

邹艳芬 著

26

28

8

11

中国能源利用效率

统计测度研究

Study on the Statistical Evaluation
of Energy Efficiency
in **China**



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

· 013049002

邹艳芬 著

F426.2
70



中国能源利用效率 统计测度研究



Study on the Statistical Evaluation
of Energy Efficiency
in **China**



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

F426.2
70

图书在版编目(CIP)数据

中国能源利用效率统计测度研究 / 邹艳芬著. —北京: 社会科学文献出版社, 2012. 12 (2013. 6 重印)

ISBN 978 - 7 - 5097 - 4499 - 4

I. ①中… II. ①邹… III. ①能源利用率 - 经济统计 - 研究 - 中国
IV. ①F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 083554 号

中国能源利用效率统计测度研究

著 者 / 邹艳芬

出 版 人 / 谢寿光

出 版 者 / 社会科学文献出版社

地 址 / 北京市西城区北三环中路甲 29 号院 3 号楼华龙大厦

邮政编码 / 100029

责任部门 / 经济与管理出版中心 (010) 59367226

责任编辑 / 陈凤玲

电子信箱 / caijingbu@ssap.cn

责任校对 / 张怀波

项目统筹 / 恽 薇

责任印制 / 岳 阳

经 销 / 社会科学文献出版社市场营销中心 (010) 59367081 59367089

读者服务 / 读者服务中心 (010) 59367028

印 装 / 北京鹏润伟业印刷有限公司

开 本 / 787mm × 1092mm 1/16

印 张 / 25.75

版 次 / 2012 年 12 月第 1 版

字 数 / 432 千字

印 次 / 2013 年 6 月第 2 次印刷

书 号 / ISBN 978 - 7 - 5097 - 4499 - 4

定 价 / 79.00 元

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社读者服务中心联系更换

▲ 版权所有 翻印必究

摘 要

中国改革开放三十多年经济的飞速发展，付出了沉重的能源和环境代价，引起了国内外的广泛关注。为解决这一日益尖锐的矛盾，能源利用效率的提高被国际社会公认为最有效的手段之一。本课题以中国能源利用效率为研究对象，从可持续发展的角度出发，探讨了中国能源利用效率及统计测度指标体系和测度方法，以期实现将高度凝练的能源利用效率目标具体化，并将复杂的能源利用效率测度问题简单化，便于实际应用。

(1) 本课题首先通过文献研究，对国家能源利用效率概念进行界定；提出能源利用效率测度的关键性要素是能源投入、有效产出的测度和能源利用效率的界定问题。依据中国的实际情况，将能源消费者分为企业、居民和政府三大类别。通过能源消费多样化指数和结构变换速度及方向系数的计算，将中国企业能源消费划分为煤炭快速增长、多元化转换和天然气发展3个阶段，但煤炭比例的下降不明显；而中国居民消费则可以划分为热力化、电气化、多元化和均衡化4个阶段，结构渐趋合理化、高级化和清洁化；政府能源消费节约潜力巨大。

(2) 构建能源利用层次分析理论模型，实证分析新中国成立以来能源相关政策及战略、学者的研究阶段以及实际能源生产和消费的演进特征表明，1977年以前是最低层次的需求阶段；1978~1995年处于第二层次需求阶段，使用以煤为主，基本出于供应安全的考虑；1996~2005年，重点关注成本效益和能源供应安全双重目标，基本处于第三层次需求阶段；2006年以来，基本处于第四层次需求阶段，但还是在供应安全、成本效益和资源效率3个层次之中犹疑；运用多阶段动态博弈模型，建议国家投资于高能效的环境友好型项目，主要应该通过分阶段投资及对其报酬率进行调节，国家投资比例和企业投资比例与国家财富分别呈反向和同向变化。

