

国外林业科技

森 林 能 源

上 册

(森林能源政策和能源林营造)

中国林业科学研究院科技情报研究所

一 九 八 二 年 四 月

编辑说明

近十年来,国外普遍重视发展和利用森林能源,进行了大量的研究工作。同时,近年国内也开始重视发展薪炭林以解决农村能源短缺,在林区则重视采取措施不烧好材。为适应这种新形势,我们编辑了《森林能源》专辑。

本专辑分上、下两册。上册内容包括:①森林能源政策。主要介绍一些发达国家及发展中国家发展、利用森林能源的政策、计划、科研情况等,以及对森林能源潜力的评价;②能源林的营造。介绍国外对能源林的经营管理、树种选择等研究成果。根据读者需要,全文转载了1981年我所编辑出版的《银合欢简介》资料,并选辑了26种由美国国立科学院薪炭材小组推荐的不同气候区域的优良薪炭林树种资料,其中大部分我国都有引种或原产于我国。下册内容是森林能源的利用,介绍国外对木质燃料的基础研究、收集加工系统、直接燃烧、制炭及其它能量转换技术的研究成果,重点介绍直接燃烧技术及树皮燃料加工利用技术。

美国国立科学院薪炭材小组编写的《Firewood Crops》*一书是近十年来国外出版的有关森林能源书籍中最有影响的一本。该书的主要内容我们都已收录在本专辑中。

由于我们业务水平有限,加之时间仓促,缺点错误一定不少,望读者批评指正。

KND 10/81

*《Firewood Crops. Shrub and Tree Species for Energy Production》, National Academy of sciences, Washington, D. C., 1980

国外森林能源的开发和利用(综述)	(1)
------------------------	-------

森 林 能 源 政 策

美国的生物质能源	(11)
法国的绿色能源	(16)
西德森林能源的价值及前景	(20)
日本: 八十年代的能源问题及森林能源的作用	(28)
日本: 森林可以作为能源吗?	(30)
苏联: 使用废材燃料的经验	(34)
芬兰的木质能源研究	(36)
瑞典的能源林及森林能源	(38)
印度的农村能源	(39)
南朝鲜发展薪炭林的经验教训	(41)
埃塞俄比亚的“桉树城”——亚的斯亚贝巴	(45)
东南亚的森林能源	(48)
热带森林的能源潜力	(50)

能 源 林 的 营 造

植物固化太阳能生产燃料	(57)
薪炭林的营造与管理	(62)
薪炭林的树种选择	(65)
能源和化工原料人工林的树种选择	(69)
美国国立科学院薪炭材小组推荐的不同气候区薪炭林树种	(71)
银合欢——一种多种用途的热带豆科木本植物	(75)
夏威夷“大型”银合欢品种寇阿毫尔	(94)
银合欢: 生物质生产力的估量	(95)
大叶相思	(97)
朱樱花	(99)
木麻黄	(100)
石梓	(102)
文丁果	(104)
木田菁	(106)
榄仁	(107)
黑荆	(109)

臭椿	(111)
旱冬瓜	(112)
红桤木	(114)
兰桉	(116)
大桉	(117)
银桦	(119)
阿拉伯胶	(121)
大叶合欢	(122)
木豆	(124)
铁刀木	(125)
赤桉	(127)
柠檬桉	(128)
黑梭梭	(130)
白梭梭	(131)
巴金生豆	(132)
金龟树	(134)
白牧豆	(136)
枣	(137)
一种值得推广的新油源——霍霍巴 (Jojoba)	(139)
把中、矮林改造成生产用材及薪炭材的乔林	(143)
灌溉集约栽培的“暗叶一号”杨树人工林和班克松人工林的能 源价值	(149)
附录1 世界银行用于生产杆材和薪炭材的资助造林项目	(156)
附录2 粮农组织森林遗传资源专家小组推荐的非工业用途 树种	(157)
附录3 薪炭林树种	(158)

国外森林能源的开发和利用

说明：近十年来，国外高度重视开发利用森林能源。各国为什么重视森林能源？他们都做了些什么工作？目前的水平如何？将来打算怎么办？本文对这些问题进行了分析总结，所概括的资料到1981年为止。

1973年以来，国外逐渐出现了开发利用森林能源的潮流。绝大多数发达国家已行动了起来，有的已取得了显著成效；越来越多的发展中国家也投入到这一潮流中来。1981年内罗毕新能源会议的召开，正式肯定了这一方向，并意味着今后将出现更大的规模。下面，简要地对国外近十年以来的开发和利用情况进行总结。

一、普遍重视森林能源

1973年石油危机之后，各国重新重视了森林能源的价值，包括象苏联这样的能源大国。各国政府普遍采取了法律的、组织的、行政的、财政的及科研等方面的措施予以支持。

美国前总统卡特曾多次过问此事并签署有关法令。美有11个政府部门和机构参与开发森林能源。能源部认为开发森林能源是开创一种新的能源事业，国会技术评价委员会要求给予“有力的政策支持”和“经济刺激”。美国计划建立象石油供应网那样的生物质燃料供应系统，在20年内使森林及其它生物质能源的利用量，由目前占全国总能耗的2.5%，提高到10—20%。美计划今后十年为此拨款85—128亿美元。

加拿大政府特设了负责森林能源开发和利用问题的一个新的木材部，1978年设立森林工业可更新能源计划，预算1.03亿加元。法国把1980年称之为绿色能源计划的元年，从该年开始，由政府出面系统组织起国内力量进行规模宏大的开发工作。芬兰设立了国家能源林委员会，计划八十年代末使森林能源利用量达到占全国总能耗量的30%，达到木材工业55%的能源自给水平。日本农林省、文部省等都制定了研究计划。

南朝鲜从1959—1977年，不惜花外汇和借债造薪炭林。仅1970—1976年间，造薪炭林总费用达95亿朝圆（包括劳动力），1967年一年造的薪炭林占同年总造林面积的80.2%，该国把发展薪炭林纳入治山绿化和国民经济五年计划之内执行。巴西的生物质能源计划已非常著名。印度也有庞大的森林能源计划。

