

教师国情教育系列：(3) 我国的能源及其环境管治

讲者：

香港浸会大学地理系副教授、亚洲能源研究中心总监马雅燕博士

日期：二零二四年三月十九日（星期二）



I. 中国能源概况

A. 概况

中国正加速推动能源低碳转型

- 增强供电稳定性
- “2030 年碳排放高峰” 和 “2060 年碳中和”
- 减少燃煤发电
- 持续发展再生能源
- 强化节能



- 煤炭：约占发电机组装机容量的 52%。
- 16%依赖水力发电
- 少量风能（14%）、太阳能（15%）
- 核能（2.2%）

煤炭	水力	核能	风能	太阳能
133329	41406	5553	36564	39268

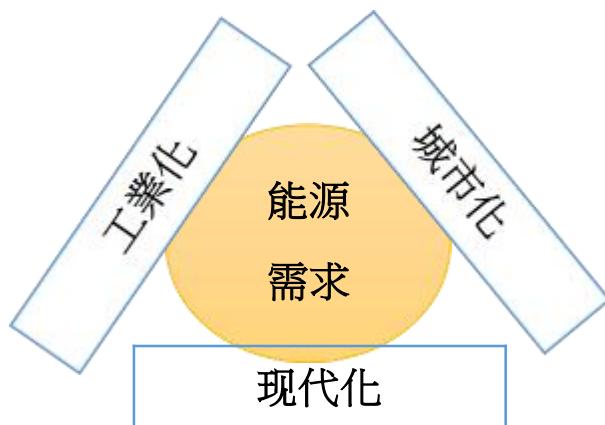
单位：10000kW

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

能源正在推动中国经济的快速发展。

- 面积：960 万平方公里（~美国）
- 人口持续增长：14.1 亿（2022 年），人口占世界人口的 1/5 – 在 2022 年仍是人口最多的国家
- 1978 年以来的经济改革 – 从指令性计划经济转向更市场化的经济
- 经济快速增长：自 1978 年以来，连续 3 年维持两位数增长，每年约 10%；世界第二大经济体 - 国内生产总值：17.96 兆美元（2022 年）
- 国内生产总值增长：2007-2017 年：8.2%（年增长率）；2018 年：6.6%；2022 年：3%
- 全球最大的发展中国家：人均国内生产毛额 - 12,720.2 美元（2022 年）
- 经济结构快速变化：工业化、城市化

中国能源体系的三大驱动力



中国能源发展面临的主要挑战

经济挑战	+	环境挑战	+	社会挑战
<ul style="list-style-type: none"> • 能源安全 • 电力短缺 	+		+	

B. 中国能源：五大特征与趋势

- 减少对煤炭的依赖，同时煤炭作为燃料继续占据主导地位
煤炭 - 2010 年 : 73% -> 2022 年 : 52%
- 电力产业规模快速增长
 - 中国第一座发电站：1882 年在上海启动，装置容量 11.67 千瓦。
 - 这个上海第一电厂到底有多大？一座 11.67 千瓦的发电厂运转一小时，可产生 11.67 千瓦时的电量，可供电磁炉运转（因此可以吃火锅）4 小时。
 - 2000 年代中期中国电力增长率—「史上最大」
 - 发电装置总容量 - 2020 年 : 31932 -> 2022 年 : 256794
- 能源消耗快速增长
- 中国仍是世界主要温室气体排放国
 - 2006 年—随着经济增长，中国排放了超过 62 亿吨二氧化碳，超过了美国（58 亿吨二氧化碳）

<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 年中国人均二氧化碳排放量为 7.6 吨，而全球人均二氧化碳排放量为 4.78 吨。
 - 电力产业：2020 年约占全国二氧化碳排放总量的 50% (Wang, Lin et al. 2021, IEA 2022)

