

能源革命

改变21世纪

ENERGY REVOLUTION
CHANGING THE 21TH CENTURY

刘汉元 刘建生◎著

成思危 原全国人大副委员长，著名经济学家

本书对能源、环境、经济、社会的系统思考，大胆而新锐，值得一读。

陈昌智 全国人大副委员长，民建中央主席

本书的最大意义在于：以物理经济学的跨界视野，探索能源与人类大历史的关系

黄孟复 全国政协副主席，全国工商联主席

新世纪的能源问题需要新的思索，本书的主题切中要害。

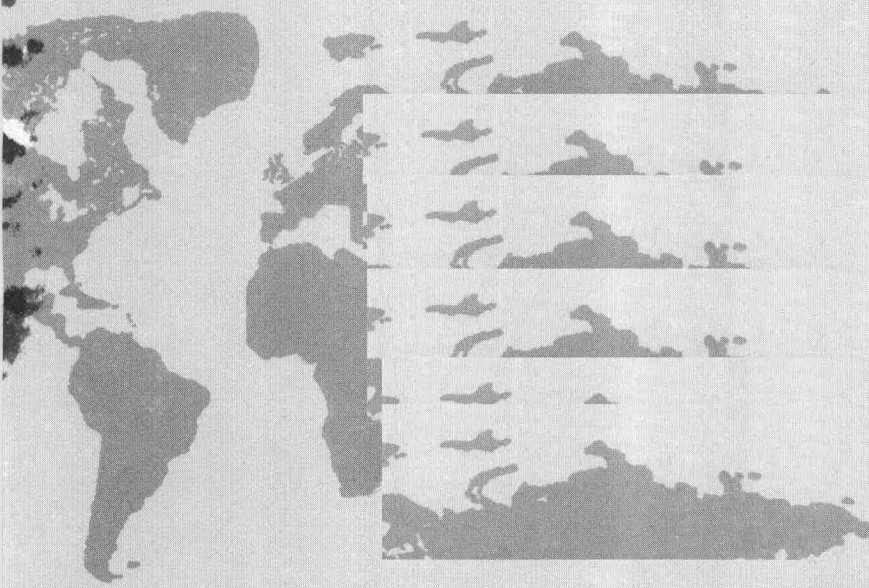
中国言实出版社

New Energy Revolution:
Changing the 21st Century

能源革命

改变 21 世纪

刘汉元 刘建生◎著



中国言实出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

能源革命：改变21世纪 / 刘汉元，刘建生著.

—北京：中国言实出版社，2010.6

ISBN 978-7-80250-147-8

I. ① 能…

II. ① 刘… ② 刘…

III. ① 能源工业-经济发展-研究

IV. ① F 416.2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第057529号

出版发行 中国言实出版社

地 址：北京市朝阳区北苑路180号加利大厦5号楼105室

邮 编：100101

电 话：64924716 (发行部) 64963101 (邮 购)

64924880 (总编室) 64928661 (二编部)

网 址：www.zgyschs.cn

E-mail: zgyschs@263.net

经 销 新华书店

印 刷 北京燕龙印刷有限公司

版 次 2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷

规 格 787 毫米 × 1092 毫米 1 / 16 23.5印张

字 数 340千字

定 价 39.00元 ISBN 978-7-80250-147-8 / F · 308

PREFACE I

序一

原全国人大副委员长 成思危

非常高兴能为《能源革命：改变21世纪》这本书写序，两位作者探讨的能源问题，是一个非常重要的课题，也是我多年来一直关心的问题。我曾经多次强调，在发展新能源方面，有四个重要问题需要特别关注。

一、可持续发展问题

上世纪50年代，卡尔森写了《寂静的春天》这本书，引起了人们对环境保护的重视。联合国在上世纪80年代正式提出了可持续发展的概念，并且逐渐受到世界各国的重视，也成为涉及人类存亡的重大问题。

人类经过了几千年的农业文明和几百年的工业文明，即将迎来的是知识社会，在知识社会中需要一种新的文明——“节约资源，保护生态，人与自然和谐相处”的生态文明。党中央提出“以人为本，全面协调可持续发展的科学发展观”，正是对这样的文明即将到来的有力响应。

