

退役光伏组件处理处置的国际经验

International experience in the treatment and disposal of decommissioned photovoltaic modules

■文 / 罗锦程 李嘉童

一、光伏发电机组装机概况

国际能源署（International Energy Agency, IEA）发布的2021年全球光伏报告显示，2021年全球光伏市场再次强势增长，年新增光伏装机容量175GW，累计装机容量达942GW。“十三五”时期，在产业规模快速扩大的带动下，中国的光伏发电技术进入高速发展阶段，光伏组件产业化量产技术达到世界领先水平，已成为全球最大的光伏组件生产国和光伏发电国。根据国家能源局统计，2021年中国光伏新增装机达54.88GW，同比增加13.9%，其中分布式光伏装机29.28GW，占全部新增光伏发电装机的53.4%，历史上首次突破50%。2021年，中国累计光伏并网装机容量达到308GW，新增和累计装机容量均为全球第一。

二、退役光伏组件的生态环境影响及其资源再生潜力

光伏组件的使用寿命一般在20-25年，预计2025年中国将面临大批量的光伏设备退役潮。据国际可再生能源署（International Renewable Energy Agency, IRENA）预测，中国2030年退役光伏组件将达到150万吨，2040年达

到约700万吨，到2050年将突破2000万吨。在环境影响方面，退役光伏组件中的晶硅组件含有铅、锡等金属元素，具有较高浸出毒性，易导致土壤和水源污染。薄膜太阳能电池特别是碲化镉薄膜电池中镉、铜等重金属元素含量很高，可能对土壤和植被造成破坏。与此同时，退役光伏组件的材料大部分也可进行资源再生和循环再制造。据中国再生资源产业技术创新战略联盟测算，晶体硅光伏组件中玻璃、钢、铝和半导体材料比重可达90%以上，另外还含有约1%的银等贵金属。若退役光伏组件能得到全量回收，到2030年可从中得到145万吨碳钢、110万吨玻璃、54万吨塑料、26万吨铝、17万吨铜、5万吨硅和550吨银。此外，PowerLab项目组在其发布的《可再生能源零废未来：风电、光伏回收产业发展研究》报告中指出，1kW光伏板（约79.2kg）在生产过程中会产生428.8kg的碳排放，若不考虑废弃物处置与回收再利用过程中的碳排放，每全量回收再利用1吨退役光伏组件，大约可减少5.41吨二氧化碳排放。综上，对退役光伏组件进行资源再生不仅能产生巨大的经济效益，同时也有利于防范化解原材料供给风险，降低资源开采与冶炼能耗，对保障国家资源安全、生态安全和

助力碳达峰碳中和目标实现具有重要战略意义。

三、退役光伏组件处理处置国际实践

(一) 欧盟

在退役光伏组件环境管理方面,2012年《欧盟废弃电器电子产品管理条例》(Directive on Waste Electrical and Electronics Equipment, WEEE法令)率先将太阳能光伏组件纳入管理范围。自此,欧盟成员国开始陆续执行WEEE法令中针对光伏组件的回收规定。2018年8月15日起,WEEE法令进入了第三阶段,要求对达到使用寿命的光伏组件实现85%的回收率以及80%的再利用率,凡在欧盟范围内的光伏发电机组制造商、分销商以及装配商均需全面遵守有关管理规定。

在退役光伏组件管理模式方面,2007年欧盟设立了晶体硅光伏组件回收与循环利用组织——PV CYCLE。该组织致力于为企业提供完善的退役晶体硅光伏组件回收和循环利用服务,并联合物流运输公司等合作伙伴共同组建了回收网络。PV CYCLE采取会员制,全球范围内的相关行业机构、协会、企业均可申请成为会员,在缴纳一定会费并支付处理费用后,PV CYCLE将协助会员单位开展光伏组件的回收和后续处理工作,为会员及其终端客户提供退役光伏组件回收循环利用服务,协助会员单位履行生产企业责任。会员单位需缴纳的费用水平取决于各国政策法规的具体要求和市场规模,通常市场份额越大,需支付的费用越多。目前,PV CYCLE会员数已占欧洲市场的90%以上,在欧洲共设立有数百个回收站点。PV CYCLE组织自2010年正式投入运营以来,已累计回收处理总量超过6万吨的退役晶体硅光伏组件,其中2021年共处理约1.7万吨。

(二) 美国

为履行企业环境保护责任,美国大型光伏生产商First Solar公司通过设立第三方基金的方式,建立了光伏产品的回收机制。First Solar公司每售卖一套光伏产品,即划拨一定比例的销售收入作为回收基金,该基金由独立的第三方机构管理。按照规定,购买First Solar公司光伏组件的客户,可在产品使用寿命结束时提出回收要求,此时由回收基金设立的回收公司将承担产品的回收责任,并承担产品回收和循环利用的费用。由于采用第三方机构管理回收基金的独立运作模

式,因此其回收活动不受First Solar公司经营状况的影响,为退役光伏电池组件产品全量回收提供了制度层面的保障。与此同时,回收公司将回收得来的光伏电池组件产品进行处理后,可将富含碲等稀有元素的再生精炼材料返销至First Solar公司供其再利用。根据First Solar公司提供的数据,目前90%以上的半导体材料可以通过上述闭环管理模式进行回收,并最终用于生产新的光伏电池组件。

