

► 杨万平 / 著

# 能源消费与污染排放约束下的 中国经济可持续发展

---

NENGYUAN XIAOFEI YU WURAN PAIFANG YUESHU XIA DE  
ZHONGGUO JINGJI KE CHIXU FAZHAN



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

- ▶ 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目资助
- ▶ 西安交通大学人文社科学术出版基金资助

# 能源消费与污染排放约束下的 中国经济可持续发展

NENGYUAN XIAOFEI YU WURAN PAIFANG YUESHU XIA DE  
ZHONGGUO JINGJI KE CHIXU FAZHAN

杨万平 / 著



知识产权出版社

全国百佳图书出版单位

## 图书在版编目 (CIP) 数据

能源消费与污染排放约束下的中国经济可持续发展/杨万平著. —北京: 知识产权出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5130-5613-7

I. ①能… II. ①杨… III. ①能源消费—影响—中国经济—经济可持续发展—研究②污染控制—影响—中国经济—经济可持续发展—研究  
IV. ①F124②F426. 2③X322. 012

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 120066 号

## 内容提要

中国经济持续快速增长, 是过去 30 年全球经济最为重要的事件之一, 但在片面以 GDP 为导向、以粗放型的经济增长方式拉动经济快速增长的同时, 也带来了诸如资源匮乏、能源短缺、环境污染、生态恶化等一系列问题。本书以较为全面的内生经济增长模型为基础, 以较深入的实证研究为依托, 对能源、环境双重约束下的中国经济如何持续增长做了有益的探索。

责任编辑: 江宜玲

责任校对: 潘风越

装帧设计: 张 冀

责任出版: 刘译文

## 能源消费与污染排放约束下的中国经济可持续发展

杨万平 著

出版发行: 知识产权出版社有限责任公司

网 址: <http://www.ipph.cn>

社 址: 北京市海淀区气象路 50 号院

邮 编: 100081

责编电话: 010-82000860 转 8339

责编邮箱: [jiangyiling@cnipr.com](mailto:jiangyiling@cnipr.com)

发行电话: 010-82000860 转 8101/8102

发行传真: 010-82000893/82005070/82000270

印 刷: 三河市国英印务有限公司

经 销: 各大网上书店、新华书店及相关专业书店

开 本: 720mm × 1000mm 1/16

印 张: 10

版 次: 2018 年 6 月第 1 版

印 次: 2018 年 6 月第 1 次印刷

字 数: 170 千字

定 价: 48.00 元

ISBN 978-7-5130-5613-7

出版权专有 侵权必究

如有印装质量问题, 本社负责调换。

## 作者简介

---

杨万平，西安交通大学应用经济学博士、社会学博士后，现为西安交通大学经济与金融学院副教授，博士生导师。研究领域：区域可持续发展。曾在《The Singapore Economic Review》《Sustainability》《中国工业经济》《经济管理》《当代经济科学》等杂志发表论文50余篇。主持国家自然科学基金青年项目、一般项目、重点项目子课题、教育部重大项目子课题、中国博士后基金、陕西省软科学等课题，参与国家自然科学基金一般项目、重点项目、陕西省社科基金、陕西省软科学等项目20余项。

## 内 容 提 要

---

中国经济持续快速增长，是过去30年全球经济最为重要的事件之一，但在片面以GDP为导向、粗放型经济增长方式拉动经济快速增长的同时，也带来了诸如资源匮乏、能源短缺、环境污染、生态恶化等一系列问题。本书以较为全面的内生经济增长模型为基础，以较深入的实证研究为依托，对能源、环境双重约束下的中国经济如何持续增长做了有益的探索。

