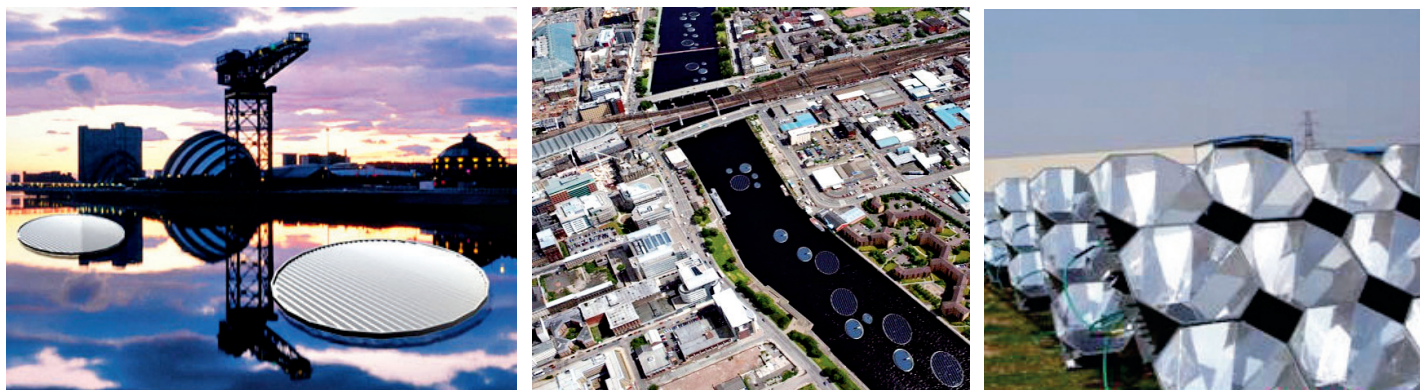


“第三代”光伏发电技术大有可为

○ 文 / 何祚庥



能源问题已经成为全球性的关注热点，而利用太阳能则是人类今后获取能源的主要方式。现在，世界上很多一流科学家、超一流科学家都开始转入太阳能的研究。诺贝尔奖获得者、现任美国能源部部长朱棣文教授，粒子物理研究的大名人、由于发现中间玻色子获得过诺贝尔奖的卢比尔教授等都在从事太阳能研究。在我国，“第三代”光伏发电技术的日趋成熟，已经成为太阳能应用的亮点。

最先进的光伏发电技术

中国政府于2009年11月26日正式宣布，到2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%至45%。应对“碳减排”的重要措施之一是大力发展光伏发电技术。而推动光伏发电技术的前提是降低成本，也就是在10至15年间，我们应该将光伏发电成本下降到可以和火力发电相竞争的水平。

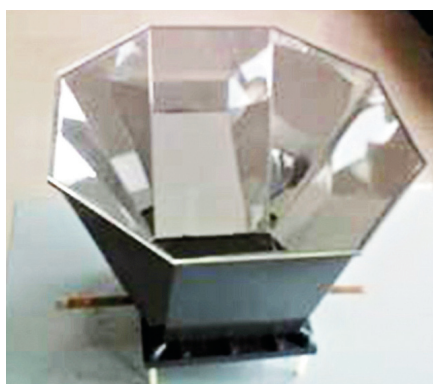
从国际发展的态势来说，当前光伏产业正由晶体硅发电为核心的“第一代”技术向硅薄膜或其他薄膜（如碲化镉、铜铟镓硒等）发电等“第二代”技术转变。由于薄膜的厚度仅为几个微米，所用材料仅为价格十分昂贵的晶体硅的1%，所以“第二代”技术的发电成本一般约为“第一代”技术的二分之一。

近年国内有关研究人员开拓出一种新型的光伏发电技术——“4倍聚光+跟

踪+太阳能炼硅+晶体硅（p型或n型）+薄膜”。这可以认为是“第三代”光伏发电技术，是当前最先进、发电成本最低廉的光伏发电技术。国外最近发布的有关未来光伏发电成本发展趋势的预测图也显示出，“第二代”光伏发电成本，约是“第一代”光伏发电成本的二分之一；而“第三代”光伏发电成本，即“4倍聚光+跟踪”技术的光伏发电成本，又将是“第二代”技术的二分之一。

2005年10月，“第三代”光伏发电系统首次安装在中国科学院理论物理所的楼顶，并成功发电。诺贝尔奖获得者李政道参观后称：“这是理论和实践的完美结合，对中国环保事业和新能源的利用将产生深远影响。”

现在有一种观点认为我国光伏产业存在泡沫，也有人一直都在质疑“第三代”光伏发电技术，其实，最大的问题



光漏斗的外形图

是技术创新问题。正如美国总统奥巴马一再宣称的：“在开发、生产、利用和节约能源的新技术方面，没有什么比创新更重要。”

