

中国科协三峡科技出版资助计划

水力发电的综合 价值及其评价

汤鑫华 著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

中国科协三峡科技出版资助计划

水力发电的 综合价值及其评价

汤鑫华 著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

水力发电的综合价值及其评价/汤鑫华著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014. 10

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978-7-5046-6732-8

I. ①水… II. ①汤… III. ①水力发电工程—研究 IV. ①TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 239208 号

总 策 划 沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹

责任编辑 付万成 关东东

项目策划 杨书宣 赵崇海

责任校对 刘洪岩

出版人 苏 青

印刷监制 李春利

编辑组组长 吕建华 赵 晖

责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010-62103354

传 真 010-62103166

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16

字 数 295 千字

印 张 18

版 次 2015 年 1 月第 1 版

印 次 2015 年 1 月第 1 次印刷

印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6732-8/TV · 82

定 价 78.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

作者简介

汤鑫华，1963年10月12日出生于湖北省黄冈县（今团风县）。1980年9月至1987年7月在武汉水利电力学院学习，先后获得工学学士和硕士学位。1987年7月至今在水利电力出版社、中国水利水电出版社工作，先后任编辑、社长兼党委书记等职。期间，1994年5月至1995年7月赴美国学习计算机技术；1995年12月至1996年12月兼任北京万水电子信息有限公司总经理。兼任中国科普作家协会常务理事兼工业委员会主任、中国出版工作者协会理事兼科技出版工作委员会副主任、中国水利学会理事、中国水力发电工程学会理事。先后获得水利部科技进步奖二等奖、中国出版工作者协会“国际合作出版先进工作者”、国家图书奖提名奖、全国优秀科技图书一等奖、“中国水利学会先进工作者”、“全国新闻出版行业领军人才”等奖励及称号。



总 序

科技是人类智慧的伟大结晶，创新是文明进步的不竭动力。当今世界，科技日益深入影响经济社会发展和人们日常生活，科技创新发展水平深刻反映着一个国家的综合国力和核心竞争力。面对新形势、新要求，我们必须牢牢把握新的科技革命和产业变革机遇，大力实施科教兴国战略和人才强国战略，全面提高自主创新能力。

科技著作是科研成果和自主创新能力的重要体现形式。纵观世界科技发展历史，高水平学术论著的出版常常成为科技进步和科技创新的重要里程碑。1543年，哥白尼的《天体运行论》在他逝世前夕出版，标志着人类在宇宙认识论上的一次革命，新的科学思想得以传遍欧洲，科学革命的序幕由此拉开。1687年，牛顿的代表作《自然哲学的数学原理》问世，在物理学、数学、天文学和哲学等领域产生巨大影响，标志着牛顿力学三大定律和万有引力定律的诞生。1789年，拉瓦锡出版了他的划时代名著《化学纲要》，为使化学确立为一门真正独立的学科奠定了基础，标志着化学新纪元的开端。1873年，麦克斯韦出版的《论电和磁》标志着电磁场理论的创立，该理论将电学、磁学、光学统一起来，成为19世纪物理学发展的最光辉成果。

这些伟大的学术论著凝聚着科学巨匠们的伟大科学思想，标志着不同时代科学技术的革命性进展，成为支撑相应学科发展宽厚、坚实的奠基石。放眼全球，科技论著的出版数量和质量，集中体现了各国科技工作者的原始创新能力，一个国家但凡拥有强大的自主创新能力，无一例外也反映到其出版的科技论著数量、质量和影响力上。出版高水平、高质量的学术著

作，成为科技工作者的奋斗目标和出版工作者的不懈追求。

中国科学技术协会是中国科技工作者的群众组织，是党和政府联系科技工作者的桥梁和纽带，在组织开展学术交流、科学普及、人才举荐、决策咨询等方面，具有独特的学科智力优势和组织网络优势。中国长江三峡集团公司是中国特大型国有独资企业，是推动我国经济发展、社会进步、民生改善、科技创新和国家安全的重要力量。2011年12月，中国科学技术协会和中国长江三峡集团公司签订战略合作协议，联合设立“中国科协三峡科技出版资助计划”，资助全国从事基础研究、应用基础研究或技术开发、改造和产品研发的科技工作者出版高水平的科技学术著作，并向45岁以下青年科技工作者、中国青年科技奖获得者和全国百篇优秀博士论文奖获得者倾斜，重点资助科技人员出版首部学术专著。

