



国际可再生能源署数据显示，建成 1MW 的光伏电站需要约 212 吨材料，其中玻璃 70 吨、钢材 56 吨、铝 19 吨、硅 7 吨、铜 7 吨、塑料 6 吨、混凝土 47 吨。这意味着我国光伏产业仅按 2021 年新增装机 54.9 GW 的速度测算，20 年后生产的废弃物就将达到上千万吨，其中废弃光伏组件占比高达近 40%，回收处置亟待引起重视。

■张钦 周德群 缪书乐

废弃光伏组件回收处置 面临两大痛点

光伏组件废弃物中既含有硅、银、铜、铝、镉等十分有价值的资源，又含有大量的铅、镉、镉、氟、硫酸等有毒物质。如果处置不当，不仅有价值的资源不能再利用，还会污染土壤、地下水、空气，危害人们的健康，进而阻碍光伏产业的发展，影响我国碳中和目标的实现。

然而纵观当前实际，废弃光伏组件的回收处置痛点不少，主要表现在以下两个方面：

一是拆解工作量巨大。为防止杂物、水汽等进入，组件背板密封特别严实。由于电站建设时有多种加固措施，加之不少电站是建在屋顶上、水塘里、沙漠和荒山野岭中，相关组件、支架等设备较重，拆解和搬运都比较困难。后期拆解难度有时甚至远超安装。

二是经济效益较低。一方面是成本高，废弃光伏组件的回收处置包括拆解、运输、处置设备与运营等多种成本，尤其是当运输距离变长，或处置能力过剩时成本会更高；另一方面是处置后的玻璃、铜、铝、银等材料的价值，市场需求和价格不稳定。

事实上，国内其他行业废弃物的治理效果也是差强人意。比如家电规范回收率

仅有 54%、塑料回收率为 25%、新能源汽车正规网点回收率约 20%，而汽车正规回收拆解率更是仅为 0.75%，正规处置企业产能存在极大浪费。

究其原因，既有废弃物中有价元素分散，存在形态复杂、回收、技术难度大等客观因素，也有政策不完善、执行不到位，以及企业与部门间的数据与信息共享程度低等主观问题。

欧美普遍加强光伏组件 回收处理合规化

以欧盟为例，2012 年修改、2014 年生效的欧盟《关于报废电子电气设备指令》(Directive (2012/19/EC))，将光伏组件的回收处理纳入加以管理，规定了专门的回收责任主体、回收率、再循环率，并列出了具体目标和时间表：

第一阶段：2012 年 8 月 13 日-2015 年 8 月 14 日，光伏组件回收率 75%，再利用率 65%；第二阶段：2015 年 8 月 15 日-2018 年 8 月 14 日，光伏组件回收率 80%，再利用率 75%；第三阶段：2018 年 8 月 15 日之后，光伏组件回收率 85%，再利用率 80%。

Directive (2012/19/EC)要求，凡在欧洲的光伏制造商、分销商以及安装商都要全面遵守欧洲国家对废弃物的管理规定，其中包括提供必要的资金以及行政管理等，所有光伏组件都要加贴体现 WEEE（即报

废的电子电器设备回收指令）认证的统一标识以示合规，否则不得进入欧盟市场。

与之相配套，欧盟成立了行业组织 PV Cycle、CERES Cycle，接受世界各国机构、组织、企业成为会员，并按其市场份额收取会费，会费主要用于光伏组件的回收与集中处理，从而帮助那些制造企业达到欧盟对废旧光伏组件处置的强制要求。

再如德国，2015 年该国政府通过了 WEEE 指令，并修订了《德国电子电气法》(ElektroG)。该法案目录有 46 条，包括生产商、经销商的义务，联合机构的任务等。

德国联邦环境署成立了新的部门，负责电子垃圾生产者的登记。该部门负责协调德国所有废物收集过程，但不参与具体收集工作。退役光伏组件的回收、处置工作由各类服务提供商完成。

ElektroG 要求制造商和零售商将光伏组件投放到市场之前，必须在上述职能部门所建立的平台上注册，平台会根据光伏组件尺寸进行分类。不同场景下的退役组件也都需要进行特定的退役处理，例如 B2C 模式下的退役光伏组件在城市垃圾收集点免费收集，B2B 模式下的退役光伏组件由制造商进行回收。

美国的加利福尼亚州、亚利桑那州、佛罗里达州、得克萨斯州、北卡罗来纳州也将废弃的光伏组件纳入“通用废弃物”管理范畴。其中，北卡罗来纳州 2019 年通过的众议院法案 NC H329 要求，州环境管理委员会须在 2022 年 1 月 1 日之前制定相关规则和监管计划，解决光伏、风电设施退役回收问题。2020 年，华盛顿州制定了光伏组件管理和回收计划，该计划要求每个光伏组件供应商在 2022 年 7 月之前提交回收计划。美国有学者建议，制造商应提前为废弃物支付费用，并通过建立类似于 PV Cycle 的回收基

