

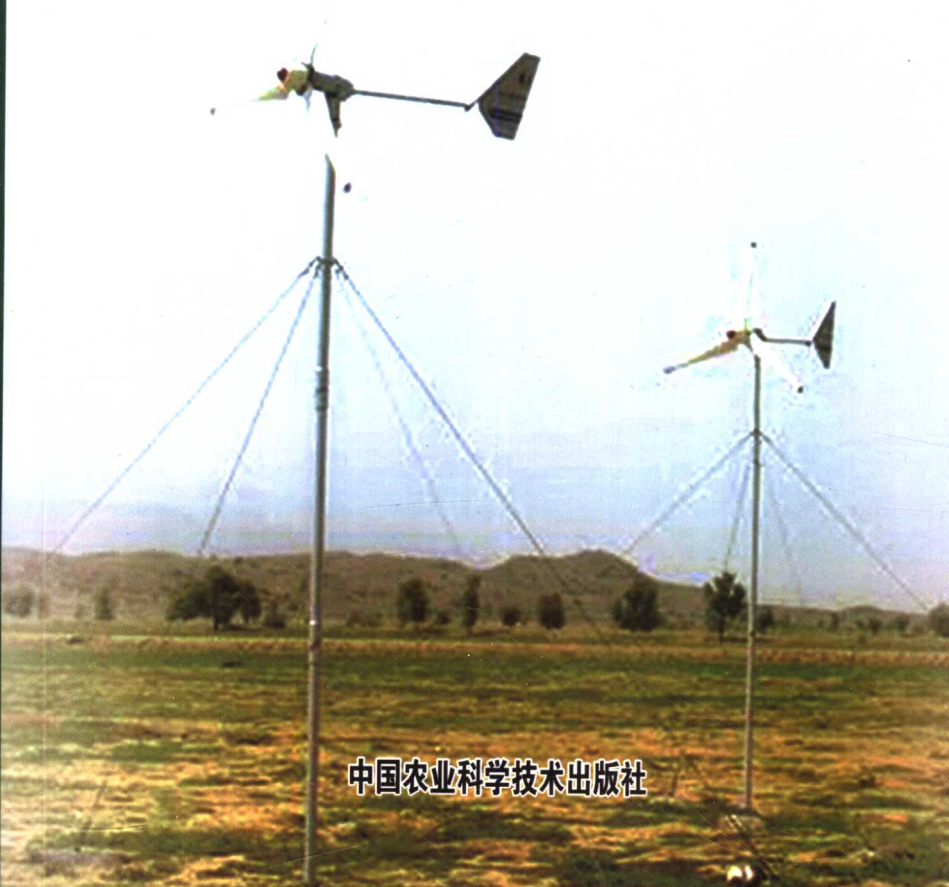


新农村建设集成技术丛书

# 农村绿色能源技术

科学技术部中国农村技术开发中心

**组织编写**

A photograph of two wind turbines in a field. The turbines are mounted on tall poles and have three blades each. They are positioned in a grassy field with hills in the background.

中国农业科学技术出版社



新农村建设集成技术丛书

# 农村绿色能源技术

科学技术部中国农村技术开发中心

**组织编写**



中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

农村绿色能源技术/赵立欣, 田宜水主编. —北京:  
中国农业科学技术出版社, 2007  
(新农村建设集成技术丛书)  
ISBN 978-7-80233-272-0

I. 农… II. ①赵…②田… III. 农村-无污染  
能源-能源开发 IV. X382

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 056681 号

责任编辑 徐 毅  
责任校对 贾晓红 康苗苗  
整体设计 孙宝林 马 钢

出版发行 中国农业科学技术出版社  
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081  
电 话 (010) 68919704 (发行部) (010) 62150979 (编辑室)  
(010) 68919703 (读者服务部)  
传 真 (010) 62189012  
社 网 址 <http://www.castp.cn>  
经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京科信印刷厂  
开 本 850 mm × 1 168 mm 1/32  
印 张 12.5  
字 数 300 千字  
版 次 2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷  
定 价 79.00 元

❖ 版权所有·侵权必究 ❖

# 前 言

农村能源是指农村地区可再生能源的生产和能源消费。现阶段，我国农村能源建设工作主要集中在三个方面：①节能技术的开发和利用，重点在普及节能灶具和改建“炕连灶”；②农业废弃物能源化和资源化利用，包括农作物秸秆综合利用和农村沼气技术；③开发利用新能源和可再生能源，如生物质能、太阳能、风能、地热能、小水电和微水电等。

