



能源生态系统

西部地区能源开发战略研究

The Energy Eco-system

A Strategic Study on Energy

Resource Exploitation in West China

张雷 著



科学出版社

www.sciencep.com

能源生态系统

西部地区能源开发战略研究

张雷 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

中国是世界上主要的能源生产和消费国家。随着经济社会的发展,长期以来中国不断加大本国能源资源的开发力度,并在此基础上建立了一个庞大的能源生产供应体系。受能源资源空间分布特征影响,未来国家能源供应保障体系建设的重担将越来越向西部地区倾斜。考虑到能源资源开发利用的巨大极化效应和西部地区自身生态环境基础,传统能源资源的开发方式已经明显不适应现时需要,因此,有必要探寻新的能源生态系统建设方式,以确保西部地区可持续发展总体目标的实现。这正是提出西部能源生态系统建设研究的初衷所在。

根据生态学和工业生态学基本原理,本书首先探讨和确立了能源生态系统的基本概念、构成模型及相关分析公式。在此基础上,对全国和西部地区能源生态系统发育基础、环境及内生、外生和共生三大子系统的发育过程、运行状态、作用机理,以及变化趋势进行了剖析和判断,并以此对未来中国西部地区能源开发提出相应发展对策。

本书可供从事能源开发利用、区域规划、环境保护、地理科学和教育、资源开发和管理等方面的国家政府决策者、工作者、科研人员、教员和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源生态系统:西部地区能源开发战略研究 / 张雷著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-018175-6

I. 能… II. 张… III. ①能源开发—经济发展战略—研究—西北地区
②能源开发—经济发展战略—研究—西南地区 IV. X426.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第126586号

责任编辑:李 敏 张 震 / 责任校对:赵燕珍

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:中飞时代

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年3月第 一 版 开本:B5 (720×1 000)

2007年3月第一次印刷 印张:16 1/2 插页:2

印数:1—3 000 字数:333 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

各国实践表明,在人类现代化社会的资源开发过程中,没有哪一种资源能像能源资源那样产生如此巨大的极化效应。一方面,国家和地区经济发展速度的快慢和发达程度越来越明显地决定于现代能源供应保障系统能力的建设状态(例如,2000年,占世界人口12%的西欧和北美,其一次能源的消费就占了全球的44%);另一方面,快速增长的能源消费越来越明显地干扰和破坏自然生态环境演进状态(如矿物燃料燃烧的二氧化碳和固体废弃物排放)。因此,能源资源的合理开发和利用便成了21世纪世界各国共同面临的基本任务和重大课题。

目前,中国是世界上经济发展最快的大国,同时也是世界上能源生产和消费的大国。作为国家重要的能源资源产地,西部地区(由西南和西北两大区组成。其中,西南区包括重庆、四川、贵州、云南和西藏5省、区、市,西北区包括内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆6省、区)的能源资源保有储量占全国的61.2%(2001年),且未来的资源增长尚有很大空间。考虑到国家现代化进程的发展及需求(2020年国家全面实现小康社会发展目标),西部地区在21世纪国家现代能源供应保障系统建设中的重要作用和地位就不仅仅取决于当地资源数量的多寡,而且更取决于当地资源质量的高低。资料分析表明,2001年西部地区的一次能源资源储量中的天然气和水电这两大类一次清洁能源分别占全国的67%和83%。显然,面对21世纪中国工业化和城市化进程的加快,如此资源结构特征及优势决定了西部能源资源开发在国家能源供应保障体系中的重要使命和基本任务:在确保地区自身发展所需的能源消费前提下,应尽力提高为其他地区,特别是东部沿海地区提供更多服务和供应的可能。

实际上,自20世纪50年代国家大规模工业化建设以来,西部地区能源就已经开始确定了服务东部发展的基本战略思维,20世纪50~60年代的“西油东输”(如甘肃和新疆原油及油品的外运)和70~80年代的“西煤东运”(如陕西和内蒙古西部煤炭的外运)正是这一战略思维的具体体现。进入20世纪90年代以来,国家开始加大了“西电东送”和“西气东输”(自“陕气进京”算起)的工程建设力度和规模。这一发展标志着西部能源资源的开发利用进入了一个新的阶段。

