

# Energy Conservation and Emission Reduction: An Inevitable Choice of China's Energy Strategy

Lei Zhang

The Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing  
Email: zhangl@igsnr.ac.cn

Received: Feb. 10<sup>th</sup>, 2016; accepted: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2016; published: Feb. 26<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The progress of human civilization has reached a crucial transition of energy use. In the past, the widespread use of mineral fuels has not only brought about remarkable increases in wealth (as measured by the Gross Domestic Product, for example) but also resulted in increased environmental pollution, as indicated by heightened CO<sub>2</sub> emissions. This phenomenon, which is referred to as the bipolarized effect of energy use, has hindered future sustainable development. Therefore, it is important to consider new methods for building models of energy use in order to develop a low-carbon economy, just like China's common saying "energy conservation and emission reduction". As the largest consumer of fossil fuels and the largest emitter of CO<sub>2</sub> of the world, China may face mounting challenges in protecting its vulnerable environment unless it can successfully transit from the traditional economic model, which promotes energy exploitation rather than energy conservation, to a model that considers energy exploitation and conservation equally and, finally, to a model that focuses primarily on energy conservation.

## Keywords

Energy Conservation and Emission Reduction, China, Energy Strategy

---

# 节能减排：中国能源战略的必然选择

张 雷

中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室，北京  
Email: zhangl@igsnr.ac.cn

收稿日期：2016年2月10日；录用日期：2016年2月22日；发布日期：2016年2月26日

## 摘要

随着科学技术的发展，人类文明的进步最终实现了生命物质能量向非生命物质能量(矿物燃料)的根本性转变。全球实践表明，大量矿物燃料使用所产生的极化效应正在对人类文明的可持续发展形成日趋严峻的挑战。为此需要重新思考人类的能源利用行为模式。作为世界最大的能源消费和碳排放国，中国未来低碳经济的发展应遵循从目前的“重开发、轻使用”传统能源利用模式向“使用与开发并重”模式的过渡，并最终定格于“重使用、轻开发”的地球友好能源利用模式。

## 关键词

节能减排，中国，能源战略

## 1. 能源利用

生命在于运动。运动在于能量。

与其他地球生命体的发育相同，人类社会最基本的使命就是最大限度地获取的各种能量以延续自身物种的发展。所不同者，通过对周围事物和环境的认识人类成功地实现了从生命物质能量(生物能源\_转换向非生命物质能量(非生物能源)的转换(图 1)，从而步入了现代化的殿堂。这场变革正是缘于对“火”的认识、使用和掌握。从此，人类开始了步入一条不断寻求更高效率的自然能量转换的不归之路[1]。

相关的研究表明，在农业革命之前，人类所获得的能源总量的 100% 以上是来自以植物、动物和人及其他则来自自然能等生命物质能量。进入农业社会后，人类文明发育的 85% 以上的能量需求来自生命物质能源[2]。蒸汽机的发明开启了人类从生物能源向非生物能源转换的大门。如果说农业革命是一个人类逐渐控制和提高生物能源转换的供给过程的话，那么，工业革命与农业革命的一个最显著区别就在于，高效的非生物能源转换方式最终取代了低效的传统生物能源转换方式，从而使人类社会跨入到了现代能源消费和供给体系。而这种无生命物质就是现在人们通常所说的矿物燃料。

全球实践表明，人类对矿物燃料的依赖有一个逐步加速的过程。工业革命 100 年后的 1850 年世界的矿物燃料需求仅有 0.54 亿吨标煤。1900 年时达到 7.48 亿吨标煤，期间平均的年增量约为 0.14 亿吨标煤；1950 年时为 25.26 亿吨标煤，期间平均年增量为 0.36 亿吨标煤；2010 年时则上升至 178.0 亿吨标煤，期间的年均增量达到了近 3.2 亿吨标煤(图 2)。

## 2. 极化效应

世间凡事有利必有弊。这是所有地球生命物质运动必须遵循的一条铁律。人类大规模能源利用所产生的极化效应正是这种地球演化铁律的必然结果(图 3) [3]。

工业革命以来，随着大量体外工具的制造和使用，人类不断加大着对能源、特别是矿物燃料的依赖。然而，大规模矿物燃料的开发和利用在成就了人类社会财富快速积累的同时，也对地球表层的生态系统带来了极大的负面影响。一个简单的事实是：1850~2010 年期间全球一次能源消费增长了约 328 倍，人口增长了 5.2 倍，GDP 增长了 56 倍，全球碳排放增长了 168 倍(图 4)，气温相应上升了 0.74 度[4] [5]。

