

中央人民政府高等教育部推薦

高等學校教材試用本

化工原理習題

П. Г. ПОМАНКОВ 主編

潘 天 鐸 譯



商 務 印 書 館

580 2.3 8.14

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



化 工 原 理 習 題

П. Г. 羅曼科夫主編
潘 天 鐸 譯

商 務 印 書 館



本書係根據蘇聯化學出版社 (Государственное научно-техническое издательство химической литературы) 出版的羅曼科夫 (П. Г. Романков) 主編, 巴甫洛夫 (К. Ф. Павлов)、羅曼科夫 (П. Г. Романков)、馬爾科夫 (М. П. Малков) 合著“化工原理習題” (Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии) 1950 年第二版增訂版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等化工學校及化工系教學參考書。本書可與卡薩特金 (А. Г. Касаткин) 教授著“化工原理” (Основные процессы и аппараты химической технологии) (此書現已譯出, 重工業出版社出版, 1953) 配合用。

為了使讀者方便起見, 本書在翻譯中儘量與大連工學院化工原理組 1953 級研究生譯出之卡薩特金教授著“化工原理”一書在技術譯名上取得一致, 並經該書譯者及校閱者之一袁孝鵠同志校對。

化 工 原 理 習 題

潘 天 鐸 譯

★ 版權所有 ★

商 務 印 書 館 出 版

上海河南中路二一一號

中國圖書發行公司 總經售

集 成 印 製 廠 印 刷

(62178)

1953 年 11 月初版 版面字數 361,000

印數 1—5,000 定價 24,000

上海市書刊出版業營業許可證出〇二五號

原 序

在準備本書第二版的時候，曾根據高等教育部所批准的新教學大綱，作了一些必要的補充。

其中增添了泵、送風機、壓縮機、攪拌器和結晶諸篇的習題，這些習題在第一版裏是沒有的。此外，並根據蘇聯科學家和工程師們的最近的科學研究工作，將許多計算公式和參考數據予以審查修正。

每章都增添了新的例題和習題，並糾正了已經發現的第一版所存在的缺點。書末附有補充參考數據和求解習題時所必需的最常用的圖表和列線圖表。

習題部份也注意到對學生課外作業的幫助（習題答案）。

本書可用作研究化工原理的教材，但不應看作是參考手冊。大部份習題都是典型性的，並根據其內容而分類。

本書由 И. П. 羅曼科夫教授總校訂。

作者對列寧格勒連索維特工業學院化工原理教研室下列各同志表示謝意：Н. В. 拉石科夫斯基同志幫同整理手稿，И. С. 拍夫路辛科、И. Е. 奧弗金及 И. А. 雅布龍斯基三位同志分別校對各章並予補充。

本書曾從 А. Г. 卡薩特金及 Я. М. 布拉伊涅斯兩位評論家處獲得許多寶貴意見。

作者期望讀者能對本書提出批評和意見，以便改進。

1950年4月 作者

單位標誌說明

	[常用單位]
1. 重量	G [仟克]
2. 分子量	M
3. 重度	γ [仟克/米 ³]
4. 比重	Δ 無單位
5. 氣體在標準狀態時的重度	γ_0 [仟克/米 ³]
6. 空氣的濕含量	x, d [仟克/仟克], [克/仟克]
7. 時間	τ [秒], [小時]
8. 高度	H, h [米]
9. 黏度係數	μ [仟克·秒/米 ²]
10. 黏度係數	z [泊]
11. 動力黏度係數	ν [米 ² /秒]
12. 壓力	p [仟克/米 ²], [大氣壓]
13. 壓力降	Δp [仟克/米 ²]
14. 直徑	D, d [米]
15. 長度	L, l [米]
16. 局部阻力係數	ζ 無單位
17. 功率	N [仟瓦]
18. 靜壓頭	$h_{\text{靜壓}}$ [米]
19. 速度頭	$h_{\text{速}}$ [米]
20. 摩擦壓頭	$h_{\text{阻力}}$ [米]
21. 容積(體積)	V [米 ³]
22. 標準狀態時氣體的體積	V_0 [米 ³]
23. 比容	v [米 ³ /仟克]
24. 容積膨脹係數	β °C ⁻¹
25. 周邊	Π [米]
26. 密度	ρ [$\frac{\text{克}-\text{質量}}{\text{厘米}^3}$], [$\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$]

