



# 中国农村发展中的能源、环境及适应

## 气候变化问题

国合会政策研究报告 2009

中国环境与发展国际合作委员会 2009 年年会  
(2009.11.11-13)

## 课题组成员

### 课题组顾问

鲁志强 国务院发展研究中心研究员，原副主任

### 课题组中外组长

林而达 中国农业科学院农业与气候变化研究中心 主任

杜丹德 国合会委员，美国环保协会 首席经济学家

### 课题组中外成员

徐华清 国家发展与改革委员会能源研究所 主任

高庆先 中国环境科学研究院气候影响研究中心 主任

董红敏 中国农科院农业环境与可持续发展研究所 副所长

赵成义 中国科学院新疆生态与地理研究所 研究员

徐晋涛 北京大学环境科学与工程学院 教授

李俊清 北京林业大学资源与环境学院 教授

居 辉 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 研究员

Anil Markandya 英国巴斯大学经济学教授

Brian Fisher 澳大利亚概念经济学 执行理事

Martin Parry IPCC 第四次评估第二工作组 主席

Luis Gomez-Echeverri UNDP 气候变化咨询专家

Zach Willey 美国环保协会 高级经济学家

### 支持专家

于胜民 国家发展与改革委员会能源研究所 博士

师华定 中国环境科学研究院气候影响研究中心 博士

陶秀萍 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 研究员

李 劼 北京大学环境科学与工程学院 博士

张玉波 北京林业大学资源与环境学院 博士

刘小和 中国农业科学院农业经济研究所 研究员

熊 伟 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 副研究员

### 课题协调员

孙 芳 中国农业科学院农业与气候变化研究中心 主任助理

王 昊 美国环保协会 项目经理

## 目 录

<b>1</b>	<b>前言 .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>中国农村能源、环境和适应气候变化问题的研究背景 .....</b>	<b>1</b>
2.1.	研究范畴 .....	1
2.2.	政策背景 .....	2
<b>3</b>	<b>中国农村能源的现状、趋势和问题 .....</b>	<b>3</b>
3.1.	中国农村能源的现状 .....	3
3.2.	中国农村能源发展的趋势和需求分析 .....	7
<b>4</b>	<b>农村能源消费的环境效应 .....</b>	<b>14</b>
4.1.	农村能源消费模式与环境问题 .....	14
4.2.	农村能源消费与气候变化 .....	16
<b>5</b>	<b>农村能源、环境和适应气候变化的国际经验 .....</b>	<b>17</b>
5.1.	国外能源研究的经验启示 .....	17
5.2.	国外农村适应气候变化的经验启示 .....	19
<b>6</b>	<b>农村适应气候变化的政策选择 .....</b>	<b>19</b>
6.1.	中国农村应对能源、环境和气候变化问题的政策和实践 .....	19
6.2.	中国农村地区适应和减缓的资金机制 .....	20
<b>7</b>	<b>中国农村应对气候变化问题的案例 .....</b>	<b>22</b>
7.1.	生物质能利用案例 .....	22
7.2.	畜牧业发展节能增产案例 .....	23
7.3.	温室气体减排案例 .....	25
7.4.	农村改变农业生产方式下的节能减排案例 .....	26
<b>8</b>	<b>政策建议 .....</b>	<b>27</b>
	致谢 .....	31

# 1 前言

中国是农业大国，“三农”问题一直是关系到中国经济和社会发展全局的重大问题。持续安全的能源供给是中国农村社会经济发展和农民生活质量提高的基本保证，是实现农村经济可持续发展的基本前提，是减缓和适应气候变化的有效手段。因此，发展农村能源以促进农民增产、生活质量提高和农村生态环境改善一直是国家解决“三农”问题的重要载体和切入点。在全球应对金融危机、国内大力推动社会主义新农村建设和生态文明建设的新历史时期，中国农村能源、环境和适应气候变化的相关研究具有十分深远的意义。

## 2 中国农村能源、环境和适应气候变化问题的研究背景

### 2.1. 研究范畴

农村能源是农业生产和农民生活的基本资源，其开发和利用与农村环境保护、减缓和适应气候变化关系密切，是农村全面建设小康社会的物质基础。

#### 2.1.1. 中国农村能源的基本概念和界定

农村能源是国家能源系统不可分割的组成部分，其定义有广义、狭义之分(罗国亮等，2008)。狭义的农村能源即农村地区的能源，包括商品能源和可再生能源；广义的农村能源则是针对第三世界国家农村地区因经济不发达和商品能源供应欠缺而不得不依靠当地可再生能源的现象而提出的一个概念，其实质是指农村地区的能源问题(王效华等，2003)。本报告讨论的农村能源问题，涵盖了农村地区的能源供需和管理，以及当地资源的开发利用。所说的农村能源供给，包括了不可再生能源、可再生能源以及新能源在内的所有商品能源和非商品能源。所说的农村能源消费需求，包括了农村范围内居民生活和生产消费两个领域的所有用能：其中的居民生活用能指农民生活中炊事、取暖、制冷、热水、照明及家用电器等用能，农村生产用能包括农、林、牧、渔诸业的作业、运输、初始加工以及在乡村举办的乡镇企业用能。

#### 2.1.2. 中国农村能源问题的环境影响

中国农村的能源问题与环境问题息息相关。一方面，农村能源的结构和利用方式不当、能源需求的快速增加，给农村生态环境造成压力(陈甲斌，2003)，另一方面，农村新能源和可再生能源建设，可促进畜禽粪便、秸秆等农业和农村废弃物的有效利用，从而有效改善农村环境和促进农村地区的可持续发展。

### 2.1.3. 中国农村能源问题与气候变化

长期以来，中国农民生产生活用能十分低效，不仅消耗了大量生物质能和原煤，也造成了农村地区的能源短缺和温室气体排放问题（王革华等，2002）。随着农村社会结构转型和农民生活水平提高，中国农村能源消费增长将十分迅速，从而加剧对温室气体排放的影响（赵行姝，2005，2006）。开发农村新能源和提高能源效率则是减少温室气体排放的有效途径之一。相关研究表明，1990年~2000年中国推广沼气、风能等10余项农村可再生能源建设，已经减排二氧化碳（CO<sub>2</sub>）15872万吨，减排甲烷（CH<sub>4</sub>）23.1万吨（王革华等，2002）。

## 2.2. 政策背景

### 2.2.1. 应对全球金融危机

全球金融危机给中国农村地区和农民带来了直接影响。由于出口锐减，国内一些行业产能过剩，部分企业经营困难，导致了农民工返乡潮。另一方面，金融危机导致各级财政收入增幅放缓，对涉农财政支出产生较大影响，直接影响到农村基础设施建设和公共物品供给。在全球金融危机和国内自然灾害的双重压力下，2008年中国政府采取了积极的应对策略，加大了“三农”和农村生态文明建设投资。这些重大政策和措施，对改善农村能源利用结构、节能减排、改善农村环境和增强农村地区适应气候变化能力都将产生深远影响。

### 2.2.2. 建设社会主义新农村

发展农村能源是社会主义新农村建设的重要内容，它对于促进农民生活方式转变、农村卫生条件提高、农村生态环境改善、加快城乡一体化和提高农村文明具有重要意义。

### 2.2.3. 生态文明建设

胡锦涛同志在十七大报告中指出，建设生态文明是2020年实现全面建设小康社会奋斗目标的新要求之一。随着农村经济的不断发展，农村生态与环境问题日益突出。因此，农村生态文明建设为综合解决中国农村的能源问题和加强环境及气候变化适应能力建设提供了重要契机。

## 2.2.4. 控制温室气体排放和增强适应气候变化能力

减少温室气体排放和增强气候变化适应能力已成为世界各国积极推动的“无悔行动”，这为中国农村地区经济发展、农业生产方式变革、农村能源开发利用和农村环境保护提供了机遇。大力发展可再生能源、发展低碳经济和强化农业废弃物综合利用，成为中国农村能源开发利用的必然要求。同时，气候变化增加了农业生产的不稳定性，给中国农业和农村经济发展构成新的威胁和挑战。因此，增强中国农业和农村应对气候变化的适应能力，确保农业生产持续稳定发展，是中国社会经济发展的重要课题。

## 3 中国农村能源的现状、趋势和问题

### 3.1. 中国农村能源的现状

改革开放以来，中国按照因地制宜、多元发展的方针，通过先后实施“光明工程”、“农网改造”、“水电农村电气化”和“送电下乡”，积极发展农村沼气、秸秆发电、小水电、风能、太阳能等可再生能源，改造农村电网，极大改善了农村生产生活用能条件，解决了 3000 多万农村无电人口及偏远地区的用电问题(罗国亮等，2008)。然而，作为一个拥有近 8 亿农村人口的农业大国，中国农村能源系统还存在投入和统筹规划滞后、能源基础设施薄弱和农村用能方式粗放等一系列问题。在未来相当长的时期内，农村能源需求增长将快于城市能源需求增长，因此，依靠传统可再生能源很难满足农村经济社会发展的需求，农村能源紧缺的矛盾将逐步显现。

#### 3.1.1. 中国农村能源的现状

2007 年，中国农村能源消费总量达到 7.27 亿吨标准煤，其中 58.7% (4.27 亿吨) 来自国家商品能源供应，其余 41.3% (3 亿吨) 来自非商品能源开发。

##### 3.1.1.1. 农村生活用能

2007 年全国农村生活终端能源消费量约 3.5 亿吨标准煤(按电热当量法计算，下同)，其中商品性能源仅占 23.2%，非商品性能源占 76.8%。秸秆和薪柴是最主要的非商品能源，对非商品性能源贡献率分别为 60%和 35%。煤炭和电力则是最主要商品能源，对商品能源贡献率分别为 62.6%和 22.4% (表 3.1)。

表 3.1 2007 年中国农村生活终端能源消费情况

品种	实物量		标准量 (万吨标煤)	人均用能		贡献率 (%)
商品能源小计	-	-	8015.10	110	kgce	23.2
煤炭	7172.72	万吨	5013.86	69	kg	14.5
电力	1459.42	亿 kWh	1792.68	201	kWh	5.2
成品油	363.12	万吨	532.79	5.0	kg	1.5
LPG	378.71	万吨	649.22	5.2	kg	1.9
天然气	1.61	亿米 <sup>3</sup>	21.57	0.2	米 <sup>3</sup>	0.1
煤气	1.73	亿米 <sup>3</sup>	4.98	0.2	米 <sup>3</sup>	0.0
非商品能源小计	—	—	26560.65	365	kgce	76.8
秸秆	33997.52	万吨	15978.83	467	kg	46.2
薪柴	18216.89	万吨	9290.62	250	kg	26.9
沼气	1023962.60	万米 <sup>3</sup>	731.11	14.1	米 <sup>3</sup>	2.1
太阳能	5810.09	万米 <sup>3</sup>	560.08	0.08	米 <sup>3</sup>	1.6
合计	—	—	34575.74	475	kgce	100

