同濟大學

水力学和水文学

水力水文教研組

1957年9月

水力学和水文学（目录）

水力学部分

第一篇 普通水力学

第一章　緒　論

第二章　水静力学

第三章　水动力学基础

第四章　液体运动的阻力及能量损失

第五章　管路的水力計算

第六章　液体經孔口和管嘴的出流

第七章　液体在明渠中的均匀流动

第八章　　第二篇　明渠水力学

第八章　明渠中的非均匀流动

第九章　水跃及上下游联結

第十章　堰

第十一章　道路过水建筑物的水力計算

第十二章　地下水流动

水文学部分

第十三章　河川水文学

第十四章　水文計算

附　录

說明：本学期給排水三年級无水文学課程故該部分講义不发給水三同学。

第一篇　普通水力学

第一章　緒論

§1—1　水力学的定义

水力学为属于工程力学范围内的一門科学，研究液体的平衡和运动的規律，以及应用这些規律来解决实际工程上的問題。

研究液体平衡的部分称水静力学，研究液体运动規律的部分称为水动力学。

水力学的研究，和固体力学一样，以物理学和理論力学的定律为依据，采用数学方法作出理論分析及实驗資料来証实理論的正确性並补充純理論分析还不能完全解决的某些問題。因此，現代水力学是一門企图将古典型純理論的水动力学和偏重于实驗来观測水力現象的經驗水力学相結合的科学。

在工程师（特别是土木工程师）的教育过程中，物体質点的运动学和动力学不可否認的是絕大部分的专业課程的基础。但是工程师在解决許多实际工程問題时，例如拦阻液流或貯存液体的建筑物（坝、水塔、油庫等）、过水建筑物（桥梁、涵管、透水堤等）和有液体通过的建筑物（淨水和污水处理系統中的各項設备）的形式的規划，及其中洩流、溢流設备和輸送液体管路的尺寸的决定，除对建筑材料性能必需深刻了解外，对液流水力現象的原理亦应具有一定程度的知識，决不能滿足于仅仅会套用某些公式而已。因为設計者只有在对液流水力学現象的基本特征有适当的認識，才能合理分析各个环节作出滿意的解答，然后綜合起来以解决整个問題。这样，学习水力学的重点应着重在普遍性的原理而不是在有限制性的經驗公式，换句話說，就是要注意各种水力現象的"为什么"和"怎么样"而不是仅仅記住些"系数"的数值。

§1—2　流体的特征

物体可分为兩大类—— 固体和流体。兩者之間的区别为流体的質点間的凝聚力极为微弱，因此，对于作用在物体上的力的反应，流体和固体是不相同的。对固体来講，当受到外力（拉力、压力或切力）时，产生彈性形变，力的大小直接影响形变的大小。在应力未超过彈性限度时，必需継續維持施于固体上的力，才能保持已产生的形变。对流体来講，只于受压力时具有彈性性能，对拉力所能起的抵抗力量是不能超过質点間的凝聚力。由于这个力量非常微小，一般可以忽略不計。

当它受切力作用时，无論怎样微小，就将不断地变形，同时应力的大小決定于形变的速度。这个特征称为流体的易动性。

流体又可分为两类—— 液体和气体。少量气体放入任何容器内，它就完全充滿整个容器。如借外力压縮容器体积，其中的气体亦隨之收縮。而液体則不然，在极大的压力作用下，其压縮量仍是很小。把液体注入任意形状的器皿內，它就具有与器皿相同的形状，但是並不完全充滿器皿的容积（除液体体积恰与容器的容积相同的情形外）而具有一个自由液体表面。

这样，在水力学中研究的对象—— 液体是具有下列特征：1）易动性；2）不可压縮性；3）以自由表面为边界。

§ 1—3 液体的主要物理性質

甲 密度和重率

均勻液体单位容积的質量称为密度，以 ρ 代表之。

$$\rho=\frac{M}{V}, \qquad (1\text{—}1)$$

式中 M 为液体質量，其单位为克質量或 $\frac{公斤一秒^2}{公尺}$；

V 为液体容积，其单位为公分^3 或公尺^3。这样，密度单位有两种不同的表达方式—— $\frac{克(質量)}{公分^3}$ 或 $\frac{公斤一秒^2}{公尺^4}$。前者为絕对制或CGS制，后者則为工程制。在本书中一般将采用工程制单位。

均勻液体单位容积的重量称为重率，以 γ 代表之。

$$\gamma=\frac{W}{V}, \qquad (1\text{—}2)$$

式中 W 为液体重量，其单位为达因或公斤；

V 为液体容积，其单位为公分^3 或公尺^3。同密度的单位一样，重率的单位可以采用絕对制的 $\frac{克(質量)}{公分^2一秒^2}$ 或工程制的 $\frac{公斤}{公尺^2}$。

由式（1—1）和式（1—2），很易容找到密度与重率間的关系：

$$\frac{M}{f}=\frac{W}{\gamma}=\frac{Mg}{\gamma},$$

或
$$\gamma=f\,g, \qquad (1\text{—}3)$$

式中 g 为重力加速度，采用 9.81公尺/秒^2 为其平均值。

蒸餾水在 t = 4° C（摄氏）时，重率为

$$\gamma = 1.000 \frac{公斤}{公尺}$$

一般工程上水的重率和蒸餾水的重率相差无几，十分渾浊的水的重率可能达到 γ = 1200公斤／公尺³，海水的重率为1020~1030公斤／公尺³。

当水的温度发生变化时，它的体积亦将变化。但是体积变化的幅度很小（参看表1—1）。因此严格地說水的密度和重率並不是常数。在实际工程上則因为温度普通是介于0° C到35° C之間，可以把水的重率和密度認为不变的。

表 1—1　淡水的重率和密度（在标准大气压作用下）

重率和密度	水的温度 °C							
	0	4	10	20	40	60	80	100
γ $\frac{公斤}{公尺^3}$	999.87	1000.00	999.75	998.26	992.35	983.38	971.94	958.65
ρ $\frac{公斤-秒^2}{公尺^4}$	101.92	101.93	101.91	101.75	101.15	100.24	99.08	97.72

値得提一下的是重率和比重的区別。液体的比重为其重量与同体积蒸餾水（4° C）重量的比値，以 δ 代表之。

表 1—2　某些液体的比重

液体名称	比重	t° C	液体名称	比重	t° C
普通汽油	0.70~0.75	15°	淡水	1.00	4°
乙醇（酒精）	0.79	15°	海水	1.02~1.03	4°
煤油	0.79~0.82	15°	甘油	1.26	0°
苯	0.88	20°	四氯化炭 CCl_4	1.59	20°
煤焦油(瀝青)	0.93~0.95	15°	汞（水銀）	13.6	0°

