# 太阳能发电和储能电池

何祚庥

（中国科学院理论物理研究所　北京　100190）

## 1　广大农村将迅速出现猛烈的用能需求

随着中国社会经济相继走上工业化、城市化、现代化，一个必然要出现的需求是，中国必须加速发展农业，加速建设农村，加速改善农民生活，而“三农”（农民、农村、农业）是“工业化、城市化、现代化”的基础.

一个显然的事实是：中国现有 2 亿农民进城“打工”，未来 10 年，还可能新增 3 亿人涌入城市. 中国的农业必须在有大量优秀劳动力持续向城市转移的条件下，又能高效持续地增加向城市提供粮食和原材料的供应；中国的农村必须成为农产品初级加工和某些适合在农村深加工的生产基地；中国农民也必将相继走向富裕，成为居民消费的主体.

所有这些“新”出现的“三农”问题的解决，必定转化为“市场前景大、资源消耗低、就业机会多、综合效益好”的“战略性新兴产业”，关键是如何“认真把握好科技超前部署的规律”.

在诸多有待“超前”部署的科技项目之中，最为重要的是必须解决广大农村、边远地区和中、小城镇即将涌现出来的迅速而猛烈的能源的需求（例如，不能设想，在南方气候十分炎热的地区，现代“空调”技术只应用于城市，不普及到农村！）

彻底解决这一需求的唯一途径是大力发展分布式供能系统，包括供电和供热，有望将所需能源的利用率提高到 60%—80%. 但如果这一次能源来自煤炭、石油、天然气，那就不仅和“到 2020 年，单位 GDP 释放的 $CO_2$ 减排 40%—45%”的约束性指标背道而驰，而且运费将占供能成本的大部分！所以，在发展分布式供能的问题上，必须“因地制宜”、“就地取材”. 也就是本文作者这里建议的：“一个在广大农村、小城镇亟待开拓的战略性新兴产业——建立以‘太阳能＋风能＋小水电＋生物质能＋小型抽水储能电站＋中小型储能兼中小型电动车的动力电池’相组合的‘小型智能电网’为‘中心’的供电、供热的新能源体系”.

## 2　为什么这里强调建设以“小型智能电网”为“中心”的“供电、供热”的体系？

电能较易传输，热能往往有较大传输损失. 解决农村、小城镇用电，最好组成大小等级不同的“智能型”电网. 由微电网、小电网、中电网，进而发展为大型、超大型的智能型电网. 供热就需要尽量缩短管道供热距离.

解决生活用电的最佳方案是“屋顶光伏发电＋锂离子储能电池”组成的“微电网”. 我国约有 100 亿平方米的屋顶，广大农村约有全部屋顶面积的 70%—80%. 正在发展中的第三代光伏发电技术已做到每平方米能发出 50W 的电力，其等价于不跟踪太阳的平板电池的“等效”峰值功率的组件售价，已下降到 15—16 元/W. 80 亿平方米的屋顶面积，可安装约 4 亿千瓦的电力. 以年平均发电 1500 小时计，4 亿千瓦将发出 6000 亿度电能. 以 10 亿农村人口计，可实现人均供应 600 度电. 这将完全满足农村各住户照明、电器、空调……用电，节余的电力可输往“小电网”. 图 1 为安置在屋顶的一个可“供热＋供电”转盘示意图.

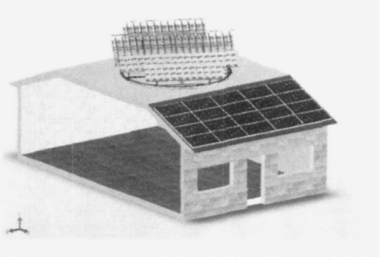


图 1　安置在屋顶的一个可“供热＋供电”转盘示意图

解决农村生产用电的最佳方案，是因地制宜地建设能连续供电 8—10 小时的、功率为 500—2000kW 的“太阳能光伏电站＋风能＋锂离子储能电池”构成的“小型”智能电网. 我国现有 18.26 亿亩（1.2174 亿公顷）的耕地，但我国还有面积约 4 亿亩宜能荒地（指可开垦种植能源作物的荒地）. 其中有 2 亿亩是质量较差、需大力改造后才可种植能源作物、