然而,要进一步发挥西部地区资源禀赋的优势,除了资源自身的条件外,更重要的是能否依据国家资源的整体开发环境制定一个既能适应国家发展又能适应本地能源资源开发的总体战略。

客观地讲,与丰富资源和巨大市场潜力优势相对应,西部地区能源资源的开发和利用环境劣势同样十分明显。这种劣势主要体现在脆弱的生态环境、偏远的区位条件、弱质的资本与技术基础四个方面。

第一,西部地区处在全国第一和第二级阶地上,平均海拔高程 1 000 米以上。作为国家重要的水源生成之地和风源必经之所,西部地区是整个国家赖以生存和发展的基本生态环境屏障和基础。然而,在地形地貌、大气动力和地球重力的共同作用下,西南山高坡险、水土流失严重,西北干旱少雨、人类生存环境极其恶劣。在此种环境下,任何过量和不合理的资源开发活动都会突破地区生态环境的均衡阈值,从而引发难以预计的灾难,其后果甚至威胁整个社会的正常运行和国家的安全。1998 年长江流域特大洪水和近年来北方频发的沙尘暴,不仅震动全国而且震惊世界,其直接经济损失高达 3 000 亿人民币,大体相当于 1998 年全国 GDP 的 4%。

第二,由于地处西部偏远内陆,西部地区主要大城市与东部沿海消费中心上海的直线距离大约在 1 800 公里(均值),如果再考虑到地形地貌的影响,居高不下的产品运输成本便成为西部地区大规模能源开发的一个巨大障碍。尽管现代技术条件的发展和交通基础设施的长期建设已经使西部地区的内外通达程度有了明显提高,但在激烈竞争的市场环境下,长距离运输费用始终使西部地区能源资源的开发处一种不利的位置上。例如,新疆原油经铁路运输至河南洛阳炼油厂的吨油成本高出东部地区平均水平 10 个百分点。无疑,这种高运输成本无论对生产者还是消费者来说都难以长期承受。

第三,由于资源开发历史较短,目前西部地区经济发展的资本积累能力还很脆弱,特别是在现代工业生产方面。2000 年西部地区财政支出的中央转移支付比重高达 60%,较东部和中部两地区分别高出 33 个百分点和 10 个百分点。与此同时,在地方财政收入方面,西部地区的工业企业所得税只占全国的 10%。

第四,尽管西部地区也有诸如西安、兰州、重庆、成都和昆明等一些科技相对发达的大城市,但在整体上西部地区的科技发展水平还相当落后。目前,西部地区能源开发的大型工程建设及其生产设备还主要依赖于东部及国际市场的供应。与此同时,技术人员,特别是高级生产技术和管理人员的本地化水平低,人才培养的对

外部依赖程度也很高。

上述情况表明,欲实现国家和地区可持续发展的总目标,一方面,西部地区能源资源开发战略需要一种能够有效化解不利开发环境的可行思路和构想,即在不断加大资源开发和利用的同时,应将资源开发所造成的生态环境破坏减少到最低限度;另一方面,西部地区能源资源的可持续开发和利用同样有赖于主体基础设施的建设和运营能否与地方经济进行有机结合。国内外的长期实践表明,能源基础工程的建设和运营,特别是大型骨干技术设施的建设和运营管理,能否真正起到地方经济的“发动机”或“润滑剂”而不仅仅是能源生产“飞地”的作用,同样也是可持续发展的一个重要组成部分。实际上,由于能源产品生产的单一性特征,仅依赖电力和矿物燃料(油气)这两大类产品的输出来实现西部地区经济可持续发展的目标是远远不够的。例如,由于受到经济全球化的影响,能源消费市场的竞争变得日趋激烈。受此影响,利益的再分配和价格波动的加剧将延长资源开发工程投资的回收期限和地方财政收入预期(如四川二滩水电站)。同样,三峡水电站的建设若不能与库区相关产业的发展相结合(如旅游业和包括林业及养殖业在内的第一和第三产业),工程建设的总体效应和地方利益最终将难以得到充分发挥和保障。有鉴于此,依赖部门经济建立起来的传统能源发展战略思维——企业和部门利益最大化——无法适应国家和地区现代能源资源开发利用多目标发展及其管理的需求。因此,需要开辟新的思路。