(资料来源：世界银行
[http://data.wohrltdtbpasn:k/.owrgw/inwd.isctaotirs/tEaN..cAoTmM./CsOta2tEi.sPtCic/cso/u2n6t8ri7es5/31W/c-oC2N--eUmS?idsissipolans=-gpraeprh-c\)apita-worldwide-since-1990/](http://data.wohrltdtbpasn:k/.owrgw/inwd.isctaotirs/tEaN..cAoTmM./CsOta2tEi.sPtCic/cso/u2n6t8ri7es5/31W/c-oC2N--eUmS?idsissipolans=-gpraeprh-c)apita-worldwide-since-1990/))
- 能源资源禀赋—丰富，但全国地域分布极不平均

1990 年能源资源区域分布、经济与能源利用 (百分比)

	华北地区	东北地区	华东地区	华中地区	西南地区	西北地区
能源资源包括：	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
水力发电	1.2	2.0	3.6	15.5	67.8	9.9
石油及天然气	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 - 中国的主要能源基地

	占全国总量
煤炭储量	40%
石油储量	25%
天然气储量	30%
风能资源	25%

C. 中国能源科技的四大发展

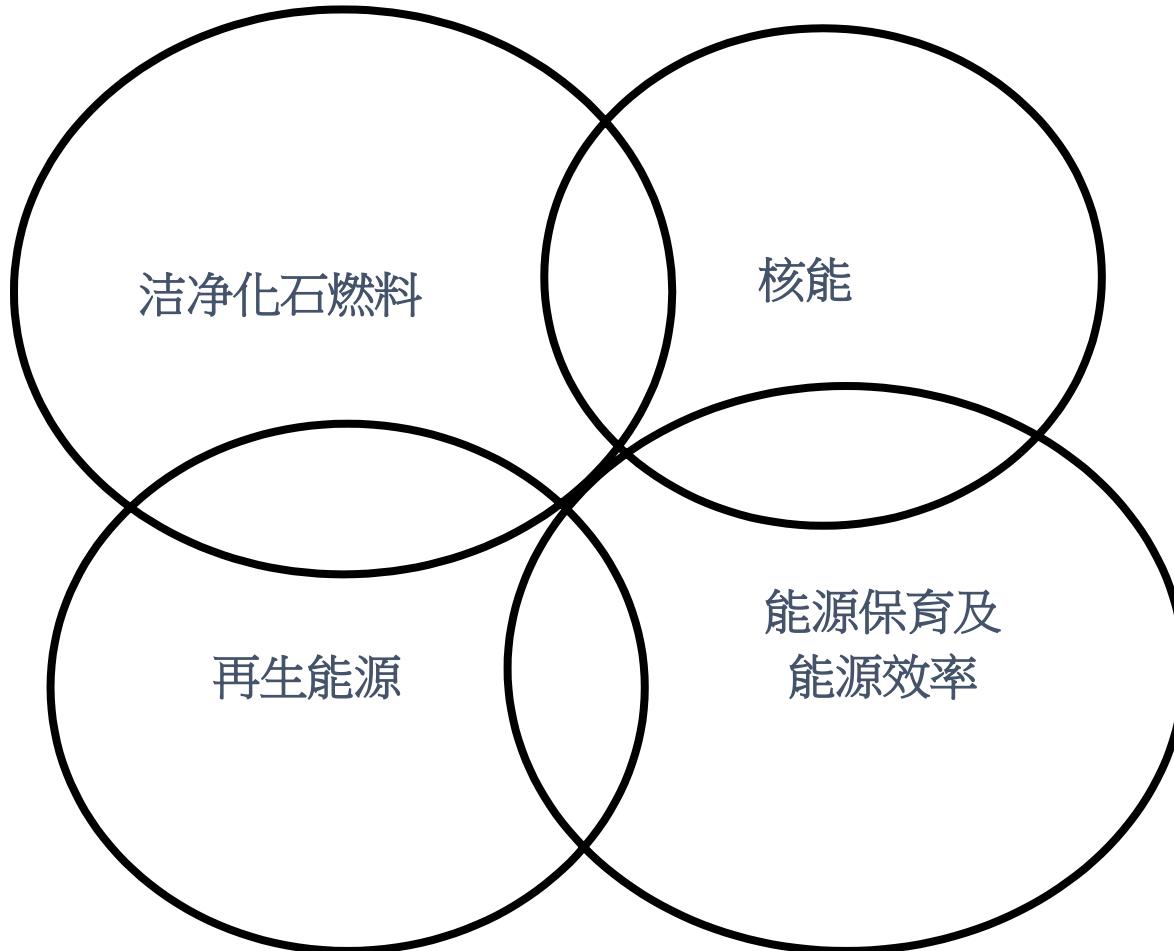
1. 能源可持续发展的三个原则：

- a) 经济可持续性：可负担性、可靠性（能源安全）和效率
 - 经济持续增长、金融稳定、通胀低且稳定
- b) 环境可持续性：低排放和生物物理系统的弹性
- c) 社会可持续性：可接受性与可达度

可持续能源…以可负担的价格提供充足及安全的能源供应，对环境影响低甚至为零，同时公众对已做出的能源决策有很高的接受程度。

可持续能源的原则	煤	石油	天然气	核能	水力	其他再生能源(例如：太阳能、风能)
环境： 低排放和弹性	「最污秽的化石燃料」	高排放；漏油	<ul style="list-style-type: none"> • 排放量较低（但仍较高） • 仍排放氮氧化物和粒子 	<ul style="list-style-type: none"> • 在发电过程中低碳排放 • 要处理使用过的燃料 • 消耗大量淡水 	<ul style="list-style-type: none"> • 在发电过程中低碳排放 • 对水文的影响 • 沉积物 • 侵蚀 	<ul style="list-style-type: none"> • 在发电过程中低碳排放 • 风能：选址问题（视觉、噪音）
