

编者按:习近平总书记指出,加快发展新一代人工智能是我们赢得全球科技竞争主动权的重要战略抓手,是推动我国科技跨越发展、产业优化升级、生产力整体跃升的重要战略资源。中国海洋大学中国海洋发展研究中心于2025年4月2日在青岛组织召开主题为“治理与创新:AI时代的海洋可持续发展与新质生产力”的第二十七期中国海洋发展研究论坛。现将论坛中部分发言与会后特邀专家学者持续讨论的主要内容以笔谈形式刊出,以飨读者。

“人工智能时代的海洋可持续发展与法治”笔谈^{*}

杨 剑 高富平 张士洋 陈奕彤

摘 要:新一代人工智能技术正加速与海洋治理相结合,形成数智化的技术路径与治理模式,推动海洋可持续发展。在海洋治理与开发领域,以数字孪生为代表的数字治理技术,为可持续蓝色经济与海洋高效治理提供实现路径。在海洋能源领域,人工智能技术正推动海上风电行业向高智能化、无人化、去风险化方向改变。在全球海洋治理的新形势下,人工智能在全球海洋治理领域的应用和规则构建将成为中国为人类社会提供国际公共产品的又一次有益尝试。数字时代的法治应当为人工智能技术的应用建立有利且安全的环境,既形成适应数字经济的法律体系和规则,又为人工智能技术的发展提供法治保障。

关键词:海洋可持续发展;人工智能;数字治理;全球海洋治理;法律数字化

中图分类号:TP18;P7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-335X(2025)04-0001-14

DOI:10.16497/j.cnki.1672-335X.202504001

海洋治理数智化:人类与海洋互动的新模式

杨 剑

(上海国际问题研究院研究员)

海洋是人类未来之所依。对于占地球面积71%的海洋的开发、利用和保护,人类是否能沿循一条基于数据和科学判断的发展之路,海洋治理数智化将是一个关键之举。习近平总书记在谈到健全美丽中国保障体系时,特别强调,“深化人工智能等数字技术应用,构建美丽中国数字化治理体系,建设绿色智慧的数字生态文明”。^[1]新质生产力的一个重要标志就是人类在生产活动和治理活动中在多大程度上运用新技术,在多大程度上开拓新领域,在多大程度上应对新挑战。

一、海洋治理中的数字孪生海洋

第四次工业革命将是一场寻求现实物理空间和数字技术空间融合,以提供新产品和新服务的运动。^{[2] (P20)}数据是海洋新质生产力的基本要素,人类运用海洋数据的能力直接影响人类利用和保护海洋的水平。

^{*} 收稿日期:2025-06-20

无论是构建现代海洋产业体系,还是提升海洋科技创新能力,深化人工智能等数字技术应用都至关重要。在海洋技术装备制造、卫星遥感、5G和物联网等技术充分发展的支撑下,人们可以获得全时空、多尺度、海量的动态海洋数据;在AI、量子计算、算法模型和预测引擎技术的加持下,海洋孪生数字技术应运而生,使海洋治理实现精准化。联合国“海洋十年”科学计划框架下的海洋数字孪生工程(DITTO)本质上就是在构建绿色智慧的全球海洋数智化治理体系,让各利益攸关方在共享的数字孪生平台上,以可计算、可验证、可迭代的方式推进海洋善治。^[3]

如果为数字孪生海洋下一个简洁的定义,那就是通过融合数字建模和真实海洋观测,连续性地获得关于真实海洋系统组成、结构、过程或现象的数字副本。从新技术运用角度看,作为物联网、人工智能与复杂系统建模的集成体,数字孪生海洋通过持续动态的数字映射,为人类提供了关于海洋的双重认知界面:一面对现实中的自然海洋系统镜像反映的“现在之镜”,一面是模拟多情景演变的“未来之窗”。人类借此可以获得对海洋系统的全息透视与前瞻性推演能力。

