

清洁高效的核能助力“双碳”目标的实现

殷雄

2022年6月23日，红沿河核电站六台机组全面建成投产，总装机容量为671万千瓦，成为中国最大的在运核电基地。



由次回溯到1985年3月20日开工、1991年12月15日建成投入运行的秦山核电一期30万千瓦核电机组，我国核电建设走过了37年的光辉历程，硕果累累。



截至目前我国大陆地区在运、在建的核电机组已达74台，总装机容量达到7808万千瓦，占我国电力总装机容量的2.24%，发电量占比为4.86%。

	在运机组			在建机组		
	台数	装机容量	容量占比	台数	装机容量	容量占比
中广核	26	2937.674	52.84%	6	671.800	29.87%
中核	25	2371.000	42.65%	10	1009.600	44.89%
国电投	2	250.600	4.51%	2	306.800	13.64%
华能	0	—	—	3	261.100	11.61%
合计	53	5559.274	100%	21	2249.300	100%

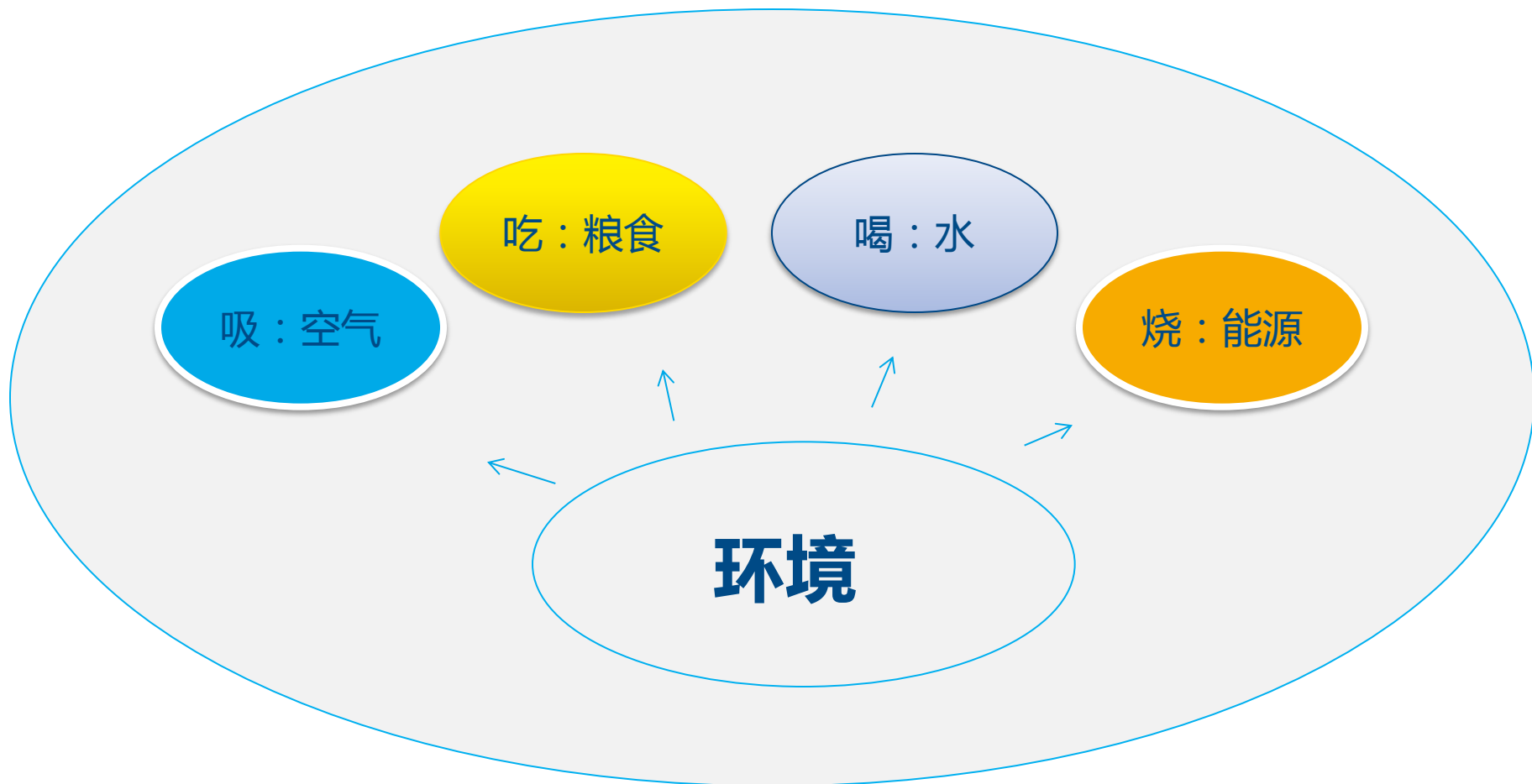
在“双碳”目标大背景下，核电已成为能源转型的重要选项。

同期，世界在运、在建的核电机组分别为439台和59台，总装机容量为4.8亿千瓦，占世界电力总装机容量的6.1%，发电量占比为11%。

	台数	容量	内陆台数	内陆占比
在运	439	41570.274	247	56.26%
在建	59	6466.8	17	28.81%

结论：与世界平均水平相比，我国核电发展的需求旺盛、前景广阔、潜力巨大。

引言：人类生存的四要素



空气：

78%的氮气，21%的氧气，0.94%的稀有气体，0.03%的二氧化碳。碳，氢，氧。

粮食：70%以上为碳水化合物（糖类物质），碳，氢，氧。

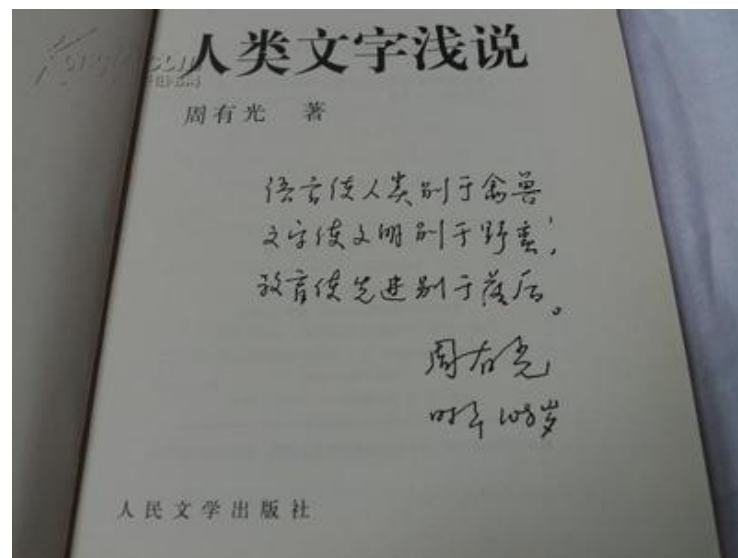
水：氢，氧。

能源：碳，氢，氧。

太阳：四分之三为氢，其余几乎都是氦

周有光先生（1906年1月13日—2017年1月14日）于2005年2月26日（时年100岁）写了三句话：

语言使人类别于禽兽；
文字使文明别于野蛮；
教育使先进别于落后。



笑话：

酒是人与禽兽的区别。

事实：

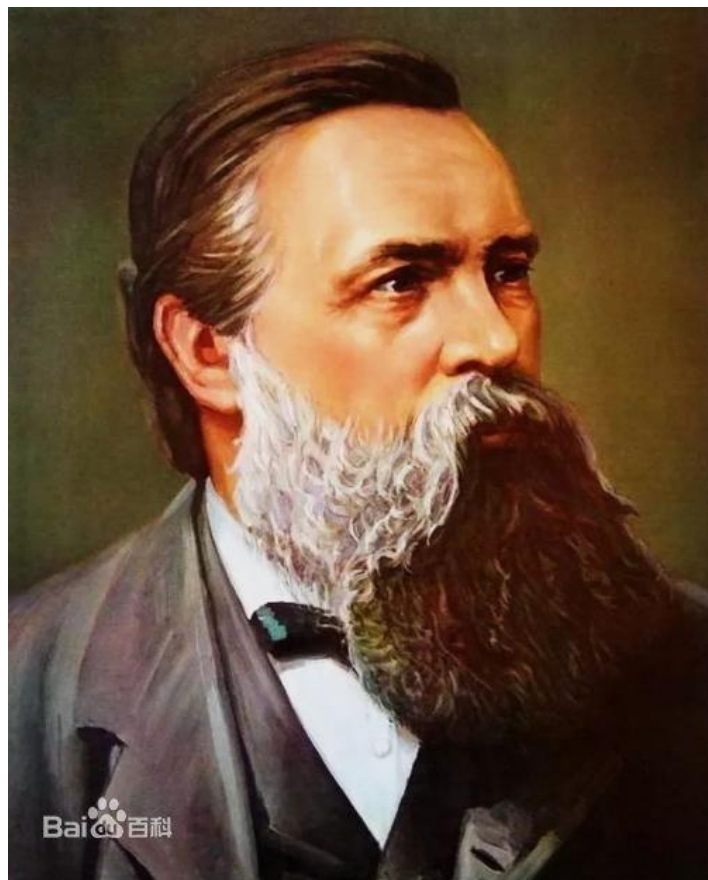
利用能源才是人与禽兽的本质区别。



火：照亮人类文明演化进程之光

恩格斯：“就世界性的解放作用而言，摩擦生火还是超过了蒸汽机，因为摩擦生火第一次使人支配一种自然力，从而最终把人同动物界分开了”，人工取火“是人类对自然界的第一个伟大胜利”

