

世界能源發展趨勢

盧正士編著



正中書局印行

00
D
23

盧正士編著

世界能源發展趨勢

正中書局印行



究必印翻

有所權版

版初臺月一年一十六國民華中

勢趨展發源能界世

角一元二裝精 價定本基 冊一全
角一元一裝平

(費滙費運加酌埠外)

士 正 盧 者 著 編
潔 李 人 行 發
局 書 中 正 刷 印 行 發

(號十二路陽衡市北臺灣臺)

號二十段一路昌南市北臺遷暫

司 公 書 圖 成 集 銷經總外海

(號一一一街老皆亞龍九港香)

店 書 風 海

(地番六五目丁一町保神田神區田代千都京東本日)

裕 (6661) 號八七六〇第字業臺版內 證記登政部內
(1000)

自序

火的發明與利用，是人類獨有的；也是人類改變生活領域與物質享用的開端。自工業革命以來，人類已突破人或獸力役用的極限，轉而求諸動能的利用，以擴大生產與提高效率，奠定今日現代化舒適生活的基礎。能源對人類的貢獻，厥功至大。

美國底特律愛迪生電力公司董事長席斯勒先生曾說過：「在世界若干地區裏，既有天然資源、人口及初級能量資源分佈不均的現象，同時亦有教育、技術及生活水準的不平衡。這種實質上的差異，不但影響着各國自身的政治、經濟、社會、文化及軍事等的發展；而且尚能引起各地區間的國際糾紛，阻礙合作及錯綜複雜的相互關係。因此某些先進國家，正在努力尋求解決途徑，並及時作合理的調整，使這些不平衡因素得以趨向平衡。」在進行改善過程中，指導及教育人民如何開發自有的天然資源，並加強研究其經濟可行性，而使初、次級能源得以低廉的成本及可靠的來源供應需求，則是當前世界各國努力的重心所在。

本書編輯的目的，即在就動、靜態的資料，以觀察瞭解世界能源發展的趨勢，其內容除泛論能源資源之分佈、生產、消費、貿易、轉移與利用外，並着重於探討世界未來能源研究發展之途徑及環境污染的問題。

世界能源發展趨勢

二

本書由於匆促成書，內容疏漏錯誤之處在所難免，深望各界人士，不吝指正。

編著者

盧正士 謹識

六十一年元月於臺灣臺北

TENDENCY OF THE WORLD'S ENERGY DEVELOPMENT

By

James C. S. Lu

Publisher: Chen Chung Book Co. Ltd.

Taipei, Taiwan, China

Issue Date: January, 1972

National Central Library Catalog Card Number 61-0001

世界能源發展趨勢 目錄

自序	1
第一章 緒言	1
第二章 世界能源蘊藏量	3
第三章 持續性能源之利用	13
第四章 能量消費與經濟發展	29
第五章 國際間各項能源之轉移	41
第六章 世界能源生產與消費	51
第七章 東歐地區能源發展概況	63
第八章 世界石油工業之投資	109
第九章 世界電力工業之擴展	123
第十章 未來長期能源研究之途徑	135
第十一章 能源發展對環境污染的影響	143
附錄 參考資料	155

第一章 緒 言

「能量」(Energy)一詞來自希臘文 *Energos* 其意義有「發動的」(Active)意思。嚴格地說，能量的定義是「凡物與生俱來的執行工作的能力」(Anything With the inherent ability to perform work)即謂之為「能量」。簡單地說，能量即一般所謂「做工的能力」(The Capacity to do work or the Capacity for performing work)。大部份能量做工的形態，不外是移動無自動力物件四周轉動；改變形狀溫度或實質的化學成分；改變形像與聲波為電的衝擊；及其他尚未為人類知曉的方式。有一種最為突出的能量資源之運用，那就是太陽光可以使植物生長並製造碳氫化合物，這種光合作用 (Photosynthesis) 至今尚還不為人類完全知道其化合過程。此外，動物利用食物 (如同燃料) 以果腹的氧化過程及人類腦部的工作等；至今仍視為神秘。這些無比的能源力量，並非由於人類需要與慾望即可生產、運轉與利用。相反地，如果沒有這些能源的供應，則人類自身亦將無法存在。

