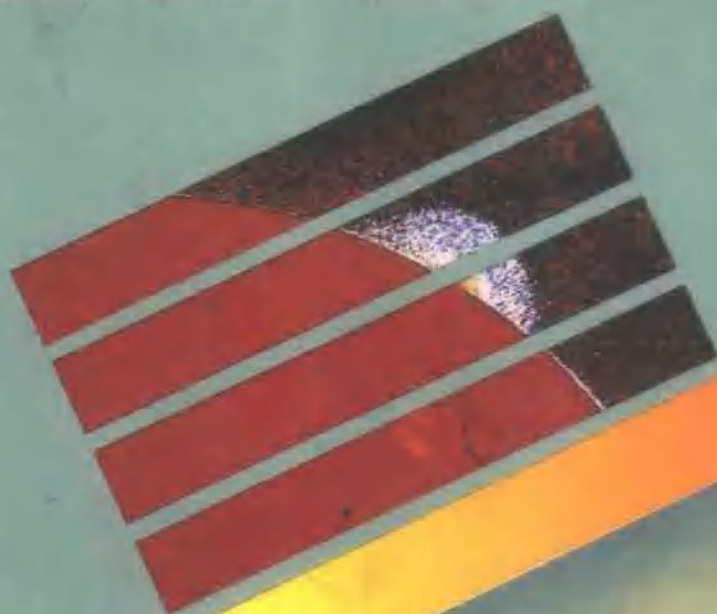


工程科技叢書

能源技術

——如何有效使用能源——

施顏祥、李明哲、康國裕編著



工程科技叢書

能源技術

——如何有效使用能源——

施顏祥・李明哲・康國裕編著

工程科技叢書編審委員會

主任委員：虞兆中

編審委員：于惠中

呂維明

於幼華

郭德盛

黃正義

葉超雄

羅文偉

王瑞材

林世昌

施振纓

陳義男

黃丕陵

鄧啓福

李家同

孟繼洛

夏鑄九

陳興時

黃秉鈞

劉清田

能源技術——如何有效使用能源

74.11.0780

中華民國七十四年十一月初版
保有版權，翻印必究

定價：新臺幣二五〇元

編著者	施 頌 祥
	李 明 哲
	康 國 裕
發行人	王 必 成

出版者 聯經出版事業公司
臺北市忠孝東路四段561號
電話：7631000—706
郵政劃撥帳戶：第0100559-3號

行政院新聞局出版事業登記證局版臺業字第0130號

· 44006-21 ·

前言——代序

能源為社會經建發展的命脈。能源技術則泛指涉及能源開發、能源轉換及能源使用的應用科學及工程。自民國60年代以來，歷經多次的能源供應危機，促使全世界頃力開發有用的能源技術，務求能源的穩定供應，以確保人類社會的福祉。而其中所發展出的能源技術，也的確抒解了能源短缺的壓力。

能源開發技術，國外已有多本論著問世；能源轉換技術，則亦已廣為學者專家所詳論；本書則以節能——「節約能源」，亦即「有效使用能源」技術為中心議論，略聞相關之能源技術，以供學者教學，學生修習及工程技術人員研習之用。

本書主要根據著者多年來在國立臺灣工業技術學院大學部高年級授課之講義，以及經濟部能源管理人員講習班講授之內容，編寫而成。內容主要著重下列三點：

第一 本書著重能源效率之概念。以熱力學基本理論，配合經濟分析概念，貫穿所有章节，務期深植能源有效使用之觀念。

第二 本書著重工業及工程能源之使用技術。能源技術範圍廣，不宜以單行本詳述；故本書重點之選擇，多以工程技術層面為主，述及熱能及機械能、電能之使用技術，兼論能源管理原

則，並配合計算機程式之應用。

第三 本書著重有效使用能源之實例。為引導瞭解國內能源使用技術之能力，啟發創新之概念，本書儘可能採用國內有關資料，配合實例分析，以為參考引證之用。

能源技術已成為工程技術的一部分，而其是否紮根、發展，已成為經建發展的癥結。深盼本書之出版，能提供工程技術人員一個思考、研究、發展的方向，以共同為提高能源使用效率而努力，以全面達到提高生產力的目的。更重要的是，透過節能技術的開發，企盼能够在能源開發利用及環境保護之間取得一個平衡點，以維護資源有限的生存環境。