# 前 言

1979—2012年，中国经济持续快速增长是全球经济最为重要的事件之一，年均9.8%的增长率举世瞩目，目前已经成为世界第二大经济体。但在片面以GDP为导向、以粗放型的方式拉动经济快速增长的同时，也带来了诸如资源匮乏、能源短缺、环境污染、生态恶化等一系列问题。其中，能源与环境问题开始日益凸显并备受关注。经济的高增长主要靠高投入、高消耗推动，面临持续、高速的经济增长与能源耗竭、环境恶化的两难选择：一方面，由于对可耗竭能源的开采利用和工业污染排放的不断增加，粗放的经济增长导致了能源短缺与环境质量下降的负面效应；另一方面，能源的可耗竭性、环境恶化反过来也制约了经济的长期持续增长。可持续发展正面临来自能源短缺与环境恶化的双重严峻挑战，以牺牲能源、环境为代价的粗放增长不可持续，“十一五”规划提出建设资源节约型、环境友好型社会的目标，节能减排被确定为中国的基本国策。党的十七大首次把建设生态文明写进报告，党的十八大报告则明确把生态文明建设提到了前所未有的高度。党的十九大报告则表明中国经济已经进入新时代，已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。实现高质量发展，是保持经济社会持续健康发展的必然要求，是适应我国社会主要矛盾变化和全面建设社会主义现代化国家的必然要求。生态文明理念与实现经济高质量发展是中国政府基于传统文化、国外可持续发展理论和实践经验的基础上提出来的，更符合中国国情，是有利于解决中国经济发展中资源环境问题的新道路，已成为建设美丽中国、实现中华民族永续发展不可或缺的路径。推进生态文明建设与实现经济高质量发展是全球可持续发展的中国实践，已经成为转变经济发展方式不可或缺的组成部分。在这一背景下，针对经济增长过程中的能源消费和污染排放问题，通过将能源与污染因素纳入生产函数及全要素生产率的框架，研究

能源消费、污染排放约束下中国经济增长的可持续性问题的驱动因素，对于正确认识中国目前所处的发展阶段、指导制定正确的宏观经济政策、实现经济的高质量发展，具有重要的理论意义与现实意义。

第一，基于可持续发展概念，构建了一个考虑能源持续利用与污染治理的五部门内生技术变化经济增长模型，将能源与环境同时引入生产函数及效用函数，运用最优控制方法求解了经济可持续发展的条件，并进一步揭示了能源消耗速率、污染治理与经济可持续发展之间应该满足的动态关系，证明了基于能源和环境双重约束下经济持续增长的可能性，求解了能源和环境双重约束下经济持续增长的路径和条件。

第二，基于单一污染物难以表达环境污染状况的不足，提出了能够代表整体环境状况的污染排放指数，运用一种基于整体差异的客观综合评价方法对中国及其各省的环境污染状况进行了测度。选取与工业生产和生活排放有关的污染物指标，测度了中国30个省份及地区（除西藏和港澳台外）的整体污染排放状况，计算在截面和时间维度均可比的污染排放指数，并进行动态排序；最后考虑到污染排放的动态累计效应，在动态面板数据的基础上，将改进的STIRPAT模型与EKC假说相结合，利用系统GMM估计方法分类研究不同污染排放水平的影响机制。

第三，要探讨经济发展的可持续性问题，需要从经济增长方式入手，而全要素生产率是判断经济增长方式的重要指标。环境污染、生态破坏是人类发展过程中付出的代价，而不是人类生产活动的非期望产出，本书采用序列DEA方法，将污染与能源看作投入要素，作为未支付的投入引入生产函数，并将之前各期位于生产前沿面上的生产组合与当期生产组合均纳入构建生产前沿面的框架，以避免出现“技术退步”的情形。研究发现，我国绿色TFP作用重心呈波轮式演进，范围在东经 $108.5^{\circ} \sim 114.4^{\circ}$ 与北纬 $29.4^{\circ} \sim 34.4^{\circ}$ 之间，且明显有向西北部移动的趋势。特别是在有些年份，绿色TFP作用重心已经进入西部范围，而还有另外一些年份，绿色TFP作用重心相对靠北。

第四，本书将能源、环境因素引入经济增长核算框架，建立了一个非参数模型，以弥补M指数和L指数测算经济增长各分项来源的贡献份额加总之和达不到100%的缺陷；并运用重力模型，从动态、空间关联的角度研究中国经济增长动力是否发生区域转移，以及经济增长转移是受资本、劳动力、能源等

