

TF01-13C2

70457

大學叢書

算計金冶

Allison Butts 著
胡為柏 譯



TF01-13C2

大學叢書

冶金表
請在下列時間內歸：

1974-38 Butts 著
胡為柏譯



商務印書館出版

◆(363804)

大學書 冶金計算
Metallurgical Calculation

★版權所有★

原著者 Allison Butts
譯述者 胡 爲 柏
出版者 商務印書館
上海河南中路二一號
三聯中環海峽殖民地聯合總匯
發行者 中國圖書發行公司
北京崇文門內大街六十六號
印刷者 商務印書館印刷廠

1952年4月初版 定價¥34,000

(滬)1-8,000

TF01/14

例 言

(一)冶金計算一科，係將物理，化學，機電等原理及數學計算應用於冶金作業，國內外大學冶金系均列為必修。良以燃燒效率動力預算，煉爐效能之測定暨設計，冶煉方法之改進，均可藉冶金計算法推求得之，實為冶金工程師應具之技能。

(二)冶金計算係從已知或易於測知之數據推求未知之數值。是以數據之測定實為本科之基礎。晚近實驗物理學，理論化學，電化學諸科大有進步；冶金計算亦隨之有長足之發展。

(三)自 J. W. Richards 於 1906, 1907, 1908 年在“電化學及冶金工業雜誌”(Electrochemical and Metallurgical Industry) 連續刊載冶金計算論文，後彙編為三冊，分述普通原理，鋼鐵冶金，非鐵冶金之計算法。出版後不僅冶金工程師所珍視，亦為化工，機械工程師備作參考。惜該書最新版(第四版)出版於 1918 年，其中數據資料均感陳舊。本書原著者 Allison Butts 根據 Richards 之書改寫，於 1932 年出版，以充大學教本。復於 1943 年再加補充，並改稱為“Metallurgical Problems”。其材料新穎，數據採用最新測定較為可靠者，習題切合實際作業情況。極適於教學及參考之用。譯者因感國內尚無冶金計算專書。教學及工程師均有書籍難求，數據無處可查之苦，爰不揣謬陋，於公餘逐譯，以冀作為大學冶金系教本及冶金，化工，機械工程師之參考。

(四)本書名詞，如鑛物，理化，化工等參照商務印書館印行之礦物學名詞，物理學名詞，化學命名原則，化學工程名詞。惟有時酌予分辨。如物理學名詞將 fusion 及 melting 均譯為“熔解”，今分譯為“熔融”及“熔化”。如“bauxite”從俗譯為“水礬土”。冶金標準名詞尚待修

訂。本書所用均從常用而切合音義者，新詞則與同仁商酌試譯。

(五)本書遂譯時蒙姚玉林先生之鼓勵，指導及向原著者徵得同意，同仁鍾鎮南，馬恆儒，陳光斗，張學成之協助指教。而最可感者為譯成之草稿承魏壽崑先生於百忙中詳予校核指正，使本書能減少許多錯誤，譯者敬向上列諸師友致謝。

(六)本書遂譯，力求忠實，惟譯者學識淺陋，如有走失原意之處，責任當由譯者負之。請讀者提供意見和批評。

胡為柏 1947 年

目 錄

第一章	量及單位	1
第二章	<u>化學方程式</u>	7
第三章	燃燒	12
第四章	<u>焦炭及發生爐煤氣之製造</u>	50
第五章	熱化學及熱物理	75
第六章	煉鐵爐	91
第七章	貝色麥·平爐及電爐煉鋼法	121
第八章	鼓風及通風之產生	149
第九章	熱平衡	161
第十章	熔煉配料之計算	175
第十一章	合金	188
第十二章	冶金反應之質量定律及化學平衡	207
第十三章	烘乾及燬燒	216
第十四章	焙燒及燒結	221
第十五章	銅之熔煉與吹煉	232
第十六章	電解法	255
第十七章	水冶	279
第十八章	鋁及鎂之冶煉	291
第十九章	金屬熔化時之揮發作用	296
第二十章	鉛之冶煉	304
第二十一章	熱之傳播	314
第二十二章	蒸餾法	334