金，对每块光伏电池板收取 70 美元的前期附加费。

建议出台管理办法 动员多方参与

由于光伏电站报废时间不同，欧盟国家较早开展了组件回收、处置方面的研究和实践，美国相对较晚，我国才刚起步。

在政策法规层面，我国已经出台了两部与光伏产品废弃物有关联的政策，《环境保护法》和《固体废物污染环境防治法》。此外，还有《“无废城市”建设试点工作方案》(国办发〔2018〕128 号)、《电子废弃物污染防治管理办法》(环保总局令(2007)第 40 号)，以及《废弃电器电子产品回收处理管理条例》(国务院令〔2009〕551 号)等相关法规文件。

在标准制定方面，我国完成了《建筑用薄膜太阳能电池组件回收再利用通用技术要求(GB/T 38785—2020)》和《光伏组件回收再利用通用技术要求(GB/T 39753—2021)》两个国家标准，以及一个团体标准——《晶硅光伏组件回收再利用通用技术要求(T/CPIA 00022017)》。

“十二五”期间，我国“863 计划”支持开展了光伏组件处置的热解化学法和深冷物理法两种技术路线的实验研究。2019 年 4 月，国家重点研发计划可再生能源与氢能专项提出研制光伏组件回收技术和关键装备，探索形成晶硅光伏组件环保处理示范线。

总结近年来工作成效，从政策层面看，目前我国光伏废弃物处理仍面临以下几个方面的问题：一是原则性较强，可操作性较低；二是系统性较差，职责不清；三是目标偏低，执行和惩罚力度较弱；四是与光伏废弃物的关联性较低。

废弃光伏组件回收处置需要社会

多方参与。建议政府层面提前布局、做好顶层设计和规划，尽快出台废弃光伏组件管理办法，包括修订现有政策，并将废弃光伏电站组件和设备回收处置纳入政策体系；从用地保障、回收主体和处置企业的资格认定及行为规范等方面建立绿色回收供应链体系；支持行业协会、高校和科研院所制定回收处置规范和标准；加大对废弃组件循环再利用关键技术和装备的研发支持；扶持和培育一批示范企业；尽快建立相关交易平台，并设立基金。

与此同时，在政府指导和监管下，建议成立一个非营利性机构，行使政府环保部门的一些职能，主要职责包括建立交易平台，制定相关管理制度，跟踪产品及其废弃物去向；强制企业注册组件及电站设备信息等；向卖方企业征收注册费作为基金；征收和保管买方企业安装电站的押金，在电站拆除后退还部分或全部押金；根据处置量多少，将基金池中的资金拨付给处置商。

此外，不同类型的企业也应各司其取，如组件制造企业应从设计端和制造端探索出符合减量化、资源化和无害化标准的光伏组件产品，并按要求缴纳环保基金；光伏电站企业要按要求缴纳环保押金，并将拆解的组件设备提交给正规的处置企业；处置企业需按照绿色工厂和绿色生产的标准处置废弃物，并探索新工艺、新方法以提高废弃物的再利用率。

（作者均供职于南京航空航天大学。本文系江苏省社会科学基金重点项目“数字赋能背景下江苏新兴固废回收、处置利用模式设计与政策研究(22GLA001)”、国家自然科学基金项目“我国光伏产业政策评估研究(71774081)”与“可再生能源发展驱动机理及路径选择(71834003)”的部分研究成果)



数字化自主可控是新基建必由之路

核心阅读：

纵观过去 40 年我国 IT 产业发展历史，从底层标准到架构，再到产品和生态，很大程度上都受制于国外技术垄断。近年来，国际上高新技术封锁和网络安全事件频繁发生，现代战争对抗也已由“线下”全面延伸至“线上”。信息系统软硬件平台自主可控已成为加强网络安全建设的重要方向。

在我国，建立自主可控的 IT 底层架构和标准，形成自有开放生态，是数据安全、网络安全的基础，也是新基建的重要内容，要求着力实现在核心芯片、基础硬件、操作系统、中间件、数据库、服务器等领域的自主可控替代。

■李晖 吴东洋 郑卓妮

2022 年 4 月，南方电网公司董事长、党组书记孟振平明确提出《持续推进数字化转型和数字电网建设》的要求，深度应用基于云平台的互联网、人工智能、大数据、物联网等新技术，实施“4321”建设方案，即建设 4 大业务平台，3 大基础平台，实现 2 个对接，完善 1 个中心，最终实现“电网状态全感知、企业管理全在线、运营数据全管控、客户服务全新体验、能源发展合作共赢”的数字电网。