二、低碳经济是实现可持续发展的重要手段

环境问题包括很多方面。一个重要的问题就是减少二氧化碳的排放，二氧化碳等温室气体大量排放所造成的全球气候变暖，是当前人类面临的最大威胁。低碳的概念也是从这个角度提出来的。我个人的理解，低碳经济是一种低二氧化碳排放的经济发展方式。但是我们的观点和西方的观点有一点不同，我们并不是把减少二氧化碳的排放作为我们发展低碳经济的唯一目标，而是把低碳经济的目标定为低能耗、低污染、低排放“三低”的概念。也就是说，除了要关注减少二氧化碳排放以外，还要关注节能减

排，要全面地来看低碳经济。

低碳经济是一种经济的发展方式，它不仅仅会改变能源结构，改变产品结构，而且会更进一步改变人类的生产方式和消费方式。也就是说，不仅仅在工业部门要注意，而且每一个人都要注意，如何通过发展低碳经济来改变我们自己的消费方式。

三、新能源将引领下一次产业革命

发展新能源是实现低碳经济的一个非常重要的措施，因为发展新能源有四个主要的好处。

一是减少二氧化碳的排放。

二是可以减少人类对化石能源的依赖。长远看，化石燃料总有耗尽的一天。根据国际能源署的预测，石油大概还可以用40年，天然气大概还可以用50年，煤炭大概还可以用120年。当然这些预测可能没有考虑随着科学技术的进一步发展，有可能通过提高开采石油、天然气和煤炭的技术等措施，延长化石能源枯竭的时间。但是不管怎么说，它们是早晚要耗尽的。

此外，从经济方面来说，石油的价格波动已经危及各国的经济稳定。目前石油的需求量每天是8千万桶到9千万桶（7桶约相当于一吨），即需求量的波动是 $\pm 10\%$ 。但是由于期货和石油经纪人的炒作，近几年内石油价格剧烈波动，每桶从最高近150美元到最低就20多美元，对各国经济造成了非常严重的影响。同时供应还没有保障，石油运输要通过马六甲海峡，一旦出现特殊情况，就难以安全地供应，就会对我国的能源安全造成威胁。

发展新能源的第三个意义是通过用纤维素和半纤维素为原料来制造生物燃料，这样可以腾出更多的耕地来种粮食，以应付粮食危机。

四是发展新能源将会给世界和我国在金融危机以后提供一个新的经济增长点。

人类经过的前三次产业革命，分别是以蒸汽机、电力和电脑为引领的，每一次产业革命都使得世界的产业发展水平提高一大步，而且最后会使消费者受益。我认为第四次产业革命将是由新能源引领的能源革命。

四、发展新能源任重道远

我国新能源发展的态势是可喜的，但也面临着严峻的挑战。

这个挑战有以下几个方面。一是我国目前对于整个新能源的发展还缺乏一个周密、细致的规划，对于新能源发展的争论也比较多。二是在关键技术上掌握得还不多，自主创新太少。第三个挑战是目前新能源成本普遍地较高。最后一点，就是我国发展新能源一定要踏踏实实，冷静地思考，防止过分炒作。我国新能源发展的方向要坚定，步伐要稳健。

发展新能源，应该从三个层次上解决问题。

第一个层次是技术层次。一定要通过自主创新和引进相结合，在技术上取得突破。突破有两类，一类是近期的，一类是长远的。

第二个层次是经济层次。要解决目前新能源成本高的问题，一要通过技术上的突破来降低成本；二是要通过计算环境成本，给新能源一定的补贴。政府对新能源的补贴是必不可少的，国外现在就是采取补贴的政策，使得太阳能的利用迅速发展。三是可以通过现在国际上的清洁发展机制（CDM），来取得一定的补偿。四是我们的企业要考虑如何优化供应链，提高附加值。

第三个层次是政治层次。发展低碳经济，发展新能源，应对气候变化，绝对不是一个国家自己就可以做到的，这是世界性的问题。中国的二氧化碳排放量在全世界排位靠前，所以我们要从世界的角度加强国际合作，这就需要从政治方面解决这个问题。

将能源、环境气候、经济发展、社会进步，中国以及全球联为一个整体而形成一个“能源革命”的提法与系统思考是相当有价值的。

西方国家对未来的看法曾经主导全球的舆论导向，中国人在21世纪的未来也应有影响世界的声音与看法。在能源这种对世界具有根本影响作用的问题上提出重要的系统看法是非常有意义的。尽管仅是一家之言，但“仁者见仁，智者见智”，“能源革命”是一次有益的尝试。

