

光伏组件：“扎堆”退役，无力回收

■本报记者 秦志伟

“光伏已在全球绝大部分国家和地区成为最便宜的电力能源”“新一代电力系统的创建需要高比例的可再生能源”“未来3~4年中国每年将会有约5000万千瓦的新装机量”……这些声音均来自于日前举行的国际太阳能光伏与智慧能源(上海)展览会。

科技的进步，尤其是太阳能电池效率不断提升和组件技术日益革新，使我国光伏装机量保持全球领先。截至2019年，我国光伏累计装机达到20430万千瓦，连续4年保持全球第一。

但按照市场上标准的25年使用寿命估算，废弃光伏组件数量在若干年后将非常巨大。“如果这些材料未经处置直接废弃，形成固废，将会对土壤及周边环境产生不良影响。”南方科技大学材料科学与工程系主任何祝兵告诉《中国科学报》。

在暨南大学新能源技术研究院院长麦耀华看来，这些废弃光伏组件必须回收处理。然而，目前我国还没有相关成熟的回收技术和设备，也未有明确的光伏组件回收政策出台。

回收是必由之路

光伏作为清洁可再生能源，本身贴着“绿色”的标签，不但节能减排，更能预防环境污染。然而，从可持续性角度来看，光伏也隐藏着潜在的污染风险，且具有隐蔽性和潜伏性。

以废旧的光伏组件为例，既包括达到设计寿命后的组件，也包括因破损、老化而提前终止服役的组件。

在众多光伏组件中，晶硅组件凭借90%的市场占有率成为光伏产业的主流。麦耀华在接受《中国科学报》采访时介绍，晶硅组件中的铅、锡等金属具有较高浸出毒性，会导致土壤和水源污染。而薄膜太阳能电池特别是碲化镉薄膜电池中，铜、镍等重金属含量很高。

当前我国大部分废旧光伏组件都没有回收处理，通常都是直接填埋或破碎后填埋。光伏组件回收的常用方法有机械拆卸和高温热处理两种。麦耀华表示，这两种方法成本都比较高，同时存在高能耗和废气、废液的处理问题。

据研究，废旧光伏组件大部分材料都可以循环利用，其中包括的银、铝、锡等金属虽然含量小，但回收价值大。澳大利亚麦考瑞大学计算，80万吨的光伏废料所含材料的经济价值在12.5亿美元左右。



废弃光伏组件的数量在若干年后将非常巨大。

但“真正的问题是回收成本过高”，麦耀华分析，除了回收过程、拆卸和运输成本也很高。随着硅材料成本的不断下降，仅仅通过废料回收所获得的经济效益较差，各方都没有足够动力。

与发达国家相比，我国的光伏产业起步较晚。在过去十几年中，“西部省区无电通电计划”“金太阳”等一系列政策，推动了我国光伏产业的发展。仅在2019年，我国光伏装机容量就达到3010万千瓦。

目前，20世纪90年代安装的太阳能电池板相继进入报废期。有研究预测，到2020年底，我国光伏组件累计报废量预计将超过200万千瓦。在这之后，报废光伏组件数量将显著增加。

需要可行的技术路线

更早发展光伏的国家早已注意到组件回收问题。2012年，《欧盟废弃电子电器产品管理条例》率先将太阳能光伏组件纳入管理范围，并成立了专门机构处理境内的废旧光伏组件。

2018年，法国成立了欧洲首座太阳能电池板回收工厂，能够实现95%的组件回收率。

光伏组件回收工作仍未在国内引起关注，

可能是因为距离第一批报废潮仍有些时日。

从已有回收利用方法来看，光伏组件退役后，一般要经过五个处理环节：一是将组件拆卸下来并运输到处理机构；二是进行拆解，取掉背板和电线；三是将组件破碎，去掉最外面的钢化玻璃；四是进行热解；五是把组件中最有价值的金属、硅料取出来。

然而，上述五个环节看似容易，但要顺利完成，需企业敢于尝试，并摸索出靠谱的、可推广的技术路线。专家表示，尽管行业周期未至，市场规模尚小，但技术储备仍需从当下开始。

据分析，2010年之后，我国光伏产业出现过两次快速增长。第一次出现在2012~2013年，为了应对欧美“双反”，国家先后出台多项支持光伏产业的政策。随后，光伏新增装机量增长近10倍，且90%以上为地面电站。第二次出现在2016~2017年，由于光伏组件价格下降、扶持力度增加，分布式光伏快速发展，全年装机同比增长3.7倍。

