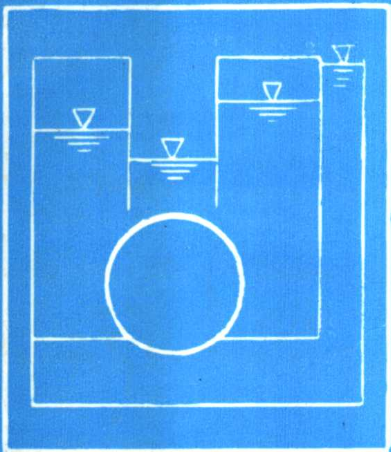


章龙江　高松龄　编著

工程流体力学难题解析

石油工业出版社

工程流体力学难题解析

章龙江　高松龄　编著

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书所解析的题选自国内外有关教科书和习题集中较好而具有一定难度的题，以及国内某些高校硕士研究生入学考试题，包括工程流体力学的基本理论、基本方法和工程应用方面的各种类型题200多道。

全书力求思路清晰、逻辑严密，内容丰富，题目典型。本书可作为高等院校有关专业的学生学习参考书，更是有关教师、科技人员、报考研究生者、以及自学者很有价值的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程流体力学难题解析/章龙江　高松龄　编著.
-北京：石油工业出版社，1995.12

ISBN 7-5021-1607-9

Ⅰ.工…
Ⅱ.①章…②高…
Ⅲ.工程力学：流体力学-解题
Ⅳ.TB126-44

石油工业出版社出版
(100011　北京安定门外安华里2区1号楼)
大庆石油学院印刷厂排版
大庆石油学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米　32开　6.5印张　170千字　印1—2000
1995年12月北京第1版　1995年12大庆第1次印刷
定价：12.80元

前　言

本书中的题目选自陈静惠、章龙江所编的《工程流体力学习题集》(石油工业出版社 1993 年 6 月出版)。《习题集》汇集的题目来源广泛，类型多样，并选有许多高校研究生入学试题，受到读者的欢迎。一些读者希望能得到此习题集的题解，出版本书便是为了满足读者的需要。本书可作为高等院校有关专业师生的教学参考书，也可供报考研究生者、自学者和有关工程技术人员参阅。

全书包括两部分内容：一是从《习题集》中选择两百多个有一定难度的题目进行解析，其中带 * 号者是某些高校的研究生入学试题；二是为了适应计算机实际应用的需要，以管路水力计算部分题目为例，给出计算机解题程序和结果，程序采用适合工程计算的 FORTRAN 语言编写，并在 PC 机上调试通过。为了有利于读者提高分析和解决问题的能力，在解题过程中，力图从基本原理出发，通过分析求得解答。

本书由陈静惠审校，提出了许多宝贵意见，谨此表示感谢。限于作者水平，加上国内外此类型书籍比较少见，书中错误之处在所难免，希望读者给予批评和指正。

编著者

1995 年 6 月

目　录

第一章　流体的物理性质

1—1　在空气压缩机中，当压力从 9.8×10^{4}Pa 升高到 6.86×10^{5}Pa、温度从 20℃升高到 80℃时，问空气体积减少的百分数是多少？

〔**解**〕 对于气体，压力和温度的改变对气体体积的变化影响很大，三者的关系由状态方程式表示

即　　$pV=RT$

由上式可得

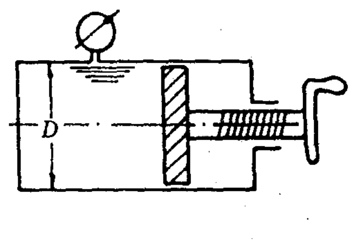
$$V_1=R\frac{T_1}{p_1}=R\frac{273+20}{9.8\times10^4}=0.00299R$$

$$V_2=R\frac{T_2}{p_2}=R\frac{273+80}{6.86\times10^5}=0.000515R$$

$$\therefore\quad \frac{V_2-V_1}{V_1}\%=\frac{0.000515-0.00299}{0.00299}=-82.78\%$$