“能源革命”有三点内容值得特别注意。

一是抓住了目前太阳能电池领域正在发生的重大进展，而进行的深

入、特别的分析与研究。

二是对人类几千年的大历史与能源关系的分析与研究，提出了一些的新看法与新观点。

三是分析了新能源对未来的影响，以及展示的令人鼓舞的前景。

汉元是一位企业家，能抽出大量的精力来思考和研究能源问题这种天下大事，是非常值得赞扬的，天下人关心天下事，这种精神是国家兴旺的重要标志。

2010年5月

PREFACE II

序二

全国政协常委、民建中央常委、通威集团董事局主席 刘汉元

写一本有关新能源方面的书，一直是我们的想法。

与30年中国经济的高速发展相应的现实是：能源消耗总量约412亿吨标准煤，年均增幅达5.5%；近年全球能源新增部分，我国占主要部分，2008年约占全球的3/4。过去10年，我国能源弹性系数平均超过0.9，其中煤炭更高。2009年我国消耗煤炭约30亿吨，未来的20年左右时间，如我国的国内生产总值（GDP）再翻两番，将消耗相当于今天近3倍的煤炭量，达到约100亿吨，照此发展，我国的煤炭资源将在未来100余年间消耗殆尽。而目前我国石油进口依存度已超过50%，到那时石油消耗总量也将是现在的两倍左右。所以，未来将难以有足够的能源来供给，并确保我国经济的可持续发展。

我们曾多次用鸡蛋和地球相比较。鸡蛋壳相对鸡蛋的厚度比地壳相对于地球的厚度还要厚2~3倍。人类目前正热衷于开发各种化石能源，基本上就相当于在这个鸡蛋壳上打洞。鸡蛋里装的是蛋清，地壳里装的是熔岩，这样下去不仅让地壳面临千疮百孔的地表危机，排放出去的二氧化碳还会危害天空环境，大面积导致温室效应。由于气温上升带来的生态失衡，许多海滨城市将因此消失，我们的生活方式也要被改变。正所谓“皮之不存，毛将焉附”。

因此，解决能源安全问题，以及解决由此带来的气候、环境问题，将是中国乃至世界未来发展的首要战略问题。为从根本上解决我国的能源安

全，寻找并开发真正文明的、持久的、永续的清洁能源，已成为人类可持续发展与生存延续必须回答的重大问题。对于人均资源明显低于全球平均水平、经济快速发展、能源消耗迅速攀升的我国来讲，尤其具有重要的现实意义和深远的战略安全意义。

目前，可供人类利用的可再生清洁能源主要有生物质能、水能发电、风能发电和太阳能发电，其中太阳能发电是直接将太阳辐射能转换为电能，是所有可再生能源中对太阳能的转换环节最少、利用最直接的。目前，晶体硅太阳能电池的转换效率实用水平在15%~20%之间，这一比例大约是太阳能通过水稻、小麦、玉米等植物，固化为人类可食用生物能效率的10~30倍，是通过玉米生产乙醇的50~100倍。此外，从新建电站所消耗能量与电站运行整个周期内的发电量之比即能量的投入产出比看，目前光伏发电可达到10~15倍，在光照良好的地区可达到15~20倍，随着转换效率进一步提升，可达到20~30倍。据专家统计，我国太阳能资源蕴含量约2.1万亿千瓦，只需开发1%即可达到210亿千瓦，远大于生物质能的1亿千瓦、水电的3.78亿千瓦以及风电的2.53亿千瓦。随着世界经济向低碳方式的转变，太阳能光伏发电将以其自身接近零碳排放而尤具优势。相比之下，每发电1千瓦·时的碳排放量，煤电约为304克，油发电约为204克，天然气发电约为181克，水电约为20克，风力发电约为6克。

通过以上比较，我们可看出，太阳能是我们目前可使用的能源中一次性转换效率最高，并且使用最简单、最可靠、最经济的新兴能源，具备十分独特的优势，是未来新能源发展的必然选择。

本书从构思到出版，历时不到一年，数易其稿。在这不到一年的时间里，关于太阳能光伏发电的许多量化指标、参数，因技术的快速进步、成本的降低而不断发生变化。当初对光伏发电进行经济性评估时，我们测算的系统组件单价为30元/瓦，也就是说，实现1000瓦的光伏发电，需要3万元人民币。时隔不到一年，目前已大幅下降到1.5万元，光伏发电的成本控制取得突破性进展，经济性前进了一大步。而这一价格还在继续下降，甚至会逼近1.2万元，这样的成本控制，比我们的预期更快更好，它为商业化运作打下了坚实基础，让行业备感振奋。预计在未来10年、20年，甚