经济： 负担性、可靠性和效率	<ul style="list-style-type: none"> • 供应有限 • 煤矿并非总是位于高需求的地区（例如：广东） • 铁路运输 	<ul style="list-style-type: none"> • 供应有限 • 全球分布不均 • 价格波动 	<ul style="list-style-type: none"> • 供应有限 • 全球分布不均 • 价格波动 	<ul style="list-style-type: none"> • 铀：供应有限 • 建造成本高（成本超支） 	<ul style="list-style-type: none"> • 无需燃料 • 地域有限 	<ul style="list-style-type: none"> • 无需燃料 • 许多再生能源尚不具备成本竞争力 • 再生能源的大量采用导致价格显着上涨（例如希腊、意大利、日本） • 间歇性和电网连接限制 • 地域有限
社会： 可接受性可达度	<ul style="list-style-type: none"> • 邻避问题 	<ul style="list-style-type: none"> • 战争 • 邻避问题 	<ul style="list-style-type: none"> • 战争 • 邻避问题 	<ul style="list-style-type: none"> • 邻避问题 • 当地人的搬迁 • 土地将被废弃数十年 • 无法承受的风险？ 	<ul style="list-style-type: none"> • 当地人的搬迁 	<ul style="list-style-type: none"> • 绿色就业 • 生物燃料：粮食价格；农地可用性

四大能源途径



2. 能源科技方案（1）：净化化石燃料和碳市场

a) 中国煤炭净化技术的主要进展：

- 碳捕集、利用和储存（CCUS）技术：涉及捕集和压缩发电和工业设施排放的二氧化碳
- 将其安全地存放在地下或将其转移以用于其他的应用上，例如：提高石油产量
- CCUS 项目是资本密集、复杂性和产业规模小，因此成本居高不下
<https://www.pngwing.com/en/free-png-pszcq>