(3) 依据科学性、针对性、可比性、可量化和实用性原则，逐级分解



中国能源利用效率目标,从总分类指标、监控类指标、解释类指标和辅助说明类指标4个方面构成测度指标体系;以能源消费份额法与熵权法为基础,确定各指标的权重,并与主成分投影法相结合,在汇率法和购买力平价法GDP核算体系下,对中国与美国、日本等32个国家和地区的能源利用效率进行测度并对比分析,计算得出,在4种组合条件下,中国能源利用效率的测度值分别为0.6207、0.5796、0.7854、0.7186,总体虽然基本处于“较好”状态,但在32个样本国家和地区中排名分别为第26位、第28位、第8位和第11位。比较而言,后两种购买力平价法下的测度值和排名更好。

(4) 根据对中国能源利用效率测度,沿着测度指标体系的指标层次向下分析,通过与美国、日本等31个国家和地区的对比分析,指出对中国能源利用效率有利的优势因素主要是较低的居民平均生活能源消费。可能对国家能源利用效率造成重大影响的劣势因素是:经济发展水平不高、产业结构重型化、单位GDP的能源投入较大及能源消费的许多方面不理想,如煤炭消费比重大、电源结构不合理、能源消费环境影响日趋严重等。

(5) 基于内生经济增长模型——AK模型,从理论推导和实证分析的角度分别对比分析了中国能源利用效率2001~2008年的实际值与最优值,并模拟了2010~2050年的未来发展路径。从理论上得到了能源利用效率内生条件下的均衡解和外生条件下的最优调控解;同时,各影响因素对能源利用效率预测方差的平均贡献度由大到小依次为其自身、资本投入和劳动力投入,且在第3期之前,3个因素的影响进行了大幅度波动,但第3期之后,就基本分别稳定在62.44%、29.17%和8.38%,从定量角度证实了中国能源利用效率发展路径的惯性规律。通过运用情景分析法,对比不同经济发展情境下能源利用效率2010~2050年的发展路径发现:能源利用效率随着时间和经济增长率呈不断上升的趋势,但上升速率呈递减趋势;在年均增长率为4%~9%的情景下,能源消费高峰出现的年份分别为2011年、2013年、2017年、2024年、2040年及2050年以后;消费效用达到最大时的最优消费发展模式是经济及其能源利用效率的稳态均衡增长率分别为4.48%和6.48%。

(6) 结合中国能源利用效率的现实,借鉴先进国家的政策措施,提出中国现阶段的总体策略及政府、企业、居民各自的具体措施,并在损害性、时效性、经济性或社会福利性原则下,确定中国能源利用效率战略及

其实施顺序是：开发利用可再生能源和新能源，促进政府自身能源利用效率的提高，完善能效标识制度，加强国际合作，发展清洁能源。在以上战略实施的每一阶段，都应密切注意以下其他战略的贯穿：调整产业结构；调节全民消费需求导向；提高政府管理水平及国家在国际能源市场的影响力，对国际社会的能源决策和能源价格谈判施加影响；提供价格改革、金融服务和政府采购等多种手段；促进能源科技发展；加大教育方面的投入，加强环境与能源利用效率的宣传教育，提高政府公务人员和全民的素质，改进日常生活习惯，促进国民的能源利用效率意识；逐步推进企业绿色设计、绿色制造和绿色回收，完善能源利用效率法律法规体系等。

(7) 以企业节能减排为例，在深度访谈、文献研究和统计分析的基础上，形成了包含 32 个项目的企业节能减排支持度感知调查问卷；通过调查资料因素分析表明企业节能减排支持度感知由 4 个维度构成，分别是持续发展支持度、政府支持度、绩效支持度和社会环境支持度。这 4 个因子共解释了支持度感知方差总变异的 81.26%。对资料进一步的 Logistic 回归分析表明，在节能减排意愿的影响因素中，支持度感知的中介效应显著，而企业个体特征因素的作用是通过 4 个不同的感知构面因素发生影响的，但具体作用途径和显著性有所差异。