乙　粘滯性

液体的粘滯性为液体抵抗变形力量的量度。图（1—1a）示两塊相当大的平行板，其間滿盛液体。假定下板固定，而上板于力 F 的作用下向右以 U 的速度移动。两板之間的距离为 Y，移动板面积为 A。

与板相接触的液体将附着于板上，即就是，液体与板之間没有相对运动。这样，与固定之板相邻的液体的流速为零，而与移动板相接触的流速为 U。設定两板的距离不太大，則其間流速的变化（从0→

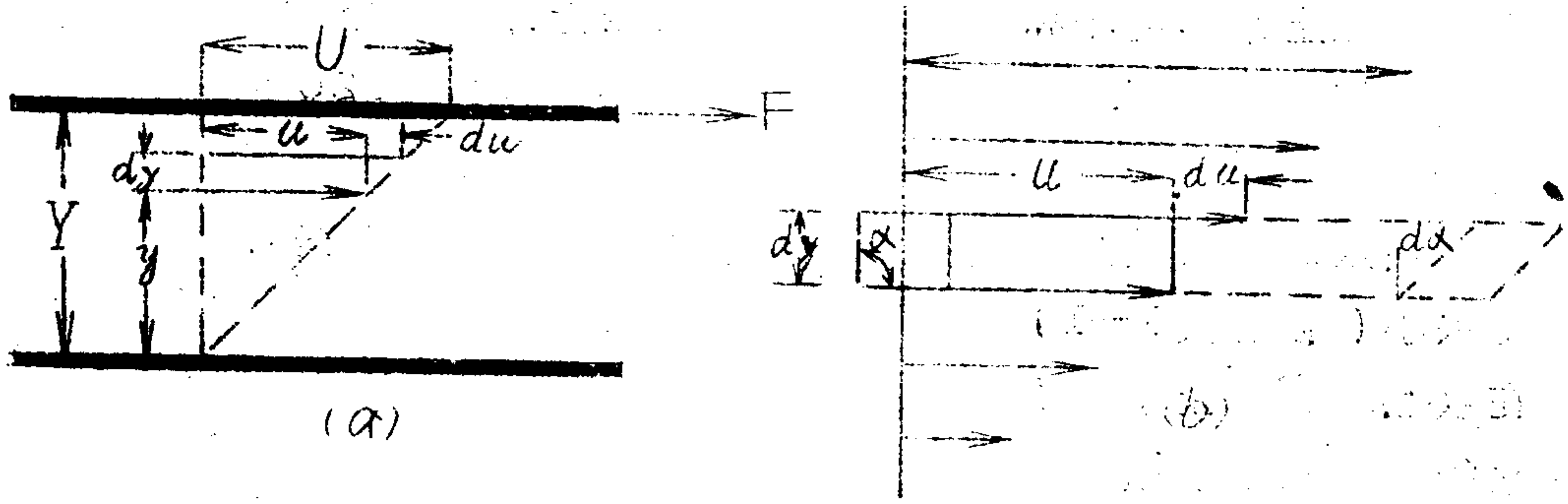

图 1—1

U）可認为是直綫变化。这种情形可以想像为液体是由无数薄层所組成，每层液体对于其相邻的一层滑动少許。实驗証明对于大多数的液体，作用着的力和流速存在下列关系：

$$F \propto \frac{AU}{Y}\text{。}$$

按图（1—1a甲）內相似三角形的关系，以du/dy 来代替U/Y，上式可写成

$$F \propto A\frac{du}{dy}\ \text{或}\ \frac{F}{A} \propto \frac{du}{dy}\text{。}\quad (1\text{—}4)$$

让我們先討論一下du/dy 的意义。从图（1—1b）可以看出每单位体积液体的变形率可以角α的变率来表达之。在角度不大时，$\alpha = \tan\alpha$，所以角α的变率是等于du/dy。这样，du/dy 的物理意义为液体的变形率。在技术术語中常称之为流速梯度。

F/A 显然为切应力，如以τ代表之，则式（1—4）于加入一个比列常数μ之后为：

$$\tau = \mu\frac{du}{dy}\text{。}\qquad (1\text{—}5)$$

式（1—5）为牛頓粘滞性方程式。比例常数μ称为动力粘滞系数，或絕对粘滞系数，或簡称粘滞系数。

动力粘滞系数的因次及单位　将式（1—5）改写成：

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}\text{。}\qquad (1\text{—}6)$$

于是动力粘滞系数的因次为单位面积的力除以流速梯度的因次。用L－T－M（长度－时間－質量）制度来表示，得

$$|\mu| = \frac{\frac{M}{LT^2}}{\frac{1}{T}} = \frac{M}{LT}。$$

它的单位为$\frac{克(質量)}{公分－秒}$，称为泊（Poise）。这是紀念泊謖叶（Poiseuille）而命名的。用L－T－F（长度－时間－力）制度来表示，得

$$|\mu| = \frac{\frac{F}{L^2}}{\frac{1}{T}} = \frac{FT}{L^2}。$$

单位为$\frac{公斤－秒}{公尺^2}$，並沒有专門名称。假使以达因为F的单位，公分为L的单位，这样則μ的单位为$\frac{达因－秒}{公分^2}$。这个单位和$\frac{克(質量)}{公分－秒}$相等。所以

$$1\ 泊 = 1\ \frac{克(質量)}{公分－秒} = 1\ \frac{达因－秒}{公分^2}。$$

由于

$$1\ 达因 = \frac{1}{981 \times 1000}\ 公斤，$$

$$1\ 公分^2 = \frac{1}{10{,}000}\ 公尺^2，$$

所以

$$1\ 泊 = \frac{1}{981 \times 1000} \div \frac{1}{10{,}000} = \frac{10^4}{981 \times 10^3} = 0.01019\frac{公斤－秒}{公尺^2}$$

在許多有关粘滞的問題中，常常需要計算动力粘滞系数除以密度μ/ρ的数值。μ/ρ称为运动粘滞系数，因为它不包含力或者質量在內。以ν代表运动粘滞系数，得

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}。\qquad (1—7)$$

它的因次为 $$|\gamma| = \frac{\frac{M}{LT}}{\frac{M}{L^3}} = \frac{L^2}{T}。$$

这里仅有两个基本因次—— L和T，所以用L－T－M制或L－T－F制，运动粘滞系数的因次是相同的。它的单位为$\frac{公分^2}{秒}$，称为斯(Stoke)。这是紀念斯篤克(Stokes)而命名的。