党的十六届五中全会提出，要按照“生产发展、生活宽裕、乡风文明、村容整洁、管理民主”的要求建设社会主义新农村。但是，据统计，目前全国还有 3 000 万无电人口，50%以上农村居民生活用能采用秸秆、薪柴低效燃烧的方式，不仅利用效率低，而且造成严重的室内外环境污染，危害人体健康。同时，大量的人畜粪便得不到及时有效处理，造成严重的面源污染，导致疾病和疫病的传播。

与此同时，我国具有丰富的可再生能源资源，农村能源作为可再生能源的重要组成部分，既涉及农业与农村经济发展，又关系到国家能源安全。大力开发优质清洁的农村新能源和可再生能源，对于增加农村地区优质能源供应、缓解能源供需紧张的矛盾、改善农民生产生活条件、减少环境污染、解决“三农”问题、促进农村经济社会可持续发展具有重大意义。新农村建设需要新能源，发展新能源促进新农村建设。

在此背景下，笔者根据多年从事可再生能源技术领域的工作



经验,向广大读者全面、系统地阐述农村能源的概念,总结国内外农村可再生能源技术的发展现状及最新研究成果,指出了今后的发展方向。全书共分为10章,分别介绍农村户用沼气技术、大中型沼气工程、农村生物质能利用技术、太阳能利用技术、农村风能利用技术、农村地热能利用技术、农村小水电和微水电技术、农村节能技术及农村绿色能源集成技术,并通过实际案例分析,说明了农村能源建设所产生的巨大经济、社会、生态效益。特别需要说明的是,本书融入了笔者近几年的工作成果。

通过本书的出版,如能为更多工作在农村能源战线的科技工作者和广大农村干部、群众提供参考与帮助,将是笔者对农村能源发展所尽的绵薄之力。

全书由赵立欣、田宜水共同编著。由于时间仓促和作者的阅历、水平所限,书中难免会有错误和疏漏之处,以及限于篇幅对某些技术原理和工艺的阐述不透彻,欢迎广大读者批评指正。

在本书的撰写过程中,许多同志给予了不同形式的支持和帮助;王孟杰、高援朝、肖明松、王飞、董保成、张艳丽等同志无偿地提供了资料;袁艳文、王爱华同志在信息收集、图形绘制和文稿校对等方面做了大量的工作。另外,编者还参考了一些国内外资料。值此本书出版之际,向各位同志表示最衷心的感谢。

编 者

2007年6月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一章 绪 论 .....         | 1   |
| 第一节 基本概念 .....        | 1   |
| 第二节 农村能源建设的重要意义 ..... | 9   |
| 第三节 农村能源发展现状 .....    | 14  |
| 第四节 农村能源技术发展趋势 .....  | 20  |
| 第二章 沼气技术 .....        | 21  |
| 第一节 沼气发酵原理与条件 .....   | 22  |
| 第二节 农村户用沼气技术 .....    | 37  |
| 第三节 养殖场大中型沼气工程 .....  | 59  |
| 第四节 沼气的利用 .....       | 80  |
| 第五节 沼渣、沼液综合利用 .....   | 87  |
| 第三章 生物质能利用技术 .....    | 92  |
| 第一节 概 述 .....         | 92  |
| 第二节 生物质资源 .....       | 101 |
| 第三节 固体成型燃料技术 .....    | 118 |
| 第四节 生物质气化技术 .....     | 127 |
| 第五节 能源作物 .....        | 153 |
| 第四章 太阳能利用技术 .....     | 161 |
| 第一节 概 述 .....         | 161 |
| 第二节 太阳能热利用技术 .....    | 168 |
| 第三节 太阳能光伏技术 .....     | 209 |