(8) 借鉴生态足迹的理念，利用 CGE 模型和投入产出分析法，对中国能源消费的环境影响进行计算，结果显示，在过去的三十多年里，中国能源使用的环境影响呈逐年上升趋势。实证分析可知，科技进步、人口、经济发展、能源消费结构和产业结构等对能源使用的环境影响都具有较显著的影响，而对技术进步进一步分解发现，科技进步和技术效率（纯技术效率和规模效率）对能源生态足迹的作用力度是不同的。

关键词：能源利用效率 统计测度 意愿 支持度感知

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究意义	22
1.3 研究内容和技术路线	24
2 国内外文献研究	28
2.1 绝对的能源利用效率测度指标	30
2.2 相对最优的能源利用效率测度指标	37
2.3 能源利用效率评价指标体系	41
2.4 能源利用效率研究方法	51
2.5 研究局限	55
2.6 能源利用效率测度的关键因素界定	59
3 能源利用效率测度研究的理论体系	65
3.1 能源利用效率测度的相关理论	65
3.2 国家能源利用效率测度方法选择	78
3.3 投入产出分析模型	98
4 能源利用效率作用机理研究	103
4.1 能源投入分类	103
4.2 能源消费行为分析	106
4.3 能源利用层次分析模型	132



5 中国能源利用效率测度方法构建	162
5.1 能源利用效率测度指标体系构建的目标	162
5.2 能源利用效率测度指标体系的构建	177
5.3 指标数据来源及计算说明	183
5.4 中外能源利用效率测度	192
5.5 基于汇率法折算下的测度结果分析	197
5.6 基于购买力平价法折算下的测度结果分析	208
6 中国能源利用效率分项测度与评估	221
6.1 监控类指标测度与评估	221
6.2 解释类指标测度与评估	238
6.3 辅助说明类指标测度与评估	263
6.4 中国能源利用效率预期	292
7 提高中国能源利用效率的战略选择	311
7.1 中国能源利用效率现状分析	311
7.2 能效先进国家的相关政策	321
7.3 中国能源利用效率的改进策略	330
7.4 能源利用效率战略实施顺序	343
7.5 基于工业企业节能减排意愿的建议	351
7.6 基于技术进步的建议	364
8 结论与展望	376
8.1 研究的主要结论	376
8.2 研究的主要创新点	379
8.3 研究的不足及进一步展望	380
参考文献	382
索引	401

1 绪论

1.1 研究背景

改革开放 30 多年来，中国经济飞速发展，但付出了沉重的能源和环境代价。为解决这一日益尖锐的矛盾，近年来，能源利用效率成为国内外关注的焦点，尤其是“十一五”以来，大力推行的节能减排、能耗标签等一系列措施，都是提高能源利用效率的重要手段。本课题的研究背景，总体可以概括为国内的无奈和国际的压力。

1.1.1 国内视角

在国内，主要面临严重的能源供应安全和能源使用安全压力，迫切需要通过能源利用效率的提高来缓解。

1. 能源供应安全问题

随着经济社会的快速发展，中国能源需求高速增长、能源供给难以为继，致使能源对外依存度不断攀升，能源供应安全问题日益严重。

(1) 能源需求高速增长

自新中国成立以来，中国能源消费量基本是一路攀升，目前已经位居世界第二，约占全球消费总量的 19.22%，如图 1-1 所示。中国一次能源消费总量从 1953 年的 5411 万吨标准煤，快速增长到 2009 年的 30.66 亿吨标准煤，其中，煤炭和石油分别从 205.62 万吨标准煤和 97.40 万吨标准煤到 21.59 亿吨标准煤和 5.49 亿吨标准煤，而天然气更是从 1953 年的 0 到 1956 年的 9.64 万吨标准煤，再到 2009 年的 1.20 亿吨标准煤；水电、核电、风电则从 97.40 万吨标准煤到 2.39 亿吨标准煤。

