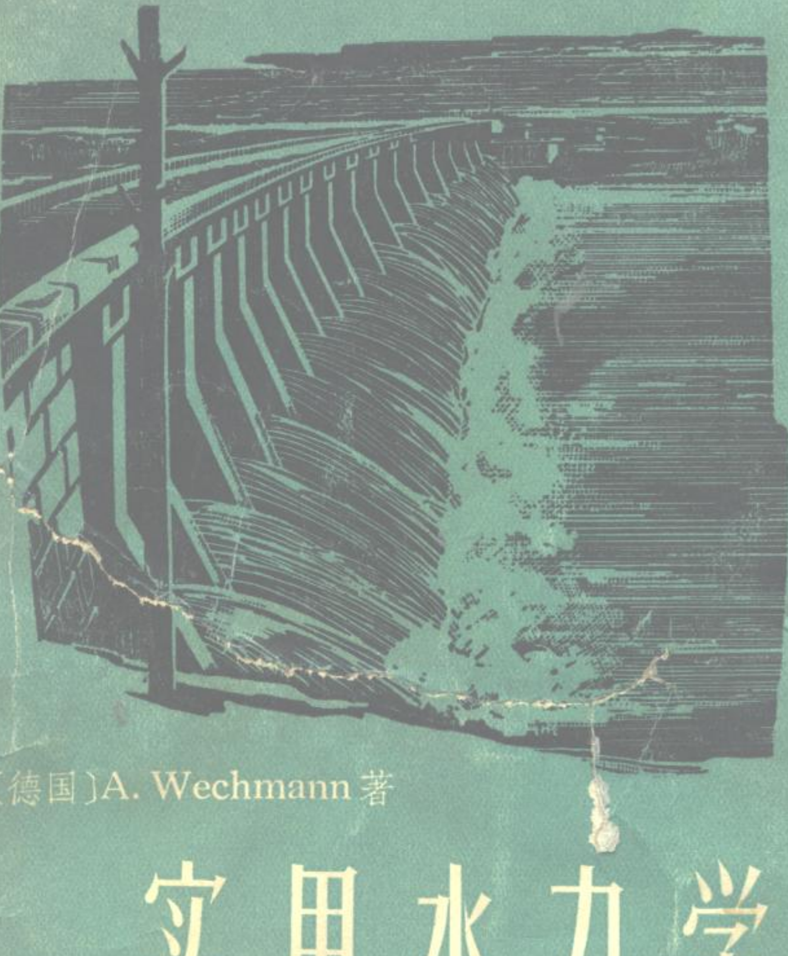

〔德国〕A. Wechmann 著

实用水力学

科学技术出版社

实用水力学

〔德国〕A. Wechmann 著
韓布葛 韋国英 合譯

科学技術出版社

內 容 提 要

本書对于靜水力学特别是动水力学有詳細的說明。在动水力学部分，作者着重地叙述了实际应用的基本定律、定量流和变量流，而在变量流中更介紹了緩冲池、水錘、湖泊的調节作用，沉淀物的流动，地下水的流动等。每章中都有数字計算的例題。

这本書由于內容丰富叙述清楚的緣故非常适合水工和給水排水方面的工程师和教授学生們閱讀之用。

实 用 水 力 学

HYDRAULIK

原 著 者 〔德国〕A. Wechmann
原出版者 VEB Verlag Technik Berlin·1955年版
譯 者 韓 布 葛 章 国 英

科 学 技 術 出 版 社 出 版
（上海南京西路2004号）
上海市書刊出版业营业許可証出079号

上海市印刷四厂印刷 新華書店上海發行所总經售

統一書号：15119·666
开本 850×1168 耗 1/32 · 印張 10 7/8 · 字数 267,000
1958年6月第1版
1958年6月第1次印刷 · 印数 1—2,300
定价：(10) 1.80元

包斯教授对本書的評价

包斯教授 (Prof. P. Böss) 在卡尔斯罗 (Karlsruhe) 工科大学执教有年，他在杂志 Bauingenieur (1956 年 12 月号，464 頁) 中撰文对本書作了評价．包斯教授这样地說：

