

生态能源技术

肖 波 魏泉源 李建芬 等编著

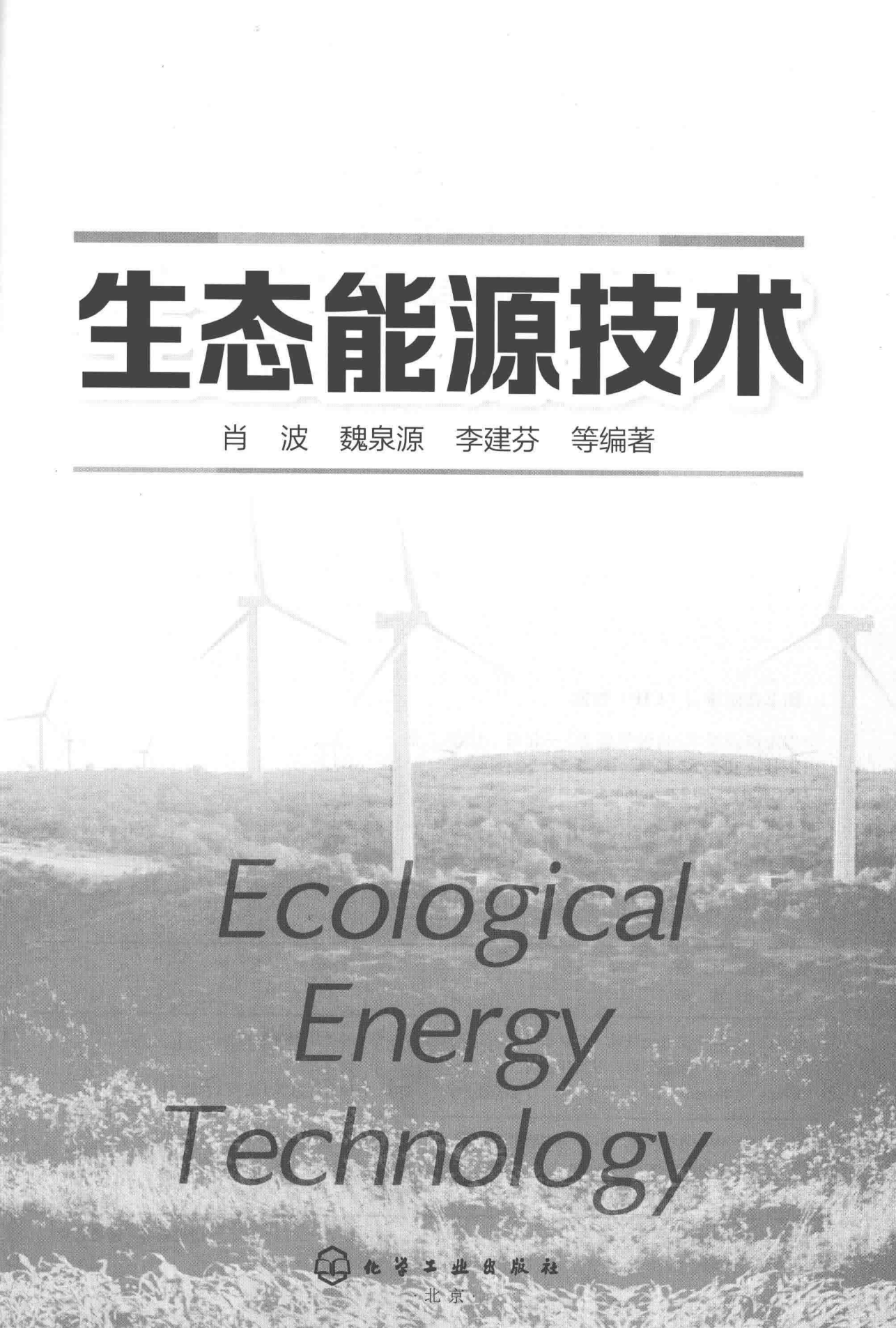
*Ecological
Energy
Technology*



化学工业出版社

生态能源技术

肖 波 魏泉源 李建芬 等编著



*Ecological
Energy
Technology*



化学工业出版社

北京

本书以生态能源技术为主线，从生态和能源的现状分析入手，重点阐述了生态能源技术理论、能源植物种植及其收运技术、生物质直接燃烧技术、生物质生物转化和热化学转化技术等方面的内容。全书共分 8 章，包括生态与能源的关系、生态能源技术理论、生态能源植物种植技术、生态能源植物收割与贮运技术、生物质直接燃烧技术、生物质生物转化技术、生物质热化学转化技术、生态能源基础建设。

本书内容丰富，取材新颖，对生态能源技术进行了比较完整和深入的讨论，系统性强，可供能源、化工、材料、环境等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等院校相关专业师生参阅。

