



叢書總主編：倪光南

神州脈動 能源革命 改變中國

Fuel: Energy Revolution Changes China

胡森林
林益楷
林火燦
／著

開明書店

編委會

叢書總主編

倪光南 中國工程院院士，中國科學院計算技術研究所研究員

叢書副總主編

寧濱 中國工程院院士，北京交通大學原校長

吳偉仁 中國工程院院士，國家國防科技工業局中國探月工程總設計師

徐宗本 中國科學院院士，西安交通大學原副校長

顧 翀 人民郵電出版社有限公司總經理

韓建民 杭州電子科技大學融媒體與主題出版研究院院長

編 委

武鎖寧 中國通信企業協會副會長，人民郵電報社原總編輯

陳 鍾 北京大學教授、博士生導師

馬殿富 北京航空航天大學教授、博士生導師

胡堅波 中國信息通信研究院總工程師

安 暉 中國電子信息產業發展研究院副總工程師

何寶宏 中國信息通信研究院雲計算與大數據研究所所長

陸 峰 中國電子信息產業發展研究院電子信息產業研究所副所長

序言

對能源行業的人士來說，2016年《巴黎協定》的簽署是一個大家都十分關注的大事件。該協定的簽訂標誌着綠色低碳發展已經成為人類的普遍共識，也意味着全球能源行業需要加速轉型以適應這一進程。新一輪能源大轉型的序幕正徐徐拉開。

與煤炭替代薪柴、油氣替代煤炭的兩次能源轉型相比，當前人類正在經歷的第三次能源轉型具有哪些顯著特徵呢？我認為有以下三個尤其值得關注的特徵。

首先是去碳化。在《巴黎協定》對碳預算強約束的背景下，全球能源消費越來越呈現出去碳化的特徵。風能和太陽能等「零碳能源」規模快速擴大，將日漸成為未來的主流能源。截至2017年底，全球可再生能源累計總裝機容量達2195吉瓦，約佔全球總發電裝機容量的30%；可再生能源發電量達6.21萬億千瓦時，佔全球電力生產量的比例為26.5%。在歐洲的部分國家，非水電可再生能源發電量佔總發電量的比例達到30%~50%，甚至可以滿足100%瞬時用電需求。根據彭博新能源財經的預測，到2050年，風電和

太陽能發電的規模將佔全球發電規模的 50% 以上。

其次是去中心化。新一輪能源轉型中，全球能源供給方式將逐步從過去的以集中式供給為主，過渡到與太陽能、風能、生物質能等分佈式能源相結合。綜合能源服務的新業態正在全球各地蓬勃興起，這必將帶來能源生產和消費模式的重大調整。

最後是數字化。新一輪能源轉型恰逢數字化浪潮席捲全球，以「雲大物移智」（雲計算、大數據、物聯網、移動互聯網、人工智能）為代表的數字化技術創新，正給能源行業的發展帶來顛覆性的變革。近年來，「數字油田」「數字風場」「智能電網」「泛在電力物聯網」等能源領域的數字化實踐層出不窮，正極大地改變着能源生產和消費生態。

在新一輪全球能源轉型的大潮中，中國是積極的參與者和推動者。中國政府是《巴黎協定》的堅定踐行者，近年來通過大力推動能源生產和消費革命，為加速全球能源轉型做出了重要貢獻。例如，中國已成為全球最大的風能和太陽能電力生產國，以及全球電動汽車保有量最高的國家；中國用十幾年時間走過了西方 30 年的成品油質量升級歷程；天然氣被中國確立為主體能源之一，過去兩年的消費增速均超過 15%，展現出驚人的「中國速度」。近年來中國整體能源環

境和質量的好轉與政府採取的舉措是分不開的。

看到成績的同時，我們也要清醒地認識到，能源轉型是一個長期而漸進的過程，尤其是中國作為一個後發國家，能源轉型面臨着更加艱巨的挑戰。例如，2018 年，中國經濟總量佔世界經濟總量的 15.9%，但能源消費總量卻佔世界能源消費總量的 24%，消費方式相對粗放，且未來能源消費仍將保持增長態勢，更多的能源消費與更低的碳排放量的矛盾將日益凸顯。此外，「一煤獨大」的能源消費結構短期內很難改變。日益攀升的油氣對外依存度也將給國家能源安全帶來很大的風險。