(三) 日本

日本太阳能光伏制造商Next Energy & Resources有限公司与贸易投资企业丸红集团(Marubeni)、三菱综合研究所(MRI)合作,通过建立“数字技术+光伏回收”的新模式,利用退役光伏组件回收再利用信息的区块链平台,开展退役光伏组件的回收工作。在区块链技术的加持下,光伏组件的使用情况可以得到完整地追溯,在交易链条上的每一位参与者都可以获取完整、透明的信息,并可验证数据的真实性和准确性,进而更好地推动退役光伏组件的再利用。

(四) 韩国

2021年,韩国能源技术研究院(KIER)研发出一种低成本处理退役晶体硅光伏组件的方法,旨在回收完整的晶体硅太阳能电池和金属材料。该方法首先将组件的铝边框置于加热炉中,通入空气后加热至500-550℃,此时光伏组件内的EVA层将氧化分解,玻璃板与晶体硅太阳能电池发生分离,之后可对玻璃进行回收。随后使用硝酸进行酸洗,可以获取完整的晶体硅太阳能电池。酸洗后的溶液中含有铜离子和银离子,对溶液进行处理,能够得到各种金属材料。该技术现已成功将72片退役太阳能板精炼成6英寸的单晶硅与芯片,以此制造的太阳能电池发电效率可达20.05%,优于一般的商用太阳能电池。目前,韩国能源技术研究院的此项研究项目已获得韩国贸易、工业和能源部(MOTIE)和韩国生产技术研究院(KITCH)的支持。韩国从事金属和涂层加工的商业热处理服务提供商——HST有限公司现已获得授权,并将该光伏组件处理技术推向市场。

四、对中国的启示

(一) 落实生产者责任延伸制,推进光伏组件全生命周期管理

建立健全生产者责任延伸制、电网企业责任制在




内的退役光伏组件管理机制,压实光伏发电项目业主单位和拆解施工单位的环境保护主体责任。鼓励光伏设备制造企业完善回收再利用体系,培育光伏组件制造、使用、回收、再利用的完整产业链。提升相关技术装备自主可控水平,重视上下游协同,依托国内具有自主知识产权和核心竞争力的骨干企业,积极推动光伏组件从生产、装配、运营到回收的全产业链发展。尽快出台有关退役光伏组件等清洁能源产业新兴固体废物资源化利用相关标准,持续建立健全退役光伏组件回收利用政策体系。加强部门协调联动,促进生态环境、发展改革、能源、工业和信息化等相关部门构建光伏组件闭环管理体系,进一步明确清洁能源等新兴产业上下游各环节环境保护主体责任,持续提升生态环境保护监管的精度和准度。

(二) 提升科技创新能力,推动再生资源高值化绿色化利用

从产品全生命周期管理的角度出发,积极探索

退役光伏组件等清洁能源等新兴产业固废规模化、规范化回收,扩展其绿色化、高值化再生利用途径。统筹考虑经济效益、社会效益、环保效益,重点开展退役光伏组件拆除低碳技术研发,以“揭榜挂帅”等方式调动企业、高校及科研院所等各方面力量,推动退役光伏组件拆除技术路线、关键设备、后物料的规模化应用等短板技术攻关,加快实现核心技术国产化。推进退役光伏组件拆解技术多元化,推广热刀法、物理研磨法等光伏组件拆除技术成本持续下降和商业化规模应用;加快推进热解法、化学降解法、能量获取法等退役光伏组件处理技术规模化试点示范。打造低碳拆除技术产教融合创新平台,开展光伏组件回收技术和经验交流活动,在条件成熟的地区建立资源循环利用产业示范工程项目,加快提高中国光伏组件回收和产业化发展水平。依托区块链、物联网、大数据等现代新兴科技,建立退役光伏组件环境监管和回收信息服务平台,为环境监管、企业信息发布、竞价采购和物流服务提供信息支撑。探索将退役光伏组件回收利用和固体废物处置的碳排放纳入产品全生命周期碳足迹核算,推进清洁能源等新兴产业全链条减污降碳协同优化。

(三) 推进产学研用融合,加强跨行业创新协作

探索组建以市场为导向、政产学研企相结合的新兴产业固体废物资源化专家智库或工作专班,加快复合型人才培养,推动跨行业创新协作,打破行业间“信息壁垒”。探索以市场化的方式设立光伏组件回收利用产业发展基金,支持建设相关重点实验室和工程研发中心。鼓励地方政府、企业、金融机构、科研院所、行业协会、国际组织等联合设立新兴固体废物回收处理基金和创新联盟,优化创新资源分配,推动商业模式创新。强化光伏组件新材料研发与制造端生态设计,通过技术优化延长光伏组件使用寿命。鼓励光伏组件回收企业、上游光伏设备制造商、下游材料循环利用企业建立多种形式的信息交流合作平台,形成规模优势,探索退役光伏组件回收处理的商业新模式新业态,引导更多利益相关方进入光伏组件回收市场这一“新蓝海”。做好退役光伏组件拆解处理企业的定期进修培训工作,推进新兴产业固体废物再生利用产业高质量发展与生态环境高水平保护。

作者单位:生态环境部固体废物与化学品管理技术中心