

高等學校教學用書



水力学習題集

И. И. 庫可列夫斯基主編

高等教育出版社

高等学校教学用书



水力学学习题集

(供机械制造类各专业用)

И. И. 庫可列夫斯基主編

天津大学水利系水力学及水文学教研室譯

水

高等教育出版社

本習題集系根据苏联国立动力出版社 (Госэнергоиздат) 出版的、由庫可列夫斯基 (Н. И. Куколевский) 教授主編的“水力學習題集”(Задачник по гидравлике) 一書 1956 年版譯出。参加原書編著的有布达也夫 (Д. А. Бугаев)、卡尔美可娃 (З. А. Калмыкова)、波德維茲 (Л. Г. Подвидз)、波波夫 (К. Н. Попов) 罗什捷斯特文斯基 (С. Н. Рождественский)、晏申 (Б. И. Яншин) 等人。原書經苏联高等教育部多科性工学院及机械制造高等学校主管司审定为机械制造高等学校与学系的教学参考書。

本習題集是为了适应机械制造高等学校水力學課程的教学需要而編写的, 專供这些学校的学生参考之用。

本書共分兩篇: 上篇研討水靜力学, 下篇研討水动力学。全書共包括習題 432 則, 內容丰富新穎, 多为实际問題, 使理論密切結合实际。在每章中还附有所用理論之概述, 个别習題并附有簡捷解法之提示及典型問題之解答实例。

本書除供机械类各專業水力學課程的教师、学生作教材外, 还可供工程技术人員参考之用。

本書系由天津大学水利系水力學及水文学教研室的魏頤年、黃繼湯、崔起麟、楊奕翰、赵耀南、楊錫璋、林德輝等同志翻譯。

水 力 学 習 題 集

(供机械制造类各專業用)

И. И. 庫可列夫斯基主編

天津大学水利系水力學及水文学教研室譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內感恩寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·642 開本 550×3168 $1/32$ 印張 11 $2/16$ 字數 290,000 印數 0001—1,800

1958 年 4 月第 1 版 1958 年 4 月北京第 1 次印刷 定價 (10) 元 1.70

序

提請讀者關懷的這本機械製造水力學習題集，是為了適合於機械製造高等學校水力學課程的教學需要而編寫的，並且是專供這些學校的學生來使用的。在莫斯科高等工業學校中，這是一本主要參考書，它的用途在於使水力學聽課學生在運用理論來解決工程實踐問題方面掌握實際技能。

針對這門課的全部主要章節，習題集一共包括 432 個習題，書內並附有所運用的理論之簡要論述、簡化個別習題解答過程的方法提示以及個別習題和典型習題的解答實例。由於具備了這樣的資料，所以就可以預期到：本習題集所選問題的豐富多采，即使對於那些在實際業務工作中經常和水力計算打交道的比較廣大的讀者來講，大概也是感興趣的。

對於希望利用習題集的資料來更好地掌握水力學原理或是檢查自己是否有實際技能來解答具體問題的每一讀者，按照我們的意見，下面最有效的途徑是值得推薦的。

首先應熟習各相應概述和典型習題的解答方法提示，然後再進而獨立地解答所選定的一章的某些習題，對每一習題應加以詳盡研究，並應確定其中各個因素對於解答的最後結果之影響，同時不要追求增加擬解例題的數量。

在若干習題中，最適宜的還是利用圖解分析的混合解法，這樣的解法能使我們借圖表查出某些因素對於解答結果的影響。關於這樣的解答示例，讀者們可在本書的第十章和第十四章中找到。

第五章闡述了水動力相似性的一些問題，對於領會有關水動力現象的正確的普遍概念具有重大意義，同時對於模型試驗問題

也起着巨大作用。

为了使讀者學習方便，習題集还附有一些参考性資料，在这里可遇到解答某一習題的必要資料

本習題集中所包括的題目，是教研組若干年来所拟定的，某些習題的編写者是：И. И. 庫可列夫斯基 (Куколевский) 教授、Н. М. 沙波夫 (Шапов) 教授、В. В. 米什凱 (Мишке) 教授、С. Д. 坡諾馬列夫 (Пономарев) 教授和 В. В. 涅克拉索夫 (Некрасов) 副教授。

