

教師國情教育系列：(3) 我國的能源及其環境管治

講者：

香港浸會大學地理系副教授、亞洲能源研究中心總監馬雅燕博士

日期：二零二四年三月十九日（星期二）



I. 中國能源概況

A. 概況

中國正加速推動能源低碳轉型

- 增強供電穩定性
- “2030 年碳排放高峰” 和 “2060 年碳中和”
- 減少燃煤發電
- 持續發展再生能源
- 強化節能



- 煤炭：約佔發電機組裝機容量的 52%。
- 16% 依賴水力發電
- 少量風能（14%）、太陽能（15%）
- 核能（2.2%）

煤炭	水力	核能	風能	太陽能
133329	41406	5553	36564	39268

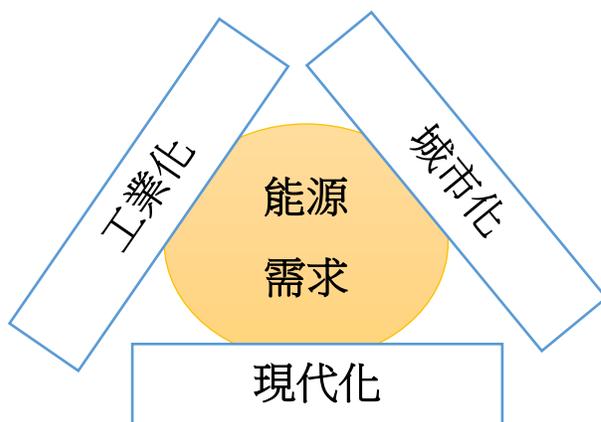
單位：10000kW

<https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/indexeh.htm>

能源正在推動中國經濟的快速發展。

- 面積：960 萬平方公里（～美國）
- 人口持續增長：14.1 億（2022 年），人口佔世界人口的 1/5 – 在 2022 年仍是人口最多的國家
- 1978 年以來的經濟改革 – 從指令性計劃經濟轉向更市場化的經濟
- 經濟快速增長：自 1978 年以來，連續 3 年維持兩位數增長，每年約 10%；世界第二大經濟體 – 國內生產總值：17.96 兆美元（2022 年）
- 國內生產總值增長：2007-2017 年：8.2%（年增率）；2018 年：6.6%；2022 年：3%
- 全球最大的發展中國家：人均國內生產毛額 - 12,720.2 美元（2022 年）
- 經濟結構快速變化：工業化、城市化

中國能源體系的三大驅動力



中國能源發展面臨的主要挑戰

經濟挑戰 <ul style="list-style-type: none"> • 能源安全 • 電力短缺 	+	環境挑戰	+	社會挑戰
--	---	-------------	---	-------------

B. 中國能源：五大特徵與趨勢

- 減少對煤炭的依賴，同時煤炭作為燃料繼續佔據主導地位
煤炭 - 2010 年：73% -> 2022 年：52%
- 電力產業規模快速增長
 - 中國第一座發電站：1882 年在上海啟動，裝置容量 11.67 千瓦。
 - 這個上海第一電廠到底有多大？一座 11.67 千瓦的發電廠運轉一小時，可產生 11.67 千瓦時的電量，可供電磁爐運轉（因此可以吃火鍋）4 小時。
 - 2000 年代中期中國電力增長率—「史上最大」
 - 發電裝置總容量 - 2020 年：31932 -> 2022 年：256794
- 能源消耗快速增長
- 中國仍是世界主要溫室氣體排放國
 - 2006 年—隨著經濟增長，中國排放了超過 62 億噸二氧化碳，超過了美國（58 億噸二氧化碳）
<http://www.theguardian.com/environment/2007/jun/19/china.usnews> China:
<http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=CH#cde> US: <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=US#cde>
 - 人均二氧化碳排放量：2019 年中國人均二氧化碳排放量為 7.6 噸，而全球人均二氧化碳排放量為 4.78 噸。
 - 電力產業：2020 年約佔全國二氧化碳排放總量的 50% (Wang, Lin et al. 2021, IEA 2022)
(資料來源：世界銀行
[http://data.wohrltdtbpasn:k/.owrgw/inwd.isctaotitirs/tEaN..cAoTmM./CsOta2tEi.sPtCic/cso/u2n6t8ri7es5/31W/c-oC2N--eUmS?idsissipolanys=-gpraerh-c\)apita-worldwide-since-1990/](http://data.wohrltdtbpasn:k/.owrgw/inwd.isctaotitirs/tEaN..cAoTmM./CsOta2tEi.sPtCic/cso/u2n6t8ri7es5/31W/c-oC2N--eUmS?idsissipolanys=-gpraerh-c)apita-worldwide-since-1990/))
- 能源資源稟賦—豐富，但全國地域分佈極不平均