事实上，集中上马就意味着可能会“扎堆”退役。

何祝兵向记者分析，重要的半导体材料可以考虑“回炉”再造。其他材料视成本，可以走不同回收技术路线。

要“从摇篮到坟墓”全过程监管

在技术上，是否可以建立数据库，使太阳能电池板和它们的毒性通过型号来追踪？麦耀华和何祝兵都认为，这种方法可行。

在麦耀华看来，考虑到很多光伏企业的管理都已经相当先进，大多建立了制造执行系统或者物料需求计划系统，对每批次甚至每个光伏组件进行物料和工艺溯源、追踪不存在大的技术障碍。“困难在于建立一个由政府或者第三方机构主导的数据库管理机构和机制，并保证其正常运行。”

目前，光伏领域内生产企业和科研机构把主要精力放在光伏组件转换效率提升、成本降低和可靠性保障上，在减少废旧光伏组件污染和方便回收方面做的工作较少。

科研方面，我国在以科研项目的形式对废旧光伏组件回收技术进行研究，但在政策和标准层面上基本是空白。

“回收问题应当在政府部门监督和管理下，由组件生产者和第三方专业回收机构共同来完成。”麦耀华向《中国科学报》分析，政府部门出台相关政策、法规和标准，并确保政策和标准的执行，组件生产厂商和进口商在组件销售时作为客户向第三方专业机构提供运营费用，第三方专业机构执行退役光伏组件的拆卸、运输、回收和再利用，并确保满足政府部门对组件回收的标准要求。“这种方式使专业人做专业事，把成本降到最低，重要的是可以保证组件的回收免受组件生产企业经营状况的影响。”

新修订的《中华人民共和国固体废物污染防治法》将于今年9月1日生效。该法明确规定提出建立电器电子、铅蓄电池、车用动力电池等产品的生产者责任延伸制度。

此外，上海环境法律师张秀秀告诉《中国科学报》，《废弃电器电子产品处理目录（2014年版）》尚不包含报废光伏组件，强制回收的产品和包装物名录及管理办法尚未出台，值得公众和学界倡导和呼吁。

“重在监管。”张秀秀表示，国家发改委和生态环境部应当建立光伏项目周期信息通报机制，加大报废光伏末端处理的监管力度，对于生产者资源化利用经济效益不高的问题，采取增加财政激励和税收优惠等手段，促进企业生产者优化设计，主动履行环境污染预防责任，实现光伏作为清洁能源的可持续发展。

||视点

地热能具有分布面广、储量大、可再生性、清洁低碳、安全可靠等优势。合理开发利用地热能，实现清洁供暖，是缓解当前过度依赖化石能源供热对资源环境造成压力的有效解决方案。

目前，我国地热能的开发利用已经受到社会多层次、多方面的高度关注，从浅层地热能的地源热泵技术应用到中深层地热能供暖，众多研究单位、生产企业、工程公司及社会资金介入其中。地热能利用开发已进入新的快速发展阶段。

起步晚 发展快

我国与欧美国家相比，基于地源热泵的浅层地热能利用技术起步较晚，但发展速度快，日臻成熟。在短短二十年时间内，我国在理论研究深度、技术开发广度与工程应用单体规模、总体数量等方面，已达到国际领先地位。

2019年启用的北京大兴国际机场地源热泵工程，为机场250万平米办公场地提供冷热源。据测算，这一工程每年可节省标准煤21078吨，减少碳排放1.58万吨。在超大型工程中，地源热泵浅层地热能利用技术展现出了良好的社会效益、环保效益和经济效益。

中深层地埋管地源热泵地热能利用技术是浅层地埋管地源热泵系统的一种技术创新，具有占地少和可利用地温高的独特优点，特别适合在寒冷地区应用。

这种技术数年前首先在我国进行了探索性的应用尝试。在此基础上，近年来在局部区域进行了较大规模的工程应用。已运行的系统总体达到了预期效果。

而长达近二十年地源热泵空调的推广应用，也大大提高了全社会和普通百姓对该项技术的认知度和认可度；供暖区域南扩，南方更适宜地源热泵供暖，扩大了地源热泵供暖的适用范围；绿色节能建筑的大力推广与普及，大大降低了建筑单位面积耗热量。这为地热能地源热泵利用系统，减少峰值负荷、用地空间及初投资奠定了先决条件。

城市热电联产、太阳能、生物质能与风力发电等可再生能源与常规清洁能源复合能源系统优势互补，也进一步扩大了地源热泵技术应用范围，提高了系统能效比。政策法规倡导，国家层面支持，地热能利用开发已进入新的快速发展阶段。

