

V51
123
高等學校教學用書

氣體作業習題

蘇聯 阿·斯·斯米爾諾夫著

顧伯鐸譯

朱亞傑 施俠 秦匡宗 顧伯鐸校

燃料工業出版社

高等學校教學用書

氣體作業習題

蘇聯 阿·斯·斯米爾諾夫著

顧伯鐸譯

朱亞傑 施俠 秦國宗 顧伯鐸校

蘇聯高等教育部審定作為高等石油學校教材

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書論述氣體作業主要問題中之各種計算公式及其解法；如氣體之物理性質，氣體液體混合物之物理化學性質，氣體之開採、加工及輸送等。

本書可作高等石油學校教材，亦可作高等石油學校學生「氣體作業」課程參考之用，並可作為氣體工業中工程技術人員之參考書。

* * *

氣 體 作 業 習 題

ЗАДАЧНИК ПО ГАЗОВОМУ ДЕЛУ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1953年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯 A. C. СМИРНОВ 著

顧 伯 鏐 譯

朱亞傑 施俠 秦匡宗 顧伯鏐校

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：戴振芳 校對：何 忠 王壽容

北京市書刊出版營業許可證出字第 012 號

書號200 * 油22 * 850 × 1092 1/16 開本 * 9 1/4 印張 * 232 千字 * 定價16,800元

一九五四年八月北京第一版第一次印刷(1—3,200冊)

版權所有 * 不許翻印

原 序

余以多年在石油高等學校教授氣體作業之經驗彙編成此「氣體作業習題」一書。

本書之材料按照規定的課程教學大綱編排。習題中涉及各氣體專業之主要部份：氣體及液體混合物之物理性質及其基本物理化學關係，氣體之開採，氣體加工以製汽油及單個碳氫化合物，礦場內部及氣體幹線中之氣體輸送，氣體之貯藏。

本書內每一部份均首先列出計算公式，簡短地敘述各該部份基本問題之解答方法，然後再列出習題。各題均有相當詳盡之解答，有時並作出一般性之適當結論。

習題解答之目的在於使高等石油學校之學生能獲取經驗，並通過具體例子使其掌握解決各種氣體專業問題之技能。

將氣體作業習題彙編成書尚屬首次嘗試，因之作者預先向讀者聲明，希望能給以批評及指示，使該教學參考書再版時之質量得以提高。

蘇

目 錄

原序

第一章 氣體性質及基本物理化學關係	4
密度及比重	4
氣體及液體之黏度	5
氣體及液體混合物	8
理想氣體狀態定律對實際氣體之偏差	19
二相系統	25
第二章 氣體之開採	44
石油礦場之氣體開採	44
氣體礦場之氣體開採	54
清除在氣體中懸浮的固體與液體之分離器	66
第三章 氣體之輸送	76
高壓及低壓氣流方程式之解法	76
複合氣管	84
中途有氣體之消耗或加入的氣管	84
具有不同直徑之氣管	86
具有平行線路之氣管	87
具有插入線之氣管	89
* 輸氣幹線	103
第四章 氣體乾燥及硫化氫之脫去	114
氣體乾燥	114
氣體之脫硫化氫	127
第五章 壓送站	133
壓縮機之生產能力及所需功率	133
氣體內燃式壓縮機之冷卻及潤滑	143
氣體之冷卻	145
循環水之冷卻及涼水塔	155
壓送站之照明及通風	162

第六章 氣體之加工	165
壓縮	165
油吸收	174
活性炭吸收	214
氣體之精餾	213
氣體加工之主要設備	237
控制-測量儀器	243
第七章 壓縮氣體及液化氣體	253
壓縮氣體	253
液化氣體	254
第八章 氣體之貯藏	263
參考文獻	277
名詞對照表	278

第一章 氣體性質及基本物理化學關係

密度及比重

在標準或正常狀態下，汽體及蒸汽之密度以仟克/標準立方米或仟克/正常立方米來表示。在技術計算中標準密度均按 0°C 及 760 毫米水銀柱計算。在氣體的計算及將所使用的氣體換算時則採用正常狀態，亦即為 20°C 及 760 毫米水銀柱^①時之密度。