1990 年能源資源區域分佈、經濟與能源利用 (百分比)

	華北地區	東北地區	華東地區	華中地區	西南地區	西北地區
能源資源包括：	32.3	5.9	9.6	8.5	23.7	20.0
煤	43.2	5.8	11.4	6.2	9.9	23.5
水力發電	1.2	2.0	3.6	15.5	67.8	9.9
石油及天然氣	10.0	47.8	18.4	8.	4.7	11.1

Zhang, Z. (1998). The economics of energy policy in China : implications for global climate change / Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar., p. 54

新疆 - 中國的主要能源基地

	佔全國總量
煤炭儲量	40%
石油儲量	25%
天然氣儲量	30%
風能資源	25%

C. 中國能源科技的四大發展

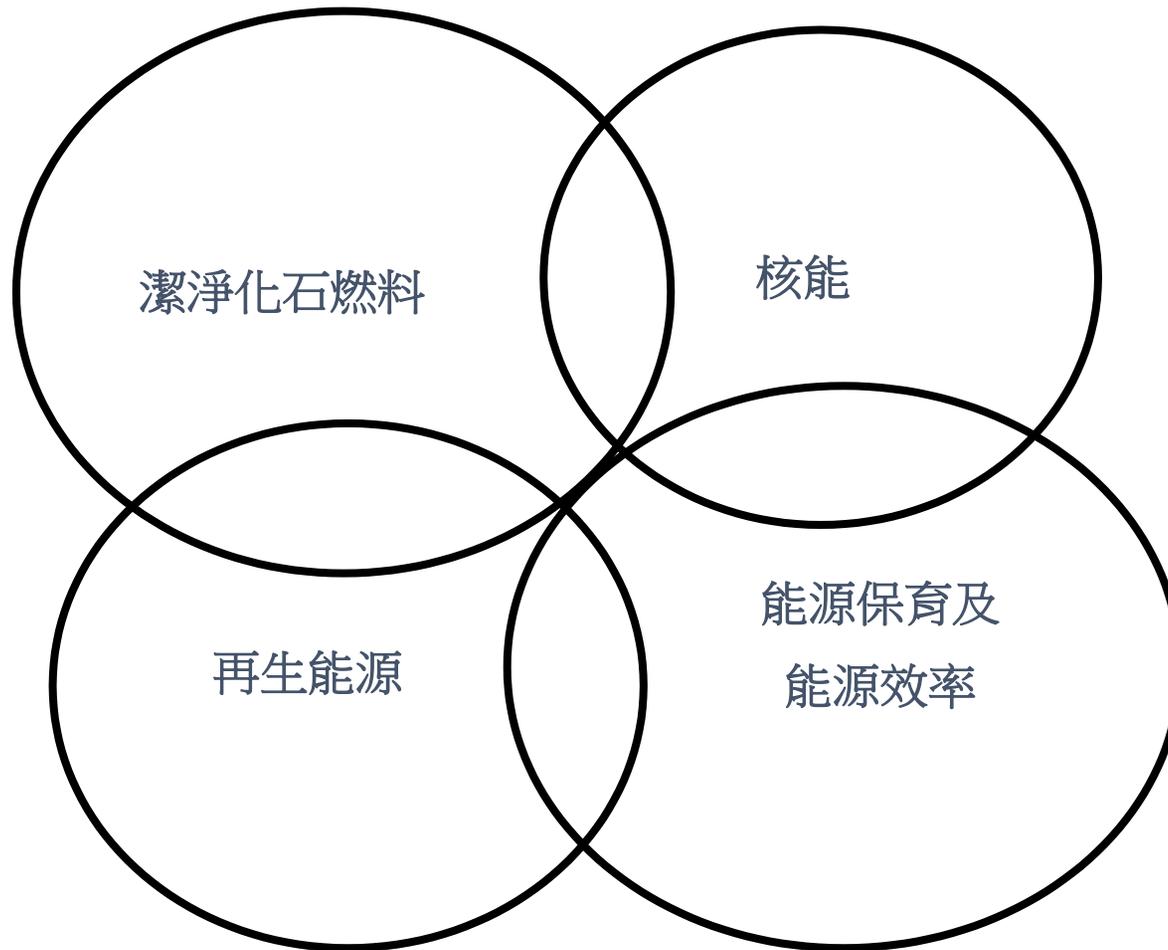
1. 能源可持續發展的三個原則：

- a) 經濟可持續性：可負擔性、可靠性（能源安全）和效率
 - 經濟持續增長、金融穩定、通膨低且穩定
- b) 環境可持續性：低排放和生物物理系統的彈性
- c) 社會可持續性：可接受性與可達度

可持續能源…以可負擔的價格提供充足及安全的能源供應，對環境影響低甚至為零，同時公眾對已做出的能源決策有很高的接受程度。

可持續能源的原則	煤	石油	天然氣	核能	水力	其他再生能源 (例如：太陽能、風能)
環境： 低排放和彈性	「最污穢的化石燃料」	高排放；漏油	<ul style="list-style-type: none"> • 排放量較低（但仍較高） • 仍排放氮氧化物和粒子 	<ul style="list-style-type: none"> • 在發電過程中低碳排放 • 要處理使用過的燃料 • 消耗大量淡水 	<ul style="list-style-type: none"> • 在發電過程中低碳排放 • 對水文的影響 • 沉積物 • 侵蝕 	<ul style="list-style-type: none"> • 在發電過程中低碳排放 • 風能：選址問題（視覺、噪音）