另外，象世界银行等国际机构也很重视森林能源。美洲银行估计，今后20年世界银行可能对发展中国家提供20亿美元的投资。在此次内罗毕会议上，世界银行代表宣布，过去五年已为30个国家造薪炭林贷款2.5亿美元，今后五年还将提供10亿，对象有50个国家。

现在，开发和利用森林能源比较先进的国家有美国、加拿大、法国、芬兰、瑞典、新西兰、西德、南非、巴西、爱尔兰、印度、菲律宾等。

二、森林能源潜力巨大

为什么国外热衷于开发森林能源呢？

除了大家都认识到森林能源具有超过它本身价值的更广泛效益（如生态保护等）之外，最主要的原因是森林能源是可再生能源，它是最大的太阳能“接收器”，只要有太阳存在，它就永远可以再生，森林能源的潜力是巨大的。

据研究，现在全世界年能耗量仅相当于年光合作用固化太阳能的1/10。地球表面生物质现存量相当于已探明的矿物能源埋藏量。全球生物质现存量中仅森林生物质的含碳量就为8,250亿吨（总生物质为16,500亿吨）。这相当于1,940个日本年耗能量。全球森林生物质的年生长量，相当于87个日本年耗能量。上述估计以光合效率1%计算。如果通过研究提高到3%，在这种情况下，美国只需拿出3%的国土，即可满足美国1985年的年总耗能量。

就木材采伐量而言，现在全世界每年采伐15亿吨木材，42亿公顷林地平均为0.36吨/公顷·年。如果达到2.5吨/公顷·年的西德水平，则每年可多生产90亿吨木材，总载能量为30亿吨石油当量，相当于1979年全世界石油开采总量。

现在美国森林生物质现存量总载能量为1975年总耗能量(71×10^{18} 焦耳)的3倍。大约有2,400万公顷森林，就可满足目前美国全部汽车用油。

日本森林生物质现存量（16亿吨）总载能量相当于日本1977年总耗电量的近2倍。仅日本400万公顷乡村杂木林，每年采伐14万公顷，就相当于日本年总耗电量的1.5%。

瑞典只要有9.3万平方公里的能源林（国土总面积45万平方公里）即可满足全部能源需求。芬兰仅每年浪费的剩余物，相当于年能耗量的25%。西德仅伐区剩余物就可满足全国民用和小工业用户能源需求的一半，巴伐利亚州则可利用本州伐区剩余物予以全部满足，仅该州的树皮就可满足本州木材工业的全部能源需求。法国的生物质能源利用已达200万吨石油当量/年，到2000年可达1000万吨。

东南亚主要国家的森林年生长量相当于日本1978年能耗量的4.3倍。东南亚地区仅每年采伐剩余物就接近于印尼石油产量（印尼1978年生产石油0.9亿吨）。

热带非洲密林木材载能量为45—100吨石油当量/公顷，平均年生长量为0.9—2吨石油当量/公顷。热带人工林为10吨石油当量/公顷·年（杂交桉）。

有人认为，如果合理经营，下一世纪，森林能源开发很可能出现现象本世纪石油登上舞台那种情况。

三、森林能源的利用水平

且不说将来，随着不可更新能源的日渐短缺，森林能源的地位必将更加突出，即是目前，森林能源在发展中国家，就一向是一种传统的基本能源，即使在许多发达国家，也占有举足轻重的地位。

全世界消耗的木质能源总量，1971年为12.07亿米³，1973年为11.463亿米³，1976年为12.5亿米³，1977年为13.5亿米³，发达国家占1.5亿米³，发展中国家占12亿米³，1978年为15.66亿米³。总的趋向是，总使用量越来越多，其中主要是发展中国家消耗的，这些国家木材产量的80%以上都当了薪炭材。

美国：1973年以来，木质能源利用量每年递增15%。美国1972—1977年，烧柴炉销售数从25万个增加到200万个，目前有500万所住宅用木柴取暖。1965—1975年共出售烧木锅炉230台；而到1979年，共销售2,500台。现在美国木材工业（包括制浆造纸业）利用剩余物做能源已接近能源自给率的50%，先进企业已达100%。美国已有汽油醇加油站2,500个。美国木质能源占总能耗的2.5%。

芬兰：1975年木质能源利用量就已达到总能耗的17%，总用量为310万吨煤当量。

日本：1955年占8%，现为0.1%（指木质能源占全国总能耗的比例——下同）。1980年木质能源提供了4,000万亿千卡热量（ 4×10^{15} ）。日本木材工业能源自给率22—23%。

法国：目前占2%，利用量为600—900万米³；在木材工业内部占36%；在大农业范围内自给率占40%（包括其它生物质能源），为农业上的第二大能源。

西德：1974年全国占0.2%，相当于44.6万吨煤。木材工业自给水平达13.5%，巴州达30.7%；仅制浆造纸业自给水平达73.7%，巴州达91.6%。

苏联：目前占1.4%，20%的采伐量为薪炭材。克里米亚森工局木质能源占42%。

发展中国家：巴西占32.6%；墨西哥占2.8%；印度占56%（农村占93%）；印尼占52%；南朝鲜占60%（1961年）；近东占6%；北非占41%；西、中非占75%；中美及加勒比占9%；东南亚及大洋洲占48%；南亚占43%；发达国家平均占1%；发展中国家平均占27%；全世界平均占6%。

四、森林能源资源的开发情况

近十年来，国外对森林能源的开发，大致可以归结为资源开发和利用技术开发两方面。资源开发，又分对现有森林资源的开发、扩大造林和对剩余物资源的开发三方面。

1. 对现有森林资源的开发

主要体现在新的资源评价原则、森林调查内容、经营方针的改变和采运方式的改革上。森林能源的生产是林业经营的一个新任务、新指标。总的方向是向全树利用、全林利用发展。森林调查也应从材积调查改为森林生物量调查。衡量森林生产率不能单以材积生长量为标志，而应以生物量生产率为标志。法国出版的《林业：能源及新的活动》一书集中论述了这一倾向性意见。