由衷地希望，“中国科协三峡科技出版资助计划”的实施，对更好地聚集原创科研成果，推动国家科技创新和学科发展，促进科技工作者学术成长，繁荣科技出版，打造中国科学技术出版社学术出版品牌，产生积极的、重要的作用。

是为序。

致 谢

本书是以作者2013年春季完稿的博士学位论文为基础、略加修改而成的一部专著。在成书过程中，作者自始至终得到了博士生导师周天勇教授的悉心指导，这是本书全部成果的重要源泉。特别值得一提的是，周老师对国内国际宏观经济的洞察力和在战略思维等方面的深刻见解令学生十分敬佩，他的专业素养和敬业精神都成为作者的学习对象。本书的顺利完成，也离不开北京科技大学东陵经济管理学院原院长张群教授、高俊山教授、余元冠教授、何维达教授、何枫教授等的谆谆教诲和睿智点拨。

本书也在不同程度上得到了中国华电集团公司总经理程念高博士，国务院三峡工程建设委员会办公室副主任陈飞先生，中国长江三峡集团公司科技环保部主任孙志禹博士，中国电力投资集团公司副总经理夏忠博士，国家行政学院经济学部周绍朋教授，国家统计局统计科学研究所陈玉营研究员，中国水利水电科学研究院院长匡尚富博士、副院长贾金生博士（2009—2012年曾经兼任国际大坝委员会主席，现任名誉主席）、副院长汪小刚博士、国际合作处处长彭静女士，国家水电可持续发展研究中心主任黄真理博士、总工程师（时任）禹雪中博士、高级工程师隋欣博士，中国水力发电工程学会副秘书长张博庭先生，水利部规划计划司副巡视员陈群香女士，中央党校科社教研部张弥教授，同门师兄、商务部市场调查司处长牛靖楠博士，同门师兄、四川大学商学院王元地博士，博士生班同学、北京市基础设施投资有限公司官员彭涛先生，同门师妹师弟、北京科技大学在读博士生刘培荣、彭鹏同学等的精辟指点或大力帮助，在此谨表敬意和谢忱！

借此机会，作者还要特别向已故水电科技泰斗、原水利电力部总工程师、原中国工程院副院长、两院资深院士潘家铮先生表达致诚谢意和深切怀念。他不仅对作者的职业生涯和作者服务单位中国水利水电出版社的出

版事业给予了极大关爱与支持，也对作者开展博士论文的研究给予了高屋建瓴的指导。作者深感愧疚和遗憾的是，上述博士论文尚未完稿，潘老已于2012年7月13日（碰巧，那天是北京申办奥运会成功和作者参加工作的纪念日）仙逝。谨把拙著奉献给九泉之下的潘老！

作者供职的单位——中国水利水电出版社及其主管机关水利部的有关领导，特别是时任分管副部长周英女士，为作者在职攻读博士学位不仅提供了机会、便利和经济支持，还给予了方法指导和精神鼓励，作者对此没齿不忘，深表谢忱。

本书的顺利完成，完全离不开作者妻子宋梅和儿子汤达的鼎力支持。这种支持不仅贯穿始终，而且无法替代；不仅体现在日常生活上，也体现在理念创新、数据计算、内容修改等学术活动中。因此，作者必须借此机会特别感谢自己的家人！

摘 要

本书是一部从可持续发展理念出发,专门研究水力发电这种常规发电方式的综合价值的管理学专著。全书由绪论、国内外研究成果综述、水电综合价值的构成要素与评价方法、五种主要电源综合价值比较研究、贵州乌江梯级水电开发综合价值的实证分析、结语等六章组成。