这本書把动水力学理論和应用水力学紧密地連系起来好象在它們之間造了一座桥梁一样，因此这本書就特別显得有价值了．書中用明显而容易了解的方式把最新方法介紹出来．

作者尽量地介紹了实际应用方面的基本定律．对于溝道和管綫中的定量流他用經驗公式和簡明的数字表格以及諾謨图等詳細地加以說明；这样就介紹出最好和最适用的計算方法．

在变量流部分中，讀者可以找到所有的重要应用，如緩冲池，水錘，湖泊的調节作用等；其他的篇幅則用于叙述沉淀物的流动和地下水的流动等，这些都是根据最新的經驗（包括作者自己的經驗在內）来作出的．作者最后还簡要地叙述了流体动力学的大概借以說明位流在一些实际情况中的应用．

这本書的各章中都有数字計算的例題，而由于內容丰富特别是异常清楚的叙述方式，这本書非常适合水工和給水排水方面的工程师和教授学生們閱讀之用．

序　　言

这本書主要是水力学的一个入門。学者只要能知道物理和化学的基本原理并在数学方面能够进行微分和簡單的积分的計算即可，并不需要对这学术部門預先有什么知識。在实际工作中的工程师应特别注意学会利用图表来解决他們所遇到的問題。

水力問題方面的書籍非常丰富，要想在工作中对于各种理論和經驗的方法，特别是新的研究成果获得一般的了解，都不可能。因此，作者不能不以介紹那些在实际工作中特别适用的計算方法为限。讀者如願在个别部門深入鑽研，可参証后附的图書目录。

当本書付印期間，新版德国工程标准 DIN 1302 关于数学符号部分已經出版，并且对于三角圓函数也有了新的符号。和第八版的排水指南中对于排水管徑的新計算方法一样，也不可能加以考虑了。

阿图尔維希曼 (A. Wechmann)

目　录

第一章 概 論

1. 定 义

專門研究水中和水面上的力的平衡作用的科学叫做静水力学而專門研究这种水和力的运动的科学则叫做动水力学．静水力学和动水力学合并起来总称为流体力学．所謂水力学是应用的流体力学，就是把流体力学应用在实际工程方面．水力学大都是根据試驗的結果，这些試驗或者是利用作試驗用的物件本身(如管道)，或者是在縮小的模型(如疏浚河道的計划中所采用的)上进行，如在作河工計划时所作的相同．各个技术名詞和記号在德国工程标准中都有說明，特别是在：

DIN 4044：流体力学，專門名詞．

DIN 4047：农业水力学，專門名詞．

DIN 4048：水力发电站和蓄水池，專門名詞和定义．

DIN 4049：水理学，專門名詞和定义．

DIN 4054：第一張，河道疏浚，專門名詞．

第二張，海洋及海港工程，專門名詞．

2. 水的性質

a) 单位重量，密度．

水的單位重量 γ (也叫做比重) 和密度 $\varrho=\dfrac{\gamma}{g}$ 与所有其他的液体不同，是在 $+4°C$ 时最大．那么，單位重量是 1 公斤/公寸^3．表 1 示不同温度时的單位重量，体积比和密度．

b）热膨胀.

热膨胀是由体积膨胀数值表示出来，即温度每增加一度时体积的相对变化．这在水的方面是 $\alpha=18\cdot10^{-5}$（每 1°C）．那么，1 公尺^{3}的水燒熱 20°C（即温度增加 20°C）时增加体积 3.6 公升.

表 1　單位重量，体积比，密度，粘性和粘率

溫度 [°C]	單位重量 γ [公斤·公尺$^{-3}$]	体积度 [10^3公尺^3·公斤$^{-1}$]	密度 ρ [公斤·秒^{2}公尺$^{-4}$]	粘性 $10^6\eta$ [公斤·秒·公尺$^{-2}$]	粘率 $10^6\nu$ [公尺^2·秒$^{-1}$]
水　0	1000	1.000	101.9	182	1.79
10	1000	1.000	101.9	133	1.31
20	998	1.002	101.7	102	1.01
40	992	1.008	101.1	66.5	0.658
60	983	1.017	100.2	47.9	0.478
80	972	1.029	99.1	36.3	0.366
100	958	1.044	97.9	28.8	0.295
海水	1020…1040	0.980…0.962	104.0…106.0		
高水位的污濁水	达到 1020	0.980	104.0		
空气，在 0°C 和 1 个大气压下	1.2932	796	0.132	1.75	13.3
冰，在 0°C	917	1.091	93.4		
水蒸汽在 100°C 和1个大气压下	0.598	1672	0.061	1.296	21.27

c）压縮性.