b) 中国全国排污权交易计画（2021 年 7 月 16 日开始）

- 时间：中国国家碳排放交易体系于 2021 年 7 月开始营运
- 目标：为有效减少碳排放量做出贡献。
- 市场规模：覆盖排放量全球最大，预计覆盖超过 40 亿吨二氧化碳，占全国碳排放量的 40%以上。
- 中国国家碳排放交易体系对年排放量超过 26,000 吨二氧化碳的电力业 2,000 多家公司进行监管，其中包括热电联产以及其他行业的自备电厂。
- 这是一个基于强度的系统，使用基准并根据实际生产水准自由分配配额。

c) 排放交易如何运作：

上限	+	分配	+	贸易	=	目标
----	---	----	---	----	---	----

- 上限：例如一个地区/一个国家/一个城市—限制总排放水平
- 分配：将排放报价（例如：排放一吨二氧化碳的许可证）分配给发电厂、工厂或其他污染源
- 贸易：公司可以选择：
 - 企业可以在碳交易所（例如：芝加哥碳交易所、欧洲气候交易所、北京环境交易所）买卖**排放许可证**
 - 二氧化碳有**价格标签**：可交易许可证的价格依市场供需变化，类似证券交易所
 - 企业可以选择：
 - 他们可以清理自己发电厂的排放（例如：安装烟气脱硫装置）**以满足「允许」排放水平**
 - 有些可能**做得比要求更好** - 拥有备用排放许可证 - 可以出售
 - 有些人可能会发现单独减排**成本太高** - 可以从市场上购买

d) 中国国家碳排放权交易计划

- 直至 2023 年 12 月 29 日：

- 累积交易量：4.42 亿吨二氧化碳
- 累计交易额：249.19 亿元人民币（约 277 亿港元）
- 每日综合价格收盘于每吨 41.46-81.67 元（约 46-90 港元）之间。

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

e) 有用参考资料：

- (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) 目前情况：

核反应堆数目：

- 53 个操作中 (2022 年)
- 18 建设中 (2022 年)
- 广东有 2 个在建设中—阳江和台山 (2019 年)
- 核电占中国总发电装置容量的 2.2%—截至 2022 年
(资料来源：中国统计年鉴 2023)

b) 福岛事故后中国的核能政策

- 扩建计画再次加快步伐
- 但是，有更多限制：
 - 地点：只能核准沿海项目，无法核准内陆项目
 - 技术要求：只有具有最先进技术的项目才能核准：第三代

4. 能源科技方案（3）：再生能源

a) 水力、风能、太阳能

b) 成就一：全球再生能源安装领导者

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

c) 成就二：再生能源技术制造市场的全球领导者

- 中国是主要再生能源产业的发源地，其中包括全球领先的太阳能和风力涡轮机制造商
- 众多全球排名前十名的太阳能光电和风力发电机

隆基绿能 2021年排名全球第一的太阳能 模组制造商	天合光能 2021年排名全球第二的太阳能 模组制造商	Goldwind 2022年排名第四的风力发电机 组全球制造商
----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------

资料来源：

- 太阳能：<https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-solar-pv-module-panel-manufacturers-companies-suppliers-producers>
- 风能：<https://www.blackridgeresearch.com/blog/top-wind-turbine-manufacturers-makers-companies-suppliers>

- 绿色经济—创造绿色就业机会

年份	新增风机容量 (吉瓦)	国内生产的涡 轮机比例 (百分比)	国内生产的 涡轮机容量* (吉瓦)	汽轮机生产投 资(亿元)	直接就业(创 造就业机会)
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
总和 (2006-10)					126240

*由于中国每年新增的涡轮机容量有一部分是进口设备，因此该表列出了仅由国内制造商生产的一部分容量。

d) 成果三：中国再生能源科技成本显着降低

- 中国太阳能发电成本降低（2010 年至 2018 年成本降低约 90%）。
- 水力发电
 - 中国拥有丰富的水能资源（542 吉瓦）—全世界最丰富的
 - 全球水力发电领导者