温度对粘滞系数的影响　当压力增加，粘滞系数的值稍稍有些增加。因为增加的数益很小，在一般工程問題中，假定它和压力无关。而温度对粘滞性的影响則是很大。它对液体和气体所起的影响恰恰相反。气体的粘滞系数隨温度的增加而增加；液体的則隨温度的增加而减小。

水的运动粘滞系数和温度的关系可以拍馥叶式来决定：

$$\gamma = \frac{0.0178}{1+0.0337t+0.000221t^2}\ \frac{公分^2}{秒}，\quad (1—8)$$

式中 $t = {}^\circ C$。

在不同温度时，水的运动粘滞系数的值見下表1—3。

表1—3　水的运动粘滞系数

$t^\circ C$	$\gamma\ \frac{公分^2}{秒}$	$t^\circ C$	$\gamma\ \frac{公分^2}{秒}$	$t^\circ C$	$\gamma\ \frac{公分^2}{秒}$
0	0.0178	14	0.0117	30	0.0080
5	0.0152	16	0.0111	40	0.0066
10	0.0131	18	0.0106	70	0.0041
12	0.0124	20	0.0101	100	0.0028

丙　压　縮　性

当作用于流体上的压力增加时，流体所佔的容积就将縮小，这个性质称为压縮性。設流体的原容积为V，当作用在其上的压力增加了一个Δp值后，容积的减小值为ΔV。运用虎克定律——彈性模数＝应力／应变，得出下列关系：

$$E = \frac{\Delta p}{-\frac{\Delta V}{V}} \quad 或 \quad -\Delta V = \frac{V\Delta p}{E}，\quad (1—9)$$

式中的負号表示压力增加則容积减小。

把式（1—9）改写成：

$$-\frac{\Delta V}{V\Delta h}=\frac{1}{E}=\beta_p,\quad (1-10)$$

得到弹性模数E的倒数的表达式。E的倒数称为容积压縮系数，以β_p代表之。流体容积压縮系数的数值直接显示压縮率的大小。

液体的容积压縮系数非常之小。以水为例，当水在0°C时，每增加一个大气压的压力（1.033公斤/公分^2），其縮減的体积約为原体积的二万分之一，即压縮率等于0.005%。因此，在計算水工上实际問題时，可以把水認为不可压縮的。在本书中水力学部分內除对于水击問題的討論外，水的压縮性将不予考慮。

水的弹性模数並不是一个常数，压力和溫度对它都有影响，（見表1—4）。在一般工程計算中采用E＝21.000公斤/公分^2，$\beta_p=\frac{1}{E}=47.6\times10^{-6}$ 公分^2/公斤。

表1—4　水的弹性模数（公斤/公分^2）

溫度°C	压力（大气压）				
	5	10	20	40	80
0	18.900	19.000	19.200	19.500	19.800
5	19.300	19.500	19.700	20.100	20.700
10	19.500	19.700	20.100	20.500	21.200
15	19.700	20.000	20.300	20.900	21.700
20	19.800	20.200	20.600	21.200	22.170

丁　表面張力及毛細管現象

液体各分子之間存在着一种分子吸引力。位于液体內部的分子，如图1—2的分子A，在各方面都被其相邻的分子力均等地吸引着而处于平衡状态。但是在液体表面的分子，如图1—2的分子B，所受到的分子吸引力是不平衡的，因而产生表面張力，由于表面張力作用的結果，液体表面好象是張了一层有弹性的薄膜，企图使液体約束于最小表面的体积之內，即就是，使液体的体积呈球形。

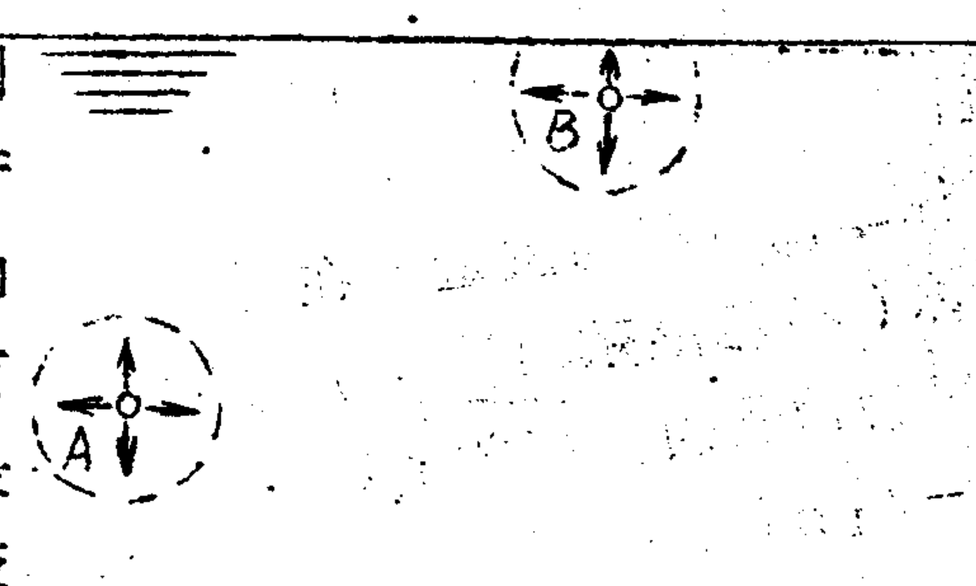

图1—2

在平面形的液体表面內，所有

的力处于平衡状态，因而不存在着表面张力。如果表面是弧形的，表面張力将引起一个压力差，来維持力的平衡。在曲面內取一小长方形，其边长为 ds_1 和 ds_2（图 1—3）。作用于其上面的压力为 $p_1ds_1ds_2$；于其下面的压力为 $p_2ds_1ds_2$。設表面張力为 σ（σ 的因次为 F/L，普通用达因/公分或克/公分为它的单位），則在平方形的两对边 ds_1 上，作用着两个方向相反的力 σds_1 在其它两个对边 ds_2 上，作用着两个方向相反的力 σds_2。以 $d\alpha$ 代表两个 σds_2 力之間的角度，它們的合力为 $\sigma ds_2 \cdot d\alpha = \sigma ds_2 \cdot ds_1/R_1$；同樣以 $d\beta$ 代表两个 σds_1 之間的角度，它們的合力則为 $\sigma ds_1 \cdot d\beta = \sigma ds_1 \cdot ds_2/R_2$。列出力的平衡方程式，得

$$p_1ds_1ds_2-p_2ds_1ds_2= =\sigma ds_2\cdot\frac{ds_1}{R_1}+\sigma ds_1\cdot\frac{ds_2}{R_2},$$

或 $$p_1-p_2=\sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)。\quad(1—11)$$

