

冶金計算學

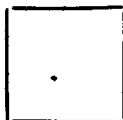
鄭逢佳著

中國科學圖書儀器公司

出版

冶金計算學

版權所有



不准翻

一九五二年十月初版

《定價人民幣

著者 鄭 逢 佳

出版者 中國科學圖書儀器公司
上海(18)延安中路537號

總發行所 中國科技圖書聯合發行所
上海中央路24號304室
電話 19566 電報掛號 2196°

分銷處

書儀器公司

京：太平路32號
廣州：永漢北路204號

序 言

這本書是由編者幾年來在交通大學唐山工學院冶金系講授“冶金計算學”一科的講義加以補充而成。書中材料的選擇和編排的次序係以中央教育部頒佈之大學冶金系“鋼鐵冶金計算”和“有色金屬冶金計算”兩課程的內容和講授順序為依據，力求適合於作上述兩課程教本之用。這是編者編撰這本書的主要目的。

本書內容的重點，在有系統地介紹各種冶煉操作中各有關計算問題的計算方法。對每一問題的演算，均事先闡述其有關的原理，列舉有關的數據，指出計算應循的途徑，使學者對所研究的問題獲得一通盤明確之了解，然後再引用實例來詳細說明問題的一般性和特殊性，使學者對問題獲得更深入一步的認識。全書共分十六章，內共列舉了具有代表性的說明例題六十六道。每章之末，附有練習題若干道，供學者復習演算。

在第一章中，列舉了很多重要的單位，熱化學常數，熱力學常數及其他與計算有關的數據，以供演算問題時參攷之用。第二第三兩章所討論的是與燃料有關的計算問題，這在火法冶金中是很重要的。在第四至第六章中，通過熔化法和蒸餾法等冶金作業，將物理化學在熔煉冶金中的應用，作了一些比較深入的介紹，不過目前還僅僅限於用來解釋某些特殊的問題，而不能普遍地加以應用，同時這類資料現在尚不多，收集不易，所以在此只是作了一個開端而已！第七章的主要內容是烟囱的設計，這是一般冶煉廠裏常常遇

到的須要解決的問題之一。第八第九兩章所討論的是鋼鐵冶金計算問題，舉凡煉鐵爐，吹爐，平爐，電爐等熔煉作業中的配料計算，爐料平衡計算，熱量平衡計算等都作了很有系統的很概括的敘述。第十章所討論的是有色金屬礦砂的乾燥，焙解焙燒和燒結等計算問題。第十一、十二兩章包括了銅鉛等火法冶煉計算問題。第十三、十四兩章包括了銅、金（銀、鉛）等的電解精煉，銅（鋅）的電解提煉和鋁鎂等的高溫電解提煉等計算問題。第十五章包括了銅、金（銀）等溼法冶金計算問題。第十六章所論述的是一般煉爐傳熱損失的計算方法。故總的來說：（一）第一、二、三、四、五、七、十六等七章為一般性的冶金計算。（二）第八、九兩章為鋼鐵冶金計算。（三）第六（鋅、汞、鎢）、十、十一（銅）、十二（鉛）、十三（銅金）、十四（鋁、鎂）、十五（銅、金）等七章為有色金屬冶金計算。這是本書內容和編排次序的大致輪廓。如用作“鋼鐵冶金計算”的教本，可講授（一）（二）兩項；如用作“有色金屬冶金計算”的教本，則可講授（一）（三）兩項。

編者學識淺陋，書中謬誤掛漏之處，在所難免；而譯名之欠斟酌，編排之欠允當，取材之未臻完備，文句之未達流暢，缺點甚多，至望閱讀此書者，不吝指出錯誤，提出意見和批評，為編者無上之榮幸！

鄭 逢 佳

1951 年 12 月於交通大學唐山工學院冶金系

目錄

第一章 單位, 常數表 1-47

- | | | | |
|-----------------|---|-------------------|---|
| 1. 單位 | 1 | 3. 氣體定律 | 8 |
| 2. 常數 | 6 | 表 | 9 |