2. 扩大造林

造林是开发森林能源的重要方面，国外普遍重视。通过造林扩大能源资源主要有五个方面，即：乔薪结合的用材林；短轮伐期人工矮林；速生能源林；传统薪炭林和“柴油林”。现在发达国家主要重视前三种，发展中国家主要重视三、四两种。第五种尚未有实现，但国际上颇为重视其前景。以上侧重点不同，是由于发达国家和发展中国家的经济实力和技术素质所决定的。但各种人工林各有自己的长处和短处。此外，国外还重视通过绿篱、林带、灌丛及农林间作等方式生产燃料。

①乔薪结合的用材林

乔薪结合是方向之一，具体有多种结合方式。欧洲人认为用材林虽然主要生产用材，但实际上首先生产的是薪炭材。法国森林局试验表明，乔林产品60—70%是用材，30—40%是剩余物、小径木等。好的用材林年生长量达10米³/公顷。前欧洲经济共同体森林司司长胡迈尔先生公开主张大力营造乔薪结合的用材林。他认为乔林经历历史变迁的能力大，价值也

高。南朝鲜造薪炭林的教训之一是未注意乔薪结合，日本也提出这一主张。

②短轮伐期的人工矮林

短轮伐期人工矮林设想的好处是高产、能迅速应用遗传学的成果、造林成本回收快、矮林作业、机械化程度高、产品均匀。缺点是集约经营技术和资金较高、对生境条件要求高、肥力消耗大，需有效地植保、除草技术，青片含水率和含皮量大。但相比之下，经济上的好处还是主要的。美、英、法、瑞典、日等均有研究，以美国的研究最为系统和深入。这种能源林刚刚进入大规模经营试验阶段，尚待解决的问题还很多（如对环境的影响、瘦弱伐根的复壮等），尚未实用化。现有试验性生产率，不同树种各不相同。美国试验的悬铃木3—4年总产可达350—400吨/公顷，瑞典加拿大试验的杨树可达20千吨/公顷·年，芬兰试验的杨、柳、胶桤木等可达50米³/公顷·年，法国试验的杨、桉、常绿巨杉可达40千吨/公顷·年。

③速生能源林

速生能源林，是发达国家和发展中国家都很重视并已大规模营造的一种能源林。它不需要很高的集约经营程度，主要靠速生树种的生产潜力达到高产目的。全世界应用树种主要是杨、柳、桉树、银合欢、梧桐及某几种针叶树。美、加、瑞典、芬、巴西、南非、爱尔兰、菲律宾、埃塞俄比亚、斯里兰卡、印度等都在营造。其中尤以巴西、菲律宾、埃塞俄比亚、美国等最先进。

世界银行特别注重发展桉、银合欢等树种的速生能源林，认为造林成本在100美元/公顷以下，每公顷可供15—20人烧柴，产量为普通树种的20倍。

④传统薪炭林

传统薪炭林有各种类型，通常不集约经营，一般说来不需很高的造林技术，多采用乡土树种，利用现有人力物力就可以办到。所以，从目前资料来看，发达国家和有些发展中国家不造这种薪炭林了，但特别缺柴、落后、贫困的发展中国家仍在大力发展这种薪炭林。似乎这是一种落后于时代的薪炭林。造这种林的典型国家是南朝鲜（始于1959年）、印度等。

传统薪炭林的发展有两个新的倾向值得重视。一是与流行观点相反，它并不是不需要讲求造林技术，而是越来越讲求技术。南朝鲜造的这种薪炭林之所以损失近一半，原因之一是忽视了技术。目前国外主要注重研究不同林权下适合造什么类型、薪炭林的生境评价和类型划分，树种选择的标准、种源试验、造林试验等。树种选择的标准最基本的是生物质产量、萌生能力、固氮能力、多用途性，如在农田附近或农林间作，还应考虑是否侵占农田等。传统薪炭林也讲求株行距、肥料、疏伐、抗病虫害、防火等。二是日益重视多种效益，尽可能采用多种树种，尽可能生产多种用材，尽可能与农业效益相结合。联合国专家认为，尽管过去对薪炭林多种效益的阐述不多，但对超过薪炭林本身价值的更广泛效益的研究，必将很快开展起来。

⑤柴油林

也有的叫“石油人工林”，总之是类似橡胶园的一种直接生产燃油的人工林。目前仅有美国等少数国家中的一些单位在研究，尚未成为现实。但许多国家都热衷于发现这类树种，并对这种“林场”的前景给予很高评价。有人估计，不久的将来这种能源林可能蓬勃发展起来。

近几年来，所谓“柴油树”被不断发现。美国加利福尼亚大学化学博士梅尔文·长尔文在该州南部建立了一个柴油林场，种的是续随子（*Euphorbia Lathyris*，也叫美洲香槐），这是大戟属中被埋没的一种，它能流出一种乳胶，再与其它物质混合即成为一种原油，每桶

成本20美元,热值17,000英热单位/磅。这种植物生长在半干旱地区,仅需降雨量7英寸/年,美西部4万平方英里都适合种植,每英亩产10桶/年,如果都种上,可年产2.56亿桶。卡尔文还在巴西发现一种“柴油树”(Copaifera Lanqsdorfii)、它产的油可直接用于汽车,卡尔文正在培育这种“石油人工林”。菲律宾最近也发现了一种野生果树(汉咖树),能直接生产燃油,用火柴一点就着,还发现一种可在盐碱海岸地区和淡水中都能生长的柴油树。最近几年,国际上集中注意了对霍霍巴(Jojoba)的研究。霍霍巴生长在美国、墨西哥、以色列的沙漠地带,抗盐碱,生命力极强,籽实含50%的液体蜡,人工栽培可望达到1,050公斤/公顷·年的蜡产量。美、墨正大规模栽培。