水的压縮性随着温度的增加而降低．1 公斤/公分^{2}的压力能將 1 公寸^3（即 1 公升）的水压縮約 $50\cdot10^{-6}$ 公寸^3.

d）粘性.

如果两层极端靠近（即无限靠近）的液体以不同的速度在同一方面运动着，在它們之間就会发生一种摩擦力（力/面积），后者决定于这个液体的类别，温度，速度差 dv 以及两层之間的距离 dz；因此

$$\tau=\eta\frac{dv}{dz}. \tag{1}$$

η 是一种系数，即粘性系数，有时也可叫做内摩擦系数，或者就簡称为粘性. η 的大小是由下列公式中求得：

$$\eta=\tau\frac{dz}{dv}=\left[\frac{\text{公斤}}{\text{公尺}^2}\cdot\frac{\text{公尺}\cdot\text{秒}}{\text{公尺}}\right]=[\text{公斤}\cdot\text{公尺}^{-2}\cdot\text{秒}]. \qquad (2)$$

在許多情况下，在液体运动的某些公式中，η 和密度 ϱ 常常在一起如 η/ϱ 的形式；因此，这个数值也叫做"运动的粘性"而以記号 ν 来表示如下：

$$\nu=\frac{\eta}{\varrho}=\left[\frac{\text{公斤}\cdot\text{秒}}{\text{公尺}^2}\cdot\frac{\text{公尺}^4}{\text{公斤}\cdot\text{秒}^2}\right]=[\text{公尺}^2\text{秒}^{-1}]. \qquad (3)$$

η 和 ν 的数值見表1.

在实际应用中，比如潤滑剂，粘性一般是用"英格婁"(Engler)度来表明. 先使 20°C 的水从某一容器中經过一道狹窄的小管流出，然后用同等体积的所要檢驗的液体，也使它从同一地方流出. 这两个出流时間的比就是英格婁度. 根据 V. 馬賽斯(Mises)的說法，英格婁度 E 和 η 可以用下面的近似公式連系起来，这个公式在 $\eta g>\gamma$ 的范圍內是有效的：

$$E=11.58\frac{\eta g}{\gamma}+0.077\frac{\gamma}{\eta g}.$$

另有一种"粘性計"是这样造成的，用一支滿裝着被檢驗的液体的玻璃管，它里面有一球体在下沉，球体直徑仅略小于管的內徑. 从沉降时間中用以下公式可以求得粘性

$$\eta=\frac{(m-\varrho V)g}{6r\pi}\cdot\frac{t}{a}\cdot\frac{1}{1+2.4\frac{r}{R}}.$$

公式中，m、r 和 V 是球体的質量、半徑和体积，R 是管子的半徑，a 是沉降距离，t 是沉降时間.

e) 臨界面張力

边界表面張力发生在液体和气体之間或者两种不能混合的液体之間的临界面上，它也可作为发生在水面——水和空气的接触

面——的表面張力．

在一种静止的液体中，任何一个質点在一定的半徑 r 的范圍之内都在作用着分子力（图1）．在液体的内部那些力之間都有互相平衡的作用；但是如果分子对表面的距离 a 小于 r，它們之間就沒有这种平衡作用了．在表面和截面 $A-A$ 之間的区域内这些力是互相平衡的．但在截面 $A-A$ 的下面，液体的各个質点都有把分子向下拉的一种拉力．分子間引力的切向力在表面上产生一种应力，这就叫做表面張力或毛細作用的常数．它在表面的各点上都是相等而是用每單位長度来計量的力．表面張力的一些数值見表 2．表面張力有一种把表面面积縮小的傾向．其結果例如，液体的成滴的作用．

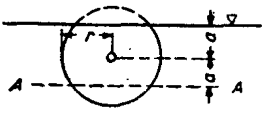

图　1

表 2　臨界面張力，克·公分$^{-1}$

水对空气	0.077	橄欖油对空气	0.033
水銀对空气	0.470	橄欖油对水	0.021
酒精对空气	0.026	酒精对水	0.0023

f）毛細作用

在一种液体和器具的壁的接触面上，如果这个固体的分子引力大些，这个壁就湿了，如图 $2a$ 所示．但是对于"不湿"的液体（卽內部分子引力較大的液体），就发生一种"毛細下降"的現象如图 $2b$ 所示．

