

寓治于产：双碳背景下的 沙漠开发与治理

陈阿江 李万伟 马超群

摘要：“双碳”目标的设定不仅为光伏产业的发展提供了新的契机，新技术的应用也使得沙漠地区的开发与治理衍生出全新的模式。库布其沙漠达拉特光伏基地在生产过程中，将光伏发电与沙漠治理有机地融合起来，环境治理嵌入到电力生产的过程之中：项目规划赋予了光伏发电沙漠治理的使命；出于对风沙环境的适应，固沙、生态修复等沙漠治理活动成为项目正常运行的基本要求；光伏项目为沙漠持续治理提供了支持，并形成绿色效应的外溢机制。光伏发电与沙漠治理的融合是基于中国本土的社会文化逻辑：光伏设施植入沙漠，并逐渐从生态上、经济社会融入沙漠，延伸出光、林、草、牧等多业样态；在以土地为依托的背景下，“地尽其力、多业并举”为其生存与发展的基本策略，“物尽其用、变废为宝”则是其践行的基本原则。寓治于产的沙漠开发—治理模式，不仅实现了沙漠治理、生态修复、减碳降碳等多种生态目标，也实现了增加企业经济效益、提高政府财政收入、促进地方就业的经济社会目标，对中国沙漠治理具有重要的战略意义。

关键词：光伏发电；寓治于产；双碳；沙漠开发；沙漠治理

中图分类号：C912 **文献标识码：**A **文章编号：**1000—8691（2022）06—0157—11

随着国家生态文明建设的推进，环境治理力度加大，生态环境也得到了显著改善。但一些地区也出现了“为环境治理而治理”的举措，出现了把环境治理与生产、生活完全割裂开来的现象，如为了乡村整洁、美丽，某些地方出台了农民不准养猪、养鸡的地方政策。也有的地方为了快速取得环境治理的效果，不惜取缔发展几十年的初级加工业。经济发展与环境保护在很多场合下似乎成为无法调和的矛盾——即如果发展经济就必须影响到环境，要保护环境就必须约束经济发展。在这一背景下，亟需探寻经济与环境双赢的格局，或者说，亟待走出经济发展与环境保护或环境治理非此即彼的思维定式。

沙漠中的光伏发电给人们提供了一个很好的启示。以光伏发电为代表的新能源产业，在沙漠上为国家和地方创造了巨额财富，与此同时，沙漠地区恶劣的环境也得到了有效治理，更进一步，以光伏基地为依托的林草业也得到了开发利用。这样一种“光伏+”模式，发展了零碳能源，在产生良好经济效益的同时，逐渐把沙漠转化为绿洲，较好地解决了沙漠危害问题，形成一种产治融合的新模式。笔者把它称之为“寓治于产”，即把环境治理融合在生产过程中，通过开发新的生产模式有效地解决环境问题。它

基金项目：本文是国家社会科学基金重点项目“‘苏南模式’的生态转型研究”（项目号：20ASH013）的阶段性成果。

作者简介：陈阿江，男，河海大学社会学系、环境与社会研究中心教授，博士生导师，主要从事环境社会学研究。

李万伟，男，河海大学社会学系博士研究生，主要从事环境社会学研究。

马超群，男，河海大学社会学系博士研究生，主要从事环境社会学研究。

既是一种新的经济发展方案，也是一种生态治理的创新。那么，沙漠开发与治理融合模式是怎么样的？为什么在沙漠这样一个生态脆弱地区可以实现经济与生态的双赢，它的社会机理是怎样的？本文以此研究问题为导向，展开讨论。

为此，笔者系统查阅了文献，并对内蒙古自治区鄂尔多斯市的库布其沙漠开展了实地调查。本研究采用实地调查与文献研究相结合的方法，调查地点以达拉特光伏发电应用领跑基地所在地达拉特旗为主，兼顾“库布其模式”所在地杭锦旗。早在2020年6月，笔者的研究团队就开始关注库布其沙漠光伏发电项目，并安排研究者前往达拉特光伏发电应用领跑基地开展调查。2022年6月，笔者一行数人进入库布其沙漠，对库布其沙漠光伏治沙模式进行实地调查，对达拉特旗政府相关部门负责人、基地平台、光伏发电企业负责人、光伏发电基地所在镇、村领导以及基地周边农牧民等关键信息人进行了深度访谈。同时，搜集相关文献，如国家有关光伏发电项目的政策法规文本、地方政府建设项目的实施方案、光伏发电企业的项目可研报告、地方史志、库布其沙漠治理研究书籍等，并在此基础上开展研究。

一、文献回顾

近年来，随着国家对生态环境问题重视程度的不断提高，生态环境问题在一定程度上得到了改善，环境社会科学或环境社会学的研究也从环境问题的社会影响、社会成因转向环境治理研究。^①但也要注意，在环境治理初期，由于经验的缺乏以及为了完成某些指标，局部地区出现了“为治而治”的倾向。因此，如何寻找到一种生态有效、经济可行的环境治理思路和手段不仅是学界探索的方向，也是实践中迫切需要解决的难题。

环境社会学的研究为环境治理提供了重要的借鉴。虽然对环境问题社会成因的分析与环境治理并不直接相关，但对问题的诊断往往暗含了问题的出路。马克思曾经批判资本主义社会的生态断裂问题。在马克思看来，自然生态系统有其自身的物质代谢规律，针对19世纪初欧洲土壤肥力危机，马克思应用“代谢”这一概念分析资本主义社会的生态危机。资本主义生产方式使人口集中于城市，大量的食品和纤维运往城市，它们本应在消费之后回归土地，却因成为城市垃圾被废弃而造成土壤营养循环断裂。^②虽然在现象层面，马克思分析了在资本主义体制下，生态与社会的断裂造成了普遍的环境危机，但从其分析思路来看，这种“断裂”或“分离”的倾向也普遍存在于当下环境治理的实践之中，如何重建循环或者实现社会各个部门的整合成为环境治理的关键。