柴油林的最大好处是直接产油,不经人工用生物质进行转换。

3. 对木材采伐和加工剩余物的开发利用

木材采伐和加工剩余物是一项巨大的能源资源。各发达国家都把开发这一资源列为当前的重点。

以美国为首的这些发达国家,对开发利用剩余物能源进行了系统研究。国外森林能源资料,有关剩余物方面的甚至占一多半。

首先对剩余物的资源潜力进行了研究。这一研究估价,可归纳为两类。一为相对数量估价,一为绝对数量估价。相对数量,指每采伐一定量的原木,或每加工一定量的木材,剩余物占多大比例。绝对数量,指一个地区、一个国家某一类(或几类)剩余物的绝对数量。

相对数量——a、伐区剩余物,美国认为大体占运出材积吨数的1/3、地下部分占1/3,平均每公顷遗留物为20吨左右(西海岸达53吨)。芬兰认为占年生长量的40%。这些剩余物究竟有多少可以回收利用,也是一个研究课题。1978年曾在布加勒斯特专门召开过森林生物量可利用量的国际学术会议,《森林工业文摘》上曾有系统报道。b、加工剩余物,各国研究很多,有各种试验结果,甚至各类企业、各道工序、用何种加工机械会产生多少剩余物,都搞清楚了。总而言之,(法国)认为从原木到成品,占78%,在一、二次加工工业中,100吨原木会有70吨变成剩余物。c、树皮。对各树种的树皮比例、树皮密度、含水率等都有研究。一般认为树皮占原木材积或重量的12—13%。如年消耗70万吨原木,可能产生8.4万吨树皮(合2.5万米³燃油)。

关于各国对剩余物绝对数量的估计,资料十分浩繁,仅举几例说明之。

美国每年有9,000万吨伐区剩余物,2,350万吨木材加工剩余物,合2夸特(一夸特相当于 10^{14} 英热单位,一英热单位等于251.996卡),美国年总耗能量为75夸特。美一年产生的制浆废液中含80万吨塔尔油,合 3.4×10^{12} 英热单位。加拿大仅用现有剩余物即可每年生产416亿升甲醇。澳大利亚每年丢掉的加工剩余物就有350万吨。南非每年产生的剩余物相当于1978年总耗能量的11%。芬兰1979年仅烧树皮就解决了全国总能源需求的2.2%。挪威的一座中型制浆厂每年的剩余物合2.5万米³燃料油,价值1,000万法郎。苏联每年产生3,500万米³树皮,2,000万米³木屑,3,000米³伐区剩余物,仅树皮一项合1,360万吨标准燃料/年。据估计,1972年全世界共产树皮3.19亿米³,实际上大部分都当垃圾扔掉了。

现在,各国把利用这些剩余物做为开发森林能源的捷径,并已做出了显著成绩。这主要是指木材工业企业以及林区的能源自给水平,在本文第三部分已有论述。

国外普遍认为,开发利用剩余物应解决以下几个关键:a、收集和加工问题;b、燃料输送问题;c、燃料贮存问题;d、出窑出仓和燃烧装置的问题。当然,如用作其它转换形式则要解决好相应的技术问题。

国外主要利用剩余物进行直接燃烧、制炭、气化、提炼燃油及生产成型燃料。具体技术将在后面介绍。

五、森林能源利用技术的开发情况

利用技术开发的主要目的有两个。一个是提高利用效率以节约资源。联合国专家指出,广大发展中国家,目前的燃烧装置热效率只有5—10%,如能通过改革炉灶提高到10—20%,那么就等于多了一个现有资源量。这是不可小看的一项工作。二是进行能量转换加工生产液态、气态或某些高热值的固态燃料,以便于使用和运输。发展中国家多重视第一个目的,发达国家多重视第二个目的。

利用技术开发,大致可归纳为三个大方面:基础研究、收集和加工系统、转换技术。转换技术又分为热化学转换技术和生物化学转换技术。热化学技术中又分直接燃烧、气化、热解、液化、水解等技术;生物化学技术主要是甲烷发酵和成醇发酵。下面分别简介国外的进展情况。

①基础研究

木质能源的基础研究应包括材积问题如何确定(关系到码放方式、码放系数);重量问题、规格问题、热值问题、含水率问题、干燥方式、燃烧机理和方式、燃烧装置。国外有详尽研究,不作介绍了。

②收集加工系统

国外,对薪炭材采伐加工、伐区剩余物收集加工和木材加工剩余物收集加工,都设计了许多机械。最突出的是美国设计的一种自走式伐区剩余物收集削片机,是林务局林机发展中心、能源部及几家公司联合研制的,1979年正式制造出试验台型。这种机器具有多种功能,既可捡、又可抓,也可伐,同时削片,通过之后,迹地更新就不用再整地了。年处理采伐迹地610公顷,年生产木片3万吨。木片成本路边交货7.15美元/吨(包括30%的投资利润),加上通货膨胀因素,工厂交货最多不超过18美元/吨。按等量能值比较,比用油便宜50%。现在,国外还爆炸性地出现了劈木机市场。

③直接燃烧技术

各国都把直接燃烧技术列为开发重点。

直接燃烧,在发展中国家主要是改革炉灶的问题。这是解决这些国家能源问题的一个重要方面。

发达国家主要是制造各种铁制木柴炉及烧木锅炉、热风发生炉等。现在市场上的木柴炉热效率极高,24小时只需加料2—3次,主要解决了密封性问题,有的采用二次燃烧原理。发达国家似乎非常重视集中生产能量,研制了许多种锅炉。美国至少有89家烧木锅炉制造商。芬兰著名的制造商是“劳马—雷波拉”工业公司,来我国洽谈过生意。新西兰的威考斯锅炉、西德的“B—W”锅炉等都有介绍。日本从1974年开始研制烧木锅炉,1979年做为大型项目被林野厅列入“国产材多用途综合研究”计划内。

美国认为最好是集中发电,这样可以通过综合利用热能而达到80%以上的热效率。用高压锅炉产生高压蒸汽,先用高压汽轮机发电,再用低压汽轮机二次发电,最后工厂及附近居民利用余热(温度 $>100^{\circ}\text{C}$)。世界上最大的木质燃料热电厂计划由加利福尼亚电力公司兴建在马德拉,投资0.7亿美元,一年生产3亿千瓦小时,供5万人口的城市用电,燃料是用木