图书在版编目（CIP）数据

生态能源技术 / 肖波等编著. —北京：化学工业出版社，2016.6
ISBN 978-7-122-26964-5

I. ①生… II. ①肖… III. ①能源-技术 IV.
①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第094137号

责任编辑：刘 婧 刘兴春
装帧设计：张 辉
责任校对：边 涛

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数360千字 2016年10月北京第1版第1次印刷

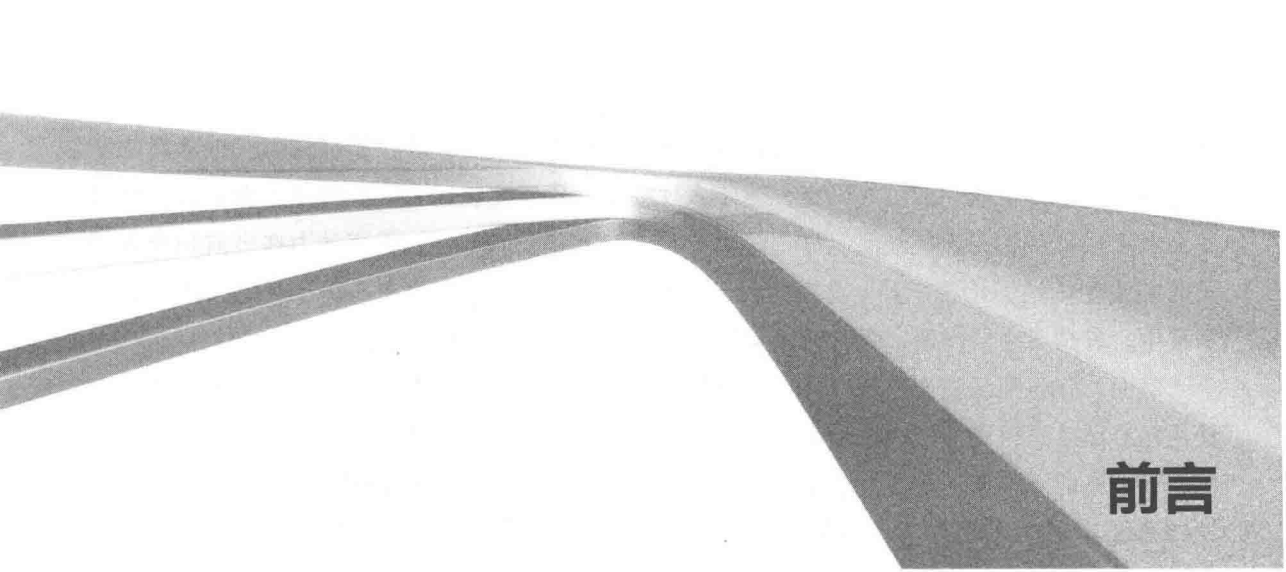
购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：68.00元 版权所有 违者必究

《生态能源技术》

编著者名单

编著者：肖 波 魏泉源 李建芬 刘石明 胡智泉
陈晶晶 成 功 何丕文 王布匀 程群鹏
刘翠霞 易其国 张乐观 胡 沔 郭大兵
张永光 齐方杰 李 倩 江程程 张艳丽



前言

生态是指地球上一切与生命依存相关的自然循环系统的生存状态。能源是供给热、光和动力等能量的资源。世界能源发展到今天，主导能源并没有发生本质改变，仍然是基于烃类化合物燃烧热做功的能源形式占绝对的主导地位，也就是通过烃类能源的碳、氢与氧的燃烧获得热能，再经过各种能量转换和利用。根据能源的烃类物质特性，人类未来的能源也只能主要依靠烃类物质资源。生态系统在生物变化过程中不断生长和蓄积着取之不尽的生物质烃类资源。低能源品位的生物质烃类资源可以通过能源科技不断进步，转变成为现代工业社会所需的能源。

生态能源是指能源资源不仅具备能源功能，而且具备生态功能，在获取能源的同时，又能保护生态环境，并具有化石能源的材料功能，在化石能源枯竭之日，能够接替其功能。生态能源的具体任务就是让生态系统生长更多的生物质烃类资源，并攻克提升低品位生物质燃料的能源品质等科学问题，通过大农业的能源收割和加工，为工业社会生产需求提供取之不尽的能源，摆脱人类对化石能源的依赖。

人类的生活和生产活动消耗了大量的化石能源。化石能源在开采和使用过程中对生态产生了负面影响，甚至破坏了正常的生态系统，直接威胁地球上生命的生存。科学地开发和利用生态系统中的能源，让生态系统满足人类的能源需求，同时让人类的能源利用不损害生态系统，使能源供给和生态维护达到和谐一致，这是人类可持续发展的一个重大科学问题。在当今能源资源日益紧张，生态环境日益恶化的情况下，人类的生存感受到了一定程度的威胁，与生态相和谐的生态能源技术系统的开发和利用迫在眉睫。

本书站在生态保护的立场上，去开发能源、挖掘能源、规划能源，确立了生态能源的发展方向。运用多学科交叉的方法，去认识能源、研究能源、改变能源，构建生态能源技术的发展框架。

自古以来，人类需要的能源，主要有两类用途：一类是热；另一类是力。热是生活和生产所需要达到的温度；力为生产提供动力、制造产品和运输物质。人类动力的发展经历了两个阶段。第一阶段是生物动力，依靠人和牲畜的运动产生动力。在人类生物动力阶段，人马

决定政权，力气决定胜负。第二阶段是机器动力，依靠燃料燃烧获得机械动力。自从瓦特发明蒸汽机以后，机器动力巨大无比，逐步大规模地取代了生物动力，导致了工业革命。机器动力的应用程度和先进性决定了一个国家的经济发展和国际地位。机器动力在当前和今后一段时间主要依赖于化石能源，自18世纪工业革命以来，化石能源在人类生产力飞跃发展的历程中，发挥了主要作用，化石能源与现代社会已形成了唇齿相连的关系。