第二十三章	化學反應蒸氣壓及溫度壓力關係.....	345
第二十四章	化學反應之熱力學.....	374
第二十五章	附表.....	385
習題答案		435

冶金計算

第一章 量及單位

1-1. 人類物質文明之進展，多賴度量物品之能力。將度量方法應用於各種不同之恆定性質 (properties) 及偶有性質 (attributes)。科學領域不斷擴充，度量方法亦不斷改進，同時使常量及易量物品之度量方法標準化。

度量不僅為方法，亦是一種表述之工具。度量方法之主體是相互比較；其結果之最好表述法即為標準單位之利用。如以英寸(吋)為單位，則一物之長可將該物與標準英寸相比較，而以若干英寸表述之。但度量標準之採用，不幸世界各地不同——尤其科學範圍以外者。惟國際公認之度量衡制，已確定各種單位之相對數值並使之可相互比較。

如量一物之長係與一適應刻分之標準尺比較，此尺製造時與另一較精密之標準尺比較，此尺又與其他一尺比較，以至最後與藏於法國 Sèvres 國際度量衡局之標準公尺或倫敦標準局之標準碼相比較。

重量亦然，最後與國際公認之標準方塊質量重為一公斤或另一標準方塊質量重為一磅者相比較。質量與重量不同，質量為物體中所有物質之量，或為產生惰性之原因，不因物體所處之地點或位置而變。但重量係物體被重力吸引趨向地心之力，因所處之地點而變。質量及重量雖在物理學上有不同概念及不同單位，但不幸質量與重量之某種單位同名，如稱質量一磅重量一磅等。普通所謂“重量”常包含“質量”的意義，

但質量係物體不變之量，而重量係地球吸彼之力，此點必須辨明。物體在地球表面因位置不同所生之重量變化，頗為微小，故在工商業上常可略而不計。

技術計算須選擇適當單位。現在通用單位為二類，即為英制及公制。英制為英語國家所通用；公制為國際所公認，比較簡單合理，亦為科學界所採用。但因普通英美工廠仍多通用英制，學者亦應熟悉，故本書習題亦有用英制者。有時習題中公制英制並用，為計算便利計，須相互換算，書末附有單位換算表。

1-2. 單位之大小 普通化學計算均採用實驗室所常用之單位，如克(gram)，立方公分(c.c.)及升(liter)等。但在工業上此種單位常感太小。本書習題均根據冶金工廠之實際作業情形，故所用單位較大。如公斤(kg)，公噸(ton)，立方公尺(cubic meter)等。大單位與小單位之關係頗為簡單，如1公噸等於1,000公斤，1公斤等於1,000克；1立方公尺等於1,000升，1升等於1,000立方公分等。其中應特別注意者，即為立方公尺與公斤之關係等於升與克之關係，如：

32 克之氧在標準狀況下佔有 22.4 升體積。

亦可用另外單位敘述：

32 公斤之氧在標準狀況下佔有 22.4 立方公尺體積。

同上理由，熱之單位常用千卡(kcal)而少用卡(cal)。如1克碳燃燒後得8,100卡，則1公斤碳燃燒得8,100千卡。

1-3. 主要單位及定義 公制以升為量流體之單位，量少量流體時通常用公勺(ml)，而不用立方公分。1升之定義，係指1公斤質量之水在密度最大之溫度(4°C)時所佔之體積，而立方公分係從長度之標準公尺導來。公斤及立方公分本無大別，且實用時亦不加分辨。但精確論，1公勺=1.00027立方公分。此數相差甚微，本書不予計及，故可

假設 1,000 升 (l) = 1 立方公尺 (m^3)。而從俗以公勺表述少量之流體。

物體之密度係指單位體積之質量。密度之單位在定義中未規定，其數值隨所用單位而不同。在公制常用每立方公分含若干克 (g/c.c.) (對流體論用 g/ml) 表示。固體或液體之比重係其質量與同體積之水在最大密度之溫度時質量之比。是以比重是一數值，並無單位；當密度以公制為單位時，則密度與比重數值相等。(氣體之比重，常以標準狀況之空氣代替水作比較之標準，即以標準狀況之空氣質量為 1，而以同體積氣體之質量為該氣體之比重。) 如用適當單位，密度亦可視為單位體積之重量。