空气体积减少 82.78%

1—2　一鉴定压力表的校正器，器内充满油液，油的压缩系数 $\beta_p=4.75\times10^{-10}\text{Pa}^{-1}$，用手轮旋进密封良好的活塞，已知活塞直径 $D=10$mm，旋进螺距 $t=2$mm，在压力为 98000Pa 时充油体积为 $V_0=200\text{cm}^3$，问手轮应旋进多少圈，才能造成 1.96×10^{7}Pa 的油压。



题 1—2 图

〔**解**〕 设手轮旋进的转数为 n，则旋进的体积为

$$\Delta V=nt\frac{\pi}{4}D^2$$

由于增压而变化的体积为

$$\Delta V=\beta_p V\Delta p$$

由以上两式可得

$$n=\frac{4\beta_p V\Delta p}{\pi t D^2}=\frac{4\times4.75\times10^{-10}\times200\times1.96\times10^7}{2\times10^{-3}\times10^{-4}\pi}$$
$$=12\ 圈$$

1—3 用 200L 汽油桶装相对密度 0.70 的汽油。灌装时液面上压强为 98000Pa。封闭后由于温度升高了 20℃，此时汽油的蒸气压为 17640Pa。若汽油的膨胀系数为 0.0006 1/K，弹性系数为 13.72×10^8Pa。试计算由于压力及温度变化所增减的体积？问灌桶时每桶最多不超过若干为宜？

〔解〕 由于压力改变而减少的体积为

$$\Delta V_p=\frac{V\Delta p}{E}=\frac{200\times17640}{13.72\times10^8}=2.57\times10^{-3}\ \mathrm{L}$$

由于温度变化而增加的体积，可由

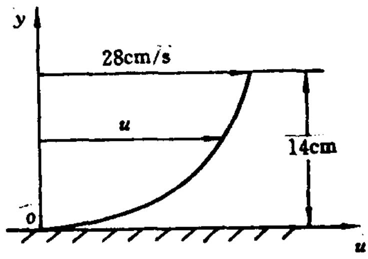
$$\beta_t=\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta T}$$

得 $\Delta V_t=\beta_t V\Delta T=0.0006\times200\times20=2.40\ \mathrm{L}$

因为 $V_t\gg V_p$， 故

$$G=\gamma(V-\Delta V_t)=0.7\times9.8\times(200-2.40)$$
$$=1355.54\ \mathrm{N}$$

1—4 流体流过一平壁时，其速度按抛物线分布，在距平壁 14cm 处速度最大，如图所示：(a)求距离平壁 8cm 处的速度梯度；(b)如果流体是粘度为 $\mu=18.08\times10^{-6}$Pa·s 的空气，求距平壁 8cm 处平面的切应力；(c)如果流体是粘度为 $\mu=1.005\times10^{-3}$Pa·s的水，



题 1—4 图

求距平壁 8cm 处平面的切应力；(d)求距离平壁 14cm 的平面处，空气和水的切应力。

〔解〕 由题图上可知 o 点速度为零。满足此条件的抛物线方程为

$$u=28-0.1428(14-y)^2$$

则 $$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=0.2856(14-y)$$

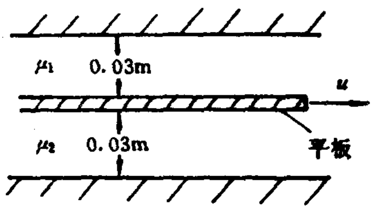
(a) $\left.\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right|_8=(14-8)=1.714\ 1/\mathrm{s}$

(b) $\tau=\mu\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=18.08\times10^{-6}\times1.714=30.99\times10^{-6}\ \mathrm{Pa}$；

(c) $\tau=\mu\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=1.0005\times10^{-3}\times1.714=1.723\times10^{-3}\ \mathrm{Pa}$

(d) $\left.\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}\right|_{14}=0$， $\therefore\quad \tau=0$

1—5 一块很大的薄板放在一个宽度为 0.06m 间隙的中心处，用两种粘度不同的油充满薄板的上、下间隙。已知一种油的粘度是另一种油的两倍。当以 0.6m/s的速度拖动平板运动时，薄板两侧油的粘性切力作用在每平方米薄板上的合力是 25N，试计算这两种油的粘度（忽略粘性流的端部效应）。