氣體或蒸汽的密度等於分子量除以單位仟克分子所佔之體積：

$$\rho = \frac{M}{22.41} \text{ 仟克/標準立方米,} \quad (1,1)$$

此處 M —— 氣體或蒸汽之分子量 (仟克)；

22.41 —— 單位仟克分子在 0°C 及 760 毫米水銀柱時所佔之體積 (立方米)。

在運算方程式中以及鑑別氣體時，經常使用氣體與空氣的比重。所有氣體的體積均與絕對溫度成正比，與絕對壓力成反比，而比重則與溫度壓力無關^②。

氣體或蒸汽之密度除以 1.293，即得其對於空氣之比重 Δ 。此處 1.293 仟克/立方米為空氣在 0°C 及 760 毫米水銀柱時之密度。

習題 1 按分子量求氫、甲烷、乙烷、蒸汽狀態之丙烷及丁烷之密度。

解

按公式 (1,1) 計算密度之數值：

① 所有控制測量儀器均按 20°C 計。

② 不計該氣體及空氣壓縮係數之差異。

$$\text{氫的密度 } \rho = \frac{2}{22.41} = 0.0898 \text{ 仟克/立方米,}$$

$$\text{甲烷的密度 } \rho = \frac{16.032}{22.41} = 0.7168 \text{ 仟克/立方米,}$$

$$\text{乙烷的密度 } \rho = \frac{30.016}{22.41} = 1.344 \text{ 仟克/立方米,}$$

$$\text{蒸汽狀態丙烷之密度 } \rho = \frac{44.062}{22.41} = 1.967 \text{ 仟克/立方米,}$$

$$\text{蒸汽狀態丁烷之密度 } \rho = \frac{58.077}{22.41} = 2.598 \text{ 仟克/立方米.}$$

因各氣體及蒸汽之密度除以 1.293 仟克/立方米即得其比重, 則其結果應為: $\Delta_{H_2} = 0.0696$; $\Delta_{CH_4} = 0.554$; $\Delta_{C_2H_6} = 1.038$; $\Delta_{C_3H_8} = 1.523$; $\Delta_{C_4H_{10}} = 2.007$.

習題2 求在下列各條件下甲烷之密度: (1) 1 大氣壓及 20°C 時; (2) 10 大氣壓及 50°C 時; (3) 150 大氣壓及 20°C 時 (此時其壓縮係數為 0.75)。

解

$$(1) \rho = \frac{0.7168 \times 273}{293} = 0.667 \text{ 仟克/立方米;}$$

$$(2) \rho = \frac{0.7168 \times 10 \times 273}{323} = 6.06 \text{ 仟克/立方米;}$$

$$(3) \rho = \frac{0.7168 \times 150 \times 273}{0.75 \times 293} = 133 \text{ 仟克/立方米,}$$

氣體及液體之黏度

絕對 (運動) 黏度在工程單位制中之因次為仟克·秒/平方米 (FT/L^2)。在 CGS 單位制中為克/厘米·秒 (M/LT)。此單位稱為泊。

運動黏度之工程單位等於 98.1 泊, 或 1 泊 = 1.02×10^{-2} 工程單位; 1 厘泊 = 1.02×10^{-4} 。

如黏度以恩氏度數表示 (為液體所常用), 則運動黏度可用下

式求得:

$$\eta = \left(0.0731^{\circ}\text{E} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}} \right) \rho \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒}, \quad (2,1)$$

此處 ρ —液體之密度 克/立方厘米;

$^{\circ}\text{E}$ —恩氏黏度。

將恩氏黏度換算至以工程單位表示的運動黏度 (仟克·秒/平方米) 可用下式:

$$\eta = \left(7.24^{\circ}\text{E} - \frac{6.25}{^{\circ}\text{E}} \right) \frac{\rho}{g \times 10^6} \text{ 仟克} \cdot \text{秒/平方米}, \quad (3,1)$$

此處 $^{\circ}\text{E}$ —恩氏黏度;

ρ —液體之密度 仟克/立方米; $g=9.81$ 米/秒²。

當溫度上升時氣體之黏度增大。此關係可由下式表示:

$$\eta = \eta_0 \frac{T_0 + C}{T + C} \left[\frac{T}{T_0} \right]^{3/2} \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒}, \quad (4,1)$$

此處 T 及 T_0 —操作及開始時之絕對溫度;

η 及 η_0 —氣體在該項條件下之黏度 (泊);

C —係數, 甲烷為 198, 乙烷為 226。

當壓力上升時氣體之黏度亦增大。

氣態甲烷之黏度與溫度壓力之關係

表 1

壓 力 (大氣壓)	甲烷在下列溫度時之黏度 ($\eta \times 10^7$ 克/厘米·秒)		
	0°C	25°C	75°C
1	1037	1108	1260
20	1068	1135	1290
60	1220	1260	1355
100	1420	1370	1455
150	1795	—	—
200	2165	1990	1810
500	2800	2510	2250
400	5360	3005	2620
600	—	5890	5330