作用于液体平面上的压力 $p = p_0-\gamma z$（參看第二章的第二节），z 为垂直向上量的距离，γ 为液体重率即液体单位体积的重量。在两个不同液体（不相混杂的液体）的分界面上，如他們的重率为 γ_1 和 γ_2

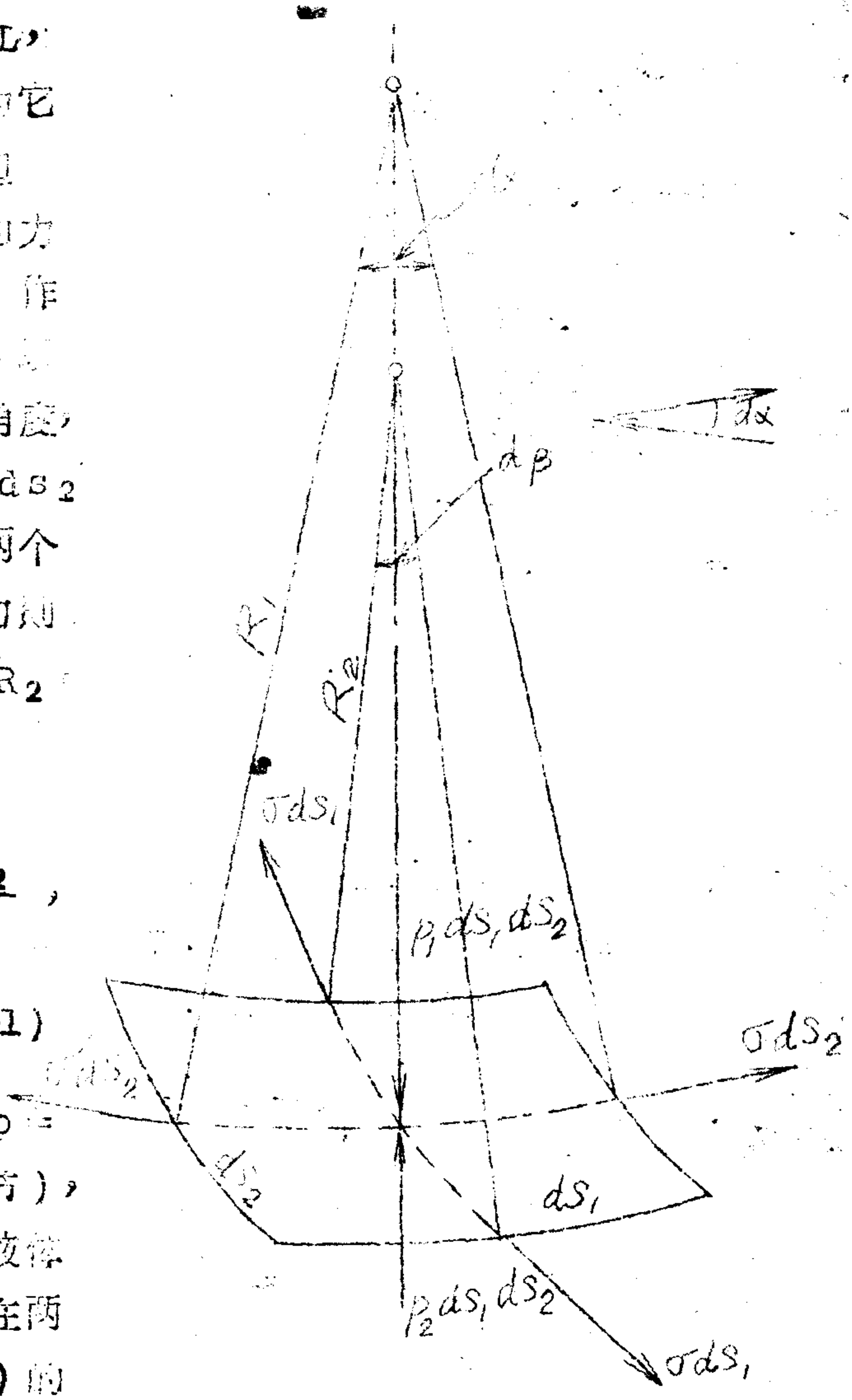

图 1—3

則 $p_1=p_0-\gamma_1 z$；$p_2=p_0-\gamma_2 z$。代入式（1—11），得

$$\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=\frac{\gamma_2-\gamma_1}{\sigma}z。\quad(1—12)$$

式（1—12）給我們計算液体在細小管子中上升（或下降）的可能，即所謂毛細管現象。如細小管的內半徑为 r，並把管內液面认为是球形的（內半徑 r 和上升高度 h 的比值愈小，愈接近于球形），則从图

(1—4) 可以看出$R=r/\cos\alpha$，α为接触角，这样。同时以h代替z，我们得到毛細管作用液体上升(或下降)高度h的公式：

$$h=\frac{2\sigma}{\gamma_2-\gamma_1}\cdot\frac{\cos\alpha}{r}。(1—13)$$

表面張力σ在20°C的数值为：

水/空气　$\sigma=72.5$达因/公分，

油/水　$\sigma=25\sim30$达因/公分，

水銀/空气　$\sigma=472$　达因/公分。

許多用来測量压力的測压管是玻璃管，水和玻璃的接触角約等于0°，水銀和玻璃的接触角約等于140°。将这些数值代入式(1—13)，得20°C的水在半径为r(公厘)的玻璃管中的上升高度为：