水力发电一直在为经济社会发展作出贡献,但也带来水库移民、环境扰动等问题,因此长期受到诟病。全面考察和深刻分析水电开发在经济效益、环境效应、社会效应等方面的利弊,具有多方面的现实意义。鉴于此,本书以一种独特的思路,提出了水电开发综合价值的基本概念;并以大量计算公式为支撑,从全生命周期和全收益成本理念出发,站在经济效益和可持续性两个角度,分工程尺度与流域尺度两种情形,提出了评价水电开发综合价值的基本方法、指标体系与计算模型。

在上述成果基础上,本书用两种办法比较分析了火电、水电、风电、核电、光电等五种常用电源的综合价值,分别提出了相应的基本方法与指标体系:其一,以社会公布的重要行业经济指标为基础,从行业角度比较五种电源经济效益的高低;其二,以问卷调查法和专家打分法为手段,对五种电源的综合价值进行计算、排序和分析。本书还用流域梯级开发和典型单座工程两个尺度,从全生命周期、全收益成本的经济效益和可持续性两个角度,对贵州省境内的乌江梯级水电开发项目进行了实证分析。结果证明,本书提出的水电综合价值基本概念和计算模型具有合理性和实用价值。

目 录

总 序

第1章 绪 论	1
1.1 基本概念	1
1.2 选题背景与研究意义	10
1.3 研究目的与研究内容	15
1.4 技术路线及有关问题	16
第2章 国内外研究现状	19
2.1 国内研究现状	19
2.2 国外研究现状	29
2.3 现行水电工程评价方法及其缺陷	40
2.4 现有成果特点分析	50
第3章 水电综合价值的构成要素与评价方法	53
3.1 水电综合价值的组成部分	53
3.2 水电综合价值的评价尺度	90
3.3 相关评价方法	97
3.4 水电经济价值及其评价	107
3.5 水电环境可持续性及其评价	139
3.6 水电社会可持续性及其评价	145
3.7 水电项目可靠性及其评价	151
3.8 水电综合价值：评价方法、指标体系与计算模型	158
3.9 关于几种特殊情况的讨论	165

第4章 五种主要电源综合价值比较研究	176
4.1 四种电源概述	176
4.2 方法问题综述	190
4.3 五种电源经济价值的比较	192
4.4 电力开发可持续性及其比较研究指标	201
4.5 电力开发可持续性比较研究指标体系	209
4.6 电力开发可持续性比较研究问卷调查的设计实施	214
4.7 电力开发可持续性比较研究指标的权重系数	215
4.8 电力开发可持续性比较研究调查成果的统计	221
4.9 比较研究电力开发可持续性计算结果的简要分析	222
第5章 实证分析：贵州乌江梯级水电开发的综合价值	226
5.1 贵州乌江水电开发概况	228
5.2 乌江梯级经济价值的评价	230
5.3 计算乌江梯级水电开发可持续指数的指标体系	238
5.4 乌江梯级各项可持续指数的计算与结果分析	249
第6章 结语	252
6.1 内容概述	252
6.2 主要创新点	253
6.3 本书存在的问题与不足	254
6.4 关于深化或延伸研究的设想	254
6.5 水电开发的必要性、可行性及其他	254
参考文献	260
索引	273

第1章 绪 论

水力发电，简称水电，是世界上能够进行大规模商业开发的第一大可再生能源。自有水电以来的百余年开发实践证明，水电具有巨大的经济价值，产生了十分可观的经济效益和社会效益；但其副作用也相当突出，有的副作用还存在长久而顽固的后遗症。在维权意识和环保意识越来越强烈的当代世界，反对开发水电的力量一度不断发展壮大。某些国家开始限制水电开发，某些国家因此爆发激烈的争论乃至冲突。近年来，国外的反对力量有所减弱，国际社会主流声音成为支持水电的坚定力量，水电开发的力度和规模迅速回升；但在我国，反对声浪却一度有所加强。尽管 2010 年以来，我国主管机关、电力行业和主流媒体旗帜鲜明地支持水电，水电工程的立项又开始被中央政府批量放行，社会上的质疑、反对并未销声匿迹，甚至不同的政府部门也发出了不同的声音。可见，不管是对政府官员、业内人士，还是对专家学者、社会大众来说，如何深刻认识水电的利弊，切实做到“在保护（环境）中开发（水电）、在开发中保护”，如何尽可能兴利除害、化害为利，如何化解开发过程中产生的各种社会矛盾和利益冲突，如何使为民谋利的事业为民众所认同和支持，都需要有关方面开展更为深入、系统而全面的科学研究，给出更为翔实、可信而客观的回答解读，作出更为细化、明确而有效的制度安排。