習題集的出版是在 И. И. 庫可列夫斯基教授主編下准备的，分担执笔者是：第一章——З. А. 卡尔美可娃 (Калмыкова)；第二章——Б. И. 晏申 (Янышин)；第三章——К. Н. 波波夫 (Попов)；第四章——З. А. 卡尔美可娃和 Л. Г. 波德維茲 (Подвидз)；第五、九及十三章——Л. Г. 波德維茲；第六、七章——Д. А. 布达也夫 (Бутаев) 和 Л. Г. 波德維茲；第八、十二章——С. Н. 罗什捷斯特文斯基 (Рождественский)；第十章——Д. А. 布达也夫和 З. А. 卡尔美可娃；第十一章——Л. Г. 波德維茲和 С. Н. 罗什捷斯特文斯基；第十四章——Д. А. 布达也夫、З. А. 卡尔美可娃、Л. Г. 波德維茲及 К. Н. 波波夫。

本習題集的初版無疑地会有很多缺点，全体执笔者謹向为繼續改进整本習題集或是其中一部分習題而提出批評和意見的讀者們預致謝忱。

如蒙賜教，請惠下址：

莫斯科高等工業學校 (МВТУ) 水力学及水力机械教研組 (Москв. Б-5, 2-я, Бауманская, 5)。

И. И. 庫可列夫斯基

本習題集中所引用的符号及單位

<i>мм</i>	公厘, 毫米	m^3/sec	公方/秒
<i>см</i>	公分, 厘米	$m^3/час$	公方/小时
<i>дм</i>	公寸, 分米	$m^3/сутки$	公方/晝夜
<i>м</i>	公尺, 米	$дин/см^2$	达因/公分 ²
<i>км</i>	公里, 千米	$г/см^2$	克/公分 ²
<i>л</i>	公升	$кг/см^2$	公斤/公分 ²
m^3	公方	$кг·м$	公斤公尺
<i>дин</i>	达因	<i>э</i>	恩列格度
<i>г</i>	克	$кал/м^2·час·град$..	卡/公尺 ² · 小时·度
$кг$	公斤, 鈞	<i>ат</i>	大气压力
<i>т</i>	公吨	<i>ати</i>	相对大气压力
<i>сек</i>	秒	<i>атв</i>	以大气压力所 表示的真空
<i>мин</i>	分	<i>макс</i>	最大
<i>час</i>	小时	<i>мин</i>	最小
<i>сутки</i>	晝夜	<i>об/мин</i>	每分鐘的轉數
<i>ст</i>	滄		
<i>сст</i>	厘滄		
$л/сек$	公升/秒		

目 录

序	iv
本习题集中所引用的符号及单位	vi

上篇 水静力学

第一章 静止液体中的压力	1
第二章 平面壁上静止液体的压力	21
第三章 曲面壁上静止液体的压力·浮体	34
第四章 运动容器中的液体平衡	52

下篇 水动力学

第五章 水动力相似·液体的运动状态	68
第六章 经孔口、管嘴和堰的液体出流	87
第七章 管路中的局部阻力·测量流量及流速的仪器	108
第八章 液体层流运动	134
第九章 简单管路的计算	177
第十章 复杂管路的计算	203
第十一章 变水头下的出流	223
第十二章 液体的不稳定流动	249
第十三章 水流与其限制壁面间的相互作用·水力机械	277
第十四章 水泵在网路中的工作	303
附 录	344

上篇 水静力学

第一章 静止液体中的压力

概 述

压应力 p_A (圖 1-1) 称为静止液体中的压力

$$p_A = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}, \quad (1-1)$$

式中 p_A ——点 A 的压力;

ΔF ——包括着点 A 的基元面积;