經濟： 負擔性、可靠性和效率	<ul style="list-style-type: none"> • 供應有限 • 煤礦並非總是位於高需求的地區（例如：廣東） • 鐵路運輸 	<ul style="list-style-type: none"> • 供應有限 • 全球分佈不均 • 價格波動 	<ul style="list-style-type: none"> • 供應有限 • 全球分佈不均 • 價格波動 	<ul style="list-style-type: none"> • 鈾：供應有限 • 建造成本高（成本超支） 	<ul style="list-style-type: none"> • 無需燃料 • 地域有限 	<ul style="list-style-type: none"> • 無需燃料 • 許多再生能源尚不具成本競爭力 • 再生能源的大量採用導致價格顯著上漲（例如希臘、義大利、日本） • 間歇性和電網連接限制 • 地域有限
社會： 可接受性 可達度	<ul style="list-style-type: none"> • 鄰避問題 	<ul style="list-style-type: none"> • 戰爭 • 鄰避問題 	<ul style="list-style-type: none"> • 戰爭 • 鄰避問題 	<ul style="list-style-type: none"> • 鄰避問題 • 當地人的搬遷 • 土地將被廢棄數十年 • 無法承受的風險？ 	<ul style="list-style-type: none"> • 當地人的搬遷 	<ul style="list-style-type: none"> • 綠色就業 • 生物燃料：糧食價格；農地可用性

四大能源途徑



2. 能源科技方案（1）：淨化化石燃料和碳市場

a) 中國煤炭淨化技術的主要進展：

- 碳捕集、利用和儲存（CCUS）技術：涉及捕集和壓縮發電和工業設施排放的二氧化碳
- 將其安全地存放在地下或將其轉移以用於其他的應用上，例如：提高石油產量
- CCUS 項目是資本密集、複雜性和產業規模小，因此成本居高不下