二、数字孪生提升海洋经济和治理水平

数字孪生海洋应用场景广阔,包括气候变化减缓、海洋生物多样性保护和海洋自然灾害的链式防控。举例而言,在环境保护领域,数字孪生技术可以通过量子计算模拟碳通量路径,AI优化封存方案。在自然灾害防控方面,该技术可以构建台风“监测—预警—处置—恢复”全周期模型,提升沿海城镇的气候变化适应力。在生态领域,该技术可以利用基因区块链追踪濒危物种,也可以提前预警珊瑚白化等生态问题的发生。从海洋经济角度讲,该技术可以智能化地支持海洋牧场、远洋渔业、海洋新能源、海洋交通、港口物流的绿色智慧运行。当然,数字孪生技术还可以帮助塑造数字孪生海上战场,将真实战场环境、作战力量、作战对象等要素数字化映射,获得海上军事行动的最低成本的优化。

开发海洋和治理海洋都存在着一个决策成本问题:关于海洋的事实数据的片面性和不准确性,以及对海洋现象的错误解释,都会造成人类对海洋系统的破坏和错误利用。建立数字孪生海洋系统之前,最佳干预方案的确定极其困难。一方面,政府在决策前对海洋数据的收集和处理需要投入大量社会资源。另一方面,干预方案在实践中是否有效也需要时间验证,在海洋经济活动被证明是错误和无效时再对方案进行修正,往往为时已晚。数字孪生技术有能力使政策制定从“后验修补”转向“先验设计”,从而使海洋治理从“经验驱动”转向“数据推演驱动”范式。

数字孪生技术在协助海洋治理方面具有一些至关重要的能力。(1)事实描述型分析能力:基于空间维度和时间维度的数据,实时或准实时地呈现海洋状态(如北冰洋海冰消融速率)。(2)诊断型分析能力:对很多未知原由的海洋问题的溯源有更加全面准确的判断,特别是当今海洋问题中的远距离耦合和非线性变化问题。(3)处方型干预能力:基于各种条件的多方案智能推演,生成最优干预方案(如红树林修复选址最优推荐)。

三、海洋治理数智化的大国竞争和技术进步

进入新世纪以来,美国启动了综合海洋观测网(IOOS)计划。2020年,美国颁布《数字海岸法》,要求将沿海数据与决策支持工具、最佳实践有效结合。2021年,美国颁布《蓝色地球法案》,旨在提升海洋数智化监测水平,加强海洋数据智能处理能力,推动海洋技术的创新发展。在此背景下,美国国家海洋和大气管理局(NOAA)推出了数字海岸计划。美国通过上述计划和举措在全球海洋数据资源的占有及应用方面占据领先地位,进而凭借全要素、高质量的数据支撑获得了全球海洋治理的重要话语权。

2022年2月,欧盟宣布启动欧洲数字孪生海洋(EDITO)项目。该项目整合了各种来源的数据,包括来自卫星、航空器、探测船、海面 and 海底传感器的数据,建立起能实时反映海洋生态系统和人类海洋活动的高分辨率的数字海洋整体视图。其综合性运用领域包括气候变化、可持续渔业、海港经济、生态环

境、海洋灾难响应。欧盟及其合作伙伴开发的海洋数字孪生基础设施,配合联合国“海洋十年”计划,彰显欧洲在应对海洋三重危机(气候变化、生物多样性和海洋污染)方面的优势地位。

中国也是海洋治理数智化建设的核心国家。中国在一些关键海域建立起“海基、岸基、空基、天基”一体化区域海洋观测系统。2023 年,在陈大可院士的带领下,“粤港澳大湾区示范区海洋数字孪生应用系统”得以建立,成为区域海洋监测、预测与管理的强大工具。上海洋山港、天津港、宁波港等自动化码头开发的数字孪生系统,实现多个港口可视化的智慧联动。此外,中海油公司在南海油气田部署了数字孪生系统,模拟海底管道应力变化和钻井平台安全风险,降低运维成本。

中国科学家和技术团队也积极参与全球数字孪生海洋建设。厦门大学专家参与全球数字孪生海洋白皮书的撰写。李家彪院士联合国内外 64 家海洋机构、国际组织共同发起“数字化的深海典型生境”大科学计划(DEPTH),构建“发现—模拟—预测”数字化平台,解码深海生物跨栖息地物质、能源和信息的交换过程,改善深海生物多样性治理。该项目被列入联合国“海洋十年”科学计划。^[4]