资料来源：农业部科技教育司，2008

从人均消费看，2007 年中国农村居民人均生活用能高达 475 千克标煤/人，是城镇人均生活用能量的 1.7 倍。但是，农村居民人均生活用商品能源仅为 110 千克标煤/人，不足城市居民商品能源消费水平的 40%；而农村居民人均非商品能源消费量高达 365 千克标煤/人。农村居民对秸秆、薪柴等传统能源利用十分低效，而农村居民人均生活用电量、人均天然气、人均煤气、人均液化石油气等指标均显著低于全国平均水平，农村居民对优质能源需求潜力十分巨大。

从不同地区的能源结构看，西部地区非商品能源的总量、人均量和比重也远远高于中东部地区，西部地区秸秆和薪柴对生活用能的贡献率高于中东部地区，但是电力、成品油和液化石油气等优质能源的贡献率则大大低于中东部地区（图 3.1）。

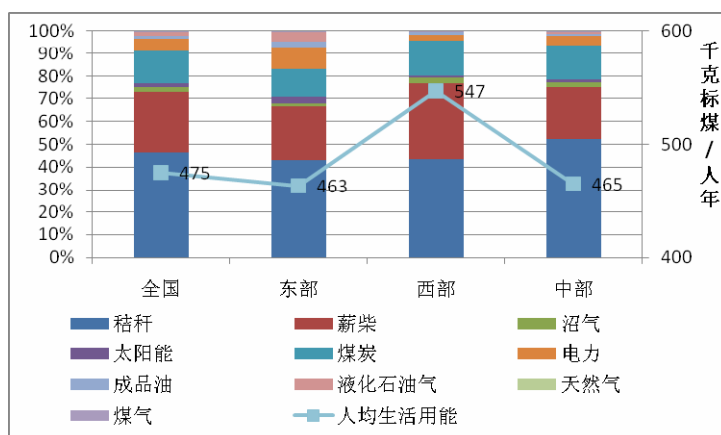


图 3.1 2007 年分地区农村人均生活用能及品种构成

### 3.1.1.2. 农业生产用能

2007 年中国农村生产终端用能总计 3.8 亿吨标准煤，主要来源于商品能源，包括煤炭、焦炭、电力和油品，其贡献率分别为 62.4%、5.9%、5.4%和 17.3%；非商品能源主要为薪柴，对生产终端用能贡献率仅 9.1%（表 3.2）。从服务对象看，乡镇企业是主要用能单位，其生产用能占 2007 年总生产用能的 84.5%，农林牧渔业用能仅占 15.5%。乡镇企业用能主要来自商品能源，包括煤炭（68.8%），油品（11.0%）；非商品能源全部为薪柴，占乡镇企业用能的 10.7%；农林牧渔业用能全部来自商品能源，包括油品（51.1%）、煤炭（27.8%）和电力（19.8%）。

表 3.2 2007 年农村生产用能及品种构成

生产用能	结构	农林牧渔业用能	结构	乡镇企业用能	结构	
万吨标煤	%	万吨标煤	%	万吨标煤	%	
煤炭	23788.2	62.4	1688.0	27.8	22145.4	68.8
焦炭	2229.9	5.9	79.4	1.3	2152.6	6.7
油品	6581.2	17.3	3109.2	51.1	3555.0	11.0
电力	2047.3	5.4	1203.1	19.8	876.3	2.7
薪柴	3451.6	9.1		0	3451.6	10.7
合计	38098.2	100	6079.8	100	32180.8	100

数据来源：《2008 年全国农村可再生能源统计资料》；《2008 年中国能源统计年鉴》；作者推算。

由于统计口径问题，虽然乡镇企业属于农村经济范畴，但城市周边区县企业很大比例的能源消费量没有统计进入农村生产用能，中国农村乡镇企业终端用能的数据可能严重低估。现有统计数据表明，占国内生产总值近 30%的乡镇企业仅消耗了 12.7%的全国消费能源总量，这与经验数据相左（图 3.2）。

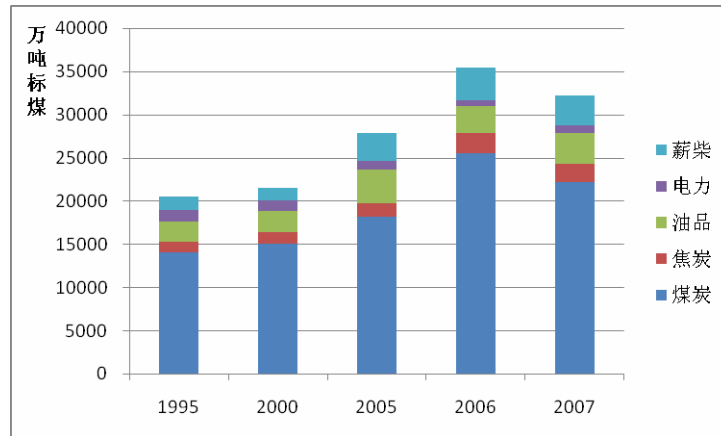


图 3.2 1995-2007 年中国乡镇企业终端用能分品种及总量的变化趋势

### 3.1.1.3. 农村能源在国家能源体系中的地位

由于农村和农业能源保障的优先性严重低于城市和工业，中国农村地区长期缺乏基本商品能源服务，农村地区主要依靠当地可获取的生物质能满足日常生活用能需求。经过 30 多年建设和发展，农村生产和生活方式发生了巨大变化：乡镇企业发展带来了巨大的商品能源需求，农民生活和农业生产的商品能源消费不断上升。从未来趋势看，农村商品能源消费比重还在稳步上升，农村能源将日益成为国家能源体系的重要组成部分。另一方面，中国可再生能源为主的农村能源体系将在保障能源持续发展和减缓全球气候变化方面发挥举足轻重的作用。

### 3.1.1.4. 农村能源消费特点

中国农村地区受传统能源消费模式影响和经济发展水平制约，秸秆、薪柴等传统能源是农村能源消费的主要来源之一。然而，自改革开放以来，伴随经济的快速发展和生产生活模式的转变，中国农村能源消费模式发生了明显改变，目前呈现以下特点：

首先，能源消费总量稳步增加。农村能源消费总量由 1995 年的 5.6 亿吨标准煤上升到 2007 年的 7.3 亿吨标准煤，年均增长 2.3%。第二，农村能源消费结构呈城镇化和商品化倾向，商品能源消费比例增加，但生物质能源仍占据农村能源的主导地位，尤其在生活用能方面。第三，农村可再生能源开发利用目前主要集中在生活用能，且以传统利用方式为主。

### 3.1.1.5. 农村能源消费存在的问题

农村能源消费总量快速增加和能源结构日益变化，也导致了农村能源消费的各类问题愈发突出。

首先，农村生物质能利用方式落后，能效低下，导致了严重的能源浪费问题。其次，农村能源近年来偏重以家庭沼气为主的农村可再生能源技术推广，相对忽视了太阳能、生物质能、风能、微水电等其它能源的发展，偏离了“因地制宜，

多元互补”的农村能源发展方针。三是农村可再生能源发展政策尚存缺失。例如，由于缺乏相应的税收、财政、融资等政策，大多数可再生能源技术成本较高，还不具备与常规能源产品竞争的能力。

## 3.2. 中国农村能源发展的趋势和需求分析

### 3.2.1. 过去十二年来的发展变化

从 1995 到 2007 年，中国农村生活用能总量呈现波动性增长，最近两三年趋于稳定，但没有充分证据表明中国农村生活终端用能已经跨过峰值开始下降（图 3.3）。

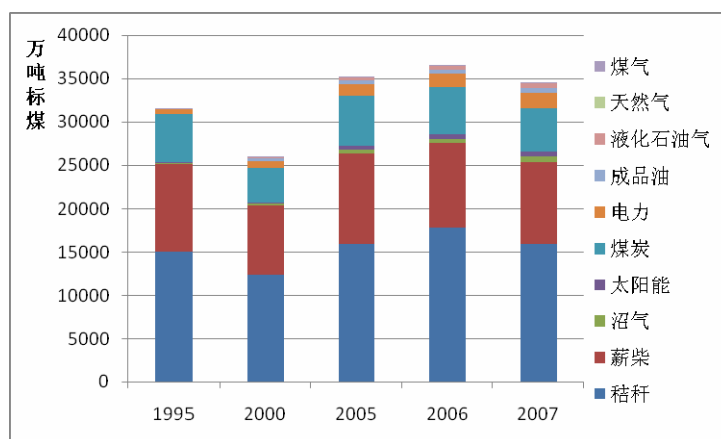


图 3.3 1995~2007 年中国农村生活用能分品种及总量的变化趋势

中国农村人均生活用能的增长趋势与生活用能总量变化相似，1995 年至 2007 年间，中国农村人均生活用能年均增长 2.1%，且商品能源快于非商品能源的增长，二者增长率分别为 3.4% 和 1.8%（图 3.4）。

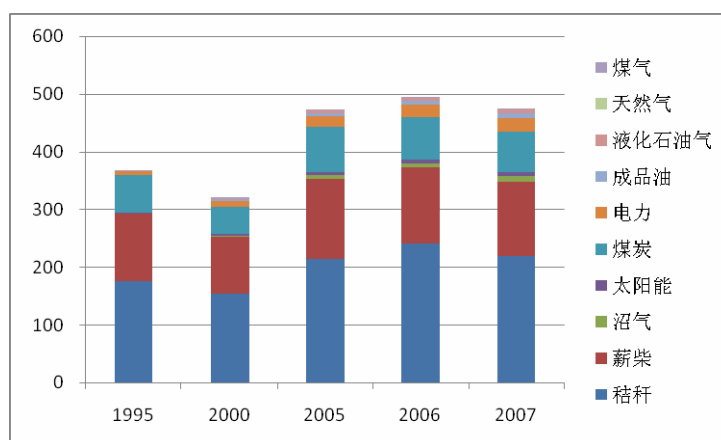


图 3.4 1995~2007 年全国农村人均生活用能分品种变化趋势

从结构变化看，从 1995 年到 2007 年，中国农村生活用能煤炭和薪柴的使用

量分别下降了 10.7%和 7.2%，而秸秆、沼气、太阳能、电力、成品油、液化石油气分别增长了 5.9%、575%、865%、241%、343%、1246%（图 3.3 和图 3.4）。但是，由于基数小，沼气、太阳能、成品油和液化石油气等优质能源对农村生活用能的贡献度仍非常有限。天然气近三年在农村从无到有发展迅速，目前主要集中在北京和上海等大城市的郊区乡村。