ΔP ——作用在面积 ΔF 上的压力。

压力沿法线指向基元面积, 其大小与基元面积在空间的方位无关, 而是液体点的坐标的函数:

$$p = f(x, y, z). \quad (1-2)$$

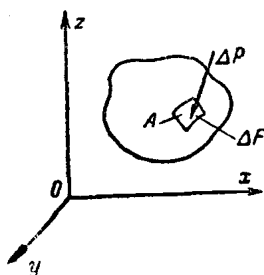


圖 1-1

在工程量度制中, 压力的单位是 1 kgf/cm^2 和 1 kgf/cm^2 (1 工程气压)。

上述单位之间的关系是:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 10\,000 \text{ kgf/m}^2.$$

表征着由于所有外部压力在液体中的作用而产生的总应力的大小的压力, 称为绝对压力 (p_a), 通常以若干绝对气压 (ama) 来表示。

压力亦可从假定的零计起, 采用在地表面上大约等于 1 工程

气压的大气压力($p_{am} \approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)作为假定的零点。

在这种情况下, 压力(p_u)的大小表示绝对压力(p_a)超过一个大气压力的剩余值, 并以若干相对气压(amu)来表示, 亦即

$$p_u = p_a - p_{am}. \quad (1-3)$$

假若绝对压力小于大气压力, 则相对压力为负值。压力不足一个大气压力的部分称为真空(p_v), 因而真空等于:

$$p_v = p_{am} - p_a, \quad (1-4)$$

$$\text{或} \quad p_v = -p_u, \quad (1-5)$$

并能够以气压(amg)的分数来表示。

对于均一的、不可压缩的、在重力作用下静止的液体, 压力分布规律(1-2)由下列公式来表示(圖 1-2)。

$$p_2 = p_1 + \gamma h = p_1 + \delta \gamma_s h, \quad (1-6)$$

式中 p_1 ——液体中任意点 1 上的压力;

p_2 ——距点 1 深度为 h 的点 2 上的压力;

γ ——液体的单位体积重量, kgf/m^3 ;

δ ——液体的比重;

γ_s ——水的单位体积重量, $\gamma_s = 1000 \text{ kgf/m}^3$ 。

在所讨论的液体平衡情况下, 等位面(等压面)是水平面。

选取液体自由表面上的点作为点 1 是适宜的。

在开口容器情况下, 如果液体自由表面上是大气压力 p_{am} , 则

$$p_a = p_{am} + \gamma H; \quad (1-7)$$

$$p_u = \gamma H, \quad (1-8)$$

式中 p_a 和 p_u ——液体中任意点的压力,

H ——该任意点相对于有着大气压力的平面的位置深度。

公式(1-8)给出了用该点在有着大气压力的平面以下深度的数量, 来表示液体中任意点上相对压力的可能性, 1 am 的压力相

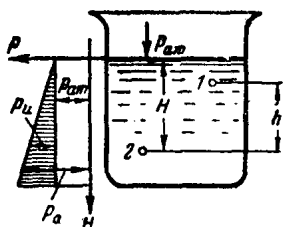


圖 1-2

当于高度为 10 米的水柱所造成的压力(当水的单位体积重量等于 1000 公斤/米^3 时)。

在封闭容器情况下,如果液体自由表面上具有相对压力($p_0 > p_{am}$),则大气压力平面位于自由表面之上,其高度

$$h_0 = \frac{p_0 - p_{am}}{\gamma} = \frac{p_{e0}}{\gamma},$$

式中 p_{e0} ——自由表面上的相对压力(圖 1-3)。

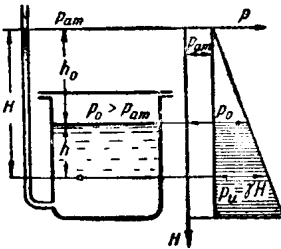


圖 1-3

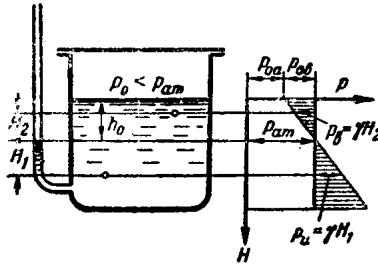


圖 1-4

在自由表面上为真空的情况下($p_0 < p_{am}$),大气压力平面位于自由表面之下

$$h_0 = \frac{p_{am} - p_0}{\gamma} = \frac{p_{e0}}{\gamma},$$

式中 p_{e0} ——在自由表面上的真空(圖 1-4)。

对于本章而言,典型的问题是确定液体中的压力,对不可压缩的液体,此类问题中的任何一个均可用不多于下述的三个方程式来解决。即:静止液体中压力分布的定律,处于液体作用下的固体的平衡方程式和在系统中液体体积守恒的方程式。

