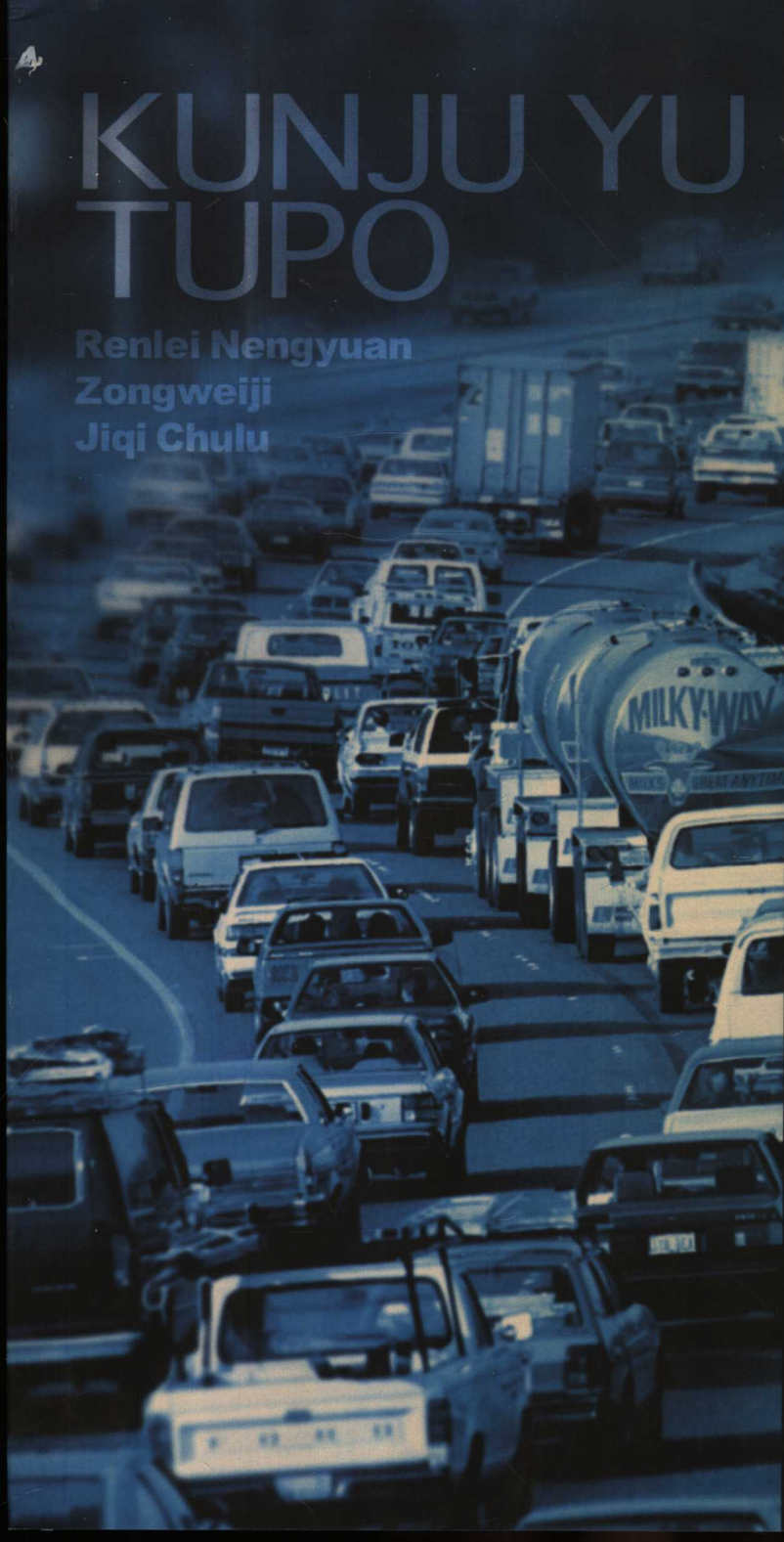




KUNJU YU
TUPO

Renlei Nengyuan
Zongweiji
Jiqi Chulu

困局与突破

——人类能源总危机及其出路——

董崇山 著

KUNJU YU TUPO

人民出版社

——人类能源总危机及其出路——

董崇山 著

困局与突破

KUNJU YU TUPO

人民出版社



责任编辑:崔继新

版式设计:程凤琴

责任校对:夏学娟

图书在版编目(CIP)数据

困局与突破:人类能源总危机及其出路/董崇山著.