第二章 燃料之燃燒 48-81

- | | | | |
|-------------------------------|----|--------------------------------|----|
| 5. 概論 | 48 | 13. 物質的克分子熱容量和比
熱 | 65 |
| 6. 空氣的成分 | 48 | 14. 物質的熔化潛 | 71 |
| 7. 固體燃料及液體燃料之燃
燒 | 49 | 15. 物質的氣化潛熱 | 71 |
| 8. 氣體燃料之燃燒 | 56 | 16. 燃料的發熱度 | 72 |
| 9. 燃料的發熱量 | 58 | 17. 發熱度的計算 | 73 |
| 10. 固體燃料的發熱量 | 59 | 18. 使用預熱氣體燃料和預熱
空氣時燃燒溫度的計算 | 73 |
| 11. 液體燃料的發熱量 | 62 | 19. 燃燒中熱量的損失 | 78 |
| 12. 氣體燃料的發熱量 | 63 | | |

第三章 燃料的加工 82-113

- | | | | |
|---------------------|----|-------------------|-----|
| 20. 煉焦 | 82 | 22. 水煤氣 | 107 |
| 21. 發生爐煤氣 | 89 | | |

第四章 熱化學及熱力學之應用 114-143

- | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 23. 熱化學 | 114 | 28. 化學平衡 | 125 |
| 24. 化合物的生成熱 | 115 | 29. 自由能之改變 | 129 |
| 25. 分解熱 | 116 | 30. 反應壓力 | 136 |
| 26. 反應熱 | 117 | 31. 反應壓力與反應溫度的
關係 | 137 |
| 27. 合金的生成熱 | 125 | | |

第五章 熔化 144-156

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 32. 蒸汽壓力與溫度的關係 144 | 34. 溶化法的熱效率 . . . 149 |
| 33. 部分壓力定律 148 | 35. 金屬熔化時的揮發損失 150 |

第六章 蒸餾 157-173

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 36. 蒸餾法 157 | 39. 蒸餾法提取鋅 165 |
| 37. 合金的蒸氣壓力 . . . 159 | 40. 汞蒸氣的冷凝 169 |
| 38. 提煉蒸餾 165 | |

第七章 鼓風動力及烟筒設計 174-187

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 41. 鼓風所需的動力 . . . 174 | 44. 因摩擦產生的抽吸力損
失 178 |
| 42. 烟筒的總抽吸力 . . . 175 | |
| 43. 因爐氣流動所產生的抽
吸力損失 177 | 45. 有效抽吸力 179 |

第八章 煉鐵 188-236

- | | |
|------------------------|--|
| 46. 煉鐵爐的配料計算 . . 188 | 50. 煉鐵爐的有效爐缸熱及
爐缸內的最高理論溫
度 222 |
| 47. 風量計算 199 | |
| 48. 物料平衡計算 204 | 51. 煉鐵爐氣之利用 . . . 228 |
| 49. 熱量平衡計算 213 | |

第九章 煉鋼 237-287

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| 52. 概論 237 | 55. 平爐煉鋼法 248 |
| 53. 吹爐煉鋼法 238 | 56. 電爐煉鋼法 271 |
| 54. 酸性吹爐煉鋼的熱量平
衡計算 247 | 57. 電熱效率及電能供應 . 279 |

第十章 乾燥及焙解, 煨燒及燒結 298-306

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 58. 乾燥 288 | 60. 煨燒及燒結 294 |
| 59. 焙解 293 | |

第十一章 煉銅 ····· 307-334

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 61. 概論 ····· 307 | 64. 煉銅有關的熱化學常數 322 |
| 62. 熔煉 ····· 307 | 65. 吹煉 ····· 323 |
| 63. 熔煉的配料計算 ··· 312 | |

第十二章 煉鉛 ····· 335-347

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 66. 概論 ····· 335 | 68. Parkes 法提銀 ··· 340 |
| 67. 鼓風爐煉鉛 ····· 335 | |

