

新型清洁能源海上风电——“电从海上来”

舒印彪



开卷知新

海风轻拂，“风车”转动，一座座海上风电机组源源不断送来电能，“电从海上来”的场景正在我国沿海不断出现。

自2007年建成第一台海上风电机组至今，我国海上风电实现了跨越式发展。海上风电装机容量从2015年的104万千瓦增至3650万千瓦，占全球海上风电装机容量的近一半，位居世界第一。我国已形成从开发设计、生产制造到施工建设、运维管理较为完整的海上风电技术链、产业链。2023年，我国风电机组、叶片、齿轮箱、发电机、固定式基础等产能占全球产能比重均超过60%。

能源是人类赖以生存的基础，构建新型能源体系是时代向我们提出的课题。国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》提出，坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电产业链，鼓励建设海上风电基地。作为优质清洁能源，海上风电是新型能源体系的重要组成部分。我国海上风能资源丰富，大力发展海上风电对保障我国能源安全、推进绿色低碳转型、实现碳达峰碳中和目标具有重要意义。

助力经济社会绿色可持续发展

我们为什么要走向海洋，发展海上风电？为提升清洁能源供应保障能力。从自然条件上看，我国沿海5米—50米水深、海平面上70米高度的海上风电资源可开发量超过5亿千瓦。海上平均风速比陆上高20%左右，海上风电年平均利用小时数超过2500小时，最高可超过4000小时，平均比陆上风电高500小时左右。从区域经济上看，我国东部沿海地区经济发达，是重要的用电负荷中心，海上风电靠近沿海省份，就近接入，对保障东部地区能源电力供应、提高非化石能源消费比重具有重要作用。此外，海上风电还能与“西电东送”形成时间、空间上的互补，保障我国电力系统运行的可靠性和充裕性。

有助于推动海洋强国建设。发展海上风电能够带动海洋测风、海洋工程等相关上下游产业链联动发展，助力海上风电与海洋潮汐能、海上光伏、氢能、海上油气资源等协同开发，实现设施共享、联合运维，促进海上新型能源产业发展。海上风电还可以和海洋牧场、海洋监测、旅游服务等共同发展，实现“海上粮仓+清洁能源”立体开发，提高海洋资源综合利用效率。通过多领域深度融合，将有力推动海洋资源开发向循环利用型转变。

新能源技术和电力科技新高地

要在汪洋大海上建起“发电厂”，面临诸多技术挑战。海上风电场处在强风、大浪、咸水腐蚀的复杂海洋环境中，风机基础要承受风、浪、海流等多种载荷，长距离的海底输电线路需具备防水、耐腐蚀、抗机械牵拉及外力碰撞等多重性能，机组安装还要利用大型海上专业施工船舶作业。因此，海上风电对装备制造、制造、建设、安装技术和建成后的机组运维、故障处理要求都很高。

近年来，我国海上风电核心装备技术水平快速提升，已具备大容量海上风电机组自主设计、研发制造、安装调试、运行检修能力，零部件整体国产化率达到90%以上，为解决上述难题提供了有效方案。

制造大容量风电机组可以有效提升风能开发利用水平，降低单位容量工程投资和安装施工运维成本，是海上风电技术发展的主要方向。我国自主研发的B1260A型叶片长度达126米，是全球最长风电叶片。2023年7月，全球首台16兆瓦海上风电机组在福建海上风电场成功并网发电。机组轮毂中心高度152米，相当于50层楼高，叶轮扫风面积约5万平方米，相当于7个足球场，叶片每转1圈，可发电约34千瓦时，每年可输出超6600万千瓦时清洁电能，满足3.6万户三口之家一年的用电量。主轴承如同海上风电机组的“关节”，是决定机组使用寿命的关键。紧跟新型叶片，我国自主研发的18兆瓦海上风电主轴承在2023年8月下线，实现了大功率风机轴承国产化。