生态现代化是西方社会生态建设和环境治理的重要理论根据。生态现代化理论指出，工业社会建设阶段存在的环境危机将在超工业化阶段得以解决。^③在超工业化阶段，随着科学技术的不断发展，工业产业必将进入生态化的演进过程，依托于先进的技术，经济发展能够与环境改善并轨而行^④，而非对立或分离。具体而言，马丁·耶内克等学者认为，科学技术、市场动力、经济主体将会发挥更大的作用，随着多元主体的参与，将会出现更灵活、更强调共识的环境治理方式，而那些将经济利益与环境利益从根本上对立起来的做法，不再被认为是正当合理的。^⑤

生态现代化指出了经济发展与环境治理将随着社会阶段的转型而实现整合，并提出了具体的解决方案，但其理论生长的土壤则是来自于高度发达的欧洲国家，虽具有较强的指导价值，但从适用性来看，与中国传统文化背景相似的日本或可为人们提供更为贴切的理论资源。生活环境主义的提出源于琵琶湖

① 参见陈阿江：《环境社会学体系之建构：社会问题的视角》，《环境社会学》，2022年春季卷，北京：社会科学文献出版社，2022年，第13—35页；王妍、唐滢：《从环境冲突迈向环境治理——近10年来中国环境社会科学研究转向分析》，《南京工业大学学报（社会科学版）》2020年第6期。

② 中央编译局：《马克思恩格斯文集》（第5卷），北京：人民出版社，2009年，第579页。

③ p.J. Mol, *Sociology, Environment and Modernity: Ecological Modernization as a Theory of Social Change*, *Society and Natural Resources*, Vol.5, 1992, pp. 323-344.

④ 马国栋：《批判与回应：生态现代化理论的演进》，《生态经济》2013年第1期。

⑤ 洪大用：《经济增长、环境保护与生态现代化——以环境社会学为视角》，《中国社会科学》2012年第9期。

治理实践,20世纪80年代初,鸟越皓之等人在琵琶湖综合开发纠纷调查中发现,通过严格控制人类活动的“自然环境主义论”和通过技术革新来解决环境问题的“现代主义技术论”都未能有效解决环境问题,前者并不适用于人口稠密的现实条件,后者对技术的信奉只能引发更多的问题。^①为了找到一种合适的治理方式,鸟越皓之等人基于大量的田野调查提出了“生活环境主义”,旨在通过挖掘、激活当地生活中的智慧来解决环境问题。^②生活环境主义通过把当地人的生活体系纳入到环境治理的做法,为中国的环境治理提供了重要的借鉴思路。日本环境社会学家船桥晴俊进一步提出了更为系统的环境控制系统论,全方位刻画了环境治理的全貌与阶段性特征,在他看来,只有把环境保护内化为核心管理任务的阶段,才能实现可持续的环境治理。^③这就意味着任何的经济社会活动都离不开对环境的考量,这是一种跨越式的迈进,但这种意识的提高还有待时日,或者说“把环境保护内化为核心管理任务”在很大程度上,还只是一种理论的设计。

国外的理论为环境治理提供了诸多启发,但中国社会的治理有其自身的传统和脉络,并且出于解决问题的紧迫性,民间早已先于学界展开了广泛的探索。从传统上来看,作为农业大国的中国具有非常悠久和丰富的农业文化传统,在长期的发展过程中,农业把社会与环境联系在一起,成为环境与社会关联的重要纽带。^④环境史学家马立博曾指出,虽然环境的退化是长期而且明显的,但中国的农作制度又确实具有非凡的可持续性。^⑤在长期的生产实践过程中,传统农业生产模式形成了一套物质和能量的循环系统,在一定程度上消解了环境问题^⑥。从实践中来看,为了应对环境问题给生产带来的挑战,农业生产实践者基于民间传统,借助现代科学技术进行了诸多创新。陈阿江在南方稻作区的调查发现,以“桑基鱼塘”“稻蟹共生”“菱蟹共生”“稻虾共作”为代表的复合农业生产模式,在获得良好经济效益的同时,实现了稳定粮食产量、确保食品安全和消除面源污染、维持农田生态系统平衡等目标,对负外部性顽疾具有“无治而治”的效果。所谓无治而治,即指原来需要单独治理的环境污染、需要专门解决的食品安全等问题,在复合型农业生产过程中得到了排除或者解决。新型种养结合利用和借鉴了传统农业的生态智慧,同时引入了现代技术的优势,实现了经济—环境—社会效应的多赢目标。^⑦

总体来看,这些理论在强调环境治理的同时,都试图将环境保护与经济利益、社会生活衔接起来,而不仅仅是“为治理而治理”。这也提醒人们环境治理是嵌入在更大的社会经济系统之中的,只有处理好治理与生产、治理与生活等关系,环境治理才有可能真正植根于社会生活的现实之中。但如何理解生产与环境治理内在的机制,如何理解环境治理与经济发展、特别是与现代工业的发展有机结合,环境治理与经济发展融合是建立在什么样的社会深层结构与文化基础之上的,尚需进行更深入的探讨。

二、沙漠的开发与治理:库布其沙漠

荒漠化是严重的全球性生态问题,是造成许多地区贫困、动乱、移民的主要原因。目前全球荒漠化和沙化土地约占全球土地面积的1/4。中国是世界上荒漠化较严重的国家之一,荒漠化土地约占全国国土面积的1/3,主要集中于西北地区。

开展沙漠开发和治理,改善沙化环境的生产、生活条件,是中国沙区居民由来已久的行动。1950年国务院成立治沙领导小组,开启了中国系统治理沙漠的新篇章。^⑧70年来,在治沙工作组和沙区各族人民

① 宋金文:《生活环境主义的社会学意义——生活环境主义中的“生活者视角”》,《河海大学学报(哲学社会科学版)》2009年第2期。

② [日]鸟越皓之:《日本的环境社会学与生活环境主义》,《学海》2011年第3期。

③ [日]船桥晴俊:《环境控制系统对经济系统的干预与环保集群》,《学海》2010年第2期。

④ 王晓毅:《农业:环境与社会》,《环境社会学》,2022年春季卷,北京:社会科学文献出版社,2022年,第36—52页。

⑤ 马立博:《中国环境史:从史前到现代》,北京:中国人民大学出版社,2015年,第446页。

⑥ 陈阿江、林蓉:《农业循环的断裂及重建策略》,《学习与探索》2018年第7期。

⑦ 陈阿江:《无治而治:复合共生农业的探索及其效果》,《学海》2019年第5期。

⑧ 王涛:《中国防沙治沙实践与沙漠科学发展的70年——1.初创篇》,《中国沙漠》2022年第1期。

的共同努力下,中国沙漠治理取得了显著成就。据国家林业与草原局公布的第五次全国荒漠化和沙化监测结果,自2004年以来,中国荒漠化和沙化状况连续3个监测期“双缩减”,呈现整体遏制、持续缩减、功能增强、成效明显的良好态势。与2009年相比,2014年中国荒漠化土地面积净减少12120平方公里,沙化土地面积净减少9902平方公里。^①其中库布其沙漠治理探索具有典型意义。