第十三章 電解法 ····· 348-366

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 69. 概論 ····· 348 | 72. 從熔濾液中提取銅 ··· 358 |
| 70. 電解池電壓 ····· 350 | 73. 混合成分組成的能溶陽
極 ····· 361 |
| 71. 電解精煉 ····· 356 | |

第十四章 融溶鹽類的電解 ····· 367-374

- | | |
|---------------------|------------------|
| 74. 概論 ····· 367 | 76. 煉鋁 ····· 368 |
| 75. 電解池的能效率 ··· 368 | |

第十五章 濕法冶金 ····· 375-390

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 77. 概論 ····· 375 | 79. 精化法 ····· 380 |
| 78. 銅礦之溶濾 ····· 375 | 80. 連續逆流傾瀉法 ··· 383 |

第十六章 傳熱學 ····· 391-410

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 81. 概論 ····· 391 | 85. 透過多層圓形牆的熱傳
導 ····· 395 |
| 82. 熱之傳導 ····· 392 | 87. 熱之對流及輻射 ··· 399 |
| 83. 透過均勻平面牆的熱傳
導 ····· 393 | 88. 對流損失計算法 ··· 400 |
| 84. 透過多層平面牆的熱傳
導 ····· 393 | 90. 煉爐的傳熱損失及爐牆
的表面溫度 ····· 403 |
| 85. 透過均勻圓形牆的熱傳
導 ····· 395 | 91. 導電體橫斷面面積的計
算法 ····· 406 |

參攷文獻	411
索引	413-422

單 位 常 數 表

1. 單位(units) 每一單位名稱,必須具有兩個含義,即類別與分量是也;例如克(gram),就類別言,係代表一種重量單位(unit of weight),若就分量言,則係代表溫度 4°C. 時每立方公分 (cubic centimeter)之水之重量。故單位者所以表明一量(quantity)之種類及其分量之工具也。

凡是工程學上計算所引用的數字,必須用單位以表明之,冶金計算學亦不能例外。冶金計算學中常用的單位有重量單位,長度單位(units of length),面積單位(units of area),體積單位(units of volume),時間單位(units of time),溫度單位(units of temperature)及能力與動力單位(units of energy and power)等。茲將各種單位之名稱及相互間的關係略述之於下;至其名稱之定義或命名之源流,學者可參攷其他有關書籍,於此不加贅述。

(a) 重量單位 常用者有公噸(metric ton),公斤(kilogram),克(gram),尅(milligram),噸(ton),磅(pound),兩(ounce), 嚙(grain),試金兩(ounce troy)等。其相互間之關係如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 克} &= 15.432 \text{ 嚙} \\ &= 0.03527 \text{ 兩} \\ &= 0.03215 \text{ 試金兩} \\ &= 0.00220 \text{ 磅} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 公斤} = 2.20462 \text{ 磅 (1,000 克)}$$

$$1 \text{ 公噸} = 2,204.6 \text{ 磅 (1,000 公斤)}$$

$$= 1.1023 \text{ 小噸 (short ton)}$$

$$= 0.9842 \text{ 大噸 (long ton)}$$

$$1 \text{ 噸} = 0.06480 \text{ 克}$$

$$= 0.000143 \text{ 磅}$$

$$1 \text{ 兩} = 28.35 \text{ 克}$$

$$1 \text{ 試金兩} = 31.10 \text{ 克}$$

$$1 \text{ 磅} = 16 \text{ 兩}$$

$$= 14.583 \text{ 試金兩}$$

$$= 7,000 \text{ 噸}$$

$$= 453.59 \text{ 克}$$

$$= 0.4536 \text{ 公斤}$$

$$1 \text{ 小噸} = 0.9072 \text{ 公噸 (2,000 磅)}$$

$$1 \text{ 大噸} = 1.0160 \text{ 公噸 (2,240 磅)}$$

(b) 長度單位 常用者有公尺(meter),公分(centimeter),公厘(millimeter),呎(foot),吋(inch)等。其相互間的關係如下:

$$1 \text{ 公厘} = 0.03937 \text{ 吋}$$

$$1 \text{ 公分} = 10 \text{ 公厘}$$

$$= 0.3937 \text{ 吋}$$

$$1 \text{ 公尺} = 100 \text{ 公分}$$

$$= 39.37 \text{ 吋}$$

$$= 3.281 \text{ 呎}$$

$$1 \text{ 吋} = 25.40 \text{ 公厘}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 吋} &= 2.54 \text{ 公分} \\ &= 0.0254 \text{ 公尺} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 呎} &= 12 \text{ 吋} \\ &= 0.3048 \text{ 公尺} \end{aligned}$$

(c) 面積單位 常用者有平方公尺(square meter), 平方公分(square centimeter), 平方呎(square foot), 平方吋(square inch)等;其相互關係如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 平方公尺} &= 10,000 \text{ 平方公分} \\ &= 10.764 \text{ 平方呎} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 平方公分} = 0.1550 \text{ 平方吋}$$

$$1 \text{ 平方吋} = 6.452 \text{ 平方公分}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 平方呎} &= 0.0929 \text{ 平方公尺} \\ &= 144 \text{ 平方吋。} \end{aligned}$$

(d) 體積單位 常用者有立方公尺(cubic meter), 立升(liter), 立方公分(cubic centimeter), 立方呎(cubic foot), 立方吋(cubic inch), 品脫(pint), 加侖(gallon)等;其相互間之關係如下:

$$1 \text{ 立方公分} = 0.0610 \text{ 立方吋}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 立升} &= 61.03 \text{ 立方吋} \\ &= 2.1134 \text{ 品脫} \\ &= 0.2642 \text{ 加侖(美)} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 立方公尺} = 35.314 \text{ 立方呎(1,000,000 立方公分)}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ 立方吋} &= 16.387 \text{ 立方公分} \\ &= 0.01639 \text{ 立升} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 品脫} = 28.88 \text{ 立方吋}$$

$$1 \text{ 品脫} = 0.47318 \text{ 立升}$$

$$1 \text{ 加侖(美)} = 3.7854 \text{ 立升}$$

$$1 \text{ 立方呎} = 1,728 \text{ 立方吋}$$

$$= 0.02832 \text{ 立方公尺}$$

(e) 時間單位 小時,分及秒等。

(f) 溫度單位 常用者有攝氏溫度(Degree Centigrade),以 °C.表之;華氏溫度(Degree Fahrenheit),以 °F.表之;及絕對溫度(Absolute temperature),以 °K.表之。三者間之關係如下:

$$C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

$$K = 273.1 + C$$

(g) 能力及動力單位 能力單位之常用者有卡(gram calorie),大卡(kilogram calorie),磅卡(pound calorie),公斤-公尺(kilogram meter),立升-氣壓(liter atmosphere),瓩小時(kilowatt-hour),英熱單位(British thermal unit),呎磅(foot pound),朱爾(joule,或瓦秒),馬力小時(horsepower hour)等;其相互間的關係如下:

$$1 \text{ 卡} = 0.003968 \text{ 英熱單位}$$

$$= 3.091 \text{ 呎磅}$$

$$= 4.186 \text{ 朱爾}$$

$$1 \text{ 大卡} = 1,000 \text{ 卡}$$

$$= 3.968 \text{ 英熱單位}$$

$$= 2.2046 \text{ 磅卡}$$

$$= 0.001163 \text{ 瓩小時}$$

$$1 \text{ 大卡} = 0.00156 \text{ 馬力小時}$$

$$1 \text{ 磅卡} = 1.8 \text{ 英熱單位}$$

$$= 0.4536 \text{ 大卡}$$

$$1 \text{ 公斤-公尺} = 7.233 \text{ 呎磅}$$

$$1 \text{ 立升-氣壓} = 101.33 \text{ 朱爾}$$

$$1 \text{ 瓩小時} = 3,413 \text{ 英熱單位}$$

$$= 860.0 \text{ 大卡}$$

$$1 \text{ 英熱單位} = 252.0 \text{ 卡}$$

$$= 0.2520 \text{ 大卡}$$

$$= 0.5555 \text{ 磅卡}$$

$$= 0.000293 \text{ 瓩小時}$$

$$1 \text{ 呎磅} = 0.3235 \text{ 卡}$$

$$= 0.1383 \text{ 公斤-公尺}$$

$$1 \text{ 朱爾} = 0.2389 \text{ 卡}$$

$$= 0.00986 \text{ 立升-氣壓}$$

$$1 \text{ 馬力小時} = 641.8 \text{ 大卡}$$

常用的動力單位有瓦, 卡/秒, 瓩, 馬力, 鍋爐馬力(boiler horse-power), 呎磅/分, 公斤公尺/秒, 呎磅/秒, 英熱單位/分, 大卡/小時等; 其相互間的關係如下:

$$1 \text{ 瓦} = 44.24 \text{ 呎磅/分}$$

$$= 0.2389 \text{ 卡/秒}$$

$$1 \text{ 卡/秒} = 4.186 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 瓩} = 102.0 \text{ 公斤-公尺/秒}$$

$$= 738 \text{ 呎磅/秒}$$

1 瓩	= 1.341 馬力
	= 860 大卡/小時
1 馬力	= 550 呎磅/秒 (0.746 瓩)
	= 42.44 英熱單位/分
1 鍋爐馬力	= 558.0 英熱單位/分
	= 140.7 大卡/分
1 呎磅/分	= 0.0226 瓦
1 公斤-公尺/秒	= 0.00980 瓩
1 呎磅/秒	= 0.00136 瓩
	= 0.00182 馬力
1 英熱單位/分	= 0.02356 馬力
1 大卡/小時	= 0.001163 瓩

2. 常數(constants) 本書中引用的常數有:

(a) 重力加速度(acceleration of gravity)

$$= 980.7 \text{ 公分/秒-秒}$$

$$= 32.2 \text{ 呎/秒-秒}$$

(b) 氣體常數(gas constant),

$$R = 8.314 \text{ 朱爾/克分子-}^{\circ}\text{C.}$$

$$= 1.987 \text{ 卡/克分子-}^{\circ}\text{C.}$$

$$= 1.987 \text{ 大卡/公斤分子-}^{\circ}\text{C.}$$

$$= 0.08207 \text{ 立升-氣壓/克分子-}^{\circ}\text{C.}$$

$$= 1.987 \text{ 英熱單位/磅分子-}^{\circ}\text{F.}$$

(c) 標準狀態(standard conditions)下的氣體體積

$$= 22.4 \text{ 立升/克分子}$$

$$= 22.4 \text{ 立方公尺/公斤分子.}$$

(d) 冰點(ice point) = $0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F} = 273.1^{\circ}\text{K}.$

(e) 法拉第(Faraday) = 96,500 庫(coulombs).

(f) 對數: $\log_e x = \ln x = 2.303 \log_{10} x.$

(g) 標準狀態下的空氣重量

$$= 1.293 \text{ 克/立升}$$

$$= 1.293 \text{ 公斤/立方公尺}$$

$$\begin{aligned} \text{因: } \frac{1 \text{ 公斤}}{1 \text{ 立方公尺}} &= \frac{1 \text{ 公斤} \times 2.204 \text{ 磅/公斤} \times 16 \text{ 噸/磅}}{1 \text{ 立方公尺} \times 35.314 \text{ 立方呎/立方公尺}} \\ &= \frac{1 \text{ 噸}}{1 \text{ 立方呎}} \end{aligned}$$