|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第五章 风能利用技术</b> .....      | 221 |
| 第一节 概 述 .....                | 224 |
| 第二节 我国风能资源 .....             | 228 |
| 第三节 风能的利用 .....              | 239 |
| <b>第六章 地热能利用技术</b> .....     | 261 |
| 第一节 概 述 .....                | 261 |
| 第二节 我国的地热资源 .....            | 263 |
| 第三节 地热资源的利用 .....            | 271 |
| 第四节 浅层地热能利用技术 .....          | 283 |
| <b>第七章 小水电技术</b> .....       | 289 |
| 第一节 水电资源 .....               | 291 |
| 第二节 水电能资源开发的基本方式 .....       | 299 |
| 第三节 农村小水电的概念 .....           | 305 |
| 第四节 农村微水电技术 .....            | 311 |
| <b>第八章 农村节能技术</b> .....      | 320 |
| 第一节 省柴灶 .....                | 320 |
| 第二节 节煤炉 .....                | 332 |
| 第三节 节能炕 .....                | 335 |
| 第四节 农机节能技术 .....             | 344 |
| <b>第九章 农村绿色能源集成技术</b> .....  | 353 |
| 第一节 农村沼气集成技术 .....           | 353 |
| 第二节 风—光—柴互补发电系统 .....        | 357 |
| 第三节 太阳能—地源热泵供热空调<br>系统 ..... | 359 |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第十章 应用实例 .....           | 362 |
| 第一节 农村户用沼气应用实例研究 .....   | 362 |
| 第二节 甜高粱制取燃料乙醇的实例研究 ..... | 369 |
| 第三节 北京大学地热能应用实例 .....    | 373 |
| 第四节 微水电技术的应用示范 .....     | 375 |
| 参考文献 .....               | 378 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 基本概念

### 一、能源的概念和种类

能源是保障人类生产和生活的基本物质条件，是现代社会发展的动力，是国民经济和社会发展的基础。纵观社会发展史，人类经历了柴草能源时期、煤炭能源时期和石油天然气能源时期，目前正向新能源时期过渡，相信能源的多元时代即将来临。

(1) 能源的定义 《科学技术百科全书》中的定义是：能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源；《大英百科全书》认为：能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量；我国《能源百科全书》解释为：能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热和动力等任一形式能量的载能体资源。可见，能源是一种具有多种形式，且可以相互转换的能量来源。简单而确切地说，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。

(2) 能源的分类 依据形态特征或转换与应用层次，能源分为煤炭、石油、天然气、电能、核能、水能、太阳能、生物质能、风能、海洋能和地热能等类型。其中，前三个类型统称化石燃料或化石能源。

按照形成条件，能源分为一次能源和二次能源。一次能源

(或初级能源)是指在自然界中现成存在,可直接取用的能源,具有自然属性。二次能源是指由一次能源经加工转换成另一种形态的能源,如电力、蒸气、焦炭、煤气,以及生产过程中排出的余热、余能,如高温烟气、可燃废气、废蒸气等。一次能源无论经过几次转换所得到的另一种能源都称为二次能源,如上述水力与火力发电过程中的热能、机械能和电能等都属于二次能源。

一次能源按其能循环使用和不断得到补充,又分为可再生能源和非可再生能源。可再生能源是指在较短的时间内,通过地球的自然循环不断补充的能源,如太阳能、水能、风能、生物质能和地热能等均属于可再生能源。非再生能源是指经过亿万年形成的、短期内无法恢复、不能重复再生的自然能源。如煤炭、石油、天然气、裂变核燃料铀、钍等。它们都是不能再生的,用一些就少一些,终有用尽的时候。图 1-1 为能源按形成条件的分类。

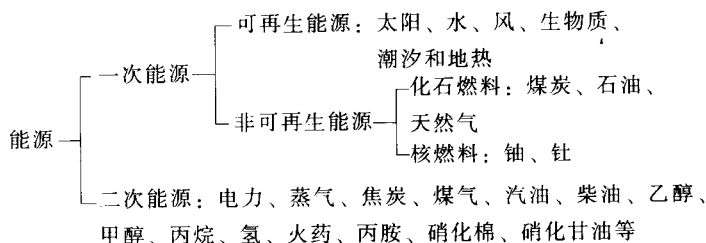


图 1-1 能源按形成条件分类

按照来源,能源又可分为三类:第一类是来自地球以外的太阳能,除了太阳直接照射到地球的光和热外,常见的煤炭、石油、天然气,以及生物质能、水能、海洋能和风能等,都来源于太阳。第二类是来自地球自身的能源,如地热能、核能等。第三类是来自太阳和月球对海洋的引力所产生的巨大的潮汐能。

表 1-1 总结了大部分基本能量来源。

表 1-1 基本能量来源

| 起源   | 能量来源                                | 应用                | 优点与缺点                                     |
|------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| 太阳   | 直接辐射太阳能、热水、供热、风能、水能、海洋能和生物质能        | 机械能、运输、发电、热电联产    | 优点：完全可再生，太阳能几乎可在任何地方获得<br>缺点：分散、低密度；能源密度低 |
| 引力   | 潮汐能                                 | 发电、机械能            | 优点：完全可再生资源<br>缺点：适合获取能量的地方太少              |
| 地核热能 | 地热能                                 | 供热、发电             | 优点：大部分可再生<br>缺点：适合获取能量的地方很少               |
| 化石燃料 | 煤炭、石油和天然气                           | 供热、机械能、运输、发电、热电联产 | 优点：能源密度高<br>缺点：污染；有限的资源                   |
| 核能   | 铀、少数是钚 <sup>①</sup> 和钍 <sup>②</sup> | 发电                | 优点：极度浓缩的能源<br>缺点：重污染物；核泄漏的威胁；有限的资源        |