对于可压缩的液体,体积守恒方程式可用质量守恒方程式来代替,并且把状态方程式附加到计算的方程式组中。

为了说明以上所述,特引用以下的例子。

例 I. (圖 1-5)。试根据水银(γ_{pm})压力计的读数 h ,确定气

罐中空气的压力 p_2 。

在本情况下,为了确定压力,只采用在静止液体中压力分布的定律就够了:

$$p_2 = p_1 + \gamma_m h,$$

式中 p_1 ——压力计中水银表面上的压力。

当把 $p_1 = p_{am}$ 代入公式中时,可算出气罐中空气的绝对压力,当把 $p_1 = 0$ 代入公式中时,可算出空气的相对压力。因为空气的单位体积重量同水银的单位体积重量相比是很小的,因而空气中的压力沿高度的变化可以忽略不计,并认为气罐中和管中的压力一样。

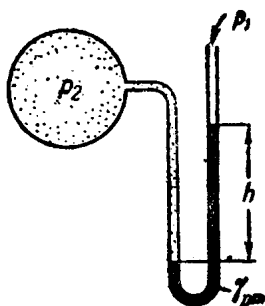


圖 1-5

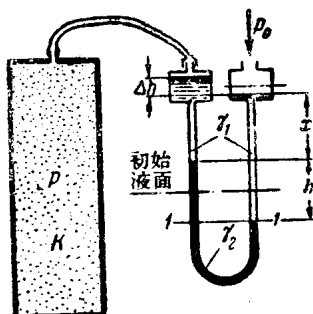


圖 1-6

例 II. (圖 1-6)。設管和杯的直徑比例 d/D 为已知, 試根据双液杯式微压計的讀数 h 来确定为气体所充滿的气罐 K 中的压力 p ; 微压計中所充灌的液体的單位体积重量为 γ_1 和 γ_2 。

在水平面 1-1 上压力計的二个管中具有相同的压力 p_1 , 右側管中的压力 p_1 系由压力 p_0 和單位体积重量为 γ_1 的液柱重量所造成的。我們引用一个如圖所示的尺寸 x , 于是高度 $x+h$ 和在水平面 1-1 上的压力將由下式联系起来

$$p_1 = p_0 + \gamma_1 (h + x).$$

在左侧管中水平面 1-1 上的压力,系由气罐中气体的压力,高度为 $x + \Delta h$, 单位体积重量为 γ_1 的液柱重量(式中 Δh ——仪器二个杯中的未知液面差)和高度为 h 单位体积重量为 γ_2 的液柱重量所造成,亦即:

$$p_1 = p + \gamma_1(x + \Delta h) + \gamma_2 h,$$

使上述二式相等,可得

$$p + \gamma_1(x + \Delta h) + \gamma_2 h = p_0 + \gamma_1(h + x),$$

或

$$p = p_0 + \gamma_1 h + \gamma_1 x - \gamma_1 x - \gamma_1 \Delta h - \gamma_2 h;$$

$$p = p_0 - (\gamma_2 - \gamma_1)h - \gamma_1 \Delta h.$$

从所进行的讨论中看出,静止液体中的压力分布方程式奠定了计算的基础,但是,既然 Δh 是个未知量,所以这个方程式还不能彻底地解出。

为了确定 Δh , 我们运用容器中液体的体积守恒方程式:

$$\frac{\pi D^2}{4} \Delta h = \frac{\pi d^2}{4} h;$$

$$\Delta h = \frac{d^2}{D^2} h.$$

把所得到的 Δh 的表示式代入上述的关系式中:

$$p = p_0 - (\gamma_2 - \gamma_1)h - \gamma_1 \frac{d^2}{D^2} h.$$

因为 $\gamma_1 < \gamma_2$, 所以 $p < p_0$ 。若 $p_0 = p_{am}$, 则气罐中的压力小于大气压力。气罐内的真空等于

$$p_s = h(\gamma_2 - \gamma_1) + \gamma_1 \frac{d^2}{D^2} h.$$

例 III. (图 1-7). 直径为 d 、重量为 G 的活塞浸入于液体中, 并在力 P 的作用下处于静止状态, 若液体的单位体积重量

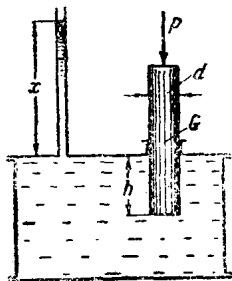


图 1-7

为 γ , 活塞的浸入深度为 h , 试确定液体在测压管内上升的高度 x 。

为了确定上升高度 x , 必须知道液体中的压力, 后者可由活塞的平衡方程式确定之:

$$P + G = \gamma u \frac{\pi d^2}{4};$$

$$p_u = \frac{P + G}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

计算给出的系相对压力, 因为在计算中未考虑作用在活塞上的大气压力。压力 p_u 发生在测压管自由液面以下深度 $h + x$ 处, 因而能写出:

$$p_u = \gamma(h + x),$$

或

$$x = \frac{p_u}{\gamma} - h.$$

习题 1-1. 假设潜水钟内水 ($\delta = 1.025$) 的表面位于海平面下 12 米, 在海面上水银气压计的读数为 750 毫米水银柱, 试问安置于潜水钟内的气压计的读数 x 将为若干? 设把具有固定零点的压力计联接到潜水钟的阀门 A 上, 试问压力计内的水银将怎样稳定起来? 设把压力计联接到阀门 B 上, 压力计内的水银又将怎样稳定起来? 设当测量时仪器的联接管内没有空气。

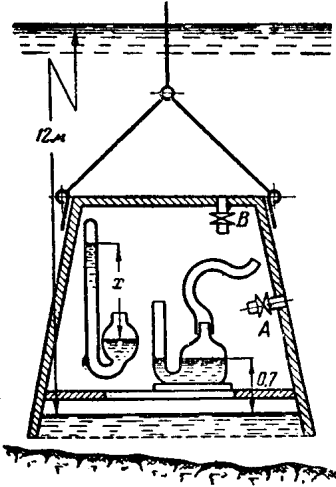
答 $x = 1655$ 毫米; $h_A = h_B = 52.8$ 毫米。

习题 1-2. 为了测量压力, 把三种不同的测压仪器联接到内装汽油 ($\delta = 0.7$) 到高度 $a + b = 1.9$ 米的容器上, 容器的顶端接一弹簧压力计, 靠近底部的侧壁上接一测压管, 在汽油液面下深度 $b = 1.3$ 米处的侧壁上接一个充满水银 ($\delta = 13.6$)、水 ($\delta = 1$) 和空气 ($\delta \approx 0$) 的三曲压力计。

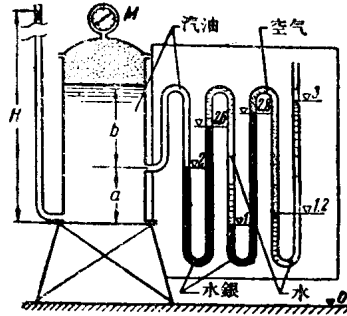
若三曲压力计中液面的位置如草图上所示 (给出的液面标高, 系相对于地面而言, 以米计), 试确定压力计 M 和测压管 H 的读