能量資源的存在應予重視，尤其是礦物燃料，經常用於生產熱量與電力以執行機械性工作，並處理原料及提供人們舒適的生活享受。在過去的兩百年間，已知使用蒸氣作為動力，但有些能源的供應，對原料栽培或保持極為重視。在兩世紀前的數千年間，人類利用自身及獸類的力量，或點燃薪柴及木炭，利用風、水、及瀑布的力量做了很多豐功偉績，諸如熟食，取暖、興建古埃及金字塔及修建羅馬大道及運河、溝渠等。

後來，蒸氣機的使用是歷史上人類利用能量的一大轉變。早期能源形態受到數量及應用的限制，晚近的能源始有充份與適當的供應。接蒸氣機之後，方有電力與石油的發明與應用，而隨之有馬達與內燃機的使用。新形式的能量不僅超過古代人力，且所提供之動力具有不同溫度、控制程度，這些均非以往能源所能比擬。早期如人力、風力、瀑布等能源形態是利用其自行補充 (Self-renewing) 的特點，晚近係利用蘊藏量甚大的化石燃料。在現時技術情況下，核能仍有其發展限制，唯增殖式快中子反應器的試驗成功，則其利用程度可能改觀，但核子融合的經濟可行性之研究試驗，將有助於發展的推進。在未來數十年間，液體及氣體燃料的供應仍將為世界各國討論的重心所在。惟因其供應量已受到限制，達到經濟性的供應邊際只是時間問題。

未來能源供需預測，將就其充裕與成本兩者考慮，至於經濟與政治的影響亦在假說範圍以內。其中未來技術進步、人口與國民生產毛額均為經濟遠景決定的外生因素，應予考慮。

第二章 世界能源蘊藏量

由於大部份礦產能源均賦存在地層下，故測定其存在數量並不容易。惟因技術的進步，過去認為品質低及不能開採的礦產，如今卻變成爲可採的原石。地球物理及地球化學探勘技術的應用，地質知識的增加，鑽探技術的改進，使過去數十年間認為次級的可採蘊藏量，業已能夠大量開採應用。同時運輸技術的進步，也使以前認為不能搬運的天然氣，變成了各地普遍使用的燃料。鈾與其他核子原料在二十五年前尚不爲人類承認爲商業性能源，油頁岩亦復如是，但這些均有其未來的遠景。

爲便於詳估未來能源供應的可能性，僅先將能源蘊藏量的幾種分類方法，臚列於后：

(一)已知可採蘊藏量 (Known recoverable reserves) 已設定蘊藏部位及其數量多寡，並在當前價格及技術之下具有開採性。該數字應包括其他著作對該項估測所說明的內容。

(二)未知可採資源 (Undiscovered recoverable resources) 尚不知含礦層確切部位，但地質上已證實其具有某種顯示與特徵。

(三)已知邊際及次邊際資源 (Known Marginal and Submarginal resources) 已知地層部位及蘊藏數量，但需俟技術水準改進後始有開採的可能。

(四)未知邊際及次邊際資源 (Undiscovered marginal and Submarginal resources)，尚不知礦層的確切位置，但地質上證明有表徵及特質的顯示。

爲分析並瞭解世界各地區能源型態及其蘊藏量分佈狀況，茲就化石燃料、分裂燃料與融合燃料，詳予分類敘述如后：

一、化石燃料 (Fossil fuels)