著者感謝多年來，國立臺灣工業技術學院提供了一個結合學術理論與工程實務的機會，方使得本書有機會問世；同時，也感謝經濟部能源委員會的提供資料及討論機會，尤其是該會馮大宗先生的鼓勵及支持，促進了學術界與工業界的交流。

本書因取材廣泛，且缺乏前例可循，因此雖然編著時力求審慎，但錯誤及不妥之處必然甚多，敬祈不吝指正，以供改進。

施 顏 祥

於國立臺灣工業技術學院
化學工程技術系
中華民國七十四年五月

目 錄

前言—代序

第一章 能源概說

1-1	基本概念	1
1-2	世界能源蘊藏量及分佈	9
1-3	世界能源供需情況	15
1-4	世界能源展望	19
1-5	我國能源簡介	25
	參考資料	31
	問題	33

第二章 能源成本及經濟效益評估

2-1	能源成本及價格	35
2-2	能源投資之初步經濟評估法	39
2-3	能源投資之精密分析法	41
2-4	壽命週期成本法	49
	參考資料	53

問題.....	55
---------	----

第三章 熱效率及能源流程分析

3-1 第一定律熱效率.....	57
3-2 第二定律熱效率.....	61
3-3 可逆性與不可逆性.....	72
3-4 製程能源使用效率.....	73
3-5 能源流程分析.....	82
3-6 製程與能源使用效率.....	86
參考資料.....	88
問題.....	89

第四章 燃燒節能技術

4-1 燃燒現象.....	91
4-2 燃料.....	97
4-3 燃燒計算.....	101
4-4 燃燒系統.....	107
4-5 燃燒系統設計.....	113
4-6 燃燒效率.....	127
4-7 提高鍋爐效率方法.....	134
參考資料.....	145
問題.....	146

第五章 熱能輸配及利用

5-1 熱能概說.....	147
5-2 熱能輸配媒體.....	152

5-3 蒸汽輸配·····	157
5-4 熱能輸配使用之節能技術·····	168
5-5 保溫技術問題·····	178
參考資料·····	188
問題·····	189

第六章 電力轉換系統

6-1 基本電學·····	191
6-2 電廠概說·····	198
6-3 水力發電·····	200
6-4 汽渦輪火力發電·····	201
6-5 氣渦輪火力發電·····	207
6-6 核能發電·····	211
6-7 電池·····	213
6-8 其他電力轉換系統·····	217
6-9 重要電力轉換設備·····	218
6-10 電力輸配·····	223
6-11 汽電共生系統·····	226
6-12 電廠管理·····	228
參考資料·····	230
問題·····	231

第七章 電力節能技術

7-1 成本與費率·····	233
7-2 電力管理·····	239
7-3 變壓器·····	255

7-4	電動機	258
7-5	電能加熱	265
	參考資料	271
	問題	272

第八章 照明及空調節能技術

8-1	照明現象	275
8-2	合理照明	280
8-3	空調基本知識	284
8-4	中央空調系統	289
8-5	個別式空調器	292
8-6	空調系統之管理	294
8-7	空調負荷計算	295
	參考資料	305
	問題	306

第九章 能源回收系統

9-1	概說	307
9-2	廢(餘)熱分類與鑑定	309
9-3	廢(餘)熱回收系統	313
9-4	冷凝水回收及能源串級使用	318
9-5	鍋爐及燃燒爐廢熱回收	324
9-6	熱管	326
9-7	熱泵	338
9-8	有機氫金循環系統	349

參考資料.....	364
問題.....	366

第十章 工業能源管理原則

10-1 能源管理意義.....	369
10-2 能源管理要領.....	371
10-3 能源查核制度.....	376
10-4 總體能源系統.....	396
10-5 整廠能源規劃.....	402
參考資料.....	405
問題.....	406

第十一章 再生能源技術

11-1 太陽能.....	407
11-2 風能.....	419
11-3 生質能.....	425
11-4 海洋能.....	430
11-5 地熱.....	436
參考資料.....	441
問題.....	442