从技术层面看,各国的数字孪生建设主要在基础设施层和数智中枢层两个工作面上展开。基础设施层主要包括立体感知和网络通信建设,将关于海洋环境的气象、水文、生物、声学、电磁等各种来源数据进行实时性、持续性的采集、传输、同化和集成。感知数据经过不同类型算力的处理,向上提供给数智中枢层。在数智中枢层,存储在一体化数据湖仓的海洋数据经过处理、建模,形成高质量海洋数据集,再向上支持数字孪生建模和仿真推演,并在可视化、物联操控和融合交互等技术支撑下,构建海洋数字孪生体,供开发海洋和治理海洋之用。

四、围绕数字孪生系统建造和运行过程的国际治理

紧跟迅猛发展的技术进步,国际治理问题也随之浮现。数字孪生海洋是治理海洋的重要技术工具,其自身的技术发展过程也需要被治理,这对全球治理工作提出新的挑战。面对这一挑战,应当未雨绸缪,将治理思路从“后验修补”转变为“先验设计”。

首先,必须认识到,作为通用目的技术类基础设施,数字孪生体系的建设必然会导致社会生产关系、机制和制度的变化。^{[5] (P29,39,108)} 人类已经经历过铁路网、电气网、互联网等网络型基础设施对生产方式和社会制度的改造。数字孪生海洋的建设及运营会产生像熊彼特所说的“创造性破坏”现象,从而影响技术带来的社会价值和福利的分配后果。因此,必须研究和借鉴以往基础设施建设的历史逻辑、发展规律和国际游戏规则。

其次,在数字孪生海洋建设过程中,一定存在着“技术与社会”和“本国与全球”两对相互交织的矛盾。如何创造机制来兼顾国际组织基于应对全球危机的动机、大国基于战略竞争的动机、私营企业基于逐利的动机、民众和地方政府基于避灾求福的动机?如何让低收入的岛屿国家不被隔离在“数字鸿沟”的另一侧?孪生数据的国际共享和国家安全的平衡性问题又应当通过什么机制来处理?

再则,在数字孪生海洋的建设和运营过程中,设施和数据的所有权、管理权、访问权和利益分配问题始终存在。在这一方面,国际治理不仅要解决国际间设备互操作、系统兼容、数据质量、技术标准协议等问题,还必须在国际法的层面上完成问题边界以及责任和权益的界定。考虑的问题还应包括:谁来决定数据采集、保存和共享的规则?如何处理数字孪生海洋技术体系中的知识产权纠纷问题?原始数据中的所有权保护应达到何种程度?

面对海洋治理数智化这一关于人类与海洋互动方式的革命性变化,需要海洋自然科学家和社会科学家共同的努力,需要各国政府和国际组织的通力协作,建立起国际共识和良性发展生态,引导数字孪生海洋建设走在一条健康的轨道上。

数字时代的法律发展逻辑与法学数字化

高富平

(华东政法大学法学院教授)

在新兴数字技术深刻重塑社会经济发展模式的当下,法律如何回应数字技术变革的挑战、法学专业如何跟上数字技术的发展步伐,成为法学领域亟待破解的核心命题。在数字时代,技术、社会与法律之间存在互动演进的发展逻辑,然而,数字技术并未颠覆传统法律体系的底层逻辑,而是要求现行法律在“技术中立”与“功能等同”原则下实现延伸适用,从而实现技术、社会与法律之间的动态平衡。因此,数字技术对法律的挑战并非系统性的,关键在于现行法律的延伸适用和特殊问题的解决。所谓的新法学学科实际上也并非是在新技术出现之后产生的与原有法学学科体系完全不同的全新学科,而是在新技术的背景下,法学学科从传统教义学向融合技术逻辑、社会治理的领域法学转型的产物。因此,无论法学研究,还是法律人才培养,都应当以问题为导向,打破部门法壁垒,在跨学科融合中构建适应数字时代的法律认知框架,形成既能够保证既有法律更新与数字化升级,又能够与新技术、新社会发展产生良性互动、对数字社会秩序进行规范设计。^[6]

一、数字时代的社会经济

首先需要明确的是,计算机技术及网络的发展是当代社会变革的核心驱动力。计算机与网络构成了数字社会的基础设施。计算机与网络技术的发展使现实世界与网络世界高度融合且密不可分,人类的一切活动几乎都离不开网络,形成了“数字社会”这一全新形态。在这样的数字社会中,网络社会与现实社会高度整合为一体,已经无需区分网络社会治理和现实社会治理,也无需割裂地看待虚拟世界和物理世界的行为规范问题,而是应在一个数字化的社会(世界)中探讨权威规则的形成和适用。而法律作为社会行为规范,必须格外关注网络技术的发展与变化给法学学科带来的变革。