至30年、40年，随着光伏产业各环节成本的继续下降，经过行业、政府和社会各界形成共识与努力，尤其是政府引导、政策支持以及其他必要的培育和推动，太阳能发电将可以而且能够从我国能源结构的补充和配角，变为我国能源供应的主要选择和主流方式。

同时我们大胆预测，汽车电动化将发生在未来5~10年，甚至3~5年。这个变化先发生在中国还是西方？这样的问题，将随着我国太阳能光伏产业的快速发展，而很快找到答案。比如，包括电动汽车、电动自行车、电动摩托车，我们都在思考其经济性和可靠性。我们初步认为，中国完全有可能超越欧、美、日、韩，成为汽车电动化领域的先行者、生力军。目前，发达国家掌控着汽车制造的两大核心技术，一是发动机，一是变速箱。坦率地讲，这两项技术都捏在他们手中，许多技术还受到各种专利的保护，中国现在还没有真正解决。但是，中国可以直接跨过这个环节，通过发展电动汽车组件，从而实现汽车电动机技术的率先运用，因为电动机不需要变速箱，就可以实现最大扭矩和高速运转，这实际上是把中国的劣势变成了优势。这样的梦想，促使我们尽快去跨越技术障碍、观念障碍；而什么时候跨越，则决定了太阳能清洁能源何时实现对化石能源的取而代之。

所以，新能源作为21世纪全球经济发展的制高点，虽然国家及相关部门在行业发展中做了大量卓有成效的工作，为行业发展打下了基础，但还需要在此问题上进一步解放思想，开足马力，打破旧的观念与制度，实现体制、政策的全面革新，最大力度地释放企业家的创新精神，最大程度地解放社会生产力，只有这样，我国的新能源事业才能大踏步前进，争取后来居上，赶超西方发达国家。

值得强调的是，大力发展太阳能光伏产业，尤其是在地球环境日益恶化的今天，快速崛起的中国应该而且可以担当起保护人类共同家园——地球的重任，在世界范围内树立起保护环境和节能减排的典范，这不仅对我国能源部署和可持续发展有重大贡献，还能体现出我们泱泱大国的风范，在世界面前展现出中国作为一个负责任全球大国应有的道义和责任感，也是我们树立世界道德水平和良好形象的最佳切入点。

与建生先生的合作，可谓一拍即合。

此前拜读过他所写的有关能源问题的两本专著。作为中国能源领域的专家，他很有想法，所谈话题很有特色，尤其是建生在以物理学为主的自然科学方面研究的深度和广度，在比较研究方面把以物理学为主的相关自然科学和社会科学、经济学进行链接、融合以及跨界研究的专业特长与独特视角，让人耳目一新、备受启发，十分难得。尽管我们在能源问题上有部分观点存在差异和争论，但在新能源发展方面的许多基本想法，却不谋而合，高度一致。为此，幸逢建生，也感谢建生。因为建生及团队的辛苦付出，才有了这本著述的顺利出版。

另外，我非常感谢中山大学沈辉教授、洪瑞江教授以及黄其刚、罗太学等几位先生，他们参与了我与建生的研究与写作，并做了大量工作，在此特致谢意。

能源变革，是必经之道。何去何从，每位中国人都肩负着责任。作为我国经济建设和社会发展的参与者，我们对此责无旁贷，也应该为此作出自己的贡献。

本书的出版，希望对我国新能源发展有所推动。

2010年5月

PREFACE III

序三

西南财经大学能源经济研究所所长 刘建生

《能源革命：改变21世纪》这本书包含两个大部分，一是宏观问题，主要是能源革命发生的必然性和可能性；二是新能源尤其是太阳能产业的发展所涉及的研究技术、工艺、管理、资金、人才等。由我和汉元先生根据各自所长完成。

完成这本书，以及开展相关的研究工作，我们一个月开一次碰头会，展开相关问题的讨论。在讨论甚至是争论中收获很大。写一本书总是有不同意见，特别是都有较深的见解却没法完全统一的地方，就只好各说各的。好在这种问题不是太多，比如我将全球经济危机很大程度归结于能源危机的提法，汉元先生就不是完全赞同。

