

新能源與化工概論

Introduction To Chemical Engineering In New Energy

李為民 王龍耀 許娟 編著
馬振基 校訂



新能源與化工概論

Introduction To Chemical Engineering In New Energy



五南圖書出版公司 印行



國家圖書館出版品預行編目資料

新能源與化工概論／李為民，王龍耀，許娟

著．——初版．——臺北市：五南，2012.11

面：公分

ISBN 978-957-11-6888-3（平裝）

1.能源技術 2.化學工程

400.15

101020866



5BF9

新 能 源 與 化 工 概 論

Introduction To Chemical Engineering In New Energy

作 者 — 李為民 王龍耀 許娟

校 訂 — 馬振基

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 王翠華

主 編 — 穆文娟

責任編輯 — 楊景涵

封面設計 — 簡愷立

出 版 者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106台北市大安區和平東路二段339號4樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市中區中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2012年11月初版一刷

定 價 新臺幣620元

※本書繁體字版經由化學工業出版社授權臺灣五南圖書出版股份有限公司獨家出版。未經許可，不得以任何形式複製、轉載。

※版權所有，欲利用本書內容，必須徵求本公司同意※

前言

能源問題是當今社會發展所面臨的重要問題，節能減碳已成為當前工業生產企業的重要任務。以物質為載體的能源轉化與轉移過程，很多都以化學化工知識為基礎。

當今能源化工技術的特點是多學科交叉、多種新技術應用所形成的全方位的研究體系。本書主要涉及現代能源中的化學與化工問題，從化學與化工學科的視角對現代能源的開發與利用做較全面的介紹和剖析，探討化學與化工在現代能源中交叉滲透的情況，並針對能源中的化學化工問題作有系統的闡釋。

在大學及研究所教育中，現有的相關教材多以能源學科的知識體系為框架，圍繞能源開發的邏輯關係或相關能源知識在學科中的地位決定教材內容。由於出發點不同，雖然化學化工知識在能源學科中占有重要地位，但往往是將部分內容穿插於現有教材中來呈現的。本書的編寫希望打破能源、化學、化工和材料等傳統學科的劃分，將各學科融合在一起，加強學科之間的聯繫，避免學科之間知識的脫節與重復，以適應相關專業和行業對能源化工技術的不同學習需求。

本書的內容可作為化學工程與製程方法、應用化學、輕化工程等本科專業的教材，也可作為相關企業、技術部門工程技術人員的參考書籍。

本書的編寫過程中，參考了國內外出版的相關「能源化工」類教材；得益於從事這方面教學和研究工作的老師提供的寶貴經驗和素材。在這裡，我們對於以各種形式幫助過本書出版的單位和個人表達深深的敬意和謝意。

由於編者知識水平和認識水平有限，書中錯誤和不妥之處難免，懇請讀者批評、指正。

編者

目 錄

前 言	i
第一章 緒 論	001
1.1 能量與能源	003
1.1.1 能量及其形式	003
1.1.2 能源及其種類	005
1.2 能源與化工	007
1.3 能源化工現狀與前景	010
第二章 能量的相互轉化原理	013
2.1 熱力學基礎	014
2.1.1 能量守恆原理	014
2.1.2 能量轉化的限度	019
2.1.3 能量轉化的推動力	023
2.2 化學能	029
2.2.1 化學能的本質	029
2.2.2 化學能的釋放	034
2.2.3 化學能轉化的限度	038

2.3	熱能向化學能的轉化.....	042
2.3.1	化學熱管	043
2.3.2	化學熱泵	045
2.4	光能向化學能的轉化.....	047
2.4.1	概述	047
2.4.2	光合作用	051
2.4.3	生物質能	052
2.5	能的變換	056
2.6	有效能	061
2.6.1	有效能的概念及有效能的損耗.....	061
2.6.2	物理有效能與化學有效能.....	069
2.6.3	工業製程的有效能分析.....	078
第三章	太陽能	083
3.1	概述	084
3.2	太陽能熱利用	084
3.2.1	基本原理	085
3.2.2	太陽能熱利用系統	089
3.3	太陽能光電轉換技術.....	093
3.3.1	晶體矽太陽能電池	095
3.3.2	非晶矽太陽能電池	108
3.3.3	化合物半導體太陽能電池.....	121