27. 面積, 表面積	F [米 ²]
28. 效率	η
29. 半徑	R, r [米]
30. 水力半徑	$R_{\text{水力}}$ [米]
31. 每秒消耗量	$V_{\text{秒}}, Q_{\text{秒}}$ [米 ³ /秒]
32. 每小時消耗量	$V_{\text{小時}}$ [米 ³ /小時]
33. 電流強度	I a
34. 平均流速	w [米/秒]
35. 標準狀態時氣體的速度	w_0 [米 ³ /米 ² 秒]
36. 沉降速度	$w_{\text{沉降}}$ [厘米/秒]
37. 虛速度	$w_{\text{虛}}$ [米 ³ /米 ² 秒]
38. 角速度	ω 1/秒
39. 總阻力	R
40. 分層阻力	r
41. 總和	Σ
42. 乾燥推動力	x °C
43. 溫度	t °C
44. 絕對溫度	T °K
45. 熱消耗量	Q [仟卡/小時]
46. 傳熱率	q [仟卡/米 ² 小時]
47. 給熱係數	α [仟卡/米 ² 小時 °C]
48. 導熱係數	λ [仟卡/米小時 °C]
49. 傳熱係數	K [仟卡/米 ² 小時 °C]
50. 溫度傳送係數	a [米 ² /小時]
51. 恆壓比熱	c_p [仟卡/仟克 °C]
52. 恆容比熱	c_v [仟卡/仟克 °C]
53. 熱含量(熱焓)	I, i [仟卡/仟克]
54. 摩擦係數	λ 無單位
55. 寬	B, b [米]
56. 冷卻係數	ε 無單位

目 錄

單位標誌說明

引言	1
第一章 流體力學	8
第二章 泵、送風機、壓縮機	62
第三章 水力機械分離法·液態介質中的攪拌	93
第四章 化學設備中的傳熱	138
第五章 蒸發與結晶	186
第六章 乾燥	211
第七章 蒸餾、精餾與吸收	267
第八章 冷凍	319
第九章 深度冷凍	333
參考文獻	360
附錄	364

參考表格,計算圖表和列線圖表。

化工原理習題

引 · 言

實習的目的是用研究例題和求解習題的方法以教會學生計算和設計化學設備。

設計包括設備的類型與構造之選擇及其大小之計算。

數量與因次

化工設備是要根據在化工各部門內生產過程中所特有的物理化學數據來設計的。

在計算化工設備的時候，要應用到各種數量的互相關係和有關質料的物理性質的各種數據（如：比重、密度、黏度、長度、速度、功率、傳熱係數等等）。所有這些性質及數量之關係，可以量度出來而作為已決定之數量。

目前採用有幾種基本單位制，所有量度的單位都歸納於這些單位制裏。以下舉物理單位制及常用的工業單位制為例來說明。

物理單位制 [CGSI] 和 [CGSm]^①。在 [CGSI] 制中，基本單位及符號為：長度(l)單位——厘米，質量(m)單位——克，時間(τ)單位——秒，溫度(T)單位——絕對百分度及介電常數(ϵ)單位——真空介電常數。[CGSm]制與[CGSI]制所不同的係將介電常數代以磁導率(μ)，其單位為真空磁導率。

工業單位制。此單位制的基本單位為：長度(米)，時間(秒)，力(仟

① 見蘇聯技術百科全書(CT9)物理-化學數據手冊。

克-重量), 熱量單位(仟卡), 溫度單位(攝氏溫度)。工業單位制中時間單位常不採用秒, 而採用小時。此單位制也叫做實際用單位制。

某些物理數量只以一種單位來測定, 例如: 時間、長度、重量; 但大部份情況下, 物理數量要更加複雜的, 只能用幾個量度的單位來測定。

爲了表示這些數量的性質及沒有錯誤地應用它們, 就要利用因次。因次本身是一符號, 此符號表示量度某種數量所用基本單位之間的關係, 例如, 壓力—[仟克/米²], 比重—[仟克/米³], 密度—[克-質量/厘米³]。

‘因次’這一術語必須與‘大小’分別清楚。

普通將因次用方括號標誌出來, 如: 重度 $[\gamma] = [\text{重量}/\text{體積}]$, 重度單位[仟克/米³], 比容單位[米³/仟克]。