要素投入驱动还是受 TFP 抑或是环境损耗驱动。研究发现，从经济增长重心及其动力在空间上的动态转移轨迹可以看出，资本的动态演变轨迹与经济增长最为类似，经济增长重心向西部转移过程中伴随资本作用、绿色 TFP 作用重心的同方向移动，但劳动、人力资本、能源及环境损耗虽然都有不同程度向西移动的趋势，却最终又转回东部，这也验证了本书在时间维度的推测。资本、绿色 TFP 对经济增长的作用力较大，人力资本对经济增长的作用力也较大，但主要集中在东部发挥作用。

近年来，在中国经济高速增长中所表现出来的要素驱动型经济发展模式、中国的经济生产率以及日益加剧的能源供求矛盾与环境污染问题的研究中，虽然在各自的领域都得出了相当一致的结论，但还缺乏一个统一完整的，将经济增长方式与能源、环境问题结合起来进行研究的经济学分析框架。本书以较为全面的内生经济增长模型为基础，以较深入的实证研究为依托，对能源、环境双重约束下的中国经济增长做了有益的探索，对同类或相关研究有参考借鉴作用，对推进能源、环境约束下中国经济增长方式的转变有积极的应用实践意义。也为中国政府在新时代，经济由高速增长转向高质量发展，坚持质量第一、效益优先，推动经济发展的质量变革、效率变革、动力变革，为提高全要素生产率提供了科学依据。



# 目 录

1 绪 论 .....	1
1.1 研究背景与选题意义 .....	1
1.1.1 研究背景 .....	1
1.1.2 研究意义 .....	11
1.2 研究方法与研究思路 .....	14
1.2.1 研究方法 .....	14
1.2.2 研究思路与技术路线 .....	15
1.3 研究内容与主要创新 .....	17
1.3.1 研究内容 .....	17
1.3.2 主要创新 .....	18
2 文献综述 .....	20
2.1 理论研究 .....	20
2.1.1 含有能源因素的经济增长模型 .....	20
2.1.2 含有环境因素的经济增长模型 .....	23
2.1.3 同时含有能源、环境因素的经济增长模型 .....	26
2.1.4 全要素生产率的研究进展 .....	28
2.2 实证研究 .....	34
2.2.1 能源消费与经济增长 .....	34
2.2.2 环境污染与经济增长 .....	38
2.2.3 能源、环境与经济增长 .....	41

2.2.4	基于全要素生产率的经济增长研究	42
2.3	研究述评	51
2.3.1	理论模型研究述评	51
2.3.2	实证研究述评	52
3	能源持续利用、环境污染与内生经济增长	55
3.1	模型构建	56
3.1.1	内生技术变化增长模型框架	56
3.1.2	生产技术	57
3.2	模型的求解	62
3.2.1	建立 Hamilton 函数	62
3.2.2	一阶条件	63
3.2.3	稳态增长中各变量增长率的求解	64
3.3	结果分析	68
3.3.1	经济持续增长的必要条件	68
3.3.2	污染治理与经济可持续增长	69
3.3.3	能源消费与经济可持续增长	71
3.3.4	人力资本积累、技术创新与经济持续增长	72
3.4	结论	73
4	中国污染综合排放的省际分布、动态排序及影响机制	76
4.1	环境污染综合评价指数构建	76
4.1.1	环境污染综合评价方法与步骤	76
4.1.2	指标选取	78
4.1.3	评价指数的构建	80
4.2	中国区域环境污染的差异	81
4.2.1	省级区域差异	84
4.2.2	东、中、西三大区域差异	84
4.2.3	序差分析	86
4.3	能源因素、经济因素对污染排放的影响	88