数。

答 $M=3.2 \text{ amu}$; $H=46.3 \text{ M}$ 。



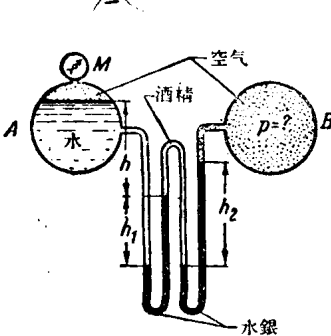
题图 1-1



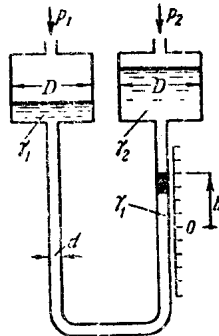
题图 1-2

习题 1-3. 试求容器 B 中空气的压力 p , 假设容器 A 中水面上的压力等于 0.25 amu , 压力计中水银 ($\delta=13.6$) 面的差 $h_1=200 \text{ MM}$, $h_2=250 \text{ MM}$, 以及深度 $h=0.5 \text{ M}$. 在压力计二水银面间充满酒精 ($\delta=0.8$)。

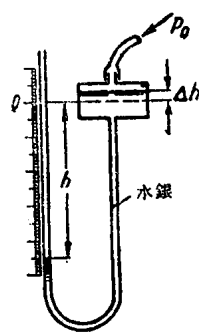
答 $p=0.276 \text{ amu}$ 。



题图 1-3



题图 1-4



题图 1-5

習題 1-4. 双液杯式微压計由联接着两个杯子(直径 $D=50\text{ mm}$)的 U 形管($d=5\text{ mm}$)組成。仪器内装着单位体积重量相近的而不相混的液体——乙醇水溶液($\gamma_1=870\text{ kN/m}^3$)和煤油($\gamma_2=830\text{ kN/m}^3$)

試建立为微压計所测量的气体压力差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 与液体分界面距开始位置(相交于 $\Delta p = 0$)的位移 h 之間的关系, 并确定当 $h=280\text{ mm}$ 时的 Δp 。

当上述 Δp 时, 假若:

a) 在仪器中沒有杯子;

b) 仪器中裝的仅是一种 γ_1 的液体, 試指出仪器的讀数將减小若干倍。

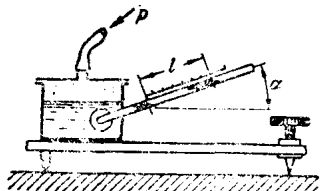
答 1) $\Delta p = h \left[\gamma_1 - \gamma_2 + \frac{d^2}{D^2} (\gamma_1 + \gamma_2) \right]$; $\Delta p = 16\text{ kN/m}^2$; 2) 30 倍和 15 倍。

習題 1-5. 当用杯式水銀真空計来測量压力时, 利用具有固定零点的标綫, 是不可能精确地确定出所測量的压力。为了由測量結果求得真实的压力, 必須对杯内水銀面的变动进行改正。

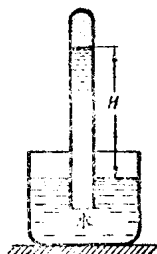
1) 当杯的直径 $D=60\text{ mm}$, 管的直径 $d=6\text{ mm}$ 时, 假若測量的結果为 $h=300\text{ mm}$, 試問当測量时所允許的誤差为若干?

2) 如何刻度仪器的标綫, 以使得按照标綫的計算相应于真实的压力?

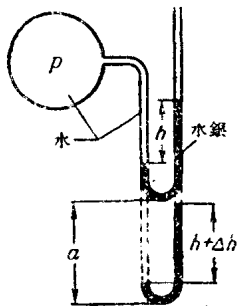
答 1) 0.99%; 2) 水銀柱降落 100 mm 相应于标綫長度 99 mm 。



題圖 1-6



題圖 1-7



題圖 1-8

習題 1-6. 測量很小的压力时, 应用具有傾斜标綫的杯式酒精($\delta=0.8$)压力計, 可以大大的提高測量的精确度。

1) 假設用肉眼觀測标綫的計算精确度为 0.5 mm , 为使測量在 $100—200 \text{ mm}$ 水柱範圍内的压力时, 測量的誤差不超过 $\pm 0.20\%$; 試确定仪器測管与水平面应形成的角度为若干。