準確而又迅速的計算的最重要條件係靈活無誤地掌握和運用基本數量的因次。經驗說明, 學生在解課程習題的時候, 大部份的錯誤是在因次上面。此問題必須於第一次習題課中解釋明白, 此後還必須反覆說明。

因次的確定必須要依據相當的代數表示式。

例 1 黏度係數的因次可以從牛頓假說得出^①:

$$f = \mu a^2 \frac{dw}{dx},$$

式中 f —摩擦力, [達因]; μ —黏度係數; a^2 —摩擦面積, [厘米²]; $\frac{dw}{dx}$ —速度梯度, $\left[\frac{\text{厘米}}{\text{秒}} \times \frac{1}{\text{厘米}}\right]$ 。

由上式求得 μ 的因次如下:

$$[\mu] = \left[\frac{f}{a^2} \frac{dx}{dw} \right] = \left[\frac{\text{達因} \cdot \text{秒} \cdot \text{厘米}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{厘米}} \right];$$

① 此牛頓假說已被有名的俄國科學家彼特羅夫 (Н. И. Петров) (潤滑流體動力學原理的創造者) 予以實驗證明。

消去同一單位，即得 CGS 制黏度的因次：

$$[\mu] = \left[\frac{\text{達因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right] \text{或} [\text{泊}].$$

同理，可以求得工業單位制黏度的因次：

$$[\mu] = \left[\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right].$$

例 2 根據熱經過平壁的傳遞定理，

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t_1 - t_2) \tau,$$

亦以上述同樣的方法，可以求出導熱係數 λ 的因次。

式中 Q —熱量，[仟卡]； δ —壁厚，[米]； F —傳熱面積，[米²]； $(t_1 - t_2)$ —溫度差，°C； τ —操作時間，[小時]。

代入各單位的因次，就可得到 λ 的因次為

$$[\lambda] = \left[\frac{Q\delta}{F\tau(t_1 - t_2)} \right] = \left[\frac{\text{仟卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}} \right].$$

各量度單位間的關係之確定及量度單位之換算

1. 試求黏度的單位在工業單位制和在 CGS 制中的關係。

先列出 μ 的量度單位之因次：

$$\left[\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right]_x = \left[\frac{981,000 \text{ 達因} \cdot \text{秒}}{10,000 \text{ 厘米}^2} \right] = 98.1 \left[\frac{\text{達因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right]_{\text{CGS}},$$

這就是說工業單位制的量度單位為物理單位制的 98.1 倍。因此，工業單位制中黏度的數值總為物理單位所得的 $\frac{1}{98.1}$ 。此處，與其他量度單位，如長度單位之情況完全類似。在工業單位制中，長度的單位為[米]，而在物理單位制中則為[厘米]。單位[米]要比單位[厘米]大 100 倍。因此，要將厘米換算成米，必須除以 100。例如，5 [厘米] 等於 $\frac{5}{100} = 0.05$ [米]。以類似的方法，要將以厘泊為單位的黏度換算成工業單

位制的單位，必須將厘泊除以 100，即換算至泊，再除以 98.1，就得下式

$$\mu = \frac{z}{100 \times 98.1}。$$

如果某流體之黏度 $z=2$ [厘泊]，那末其工業單位制的單位將為

$$\mu = \frac{2}{100 \times 98.1} = 0.000204 = 2.04 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right]。$$

因此可知，黏度的單位在工業單位制中為 9,810 [厘泊]，成近於 10^4 [厘泊]。

2. 試比較工業單位制和 CGS 制的單位體積比熱之單位：

$$\left[\frac{\text{仟卡}}{\text{米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right]_x = \left[\frac{10^3 \text{ 卡}}{10^6 \text{ 厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right] = 10^{-3} \left[\frac{\text{卡}}{\text{厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \frac{1}{1,000} \left[\frac{\text{卡}}{\text{厘米}^3 \cdot ^\circ\text{C}} \right]_y。$$

說明 分子中的熱量並沒有變，但所用仟卡卻以較小的卡代之；分母也同樣。因而，量度比熱的單位 [仟卡/米³·°C] 僅為 [卡/厘米³·°C] 千分之一，故同一比熱以 [卡/厘米³·°C] 表示時，其數值較小。例如，空氣的單位體積比熱在工業單位制中為 0.3 [仟卡/米³·°C] 而在 CGS 制卻為 0.0003 [卡/厘米³·°C]。