-北京:人民出版社,2006.7

ISBN 7-01-005620-X

I. 困… II. 董… III. 能源经济-经济发展战略-研究
IV. F407.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 061787 号

困局与突破:人类能源总危机及其出路

KUNJU YU TUPO;RENLEI NENGYUAN ZONGWEIJI JIQI CHULU

董崇山 著

人民出版社 出版发行

(100706 北京朝阳门内大街 166 号)

北京建筑工业印刷厂印刷 新华书店经销

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

开本:880 毫米×1230 毫米 1/32 印张:13.25

字数:301 千字 印数:0,001~5,000 册

ISBN 7-01-005620-X 定价:26.00 元

邮购地址 100706 北京朝阳门内大街 166 号

人民东方图书销售中心 电话 (010)65250042 65289539

序 一

能源战略开创性的力作

摆在我们面前的是一部能源战略科学著作,是一项开创性的科研成果。在这部著作中,作者董崇山先生提出了一系列重要的新见解。作者认为,进入 21 世纪后,人类社会出现的能源危机是能源总危机;人类使用能源,特别是使用化石能源,所释放出的大量热量,排放的大量温室气体以及森林大面积减少,这是气候变暖的三个基本原因;未来,可燃冰和核聚变能开发成功,可能把人类社会推向冰气能时代和核聚变能时代;然而,它们都不过是能源发展的过渡阶段;太阳能将成为人类社会的终极能源,人类社会必将进入太阳能时代;只有开发和利用太阳能,才能避免今天和今后人类使用各种能源、特别是化石能源所带来的种种严重危害;只有开发和利用太阳能,才能使人类与大自然全面地协调发展;未来社会的能源结构是太阳能、电能和氢能;那时是原能的太阳能时代,递能的电能时代,燃能的氢能时代。

能源科学区分为能源战略科学和能源技术科学。解决人类的能源问题,最终要靠能源技术科学。但是,只有能源战略科学才能为能源技术的发展指明方向。《困局与突破:人类能源总危机及

其出路》不是研究能源技术的，它是阐明能源利用发展规律的著作。

作者从能源发展史的事实中，揭示了能源发展的客观规律，预示着今后能源发展的趋向；并以战略研究的前瞻性和科学性相结合，通过对可再生能和非再生能开发利用的难易程度、能量强度、储量大小、再生强度、成本效益，以及对环境影响等诸因素，作了全面的分析，得出结论：太阳能必将以其巨大的能量和强大的再生性、永久性、洁净性、经济性、安全可靠性等而为其各种能源所无法比拟，从而人类必将进入太阳能时代。我们认为，这个基本结论是客观的、正确的，是具有说服力的。

作者在纵览大量文献的基础上，提出只有全面开发和利用太阳能，才能保持自然界二氧化碳平衡、热平衡、氧平衡、水平衡、土平衡和生态平衡等自然平衡，从而才能从根本上解决人类大量使用化石能等一切能源所带来的种种危害和严重危机。太阳能时代必将给全人类带来福音。这是一个宏大的设想，令人信服，令人鼓舞。