库布其沙漠是中国第七大沙漠,地处黄河“几”字弯南岸,鄂尔多斯高原北部与河套平原的交接地带,跨内蒙古自治区鄂尔多斯市的杭锦旗、达拉特旗和准格尔旗,总面积1.86万平方公里。对于库布其沙漠的治理,早在20世纪50年代就已经展开,库布其沙漠各地在沙漠治理实践中,也开发出多种多样的治理模式。如植物—工程治沙模式、综合固沙林防护模式、复合套种模式、沙产业模式、恩格贝模式、川路切割分区治理模式、风水梁模式等。^②早期的沙漠治理主要强调固沙治沙,就此而言,草方格+耐旱本土植物栽种是一种成熟有效并被广为采用的方法。扎设草方格可以减滞地表的风,阻滞流沙,腐烂后又富养土壤,繁育新生植物。配合草方格沙障栽种沙柳、沙蒿、沙米等沙生植物可以起到强化防风固沙的效果,若干年方格内植物繁盛,沙漠就转化为绿地了。

近年来,亿利资源集团利用现代技术与资金优势,开创了“微创气流植树法”,即以高压水流为动力,在沙地上冲出1.2—1.5米的细径孔洞,栽入沙柳或旱柳条。因孔洞深、含水丰富,植物成活率高,克服了常态下沙漠种树成活率低、管护艰难的困境。^③但是,固沙、生态修复需要大量投入,特别是对于企业来说,必须同时考虑经济收入的问题,否则就难以持续。亿利资源集团所称的“库布其模式”,就是把沙漠治理与沙产业的发展有机地结合起来。通过公司+农户的模式,建立了甘草全产业链,目前,在库布其认证的甘草种植基地面积已经达到14.67万公顷,取得了良好的经济、生态效益。

随着光伏发电技术的成熟,以及光伏发电设备成本的持续下降,库布其沙漠迎来一种新的沙漠治理模式——发电与治沙兼顾的模式。它以光伏发电项目为依托,将光伏发电与固沙、生态修复,甚至草牧业、林果业结合起来发展。为引导光伏市场建设和应用水平提升,2015年工信部与国家能源局等部门决定实施“光伏领跑者”计划,通过建设先进技术光伏发电示范基地、新技术应用示范工程等方式促进产业转型升级和竞争力水平提升。2017年11月,内蒙古达拉特旗入选第3批“光伏领跑者”基地名单。在达拉特光伏发电应用领跑基地,发电与治沙兼顾模式的具体操作方式是在平整后的沙地上架设光伏电板,在光伏板下、光伏板间的空地上扎设草方格沙障或栽插植物再生沙障,然后再在沙障里面栽种固沙植物。沙障的作用是增加流沙表面的粗糙度,减弱贴地面层风速,从而减少风沙流的密度和能量强度,控制风蚀,固定流沙。草方格沙障形成网状结构,连成一片;植物再生沙障是将通过插钎就能成活的沙生植物截梢以后进行栽种,以促进植被的自我更新和繁殖。如将光伏项目与草业、林业形成“草光互补”“林光互补”模式,可在有效治理沙漠的同时,实现清洁能源产出和土地资源的高效利用。

从生态效益来看,光伏发电可以节能减排,减少煤炭使用,助力“双碳”目标达成。目前,达拉特光伏发电应用领跑基地总装机容量已达1000兆瓦,年发电量20亿度。根据《中国电力统计年鉴2021》,中国火电机组发电煤耗约为282.9克/度^④,20亿度电相当于燃烧标准煤56.58万吨。按1千克标准煤火力发电相当于排放2.46千克二氧化碳^⑤推算,达拉特光伏发电领跑基地每年可减少二氧化碳排放约140万吨。从经济社会效益来看,达拉特光伏发电领跑基地年发电20亿度,不仅产生了可观的经济效益,也增加了地方财政收入。此外,光伏发电项目不仅可以发电、治沙,还能带动技术创新、特色种植、沙漠旅游等多种产业共同发展,进而构建沙漠治理、能源产业和生态经济“三位一体”的沙产业新模式。

总的来看,“光伏+”模式产治结合,实现了从单纯的沙漠治理到沙漠治理与沙漠利用相结合,从单

① 国家林业和草原局政府网:《中国荒漠化和沙化状况公报》, <http://www.forestry.gov.cn/main/58/content-832363.html>。

② 郭彩贇、韩致文等:《库布齐沙漠生态治理与开发利用的典型模式》,《西北师范大学学报(自然科学版)》2017年第1期。

③ 王文彪:《荒漠化土地生态修复的中国经验——库布其模式解析》,天津:天津科学技术出版社,2019年,第54—56页。

④ 中国电力企业联合会:《中国电力统计年鉴2021》,北京:中国统计出版社,2021年,第115页。

⑤ 李响、张雪花:《基于“全碳排放核算”的碳绩效评价方法研究》,《环境科学与管理》2014年第6期。

纯的生物措施治理到沙漠治理与沙漠农业相结合，再到沙漠治理与涉及沙漠的产业链相结合，大大推动了沙漠治理与地方经济社会发展。

三、产治互构的运作机制

在达拉特光伏发电应用领跑基地，光伏发电与沙漠治理互相嵌套，产治结合、产治互构，成为中国新能源发展与沙漠治理的新样态。沙漠治理既是光伏项目的环境使命，也是项目自身发展的内生需要。沙漠治理是光伏发电基地建设、运转的前提条件，与此同时，光伏发电经由经济、技术甚至理念反哺沙漠治理，提升沙漠治理成效。