材剩余物及农业剩余物制成的“木球”。

用树皮做燃料，最大的难题就是含水率高、杂质多，从而大大影响热效率。这一难题已获解决。瑞典、奥地利、苏联等许多国家都提出了各种各样的利用树皮作燃料的技术。

瑞典胡迪克斯瓦尔巴赫科企业座落着世界上最先进的树皮燃料处理设施，从1978年以来已成功运转多年了。它每小时加工80米³湿树皮，每年可节约燃油4,000米³。它的原理是用锅炉烟气流余热干燥树皮并进行筛选，设计省能合理。1979年美国进口了一套，每小时加工10吨树皮。我国也有代表团前往参观过并深感兴趣。

④其它热化学转换技术

a、气化和间接液化

木材气化技术已实用化。小型气化装置已广泛商业化，大型的也不乏应用。

美国哥仑布实验室用钙做催化剂在低温下把剩余物转换成木煤气，成本与天然气一样。得克萨斯州技术大学两教授发明一种气化装置，反应器30英尺高，木煤气成本每英热单位4美元，乙烯每磅15美分，与原油原料成本相同。此装置每天用1,000吨干粪、木屑等生产4,000英尺³/木煤气和50吨乙烯。能源部已拨款研制大型工业化设备。美国还发明了塔尔油木沥青气化法。

加拿大安大略省赫斯特的一个胶合板厂，有一高40英尺（12米）、直径3.7米的流化床木煤气发生器，每小时把6.5吨木材剩余物转换成木煤气用于木材干燥，每年可节省750万米³天然气（75万加元）。这种木煤气发生器比直接燃烧效率高。该省如果广泛应用，一年可节约100万桶石油。

目前气化技术的研究方向是太阳能气化和加氧气化，这种方法为大量生产合成甲醇开辟了广阔前景，但尚处于研究阶段。

b、热解

热解原料的含水率一般不超过30%。但现在已有些正在试验中的技术已突破了这一界限。

美国 Edward Koppelman 先生设计的 Koppelman 木片液化热解制炭法，可直接把湿木片及其它有机物转化成木炭，热值与烟煤相同。这种方法是把原料在容器内利用余热直接脱水干燥并在高温下与蒸汽接触转化成木炭，木炭不含硫，结构紧密，活性很高。美及许多外国公司对此法颇感兴趣，积极收集情报。现美国已在加州奥本附近建立一个中试工厂，设两条生产线，年处理12万吨鲜木片（含水率50%），生产3万吨木炭。木炭可与燃油混合使用。

现在国外发展移动碳化炉，很便于在伐区使用。这种碳化炉用自我加热的方法把剩余物加工成木炭及木焦油。日本北海道就推广用它在伐区把落叶松剩余物制成木炭。

现在除苏联外，一般国家通过热解生产气、油产品很少。广大发展中国家只回收木炭。巴西每年生产100—150万吨木炭，能量转换率是很低的。发展中国家的土炭窑转换率只有15%。

美国有一些新技术比较先进，能量转换率可达84.7%。美国现有热解装置可分为三类：上通风式、下通风式和流动床。目前多采用下通风式，将来趋势是流动床，后者的温度及反应条件较均匀。麻省理工学院化工系正在进行流动床试验。美国太阳能研究所订有长期研究热解的计划，准备研究热解的机制及动力学。还准备研究生物质热分解与燃料电池相结合的直接发电方式。

c、液化

木材液化生成粘油，产量可达40—50%，用来做锅炉燃料。美国正在进行中间试验。俄

勒冈州奥尔巴尼的 Bechete 公司承担了能源部委托的这一中试任务，日处理原料 5 吨，1 吨木片生产 300 公斤燃料油，目前正在改进油的品质。美国 Garrett 公司还研制了“GA-D”成套装置用来把树皮、稻草等转换成燃料油，采用的是热解工艺，美已建成中试工厂，日产油 4 吨，出油率 40%（重量）。前面还曾提到过把液化和热解相结合的办法，阿利桑那州立大学化工系用这种方法生产的油类似汽油，可直接用于汽车内燃机，1 吨纤维素可生产 60 加仑这种油。法国 St-E'mile-d'Auclair 附近林区有一小企业，用枝梗、树叶等生产燃油，这种油还可制香料、化妆品、肥皂、制药。用 24 个人（20 个搬运工），从 5 月到 11 月，生产了 2 万磅油。7—8 吨原料可生产 700 磅。

液化的技术和设备比较复杂，存在不少困难，目前尚处于发展阶段。

d、水解

把水解这一节放在这儿先简单概括一下。水解是生产化工原料而被广泛应用的一种方法。同样，它对能源转换也具有重要意义。木材 75% 的成份都可以通过水解变成单糖类碳水化合物，然而再转变成乙醇等。由于石油危机，现在发达国家重新重视木材水解了。美、西德、苏等均有商业化企业。现在纯产糖率只达 50%。

⑤生物化学转换技术

主要有厌氧菌致分解和成醇发酵两个基本方法。

a、厌氧菌致分解（甲烷发酵）

现行传统方法反应速率很慢，产气率很低。中国、印度在这方面比较先进。法国阿谢雷提纯站年产沼气 15,000 吨石油当量。

目前的难题是纤维素的分解较困难，木质素就根本不可能用厌氧微生物分解，但用林产剩余物做原料，有些国家又认为具有极大潜力，因此，目前特别是美国，在攻克这一难关。

美国斯坦福大学麦克卡蒂教授提出用加热法预先处理发酵原料，先后得到国家科学基金会和能源部共 46.56 万美元的资助，进行 4 年试验，试验材料是林产和农产剩余物。现在产气率已达 50%，加州政府十分看重这一项目，准备在加州北部建立用地热预处理农林剩余物的大型沼气站。