作者对人类进入太阳能时代之前所需要解决的开发和利用能源等一系列关键技术问题，作了可行性或可能性的分析和论证，这些分析和论证是比较客观的和具有说服力的。

作者对通向太阳能时代的必然性和路线，制氢的基本发展趋势和汽车业的发展趋势，做出了预见，这些推理是有根据的，是符合逻辑的。

综上所述，我们认为《困局与突破：人类能源总危机及其出路》设想宏伟，构思新颖，论理客观，综合性强，逻辑性强，构思合理，文笔流畅，是一部难得的好书。它将对全球新能源的开发和利用，对人与自然协调发展的战略决策具有深远的指导意义。

同时，我们也认为，这部著作在某些方面论述还不够充分，还

有一些缺点和错误。有些观点还需要继续研究和推敲。

我们正在建设社会主义和谐社会,而建立人类与自然界的和谐关系,是建立和谐社会的一个基本前提。人类全面开发和利用太阳能,尽速奔向太阳能时代,这是建立人与大自然和谐关系的一个最基本的保障。开发和利用太阳能,可以说是体现人与自然界和谐相处的最佳选择。

能源问题与人类社会发展的关系越来越重要,人类对能源的开发和利用将会对人类社会和人类的生存环境产生越来越严重的影响。能源的今后发展方向是决定人类社会能否更好地生存下去的重大问题。因此我们应当更加重视对能源战略科学进行研究,其意义十分重大,而且势在必行。

我们真切地希望,有众多能源研究者投入到能源战略科学的研究中,能对《困局与突破:人类能源总危机及其出路》所提出的一系列重大问题进行更深入的研究和讨论。人类进入太阳能时代,必将引起生产、生活方式和设施的改革,进而引起一次以太阳能为标志的技术革命。所以,它对经济和社会的影响将是极其深刻的。我们希望,有更多的自然科学、技术科学和社会科学工作者都来关注和研究,以迎接太阳能时代的到来。

我们认为,《困局与突破:人类能源总危机及其出路》是一项开创性研究的重大成果,是中国乃至世界迄今为止论述太阳能时代的第一部专著。我们相信,它的出版,将会引起国际社会的重视。

任 湘 孙 斌 杨纪明 王 涛
刘洪滨 孙茂智 江希年

2005 年 4 月 19 日

序 二

迎接即将到来的太阳能时代

——纪念伟大的物理学家 A. Einstein
发现光电效应 100 周年

中国科学院院士 何祚庥

董崇山先生撰写了一本很有意义的新书,《困局与突破:人类能源总危机及其出路》,并希望我能为这本书作一序。非常凑巧的是,最近“为纪念伟大的物理学家 A. Einstein 发现光电效应 100 周年”,我也撰写了一篇《迎接即将到来的太阳能时代》的文章。由于“所见略同”,在征得董崇山先生同意后,欣然将这一短文转呈董崇山先生,并以此代序。

(一)引言

今年(2005 年)是联合国大会所确定的“国际物理年”,也是伟大的物理学家爱因斯坦逝世 50 周年,同时也是爱因斯坦发表他的著名理论,狭义相对论的 100 周年。狭义相对论深化了牛顿所奠定的牛顿力学,深化了牛顿所提出的时空观,从而影响到当代物理学的各个领域。人们公允地认为这是物理学领域里的大突破,亦即由宏观低速运动领域的突破,进入到宏观高速领域的突破。

这一突破的重要的后果之一,是爱因斯坦首先发现了质量能量等价公式, $E = mc^2$,并为人类利用原子能指出了方向。

但是,在今年的“国际物理年”纪念爱因斯坦的许多贡献之际,我想特别值得向社会公众推荐的是爱因斯坦的另一伟大的发现,光电效应的发现。1905年3月17日,在德国出版的 *Annalen der Physik*, Leipzig, 17(1905)132 页上发表了用量子论来解释光电效应的第一篇论文,接着又在 1906 年 3 月在 *Annalen der Physik*, Leipzig, 20(1906)199 页上发表有关光电效应的第二篇论文。正是这两篇论文使爱因斯坦获得了 1921 年度的诺贝尔奖。为什么爱因斯坦获得诺贝尔奖的项目,竟然不是狭义相对论?这主要是因为当时有一些人反对相对论。但是,人们普遍认为爱因斯坦对人类最重要的贡献是相对论!可是,在我们今天纪念爱因斯坦逝世 50 周年之际,我更想讲的爱因斯坦贡献,却不是相对论,——虽然我是一位理论物理工作者,——而是光电效应。