3. 試求導熱係數的單位在各種單位制中的關係：

$$[\lambda]_y = \left[\frac{\text{卡} \cdot \text{厘米}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \quad [\lambda]_x = \left[\frac{\text{仟卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

$$[\lambda]_x = \left[\frac{\text{仟卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}} \right]。$$

由這些式中，很明顯地可以看出其單位的關係為：

$$\begin{aligned} [\lambda]_x &= \left[\frac{\text{仟卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \left[\frac{\text{仟卡} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot 3,600 \text{ 秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \frac{1}{3,600} [\lambda]_y = \\ &= \left[\frac{1,000 \text{ 卡} \cdot 100 \text{ 厘米}}{10,000 \text{ 厘米}^2 \cdot 3,600 \text{ 秒} \cdot ^\circ\text{C}} \right] = \frac{1}{360} [\lambda]_y， \end{aligned}$$

即量度 λ 的實用單位僅為工業單位的 $\frac{1}{3,600}$ ，為 CGS 制的 $\frac{1}{360}$ 。

因此，在實用制中， λ 的數值比工業單位制中的大 3,600 倍（因為 λ 是以小時來表示的，而在工業單位制中則用秒來表示），或比 CGS 制的 λ 數值大 360 倍。

所以要將 λ 從實用單位換算為工業單位必須除以 3,600。例如，在實用單位中，水的 $\lambda = 0.5$ [仟卡/米·小時·°C]。在工業單位制中 $\lambda = \frac{0.5}{3,600} = 0.000139$ [仟卡/米·秒·°C]。相同地，要將 CGS 制中的 λ 數值換算為實用單位必須乘以 360。例如，水的 $\lambda = 0.00139$ [卡/厘米·秒·°C]，因此 $\lambda = 0.00139 \times 360 = 0.5$ [卡/米·小時·°C]。

4. 已知一英磅等於 0.454 [仟克]， $1^\circ\text{C} = 1.8^\circ\text{F}$ ，試確定 [BTU] (英熱單位) 和 [仟卡] 之關係。

解：1 [BTU] 為加熱一英磅水升高 1°F 所消耗的熱量，因而：

$$1 \times 0.454 \times \frac{1}{1.8} = 0.252 \text{ [仟卡]},$$

即

$$1 \text{ [BTU]} = 0.252 \text{ [仟卡]}.$$

5. 設某玻璃熱交換器的傳熱係數為：

$$50 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{F}} \right] = 50 \left[\frac{\text{英熱單位}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{F}} \right].$$

試將此傳熱係數由英制因次換算為實用因次，即以 [仟卡/米²·小時·°C] 來表示。

已知，1 [BTU] = 0.252 [仟卡]；1 [呎] = 0.3048 [米]； $1^\circ\text{C} = 1.8^\circ\text{F}$ 。

$$\text{解：} 50 \frac{0.252 \text{ 仟卡} \times 1.8}{0.3048^2 \text{ 米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C}} = 50 \times 4.88 = 244 \text{ [仟卡/米}^2 \cdot \text{小時} \cdot ^\circ\text{C]}.$$

因此，要將英制（在英美書中常用）的傳熱係數換算成實用單位必須乘以 4.88。

6. 自由水份蒸發於空氣中的速度可以用下式計算：

$$G_k = 2.45 w^{0.8} \Delta p \left[\frac{\text{磅}}{\text{小時} \cdot \text{呎}^2} \right],$$

式中 w —空氣流速，[呎/秒]； Δp —飽和水蒸汽在空氣溫度時的壓力與

空氣中水蒸汽分壓之差，以[大氣壓]表示。

如果 G_K 之因次為 [仟克/米²·小時]， w 為 [米/秒] 及 Δp 為 [毫米] 水銀柱，試換算此公式：

$$\text{解： } G_K = 2.45 w^{0.8} \Delta p; \quad \frac{G_K}{w^{0.8} \Delta p} = 2.45.$$