工业生态学是 20 世纪 90 年代后快速兴起的一个研究领域,是结合现代生物学理论和可持续发展思想所建立起来的一种全新的现代工业生产和管理思维及理念。工业生态学的基本理念是:以人类对自然生态演化过程的科学认识来改造传统工业生产方式,代之以完全成熟和具有与外部环境保持良好共生能力的综合生产体系这样一种新型工业生产方式。

从学科自身的发展上看,建立如此工业生态系统的基本原则有三个:一是内生性原则。即通过资源深加工度化或系统内的物质能量高循环来降低废弃物排放程度。就工业生产而言,这可以称为产品多元化或部门及企业资源开发效益的最优化发展原则。二是外生性原则。即通过发展相关产业部门来进一步降低某一部门或企业的废弃物排放程度。就区域经济发展而言,这可以称为产业结构多元化(生态多样化)或资源社会利用效益的最佳化发展原则。三是共生性原则。即通过内生和外生的协调发展,建立一个最低限度排放或近乎于零排放的工业生态系统,最终达到与整个自然生态系统共生的目的。就可持续发展而言,这可以称为资源环

境开发效益最优化发展原则。

应当指出的是,包括人类社会在内的任何地球表层生态系统,其规模、种群结构及其演进方向均会随着系统内外发育环境的变化而变化。这一点对尚处在发育中的西部能源生态系统的建设来说尤为重要。例如,目前西部地区农村能源消费和生产结构相当落后,传统生物燃料与常规能源的消费结构比例为 53:47,如此,西部农村每年要烧掉相当于 8 200 多万吨标煤的各类薪柴。显然,对于自然生态环境极为脆弱的西部地区来说,要恢复当地生态平衡,确保国家可持续发展的自然生态保护屏障安全,仅仅通过退耕还林的方式依然会存在很大的风险。为此,须加快西部地区农村能源消费结构从传统方式向常规能源和其他生物能源(沼气、水电、风能和太阳能)为主的现代多样化消费方式的转换。从根本上消除传统能源生产和社会服务的城乡二元化结构,是实现全面小康发展的必要前提和条件,这正是 21 世纪西部地区能源生态(共生)系统建设和发展的一项基本目标和长期任务。

目前的问题在于,受市场发育环境与部门和地区管理机制(条块管理机制)的长期影响,人们更习惯于以部门或企业利益最大化的传统思维制定地区能源利用发展战略;相反,对跨领域、跨地域和跨学科的多目标复合生态系统建设则缺乏足够的认识和明确的理论指导。因此,在目前已经开展的 21 世纪西部能源利用 and 环境保护的战略研究方面,形成了内生强于外生、外生强于共生的“一边倒”格局,显然,这种状况与国家可持续发展和现代化能源安全需求不相吻合。有鉴于此,探讨如何实现西部地区能源利用、市场发育扩展和生态环境保护三者的有机结合和有效管理应是制定未来西部地区能源开发战略的关键。

客观地讲,目前西部地区能源的开发和利用尚处在初期发育阶段,系统的社会服务功能单一程度高、地域空间组织的封闭性强、生态环境破坏的影响力大。显然,要实现 21 世纪西部地区能源资源的合理开发和有效利用,需要进行包括基本发展观在内的系统管理观念更新。为此,以工业生态学基本理论为依据,进行西部地区能源开发利用的战略研究,为实现国家关于西部地区能源开发利用和生态环境保护双赢的可持续发展多目标管理决策,提供一个较为坚实的理论基础和科学依据。这正是本专著出版的主要贡献所在。

张 雷

2006 年 8 月 15 日

目 录

前言

上篇 理念与发展

第一章 能源生态系统	(3)
第一节 概念起源	(4)
第二节 现代能源供应的基本特征	(7)
第三节 能源生态系统	(10)
第四节 系统空间组织结构	(17)
第五节 投入产出效益	(21)
第六节 结论	(23)
第二章 系统发育环境	(24)
第一节 发育基础评价	(24)
第二节 开发状态评价	(28)
第三节 开发效益评价	(31)
第四节 空间格局及特征	(35)
第五节 结论	(45)