首先,这仍然是对理论物理学的基本贡献。因为正是爱因斯坦以对光电效应的科学的解释而首先支持并发展了普朗克的量子假说(注:有兴趣的是,普朗克本人直至 1913 年还反对爱因斯坦等人对光电效应的解释,但却一开始就支持狭义相对论!)。其次,正是爱因斯坦在这两篇名文中首先提出了有关光的波粒二象性的观点。第三,到了 1916 年,又在一篇名为“关于辐射的量子理论”的文章 (*Mitteilung der physikalischen Gesellschaft Zurich*, 18, (1916)47) 里,首先提出,“当一个物体辐射出能量 ϵ 是朝着同一个方向辐射的,那么这个物体就受到一个反冲(冲量) ϵ/c ”,亦即明确地说光子既具有能量,也有动量。而尤为重要,此文还第一次提出了受激辐射理论,这成为激光物理和激光技术的基础。此外,爱因斯坦还把量子论应用到固体比热的问题,爱因斯坦还和

玻色一起提出了玻色——爱因斯坦统计。这成为现代物理热门问题之一,玻色——爱因斯坦凝聚研究的开端。1935年,爱因斯坦又和玻多尔斯基、罗森合写了一篇讨论“量子实在”问题的名文,提出了所谓“EPR 佯谬”,亦即现在所极为热烈讨论的,量子纠缠态的概念。也许人们能在未来将这种量子纠缠态真正发展为量子通讯。所以,爱因斯坦在量子论以及后来的量子力学的开拓和发展上也是建立了巨大的功勋的。虽然人们通常把量子论的提出归之于普朗克,而如果我们从以上所举一系列的爱因斯坦在量子论方面的功勋来看,如果没有爱因斯坦,就不会有完整的光的量子学说的建立。

(二)我们今天将从另一角度,亦即从应用的角度来看光电效应对人类的贡献

光电效应是有广泛应用前景的一种物理效应。最为直接的一项应用,是光电倍增管,这已成为测量光子能量和动量的标准器件。在日本神冈地区探测中微子的地下大型实验室中,用的就是这种特殊设计的大型光电倍增管。光电效应还是决定辐射热传导过程的最主要因素。在原子弹和氢弹理论所用到的辐射流体力学中,要从理论上算出其热传导系数的大小,其中最主要的过程,就是精确计算光电效应的贡献。

但是,在光电效应的诸多应用中,当前最值得关注的是太阳能光电池。

在阿特·霍布森教授所著《物理学:基本概念及其与方方面面的联系》一书的450—451页中,曾经给出一个扼要的对太阳能光电池的原理的叙述并提供一个简图:

光电池利用光电效应(第13.2节)将太阳辐射直接转换成电

流。这种电池是用硅等半导体做成的,半导体的电性能介于导体和绝缘体之间。一般情况下,半导体的行为与绝缘体相同:很难使其中的电子流动。但是,如果给半导体中的某些电子一点能量,这些电子就很容易流动,像在导体中一样。由于这些性质,半导体成为现代电子技术的基础。

在光电池中,光提供能量使电子进入传导状态。一个典型的电池由两层薄硅片组成,两层硅片用不同方法制成。因此具有不同的电性质,分别称为 n 型(negative,负)和 p 型(positive,正)(见附图一)。它们的差别在于各自掺入了不同种类的非硅“杂质”原子。n 型半导体中的杂质原子的每个原子含有的半导电电子比硅原子多。p 型半导体的杂质的每个原子的半导电电子比硅少。