然而，化石能源资源有限，开采的高峰期已经过去，资源正在走向匮乏，过度的开采和使用已经造成生态和环境的严重影响，人类应该尽早为“后化石能源时代”做准备。生物质能源和化石能源一样，都是烃类能源。据统计，地球上每年生长的生物质能源是全世界每年能源消耗总量的10倍，无论是从资源角度，还是从能源形式上讲，生物质都最有潜力替代化石能源。同时，生物质能源在生长过程中，吸收二氧化碳，产生氧气，防沙固土，调节气候，保护环境和生态。然而，在几十年新能源探索的历程中，生物质能源的开发和应用落于太阳能和风能之后，生物质能源的优势不能发挥。这其中既有科学技术的问题，又有思想方法和社会观念的问题。如何充分发挥生物质能源的优势，需要科学技术、系统工程、战略理论、劳动观念等方面的全面提升，并与生态保护的需求结合起来，充分发挥生物质材料在能源、物质和环境保护等多方面的优越性，建立生态能源理论和技术体系，本书为此进行了初步尝试。

生态能源技术的目标就是要解决当前生物质能利用瓶颈的这一科学问题，通过新技术与装备，将生物质能转变成为能够满足大工业的适用性和经济性要求的工业能源，以工业能源需求带动荒山荒地的能源植物种植业、收割业、加工业、储运业和商贸业的发展，以此促进生态建设，形成生态能源产业链，促成能源—环境—经济的协调统一，保障人类生态和能源的长治久安。

本书是编著者长期从事生态能源技术研究和实践成果的积累。参与本书编著的主要成员有：华中科技大学肖波教授，武汉轻工大学李建芬教授、陈晶晶老师，北京市环境保护科学研究院魏泉源工程师，华中科技大学刘石明老师、胡智泉副教授，华中科技大学博士研究生成功、何丕文、王布匀、程群鹏、刘翠霞、易其国、张乐观、胡沔、郭大兵以及硕士研究生张永光、齐方杰、李倩、江程程、张艳丽等。武汉轻工大学研究生王强胜、路遥等为本书进行资料收集、整理、文字修改和校对做了大量的工作。同时本书还吸收和借鉴了该领域有关的研究成果，作者在此对给予本书以启示及参考的有关文献著作者深表谢意。希望本书能为读者了解和研究生态能源技术提供一些有益的参考。同时本书还吸收和借鉴了该领域有关的研究成果，作者在此对给予本书以启示及参考的有关文献著作者深表谢意。希望本书能为读者了解和研究生态能源技术提供一些有益的参考。

由于编著者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请专家与读者予以批评指正。

编著者
2016年5月

目录

1

生态与能源的关系

001

1.1 地球生态系统及其功能.....	001
1.2 生态现状.....	002
1.2.1 沙漠现状与危害.....	002
1.2.2 盐碱地现状与危害.....	003
1.2.3 石漠化现状与危害.....	005
1.2.4 水土流失现状与危害.....	008
1.2.5 气候变暖及其危害.....	010
1.2.6 国际碳减排计划.....	012
1.3 能源现状.....	015
1.3.1 化石能源现状.....	015
1.3.2 水能的概况及负面影响.....	017
1.3.3 风能现状及其局限性.....	019
1.3.4 太阳能发电及其局限性.....	022
1.3.5 地热能及其局限性.....	024
1.3.6 潮汐发电及其局限性.....	027
参考文献.....	029

2

生态能源技术理论

031

2.1 生态能源.....	031
2.2 能源的数量概念.....	031
2.2.1 化石燃料的储量.....	031
2.2.2 生态能源的储量.....	032

2.2.3 生态能源与化石能源的比较.....	032
2.3 能源的品质概念.....	033
2.3.1 能量密度和能流密度.....	033
2.3.2 能源的储量和分布.....	033
2.3.3 能源转化的品位问题.....	033
2.3.4 能源的连续供能和运输问题.....	034
2.4 能源的市场概念.....	034
2.4.1 能源消费预测.....	034
2.4.2 能源市场预测.....	034
参考文献.....	035

3

生态能源植物种植技术

036

3.1 能源植物.....	036
3.1.1 能源植物的定义和特点.....	036
3.1.2 能源植物种类.....	036
3.1.3 能源植物利用.....	037
3.1.4 高效能源植物.....	038
3.2 能源植物的使命.....	044
3.3 生态修复与能源植物种植技术.....	045
3.3.1 沙漠绿化与能源利用.....	046
3.3.2 盐碱地修复与能源利用.....	047
3.3.3 石漠化改造与能源利用.....	052
3.4 水生能源植物养殖技术.....	057
3.4.1 浮萍.....	057
3.4.2 满江红.....	059
3.4.3 水葫芦.....	061
3.4.4 藻类.....	064
3.5 能源植物种植存在问题及研究趋势.....	070
参考文献.....	071

4

生态能源植物收割与贮运技术

074

4.1 收割技术.....	074
4.1.1 农作物秸秆收割技术.....	074
4.1.2 水生植物收割技术.....	079
4.1.3 林木收割.....	082