中篇 系统发育

第三章 系统发育总体评价	(49)
第一节 总体评价	(49)
第二节 因素分析	(52)
第三节 开发效应	(56)
第四节 结论	(65)
第四章 内生系统发育	(66)
第一节 资源基础	(67)
第二节 内生系统1发育(矿物燃料开采)	(70)
第三节 内生系统2发育(水力资源开发)	(74)
第四节 内生系统3发育(二次能源生产)	(77)

第五节 结构演进与产出效益	(81)
第六节 能源消费	(86)
第七节 结论	(93)
第五章 外生系统发育	(95)
第一节 总体发育	(95)
第二节 空间组织	(100)
第三节 能源消费	(104)
第四节 部门发育	(114)
第五节 结论	(139)
第六章 共生系统发育	(140)
第一节 总体发育	(140)
第二节 空间格局变化	(149)
第三节 能源消费	(155)
第四节 部门发育	(168)
第五节 结论	(209)

下篇 趋势判断

第七章 未来发育趋势	(215)
第一节 外部发育环境	(215)
第二节 内部发育环境	(222)
第三节 西部地区能源生态系统发育	(229)
第四节 发育风险分析	(237)
第五节 结论	(244)
第八章 结论与建议	(246)
第一节 概念的阐述	(246)
第二节 系统发育评价	(246)
第三节 发育趋势判断	(249)
第四节 相关对策建议	(250)
参考文献	(252)
相关统计资料	(255)

上 篇

理念与发展

第一章 能源生态系统

作为地球表层生物种群的一类,人类的自然属性决定了其社会发展对地球自然资源的绝对依赖性,自然资源与环境的状态决定了人类社会的基本生存方式。这也是地球上所有生物种群生存和发展的铁律。

尽管人类社会目前已经进入现代发展阶段,但是,人类对自然资源的依赖程度并未因此而发生任何变化。相反,随着对物质世界认识能力的提高,人类社会的物质生产和消费需求比以往任何时候都显得更加强烈。从原始采集到农业种植再到工业制造生产方式的变革表明,人类发展对自然资源的依赖逐步从单一要素走向要素整体。所不同的是,人类对资源与环境依赖的过程变化,决定了自然资源投入在社会生产系统不同发育阶段中的影响和作用。

经历了上百万年的时期,人类社会在向自然生态系统不断学习的过程中,逐步建立起了一个无比庞大的生存和发展系统,即现代人类生态系统。与水土资源为主的传统资源开发方式不同,现代人类生态系统是建立在矿产资源基础之上的一种新的生存方式。这种新的生存方式的最大特点在于:在为人类社会快速创造、积累财富的同时,对自然环境基础产生了巨大的破坏作用。其中,尤以能源资源开发和利用系统所产生的破坏为甚。

一方面,工业革命以来,全球能源的利用规模随着经济扩张和人口增长而迅速加大。在工业革命发生后不到 100 年(1850 年),世界人口便达到了 11 亿,1900 年时又增长到了 16 亿左右,1950 年上升至 25 亿,2000 年则超过了 60 亿。与此同时,世界人均 GDP 的增速也明显加快:1850 年,世界人均 GDP 较工业革命前增长了 1 倍以上,达到 650 美元,1900 年便突破了 1 000 美元大关,2000 年更攀升到 6 000 美元的高峰。另一方面,大规模的使用矿物燃料使主要温室气体排放量分别增长了 1~400 多倍,其中全球最主要的温室气体二氧化碳的排放量比工业革命前翻了近一番,地球表面平均温度也因此上升了 0.3~0.6℃。这比过去 1 万年中发生的变化还要迅速得多。显然,现代人类社会生产所产生的这种巨大极化效应已经越来越威胁到了整个地球自然生态系统的协调与稳定。

自 20 世纪 80 年代以来,人们开始认识到问题的严重性。此后,各类旨在摆脱目前危机的新思路和新方法不断涌现。总体而言,迄今为止的所有摆脱危机的努力依然在延续着人类社会以往的做法,即各类新思路和新方法的产生和改善依旧是从自然生态系统的演进过程中汲取营养。换言之,人类在改造自身的社会