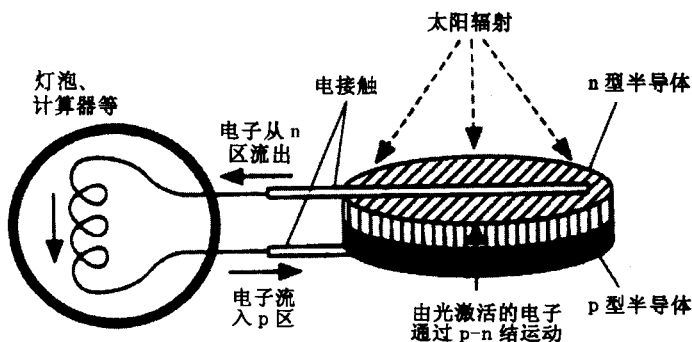
设两层硅片简单地叠在一起,没有任何外部电接触。由于杂质的存在,作用在每一层内的微观力使电子迅速从 n 型(开始时电子较多)流向 p 型硅(电子较少)。在远小于 1 秒的时间内,这一过程就在 p-n 界面(两层硅片之间的结)上建立起一个足够强的电场。使电子停止流动。

如果光照到两层硅片上,两层硅片仍然没有外部电接触,光电效应就会给予某些电子能量,使它们越过 p-n 结从 p 侧向 n 侧回流。这时 n 侧就像开路电池的负端,而 p 侧就像正端。现将这个小“电池”连接到一个外部用电器件上,如图一所示。于是,被推到 n 侧接受能量的电子就会通过导线流回 p 侧。当电子到达 p 侧后,光继续激活电子,使它们越过界面从 p 侧流向 n 侧,形成一个电子流动的完整回路。p-n 结就像是一个由光激活的电池。

非常重要的是:如果将“一组光电池连接起来,就可以提供一个大电流”。

这种电池构成的电池组能够向集中的电网供电,也可以直接向单个建筑或电器设备供电,特别是在那些很难与中央电网接上的边远地区(图一)。这种资源的发展方兴未艾,在大规模发电中将越来越具有竞争力。

附图一:光电池的工作原理。电池厚如一个一分硬币(1毫米)。由于两种半导体具有不同的微观性质,被光给予能量的电子越过 $p-n$ 结从 p 侧流向 n 侧。这些电子然后可以接着流过一条外部电路。 $p-n$ 结的作用就像一个电池。



为什么《物理学:基本概念及其与方方面面的联系》一书对这一太阳能光电作如此高的评价?一个重要原因是:由于这些年来人们对太阳能光电所做的努力,已经使多晶硅光电转化率达到了 15%,单晶硅光电转化率是 20%,砷化镓光电是 25%,在实验室中特制的砷化镓光电甚至已高达 35%—36%!与此同时,世界各国都在大力鼓励太阳能光电产业的发展。据 2004 年 12 月 31 日《科学时报》报导,“日本 1992 年启动了‘新阳光计划’,同时颁布了新的净电计量法,要求电力部门以商品价格购买

光伏电量,并实行强补贴政策等。而今日本成为世界光伏发电最大的市场,光伏产业 2002 年生产能力增长了 47%,2003 年增长了 45%;2003 年日本光伏组件生产占世界的 50%,世界前 10 大厂商有 4 家在日本。德国新可再生能源法规定了光伏发电上网电价,大大推动了光伏市场和产业发展,使德国成为继日本之后世界光伏发电发展最快的国家。”而在国际市场上,“目前太阳电池的价格大约为每瓦 3.15 美元,并网系统价格为每瓦 6 美元,发电成本为每千瓦小时 0.25 美元。”也就是说,太阳能光电系统的发电成本,约为 1996 年美国煤电成本 4.8—5.5 美分/千瓦时的 5 倍。注意到太阳能光电池的发电成本在沙漠地区和日常生活地区在日照时间有较大差别,所以,实际上现有太阳能光电池的成本约是煤电成本的 5—8 倍。5—8 倍!在当前条件下,显然没有市场竞争力!但是,太阳能供电仅仅和煤电的供电成本相差 5—8 倍,这预示着,人类大规模利用太阳能的时代,即将到来。