题 1—5 图

〔解〕 根据题意有

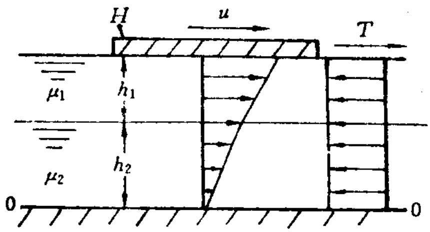
$$\tau=(\mu_1+\mu_2)\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y},\qquad \mu_2=2\mu_1$$

故 $$(2\mu_1+\mu_1)\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=\tau$$

$$\mu_1=\frac{\tau}{3}\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}u}=\frac{25\times0.03}{3\times0.6}=0.417\ \mathrm{Pa\cdot s}$$

$$\mu_2=2\mu_1=0.834\ \mathrm{Pa\cdot s}$$

1—6 一平行于固定底面 0—0 的平板 H，面积 $A=0.1\text{m}^2$，以常速 $v=0.4\text{m/s}$ 被拖曳移动，平板与底面间有上下两层油液：$\mu_1=0.142\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的油液层厚 $h_1=0.8\text{mm}$，$\mu_2=0.235\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的油液层厚 $h_2=1.2\text{mm}$，求所需的拖曳力 T。



题 1—6 图

〔解〕 因为两平面间液体呈层流流动，且各层油液厚度很小，流速分布可视为直线分布，所以每层油液内的流速梯度均沿高程不变，各液体层间的切应力均相等（如图示），故有下列关系。

即
$$\mu_1\frac{du_1}{dy_1}=\mu_2\frac{du_2}{dy_2} \tag{1}$$

$$h_1\frac{du_1}{dy_1}+h_2\frac{du_2}{dy_2}=v \tag{2}$$

联立以上两式得

$$h_1\frac{du_1}{dy_1}+h_2\frac{du_1}{dy_1}\frac{\mu_1}{\mu_2}=v$$

于是

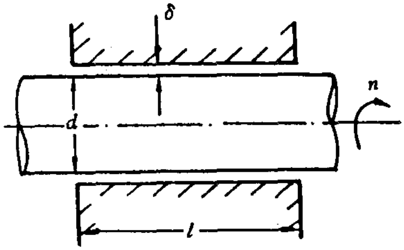
$$\frac{du_1}{dy_1}=\frac{v}{h_1+h_2\dfrac{\mu_1}{\mu_2}}=\frac{0.4}{0.0008+0.0012\times\dfrac{0.142}{0.235}}=262\ 1/\text{s}$$

$$T=\mu_1A_1\frac{du_1}{dy_1}=0.142\times0.1\times262=3.72\ \text{N}$$

其切应力分布及速度分布如图中所示。

1—7 转轴直径 $d=0.36\text{m}$，轴承长度 $l=1\text{m}$，轴与轴承间的缝隙宽 $\delta=0.2\text{mm}$，其中充满动力粘性系数 $\mu=0.72\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的油，若轴的转速 $n=200\ \text{r/min}$，求克服油的粘性阻力所需的功率。

〔**解**〕 油层与轴接触处速度与轴的旋转圆周速度相等，即



题 1—7 图

$$u=\frac{\pi nd}{60}$$

$$=\frac{\pi\times 200\times 0.36}{60}$$

$$=3.77\ \mathrm{m/s}$$

因为缝隙较小，所以设油层在缝隙中沿径向的速度分布为直线分布，

即 $$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=\frac{u}{\delta}$$

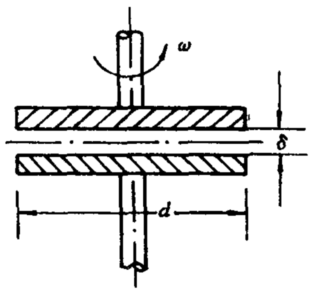
$$T=\mu A\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=\mu\pi dL\ \frac{u}{\delta}=\frac{0.72\times 3.77\times\pi\times 0.36\times 1}{0.2\times 10^{-3}}$$

$$=15341.79\ \mathrm{N}$$

克服阻力所需功率为

$$N=M\omega=Tr\omega=Tu=15341.79\times 3.77=57.84\ \mathrm{kW}$$

1—8 如图所示，上下两平行圆盘，直径均为 d，间隙厚度为 δ，间隙中液体的动力粘性系数为 μ，若下盘固定不动，上盘以等角速度 ω 旋转，求所需力矩的表达式。



题 1—8 图

〔**解**〕 设间隙内流速按直线变化，

即 $$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}=\frac{u}{\delta}$$

因为 $\tau=\mu\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y}$， $\mathrm{d}M=\tau\mathrm{d}Ar$