比容為密度之倒數，即單位質量之體積，其數值亦因所用單位而不同。

詳細討論此數種單位及有關力學，電學及磁學之單位非本書範圍。有時於下列諸章中適當處將各單位給以定義，惟多半仍用明顯不混淆之較通用單位。因冶金工作多在高溫時進行，故本章將普通有關熱，能及功率之單位加以敘述，其他之熱單位在第三，五，十一章再詳加敘述。

1-4. 熱單位 度量熱必須注意二點：(1) 熱能之量，(2) 溫度。物體之溫度係指該物體從其他物體或環境中取得（如其他物體溫度較高時）或供給（如其他物體溫度較低時）熱之能力。通常以攝氏或華氏幾度表述之。熱量係以能表示，其公制單位為卡 (cal)， $1 \text{ 卡} = \frac{1}{860} \text{ 瓦特小時}$ ；英制單位用英熱單位 (B. t. u.)， $1 \text{ 英熱單位} = 251.996 \text{ 卡}$ 。1 卡係使 1 克水溫度增加 1°C 所需之熱量；1 英熱單位係使 1 磅水溫度增加 1°F 所需之熱量。但因在不同溫度時，同質量之水升高 1 度所需熱量略有不同，為精密計，應規定水之溫度，常用者係從 15 至 16°C ，因此

時所得數值與 0 至 100°C 之平均數相近。

在力學上，能之單位為爾格(erg)，其定義為 1 達因(dyne)力作用於 1 公分距離所作之功。但因爾格太小，本書以焦耳(joule) (10^7 爾格) 為熱能或機械能之單位。

$$4.186 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 卡};$$

$$1,054.9 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 英熱單位 (B. t. u.)};$$

$$778.26 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 呎-磅 (ft-lb)}.$$

瓦特之定義為每秒鐘消耗 1 焦耳能。

功率指單位時間之能，故卡/秒(cal/sec)，英熱單位/秒(B. t. u./sec)，呎-磅/秒(ft-lb/sec)。均可用作功率之單位，焦耳/秒(joule/sec) 又名瓦特，4.186 瓦特 = 1 卡/秒，4.186 瓩 = 1 千卡/秒。

物體之比熱係指單位物體溫度增高 1 度所需之熱，亦名熱容量。常以每克物體溫度每升高 1°C 之卡數 (卡/克/ 1°C) 為單位；但氣體之比熱常以每升氣體在標準狀況下溫度每升高 1°C 之卡數 (卡/升/ 1°C) 為單位。每分子量氣體之熱容量名為分子熱容量，即為比熱與分子量之乘積，氣體之分子熱容量等於其體積比熱 (cal/l/ 1°C) 與 22.4 之乘積，因在標準狀況下每克分子量氣體佔有體積 22.4 升。比熱因溫度而變遷，在溫度變遷範圍不大時 (如少於 100°C) 比熱之變遷亦不大。但在冶金工作中溫度變遷範圍頗大，此等變遷及定量物體或定體積物體之熱容量計算在第三、五章討論。

1-5. 綱要 茲將上述各單位綜述如下，並加入重要單位數則，以便參考，其餘可參閱書末之換算表 (第 LIV 表)。

1 公勺(ml) 或 1 立方公分 (c.c.) 之水重 1 克 (僅在 4°C 時相當確實，但在 100° 以下均為近似值)。

1 立方公分之物體，其重量之克數等於其密度或比重。

1 升水在普通溫度重 1 公斤。

1 立方呎水在普通溫度重 62.4 磅。

1 公噸 = 1,000 公斤 = 2,205 磅。(1 公噸比普通重 2,000 磅之短噸大 10%，比普通重 2,240 磅之英國長噸小 1.5%。)

1 千卡 (Cal) 約為 1 公斤水升高 1°C 所需之熱量。(隨溫度高低而異，但在 100°C 以下之溫度範圍內差異極微。)