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

不十分“宜能”的荒地，但却十分适合用作太阳能发电用地. 如以每平方米发电 50W 计，1 亩荒地可装机 33.3 千瓦，1 亿亩荒地可装机 33 亿千瓦!! 这些荒地的太阳能资源虽然比沙漠地区稍差，但均离广大农村较近，离用电地区较近，而且大多是连片千亩以上干旱的土地，非常适合在农村临近建设由大、中、小型的“光伏电站＋储能电池”所构成的“中、小型”智能电网. 由于这些地区大多临近发达地区，其开发成本、输电成本均较低. 以年发电 1500 小时计，1 亿亩荒地上的 33.3 亿千瓦的装机，将等价于能发电 6000 小时，装机 8 亿千瓦的火力发电的全年发电量，所提供的电能还是高峰用电时间所需要的峰电. 在发达地区，“峰谷比”之间的电价差距将越来越大，所以，这一“光伏电站＋储能电池”所组成的“小型”智能电网，将有广阔的发展前景！

用在中、小型智能电网中的储能电池还可兼作包括拖拉机在内的农用客运、货运电动车辆的动力电池.

据说，正在研发中的“以锰酸锂为正极、钛酸锂为负极”的新型储能电池，能充放电 20000—30000 次，因而其储能成本将下降到 0.1 元/度次！我们迫切希望近期就有这类新技术的出现.

## 3 更有发展前景的产业——由可再生能源组成的分布式的、供电供热的联合电站

如果广大农村出现较大量的生产性供热的需要，其最佳方案将是建设热电两用的中、小型热电站，也就是能大幅度地提高一次能源利用率的、分布式的“太阳能发电＋秸秆或沼气发电”联合供电供热电站.

近年来，在太阳能热发电技术上，新出现的理念是：用一种新型的“陈式定日镜＋小塔支撑的集热面”，来克服已走向产业化的“槽式”电站具有的严重热量损失的重大缺点. 图 2 是槽式电站的示意图.

陈式定日镜的特点是：不论太阳自晨至晚，从冬到夏，这一定日镜能自动地在时间、空间分布上较均匀地将太阳光反射到某一由“小塔”所支撑的某一“集热面”上. 图 3 是陈式定日镜和小塔支撑的集热面的照片.

这种新型的陈式定日镜技术继承和吸收了“塔式”、“碟式”热发电技术中的“点聚焦”集热技术，同“槽式”热发电的“柱聚焦”技术相比，有更高的集热

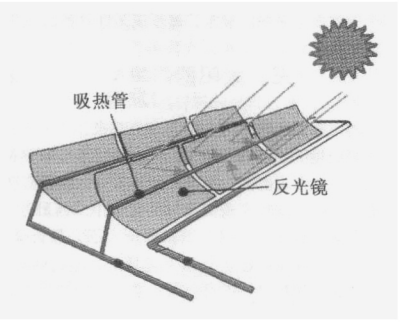



图 2 槽式电站示意图



图 3 陈式定日镜和小塔支撑的集热面照片

量和集热温度，有更高的热电转化效率；但同时又保留了“槽式”热发电技术具有的结构简单、易于规模化、产业化等优点. 因为只要将一座座“小塔”重复连接成十几公里的“多塔”，就能构建功率达 1MW、10MW，甚而 100MW 的太阳能热电站. 而新型定日镜，由于它的结构单一，可实现大规模产业化. 所以，它的单位功率造价将可比现在德国使用的槽式电站发电成本至少下降 30%—40%，可将现有在国外发展的槽式发电成本，从 2.0 元/kW·h 下降到 0.8—1.0 元/kW·h. 图 4 是一组“定日镜＋集热面＋小塔”联合集热的照片.



图 4 一组“定日镜＋集热面＋小塔”联合集热照片

陈应天教授在这一试验中所获得的突出的成就是，已做到其定日镜的造价为 1200 元/$m^2$，能抗 12 级大风，而且还有大幅度价格下降的空间！至于“小塔”，由于它的集热面较小，塔身较矮，抗风根本不成为问题. 显然，这些技术为我国太阳能热发电技术的提前产业化开拓了新途径. 尤其，这一技术完全是我国自主研发的，并拥有完全自主的知识产权的新技术.

为进一步降低太阳能热发电成本，陈应天教授


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等人还提出了“两步走”升温的新理念，现简介如下.

能源有高品位和低品位之分. 凡较易转化为电能的为高品位能源，较难转化为电能的为低品位能源. 正如已故的中国科学院工程热物理研究所所长吴仲华院士指出：利用热能的基本准则是“温度对口，梯级利用”. 否则将出现“大浪费”. 高品位的煤，承担着低品位的职能；可发电的“煤”，却用作室温为23—27℃的供暖.