第十二章 節能實例分析

12-1 鍋爐使用效率提高.....	443
12-2 蒸汽有效利用.....	451
12-3 電力合理使用.....	456
12-4 製造程序改善.....	459

12-5 各工業節能實例.....	163
參考資料.....	476

附錄

一 國際原油價格變遷歷史.....	481
二 常用能源單位及轉換因素.....	485
三 各項能源熱值單位換算對照表.....	495
四 熱交換系統之經濟效益評估及敏感性分析程式.....	497
五 燃燒計算及煙道氣露點預測程式.....	525
六 出熱入熱法計算鍋爐效率程式.....	541
七 蒸汽表.....	554
八 各種保溫保冷材之特性.....	562
九 工業用電之電費計算程式.....	569
十 照明燈具設計程式.....	585
十一 高溫燃燒氣物性表.....	594

中英文名詞索引	597
---------------	-----

第一章

能源概說

§1-1 基本概念

1-1-1 能源簡史

人類文明與能源的使用關係密切。自從燧人氏發明鑽木取火以來，人類即利用能源於照明、取暖及熟食等用途。早期的能源多利用天然木材、雜草及太陽熱能。相傳在三、四千年前銅器時代英國威爾斯地方的人已會使用煤炭；而我國早在西元前一千多年以前亦已有使用煤炭的記載。古典記載，人類在所羅門王時代即已用煤炭為家庭的炊食燃料，但直至八世紀工業革命之後，人類才開始大量使用煤炭。

石油之使用較煤炭為晚，在西元前五百年左右，希臘歷史已記載該時期如何取得石油、瀝青等燃料。在西元世紀前波斯及阿拉伯人已使用輕油於洗濯蠶絲和其他紡織品，並用於製造藥品。我國石油之發現，見諸史乘甚早。漢書地理誌載：「上黨高奴縣，有洧水可澠。」按漢書高奴縣，即今陝西膚施縣境；可知在漢朝

時候，陝西府施地方已發現石油。宋沈括夢溪筆談亦載：「鄜延鏡內有石油，舊說高奴縣出脂水，即此也。」鄜延地方皆在陝西，脂水即唐朝時候所指的石油。又，甘肅酒泉玉門一帶，在漢時也發現過石油，酒泉志載：「漢武帝時，突厥犯酒泉，當地郡民，以油苗灑於敵軍攻城的武器上，縱火焚之，澆水則益明，因擊退敵軍。」又，元和羣載：「石脂水在玉門縣東南二百八十里，泉中有苔，如肥肉，燃之即明。」可知中國歷史上，在漢唐時代，不但已經知道用石油點燈，並也知道用石油作戰了。

水輪機之應用，早在西元第一世紀即已開始，但直到 1882 年，第一座蒸汽發電廠才由美國愛迪生電力公司設立。1945 年美國在日本投下了第一顆原子彈，而展開了原子能利用之序幕。1957 年世界首座商業化的輕水式核能發電廠在美國誕生。

1-1-2 能源涵義

「能源」兩字是從「energy」翻譯而來，意指「動力的來源」或「工作的本領」（圖 1-1）。事實上，「energy」一字包含四個涵義：(一)能量 (quantity)，也就是指能的大小，如多少公升的油，多少度的電，多少公斤的煤，多少立方公尺的天然氣，多少卡的熱等。(二)能質 (exergy)，也就是指能的品質。例如熱能轉換為電能的效率只有三分之一左右，而由電能轉換為熱能，其效率幾達百分之百。(三)來源 (source)，也就是指能的來源，例如燃燒石油、煤炭或其他燃料而產生蒸汽帶動機器；石油、煤炭等就是能的來源。(四)能力 (ability)，也就是能的本領，例如 1 克的水要上升攝氏一度，需要吸收一卡的熱能。

