



全国高等院校新能源专业规划教材

全国普通高等教育新能源类“十三五”精品规划教材

# 新能源科学与工程专业导论

Introduction to New Energy Science and Technology Major

主 编 杨世关

副主编 鹿院卫 陈汉平 李继红 钱 斌



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



全国高等院校新能源专业规划教材

全国普通高等教育新能源类“十三五”精品规划教材

# 新能源科学与工程专业导论

Introduction to New Energy Science and Technology Major

主 编 杨世关

副主编 鹿院卫 陈汉平 李继红 钱 斌



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

## 内 容 提 要

本书是为新能源类专业本科生编写的教材。本教材以国家战略性新兴产业相关专业——新能源科学与工程为研究对象,从新能源在保障人类社会可持续发展中的作用和地位,新能源种类及其转换利用技术途径,该专业学生新能源专业素养的培养,以及新能源产业及其所能提供的就业岗位等方面,系统阐述了新能源科学与工程专业的设置背景、新能源知识体系、专业人才培养目标与途径、专业课程体系,以及该专业学生毕业后的职业发展方向,以帮助学生形成对该专业的整体认知。

本书可作为高等院校新能源科学与工程专业本科生教材,以及其他新能源相关专业学生的教学参考书,也可作为对新能源感兴趣的高中生报考专业的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

新能源科学与工程专业导论 / 杨世关主编. — 北京:  
中国水利水电出版社, 2018.6  
全国高等院校新能源专业规划教材 全国普通高等教  
育新能源类“十三五”精品规划教材  
ISBN 978-7-5170-6543-2

I. ①新… II. ①杨… III. ①新能源—高等学校—教  
材 IV. ①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第128449号

书 名	全国高等院校新能源专业规划教材 全国普通高等教育新能源类“十三五”精品规划教材 新能源科学与工程专业导论 XINNENGYUAN KEXUE YU GONGCHENG ZHUANYE DAOLUN
作 者 出版发行	主编 杨世关 副主编 鹿院卫 陈汉平 李继红 钱 斌 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版 印 刷 规 格 版 次 印 数 定 价	北京时代澄宇科技有限公司 北京瑞斯通印务发展有限公司 184mm×260mm 16开本 10印张 207千字 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷 0001—3000册 52.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 丛书编委会

- 顾问** 褚君浩（中国科学院上海技术物理研究所）  
徐建中（中国科学院工程热物理研究所）  
贺德馨（中国风能协会）  
刘吉臻（华北电力大学）  
杨德仁（浙江大学）  
张百良（河南农业大学）
- 主任** 杨勇平（华北电力大学）
- 副主任** 戴松元（华北电力大学）  
陈汉平（华中科技大学）  
黄志高（福建师范大学）  
汪建文（内蒙古工业大学）
- 委员**（按姓氏笔画排序）  
王 谦（江苏大学）  
王少清（济南大学）  
王景甫（北京工业大学）  
田 德（华北电力大学）  
邢作霞（沈阳工业大学）  
许 昌（河海大学）  
孙后环（南京工业大学）  
李 岩（东北农业大学）  
李 涛（青海师范大学）  
杨 晨（重庆大学）  
杨世关（华北电力大学）  
陈 荐（长沙理工大学）  
林 鹿（厦门大学）  
周建斌（南京林业大学）  
周继承（中南大学）  
钱 斌（常熟理工学院）

# 本书编委会

**主 编** 杨世关（华北电力大学）

**副 主 编** 鹿院卫（北京工业大学）  
陈汉平（华中科技大学）  
李继红（华北电力大学）  
钱 斌（常熟理工学院）

**编写人员**（按姓氏笔画排序）

邢作霞（沈阳工业大学）  
苏文佳（江苏大学）  
李传常（长沙理工大学）  
高 攀（华北电力大学）

# 从 书 前 言

总算不负大家几年来的辛苦付出，终于到了该为这套教材写篇短序的时候了。

这套全国高等院校新能源专业规划教材、全国普通高等教育新能源类“十三五”精品规划教材建设的缘起，要追溯到2009年我国启动的国家战略性新兴产业发展计划，当时国家提出了要大力发展包括新能源在内的七大战略性新兴产业。经过不到十年的发展，我国新能源产业实现了重大跨越，成为全球新能源产业的领跑者。2017年国务院印发的《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》，提出要把战略性新兴产业摆在经济社会发展更加突出的位置，强调要大幅提升新能源的应用比例，推动新能源成为支柱产业。