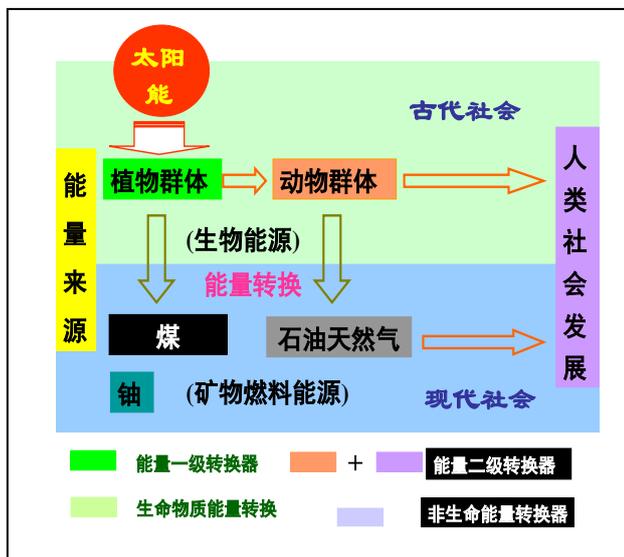


Figure 1. A process of energy use for human society

图 1. 人类社会的能源开发与利用过程

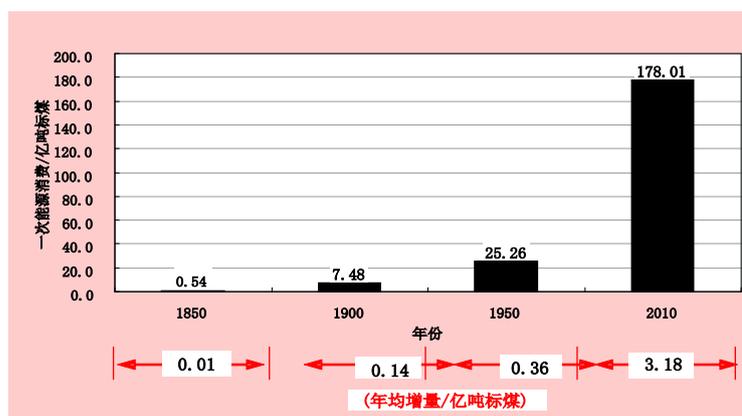


Figure 2. The total primary energy consumption of the world, 1850-2008

图 2. 全球一次能源消费增长, 1850~2010 年

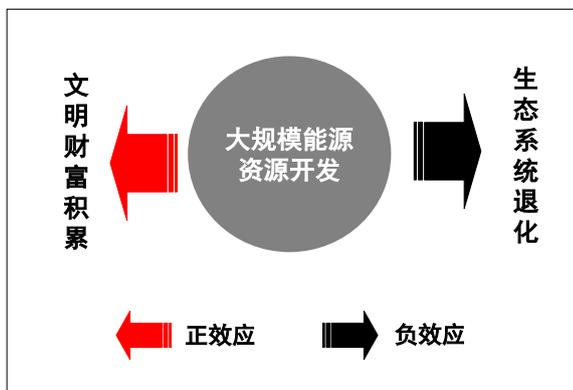


Figure 3. The bipolarized effect of energy use

图 3. 大规模能源开发的极化效应

从影响人类生存和健康发展的角度看，这种负效应更多地反映在对大气环境的影响方面。长期的发

展实践表明，这种影响主要通过化学与物理两种途径来实现的。

## 2.1. 化学途径

这就是目前世界各国普遍关注的碳排放。由于大量碳排放破坏了原有大气化学结构的稳定，全球气候变暖的趋势日趋明显。有关研究报告显示，从 20 世纪初开始至今，地球表面的平均温度增加明显，仅在过去的 40 年中，平均气温就上升约 0.3℃，超过以往 400~600 年中任何一段时间[6] (图 5)。