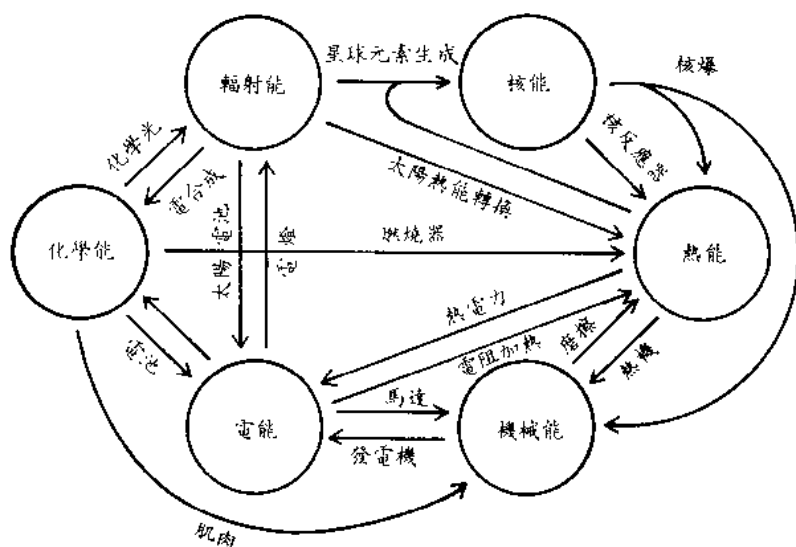


圖1-1 能源互換網路

1-1-3 能的種類

能的種類可依其性質或等級予以區分，分別討論於下。

(一)以性質區分

- (1)位能：絞緊的橡皮筋、壓緊的彈簧及水庫裏的水等都具有位能，可在適當時機裏表現出來。位能 (potential energy) 可以下式表示

$$E = mgz$$

式中 m 為質量， g 為重力加速度， z 為高度或長度。

- (2)動能：絞緊的橡皮筋鬆開後可作功，這時它所表現出來的是動能。彈簧把物體射出去，水庫裏的水沖下來轉動水輪機發電等等，都是動能的效果。位能和動能合起來，又稱為機械能。動能 (kinetic energy) 可以下式表示

$$E = \frac{1}{2} mU^2$$

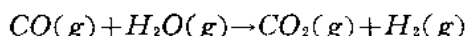
式中 U 為速度。動能與位能合稱機械能 (mechanical energy)。

- (3) 電能：各種家電用電器品，工業用電動機，以及電動火車、電動車等，都需要電能才會作功，電能 (electrical energy) 可以下式表示

$$E = VIt$$

式中 V 為電壓， I 為電流， t 為時間。

- (4) 化學能：物質各原子之間以化學鍵結合，假如原子間原來結合在一起的化學鍵被重組，蘊藏在化學鍵的能就被釋放出來。這種能就叫化學能 (Chemical energy)。例如：



$$\Delta H_{298}^0 = -9,840 \text{ cal/g} \cdot \text{mole}$$

式中 ΔH_{298}^0 為 298K 的反應熱值。

- (5) 熱能：在壁爐裏燃燒木柴，屋子就變得暖和，這是因為木柴燃燒時放出熱能 (thermal energy) 的緣故。工業用鍋爐燃燒燃料油或煤炭也能以生產蒸汽。例如：



$$\Delta H = -191,760 \text{ cal/g} \cdot \text{mole}$$

式中 ΔH 為燃燒熱值。

- (6) 光能：綠色植物行光合作用，必須有陽光的照射，因此陽光也有工作的能力。現在發展中的太陽電池就是利用類似植物光合作用的原理使太陽光轉換產生電能。此乃光電作用，這種作用的能力即是光能 (light energy)。光能可用下式計算

$$E = h\nu$$

式中 h 為普朗克常數 ($6.6256 \times 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{S}$)， ν 為頻率

(7)原子能：原子核裏有一股極為強大的作用力，能使質子和中子結合在一起。這股力量遠大於化學鍵能。我們平常所看到的化學變化，都祇是化合鍵的組合。但在特殊情況下，原子核發生變化，將能量釋放出來，這種能叫做原子能或核能 (atomic 或 nuclear energy)，可以下式計算

$$E = (\Delta m)C^2$$

式中 Δm 為質量虧損， C 為光速 (3.0×10^{10} cm/sec)