不只风电机组，海上风电是复杂的系统

工程，需要并网送出、海上施工、运行维护等配套工程技术配合。柔性直流输电技术具有潮流反转方便快捷、事故后快速恢复供电以及黑启动等诸多优点，能有效解决海上风电场大容量、远距离输电问题。2021年，我国首个海上风电柔性直流输电工程——江苏如东海上风电±400千伏柔性直流输电系统成功并网，在建的广东阳江青洲海上风电项目则采用更先进的±500千伏柔性直流输电技术。设备运输、安装施工、运行维护也需要研制专门的船舶。2022年，国内首艘第四代海上风电安装平台“白鹤滩”号交付使用。该船配备的绕柱式起重机可以起吊2000吨的风电基础和风机设备，相当于吊起1300辆家用小汽车，增强了我国近海深水区及深远海风电机组施工安装能力。2023年11月，配置了智能运维信息化系统、海缆敷设及海缆抢修等系统的多功能风电运维母船“海峰3001”号投入使用，助力解决海上风电运维的痛点和难点。

规划引领，科技支撑，实现海上风电高质量发展

深远海风能资源可开发量是近海的3倍以上，发电更加稳定，是海上风电开发的重点。《“十四五”现代能源体系规划》提出，鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。我国沿海省份纷纷制订海上风电发展规划，推动海上风电由近及远有序开发。深远海意味着新的挑战，传统固定式基础施工成本高、受海底地形与暗流影响大，深远海漂浮式风电技术应运而生。去年5月，我国首座深远海漂浮式风电平台“海油观澜号”并网发电，工作海域距离海岸线100公里以上、水深超过100米，年均发电量可达2200万千瓦时。

瞩目未来，海上风电将在能源转型中扮演更加重要的角色。根据东部沿海各省海上风电发展规划测算，预计到2030年，我国海上风电装机将达到1.5亿千瓦，海上风电发电量占东部沿海地区用电量比重将达到约10%；到2060年，海上风电装机将超过10亿千瓦，海上风电发电量占东部沿海地区用电

量比重将超过30%。海上风电开发要素多、投资大、风险高，要加强资源勘测，建立海洋空间大数据库，开展海上风电资源开发利用总体规划，推进集约化、规模化开发，提升资源开发整体效益。

新的目标，对风电开发基础能力提出新的要求。面对复杂开发环境以及发电预测、电力消纳难以准确评估的难题，需要加强资源评估、微观选址、设备选型、并网分析等环节全过程协同设计与优化迭代，构建海上风电全过程协同开发体系。建立适应不同应用场景的精细化仿真平台，提高新装备与新技术验证水平，降低海上风电项目开发技术风险。建立海上风电技术标准和检测认证体系，实现技术产品标准化、序列化。开发高效率成套测试验证平台，以标准化促进技术成果应用、提高生产效率。健全绿色产品标准认证体系，推行绿色设计、绿色制造、绿色建造，促进资源循环再利用。

关键领域科技创新时不我待。进一步降低海上风电建设成本、提升开发利用效率，需要发挥科技创新引领作用，加强项目勘察、设计、施工、安装、运维等技术研发，突破大型碳纤维叶片等技术瓶颈，发展海上风电柔性直流输电、海上换流平台紧凑型轻量化等技术。研发适应深远海域的超大型安装平台，让数字化技术与深远海资源勘测、项目建设、智能运维等环节深度融合。

随着海上风电技术进一步发展，相信会有更多机组挺立在大海之上，为经济社会发展持续注入绿色能量。

（作者为中国工程院院士、中国电机工程学会理事长）

题为辽宁大连庄河海上风电项目。

新华社记者 杨青摄

制图：沈亦伶

推荐读物

- 《海上风电场技术》：刘永前主编；电子工业出版社出版。
- 《海上风电与海洋牧场融合技术与产业发展现状》：陈华谱、王叶主编；中国科学技术大学出版社出版。
- 《智慧海上风电场》：罗必雄、乔旭斌、陈亮主编；中国水利水电出版社出版。