1.1 基本概念

1.1.1 水电及其与水利的关系

从科技手段上看，水电是这样一种工程技术——把河流等流动水体中蕴藏的水能转化为电能。水能的大小与水的流量和落差（习称水头）成正比。归根结底，水能来自辐射到地球上的太阳能，因为正是阳光把江河湖海里的水体蒸发到天空，空气中的水蒸气再以雨雪霜雹等形式降落地面，形成径流，由此形成的流动水体才有了流量和落

差。为取得水力发电效益而建设的土木工程就是水力发电工程,简称水电工程或水电站。

绝大多数水电站利用河川径流的水能发电,水利水电行业一般称其为常规水电站。此外,水电站还有利用海湾或河口的潮汐能发电的潮汐电站,利用海洋的波浪能发电的波浪能电站,利用海洋的潮流能发电的海流能电站,以及通过上下两个水库、利用富余电能抽水发电以满足电网调峰调频等需要的抽水蓄能电站等形式。

常规水电站主要有两种形式。一种是坝库式水电站(dam-type hydropower station),即在河流上拦河筑坝、建设水库,以形成发电水头的水电站,通称蓄水式水电站。此类水电站通常能够充分利用水能资源,通过径流调节获得良好动能效益,并且往往具有防汛、灌溉、供水、航运、养殖等多重利用效益。因此,它是应用最广泛的水能开发方式,全世界的大中型水电站绝大多数是这种水电站。另一种叫径流式水电站(run-of-river hydropower station),它是对天然径流无调节能力的无调节水电站和仅能进行日调节的日调节水电站的通称。若按其建筑物形式分,它又可以分为高水头的引水式水电站^[1](diversion-type hydropower station)和低水头的河床式水电站(hydrokinetic systems)。前者一般是在合适的河段修筑低闸或低坝,然后在岸边开挖渠道或隧洞,把河水引向下游,充分利用天然河床和引水系统之间的落差,形成发电水头,引水发电。后者则在河床上,把低水坝与引水发电系统连成一体进行建设,甚至直接把水轮发电机组安装在流动水体里,形成低坝或无坝的天然径流式水电系统。

引水式水电站一般为兴建在中小河流上的中小型水电站。但在下述几种特殊的高落差条件下,也可能是修建在大河上或装机容量较大的水电站:其一,河流天然坡降较大,或有天然跌水、瀑布,可以兴建平缓而绵长的引水道,以取得集中落差;其二,天然河道局部存在较大的U形或S形弯道,可以通过裁弯取直的办法兴建引水道,以取得集中落差;其三,相邻两条河流水面存在较大的高差,可以实行跨流域引水,以取得集中落差。

水电站是水利的一种表现形式。水利的概念具有悠久的历史。《中国水利百科全书》^[2]中写道,“水利”一词最早见于战国末期间世的《吕氏春秋》;但西汉史学家司马迁所著《史记》在我国的历史典籍中,首次使“水利”一词具有现代意义上的防洪、灌溉、航运的含义。1933年,中国水利工程学会第三届年会的决议说:“水利范围应当包括防洪、排水、灌溉、水力(即水力发电)、水道、给水、污渠(即城镇排水)、港工八种工程在内。”20世纪后半叶,水利又增加了水土保持、水资源保护、环境水利、水利渔业、水利旅游、海洋工程等内容。一般说来,水利是指人类社会为了生存和发展的需要,对自然界的水和水域采取的各种控制和调配措施。研究这类活动及其对象的理论、技术和方法等组成的知识体系称为水利科学;为控制、调配、利用地表水和地下水而修建的工程称为水利工程。水利工程除了本书专门讨论的水电站外,