此外，尚有放射能 (radioactive energy)、磁能 (magnetic energy) 及聲能 (acoustic energy) 等形式

(二)以等級區分

能源在使用過程可分為三個等級。即初級能源 (primary energy)、次級能源 (secondary energy) 及最終消費能源 (end-use energy)。初級能源係指原始型態之能源，如煤、原油、天然氣、水力、核燃料、蔗渣等。次級能源乃為初級能源經加工轉換後之能源型態，如電力、焦炭、煤氣、石油產品等均屬之，又稱二級能源。而最終消費能源係由初級能源或次級能源經轉換後而可直接用於程序中之能源型態，如蒸汽即是最常見的一種。其間之關係可參考圖1-2。

1-1-4 能的轉換

一種能可以轉換成另一種能。例如油料燃燒時，是由化學能轉變為光能和熱能；電燈打開時，是由電能轉變為光能和熱能；電動機運轉時，是將電能轉變為動能；電磁鐵通電時，是由電能轉變為磁能；水庫放水時是由位能轉變為動能；人爬到水頂時，是由動能轉變為位能。

橡皮球從高處掉下，彈了幾下後停留在地上不動。這種情形

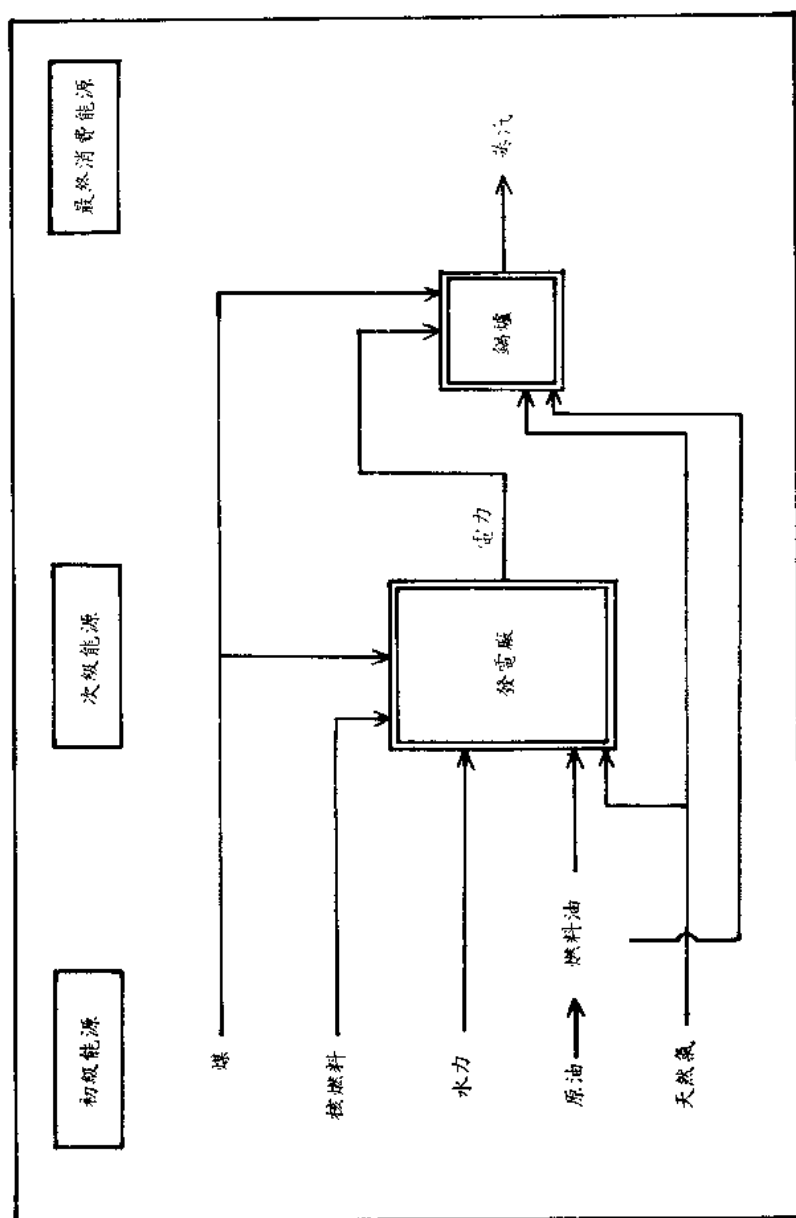


圖 1-2 能源之等級分類