其实，不仅在室内供暖，在各种工业锅炉供暖、供气，甚至在火力发电机组发电过程中，也存在着上述“大浪费”. 发电机组往往用“煤”从加热冷水开始，逐步加温产生高温高压水蒸汽. 但“加热冷水”完全可用各种低品位的热能来取代！或者说，在热能利用问题上，要“温度对口，优质优用，梯级加热，梯级利用”.

太阳能供热当然也应发展“两步走”梯级升温的技术.

第一步利用价廉、技术较简单的温度和品位较低的太阳能，将水加温成为160—200℃中低温的水蒸汽.

第二步利用技术较复杂、成本也相对较高的“定日镜＋集热面＋小塔”装置，将低品位的中低温的水蒸汽，继续升温加热到发电机组所需高温高压的水蒸汽，推动涡轮机组发电.

水的比热约为1cal/g·℃，水蒸汽的比热约为0.5cal/g·℃，液态水转化为气态蒸汽吸收的“相变”热，高达540cal之多. 所以，在“两步走”的太阳能集热装置的设计中，其“第一步”由冷水加温到160—200℃的水蒸汽，所收集的太阳能将占到全部热量的70%—80%；“第二步”升温所吸收的高品位的太阳能仅占全部热量的20%—30%.

由于“第一步”吸收的热量，用廉价而品位较低的太阳能，占全部热量的70%—80%；所以“两步走”升温技术将大幅度地降低太阳能热发电技术的集热成本.

上述“设想”已付诸实践. 陈应天已在他研发的4倍聚光光伏发电装置基础上，进一步扩展为5倍聚光集热太阳能中低温蒸汽发生器. 图5为60kW太阳能5倍聚光蒸汽发生器照片.

陈应天等人利用这一5倍聚光的蒸汽发生器已能持续产生压力为3—5大气压力，温度为160℃的水蒸汽，而且还有继续改进的余地. 图6为能连续发出中温蒸汽的蒸汽发生器照片.

初步测算，如果用“5倍聚光转盘＋集热小塔＋



图5　60kW太阳能5倍聚光蒸汽发生器照片



图6　能连续发出中温蒸汽的蒸汽发生器照片

陈定日镜”，而又用“水蒸汽”作为传热介质，完全可能将每千瓦造价下降到15000—16000元，而且有和火力发电技术近似相同的持续运转寿命，所发电能还是可直接上网的交流电.

问题是这一发电技术，难以避免太阳能所固有的“间隙性”的缺点. 如果遭遇连阴天，这一太阳能的“间隙性”可用秸秆气化或沼气发电来弥补. 但如果要求太阳能热发电能“持续、稳定”地供电8—10小时，这一缺点就最好用“光伏电站＋锂离子储能电池＋直流变交流的逆变器”来弥补太阳能供电的“间隙性”. 这一方案的优点是：比“纯”光伏电站少用3/4的“锂离子储能电站＋逆变器”却仍能持续供电8—12小时，又有大量“废”热用作农业生产供热和维持某些锂离子储能电池持续运转时所需的“恒温”.

如果农业上仅有“小型”供电、供热需要，完全可用8m×8m的“定日镜＋秸秆气化或沼气＋太阳能锅炉”直接推动小型蒸汽涡轮机组或单螺杆式机组发电，只不过这一太阳能热发电效率较低，但却能回收较多热能.

## 4　建造智能电网，必须“由小到大”，必须在电力结构上做“大改革”

现在人们纷纷呼吁中国要建设大型、超大型的智能电网，大幅度提高能源利用效率. 中国工程院杜祥琬院士提出，“中国要发展智能电网，首先要做好概念设计、顶层设计，在战略指导下做好规划、方案，尤其要先做好示范”，而且所建设的智能电网，必须“在技术上是可行的，经济上是划算的，环境上是友好的，是符合中国国情的”. 杜祥琬院士还提出，“现在还有一


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

些没有解决好的问题”，如“新能源与电网如何友好”，“间歇性的风、光、如何与电网相融合”等等？

从我们来看，一个经济有效的智能电网的“概念设计”、“顶层设计”，只能是“由小到大”，只能在“微电网”、“小电网”、……等各级电网做到初步“智能”化的基础上，才能做到“全局”上的智能化. 正如计划经济必定由市场经济所取代的“理念”一样，集中的中央计划部门往往难以准确地了解不断变动中的居民的需求. 即使采用了现代化的通信技术，能迅速全面地将一切信息集中到中央指挥机关，其最佳协调供给和需求的方案，也必定是“就近”调节.