气温升高所带来的直接后果就是洪涝、台风、飓风、海啸等气象灾害的增多，各类生命及财富损失越来越大。例如 2005 年，“卡特里娜”飓风袭击了美国新奥尔良，遇难人数达 1836，经济损失 750 亿美元[7]。

## 2.2. 物理途径

主要是由各类矿物燃料使用的粉尘与颗粒物排放所造成的近地层大气环境质量恶化，其中最具代表性的就是近年来在我国日益猖獗的雾霾天气(图 6 和图 7)。

根据中国气象局发布的消息，自 2013 年以来全国平均雾霾天气日数较常年同期增长了 2.3 天，可以称的上是自 1961 年以来最多的一年。此次雾霾集中地主要在京津冀晋、黄淮一带，部分地区最长持续为 20 天左右[8]。以北京为例，不健康到有毒害(AQI 为 150 以上)空气质量的天气数已占到全年天气总数的 32% [9] (图 8)。而根据清华大学的一份研究，中国的空气污染已使中国北方居民的预期寿命减少 5.5 年，

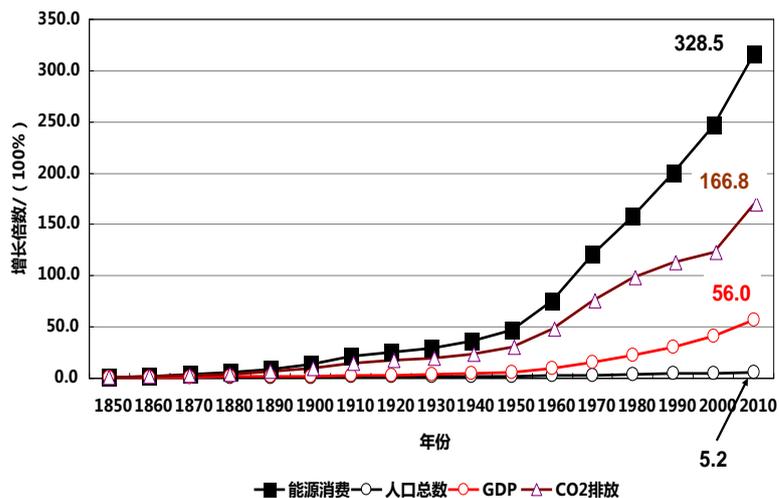


Figure 4. Energy use, GDP, population and CO<sub>2</sub> emissions of the world, 1850-2008

图 4. 全球一次能源、人口、GDP 与碳排放增长，1850~2008 年

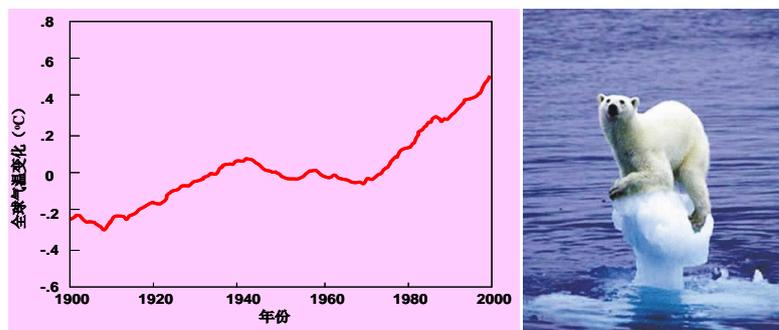


Figure 5. Global average temperature change, 1900-2000

图 5. 全球平均温度变化，1900~2000 年

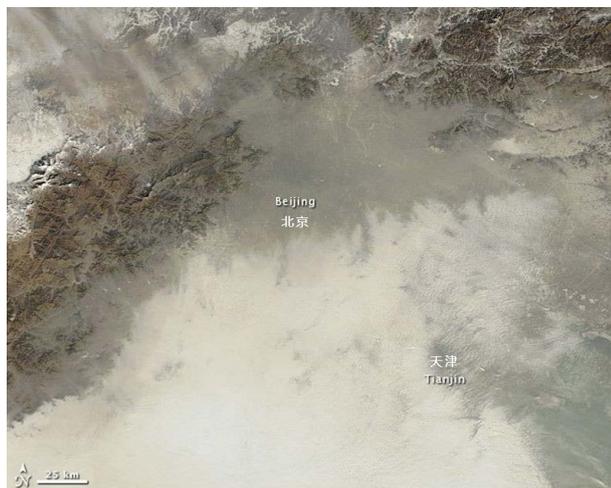


Figure 6. Beijing haze fog in January 2013 by Satellite version  
图 6. 2013 年 1 月北京雾霾