(3) 化石能源 煤炭。主要是石炭纪以树木为主的陆地植物，经过几千万年或更长时间物理、化学和生物作用形成的。由于各种煤的形成年代不同，碳化程度也不同，可将煤炭分为泥煤、褐煤、烟煤和无烟煤四类。煤炭既是重要的工业和民用燃料，又可作为化工原料。根据成煤条件，地球上的煤炭资源主要分布在北半球，约占世界总储量的 95%，集中在北美、中国、前苏联；南半球仅在南非、澳大利亚和博茨瓦纳等国具有较

① 钚：锕系元素中的放射性金属元素，原子序数 94。是制造原子弹的主要材料之一，元素符号是 Pu。

② 钍：一种放射性金属元素，灰色，质地柔软，经过中子轰击，可得铀 233，因此，它是潜在的核燃料，元素符号是 Th。

大储量。我国煤炭资源储量居世界第一位，分布十分广泛，遍及全国各省区。

石油。古代动植物有机残体被砂石泥土覆盖，在与外界空气隔绝的条件下，长期受地质和细菌的作用逐渐形成石油，是液态碳氢化合物。石油可以制成不同的产品，包括可燃气、汽油、煤油、柴油、重油和润滑油等。此外，它还可以为化工行业提供原材料。石油的分布、产量和消费量在世界上是不均衡的。根据英国石油公司（BP）2005 年《世界能源统计》，截至 2004 年底，世界石油探明贮量为 11 886 亿桶，贮产比为 40.5。世界石油资源主要分布在中东地区和石油输出国组织（OPEC）<sup>①</sup> 国家，其中中东地区为 7 339 亿桶，占 61.7%；中南美洲 8.5%，非洲 9.4%，前苏联地区 10.2%，北美洲 5.1%，亚太地区 3.5%，欧洲 11.7%。我国的探明贮量为 171 亿桶，占世界探明贮量的 1.4%，仅次于美国列世界第 12 位。

天然气。由地下开采出来的天然可燃气，主要成分为  $\text{CH}_4$ ，还包括  $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{C}_4\text{H}_{10}$  以及  $\text{CO}_2$  等杂质，各种碳氢化合物的含量高达 90%，是一种高热值的优质燃料。天然气有两种不同的类型，一是伴生气，由原油中挥发性组分所组成，约 40% 的天然气与石油一起伴生，称为油气田；二是非伴生气，即气田气，约占 60%。

（4）可再生能源 生物质能。生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体，包括所有的动植物和微生物。生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物质中的能量形式，以生物质为

---

<sup>①</sup> 石油输出国组织（Organization of Petroleum Exporting Countries, OPEC）：1960 年 9 月伊拉克、沙特阿拉伯、伊朗、科威特和委内瑞拉等国，为对付西方石油公司企业再次降低石油标价在巴格达举行会议，决定成立石油输出国组织，简称欧佩克，目前共有 11 个成员国。其宗旨是协调成员国石油政策，采取集体行动同外国石油公司进行谈判，维护本国的石油权益。OPEC 旨在通过消除有害不必要的价格波动，确保国际石油市场上石油价格的稳定，保证各成员国在任何情况下都能获得稳定的石油收入，并为石油消费国提供足够、经济、长期的石油供应。



载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，可转化为常规的固态、液态和气态燃料，取之不尽、用之不竭，是一种可再生能源。生物质能的原始能量来源于太阳，所以从广义上讲，生物质能是太阳能的一种表现形式。生物质能通常被认为是潜在的世界上最大可再生能源资源。据估算全球每年通过光合作用生产 2 200 亿 t 生物质（干基），相当于 1 537 亿 t 标准煤。综合考虑可持续发展和成本等因素，约 92 亿 t 标准煤的生物质可作为能源。农业废弃物是当前主要的生物质来源，而且在未来的一定时期内仍将发挥重要的作用。基于世界主要农作物产量计算，如果利用其中的 25%，相当于 13 亿 t 标准煤。畜禽粪便的能源潜力相当于 6.8 亿 t 标准煤。能源作物的重要性逐渐凸现，并在未来占主导地位，估计全世界能够提供近 10 亿  $\text{hm}^2$  的土地用于种植能源作物，年产 91 亿 t 标准煤的能源。

