



大力发展光伏应用 修复生态改造自然

国家新能源工程技术研究中心 ■ 李仲明

0 引言

稳定可靠的能源供应是关系到国计民生的基本条件，也是关系到社会安定和经济可持续发展的重大战略问题。20世纪70年代的两次石油危机使人们认识到化石燃料资源迟早会枯竭殆尽，80年代人们又进一步认识到使用化石能源对环境的污染导致了生态破坏问题和温室效应，而能源和环境两大问题制约着社会和经济的发展。我国的能源、环境形势日益严峻，以煤为主的落后能源结构加快了化石能源的枯竭。日前，能源消费总量的增长速度大于规划速度，仍有较大电力供应缺口，所以，加快发展可再生能源电力以弥补电力缺口是必由之路。

习近平总书记在2014年6月主持召开的中央财经领导小组第六次会议上提出了推进能源革命的4个方面，即能源消费革命、供给革命、技术革命和体制革命；并于2015年11月在巴黎气候变化大会开幕式上代表中国承诺：将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。

根据世界能源组织的统计和预测，2007年全球实际能耗为14.5 TW (1TW=10⁹ kW)，预计2050年全球能耗将达到30 TW，本世纪末将达到46 TW；然而，未开发水能<1 TW，可利用

风能<2 TW，生物质能<3 TW，加起来不足6 TW，无法满足未来对可再生能源的需求；而全球总的太阳能资源为12万 TW，经济可利用量达600 TW。

太阳能是取之不尽、用之不竭的清洁能源，开发利用太阳能可避免能源枯竭、减少污染、发展低碳经济。光伏发电系统可将光能直接转化为电能，系统无运动部件、运行可靠、维护少、寿命长，且所发电能便于输送、储存，因此，光伏发电是太阳能应用中最有前途的利用方式。目前，光伏发电电价已可与常规发电的用户端电价相比较量，若能在太阳辐照高的地区大规模应用，则可等同或优于火力发电用户端电价。

1 国外、国内光伏发电发展史

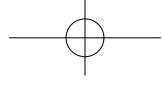
1954年第一块单晶硅太阳能电池问世之时，纽约时报将这一突破性成果称为“最终导致使无限阳光为人类文明服务的一个新时代的开始”，具有划时代的意义。

1998年德国开始实施“十万天棚计划”，特别是2004年初其提出了关于光伏的法案，带动了多个欧洲国家实施几乎相同的政策，日本和美国也积极执行光伏应用的激励政策。

规模化的光伏应用拉动了我国光伏产业的迅猛发展，包括硅材料、硅片、太阳能电池、光伏组件，以及逆变器等各方面的发展，并且随着硅材

收稿日期：2018-11-17

通信作者：李仲明(1947—)，男，硕士、研究员，主要从事光伏产品的研发、生产和应用方面的研究。Lizming1588@126.com



料供应的改变和太阳电池生产工艺的改进,光伏组件和系统成本大幅度下降。我国的光伏产业显示出了人才和技术优势,2007年太阳电池的产量超越欧洲、日本位居世界第一,并连续11年保持了太阳电池生产世界第一的地位。随着太阳电池年产量、安装量的逐年提高,我国光伏系统的价格也有了大幅降低,2008年光伏系统的价格为60元/W_p,2009年降至40元/W_p,2010年为20元/W_p,2012年为10元/W_p,现在规模电站的价格已经降至4元/W_p。

硅光伏组件的生产过程包括硅材料→铸锭(或拉棒)→切片→太阳电池→光伏组件,其中太阳电池的生产过程涉及到化学品的使用较多,生产企业对使用过的化学品会认真地回收处理,而产生的废气则在排放时有效地吸收以减少排放,光伏组件生产的工艺过程基本上是机械过程。光伏系统的生产过程的确要消耗一定数量的能量,但与其产生的电力相比实在不是一个数量级,否则若光伏发电系统不能补偿其生产过程所消耗的能源,企业家是绝对不会进行建设的。根据专家估算,光伏发电只需要1.17年就可以补偿整个生产过程所消耗的能量。

目前,光伏发电技术已趋向成熟,成为世界最优先发展的可再生能源技术之一。光伏发电的经济效益及社会效益显著,保障了能源的安全,成为新的经济增长点,并提供了大量就业机会,促进了偏远地区的经济发展。光伏发电技术的应用深刻体现了习近平总书记提出的能源革命的4个方面。可以看到,随着光伏技术的不断改进、效率的不断提高和成本的大幅度降低,光伏发电正在大步从替代能源向主流能源迈进;并且光伏发电过程几乎无排放,生产过程也是低耗能和环保的。

《可再生能源法》实施以来,国家发展和改革委员会发布了一系列光伏电价补贴的政策,这些政策都大幅促进了我国光伏应用的发展。

申请“太阳能光电建筑应用”示范项目和“金太阳”示范项目的企业,需要递交申报报告和可

行性研究报告,通过专家评审才能获得项目;项目施工前要制定详细的施工方案,结构和电气方案要通过具有住建部综合甲级资质的设计院的审核批准,以确保项目的安全性和合理性;项目竣工后要通过审计和验收。这一系列的严格程序为我国培养了太阳能光伏应用的队伍,为光伏应用的大规模发展奠定了基础。