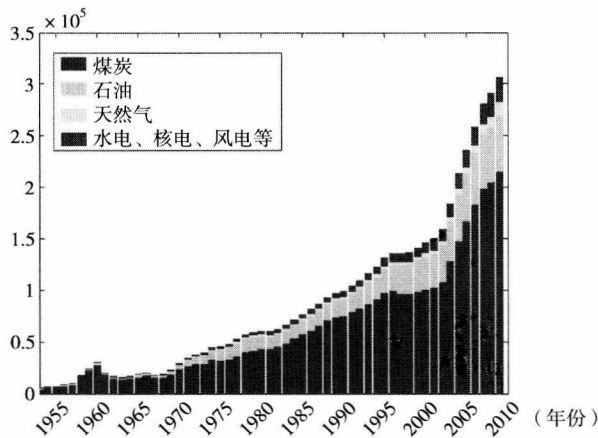


图 1-1 中国一次能源消费总量及构成变化

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980～2010，中国统计出版社。

在 1956～2009 年的 11 个五年规划期间内，除个别年份外（1961～1965 年），总体上中国一次能源消费量是逐年增长的，年均环比增长速度为 6.62%，其中，煤炭和天然气也是除 1961～1965 年外消费量逐年增长，年均环比增长速度分别为 6.08% 和 14.10%；而石油和水电、核电、风电的消费量则一直处于增长状态，54 年来年均环比增长速度分别为 9.33% 和 8.52%。如表 1-1 所示。

表 1-1 中国一次能源消费总量及构成的年均增长速度

单位：%

年 份	能源消费总量及构成的年均增长率				
	总 量	煤 炭	石 油	天 然 气	水电、核电、风电
1956～1960	48.61	49.50	38.60	0	22.88
1961～1965	-1.46	-2.44	14.72	-1.46	1.76
1966～1970	8.90	7.13	21.65	17.16	14.88
1971～1975	6.34	3.91	14.73	27.03	15.63
1976～1980	5.20	6.03	2.68	7.90	3.44
1981～1985	5.80	6.90	2.06	0.27	8.09
1986～1990	4.42	4.55	3.56	2.29	6.49
1991～1995	5.28	4.78	5.87	2.75	12.13
1996～2000	1.53	0.27	5.56	6.31	2.96
2001～2005	11.38	12.53	8.50	14.00	8.45

续表

年 份	能源消费总量及构成的年均增长率				
	总 量	煤 炭	石 油	天 然 气	水电、核电、风电
2006 ~ 2009	7. 48	7. 30	4. 37	23. 73	12. 26
1956 ~ 2009	6. 62	6. 08	9. 33	14. 10	8. 52

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980 ~ 2010，中国统计出版社。

(2) 能源供给难以为继

自新中国成立以来，中国能源生产量也基本是一路攀升，能源自给率一直保持在 90% 以上。如图 1 - 2 所示。一次能源生产总量从 1949 年的 2374 万吨标准煤，到 2009 年的 27.46 亿吨标准煤，列世界第二位。其中，煤炭和石油分别从 2286.16 万吨标准煤、16.62 万吨标准煤到 21.23 亿吨标准煤和 2.72 亿吨标准煤，分别列世界第一位和世界第五位。而天然气更是从 1953 年的 0 到 1957 年的 9.86 万吨标准煤，再到 2009 年的 1.13 亿吨标准煤；水电、核电、风电则从 71.22 万吨标准煤到 2.39 亿吨标准煤。