煤是全程污染的能源。在煤的开采、运输、利用的过程中,都或者有废渣、废水,或者有废气的排出。所以,在计算煤的发电成本时,就不仅要计算它的内部成本,还要将外部成本,亦即要将社会对污染环境所付出的代价计算在内。在欧洲的一项历时 10 年的研究结果表明,煤电的外部成本将高达 2—15 欧分/千瓦时,由此可算出煤电的“内部成本 + 外部成本”将是 7.3—24.25 美分/千瓦时,亦即比煤电的 5 美分/千瓦时上升 50%—350%!所以,如果太阳能光发电的成本能够下降到 10 美分/千瓦时,就将有巨大的经济效益!

(三)太阳能光电池将有多少降价空间

以目前的多晶硅的光伏发电产业成本来估计:现有多晶硅光

电转化率约为 15%,在未来有可能上升到 20%。现有太阳能光伏电池的厚度约是 280 微米,如果能改进它的切割方式,有可能降至 140 微米,即材料利用率提高一倍。现有硅多晶体的材料大多是来自半导体纯的硅多晶体的边角材料。半导体纯的多晶硅的纯度往往要求至少是 7 个 9,甚至是 14 个 9,而光伏电池仅要求有 6 个 9,亦即现有光伏电池的多晶硅材料制作费用较高。所以,如果能设计 6 个 9 的多晶硅的专用生产炉,那么多晶硅制作成本还可能再下降一半。所以,有许多人纷纷看好太阳能光伏电池的未来。认为到了 2020 年,光伏电池成本将由现在的 25 美分/千瓦时下降到 10 美分/千瓦时,也有人认为到 2010 年即能下降到 10 美分/千瓦时。

(四)一个新的设想:“价廉物美的定日镜 + 高转化率的聚光光电池 + 高效率的散热体系”,能否大幅度降低太阳能光发电成本

在现有太阳能光电池的发电模式中,多数采用方位固定的大面积的平板式光电转化模式。这一模式的广泛利用,有赖于有大规模的廉价的并有一定转化率的光电池的供应。但是,如果能有高转化率的聚光光电池供应,亦即这一光电池不仅在通常太阳光的辐照下能维持 25%—35% 的光转化率,而且能在聚光条件下,如将太阳光聚光 300—700 倍,仍能维持较高转化效率和较长使用寿命的话(当然,这一聚光光电池必须伴有一效率较高的散热系统,否则会被太阳烧蚀!),将能期望用较少量的聚光电池,获得较大的光伏电能。现在在国际市场上已出现有这种聚光电池,其价格约为普通光电池的 5—10 倍,其光电转化率却高达 30%。如果人类能大规模生产这种聚光光电池,那么太阳能光发电的成本,将

主要转移到能跟踪太阳旋转的聚光镜,又称为定日镜的制作和运转的成本上。所以,人们将能期待“价廉物美的定日镜+高转化率聚光电池+高效率的散热体系”的发电模式,能比现有大面积平板式光伏电池有更大的降价空间。

不幸的是,现有能跟踪太阳旋转的定日镜却是价格十分昂贵的高成本的运转体系!