3.3.4	奈米晶化學太陽能電池.....	123
3.4	太陽能化學能轉化技術.....	129
3.4.1	光合作用	129
3.4.2	光化學作用、光催化水解製氫.....	133
3.4.3	太陽能、高溫熱化學反應.....	135
第四章	生物質能源.....	139
4.1	概述	140
4.1.1	生物質	140
4.1.2	生物質能	140
4.1.3	生物質的組成與結構.....	141
4.1.4	生物質轉化利用技術.....	145
4.2	生物質氣化	149
4.2.1	生物質氣化及其特點.....	149
4.2.2	生物質氣化原理	152
4.2.3	生物質氣化製程方法.....	154
4.2.4	生物質氣化發電技術.....	159
4.3	生物質熱解技術	162
4.3.1	生物質熱解及其特點.....	162
4.3.2	生物質熱解原理	163
4.3.3	生物質熱解製程方法.....	167
4.3.4	生物質熱解產物及應用.....	173

4.4	生物質直接液化	176
4.4.1	生物質直接液化及其特點.....	176
4.4.2	生物質直接液化製程方法.....	176
4.4.3	生物質直接液化產物及應用	184
4.5	生物燃料乙醇	186
4.5.1	生物燃料乙醇及其特點.....	186
4.5.2	澱粉質原料製備生物燃料乙醇.....	187
4.5.3	乙醇發酵製程方法	189
4.5.4	纖維質原料製備生物燃料乙醇.....	191
4.5.5	生物燃料乙醇的應用.....	196
4.6	生物柴油	197
4.6.1	生物柴油及其特點	197
4.6.2	化學法轉酯化製備生物柴油.....	199
4.6.3	生物酶催化法生產生物柴油.....	207
4.6.4	超臨界法製備生物柴油.....	210
4.6.5	生物柴油的應用	212
4.7	沼氣技術	215
4.7.1	沼氣的成分和性質	215
4.7.2	沼氣發酵微生物學原理.....	216
4.7.3	大中型沼氣工程	220
4.7.4	沼氣發酵的綜合利用.....	229

第五章	風 能	235
5.1	風能資源	236
5.1.1	風能資源分佈的一般規律.....	236
5.1.2	風能資源的特性	238
5.1.3	中國風能資源	240
5.2	風能利用原理	242
5.2.1	風力機簡介	242
5.2.2	風力機工作原理	242
5.3	風力發電	245
5.3.1	關鍵設備及工作原理.....	246
5.3.2	離網風力發電	253
5.3.3	併網風力發電	254
5.4	風力發電設備中的材料.....	255
5.4.1	風力發電的葉片材料.....	255
5.4.2	風電設備的鑄件材料.....	258
5.4.3	風力發電機塔架的防腐材料.....	259
5.4.4	風力發電機塔架的質量要求.....	260
第六章	氫 能	263
6.1	氫的應用	264
6.2	氫的製取	265
6.2.1	天然氣製氫	266

6.2.2	煤製氫	275
6.2.3	水電解製氫	276
6.2.4	生物質製氫	283
6.2.5	太陽能製氫	289
6.2.6	核能製氫	295
6.2.7	等離子體化學法製氫	297
6.3	氫的儲存	305
6.3.1	高壓氣態儲氫	305
6.3.2	冷液化儲氫	305
6.3.3	金屬氫化物儲氫	306
6.3.4	碳質材料儲氫	315
6.3.5	金屬有機結構化合物儲氫	320
6.3.6	有機液體儲氫	324
第七章	燃料電池	331
7.1	概述	332
7.2	燃料電池的一般原理	335
7.3	質子交換膜燃料電池	336
7.3.1	PEMFC 的工作原理與結構	337
7.3.2	PEMFC 的質子交換膜	339
7.3.3	PEMFC 的催化劑	341
7.4	直接甲醇燃料電池	347

7.4.1	DMFC 工作原理和基本結構	348
7.4.2	DMFC 的分類	350
7.4.3	DMFC 的研究進展及存在問題	352
7.4.4	DMFC 陽極催化劑的研究進展	359
7.4.5	DMFC 陰極催化劑的研究進展	361
7.4.6	催化劑的主要製備方法	365
7.4.7	DMFC 膜電極集合體 (MEA) 的研究進展	366
7.4.8	陰極水管理研究	379
7.5	微生物燃料電池	380
7.5.1	微生物燃料電池的定義與分類	381
7.5.2	MFC 的特點	386
7.5.3	MFC 的研究歷史	387
7.5.4	MFC 的現有改進技術	390
7.5.5	MFC 的發展趨勢	391
7.5.6	MFC 的應用前景	392
第八章	其他新型能源	407
8.1	其他新型能源的概念與分類	408
8.2	地熱能	409
8.2.1	概述	409
8.2.2	地球的內部構造	410
8.2.3	地熱能的來源	411