2) 用具有直立标綫的杯式水銀($\delta=13.6$) 压力計来測量同样的压力, 最大的誤差为若干。

杯的直径可認為相当大, 以致于可以忽略对其中液面变动的改正。

答 1) $\alpha=30^\circ$; 2) $\pm 6.8\%$ 。

習題 1-7. 將充滿水的試管倒置, 并使其开口端淹沒在水面以下, 試問水在試管中建立的高度 H 將为若干? 假設大气压力为 735.6 mm 水銀柱, 水的温度为 4°C 。

若当温度升到 20°C 和 80°C 时, 高度 H 的变化如何? 下表中給出水的蒸汽压力值。

p, γ $t^\circ\text{C}$	4	20	80
p 蒸汽压力 kgf/m^2	63	236	4830
γ kgf/m^3	1000	998.2	971.8

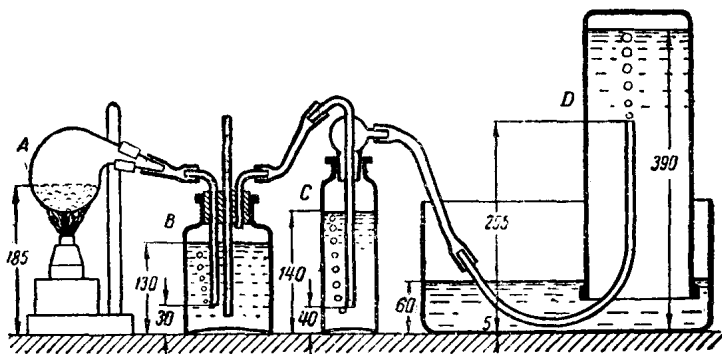
答 $H=9.937 \text{ m}$; $H=9.800 \text{ m}$; $H=5.320 \text{ m}$ 。

習題 1-8. 被水充滿的容器中的压力 p 由水銀压力計的讀数 (h_{mm}) 来确定, 假若压力計向下移动 $a \text{ mm}$, 試問压力計讀数的变化 (Δh_{mm}) 为若干?

答 $\Delta h = \frac{a}{13.1}$ 。

習題 1-9. 由于化学反应, 从曲頸蒸餾器 A 中分离出来的气

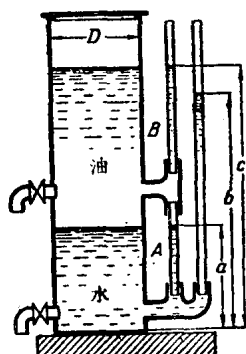
体, 顺序注入装有冲洗溶液($\delta_B=1.03$, $\delta_C=1.05$)的容器 B 、 C 及装有水的聚集器 D 中。各种尺寸(以 mm 计) 如图 1-9 所示。试确定在蒸馏器 A 、容器 B 、 C 和聚集器 D 中的压力。



题图 1-9

气体沿导管通过时的阻力忽略不计。

答 $p_D=0.0330 \text{ amg}$; $p_C=0.0200 \text{ amg}$; $p_B=0.0095 \text{ amg}$; $p_A=0.0008 \text{ amg}$ 。



题图 1-10

习题 1-10. 在直径 $D=0.4 \text{ m}$ 的圆柱形澄清液体的桶中, 油与沉淀的水之间的分界面借玻璃管 A 来确定, 油的上表面借玻璃管 B 来确定。

试计算:

1) 假若 $a=0.5 \text{ m}$, $b=1.6 \text{ m}$, 桶内的水和油($\delta=0.84$) 各为若干?

2) 假若 $a=0.2 \text{ m}$, $c=1.4 \text{ m}$, $b=1.2 \text{ m}$, 油的单位体积重量为多少?

答 1) $W_o=62.8 \text{ t}$; $W_M=164.5 \text{ t}$. 2) $\gamma_M=833 \text{ kN/m}^3$ 。

习题 1-11. 用一个具有交叉分枝的 U 形管作为燃料箱的液面指示器, U 形管内装有单位体积重量为 γ_1 的燃料, 及与燃料不相混混的具有单位体积重量为 γ_2 的液体。