1 英熱單位 (B. t. u.) 約為 1 磅水升高 1°F 所需之熱量。

1 千卡 = 3.97 英熱單位。1 英熱單位 = 0.252 千卡 = 252 卡。

在 0°C 時，溫度升高 1°C ，氣體體積膨脹 $\frac{1}{273}$ (壓力不變)；或在 0°F 時，溫度升高 1°F ，氣體體積膨脹 $\frac{1}{492}$ (壓力不變)。(此係 Charles 定律，用於理想氣體頗為精確，平常亦用於普通氣體之計算。) 絕對零度是 -273°C ，或 -460°F (較精密的數值是 -273.16°C 及 -459.69°F)。

溫度一定時，氣體體積與其所受壓力成反比 (Boyle 定律)。

氣體之標準狀況係指溫度為 0°C ，壓力為 760 公厘 (mm) 水銀柱高。

1 瓦特 = 1 安培 (amp.) $\times$ 1 伏特 (volt)，1 瓩 (kw) = 1,000 瓦特。

1 焦耳 = 1 瓦特-秒 (watt-sec)，4.186 焦耳 = 1 卡。

860 千卡/秒 = 1 瓦特，746 瓦特 = 1 馬力 (H. P.)。

1 馬力 = 33,000 呎-磅/分 (ft.-lb./minute)。

1 瓩 = 102 公斤-公尺/秒 (kg-m/minute)。

正常大氣壓力 = 14.70 磅/平方吋 (lb/in²)

= 10,333 公斤/平方公尺 (kg/m²)

1-6. 冶金計算之精密度 本書習題均以實際作業為根據，故答案之精密度亦應合於實際情形。勿太精密，勿太粗疏。求出五位或六位數

字，不僅費時且易誤解，切宜避免。普通冶金計算結果均為三或四位有效數字，此位數不僅代表可用數據之精密度，同時亦顧及至發生疑問時與其失諸精密度太低，不如失諸精密度太高。此位數與 10 吋計算尺之精密度同。^①

引用原子量時，以用整數為佳，如銅為 64，鐵為 56 等。但必要時亦應用較精密之位數。

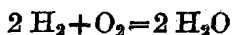
如稱某金屬重為 10.40 公斤，此數表示秤至 $\frac{1}{100}$ 公斤之精密度。如僅秤至 $\frac{1}{10}$ 公斤之精密度，則應寫為 10.4，因不知第四位究為 0 抑為其他數值也；如秤至 $\frac{1}{1000}$ 公斤，可得出第五位之數值，然因普通不需要四位以上之有效數字，故第五位仍可略去。

普通冶金數據均未精密至三或四位以上。尤其如鑛石處理之較粗糙作業為甚。——所給之重量多為約數。化學分析數值超過三位後多不可靠，何況與取樣是否得當有關，取樣較分析更不可靠。計算中所用之化學反應亦難完全表出實際發生之現象，雜質亦難——顧及。或因智識不全，需立許多假設，是以較高之精密度事實上難以辦到，至於某數種作業可允許較高之精密度，自不待言。冶金計算係將理論與實際應用配合，實際經驗愈豐富，愈明瞭對於各種情況下所需之精密度，愈了解普通工作之缺乏精密性。同時，理論計算所得數值對於設計及作業之控制與改進之價值愈益明顯。有效數字太精密之不切實際，並不能用作思想及方法缺乏精密性之藉口。

① 欲使計算尺運用簡易，迅速，可靠，學者須加練習，我們推薦用計算尺來算冶金計算。實因學生如欲在考試規定時間內將題作完，計算尺為不可少。

第二章 化學方程式

2-1. 化學方程式係以符號表示所發生之化學反應。不僅表示參加反應及生成之物體；且表示實際上物體間相對數量之關係。方程式中寫出原子式分子之個數，則物體之量可從原子量中以體積或重量表示之。祇要相對數量不變，任何單位均可應用。如方程式