$$h=\frac{29.8}{2r}\text{ 公厘}$$

同样温度的水銀在玻璃管中的下降尺度为：

$$h=\frac{10.15}{2r}\text{ 公厘}$$

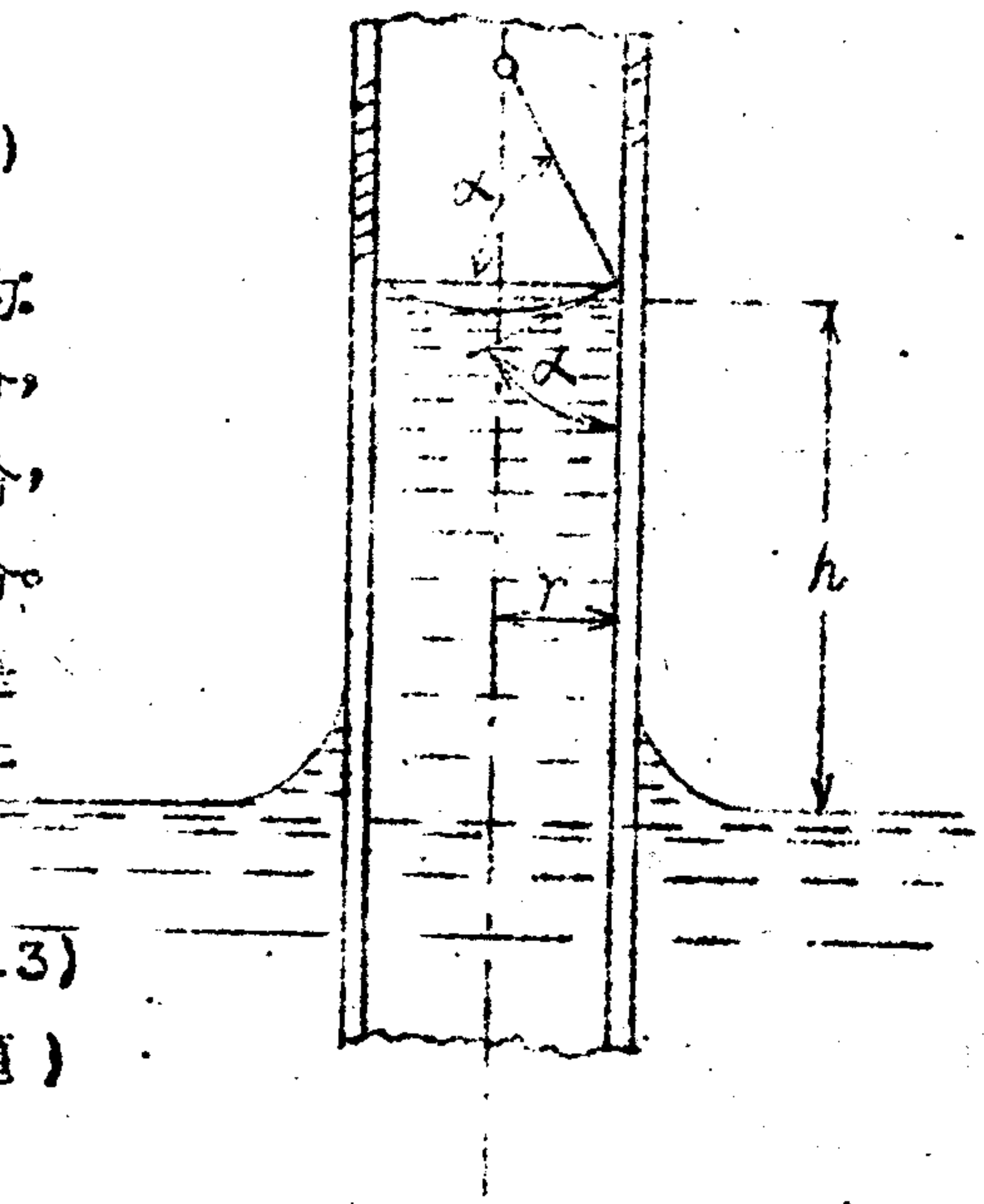

图 1—4

§1—4　作为連續介質液体的定义

液体与任何物質一样是由許許多多分子所組成。这許多分子不是相互緊接而其間存在着空隙，并且它們具有在分子的空隙間自由运动的本能。当研究液体运动規律时，如果要詳細地去研究組成液体的各个分子的情况，这是不可能的。为了避免这个困难，我們把液体看作为連續介質，就是說，"流体介質不是由在分子空間移动着的一些分子所組成的，而是无間隙的填滿着該体积外形中所有的空間，其中沒有任何空隙存在的連續体"。①講得簡单一些，作为連續介質的液体是一个連續体，其間沒有空隙。这样，我們就沒有必要去研究分子的运动而仅需要研究由于外力的影响所引起的运动。同时使我們可以运

①引自科兹夫尼柯夫編著"普通水力学講义"，高等教育出版社印行，第9頁。

用連續函数来分析研究液体的运动。

§ 1—5 理想液体

理想液体是用来区别与自然界的实际液体。凡認为絕对不可压縮的、不可膨脹的、质点具有絕对流动性；即就是，完全沒有內部的相互摩擦（粘滞性等于零）的液体称为理想液体。

用理想液体来代替实际液体，非但能够大大地簡化許多問題的推解，並且在实质上不影响研究的結果。例如因为实际液体的容积和密度几乎是一个常数，允許我們把理想液体認为絕对不可压縮或膨脹的。又如实际液体的凝聚力是微小到可以忽略不計，那么可以把理想液体看做具有絕对的流动性。只有忽略了粘滞性将使研究的結果与实际情况有些相差。所以一般的方法为于研究理想液体的运动规律之后，再加以由粘滞性所引起的必要修正。

§ 1—6 作用于液体的力

作用于液体的力可分为两大类—— 內力和外力。

在任何液体块中的內力，必然是成对的而且它們的方向恰相反大小則相等。因此，內力是相互抵消的，換言之，液体块中的內力的合力等于零。

外力再可分为两类—— 表面力和质量力。

表面力为作用于所研究的任何一块液体表面上的力。按力的作用綫与液体表面相交的情况，表面力有两种：其一为正交的力，由于液体不能抵抗拉力，所以对液体来講正交的力总是压力；其二为切向的力，即就是摩擦力。

质量力为作用于液体的每个质点上的力，它的大小与质点的质量成正比。对均匀液体来說，质量与体积成正比，因而质量力与液体体积也成正比，所以质量力亦称体积力。属于这一类之中最常常遇到的为重力。当研究相对运动时或运用达兰貝尔原理时，慣性力亦属于这个类型。

质量力以单位质量的值表达之，亦即就是以加速度表达之。在直角座标軸上的投影，在本书将用X，Y，Z符号来代表它們。

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{F_x}{M} = a_x, \\ Y &= \frac{F_y}{M} = a_y, \\ Z &= \frac{F_z}{M} = a_z. \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{—}14)$$

第二章 水静力学

本章所研究的对象为液体平衡的規律及这些規律在实际工程問題上的应用。当液体处于平衡（静止）状态时，每个液体质点对一适当座标而言，它的相对速度为零。因此，粘滞性不起作用，可以把自然界的实际液体看作理想液体。用純理論分析方法所得的結論将是完全正确的。

§2—1 静水压力及其特性

于平衡（静止）液体中假想隔离一部分液体体积（图2—1），用一任意平面（面ABC）把它分成上下两部（I和II），並抛棄上部I。如果在切面ABC的每个微小面积（例如图2—1点a附近的面积ω）之上加上了一个力P后，液体保持着原来的平衡状态，那么力P就是作用在平衡液体內任意面积ω上的总静水压力。