“太阳能光电建筑应用”示范项目和“金太阳”示范项目这两个项目停止实施后,2013年国家又发布了一系列支持光伏的政策,以鼓励光伏应用的发展。国务院两次常务会议充分肯定了光伏产业健康发展的重要性,并提出应积极开拓光伏应用市场,加快产业结构调整和技术进步,完善支持政策。

2013年8月,国家发展和改革委员会发布了《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,对分布式光伏发电实行按照全电量补贴的政策,电价补贴标准为0.42元/kWh,除西藏自治区执行1.15元/kWh的电价外,给出了3个太阳辐照资源分区的光伏电站标杆上网电价,分别为0.90、0.95和1元/kWh。之后,补贴政策随着光伏系统价格的逐年降低也进行了逐步调整。

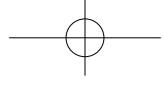
2 光伏发电利用方式

2.1 地面光伏电站

为大规模和低成本地发展太阳能光伏,在光伏电价相对较高的时期,光伏电站必须建在用电负荷中心附近太阳能辐照资源丰富,并且有大量闲置土地的地区。

太行山项目将作为利用用电负荷中心周围可开发地区发展光伏电站的试点项目,为逐步实现光伏发电成为我国主流能源积累宝贵的经验,也将是我国可再生能源开发利用的重大步骤。

我国山区面积约占全国总面积的2/3。燕山—太行山脉纵横北京、河北、山西、河南和内蒙古等省市,面积约20万km²。太行山区空气清新,气温相对较低,年日照小时数达1500h。通过实地考察发现,太行山区有大片的绿化工程,但也



有很多地区还是裸露的山体，其面积远超总面积的10%，特别是山体的南侧，很多都是寸草不生的地方。即使只采用其5%的面积建设光伏电站，也可使装机量达到500 GW，年均发电量将达5280亿 kWh，接近全国年发电量的10%；年可节约标准煤1.742亿 t，分别减少二氧化碳排放5.2亿 t、二氧化硫排放460万 t、氮氧化物排放210万 t和可吸入颗粒物排放360万 t。这将为环北京地区减少雾霾做出重大贡献。

政府对选定的地块进行审定后，会组织光伏专家和电网专家对在这些地块上建设光伏电站进行高、低压电力运行的统一设计；并以此为基础组织光伏项目的招标工作，优先安排使用高质量的元件、先进的系统设计和合理光伏电价的项目。由于大幅减少了非光伏的系统成本，实现的光伏电价就不会超过0.3元/kWh。

以新疆为例，该地区面积达166万 km²，占我国国土面积的1/6；而沙漠、半沙漠、戈壁等不宜利用的面积达102万 km²，其中，沙漠面积为77万 km²，仅塔马拉马干沙漠的面积就有33万 km²。可根据这些土地的情况择优发展光伏电站。

作为初步试点，可在西部辐照较好、地面情况稳定的地区圈出2000 km²的荒漠地带，其中1000 km²用于建设50 GW的光伏电站。由地方政府统一组织光伏电站设计和电网设计，非系统的价格将会大幅降低，光伏电价不会超过常规发电上网电价0.3元/kWh；光伏电站的发电消纳由地方政府统一组织，输送到中东部缺电或电力紧张的地区。新建的超高压传输将由光伏电力的过网费偿还。

利用光伏电站北面另外的1000 km²进行造林，栽种矮粗、根系发达的树种，采用滴灌技术，利用光伏电站运维的水源培育森林。在这个区域还可安装风力发电系统。

多个这样的2000 km²面积的设置将起到修复生态的作用，从源头上制止沙尘暴；同时也起到改造自然的作用，将沙漠改造为林地和良田。由于从源头上制止了沙尘暴，可以开通张北的风道，

配合环境治理，将不必再担忧PM2.5。可以想象，光伏修复生态和改造自然的作用对国家的贡献将是巨大的。

2.2 水面光伏电站

水面是光伏应用的另一个主战场。我国湖泊的总面积超过8万 km²。除湖泊外，水面还包括水库、蓄水池、煤矿塌陷区和滩涂地。水面面积虽不及山地面积，但可利用率高。

水面光伏电站不占用土地资源、无需平整土地、租金便宜，并且可减少水体蒸发、抑制水草异常生长、改善水质；水面无扬尘，可减少光伏组件表面的尘埃；水体温度低，可增加光伏发电的效率，光伏电站的安全性也可大幅提高；水面光伏电站可靠性高，能够承受台风和地震等的影响。

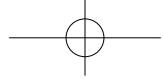
2.3 与建筑相结合

将光伏系统安装在建筑物屋顶是一种好的应用方式，但该方式对屋顶的结构荷载有着严格的要求，必须要保证建筑物的结构、电气、防火和防雷等方面的安全，这就限制了屋顶的使用；加之建筑物越建越高，建筑物之间互相遮挡，大幅减少了可利用的屋顶面积，也影响了光伏发电的效率。