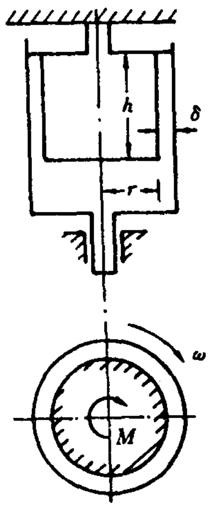
则所需总力矩为

$$M=\int\mathrm{d}M=\int_0^{\frac{d}{2}}\tau r\mathrm{d}A$$

$$= \int_0^{\frac{d}{2}} \tau r 2\pi r \mathrm{d}r = \int_0^{\frac{d}{2}} \mu \frac{u}{\delta} r 2\pi r \mathrm{d}r = \frac{2\pi\mu\omega}{\delta} \int_0^{\frac{d}{2}} r^3 \mathrm{d}r$$

$$= \frac{\pi\mu\omega d^4}{32\delta}$$

*1—9 图示为一测量液体粘滞系数的仪器，固定的内圆半径 $r=20$ cm，高 $h=40$cm。外圆筒以角速度 $\omega=10$rad/s 旋转，两筒间距 $\delta=0.3$cm，间隙内充满液体。由于液体内摩擦力的作用，对内筒中心轴产生一个力矩 $M=5$N·m，求液体的粘滞系数 μ。（由于圆筒底液体的粘滞力比圆筒侧壁所受阻力小得多，可以略去不计）。



题 1—9 图

〔解〕 由题意

$$M = Tr = \tau A r = \mu \frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}y} 2\pi r h r$$

$$= \mu 2\pi r^2 h \frac{\omega(r+\delta)}{\delta}$$

于是 $$\mu = \frac{M\delta}{2\pi r^2 h\omega(r+\delta)}$$

$$= \frac{5\times 0.3}{2\pi\times(0.2)^2\times 0.4\times 10\times(20+0.3)}$$

$$= 0.0735 \text{ Pa·s}$$

1—10 一个圆锥体绕其铅直中心轴等速旋转，锥体与固壁之间的距离 $\delta=1$mm，全部为润滑油（$\mu=0.1$Pa·s）充满。当旋转角速度 $\omega=16$rad/s，圆锥体底部半径 $R=0.3$m，高 $H=0.5$m 时，求作用于圆锥体的阻力矩。

〔解〕 设圆锥的半锥角为 θ，

则 $$\mathrm{tg}\theta = \frac{R}{H} = 0.6, \quad \cos\theta = 0.857$$

高度 h 处的圆锥半径为

$$r = h\,\mathrm{tg}\theta$$

对于微元高度 dh,其微元表面积

为 $$dA = 2\pi r \frac{dh}{\cos\theta}$$

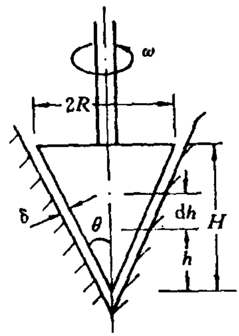
设间隙内的流速为直线变化,

则 $$\frac{du}{dy} = \frac{u}{\delta} = \frac{\omega r}{\delta}$$

所以在 dh 范围内的力矩为

$$dM = r\tau dA = r\mu \frac{\omega r}{\delta} 2\pi r \frac{dh}{\cos\theta}$$

$$= 2\pi\mu \frac{\omega}{\delta} \frac{\mathrm{tg}^3\theta}{\cos\theta} h^3 dh$$