在表 1 中列舉甲烷（乾天然氣）在不同壓力及溫度下之黏度。

有時在計算中採用動力黏度，動力黏度等於運動黏度除以密度，亦即

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}.$$

在 CGS 單位制中動力黏度之單位為

$$\text{克/厘米} \cdot \text{秒} : \text{克/立方厘米} = \text{平方厘米/秒},$$

動力黏度之單位稱為泊。

在工程單位制中動力黏度之單位為

$$\text{仟克} \cdot \text{秒/平方米} : \text{仟克} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4 = \text{平方米/秒};$$

$$1 \text{ 平方米/秒} = 10\,000 \text{ 平方厘米/秒}.$$

習題3 如在 0°C 時甲烷之運動黏度為 0.0001027 克/厘米 $\cdot$ 秒（泊），求甲烷在 50°C 時之運動黏度。

解

按公式 (4.1) 得

$$\nu_{50} = 0.0001027 \frac{273 + 198}{323 + 198} \left(\frac{323}{273} \right)^{3.2} = 0.000117 \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒}.$$

習題4 如在 50°C 時車用油 M 之黏度為 6°E ，其密度為 0.93 克/立方厘米，求車用油 M 以泊表示之黏度。

解

按公式 (2.1) 得

$$\eta = \left(0.0731 \times 6 - \frac{0.0631}{6} \right) \times 0.93 = 0.397 \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒}.$$

習題5 如在 100°C 時壓縮機油 M 之黏度為 1.7°E ，其密度為 0.90 克/立方厘米，求壓縮機油 M 以泊表示之運動黏度。

解

$$\eta = \left(0.0731 \times 1.7 - \frac{0.0631}{1.7} \right) \times 0.90 = 0.078 \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒}.$$

習題6 求車用油及壓縮機油以泊表示之動力黏度（按上題

之數據)。

解

動力黏度之數值如下:

$$\text{車用油 } \nu = \frac{0.397}{0.93} = 0.427 \text{ 沱 (平方厘米/秒)},$$

$$\text{壓縮機油 } \nu = \frac{0.078}{0.90} = 0.087 \text{ 沱}。$$

習題7 求車用油及壓縮機油以工程單位制表示之運動黏度(按上題之數據)。

解

運動黏度之數值如下:

車用油

$$\eta = 0.397/98.1 = 0.397 \times 1.02 \times 10^{-2} = 0.00405 \text{ 仟克} \cdot \text{秒/平方米};$$

壓縮機油

$$\eta = 0.078/98.1 = 0.000795 \text{ 仟克} \cdot \text{秒/平方米}。$$

單位為仟克·秒/平方米之黏度亦可以公式(3.1)求得:

車用油

$$\eta = \left(7.24 \times 6 - \frac{6.25}{6} \right) \frac{0.93}{9.81 \times 10^6} = 0.00405 \text{ 仟克} \cdot \text{秒/平方米};$$

壓縮機油

$$\eta = \left(7.24 \times 1.7 - \frac{6.25}{1.7} \right) \frac{0.90}{9.81 \times 10^6} = 0.000795 \text{ 仟克} \cdot \text{秒/平方米}。$$

氣體及液體混合物

氣體混合物的組成可以重量組成或體積組成表示之。因於 0°C 及760毫米水銀柱時任何1仟克分子氣體之體積等於22.4立方米,故氣體混合物之體積組成亦即分子組成。

將體積(分子)組成換算為重量組成之方法如下:將體積(分子)組成以百分數表示,並取100衡分子(如仟克分子)的混合物,則各組份之分子數即為其濃度。然後以各組份之分子數

乘以其分子量即可得各個組份之重量。將此重量相加，以總重量除各組份之重量即可得各組份之重量濃度，亦即混合物的重量組成。

此項換算之數據如表 2 所示。

分子組成換算為重量組成

表 2

組份號碼	體積(分子) 組成%	分 子 量	組 份 重 量 仟 克	重 量 組 成
1	y_1	M_1	$y_1 M_1 = g_1$	$g_1 / \sum g$
2	y_2	M_2	$y_2 M_2 = g_2$	$g_2 / \sum g$
"	y_n	M_n	$y_n M_n = g_n$	$g_n / \sum g$
總 值	100	—	$\sum g$	1

將重量組成換算為體積（分子）組成之法如下。取 100 仟克之混合物（如組成以百分數表示）。以各項組份之分子量除其重量即得到各項組份之分子數。將其相加得到總分子數。以總分子數除各組份之分子數即得各組成之分子（體積）濃度。