长期以来，中国电力集团奉行的准则之一，是追求“规模”效益. 发电机组的规模越大越好，热电转化率越高越好，从次临界到亚临界，还要走向超临界、超超临界. 但却严重地忽略了一个因素：无论是生活用能、生产用能，均不能只局限于电能，而＞50％的需要是热能. 所以，服务于“大煤电”的“特高压”的大电网，决不是“中国能源输送体系深度改革之路”. 因为“煤从空中走”，只能做到“电送全中国”；而“热能留当地”，却很难再加以利用，而由“电”直接转化为“热”，其效率极低，极低！

可再生能源中资源量最丰富、最能持久供应的能源是太阳能、风能. 太阳能、风能发出的电流是直流，而传统能源发出的电流是交流. 所以，在未来的智能电网的建设中，就存在一个直流和交流的矛盾. 从电流的传输来看，直流输电无论是在输电成本上还是在电能损耗上，均比交流输电有更好的投资效益比；但当前用户所用电流却均是交流. 所以，中国未来的电力体制，必不可免地将出现一个“大改革”.

在当前的电力调度中，最为头痛的是夏季“空调”用电. 往往一到炎热天气，居民纷纷用“空调”取冷，所需电力装机容量已高达 1.5—2 亿千瓦之多，而且这一用电需求，还在迅速增加！而随着社会经济的发展，农村用电的增加，将出现白天用电的强烈的需求，也就是“峰谷比”将不断加大. 解决这一疑难的最佳方案是迅速建立一个“以太阳能为中心、由其他可再生能源为补充”的调供“高峰”用电的网络，将大幅度减少拉闸限电，大幅度减少正在迅速增加的火力发电机组压力，做到“可再生能源”和“传统发电模式”的双赢. 这也是中国在电力体制上必将到来的又一“大改革”.

为应对即将来到的为减少温室气体排放而推行的“碳关税”、“碳贸易”和未来可能出现的化石能源的枯竭，中国的能源价格、税收、贸易……价格体制等等，也必须进行一场适应“时代”的“大改革”，真正发挥市场需求在资源合理的配制上的基础作用.

万事起头难！

这一“大改革”带来的“大变动”，必定先从这里所呼吁的“建立以‘太阳能＋风能＋小水电＋生物质能＋中小型储能兼中小型电动车的动力电池’相组合的‘微型、小型智能电网’为‘中心’的供电、供热的新能源体系”做起！

从技术层面上说，有一项关键技术是：必须尽快提供“低成本、长寿命、高转化率、而又有高功率的大型、超大型的锂离子储能电池”.

## 5 结束语

不仅仅中国能源体制需要“大改革”，而且中国的“农业”也需要“大改革”. 中国的农村，将不再局限于向社会提供粮食和衣物，而且将成为“可再生能源”（包括太阳能和生物质能）长期持续供应基地. 其单位土地面积的收益，将至少是传统农产品的10 倍！

·物理新闻和动态·

## 机械边鼓能冷却到量子基态

2010 年美国加洲大学 Santa Barbara 分校的科学家们在机械微鼓振动时演示了量子效应，他们将机械微鼓的振动逐步地冷却到基态，再顺利地控制了在高频（6 GHz）下微鼓振动的声子能态. 现在，美国国家标准与技术研究所（NIST）、美国天体物理实验室联合研究所（JILA）和美国科罗拉多大学的科学家们，利用光－声子耦合来降低微机械边鼓的低频（10MHz）振动能量，让它达到量子基态. 它们的实验设备是用一块直径为 15$\mu$m 的柔软铝膜与一组超导微波回路相耦合，形成一个微机械边鼓共振系统，将这个系统冷却到 15$\mu$K 时，在系统上施加一个稍低于共振频率的微波场. 这时就会产生边带光子，这些边带光子将从铝膜声子处获取能量. 当边带光子的数量约为 10000 个时，边鼓振荡器的运动进入到量子领域，平均可支配的声子将少于一个. 研究组还探测到振子位移的精确值是与海森伯的测不准关系相吻合的. 低频系统下声子寿命比较长与位移比较大的特点，开辟了一条研究量子信息的贮存以及在机械系统中缠结态的生成等问题的道路.

（云中客 摘自 *Nature*，2011，475：359）



© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net