生产系统过程中,目前依然处于学习和模仿的阶段。只不过同以往相比,新一轮的学习已经不是建立在单一要素和种群的基础上,而是建立在系统整体的基础之上:即利用自然生态系统发育的基本原理,来改造现代人类社会生产系统。

中国是世界上主要的能源生产和消费国家,随着经济社会的发展,长期以来中国不断加大本国能源资源的开发力度,并在此基础上建立了一个庞大的能源生产供应体系。受能源资源空间分布特征影响,未来国家能源供应保障体系建设的重要担将越来越向西部地区倾斜。考虑到能源资源开发利用的巨大极化效应和西部地区自身的自然环境基础,传统能源资源的开发方式已经明显不适应现时需要,因此,有必要探寻新的能源生态系统建设方式,以确保西部地区可持续发展总体目标的实现。这正是提出西部能源生态系统建设研究的初衷所在。

第一节 概念起源

作为一个新生的概念,能源生态系统来源于生态学的基本原理。因此,有必要对自然生态及生态学的基本概念进行一些了解。

一、生态系统

“生态”一词的基本含义是地球表层生命物质空间组织状态、演进环境及其特征。

“生态系统”是指各生态群落组成的空间复合体,其基本功能是维系整个群落正常的能量、物质交换和循环。由于所处生存和发育环境各不相同,因此,各类生态系统内部的能量、物质交换和循环方式也就不同。

生态系统发育的基本特征有二:一是物种多样化,一是种群间发育的有机平衡。

(一) 组成特征

根据现代科学的长期观察和研究,地球表层能量消费者的能量转换方式决定着生态物种的基本特征。因此,自然生态系统大体上由以下两大基本群所组成:第一,太阳能的直接吸纳者,我们称之为植物界;第二,太阳能的间接吸纳者,我们称之为动物界。然而,从系统的实际演进状态出发,人们更愿意将自然生态系统的组成划分为三大类:第一类是太阳能的直接吸纳者——植物群落;第二类为太阳能的间接吸纳者——食草动物;第三类是太阳能的次间接或者诱发吸纳者——食肉动物。尽管地球表层的生命种群千差万别,但是任何地区的自然生态系统组成则基本保持一致。生态系统发育的状态取决于上述三者的产出规模及其平衡结果。

(二) 产出效益

根据自然生态系统的演进特征,其投入产出效益的基本模式是

$$RIO = D + I + DE \quad (1-1)$$

式中, RIO 为自然生态系统的投入产出效益; D 为直接产出效益; I 为间接产出效益; DE 为诱发产出效益。

从自然生态演进的角度看,任何一个地区自然种群的规模及其结构的变化均取决于该地区初级生物生产基础的大小。这就是自然生态学家所发现的著名生物种“金字塔”分布规律(图 1.1)。根据这一分布规律,一个地区自然生态系统的投入产出效益评价模式便可以确定为

$$NRIO = P + H + C \quad (1-2)$$

式中, $NRIO$ 为自然生态系统的资源投入产出效益; P (plant) 为植物产出效益; H (herbivore) 为食草动物产出效益; C (carnivore) 为食肉动物产出效益。