题 1—10 图

作用于圆锥体的阻力矩为

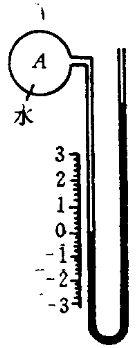
$$M = \int dM = 2\pi\mu \frac{\omega}{\delta} \frac{\mathrm{tg}^3\theta}{\cos\theta} \int_0^H h^3 dh = 2\pi\mu \frac{\omega}{\delta} \frac{\mathrm{tg}^3\theta}{\cos\theta} \frac{H^4}{4}$$

$$= 2\pi \times 0.1 \times \frac{16 \times (0.6)^3}{0.001 \times 0.857} \times \frac{(0.5)^4}{4}$$

$$= 39.6\ \mathrm{N \cdot m}$$

第二章　流体静力学

2—1　一封闭容器的U型测压计中装有相对密度$\delta=2.94$的液体，当$p_A=100$ mm水柱时，分界液面恰好位于固定坐标尺的零点高程处，问当$p_A=8$时，分界液面的高程读数将为多少？



题 2—1 图

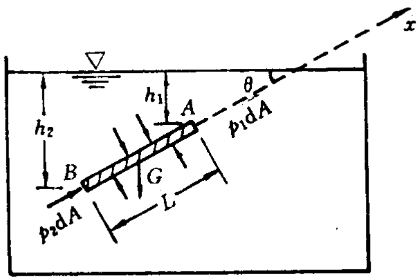
〔**解**〕　设当p_A增加后测压计左侧分液面下降Δx，则测压计中液体两侧液面高程差必增加$2\Delta x$，故增加部分的压强为

$$\Delta p_A=2\Delta x\gamma_{液}-\Delta x\gamma_{水}$$

$$\therefore\qquad \Delta x=\frac{\Delta p_A}{2\gamma_{液}-\gamma_{水}}=\frac{8000-0.1\times9.8\times10^3}{(2\times2.94-1)\times9800}=0.147\ \text{m}$$

2—2　如图所示，一重量为G，两端面的横截面积为dA的平板与水平成θ角度放入重度为γ的液体中，试证明作用在两端面上的压力差的表达式为

$$p_2-p_1=\gamma(h_2-h_1)。$$



题 2—2 图

〔**解**〕　平板在自重和周围液体对它的作用下处于平衡。作用在A端的力是p_1dA，作用在B端的力是p_2dA，重力$G=\gamma LdA$，其它的力作用于侧面。取$\Sigma x=0$，所以

$$p_2dA-p_1dA-\gamma LdA\sin\theta=0$$

$$\because\quad L\sin\theta=h_2-h_1\qquad\therefore\quad p_2-p_1=\gamma(h_2-h_1)$$

2—3 U 形测压计装置如附图所示，若测压计与容器以柔软胶管相连接，因此可以将整个测压管向下移动距离 a，这时，虽然容器中的压强没有变化，测压管中的读数将由 h 变为 $h+\Delta h$，试求 Δh 与 a 的关系式。

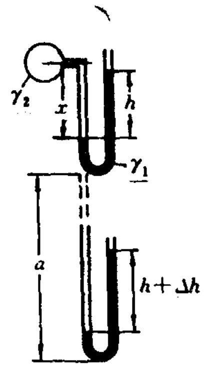
〔**解**〕 设开始时 U 型管中左侧分液面比容器低 x，则容器中压强 p 为

$$p=\gamma_1 h-\gamma_2 x \tag{1}$$

测压计下移一段距离 a 后，读数改为 $h+\Delta h$，U 型管左侧分液面将比容器低 $x+a+\frac{1}{2}\Delta h$，

则有
$$p=\gamma_1(h+\Delta h)-\gamma_2\left(x+a+\frac{1}{2}\Delta h\right) \tag{2}$$

联立式(1)和(2)可得 $\Delta h=\dfrac{2\gamma_2}{2\gamma_1-\gamma_2}a$



题 2—3 图

2—4 测压管装置如附图所示。已知油的相对密度 $\delta=0.85$，高差 $h_1=21$ cm，$h_2=9$ cm，求 Δh 值。

〔**解**〕 取 0—0 为等压面，设气体压强为 p_0，列等压面上压强平衡式：

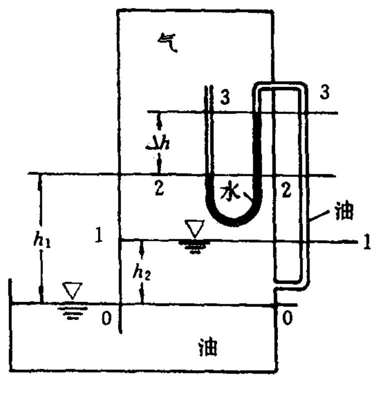
$$p_0+\gamma_{油}h_2=p_0-\gamma_{水}\Delta h+\gamma_{油}(\Delta h+h_1)$$