此項換算之數據如表 3 所示。

重量組成換算為分子組成

表 3

組份號碼	重量組成%	分 子 量	分 子 數	分子(體積) 組 成
1	g_1	M_1	$g_1 / M_1 = m_1$	$m_1 / \sum m = y_1$
2	g_2	M_2	$g_2 / M_2 = m_2$	$m_2 / \sum m = y_2$
"	g_n	M_n	$g_n / M_n = m_n$	$m_n / \sum m = y_n$
總 值	100	—	$\sum m$	1

在確定氣體混合物時必須已知其平均分子量、平均密度（仟克/立方米）及平均比重（對於空氣）。

如組成以體積（分子）百分數表示，則平均分子量爲

$$M_{cp} = \frac{y_1 M_1 + y_2 M_2 + \dots}{100} \quad (5,1)$$

此處 100 衡分子混合物之總重量爲分式中之分子。

在 0°C 及 760 毫米水銀柱時平均密度爲

$$\rho_{cp} = \frac{M_{cp}}{22,4} \text{ 仟克/立方米。}$$

平均比重爲

$$\Delta_{cp} = \frac{\rho_{cp}}{1,29}$$

如爲重量組成（百分數），則

$$M_{cp} = \frac{100}{\frac{g_1}{M_1} + \frac{g_2}{M_2} + \dots} \quad (6,1)$$

此處之分母爲混合物之分子數，即各組份分子數之總和，而分子爲其重量。

液體混合物可以重量組成、體積組成及分子組成來表示。

液體混合物之重量組成換算爲分子組成時的方法與氣體同。

重量組成換算至體積組成時可利用液體組份之密度。各組份之重量除以其密度（仟克/呎）可得單位爲呎之體積組成。然後以其總體積除各組份之體積即得各組份之體積濃度（表4）。

表 4

組份號碼	重量組成%	密 度 仟克/呎	各組份之體積 呎	體 積 組 成
1	g_1	ρ_1	$g_1/\rho_1 = v_1$	$v_1/\sum v$
2	g_2	ρ_2	$g_2/\rho_2 = v_2$	$v_2/\sum v$
n	g_n	ρ_n	$g_n/\rho_n = v_n$	$v_n/\sum v$
總 值	100	—	$\sum v$	1

液體混合物之平均分子量按重量組成計算時爲

$$M_{cp} = \frac{100}{\frac{g_1}{M_1} + \frac{g_2}{M_2} + \dots}$$

平均密度

$$\rho_{cp} = \frac{100}{\frac{g_1}{\rho_1} + \frac{g_2}{\rho_2} + \dots} \text{ 仟克/辨。} \quad (7.1)$$

平均比容

$$v_{cp} = \frac{1}{\rho_{cp}} \text{ 辨/仟克。}$$

反過來計算就可將體積組成換算至重量組成（將各組份之體積乘其密度）。

將體積組成換算至分子組成時（或者相反），要利用重量組成，用它來進行分子或體積組成之換算。

以分子組成表示的液體混合物的平均分子量為：

$$M_{cp} = x_1 M_1 + x_2 M_2 + \dots,$$

此處 x ——在液體混合物中組份的分子濃度。

以體積組成表示的液體混合物的平均分子量及密度等於：

$$M_{cp} = \frac{v_1 \rho_1 + v_2 \rho_2 + \dots}{\frac{v_1 \rho_1}{M_1} + \frac{v_2 \rho_2}{M_2} + \dots}; \quad (8.1)$$