产业的飞速发展导致人才需求量的急剧增加。根据联合国环境规划署2008年发布的《绿色工作：在低碳、可持续发展的世界实现体面劳动》，2006年全球新能源产业提供的工作岗位超过230万个，而根据国际可再生能源署发布的报告，2017年仅我国可再生能源产业提供的就业岗位就达到了388万个。

为配合国家战略，2010年教育部首次在高校设置国家战略性新兴产业相关专业，并批准华北电力大学、华中科技大学和中南大学等11所高校开设“新能源科学与工程”专业，截至2017年，全国开设该专业的高校已超过100所。

上述背景决定了新能源专业的建设无法复制传统的专业建设模式，在专业建设初期，面临着既缺乏参照又缺少支撑的局面。面对这种挑战，2013年华北电力大学力邀多所开设该专业的高校，召开了一次专业建设研讨会，共商如何推进专业建设。以此次会议为契机，40余所高校联合成立了“全国新能源科学与工程专业联盟”（简称联盟），联盟成立后发展迅速，目前已有近百所高校加入。

联盟成立后将教材建设列为头等大事，2015年联盟在华北电力大学召开了首次教材建设研讨会。会议确定了教材建设总的指导思想：全面贯彻党的教育方针和科教兴国战略，广泛吸收新能源科学研究和教学改革的最新成果，认真对标中国工程教育专业认证标准，使人才培养更好地适应国家战略性新兴产业的发展需要。同时，提出了“专业共性课+方向特色课”的新能源专业课程体系建设思路，并由此确定了教材建设两步走的计划：第一步以建设新能源各个专业方向通用的共性课程教材为核心；第二步以建设专业方向特色课程教材为重点。此次会议还确定了第一批拟建设的教材及主编。同时，通过专家投票的方式，选定中国水利水电出版社作为教材建设的合作

出版机构。在这次会议的基础上，联盟又于2016年在北京工业大学召开了教材建设推进会，讨论和审定了各部教材的编写大纲，确定了编写任务分工，由此教材正式进入编写阶段。

按照上述指导思想和建设思路，首批组织出版9部教材：面向大一学生编写了《新能源科学与工程专业导论》，以帮助学生建立对专业的整体认知，并激发他们的专业学习兴趣；围绕太阳能、风能和生物质能3大新能源产业，以能量转换为核心，分别编写了《太阳能转换原理与技术》《风能转换原理与技术》《生物质能转化原理与技术》；鉴于储能技术在新能源发展过程中的重要作用，编写了《储能原理与技术》；按照工程专业认证标准对本科毕业生提出的“理解并掌握工程管理原理与经济决策方法”以及“能够理解和评价针对复杂工程问题的工程实践对环境、社会可持续发展的影响”两项要求，分别编写了《新能源技术经济学》《能源与环境》；根据实践能力培养需要，编写了《光伏发电实验实训教程》《智能微电网技术与实验系统》。

首批9部教材的出版，只是这套系列教材建设迈出的第一步。在教育信息化和“新工科”建设背景下，教材建设必须突破单纯依赖纸媒教材的局面，所以，联盟将在这套纸媒教材建设的基础上，充分利用互联网，继续实施数字化教学资源建设，并为此搭建了两个数字教学资源平台：新能源教学资源网（<http://www.creeu.org>）和新能源发电内容服务平台（<http://www.yn931.com>）。

在我国高等教育进入新时代的大背景下，联盟将紧跟国家能源战略需求，坚持立德树人的根本使命，继续探索多学科交叉融合支撑教材建设的途径，力争打造出精品教材，为创造有利于新能源卓越人才成长的环境、更好地培养高素质的新能源专业人  
才奠定更加坚实的基础。有鉴于此，新能源专业教材建设永远在路上！

丛书编委会  
2018年1月

# 本书前言

这是一本为新能源专业大一学生编写的教材，缘起于2010年我国启动的“战略性新兴产业发展规划”，及教育部为配合该规划首次在高校设置的战略性新兴产业相关专业——新能源科学与工程。

写下这段文字的时间已是2018年，不到十年的时间，我国开设新能源科学与工程专业的高校已超过100所，每年招收的本科生保守估计也有5000多人。但遗憾的是，至今还未能为学生们提供一本满足以下目标的教材：向他们系统介绍专业知识体系；激发他们的专业学习兴趣；帮他们了解如何培养专业素养，并通过产业体系的介绍让他们认识其未来的职业发展方向。为了弥补这一缺憾，我们组织专家撰写了这本专业导论。