信息化、数字化、智能化是一个由简单到复杂，由一般功能到强功能的递进过程。在连续的发展过程中，数字化的创新创造与功能提升，终将帮助人们实现智能化。

随着数字化深入推进，相关研究著作不断涌现。邵春堡新作《未来发展：从数智经济到共享社会》聚焦这一热点话题，剖析数字化的历史基础、现实状况和未来趋势，展现数字社会发展的美好愿景。

作者从产业视角对数字化和数字经济概念进行阐释。数字化的源头在数字科技，云计算、大数据、区块链、人工智能等前沿技术快速发展，使数字科技进入产业化应用阶段。可以说，以数字科技为重点的新一轮科技革命和产业变革，奠定了数字经济的基础，并通过数字产业向传统产业赋能，推进制造业等各行业的数字化。作者选择产业的视角，将科技创新与经济增长联系起来，也将抽象概念与应用场景结合起来，力求融会贯通。

作者用“分蛋糕”的比喻，生动分析了数字经济的三种发展方式。一是智能发展方式，即以人工智能等智能系统提供产品和服务，这种方式在处理器与机器人的管控、协作中做大“蛋糕”。二是平台发展方式，通过数字平台，人们可以共享机会和资源，还可以节约不必要的成本，在处理器与人的成果分配中分好“蛋糕”。三是生态发展方式，在数字化条件下，信息等轻资产占比越来越大，物质和能量占比相对降低，这种方式可以减少生态压力，促进人与自然和谐共生，进一步做大“蛋糕”。

近年来，数字化主题的著作不少，较多的是对技术、数字经济、数字社会等单项主题进行论述，但火热开展的数字化实践表明，数字化与经济、社会和治理有着紧密联系。作者通过数字化这扇窗口，力图揭示其与经济社会等方面的内在联系。

通过观察数字产业化和产业数字化现象，作者仔细描述数字经济的价值创造过程和价值流向变化，分析了数字化转型、数实融合、数字产业集群等重要环节。作者指出，数字社会是数字化发展的必然。数字社会的出现，势必要求治理方式的数字化转型，以建立和维持数字经济形态的秩序。在数字社会中，治理主体、治理对象和治理方式都在数字化，如果用数字化治理方式积极地反作用于数字经济社会实践，就便于抓住薄弱环节，提高治理效果，实现“用数据对话、用数据决策、用数据服务、用数据创新”的崭新格局。由此，书中较为完整地论述了数字化与经济、社会等方面的内在联系，呈现了数字化发展的逻辑闭环。

未来，数字化将如何演进？针对人们普遍关心的这一话题，作者以上述几组关系为理论视角，回溯中国经济发展历程，解析数字化带来的智能化发展趋势。从上世纪中叶开始，全球信息化步伐加快，我们赶上了“末班车”，用信息化带动工业化，支撑起“中国制造”，又随着数字科技发展，充分发挥经济领域要素优势，形成数字经济形态。近几年人工智能快速迭代，生成式人工智能长足发展，不少技术进入应用阶段，具备了产业化基础，智能产业有可能冒出“地平线”，得到新的发展。

在作者看来，信息化、数字化、智能化是一个由简单到复杂，由一般功能到强功能的递进过程。在连续的发展过程中，数字化的创新创造与功能提升，终将帮助人们实现智能化。因此，作者在书名中使用“数智经济”而非“数字经济”，就是从研究角度展现数字的标志意义、智能的关键作用和智能化的发展趋势，具有一定前瞻性。

展望数字化的未来前景

许志

解读图像里的宋代生活

赵澄

宋代是中华文化的一个丰盛时期，实现了文官制度、理学、诗词、书画等一系列政治、文化、艺术的创新，因此成为文化史研究者关注的重点。邵晓峰新著《宋式艺术生活》从图像角度解读宋代文化历史，分析了宋代不同人群的生活状况，以图像为线索，梳理宋代民生民俗、书画金石、建筑家具等并展开论述，勾勒出悠久中华文明生机勃勃的一个历史片段。