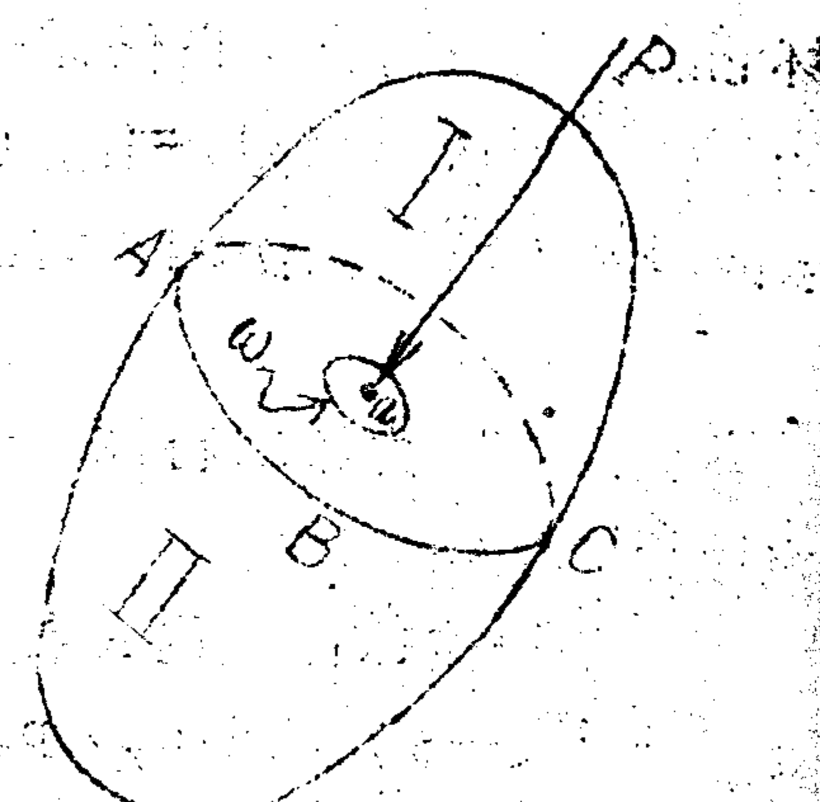

图2—1

作用在任一面积上的总静水压力以面积除之，得作用面上的平均静水压力，以p_{cp}代表之，

$$p_{cp}=\frac{P}{\omega}。\qquad (2—1)$$

把作用面积ω縮小到一点a，换言之即面积趋近于零，P/ω值将趋近于某一极限值，該值称为在a点的静水压应力。在水力学中，一般簡称为静水压力，以p代表之。

$$p=\lim_{\omega\to 0}\left(\frac{P}{\omega}\right)。\qquad (2—2)$$

它的因次为$\frac{力}{面积}$或$\frac{[F]}{[L^2]}$，在本书中采用公斤（Kg）及吨（T=1000 Kg）为力的单位，公分（cm）及公尺（m）为长度的单位。这样，静水压力的单位为：

$$\frac{公斤}{平方公分}(Kg/cm^2)，\frac{公斤}{平方公尺}(Kg/m^2)，或\frac{吨}{平方公尺}(T/m^2)。$$

1.静水压力第一特性 静水压力垂直于作用面，其方向与作用面

的内向法綫相同。

用任意表面 S — S 把某一平衡液体体积分为两部分（图 2—2）。假想在某一点（例如图中的 A 点）处作用着一个与内向法綫方向不相同的总静水压力 P^0，将力 P^0 分为两个分力—— P^0_n 和 P^0_t。P^0_t 既是一个切力，倘使它可能存在必然将破坏液体的平衡。又假想在 B 点处作用着与内向法綫适相反的力 P''，因为液体不可能抵抗拉力而亦将破坏它的平衡。因此，在任意一点上的静水压力必须如图 2—2 上 C 点所示的力 P，沿内向法綫方向垂直于作用面。

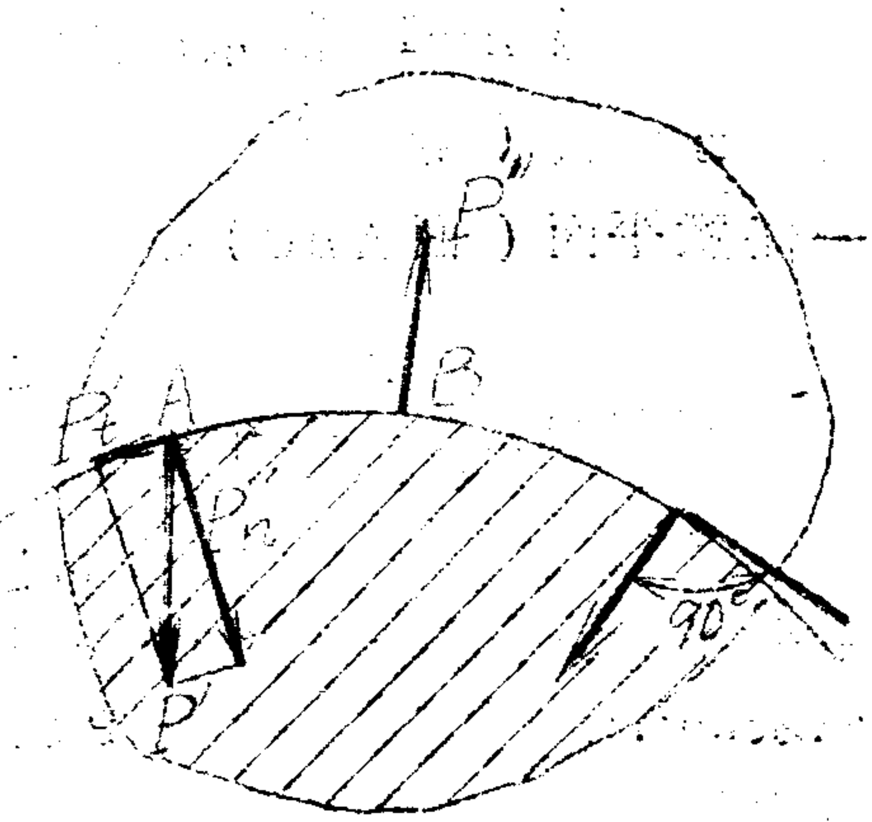

图 2—2

2.静水压力第二特性　平衡液体体积内一定点上的不同方向的静水压力其值相等。

在平衡液体体积内 A 点处取一微小楔形体，其边长为 d_x，d_Y，d_n（图 2—3）。以 p_x，p_z 和 p_n 分别作用在 ABDE，ACDF 和 BCEF