从农村生活用能的地区时间变化看，过去 12 年来，东部地区农村人均生活商品能源增长突出，达到 5.5%左右，但人均生活用能的增长仅为 0.9%（图 3.5）。西部地区农村生活用能的非商品能源增长迅速，高达 5.1%，而人均生活用商品能源年均增长率仅为 0.9%（图 3.6）。中部地区人均农村生活用能变化相对平稳（年均变化 0.6%），增量几乎全部来自商品能源，人均生活商品能源年均增长率为 2.6%（图 3.7）。最近三年，东中西部地区人均生活用能变化波动主要来源于传统生物质能源消费量的波动，优质能源如沼气、太阳能、电力、液化石油气（LPG）的人均消费量持续稳步增加。

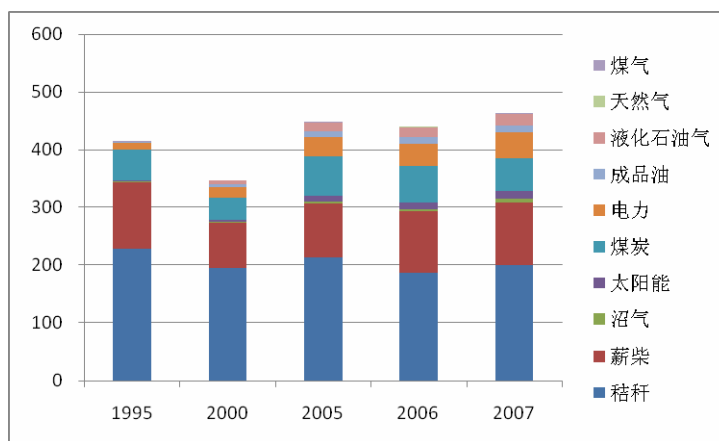


图 3.5 1995~2007 年东部地区农村人均生活用能分品种变化趋势

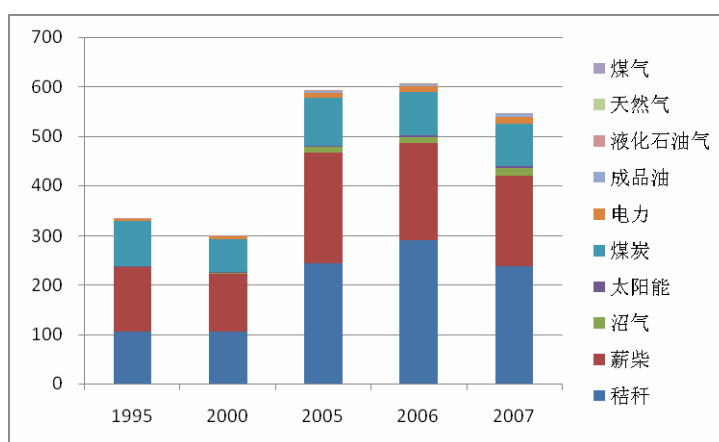


图 3.6 1995~2007 年西部地区农村人均生活用能分品种变化趋势

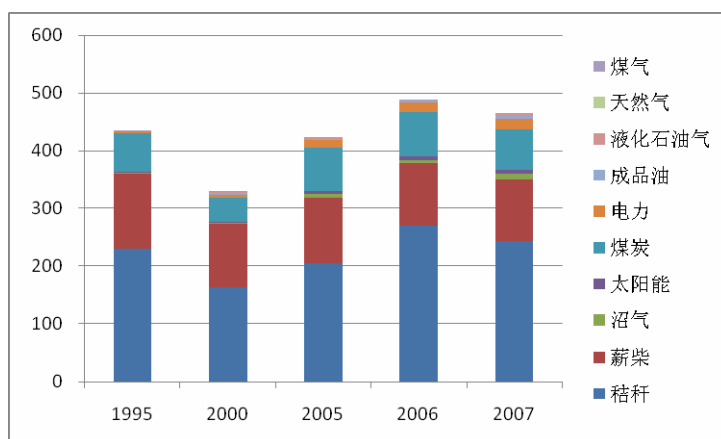


图 3.7 1995-2007 年中部地区农村人均生活用能分品种变化趋势

1995 年至 2007 年，中国农林牧渔业终端用能总量稳步增长，年均增长 4.1%，其中以油品和电力的增长为主，两者均保持 5% 以上的增长率（图 3.8）。由于中国农业生产机械化水平不断提高，农林牧渔业每百万元增加值（以 2000 年不变价计）的终端能源消费强度从 1995 年的 29.8 吨标煤增加到 2006 年的 32.8 吨标煤，年均增长 0.9%（图 3.9）。

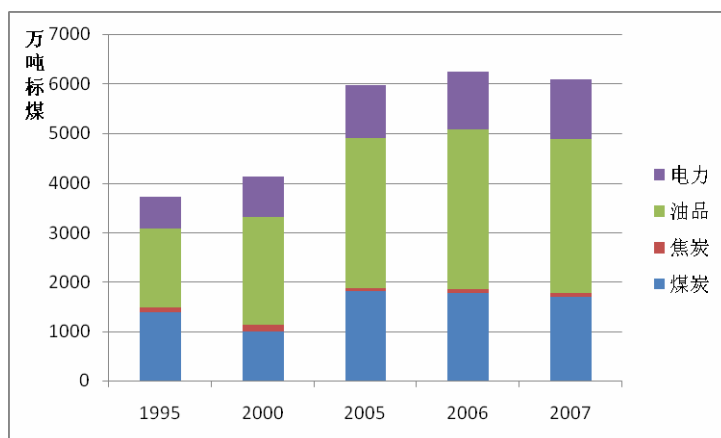


图 3.8 1995~2007 年中国农林牧渔业终端用能分品种及总量的变化趋势

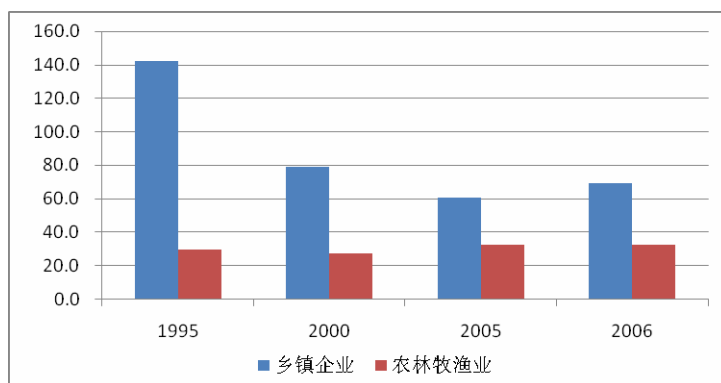


图 3.9 1995~2007 年农林牧渔业和乡镇企业单位增加值终端能源消费强度

### 3.2.2. 未来影响农村能源发展的相关因素变化分析

中国农村能源需求与农村人口增加、农村经济发展、农民收入和生活水平以及能源利用效率变化息息相关。

#### 3.2.2.1. 乡村人口

乡村人口主要受人口自然增长率和城镇化率影响。从发展趋势看，人口城镇化速度高于人口自然增长速度，中国乡村人口数将稳步下降。预计到 2010 年全国乡村人口约 7.0 亿，占全国总人口的 51%左右；到 2020 年全国乡村人口 6.1 亿，占全国总人口的 42%左右；到 2030 年全国乡村人口约 5.3 亿，占全国总人口 36%左右。

#### 3.2.2.2. 收入和生活水平

能源消费模式受到收入水平的直接影响，收入增加和生活水平提高，将提高农村居民对电器、机动车等耐用消费品的需求，并促使他们以高效率农用机械替代部分劳动，从而极大刺激对商品能源和优质能源的需求。根据中国全面建设小康社会的目标，未来 20 年中国农民人均纯收入仍将保持 5-6%的增长率，实现从基本小康向宽裕型小康生活的跨越。

#### 3.2.2.3. 乡村经济发展

1995 年中国农林牧渔业增加值为 12513 亿元，到 2006 年增加到 19028 亿元（2000 年不变价），年均增长 3.8%。农林牧渔业终端用能年均增长 4.1%，快于农林牧渔业增加值的增长，其中油品和电力的增长率大于 5%。由于中国农业生产机械化水平将不断提升，中国农林牧渔业仍将保持 4%的增长，但终端能源需求速度将逐步降低并稳定在 2~3%。预计未来 20 年，中国的乡镇企业将继续大规模城镇化和工业化发展，其能源消费不再属于农村能源范畴。

#### 3.2.2.4. 城市化

城市化将带来居住、就业、生活和消费方式等方面的深刻变化，关系到社会经济的各个方面，从而给能源消费带来显著影响。亚洲开发银行预计到 2010 年中国的城市人口将新增 3 亿人，总数达到 7 亿人，占全国总人口的一半。城市化有助于减少农村生物质能消费、提高能源效率。

#### 3.2.2.5. 农村能源资源条件

中国农村可供利用的能源资源，包括各种常规能源、生物质能、小水电、风能、太阳能、地热能等等。

中国农村生物质能资源包括农作物秸秆、树木枝桠、畜禽粪便、能源作物（植物）等。中国农作物秸秆的理论资源量达 6 亿吨，扣除收集损失以及直接还田、

畜牧饲料、造纸原料等方式利用，可能源化利用量为 3 亿吨左右，折合 1.5 亿吨标准煤。林木枝桠和林业废弃物年可获得量约 9 亿吨，其中 3 亿吨可作为能源利用，折合 2 亿吨标准煤。畜禽粪便理论上可年产沼气约 700 亿立方米。甘蔗、甜高粱、木薯、甘薯、小桐子、黄连木、油桐等能源作物（植物）可种植面积达 2000 多万公顷，可满足年产量约 5000 万吨生物液体燃料的原料需求，相当于 0.7 亿吨标准煤。因此，初步估算中国每年生物质能资源相当于 4.7 亿吨标准煤。

全国农村小水电资源（100 千瓦 $\leq$ 单站装机容量 $<$ 5 万千瓦）经济可开发量约为 1.28 亿千瓦。中国风能资源比较丰富，东南沿海及岛屿、内蒙古、西北地区、东北部分地区的农村具有较好的风能开发利用条件。新疆、西藏、青海、甘肃、内蒙古、山西、河北等地具有较好的太阳能利用条件。