打通并联结现实世界和网络世界的媒介是数据。在万物互联、由泛在网络数字社会所形成的,数据不断汇集整理、关联计算、重用于数据来源主体、来源事件和环境的时代,是在寻求更有效推动社会发展的认知能力。这便是以“大数据+人工智能”为代表的第二代数字技术引发的认知革命(数据革命)。数据革命重塑了社会运行、企业运营和产业分工体系,推动人类进入机器智能与人类智能互补的时代,形成社会创新发展新引擎,赋能整个社会经济发展。因此,数据已经成为生产要素,成为社会竞争性资源。

但是,数据本身并没有价值,数据只有在嵌入智能体系之中,用于支撑企业决策、帮助企业降本增效时才是有价值的。因此,只有经过加工使用、转化为智能或知识的数据,才能够成为生产要素。更准确地说,数据是生产知识和智能的生产要素,数据产出的知识和智能工具作为生产要素在全社会应用,形成社会的重要生产力。

数字经济是继农业经济、工业经济后的主要经济形态。数字经济是数字技术发展和应用的结果,在形成新兴经济领域的同时不断推动整个社会经济的结构性变革,成为推进社会变革的力量。^[7]数字经济不是独立于既有经济的一种特异经济形态或者新兴的经济分支,而是蜕变于工业经济的社会经济形态。^[8]数字经济是未来社会经济的基本形态,应当被视为推动社会经济发展和变革的基本手段和力量,使社会资源利用效率和经济质量不断提升。

除数字技术带动的硬件制造、软件服务、数字内容、数字经济等核心产业外,作为变革力量的数字经

济包括三个方面。第一,网络经济。网络经济以平台经济为核心,实现产业融合,将传统三大产业通过数据网络与消费者直接连接,提供个性化的营销或定制服务,如烟台樱桃种植户可通过网店直接对接消费者,摒弃传统批发商、零售商环节,实现“直营”模式。第二,智能经济。智能经济致力于将数据通过训练模型转化为知识或智能,从而使数据成为具备价值的生产要素,投入社会形成生产力,如算法推荐、辅助法官审判等。第三,普惠经济。普惠经济通过数字技术拓展个人参与经济活动的渠道,在全社会范围内实现资源整合。例如,个人可通过网红直播、网约车、交易个人信息等多种方式参与经济。可见,整个社会都在数字技术的应用与发展中实现变革。^[6]

二、数字时代法律发展逻辑:技术、社会与法律的互动演进

(一)技术、社会与法律的互动关系

技术进步是社会发展的核心驱动力,每一次技术革命都引发了生产方式、生活模式与社会组织形式的根本性变革。数字技术通过“数字链接”打破了传统的时空限制,使信息、资源与价值的流动效率呈指数级提升,催生了平台经济、共享经济等新型经济形态,以及数字化生存、虚拟身份等全新社会互动模式。在这一过程中,技术变革引发既得利益与新生力量的冲突。这种冲突,一方面可能导致社会秩序的短期波动,如数据隐私泄露、算法歧视等问题;另一方面也倒逼社会结构与制度的适应性调整,成为推动社会发展的内在动力。

法律作为社会的上层建筑,与社会发展之间存在密切的互动关系,形成动态平衡。一方面,技术带来新的社会关系与行为模式要求法律进行变革与演进;另一方面,通过确立技术应用的边界与原则,法律可以引导技术朝着符合社会公共利益的方向发展。然而,法律滞后于社会发展是一种常态。在数字时代,技术创新速度与法律调整节奏之间的矛盾更为突出。但是,法律在面对社会发展之时应保持包容,只有开放接纳新事物,才能避免对社会发展产生阻碍。举例而言,知识产权法能够一直保持正向积极的发展,就是因为始终对技术的发展保持着包容的态度:只要符合基础定义,新技术带来的新事物也可以沿用之前的规范。