（一）治融于产：光伏项目的环境使命

“双碳”背景下的能源转型，为光伏项目的发展提供了前所未有的机遇。和西方社会通过广泛的社会运动自下而上的模式不同，中国的环境治理或环境保护主要体现为政府通过提升认知，自上而下地进行生态转型，中央政府对生态建设的关注，使得清洁生产、环境治理获得了前所未有的重视。就能源转型而言，2021年9月22日，中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和10月24日发布的《2030年前碳达峰行动方案》，明确提出推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，加快建设风电和光伏发电基地，以实现2030年碳达峰与2060年碳中和的目标。在沙漠里建设光伏项目，不仅能够生产清洁能源，还负有特殊的环境使命。受制于地方政策中关于沙漠开发相关的环境治理要求，光伏项目建设和营运也要满足沙漠治理的要求，受到了环境治理的刚性约束。

首先，光伏项目在申报时必须满足国家能源局对光伏基地建设用地的相关要求。2017年国家能源局在竞选光伏发电领跑者计划时设定了土地利用的分值，对于达拉特旗而言，库布其沙漠地区土地未利用程度高，地价低，所用土地具有天然优势。^①基地选址于沙漠地区虽然在国家竞选中具有优势，但同时也为项目建设出了“难题”，在沙漠上建设光伏项目，固沙和生态修复就成为基地建设的优先事项。

其次，达拉特旗选择在沙漠地区建设光伏发电基地，并将光伏发电与沙漠治理有机结合，有其自身的考虑。达拉特旗位于库布其沙漠东端，沙漠面积占全旗土地总面积的53.8%。沙漠地区常年风大沙多，生态环境十分脆弱。为了更好地治理沙漠，必须将防沙、治沙、用沙有机结合起来，向沙漠要效益，变劣势为优势，变沙害为沙利。在沙漠地区发展光伏项目，可以有效实现生态效益、经济效益、社会效益的综合提升。为此达拉特旗政府在制定相关政策时，有意识地将林业、牧业、旅游业整合到光伏项目中，推动“光伏+”的发展^②。

最后，入驻光伏发电基地的发电企业必须与政府签订生态修复协议。为了保证光伏发电与沙漠治理统筹进行，达拉特旗将“林光互补”定为光伏发电基地的发展原则，并按此标准进行招标。凡是参与竞标的企业必须在标书中承诺入驻基地以后采用“林光互补”建设模式。一期项目企业入驻以后，地方政府与各企业签订“林光互补”生态修复协议，对光伏企业在每亩地的投资金额及树木种植数量等提出了明确的具体要求。

总之，基于国家能源局对光伏发电领跑者基地申报的用地要求，达拉特旗政府将基地选址于库布其沙漠。基于沙漠综合利用、产业绿色转型的现实考虑，达拉特旗政府将光伏产业与沙漠治理确定为基地的发展原则。在后续的发展中，又向农林、畜牧等多业化、循环经济的目标推进。以此环环相扣，沙漠治理成为光伏项目的刚性约束，也成为项目发展的伴生要求。

^① 参见《国家能源局关于推进光伏发电领跑者计划实施和2017年领跑基地建设有关要求的通知》之《附件1光伏发电领跑基地竞争优选标准》，设置了6项标准共100分，其中“土地使用及成本”占25分。按此标准，库布其沙漠的用地显然可获高分值，就土地而言具有显著的竞争优势。

^② 如在达拉特旗2020年12月制定的《库布齐沙漠经济先导区先进技术、光伏发电示范基地建设规划》中明确库布齐沙漠经济先导区总体定位为：“光伏+治沙+农林+畜牧+旅游”五位一体化的先进技术光伏发电示范基地。

（二）产以治为基础：光伏项目的内生需要

技术的应用是有一定条件的，尤其在风沙较为严重的沙漠地区，要想使技术能够持续运转离不开对沙化环境的改造。沙漠治理不仅是光伏项目入驻的环境使命，也是光伏项目发展的内生需要。在沙漠地区发展光伏项目必须开展固沙、生态修复等沙漠治理活动，否则就难以保证光伏项目的正常运转和未来发展。

在沙漠地区建设光伏基地，面临多方面的沙害风险。因此，要确保光伏项目正常发电必须做好场地及周边的固沙工作。一方面，大风吹动沙子形成的沙丘容易掩埋光伏发电板。库布其沙漠年平均风速为3米/秒—4.6米/秒，日均风速 ≥ 3 米/秒的天数达到189天，且大风日多，年平均55天，最多77天。由于缺乏植被覆盖，沙漠流沙面积占到65.24%，在风积作用下，沙子很容易堆积形成沙丘。^①如果没有固沙工程，场地就地起沙或从场外涌入，就会把平整好的场地甚至光伏发电板掩埋。另一方面，大风吹动沙子形成的沙谷容易掏蚀光伏发电的桩基、支架。根据新月沙丘形成原理，其迎风坡是风蚀区，上部和顶部为强烈风蚀区，落沙坡和兽角或内侧产生堆积，两翼外侧有风蚀产生，这种过程导致了沙脊线和沙丘的迁移。^②伴随着沙丘的移动，一部分平整好的沙地被风吹蚀，形成沙谷，不可避免会对光伏发电的桩基、支架产生掏蚀作用。2019年春天，一场发生在达拉特光伏发电应用领跑基地的沙尘暴集中展现了这两种危害：

过去在这个地方，有个谚语叫一年一场风，从春刮到冬。这场风把沙漠的沙子吹到未沙化的土地上，导致沙漠扩大。光伏电站建成以后，如果不做固沙，一场风过去，原先被铲平的地方就会被沙子重新掩埋。一期的时候有个公司认为自己能做这个生态修复，后来它的沙子没固定好，场区里面形成了1.5米高的沙丘，它的光伏发电支架才2米高，如果再来几场风，光伏板就有可能被掩埋。在地下部分，它的桩基埋深是3米，这里高了1.5米，相应地其他地方低了，那刨出桩基露出一部分，就可能不稳。（2022年6月15日，基地平台某工作人员）