### 3.2.2.6. 国家的农村能源政策

长期以来，中国的农村能源保障优先性严重低于工业和城市，从而形成城乡分割的二元能源建设和发展模式。上世纪末，中国通过农网改造、农村电气化建设和农村能源综合建设逐步调整“城乡分割”的能源发展模式，促进了农村能源的较快发展。进入新世纪以来，随着国民经济发展和国家财力增强，按照工业反哺农业、城市支持农村的要求，国家进一步加强了农村能源建设和管理，实施全国农村电网改造和无电地区电力建设，加大对农户沼气工程建设的支持力度，开展以电代燃料试点工程建设，农村能源建设进展迅速。在当前统筹城乡发展和建设社会主义新农村的政策环境下，农村能源也将逐步融入国家能源体系。

### 3.2.3. 中国未来农村能源需求

利用“长期能源替代规划（LEAP）”模型对中国农村未来 20 年的能源需求及其碳排放进行情景分析，可分析未来 20~30 年的产业结构调整 and 能源技术演变趋势，以及不同驱动情景对农村能源需求和温室气体排放产生的影响（表 3.3）。模型分析以 2005 年为基年，预测了 2010 年、2020 年和 2030 年常规和强化可再生能源情景下的能源消费和碳排放（表 3.4）。

表 3.3 未来 20 年乡村人口及其收入水平的预估

	单位	2005	2010	2020	2030
乡村人口					
全国	万人	74544	70695	62997	55298
东	万人	24256	22855	20052	17249
西	万人	24179	23162	21127	19092
中	万人	26109	24679	21818	18957
年人均纯收入（2005 年不变价）					
全国	元	3255	4333	7375	12032
东	元	4523	5911	10097	16448
西	元	2389	3197	5725	9780
中	元	2977	3984	7135	12187
农林牧渔业增加值	亿元	23070	28069	41548	61502
农林牧渔业增长率	%	4	4	4	4
粮食产量	万吨	48402.2	50871	56193	62073
粮食产量年均增长率	%	1	1	1	1

计算结果显示，常规情景下今后中国农林牧渔业终端生产能耗将随着生产方式的不断现代化和机械化而增加，到 2030 年达到 1.2 亿吨标煤（不包括乡镇企业用能，以电热当量法核算，下同）（表 3.4）。从能源结构看，农业生产各环节的能耗都将增加，主要表现为油品和电力快速增长，而煤炭比重下降到 10% 左右。

在生活用能方面，随着新农村建设和生活水平提高，农民将逐步增加对取暖、制冷、热水以及家用电器和交通等终端用能需求。同时，由于未来农村户均人口数下降和居住面积增加，农村居民在炊事、照明等方面的人均能耗也将有所增长。因此，在常规情景下今后 20 年中国农村生活中生物质能的绝对量和消费比重都将进一步下降，小水电、小风电、沼气和太阳能等其它现代化可再生能源贡献率逐步扩大。部分秸秆和薪柴资源利用将转向现代化利用方式，到 2030 年秸秆的传统能源利用方式和现代化能源利用方式基本达到 1:1 的比例。农民的优质商品能源需求不断扩大，主要表现为对电力、油品和 LPG 的需求增加，天然气和煤气将逐步出现在发达农村，但对全国农民用能的贡献仍然较小。

表 3.4 农村生产生活能源需求预测

年度	2005 年	2010 年		2020 年		2030 年	
		常规	强化	常规	强化	常规	强化
农林牧渔生产用能							
煤炭	1809.4	1751	1751	1756	1756	2223	2223
焦炭	59.2	109	109	174	174	247	247
成品油	3024.9	3543	3543	5306	5306	6792	6792
电力	1077	1436	1436	2412	2412	3087	3087
小计	5970.5	6839	6839	9648	9648	12349	12349
农村生活							
商品能源	7629.3	8916	8608	10683	8965	12036	10090
煤炭	5814.1	5717	5450	5390	4757	4788	3177
电力*	912.5	1629	1577	2867	2653	3994	3583
成品油	377.6	673	673	1048	1048	1319	1319
LPG	490.5	820	820	1205	1205	1554	1554
天然气	3.2	27	27	47	47	66	66
煤气	3.4	5.2	5.2	8.7	8.7	12.3	12.3
传统生物质能	26269.1	24299	24102	19416	17517	12261	8548
秸秆	15959.6	15407	15341	11923	10763	6875	4813
薪柴	10309.5	8892	8761	7493	6754	5386	3735
现代可再生能源	1336.7	3847	4428	8272	11209	12572	18531
秸秆	0	1020	1361	3422	5147	6009	9645
薪柴	0	695	772	1577	2020	2148	3114
小水电*	428	565	606	840	1025	1114	1449
小风电*	28	45	56	117	146	303	379
沼气	492.7	881	980	1330	1812	1781	2643
太阳能	416	686	709	1103	1205	1520	1680
小计	35235.1	37062	37138	8371	38591	36869	37169
农村能源总计	41205.6	43901	43977	48019	48239	49218	49518

注：假设农村小水电和风电全部用于当地生活用电。农村生产生活能源不包括乡镇企业用能

在强化可再生能源情境下，农村小水电、小风电、沼气和太阳能的发展快于常规方案，农村对生物质能源的现代化利用方式得到飞跃发展，到 2030 年秸秆的传统能源利用方式和现代化能源利用方式基本达到 1:2 的比例（表 3.4）。秸秆和薪柴的现代化能源开发不仅减少了传统生物质燃烧，还降低对煤炭的需求。

综合两个方案结果，总体上今后 20 年中国农民人均生活用能将进一步增加，到 2030 年可能达到 700 千克标煤/人。但是，由于农村人口持续下降，中国农村生活用能总量将先缓慢上升然后逐步下降，未来农村生活用能需求增量将主要依靠外部商品能源满足，但非商品能源仍然是农村生活用能的主要来源，2030 年两者比例约为 1:2。

## 4 农村能源消费的环境效应

### 4.1. 农村能源消费模式与环境问题

化石燃料为主的商品能源的大量使用、农村居民能源消费分散和农村基础设施落后，带来了严重的农村环境问题。农村居民生活燃煤各种污染物的排放也导致了农村居民严重的室内环境污染。

#### 4.1.1. 商品能源消费的环境效应分析

煤炭成为农村能源消费的主要商品能源。煤炭燃烧排放的污染物主要有：二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、总悬浮物（TSP）、粉尘和固体废渣。燃煤污染物的直接排放给农村环境带来显著影响。

计算结果表明，中国农村煤炭消费产生的二氧化硫迅速增长。1980 年中国农村煤炭消费产生的二氧化硫仅为 201 万吨，到 2004 年达到 1091 万吨，增长了 4 倍，年均增长 7.3%。中国农村煤炭消费产生的 1091 万吨排放存在明显的地区差异，排放总量最大的地区包括河北、山西、河南、贵州和四川，人均排放总量最高的地区则包括北京、山西和贵州（图 4.1）。

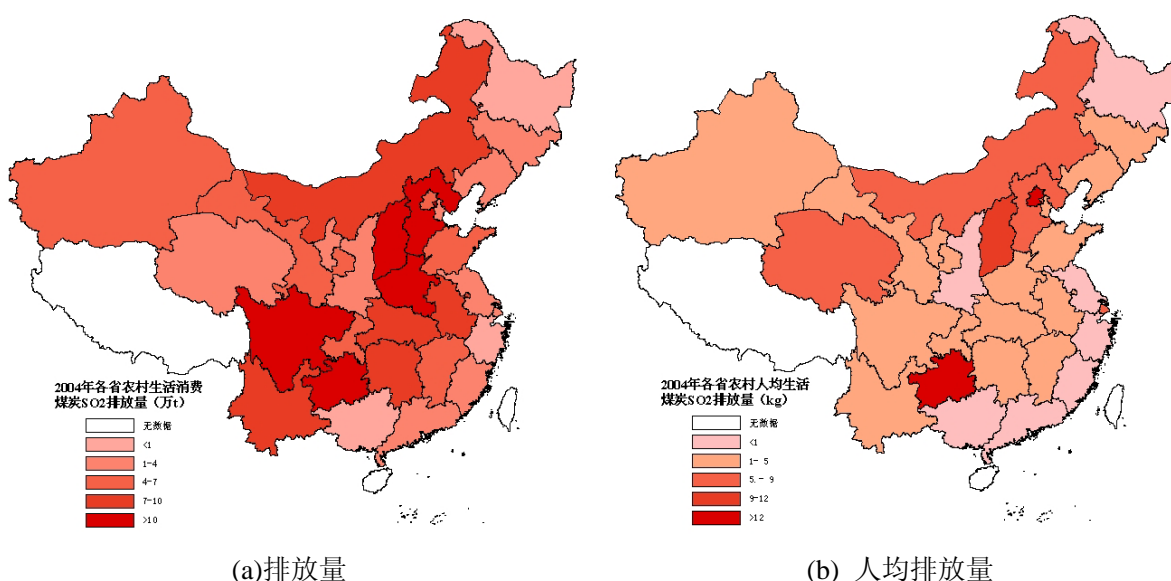


图 4.1 2004 年各省农村生活消费煤炭 SO<sub>2</sub> 排放总量与人均排放量

中国农村煤炭消费产生的氮氧化物和总悬浮物也呈现迅速增长趋势，且生活过程煤炭产生的氮氧化物和总悬浮物增长速度低于生产过程。

中国农村煤炭消费产生的固体废物排放量一直呈现增长趋势，农村居民生活消费蜂窝煤使用等产生的固体废弃物远高于煤炭直接使用，从而导致煤炭使用固体废弃物排放量的成倍增加。

另外，燃煤过程还会产生一氧化碳（CO）、苯并芘（BaP）等污染物和有毒物质，对人体健康造成严重影响。由于煤炭质量关系，中国很多地区，尤其是西南地区，存在严重的燃煤型氟中毒。

#### 4.1.2. 传统非商品能源消费的环境效应分析

农村传统的非商品能源利用以秸秆和薪柴等生物质能直接燃烧为主，排放的主要污染物包括悬浮颗粒物、二氧化硫、甲烷和氮氧化物等（虞江萍等，2008；王效华等，2004；曹国良等，2005）。研究结果则表明，中国生物质燃烧导致的二氧化硫、氮氧化物、氨气、甲烷、元素碳（EC）、有机碳（OC）、挥发性有机化合物（VOC）和一氧化碳（CO）排放量分别为 17.5 万吨、112.4 万吨、79.3 万吨、193.1 万吨、31.6 万吨、130.9 万吨、734.0 万吨和 3933.8 万吨（表 4.1）。从不同生物质燃烧的贡献率来看，秸秆和薪柴对各类污染物排放的贡献最为主要，约占总量的 98%，森林火灾和草原火灾所占的份额很小（表 4.1）。