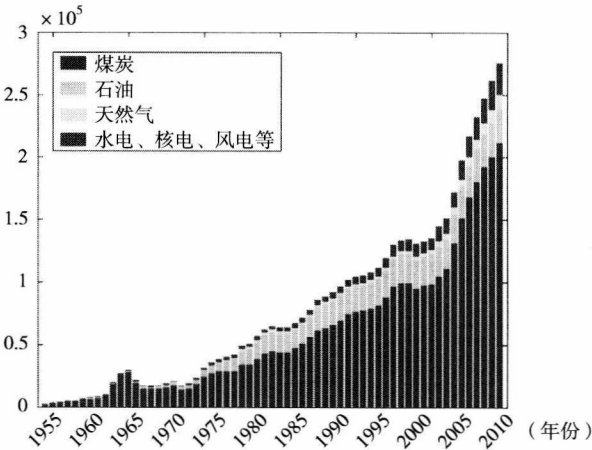


图 1 - 2 中国一次能源生产总量及构成变化

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980 ~ 2010，中国统计出版社。

在 1951 ~ 2009 年的 12 个规划期间内，除个别年份外（1961 ~ 1965 年），总体上一次能源生产量也是逐年增长的，年均环比增长速度为 6.35%，其中，煤炭和天然气也是除 1961 ~ 1965 年外，生产量逐年增长，年均环比增长速度分别为 5.95% 和 9.45%；而石油和水电、核电、风电的生产量则一直处于增长状态，59 年来年均环比增长速度分别为 13.93% 和



8.54%。如表 1-2 所示。

表 1-2 中国一次能源生产总量及构成的年均增长速度

单位:%

年 份	能源生产总量及构成的年均增长率				
	总 量	煤 炭	石 油	天然气	水电、核电、风电
1951 ~ 1955	17.38	16.96	44.57	0	23.28
1956 ~ 1960	51.92	52.14	69.90	0	17.29
1961 ~ 1965	-2.26	-3.31	22.38	-4.23	3.06
1966 ~ 1970	9.75	8.10	21.95	19.67	12.94
1971 ~ 1975	7.63	4.60	19.03	27.37	16.84
1976 ~ 1980	5.32	5.65	4.30	8.14	3.47
1981 ~ 1985	7.06	8.06	4.70	0.04	7.70
1986 ~ 1990	3.59	4.17	1.14	2.46	6.33
1991 ~ 1995	4.61	5.01	1.28	3.38	12.47
1996 ~ 2000	0.30	-0.18	0.66	7.41	2.97
2001 ~ 2005	10.06	11.95	2.13	12.20	8.15
2006 ~ 2009	6.75	6.63	1.20	18.39	12.33
1956 ~ 2009	6.35	5.95	9.45	13.93	8.54

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980 ~ 2010，中国统计出版社。

能源消费总量和生产总量不断提高，但中国的能源资源储量有限，不可再生能源的现状是富煤、贫油、少气。煤炭已发现的资源量占资源总蕴藏量的 13%，而可采储量占已发现资源量的 40%。石油资源探明程度为 33%，开始进入勘探中期，天然气资源探明程度为 14%，处于勘探早期。据国土资源部按照世界通行的方法对中国已发现能源资源进行技术经济评价证实，截至 2009 年底，中国煤炭资源剩余可采储量为 2040 亿吨。如果考虑埋深小于 1000 米的可靠级预测资源量，剩余可采总量可能达到 4000 亿吨。按照国有煤矿矿井资源回采率 50%、年产 25 亿吨原煤推算可供应 80 年；同时，全国石油剩余经济可采储量 20.43 亿吨，而且赋存条件差，生产难度大。陆地上有 35.8% 的石油资源分布在高原、黄土源、山地、沙漠、沼泽和滩海等较恶劣的环境中；56% 的石油资源埋藏在 2000 ~ 3500 米之间，西部则以大于 3500 米为主。非常规石油资源占比较大，陆上重稠油

占 16.4%，海上重油比率更是高达 33.3%。目前，中国陆上大多数主力油田已经进入中后期开发阶段，剩余探明可采储量中，低渗或特低渗油、重油、稠油和埋深大于 3500 米的占 50% 以上；而待探明的可采资源量大都是埋深更大、质量更差、边际性更强的难动用资源；天然气剩余经济可采储量只有 24490 亿立方米；可再生能源资源总量虽十分丰富，但地区分布不均，大多数位于经济落后、交通相对闭塞的西部省份^①。

(3) 能源生产、消费与国民经济增长不同步

中国 1980 ~ 2009 年的国内生产总值、能源生产、电力生产、电力消费和能源消费的增长速度如图 1-3 所示，依此计算得出的能源生产弹性系数、电力生产弹性系数、能源消费弹性系数和电力消费弹性系数如图 1-4 所示。