4.3.1	环境污染评价指数的收敛性检验	88
4.3.2	影响污染排放的主要经济、能源因素分析	91
4.3.3	影响因素实证研究	93
4.3.4	减少污染排放的政策建议	96
<b>5</b>	<b>中国经济增长动力转换与转移的动态轨迹研究</b>	<b>97</b>
5.1	能源、环境双重约束下的全要素生产率以及经济增长分解模型	98
5.2	研究变量的选择和处理	103
5.3	能源、环境对中国经济增长约束的实证检验	104
5.3.1	整体测算结果考察	104
5.3.2	时间演变特征	106
5.3.3	空间演变特征	110
5.4	转变经济发展方式的政策建议	118
<b>6</b>	<b>结论与展望</b>	<b>120</b>
6.1	结论	120
6.2	政策建议	122
6.3	展望	126
	参考文献	127
	后 记	147

# 1 绪 论

## 1.1 研究背景与选题意义

### 1.1.1 研究背景

20 世纪 70 年代末，党的十一届三中全会确立了以经济建设为中心的方针，实行改革开放政策，之后中国经济蓬勃发展。1979—2012 年，国内生产总值年均增长 9.8%（见图 1-1），而同期世界经济年均增速只有 2.8%。中国经济高速增长期持续的时间和速度都超过了经济起飞时期的日本和亚洲“四小龙”（新加坡、韩国、中国台湾、中国香港），创造了人类经济发展史上的新奇迹。

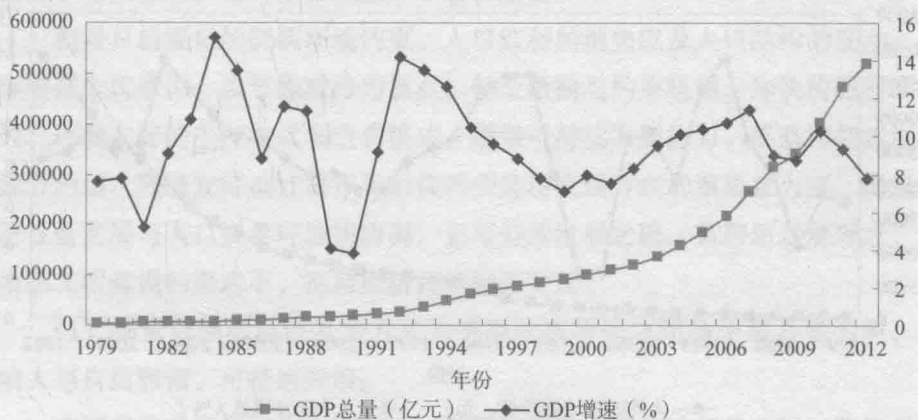


图 1-1 1979—2012 年中国经济总量与速度

在此期间，中国经济总量连上新台阶，综合国力大幅提升。国内生产总值由1978年的3645亿元迅速跃升至2012年的516282亿元（见图1-1）。其中，从1978年上升到1986年的1万亿元用了8年时间，从1986年上升到1991年的2万亿元用了5年时间。此后10年平均每年上升近1万亿元，2001年超过10万亿元大关，2002—2006年平均每年上升2万亿元，2006年超过20万亿元，之后每两年上升10万亿元，2012年已达到近52万亿元。

同时，中国经济总量居世界位次也稳步提升，对世界经济增长的贡献不断提高。1978年，中国经济总量仅位居世界第十位；2008年超过德国，居世界第三位；2010年超过日本，居世界第二位，成为仅次于美国的世界第二大经济体。经济总量占世界的份额由1978年的1.8%提高到2012年的11.5%。2008年下半年国际金融危机爆发以来，中国成为带动世界经济复苏的重要引擎，2008—2012年对世界经济增长的年均贡献率超过20%。

在经济总量不断攀升的同时，中国人均国内生产总值也不断提高，成功实现从低收入国家向中等收入国家的跨越。1978年人均国内生产总值仅有381元，1987年达到1112元，1992年达到2311元，2003年超过万元大关至10542元，2007年突破2万元至20169元，2010年再次突破3万元大关至30015元，2012年人均国内生产总值达到38420元，扣除价格因素，比1978年增长16.2倍，年均增长8.7%（见图1-2）。人均国民总收入也实现同步快速增长，根据世界银行数据，中国人均国民总收入由1978年的190美元上升