作者从事宋代文化研究多年，曾出版《中华图像文化史（宋代卷）》《中国宋代家具》《雅居之美——宋画中的家具文化》等多部著作。这次，他继续挖掘史料，翔实考据，以图叙事，多角度分析图像背后的事件和历史。全书50篇文章、200余幅图像，涵盖“文人与情怀”“家具与起居”“收藏与传播”等多个话题，内容具有史料性和学术性，也具有一定趣味性和可读性。

作为艺术史研究方法的一种，图像学主张通过资料考据，“按图索骥”阐释历史。这样的研究方法，往往能于细微处进行辩证推理，进而有所发现。《营造法式》中的建筑、《新仪象法要》中的仪器、《考古图》《宣和博古图》中的金石……宋代有不少精美的“工程图



《宋式艺术生活》：邵晓峰著；上海文艺出版社出版。

像”，作者撷取代表性作品，阐发其中蕴含的中国古代技术文化之美。书中对岳飞、苏轼“长什么样”进行的图像学考证，也试图在学术性和趣味性上找到平衡。作者结合《中兴四将图》等画作中的岳飞像，揭开“庐山真面目”，更新人们对这位历史名人形象的认知；作者还结合文字记载与画作呈现，图文互证，对苏轼图像进行分析，提出赵孟頫所绘

《苏轼像》与宋代文献记载的苏轼相貌有一定出入，为苏轼研究提供新的图像学案例。

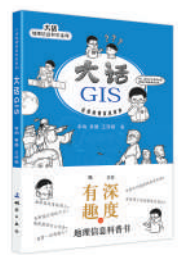
作者将新发现门类别类地归纳起来，由具体到一般，从现象到本质，探讨文化艺术与社会生活的关联。比如宋代《文会图》《孝经图》等画作中的家具图像，反映出古人由席地而坐转向垂足而坐坐一起居方式的变化，作者认为这一变化与建筑家具工艺技术、艺术观念、哲学思想发展密不可分，说明了中国古人对生活品质与艺术审美的需求变化。又如从《梅花喜神谱》木刻图谱，领悟到雕版印刷对发行出版和文化传播的意义，从《蚕织图》24幅民生图像，解读桑蚕生产技术和农耕文化底蕴……以图叙事带领读者从古人生活里的有趣现象，进入古代文化的丰富世界。

五千多年中华文明灿若星河，《宋式艺术生活》从当代人易于接受的视角切入，以图像解读传统艺术，不失为一种探索和尝试。当下文化实践启示我们，传统文化只有深度融入当代生活，才能得到更广泛深入的传承与发展。期待创作者们找到更多展现中国古代文化的方式方法，为文化传承创新贡献力量。（作者为常熟理工学院教授）

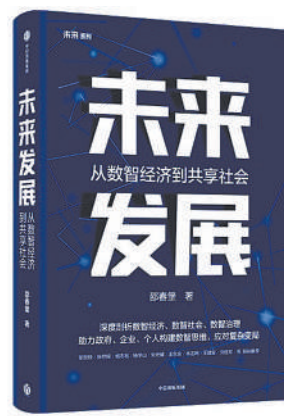
新书架



《踏荆前行：陈延年、陈乔年的故事》：李朝全著；三环出版社出版。本书讲述了陈延年、陈乔年兄弟逐步成长为坚定的共产主义战士、为理想信仰英勇牺牲的故事。



《大话GIS》：李响、费腾、王丽娜著；测绘出版社出版。通过科普漫画，生动讲解地理信息系统（GIS）技术在生活中的广泛应用。



《未来发展：从数智经济到共享社会》：邵春堡著；中信出版社出版。