大风扬尘天气会降低光伏发电的效率。库布其沙漠年均发生沙尘暴天数为27天，最多有57天，年平均扬沙天气为41天。沙尘落在光伏板上不可避免会降低发电效率。根据光伏电站技术人员测算，降低效率约为5%。按目前基地一年发电20亿度来算，相当于少发1亿度电。因此，固沙降尘从另一个角度看也是提高企业的经济效益。与此关联的是沙尘增多会增加光伏电池板的清洗次数，增加企业成本。光伏电站的清洗工作一般是交由外部清洁公司负责，清洁费用为0.25元/块，每增加1次清洁就会增加100万元左右的支出。

综上，若要光伏项目健康、平稳地运行，固沙和必要的生态修复是其前提条件。从长远发展来看，只有做好沙漠治理工作，才能有更多的发展机遇。如2017年，国家能源局在对达拉特光伏发电应用领跑基地验收时，发现其“光伏+治沙+林光互补”效果显著，便奖励了其500兆瓦装机容量。

（三）光伏项目对沙漠治理的反哺

光伏发电需要沙漠地区良好的生态环境以保障项目正常运行，与此同时，光伏项目本身良好的经济收益，使其有条件反哺沙漠的生态治理。从实地调查来看，光伏项目对沙漠治理的反哺不仅体现在经济上，也反映在生态理念层面。

在目前的技术装备条件及电价政策背景下，光伏项目具有良好的经济效益。根据已经稳定运营两年的达拉特光伏发电应用领跑基地一期项目，光伏发电装机容量有500兆瓦，占地2.5万亩，年发电量10亿千瓦时，上网电价0.35元，年发电销售收入3.5亿元。^③据调查，2020—2022年入驻基地的光伏发电企业每年给基地平台的生态环境维护费为1000元/亩。若按此标准、以光伏项目运行25年计，一期项目将为光伏基地固沙及生态修复提供6亿多元资金，这是普通沙漠治理或生态修复工程很难达到的资金投入量。

光伏项目的引入，将沙漠治理从单纯治沙变为综合开发，变沙害为沙利，改变了人们对沙漠的态度，

① 杨文斌、张团员等：《库布其沙漠自然环境与综合治理》，呼和浩特：内蒙古大学出版社，2005年，第41页。

② 杨文斌、张团员等：《库布其沙漠自然环境与综合治理》，第76—77页。

③ 夏小童：《“林光互补”：库布其沙漠治理的探索》，《四川环境》2022年第1期。

提振了沙漠治理与开发利用的信心。中国传统沙漠治理主要采取国家项目投资、地方组织实施、农民参与的模式，历史地看，这种方式对中国的沙漠治理发挥了极其重要的作用。但在当下的技术装备与组织条件下，这一模式的效果有待提高。在沙漠地区建设光伏项目，除了企业直接从项目中赢利外，地方政府可以通过税收方式增加地方财政收入，周边农牧民通过土地租金、园区劳务招工及相关产业发展增加家庭收入。

此外，光伏项目不仅会促进光伏发电场地范围内的生态修复，也会产生环境正外部性，将生态价值传递到场地之外，产生更广泛的生态效应。环境问题的研究者都熟悉环境外部性。在传统的发展模式下，环境的外部性更多地表现为负外部性，但光伏项目有助于促进场地之外的沙漠生态修复和环境改善，即产生环境正外部性。在沙漠中栽种植物、提高植被覆盖率将一部分沙丘固定以后，风沙来源减少，其余沙丘也会慢慢固定。在达拉特光伏发电应用领跑基地，一座被留置的沙丘生动展示了这一生态演变的过程：

2019年，骏马电站建设期间，有领导人前来调研，当时没有一个制高点可以参观，就找到一个沙丘做了观景台。当时我们在观景台旁边特意留了一个大沙丘作为对比，方便给参观者介绍这就是原始地貌。结果3年以后这个保留的沙丘已经降低了4—5米。一方面是因为它是个孤立的沙丘，每年大风要吹走一部分，另一方面是这个沙丘附近都已经绿化了，有些草秋天会落籽吹到沙丘上，到了春天就会发芽，导致这个沙丘慢慢也长出了植被，现在已经长到了半山腰。”（2022年6月15日，基地平台某工作人员）

据调查，通过平整沙丘、栽种植物、引水灌溉进行沙漠治理，其治理效果会外溢到光伏项目场地之外。据达拉特旗发改委数据，“十四五”期间达拉特旗规划建设集中式光伏发电基地12吉瓦，按1吉瓦光伏项目占地3.2万亩计算，共计38.4万亩，如果光伏基地具有相当面积的生态扩展效应，那么生态治理及其扩展面积大约占到达拉特旗可利用沙漠面积的2/3左右。

另外，光伏治沙产生的品牌效应，可以吸引更多项目前来投资，推动地区绿色产业转型。比如，以光伏发电基地为基础，带动科技创新、文化旅游等多业态统筹并进，输出产业发展与沙漠治理新理念，影响带动更多地区的绿色发展。

船桥晴俊通过对日本及其他现代化国家长时段的研究，对环境问题的产生与环境治理进行了系统的考察。他分析了环境控制系统是如何作用于生态系统与经济系统的，认为环境控制系统对经济系统的干预可以分为四个阶段，环境保护内化为核心管理任务是其最高阶段。当环境保护被内化为一个企业的核心管理任务，企业的发展和环境保护就会达成一致。^①就笔者调研的光伏发电企业来看，企业已经把环境目标内化为初始任务，环境保护的观念及价值与经济目标成为同等程度优先考虑的目标。这一视为高度现代化以后才可以慢慢达成的目标，在一个总体而言经济并不发达的地区率先实现了。这既与它所处的自然条件、政策背景关联，有其内在的运作机制，也与其产治融合背后的社会文化逻辑有关。

四、产治融合的社会文化逻辑

关注中国现实的研究者会发现，有的新技术推进异常艰难，而有的新技术则能迅速地被推进，而且，伴随技术的推进，相应的组织制度也会跟进创新，以满足技术变革的组织与制度环境需要，光伏项目就呈现出这样一个特点。那么，如何理解沙漠中建设光伏项目兼顾技术引入与组织制度创新，以及兼具发电营收与生态治理的效果？笔者认为应从中国社会文化自身，特别是从日益被忽视的“小传统”中去理解和解释这一现象。