能量流向

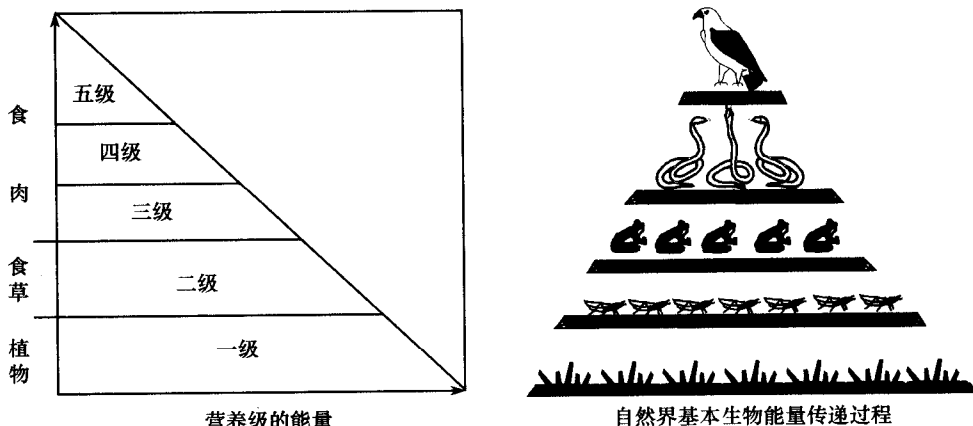


图 1.1 自然生态能量交换和物种“金字塔”分布特征

通常情况下,如果把自然生态系统的 P 值域界定为 1 的话,那么,根据生物“金字塔”分布的逻辑推断,自然生态系统的资源投入产出效益值在总体上应小于 2。

二、生态学

生态学(ecology)一词源于希腊文的 oikos,其意为“住所”或“栖息地”。生态学最早是由德国人海克尔(E. H. Haeckel)于 1866 年提出的,其原始定义为:研究

生命有机体与其无机环境之间相互关系的科学(传统理念)。

生态学是研究生物生存条件、生物及其种群与环境相互作用过程及其规律的科学,其目的是指导人与生物圈(即自然、资源与环境)的协调发展。

自海克尔提出生态学的科学概念至 2005 年,在近 140 年的时间里生态学的发展经历了很大变化。随着研究对象、内容、任务和方法的不断进步,生态学的研究领域得以迅速扩展,已经从最初的植物生态延伸到了自然各要素和人类社会方面上来。

三、工业生态学

工业生态学(Industrial Ecology)是 20 世纪生态学由自然领域向人文领域发展的一个必然结果。尽管工业生态学的概念起源于 20 世纪 60 年代,但是直到 1989 年,这一概念才由 E. Frosch 和 D. Gallopoulos 在《科学美国人》杂志上正式提出。进入 20 世纪 90 年代后,工业生态学开始蓬勃发展,相关专著和论文的出版和发表、大学教学课程的设置、国家与地区乃至国际研究机构的建立、生态工业园区的建设等都极大地推动了工业生态学理论和实践的发展。工业生态学的理念和思维很快得到了各国科学界、企业界和政府管理部门的广泛认可和支持。

总体而言,目前国外工业生态学在理论发展上主要集中在基础理论体系的建设方面,其中包括了基本概念、原则和方法论三个领域。在实践方面,则主要集中在生态工业园区的建设和完善上。2002 年,在巴西里约热内卢召开的第 17 届国际石油大会提出的主题是“卓越技术和社会责任”(Excellence and Responsibility in Serving Society)。这一信息明确无误地表明,工业生态学的实践正在开始从企业的局部发展走向部门的整体发展。

我国的工业生态学研究起步于 20 世纪 90 年代中期。随着发达国家工业生态学的引进,国内相关学术界开始逐步建立和扩展了工业生态学的研究领域和空间。与国际工业生态学的发展基本相同,近年来,我国工业生态学研究也主要集中在理论建设和实践扩展两个基本点上。

在理论方面,主要是进行国际工业生态学理论发展的介绍和完善国内研究体系。例如,中文译本的 S. 埃尔克曼的《工业生态学》、世界资源研究所所长 R. 布朗的《生态经济学》以及邓南圣、吴峰主编的《工业生态学——理论与应用》的出版。在实践扩展方面,则主要集中在以企业生产为基础的工业园区内生态系统的建设与完善。例如,广西贵港国家生态工业(制糖)示范园区和广东省的南海国家生态工业示范园的建设。应当说,尽管国内对工业生态学的研究起步较晚,但就目

前的发展来看,基本保持了与世界发达国家同步的水平。

客观地讲,由于工业生态学的发展目前尚处在幼稚发育阶段,因此,相关的研究还多停留在基本概念和理论的探讨上,在实践总结和应用上,特别是在较大时空范围上的实践和发展几乎是空白。而能源生态系统方面的研究则近乎为零。

第二节 现代能源供应的基本特征

能源是一种现代词汇,通常是指人类生存和发展所需的能量来源。然而,由于人类对能量的需求存在着体内与体外的差别,因此,人们就把人体内在的能量需求保障称之为食品供应,而把人体外在的能量需求保障称之为能源供应。