表 4.1 不同生物质对污染物排放的贡献率（%）

污染物	秸秆	薪柴	森林火灾	草原火灾
SO <sub>2</sub>	97.98	0.78	1.08	0.16
NO <sub>x</sub>	75.29	23.65	0.86	0.19
NH <sub>3</sub>	75.20	24.08	0.61	0.11
CH <sub>4</sub>	84.78	14.62	0.47	0.12
EC	83.21	15.00	1.53	0.25
OC	91.18	6.67	1.76	0.39
VOC	46.93	51.66	1.31	0.11
CO	76.08	23.10	0.65	0.17

资料来源：曹国良等，2005

#### 4.1.3. 农村可再生能源消费的环境效应

可再生能源的开发利用对改善能源结构和节约能源资源将起到重大作用，并带来显著的环境效益。如果达到 2010 年发展目标，可再生能源年利用量相当于减少二氧化硫年排放量约 400 万吨，减少氮氧化物年排放量约 150 万吨，减少烟

尘年排放量约 200 万吨，减少二氧化碳年排放量约 6 亿吨，年节约用水约 15 亿立方米，可以保护约 1.5 亿亩林地免遭破坏。如果达到 2020 年的发展目标，可再生能源年利用量相当于减少二氧化硫年排放量约 800 万吨，减少氮氧化物年排放量约 300 万吨，减少烟尘年排放量约 400 万吨，减少二氧化碳年排放量约 12 亿吨，年节约用水约 20 亿立方米，可以保护约 3 亿亩林地免遭破坏。

## 4.2. 农村能源消费与气候变化

农村能源消费结构正不断发生变化，农村能源开发和利用与温室气体减排和应对全球气候变化之间的联系也日益密切。

### 4.2.1. 农村能源消费和温室气体排放

农村燃煤是目前中国农村能源最主要的二氧化碳来源。研究结果表明，中国农村煤炭消费过程排放的二氧化碳一直呈现增长趋势，1980 年中国农村煤炭消费过程的二氧化碳排放仅为 19096 万吨，到 2004 年为 103872 万吨，增长了 4 倍，年均增长 7.3%。而根据 LEAP 模型的估算结果，无论是在常规情景或者强化可再生能源情景下，未来 20 年中国农村生产生活用能终端所产生的二氧化碳气体的直接排放量都将持续增加（表 4.2）。另外，新能源和可再生能源技术也可能导致温室气体的排放。以沼气为例，其主要成分是甲烷，温室效应为 21 个二氧化碳当量，如不能正常利用，则会有少量排放。

**表 4.2 不同情景下的农村生产生活用能终端所产生的直接碳排放**

年	单位	2005 年	2010 年	2020 年	2030 年
常规情景	万吨碳	7283	7870	9156	10331
其中生活用能	万吨碳	4289	4572	4777	4722
强化可再生能源情景	万吨碳	7283	7695	8739	9272
其中生活用能	万吨碳	4289	4396	4361	3663

### 4.2.2. 可再生能源与应对气候变化

从温室气体减排的角度看，农村可再生能源技术都是温室气体减排技术，它从三个方面对气候变化产生积极意义：一是提高能源效率，控制能源消费的过快增长，降低二氧化碳排放总量；二是替代常规能源，满足能源需求的增长；三是建立综合利用的能源生态模式，在保证能源和经济效益的同时减少农业甲烷和其它污染物排放。研究表明，单位沼气产量的年平均碳净减排量为 1.88 千克/立方米，变化范围为 1.76~2.11 千克/立方米。

### 4.2.3. 增强农村地区气候变化适应能力的意义

气候变化已经并将继续对中国农业产生不利影响，在过去 100 年间，中国全国平均气温上升了 1.1 度，近 50 年间增暖尤其明显。伴随着气温升高，降水的时空分布及极端气候事件也发生着变化，严重影响着中国农业和农村经济的发展。熊伟等（2007）指出，如果不考虑二氧化碳的肥效作用和适应措施，全国平均温度升高若不超过 2.5~3℃ 中国小麦、水稻和玉米三大主要粮食作物的单产水平有增有减，未来粮食总产水平可以通过种植结构的调整保持稳定，但是如果平均温度升高超过 2.5~3℃ 中国这三种主要粮食的单产水平将会持续下降。因此，在气候变化背景下中国未来的粮食安全在很大程度上取决于适应措施的有效性。受气候变化的影响，中国未来北方地区暖干化趋势将更加明显，粮食产量对灌溉的依赖将进一步加大。而受温度升高的影响，土壤有机质分解加快，化肥释放周期缩短，若要达到原有肥效，化肥每次使用量需要进一步增加。因此，未来中国粮食安全的保障需要加大能耗和化肥使用，从而阻碍农村节能减排。

为了缓解日益严峻的能源危机，世界各国开发利用生物质能的呼声日益高涨。短短几年之内，大量粮食、糖类和油料作物被转入能源产业，推动了粮食价格暴涨，能源“与粮争地”的现象日益突出。中国人多地少，如果盲目加大生物质能的发展，将给粮食安全带来巨大的威胁。

尽管人们对未来粮食供求变化认识还存在差异，但是对研究农业适应措施的重要作用均已达成共识，提高适应能力将帮助农业生产很好地应对气候变化的影响。以粮食产量为单一目标的农业开发政策与行动如果行为不当将带来潜在的或直接的气候风险。基础设施的建设和经济刺激计划能从不同程度上减少温室气体排放，提高粮食产量，改善居住环境，提高生活质量，减缓气候变化给农业造成的不利影响。因此，增强农村地区对气候变化的适应能力对于确保粮食安全、维护农村经济稳定、保证农民增收和生活水平的提高都有着非同寻常的积极意义。

## 5 农村能源、环境和适应气候变化的国际经验

### 5.1. 国外能源研究的经验启示

大多数国家开始试图通过各种方式鼓励农村地区发展现代能源，以提高生产力，改善农民的生活水平和促进经济发展。世界各国关于现代能源供应与农村发展的经验，能够帮助中国识别农村能源发展的障碍，其经验和教训也能够给予中国很好的借鉴。

### 5.1.1. 发达国家的经验和启示

第二次世界大战之前，为了吸引电力公司向农村地区供电，美国总统富兰克林·罗斯福决定向那些愿意给农村地区提供电力的电力公司提供低息贷款，但因为农场数目太少，即使有低息贷款输变电及配电设施投资也不划算。因此，农场主成立了合作社，大批量购电并承担本地电力分配的任务，农村电气化建设由此发展起来。2008年，美国农业法案出台了许多有关可再生能源的规定，为各类可再生能源项目提供资金支持，以促进建立生物提炼厂、开发高级生物燃料、提高水利发电站的使用效率和激励农村社区加强能源自给。

1946年，爱尔兰启动了农村电气化项目。政府部门采取了为供电局提供资金补贴，不提供从城市到农村的交叉补贴等措施。30年后，电力覆盖爱尔兰所有的农村地区。

### 5.1.2. 发展中国家的经验

在许多非洲和亚洲国家，由于国家项目经常遇到财政困难，电气化率比人口增长率还要低。尽管如此，泰国已有超过80%的农村人口能用电，哥斯达黎加给95%的农村人口供电，突尼西亚75%的农村用户已经用上电。

发展中国家的经验表明，要成功发展农村电气化项目，必须满足以下条件：

(1) 建立有效的管理和体制结构，如管理局和合作社。

(2) 避免过多的行政干预资金使用，保证所有决策的公平和透明。

(3) 坚持农村电气化标准，只有当农民可支配收入达到一定水平，供电项目才会促进农村可持续发展。

(4) 重视成本回收，成本回收可能是决定农村电气化项目长期经济效益的最重要的因素。在大多数成功项目中，相当大比例的资本通过优惠利率贷款或以拨款的形式获得。

(5) 合理收取电费，农村电气化只在用电服务（诸如电灯、电视机、电冰箱和动力应用）有需求的地方实施才有意义。应该根据当地农民的实际经济条件设定农村电力价格。

(6) 降低门槛，供应电力。对农村家庭来说，支付供电机构要求的首次上网费往往比支付每月电费更困难，因此如果可以降低首次上网费的门槛，用户将急剧增加。

(7) 坚信农村电气化项目可从本地社区参与中受益。

(8) 减少建筑与经营成本，优化系统设计方案可以减少多达30%的建筑成本，从而促进农村电气化项目的建设进度与规模。

(9) 实行电网替代方案。在偏远地区或难以到达的地区通电是不切实际的，应该考虑其他的替代方案，如光电系统等。

## 5.2. 国外农村适应气候变化的经验启示

### 美国农业温室气体减排试验

随着全球控制温室气体排放的努力，农业经济和土地管理人员的机会出现了。现有的土地管理和操作技术就能产生直接或间接的温室气体减排。在美国和其他一些有强制性或自愿碳减排市场的国家，这些减排量能够被出售，为农民和土地管理者带来额外收入。

在正常的经济运作模式下，美国到 2025 年的温室气体排放预计能达到 87 亿吨。美国最常用的减排目标是到 2025 年在目前的碳排放基础上减少 15%，这将会要求美国每年减少约 26 亿吨的二氧化碳排放当量。研究显示，在美国，土地利用管理和技术减排能占到每年减少这 26 亿吨的二氧化碳排放当量的相当大一部分。碳指标的价格是左右农户和土地管理者决定减少温室气体排放量多少的关键因素。碳指标的价格越高，农户和土地管理者参与到市场活动中的积极性也越大，温室气体减排量产生的也就越多。如果碳指标的价格是每吨二氧化碳 15 美元，土地管理项目将在 2025 年产生约为每年 15 亿吨的二氧化碳减排量，即约为美国 15% 减排目标的 60%。如果价格为每吨 50 美元，土地管理每年将能产生约 20 亿吨的减排量，基本上能够满足美国的减排目标。

目前的情况能够给潜在的温室气体市场提供一些提示，使之能够产生足够高的价格以刺激土地管理产生足够的温室气体减排量和碳汇。目前美国的温室气体市场主要是基于自愿性质的，因此需求相对薄弱，碳指标的价格在每吨 1~10 美元的范围。根据《京都议定书》的要求，欧盟已经采用了强制性减排标准，近几年，二氧化碳的价格已经飙升到每吨 35 美元。如果美国也采用像目前美国国内一些立法提案中所提及的强制性温室气体排放标准，土地管理温室气体排放指标的价格将会提高，且土地管理将会成为产生温室气体排放指标的主要领域。