作为国有大型中央企业，南方电网公司贯彻中央精神，深入推进信息系统软硬件平台国产自主可控替代工作意义重大。南方电网公司开发的电网管理平台作为央企首个自主研发的跨域、跨专业超大型数字化系统，率先全面开启了全栈国产化改造实践之路。通过全栈自主可控适配及应用研究与实践，电网管理平台(计财域)全栈国产化实现了历史性跨越。

该平台部署了完全自主的、当前央企规模最大的国产数据库，能够做到数据“一次录入、动态更新、多处共享”(即所有环节共用一套数据)，并实现了效率提升、体验

提升、模式创新、机制突破、自主可控五大突破，形成了独有、高效、可复用的工程化管控知识资产。这标志着南方电网公司实现了从信息化到数字化的代际跨越，公司数字化转型迎来新起点。

首创全栈国产化技术应用新模式

电网管理平台(计财域)是南方电网公司推动数字电网建设和数字化转型的重要业务领域，是国内首个在企业财务管理领域落地的、基于企业中台技术架构的大型数字化系统，也是国内首个基于国产 ARM 芯片的全栈自主可控央企企业级管理平台。

该系统依托“南网云”平台，采用基于 k8s 和 docker 容器技术的微服务架构模式构建，现已完成从终端、应用、中间件、数据库、操作系统、服务器等方面的全栈自主可控上线应用，走出了一条具有“南网特色”的重大企业级信息工程自主可控发展之路。

在基础硬件方面，采用银河麒麟高级服务器操作系统；支持飞腾和鲲鹏两种 ARM 架构芯片；采用国产自主可控 ARM 架构服务器；满足大型数据库 OLTP/O-LAP、云计算等各类应用数据的高带宽、高 IOPS、高容量存储需求；搭载兼容 ARM 架构的鲲鹏 920 处理器，实现了高性能、高吞吐、高集成、高能效的创新突破。

在数据库方面，采用国内安全等级最高的达梦数据库，满足 GB/T 20273 及 GB/T 18336 两大信息安全标准，为系统保证数据安全提供了丰富的安全策略。基于 DSC+主备的集群架构，实现计财域集群整体的高可用性、吞吐量、负载均衡性能。支持多个节点同时提供数据库服务，实现应用负载均衡访问，达梦 DSC 运行在鲲鹏 ARM 及麒麟操作系统上，实现了全栈国产化；优化数据库监控程序，提高了数据库 SQL 慢语句、性能等可视化监控，确保能源行业核心数据安全及价值。

在中间件方面，使用中创中间件，按照安全等保 2.0 三级、四级要求，可有效屏蔽底层操作系统差异及支撑并行计算、微服务架构。系统同时使用中创容器化管理中间件，兼容 TSF 微服务架构，可快速通过 TSF 架构自动化发布、管理服务与应用系

统，与“南网云”底层运行环境的兼容适配，支持 SOA、Spring Cloud 及 Dubbo 等多样化的应用框架及部署模式，避免了采用开源产品从而造成潜在风险，验证了国产中创中间件能够全面替代国外同类产品。

在应用方面，基于“南网云”飞腾、鲲鹏 ARM 集群云平台，采用微服务技术路线，使用容器化部署，通过容器参数修改，适配 ARM 运算；使用麒麟镜像、修改 openJDK 中的 JVM 运行机制，实现了应用服务开发复杂度可控、独立部署、高容错性、按需收缩、技术栈不受限、开发敏捷和灵活等特点，提升了应用开发的效率；使用了腾讯 TSF 架构，通过 DDD 模型对服务进行业务服务、数据服务划分，如业务服务处理业务逻辑，数据服务操作数据库。

在客户端方面，前端采用 HTML5 技术，全面适配了统信、银河麒麟等终端操作系统以及搜狗、奇安信、360、红莲花、赢达信速龙等终端浏览器，实现了计财域电网管理平台在桌面终端自主可控；适配了 WPS、PDF、打印机等主要应用插件，为系统提供导入导出、在线浏览、打印等功能支撑；适配了国产安全密钥、银行 key，提高了安全防护能力；适配了消息通信服务，为系统及时通信提供保障。

开启信息系统自主可控新局面

平台基于国产 ARM 芯片全栈自主可控提供了丰富的业务场景，形成了软硬件全栈国产化替代完整解决方案，为南方电网公司全栈自主可控应用标准、研发设计以及最佳实践打下了坚实的基础，为国家自主可控生态快速发展贡献了“南网智慧”。