原来书的内容与题目是偏向于更专业、更集中于新能源的发展政策与方法的可行性问题。但根据目前的国际国内形势，特别是哥本哈根会议所体现出的人们对21世纪人类社会的强烈忧郁、渴望、冲动，我们深深感到需要从一个时代的角度，从未来、国家、全球的视角与责任的角度，来进行强烈的呼吁、呐喊，并将一个重要信息与结果展示出来，这就是人类社会正面临一场有史以来的深刻而伟大革命——能源革命——核心是以太阳能电池为基础的新能源革命，而且只有这场革命才能最终解决人类社会发展的根本问题，才能以此创造一个新的社会、新的时代。从研究结果看，这场革命所带来的投入规模将会超过人类社会现有资产的总和，仅就这一点而言，就可以说这场能源革命是一场最为伟大而深刻的革命。同时，从

研究的结果可以充分肯定太阳能电池将是新能源的核心，而人类是可以突破其关键的技术、价格以及其他问题，从而真正实现一场能源革命的。

在书中，将新能源革命的意义归为六点，这里特别提出，以示强调。这就是：

意义一：如果新能源实现上述情景，这将是人类社会两百年现代文明最为伟大的进步。人类社会将第一次走入一个真正意义的可持续发展的历程。实现新能源代替化石能源无疑将是人类社会发展史上最有历史意义的里程碑，它将远远超过人类历史上任何其他革命的历史作用与历史意义。值得未来的每一个人永远赞颂与感激。

意义二：一个终极的理想社会才可能真正建立起来。所有的财富都是建立在能源的基础上，没有能源的财富是无米之炊、无源之水，是没有实际意义的财富。只有太阳能等新能源真正代替了化石能源，一个财富充分涌流的世界、一个具有理想情操的社会，甚至可以说一个天堂般情景才会真正出现在我们的眼前。

意义三：如果新能源可行，其投资规模将超过任何一个产业，如果全面替代化石能源，其规模将远远超过现有的固定资产总和，是一个史无前例的投资革命，这是一个推动未来30~50年持续高速发展的历史性动力，也是根除全球经济危机的最佳道路。

意义四：这是一个根本性改变环境的方法。温室效应、污染问题基本都是源于化石能源的使用，新能源登上历史舞台，将根本性地解决环境问题。

意义五：一个理想的社会生活方式可以真正建立起来。太阳能是一种面分布的能源获得方式，与此相应的合理社会是需要一个有相当分离度的居住方式，在现代信息技术条件下，这种高度分散与高度集中相结合的理想世界才能得以真正实现。

意义六：中国在未来世界中，将是一个真正意义的大国，其总产值理论上有可能超过美国的50%的量级，即总产值为美国的1.5倍。其根本原因是中国的地理资源优势，中国西北的太阳光强度超过平原或者低海拔地区50%的量级。这决定了未来一个国家的财富总量。

就此而言，中国展开新能源革命是真正实现历史梦想的根本道路，我们需要毫不犹豫地引领与展开这场新能源革命。

上述六个意义就是本书的题目“能源革命：改变21世纪”的内在含义。

为了充分展示这些观点，我将三年来学校（西南财经大学）的主要研究工作“能源与经济发展的关系”课题的许多内容与这本书进行了一定的结合，形成了本书的前三章。这算是一次对人类社会大历史进程的半定量的描述，主要从能源、资源的角度对人类社会发展历程作一次两千年跨度的探讨，从中可以总结出非常有意义的结论。过去的历史探讨更多是一种现象性的描述，基本没有用一种理论体系为依托实现定量描述的著作，而本书通过资源与人类社会的关系，实现了历史问题的量化研究。我个人认为这是一个具有深远意义的工作。主要是两点：一是以物理经济学为依托的定量计算的结果与两千年的整个全球大历史的事实基本一致，将几年前所提出的“农耕文明——植物能源时代、现代文明——化石能源时代、未来文明——后化石能源时代”的大历史观更加精细地展示出来了；二是对1913~1950时代所发生的令人震惊的历史——两次世界大战及其所夹一个全球经济危机的特别时代，给了一个崭新的解读——这个时代的本质是一个以大历史时代的能源危机为基础，而产生的一个特别历史时代——这个时代危机的主要根源是以煤炭为依托的现代文明，由于当时的主要能源煤炭在欧洲发达国家已经处于战略性枯竭，而产生的特殊历史，也是一个煤炭时代向石油时代过渡的大历史时期，战争与危机相当程度都源于这种能源危机，而令世界真正走出困境的是找到与获得了大量如水般廉价的中东石油。主要结论相当有意义，这就是人类社会几千年来的根本经验：推动人类社会发展的最基本动力都直接或者间接来自于不同形式的能源革命。