## 6 农村适应气候变化的政策选择

### 6.1. 中国农村应对能源、环境和气候变化问题的政策和实践

#### 6.1.1. 农村建筑节能政策和实践

中国自 2008 年 10 月 1 日开始施行《民用建筑节能条例》，鼓励农村新建建筑和既有建筑的节能改造，并要求地方政府给予太阳能利用等措施资金扶持。为

贯彻实施《民用建筑节能条例》，中国政府又发布了《建筑节能专项规划》。

清华大学建筑技术科学系农村建筑节能课题组在北京房山地区完成了村级生态节能型农宅集中示范工程，并联合北京市可持续发展促进会等单位，在平谷、石景山、怀柔、密云等多个郊区县完成了 500 多户农宅实际改造工程。如果在整个北方地区进行推广，每年可以节约采暖煤耗约 0.5 亿吨标准煤，折合 500 亿元人民币，经济效益显著。与此同时，河北省秦皇岛市首个节能示范性新民居项目正在实施中，参与该项目的农户只需传统住宅 1/3 的用煤就能使室温即便在最寒冷的冬天也能保持在 10~15℃。

### 6.1.2. 中国农村可再生能源政策

《中华人民共和国节约能源法》中包括了利用新能源和可再生能源的鼓励性条文，并对因地制宜发展各种可再生能源和相关财政支持提出了具体要求。新建秸秆气化发电厂不论规模大小均可享受 15 年 0.25 元/度的电价补贴，并免收电力部门附加费；秸秆发电厂所发电量由电网全额收购，且进口设备的关税和进口环节增值税全免

## 6.2. 中国农村地区适应和减缓的资金机制

农业适应和减缓活动需要资金投入，这种规模的资金投入是正常农业生产活动资金无法包括的。中国约一半的预期减缓费用和几乎所有适应费用都将发生在与农村贫穷人口相关的经济领域，包括避免毁林、森林管理和植树造林/重新造林取得的减排费用；以及加强农业—林业和草原/牧场管理及改进甲烷和氧化亚氮的管理（化肥和牲畜管理）的费用。

### 6.2.1. 国家大工程项目的资金投入机制

(1) 长江上游和黄河上中游地区的生态建设和保护工程，如长江、黄河上中游地区水土保持重点防治工程；退耕还林还草和生态农业；发展农村能源。

(2) 农村沼气工程。“十五”期间，中央投资 34 亿元专项支持沼气建设，直接受益农户达 374 万户。2003 年以来，中央将农村户用沼气建设列入国债项目给予支持，2005 年中央继续以国债项目投资 10 亿元，在全国 27 个省（自治区、直辖市）及新疆建设兵团和黑龙江农垦的 721 个县 9144 个村安排实施项目。

(3) 农村水利工程。建立农田水利建设补助专项资金；开展国有大中型灌区、泵站管理体制改革的，由地方财政安排公益性管理和维护经费；完善农村水利的投入机制，建立以财政补助为主导，国家、农民、社会资金共同投入的多元化投入机制；改革农村水利工程管理体制和运行机制，落实水管体制改革的要求。

(4) 退耕还林工程。2002 年全面启动，主要采取对退耕农户直接补助；巩固退耕还林成果专项资金；基本口粮田建设资金；农村能源建设补助。

### 6.2.2. 中国清洁发展机制基金

2007 年 11 月国务院批准建立中国清洁发展机制基金 (China Clean development Mechanism Fund)，其宗旨在于在国家可持续发展战略的指导下，支持和促进国家应对气候变化的行动。基金单独核算、独立运营。2005 年 10 月 12 日，国家发改委、财政部、外交部、科技部联合发布了《清洁发展机制项目运行管理办法》(第 37 号令)，表明中国清洁发展机制项目的重点领域是提高能源效率、开发利用新能源和可再生能源以及回收利用甲烷和煤层气。

### 6.2.3. 新能源的民间资本投资

中国正在积极构建可持续发展的新能源体系，力争将新能源和可再生能源开发利用提到一个新高度，这不仅需要国际金融机构投资，更需要国内民间资本的介入。2008 年 11 月，国务院出台十项措施以保障民间资本投资新能源，为新能源产业向民间资本开放提供了可能性。

### 6.2.4. 国际资金

(1) 全球环境基金 (Global Environment Facility, GEF)。截至 2002 年 6 月底，中国已获得 GEF 的赠款承诺 3 亿多美元，在所有受援国中位居第一；已完成和正在实施或准备中的项目达到 55 个，其中 14 个为全球或区域项目。

(2) 欧洲碳基金 (European Carbon Fund, ECF) 是一家由欧洲多家金融机构成立的专门基金，专门投资全球范围内的温室气体减排项目及碳减排市场交易。欧盟的排放交易方案将形成每年约有 22 亿标准吨二氧化碳排放量的交易市场，欧洲企业排放限额每年约有 6000 万~1.2 亿标准吨的缺口。欧洲碳基金将努力通过清洁发展机制项目置换的碳资产来弥补上述缺口。

(3) 其他国际基金。例如世界银行管理的 9 个碳基金，包括社区发展碳基金和生物碳基金，这些基金帮助贫困国家和社区从碳基金贸易中受益。包括伞型碳基金的中国 hfc-23 窗口在内，世界银行管理的碳基金总额已超过 19 亿美元。世界各国的其它民间环保组织，如世界自然基金会、国际爱护动物基金会等，与中国的有关部门和民间组织开展了多领域的合作，并给予资金支持。

### 6.2.5. 自愿性金融机制

2007 年 10 月，美国国际集团 (American International Group, AIG) 宣布，

将通过购买二氧化碳排放指标的方式，投资支持新疆和四川的温室气体减排项目。这些项目将帮助这两个省的农民产生大约 31 万吨的二氧化碳指标。这些项目的最显著的益处包括降低了种植农作物所需的水和化石燃料的消耗量，提高了氮肥的使用效率，将人和动物的固体排泄物产生的沼气用于做饭和照明。同时通过在沙漠地区植树造林保持水土、防风固沙和降低土壤侵蚀。

## 7 中国农村应对气候变化问题的案例

### 7.1. 生物质能利用案例

#### 7.1.1. 农村生物质能的概况

中国生物质能资源丰富，2003 年农村生物质能（秸秆、沼气、薪柴）使用量达 2.62 亿吨标准煤，占当年全国总能耗的 22.4%（国家林业局，2003）。但是，中国农村生物质能源的使用和处理方式基本以焚烧、废弃为主，利用效率十分低下。改变农村生物质能的开发利用方式并以此为核心构建新的发展模式，是实现农村可持续发展的重要突破点。

#### 7.1.2. 生物质能利用的成本核算

以宁波农作物秸秆发电的情况为例，宁波秸秆资源年均 185 万吨，如果将秸秆资源的 50%（92.5 万吨）用来发电，则可提供折合 46.25 万吨标煤的热量。具体的项目设计如下：

##### （1）项目投资包括

土地征用：秸秆发电项目建设占地约 10 公顷，一期装机容量为 2.5 万千瓦，根据宁波荒地工业用地每亩大约 15 万，土地投资约 2250 万元。固定资产：包括设备、厂房、管理用房、堆场及附属设施等总投资 11,050 万元。

##### （2）运行成本包括

原料成本：原料收购价一般在 100 元/吨（秸秆是干燥的），运输费等每吨为 30 元，共计 130 元/吨。2.5 万千瓦的秸秆发电项目年秸秆消耗量约 45 万吨，合计 5850 万元。工人工资、运行费用及流动资金费用：150 工作人员工资 630 万元/年，运行费用 500 万元/年，流动资金 3000 万元/年，利息 300 万元，合计为 1430 万元。

##### （3）项目收入

主营收入：全年发电 2.0 亿千瓦时，加上地方政府每度电 0.25 元的电价补贴，则年电力收入 11280 万元。

##### （4）成本核算

按折旧率为 7% 计算，项目静态投资回收期 4 年。

### 7.1.3. 农村生物质能发展中存在的问题

秸秆发电技术还处于示范、探索阶段，主要存在以下问题：（1）原材料（秸秆）供应不稳定，成本偏高。（2）生物质（秸秆）收集的机械化程度低。（3）生物质（秸秆）转化利用技术不成熟。（4）生物质发电企业内部电耗大。

### 7.1.4. 农村生物能源利用的解决方案

针对农村生物质能发展中存在的问题，建议采取以下措施：（1）加大企业技术创新力度和技术改造。（2）分散建设生物质燃料加工基地。（3）寻求当地政府的配合。（4）提高业务素质，壮大技术队伍。

## 7.2. 畜牧业发展节能增产案例

### 7.2.1. 中国畜牧业发展的现状

改革开放 30 年，中国畜牧业发展迅速。2007 年中国肉类产量达到 6865.7 万吨、禽蛋产量 2513.4 万吨，分别占世界产量的 24.7% 和 37.7%，居世界第一位；奶类产量 3633.4 万吨，占世界产量的 5.4%，居世界第三位。畜牧业总产值达到 1.61 万亿元，占农业总产值的 33%，畜牧业成为中国农业和农村经济的支柱产业。

### 7.2.2. 畜牧业发展对能源与环境的影响

畜牧业在为人们提供丰富畜产品的同时，也产生大量的粪尿和污水，如果不对其进行适当的处理而随意排（堆）放，对周围环境具有很大的潜在威胁。现代规模化养殖的高效和优质生产离不开能源的投入，随着中国畜牧业规模化程度增加，畜牧业的能源需求也日益增加。

（1）能源需求。现代规模化养殖场中，畜禽对不利环境的行为调节能力几乎完全丧失，必需借助现代畜牧工程措施为其创造适宜的生活环境。因此畜禽舍日常的通风换气、夏季降温、冬季加热等以及废弃物处理设施运行都需要能源。随着中国畜牧业的发展和规模化程度的提高，尤其在全球气候变暖的条件下，高温季节降温的能源需求将进一步增加。

（2）温室气体排放。畜牧业是农业温室气体排放的重要组成部分。畜禽在饲养过程中会因新陈代谢不断排出二氧化碳，另外畜禽因肠道发酵产生和排放甲烷，尤其是牛、羊等反刍动物的甲烷排放量比禽类和非禽类单胃动物要高得多。

畜牧业生产过程中产生的大量粪便和污水废弃物在贮存和处理过程中会释放出大量甲烷和氧化亚氮。

(3) 环境污染。中国是畜牧业大国，养殖废弃物产生量大。2007 年中国畜禽粪便总量达到 27 亿吨，养殖污水量达 110 亿吨。由于绝大多数养殖场没有粪便污水处理设施，大量养殖污水未经处理直接进入环境周围的大气、土壤、地表水和地下水造成严重污染。此外，畜禽养殖废弃物中还含有大量病原微生物，具有极大的生物学风险。