4.2 生物质预加工..... 085

4.2.1 生物质破碎..... 086

4.2.2 生物质干燥..... 091

4.2.3 生物质成型..... 093

4.3 生物质运输..... 097

4.3.1 车辆运输..... 097

4.3.2 其他运输方式..... 098

4.4 生物质的贮存..... 099

4.4.1 生物质贮存存在的问题..... 099

4.4.2 生物质贮存模式..... 100

4.4.3 生物质的贮存安全管理..... 100

参考文献..... 102

5

生物质直接燃烧技术103

5.1 生物质直接燃烧技术现状..... 103

5.1.1 层燃技术..... 104

5.1.2 悬浮燃烧技术..... 104

5.1.3 流化床技术..... 105

5.1.4 生物质直燃发电技术..... 106

5.2 生物质固体成型燃料技术..... 109

5.2.1 生物质成型燃料..... 109

5.2.2 生物质成型燃料应用技术..... 112

5.2.3 生物质成型燃料推广及经济效益分析..... 113

5.3 生物质微米燃料高温燃烧技术..... 115

5.3.1 生物质微米燃料燃烧原理..... 115

5.3.2 生物质微米燃料..... 116

5.3.3 生物质微米燃料..... 121

5.3.4 生物质微米燃料高温燃烧技术..... 128

参考文献..... 134

6

生物质生物转化技术137

6.1 沼气转化技术..... 137

6.1.1 沼气的产生..... 137

6.1.2 沼气发酵原理..... 137

6.1.3 沼气发酵工艺控制因素研究..... 138

6.1.4 沼气发酵工艺..... 139

6.1.5 沼气应用技术.....	145
6.2 生物柴油技术.....	149
6.2.1 生物柴油特点.....	149
6.2.2 生物法生产生物柴油.....	149
6.2.3 提高生物酶法的生产效率的方法.....	150
6.2.4 生物酶法存在的问题及解决办法.....	153
6.3 生物乙醇技术.....	153
6.3.1 燃料乙醇产业发展状况.....	154
6.3.2 生物乙醇的原料.....	155
6.3.3 发酵法生产生物乙醇.....	155
6.3.4 木质纤维素类生物质制取乙醇.....	159
6.4 生物制氢.....	165
6.4.1 制氢方法.....	165
6.4.2 生物制氢.....	165
6.4.3 产氢细菌的种类及产氢机理.....	168
6.4.4 生物制氢存在问题及发展前景.....	170
参考文献.....	171

7

生物质热化学转化技术

174

7.1 生物质热解技术.....	174
7.1.1 生物质热裂解的概念.....	174
7.1.2 生物质热裂解反应机理.....	175
7.1.3 热解反应动力学.....	176
7.1.4 热解工艺.....	178
7.1.5 热解产物.....	179
7.2 生物质气化技术.....	180
7.2.1 生物质气化的原理及工艺.....	180
7.2.2 气化工艺.....	180
7.2.3 气化反应器.....	182
7.2.4 生物质气化制备燃气.....	188
7.2.5 生物质气化技术的应用.....	196
7.3 生物质液化技术.....	200
7.3.1 生物油的特性.....	200
7.3.2 生物质液化技术——热化学法.....	202
7.4 热化学转化技术的比较.....	208
7.4.1 原料供应要求.....	209
7.4.2 技术工艺比较.....	210