责任！这是组织撰写本教材的出发点。2015年冬，北京破天荒地连续发布了两次雾霾红色预警，让每一个生活在首都的人对环境恶化有了更深切的感受。而更为严峻的现实是，雾霾已成为笼罩大半个中国的魅影！“雾是中原醇，霾是帝都厚”，这是大众对环境恶化状况的戏谑，透露着几多无奈！再现蓝天碧水，路在何方？相信这是每个人都关心的问题。

追根溯源，解决问题的根本出路在于实现能源结构转型，即由化石能源体系转向清洁低碳的新能源体系。值得欣慰的是这已成为世界各国的共识，2015年冬，在巴黎召开的第21届联合国气候变化大会上，《联合国气候变化框架公约》196个缔约方一致同意通过了《巴黎协定》，这标志着世界各国对发展低碳绿色能源达成了共识。

方向已定，目标已明，关键是如何加快推进能源结构的转型。为此，许多国家围绕推进新能源发展制定了国家战略，而要落实战略目标，迫切需要培养大批专业人才，尤其是高级工程科技人才。

毫无疑问，培养新能源专业人才是新能源高等教育工作者的责任。未来让新能源更好地服务于人类可持续发展的目标，则更多的是新能源专业一批批青年学子的责任！为了引导学生进入充满魅力和挑战的新能源世界，并爱上新能源，我们组织专家对本教材的架构进行了深入思考和广泛讨论，并形成了以下编写思路：

首先，围绕能源与环境这两个关系人类可持续发展的重大主题，描述新能源发展的宏大时代背景和世界能源发展趋势，使学生了解新能源快速发展背后的逻辑，这是第1章的主题。



第二，全面介绍各种新能源技术，重点介绍太阳能、生物质能、风能、地热能等新能源技术，使学生形成对新能源技术的整体认知，以避免进入专业学习阶段后产生“只见树木、不见森林”的问题，这是第2章的主要任务。

第三，系统介绍专业能力的培养。大学教育愈来愈重视能力的培养，为此，斯坦福大学提出了“能力第一、知识第二”的教育理念，在大学阶段，学生应该如何培养自己的能力？培养哪些能力？能力的培养需要哪些知识支撑？这些知识内在的关联是什么？这些问题的答案会在第3章揭晓。

第四，整体分析新能源产业链的构成及其发展状况与趋势，以及产业所能提供的绿色就业岗位。希望通过本章的学习使学生对自己未来的职业方向形成初步认知，这是第4章拟实现的目标。

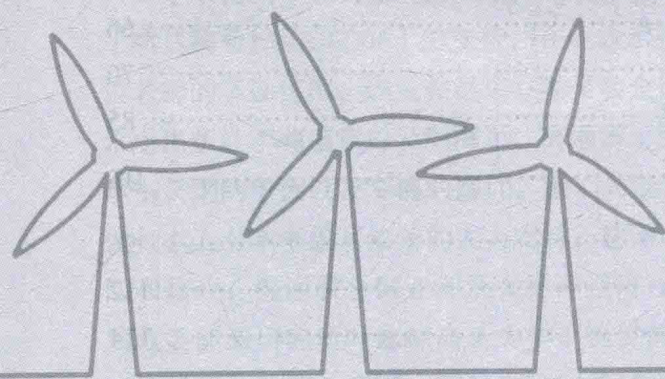
第五，学习资源介绍。现代教育理念认为，学习是学习者在一定的情境即社会文化背景下，借助教师和学习伙伴的帮助，利用必要的学习资源，通过意义建构的方式获得知识的过程。从这个角度分析，专业化的学习资源对终身化学习非常重要。基于此，附录部分对能源相关的国内外重要专业网站进行了收集整理，并围绕创新和创业能力培养，对国内重要的创新创业大赛进行了简要介绍。

鉴于首次编写这样一本教材，加之新能源专业方向的多样性及其所涉学科的广泛性，同时囿于作者知识、能力和视野的局限性，教材的整体内容和呈现方式距离所设定的目标还有差距，但考虑到国内新能源高等教育发展到今天，迫切需求新能源专业导论教材，所以我们决定先将其付梓，尽早补上这一空缺。真诚期望各所院校在使用过程中能不断提出宝贵意见，以便再版时更新和完善。