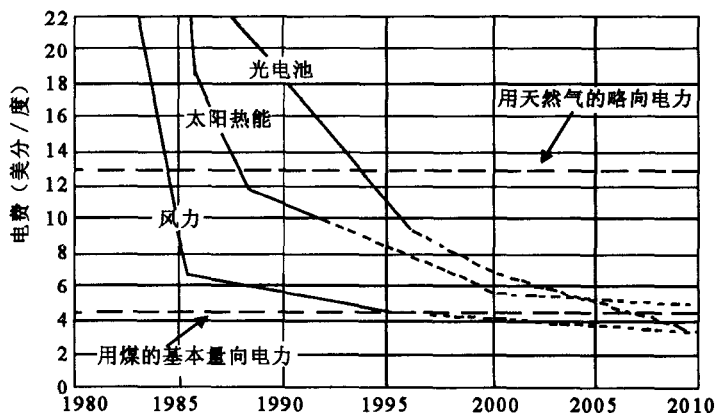
太阳能发电还有另一种模式,太阳能热发电,亦即利用太阳能转化出的高温状态下的热能,利用蒸汽涡轮式或空气涡轮转化为电能,其转化效率可高达40%—60%。太阳热发电的前提是必须有高效率的能跟踪太阳的聚光镜。但现有的一些太阳能热发电的试验站中,这一聚光镜的成本或建造费用却至少占整个电站的成本一半以上!有兴趣的是,据张耀明院士在2004年12月15日在《经济日报》上的谈话,“我们的定日镜性能与国外相当,且已获得中美两国专利,而成本却只有国外的几分之一”。“国产定日镜的面世,将使太阳能热发电站的投资大幅降低,从而加快其发展步伐。”

但是,现在在国外发展的定日镜,毕竟还是一个规模较庞大的体系!极有兴趣的是,新近由国外归来并在中国科技大学任教的陈应天教授却发明了一种新型的定日镜。这一定日镜的镜面,能对任何方位太阳光的入射,均能有效地消除由镜面设计的缺陷而造成的像差,而且这一定日镜体系还能有效地跟踪着太阳的旋转,并且其控制体系将能由通常定日镜所需二维控制降为只需进行一维控制!这就使得人类对于太阳能的利用,出现某种新的可能,亦即由于太阳能聚光镜成本的大幅度降低,从而获得比煤电发电内部成本更为低廉的电力。

在《物理学:基本概念及其与方方面面的联系》一书的453

页,更给出了一个有关太阳能发电成本和化石燃料发电成本的一个比较。其中实线是现实成本,虚线是预测成本。

附:图二 太阳能发电成本和化石燃料发电成本比较

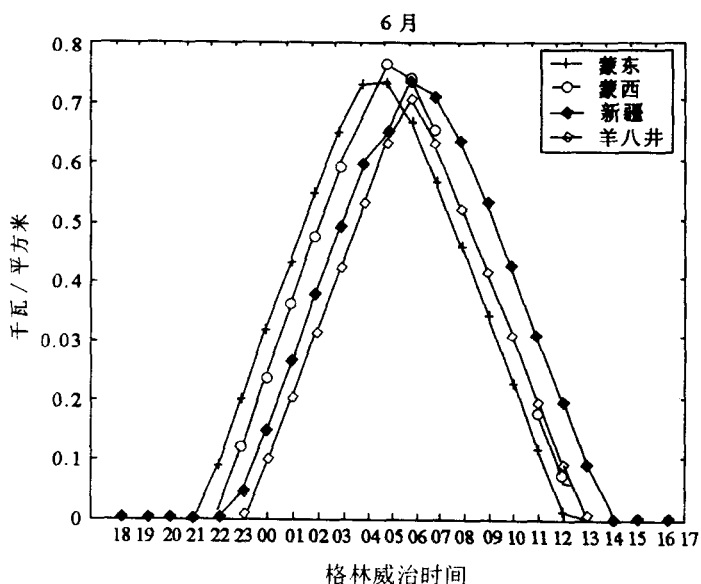


从“时间”轴上看,这一“比较”的预期并未真正实现。但这一比较预示太阳能发电有较大降价空间。尤其是太阳能光伏发电比太阳能热发电有更为迅速的价格下降的空间,而且还可能下降到比煤发电成本更为低廉!问题是我们将如何“促其实现”。