（《马克思恩格斯选集》（第3卷）。北京：人民出版社，1995：456.）



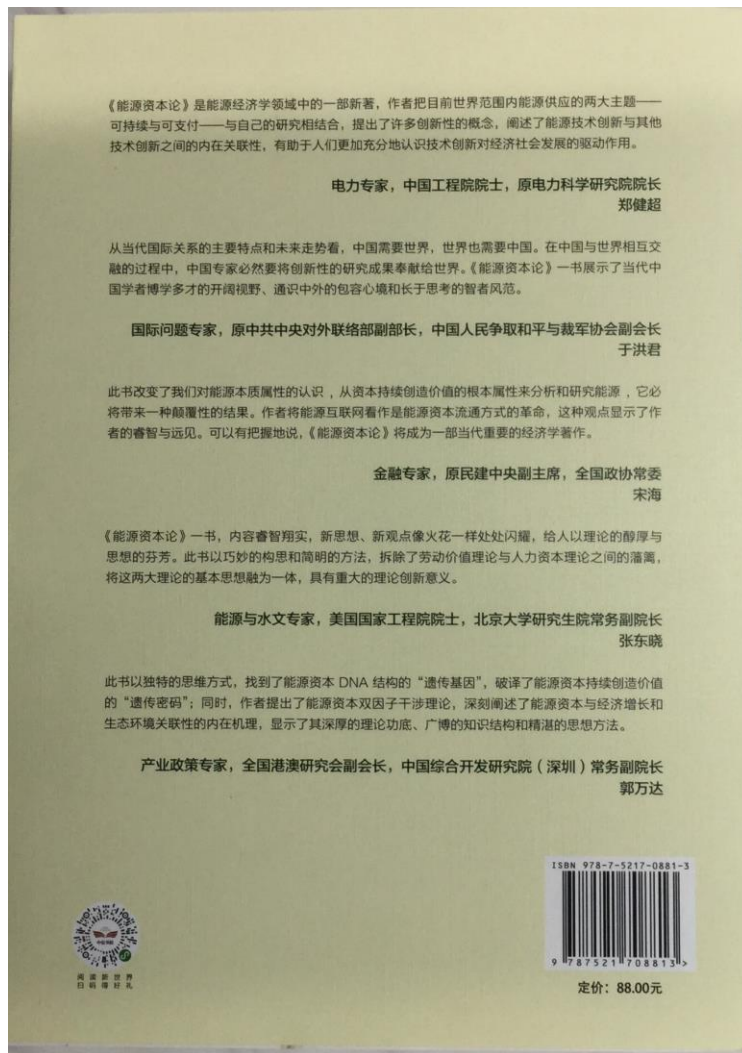
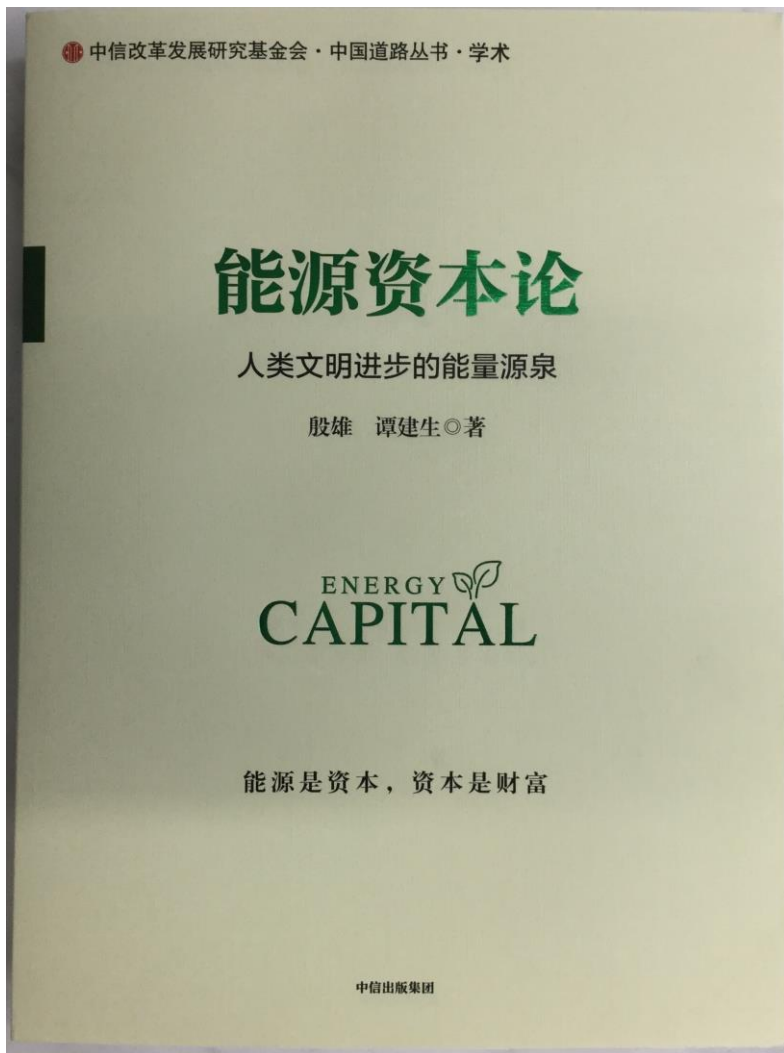
人类文明传承的工具