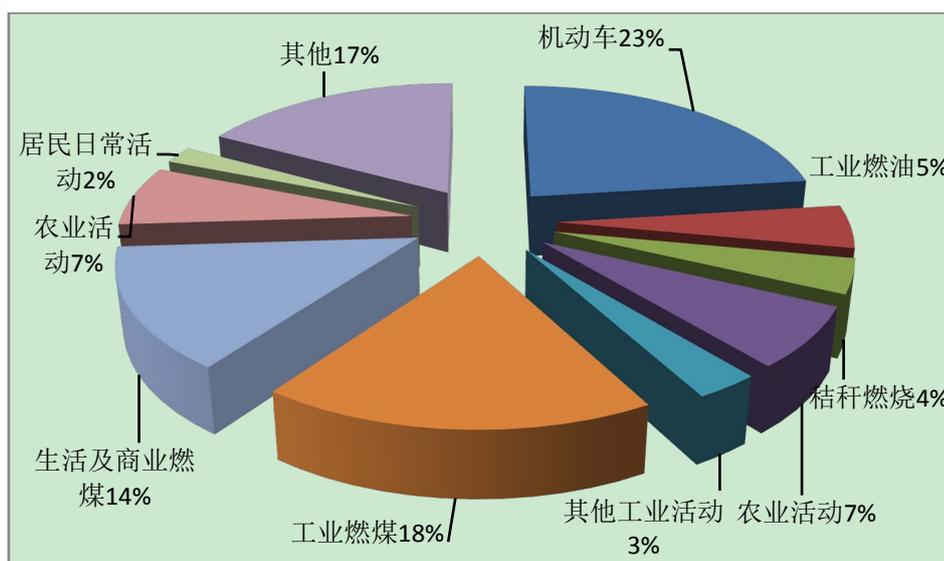
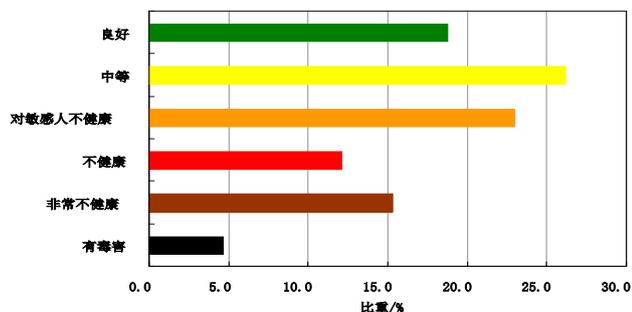


Figure 7. Sources of PM 2.5 of Beijing haze fog  
图 7. 北京 PM 2.5 来源



AQI 良好=0-50; 中等=51-100; 对敏感人不健康=101-150;  
不健康=151-200; 非常不健康=201-300; 有毒害=300以上

Figure 8. The mean daily air quality index of Beijing, 2008-2013  
图 8. 北京空气质量指数日均值, 2008-2013 年

还提升了肺癌、心脏病和中风的发病率[10]。

遗憾的是，雾霾的影响不仅限于中国北方。近年来，珠江三角洲城市每年超过 35°C 的高温日数均在 30 天以上。近 50 年来，广州市年灰霾天数以每 10 年 16.4 天的速率增加，灰霾使呼吸道疾病发病率比平时增加 15% 左右[11]。

### 3. 开发与使用

人类的能源利用是由开发与使用所组成。通常，前者是指资源开发；后者则是指能源资源的转换和使用(消费)。

迄今为止，全球各国在能源利用方面的行为几乎无一例外地采用了“重开发、轻使用”的模式。

数据分析显示，1860 年全球工业化初期的每万元 GDP (按 1990 年国际元不变价计算，下同)，产出的一次能源消费和碳排放仅为 1.31 吨标煤和 0.90 吨碳。到 1960 年时，在煤炭为主的能源消费结构推动下，全球单位 GDP 产出的一次能源消费和碳排放快速增至 4.88 吨标煤和 3.06 吨碳。此后随着能源消费油气主导时期的到来，这一情况才开始出现转机。2008 年，全球单位 GDP 产出的一次能源消费和碳排放已经下降至 3.20 吨标煤和 1.66 吨碳。并最终形成了类似于库兹涅茨环境曲线的倒“U”字形态(图 9)。