与传统社会相比,现代能源供应大体有以下四个基本特征:矿物燃料为主、总量增长迅速、结构演进明显和极化效应突出。

一、矿物燃料为主

尽管人类学会制造工具已经有了很长的历史,并且在大约 5 000 年以前就学会通过自然能(如风能和水能)来获取所需的能量,但是,使用各类工具进行社会生产的能量主体却依然来自植物、动物和人类自身。科学研究表明,在农业社会里,人类所获得的总能量的 85% 以上来自植物、动物和人,其他则来自自然能,即所谓生物能源。因此,农业革命是一个人类逐渐控制和提高生物能量转换器(植物、动物和人)的能源供给过程。从这一观点出发,工业革命与农业革命的一个显著区别就在于,高效而无生命的物质能量转换器取代了低效而传统的生物能量转换器,从而使人类社会跨入到了现代能源供给阶段(图 1.2)。而这种无生命物质就是现在人们通常所说的矿物燃料。

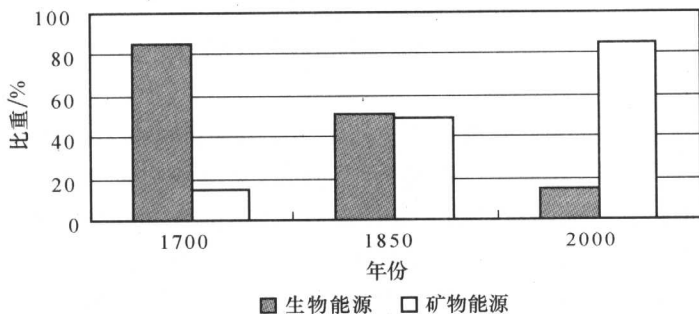


图 1.2 全球能源供应基本结构变化(1700 ~ 2000 年)

矿物燃料是指自然界中存在于地下的,以液态、气态和固态化合物为主的可燃性矿物。根据元素成分及成因不同,可燃性矿物又可分为化石燃料矿物和放射性燃料矿物(或核能燃料矿物)。其中,以化石燃料的地位最为重要。

二、总量增长迅速

能源供应以矿物燃料为主的时期的到来意味着人类支配自然能源资源进程的加快,其表现首先反映在全球矿物燃料消费总量的快速增长方面。19世纪中叶,世界一次商品能源的消费总量(包括水电)只有1.3亿吨(标准煤炭当量,下同),刚刚进入20世纪时,一次能源消费总量也不足8亿吨。此后,矿物能源消费的增速明显加快,到了2000年,全球一次商品能源的消费总量便超过了130亿吨(图1.3)。与同期(1850~2000年)GDP增长的52倍相比,全球商品能源的增长超过了239倍。

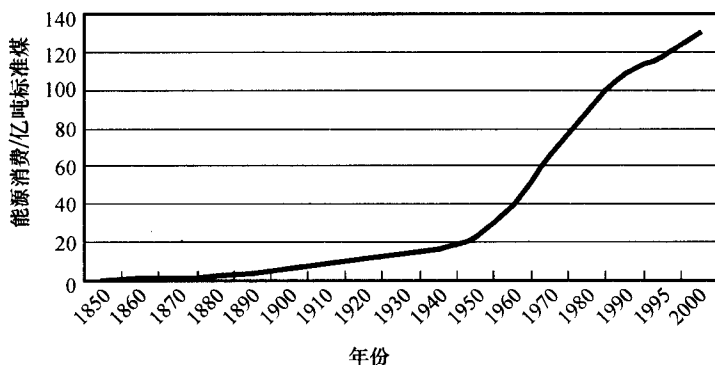


图 1.3 世界商品能源消费总量增长(1850~2000年)

三、结构演进明显

进入矿物燃料为主时期,全球能源消费结构的演进速率不仅没有减缓,反而明显加快,其中最大的变化便是以煤炭为主的固体燃料结构快速让位于以石油和天然气为主的液体和气体燃料结构。统计资料表明,自20世纪60年代开始占据世界能源消费的主体以来,石油和天然气两大矿物燃料的地位得到明显加强。1960年,全球能源消费中的石油和天然气比重只有51%,但到了2000年时,这一比重已经快速上升至65%(图1.4)。