未來中國該如何走出一條具有特色的能源轉型之路？我認為，中國需要通過大力推進能源的減量革命、增量革命和效率革命，探索出一條油氣替代、可再生能源替代與能效提升齊頭並進的能源轉型之路，根本目標是為人民群眾提供更加穩定、綠色、經濟、便捷的高質量能源服務。這其中，以下四個方面的轉型措施尤為重要。

第一，大力推進煤炭清潔化利用。當前全球多個國家正在推進徹底的「去煤化」運動，但中國獨特的資源稟賦決定了煤炭在相當長時間內仍將是中國的主體能源之一。在煤炭短期內無法退出歷史舞台的情況下，實現煤炭全產業鏈的

清潔高效開發利用，包括推進煤礦的清潔高效開發、煤電的「近零碳排放」（未來還要考慮通過 CCS¹ 技術進行碳捕集）、發展特色煤化工技術等，尤為關鍵。而在華北等霧霾嚴重的地區，大幅減少散煤的使用更是當務之急。

第二，加大國內油氣勘探開發力度。中國石油和天然氣的一次能源消費佔比僅為 25% 左右，遠低於歐美發達國家的水平。油氣，特別是天然氣，作為相對優質、低碳、高效的能源，在中國仍有較大的發展空間。面對中國油氣對外依存度攀升的嚴峻形勢，我們一方面要加大資金的投入力度，推動油氣勘探從陸上走向海上、從常規走向非常規、從中淺層走向深層，着力增加本土油氣供應量；另一方面，我們也要強化國際合作，鼓勵中國的石油公司到海外進行油氣勘探開發，將權益油氣運回國內使用；同時應採取加大油氣資源儲備、加快石油天然氣交易中心建設等多種方式，確保油氣的穩定供應。

第三，大力發展可再生能源。儘管中國風能、太陽能發電裝機規模已是全球第一，但累計發電量佔全國電力消費的

1 Carbon Capture and Storage，碳捕集與封存，即從大型、穩定的二氧化碳排放源中分離、收集二氧化碳，並用各種方法儲存起來，以減少其向大氣排放的技術。

比例還不到 8%。中國電力企業聯合會預測，到 2050 年，風能、太陽能等可再生能源電力在中國電力體系中佔主導地位是極有可能實現的。另外，中國生物質資源可轉換為能源的潛力約為 4.6 億噸標準煤¹，而目前利用量僅為 2200 萬噸標準煤，待開發利用的潛力同樣巨大。

第四，高度關注能效提升。能效提升被普遍認為是「第一能源」。有些歐洲國家，如丹麥，通過推廣熱電聯產、第四代區域供熱等技術創新，大幅提升能效，已基本實現經濟增長與能源消費的脫鉤。目前，中國的能源生產和消費模式還相對粗放，單位標準油²創造的國內生產總值（Gross Domestic Product，GDP）僅為美國、德國和日本的 50% 左右，提升能效的潛力巨大。有關機構預計，通過提升能效，中國完全有可能在同等能源消費規模下實現 GDP 的翻倍。

中國的能源轉型是一項史無前例的巨大工程，與每一個中國人都息息相關，不僅需要政府和企業界投入力量，所有中國人都應是這場大轉型的見證者、參與者和推動者。近期

1 標準煤是指經過國家專門機構認可的，具有高度均勻性、良好穩定性和準確量值的煤樣。

2 單位標準油是指 1 千克油當量的熱值，即 42.62 兆焦（MJ）。

收到胡森林先生等人新著的《神州脈動：能源革命改變中國》書稿，讀完之後感覺亮點頗多。這本書對中國能源行業發展的過去、現在和未來進行了深入思考，討論的範圍涵蓋了煤炭、油氣和電力等多個領域。全書視野宏闊，結構清晰，行文生動，既是一部具有專業眼光的新著作，也是一部具有較強可讀性的通俗讀物，相信對國人了解中國能源轉型進程具有較大的幫助，也將為致力於推進中國能源轉型的各界人士提供有益的借鑒。