$\therefore$ 標準狀態下的空氣重量 = 1.293 噸/立方呎

(h) 1 氣壓(atmosphere) = 14.7 磅/平方吋

$$= 760 \text{ 公厘水銀柱}$$

$$= 29.93 \text{ 吋水銀柱}$$

$$= 33.90 \text{ 呎水柱}$$

$$= 1,033.6 \text{ 克/平方公分}$$

$$= 10,336 \text{ 公斤/平方公尺}$$

(i) 空氣中氮(nitrogen)氧(oxygen)兩元素:

$$(1) \text{ 重量之比, } \text{N}_2 : \text{O}_2 = 10:3$$

$$(2) \text{ 體積之比, } \text{N}_2 : \text{O}_2 = 0.79:0.21$$

(j) 空氣中二氧化碳(carbon dioxide)所佔之體積百分比:

(1) 平均: 0.04% 至 0.06%

(2) 人口稠密之室內: 0.5% 至 0.9%

(k) 空氣溼度 (humidity) 空氣含水分達飽和狀態時所須水蒸汽之量隨溫度而變更; 通常空氣溼度均低於呈飽和狀態時所含水蒸汽之重量, 而較飽和時所須之量之十分之一為高。(可參攷第 19 表)。

(l) 水壓力及空氣壓力 每立方呎水之重量為 62.4 磅, 故每呎水柱的壓力為 62.4 磅/平方呎。

在標準狀態下每立方呎空氣之重量為 1.293 噸, 即 $1.293 \div 16 = 0.0808$ 磅, 故每呎空氣柱的壓力為 0.0808 磅/平方呎。

故每呎水柱所具之壓力相當於 $\frac{62.4}{0.0808} = 772$ 呎標準狀態下的空氣所具之壓力。

(m) 熱含量 (heat content) 換算常數:

(1) 1 英熱單位/磅 = 0.555 大卡/公斤

(2) 1 大卡/公斤 = 1.8 英熱單位/磅

(3) 1 英熱單位/立方呎 = 0.0089 大卡/立升

= 8.900 大卡/立方公尺

(4) 1 大卡/立升 = 112.37 英熱單位/立方呎

(5) 1 大卡/立方公尺 = 0.1124 英熱單位/立方呎。

3. 氣體定律 (gas law) 氣體定律為計算問題時常常引用的定律之一。如以 P 表氣體的壓力, V 表氣體之體積, $t^{\circ}\text{C}$ 或 $t^{\circ}\text{F}$ 表氣體的溫度; 則當壓力及溫度改變時, 體積的改變可用下式表之。

$$V_2 = V_1 \frac{(273.1 \pm t_2^{\circ}\text{C.})}{(273.1 \pm t_1^{\circ}\text{C.})} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

或：

$$V_2 = V_1 \frac{(491.6 \pm t_2^{\circ}\text{F.} - 32)}{(491.6 \pm t_1^{\circ}\text{F.} - 32)} \cdot \frac{P_1}{P_2}$$

4. 表(Tables)

第 1 表 標準狀態下的氣體重量

(單位:公斤/立方公尺,克/立升或噸/立方呎)

氣體分子式	單位體積重量	氣體分子式	單位體積重量
C ₂ H ₂	1.161	HCl	1.628
NH ₃	0.760	H ₂	0.0900
C ₆ H ₆	3.484	H ₂ S	1.522
CO ₂	1.964	Hg(蒸汽)	8.956
CO	1.250	CH ₄	0.716
Cl ₂	3.166	N ₂	1.251
C ₂ H ₆	1.341	O ₂	1.429
C ₂ H ₄	1.251	SO ₂	2.860
F ₂	1.696	H ₂ O	0.8042
He	0.1787		

第 2 表 標準狀態下之氣體體積

(單位:立方公尺/公斤,立升/克或立方呎/噸)

氣體分子式	單位重量的體積	氣體分子式	單位重量的體積
H ₂ O	1.244	C ₂ H ₄	0.800
C ₂ H ₂	0.862	H ₂	11.200
C ₆ H ₆	0.287	H ₂ S	0.659
CO ₂	0.509	CH ₄	1.400
CO	0.800	N ₂	0.800
SO ₂	0.350	O ₂	0.700
C ₂ H ₆	0.746		