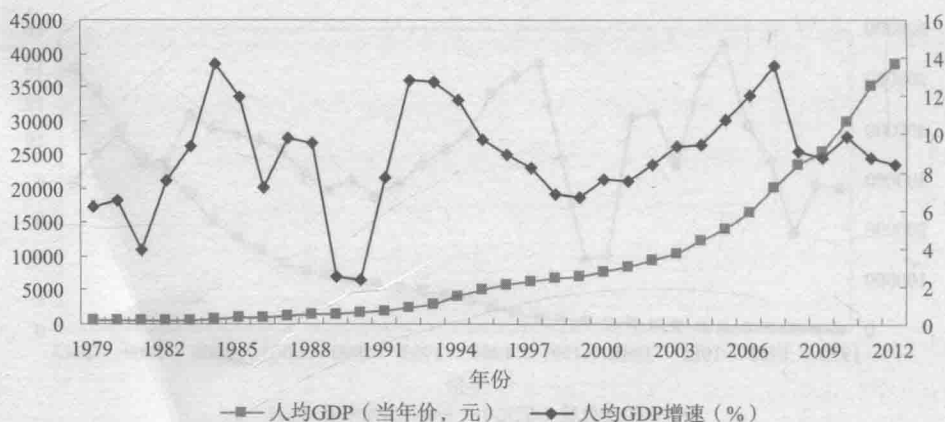


图1-2 1979—2012年中国人均国内生产总值与增长速度

至2012年的5680美元,按照世界银行的划分标准,已经由低收入国家跃升至中等收入国家。对于中国这样一个经济发展起点低、人口基数庞大的国家,能够取得这样的进步确实难能可贵。

中国经济在快速增长的同时创造了大量的物质财富,经济持续繁荣。然而,在取得巨大成就的同时,中国经济增长呈现出新的特征,人口、资源、环境的矛盾日趋显现,经济发展的深层次矛盾越发尖锐,人与自然和谐发展的课题尤为突出。经济高速增长所带来的能源的净进口、环境污染、生态恶化等问题,让中国随后发展的每一步都面临重大的选择。能源资源的消耗和污染排放已逼近环境承载极限,能源与环境问题对中国经济的可持续增长造成了严重的制约,成为经济持续增长以及经济由高速增长转向高质量发展的瓶颈。能源、环境和经济三者之间密切联系,经济增长需要能源供应支撑,能源消耗带来环境污染,环境污染反过来又造成经济损失,破坏经济持续增长的基础,阻碍经济由高速增长转向高质量发展的进程。在中国经济社会发展过程中,伴随着经济高速增长和世界制造业中心的形成,由于人均能源资源占有率偏低和粗放型经济增长方式的交互影响,使能源资源短缺、环境恶化对经济社会可持续发展的约束越来越明显,生态环境承载能力不足与经济社会可持续发展的矛盾加剧,突出表现为发展的各种“不可持续性”,其中以“高增速、高投入、高消耗、高排放”为特征的经济增长方式与能源束缚、环境恶化的双重约束之间的矛盾尤为突出。坚持质量第一、效益优先,推动经济发展的质量变革、效率变革、动力变革,提高全要素生产率迫在眉睫。

面对日趋强化的资源环境约束、人口红利的消失以及人口结构的变动,必须增强危机意识,以节能减排为重点,健全激励与约束机制,加快构建资源节约、环境友好的生产方式和消费模式,增强可持续发展能力,要坚持把建设资源节约型、环境友好型社会作为加快转变经济发展方式的重要着力点,促进经济社会发展与人口资源环境相协调,走可持续发展之路。贯彻新发展理念,在生态文明建设的要求下,推动经济持续健康发展。