作者希望我寫一篇序言，我結合自己對能源發展的一些想法，談了如上的觀點，是以為序。



中國工程院院士

前言

對「能源之變」的觀察與描述

2019年，新中國成立70周年，就在這一年，中國掀起勘探開發國內油氣的熱潮，「四個革命、一個合作」能源安全新戰略正在深入推進，新能源發展方興未艾……與此同時，國際能源市場也是風雲變幻，地緣政治、技術革命、氣候變化帶來的市場反應讓人目不暇接。

中共十九大報告指出，要「構建市場導向的綠色技術創新體系，發展綠色金融，壯大節能環保產業、清潔生產產業、清潔能源產業。推進能源生產和消費革命，構建清潔低碳、安全高效的能源體系」。這為新時代能源行業的發展指明了方向，提出了更高要求。當前，能源革命已經拉開大幕，成為能源發展的主旋律，深刻地改變着行業，改變着經濟，也改變着每個人周遭的很多事物。

能源是現代社會經濟發展的支柱，是重要的工業原材料和動力來源，也是大宗的國際貿易商品。經濟的發展離不開能源，每個行業的發展離不開能源，每個人的生活也都離不

開能源。但是長期以來，大眾對能源所知不多、所知不深，甚至還有很多誤解。從能源行業自身來說，確實需要從業者更多地講述自己，搭建與公眾溝通的橋梁。「科技改變中國」這一主題出版項目正好提供了極為難得的機會。

本書的主題是「能源革命改變中國」，它包含了兩個方面的含義：其一，能源曾經改變了什麼；其二，能源革命將會改變什麼。

能源帶來的改變是顯而易見的。我們翻閱任何一本能源史志、成就冊，都不難發現，過去幾十年，能源行業通過自身的發展，為經濟輸入動力，為工業提供「血液」，改變了中國的經濟面貌和國家地位，改變了工業經濟的整體實力，改變了社會的生產力水平。在社會經濟層面，能源主要為工業、交通、電力等領域提供原材料、動力和燃料。同時，在日常生活層面，利用石油、天然氣等重要的中間原料，產出了合成纖維、塗料、塑料等化工產品，也給我們帶來了便利和富足。當然，不能否認的是，由於中國的能源資源稟賦相對不足，能效水平依然低下，產業結構總體偏重，在經濟快速發展的過程中浪費了大量的能源，粗放和不科學的能源使用方式帶來了大量的環境污染問題。

中國經濟社會發展依然需要大量的能源供應來保障，而

人們對美好生活的嚮往也必然包含對更好的環境的期盼。這就需要在繼續大力發展能源行業的同時，提高能源資源的使用效率，減少因不當使用能源資源對環境所產生的負外部性影響。「能源革命將會改變什麼」這個問題的答案就是通過能源革命建立新的能源體系，提升能效，改變環境，進而改變產業經濟的面貌，改變人們的生活。而這一切，都在直接或間接地改變着中國。

可以說，能源過去改變了中國、現在改變着中國、將來還會繼續改變中國。而究其根本，在於中國本身也在改變，人們對能源的認識在改變，人們的觀念在更新，產業水平在提升。從總體上來說，改革開放以來，中國能源產業最大的改變，是從過去以滿足供應為主，轉變到追求結構優化、產業升級和技術進步，從此進入高質量的發展階段。

「能源之變」的產生和形成，是能源發展因應社會發展而變化的過程，是能源與社會互動的必然結果，它似乎是在不知不覺中發生的，但又無時無刻不在進行。這就是我們對於「能源革命改變中國」這一命題內涵的理解，也是本書主標題定為「神州脈動」的含義之所在。

寫作本書時讓人為難的是，能源行業具有龐大的體系，內容浩繁，門類眾多，70年的發展歷程波瀾壯闊，發展成就

燦爛輝煌，遠遠不是一兩百頁的一本書所能容納的。本書的定位並不是一部完整的能源發展史，或者系統的能源知識介紹，而是面向大眾讀者的一本能源「深科普」讀物，所以我們只選取能源行業發展中的大事件、重要節點、突出特點、標誌性成果和重要趨勢加以講述，聚焦主題，對眾多的素材加以取捨，勾勒新中國成立特別是改革開放以來能源發展的基本軌跡，展望能源行業通過高質量發展通往未來的圖景，從中反映中國能源發展的大致進程，讓讀者對能源行業有一個結構性的認識與把握。