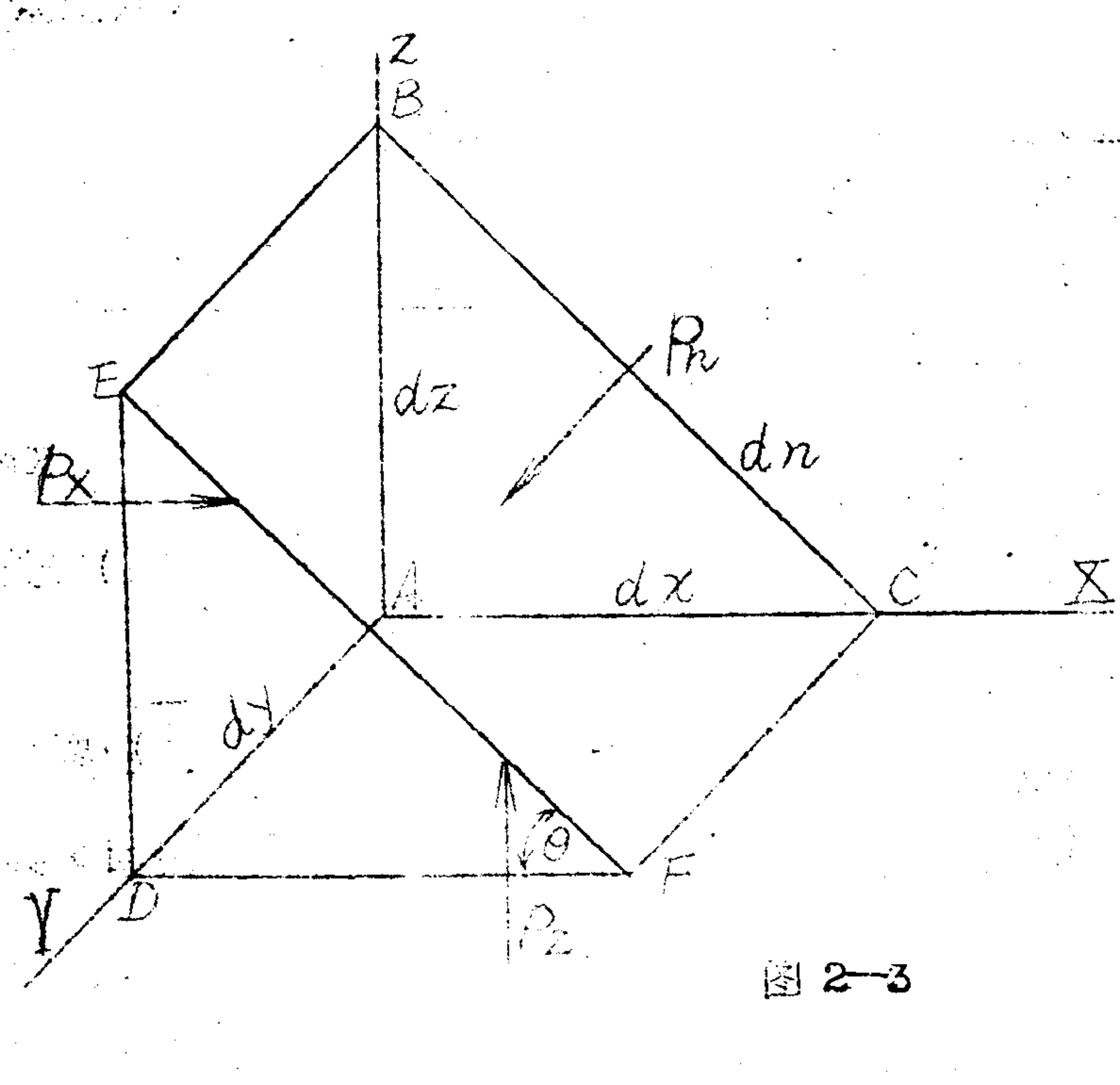

图 2—3

三个面上的静水压力，由于各个面的面积是无限小的，p_x，p_z和p_n可以認为是作用在各該平面上的平均静水压力。因此，各个面上的总静水压力分别为：

$$P_x = p_x\,dy\,dz,\quad P_z = p_z\,dx\,dy，和 P_n = p_n\,dy\,d_n。$$

此外还有体积力作用在楔形体体积上。以 X，Y，Z 表示单位質量沿 XYZ 軸向的一切体积力的投影，则 X，Y，Z 和楔形体积質量（$\frac{1}{2}\rho\,dx\,dy\,dz$）的乘积等于沿座标軸各軸向的体积力。

我們所取的楔形体既然处于平衡状态，作用在其上的外力沿任何一个軸向的总和应等于零。以 X 軸为例，得

$$p_x\,dy\,dz - p_n\,dy\,d_n\sin\theta + \frac{1}{2}\rho\,dx\,dy\,dz\,X = 0。\qquad (2—3)$$

式（2—3）中的第三項为三阶无限小，而前两項为二阶无限小，相比之下可以略而不計，于是上式可以写成，

$$p_x\,dy\,dz - p_n\,dy\,d_n\sin\theta = 0。$$

以 $d_n\sin\theta = dz$ 代入上式，则得

$$p_x - p_n = 0。\qquad (2—4)$$

同理，沿 Z 軸各外力的总为零，則

$$p_z\,dx\,dy - p_n\,dy\,d_n\cos\theta = 0。$$

以 $d_n\cos\theta = dx$ 代入之，得

$$p_z - p_n = 0。\qquad (2—5)$$

于是 $$p_x = p_z = p_n。\qquad (2—6)$$

这样，我們証明了在一定点上的静水压力与作用面的方向无关，各方向的静水压力均相等。

§2—2 静水力学基本方程式

静水力学基本方程式是說明静止液体內压力、密度和垂直距离三者之間的关系的表达式。在静止液体內取一微小园柱体，其截面积为 $d\omega$，其高为 dz（图 2—4）。兹以 P 代表作用在园柱体底面上的静水压力，因为我們尚不知道在园柱体頂面的静水压力和底面上的究竟相差多少，暂以 dP 代表两者之間的差額，那么作用在园柱体頂面上的静水压力可以 $P+dP$ 来表示之。此外这园柱体既是静止的，作用在其上的体积力为沿 Z 軸方向的重力，即就是 $Z = g$。