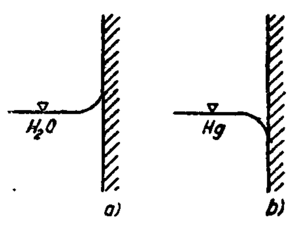

图　2

假使这个液体的表面是平面，那么影响到表面張力的各力都互相抵消．但是，对于弯曲的表面就会发生一种合力叫做曲度压力或毛細压力．图 $3a$ 所示曲面元素的 ds_1 和 ds_2，曲度的半徑 ϱ_1 和 ϱ_2 以及表面張力 T．图 $3b$ 曲面元素中間的截面．單位面积的曲度压力 P 卽可求出．作用在表面上有一力 $P\cdot ds_1\cdot$

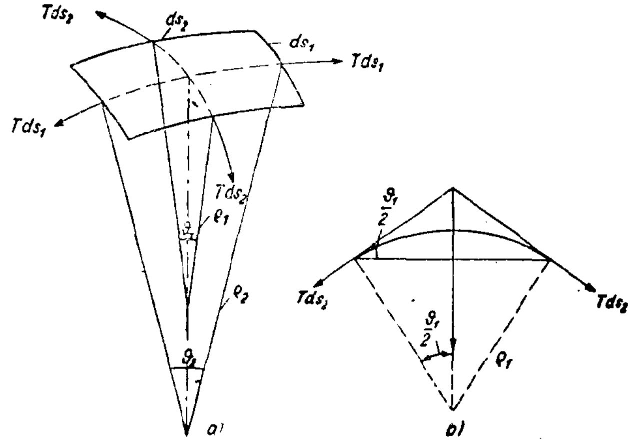

图 3 表面張力

ds_2，因而

$$P\cdot ds_1\cdot ds_2=2Tds_2\cdot\sin\frac{\vartheta_1}{2}+2Tds_1\cdot\sin\frac{\vartheta_2}{2}.$$

（上式右边的第二项是从垂直于图中截面的另一截面中求得的）.

因为 $\sin\frac{\vartheta_1}{2}$ 可以近似值 $\frac{\vartheta_1}{2}$ 代替 $\Big($原書中这个式子的右边是 $\frac{\vartheta_2}{2}$，应改为 $\frac{\vartheta_1}{2}\Big)$ 和 $\vartheta=\frac{ds}{\varrho}$，那么 $P=T\left(\frac{1}{\varrho_1}+\frac{1}{\varrho_2}\right)$. 其單位是力：面积.

如果把一根細管（卽毛細管）插入一种湿的液体（卽能使容器壁沾湿的液体）中，液体就会在管中上升而形成一个由下面看是个凹形的"弯月面"，（图 4）. 任意的一点 A 在液体表面上的高度是 z_a. 在这种情况之下毛細压力 P 是向上的. 液体向上升起直至毛細压力平衡了液体柱为止，卽

$$P=\gamma\cdot z_a=T\left(\frac{1}{\varrho_1}+\frac{1}{\varrho_2}\right). \tag{1}$$

如果假定这个弯月面是按照球体面而弯曲，并且因为高差极小，假定 z 的数值相等，所

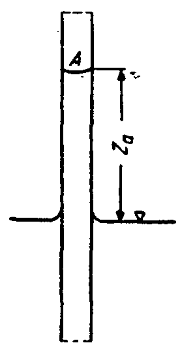

图 4

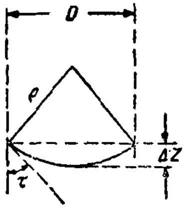

图 5

以

$$T=\frac{\varrho}{2}\cdot\gamma\cdot z=\frac{\gamma\cdot z}{2}\cdot\frac{D}{2\cos\tau},\qquad(2)$$

式中：τ是对管壁的边界角，D是管子的直徑（图 5）．如果τ和z已經量出，可以計算T了．此外，

$$\Delta z=\varrho-\varrho\cdot\sin\tau=\varrho(1-\sin\tau)=\frac{D}{2\cos\tau}(1-\sin\tau).\qquad(3)$$