尽管如此，全球工业化成熟期(2008 年)的单位 GDO 产出一一次能源消费和碳排放水平依然高出初期(1860 年)的 1.44 倍和 0.84 倍。换言之，即便开始进入后工业化时期，全球单位能源使用的产出效率依然比工业化初期时的低了 45.0%。显然，对这一事实的合理解释应是：各国财富的积累更习惯于通过不断扩大能源资源开发的能力和范围，而不是通过努力提高消费的合理性和大力改善使用的效率。遗憾的是，这种“重开发、轻使用”状态恰恰代表的是全球工业化进程中各国能源利用的一种“常态”行为。

作为世界最大的发展中国家，中国的能源利用轨迹与其它国家相比并无本质上的差异。所不同者，由于消费结构中煤炭的主导地位难以撼动，中国能源利用效率的变化过程显得更加跌宕，其中多年一次能源消费的相关系数( $R^2 = 0.844$ )和碳排放的相关系数( $R^2 = 0.7801$ )，均低于全球均值水平(图 10)。数据分析显示，1950~2009 年期间，中国单位 GDP 产出(按 1990 年国际元计)的一次能源消费与碳排放分别增长了 1.53 倍和 1.39 倍。换言之，进入工业化中期(2008 年)的中国单位能源消费产出效率较之初期的(1950 年)低了 60.0%，碳排放强度却增加了 1.39 倍。

无论全球还是中国，之所以有上述结果，一个根本原因在于人类对自然界认识上所存在的固有偏见。

迄今为止，人类始终认为自然界是上苍的无偿赐予。在进入文明发育阶段之前，人类社会的资源获取完全处在随意而“无价”的状态。进入文明发育阶段之后，人类开始依据对其社会财富积累与文明进程影响的大小进行自然资源 and 环境的定价与收费。于是，各类自然资源和环境要素开始从“无价”变为了“有价”。此后，当技术的进步引导人类文明步入工业化的殿堂时，剩余价值的追逐开始占据了人类社会资源利用的核心位置。相应地，“有价”的资源和环境本身则被日益边缘化。例如，根据现代社会生产流程，不包括物料的投入成本，目前一辆普通家庭轿车所创造的社会剩余价值可以高达到数千美元(一般在 5000~6000 美元)。作为轿车行驶的动力来源，一吨原油的剩余价值却只有数百美元。正如此，今日的人类社会才会将更多的精力投入到体外工具制造能力的扩张与人文环境的再创造，却很少关注资源环境利用方式的改进和整体使用效率的提高。

### 4. 未来中国的选择

自 20 世纪 80 年代以来，中国的经济发展驶入了快车道。2010 年中国 GDP 超越日本，位居全球第二。与此同时，中国也成为位了全球第一大能源消费国和碳排放国。然而，由于国家工业化发育的初级阶段、以及受国内资源基础(煤多、油少、气缺)和市场供应结构(煤炭绝对主导)所限，中国能源的产出效

益改善远不尽人意。2010年中国的单位GDP的能源消费为4.0吨标油/亿美元(按当年价计算,下同),约为全球均值水平1.9吨标油/亿美元的211.8%,而同期单位GDP的碳排放(3.7吨碳/亿美元)更是高出全球均值水平(1.5吨碳/亿美元)157个百分点(图11)。显然,如此高的一次能源投入和碳排放水平已经对国家持续发展的愿景诉求和全球大气环境治理的现实责任形成了严峻挑战,因此,中国应重新审视现行的国家能源战略,以期在能源的整体利用和基本路径选择上做出更加理性和更加科学的选择。

#### 4.1. 利用模式改变

对于世界上第一能源与煤炭消费大国,中国未来低碳经济的发展应从资源利用模式的再选择入手。具体而言,就是将传统低效的“重开发、轻使用”模式逐步过渡到现代高效的“使用与开发并重”,并最终定格于地球友好型的“重使用、轻开发”能源利用模式。这应是中国未来低碳经济发展的一条必由之路。

