

人类即将迎接太阳能时代

何祚庥* 陈立泉

(理论物理研究所 北京 100080)

关键词 太阳能,推荐,建议

最近,中国科学技术大学陈应天教授撰写了一篇题为“从几百个太阳到上万个太阳”的文章,这篇文章有科学论据、实验结果和成本核算,以及对未来发展的构想,从而展示出人类将迎接太阳能时代的一种前景。为此,我们热心向中央领导、主管部门、社会公众推荐这篇文章,并据此提出建议。

陈应天教授经长期研究,发展出新型数码光学理论和自动跟踪集聚太阳能光伏发电技术。该技术跟踪聚光极为精密,而且制造非常简单,运行持续稳定,得到世界上有影响的天文学家、太阳能专家的高度赞赏。这种技术不仅给太阳能聚光的高效性、经济性利用开辟了一条全新的途径,还可以广泛应用于一系列科研、工业、通讯、安全、国防等领域。

目前,陈应天教授已研制出太阳光发电原理型实验样机。该样机利用了新型跟踪聚光原理和技术,系统运行完全由软件自动控制,用玻璃镜把阳光集中到面积很小的高性能光伏电池面上,光伏电池接收约300个太阳光强,同时输出+600瓦的电力和2吨温度为60℃—70℃的热水。以该装置的寿命为10年,年日照3000小时来计算,这一装置的发电成本约为每度电0.7—0.8元,亦即仅比火力发电、水力发电上网价格高1倍。如注意到控制系统、运转系统和冷却系统的总耗能仅占输出能量的5%,且这一原理性的装置,仅仅是初步的实

验结果,其发展前景不可估量!

当前世界各国都在鼓励太阳能光电产业的发展。据2005年1月20日《人民日报》报道:世界光伏发电从1998年的154.9兆瓦增加到2003年的742.28兆瓦,年均增长率为36.8%,已超过风力发电的平均上升速度。2004年,全球光伏组件产量是7年前的10倍。

日本于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多余的光伏电量,并实行补贴政策。日本居民光伏屋顶系统最近5年平均年增长率为96.7%,日本光伏产业2002年生产能力增长了47%,2003年增长了45%。2003年底,日本总共安装887兆瓦,政府计划2010年总计安装4820兆瓦。德国对可再生能源的利用通过立法、政府大量补贴等措施,使德国成为继日本之后世界光伏发电发展最快的国家。由于投资回报率高达10%,远高于其它产业,因此光伏产业快速发展。从1999年到2003年德国光伏市场增加了10倍,成本下降20%。2004年新安装的并网发电系统大约200兆瓦,总销售额超过10亿欧元,就业人数约1.5万人。英国于2002年也制定了可再生能源法,该法强制所有电力供应商在3年内,至少提供3%的可再生能源的电力,2010年可再生能源电力要达到总电力的10.4%。

虽然太阳能光伏发电在发达国家正受到特殊重视,但“太阳电池的高额成本仍是制约光伏发电大规模应用的主要因素。”据2004年

* 中国科学院院士,理论物理研究所研究员
 收稿日期:2005年6月10日

12月31日《科学时报》报道,中科院电工研究所马胜红研究员分析说:“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,发电成本为每度0.25美元。在我国,完全商业化运作的并网光伏发电上网电价大约为每度电3.4元,尚无法同火电、风电等竞争。预计到2010年,光伏系统发电成本才有望下降到每度电0.8元左右。”但也有有人认为可能要到2020年才能降到这一价格。

太阳能发电的成本如此高是因为目前的太阳能发电大都属于平板固定式晶硅光伏发电设备,其优点是:安装和维护方便,特别便于安放在屋顶和墙面。然而它存在两个困难:第一,使用时,1平方米的光伏电池只能接受1平方米的太阳光,光电转换效率平均最高约为15%。因这种光伏发电方式永远受到1:1晶片价格的限制,晶硅光伏电池造价昂贵,是光伏系统成本最主要的部分;第二,太阳光线入射角将随时间变化,这一余弦效应降低了光电转换效率,使得每天有效积分发电效率只有4%—6%,白白浪费了30%—50%的太阳光。长期以来,这些限制因素使得光伏电池发电成本约是2—3元/度,在短期内难以大幅度下降和实现大规模商业化。

近年来,一些发达国家竞相研发聚光光伏电池。其产品已做到在光辐照为300个太阳光照射的强度下,聚光光伏电池的转化效率仍能保持30%—35%的光电转化率。由于砷化镓的材料和制造工艺成本远大于硅电池,所以当前其同样面积的制造成本约为通常平板式光伏电池的100—150倍。如果乘上光照和效率的因子,可期望光电转化成本是通常晶硅光伏电池的1/4。但是,随着制造工艺的进展及其规模产业化,可期望能大幅度降低聚光光伏电池的成本。也不排除用硅单晶来制作聚光光伏电池,虽然其光电转化效率会低于砷化镓,但其单位面积所提供的电力的成本,也有可能大幅度降低。所以,如果人们能将太阳光聚集起来,照射到聚光光伏电池上,就有可能大幅度地降低发

电成本。但不幸的是这类能跟踪太阳的聚光镜,却是结构复杂、造价昂贵的一个庞大体系!