还有水厂、堤防、水坝、沟渠、闸门、码头、涵洞、渡槽、泵站、水井、管道、鱼道、海塘等多种形式。

水电工程往往不是孤立存在的。大型、中型水电站（在我国，前者通常是指总装机容量不小于25万千瓦的水电站，后者为小于25万千瓦但大于或等于5万千瓦的水电站）一般都有水坝形成的水库，否则难以利用水流的落差发电。小型（小于5万千瓦但大于或等于100千瓦的水电站，在我国水利行业通称农村水电）、微型（小于100千瓦的水电站）水电站多数也有水坝或者引水系统（引水管道或渠道）作为配套工程。

从全球范围来看，绝大多数有一定规模的水电工程都是具有多重功能的水利枢纽。统计^[3]表明，在全球数以万计的水库中，单纯以灌溉、水电、供水、防洪、娱乐及其他为主要功能（包括航运、养鱼和其他用途）的水库，占水库总数的比例依次约为38%、18%、14%、14%、8%和8%，其中大多数水库至少具有两种以上主要功能，纯粹以水电为主要功能不足两成，而这些水库多数也同时具有其他功能。

在我国，水利与水电常常是密不可分的。由于防汛、抗旱、减灾等水利事业的需要，我国在数以千计的大小河流上兴建了大量水坝。2013年3月公布的第一次全国水利普查成果显示，截至2011年底，我国共有98 002座水库（其中已经建成的为97 246座，在建的756座；这些水库90%以上是库容为100万~1 000万立方米的小Ⅰ型水库和库容小于100万立方米的小Ⅱ型水库），其中45 000余座建有水电站（多数是装机容量不大的小型水电站，另有一些水电站是不需要水库的）。几乎所有的水电站都是水利建设的成果，它们生产的电力在我国电力系统占有重要地位：截至2013年底，水电的装机容量约占全国总量的23%，当年水电的发电量约占17%，均仅次于火电。由于水电具有诸多优势，它还是电网的主要调频调幅电源。三峡工程是长江开发治理的骨干工程，以防洪为第一目标，兼有航运、灌溉之利，但它同时是世界上最大的水电站，拥有2 250万千瓦的装机容量。由于水电与水利密不可分的关系，我国水利与电力类生产、经营、科研、教育、设计、管理机构曾经长期归于一个部委管理，或者合并于一个单位。

1.1.2 主要电源

在当代，人类发明和运用的发电方式有很多种，但以装机容量和年度发电量论，主要有火力发电（简称火电，细分则有燃煤发电、燃气发电、燃油发电等，本书以燃煤发电为代表）、水力发电（简称水电）、核能发电（简称核电）、风力发电（简称风电）、光伏发电（简称光电）、生物质能发电等几种。本书只研究了火电、水电、核电、风电、光电这五种电源，或称发电方式。

（1）火电。火电是通过燃烧的化石燃料加热淡水，使之变成高压水蒸气，进而推动发电机旋转而发电的。其燃料有煤炭、石油、天然气等多种。它不仅是最早实现工

业应用的发电形式，也是迄今规模最大的发电形式。燃煤发电这种不断消耗煤炭的电源，存在两大问题：一是污染十分严重（往往会产生固态、液态、气态三种污染物，其中包括大量有毒气体，近年来，我国许多地方为雾霾所笼罩，相当程度上是因为燃煤所致）；二是能源转化率低（较高的勉强达到 40% 左右，即使热电联产也只有 60% 左右）。燃油发电的污染略轻，但仍然相当严重。燃气发电的污染比燃煤发电要轻得多：它的二氧化碳排放量比煤炭低 43%，二氧化硫排放量不足后者的千分之一；但与清洁能源相比，显然还是有害于环境的，而其发电成本明显高于燃煤发电。由于天然气供应条件改善、价格相对下降又相对清洁，2013 年以来，我国燃气发电的开发提速，政府连续出台激励政策，当年年底燃气发电装机容量超过 4 500 万千瓦，约占全国装机总量的 4%；按照国家规划，“十二五”末将达到 5 600 万千瓦。