如果式子左面將因次變換，那末右面必須乘一係數 K_1 。

公式左面原來的因次為

$$\left[\frac{\text{磅} \cdot \text{秒}^{0.8}}{\text{呎}^2 \cdot \text{小時} \cdot \text{呎}^{0.8} \text{大氣壓}} \right] = \left[\frac{0.454 \text{ 仟克} \cdot \text{秒}^{0.8}}{0.3048^{2.8} \text{ 米}^{2.8} \cdot \text{小時} \cdot 760 \text{ 毫米水銀柱}} \right].$$

因此

$$K_1 = \frac{0.454}{0.3048^{2.8} \times 760}.$$

在公式

$$G_K = K w^{0.8} \Delta p$$

中，未知數 K 的數值以欲求之因次表之為

$$K = \frac{2.45 \times 0.454}{0.3048^{2.8} \times 760}.$$

此式用算尺計算所得之結果不太準確 ($K=0.0405$)。因此就以對數表計算，結果 $K=0.04075$ 。實用因次的公式

$$G_K = 0.04075 w^{0.8} \Delta p \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^2 \text{ 小時}} \right].$$

式中

$$[w] = [\text{米/秒}]; [\Delta p] = [\text{毫米水銀柱}].$$

解題注意事項

着手解題時，首先必須畫出設備的草圖，註明所有的尺寸和數量的符號，以箭頭註明流動方向，並研究設備操作的條件。

其次將所有題目中的數據列出，並且將其換成同種單位。寫出基本的計算公式和求解的路線，將題目分成一些小題目。再次將必須的常數也寫出。

將數值代入公式以後，必須校對所代入的數值是否真確，只有在此以後才開始數字計算。

必須將所得數值與該設備（或一零件）實際操作條件的數據相對照，以此來判斷答案。

以普遍公式解題，並研究題中各因素影響所致的結果，這樣是很有益的。

計算草稿應在練習簿的左邊另行進行。

詳細的分析、有系統的計算、準確的記錄——這些都是使學生和教師減少時間浪費的條件。

計算技巧的培養是本課程重要目的之一。

一般工程上計算誤差為 5%。

必須備有計算尺。

在堂上學習時，學生必須學會運用重要的參考書和手冊，其中含有大批研究者和設計者的經驗記錄：化學指南、工程百科全書物理化學數據手冊、巴甫洛夫 (К. Ф. Павлов) 和西蒙諾夫 (В. А. Симонов) 兩氏所作的化工設備圖表集、化學工程師手冊 (彼黎 “Перри”)、阿士塔弗也夫 (А. Ф. Астафьев) 之工程師參考手冊、化學工廠機械手冊 (1950)、Хютте 以及國定全蘇標準和各種目錄。

學者必須學會從參考書和手冊中找到各種常數和數量，並且能與其他數據比較 (例如，手冊中空氣黏度和列線圖表中空氣黏度)。

最後，必須學會在圖表上取值和在該坐標上分析操作的路徑 (例如，在 $I-x$ 圖表上的乾燥過程， $T-S$ 圖表上的冷凍循環等等)。

爲了能更整齊地進行本課程起見，每一個學生必須備有兩本練習簿 (其中一本是課堂用的，另一本是家庭作業用的) 以解答題目和描畫主要的設備和零件。空出二至三頁來抄錄常見到的符號 (w —流速， d —管子直徑， τ —時間等等) 和最重要的必須記住的計算公式 (流量公式 $V_{\text{物}} = Fw$ ，液體和氣體運輸能量公式 $N = \frac{V_{\text{物}} \cdot \Delta p}{102 \eta}$ ，傳熱定律 $F = \frac{Q}{K \Delta t}$ 等等)。

第一章 流體力學

計算公式

1. 重度 γ 和密度 ρ 兩者間的關係如下式：

$$\gamma = \rho g。 \quad (1)$$

式中 g —重力加速度。式中所用的單位，在工業單位制中為：

$$[\rho] = \left[\frac{\text{仟克} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right];$$

$$[g] = \left[\frac{\text{米}}{\text{秒}^2} \right];$$

$$[\gamma] = \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right],$$

而在 CGS 制中為：

$$[\gamma] = \left[\frac{\text{克-質量}}{\text{厘米}^2 \text{秒}^2} \right];$$

$$[g] = \left[\frac{\text{厘米}}{\text{秒}^2} \right];$$

$$[\rho] = \left[\frac{\text{克-質量}}{\text{厘米}^3} \right]。$$

由上述兩單位制中可以看出，在工業單位制中，重度的單位比較簡單；而在 CGS 制中，密度的單位比較簡單。

2. 一物質的重度 γ 與水的重度 $\gamma_{\text{水}}$ 之比叫做比重 Δ 。如果所用的是某一任何物質，公式(1)可寫成：

$$\gamma = \rho g,$$

如果是水，則公式(1)可寫成：

$$\gamma_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} g。$$

將第一式除以第二式，就可得到：

$$\frac{\gamma}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{水}}} = \Delta,$$