(1) 煤——世界已知煤（包括褐煤）可採蘊藏量中約有半數是經確定的蘊藏量。蘇聯煤蘊藏量據何吉金氏 (J. A. Hodgkins) 估計約在二兆三千億噸左右——大部份均在九百九十英尺深度以上之煤層中，估計該煤層厚度之分佈與美國大致相同，總煤炭蘊藏量中有三〇%（約當六千九百五十億噸）係處於厚礦床中，其中半數是可採量。

在已知可採蘊藏量中，美國約佔二六%，蘇聯佔四一%；其餘大部份在歐洲。未知邊際及次邊際資源分佈情形與上述大致相同；美國佔二五%，蘇聯佔六〇%，其餘大部份亦在歐洲。

世界煤資源總估計量較以前估計者爲大，主要係因爲美、蘇二個國家均自煤層深度六千英尺計算起，據最近估算蘇聯又有大量增加。（見表二之一）

(2) 石油與液化天然氣——石油可採蘊藏量的估算方式，係先就美國蘊藏量用嘉普氏 (Zapp) 外推法將世界其餘石油蘊藏加以估計而得，其估計方法係參酌威克氏 (J. G. Weeks) 提出的沈積岩地區與地質有利性因素等對除美國以外的世界石油蘊藏量加以估計。

在世界已知可採石油蘊藏量中，大約十六%是在美國，中東卻佔六五%，委內瑞拉佔六%，其餘一〇%在亞洲及東歐各國。石油能源蘊藏潛力一般言之與蘊藏量之分佈略同，惟亞洲與東歐各國可能佔的比例還要大些，或可達到二五%。

液化天然氣的蘊藏量至今尚未有可靠的估計數字，已知可採蘊藏量的估計係以每百萬立方呎天然氣中含有約二十四美桶液化天然氣的比例予以折換；嘉普氏亦曾對未知邊際及次邊際資源加以估計，其間顯示天然氣與液化天然氣折換比率可能還要大些。

(3) 天然氣——世界已證實的天然氣蘊藏量的估計尚不可得。因此已知可採天然氣蘊藏量估計基礎係按每桶石油可提煉六千立方呎天然氣的數量估計。嘉普氏估計未知邊際及次邊際天然資源其邊際折換率將要低些。天然氣潛力的估計可以石油蘊藏量函數方式求得。其分佈情形亦與石油分佈極為相似。

(4) 頁岩油與瀝青岩油——頁岩油 (oil shale) 可採蘊藏量的估計係參照五〇%岩石回收率，並限定於每噸岩石生產石油二五加崙的油層需達至少二五呎厚度，離地表一千英尺以內。世界上已有某些地區，用油頁岩提煉石油的工業已經建立，含油層僅達每噸岩石產油一二加崙，利用露天開採法予以採掘。美國各私人石油公司亦正計劃自三千英尺深度的油頁岩中提煉石油。

邊際及次邊際油頁岩層估計每噸岩石可產油一〇加崙，因此可使已知含油層數量增多。油頁岩層含量達一〇%以上的有機物，延伸至二萬英尺深度者予以估計，其可能有 4000×10^{12} 英熱單位的內燃含熱潛力 (Combustion energy potential)。如油頁岩層含有有機物五——一〇%者均加以計算，則其可能含熱量潛力高達 $20,000 \times 10^{12}$ 英熱單位。油頁岩層的部份有機物，即可能是石油與天然氣的賦存地區。

瀝青岩油 (Oil in Bituminous rocks) 已知可採蘊藏量的估計，僅限於美國及加拿大瀝青岩層，

利用露天開採法獲得的瀝青岩層資料並假設七五%的可採率，小貝利希爾 (H. L. Benyhill, Jr.) 曾估計加拿大蘊藏量為 37.9×10^9 美桶。世界其他部份蘊藏量資料係採自威克氏的估計。