太阳能。太阳能是太阳内部连续不断核聚变反应过程产生的能量。太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源，风能、水能、海洋温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都来源于太阳。即使是地球上的化石燃料，从本质上说也是远古以来贮存下来的太阳能。广义上的太阳能包含上述各种可再生能源；狭义上的太阳能作为可再生能源的一种，则是指太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。太阳能资源丰富，既可免费使用，又无需运输，对环境无任何污染。但太阳能也有两个主要缺点：一是能流密度低；二是其强度受各种因素（季节、地点、气候等）的影响不能维持常量。这两大缺点极大地限制了太阳能的有效利用。太阳能的转换与利用方式有光—热转换、光—电转换和光—化学转换。通过转换装置把太阳辐射能转换成热能利用的属于太阳能热利用技术（光—热转换），太阳能热水系统是太阳能热利用的基本形式。利用热能进行发电称为太阳能热发电，也属于太阳能热利用技术领域。通过转换装置把

太阳辐射能转换成电能利用的属于太阳能光发电技术（光—电转换），光电转换装置通常是利用半导体器件的光生伏打效应原理进行光电转换，因此，又称太阳能光伏技术。光—化学转换尚处于研究阶段。

风能。风是地球上的一种自然现象，它是由太阳辐射热所引起的。太阳照射到地球表面，地球表面各处受热不同，产生温差，从而引起大气的对流运动而形成风。风能的特点为：能量巨大，但能量密度低，当流速同为  $3\text{m/s}$  时，风力的能量密度仅为水力的  $1/1\,000$ ；利用简单、无污染、可再生；不稳定性大，连续性、可靠性差；时空分布不均。风能作为一种无污染和可再生能源有着巨大的发展潜力，特别是对沿海岛屿，交通不便的边远山区，地广人稀的草原牧场，以及远离电网和近期内电网还难以达到的农村、边疆，作为解决生产和生活能源的一种可靠途径。

地热能。地热能是来自地球深处的可再生热能，起源于地球熔融岩浆和放射性物质的衰变。地热能是指其储量比目前人们所利用的总量多很多倍，集中分布在构造板块边缘一带，该区域也是火山和地震多发区。如果热量提取的速度不超过补充的速度，那么，地热能便是可再生的。地热资源是指在当前技术经济和地质环境条件下，地壳内能够科学、合理地开发出来的岩石中热量和地热流体中热量及其伴生的有用成分。地热资源按其在地下的储存状态，可以分为水热型、干热岩型和地压型地热资源；其中水热型地热资源又可进一步划分为蒸气型和热水型地热资源。

水电。水力发电是利用水力（具有水头）推动水力机械（水轮机）转动，将水能转变为机械能，如果在水轮机上接上另一种机械（发电机）随着水轮机转动便可发电，这时机械能转变为电能。水力发电在某种意义上讲是水的势能变成机械能，又变成电能的转换过程。水力资源的开发方式是按照集中落差



而选定,大致有三种基本方式:即堤坝式、引水式和混合式等。但这三种开发方式还要各适用一定的河段自然条件。按不同开发方式修建起来的水电站,其枢纽布置、建筑物组成等也截然不同,故水电站也随之而分为堤坝式、引水式和混合式三种基本类型。

海洋能。地球表面积约为  $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ , 其中陆地表面积为  $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$  (占 29%); 海洋面积达  $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$  (占 71%)。整个海水的容积多达  $1.37 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。一望无际的汪洋大海,不仅为人类提供航运、水产和丰富的矿藏,而且还蕴藏着巨大的能量。通常海洋能是指依附在海水中的可再生能源,包括潮汐能、波浪能、海洋温差能、海洋盐差能和海流能等。潮汐与潮流能来源于月球、太阳引力,其他海洋能均来源于太阳辐射。海水温差能是热能,低纬度的海面水温较高,与深层冷水存在温度差,而贮存着温差热能,其能量与温差的大小和水量成正比;潮汐能、潮流能,海流能、波浪能都是机械能,潮汐能是地球旋转所产生的能量,通过太阳和月亮的引力作用而传递给海洋的,并由长周期波贮存的能量,潮汐的能量与潮差大小和潮量成正比;潮流、海流的能量与流速平方和通流量成正比;波浪能是一种在风的作用下产生的,并以位能和动能的形式由短周期波贮存的机械能,波浪的能量与波高的平方和波动水域面积成正比;河口水域的海水盐度差能是化学能,入海径流的淡水与海洋盐水区有盐度差,若隔以半透膜,淡水向海水一侧渗透可产生渗透压力,其能量与压力差和渗透流量成正比。各种能量涉及的物理过程开发技术及开发利用程度等方面存在很大的差异。全球海洋能的可再生量很大,上述五种海洋能理论上可再生的总量为 76.6TW。虽然海洋能的强度较常规能源较低,但在可再生能源中,海洋能仍具有可观的能流密度。