7.4.3 产品性质及其用途比较..... 210

参考文献..... 212

8

生态能源基础建设 216

8.1 生态能源基础设施建设的必要性..... 216

8.1.1 化石能源基础设施..... 216

8.1.2 生态能源基础设施建设的必要性..... 218

8.2 生态能源硬件基础建设..... 219

8.2.1 能源植物种植基础建设..... 219

8.2.2 收集基础建设..... 220

8.2.3 贮藏基础建设..... 220

8.2.4 运输基础建设..... 221

8.2.5 其他基础设施..... 221

8.3 生态能源软件基础建设..... 222

8.3.1 生态能源软件基础建设现状..... 222

8.3.2 中国生态能源产业软件基础设施建设着重需要加强几个方面..... 224

8.4 生态能源商贸与管理..... 225

8.4.1 生态能源原料的商品与管理..... 225

8.4.2 生态能源产品的商贸与管理..... 227

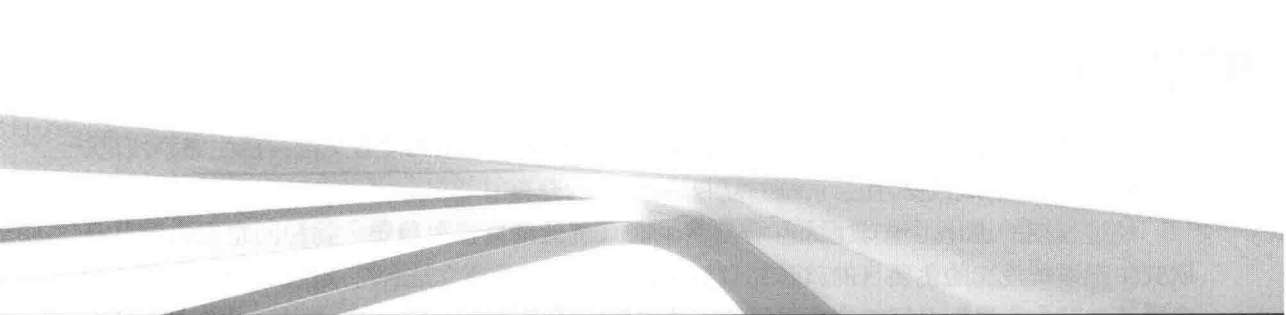
8.5 生态能源队伍建设..... 227

8.5.1 生态能源队伍建设的必要性..... 227

8.5.2 生态能源队伍建设面临的主要问题..... 228

8.5.3 加快生态能源队伍建设的意见及对策..... 230

参考文献..... 230



1

生态与能源的关系

1.1 地球生态系统及其功能

生态系统(ecosystem)就是在一定空间中,生物群落(即其中的所有生物)与周围物理环境之间不断进行物质循环和能量流动而形成的统一整体。地球上的森林、草原、荒漠、海洋、湖泊、河流等,不仅它们的外貌存在差异,生物组成也各有其特点,栖居其中的生物和它周围的非生物环境相互作用,构成一个个物质不断循环、能量不停流动、信息不停传递的生态系统。

系统是由彼此间相互作用、相互依赖的事物有规律地结合而成的,是具有特定功能的有机整体。一般认为,构成系统至少要满足3个条件:a.系统中包含多个成分;b.各成分之间不是孤立的,而是彼此互相联系、互相作用、相互制约的;c.系统具有独立的、特定的功能。英国生态学家 A.G.Tansley 最早提出生态系统的概念,他认为:“生态系统的基本概念是物理学上使用的‘系统’整体,它不仅包括生物复合体,而且还包括人们称为环境的全部物理因素的复合体”。“我们不能把生物从其特定的、形成物理系统的环境中分隔开来。”“这种系统是地球表面上自然界的基本单位。这些生态系统的大小和种类多种多样。”

生态系统的提出强调了一定地域中生物相互之间、生物与环境之间功能上的统一性。生态系统主要是功能上的单位,而不是生物学中分类学的单位。前苏联生态学家 B.H.Cykageb (1942)所说的生物地理群落(biogeocoenosis)的基本含义与生态系统的概念相同。生态系统思想是在一定的历史背景下产生的。

生态系统的范围和大小并没有严格的限制,小至动物有机体内消化道中的微生物系统、大至各大洲的森林、河流等生物群落型,甚至整个地球上的生物圈或生态圈,其范围和边界随研究问题的特征而定。例如,池塘的能流、核降尘、杀虫剂残留、酸雨、全球气候变化对生态系统的影响等,不仅其空间尺度相差若干数量级,其时间尺度的变化范围也很广。

生态系统是当代生态学中非常重要的一个概念。纵观生态学的发展史,这门科学的研究重心,经历了由自然历史转到动物的种群生态学和植物的群落生态学,然后转到生态系统的变化。

生态系统包括生物群落及其无机环境,它强调的是系统中各个成员的相互作用,形成一个几乎是无所不包的生态网络。事物普遍联系法则本是辩证唯物主义哲学的第一个基本原

理,从联系的观点来看,生态学又是一种哲学。近年来,全球的学者又把自然生态系统进一步扩展为包括经济系统和社会系统的复合生态系统。

经过长期的进化,地球上大部分自然生态系统能维持持久稳定、物种间也能协调共存。研究生态系统规律的主要目的就是在自然生态系统中寻找建立这种持续性的机理。目前,生态系统的概念和原理已经被许多学科和实践领域广泛应用。

1.2 生态现状

工业革命以前,人类在农业、工业、科技以及文化上的进步在绝大多数情况下是十分温和的。在地球自然系统的调节下,这个时期的地质、气温以及环境都维持在一个相对平稳的范围内,没有太大的波动。18世纪末,工业革命开始后,人类的活动对整个地球造成了巨大的影响,生态的破坏远远超过了其调节能力,地球自然生态系统面临着巨大的危险。

1.2.1 沙漠现状与危害

沙漠是指地面完全被沙所覆盖、植物非常稀少、雨水稀少、空气干燥的荒芜地区,亦被称作“沙幕”。沙漠一般是风成地貌,沙漠地域大多是沙滩、沙丘或岩石。泥土很稀薄,植物也很少。有些沙漠是盐滩,甚至完全没有草木。全世界陆地面积为 $1.62 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占地球总面积的 30.3%, 其中约 $1/3$ ($4800 \times 10^4 \text{ km}^2$) 是干旱、半干旱荒漠地区,而且每年以 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的速度扩大着,几乎每分钟就有 11 hm^2 的土地被沙漠化。目前沙漠面积已占陆地总面积的 20%, 并且还有 43% 的土地正面临着沙漠化的威胁。

1.2.1.1 沙漠化的原因

沙漠化现象有自然的因素。产生沙漠化的自然因素主要是干旱、地表为松散砂质沉积物和大风的吹扬等,地球干燥带移动所产生的气候变化也可能导致局部地区沙漠化。不过,今日世界各地沙漠化的原因,多数是由人类过度放牧、过度樵采、过度农垦、矿产资源的不合理开发、水资源的不合理利用等造成的。