本书得到了教育部人文社会科学研究专项任务项目（工程科技人才培养研究）（项目编号16JDGC005）的支持，在此表示感谢！本书的出版，首先要感谢编写组各位老师的辛勤付出，以及教材编写委员会全体专家对编写框架的指导；感谢中国水利水电出版社李莉编审以及殷海军、高丽霄、邹昱、丁琪、张秀娟等编辑，他们参与了本书大纲的审读以及文稿的修订，做了大量工作；感谢华北电力大学教务处及柳长安处长本人对本书编写给予的大力支持；感谢我的导师张百良教授对全书所做的详细审阅和修改；感谢联合国亚洲及太平洋经济社会委员会能源司刘鸿鹏司长，以及国家发改委能源研究所叶东嵘高工为本书提供的重要参考资料。此外，杨金良高工为本书提供了一些图片素材，我的学生汪德诚也贡献了他的摄影作品，在此一并对他们表示感谢。

杨世关

2018年2月6日



# Chapter 1

# 目 录

## 丛书前言

## 本书前言

第1章 新能源开启能源可持续利用时代 .....	1
1.1 能源可持续利用时代图景概览 .....	2
1.2 发展新能源的历史逻辑 .....	7
1.3 新能源“新”在何处 .....	13
第2章 新能源家族 .....	19
2.1 新能源家族简介 .....	20
2.2 太阳能 .....	21
2.3 生物质能 .....	34
2.4 风能 .....	47
2.5 地热能 .....	53
2.6 储能 .....	59
第3章 新能源专业素养的培养 .....	65
3.1 科学与工程 .....	66
3.2 工程教育 .....	70
3.3 新能源科学与工程专业课程体系 .....	85
第4章 新能源产业及绿色岗位 .....	95
4.1 新能源产业及产业链 .....	96
4.2 新能源行业领域的绿色工作岗位 .....	112
4.3 工程职业 .....	114
附录1 复杂工程问题案例——SCR脱硝装置流场不均问题及其解决方法 .....	116
附录2 能源相关机构及其网址 .....	135
附录3 全国性大学生创新创业大赛简介 .....	137
参考文献 .....	143

# 新能源开启能源可持续利用时代

可持续发展是人类共同的目标，但目前以化石燃料为主的能源结构无法支撑这一目标的实现，这是全球能源结构向新能源与可再生能源转型的根本原因。在满足人类社会可持续发展这一重大需求的驱动下，太阳能、生物质能、风能等推动人类进入文明时代的能源被赋予了新的使命。围绕人类现代生活对电、热和燃料的需求，在众多学科知识（材料学、化学、物理学、生物学、热学、电学、机械学等）的支撑下，这些能源被赋予了全新的形态，而与人工智能的结合，将会进一步赋予其颠覆传统的能力。



## 1.1 能源可持续利用时代图景概览

当人类社会进入21世纪的第二个10年,在现代科技的推动下,能源结构正在经历深刻变革,具有资源再生禀赋的新能源开始步入舞台中央,开启了能源可持续利用时代的大幕。在这样的时代,人类使用的终端能源——电能、热能和(化学能)燃料,其生产和输配模式都在经历着重大变革,这种变革肇始于20世纪末。

1999年8月30日,美国最具影响力的商业杂志《商业周刊》刊登了一组系列文章,总题为“21世纪的21种设想”,其中第一篇是关于能源的设想,题目是“我是你的地方电站”。下面通过其中的几个段落一窥当时的设想。

到21世纪,差不多人人都有个人的涡轮机。它们以棕榈油或沼气为动力,确保家电设备正常运转,假如你的电力能自给有余,你还可以把多余的电出售给当地电网。

这是2009年的夏天,我家有两只电表,分别显示电力的“输入”和“输出”。显示电力“输入”的电表在绝大多数情况下都在转动,不过偶尔在电力不足或电价上涨时,我家地下室里的一台小型发电机就会运转起来。它发出的电力不仅能带动家里所有的电器设备,而且还可以把多余的电力卖给当地的电网。我喜欢看着自己的“输出”电表转圈儿……