8.2.4	地熱資源	413
8.2.5	地熱能的利用	424
8.2.6	地熱能利用的限制因素.....	437
8.2.7	中國地熱能發展現狀和發展趨勢.....	439
8.3	天然氣水合物（可燃冰）.....	441
8.3.1	可燃冰資源及其特點.....	443
8.3.2	國際上天然氣水合物的勘探和開發動態	445
8.3.3	中國的相關活動和資源量估計	449
8.3.4	可燃冰的開採技術現狀.....	450
8.3.5	天然氣水合物的研究現狀與利用趨勢	451
8.4	核能	453
8.4.1	概述	453
8.4.2	原子核子物理基礎	454
8.4.3	商用核電技術	459
8.4.4	核能的新紀元	464
8.4.5	未來的新型核能	470
8.5	海洋能	476
8.5.1	潮汐能及其開發利用.....	477
8.5.2	波浪能及其開發利用.....	479
8.5.3	海流能及其開發利用.....	480
8.5.4	海洋溫差能及其開發利用.....	481
8.5.5	海洋鹽度差能及其開發利用.....	483

第一章 緒論

- 1.1 能量與能源
- 1.2 能源與化工
- 1.3 能源化工現狀與前景

廣義地說，世界是物質的，物質是運動的，運動是有規律的。物質包括實體性物質（如空氣、水、食物、煤炭、石油、鋼鐵、人工合成的各種材料）和能量性場（各類能量波和場，如光、熱、電力、磁力、引力），以及在此基礎上產生的團體、民族、國家等更高級形態。如果說實體物質是人類世界的承載基礎，能量來源則是維持這個世界運行的保證。在人類生活中，任何變化都離不開能量，無論是物理變化還是化學，以及形態、位置等等的任何一個微小改變，都伴隨著能量的變化過程。

在實際生活中，所需的能量需要通過能源來獲得。關於能源的定義，目前約有 20 種。例如《科學技術百科全書》說：「能源是可從其獲得熱、光和動力之類能量的資源」；《大英百科全書》說：「能源是一個包括著所有燃料、流水、陽光和風的術語，人類用適當的轉換手段便可讓它為自己提供所需的能量」；《日本大百科全書》說：「在各種生產活動中，我們利用熱能、機械能、光能、電能等來作功，可利用來作為這些能量源泉的自然界中的各種載體，稱為能源」；中國的《能源百科全書》說：「能源是可以直接或經轉換提供人類所需的光、熱、動力等任一形式能量的載能體資源。」可見，能源是一種呈多種形式的能量的源泉。簡單地說，能源是自然界中能提供某種形式能量的物質資源，是能被人類加以利用以獲得有用能量的各種來源。

能源的發展，是全世界、全人類共同關心的問題。人類從原始社會發展到今天工業文明發達、社會生活豐富多彩的世界，是在消耗大量能量的條件下取得的。在某種意義上講，人類社會的發展離不開能源的開發和先進能源技術的使用，能源是整個世界發展和經濟增長的最基本的驅動力，是人類賴以生存的基礎。

1.1

能量與能源

1.1.1 能量及其形式

物質運動不僅具有表現各異的形式，不同形式的物質運動還可藉由做功、傳熱等方式進行相互轉換，此證明這些運動不僅具有共性，還存在內在的統一的量度，即能量，亦簡稱為能，其單位有焦耳、千瓦時、電子伏（特）等。目前，人類利用的能量有多種形式，歸納起來主要有以下幾種。

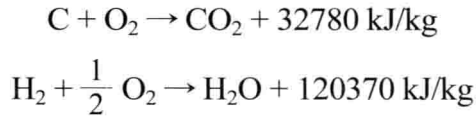
1. 機械能 機械能在物理學中已經有詳細的闡述，它包括宏觀的動能和勢能。機械能是人類較早認識和利用的能量，如風能、水能等。

2. 熱能 從微觀上看，熱能的本質是物體內部所有分子無規則運動的動能之和，分子無規則運動包括分子的移動、轉動和振動。相同物質所具有熱能的多少，在宏觀上表現為其自身溫度的高低，地球上最大的熱能來源應為地熱能。

3. 電能 電能是表示電流做功的物理量，目前使用的電能主要是由化學能、光能或機械能等能量直接或間接轉換得到的。在自然界中，典型的電能有雷電、生物電等。

4. 輻射能 電磁波中電場能量和磁場能量的總和。物體單位表面積發射能量的大小為 $Q = \delta \varepsilon T^4$ ，其中， δ 為斯蒂芬—波茲曼常數 [$\delta = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$]； ε 為物體表面的熱發射率； T 為熱力學溫度。太陽是地球面臨的最大輻射源，此外已知的輻射源還有裂變物質所發射的電磁波射線，如 α 、 β 、 γ 射線等。