世界化石燃料蘊藏量詳見表二之一

表二之一 世界化石燃料蘊藏量

燃料種類	已知可採量 蘊藏	其餘可潛 蘊藏能力
煤 (噸)	850×10^9 (18Q)	$15,150 \times 10^9$ (320Q)
石油 (美桶)	300×10^9 (1.7Q)	$4,000 \times 10^9$ (23Q)
天然氣 (立方呎)	$1,800 \times 10^{12}$ (1.9Q)	$19,000 \times 10^{12}$ (20Q)
液化天然氣 (美桶)	45×10^9 (0.21Q)	700×10^9 (3.2Q)
瀝青岩油 (美桶)	40×10^9 (0.23Q)	$1,060 \times 10^9$ (6.1Q)
頁岩油 (美桶)	150×10^9 (0.87Q)	$13,600 \times 10^9$ (79Q)
化石燃料 總能量	(23Q)	(452Q)

附註：Q = 10^{18} BTU

資料來源：美國地質調查所

二、分裂燃料 (Fission Fuels)

鈾與鈾是世界上最具發展潛力的兩種可用分裂燃料。雖然鈾已在少數反應器中採用為動力來源，

但目前鈾仍是可採能源的主要來源。當前的反應器僅用去含能量潛力的 0.6% 至 1.2% 。反應器經過副產燃料再循環的技術改進，鈾能量的回收率可增加為 3% 。新式設計的反應器型式，對鈾有較佳的利用，同時擴大了鈾的應用範圍。技術再行進展，快中子增殖反應器的應用，則不僅自鈾中大大地增加能量的回收率達 80% 以上，因而使鈾的可利用性成為原始燃料。

(1) 鈾 (Uranium) ——世界鈾礦可採總蘊藏量估計共約有八十六萬噸至一百一十五萬噸，其中亞洲及東歐各國約有十一萬噸至四〇萬噸，其餘美洲及西歐等地區約有七十五萬噸左右，生產每磅 U_3O_8 之價值約為美金五至十元。至於在美國同品質之未發現礦床估計約有七十七萬噸；就世界鈾礦最大蘊藏潛力估計可達四千五百萬噸之譜。如再包括尚未為人類發現部份估計尚不止此數。在瑞典的已知黑礬頁岩礦床中含鈾約八十五萬噸，平均含 U_3O_8 量 0.03% 。另一處更多，有一百七十萬噸，平均含 U_3O_8 量亦達 0.01% 。此外，尚有未做估算部份約一千萬噸左右。北非磷礦石中亦約含二百萬噸。利用外推法對世界廣大未知地區的分佈狀況所做的估計，如按上述方法估計，其蘊藏數量潛力約為四十億噸乘以一七·三。

世界鈾蘊藏量如表二之二所示。

(2) 鈷 (Thorium) ——世界鈷蘊藏量依當前經濟情形衡量，其可開採量約有七十萬噸之譜，約相當於世界鈾蘊藏數量。同品質的鈷資源潛力較鈾資源潛力為大。基於鈷蘊藏量與已知變質火成岩的延伸地帶的比較（鈷礦床的存在經常與變質火成岩的形成有關），世界鈷資源的賦存將有三百六十萬噸之多。如以美國或印度作為外推法估測，則鈷資源更將高達六百萬至一千二百萬噸之巨。就蘊藏量

表二之二 世界鈷礦蘊藏量

國 別	已知蘊藏量 (單位：千噸)	理論最大能量值 (單位：Q)
美 國	323	$22 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
加 拿 大	236	$16 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
南 非 聯 邦	127	$9 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
法 國	34	$2.4 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
澳 大 利 亞	13.7	$0.96 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
亞 洲 及 東 歐	110-400	$7.7-28 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
阿 根 庭	21	$1.5 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
剛 德 印 日 墨 葡 西 班 牙		
果 國 度 本 哥 牙		
牙 牙		
牙		
合計 (除亞洲及東歐以外)	750	$50 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$
世 界 總 計	860-1,150	$60-80 \times 10^{18} \text{BTU(Q)}$