理论或原则上,可以设计出某一随时间而变化的,用 $n \times m$ 个小镜面将太阳光反射到任何一个指定的面积的跟踪系统,并得到较好的聚焦质量(即在任何时间内,其聚光光辐射的强度在光电池表面上均达到均匀分布)。但这样一来,就要求有 $2 \times n \times m$ 的控制元件和 $n \times m$ 个支撑系统。可以设法(如采用二步法,即将反射和聚焦分两个步骤来进行)减少其支撑结构,但仍要 $2 \times n \times m$ 个控制元件。这就构成了构造这类价廉物美的定日镜的困难。近年来,我国科技工作者力图创造出新的定日镜,并取得了可喜的进展。据2004年12月15日张耀明院士在《经济日报》上的一个谈话:“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,目前在外国得到较多关注的定日镜,毕竟还是一个价格比较昂贵的体系!

在“从几百个太阳到上万个太阳”一文中,陈应天教授用严密的数学分析证明:如果要求大幅度减少定日镜中子镜的数量和减少定日镜控制元件,亦即由 $2 \times n \times m$ 的控制体系,降低为 $n+m$ 的控制体系,并仍然得到质量较好的聚光面,就必须将传统的“方位角和高低角”的跟踪控制方式,修改为他所提出的“仰角和转动”的新的跟踪控制方式,并还要将通常使用的平面镜、棱形面镜,球面镜,抛物镜、超抛物镜等等,修改为他所特殊设计的,由较复杂数学公式所定义的特殊镜面。陈应天教授证明:满足上述要求的数学解答是存在的。并进一步证明:如果所控制的行和列的旋转都很小,特别是当太阳光聚光到焦斑的距离比定日镜大小大很多时,行和列的旋转可以近似地表现为直线运动,从而使定日镜的设计大为简化,其相应的控制体系和结构体系也可以大为简化,并可大幅度降低其建造成本。

这样一种新型的光发电模式,“价廉物美的定日镜+高转化率的聚光光伏电池+高效廉价散热供热系统”(注:聚光光伏发电,必须有散热系统,如何经济有效地利用其热量,也是一个待研究的课题),就成为极有前景的新型发电模式。

当然,如果有了价廉物美的聚光镜,不仅可以应用到太阳能光发电,也能应用到热发电,这需要请专家们进一步共同探讨其现实而经济可行的途径。

陈应天教授已经利用这一新型定日镜做出了一个小型装置,如果进一步将其简单地联结为某一大型光伏电站,可期望这一光伏电站的总价格为250万美元,输出功率为1兆瓦。以年运转2000小时计,其年产电能 2×10^6 千瓦小时。如果保守地估计装置寿命为12年,由此可得其相应的电价为每度0.1美元,亦即仅比国内每度0.5元人民币贵1倍!陈应天教授在文中说:“这一价格是现实已达到的。”(注:这里仍假设装置寿命是12年)。不排除这一发电模式,还有大幅度降价的空间。这就使得我们在能源问题上看到了新的希望:人类将提前迎接太阳能时代。

但是,太阳能光发电的弱点是:有太阳有电,无太阳无电。所以,太阳能光发电的体系还必须配以“安全长寿高效价廉的储能电池”。现在国内外都在大力研发储能电池。在众多的储能电池中,锂离子储能电池备受关注。在日本1992年启动的“新阳光计划”中,研究了两类锂离子电池,一类是用于驱动电动车辆的锂离子动力电池,另一类是用于家庭储电的锂离子储能电池。虽然这两类电池都可用来调节电力的“峰谷比”,“晚上蓄电,白天用电”,但对它们的性能要求除了安全和环保外,其它方面是有很大差异的。车辆动力电池要求有高的能量密度和高的功率密度(即在给定重量或体积中能储存尽量多的电能,并且能够在尽量短的时间内释放出去)。储能电池对这两项指标并不苛求,却要求有很长的使用寿命(日本“新阳

光计划”要求3500次)和很便宜的价格。日本的“新阳光计划”取得了成功,不久的将来,日本的千家万户,将购置锂离子储能电池,既可储存自家屋顶太阳能电池白天发的电,又可储存电网的低谷电,如果用电有富余的话,还可以返回电网,获得较高回报。

我国小功率锂离子电池产量已占国际市场的1/3。近年来,由于国家电动车计划的启动,对锂离子动力电池研究和开发有很大促进,已取得很大进展,正在商品化生产,以满足电动车大发展的需求。对储能电池,包括锂离子储能电池的研究才刚刚开始,还有很多基础工作有待开展。但由于有锂离子动力电池的研发基础,特别是一些关键材料是通用的,可以预期,锂离子储能电池的研发速度会很快。磷酸铁锂作正极的锂离子电池是极有希望的体系。磷酸铁锂是一种廉价和环境友好的材料,在所有已知的正极材料中,它的安全性最好。国内已掌握磷酸铁锂的生产技术。以磷酸铁锂作正极的锂离子动力电池循环寿命已超过800次。与此可对比的是,通常质量较好的铅酸电池的循环寿命是150—200次。锂离子电池隔膜对电池安全性和成本(约占电池成本的20%)有重要影响。可喜的是,我们已研究开发出具有自主知识产权的新材料,不仅安全性好,而且成本远低于进口产品。这就给人们一种新的希望,在3—5年时间内,中国将能制造出价格和铅酸电池相当的锂离子储能电池,但在重量上却至多是铅酸电池的1/4,寿命至少是铅酸电池的3倍,无一次污染,也无二次污染,无记忆效应,自放电率小于6%/月,是所有蓄电池中最小的。尤其是锂离子蓄电池的工作电压是3.4—3.6伏,正是我们大力推广的半导体白光照明中发光二极管的工作电压。而单体光伏电池的输出电压是0.46伏,根据很容易设计聚光光伏电池组件,适应储能电池和照明灯具的工作电压,而无需升压器和交直流转换器,从而节省光伏照明系统的总体成

(转至271页)