因此，从方程式（2）得出

$$z=\frac{4T}{\gamma D}\cos\tau.\qquad(4)$$

如果假定弯月面是成半球形，卽$\tau=0$和$\cos\tau=1$，那么，方程式（4）变为

$$z=\frac{4T}{\gamma D},\qquad(5)$$

卽上升的高度对管子的直徑成反比例．采用表 2 中水的数値时，$T=0.0077$ 克·公厘$^{-1}$和$\gamma=0.001$ 克·公厘$^{-3}$，得出

$$z\approx\frac{30}{D}\text{公厘},$$

式中D也須以公厘計．

两个平行的平板之間的距离为a时，它們之間的水的上升高度可以足够准确地用$\frac{15}{a}$来表示．对于酒精，这些相应的数値为$\frac{10}{D}$和$\frac{5}{a}$；至于甲苯，则为$\frac{13}{D}$和$\frac{6.5}{a}$．

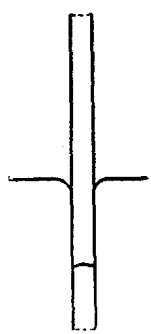

图 6

液体如系“不湿的”，水面就会下沉（图 6）．計算方法和“湿的”液体相同．

3. 水力計算的一般假定

流体力学，同时也是水力学，它的目的在于把静水和动水中所发生的現象演变为数学的形式，就是說用公式把它們表示出来。然而，这些現象，例如大多数的自然現象，往往表現得这样地复杂并且依靠着这样多的因素以致几乎不可能把它們都完全表示出来。因此，在开始时有必要作出一些簡便的假定，这些假定的作用自然必須在水力計算可能进行的錯誤限度的范圍之內。

这些假定有如下列：

1）水的粘性不应考慮。意思是說水的質点互相之間或水与器壁之間只有垂直的力在作用着，也就是說那里不存在"內摩擦力"。

2）水必須假定是沒有压縮性的。

3）温度的影响可以不計。

4）表面張力也可以无需考慮。

上面的假定除在特殊情况之下另有說明外都是有效的。

表 3 水头的高度(單位:長度为公尺,时間为秒)

公式	任意的敞开或关閉截面,作为下列的函数		圓形截面,作为下列的函数		R 的指数見表 8 和 9, D 的指数見表 11
	$\frac{v^2}{2g}$ 和 R	Q, F, U	$\frac{v^2}{2g}$ 和 D	Q 和 D	
謝才	$\frac{2g}{k^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R}$ $=\frac{19.61330}{k^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R}$	$\frac{Q^2\cdot U\cdot l}{k^2\cdot F^3}$	$\frac{8g}{k^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D}$ $=\frac{78.45320}{k^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D}$	$\frac{64}{k^2\cdot\pi^2}\cdot\frac{Q^2}{D^5}\cdot l$ $=\frac{6.48456}{k^2}\cdot\frac{Q^2}{D^5}\cdot l$	$g=9.80665$ (标准数值) $\lg g=0.9915207$ $\lg 2g=1.2925507$ $\lg 8g=1.8946107$ $\lg 2g\cdot 4^{1.4}=2.1354347$
福熙海姆	$\frac{2g}{k_r^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R^{1.4}}$ $=\frac{19.61330}{k_r^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R^{1.4}}$	$\frac{Q^2\cdot U^{1.4}\cdot l}{k_r^2\cdot F^{3.4}}$	$\frac{2g\cdot 4^{1.4}}{k_r^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D^{1.4}}$ $=\frac{136.598}{k_r^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D^{1.4}}$	$\frac{16\cdot 4^{1.4}}{k_r^2\pi^2}\cdot\frac{Q^2}{D^{5.4}}\cdot l$ $=\frac{11.2903}{k_r^2}\cdot\frac{Q^2}{D^{5.4}}\cdot l$	$\lg 2g\cdot 4^{\frac{4}{3}}=2.0952974$ $\lg\frac{64}{\pi^2}=0.8118802$
滿宁-高克妻	$\frac{2g}{k_m^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R^{\frac{4}{3}}}$ $=\frac{19.61330}{k_m^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{R^{\frac{4}{3}}}$	$\frac{Q^2\cdot U^{\frac{4}{3}}\cdot l}{k_m^2\cdot F^{\frac{10}{3}}}$	$\frac{2g\cdot 4^{\frac{4}{3}}}{k_m^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D^{\frac{4}{3}}}$ $=\frac{124.537}{k_m^2}\cdot\frac{v^2}{2g}\cdot\frac{l}{D^{\frac{4}{3}}}$	$\frac{16\cdot 4^{\frac{4}{3}}}{k_m^2\pi^2}\cdot\frac{Q^2}{D^{\frac{16}{3}}}\cdot l$ $=\frac{10.2936}{k_m^2}\cdot\frac{Q^2}{D^{\frac{16}{3}}}\cdot l$	$\lg\frac{16\cdot 4^{1.4}}{\pi^2}=1.0527042$ $\lg\frac{16\cdot 4^{\frac{4}{3}}}{\pi^2}=1.0125669$
魯丁		$\frac{Q^{1.85}\cdot U^{1.20}\cdot l}{k_l^{1.85}\cdot F^{3.05}}$		$\frac{48.05}{k_l^{1.85}\cdot\pi^{1.85}}\cdot\frac{Q^{1.85}}{D^{4.90}}\cdot l$ $=\frac{8.25193}{k_l^{1.85}}\cdot\frac{Q^{1.85}}{D^{4.90}}\cdot l$	$\lg\frac{48.05}{\pi^{1.85}}=0.9165557$