我正在考虑在屋顶上加装太阳能电池板,它将使我成为一个地地道道的电力销售商,当然只是尽我所能……

以上描述的能源生产方式与传统能源生产方式相比,最大的变化是个人成为了电能的生产者,人们不再需要完全依赖大电网和大电厂给自己家供电。但设想如何转化为现实呢?答案就是“分布式发电”与“智能电网”的融合。

分布式发电,简单来说就是利用集成的或单独的小型发电装置产生电能。这些发电装置装机容量小,通常安装在终端用户的住房、办公室、工厂等场所,或者这些场所附近。另外,这些小型发电装置的主人已不再局限于发电公司,还可以是个人,也就是说每个人都可以成为电力生产者。分布式发电为电力生产由“垄断”向“民主”转变奠定了基石。

智能电网,是以物理电网为基础,高度集成现代先进技术而形成的新型电网,这些技术主要包括传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术等,电网智能化趋势参见图1.1。智能化使电网运行控制更加灵活、经济,并能适应大量分布式电源的接入。

分布式发电与智能电网的结合,使得终端用户不仅能够用上自己生产的电,而且还能和他人共享电力,这将从根本上挑战长期居于垄断地位的集中式能源系统,改变其自上而下的单向供能方式,即电能由大电厂经大电网再到终端用户的方式。

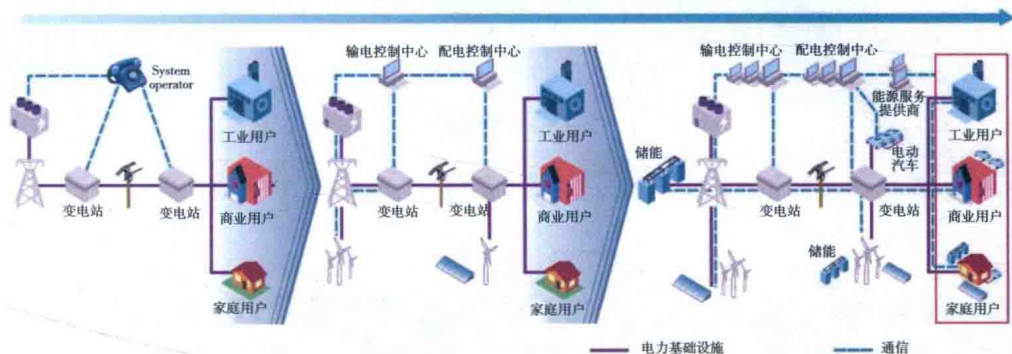


图1.1 电网智能化趋势

以上就是设想中的电力系统蓝图。当时间进入21世纪的第二个10年，新能源的迅猛发展正在使当初的设想变为现实。

首先来看新能源的先行者德国。早在20世纪末，德国政府就提出了太阳能屋顶发展计划，图1.2是作者2006年拍摄于德国乡间的一张照片，它是德国“十万太阳能屋顶计划”的一个缩影。该计划的顺利推行得益于其电价补贴政策，根据政策，德国电力公司回购太阳能发电的价格为0.5欧元/(kW·h)，而其售电价格只有0.1欧元/(kW·h)。



图1.2 德国屋顶光伏电站

为鼓励国民使用太阳能，日本政府对民众安装太阳能发电设备的基础投资给予补贴，并且太阳能发电的上网电价高于居民用电价格。在此政策激励作用下，仅2006年日本就有8万个屋顶新装了太阳能发电设备。

2012年，我国家庭光伏发电并网实现了破冰。当年10月26日，国家电网发布了《关于做好分布式光伏发电并网服务工作的意见》，鼓励分布式光伏发电分散接入低压配电网，承诺对6MW以下的分布式光伏发电项目免费接入电网，并全额收购富余电力。这一年，普通电子工程师徐鹏飞的名字上了央视新闻，起因是他在自家楼顶上安装的光伏电站正式并入电网，成为“中国首例居民光伏”。2015年，我国开始将分布式光伏作为一项扶贫技术在全国进行大范围推广，当年全国光伏扶贫试点建设规模达1836MW，产生了巨大的社会效益。

与此同时，我国集中式光伏电站建设也进入了快车道。2012年青海省启动了海南州生态光伏园区建设项目，园区规划占地面积298.9km<sup>2</sup>，总装机容量10000MW



图1.3 海南州生态光伏发电园区

(图1.3)。经过5年的快速发展,先后有40家企业入驻该发电园区,2017年园区光伏发电总装机容量累计达3225MW。2017年6月,青海省开启连续168h清洁能源供电试验,这是我国首次尝试在一个省级行政区域内全部由可再生能源供电。