$$\rho_{cp} = v_1 \rho_1 + v_2 \rho_2 + \dots,$$

此處 v ——組份之體積濃度（以分數表示）。

不論氣體或液體，總壓力等於所有組份分壓之和。

氣體混合物（氣相）中組份之部份壓力等於其體積或分子濃度與總壓之積，亦即

$$p = yP, \quad (9.1)$$

此處 p ——在氣相中組份之部份壓力（大氣壓）；

P ——混合物之總壓力（大氣壓）；

y ——氣相中組份之分子濃度。

因之在氣相中組份之分子濃度等於部份壓力與總壓力之商

數，即

$$v = \frac{p}{P} \quad (10,1)$$

在液相中組份之部份壓力等於其分子濃度與其在純物質時飽和蒸汽壓之積，亦即

$$p = xQ, \quad (11,1)$$

此處 Q ——該組份在純物質時之飽和蒸汽壓（大氣壓）；

x ——在液相中該組份之分子濃度。

如在降低壓力或升高溫度時有一定數量之液體蒸發成氣體，則蒸發後氣體之體積可用下式計算

$$V = \frac{G \times 22.4}{M_{cp}}, \quad (12,1)$$

此處 V ——液體蒸發後所呈蒸汽之體積（標準立方米）；

G ——液體之重量（仟克）；

M_{cp} ——液體平均分子量。

重碳氫化合物（丙烷，丁烷，異丁烷或含 $1/3$ 丁烷之氣體油）在氣體中的含量由(13,1)及(14,1)求得。

如已知氣體重量組成，則首先決定其平均密度 ρ_{cp} （仟克/立方米），然後將各重碳氫化合物的重量百分數乘以 ρ_{cp} ，乘以10，即可得重碳氫化合物在氣體中之含量，其單位為克/立方米，即

$$g = 10 g\% \times \rho_{cp} \text{ 克/立方米}, \quad (13,1)$$

此處 $g\%$ ——該碳氫化合物之重量百分比；

ρ_{cp} ——氣體之平均密度（仟克/立方米）。

若已知氣體之體積（分子）組成，則

$$g = 10 v\% \times \rho \text{ 克/立方米}, \quad (14,1)$$

此處 $v\%$ ——該碳氫化合物的體積百分比；

ρ ——該碳氫化合物之密度（仟克/立方米），即

$$\frac{M}{22.4}$$

習題8 氣體之重量組成： CH_4 ——40%， C_2H_6 ——10%，

C_3H_8 ——15%， C_4H_{10} ——25%， C_5H_{12} ——10%。將此混合物之重量組成換算為體積組成。

解

題解如表 5。

表 5

組 份	重量組成%	衡 分 子 數	分子組成
甲 烷	40	$40:16=2.50$	0.669
乙 烷	10	$10:30=0.33$	0.088
丙 烷	15	$15:44=0.34$	0.091
丁 烷	25	$25:58=0.43$	0.115
戊 烷	10	$10:72=0.14$	0.037
總 值	100	3.74	1.000

$$M_{cp} = \frac{100}{3.74} = 26.8;$$

$$\rho_{cp} = \frac{26.8}{22.4} = 1.2 \text{ 仟克/立方米};$$

$$\Delta_{cp} = \frac{1.2}{1.293} = 0.93.$$

習題9 氣體之體積組成： CH_4 ——30%， C_2H_6 ——15%， C_3H_8 ——20%， C_4H_{10} ——15%， C_5H_{12} ——20%。將此混合物之體積組成換算為重量組成。

解

題解如表 6。

表 6

組 份	分子組成%	組 份 重 量 克	重量組成
甲 烷	30	$30 \cdot 16 = 480$	0.117
乙 烷	15	$15 \cdot 30 = 450$	0.109
丙 烷	20	$20 \cdot 44 = 880$	0.214
丁 烷	15	$15 \cdot 58 = 870$	0.211
戊 烷	20	$20 \cdot 72 = 1440$	0.349
總 值	100	4120	1.000

$$M_{cp}=41.20; \rho_{cp}=\frac{41.2}{22.4}=1.84 \text{ 仟克/立方米}; \Delta_{cp}=\frac{1.84}{1.293}$$

=1.42。

習題10 液體混合物之重量組成： C_3H_8 ——10%， C_4H_{10} ——35%， C_5H_{12} ——55%。將此液體混合物之重量組成換算為分子及體積組成。

解

該液體重量組成換算為分子組成如表 7。

表 7

組 份	重 量 組 成	衡 分 子 數	分 子 組 成
丙 烷	0.10	$0.10 : 44 = 0.0023$	0.144
丁 烷	0.35	$0.35 : 58 = 0.0060$	0.575
戊 烷	0.55	$0.55 : 72 = 0.0077$	0.481
總 值	1.00	0.0160	1.000

該重量組成換算為體積組成如表 7a。

表 7a

組 份	重 量 組 成	密 度 仟 克 / 厘 米 ³	組 份 之 體 積	體 積 組 成
丙 烷	0.10	0.51	$0.10 : 0.51 = 0.196$	0.117
丁 烷	0.35	0.58	$0.35 : 0.58 = 0.603$	0.561
戊 烷	0.55	0.63	$0.55 : 0.63 = 0.875$	0.622
總 值	1.00	—	1.672	1.000

習題11 液體混合物之體積組成： C_3H_8 ——15%， C_4H_{10} ——25%， C_5H_{12} ——60%，試將此體積組成換算為重量及分子組成。

解

將液體混合物之體積組成換算為重量及分子組成如表 8。