並且由此可得：

$$\gamma = \Delta \gamma_{\text{水}};$$

$$\rho = \Delta \rho_{\text{水}}.$$

在任何單位制中，上面所得到的兩公式是一樣正確的。我們可用上述二式中的第一式計算某物質在工業單位制中的重度，而用第二式計算 CGS 制中的密度。

工業單位制中， $\gamma_{\text{水}} = 1,000 \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right]$ 因此該物質的重度在工業單位制中爲：

$$\gamma_{\text{工業}} = 1,000 \Delta \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right]. \quad (2)$$

$$\text{CGS 制中，水的密度 } \rho_{\text{水}} = 1 \left[\frac{\text{克—質量}}{\text{厘米}^3} \right].$$

因此，在 CGS 制中，該物質的密度數量上等於 Δ 。

$$\rho_{\text{CGS}} = \Delta \left[\frac{\text{克—質量}}{\text{厘米}^3} \right].$$

從最後兩衡等式，可得出下面的結論：

$$\frac{\gamma_{\text{工業}}}{1,000} = \rho_{\text{CGS}} = \Delta,$$

或

$$\gamma \left(\frac{\text{克}}{\text{厘米}^3} \right) = \rho \left(\frac{\text{克—質量}}{\text{厘米}^3} \right) = \Delta. \quad (3)$$

此公式中，表示單位的下標着重指出等式(3)僅僅是一數量上的相應，因為工業單位制中 1 [米³] 水的重量等於 1 [克] (克—重量)，而在 CGS 制中，則是一根本不同的另一物理數量—1 [米³] 水的質量等於 1 [克—質量]。

3. 根據理想氣體的定律，任何氣體的重度在壓力 p 和溫度 $T^\circ\text{K}$ 時可用下式算出：

$$\gamma = \gamma_0 \frac{T_0 p}{T p_0} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{273}{T p_0} p \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right], \quad (4)$$

式中 $\gamma_0 = \frac{M}{22.4} \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right]$ 一氣體在正常狀況時(0°C 和 760[毫米]水銀柱)的重度; M —氣體的分子量。

壓力 p 和 p_0 應該用同一種單位表示。

將 p 的單位用[大氣壓](即[仟克/厘米²])表示, 那末 $p_0 = 1.033$ [仟克/厘米²], 而公式(4)就成為

$$\gamma = \frac{11.8 M p}{T} \left[\frac{\text{仟克}}{\text{米}^3} \right]. \quad (5)$$

4. 以液體柱的高 h [米] 表示的壓力 p [仟克/米²], 當液體的重度為 γ [仟克/米³] 時,

$$p = h\gamma. \quad (6)$$

根據此式, 可以得到下列各種壓力單位間的關係:

$$760 \text{ [毫米] 水銀柱} = 10,330 \text{ [毫米] 水柱} = 10,330 \text{ [仟克/米}^2\text{]} = 1.033 \text{ [仟克/厘米}^2\text{]}.$$

$$1 \text{ [大氣壓]} = 1 \text{ [仟克/厘米}^2\text{]} = 10,000 \text{ [仟克/米}^2\text{]} = 735 \text{ [毫米] 水銀柱} = 10,000 \text{ [毫米] 水柱}.$$

5. 流體靜力學的基本方程式:

$$p = p_0 + h\gamma \quad (7)$$

式中 p —液體靜壓力, [仟克/米²], 從液體表面起到深度 h [米]; p_0 —液體表面上的壓力, [仟克/米²].

6. 器壁上所受液體的壓力:

$$p = (p_0 + h_{xx}\gamma) F \text{ [仟克]}, \quad (8)$$

式中 F —器壁的面積, [米²]; h_{xx} —器壁重心離液面的距離, [米]; p_0 —液面上所受的壓力, [仟克/米²].

7. 如果某物質的黏度為 η [厘泊], 以工業單位制表示, 則