<https://www.pngwing.com/en/free-png-pszcq>

b) 中國全國排污權交易計畫（2021 年 7 月 16 日開始）

- 時間：中國國家碳排放交易體系於 2021 年 7 月開始營運
- 目標：為有效減少碳排放量做出貢獻。
- 市場規模：覆蓋排放量全球最大，預計覆蓋超過 40 億噸二氧化碳，佔全國碳排放量的 40% 以上。
- 中國國家碳排放交易體系對年排放量超過 26,000 噸二氧化碳的電力業 2,000 多家公司進行監管，其中包括熱電聯產以及其他行業的自備電廠。
- 這是一個基於強度的系統，使用基準並根據實際生產水準自由分配配額。

c) 排放交易如何運作：

上限	+	分配	+	貿易	=	目標
----	---	----	---	----	---	----

- 上限：例如一個地區/一個國家/一個城市－限制總排放水平
- 分配：將排放報價（例如：排放一噸二氧化碳的許可證）分配給發電廠、工廠或其他污染源
- 貿易：公司可以選擇：
 - 企業可以在碳交易所（例如：芝加哥碳交易所、歐洲氣候交易所、北京環境交易所）買賣**排放許可證**
 - 二氧化碳有**價格標籤**：可交易許可證的價格依市場供需變化，類似證券交易所
 - 企業可以選擇：
 - 他們可以清理自己發電廠的排放（例如：安裝煙氣脫硫裝置）以滿足「**允許**」**排放水平**
 - 有些可能**做得比要求更好**－擁有備用排放許可證－可以出售
 - 有些人可能會發現單獨減排**成本太高**－可以從市場上購買

d) 中國國家碳排放權交易計劃

- 直至 2023 年 12 月 29 日：
 - 累積交易量：4.42 億噸二氧化碳
 - 累計交易額：249.19 億元人民幣（約 277 億港元）
 - 每日綜合價格收盤於每噸 41.46-81.67 元（約 46-90 港元）之間。

<https://m.bjx.com.cn/mnews/20240103/1353882.shtml>

e) 有用參考資料：

- (IEA, 2020) <https://www.iea.org/reports/chinas-emissions-trading-Scheme>

- Zhang, Z. (2015). Carbon emissions trading in China: the evolution from pilots to a nationwide scheme. *Climate Policy*, 15(sup1), S104-S126. doi:10.1080/14693062.2015.1096231

3. 能源科技方案（2）：核能

a) 目前情況：

核反應堆數目：

- 53 個操作中 (2022 年)
- 18 建設中 (2022 年)
- 廣東有 2 個在建設中—陽江和台山 (2019 年)
- 核電佔中國總發電裝置容量的 2.2%—截至 2022 年
(資料來源：中國統計年鑑 2023)

b) 福島事故後中國的核能政策

- 擴建計畫再次加快步伐
- 但是，有更多限制：
 - 地點：只能核准沿海項目，無法核准內陸項目
 - 技術要求：只有具有最先進技術的項目才能核准：第三代

4. 能源科技方案（3）：再生能源

a) 水力、風能、太陽能

b) 成就一：全球再生能源安裝領導者

https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf

c) 成就二：再生能源技術製造市場的全球領導者

- 中國是主要再生能源產業的發源地，其中包括全球領先的太陽能 and 風力渦輪機製造商
- 眾多全球排名前十名的太陽能光電和風力發電機

隆基綠能 2021年排名全球 第一 的太陽能 模組製造商	天合光能 2021年排名全球 第二 的太陽能 模組製造商	Goldwind 2022年排名 第四 的風力發電機 組全球製造商
--	--	---

資料來源：

- 太陽能：<https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-solar-pv-module-panel-manufacturers-companies-suppliers-producers>
- 風能：<https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-wind-turbine-manufacturers-makers-companies-suppliers>

- 綠色經濟－創造綠色就業機會

年份	新增風機容量 (吉瓦)	國內生產的渦 輪機比例 (百分比)	國內生產的 渦輪機容量* (吉瓦)	汽輪機生產投 資(億元)	直接就業(創 造就業機會)
2006	1.3	45	0.6	3.8	3660
2007	3.3	58	1.9	12.4	12010
2008	6.2	76	4.7	18.6	18050
2009	13.8	80	11.0	44.2	42850
2010	16.0	80	12.8	51.2	49670
總和 (2006-10)					126240

*由於中國每年新增的渦輪機容量有一部分是進口設備，因此該表列出了僅由國內製造商生產的部分容量。

d) 成果三：中國再生能源科技成本顯著降低

- 中國太陽能發電成本降低（2010 年至 2018 年成本降低約 90%）。
- 水力發電
 - 中國擁有豐富的水能資源（542 吉瓦）－全世界最豐富的
 - 全球水力發電領導者