文字（记载与传播思想）；
 金属器具（人制造、高热量）；
 城市（集约化、分工化、工业化）。

能源是人类文明传承的动力。

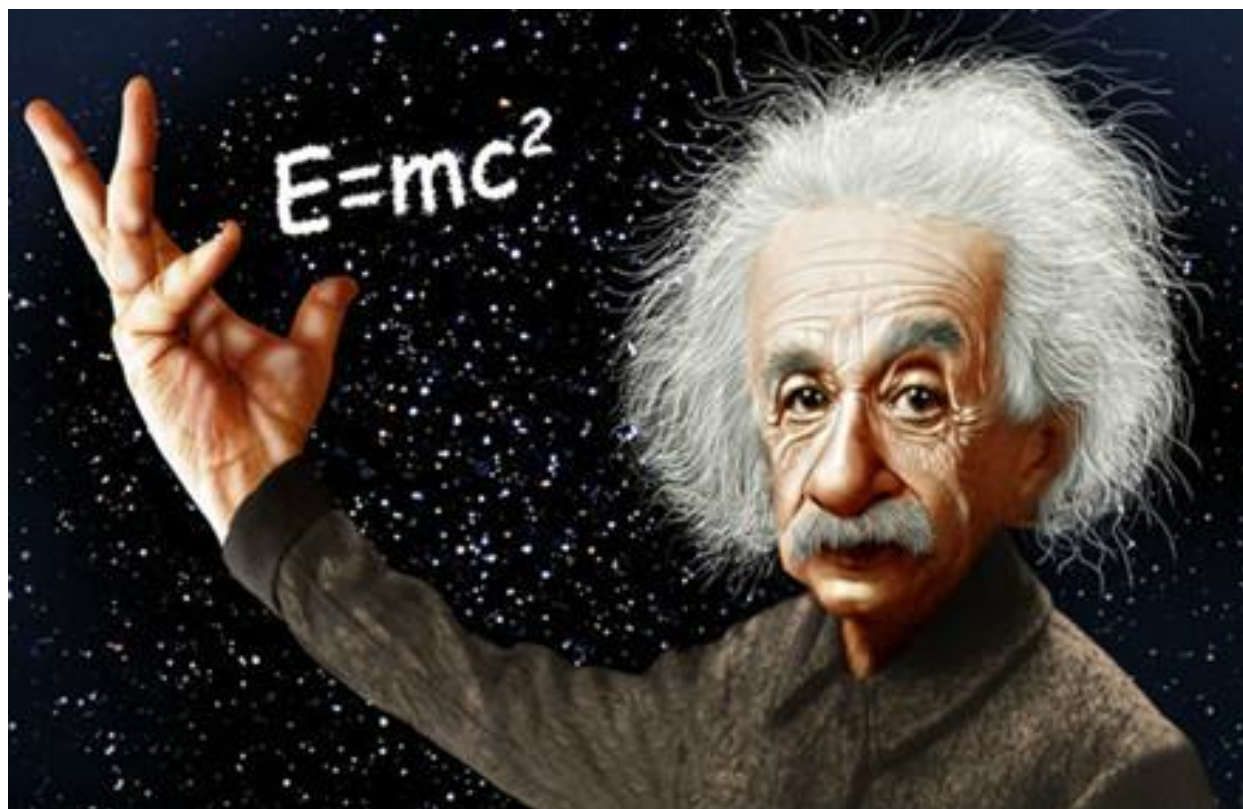


《能源资本论——人类文明进步的能量源泉》

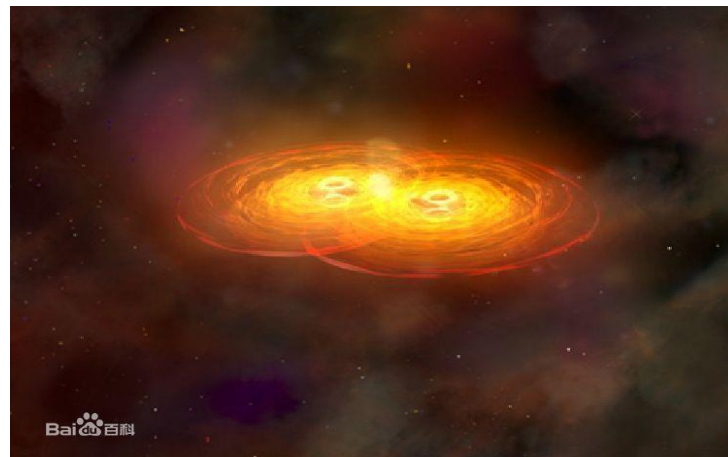
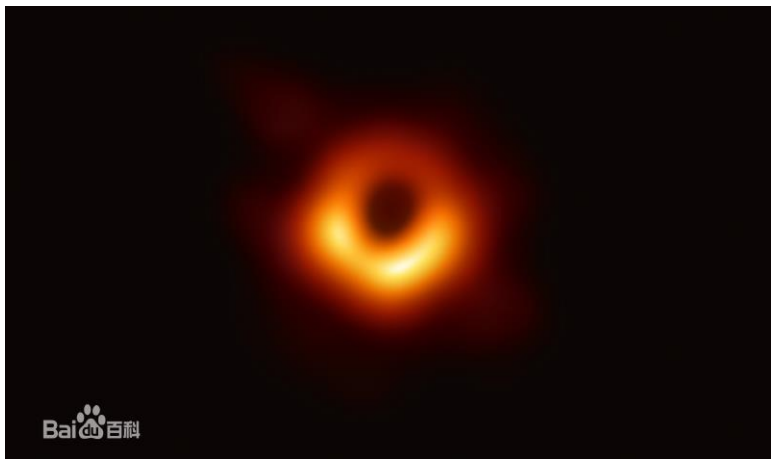


能量的来源

爱因斯坦的质能公式： $E = mc^2$



能量的归属：黑洞



斯蒂芬·霍金：

如果我们真能发现一个完全的理论，如果我们能讨论出答案，这将是人类理智的最大成就。届时，我们就能够知道上帝的想法了。



能源利用的三条道路

**第一条路，回到1750年左右
那种能源贫乏的状况。**

这条路不可能了，因为18世纪的经济规模根本无法养活现在这么多人。



第二条路，限制人口增长与物质需求，改为俭朴的生活，只利用太阳能、水力、地热和风力等。

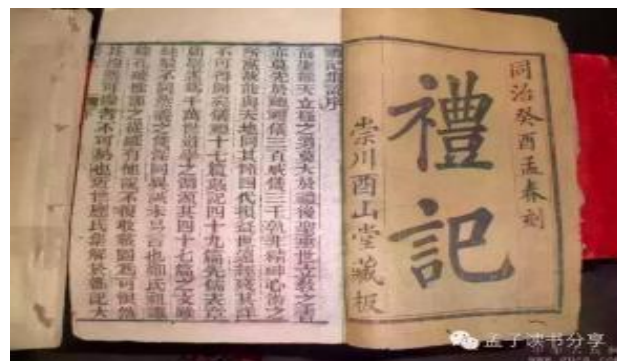
这条路意味着禁欲与节食，但两者都不是人类的天性。

《孟子·告子上》：“食色，性也。”

《礼记·礼运》：“饮食男女，人之大欲存焉。”

《论语·里仁》：“富与贵，是人之所欲也，不以其道得之，不处也；贫与贱，是人之所恶也，不以其道得之，不去也。”

《论语·宪问》：“贫而无怨，难。”



第三条路，规模化运用核能和其它可再生能源。

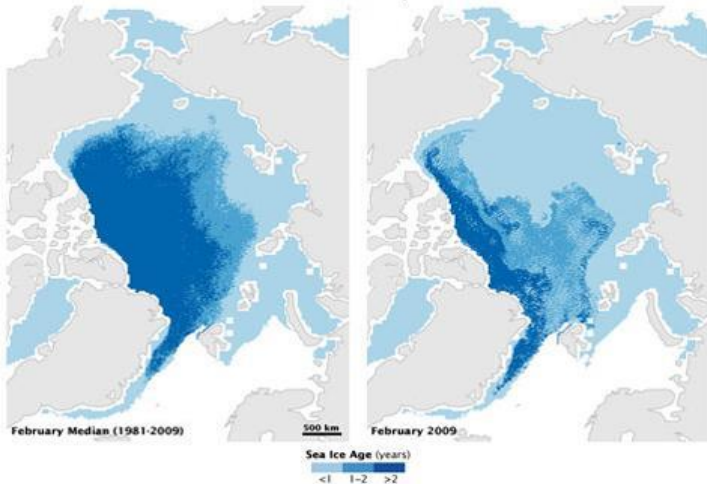
这条路成为必然。



温室效应

- ◆ 全球每年排放250 多亿吨CO₂，空气中的CO₂浓度，从工业化150多年以来，已从280ppm 增至380ppm，目前以3ppm/年的速度增长。为了防止温室气体对地球产生灾难性后果，全世界都在采取措施减排CO₂。

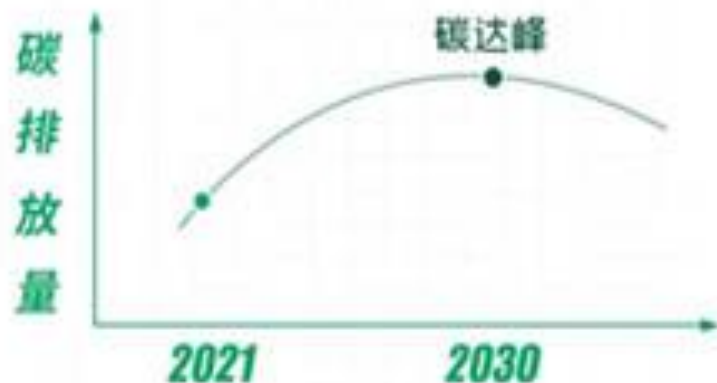
Amount of Old Ice in Arctic Hits Record Low in February 2009