从全球发展情况看,新能源发电已进入持续增长阶段,与此同时化石燃料发电份额在日益降低。根据国际能源署(International Energy Agency, IEA)报告,2014年,全球可再生能源发电投资基本与化石燃料发电投资持平(图1.4)。

新能源不仅可以满足电能生产,还可以满足人类对燃料的需求。煤、石油和天然气等不同形态的化石燃料都能找到对应的生物燃料替代品。目前,生物燃料已在交通、采暖和供热等领域得到广泛应用。

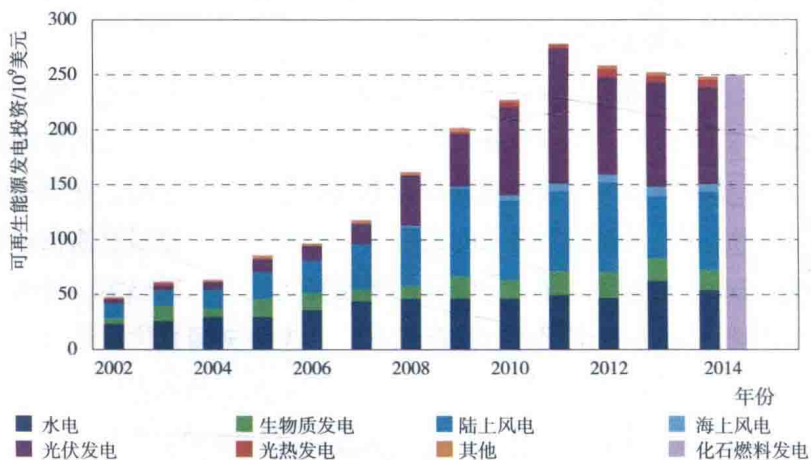


图1.4 全球可再生能源发电投资发展趋势

“Cows make fuel for biogas train”，这是2005年英国BBC NEWS一则新闻的标题。这则新闻的主角是一列火车（图1.5），其特别之处在于它是世界上首列由沼气驱动的火 车，该火车从瑞典的斯德哥尔摩南部城市林雪平（Linköping）开往波罗的海沿岸城市韦斯特维尔（Västervik），全程600km。牛与火车两件看似风马牛不相及的事物，通过沼气联系在了一起。



图1.5 世界上首列由沼气驱动的火 车

燃料乙醇，这是生物燃料的另一主角。在美国、巴西和中国，燃料乙醇已成为汽油的重要替代品，其推广应用实现了能源效益和环境效益的有机结合，将秸秆等农业废弃物转化为燃料乙醇是该结合的具体体现。2013年10月，全球首个以秸秆为原料生产燃料乙醇的工业化装置，在意大利北部克雷申蒂诺市正式启动（图1.6）。这家示范厂隶属于贝塔可再生能源公司，设计燃料乙醇产能为5000000L/年，并配备装机容量13MW的燃木质素电厂。该示范厂的投运意味着纤维燃料乙醇进入商业化生产阶段。与采用粮食为原料的燃料乙醇技术不同，这家乙醇厂以小麦秸秆、水稻秸秆以及种植于非耕地上的高产能源作物芦竹为原料，而且乙醇生产的副产品木质素被用于发电，其所发电力不仅可以满足工厂自身电力消耗，还可将剩余的电力出售给电网。

生物燃料还可用作航空燃料（图1.7）。2011年10月28日，一架加载航空生物燃料的现役波音747-400型客机在北京首都国际机场首飞成功，这是由中国国航、中国石油、波音公司和霍尼韦尔 UOP 公司共同合作完成的项目。2015年我国首次使用生物航油进行了载客商业飞行，3月21日，使用生物燃料的海南航空HU7604航班搭载150名乘客从上海飞抵北京，开启了生物燃料商业化应用于中国民航的时代。