第二章 静水力学

1. 平衡狀态下液体压力的一般公式

假想边長 dx, dy, dz 的平行六面体是从某一静止的液体中分割出来的(图 7).

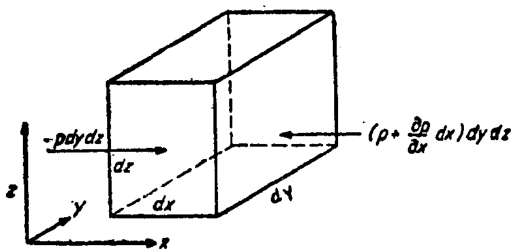

图 7

每一个單位質量都作用在这个平行六面体上一种力 K 并具有着横向分力 X, Y, Z. M 是質量而 p 是每單位表面面积上的压力. 那么, 在左面的表面上作用着一种压縮力 $p\cdot dy\cdot dz$, 而在右面的表面上作用着$\left(p+\frac{\partial p}{\partial x}\cdot dx\right)\cdot dy\cdot dz$. 因为这个平行六面体的質量是 $dM=\frac{\gamma}{g}dx\cdot dy\cdot dz$, 作用在 X–軸方向的力必須平衡:

$$p\cdot dy\cdot dz-\left(p+\frac{\partial p}{\partial x}\cdot dx\right)\cdot dy\cdot dz+X\cdot dM=0. \qquad (1)$$

因此, 得出

$$\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\gamma}{g}\cdot X,\ 和\ \frac{\partial p}{\partial y}=\frac{\gamma}{g}\cdot Y,\ 以及\ \frac{\partial p}{\partial z}=\frac{\gamma}{g}\cdot Z \qquad (2)$$

因为完整微分是

$$dp=\frac{\partial p}{\partial x}\cdot dx+\frac{\partial p}{\partial y}\cdot dy+\frac{\partial p}{\partial z}\cdot dz$$

所以从方程式 (2) 得出

$$dp=\frac{\gamma}{g}(X\cdot dx+Y\cdot dy+Z\cdot dz). \qquad (3)$$

这个就是欧勒 (Euler) 氏的静水力学基本公式.

因此，可以立刻从上面看出压力并没有一定的方向而是在各种方向均匀地变动着. 如果压力不变，就必須具备这样的条件即 $dp=0$，而由于$\frac{\gamma}{g}$不等于零的緣故，所以

$$X\cdot dx+Y\cdot dy+Z\cdot dz=0. \qquad (4)$$

这个方程式所代表的相等的压力的表面就叫做水平面.

如果只有重力在作用着，所有的横向力都变成 $X=0$ 和 $Y=0$. Z 等于單位質量乘以重力加速度；因此，$1\cdot g=g$. 所以 $0=g\cdot dz$，因而 $dz=0$，故 $z=$常数.

在这种情况之下水平面是横向的平面，这个也可以直接从观测中明显地看出来.

如果只有重力在作用着，可以得出

$$dp=\frac{\gamma}{g}\cdot g\cdot dz=\gamma\cdot dz,$$

所以

$$p=\gamma\cdot z+C.$$

假使坐标的原点是假定在水平面中而 z 向下計算作为正号，那么在水平面中 p 变为等于大气压力 p_0 而 $z=0$，因此

$$p=p_0+\gamma\cdot z, \qquad (5)$$

如果只計算超气压，那么

$$p=\gamma\cdot z, \qquad (6)$$

$\gamma=1$ 时，得出