碳达峰与碳中和



某一个时刻，二氧化碳排放量达到历史最高值，之后逐步回落。



通过植树造林、节能减排等形式，抵消自身产生的二氧化碳或温室气体排放量，实现正负抵消，达到相对“零排放”。



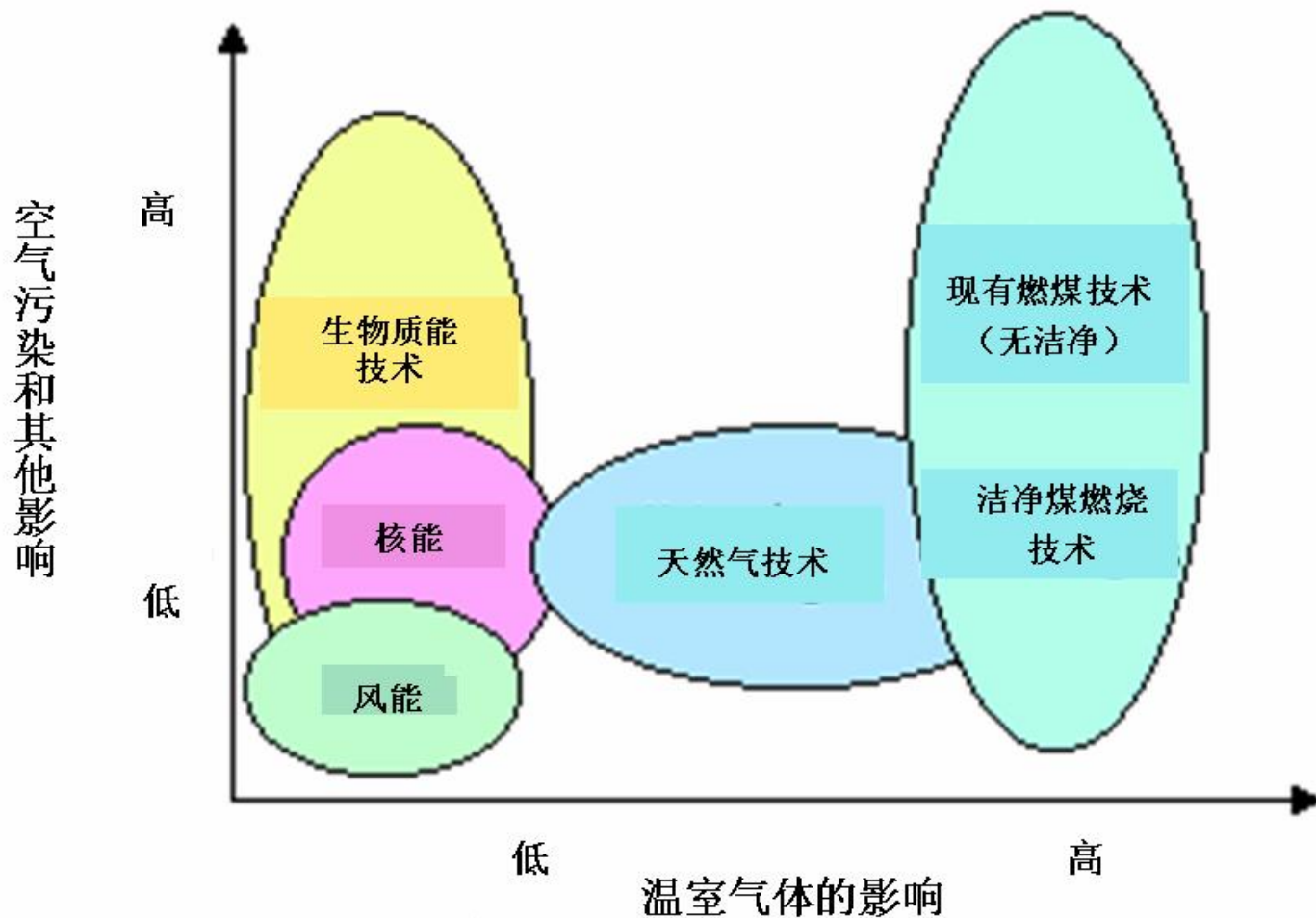
排放 = 吸收

中国减排“双目标”承诺

《中国的能源政策(2012)》白皮书承诺：

- ◆ 2020年非化石能源占一次能源消费总量的比例达到15%（2015年该比例为11.9%）；
- ◆ 2020年单位GDP二氧化碳排放较2005年下降40~45%；
- ◆ 2030年二氧化碳排放达到峰值，非化石能源占一次能源的比重提升到20%。

不同能源形态对环境的影响



核时代的序幕

云深不知处-X射线（伦琴射线）

- ◆ 1895年11月8日，德国维尔茨堡，伦琴在研究阴极射线时无意间发现了一种新的射线-X射线（伦琴射线）。
- ◆ 1901年，伦琴获得首届诺贝尔物理学奖。



威廉·康拉德·伦琴



世界上第一张X线照片-伦琴夫人的手骨骼图

铀元素的发现（一）

◆1789年，发生了两件具有
世界历史意义的重大事件

——法国爆发了资产阶级大革命，巴黎
市民攻占了巴士底狱。

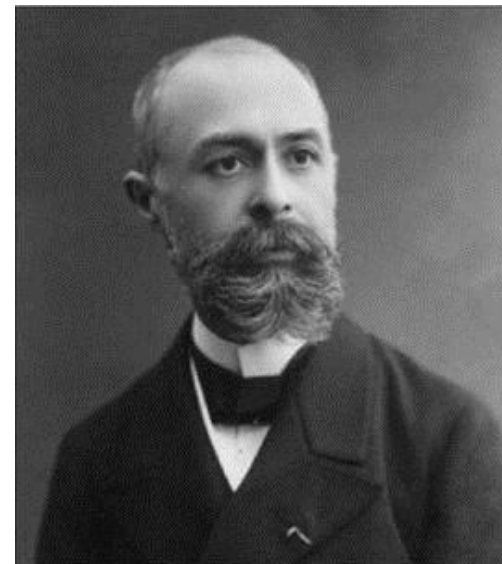
——德国矿物学家马丁·克拉普罗特发现了铀
元素。因当时发现了天王星（Uranus），因
此命名为“铀”。



克拉普罗特, 1818

铀元素的发现（二）

- ◆ 1896年，法国科学家安东尼·贝克勒尔发现了铀的放射性，即具有自发放出能量的能力。



放射性活度：每秒钟原子核发生衰变的次数。

1居里= 3.7×10^{10} 贝可

1903年，贝克勒尔与居里夫妇共享了第三届诺贝尔物理学奖。

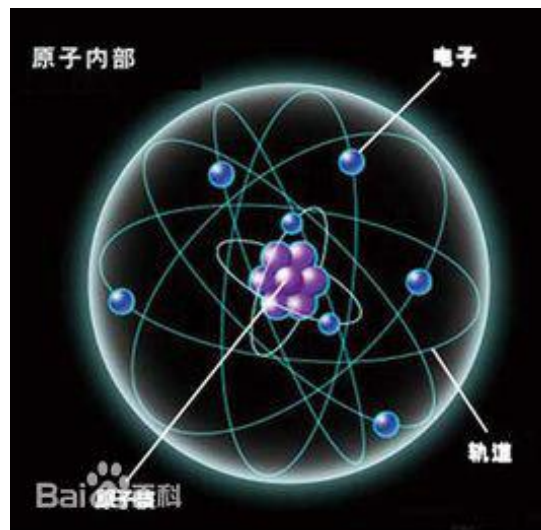


核裂变现象的发现

- ◆ 1939年9月初，玻尔和他的合作者惠勒从理论上阐述了原子核裂变反应过程，并指出能引起这一反应的最适宜的核素就是铀-235，这就找到了人类打开原子弹奥秘的“金钥匙”。
- ◆ 从此，人类正式进入了核时代。