甲烷发酵一般在沼气池中进行。加利福尼亚大学卡尔文教授的一位学生发明了一种沼气发生装置，直接安在树上，使一棵树形成一个完整太阳能—树木—沼气转换系统。

甲烷发酵，研究改进方向是发酵生物、微生物；物理化学参量；各种反应器。最近研究在大型设备中使用嗜热微生物（积聚的微生物），能改进产气速率。联合国专家认为，甲烷发酵技术非要彻底革新，否则不足以满足需求。

b、成醇发酵

即通过微生物发酵法生产酒精。通常用农产品做原料，但大规模解决能源问题必须用林产品。用水解法降解木质素的工艺也可生产酒精，但耗酸、碱多成本较高。美国现在集中研究酶法分解。

麻省理工学院王义翹教授的研究小组，研究在高温下使用两种复合菌把白杨、玉米秆等酶解，直接把纤维素转化成酒精。马里兰州的 ATCC 菌种公司出售这两种菌，即 *Clostridium thermocellum* 和 *Clostridium thermosaccharolyticum*。美还有 10 多个大学、研究所（如加州大学、爱达荷大学等）都研究出一些高温菌种可分解木质素和纤维素。

成醇发酵的研究方向是彻底革新旧工艺，提高能量的产出与投入效果，以降低成本，大量生产。

⑥成型燃料

各发达国家,利用各种剩余物生产各种成型燃料的做法很普遍,成型燃料市场发展较快。联合国专家提醒要重视这一技术。成型燃料,可以由剩余物直接制成,也有用木炭制的,叫成型炭。制成成型燃料可提高热值、方便运输和使用,有各种优点。

燃料棒,生产原理是用高温高压法使原料胶结,必要时加点胶料。一座年产15,000吨的工厂,投资仅133万人民币元。

美国有9个生产 Woodex 木砖的工厂,每个日生产能力250吨,这种木砖用木粉制成,不含 SO_2 ,因此医院用得很多。有两家900床位的旅馆用这种木砖,每年节省燃料费12.5万美元和清理费20万美元。

美还用冷杉树皮等制颗粒燃料,先磨碎,在160—170℃下干燥至含水率20%。再高压成形。美有16个州及斯堪的纳维亚国家都在兴建这种工厂。日产300吨的工厂投资100万美元。产品价格是木炭的1/2,是石油的1/2.5。

美还用花旗松树皮制成“树皮丸”,类似药丸。原理是在30,000磅/英寸²压力下原料粉磨擦生热达华氏 350—325 度,在此温度下纤维分子重新排列,有更多碳分子适合燃烧。热值9,000英热单位/磅。

成型木炭的情况不再介绍。都已商品化。

⑦对以上各项技术的评价

无论是直接燃烧还是其它各种技术,各有利弊。直接燃烧一般热效率较高,技术也不复杂,投资也少,但原料运输及使用范围受到很大限制,远离产区的地方长途运料就不现实(有的国家研究不超过82公里运距)。但制成木炭却可进入国际市场。但制炭过程中能量损失又很严重。发达国家习惯于使用气态或液态燃料,这使用方便,便于控制,主要是可用于移动式机械(如汽车),因此这些国家努力研究气化、液化、制醇技术,这是有其社会背景的。发展中国家一般习惯于直接燃烧,最终用户一般极为分散,燃料产地也分散,因此发展中国家可以把这一缺点变成优点,用直接燃烧来解决用能问题。

如果没有特殊必要,一般就不去进行更高级的转换,特别在缺乏资源的国家。

例如,木材转换成木炭,能量损失起码在30—50%之间。热带地区一个万人小城,烧木炭需2,545公顷薪炭林供应,而烧木柴仅需984公顷就够了。但如果供应地很远,则又变成烧木炭合适了。木质燃料用于工业热能,也以直接燃烧为好。一个年耗1,000吨燃油的企业,改用木质燃料,如果直接燃烧需431公顷森林,如果烧木炭则需1,116公顷,如果把木炭再转换成木煤气使用,则需1,602公顷了,如果直接把木材气化,则需620公顷。把木材转换成燃油,能量转换率只有3:1,其中5%用于动力投入。把木材转换成酒精,能量损失1/2。用木材生产甲醇或乙醇,不宜小规模生产。

联合国资料认为,直接燃烧生产热能、机械能、电能等,都已实用化,应成为重点技术。其它技术,目前只有甲烷发酵和成醇发酵已实用化。热化学气化法小型装置已商业化,有个别大型装置已实用了。其余一切新技术都尚未成熟,主要是1973年以后才开始研究的。热化学气化、液化需十年、二十年才可能大规模实用化。最近出版的联合国粮农组织《二十世纪末的农业》一书中指出,木材是一种很重要的能源,“到九十年代,用纤维素材料如木材和草来生产乙醇的技术可能成为现实”。目前很多国家都在研究用木材制取甲醇的问题,而法国、巴西、加拿大、新西兰等国已在筹备进行工业化生产。法国计划近几年在国内和海外建几座用木材生产甲醇的工厂,最大日产量可达1,500吨。

六、开发利用森林能源的可行性研究与评价

无论是资源开发,还是利用技术开发,只解决了技术可行性仍毫无意义。实际上,有些技术早在二次大战中就已获解决,然而却不能应用,这里还存在着经济可行性问题。另外,在能源短缺的今天,人们无论干什么事情,总要考虑一个新的因素:能耗量多少。因此,做为开发森林能源资源和进行加工转换利用,就存在一个能量的产出与投入效果的可行性,这是国外所比较重视的一个研究领域。此外,还存在着是否具备社会可行性的问题。

①经济可行性

开发森林能源的经济可行性研究,也有一系列理论和方法,不再赘述。总的来讲,各种方式的造林是可行的,采伐是可行的,在一定运距内运输是可行的,直接燃烧除某些个别情况总的来讲是可行的(包括发电、生产机械能、热能等),气化是可行的,液化是不可行的,热解制炭超过一定运距是可行的,制甲醇在一定大的设备规模上是可行的。