2.4 与农牧相结合

光伏电站的发展离不开适宜的土地，但由于土地资源有限，将光伏电站与农牧业相结合成为光伏利用不可或缺的选择。由于光伏组件可以遮挡一定的阳光，可减少地面的水份蒸发，有利于草和荆条的生长；光伏系统运行和维护时需要使用一定量的水，这些水也会滋润和改良土壤；同时，还可以利用光伏电站运营和维护的水在北面种植相当面积的林地。因此，与农牧业相结合建设光伏电站将对改善环境、修复生态和改造自然起到重大作用，而且尘土的减少也有益于光伏发电效率的提高。

光伏电站的建设除需要广阔的土地之外，太阳辐照度也是需考虑的重要因素。最近在阿布扎比400 MW光伏电站的投标电价达到2.8美分/kWh(约折合人民币0.2元/kWh)，沙特阿拉伯电站的10个投标电价中，50%以上低于3美分/kWh，



最低报价仅为 1.78 美分 /kWh。考虑到我国中西部地区的辐照度虽然较阿布扎比和沙特阿拉伯稍差，但光伏电价也应该不会超过 0.3 元 /kWh，这一价格是常规发电的发电端上网电价，即使加上过网费，也较常规发电家庭用户端的电价低。

3 光伏应用情况

近年来，我国不仅在光伏产业方面领先世界，光伏应用也有了长足的发展。光伏应用的大规模发展可为光伏产业的稳定发展带来机遇。光伏元件的生产企业，光伏系统的设计、安装和运维企业才有足够的资金对光伏组件提高效率、降低成本和减少衰减展开研发，并且可以提供更多的就业机会，形成更多的净利润，从而进一步促进光伏产业和应用的大规模发展。如此良性循环下，光伏发电将会有井喷式的发展，能够尽快与常规发电的发电端电价展开竞争。

但应该看到，即使到 2018 年年底，光伏的累计安装量已超过 175 GW，但其所发电量也仅为全国总用电量的 3% 左右。随着光伏发电的价格不断降低，实施可再生能源发电配额的时机已经成熟，能否尽快在总电力供应中实施 5% 的可再生能源发电配额，每年增加 1% 或更多，这将是能源供给革命和消费革命的重点。只有这样才能打破垄断，也只有这样才能进一步降低光伏发电的成本。

为了大规模发展光伏应用以满足各方面的电力需求，各地方政府的积极性正在凸显；为了使可再生能源占总能源的比例超过 30%，各省积极成为能源革命的“先行先试省”发展光伏应用。以河北省为例，《河北有可能实施高比例可再生能源的报告》中提出，到 2022 年光伏电站累计安装量达到 30 GW，2030 年达到 50 GW。省人大代表根据此报告形成提案，提交给 2017 年全国人民代表大会。

4 光伏发电与电网结合

为了使光伏发电更好地与电网结合，要提早

部署“能源互联网+智能微网”的建设，首先可以通过分布式“光伏+储能”的形式，在有峰谷电价的地区用于工商业用电，在夜间使用谷电给蓄电池充电，在早高峰电价时给工商业荷载供电，在白天使用光伏发电给蓄电池充电，在晚尖峰电价时给工商业荷载供电。虽然智能光伏电网系统的价格比并网光伏系统贵，但由于其解决了电网峰谷问题，反而可以在较短时间内回收成本，既保证了电网安全，也使光伏发电的消纳比例得到增加。

对于光伏电力的传输，特别需要研发具有低电阻率且成本低的导线，如果导线的电阻率能够降低到目前铜导线的 1/10，那么传输 3 万 km 就变得轻而易举了。希望我国的研究机构能够与欧美国家相关的研究单位加强合作，这不仅有利于光伏发电，也有利于常规发电。

5 小结

我们应该看到，通过一段时间的努力，若 100 个 2000 km² 的荒漠面积被改造成 3 亿亩的良田和林地，则相当于 2 个江苏省的面积，将初步为形成西部地区经济发展地带提供条件，也将改善环境，甚至为中华民族的伟大复兴做出重大贡献。

光伏的发展是在党和国家大力支持下发展起来的，包括支持和补贴政策。随着光伏发电进入平价时代，政策的支持变得更为重要，特别是规定光伏发电占总电力的比例，也就是配额制的落实；若政府能继续提供足够的安装用地，减少税率和提供优惠贷款等政策，光伏还会有更大的发展；若政府能够实施光伏发电改善生态和改造自然的战略，特别是国家和地方政府能够将光伏发电应用与治理沙漠和植树造林结合起来，将会进一步降低光伏应用的成本，形成一定的利润空间。同时，由于光伏发电战略发展带来的经济效益和社会效益能够给光伏企业一定的分成，光伏发电成为主流能源的时代很快就会到来。

综上所述，光伏的发展远未到尽头，更大、更宏伟的发展尚在前方。**太阳能**