三峡大坝

- 意义：继 2500 年前长城建成后中国最大的基础建设工程
- 建设：1994 年开始
- 规模：大坝高 185 m；水库 - 长 600 公里，覆盖面积约 1,100 - 1,500 平方公里
- 目的：
 - 防洪：1998 年，中国遭受了 44 年来最严重的洪涝灾害(3300 万人受影响)。
 - 改善内河运输：将船舶尺寸从 2,000 吨增加到 10,000 吨
 - 水力发电厂发电

三峡大坝的环境影响

第一级	水文 例如：降低速度	水质 例如温度、悬浮沉积物、溶氧	沉积物 例如：减少沉积物供应	地质 例如：波浪
第二级	气候 例如：增加蒸发，降水平分布	生境 例如泛滥平原、连通性、生境的复杂性	河道改变 例如：山泥倾泻、泛滥	资源损失 例如：食物资源、清洁水源
第三级	水生动物群 例如：稀有物种减少、特有物种减少、生物多样性			

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.

• 风能

- 1986 年：中国第一个风力发电场在山东建成
- 自 2005 年以来的惊人增长
- 年增长率 - 100% (2005-2009)
- 2010-2013 年放缓至 15-25%
- 中国风电机组装机容量从 2004 年的 0.743GW 到 2009 年的 25.81GW, 再到 2019 年的 209GW (CWEA, 2014; 中国年鉴 2020)

新疆哈密风电基地二期三塘湖 第一风电场 A 区 200 MW 项目

- 装机容量： 200 MW
- 占地：51 平方公里（大于九龙总面积，即 46.94 平方公里）
- 使用更大的风力涡轮机
 - 中国风电场安装的风力发电机的平均规模从 2000 年的每台 618.32 千瓦增加到 2013 年的每台约 1700 千瓦。
 - 2013 年：中国风电机组主流产品为 1.5MW 及 2MW 风扇
 - 到 2013 年底，已装置容量分别为 1.5 MW 和 2 MW 的 65.4% 和 16.6%
 - 2017 年：5 兆瓦
 - 风机尺寸的增长是中国风电科技制造能力进步的重要指标。
- 风机国产化
 - 中国的风力发电机科技起源于较发达国家，其中大部分来自欧洲。
 - 2003 年新增的风力涡轮机装置中，只有约 11% 由中国制造商提供
 - 2013 年仅 88%；… 2018 年 90%
 - 对于降低成本至关重要
 - <https://www.weforum.org/agenda/2017/08/how-china-is-leading-the-renewable-energy-revolution>
- 离岸及发展
 - 离岸风电—中国尚未开发的资源
 - 中国第一个离岸风电场：上海 - 34 台涡轮机 x 3MW (2010 年)
 - 更多离岸风电场 - 例如：在江苏

- 然而，离岸风电的开发成本是中国仍然丰富的陆上资源的两倍多
- 太阳能
 - 太阳能资源丰富－中国超过 2/3 的地区日照时间超过 2200 小时 (Zhang et al., 2013)
 - 光电制造业：
 - 2007 年，中国超越日本，成为最大的光电制造商的置国家 (Zhang et al., 2014)
 - 2012 年，中国的年产量约为 27,000 兆瓦，而日本约为 5800 兆瓦，德国约为 800 兆瓦 (Yu et al., 2014).
 - 2016 年全球产能排名前十名的太阳能光电池制造商中有 5 家是中国企业 (REN21, 2016)

5. 能源科技方案（4）：能源效率（和智能电网科技）

智能电网是……

互联网 ----- 智能电话 ----- 智能电网！

- 智能电网：「能源互联网」
 - 透过资讯科技实现现有电网系统的现代化
 - 实现可持续能源转型的赋能与变革技术
 - 智能电网在能源管理的需求方（例如：节能）和供应方（例如：再生能源）方面都发挥着重要作用
- 智能电表(智能电网) 和增强电力最终用户的能力
 - 《能源发展「十三五」规划》提出加速发展智慧能源，实施能源供给与消费智慧转型
 - 推广能源监测、能源计量、高效率调度和智慧能源管理系统