为了实现上述资源利用模式的转变,中国未来的低碳发展首先要解决当前环境与发展管理在很大程度上存在着“三重三轻”的问题[12]-[14]。一是在能源发展战略中重能源替代扩张、轻能源效率改善。例如,在低碳发展的技术路径选择中,总是过多地强调新能源的开发和替代作用,而不是强调能源利用效率的提高。二是在减排环节中重技术减排、轻结构减排。如总是过多的强调在现有产业结构的条件下推进技术节能与减排,而不是强调改变重型化的产业结构,强调减少钢铁、化工、水泥等产业在工业发展中的比重。三是在绿色发展中重供给管理、轻需求管理。如在能源资源使用的管理重点对象中,总是单一地关注生产性的技术改进管理,而忽视消费性的社会需求管理,忽视资源利用链条中下游消费对于上

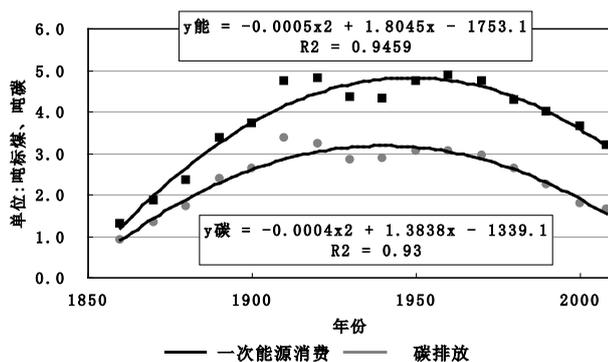


Figure 9. The global energy use status, 1860-2008

图 9. 全球能源利用状态, 1860~2008 年

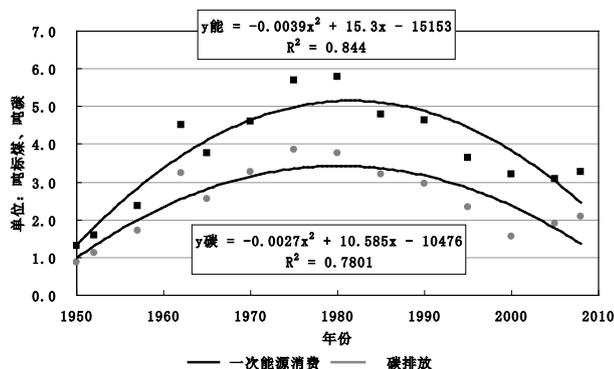


Figure 10. China's energy use status, 1950-2008

图 10. 中国能源利用状态, 1950~2008 年

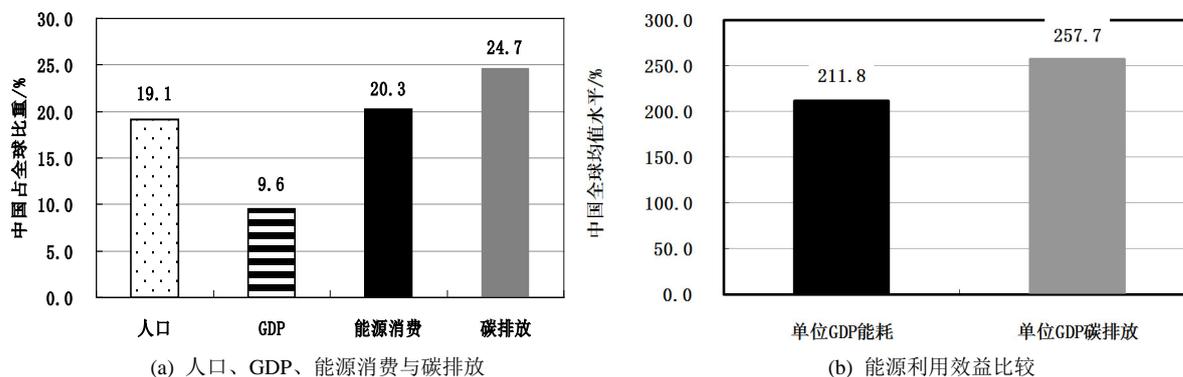


Figure 11. An international comparison of energy use and its output efficiency for China, 2010