尼尔斯·玻尔



玻尔原子模型

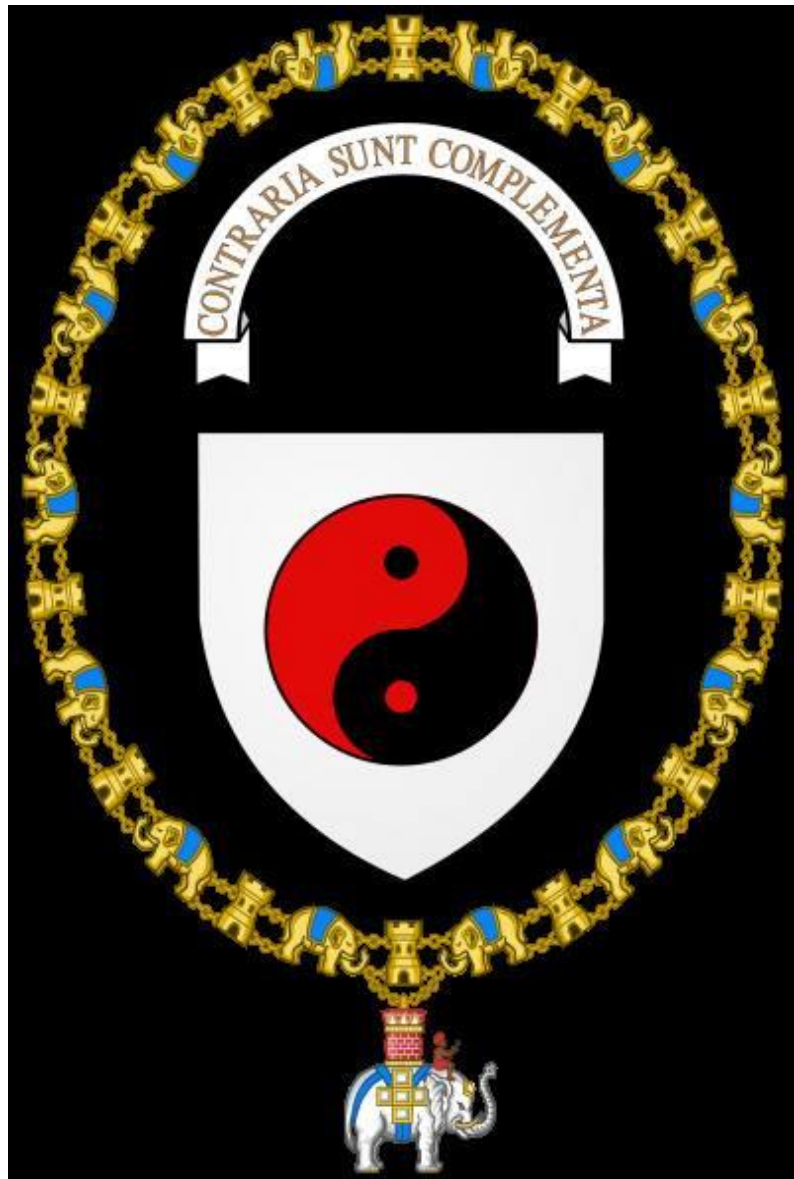
玻尔族徽

玻尔的核心思想：

互补原理（并协原理）

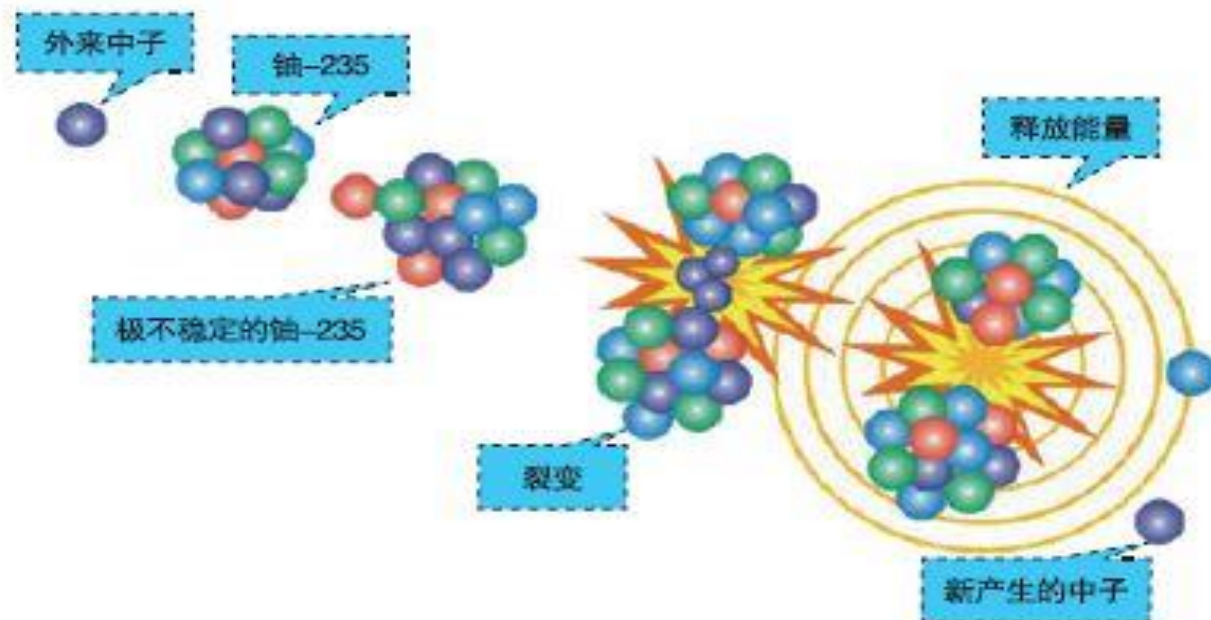
**CONTRARIA SUNT
COMPLEMENTA :**

互斥即互补（太阳即太阴）



核裂变的过程（一）

- ◆ 铀核裂变能够释放出巨大的能量，并且同时放出2-3个中子，表明原子核有可能发生裂变链式反应。



铀-235核裂变示意图

何泽慧：三分裂、四分裂现象



核裂变的过程（二）

◆核裂变过程的三个效应

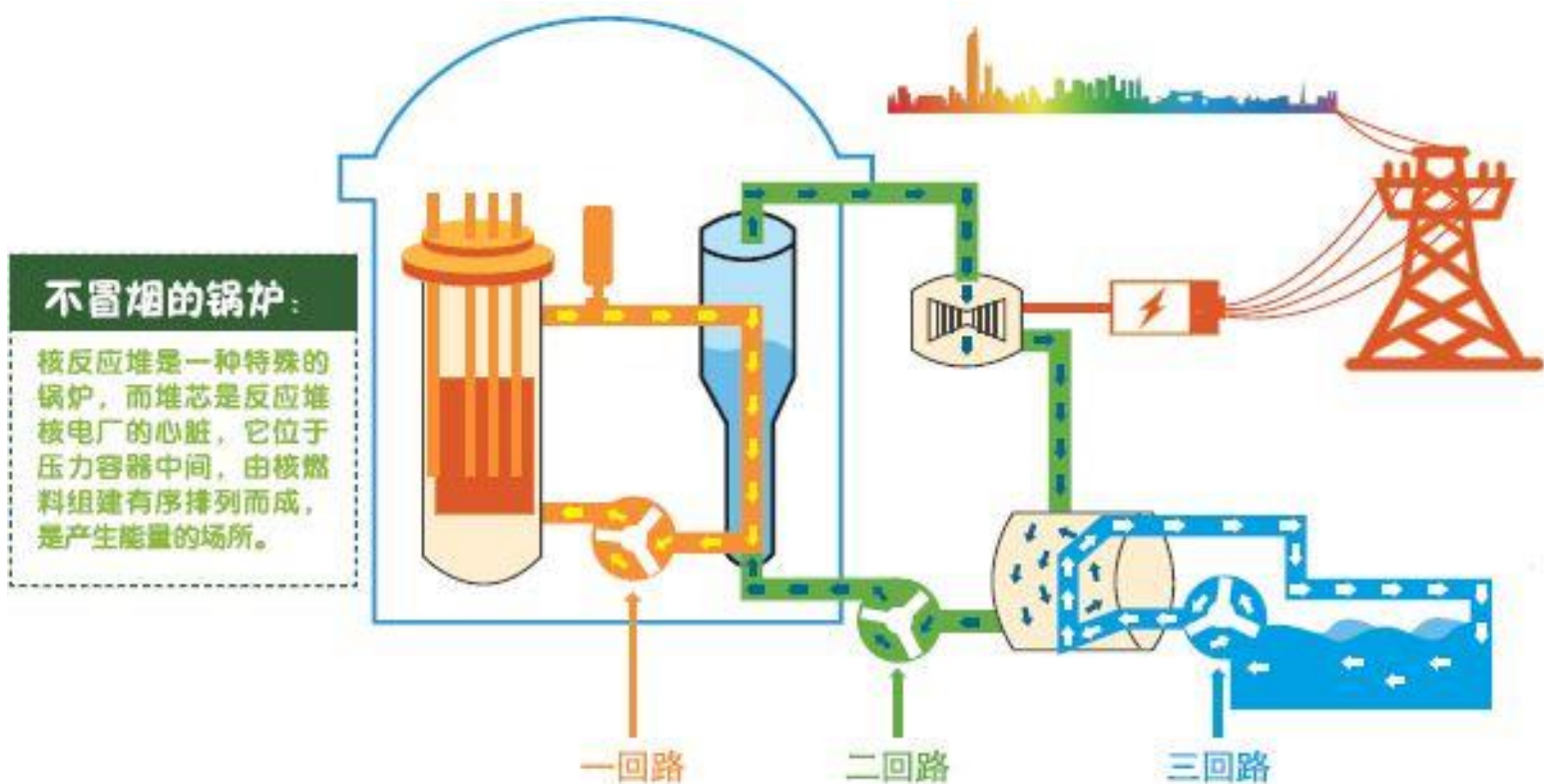
——释放大量的热量（核能）。

——产生裂变碎片（随着积累，会阻碍可裂变材料的进一步裂变，到一定程度，可使裂变难以进行，产生了乏燃料，需要停堆处理）。

——可转换材料转变为可裂变材料（核燃料增殖堆的基础）。

核电站运行原理

- ◆ 核电站是利用铀-235的原子核在可控链式裂变反应中产生的热量，加热水产生蒸汽，推动汽轮发电机产生电力。
- ◆ 核电站的核心设备是核反应堆。



核反应堆的分类

◆ 核反应堆有900多种物理概念设计，但现实中非常有限，主要分类如下：

按中子能量分类	快中子堆 (FWR)	中子能量大于1MeV
	中能中子堆	中子能量大于0.1eV小于0.1MeV
	热中子堆	中子能量大于0.025eV小于0.1eV
按冷却剂和慢化剂分类	轻水堆	压水堆 (PWR)、沸水堆 (BWR)
	重水堆	压力管式、压力容器式、重水慢化轻水冷却堆
	有机堆	重水慢化有机冷却堆
	石墨堆	石墨水冷堆、石墨气冷堆
	气冷堆	天然铀石墨堆、改进型气冷堆 (AGR)、高温气冷堆、重水慢化气冷堆
	液态金属冷却堆	熔盐堆、钠冷快堆
按堆芯结构分类	均匀堆	堆芯核燃料与慢化剂、冷却剂均匀混合
	非均匀堆	堆芯核燃料与慢化剂、冷却剂呈非均匀分布，按要求排列成一定形状
按用途分类	生产堆	生产Pu、氙以及放射性同位素
	发电堆	生产电力
	动力堆	为船舶、军舰、潜艇作动力
	实验堆	做燃料、材料的科学研究工作
	增殖堆	新生产的核燃料 (Pu-239, U-233) 大于消耗的 (Pu-239, U-233, U-235)

核电的特征



安全可靠

科学原理上是安全可靠的



工程设计上是安全可靠的



生活经验上是安全可靠的



科学原理上是安全可靠的

- ◆ 核燃料浓度低，用形象比喻，即“啤酒烧不着”。
- ◆ 美国三哩岛核事故是堆芯失水熔化。
- ◆ 前苏联切尔诺贝利核事故是蒸汽爆炸。
- ◆ 日本福岛核事故主要是氢气爆炸。