沙漠化是环境退化的现象,是一种逐步导致生物性生产力下降的过程,包括发生、发展和形成 3 个阶段。以风力作用下的沙漠化过程为例,发生阶段(初期阶段)是潜在性沙漠化,仅存在发生沙漠化的基本条件,如气候干燥、地表植被开始被破坏,并形成小面积松散的流沙等;发展阶段,地面植被开始被破坏,出现风蚀、地表粗化、斑点状流沙和低矮灌丛沙堆,随着风沙活动的加剧,进一步出现流动沙丘或吹扬的灌丛沙堆,包括发展中的沙漠化(沙漠化土地占土地面积 20% 以下)和强烈发展的沙漠化(以风力作用下的沙漠化过程为例,沙漠化土地占土地面积 20% ~ 50%);形成阶段,地表广泛分布着密集的流动沙丘或吹扬的灌丛沙堆,其面积占土地面积 50% 以上,为严重沙漠化。

1.2.1.2 沙漠化的危害

沙漠化已经严重威胁到世界农业的发展。它不但使土地滋生能力退化,农牧生产能力及生物产量下降,而且可供耕地及牧场面积减少。由于沙漠化而致的水土流失、土地贫瘠,已使不少国家遭受连年饥荒。如果沙漠化继续下去而得不到有效抑制,到 21 世纪末,预计目前耕地面积的 $1/3$ 将会被损失,这是个十分危险的信号。我国也是一个土地沙漠化严重的国

家, 沙化土地约占国土总面积的 13.6%。并且每年还以 60km^2 的速度扩张。我国土地沙漠化的形成, 除了因力作用而造成沙丘前移入侵的自然因素以外, 由于过度农垦、过度放牧、过度砍伐、工业交通建设等破坏植被的人为因素引起沙漠化的现象更为普遍。数据表明, 我国土地沙漠化原因如下: 森林过度采伐占 32.4%, 过度放牧占 29.0%, 土地过度使用占 23.3%, 水资源利用不当占 6.0%, 沙丘移动占 5.5%, 城市、工矿建设占 0.8%。由这些数字可以看出, 我国绝大部分 (约占 95%) 的土地沙漠化是人为因素造成的。因此, 应当保护和利用好土地, 封沙育草, 营造防风沙林, 实行林、牧、水利等的综合开发治理, 充分发挥植被群体效应以达到退沙还土的目的。土壤是植物的母亲, 是绿色家园繁荣昌盛的物质基础。

1.2.2 盐碱地现状与危害

盐碱地也称盐渍土, 是各种盐土和碱土以及不同程度盐化和碱化土壤的总称。当土壤表层中的可溶性盐类超过 0.1% 时, 即为盐化土壤, 当总盐量超过 1% 时, 称为盐土。盐土因为含有大量可溶性盐类而使大多数植物不能生长。当土壤表层含较多的 Na_2CO_3 时, 会使土壤呈强碱性, 交换性钠离子占阳离子交换量的百分比超过 5% 时, 称为碱化土壤, 超过 15% 时便形成碱土。碱土是指代换性钠离子阳离子代换量的百分率 (ESP) 超过 20%, pH 值在 8 以上的土壤。实际上盐土与碱土常混合存在, 故习惯上称之为盐碱土。土体中含有较多的盐碱成分, 物理化学性质很差, 致使大多数植物的生长受到不同程度的抑制, 有些甚至不能成活。图 1-1 为中度盐碱地。



图 1-1 中度盐碱地

1.2.2.1 盐碱化的成因

根据土壤中所含盐分和碱分的多少, 可将盐碱地划分为轻度 (0.10% ~ 0.25%)、中度 (0.25% ~ 0.50%) 和重度 (0.50% ~ 0.60%)。各种盐碱地往往是在一定的自然条件下, 由多方面因素共同作用而造成的。其中, 影响盐碱地形成的主要因素有地理条件、气候条件、土壤质地条件、地下水以及河流和海水的影响、耕作管理的不当等。

盐渍土多分布在降水量小、蒸发量大的干旱和半干旱气候区, 土壤层中所含盐分随毛细管水由底土层向上转移, 水分蒸发后, 在表层聚积。盐碱土所处地形多为平地、内陆盆地、局部洼地及沿海低地, 盐分随地表、地下径流由高处向低处汇集, 使洼地成为水盐汇集中心, 地下水经常维持较高水位, 在水分蒸发后盐分随即聚积地表。地下水位越浅和矿化度越

高,土壤积盐就越强。此外,次生盐渍化是由于人类不合理的生产活动引起的土壤盐渍化,主要发生在干旱或半干旱地区的灌区,因盲目引水漫灌,不注意排水措施,有灌无排或因灌废排,引起大面积的地下水位抬高到临界深度以上,使盐分累积到土壤表层中。

1.2.2.2 盐碱地的分布情况

盐碱地是一种重要的土地资源,土壤盐渍化也是一个世界性的资源和生态问题。世界上存在大量的盐渍化土壤,其主要分布在中纬度地带的干旱区、半干旱区或者是滨海地区。根据联合国教科文组织(UNESCO)和粮农组织(FAO)的不完全统计,全球有各种盐渍土,广泛分布于100多个国家和地区,面积约 $1 \times 10^9 \text{hm}^2$,占全球陆地面积的10%,并且以每年 $1 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6 \text{hm}^2$ 的速度在增长。