发电成本下降到每度电0.51元

几百年的天文学研究早已得出地球围绕太阳公转和自转的高精密运行公式。把这些公式输入芯片，就可以使“光漏斗”高精度地追逐太阳，大幅度降低跟踪成本。

“4倍聚光+跟踪”光伏发电技术由两部分组成：4倍聚光技术和跟踪技术。“4倍聚光”技术是指将原本照射在4倍单位面积的阳光量集中照射在一倍单位面积上。因为仅要求4倍而不是高倍聚光，所以可用目前市场上有充分供应、价格较低廉的光伏电池，不必要求10~20倍或几百倍、质量难以保证、价格十分昂贵的特殊聚光电池。

4倍聚光的过程是通过陈应天教授所发明的“光漏斗”实现的。理论预期4倍聚光将输出4倍电力。实际上由于反射、吸收等原因，实测证明，在直射光

是4倍光强的条件下，光电池的输出是3.3倍。如果再加上跟踪装置，可比平板电池提高30%，发电量是4.3倍。同时，由于“光漏斗”能保证太阳光在光电池表面有均匀的光强分布，所以极大地减少了热应力的不均匀和受热量的不均匀。如果是市场上随便买来的劣质光电池，4倍聚光会扭曲成碗的形状。

太阳跟踪技术是“4倍聚光+跟踪”中的另一项技术。陈应天教授早年曾在剑桥大学进行过天文学研究。他受天文望远镜的启发，利用一个非常简单的方法，也就是天文望远镜跟踪的方法，摆脱了传统的太阳跟踪系统存在的难题。利用这一“4倍聚光”技术在内蒙古鄂尔多斯建造的205千瓦小型光伏电站，目前已安全、可靠、持续运行了两年多，只在安装调试早期有千分之一、二的“光漏斗”需要维修。据了解，鄂尔多斯205千瓦项目是2006年8月经国家发改委核准建设的，于2007年底建成并网发电，2008年1月26日进入商业运营。

此外，最近在安徽蚌埠研发的一台直径为35米的50kWp光伏发电机，经历了一场直径为1厘米的冰雹袭击，但全部结构安全运转，安然无恙。前不久，我们到甘肃武威地区，对陈应天所发明的50kWp的转盘式光伏电站，和863计划支持的500kWp平板式光伏电站的投资和运行做一比较性的考察。其结果是：这一转盘式光伏电站单位投资仅为平板光伏电站的1/3，而发电量则多出55%。

更令人感兴趣的是“4倍聚光”技术的发电成本。由于一块光电池已能发出4倍电力，这一50kWp并网光伏电机包括利税、土地、知识产权费用在内的总投资将下降到25000元/千瓦。如果此光伏电机使用寿命是25年，年平均发电1967小时（注：这是甘肃武威地区年平均日照时间），易算出以25年寿命计的这一光伏电机的平均发电成本是0.51元/度电。如果此光伏电机获得1.09元/度电的优惠上网电价，将在12年内收回全部成本。

对于0.51元/度电，有人不相信，但我认为是真实的。一个重要原因是：这一“4倍聚光”装置的散热片能保证均匀、有效地散去聚光带来的热量，其电池片的温度，比不散热的平板式光伏电池的电池片所具有的温度还要低一些。

世界首创“太阳能炼硅”

“太阳能炼硅”技术具有完全的自主知识产权，能大幅度降低能耗和制作成本，能完全消除污染，使高纯硅成为“绿色”产业的太阳能级的高纯硅，从而有足够的实力应对“碳关税”的挑战。

要大幅度降低用改良西门子法冶炼高纯硅的高耗能，减少由硅产业所产生的四氯化硅等产物所造成的重污染，其发展方向之一就是太阳能炼硅。在第三代光伏发电技术中，已研发出价廉、聚光高达10000~15000倍的太阳炉，其温度可达3500摄氏度，成本只有国外同类研发产品的1/30~1/50。这种太阳炉已被用于冶炼出太阳能级的高纯硅，而且将为高温光冶金、光化学的研究和发展提供新的工具。

目前，研究人员已做到将15000倍太阳光稳定地聚焦在某一固定方位，在约为一个乒乓球大小的空间内将温度上升到3500摄氏度，而其未将研发费用计算在内的成本仅为约20万元人民币。近来，陈应天教授又将上述定日镜扩展为8m×8m的镜面，制成相应的产品，出口到国外，其售价高达150万元人民币。但国外所研发的太阳炉，其售价却至少是150万元的10倍，在性能上也不如陈式太阳炉优越。

太阳炉是一种极好的、廉价的高温光源。目前已利用这一太阳炉先后在银川、鄂尔多斯和武威等地对太阳能炼硅进行了多次试验和反复改进。一个令人惊异的事实是：这一在10000倍太阳光辐照下的硅棒的持续冶炼过程，竟然仅在2~3秒钟内就能完成全部作业。工业硅所含杂质，或者气化，或者形成氧化



何祚庥

1927年生于上海，原籍安徽望江。1951年毕业于清华大学物理系，1980年选为中国科学院院士。早期从事粒子理论、原子弹和氢弹理论的研究，是氢弹理论的开拓者之一，也是中国两弹研制参与者之一。近年来，对伪科学、邪教的口诛笔伐以及对经济、社会问题以独特的视角观察得出的结论使之成为曝光率颇高的新闻人物。