本書共十四章，分為「為中國經濟貢獻光和熱」「向高質量轉型」「通往美麗中國」三個部分，看起來有一種時間的邏輯在其中，大致對應中國能源行業發展的過去、現在和未來。但需要說明的是，全書並未完全採用線性的時間邏輯，而更像是一個個相對獨立的專題，每章所涉內容根據內容敘述的需要，會在時間上有適當的前後延伸，但總體上又能從中看出能源行業的演進。同時，本書以國際相關情況作為背景知識或者內容參照，聚焦於中國能源的發展情況。

本書由三位作者合作完成，其中第一、四、七、十三、十四章和結語由胡森林撰寫，第五、八、十一、十二章由林益楷撰寫，第二、三、六、九、十章由林火燦撰寫，胡森林

承擔了書稿的思路擬定、框架設計、總體統籌和後期統稿工作。在寫作時，我們希望做到這樣幾點：以思想性作為基礎，力求揭示能源革命的真實邏輯、路徑、本質、規律與趨勢，給人以思維的啟迪；以專業性作為保障，把握行業發展的主線和核心內容，使用權威資料，對相關問題有專業的判斷和分析；以可讀性作為追求，對專業內容做適當的大眾化的「轉譯」，使之符合一般讀者的閱讀期待，見物見事見人，夾敘夾議，總體寫意，局部工筆，在內容組織、語言風格、形式要素和行文節奏上下功夫，儘量做到讓本書通俗易懂，拉近讀者與能源行業的距離。

本書是「科技改變中國」這一主題出版項目中的一本，關於科技，這裏還想多說兩句。能源行業的發展與科技密切相關，這既是對技術很敏感的行業，又是科技成果的高產區，在科技方面有巨大的需求和潛力。過去幾十年，能源行業走過了一條學習西方、引進消化吸收再創新的道路，這也是中國科技發展的一個縮影。經過幾十年的努力，中國能源行業很多領域的常規技術現在已達到世界同等水平，但核心技術還有待突破，一些技術和裝備依然受制於人，需要引起高度關注。隨着技術變革帶來的能源變革和產業變革，未來能源行業的競爭力將主要依賴於技術進步和創新突破，這也

是中國需要大力發展和加強的方面。在一些關鍵技術領域，中國不能缺席，只有突破關鍵技術壁壘才能為提升能源行業未來的競爭力打下基礎。

我們期望這本書能引起大家對能源安全的關注、對能源轉型的關心和對能源科技的關切，這些事情看似離我們很遙遠，但歸根結底與每個人息息相關，需要更多的人了解、支持、參與和推動能源行業的變革，這也是涉及整個社會能源素養的重要部分。

以上所述就是作者承擔這一寫作任務的初衷，以及在一開始想說的一些話。

目錄

第一部分 為中國經濟貢獻光和熱

第一章 60歲的大慶油田

- 1.1 被改變的歷史 / 4
- 1.2 一個閃光的名字 / 8
- 1.3 不斷延續的青春 / 14
- 1.4 鳳凰涅槃 / 17
- 本章參考文獻 / 20

第二章 電力點亮中國

- 2.1 從「無電生活」起步 / 22
- 2.2 多元電力格局 / 28
- 2.3 向改革要「電力」 / 34
- 2.4 重大電力工程結碩果 / 38
- 本章參考文獻 / 41

第三章 負重的煤炭

- 3.1 不能抹殺的功績 / 43
- 3.2 粗放發展 / 46
- 3.3 自我革新 / 48
- 3.4 說「再見」為時尚早 / 53
- 本章參考文獻 / 55

第二部分 向高質量轉型

第四章 能源生產和消費革命

- 4.1 其命維新 / 60
 - 4.2 「第三條道路」 / 63
 - 4.3 加法、減法與乘法 / 67
 - 4.4 戰略路線圖 / 69
 - 4.5 「一帶一路」新機遇 / 71
- 本章參考文獻 / 74

第五章 與時間賽跑的油氣

- 5.1 對外依存度之憂 / 76
 - 5.2 石油消費峰值何時到來 / 82
 - 5.3 中國「頁巖氣革命」能否誕生 / 85
- 本章參考文獻 / 88

第六章 解放「第一生產力」

- 6.1 國產化的機遇與挑戰 / 90
 - 6.2 重大工程助推裝備發展 / 96
 - 6.3 技術突破帶動產業發展 / 101
 - 6.4 加快釋放「第一生產力」 / 105
- 本章參考文獻 / 108