一是探索了央企全栈国产化实施路径。当前，信息技术应用创新发展已上升为国家战略，也是国家经济发展的新动能，南方电网公司率先部署了完全自主的、当前央企中规模最大的国产数据库、中间件、芯片、服务器、操作系统等软硬件，这是南方电网公司首次以自有开发力量为主完成的电网跨域、跨专业、自主可控的超大型信息系统，成功探索出了央企全栈国产化的实施路径，为国民经济重点行业基础软硬件替代提供了范例。

二是确立了公司国产化技术规范体系。通过与上下游厂商的通力合作，不断总结经验、改良方法，推动建立了全栈国产化系统运行管理的规范体系，制定并形成了开发设计规范、运维管理规范、巡检操作规范、文档归集规范、高危操作警示等一套完整的技术规范，积累了全栈国产化的开发、运维、管理经验，推动南方电网公司达到整体化和系统化的最佳秩序，为央企核心业务去 IOE 探索了一条可行道路。

三是实现了国产化改造技术突破。南方电网公司在国内首创了大型央企核心 ERP 类系统全栈国产化，形成了大规模的基于国产 ARM 芯片、麒麟镜像的云化微服务容器集群、达梦 DSC 高可用集群、中创中间件集群解决方案，实现了国产 ARM 架构的 CPU 芯片、国产操作系统、国产数据库、国产中间件、国产终端的应用关键技术突破，有效提升了央企核心应用软件整体信息安全防护能力。

四是培养了国产化的专业技术团队。南方电网公司高度重视人才培养，通过项目实施，培养了一批熟练掌握全栈国产化技能的人才，并建立了内部运行维护机制，推动人才积极参与国产化工程实践，打造了一支懂业务、会技术的千人级别复合型国产化专业队伍。

全方位助建高质量信创生态体系

信息技术应用创新产业(以下简称“信创产业”)是国家经济数字化转型、提升产业链发展的关键，已经成为名副其实的新基建，同时也是关乎国家安全的重大领域。电网管理平台(计财域)作为南方电网信创试点，通过一年多的适配实践，已全面实现全栈国产化应用。未来，南方电网公司将在前期探索基础上持续推进创新应用、优化提升，推动国产化不断走向成熟。

首先，持续发挥国产化应用示范引领作用。全栈国产化实践，业界尚无成熟的适配应用框架设计、统一规范和实践指导可供借鉴，适配经验和探索成本较高，仅依据现有资源进行适配验证分析，一定程度上影响央企快速落实国家自主可控的工作要求。目前，央企核心信息系统的国产化改造

尚处于早期，国内尚无集团化核心信息系统全栈国产化的先例。

此次计财域电网管理平台的全栈国产化替代成功，意味着南方电网公司国产化技术路线是可行的。作为央企首例重大创新，其为国产化信息技术的应用提供了有益借鉴，也为电力行业信息系统国产化改造树立了标杆。后续，南方电网公司将持续深化国产化替代应用的广度和深度，持续打造国内国产化替代应用的引领性示范。

其次，深度推动国产化应用关键技术突破。南方电网公司从基于国产 ARM 芯片的全栈自主可控思路出发，对应用开发的全链路环节进行研究，并联合各信创原厂在 CPU、网络、数据库、存储、中间件、应用等方面进行联合创新，实现了电网管理平台(计财域)在应用性能、可靠性等方面的关键技术突破，提升了南方电网公司全栈自主可控应用研发适配能力。通过对电网管理平台(计财域)的持续实践，南方电网公司致力于不断完善国产化产品的功能、性能、兼容性、易用性等，并在确保产品良好的兼容性和高可用性的基础上，采用较低代价进行大规模、安全的对等替换。基于磁盘共享存储集群技术，探索成熟和领先的技术架构，在国产化替换技术层面保持较高的技术领先性。重点实现基于国产 ARM、CPU、NUMA 架构的应用优化关键技术、网卡对应用系统的性能影响及提升、基于全栈自主可控平台的数据库关键技术、基于全栈自主可控平台的存储双活关键技术、中间件性能优化、读写分离的微服务化与分布式应用架构等关键技术突破。

再次，有效促进国产化生态日趋完善。通过持续深入推进以电网管理平台为代表的信创工作，南方电网公司加大整合国产化上下游产业链力度，强化与各方的交流合作，构建完善的产业生态圈，促进国产信息技术创新，打通产业上下游互相适配兼容“路径”，构建全栈国产化产业的链路。以联合攻关机制，促进软硬件技术水平整体跃升，实现信创行业从“可用”到“好用”的转变；通过国产化技术替代，实现产业升级、应用模式升级，全面推动建立高质量信创生态体系。

(作者均供职于南方电网数字电网集团有限公司数字企业分公司)