现在,发达国家有许多私人及企业改烧木质燃料,节约了大量费用,降低了成本。多数燃料是自产的,少数是从市场上买来的,但也比烧石油节约。因此西方发展很快。

②能量产出与投入效果的可行性

这一可行性,分很多方面,如造林、抚育、采运、加工、干燥、转换等,只要是用能的作业,都存在这一问题。

美国研究表明,造林中施肥、灌溉虽然需投入较多能量,但产出能量与投入能量呈线性正相关。但最好选择固氮树种以减少能量投入从而进一步提高产出。美国研究的10年轮伐期杨树和班克松人工林的有效能量分别为2,400及1,900百万英热单位/公顷,相当于430和340桶石油。研究认为,与现代农业相比,可以把造林视为一项很高能量效率的事业。杨树等短轮伐期人工矮林的能量产出投入比为157:1,比农业高许多。芬兰研究认为生产森林能源对能源的消耗仅占3.8—4.8%。

美国对经济运距有详尽研究,对运送各种燃料、使用何种运输工具的能量投入百分比及合理运距范围都搞清了,用以指导发电站的选址等工作。

③社会可行性

南朝鲜造薪炭林曾多次失败,联合国曾多次推行改灶计划,也都失败了。其原因是忽视了社会可行性。社会可行性,如文化水平、风俗习惯、教育制度、经济利益、环境影响等,都是要考虑的问题。制定开发利用计划,必须从这些实际社会状况出发,否则会失败。

七、归 纳

国外对森林能源的开发和利用,基本上是从1973年开始的,近十年以来,已取得了很大成绩。就科学研究来讲,已从最初是混乱的摸索阶段,达到了形成全世界统一和公认的主要研究领域和主要研究课题的阶段。但也应看到,到目前为止,主要是由发达国家进行的研究活动,尚未获得什么重大突破。但同时也应认识到,如果说前些年是准备性研究阶段,那么目前已进入了实质性研究阶段,是出成果的时期了。事实上,近一两年来,无论是资源开发方面,还是利用及转换技术方面,新技术层出不穷,并且有几项可能产生深远的影响。国外开发利用森林能源,最直接的目的是节省石油,最终目的是向复合能源过渡。

几乎所有国家的政府、国际机构和研究机构都对开发森林能源给予积极的评价。虽然没有哪一个国家或机构企望通过森林能源完全解决能源短缺,但认为解决百分之几、十几或几十,是完全现实的。何况,发展森林能源,还具有超过它自身价值的、其它能源事业所不可能具备的多种附带好处。森林能源,在发达国家是以小规模分散方式对大规模集中方式能源的一种补充和辅助;在发展中国家,则是一种基本能源,并不可能由煤、原子能所代替,更不可能由石油来代替。发展中国家,特别迫切、特别适合开发森林能源。

展望未来,预计全世界对森林能源的开发研究必将日益深入地开展下去,对森林能源的利用必将继续扩大,一个世界规模的造林高潮逐渐形成。

对现有森林的经营和利用方式陆续发生变革,向全树、全部森林生物量的利用方向发展。森林生产能源的概念,将影响今后的经营方式。

发展中国家将日益重视速生能源林;发达国家将更大规模地进行短轮伐期人工矮林试验,有可能走向工业化经营阶段,但不可能普及,而速生能源林将会普及。世界上在不久的将来会出现一个新的事物:柴油林,用以直接生产“绿色石油”。

发达国家木材工业及林区正稳步向能源自给的目标努力,木材工业实现能源自给是可能的。气化可能在发达国家和部分发展中国家得到更多应用,液化最终也会实用化。制炭技术、甲烷发酵和成醇发酵技术都有可能实现彻底革新。

当然,国外对开发利用森林能源存在有不同意见。但这些意见有些证明是多余的,没有道理的。全世界开发和利用森林能源,是一项有前途的事业。

(侯元兆)

美国的生物质能源

提要:这是一篇苏联介绍美国开发利用森林能源的文章。文中介绍了美国对生物质能源潜力的估价,森林能源的主要利用途径和利用现状,美国营造能源林的情况以及国家政策。

过去十年,美国在能源供应方面发生了严重的困难。在这种情况下,节约和合理利用能源成为国家政策的方向之一。目前,在美国能源消费结构中,石油、天然气和煤占91%,原子能占3.5%。然而矿物燃料的埋藏量有限,进口石油价格不断上涨,这迫使美国垄断集团不得不另寻出路。专家们认为,美国已经到了寻找和更广泛地利用新能源的时候了。

因此,利用可更新能源越发受到重视。现在,可更新能源在全国能源消费结构中约占5.5%,其中水力资源占3.0%,生物质占2.5%。至于太阳能、风能、地热能和潮汐能等的利用还很有限,基本上尚处于研究或试验阶段。

可更新能源的主要特点是可以再生,实际上就是说,是用之不竭的。在这方面,最有意义的是大规模利用生物质做能源。

一、生物质能源的潜力

美国的植物质——太阳能的天然蓄能器,其总发热量为75亿亿亿千卡,比美国进口的石

油总能量大14倍，比每年的总能源消费量（19亿亿千卡）大3倍。

生物质的能源潜力如此之大，以致美国学者们认为，到本世纪末生物质想必能保证美国能源需要量的15%。

利用木质材料做能源是最有前途的发展方向。根据现有的资料，目前木质能源约占生物质能源的80%。美国拥有很大的木材蓄积量，实际上是潜在的能源。这里指的是未被利用的那一部分木材生长量。例如，1976年仅采伐了针叶材生长量的80%，阔叶生长量的45%。当然，可以用作能源的只是一部分木质材料。首先是阔叶树、间伐材、枯立木和病腐木。此外，伐区剩余物是主要的能源。美国森林每年能提供近2.7亿米³未被利用的木材，相当于0.35亿吨石油。

美国林务局和其它主管机关认为，如采取恰当的森林经营方式，则木材生长量到本世纪末可以翻一番，这相当于美国目前石油进口量的1/3。

现在，美国主要是利用木材加工和造纸剩余物作能源。这些剩余物占已利用生物质能源的90%。根据路易兹安纳—太平洋公司的专家们计算，仅利用伐区剩余物作能源，美国一年就可节省约40亿美元购买石油的费用。