第七章 能效是最大的能源

- 7.1 看不見的「革命」 / 111
- 7.2 能效「富礦」 / 113
- 7.3 效率競爭力 / 115

- 7.4 珍惜用好「能效紅利」 / 119
- 本章參考文獻 / 123

第八章 煉化轉型升級之路

- 8.1 摘下「五朵金花」 / 126
 - 8.2 「大煉油」橫空出世 / 129
 - 8.3 零售終端「硝煙」燃起 / 133
 - 8.4 走向世界 / 137
- 本章參考文獻 / 139

第三部分 通往美麗中國

第九章 天然氣的希望之光

- 9.1 天然氣為何受熱捧 / 145
 - 9.2 管網建設提速 / 150
 - 9.3 不斷做大的 LNG 市場「蛋糕」 / 154
 - 9.4 紓解「氣荒」困局 / 158
- 本章參考文獻 / 161

第十章 化石能源清潔化

- 10.1 煤炭的清潔化利用 / 163
 - 10.2 化石能源的清潔化生產 / 166
 - 10.3 碳捕集與封存的價值 / 170
 - 10.4 創新是關鍵一招 / 173
- 本章參考文獻 / 175

第十一章 邁向「零碳社會」

- 11.1 風電加速 / 177

- 11.2 光伏的新征程 / 181
- 11.3 氫能產業「風口」已來？ / 185
- 11.4 核電的未來 / 188
- 本章參考文獻 / 191

第十二章 擁抱能源互聯網

- 12.1 跨越國界的大手筆 / 193
- 12.2 微電網向我們走來 / 198
- 12.3 泛在電力物聯網 / 200
- 12.4 萬物互聯 / 202
- 本章參考文獻 / 205

第十三章 能源改變未來

- 13.1 能源「遊戲規則」悄然生變 / 208
- 13.2 交通新時代 / 210
- 13.3 智慧城市 / 213
- 13.4 未來建築 / 214
- 本章參考文獻 / 217

第十四章 尖峰時刻

- 14.1 搶佔技術制高點 / 220
- 14.2 可能的顛覆性技術突破 / 222
- 14.3 「終極能源」猜想 / 223
- 本章參考文獻 / 228

結語 / 229

後記 / 241



第一部分

為中國經濟貢獻光和熱

中國能源行業一度把保障供給作為主要也幾乎是唯一的任務，努力為國民經濟增長提供足夠的能源動力。新中國成立以來，特別是改革開放以來，能源行業不辱使命，強有力地支撐了國家的經濟發展和現代化建設。

第一章

60 歲的大慶油田

引子

新中國成立 10 周年時，東北大地傳來喜訊，「鐵人」王進喜和他的夥伴們在松嫩平原上發現了特大油田。這個被命名為「大慶」的油田，從那時起就開始為國家汨汨流淌油流，時至今日原油年產量在國內依然領先。更為可貴的是，這裏孕育了寶貴的「大慶精神」和「鐵人精神」，成為工業領域乃至整個國家的一面旗幟，大慶苦難輝煌的歷史也是中國石油工業的一個縮影。了解中國石油工業，要從大慶開始。展望中國石油工業的未來，也離不開對大慶油田面臨的歷史與現實、希冀與失落、機遇與挑戰的關注。

60 年，對人生來說是一個甲子的風雨歷程，而對中國石油工業來說，則是記錄了半個多世紀拚搏與奮鬥、輝煌與榮光的不平凡的歷史。回溯 60 年前，我們無法忘懷那載入史冊的一頁：大慶油田的發現。

準確時間是 1959 年 9 月 26 日 16 時，地點是松嫩平原上一個叫「大同」的小鎮附近，一口名為「松基三井」的油井噴射出黑色油流，向世界宣告了大慶油田的存在。這時離新中國成立 10 周年大慶只有幾天時間，這也是石油人用自己的努力為國家獻上的最好禮物。