因为这微小园柱体是处于平衡状态，那么沿任一軸向各外力的总和应等于零。这样，

$$P\,d\omega - (P + dP)\,d\omega - \rho g\,d\omega\,dz = 0，$$

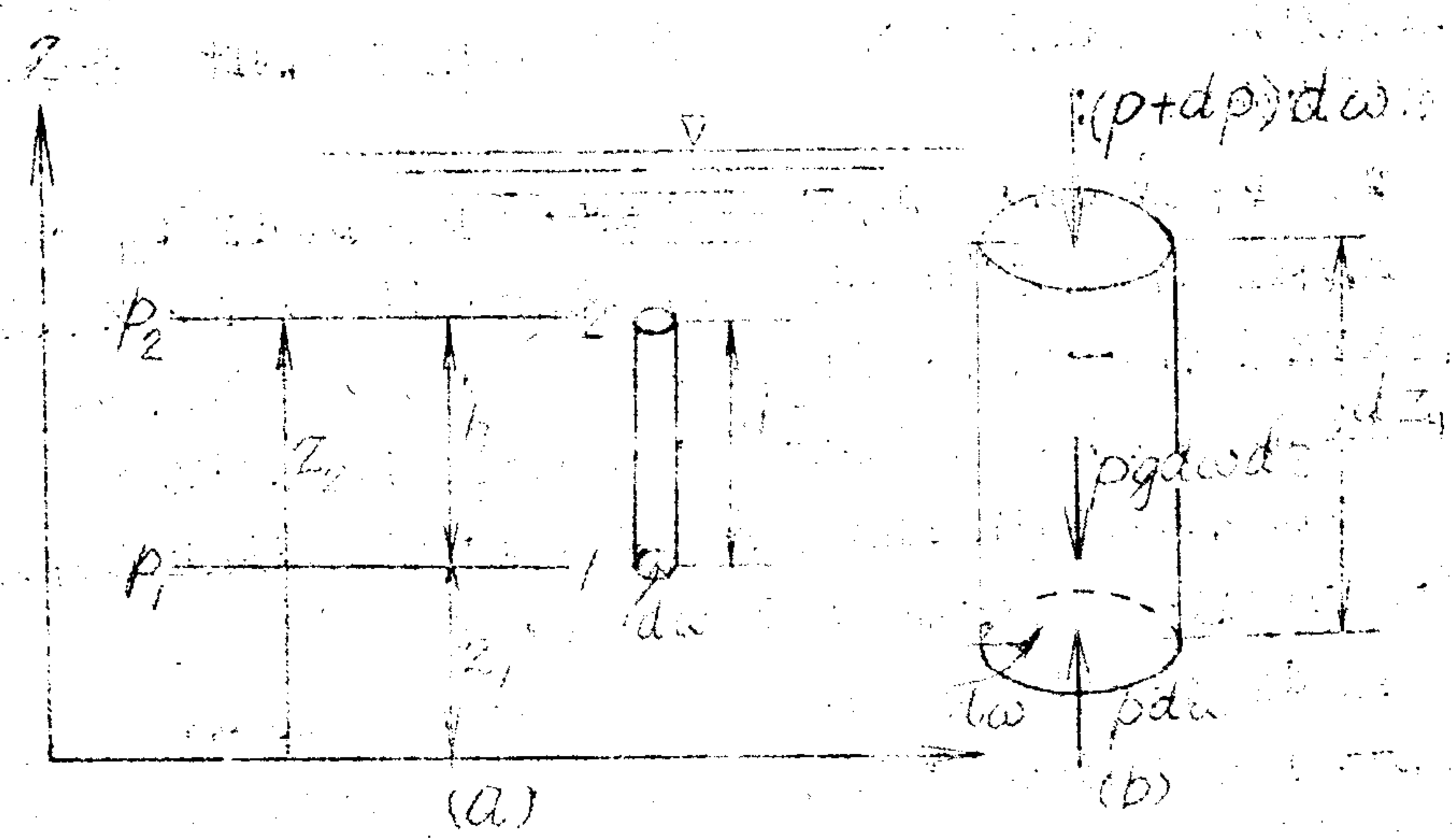

图 2—4

或 $$dP = -\rho g\, d\omega\, dz。\qquad (2\text{—}7a)$$

液体可認为不可压縮的，卽就是密度 ρ 为常数。以 γ = ρg 代入之，得

$$dP = -\gamma dz。\qquad (2\text{—}7)$$

式(2—7)說明静止液体体积中任意兩点上静水压力差决定于兩点对任一参考面的高程差。式中的負号指出 Z 值（注意 Z 值是由参考面向上量的）增大則 P 值減小。

将式(2—7)写成 $\frac{dp}{\gamma} = -dz$，並积分之，得

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = Z_2 - Z_1, \qquad (2\text{—}8)$$

或 $$p_1 - p_2 = \gamma(Z_2 - Z_1)。\qquad (2\text{—}9)$$

命 $Z_2 - Z_1 = h$，則

$$p_1 = p_2 + \gamma h。\qquad (2\text{—}10)$$

如点 2 位于液体自由面上，並以 p_0 表示其上的压力，点 1 上的静水压力等于 p_0 加液体重率乘淹沒深度(h)的乘积。以公式表示之則为：

$$p = p_0 + \gamma h。\qquad (2\text{—}11)$$

式(2—11)称为静水力学基本方程式。

在实际問题中，自由液面上的压力等于大气压力($p_0 = p_{aTM}$)。大气压力值虽然不是一个定值，在水力学的一般計算中可以把它当作

等于 $1\dfrac{Kg}{cm^2}$ 或 $10\dfrac{T}{m^2}$。在本书中除特别說明外，采用 $p_{атм}=1\dfrac{Kg}{cm^2}$。有时称它为工程气压。

§2—3 絕对和相对压力。真空

用式（2—11）得出的静水压力称为絕对压力 $p_{абс}$ 或静水全压力 $p_{полн}$。在某些工程問题中，我們仅需要知道静水压力和大气压力相差多少。于計算时将式（2—11）等号右端的第一項 p_0 删除不計，並称它为相对压力或計示压力 $p_{ман}$。這样，得

$$p_{абс}=p_{атм}+\gamma h,$$

$$p_{ман}=\gamma h,$$

和

$$p_{ман}=p_{абс}-p_{атм}。\qquad (2—12)$$

当絕对压力小于大气压力时，則式（2—12）等号右首的数值为一負值，可以称为"負計示压力"。于水力学術語中，我們不称它为"負計示压力"而称为"真空" $p_{вак}$。它的定义为比大气压力小多少的数值，以公式表示之为：

$$p_{вак}=p_{атм}-p_{абс}。\qquad (2—13)$$

不难看出真空值的范圍是从最大值 $p_{вак}=1\dfrac{Kg}{cm^2}$ 到最小值 $p_{вак}=0$，它永远是一个正值。例如 $p_{абс}=0.7$ 大气压，

則 $$p_{ман}=0.7-1=-0.3\text{ 大气压}=-0.3Kg/cm^2。$$

用真空来表达之則为：

$$p_{вак}=1-0.7=0.3\text{ 大气压}=0.3Kg/cm^2。$$

例題2—1　附图容器內的水是静止的，作用于自由水面AB上的压力为大气压力。求2，3，4各点上的静水压力。