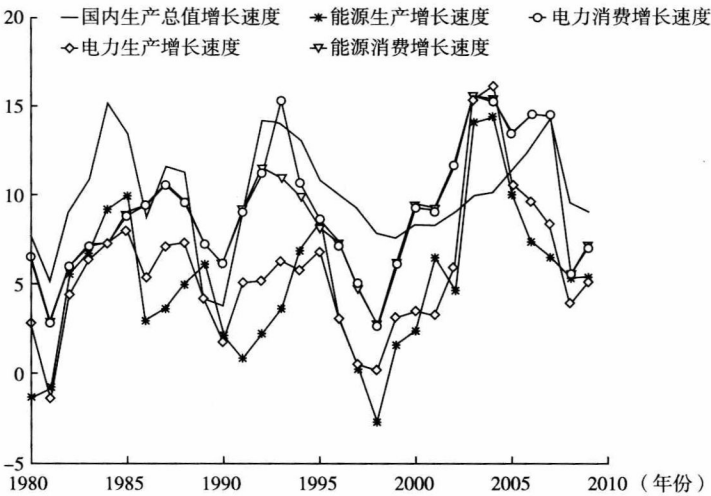


图 1-3 经济、能源增长速度对比

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980 ~ 2010，中国统计出版社。

从国内生产总值增长速度和能源生产、能源消费的增长速度及电力生产、电力消费的增长速度对比可见，国内生产总值增长速度基本一直低于能源相关的增长速度，这一方面说明了中国技术水平和管理水平的不断提高，以更少的能源供给满足了更高的经济发展需求和能源消费结构的优

^① 中商情报网：《2010 年中国天然气行业发展分析》，<http://www.askci.com/freereports>，2011 年 1 月 7 日。

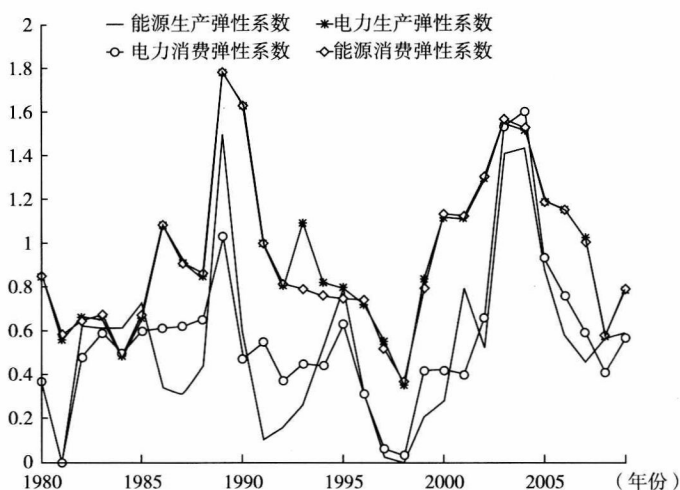


图 1-4 能源生产、消费弹性系数

资料来源：中华人民共和国国家统计局：《中国统计年鉴》1980~2010，中国统计出版社。

化。另一方面，近十年来不断出现的煤荒、电荒等现象^①也说明了中国能源发展落后于经济发展。

(4) 能源对外依存度不断攀升

从中国的能源消费总量和生产总量的对比可见，能源供需差额不断加大，而且这一趋势在未来的一定时间内，只会日益严重。自 1993 年开始中国成为石油净进口国，2009 年已经达到 52%，2010 年达 55.2%，超过美国^②。从各国经验看，石油对外依存度 50% 是一条“安全警戒线”。因此，很多专家认为这意味着中国能源环境已从“比较安全”向“比较不安全”转移。根据不同的权威机构预测，到 2020 年，中国的石油对外依存度至少为 60%，如 2009 年初公布的《全国矿产资源规划（2008~2015）》预测显示，如不加强勘查和转变经济发展方式，到 2020 年中国石油对外依存度将上升至 60%^③。《中国能源发展报告（2009）》