铀-235 < 5%

=



遇火不可燃



铀-235 > 90%

=



遇火可燃

工程设计上是安全可靠的

- ◆ 只要有一道屏障是完整的，就不会发生放射性物质外泄的事故。

第一道屏障

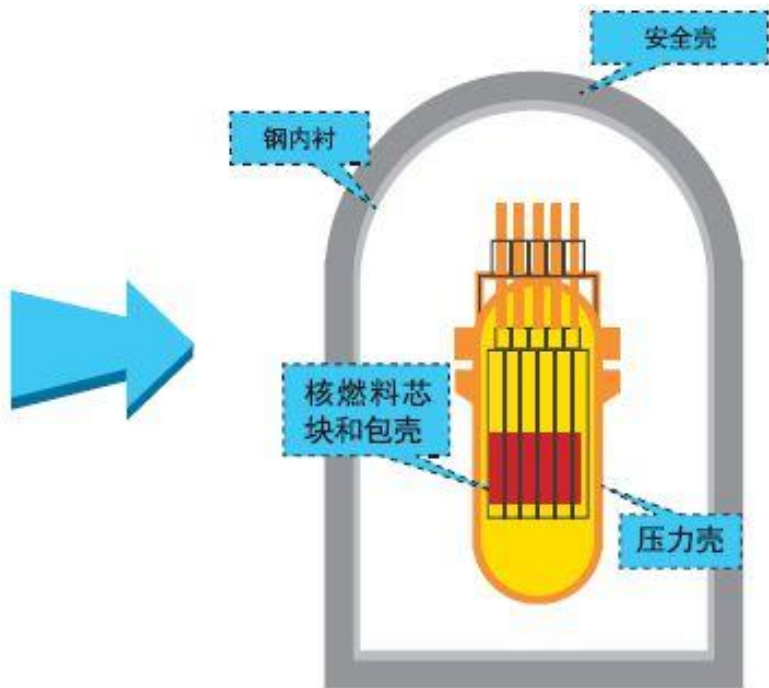
核燃料芯块和包壳。核燃料芯块是烧结的二氧化铀陶瓷机体，核裂变产生的放射性物质98%以上滞留于芯块中。燃料芯块密封在锆合金包壳内，有效防止放射性物质外泄。

第二道屏障

压力壳，20厘米厚的钢质压力壳将一回路系统密封。

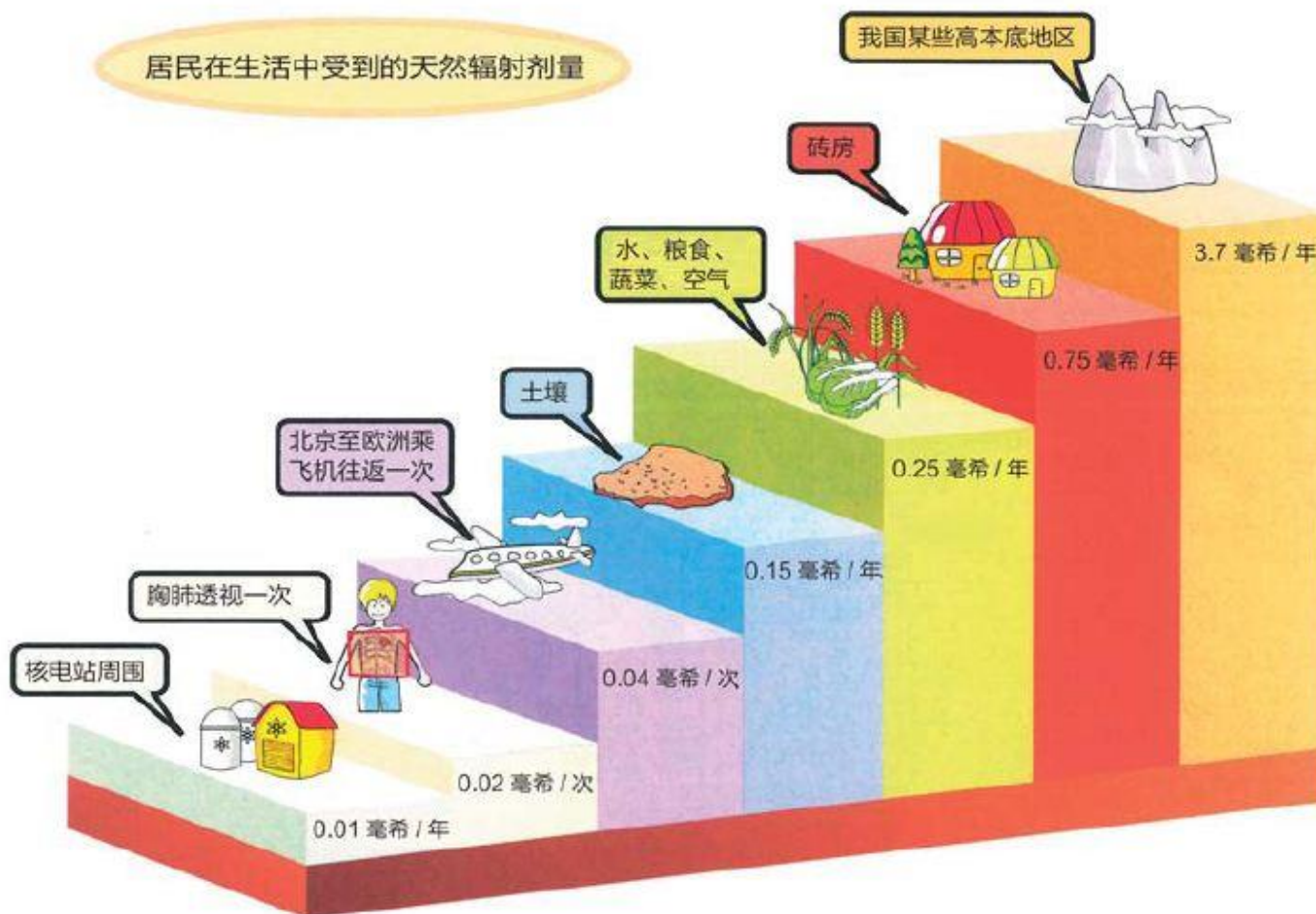
第三道屏障

安全壳（即核反应堆厂房外墙），90厘米厚的预应力钢筋混凝土结构，内衬6毫米钢板。



生活经验上是安全可靠的

◆ 核电厂工作人员一年的辐射量相当于从中国坐一次飞机到欧洲。



温室气体及污染物排放少（一）

◆ 即使与同规模的风电或水电相比，核电都不失为一种真正意义上的**低碳能源**。

不同发电技术温室气体排放比较（t 等效CO ₂ /吉瓦时）			
发电技术	均值	低值	高值
褐煤电	1054	790	1372
煤电	888	756	1310
油电	733	547	935
气电	499	362	891
太阳能光伏	85	13	731
生物质能	45	10	101
核电	29	2	130
水电	26	2	237
风能	26	6	124

数据来源：WNA，2011

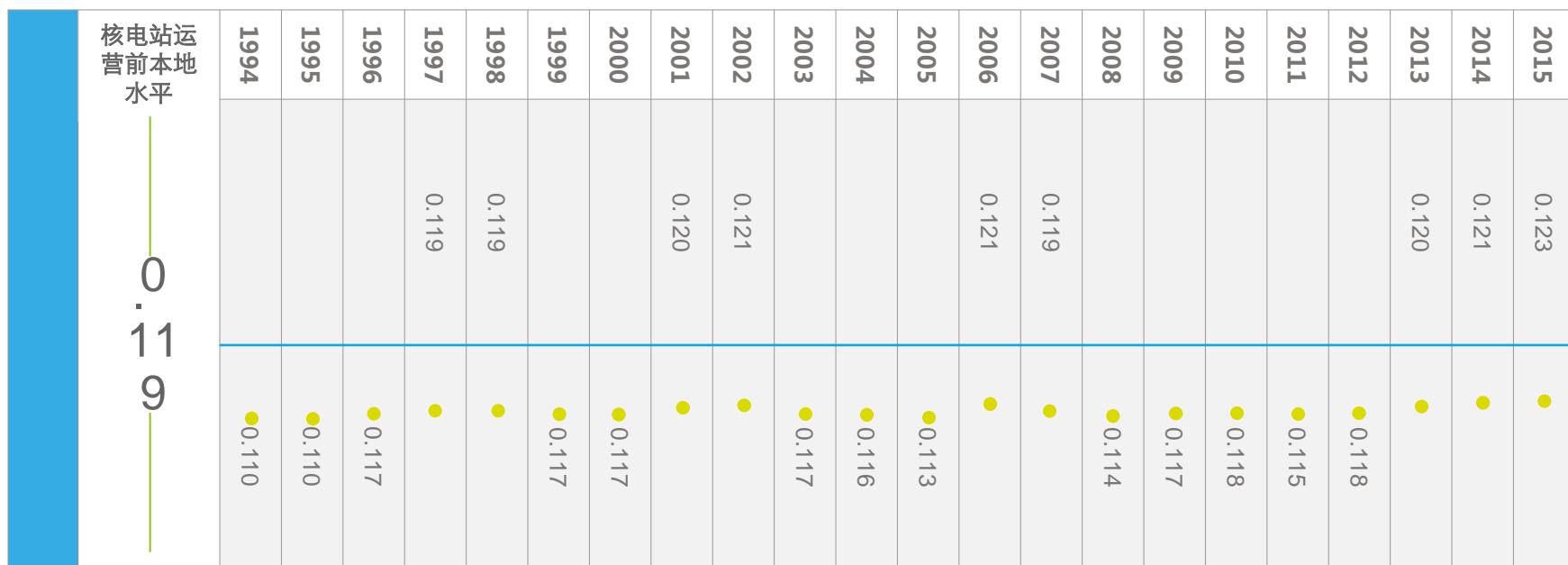
温室气体及污染物排放少（二）

- ◆ 大亚湾核电基地6台百万千瓦级核电机组产生的环保效益。
- ◆ 百万千瓦级核电机组比火电机组少产生渣质32万吨（PM2.5的重要组成部分，其中含有有毒重金属400吨）。