以重量論：表示 4 份氫與 32 份氧作用生成 36 份水。其中所謂“份”可以任何重量單位代入。如克，公斤，磅等均可。但同一方程式內所用單位必須統一。另以體積論：2 份氫與 1 份氧作用生成 2 份水蒸氣，其中所謂“份”可以任何體積單位代入，如升，立方呎，立方公尺等。僅須同一方程式用同一單位。

有時亦可將方程式中數項以重量表示，其他數項以體積表示，此點常可利用。如欲求燃燒 100 克氫需要多少升氧。2 H_2 項可表示 4 克。但 O_2 項不以 32 克表示，而以 22.4 升表示之。方程式中 O_2 之符號代表一分子量之氧：以重量論等於 1 克分子量或 32 克。以體積論等於克分子體積或 22.4 升（標準狀況下）。所以上述公式亦可認為 4 克氫與 22.4 升氧作用生成 44.8 升水蒸氣。

惟如用上法，則必須注意方程式每項均為分子式，因 1 分子氧含有 2 原子，方程式中氧必須寫成分子式 O_2 ，方為 22.4 公升。其定律如下：

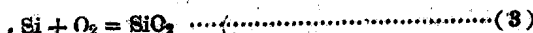
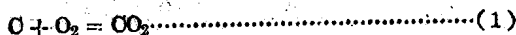
在標準狀況下，每克分子量氣體佔有 22.4 升。

或 在標準狀況下，每公斤分子量氣體佔有 22.4 立方公尺。

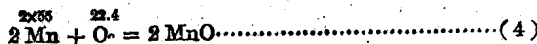
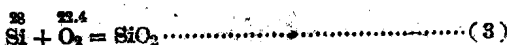
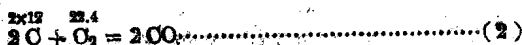
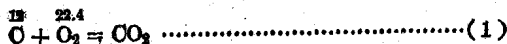
下列例題說明方程式之此種用法：

【例1】今以熔鐵 10,000 公斤(內含 4.0% C; 1.5% Si; 1.0% Mn)傾入貝色塞連轉爐, 爐中雜質經吹風後氧化除去。 $\frac{1}{4}$ C 氧化成 CO_2 , $\frac{3}{4}$ C 氧化成 CO。求所需之空氣體積, 以立方公尺為單位。

解: 所生之反應是: ①



所需氧之體積, 可從上式算得。為計算便利計, 可將原子量, 分子量以克分子體積註在符號上, 即



(為簡便起見, 以後本書符號上不註分子量, 但學者在未熟習前, 仍以註出為佳)。

在生鐵中含 $0.04 \times 10,000 = 400$ 公斤 C, 其中 100 公斤變為 CO_2 , 300 公斤變為 CO。
Si 氧化之量為 150 公斤, Mn 氧化之量為 100 公斤。

方程式(1)表示 12 公斤 C 需要 22.4 立方公尺 O_2 , 即 1 公斤 C 需要 $\frac{22.4}{12}$ 立方公尺 O_2 。

今有 100 公斤 C, 故需要 $100 \times \frac{22.4}{12} = 187$ 立方公尺 O_2 。

同理, 方程式(2)表示 24 公斤 C 需要 22.4 立方公尺 O_2 , 故

300 公斤 C 需要 $300 \times \frac{22.4}{24} = 280$ 立方公尺 O_2 。

同理 150 公斤 Si 需要 $150 \times \frac{22.4}{28} = 120$ 立方公尺 O_2 。

同理 100 公斤 Mn 需要 $100 \times \frac{22.4}{110} = 20$ 立方公尺 O_2 。

故總共所需之 O_2 等於 $187 + 280 + 120 + 20 = 607$ 立方公尺。

① 學者應養成解題時先列出有關反應方程式之習慣, 則有反應式可免許多錯誤。

以體積計，空氣中含氧 21.0%，故所需空氣之體積是 $\frac{607}{0.21} = 2,890$ 立方公尺。（此數僅表示標準狀況下之空氣體積，因 22.4 升係在標準狀況下所測得之數據。）