### 7.2.3. 动物废弃物管理的综合效果

沼气是国内使用最为普遍的畜禽养殖废弃物处理技术之一，近年来不同规模的沼气工程发展都十分迅速，产生了很好的环境效益。

#### (1) 山东民和股份有限公司特大型沼气工程

山东民和牧业股份有限公司是国内唯一上市的肉鸡场。该公司投资 6000 万元建成特大型沼气发电工程，建有 3000 立方米的高效厌氧反应器共 8 座，年产沼气 1095 万立方米；沼气发电机组装机容量 3 兆瓦，日发电量 6 万千瓦时；发电机组的余热大部分用于冬季厌氧发酵罐的加温，剩余部分用于鸡场供暖；年运行成本为 550 万元/年。公司年上网电量 21900 兆瓦时，每年的售电收入 760 万元。公司每天产生沼渣 46.83 吨、沼液约 850 吨，每年出售固体有机肥的收益为 320 万元；沼液灌溉每年可节约清水 31 万立方米。沼气工程总经济收益为 1111 万元/年，静态投资回收期为 10.7 年。该公司已成功注册为农业清洁发展机制（CDM）项目，年收益约为 580 万元，10 年可获得近 5800 万元的温室气体减排经济补偿。该公司经济实力强，可以承受沼气工程投资。但是，国内绝大部分养殖场都不具备废弃物处理工程投资能力，因此需要国家补贴。

#### (2) 湖北恩施农村小型沼气工程

2003 年恩施州将以沼气建设为中心的生态家园文明新村建设作为解决“三农”问题和保护生态环境的重要战略。全州围绕沼气建设实施“五改三建”，推进“四个结合”，促进农村能源及农村经济发展。农户建设沼气池及其配套设施，需要投入资金 3000~5000 元，其中国家补助为每口沼气池 1000 元，农户投资为 2000~4000 元，无需运行投入。截止 2006 年底，全州已累计建成家用沼气池 41 万口，占适宜地区农户的 44%。

2009 年 2 月 19 日，“湖北省恩施州生态家园户用沼气池”项目获联合国批准，成功注册为清洁发展机制（CDM）项目。该项目涉及 8 个县市共 33000 个农户，户用沼气因替代煤炭和改变猪粪管理方式可减少温室气体 59153 吨二氧化碳当量，项目 10 年可为 33000 万农户带来 6000 万元的直接经济效益，农户每年温室气体减排收入为 181 元。

户用沼气池建设不仅能改变农民传统生活方式，农业种植生产方式也由半自给自足的粗放式经营方式向以市场为导向的、以高投入高产出为特征的集约化经

营方式转变。有利于农业生产向依赖技术进步发挥规模报酬效应实现增收目标的生产方式转变，具有很好的潜在效益。

### **7.3. 温室气体减排案例**

#### **7.3.1. 农业温室气体减排的综合效益**

中国农村地区节能减排潜力巨大，全国每年生产 6 亿多吨秸秆，近 1.5 亿农户适宜发展沼气，大量宜农宜林荒山、荒坡和盐碱地可用于种植非粮能源作物，能源开发潜力大。农业温室气体减排可以减少贫困，促进粮食产量增加，促进环境改善，并通过温室气体抵消量交易产生经济效益，因此农村温室气体减少和抵消项目在中国农村地区非常受欢迎。

#### **7.3.2. 新疆柽柳温室气体减排项目背景**

柽柳是适应性很强的沙漠灌丛植物，柽柳造林项目导致的温室气体减排主要来自柽柳生物量增加对二氧化碳的吸收和土壤碳汇增加。随着柽柳生长，柽柳本身的生物质不断积累，起到了生物固碳作用；同时，随着凋落物增加和土壤微生物作用，林下土壤有机质含量增加，土壤的碳含量也随之增加，从而增加土壤碳汇。此外，柽柳造林还能防风固沙、防止土壤侵蚀、改善当地生态环境。

#### **7.3.3. 新疆柽柳温室气体减排项目实施内容**

新疆有国家级贫困县 30 个，人口 153 万人，现有人工林面积 284.1 万亩，荒漠林 658.9 万亩，其中胡杨 165.4 万亩，柽柳 299.2 万亩，疏林地 194.3 万亩。新疆的柽柳造林项目主要分布在塔里木盆地南缘和准葛尔盆地南缘。

#### **7.3.4. 新疆柽柳温室气体减排项目效益**

##### **(1) 碳交易收益**

准葛尔盆地项目在玛纳斯、呼图壁县、奇台县三个县实施柽柳人工造林面积 36.5 万亩，至 2010 年生物固碳量达 28.8 万吨二氧化碳当量，产生 28.8 万吨二氧化碳当量排放抵偿额度，获得 144 万美元收益。

和田项目实施柽柳人工造林面积 30 万亩，预计生物固碳量为 40 万吨二氧化碳当量，产生 40 万吨二氧化碳当量排放抵偿额度，可获得 200 万美元碳汇收益。

##### **(2) 增加土壤碳汇**

据测定，柽柳和梭梭对二氧化碳的日光合固定能力分别为 5.25 克二氧化碳/

平方米/天和 9.75 克二氧化碳/平方米/天，年固碳能力分别为 2.68 吨二氧化碳/公顷/年和 9.29 吨二氧化碳/公顷/年。

### (3) 大芸销售效益

2008 年和田地区种植怪柳 10 万亩，接种大芸 6 万亩，实际收获大芸产量已达到 20~40 吨，可获得 160~400 万元收益。准葛尔盆地人工种植怪柳 36.5 万亩，实际接种大芸面积 20 万亩，预计栽培大芸收益可达 540~1340 万元。

### (4) 生态效益

人工营造怪柳、梭梭防风固沙林 36.5 万亩，使原本裸露的沙漠披上绿装，自玛纳斯县北部的绿洲边缘地区，至呼图壁县与奇台县绿洲的边缘，形成长 300 多公里、宽 10~15 公里的防风固沙林带，植被盖度增加到 54%，植物种类也由原来的 4 种增加到现在的 46 种，形成了乔灌草三层立体结构群落，增加了生物多样性，提高了荒漠的生产潜力，阻断了沙漠向绿洲的侵袭，逐步改善了人们赖以生存的绿洲生态环境。

## 7.4. 农村改变农业生产方式下的节能减排案例

### 7.4.1. 滴灌项目

滴灌项目主要针对棉花和番茄等矮秆作物栽培。项目初期主要推广膜下常压滴灌，项目后期主要推广主管深埋式高压滴灌。由于滴灌设备不同，滴灌建设投资不同。其中，高压深埋式滴灌设施建设成本为 900~1300 元/亩，项目建设费用主要来自政府补贴、村委会投资和农户贷款。农户需承担设施的后期维护费用，主要为支管更新费用（50~65 元/亩）。

农田滴灌技术可以节约化肥，提高肥料利用率。以棉花为例，2002 年到 2006 年滴灌样地和非滴灌样地上的化肥施用量略有提高，项目没有明显节肥效果。但是，滴灌地块单位产量明显提高，增产了 25.5%，表明肥料利用率有所提高。

另外，滴灌地块地膜投入基本保持不变，对农业机械柴油消耗量影响很小，用水量下降 11.7%。由于滴灌采用全村统一供水供肥模式，灌水季节农户需要按时到地块开关管道阀门，因此劳动力投入提高。

### 7.4.2. 沼气项目

新疆项目地区由于气候寒冷，沼气产气率较低，农户参与热情不高。截至 2006 年底沼气项目的推广率为 13.1%。四川农户对沼气项目的接受程度较高，样本村平均沼气推广率为 42.75%，其中最高的村达到 70%。

四川地区沼气用户沼气供能占家庭生活用能的 16% 左右，替代了秸秆燃烧和煤的使用。根据入户调查的数据，沼气项目可显著减少种植业成本，并提高种植

业净收入。

### 7.4.3. 测土施肥项目

四川广元市剑阁县是全国 200 多个测土配方肥项目试点县之一，项目于 2005 年前后开展。测土配方项目通过测土、配方、配肥、供肥几个环节，根据土壤质量和作物需求，向农户提供氮、磷、钾和各项微量元素配比精准的肥料。作物覆盖小麦、水稻、玉米、油菜等。采用配方肥后，虽然化肥方面的开销变化不大，但吸收效率提高，总使用量有所减少，另外可以起到节约劳动力和增产的作用。因此，农户对该项目的接受度较高，样本村平均推广率为 72.2%，有些村可以达到 100%，覆盖样本村土地面积的 77.3%。

## 8 政策建议

中国是一个农业大国，约 60% 的农业人口。与中国城市用能相比，农村能源消费的增长及结构都呈现出一些独有特点，而农村人口众多，居住分散的布局，自然条件和发展水平的差异，也大大增加了农村能源问题的复杂性，从而对中国能源体系及能源政策的效能产生了巨大而深远的影响。准确了解农村能源状况也是解决“农业、农村、农民”问题（“三农”问题）的重要切入点。在中国快速工业化、城市化、市场化的带动下，农业生产方式、农民生活方式和农村社会发展发生了前所未有的进步和巨变，带来了前所未有的冲击和震动，为加快农村能源建设、促进农村生态环境改善提出了严峻的挑战和紧迫性，也为适应气候变化带来巨大的需求和机遇。

农村能源的消费既是全球温室气体排放的重要来源，提高其利用效率也是减少温室气体排放的有效途径。

为统筹解决中国农村发展中的能源及环境和应对气候变化问题，特提出如下政策建议：

### （1）把农村生物质能利用设施当作农业基础设施予以大力支持

改革开放以来，中国农村能源消费状况发生了巨大变化：

[1]农村能源消费总量由 1980 年的 32,800 万吨标准煤增加到 2006 年的 95,650 万吨标准煤，26 年间将近翻了一番。

[2]商品能源消费稳步上升，但非商品能源消费总量却大体保持稳定。商品能源消费从 1980 年占消费总量的 30%，迅速增加到 2006 年的 67.3%；而传统的农村生物质能源比重则大幅下降，从 1980 年的 70% 下降到 2006 年 30%。显然，生物质能源已不再居农村能源消费的主导地位。

[3]农村商品能源的消费重点从生活用能转向生产用能。农业生产用能占农

村能源消费的比重由 1980 年的 20.4% 上升至 2006 年的 47.6%。生活用能仍以非商品能源为主（约占 76.8%），其中秸秆和薪柴分别为 60% 和 35%；而商品能源则以煤炭为主，电力次之，分别为 62.6% 和 22.4。生产用能主要来源于煤炭、焦炭、电力、油品等商品能源，贡献率分别为 62.4%、5.9%、5.4%、17.3%。