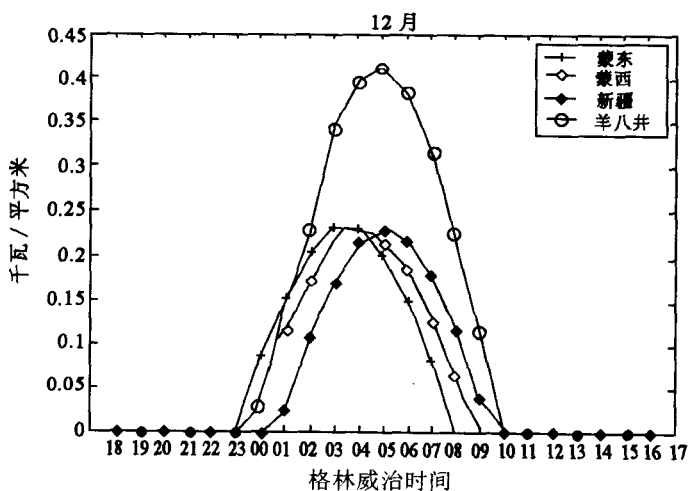
(五)一个需要认真探讨的问题是:中国有多少太阳能资源

一个简单的设想是:中国的沙漠地区将能集中地提供丰富的太阳能。我国现有沙漠约 52 万平方公里,有沙漠化土地 17.6 万平方公里,潜在沙漠化土地 15.8 万平方公里,三者共计为 85.4 万平方公里。大部分集中在内蒙古地区 and 新疆地区。在沙漠地的太阳能 6 月份和 12 月份将有如下的日变化曲线:

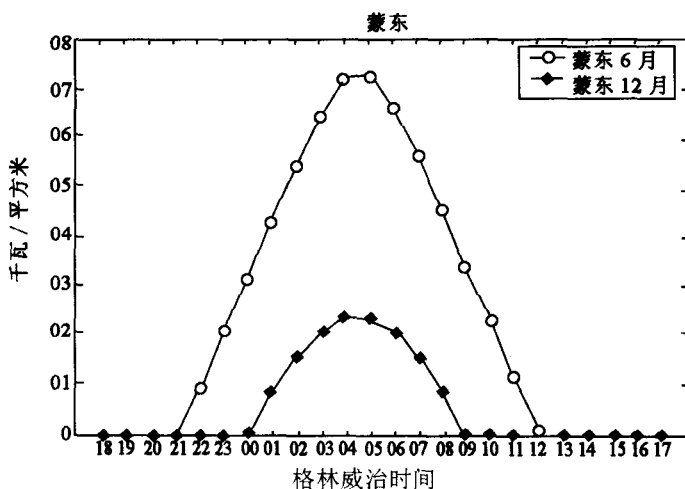
附:图三 六月份地表太阳能日变化曲线



附:图四 12 月份地表太阳能日变化曲线



附:图五 蒙东地区 6 月份和 12 月份太阳能日变化曲线的比较



据以上图三、图四、图五可得如下一些信息:(a)夏季6、7月份每天日照约有14—15小时,亦即从早上6点到晚上20点;冬季日照只有8—9小时,从早上8点到下午16点。年平均日照约为11—12小时。(b)夏季在正午时太阳光辐射能最大值是0.73千瓦/平方米,冬季是0.23千瓦/平方米。二者平均的峰值是0.48千瓦/平方米,有效平均功率将是 $1/2 \times 0.48 \approx 0.24$ 千瓦/平方米。(c)如果令太阳能转化为电的效率是15%,每平方米的面积将能提供约0.036千瓦的电能,其日平均将能提供 $0.036 \times (11-12 \text{ 小时}) = 0.4-0.43$ 千瓦小时的电能。

(d)如果沙漠地区每年有360天的日照时间,那么每平方米面积的沙漠,将能年提供约 $360 \times 0.41 = 150$ 千瓦小时的电能。(e)85.4万平方公里的沙漠将能年提供 $85.4 \times 150 \times 10^{10} = 1.28 \times 10^{14}$ 度电。以火力发电的年运转时为6400小时来计算,