（2）核电。这里所说的核电是指利用核裂变所释放出的热能加热淡水所进行的发电形式。除了燃料不同，核电与火电在发电原理上很相似。但核电对燃料数量的要求比火电低很多，从质量（俗称重量）上看大约只有后者的几百分之一甚至更少。它的燃料费用、运行费用也低很多，正常情况下对环境的污染极低。其缺点为：一旦发生核泄漏，核电的放射性污染是灾难性的。虽然发生核辐射的概率极低，但如果发生，它对人体、生命、生态和环境的污染比任何其他电源都严重得多，而且历史上已经发生过多次。2011 年 3 月，日本发生的大地震及其导致的海啸和福岛核电站核泄漏成为最近、最严重的典型。目前，核能的能源转化率也依然不高。

（3）风电。风电是指利用风力发电，有陆上风电和海上风电两种。据估计，地球上可开发的风力资源约是水能的十倍之多。风电不仅像水电一样可再生，而且几乎完全不污染环境，也基本不破坏生态，因此是目前发展最快的发电方式之一。其不足之处：一是具有典型的间歇性；二是普遍规模较小；三是技术尚不成熟；四是成本明显偏高。

（4）光电。准确地说，它叫光伏发电，是太阳能发电的一种。目前把太阳能转化为电能还有一种途径：光热发电，我国政府和国际社会对光热发电的未来有很高期待。但目前光热发电的成本很高，即便对最成熟、最经济的槽式光热发电技术来说，每度电成本也不低于 1.2 元每千瓦时（而北京市居民生活用电价格还不到 0.6 元每千瓦时），因此它的发展很慢，本书不予研究。在本书中，光电单指光伏发电。光电的优缺点与风电相近，只是间歇性略好于风电，但目前更“贵”。由于太阳能在可以预见的将来是取之不尽的，而且开发技术进步很快，因此可以预期，未来包括光电在内的太阳能发电将越来越成为清洁能源的重要组成部分。

（5）生物质能发电。顾名思义，它是利用生物质能而进行的发电，主要是用农林、生活乃至工业废弃物直接燃料发电，是可再生能源发电的一种。其优点显然是直接有利于环保，只是因为成本偏高、技术尚不成熟等原因，目前能够生产的电能有限，在

电力总量中的占比很小,因此本书不予研究。但在节能减排国策的推动下,近年来我国生物质能发电发展相当迅速:2013年装机容量已经达到850万千瓦时,当年发电量高达320亿千瓦时(后者远远超过光伏发电的80亿千瓦时)。把废弃物转化为能源并非只有发电一种用途,目前我国实用的生物质能源转化技术有:源于秸秆的直燃发电,源于稻壳和木屑的生物质气化发电、产汽或供热,源于畜禽粪便和工业废水废渣的各类沼气生产,来源于粮食的生物质乙醇生产,来源于地沟油的生物柴油生产,源于城市固体垃圾的发电等。在国外,生物质“垃圾”涵盖范围更广:林业废弃物如树冠、树皮、树油,家具制造过程中的木屑,畜禽粪便,工业废渣废水,城市有机垃圾如污水处理厂的污泥、超市过期的食品、居民生活垃圾中的有机垃圾、餐馆厨余垃圾等,都成了生物质能发电的原料或燃料。

1.1.3 主要能源

目前,人类大规模开发利用的常规能源,主要有煤炭、石油、天然气和水力以及前面涉及的风能、太阳能,近年来又开始大规模开采一种特殊的天然气——页岩气。我国化石能源储量最大、开采最容易的是煤炭,因此煤炭是我国第一大能源。2014年2月初公布的国土资源部重大项目“全国煤炭资源潜力评价”显示,我国煤炭资源总量5.9万亿吨;其中,圈定预测区2880个,面积近45万平方千米,预测资源量3.88万亿吨。2013年全国原煤产量为37亿吨,同比增长5000万吨、1.3%,总量超过全球的50%;与此同时,煤炭净进口3.2亿吨,同比增长14%。当年全国石油总产量为2.1亿吨,同比增长1.8%。我国石油资源有限,但石油在交通运输等行业必不可少且需求十分旺盛,因此我国大量进口石油。2013年全年累计进口原油2.82亿吨,同比增长4.03%;出口原油162万吨,同比下降33.3%;当年石油对外依存度已高达58.1%。天然气也是我国重要能源之一,2013年全国天然气产量1209亿立方米,同比增长9.8%,但对外依存度也达31.6%。煤炭、石油和常规天然气是众所周知的,此不赘述,只扼要介绍一下页岩气。