环境保护：完善的环境监测体系

- ◆ 中广核建立了完善的放射性废物处理和环境监测体系。
- ◆ 以大亚湾核电基地为例，该基地10公里半径范围内10个监测站点长期跟踪监测的数据表明，周边环境地区的放射性水平与运行前的本底数据相比没有发生变化，区域内陆地海洋生物种群数量没有发生变化。



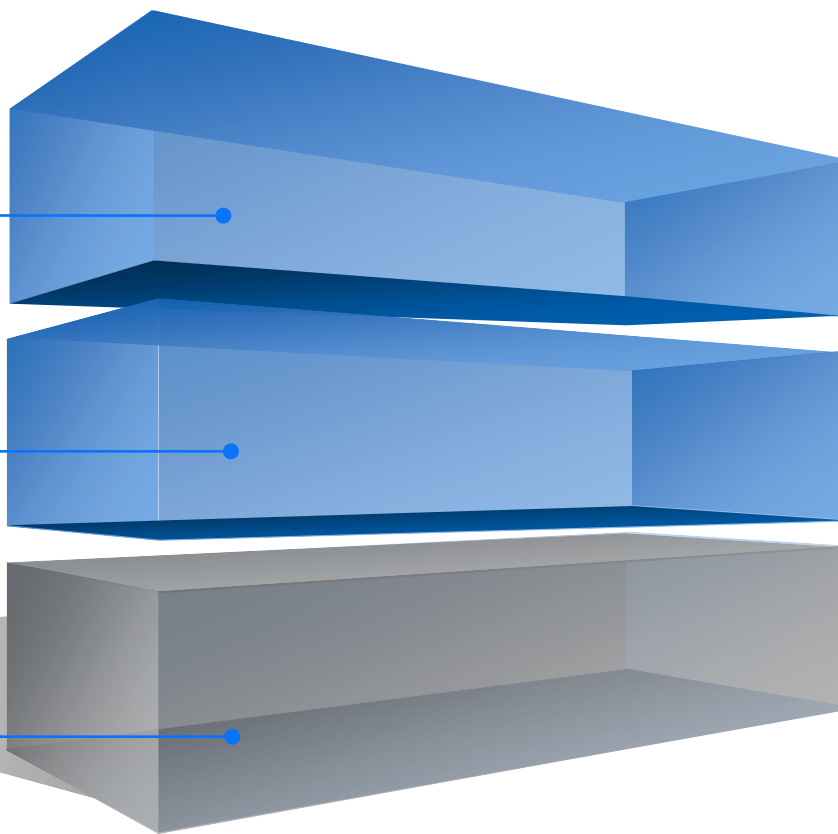
1994-2015 年大亚湾核电基地岭下监测点γ 剂量率变化 (单位：μGy/h)