图 11. 中国能源利用及产出效益国际比较, 2010 年

游生产潜在的倍增节能效应。这是中国能否取得从“重开发、轻使用”向“利用与开发并重”转变的关键所在。

“重开发、轻使用”模式在中国有两个典型事例。其一，中国现有建筑面积 430 亿平方米，其门窗保温性能低下(例如北京节能门窗的标准为  $K = 2.8 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$ ，仅相当于欧洲 1980 年代的水平)，如果采用欧洲现行标准，中国的建筑能耗将因此每年减少 4.3 亿吨标煤和 13.8 亿吨的  $\text{CO}_2$  排放量[15]；其二，中国目前约 80% 的照明市场仍然在使用传统的白炽灯。如果全国城市道路照明光源的 1/3 更换为高效节能的照明产品，其节约的用电量相当于一个三峡工程的发电量。遗憾的是，面对日益增长的用电消费需求，每年中国要投入 3600 亿元用于电厂建设，而政府用于鼓励节能灯使用的补偿却不足 4 亿元人民币[16]。

“重使用、轻开发”的地球友好型能源利用模式，其核心任务是建立一种新型的社会财富积累体系。在这种新型体系中，人类智力资源的开发将成为整个社会财富积累的倍增器。换言之，通过人类智力的深度开发，以使现有能源的利用效率倍增。为此，中国应从现在开始，不断加大科研和教育两方面的投入，以便尽早建立起“重使用、轻开发”能源利用模式所必需的科技创新和人才开发支撑平台(图 12)。

## 4.2. 基本路径选择

全球实践表明，国家或地区节能减排主要通过能源消费和供给 2 个渠道来实现(图 13)。

第一是能源消费。现代能源消费是一种社会公共行为。能源消费的节能减排大体可以通过以下三种方式来实现：第一是产业结构节能减排。这种方式主要表现在国家和地区层面上。它是通过产业结构的正常演进来提高社会总体能源投入的产出效率，实现减排；第二是技术节能减排。这种方式主要发生在生产企业层面上，或可称为社会生产节能减排。它是通过提高具体产品的综合能源使用效率实现节能减排；第三是社会生活节能减排。这种方式主要通过家庭、个人乃至社会群体的行为来实现的，或可称为社会消费节能减排。结构节能减排则是集社会生产和生活于一体的节能减排集合行为，而技术与生活节能减排则是结构节能减排的具体体现。换言之，产业结构的有序演进是实现国家和地区节能减排的最基本途径和方式。

第二是供给。现代能源供应不仅表现在总量增长方面，而且表现在质量提高方面。对于后者而言，低碳能源产品(如天然气、可在生能源及其他绿色能源产品)快速取代高碳能源产品正在成为现代能源供应新的目标追求。因此，从节能减排的角度看，能源供应的节能减除了总量控制外，一个重要任务就是供应结构的高效低碳演进。

发生于上述消费与供给方面结构节能减排正是探讨中国节能减排问题的中心所在。

根据我们得分析，2020 年我国总体上可以实现单位 GDP 碳排放下降 48% 的基本目标，但是每个阶



Figure 12. A low-carbon economy pathway for China

图 12. 中国未来低碳经济发展路径选择

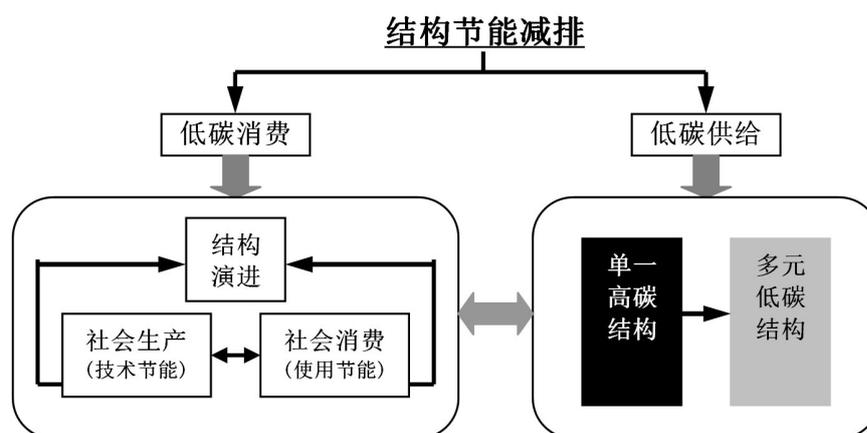


Figure 13. A strategic change of national energy use of China

图 13. 中国结构节能减排路径选择框架

段减排的具体效应有所差异。尽管如此，产业结构演进都是实现减排的最主要途径，可以达到 90% 左右的贡献率；而能源供应结构演进缓慢，减排贡献相对较小，只有 10% 左右。因此，未来节能节减排目标能否实现的关键在于产业结构演进状态的发育，尤其是第三产业的发展[13]。