1.1 被改變的歷史

大慶油田的發現，不但讓這個地方成為中國工業史上最知名的地點之一，也由此改寫了中國石油工業的歷史，結束了中國的油荒歷史。

《大慶油田大事記》是從 1958 年開始記錄的，它起始於鄧小平的一個批示。1958 年 2 月 28 日，時任中共中央政治局常務委員、中央委員會總書記的鄧小平聽取了石油工業部關於尋找石油的彙報之後說：「對松遼、華北、華東、四川、鄂爾多斯五個地區，要好好花一番精力，研究考慮……把真正有

希望的地方，如東北、蘇北和四川這三塊搞出來，就很好。」

當時，年輕的共和國百廢待興，剛剛起步的國民經濟對石油資源供應的需求與日俱增。國家下了大力氣尋找石油資源，但擺在國人面前的現實卻不容樂觀：新中國成立初期，全國只有甘肅老君廟、新疆獨山子、陝西延長這三個小油田和四川石油溝、聖燈山兩個氣田，全國只有 8 台破舊的鑽機和 52 口油井。

石油勘探界有句名言：「油田首先是存在於勘探家的腦子裏。」意思是說，先要相信地底下有油，才能真正找到油。這並非唯心主義的論調，而是石油勘探必須基於對地質油藏理論的科學規律的認識才能有所作為。中國一度被認為是「貧油國」，不但外國人這麼認為，當時中國的地質學家們也大多持這種觀點。20 世紀 50 年代之前流行的地質理論認為：油氣是遠古時代海洋生物的屍體在高溫高壓下經過化學變化生成的，所以大型油氣田只能在海相地層中找到。而中國的東北、華北、西北地區恰恰屬於陸相地層，所以當時絕大多數學者認為中國油氣儲藏相當貧瘠。

為這一觀點提供佐證的一個事實是，從 20 世紀初開始，日本就依仗強大的軍事力量侵略中國東北，其侵略的重要目的之一就是尋找石油，但直到 1945 年日本投降時，也未在中國

的土地上找到石油。

與眾人的觀點不同的是，地質學家李四光和黃汲清則堅信中國遼闊的土地下一定蘊藏着豐富的石油。李四光是新中國的首任地質部部長，他根據大地構造條件和沉積條件，為中國的石油勘探劃定了一個大的區域。1953 年底，他向毛澤東、劉少奇和朱德等領導人彙報：「我國油氣資源蘊藏量豐富。」這給了高層決策者很大的希望。黃汲清則提出了著名的「陸相生油」理論，正是在這一理論的直接指導下，大慶油田被發現了。

信心和努力終於換來了回報。新中國成立 10 周年大慶的前夕，勘探隊發現了大油田。時任黑龍江省委第一書記的歐陽欽興奮之餘，提議將油田所在地大同鎮改名為「大慶鎮」，以慶祝中華人民共和國成立 10 周年。¹接下來，石油工業部將這個新發現的油田定名為「大慶油田」。當時任石油工業部部長的余秋里聽說松遼出油的大同鎮改叫「大慶」時，高興地說：「好啊！大慶好啊！以後我們要把這個名字標在地圖上！」大慶油

田的發現為中國石油工業發展史樹立了重要的里程碑。「大慶」這個源於石油、取之國慶的名字，從此叫響全國，傳揚世界。

小檔案

日本人「錯失」大慶油田

1928 年初，各方盛傳在我國東北發現了出產石油的跡象，於是日本人想要在這一地區尋找石油。1929 年春，日本人與蘇聯人在當地向導的帶領下，帶着 20 匹驃馬沿東清鐵路（即中東鐵路）到牡丹江上游的森林地帶尋找石油，經過兩個多月的勘探，無功而返。

1930 年 4 月，經過在美國駐哈爾濱領事館工作的托里斯基（美籍蘇裔）的指點，日本人新帶國太郎一行人乘火車前往滿洲里的札賚諾爾煤礦，第二次尋找石油。他們將採集的礦樣帶往大連化驗分析，斷定樣品中含有石油瀝青。

「九一八」事變後，東北三省淪陷，日本人在資源調查上更加明目張膽。有一個名為「滿鐵調查部」的機構，它的探礦隊就像過篩子一樣在東北大地上肆無忌憚地尋找戰略資源，石油是其主要目標。根據所謂的「海底腐泥起源說」，日本將找油重點放在了遼寧南部地區，原因是那裏比

¹ 參見網易號「礦材網」2019 年 3 月 12 日的文章《新中國第一油田——大慶油田的前世今生》。