整理后得

$$(\gamma_{水}-\gamma_{油})\Delta h=\gamma_{油}(h_1-h_2)$$

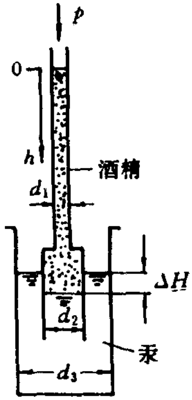
$$\therefore \quad \Delta h=\frac{\gamma_{油}(h_1-h_2)}{\gamma_{水}-\gamma_{油}}=\frac{0.85\times(21-9)}{1-0.85}=68\text{ cm}$$

此题还可取 1—1、2—2、3—3等为等压面列平衡式，得出相同的结果。



题 2—4 图

2—5 一种酒精和汞的双液测压计，细管上端为大气压时酒精液面高程为零。当细管上端的表压强为 p 时，酒精液面高程下降 h。试用 d_1、d_2、d_3 和 h 来表示 p。



题 2—5 图

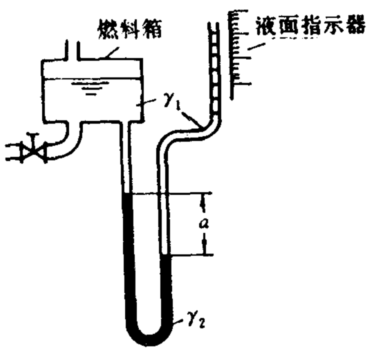
〔**解**〕 根据题意，当细管上端相对压强为 p 时，酒精液面高程下降 h，此时按体积关系可知，下部酒精与汞的分界面下降 $h\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$，外侧汞的自由液面上升高度为：

$$h\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\left(\frac{d_2^2}{d_3^2-d_2^2}\right)=h\left(\frac{d_1^2}{d_3^2-d_2^2}\right)$$

$$\therefore \quad p=\left[h\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2+h\left(\frac{d_1^2}{d_3^2-d_2^2}\right)\right]\gamma_{汞}+\left[h-h\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2\right]\gamma_{酒}$$

$$=h\left[\left(1-\frac{d_1^2}{d_2^2}\right)\gamma_{酒}+\left(\frac{d_1^2}{d_2^2}+\frac{d_1^2}{d_3^2-d_2^2}\right)\gamma_{汞}\right]$$

2—6 燃料箱中液面位置的指示装置如附图所示，当箱内液面下降 Δh_1 时，液面指示器中的液面下降 Δh_2，若测压管的内径是均匀一致的，求 Δh_1 和 Δh_2 的关系式。



题 2—6 图

〔**解**〕 由题意，当指示器中的液面下降 Δh_2 时，U 型管中分液面的差别将增加 $2\Delta h_2$，即左侧分液面上升 $2\Delta h_2$。此时左侧分液面上的压强比原先降低 $\gamma_1(\Delta h_1+\Delta h_2)$，而右侧分液面上的压强不变，故

$$\gamma_1(\Delta h_1+\Delta h_2)=2\Delta h_2\gamma_2$$

所以 $$\Delta h_1=\frac{2\gamma_2-\gamma_1}{\gamma_1}\Delta h_2$$

2—7 两个盛水容器，用油压差计连接，如图。已知油的密度 $\rho=800\text{kg/m}^3$，压差计中的液面高差 $\Delta h=50\text{cm}$，求两容器中的水面高差 x？