城市旧建筑物破损后的废料、建筑用材的剩余物、森林抚育的产生物等也都可以做薪材，这一类原料远远没有得到充分利用。例如，在旧金山一个区进行的调查表明，一年就有120万吨这类剩余物，而得到利用的还不到一半。

挖掘生物质的能源潜力不止局限于利用木材。农业生产的剩余物——作物秸秆、农产品加工的副产品等等，也具有一定的意义。尽管这些剩余物在利用的能源总数量中占的比重不大（不超过0.5%），但对个别地区和个别工业部门来说所起的作用很大。在夏威夷，50%的能源取自生物质，其中甘蔗渣占13%。甘蔗加工业能源需要量的63%是靠利用甘蔗渣来满足的。

除上述能源原料外，在美国还利用城市的各种有机废物。其中工业企业和日常生活的混合废物从七十年代中期起每年提供0.04亿亿千卡的能量，几乎占生物质能源利用量的10%。

近来，越来越多的工业企业开始利用本企业的有机废物实现能源自给。

总之，农业生产剩余物和城市废物目前是有发展前途的能源，对它们的开发利用基本上尚处于试验阶段。

二、利用木质能源的途径

在美国，目前木质能源的利用可分为五个方面：工业企业实现能源自给，作为生产酒精的原料；居民住房取暖；电站生产电能；生产可燃气。

现在木材加工工业利用木片、树皮、锯末、刨花和其它剩余物作能源。这可使企业减少燃料开支，并可使这个部门的石油总需求量减少2,350万吨。木材工业靠利用自己的剩余物作燃料可满足能源需要量的45%。加利福尼亚州路易兹安纳—太平洋公司的一个企业1978年利用剩余物获取的能源，不仅保证了整个公司生产的需要，而且还满足了附近100户居民住宅的需要。

近来，在其它工业部门也出现了利用木质燃料以实现能源自给的企业。

第二个方面，即利用木材生产酒精。这种酒精是汽油醇——新的汽车燃料的成份。汽油醇是90%的汽油和10%的乙醇或甲醇的混合物。这样的比例关系不需要改变汽车发动机的构

造。

迄今为止，美国主要是用玉米生产酒精。尽管玉米是最适合生产乙醇的原料，但存在着两个缺点。第一，利用大量的玉米生产燃料这将加速粮食价格的上涨。据初步计算，玉米的需要量增加1%就会使价格提高2%。第二，为获取1千卡能量需要消耗2.7千卡的能量，其中玉米干馏消耗1.6千卡，培育和运输玉米消耗1.1千卡。

利用木材作原料制取甲醇最有前途。在各种酒精燃料中许多专家都偏重于甲醇。这首先因为用木材生产甲醇每升只需17美分，而用玉米生产乙醇每升需33美分，亦即生产甲醇便宜一半。此外，可以利用木材加工工业的副产品和剩余物制取甲醇。

由能源部拨款，现正在奥尔本市（俄勒岗州）进行用木片制取这种液体燃料的工业化试验。专家们认为，制取1升工业燃料的费用大约是16美分。已开始向加利福尼亚州的加油站供给第一批汽油醇，酒精是由别利格赫姆市（华盛顿州）乔治亚—太平洋公司生产木浆的企业用木糖制取的。这种酒精每升的价格约39美分，而纽约地区1979年12月每升汽油的价格是30美分。考虑到汽油价格不断上涨的趋势，可以预料每升汽油的价格不久就会超过40美分。

不久前纽约州立大学研究出利用废纸制取酒精的新方法。这种方法的优点是，所利用的原料便宜，且每年可获得5亿吨。环境保护署认为，新方法可使制取酒精的成本降低一半，从而可降低汽油醇的价格。纽约州立大学学者们的这一发现立刻引起了木材工业公司和出版界的注意，目前正在建设用废纸生产酒精的试验工厂。

甲醇的一个缺点是，当比例大于1:9时毒性非常大，因此便需要更换汽车燃料系统的塑料和橡胶零部件。

另一个严重的问题是，生产甲醇的工厂投资大。计算表明，只有年生产力为70—170万吨的大型企业才能收到效益。建设一个这样的工厂需投资5—10亿美元。这只有对甲醇的需求是稳定的形势下才办得到，否则很少有人会为这样的企业拨款。

利用木材的第三个方面——住宅取暖。

近年来，在美国多林地区有数百万户住宅安装了薪柴炉，以减少购买燃料的费用。在大多数情况下这种措施是合算的。1吨木片相当于1桶（159升）石油。例如，在佛蒙特州每吨木片的价格为14美元，而每桶石油的价格达36美元。

现在在美国出现了生产和销售薪柴炉的热潮。有关公司和国家机关大登广告。美国林务局专门出版了一本小册子，阐述在国有林地上采伐木材的规则，并载有各不同树种的木材的热值。

1978年美国人来购买薪柴炉的费用达10亿美元。目前有500万户美国家庭转而主要使用薪柴燃料，其中有一半是自己生产的。

美国人认为，工业和机关建筑物利用烧木锅炉集中供暖是最有发展前途的。但远非所有的住宅和机关建筑物都能转用薪柴取暖。而且，即使全部森林都用做能源，也未必能解决能源不足的问题。

还可以利用木材作热电厂的燃料。总的说来，这方面的利用赢利性最小。首先因为电能传送损失大（达65—75%），其次由于运输燃料材超过80公里在经济上就不合算。为了减少运输费用，布朗斯维尔市（俄勒岗州）的一个公司研究出一种工艺，可把薪材加工成颗粒，象煤一样运输和燃料。

利用木材作热电厂的燃料，眼下只在森林资源最丰富的地区是可行的。首先是新英格兰各州和西北太平洋沿岸地区。不久前，在伯林顿市（佛蒙特州）发电站有两台能力为20兆瓦