① 环球时报：《中国多地出现电荒引各国媒体关注》，<http://www.sina.com.cn>，2011 年 1 月 21 日。

② 新华网：《原油对外依存度首超美国 能源安全如何保障？》http://sh.xinhuanet.com/2011-01/14/c_131047964.htm，2010 年 1 月 14 日。

③ 新华社：《全国矿产资源规划（2008~2015 年）》发布实施，http://www.gov.cn/jrzg/2009-01/07/content_1198988.htm，2009 年 1 月 7 日。

则指出, 2020 年中国石油对外依存度将上升至 64.5%^①。国家发展改革委能源研究所的有关研究也证实: 2020 年中国石油的需求量将为 4.5 亿 ~ 6.1 亿吨, 届时国内石油产量估计为 1.8 亿吨, 进口量将为 2.7 亿 ~ 4.3 亿吨。对外依存度将处于 60% ~ 70%。前不久, 美国能源部信息情报署对未来各个国家的石油对外依存度的预测数据又显示, 中国的石油对外依存度将从目前的 50% 多上升到将近 80%。2010 年中国又成为了煤炭净进口国。

中国是属于石油对外依存度和净进口量都很高的国家, 2010 年 11 月 1 ~ 3 日, 在福建举行的第十二届中国科协年会上, 中国地质科学院矿产资源研究所研究员王安建在《全球能源格局与中国能源安全》的报告再次提出, 中国能源消费零增长点预计将在 2030 ~ 2035 年间到来, 未来 20 年, 中国能源保障程度不断降低, 对外依存度将持续上升。预计 2030 年中国石油对外依存度将达到 75%, 天然气对外依存度将接近 40%, 而煤炭对外依存度也将接近 10%^②。同时, 能源需求国竞争加剧; 现有国际能源资源垄断导致中国能源海外获取困难重重; 以发达国家为主导建立的能源市场机制使得未来国际能源市场具有更多的不确定性, 中国将可能付出更高的能源成本和发展代价。这对中国的能源工业也会造成很大的影响。

2. 能源使用安全问题

能源与环境问题是近年来人们研究的两大热点和难点问题, 二者之间存在着一定的必然联系。能源消费在促进了社会繁荣进步、经济飞速发展的同时, 也给人类带来了严重的环境、生态甚至经济问题。中国能源使用安全问题的提出源于目前生态环境的日益恶化、生态承载力的不断下降和能源使用给环境带来的沉重负担及巨大影响, 这已不仅是中国而且是全球面临的共同问题。

(1) 能源使用的环境影响

目前, 中国能源消费主要是以煤炭为主的化石燃料, 其余的是核电、水电和风能等, 以下分别说明它们的环境影响。

① 崔民选:《中国能源发展报告(2009)》, 社会科学文献出版社, 2009。

② 王安建:《描绘中国能源战略的未来图景》, http://news.qq.com/a/20091102/001786_1.htm, 2009 年 11 月 2 日。



①化石燃料对环境的影响。化石燃料仍是目前世界上使用的主要能源，在开采、运输、加工和燃烧利用过程中都对环境有很大影响^①。

- 开采过程。最典型的是煤炭的开采，地下开采引起地表沉陷，对地表水、地下水产生污染。地表开采侵占大量农田、草地，开采中矿井瓦斯（甲烷占99%）直接排放会对大气产生污染。此外，煤矿废水使附近江、河、湖、海受到污染，如美国阿巴拉契亚地区17000千米河流，有10000千米水质被井下和露天的酸性矿水所污染，大量生物绝迹。在中国很多煤矿企业附近都是污水、黑水河。在原油开采过程中，对开采场地周围水域及农田等影响较大。