技术仍待提升

地热能地源热泵利用技术，在我国应用日益广泛，由浅层到中深层，由城市到乡村，单个项目覆盖的建筑面积由几百平方米到几百万平方米，积累了丰富的实践经验和大量的成功案例。但另一方面，无论是应用技术，还是基础研究等方面，还有提升的空间。

第一，中深层地热能利用技术。中深层地埋管换热器地下传热分析涉及固体和流体间耦合的瞬态多维传热问题，空间和时间的跨度大，中深层地下蓄热体热物性参数复杂，尤其是中深层地埋管群的传热分析及其长期运行条件下地埋管间距对换热量的影响等科技关键问题，还需要深入研究，以科学合理确定中深层地埋管长期（十年以上）运行的换热能力、中深层地埋管群的地理管间距等重要设计参数。

第二，岩土体勘察及其热物性测定。地下地质构造千差万别，对现有换热系统的认识还不足以直接指导地热能利用技术的改进完善和提升。

第三，既有建成地热能地源热泵项目，缺乏系统完整的实际应用检测数据、故障诊断、维修及其结果分析，系统运维的专业化水平有待提升。

第四，地热能利用系统设计、施工、安装及运维的优质化、精细化、科学化水平有待进一步提高。

第五，对地热能开发利用的资源性条件关注度较高，对需求侧建筑物系统性条件分析研究不足，二者应统筹考虑。

相关政策建议

鉴于以上不足和问题，笔者对我国加大地热能开发利用提出以下建议。

加大科研支持力度，重点解决地热能资源开发利用中，尤其是中深岩土层地质结构、大地热流、地下水渗流以及热物性的勘查与测试水平，因地制宜科学评价地热能开发利用的可行性与经济性，为系统方案设计提供科学依据。

加快健全系统体系化建设和行业标准完善。强化地热能集成商精准设计、精心施工、精良设备应用的指导与监察。支持设备生产企业技术创新，研发适合地热能用于村镇建筑供暖的节能效果好、初投资少、智能化水平高的主机与末端设备。

适度给予地热开发利用项目优惠政策与税收支持。

地热能清洁供暖资源丰富，前景广阔。以低位能量为主的地热能最主要利用方式是供热，供暖又是其中的主要部分。在北方城市，中深层地热能地源热泵系统，只供暖，不制冷，采用深度钻孔埋管，可减少城市用地空间；在乡镇，热用户密度低，可利用地热能地广、空间大的优势，以冬季供暖为主，“温度对口”，供需匹配。

因地制宜推广地热能地源热泵清洁供暖技术，具有广阔的发展空间。

(作者单位：山东建筑大学热能工程学院)

||资讯

新方法将海洋生物垃圾转化为高性能锌锰电池

本报讯 近日，四川大学高分子研究所、高分子材料工程国家重点实验室卢灿辉教授团队提出一种将漂浮在海面上的生物质垃圾转化为高性能锌锰电池的方法，并将制备的锌锰电池与柔性太阳能薄膜相结合，集成为自供电可穿戴系统。相关论文已发表于《材料化学杂志A》。

研究表明，电极材料内部的多级通道结构有利于提高电化学活性物质的负载量，并且可以促进电解质的扩散和离子的传输。制备的Zn-MnO₂电池具有优异的储能容量、良好的倍率性能和循环稳定性，特别是使用安全性能十分出色，电池受多种外力破坏后仍可正常工作。

通过进一步与柔性太阳能薄膜结合，研究人员还构建了一种自供电能量棒，并验证了该自供电系统在可穿戴和便携式电子产品中的应用潜力。

(李惠钰)

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1039/DOTA05926A>

文23储气库为今冬保供储备天然气超10亿方



文23储气库全貌。常帅摄

本报讯 8月7日，记者获悉，我国东部地区库容量最大的中国石化天然气分公司文23储气库有效工作气量已达10亿立方米，目前库存总气量61.6亿立方米。今冬储气库最大调峰能力可达1300万方/天，能够满足2600万家庭日常用气需求。

储气库被称作地下“天然气银行”，其储存的天然气分为垫底气和工作气量两部分。以文23储气库一期工程为例，设计库容84.3亿方，其中垫底气51.6亿立方米，工作气量32.7亿方。垫底气作用是使储气库内部具备一定的工作压力，为储气库执行采气任务创造良好条件，同时也作为战略资源进行储备。工作气量是储气库正常工作的可采气量，将完全用于调峰保供工作。