註：已知蘊藏量係指開採每磅 U_3O_8 成本為美金5-10元之礦床而言。

資料來源：美國地質調查所

與地表富源的關係來看，世界鈷資源也許可達二千萬至二億噸之譜。世界低品質鈷礦的開採為數不多。但其數量却極為可觀。就地區而言，在巴西阿拉薩 (Ataxa) 地方，地底下四七五呎以上即含有平均 0.007% 的二氧化鈷 (ThO_2)，達十一萬噸。在非洲肯亞 (Kenya) 等地區，亦有含 0.002% 至 0.005% 的二氧化鈷，其地層深度與巴西相彷彿。如以美國為準，用以推計世界其他地區鈷礦

蘊藏情形，其可供應之潛在能力估計約達六十億噸乘以一七·三。茲將世界鈷資源蘊藏情形如左表：

表二之三 世界鈷礦蘊藏量統計

地 區 別		已知蘊藏量 (每磅可採價 值約當美金5- 10元) (單位：噸)	理論最大能量值 ($Q=10^{18}$ BTU)
美 國		100,000	7×10^{18} BTU
加 拿 大		175,000	12×10^{18} BTU
巴 西		25,000	2×10^{18} BTU
非 洲		45,000	3×10^{18} BTU
印 度			
錫 蘭			
阿 富 汗	}	220,000	15×10^{18} BTU
尼 貝 爾			
巴 基 斯 坦			
亞 洲 及 東 歐		90,000	6×10^{18} BTU
澳 大 利 亞		45,000	3×10^{18} BTU
世 界 合 計		700,000	48×10^{18} BTU

資料來源：美國地質調查所

三、融合燃料 (Fusion Fuels)

假若熱核子(Thermonuclear)融合方法能夠為人類所控制，則其主要燃料為重氫(Deuterium)，是一種供應極為豐富的氫同位素。在反應器中再次用到的物質，須視最後融合反應器所採取的兩種型

式而定。最簡單的一種型式是僅以重氫為燃料，另外一種更快速的反應器是利用重氫與另一種氫同位素氚（Tritium）的混合使用。氚必須由同位素鋰六（Lithium 6）經過觸媒劑鈹（Beryllium）的人工作用而產生出來。因此，後者反應器亦可謂係應用相等數量的重氫與鋰混合式的燃料。

重氫分子（HDO）存在於水中，正像銅之存在於陸地一樣的普遍。就重量言，重氫含量變化自百萬分之一一到南冰洋的百萬分之一七。估計海洋中重氫（D₂）蘊藏潛力可達二·五乘以10¹³短噸。其相當能量為 75×10^{22} BTU，或為七十五億Q。

由於高昂的成本，重水的利用已經受到限制。一九四〇年時，每克重水的價值已達美金二五元。且來源局限於挪威一國。其生產方式係該國製造合成氦摩尼亞由氫電解所成的副產品。二次大戰期間，在美國及加拿大建造了幾座大型重水製造廠。自戰爭以來，美國製造能力日漸擴增，使濃縮重水（D₂O，九九·五%）的價值大大降低，達每克美金六分，使每噸重氫的價值約達美金二十七萬元。就潛在能量分析，一噸重氫約等於一千萬噸煤的能量。自融合方法以製造氫，即使在當前技術條件下，燃料成本已是一項可以不足重視的因素。

在混合式融合反應器中使用的氫是衍生燃料元素，目前尚屬稀少，必須大量增殖。有一種利用鋰鈹層圍繞重氫氫反應器內部的增殖計劃，其過程是將來自重氫氫反應器的快中子所產生的動能向四周圍繞作緩衝器的鋰鈹層擴散，即可將熱能回收。同時，中子對鋰六同位素反應率的熱速度減緩下來，而產生大量的氫。鈹成為多中子觸媒劑，快中子羣經與鈹作用後即可產生新的中子羣。

計算上顯示，用適當大小的鋰鈹層，在重氫氫反應器中消耗掉的氫較增殖者為多，其比率為一·