研究表明：伴随经济收入水平提高，我国农村居民的能源消费与生活消费支出呈正相关增长，而商品能源消费以近 8% 的速度增长。预计到 2030 年我国人均农村生活用能可能达到 700 千克标煤左右，其增量将主要依靠商品能源满足。但农村的非商品能源，仍然是农村生活用能的主要来源，2030 年两者的比例约为 1:2 左右。

为了补充农民对优质生活用能的需求，要充分利用农村的可再生能源资源，采用现代能源技术加强开发利用，但现行以补贴为主的农村能源政策已不能适应农村能源需求的变化。建议把农村生物质能利用设施，特别是大中型沼气工程，纳入国家农业基础设施计划，启动市场，调动政府各部门、企业和农民积极性，统筹解决农村能源和环境问题。

## （2）加强农村能源消费统计工作

由于历史原因，我国农村能源工作一直是农业部归口管理，未列入国家能源统计体系。这种机制已不能适应农村能源需求迅速增长、结构快速变化的形势。据统计，2007 年农村商品能源消费量已经占到全国商品能源消费量的 16.4%。如果把乡镇企业的全部能源消费量计入农村范畴，这个比例应该更高。从发展趋势看，农村商品能源消费比重还在稳步上升，农村能源已经成为国家能源体系的重要组成部分。加强农村生产和生活终端用能的统计分析，能够为权威机构进行公共政策决策提供科学的基础。目前，农村能源的相关数据散落在《中国能源统计年鉴》、《中国农村能源年鉴》和《全国农村可再生能源统计资料》中，在统计指标和口径等方面经常存在不一致的情况，尤其是农村乡镇企业真实用能总量、结构和效率情况缺失更多。

首先，为保证统计数据能够充分反映乡镇企业的实际用能情况，国家能源主管部门应该进行农村生产用能的统一定义。其次，国家主管部门应尽快把农村能源纳入国家统计体系，加强县级能源统计管理和组织能力建设。我们的调查显示，县级农村能源的统计工作是国家能源统计中相对薄弱的环节，难以提供系统、准确的能源需求数据。

农业、林业以及工业主管部门应该根据地方统计局的管理和指导方法，统计并上报当地的能源消耗数据。国家统计局统一收集、检查并发布统计结果，以保证国家能源统计的权威性和真实性。

### (3) 采取综合措施，加大推广清洁能源和可再生能源力度

农村煤炭、电力、成品油等商品能源消费不断提高，大大增加了各种废弃物的排放。与城市和工业相比，农村缺少必要的污染排放控制技术，污染物多数直接排放，给农村环境带来显著影响。

我国农村能源消费中，化石燃料（主要是燃煤）是二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放的主要来源。据我们估算，2004年我国农村煤炭消费产生的CO<sub>2</sub>排放量为103,872万吨，其中农业生产燃煤排放56,109万吨，农村生活燃煤排放47,763万吨。从发展趋势看，我国农村煤炭消费排放的CO<sub>2</sub>一直呈现快速增长态势，1980年我国农村煤炭消费仅排放CO<sub>2</sub>19,096万吨，到2004年增长了4倍，年均增长7.3%。测算表明，2004年我国农村煤炭消费共产生二氧化硫（SO<sub>2</sub>）1,091万吨，其中农业生产用煤炭排放589万吨，农村生活用煤炭排放502万吨。农村煤炭消费产生的氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和总悬浮颗粒物（TSP）排放量分别为93.20万吨和64.45万吨，其中农业生产过程排放的NO<sub>x</sub>和TSP分别为50.34万吨和34.81万吨，农村生活过程中的排放NO<sub>x</sub>和TSP分别为42.86和29.63万吨。农村煤炭消费产生的固态废弃物共1.8亿吨，其中农业生产过程9,985万吨，农村生活过程8,500万吨。

我国农村煤炭消费产生的各种污染物都呈现迅速增长的趋势。

发展可再生能源已成为缓解能源供需矛盾、减少环境污染、增加农民收入的重要途径，还可以有效地减少温室气体排放。研究表明，单位沼气产量年平均可净减少1.88千克/立方米温室气体。1991年至2005年间，我国农村生产的沼气合 $2.84 \times 10^7$ 吨标准煤，净减少温室气体排放量约7,315.8万吨二氧化碳当量（CO<sub>2</sub>-eq），年均减排量为487.7万吨，相当于全国温室气体总排放量的0.07-0.16%。2005年，中国可再生能源开发利用总量（不包括传统方式利用生物质能）为1.66亿吨标准煤，约为2005年全国一次能源消费总量的7.5%，相应减少二氧化硫（SO<sub>2</sub>）年排放量300万吨。目前，生物质高效能源化的途径主要为沼气、秸秆固化成型燃料、秸秆直接气化以及秸秆发电等，其中沼气是最主要和最成熟的利用方式。可再生能源发展的制约因素，一是成本高，如生物质（秸秆）气化站平均建设费用需120万元，如农户分摊，约6000元/户，单体利用还需要建立秸秆压块站进行致密成型，限制了大面积推广。二是经济效益不理想，难以吸引社会资本和金融资本参与。因此，需要政府出台扶持政策，降低最终用户的能源利用成本。建议通过增加基建投资、补贴、税收优惠等手段，引导更多社会资本进入农村可再生能源技术研发和生产，培育可再生能源走向产业化。

农村能源消费引发环境问题，具有鲜明的严重性和阶段性特征。建议近期利用价格机制，促进农村发展电力等高级清洁商品能源。完善农村可再生能源发展规划及配套法律法规体系，以适应改善农村环境，提高应对气候变化能力的需要。建立“农村能源建设基金”，推动灾后农村可持续能源建设；采用转移支付的手段，对灾区农户用电进行补贴。

#### **(4) 推广农村建筑节能和低碳高效农业技术**

农村建筑耗能占能源总消费量的比例很大，且增长快速。同时，传统的以生物质能源为主的采暖模式，正迅速转向化石能源为主的模式。在农村地区加快推进可再生能源建筑应用意义重大。中央对农村建筑节能已经有了明确的鼓励政策和支持措施，需要对示范技术、补贴额度和补贴方式进行监测评估，不断调整政策，引导农村建筑节能发展，提高能效，扩大应用范围。要整合太阳能、浅层地能应用设备生产企业、科研单位、勘察设计单位、施工企业等各方面专业力量，及时总结示范推广工作经验，妥善解决示范推广过程出现的问题，完善相关政策，为进一步全面推广奠定良好基础。要利用新农村建设和城乡统筹发展政策落实的时机，充分发挥村民的主体作用，加大政府和社会的帮扶力度，从改灶、改厕、改炕等生活环节入手，逐步改善门窗、屋顶和外部维护结构的保温性能，让农民建得起、用得起、管得好，同时鼓励继续使用有地方特色的保温隔热的土办法。

农村环境建设是一项长期的任务，目前仍存在诸多问题，如：农药、化肥、农膜过度使用导致的农业面源污染；乡镇企业的污染治理；部分农机高能耗、高排放；焚烧秸秆、污染大气；畜禽粪便等畜牧业废弃物处理等。要彻底解决这些问题，需要推广低碳农业技术，包括：减少化肥、农药、农膜的使用，用农家肥替代化肥，用生物防治替代化学农药，使用可降解农膜，开展平衡施肥等；还要推广保护性耕作、节水灌溉技术，改造落后的机电排灌设施，提高水资源和能源利用率；提高农业废弃物、农产品加工废弃物循环利用比例。构建区域产业循环模式，用低能耗、低污染、低排放、高效益的农业经济模式取代高能耗、高污染、高排放、低效益的农业经济模式，是实现整个农业生产系统低碳发展目标的基本途径之一。

低碳农业的发展要因地制宜，综合规划。涉及到的新技术、新设备等投入问题，需要通过政府和农户的共同努力，实行长期优惠政策、补贴机制，提高推广率，扩大推广区域。建议加快探索全国规模的以碳基金、生态补偿基金和国际自愿减排机制为主要内容的碳平衡交易制度，通过实行碳补偿、节能和购进可再生能源的方式，来降低土地流转和农业生产中排放的二氧化碳及所产生的温室气体排放带来的影响，同时减轻对其他方面的环境污染，以有效解决高碳排放问题，实行绿色分区扶贫策略。

#### **(5) 努力增强农业、农村和农民应对气候变化、防灾和减灾能力**

建议在国家层次上不断改进气候变化可能导致灾难的规模和速度的评估，加强对社区防灾减灾培训的支持。开发区域气候变化监测系统应进行灾难的早期预警。各部门和地方政府都应落实中央要求，在设计发展战略和行动计划时引入适

应气候变化的内容。

资金和技术是支撑农村应对气候变化的两个支柱。政府应向所有的农村人口提供补贴、保险和信用以达到农村应对气候变化的目标，尤其是在生态脆弱地区和农民人口多的地区。但是，国家需要采取灵活机制，满足各地区的不同需求。土地利用温室气体减排项目能够通过市场和交易形成减排，这类项目将能达到减少空气中二氧化碳和增加农民和土地管理者收入的双赢效果，应予以积极探索和鼓励。

建议政府在各个层面提供咨询服务，以保证农民获得低成本的节能技术和低碳耕作的信息。推广再造林、减少耕作、改善草场管理、改良饲料和动物种类、以及测土施肥等碳汇和碳减排操作技术。

无论是观测的气候变化的事实还是模型模拟结果都表明：气候变化已经并将对中国的粮食安全产生深远影响。建议各级政府合理调整农业生产结构和居民农产品消费结构。在保证粮食自给的前提下，对资源利用效率比较低的农产品，如大豆、玉米实行部分进口，减少对国内资源和环境的可能压力。要把适应气候变化纳入各级发展规划，改善地方救灾规划工作。将生物多样性分布与不同气候变化模式匹配起来，制定国家保护战略，加强生物多样性信息的国家和国际基因库建设。

## 致谢

在此，我们谨对课题发起方—中国环境与发展国际合作委员会表示特别感谢。同时，对国家发改委气候司以及中国-联合国气候变化伙伴框架项目对课题组的支持、组织和帮助表示衷心的感谢；感谢中国环境与发展国际合作委员会、联合国开发计划署、美国环保协会为该项目提供的资金支持；感谢商务部中国国际经济技术交流中心对项目资金管理和协调所做的工作，并对给予过本项目支持和帮助的所有专家和工作人员表示衷心的感谢。

本报告由课题组提供