5. 化學能 化學能是在物質進行化學變化時釋放出來的一種能量，如石油和煤的燃燒、炸藥爆炸，以及食物在體內發生化學變化時候所放出的能量等。放熱反應（燃燒）是目前世界上使用化學能的主要途徑，如典型的氧化燃燒反應如



由以上式子可以看出，燃燒同樣物質的量的氫所釋放的能量約為碳的 3.66 倍。作為典型的有機化合物，不考慮 C—C 鍵和 C—H 鍵打開所需的能量，碳氫化合物燃料的熱值高低可以從其碳氫比 K_{CH} 來判斷，碳氫比越高，其熱值越低。例如燃油的 K_{CH} 為 6 ~ 9，煙煤的 K_{CH} 為 12 ~ 14，無煙煤的 K_{CH} 大於 20，所以燃油的熱值比無煙煤要高得多。

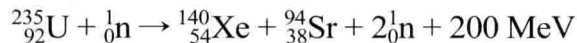
6. 核能 核能是由於物質原子核內結構發生變化（如核反應或核躍遷）而釋放出來的能量，又稱核內能。與前述的 5 種能量不同的是，核能不遵守質量守恆和能量守恆定律。它所遵守的是質能方程

$$Q = \Delta m C^2$$

式中， Q 為釋放出的能量； Δm 是質量的變化量； C 為光速。

核能可藉由以下兩種不同的反應得到。

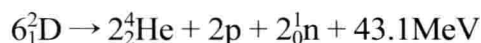
(1) 核裂變反應。核裂變反應是指由重的原子，主要是指鈾或釷，分裂成較輕的原子的一種核反應形式。原子彈以及裂變核電站的能量來源都是核裂變。其中鈾裂變在核電廠最常見，加熱後鈾原子放出 2 ~ 4 個中子，中子再去撞擊其他原子，從而形成鏈式反應而自發裂變。主要依靠的反應是



每千克 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 完全反應後釋放出的能量為 $8.33 \times 10^{10} \text{ kJ}$ ，約相當於 2800 t 標準煤完全燃燒後釋放出來的能量。核電站以核反應爐及蒸汽發生器來代替火力發電的鍋爐，以核裂變釋放的能量代替礦物燃料釋放的化學能，經過「核能→水和水蒸汽的內能→發電機轉子的機械能→電能」路徑，可以將核能轉化為電能對外輸出。

(2) 核聚變反應。核聚變反應的原料通常為氫的兩種同位素，即氕和氘，主要發生氕—氕反應和氕—氘反應兩種聚變反應。前者的點火溫度為 2×10^8 °C，維持運行溫度為 5×10^8 °C；後者的點火溫度為 4.4×10^7 °C；維持營運溫度為 1×10^8 °C。

中國在 1967 年的氫彈爆炸試驗，先是發生裂變反應，其反應時間為幾百萬分之一秒，產生巨大的熱能，使之達到聚變反應所需的溫度，從而引發聚變反應。其反應為



聚變反應所釋放出的能量和裂變反應所釋放出的能量相比為

$$\frac{Q_{\text{聚}}}{Q_{\text{裂}}} = \frac{43.1}{200} \times \frac{235}{12} \approx 4.22$$

上式說明，消耗同樣質量的原料，核聚變反應所釋放的能量為核裂變反應的 4.22 倍，即每消耗 1 kg 核聚變原料，產生約相當於 11816 t 標準煤完全燃燒後所釋放出的熱能。

1.1.2 能源及其種類

能源是可產生各種能量（如熱量、電能、光能和機械能等）或可作功的物質的統稱，是能夠直接取得或者藉由加工、轉換而取得有用能的各種資源。已知的能源種類有很多，而且隨著人類生產力水準的提高，還不斷地有新型能源被開發出來。根據不同的劃分方式，這些能源可被分為不同的類型。

1. 按來源分類 可分為以下三類。

(1) 來自地球外部天體的能源。主要是太陽能，除直接輻射外，還為風能、水能、生物能和礦物能源等的產生提供基礎。人類所需能量的絕大部分都直接或間接地來自太陽，正是各種植物利用光合作用把太陽能轉變成化學能在植物體內儲存下來，煤炭、石油、天然氣等化石燃料也是由古代埋在地下的