## 5. 结论

如果说，从体内能源向体外能源的成功转变只是实现了人类能源利用的一次革命话，那么，推动体外能源的智能化开发将为人类能源利用带来又一次革命。

迄今为止，人类社会大体经历了 2 次能源利用革命。其中，第一能源利用变革的目的在于解决人类自身的基本生存(温饱)问题；第二能源利用革命的目的则在于提高人类社会的财富积累水平，但是这次革命却引发了整个地球物种生存环境的不断恶化。目前，人类社会正处在第三次能源利用革命的前夜，因为惟有有限资源的开发和高效率的能源使用，才能最终使人类社会之舟驶上一条可持续发展的航程。

作为世界上最大的发展中国家，中国的低碳发展应实现其自身能源利用需求与全球可持续发展趋势的有机结合，逐步将传统低效的“重开发、轻使用”能源利用模式转变到现代高效的“使用与开发并重”模式，并最终完成“重使用、轻开发”的地球友好能源利用模式建立，为人类社会从人类文明走向地球文明做出自己的贡献。而实现这一利用模式转变的基本途径则是集结构优化、技术开发和社会消费于一体的节能减排集合行为。

## 基金项目

国家自然科学基金面上项目(课题号: 41371486)和国家自然科学基金重点项目(课题号:41430636)阶段成果。

## 参考文献 (References)

- [1] 张雷. 矿产资源开发与国家工业化[M]. 北京: 商务印书馆, 2004.
- [2] Cipolla, C.M. (1978) *The Economic History of World Population*. The Harvester Press.
- [3] 张雷. 经济发展对碳排放的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 629-637.
- [4] Boden, T.A., Marland, G. and Andres, R.J. (2010) Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge. [http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview\\_2007.html](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview_2007.html)  
[http://dx.doi.org/10.3334/cdiac/00001\\_v2010](http://dx.doi.org/10.3334/cdiac/00001_v2010)
- [5] Maddison, A. (2010) *Historical Statistics of the World Economy: 1-2008 AD*. <http://www.ggd.net/MADDISON/oriindex.htm>
- [6] 百度百科. 全球气候变暖[EB/OL]. <http://baike.so.com/doc/2849246.html>, 2010-10-30.
- [7] 卡特里娜飓风, baike. <http://www.baike.com/wiki>, 2016-01-11.
- [8] 新华社. 我国今年雾霾天 52 年来最多[EB/OL]. [http://news.xinhuanet.com/mrdx/2013-11/02/c\\_132853222.htm](http://news.xinhuanet.com/mrdx/2013-11/02/c_132853222.htm)
- [9] 细数五年来北京的雾霾天数[EB/OL]. <http://www.dapenti.com/blog/more.asp?name=agile&id=88997>, 2014-10-31.
- [10] 何丽. 华北雾霾平均令人减寿 5.5 年[EB/OL]. <http://www.ftchinese.com/archiver/2013-07-09>, 2013-07-09.
- [11] 曾四清, 罗焕金, 马文军, 何艳辉. 适应气候变化, 减少健康危害[J]. 华南预防医学, 2012, 38(5): 76-79.
- [12] 张雷等. 中国区域结构节能潜力分析[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] 刘卫东, 陆大道, 张雷, 等. 我国低碳经济发展框架与科学基础[M]. 北京: 商务印书馆, 2010.
- [14] 魏伯乐, 查理·哈格罗夫斯, 著. 五倍级: 缩减资源消耗, 转型绿色经济[M]. 程一恒, 译. 上海: 上海人民出版社, 2010.
- [15] 陆敏, 高碑店. 节能门窗与发达国家差距惊人[N]. 经济参考报, 2012/8/20(5).
- [16] 刘静茹, 郁聪. 我国逐步淘汰白炽灯政策进展现状及障碍分析[J]. 中国能源, 2009, 31(1): 27-30.