(1) 要素依赖型经济发展方式与资源的有限性之间的矛盾日益尖锐,影响人与自然和谐、可持续发展。

中国经济在发展过程中高投入与资源束缚的矛盾已经日趋尖锐。能源是人类生存、经济发展、社会进步不可或缺的重要资源,是关系国家经济命脉和国

防安全的重要战略物资。长期以来，中国经济发展主要依赖要素投入，高投入、高能耗是中国经济发展的主要支撑力量：2005年中国用占全球14.64%的能源消耗量仅换来了全球4.95%的GDP总量；2010年中国经济总量已经占全球的7.54%，而能源消耗量占全球的17.43%<sup>①</sup>；2012年中国经济总量达到8.23万亿美元，占全球的11.48%，但是能源消费量达到36.2亿吨标准煤，占全球能源消耗量的20%<sup>②</sup>。2012年中国单位GDP能耗为4.4吨标准煤/万美元，是世界平均水平的2.5倍、美国的3.3倍、日本的7倍。中国消耗1吨标准煤的能源所创造的经济总量为2290美元，而全球平均水平是4090美元，美国的水平是5073美元，日本则是8183美元。中国每新增1美元GDP所消耗的能耗相当于发达国家的4~5倍、日本的13倍，甚至是印度的1.64倍。

随着中国经济的快速增长和规模的不断扩大，能源消费量逐年提高，现已成为世界第二大能源消费国。1979—2000年，中国能源消费平均增长率（4.11%）不到GDP平均增长率（9.66%）的一半，能源消费弹性小于1，中国以较低的能源增长率实现了经济的高速发展。然而自2001年起，中国的能源消费增长突然大幅加速，过去5年能源消费总量超过了以往20年的总和。尤其是2003—2005年，能源消费的增长速度超过了经济的增长速度，平均增速达到了13.9%。中国的能源消费处于快速增长态势，经济增长表现为以较高的能源消耗为代价，对能源的依赖在增加。自1992年中国能源供求矛盾恶化，成为能源净进口国以来，能源缺口日益恶化，特别是2001年以来恶化趋势明显加速（见图1-3）。在中国能源弹性系数已经超过1的情况下，按照发达国家传统工业化道路的能源消耗模式计算，从2000年至2020年，中国GDP翻两番，一次能源消耗将从13亿吨至少增加到52亿吨，这是中国现有能源难以承受的。《中华人民共和国2016年国民经济和社会发展统计公报》显示，2016年全年能源消费总量已达43.6亿吨标准煤，比上年增长1.4%。一方面，人口急剧膨胀、能源严重短缺；另一方面，粗放型模式仍在继续，若不能顺利转型，不仅经济可能出现徘徊局面，对生态环境也将是一场灾难。作为一个发展中国家，中国必须权衡发展与能源消费及环境保护之间的关系。