芮德菲尔德提出和区分了大传统、小传统的概念。他认为，大传统是指以城市为中心，社会中少数上层人士、知识分子所代表的文化；小传统是指在农村中多数农民所代表的文化。^②后续学者陆续提出划

① [日]船桥晴俊：《环境控制系统对经济系统的干预与环保集群》。

② [美]罗伯特·芮德菲尔德：《农民社会与文化：人类学对文明的一种诠释》，王莹译，北京：中国社会科学出版社，2013年，第95页。

分大传统、小传统的多种方法，如从国家层面与民间层面、精英与大众、高级与低级、主流与非主流等角度加以区分。^① 本文的研究更重视一些实践中进行的、没有或较少有文字总结提炼的那些文化传统。费孝通晚年多次提到关于文化自觉的问题，强调“深入发掘中国社会自身的历史文化传统，在实践中探索社会学的基本概念和基础理论”^②，是中国学术的重要发展方向。对于产治融合的社会文化逻辑，应更注重从中国本土和地方实践中，去理解其背后的文化传统。

（一）从土地里衍生出来的多业态

光伏发电基地给人直观的印象是大量光伏发电设施仿佛是“种”在地里一样。事实上，随着时间的推移，它逐渐演变为真正与土地相融的设施或技术。所谓与土地相融，至少有几方面的含义。

首先，在物理空间上，光伏设施犹如树木一样被“种”在地里，成为地表上的一部分。人们似乎也逐渐习惯了大地上的光伏设施。相关的土地政策可以成为一个诠释，它规定：

采取差别化用地政策支持新业态发展。光伏、风力发电等项目使用戈壁、荒漠、荒草地等未利用土地的，对不占压土地、不改变地表形态的用地部分，可按原地类认定。^③

就是说，新的土地政策可以这样解读，即对于在沙漠上建设光伏发电，除光伏发电的桩基、变电站等有限设施的占地视为工业用地，架空的光伏板未计入工业用地。从某种角度上说光伏发电项目更接近于农业项目。

其次，在生态意义上，光伏设施逐渐嵌入沙漠生态系统中。光伏设施本是无生命的物件，但在沙漠系统里，它成为有助于生态系统发育的要素。由于它不发生（至少短期内）化学影响，而它的物理影响则总体上有利于其周边的沙漠生物，故而能够逐渐嵌入于生态系统。具体而言，光伏电板在阻挡太阳光的同时，把原本辐照到地表上的太阳能转化为电能，并且输出沙漠系统，从而降低地表温度、减少沙漠地表的水分蒸发。这一改变，对沙漠地区的植物生长是非常有利的。姚泽等人对4个光伏电站的调查结果也表明，光伏电场内的植物比光伏电场外围的植物生长得更好。^④

就经济社会的角度看，光伏新技术使用一段时间后，就不再是高高在上的“高新技术”了，而是可以与当地经济社会充分结合起来的可开发沙漠和改造沙漠的手段。就笔者调查了解到的达拉特光伏发电应用领跑基地的情况看，当地正在探索光—草—牧结合，努力把工业项目与当地农牧业有机结合起来。

由于沙漠产业发展并无可靠的经验或模式可以借鉴，在运营的初期，发电企业、基地平台等多个主体进行了多方面的探索。一种可能的土地利用方式是种植耐旱的本土植物。本地的甘草、黄芪、沙棘等品种，适应干旱的沙地环境。这些品种植株不高，不挡光、不影响光伏发电，也有较好的防风固沙作用。但甘草和黄芪的药用部分主要是其根部，种植三五年后就要翻挖采摘，而这可能对光伏发电设施造成安全隐患。而沙棘同样具有很好的防风固沙效果，它的果实又是一种保健食品，但在光伏基地种植沙棘，也面临着沙棘如何与光伏设施匹配的问题——要相生，又要避免相克。此外，当地也尝试种植栽种沙柳、柠条、紫穗槐等固沙植物。固沙植物种植的重心在生态效益。在保护生态及与光伏发电设施相匹配的同时，如何开发固沙植物的经济效益成为一个新领域。

此外，基地平台正在尝试发展肉牛产业，构建“光—草—牧—肥”的循环复合产业业态。光是光伏发电，包括肉牛养殖基地的棚顶上也可以安装光伏电板（夏天可以降低牛棚的温度）；草是牧草，通过与科研单位合作筛选出既可固沙修复生态又能作为饲料的适合本地生长的草种，可为肉牛提供部分草饲；牧是肉牛养殖，根据市场需求，确定肉牛产业作为发展方向；肥是牛粪，沙漠地区不仅缺水，而且缺肥，

① 吾淳：《重新审视芮德菲尔德的“大传统”与“小传统”理论》，《上海师范大学学报（哲学社会科学版）》2017年第1期。

② 费孝通：《试谈扩展社会学的传统界限》，《费孝通文集》（第16卷），北京：群言出版社，2004年，第148页。

③ 参见《关于支持新产业新业态发展促进大众创业万众创新用地的意见》（国土资规〔2015〕5号）国土资源部发展改革委科技部工业和信息化部住房城乡建设部商务部关于支持新产业新业态发展促进大众创业万众创新用地的意见_发展改革委_中国政府网(www.gov.cn)。

④ 姚泽、刘世增等：《沙漠光伏的热力平衡效应及其防沙治沙的生态学意义》，《中国农业科技导报》2022年第1期。

牲畜粪肥不仅可为植物生长提供营养物质，而且有助于锁住水分，培育微生物，繁育生态系统。

（二）多业态的社会文化逻辑

上述多业态的格局较好地遵循了中国社会文化自身的运行逻辑，即在环境维度上遵循了生态学的原理，物尽其用、变废为宝、循环利用；在经济维度上尝试综合利用土地以地尽其力，达到最佳经济效益；在社会维度上，寻求与当地社会文化相匹配，人尽其能、物为我用。它强调的是生态、经济与社会的综合效益，而非西方经济学主张的经济意义上的投入—产出最优。