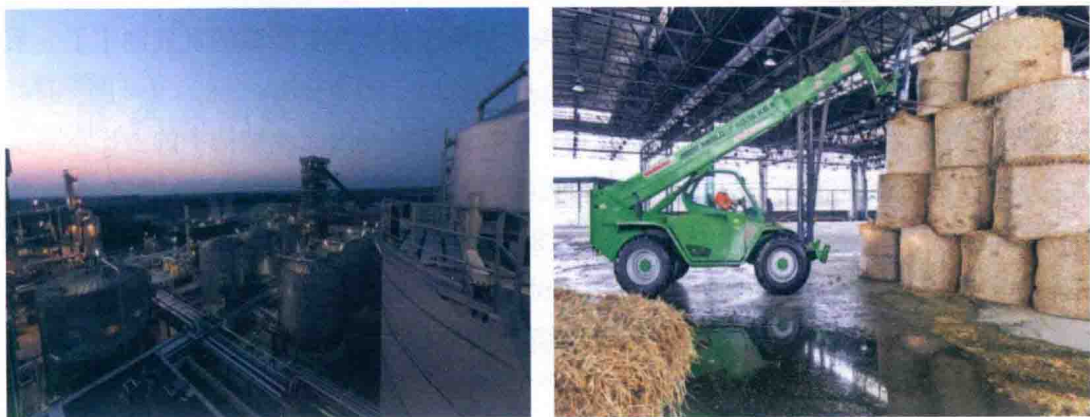


图1.6 世界首家商业化运行的纤维乙醇厂及其原料





图1.7 生物燃料在航空领域的应用

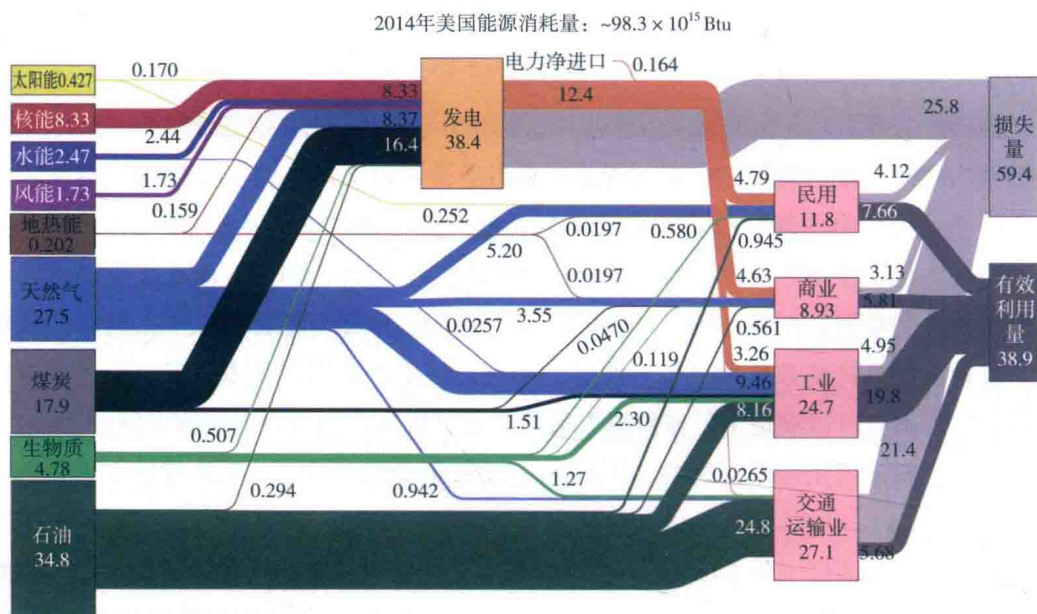


图1.8 美国2014年能流图 (来源于Lawrence Livermore National Laboratory)

发展新能源已被许多国家列入国家战略。曾经的世界能源消费第一大国美国，为降低对国外石油的依赖，实现能源自给，围绕新能源及可再生能源的发展制定了一系列计划。例如，奥巴马为全美政府机关设定了一个目标，在2020年之前实现可再生能源发电电力使用比例达到20%。在政府支持下，新能源在美国能源结构中的占比不断增加。美国2014年的能流图(图1.8)显示，美国当年能源消耗量约为 $98.3 \times 10^{15}$  Btu<sup>①</sup>，其中太阳能、风能、生物质能和地热能4种新能源的消耗量为 $7.139 \times 10^{15}$  Btu，在总能源消耗量中的占比已达7.26%，而2007年该比例还仅仅只有4.3%。

在推动新能源发展方面，能源消耗量占全球1/5的欧盟力度最大，处在全球领跑地位。2007年3月，欧洲理事会通过《能源和气候变化一揽子计划》，为欧盟确定了三大

① British thermal unit 的缩写，为英制热量单位，1Btu=1055.05585J。