页岩气是一种赋存于泥页岩中的非常规天然气,其成分以甲烷为主。页岩气的发现,为人类打开了一扇新的能源大门,也令全球的能源结构、价格机制、气候政策受到重新审视。2012年3月,我国发布了《页岩气发展规划(2011—2015年)》,这标志着我国大规模开采页岩气进入新的历史阶段。与煤炭、石油相比,页岩气有如下优势:

(1) 蕴藏丰富,分布广泛。2012年7月美国能源署所公布的数据表明,全球的页岩气技术可采资源总量约为187万亿立方米,其中中国总量为360825亿立方米,约占全球总量的20%,排名世界第一(但我国国土资源部初步普查得出的结论是,我国可采页岩气资源为25.08万亿立方米,与美国相当);美国本土为24万亿立方米,约占13%,排名第二;紧随其后的国家为阿根廷、墨西哥和南非。“十二五”末,我国页岩

气产量可望达到每年 65 亿立方米；2020 年可望达到 600 亿立方米，成为化石能源的支柱之一。

(2) 价格较低。21 世纪以来，美国页岩气的开发成本已经累计下降 85%，促使天然气价格大幅下降，燃气电厂成本已经力敌传统燃煤电厂。2011 年，全美燃煤发电量下降 19%，而燃气发电量增长 38%。目前，我国页岩气的每米直井和水平井的成本分别为 2 万美元和 3 万美元，打一口 3 000 米深的气井，需要投入超过 3 亿元人民币^[4]，但这项成本有望迅速下降。

(3) 相对清洁。燃气发电的二氧化硫排放量只有燃煤发电的一半，当然，这仍然远远高于水电、核电等非化石电源。

问题在于，页岩气毕竟是不可再生能源，其开发技术尚不成熟，成本仍然比较高。未来，它在一定程度上有望替代部分煤炭、石油乃至常规天然气；但与非化石能源特别是可再生能源相比，仍存在固有的劣势。而且事实上，开发利用页岩气也在一定程度上会污染或破坏环境。例如，开采页岩气的水力压裂法往往产生大量污染环境的废水（包括污染地下水），页岩气开采气井密集地区的空气污染严重，页岩气燃烧发电本身也会产生一定的二氧化碳和其他有害气体。研究表明，我国要完成《页岩气发展规划（2011—2015 年）》中提出的 600 亿~1 000 亿立方米的年产量，需要打 2 万口生产井（不包括实验井和未获取工业气流的矿井）。如果以单井用水量 19 000 立方米计算，预计需要 3.8 亿立方米的水，这相当于 1 266 万城市人口一年的用水量。而且我国的主要页岩气矿区多分布在人口相对密集的区域，如四川盆地；或者是严重缺水的地区，如塔里木盆地。页岩气开采将会给矿区带来一系列的问题，如抢占农业用水和居民生活用水，危及脆弱的生态环境。

1.1.4 水电综合价值

马克思主义政治经济学认为，所谓价值，是指凝结在商品中的一般的、无差别的人类劳动。这种观点受到了很多质疑：为什么没有人类劳动凝结的自然物如土地、矿石、煤炭也有价值？为什么商品交易双方当事人的主观评价对商品的价格有很大影响？股票内含的“抽象人类劳动”并未在短时间内发生巨大变化，为什么人们愿意以波动很大的价格迅速进行买卖？针对此类问题，有人重新定义了“价值”：价值就是物品内含的人的需要^[5]，它反映了人与客观物品的这样一种关系——人对客观物品的需要使其获得了价值属性，或者反过来说，客观物品因人的需要而有价值。一种物品的价值的大小，称为这种物品的价值量。

从本质意义上讲，本书所称价值，是指作为商品的水电和其他重要电源（火电、风电、核电、光电等）“内含的人的需要”。这种价值既包括商品（电源）中凝结的人的一般劳动，也包括具有一定商品属性的相关自然物品（比如生产电源所需的原料、