从土地出发、多业并举是中国地方工业化的基本逻辑。费孝通在分析苏南乡村工业时，提出了与英国工业化逻辑迥然不同的解释。费孝通尝试从当地人的日常生活去理解乡村工业发展的逻辑。太湖流域人口稠密、土地紧张，在人多地少的背景下，当地人主要通过精耕细作提高产量，同时为避免内卷而不断地向多业态拓展，“他们很巧妙地把畜牧业、种植业和手工业三者有机地结合在一起，最典型的是栽桑、养蚕和缫丝，这便是所谓的家庭副业。……吃靠土地，用靠副业，男耕女织，农副相辅。……他们的命根子被掰成两半，一半是土地，另一半就是包括手工业在内的家庭副业”^①。从种植业、养殖业到副业、手工业，正是这样一个发展逻辑，现代工业无障碍地进入苏南乡村。所以费孝通认为在苏南农民眼里“工厂并不是别的东西，只不过是他们自己的又一副业阵地而已”^②。事实上，中国其他地区的发展也有类似的特点。

从表面上看，沙漠地区的产业发展与苏南从农业到工业的发展路径并不同，但抛开其外在的区域差异，其背后的多业共作、相互融合且互为依托的内在逻辑是一致的，两者共同遵循了中国农村发展的一些基本逻辑。

一是“物尽其用、变废为宝”的原则。沙漠在一般人的认知里，有百害而无一利。但在中国文化里，善用“化”的力量，如果再辅以一定技巧，就可以把不好的、不利的转化为好的和有利的。如何消除沙害，化沙害为沙利，是多年来沙化地区人民苦苦探索的课题。一旦有新技术出现，治沙实践者就尝试用于沙漠治理。光伏发电技术的成功应用只是治沙实践者长期探索化沙害为沙利的一个环节。

二是“地尽其力、多业并举”的基本原则。充分利用土地，把土地利用到极致，是中国农耕文明精耕细作的一个基本特点。虽然鄂尔多斯高原处于农牧交错地带，但这一做法仍然体现了中国农耕文明的基本特点。当然也不仅是遵循中国传统农耕的一般做法，而是在传统的基础上又进行了拓展。1949年以来，中国农业、畜牧业的技术进步与组织模式推进，使得曾经农牧交错地带，对土地开发的潜力有了更清晰的认识，以此为基础的农牧业与工业的多业态发展更契合当地的资源特点。在鄂尔多斯等农牧交错地区，原来的游牧逐渐改为圈养，同时借助现代种植业生产优势，在有限的土地上提供圈养牲口的充足饲料，实现了种养结合。为提高经济效益，有些地方进一步发展畜产品加工业，延伸产业链。因此，把看似不同的行当“拼凑”起来，遵循了“七种八养九行当”的民间传统，其内在的逻辑恰恰是统一于土地的综合利用和最大经济产出这一中国人特有的经济理性基础之上的。

多业态内部的相融与匹配，一方面是基于生态学原理，另一方面是注重与社会文化的契合。如南方的桑基鱼塘，它不仅体现了种稻、养鱼、植桑、饲蚕物质循环利用的生态农业基本原理，在桑蚕的基础上发展缫丝、织绸手工业并延伸到丝绸贸易，延长产业链以更好地利用农村剩余劳动力，获取更高利润，也与地方社会人多地少的基本现实相关照。光伏基地在发电的同时推动沙漠植物种植，再向养殖业延伸——它在遵循生态学的原理基础上，多业并举，为地方社会提供更多的就业机会，共享沙漠开发成果。笔者注意到，被视为水环境治理成功典范的日本琵琶湖治理模式，同样强调了环境治理与地方社会文化的匹配性。他们既没有采用以美国国家公园模式为代表的纯自然主义的环境保护策略，因为这不符琵琶湖地区人口密集的特点，也没有采用单纯依赖科学技术来治理环境的做法，而是从当地居民的日常生

① 费孝通：《九访江村》，《费孝通文集》（第10卷），北京：群言出版社，1999年，第315页。

② 费孝通：《九访江村》，《费孝通文集》（第10卷），第318页。

活中汲取智慧,从理解其生活逻辑出发来制定环境政策。就此而言,光伏项目的产治融合正是建立在中国社会自身的社会文化逻辑之上的,即强调“地尽其力、物尽其用、多业并举”的生态—经济—社会综合最优策略。

五、结论与讨论

沙漠化既是一个自然现象,也是一个重要的社会问题。沙漠化与贫困、发展障碍如影相随。由于沙漠地区的物理学特征,光伏项目的嵌入,有可能使沙害转化为沙利。本文通过回顾内蒙古鄂尔多斯库布其沙漠治沙历史,对达拉特光伏发电应用领跑基地进行系统分析,发现光伏发电与沙漠治理产治融合,不仅输出大量清洁能源,减少了碳排放,还治理了沙漠,改善了生态环境,统筹实现了生态、经济、社会三方面的效益。

由于自然地理及气候的原因,中国有众多的天然沙漠,沙漠总面积 70 万平方公里。同时,由于人口增长、土地的不合理利用,1949 年以来,特别是 20 世纪 70 年代中期以来,出现了严重的沙漠化现象。据调查,20 世纪 50—70 年代中期,中国沙化土地年均增长 1560 平方公里^①,1977—1997 年沙化土地年均增长 2400 平方公里^②。因此,沙漠治理是中国面临的一个严峻的现实问题。

2020 年,中国总发电量 76264 亿千瓦时,其中太阳能发电量 2611 千瓦时,仅占全国总量的 3.4%。^③如果未来沙漠地区太阳能发电量占比达到 2020 年全国发电量的 20%,则可以建设 2.54 万平方公里的光伏发电基地,若考虑其配套及其周围环境稳定需要以 1:1 的面积进行治理,则将有 5 万平方公里左右的沙漠得到治理。如果以 30%、40% 计,则分别有 7.5 万、10 万平方公里左右的沙漠得到治理。^④这对中国的沙漠治理具有战略意义。沙漠地区的光伏发电不仅有效治理了本地的环境,而且将对全球的气候变化做出重大贡献。如果未来沙漠地区太阳能发电量占比达到 2020 年全国发电量的 20%,则意味着中国每年可以减少排放二氧化碳 10.68 亿吨;如果以 30%、40% 计,则可以分别减少排放二氧化碳 16.02、21.36 亿吨^⑤,为国家实现碳达峰、碳中和目标做出重要贡献。按达拉特光伏发电领跑基地一期项目运营核算,光伏基地占地 2.5 万亩,年发电量 10 亿千瓦时,年发电销售收入 3.5 亿元。根据达拉特旗“十四五”规划,未来将建成 12 吉瓦的光伏发电基地,年发电量可达 240 亿千瓦时,即使在后续电价有所降低的情况下,对像达拉特旗这样三十余万人口的旗县,其能够提供的财政收入依然相当可观。