我国的盐碱土分布范围也很广泛,总面积约 $9913 \times 10^4 \text{hm}^2$,居世界第4位,其中现代盐碱土 $3693 \times 10^4 \text{hm}^2$,残余盐碱土 $4487 \times 10^4 \text{hm}^2$,潜在盐碱土 $1733 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。根据土壤类型和气候条件大致可分为滨海盐土和海涂、黄淮海平原盐渍土、东北松嫩平原的盐土和碱土、半漠境内陆盐土和青新极端干旱的漠境盐土五大片。其中盐碱化耕地 $760 \times 10^4 \text{hm}^2$,近1/5耕地发生盐碱化,其中原生盐化型、次生盐化型和各种碱化型分布分别占总面积的52%、40%和8%。同时,我国沿海各省、市、自治区约有 $1.8 \times 10^4 \text{km}$ 的滨海地带和岛屿沿岸,广泛分布着各种滨海盐土,总面积可达 $5 \times 10^6 \text{hm}^2$,主要包括长江以北的辽宁、河北、山东等省、江苏北部的海滨冲积平原及长江以南的浙江、福建、广东等省沿海一带的部分地区。

土壤盐碱化已经是一个世界性难题。由于我国人口大量增长,对耕地需求日益增大,大量森林、草地、湿地等被开垦为耕地,再加上人类不合理耕作而造成的土壤次生盐碱化,而盐碱地又不适合植物尤其是农作物的生长,这样使土壤盐碱化进入了一个恶性循环,严重影响和制约了现代农业和畜牧业的发展。通常土壤含盐量在0.2%~0.5%时不利于植物生长,而受土壤中碳酸盐累计的影响,我国盐碱地的碱化度普遍较高,严重的盐碱土壤地区植物几乎不能生存。我国不少盐碱地的含盐量达0.6%~1.0%,而滨海盐碱地区土壤含盐量可达2.0%~6.0%。现今,国内外次生盐碱化耕地面积还在不断扩大。

1.2.2.3 盐碱地的危害

土壤盐碱化和次生盐碱化问题在世界范围内广泛存在,受气候变化和全球人口不断增长的影响,这一问题日益严重。土壤次生盐碱化是在干旱和半干旱地区发展可持续灌溉农业面临的主要问题之一。美国西部受灌溉土地盐渍化的影响,一度导致农作物减产将近30%;印度的次生盐碱化面积占农田总面积的20%;巴基斯坦土壤盐碱化面积占灌溉面积的50%。21世纪,土地盐碱化带来的环境问题不仅影响农业的可持续发展,而且最终影响人类的生活。我国长江以北的干旱、半干旱和半湿润区,包括西北内陆地区、黄河中游半干旱区、黄淮海平原、东北半湿润半干旱低洼地区,以及沿海的滨海沉积平原等地区,分布着大面积的盐碱地,严重影响了土壤生产力的发挥。黄河流域灌溉面积约有 $650 \times 10^4 \text{hm}^2$,80%分布在宁蒙河套平原、汾渭盆地和黄河下游平原,这些地区的土壤次生盐碱化问题非常突出。

具体地说,土壤积盐过多,导致土壤溶液的渗透压过高,造成树木根系吸收水分、养分困难,破坏树木体内正常的水分代谢,造成植物生理干旱而出现萎蔫现象或停止生长甚至死亡。盐碱的腐蚀作用,能破坏树木细胞组织,抑制新陈代谢。过多的盐分,使土壤肥力减低,理化性质恶化。如树木营养期需要最多的氮元素,进入树木体内较慢,转化利用也较

弱,严重影响树木的正常生长和发育。过量的盐碱物质还会直接抑制土壤微生物的活动。盐碱化土壤引起的危害可以分为以下几类。

(1) 盐碱地对树木生长的影响

① 引发生理干旱 由于盐碱土中含盐量非常大,土壤溶液的渗透压远高于正常值,导致树木根系吸收养分、水分非常困难,浓度过高时,甚至会出现水分从根细胞外渗的情况,破坏树体内正常的水分代谢,造成生理干旱、树体萎蔫、生长停止甚至全株死亡。一般情况下,土壤表层含盐量超过 0.6% 时,大多数树种已不能正常生长;土壤中可溶性盐含量超过 1.0% 时,只有一些特殊耐盐树种才能生长。

② 危害树体组织 当土壤 pH 值很高时,OH⁻ 对树体产生直接毒害。因为树体内积聚的过多盐分严重阻碍了蛋白质的合成,从而导致含氮的中间代谢产物积累,造成树体组织的细胞中毒。另外,盐碱的腐蚀作用也能使树木组织直接受到破坏。

③ 滞缓营养吸收 过多的盐分使土壤物理性状恶化、肥力降低,树体生长需要的营养元素摄入速率和利用转化率都降低。而 Na⁺ 的竞争,使树体对钾、磷等其他微量营养元素的吸收减少,磷的转移受到抑制,严重影响树体的营养状况。

④ 影响气孔开闭 在高浓度盐分作用下,叶片气孔保卫细胞内的淀粉合成受阻,气孔不能正常关闭,树木容易因水分过度蒸腾而干枯死亡。

(2) 盐碱化对农业生产造成的危害

盐碱地危害农业生产,降低农作物的单位面积产量。主要表现在以下几个方面。

① 影响种子发芽出苗 当土壤溶液总盐量约为 10g/kg 时,棉花种子就停止吸收水分,种子发芽率仅为 50%;如果土壤溶液总盐量达 20g/kg,发芽率只有 20%。