分子數量常簡稱為克分子量 (mol)。如以公斤為單位，則名為公斤分子量 (kg-mol)，如以體積論，每克分子量氣體在標準狀況下佔有 22.4 升。

以克分子量代替克，升，磅等頗為便利。因克分子量為化合單位，如以氫及氧化合成水蒸氣而論，其相對體積與其克分子量之數目相同。學者如是計算氣體反應則甚感便利。

2-2. 英制中之體積及重量關係 求氣體相當某重量之體積或反之在英制祇須將常數 22.4 改為 359 即成，其關係如下：

一磅分子量之氣體在標準狀況下佔有 359 立方呎

例如 10 磅 O₂ 在標準狀況下佔有 $10 \times \frac{359}{32} = 112$ 立方公尺。英制之標準狀況為 32°F 及 29.92 吋水銀柱。

在英制計算中，有一巧遇關係可資利用。即 1 英兩 (盎司 (ounce)) 分子量氣體在標準狀況下約佔有 22.4 立方呎。換言之，即英兩公斤間與立方呎立方公尺間之數值關係相近似。 $1 \text{ 英兩} = 35.27 \text{ 公斤}$ ， $1 \text{ 立方呎} = 35.31 \text{ 立方公尺}$ 。

習 題

1. 煉銅迴轉爐裝料為含 54% FeS 之冰銅 (matite)，吹入空氣後 FeS 氧化，其反應為 $2 \text{ FeS} + 3 \text{ O}_2 = 2 \text{ FeO} + 2 \text{ SO}_2$ ，空氣含 21.0% O₂。1 公噸 = 1,000 公斤。求：

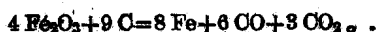
(a) 所需要之空氣總量，以立方公尺為單位。

(b) 生成 SO₂ 之體積。

(c) FeO 生成之公斤數。

(d) 生成爐渣之重，以公噸為單位，如已知爐渣中含 65% FeO。

2. 在電爐中氧化鐵根據下列反應還原成鐵。



欲飲 1 公噸鐵，

- 需要多少公斤 Fe_2O_3 ？
- 需要多少公斤 C ？
- 在標準狀況下產生之 CO 及 CO_2 之體積（立方公尺）多少？
- 生成多少公斤 CO 及 CO_2 ？

3. 某鋅蒸餾爐 (zinc retort) 煉得 50 磅鋅，裝入原料礦石含 58% ZnO ，44% 脈石；煤含 90% C ，10% 灰份，其還原反應如下：



所加煤量足以超過上式所需碳量之五倍。求：

- 裝料中所需礦石之磅數。
- 裝料中煤之百分率。
- 放出 CO 多少立方呎？

4. 在煉鉛土爐 (ore hearth) 中使方鉛礦 (PbS) 還原得鉛。其反應有二，一為 PbO 與 PbS 作用，二為 PbS 與 PbSO_4 作用，二種反應同時發生並均產生 Pb 及 SO_2 。 PbO 反應所產之 Pb 比 PbSO_4 反應所產者大三倍，二種反應一共還原 PbS 6,600 公斤。求：

- 最後所得鉛及 SO_2 之重量（公斤）及體積（立方公尺）。
- 在 PbS - PbO - PbSO_4 混合物中 PbO 之百分率及 PbSO_4 之百分率。

5. 某銅礦石含 6% Cu 及 35% S 。含銅礦物為黃銅礦 (CuFeS_2)， S 亦成黃鐵礦 (FeS_2)；礦石其他部份為脈石，不含 Cu ， S 或 Fe 。

礦石先經焙燒以去硫，反應如下：



所供給之氧（在空氣中）較上式所需要者超過 200%。求：

- 一公噸礦石所含上述礦物及脈石之磅數。
- 一公噸礦石焙燒時根據反應式所需空氣之立方呎數。
- 實際供給空氣之體積（立方呎）。
- 一公噸礦石焙燒時共所產之 Fe_2O_3 重量及 SO_2 之體積。

6. 電解煉鋁，以碳為陽極，電解 Al_2O_3 而得純鋁。放出之 O_2 與陽極之碳化合，假設 85% 成為 CO ，15% 成 CO_2 。每一電解池每日產量為 400 磅純鋁。求：

- 寫出以最小整數平衡之反應式。