此外,光伏发电基地的运行维护也为当地提供了大量的就业机会。按照达拉特光伏发电领跑基地正常运行每年每亩 1000 元生态修复费用计,10 万亩基地建成以后,就会形成上亿的物业费,形成一个庞大的物业服务产业,会对本地劳动力进行优先安置。^⑥这对于推动西部地区的乡村振兴具有非凡的意义。

光伏治沙模式能够成功,与其产治互构的运作机制密切相关。一方面,沙漠治理是嵌入到光伏项目的“天然使命”。国家发改委、国家能源局在光伏项目立项时已将沙漠治理设置为光伏项目的前提条件,申报光伏项目的地方政府也清晰地意识到沙漠治理与光伏发电之间的关系,认识到变沙害为沙利的发展契机,从而制定出“林光互补”“草光互补”等项目实施方案。入驻光伏发电基地各发电企业在此政策框架内制定了相应的治沙策略,由此,沙漠治理、生态修复成为光伏发电项目的刚性约束和伴生要求。另一方面,沙漠治理也是光伏发电项目的内生需要。在沙漠地区建设光伏发电项目通常要面临风沙掩埋、

① 刘明兴、韩小红等:《我国沙漠化土地发展趋势及治沙新思路》,《地域研究与开发》1996 年第 1 期。

② 陈翔舜:《我国北方沙漠化土地发展趋势及战略整治》,《甘肃林业科技》1997 年第 4 期。

③ 中国电力企业联合会:《中国电力统计年鉴 2021》,第 9 页。

④ 以达拉特光伏发电领跑基地一期项目运营数据,发电 10 亿度,占地 2.5 万亩数据作为推算依据。占 2020 年全国发电量 20%、30%、40% 分别为 15252.8 亿千瓦时、22879.2 亿千瓦时和 30505.6 亿千瓦时。达到此发电量需要建设基地 2.54 万平方公里、3.81 万平方公里、5.08 万平方公里。

⑤ 根据《中国电力统计年鉴 2021》,按照中国火电煤耗约为 282.9 克/千瓦时推算。

⑥ 光伏基地所在镇负责人也曾与笔者探讨,设想每个嘎查成立合作社,以便承接光伏发电企业的生态、保洁等企业物业服务。

风沙掏蚀和扬尘等降低发电率的风险。为了使光伏项目能够正常进行发电、降低沙害风险和沙尘带来的管护成本,治沙是符合企业经济利益最大化原则的。值得注意的是光伏发电项目对沙漠治理也有反哺作用,即光伏项目不仅为沙漠治理提供了资金支持,而且通过以用促治,改变了人们对于沙漠的态度,再通过绿色效应的外溢机制产生了更多的环境正外部性。

光伏发电与沙漠治理之所以能够做到产治融合,背后有其深厚的社会文化基础。在中国传统文化中,“物尽其用”“变废为宝”一直是人们信奉和践行的生活、生产原则,甚至上升为一种文化。这一理念首先表现为生态学意义上的循环利用,但同时也有其经济学意义上如节约成本的价值理念。在依靠土地获取主要收入来源的时代,“地尽其力、多业并举”成为生存与发展的基本策略,如在主业之外寻找副业,进而发展家庭手工业以维持家庭生计,是中国人普遍的生计策略。虽然中国逐渐进入市场经济时代,但地尽其力、多业并举仍是人们秉持的基本价值理念。在库布其沙漠,亿利资源集团、东达蒙古王集团、伊泰集团等公司在谋求自身发展的同时,结合市场需要和沙漠治理,构建各具特色的沙产业,形成特色鲜明的沙漠治理与经济发展兼顾的地方发展模式。总的来看,光伏项目与沙漠治理结合,既是“库布其模式”,也超越了“库布其模式”,它从“治一用”结合转变为“用一治”结合,把沙漠治理深深地嵌入到沙漠产业发展之中。(感谢河海大学社会学系夏小童在田野调查中给予的帮助,感谢研究地相关部门人员接受笔者团队的访谈。文章中的公司名称、访谈对象姓名已经做了适当的技术处理)

Integrating Governance into Production: Desert Development and Governance in the Context of Carbon Peaking and Carbon Neutrality

CHEN A-jiang&LI Wan-wei& MA Chao-qun

(School of Public Administration, Hohai University, Nanjing, 211100)

Abstract: The setting of carbon peaking and carbon neutrality goals does not only provide a new opportunity for developing the photovoltaic industry, but the application of new technologies also leads to a new model for the development and governance of deserts. By investigating the production process the Dalat photovoltaic base in the Kubuqi Desert, the research finds that photovoltaic power generation and desert governance are organically integrated, and environmental governance is embedded in the process of power production: the project planning has given photovoltaic power generation the mission of desert governance; to adapt to the sandstorm environment, desert control activities such as sand fixation and ecological restoration have become the basic requirements for the normal operation of the project; the photovoltaic project provides support for the continuous governance of the desert and forms a spillover mechanism of green effect. The integration of photovoltaic power generation and desert governance is based on the social and cultural logic of China: photovoltaic facilities are implanted in the desert, and gradually integrate into the desert ecologically, economically and socially, and extend into multiple industries such as light, forest, grass, and animal husbandry; in the land-based context, “make the best use of the land and develop multiple industries simultaneously” is the basic strategy for its survival and development, and “make the best use of everything” and “turn waste into treasure” are the basic principles of its practice. The desert development governance model that integrates governance into production does not only achieve various ecological goals such as desert governance, ecological restoration, and carbon reduction, but also achieves the economic and social goals of increasing corporate economic benefits, increasing government revenue, and promoting local employment, which is of important strategic significance for China’s desert governance.

Keywords: Photovoltaic Power Generation, Integrating Governance in Production, Carbon Peaking and Carbon Neutrality, Desert Development, Desert Governance

[责任编辑: 廖 霞]