② 离子毒害 当土壤含盐量高时,大量非营养离子(Cl⁻、SO₄²⁻等阴离子和 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺等阳离子)进入植物体内,就会破坏作物地上器官和组织,造成作物体内非营养物质饱和,影响植物必需营养元素的吸收,使作物营养失调。

③ 影响作物吸收水分 土壤含盐量增加时,土壤溶液浓度相应提高,渗透压会相应增大。如果土壤溶液的渗透压超过了根毛细胞液的渗透压就会产生生理脱水,造成植物的发育不良,甚至是枯萎死亡。

④ 恶化土壤的物理性质 使土壤肥力下降,可耕种和生产性降低。

(3) 危害灌区水利设施

土壤中的盐分不仅能改变土壤流限和塑限,降低土壤密实度,而且其中的硫酸盐、氯化物对砖、钢铁、水泥、沥青、橡胶、木材和石料等建筑材料都具有不同程度的腐蚀性,对道路、渠道、房屋和其他建筑产生较大的破坏作用,严重威胁到水利设施的安全运行。

(4) 破坏生态环境,威胁人类生存环境

土壤盐渍化作为土地荒漠化的一种表现,将导致地面植被生产力下降、土地退化、生物多样性降低。土壤盐碱化严重的地区,由于自然植被减少,造成局部地区湿度降低,增大蒸发量,容易形成干旱、风沙等自然灾害,破坏生态环境,威胁着人类的生存环境。

1.2.3 石漠化现状与危害

石漠化是石质荒漠化土地的简称,是在喀斯特地貌地区的土地退化,已成为岩溶地区最大的生态问题,成了该地区人民的灾害之源、贫困之因、落后之根;同样也是全球性的生态

问题之一。虽然全球各国相继组织开展了一些卓有成效的石漠化防治工作,但是某些地区,如我国西南地区等,石漠化防治形势仍很严峻,石漠化治理的任务仍很艰巨,迫切需要制订更为科学有效的石漠化防治思路与对策。

1.2.3.1 石漠化的概念

石漠化:是指在热带、亚热带湿润、半湿润气候条件和岩溶极其发育的自然背景下,由于人类不合理的生产活动,使地表植被遭受破坏,导致土壤严重流失,基岩大面积裸露,生产力下降的土地退化现象,是岩溶地区土地退化的极端形式,也是我国四大环境地质问题中最难整治的。

石漠化土地:指基岩裸露度(或石砾含量) $\geq 30\%$,且植被综合盖度 $< 50\%$ 的有林地、灌木林地;或植被综合盖度 $< 70\%$ 的牧草地;或未成林造林地、疏林地、无立木林地、宜林地、未利用地和非梯土化旱地条件的土地。

潜在石漠化土地:指基岩裸露度(或石砾含量) $\geq 30\%$,且植被综合盖度 $\geq 50\%$ 的有林地、灌木林地;或植被综合盖度 $\geq 70\%$ 的牧草地;或梯土化旱地条件的土地。潜在石漠化土地虽不属于石漠化土地范畴,但当人为干扰超过土地承载力时,就有可能成为石漠化土地。

石漠化的程度:对岩溶地区的现状评价,不同学科的学者有不同的考虑角度,目前广为采纳的是综合考虑基岩裸露度、植被类型、植被综合盖度、土层厚度等因素,将石漠化土地划分为4个程度等级,即轻度石漠化(I)、中度石漠化(II)、重度石漠化(III)和极重度石漠化(IV)。

1.2.3.2 石漠化现状及分布

世界岩溶分布面积为 $2200 \times 10^4 \text{ km}^2$,占陆地面积的15%。然而岩溶地区的石漠化,只在特定的条件下发生。例如,在中国西南由于碳酸盐岩的可溶性,地下水系十分发育,降水携带泥沙通过竖井、落水洞、漏斗等首先进入地下管道、地下河,加上碳酸盐岩不溶物含量甚少、成土缓慢、形成土层薄,因此很容易造成水土流失和石漠化发生。

以中国为例,中国的石漠化主要分布在以云贵高原为中心的贵州、云南、广西、湖南、湖北、重庆、四川和广东8个省460个县的岩溶地区。其次在安徽、福建等岩溶现象的地区有零散分布,但不构成区域的生态危害。据统计,全国石漠化土地面积为 $1296.23 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占国土面积的1.35%;潜在石漠化面积 $1237.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占国土面积的1.29%。石漠化土地以云贵高原东部为中心集中分布,边缘区域呈块状或带状分布。从省区看,贵州、云南和广西三省区石漠化最为严重,石漠化土地总面积为 $857.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占石漠化总面积66.2%;从流域分布来看,石漠化土地主要分布在长江流域和珠江流域;从程度上来看,石漠化土地以轻度、中度为主,轻度石漠化土地为 $356.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占石漠化总面积的27.5%;中度石漠化土地为 $591.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占45.7%;重度石漠化土地为 $293.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占22.6%;极重度石漠化土地为 $54.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占4.2%。中度、轻度石漠化土地面积占石漠化土地总面积的73.2%。

1.2.3.3 石漠化的成因

(1) 自然因素

自然因素是石漠化形成的基础条件。岩溶地区丰富的碳酸盐岩具有造壤能力差、成土过程缓慢的特点,因而土壤资源缺乏,这是石漠化形成的物质基础。山高坡陡、气候温暖、雨