〔**解**〕 如图示等压面 0—0 上压强关系为：

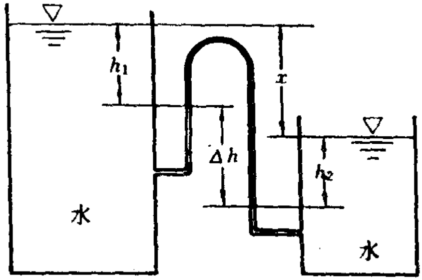
$$\gamma_{水}h_1+\gamma_{油}\Delta h=\gamma_{水}h_2$$

整理得

$$h_2-h_1=\gamma_{油}\Delta h/\gamma_{水}$$

$$=\frac{0.8\times0.5}{1.0}$$

$$=0.4\ \text{m}$$



题 2—7 图

由几何关系可得：

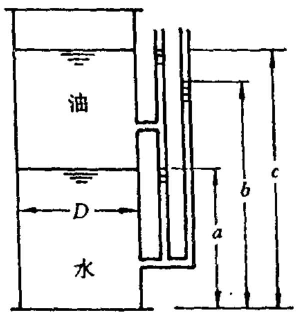
$$x=\Delta h+h_1-h_2=\Delta h-(h_2-h_1)$$

$$=0.5-0.4=0.1\ \text{m}=10\ \text{cm}$$

2—8 一敞口圆柱形容器，直径 $D=0.4$ m，上部为油，下部为水。

（1）若测压管中读数为 $a=0.2$ m，$b=1.2$ m，$c=1.4$ m，求油的相对密度；

（2）若油的相对密度为0.84，$a=0.5$ m，$b=1.6$ m，求容器中水和油的体积。



题 2—8 图

〔**解**〕 （1）由连通器原理可知： $\gamma_{油}(c-a)=\gamma_{水}(b-a)$

$$\therefore \quad \delta_{油}=\frac{\gamma_{油}}{\gamma_{水}}=\frac{b-a}{c-a}$$

$$=\frac{1.2-0.2}{1.4-0.2}=0.833$$

（2）$V_{水}=a\dfrac{\pi}{4}D^2=0.5\times\dfrac{\pi}{4}\times0.4^2=0.0628\ \text{m}^3$

$$V_{油}=(c-a)\frac{\pi}{4}D^2=\frac{\gamma_{水}}{\gamma_{油}}(b-a)\frac{\pi}{4}D^2$$

$$=\frac{1}{\delta_{油}}(b-a)\frac{\pi}{4}D^2=\frac{(1.6-0.5)\pi\times 0.4^2}{0.84\times 4}$$

$$=0.164\ \mathrm{m}^3$$

***2—9** 两水箱之间有两个U形比压计，试用读数 h、a、b 建立液体重度 γ、γ_1、γ_2 之间的关系式。

〔**解**〕(1) 由等压面1—1有

$$a\gamma-a\gamma_1=\gamma h$$

得 $$\gamma_1=\frac{a-h}{a}\gamma$$

(2) 由等压面2—2有 $b\gamma_2=\gamma(h+b)$

得 $$\gamma_2=\frac{h+b}{b}\gamma$$

(3) 由等压面1—1可得

$$h=\frac{a(\gamma-\gamma_1)}{\gamma}$$

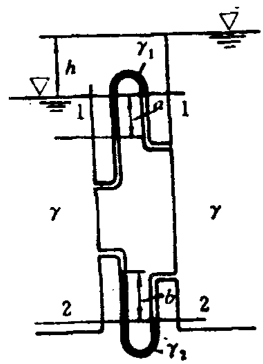
由等压面2—2可得

$$h=\frac{b(\gamma_2-\gamma)}{\gamma}$$

则 $$\frac{a(\gamma-\gamma_1)}{\gamma}=\frac{b(\gamma_2-\gamma)}{\gamma}$$

整理得

$$\gamma=\frac{\gamma_1 a+\gamma_2 b}{a+b}$$



题2—9图

2—10 一气压式液面计用以测定封闭油箱中的液面高程。打开阀1，使气泡开始在油箱中逸出，记下汞比压计中的读数 $\Delta l_1=6$ cm，关闭阀1，打开阀2，同样操作，测得 $\Delta l_2=15$ cm，已知 $a=150$ cm，求油箱中的液面位置及油的重度。

〔**解**〕打开阀1时

$$\gamma_{油}h=\gamma_{汞}\Delta l_1$$