- 运输及加工过程。煤炭运输过程的粉尘及损耗，会对空气等造成严重污染。石油运输过程中的管道泄露、油船事故也会给陆地、海洋造成巨大的污染。据报道，人类每年向海洋倾倒600万~1000万吨石油，1989年11月24日，美国油轮“瓦尔德兹”号在阿拉斯加触礁，约5万吨原油流入海洋，遭到破坏的生态环境估计要10年才能恢复。煤炭加工过程中，排出大量的洗煤水和干燥时产生的灰尘、氮氧化合物和硫氧化合物等，特别是在气化和液化中还会排出大量污染物；石油加工过程中排放的“三废”更多，其中污染物数量是煤气化和液化排放的10倍以上。

- 利用过程。目前，化石能源大部分用做燃料，在燃烧中产生的污染物对环境造成的影响主要表现在以下几方面。

全球气候变化。由于近百年来化石能源的大量使用（据推算，自工业革命以来，人类已向大气层累计排放二氧化碳约2800亿吨，其中2000亿吨来自化石能源的燃烧），大气中二氧化碳的浓度以每年0.7~0.8ppm的速度递增，1998年已达350ppm，预测2030年将达到450ppm，从而导致温室效应，据测度1吨煤可排放灰尘6~11千克、二氧化碳约60千克、一氧化碳约2千克、碳氧化合物0.45千克；汽车发动机每燃烧1千克汽油，排放一氧化碳约150~200克、碳氢化合物4~8克、氧化氮4~12克，这些气体都严重危害生态系统和人类健康。

① 王俊峰：《能源 经济 环境 3E 体系综合平衡发展》，博士学位论文，中国社会科学院研究生院，2000。

热污染。由于材料和技术原因，所有火电站热能平均利用率约为 33.06%，即燃料潜能的 2/3 没被利用而成为“余热”排放掉。这种排放带来无机氮含量和未腐解氨的增加，藻类种群结构和各种底栖生物、鱼种类的变化，使水体局部甚至整个生态系统平衡受到很大的破坏。

其他污染物及酸雨。化石能源的燃烧将向环境排放灰尘、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、烃类和其他有机化合物等空气污染物，其中硫氧化物数量最大，1986 年仅美国就排出一氧化硫约 2120 万吨，而整个北半球每年排放一氧化硫达 1.45 亿吨，造成大面积的酸雨区，对生态产生很大的破坏作用。

②核电站对环境的影响。目前，全世界运行中的核电站已超过 500 座，核能在全世界能源中所占的比重约 8.9%，预计 2020 年达 31%。核电站最致命的缺点是放射性污染。如放射性废物的处理，20 世纪 70 年代中期，美国将其大部分贮存在几个面积为 2400 平方米的大钢槽中。由于技术原因，仅 1970 年就泄漏废液约 87 万升，1973 年又泄漏 45 万升。这些废液进入地下水质，污染可达数万年之久。

此外，反应堆自身安全缺陷，如果再加上人为（战争、操作失误）因素，它便成为藏在人群中的“定时炸弹”。如 1957 年 9 月 29 日，苏联乌拉尔山中的秘密核工厂发生爆炸，1957 年 10 月 7 日，美国北海岸温德斯凯尔的铀反应堆发生火灾，1961 年，美国爱荷华州一座实验室核反应堆爆炸，1971~1986 年，美国又发生 4 次严重核事故。1986 年，苏联切尔诺贝利核电站事故造成周围 30 平方千米范围的“死亡区”，严重危及邻近几个国家，引起人们的极大不安，给周围环境带来了深远的影响。2011 年日本地震引起的核电站问题也对环境造成了极大影响。

③水力发电对环境的影响。水电生产使用过程是一种经济、干净、可再生的能源，但建设水库时，特别是大型水库对环境也会有很大影响，具体体现在以下几个方面。

自然方面影响。大型水库可能引起地面沉降和水库地区小气候的很大变化，甚至诱发地震，引起流域水文上的改变，如下游水位降低甚至断流，从而造成土壤盐碱化，或来自上游的泥沙减少，补偿不了海浪对河口一带的冲刷作用，使三角洲受到侵蚀。

水质方面影响。由于水库接纳入水后，在库区内存留，使水库各