## 二、农村能源

农村能源即农村地区的能源,既有能源消费(主要包括农

业生产和农村居民生活用能),也有当地可再生能源的生产。广义上,农村能源是针对在经济不发达,缺乏商品能源,能源利用水平低,主要依靠当地可再生能源的第三世界国家的农村地区,森林过度樵采,植被破坏,严重地制约农村社会经济发展和生态环境改善而提出的一个概念。作为专用名词,农村能源多见于城乡差别明显的发展中国家,在发达国家由于农村和城市已无较大差别,因此,只有农业能源的概念。

20 世纪 70 年代我国农村面临着生活燃料严重短缺的局面,绝大多数农民使用热效率仅为 10% 的旧式炉灶,75% 的秸秆用作炊事燃料。不仅浪费了大量能源,还严重污染了环境;而且由于林木资源过度砍伐,植被大量被破坏,水土流失十分严重,陷入了能源短缺与生态环境破坏的恶性循环局面,这是加剧我国的水土流失和荒漠化程度的重要原因之一。

当时为了解决农村地区能源严重短缺的问题,1982 年第五届全国人民代表大会通过的《关于第六个五年计划的报告》,正式将“因地制宜,多能互补,综合利用,讲求效益”十六字方针作为指导农村能源的发展建设方针。20 世纪 80 年代中后期,随着农村经济发展,农村能源短缺矛盾得到缓解,农村能源建设工作重点转向燃料改进和优质能源开发,为农民提供清洁、方便能源。

进入 20 世纪 90 年代,在广大农民积极参与和自主创新推动下,农村能源建设与农业生产技术紧密结合,形成了以南方“猪—沼—果(菜、稻、茶、渔)”和北方“四位一体”为代表的能源生态模式,农村能源建设进入农村经济建设领域。20 世纪 90 年代中期以来,随着我国资源、生态和环境问题的凸显,农村能源建设又在保护植被资源、农业废弃物污染防治和资源高效利用等方面发挥重要作用,工作重点也从增加能源供应总量转为优化能源结构。2000 年农业部提出以村庄和农户为单位建设生态家园,以能源建设为切入点,以改变农民传统的生产



和生活方式为目标,实施生态家园富民计划。

现阶段,我国农村能源建设工作主要集中在三个方面:①节能技术的开发和利用,重点在普及节能灶具和改建“炕连灶”。②农业废弃物能源化和资源化利用,包括农作物秸秆综合利用和农村沼气技术。③开发利用新能源和可再生能源,如生物质能、太阳能、风能、地热能、小水电和微水电等。因此,本书中所提的绿色能源是指农村可再生能源和节能两个领域。其中,农村可再生能源包括生物质能、太阳能、风能、地热能、小水电和微水电,节能技术包括农村生活节能和农业生产节能两个方面。

## 第二节 农村能源建设的重要意义

### 一、农村能源与农村经济社会可持续发展

20世纪60~70年代以后,随着环境污染等公害问题的加剧和能源危机的出现,人们逐渐认识到,把经济、社会和环境割裂开来谋求发展,只能给地球和人类社会带来毁灭性的灾难。源于这种危机感,可持续发展的思想在20世纪80年代逐步形成。1983年11月,联合国成立了世界环境与发展委员会(WCED)。历经四年研究和充分论证,WCED在1987年向联合国大会提交报告——《我们共同的未来》,第一次阐述了可持续发展的概念和模式。

“可持续发展”一词在国际文件中最早出现于1980年由国际自然保护同盟制定的《世界自然保护大纲》,其概念最初源于生态学,指的是对于资源的一种管理战略,后被广泛应用于经济学和社会学范畴,加入了一些新的内涵。

在《我们共同的未来》报告中,“可持续发展”被定义为“既满足当代人的需求,又不危害后代人满足其需求的发展”,