物，萃取到由“相变”控温为1700摄氏度的高温氧化物混合物的液体中。

由于这种冶炼过程消耗的材料是2个9的工业硅和高凝土等一类氧化物，其售价仅为人民币5~10元/公斤，所用太阳炉却没有任何消耗。所以上述试验，包括压铸成棒等工艺过程所耗费的生产成本，仅为约20~25美元/公斤。一旦实现了这一生产过程的产业化，将完全可能下降到约10~15美元/公斤。

利用新型太阳炉生产多晶硅的新技术是世界首创。这种“太阳能炼硅”技术具有完全的自主知识产权，能大幅度降低能耗和制作成本，而且没有四氯化硅的污染，在国际市场上将有超强竞争力，并还有大幅度降低成本的空间。

由于现有“4倍聚光+跟踪”技术中的光电池成本仅占全部成本的1/3，如果这一太阳炉光照射的新型多晶硅的光冶金法获得成功，将有可能将上述使用寿命为25年的“4倍聚光”发电装置的发电成本再下降20%，由0.51元/度电下降到0.40元/度电。

目前，甘肃电力投资公司已决策应用陈教授所开拓的这一太阳能冶炼高纯硅技术进行试生产，正酝酿建立年产4000吨太阳能级高纯硅的生产基地，总投资为20亿元人民币。甘肃电投的这一决策导致国内不少要“大干快上”西门子法、硅烷法的企业纷纷转而持谨慎观望态度。原因是：国内已上马的高纯硅项目，预期产量已高达10万吨之多，将

在2~3年内形成严重的生产过剩；而一旦太阳能炼硅的产业化获得成功，现有的10万吨产业将面临十分尴尬的局面。

谁能抗衡美国“第一太阳能”？

国内将没有任何厂家能和“第一太阳能”竞争。惟一能竞争的技术，是“4倍聚光+跟踪”的发电技术。但这里也出现了一个争议很大的技术“路线”问题：薄膜还是“4倍聚光+跟踪”？

反对发展聚光技术的人认为，因为所有的聚光发电和聚光热发电系统，其本质都是用“廉价的聚光材料替代昂贵的半导体材料，而当半导体材料廉价到与聚光材料相近时，所有的聚光发电系统均没有生存的意义了”。尤其是前不久光伏领域的一个新动向似乎更加坚定了反对者的信心：全球最大薄膜太阳能电池组件研发生产企业——美国第一太阳能公司将在内蒙古自治区建设迄今为止世界上最大的人类使用太阳能项目。根据双方签署的谅解备忘录，双方将在内蒙古鄂尔多斯建设一座拥有2000兆瓦发电能力的太阳能光伏发电厂。

据“第一太阳能”资料宣称：“这一碲化镉薄膜电池片的成本为6.09元/瓦。”而各有关材料的综合分析均表明，其效率将达到11%。这应该是目前大面积碲化镉薄膜发电技术所能达到的最高水平，也是产业化后的各种薄膜技术所能达到的最高水平。2000兆瓦的发电能力在光伏产业里是一个十分巨大

的、实质性的数字，因为中国在可再生能源的规划中，光伏产业的规划数字就是2000兆瓦。可以说，仅“第一太阳能”就占领了中国光伏市场的99.9%！

这一次国内光伏企业的表现是集体失语，这也表明国内现在没有厂家能和“第一太阳能”竞争。而惟一能竞争的技术，是“4倍聚光+跟踪”的发电技术。原因有二：一是“4倍聚光”光伏组件系统中的光电池成本只是平板光伏组件系统中光电池的1/4，以目前市场上能买到的10元/瓦的晶体硅电池片为例，4倍聚光后的电池片的等效价格将是2.5元/瓦；二是“跟踪”将至少增加30%的电力。目前，这一技术的光伏发电系统组件包括逆变体系在内的成本已下降到18~20元/瓦，而且还有继续大幅度下降的空间。

由于“太阳能炼硅”的成功，不久的将来将可以在市场上获得廉价晶体硅材料，将可能用廉价的晶体硅取代在薄膜电池中用到的、价格较昂贵的导电玻璃，同时仍能发出转化率达16%~18%的电力。现在市场上出售的n型单晶硅制作的光电池，转化率可高达22%，而且这一高转化效率仍有大幅提高的潜力。

“n-型硅半导体（p型硅半导体）+各种形式的硅薄膜+能吸收红外线的薄膜”应该是今后电池材料发展的方向。不同性质“单晶硅+硅薄膜”的组合，可能将现有光电池转化率提高到25%~30%，甚至更高。这一“新型”硅电池的出现，不仅有利于进一步推进“4倍聚光+跟踪”的发电技术，而且还能取代放在“南墙”上的薄膜。

一旦实现上述技术路线的大突破，电价将完全可能下降到0.25~0.3元/度电。另一方面，中国的光伏发电将在3~7年内迅猛发展，亟须大功率、高储能电池的有力配合。国内光伏企业如果不进行技术创新，不大力推进“第三代”光伏发电技术，将无法与美国“第一太阳能”公司相竞争。☞