① 数据来源：《中国能源统计年鉴》（2012）。

② 数据来源：中国工程院院士陆佑楣在2013能源峰会暨第五届中国能源企业高层论坛上的发言。

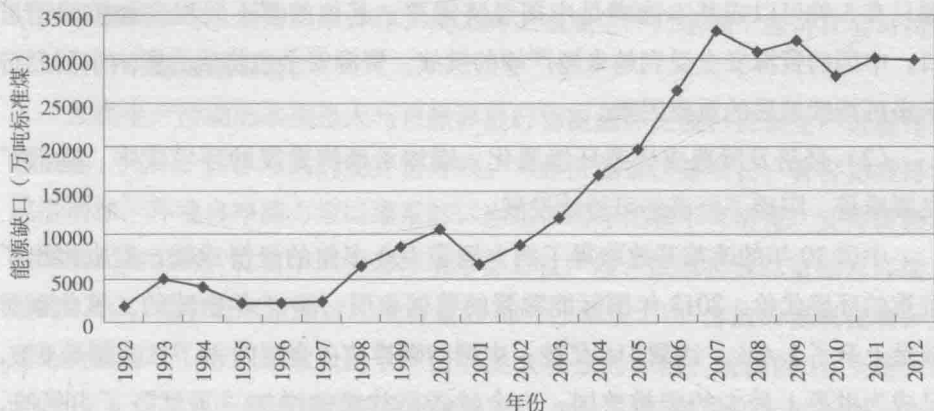


图 1-3 中国能源缺口

在中国能源消费结构中,不清洁能源煤炭的占比居高不下,虽然从 1978 年的 70.7% 下降至 2012 年的 66.6%,但依然远高于国际平均水平(24.4%) 40 多个百分点。据 2013 年《BP 世界能源统计年鉴》显示,2012 年中国在全球煤炭消费总量中的比例首次超过 50%,达到 50.2%。2016 年,虽然煤炭消费量比上年下降 2.0 个百分点,但煤炭消费量依然占能源消费总量的 62.0%。据林伯强、蒋竺均(2009)<sup>[1]</sup>对中国能源消费结构的预测,在有能源规划目标的约束下,到 2040 年煤炭消费占能源消费的比例将高达 56.11%。巨大的煤炭消费量导致中国二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、大气汞排放量高居全球首位。据预测到 2020 年,中国原煤缺口约为 11.74 亿吨<sup>[2]</sup>,石油和天然气缺口更大。

矿产资源是人类社会赖以生存和发展不可或缺的物质基础。从矿产资源总量来看,中国属于矿产资源大国,已探明的矿产资源总量约占世界的 12%,仅次于美国和俄罗斯,居世界第三位;但从人均资源拥有量来看,中国又是一个矿产资源贫国,位居世界第八十位。尤其是一些对经济发展具有重要战略性意义的矿产资源,人均拥有量远远低于世界平均水平。有 45 种矿产低于世界人均水平的 1/3,中国人均煤炭资源只相当于世界人均水平的 77%,石油、铁、铜、铅锌和铝土矿的人均拥有量分别仅为世界人均水平的 1/8、1/3、1/4、1/3 和 1/7。从 2003 年开始,中国消耗的约 50% 的铁矿石和氧化铝、约 60% 的铜、约 34% 的原油依靠进口。国家有关镍、锰、铬等 19 种主要矿产资



源只有5种可以或基本能满足中国经济需要，其他的都不同程度地依赖于进口。中国的资源安全受到越来越严峻的挑战，资源安全也将成为影响中国经济未来可持续发展的重要因素。

(2) 经济发展造成生态环境恶化，增加了经济发展的环境成本，降低了发展质量，阻碍了经济的可持续发展。

中国30年的改革开放取得了西方国家100多年的经济成就，但也付出了沉重的环境代价。2013年国际能源署的数据表明，2012年全球的二氧化碳排放量上升了1.4%，达到316亿吨；中国的碳排放占全球的26.7%，增长6%，已成为世界上最大的碳排放国，为全球碳排放量的增加“贡献”了3亿吨，但这已是过去10年中国碳排放量增长最缓慢的一次。中国在美国耶鲁大学和哥伦比亚大学联合推出的历次世界环境绩效指数EPI (Environmental Performance Index) 年度报告中排名持续偏后，2006年在133个国家中位列94位，即倒数第40位；2008年在149个国家中位列105位，即倒数第45位；2010年在163个国家中位列121位，即倒数第43位；2012年在132个国家中位居第116位，即倒数第17位。

水是生命之源，是人类生存与发展的基础，是经济社会可持续发展至关重要的基础资源。中国是全球13个人均水资源最贫乏的国家之一，水问题已成为21世纪制约中国经济和社会发展的最大的资源瓶颈之一。中国水资源总量为2.8万亿立方米，人均水资源量为2186立方米，仅为世界平均水平的1/4，全国实际可利用的水资源量为8000亿到9000亿立方米。如此宝贵的水资源却受到严重的污染。2012年，全国废水排放总量为684.6亿吨，是2005年的1.4倍，造成全国地表水国控断面总体为轻度污染。长江、黄河、珠江等十大水域的国控断面中，IV（人体不可触摸）—V类（丧失了使用价值）和劣V类水质的断面比例分别为20.9%和10.2%，也就是说中国有1/3的水源无法作为饮用水水源。在全国198个城市4929个地下水监测点位中，地下水的明显恶化，较差和极差水质的监测点比例为57.3%，而较好以上水质的监测点比例仅为42.7%，前者较后者高近15个百分点。在海洋环境中，2012年东海的部分渔业水域和珠江口水域出现无机氮和活性磷酸盐超标较严重的现象，而河北省海域则出现石油类超标较严重的现象。水污染已从河流蔓延到近海水域，从地表水延伸到地下水，水污染进一步加剧了水资源短缺的局面，导