资源节约

单位能量大

运输成本低

供应能力强



单位能量大

- ◆ 1千克铀-235蕴藏的能量相当于2500吨标准煤、1749吨原油、150万立方米天然气。



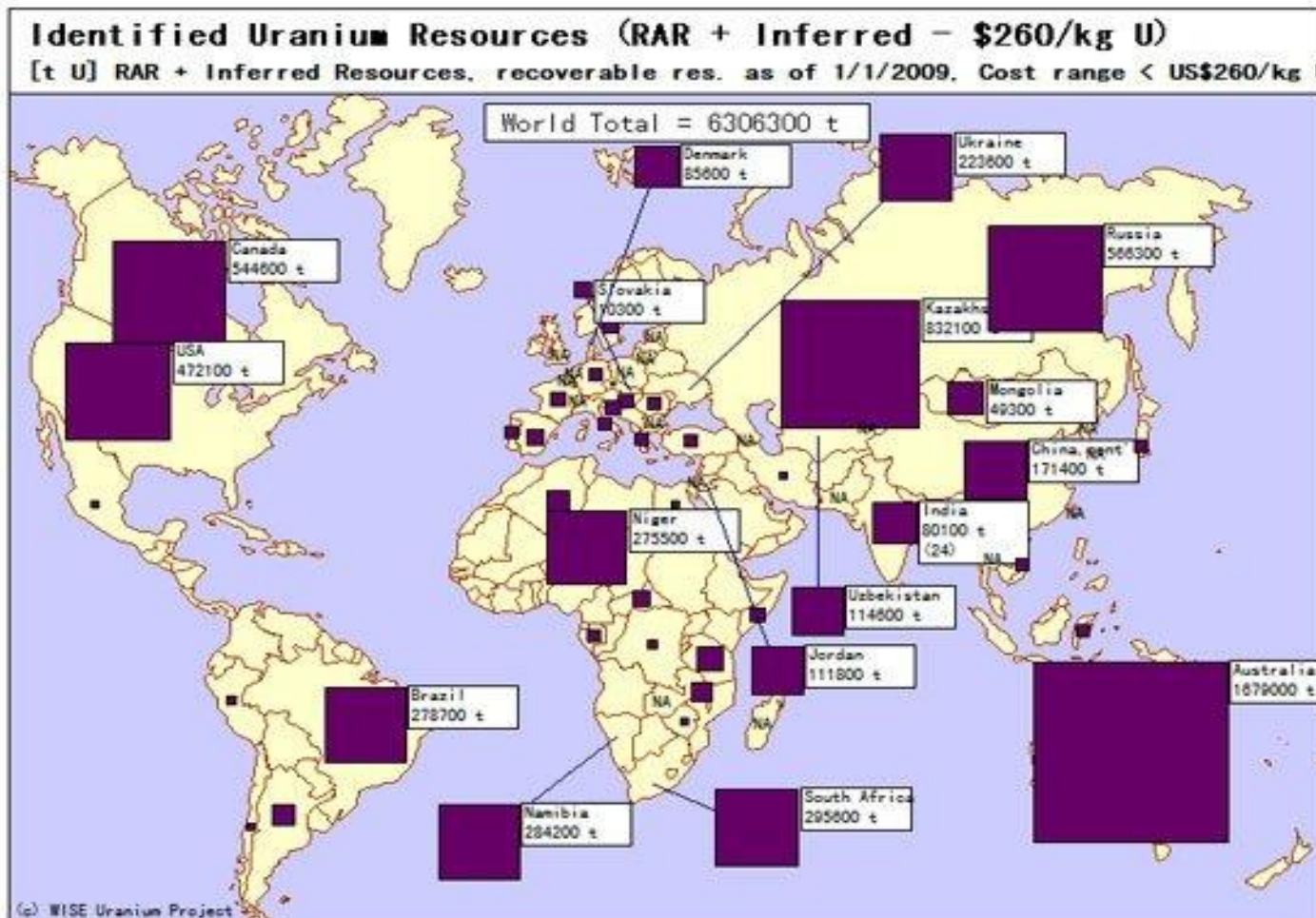
运输成本低

- ◆ 一座100万千瓦的核电站每年需补充30吨核燃料，只需一辆大卡车装载。
- ◆ 同样规模的烧煤电厂每年需烧煤300万吨，需要全年每天用一列40节火车装载。



供应能力强

◆ 目前，世界铀矿探明储量达808万吨，新的大型铀矿还在不断被发现。



2009年，260美元/吨线下的全球铀矿探明储量（WNA图）

大亚湾核电站安全运行28年

中广核 CGN
| 严 | 慎 | 细 | 实 |

庆祝香港
回归祖国 25 周年

大亚湾核电站 对港供电

2893 亿度

大亚湾核电站安全运行**28**年

累计上网电量**4021**亿度，其中对港供电**2893**亿度

占香港总用电量的四分之一

约减少二氧化碳排放**24243**万吨

相当于种植**65万**公顷森林

可以覆盖近**6**个香港的面积

* 数据截至2022年3月31日

党群与文宣部 宣

哲学命题：

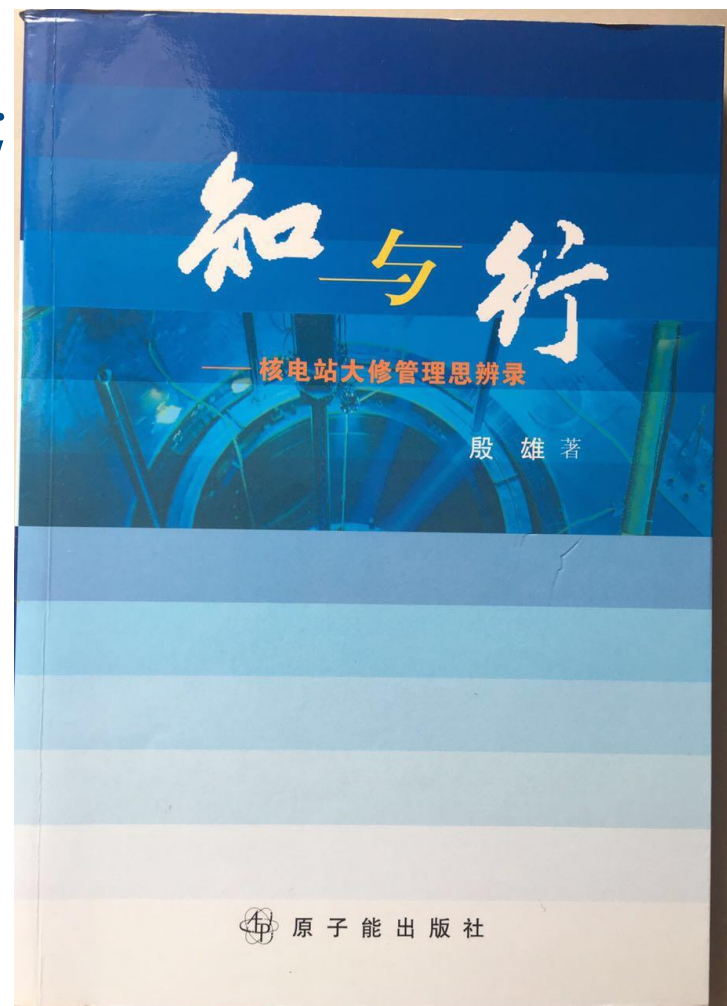
- ◆主要矛盾决定事物的内禀特征；
- ◆次要矛盾决定事物的发展方向。

参考资料：

《知与行：核电站大修管理思辨录》

殷雄著

（原子能出版社2007年版）



澄清核电发展过程中反复争议的认识误区

——科学理性地理解“绝对安全”与“相对安全”的概念

任何安全措施，都要有一个适度的技术与经济界限。假如追求“绝对安全”，那就莫过于不建设核电站。今后不应再提“绝对安全”，而是在不发生极端自然灾害和人为恶意攻击的前提下，将确保不发生核辐射外泄作为安全边界，从而有效保证核电站运行的安全。

——“沿海核电”与“内陆核电”是错误的区分

核电站不论建在哪里，其安全标准都是一致的，都不能发生放射性物质的外泄事故，不能污染任何一处江河湖海和任何一片绿地蓝天。今后在对公众宣传和相关技术文件中，不应该再使用所谓“沿海核电”和“内陆核电”这类没有明确科学界定的模糊概念。截止2022年年中，全球在运和在建的498台核电机组中，有264台分布在内陆，占比53.01%。

——核电“代际”是一种非逻辑的错误概念

用新的技术代替旧的技术，这是一种技术迭代的自然逻辑，而不是用安全的技术代替不安全的技术。“旧的技术”，并不代表不安全；“新的技术”，也不是更安全的同义语。核电技术只有两类：一类是可以足够保证安全和功能的成熟技术，另一类是根据技术迭代进步的自然逻辑而演进出现的改进技术。今后应当淡化甚至取消“代际”的提法，尤其不应该出现在正式的文件和规定之中。

影响或决定核电技术水平的核心领域是“三料”

今后应该把主要着力点放在避免发生严重事故方面，而不是一味地思考如何缓解事故的后果。

——先进核燃料组件的设计与制造技术

核燃料组件是发生核裂变、进而把原子核内部蕴藏着的巨大能量释放出来的核心区域。如果把现有材料的耐高温水平提高一倍以上，那么堆芯熔化概率将大大降低，核反应堆的本质安全性将大大提升。另外，假如适度提高核裂变材料的丰度，也可以提高核反应的效率。这就需要运用先进材料技术和其它技术进行先进核燃料组件的研制。

——乏燃料组件的后处理技术

所谓“乏”，是指核裂变过程中产生的碎片阻止了更多的核物质发生裂变。现有组件中可裂变元素铀-235的浓度为3—5%，其中发生裂变的比例约为1/3，还有2/3的可裂变元素没有发生裂变。通过重新设计核燃料组件的结构以及其它技术创新，促使更多的可裂变物质发生裂变反应，就可以大大提高核燃料的可利用率；乏燃料含有大量未裂变的和新生成的可裂变材料，通过后处理技术，可以高效提取乏燃料组件中宝贵的裂变物质，在理论上可以几十倍地提高铀资源的利用率。

——与核电相关的新型材料的研发制造

所谓的核技术，在某种程度上可以说主要是各种材料技术。今后先进材料与人工智能的结合，将极大地提高核电站的安全性和经济效益。

核电在电力总装机容量中应占有合适的比例

——我国核电发展经历了“三起三落”的较大波动。“七五”期间开工建设三台机组，“八五”期间出现了第一次停滞；“九五”期间开工建设八台机组，“十五”期间出现了第二次停滞；“十一五”期间开始批量化、规模化发展，开工建设了一批机组，呈现出快速发展的态势，又因2011年3月的日本福岛核事故而第三次暂缓下来。我国核电的发展容易受到国外的影响，除了核电安全不分国界这一行业特殊性之外，内因还是担心由于自身的技术实力不强，导致在非常事态面前的信心不足，进而使得核电发展战略和规划不够坚定和稳定。

——世界核电发展高峰时期的比例，约为电力装机总容量的17%，而且这一比例延续了相当长一段时期，目前为6.1%。我国是一个发展中大国，对电力的需求增长仍未达到峰值。从确保能源和电力供应安全稳定的角度看，我国不易过分依赖某一种能源形态（比如，现在这种煤炭占比过高的状态是不恰当的；石油对外依存度过高也是不可持续的），必须实施多种能源形态共存互补的国家战略。综合历史的经验与现实的需求，参照世界平均核发电占比11%的现实，我国应争取2050年前后实现核电在国家电力供应中的比例稳定在10%左右的规模，而且这一比例应该延续到实现碳中和的2060年及其之后相当长的一段时期（至少为一个核电机组从建造到退役的一百年寿命期）。按照这一总体规模，回过头来制定各个五年规划尤其是“十四五”规划的在建核电规模，是比较积极稳妥的策略。

——核电发展不是简单的量的扩张，而是技术创新水平和综合实力的质的提升。如果核电占比为10%的这个规模被确定为国家发展核电的战略目标，那么对核电产业链所涉及到的各个领域的知识创新、技术迭代、人才沉淀和能力培养，以及调控某些年度或时期内核电项目的建设规模和节奏，都具有明确的指导性，使整个产业发展有了明确的方向，不大容易受某个时期能源与电力供应波动或其它政治因素的影响，也就不会出现要么多年没有项目而导致发展停滞的“冷寂期”、要么热火朝天大干快上的“大跃进”这两种极端倾向，而是按照既定的目标和节奏，平稳有序地推进。这是一种必须长期坚持的系统思维。

——目前的矛盾焦点集中在两个方面：一是核电多的区域是否进一步扩大核电装机容量？二是开展核电前期工作多年的几个内陆省份是否需要“破冰”？我国已经具备了在内陆建设核电的技术储备和运行管理经验。在长江经济带所包含的几个已经做了大量核电项目前期工作的内陆省份，适时启动核电项目，不仅不会对长江流域构成生态环境的危害，而恰恰是保护长江生态环境的战略性选择。

消除核电“邻避”效应的根本措施

邻避效应：居民或在地单位因担心邻避设施对身体健康、环境质量和资产价值等带来诸多负面影响，从而激发人们的嫌恶情结，滋生“不要建在我家后院”的心理现象。

消除“邻避效应”的根本措施：

——政府产业政策的理性、客观、公正、坚决。

——项目开发者的开放、包容、社会责任感。

——项目周边公众的利益、荣誉、参与。

带动地方经济

◆ 建设一个电站，带动一方经济，造福一方百姓。



提高城市建设和教育水平，每年缴纳教育附加费1亿元以上。



创造就业机会，实现家门口就业，为当地提供超过6000个社区岗位。



带动消费，促进第三产业发展。



积极投身公益事业，扶助弱势群体，每年投入超过2000万元。

大亚湾核电基地累计缴纳各项税费

450亿元人民币

其中对地方财政收入贡献为


180亿元人民币

结束语

核能

- ◆ 是一种以科技革命创造能源置换自然资源的重要产业，是人类思维的智慧之光。
- ◆ 打开核能的大门，将原子核内部潜藏着的巨大能量为人类所用，这是人类的崇高目标之一，绝不能够放弃！



A background image of dandelion seeds blowing away against a clear blue sky. The seeds are white and fluffy, with dark brown seed heads. The overall scene is bright and airy.

谢谢！

中广核  CGN

Natural energy powering nature , Clean energy makes our future brighter