据悉，文23储气库今年注气工作计划持续到11月中旬，届时将形成超14亿方工作气量，为京、津、冀、鲁、豫、晋等省市今冬明春天然气保供工作提供坚实的资源保障。

(计红梅)

换电模式迎来下一个风口？新能源汽车想“离”不易

■本报见习记者 田瑞颖

对于部分网民猜测“‘车电分离’模式沉寂后再升温，主要是为了提高新能源汽车销量”的观点，王敬忠并不认同：“这种观点是片面的。实际上，在新能源汽车发展之初，就设计了充电和换电两种模式。充电模式是新能源汽车发展还不成熟时的过渡模式，换电模式将是新能源汽车走向成熟后的最终模式。”

合——标准待统一

虽然换电模式受到政策的力捧和市场的瞩目，但与充电模式相比，发展和布局相对缓慢，要“乘风破浪”，还有诸多屏障。

在王敬忠看来，“车电分离”模式发展的诸多问题中，首先是换电技术行业标准是否统一。“如果不能统一电池尺寸和安装位置，车企各自制定自己的电池标准，电池就无法通用和共享，换电站将面临巨大的建设负担和运营成本。”

“由于换电技术涉及企业利益及专利等问题，目前各大厂商大多自主研发。此外，换电技术需要电池规格和更换方式一致，因而制定统一标准过程需要多方协力。”徐猛说，“当前全球动力电池品牌众多，其材料、能量密度等规格各不相同，不同车型的换电方式也存在较大差异，统一标准目前还有较大困难。”

除标准急需统一外，徐猛认为，“车电分离”的实现还面临诸多挑战。“换电技术需要生产企业对车辆底盘、动力电池、车身结构等方面进行重新设计，企业需要投入大量的技术研发和专业团队运维，建设成本和人力成本也会增加。”

徐猛还强调：“应用换电技术的新能源汽车总体安全性尚存在不确定风险。换电过程涉及拆卸、连接，而电池本身与车辆的连接十分复杂，当车辆运行时，若接触不良容易导致安全事故。”

此外，在徐猛看来，新能源汽车企业建设换电服务站的成本较高。要想实现换电站的高覆盖率，还需要社会的共同努力。

斗——个性化是利器

随着“新基建”的推进，换电站布局也随之加速，新能源汽车在发展风口是“淘金”还是“淘沙”，机遇与挑战并存。

“未来新能源汽车企业的竞争力主要由技术基础、企业合作网络、消费者出行体验效益组成。其中，电池技术仍是新能源汽车未来的核心竞争力。”徐猛说，攻克电池技术难题，



正在进行换电的新能源车。田瑞颖摄

有助于车企在产能、销售达到一定规模后，降低单车生产成本，提高整车利润。“未来不少大型车企仍会选择自建电池厂，攻克电池技术。”

同时，徐猛也指出，虽然技术至关重要，但并不是吸引消费者选购的唯一因素。“车辆日常的运营管理、以用户需求为核心的全面服务、用户良好的充电体验和出行体验也至关重要。”

“未来，新能源汽车的竞争将是‘以人为本’的个性化竞争。”徐猛认为，“车企可以根据消费者喜好提供个性化车辆和服务，并将充电服务与出行服务相结合，协同完善车企的业务布局，通过构建企业合作网络寻求共赢，实现新能源汽车产业上、中、下游的深度联动，降低产业生产成本，并形成规模化集聚效益。”

“‘车电分离’未来能否‘乘风破浪’，王敬忠对此充满信心：“未来5~10年，或将迎来新能源汽车‘车电分离’模式的大范围应用。”

同时，徐猛也指出，因为电池技术是新能源汽车企业的核心竞争力之一，换电技术统一标准后，电池的独特技术竞争力可能被削弱。此外，如果市场渗透率无法达到预期份额，也会造成高投资的换电站设施闲置。“因此，新能源车企不会贸然转向‘换电’技术研发，维持已有的技术路线可能是低风险的选择。”

“现有的政策充分强调充电和换电技术是两个并行不悖的重要发展方向。消费者作为新能源汽车的主要受众，对充电和换电模式的偏好目前尚不明确。”徐猛说，“还有待市场的反馈。”

在记者离开换电站时，陆续又来了几辆排队换电的新能源汽车，狭小的停车场已经饱和。

(作者单位：山东建筑大学热能工程学院)

■刀乃仁 方肇洪

因地制宜推广地源热泵技术