三峽大壩

- 意義：繼 2500 年前長城建成後中國最大的基礎建設工程
- 建設：1994 年開始
- 規模：大壩高 185 m；水庫 - 長 600 公里，覆蓋面積約 1,100 - 1,500 平方公里
- 目的：
 - 防洪：1998 年，中國遭受了 44 年來最嚴重的洪澇災害(3300 萬人受影響)。
 - 改善內河運輸：將船舶尺寸從 2,000 噸增加到 10,000 噸
 - 水力發電廠發電

三峽大壩的環境影響

第一級	水文 例如：降低速度	水質 例如溫度、懸浮沉積物、溶氧	沉積物 例如：減少沉積物供應	地質 例如：波浪
第二級	氣候 例如：增加蒸發，降水分佈	生境 例如氾濫平原、連通性、生境的複雜性	河道改變 例如：山泥傾瀉、氾濫	資源損失 例如：食物資源、清潔水源
第三級	水生動物群 例如：稀有物種減少、特有物種減少、生物多樣性			

Tullos, D. (2009). Assessing the influence of environmental impact assessments on science and policy: An analysis of the Three Gorges Project. *Journal of Environmental Management*, 90, S208- S223.

- 風能

- 1986 年：中國第一個風力發電場在山東建成
- 自 2005 年以來的驚人增長
- 年增長率 - 100% (2005-2009)
- 2010-2013 年放緩至 15-25%
- 中國風電機組裝機容量從 2004 年的 0.743GW 到 2009 年的 25.81GW, 再到 2019 年的 209GW (CWEA, 2014; 中國年鑑 2020)

新疆哈密風電基地二期三塘湖 第一風電場 A 區 200 MW 項目

- 裝機容量： 200 MW
- 佔地：51 平方公里（大於九龍總面積，即 46.94 平方公里）
 - 使用更大的風力渦輪機
 - 中國風電場安裝的風力發電機的平均規模從 2000 年的每台 618.32 千瓦增加到 2013 年的每台約 1700 千瓦。
 - 2013 年：中國風電機組主流產品為 1.5MW 及 2MW 風扇
 - 到 2013 年底，已裝置容量分別為 1.5 MW 和 2 MW 的 65.4% 和 16.6%
 - 2017 年：5 兆瓦
 - 風機尺寸的增長是中國風電科技製造能力進步的重要指標。
 - 風機國產化
 - 中國的風力發電機科技起源於較發達國家，其中大部分來自歐洲。
 - 2003 年新增的風力渦輪機裝置中，只有約 11% 由中國製造商提供
 - 2013 年僅 88%；… 2018 年 90%
 - 對於降低成本至關重要
<https://www.weforum.org/agenda/2017/08/how-china-is-leading-the-renewable-energy-revolution>
 - 離岸及發展
 - 離岸風電－中國尚未開發的資源
 - 中國第一個離岸風電場：上海 - 34 台渦輪機 x 3MW (2010 年)
 - 更多離岸風電場 - 例如：在江蘇

- 然而，離岸風電的開發成本是中國仍然豐富的陸上資源的兩倍多
- 太陽能
 - 太陽能資源豐富－中國超過 2/3 的地區日照時間超過 2200 小時 (Zhang et al., 2013)
 - 光電製造業：
 - 2007 年，中國超越日本，成為最大的光電製造商的置國家 (Zhang et al., 2014)
 - 2012 年，中國的年產量約為 27,000 兆瓦，而日本約為 5800 兆瓦，德國約為 800 兆瓦 (Yu et al., 2014).
 - 2016 年全球產能排名前十名的太陽能光電池製造商中有 5 家是中國企業 (REN21, 2016)

5. 能源科技方案 (4)：能源效率 (和智能電網科技)

智能電網是.....

互聯網 ----- 智能電話 ----- 智能電網!

- 智能電網：「能源互聯網」
 - 透過資訊科技實現現有電網系統的現代化
 - 實現可持續能源轉型的賦能與變革技術
 - 智能電網在能源管理的需求方 (例如：節能) 和供應方 (例如：再生能源) 方面都發揮著重要作用
- 智能電錶 (智能電網) 和增強電力最終用戶的能力
 - 《能源發展「十三五」規劃》提出加速發展智慧能源，實施能源供給與消費智慧轉型
 - 推廣能源監測、能源計量、高效率調度和智慧能源管理系統