这本书对温室效应、气候问题以及碳循环问题的描述，主要是参考和引用了郑楚光、黄春长与于贵瑞等人的著作，他们是这方面的专家。另外，中科院物理所王岩国、西南财经大学潘旭明等人也参与了研究。在此一并致谢。

与汉元先生一起共同完成《能源革命：改变21世纪》一书是个缘分，

主要是缘于兴趣点高度一致——都是对新能源、粮食问题，特别是有关太阳能电池问题的认识、关注、争论。从某种程度讲，我花了10年时间写《后化石能源时代论》、《物理经济学原理》的一个重要动机就是对粮食问题、太阳能电池的可行性进行探索、解决作为起点。

汉元先生非常睿智、敏捷，同时富有少见的探索精神、责任感。他投资新能源、太阳能电池这么多年来，从原理、技术、工艺到市场、未来、发展前景形成了一个非常有见地的系统看法。太阳能电池的核心问题是晶体硅的生产，在此方面，他的企业取得了行业内的领先水平，这主要是他的企业采取了上下游联动，以及关键技术的攻关，在晶体硅的生产方面实现了能耗的大幅度降低，这也充分体现了其思想、观念和技术的水准。

对新能源发展，汉元先生提出两个重要观点：必须依靠规模化推动太阳能产业的发展，而且只有规模化才是真正能推动新能源、太阳能电池发展与进步的根本手段和措施；再就是如何发挥社会各方面作用，只有建立一个能充分发挥各方面作用的机制，新能源、太阳能电池的发展才会具有生命力。通过这两个问题的统筹解决，才能将新能源的发展所涉及的研究、技术、工艺、管理、资金、人才集于一体，形成发展合力，实现最终问题的解决。

我和汉元先生一样，希望本书的出版能对国家新能源发展有所推动，愿中国在新能源革命中实现历史的伟大复兴梦想。

2010年5月

CONTENT

目 录

序一.....	成思危 / 1
序二.....	刘汉元 / 5
序三.....	刘建生 / 9

第一部分 新能源革命的历史挑战与机遇

第一章 1500时代：话题从这里展开.....	3
一、哥伦布、新大陆与1500时代	5
二、人类大历史的GDP描述	8
第二章 物理经济学视野下的人类历史	13
一、农耕文明：植物能源时代	16
二、1500 ~ 1800年的世界：过渡与变革的前夜.....	21
三、1820 ~ 1913年：化石能源时代来临 ——煤炭与“黄金百年”	26
四、1913 ~ 1950年：大动荡时代.....	28
五、1950 ~ 2001年：化石能源的石油时代.....	37
六、2001年之后：后化石能源时代的开启.....	42
第三章 物理经济学与能源革命	47
一、能源革命如何可能：技术问题还是经济学问题	49

二、财富的本源：资源—财富的经济学定位·····	53
三、从经济现象和规律的最基本面看能源·····	68
四、展望能源革命：太阳能电池的物理经济学意义·····	82
第四章 全球能源发展现状与发展趋势·····	87
一、石油发展现状与发展趋势·····	89
二、天然气问题·····	92
三、煤炭问题·····	96
四、化石燃料所产生的环境影响问题·····	97
五、全球经济发展对能源需求的巨大压力·····	98
第五章 全球粮食问题的评估·····	101
一、粮食的能源特性·····	103
二、未来粮食需求的压力·····	104
三、目前增加粮食产量的常规办法已基本用尽·····	105
四、城市发展对土地的占用·····	106
五、生活水平提高导致其他经济作物占用耕地 也将大幅增加·····	107
六、环境与生态所产生的问题·····	107
七、能源危机对粮食生产的影响·····	108
八、粮食危机问题·····	109
第六章 中国的能源问题·····	111
一、中国的石油问题·····	113
二、中国的天然气问题·····	114
三、中国的煤炭问题·····	115
四、中国化石能源的消费问题·····	115
五、后化石能源时代对中国未来发展的挑战·····	117
第七章 中国的粮食问题评估·····	119
一、中国人口增长所产生的粮食压力·····	121