同时,法律与技术之间也存在着双向影响机制。一方面,法律影响着技术的发展与应用。例如,数据安全法与个人信息保护法对企业的数据收集、使用行为提出了严格要求,推动隐私计算、数据脱敏等技术的研发与应用;而技术中立原则的贯彻,则有效避免法律对新兴技术的不合理限制,为技术创新提供制度空间。另一方面,数字技术也影响法律的手段与调整对象,在为法律实施提供新的数字技术工具的同时,促使法律调整的对象从传统的物理行为拓展至数字行为。

(二)数字技术的社会影响

数据技术改变了社会运行的机制,对社会资源进行了重新配置,不断改变社会组织和形态,带来经济新要素、新行为、新关系,这些变化会进入社会经济的各个子系统寻求法律的识别、衡量和规范。因此,法律必须与时俱进,发展出新的观念、新的概念、新的理论、新的规则,以解决传统法律所不能解决的问题。^[8]

但是,数字技术的本质是人类认识与改造世界的工具,其核心功能在于通过数据处理与智能计算,延伸人类的认知与行动能力,所以人类利用数字技术完成的行为仍然会落入传统法律调整的范畴。以人工智能为例,人工智能尽管能够处理复杂问题、进行预测或执行类人任务,但始终依赖人类设定的算法框架与价值导向。

而且,需要正视的是,尽管数字技术的赋能作用体现在多个维度,创造了虚拟的网络空间,但这一空间并非独立于现实社会存在。虽然网络具有跨地域性、匿名性等不同于现实空间的特点,但网络行为的主体始终是现实中的自然人、法人或其他组织,其行为后果也影响现实社会关系,IP溯源等技术手段与法律规则的结合能够在现实中实现行为主体的识别与责任的归位。因此,应当对数字技术、数字赋能予

以理性认知和判断。数字技术只是一种新的手段,是对人类生活空间的拓展,而不是在创设全新的空间,网络行为依旧需要受到现行法的规范与调整。

(三)法律面对的数字技术挑战及回应

尽管数字技术对法律带来了诸多挑战,但是这些挑战并不是系统性的,实际上只要求现行法律的延伸适用和特殊问题的解决。以人工智能是否具备法律主体资格为例。从法律本质看,主体资格的核心在于权利能力与行为能力,而人工智能系统缺乏独立的意思表示能力与责任承担能力。例如,自动驾驶汽车发生事故时,仍然需要在区分责任基础上由制造商、设计者或使用用户对责任进行承担或分担,而非由车辆本身承担责任。再如,人工智能客服“失误”的后果应由背后的企业承担。因此可知,数字技术虽带来新问题,但未改变法律所调整的人类行为的本质。法律面临的挑战主要体现在法律适用层面,如行为主体认定、责任分配、网络行为的关联性等。随着法律的发展和研究的深入,数字技术的新问题,如电子记录法律效力、网络交易法律关系认定、数据利用秩序等,都能够在现行法体系之内得到解决。

在面对数字技术带来的挑战和变化时,立法应遵循两个原则。首先,应当遵循技术中立原则,即法律应平等对待技术,不歧视新技术,鼓励创新。例如,电子商务法中“不因电子形式否定法律效力”的规定被扩展至在签名中不偏重任一种技术的应用,后被引申至电商政策,要求不单因利用网络从事商务活动而设置新的准入门槛、提高市场准入门槛或增加企业负担。^①其次,要符合功能等同原则。功能等同原则是技术中立原则的具体实现路径,其基本逻辑是:如果新技术手段能够实现传统法律手段的功能,就应认可其法律效力。举例而言,传统签名的功能在于确认主体身份与意思表示,而数字签名通过加密技术同样能够实现这一功能,因此被法律赋予与传统签名同等的效力。这一原则避免了因技术形式差异而导致的法律适用障碍,确保了法律的适应性,也要求研究者要优先在原有法律概念、体系中寻找法律解决方案,而不轻易创造新规则。

因此,需要明确的是,大多数数字时代的法律问题,都可以在现有法律框架内找到解决方案。但因为法律调整的是社会主体行为,传统领域法均需要随数字技术而延伸更新,但在更新过程中法律规制的原则是不会变化的。只有对于少数无法通过现行法调整的特殊问题,才需要发展新的规则或领域法。但即便如此,这些新规则也应与传统法律体系保持逻辑一致,而非另起炉灶,避免数字“马法”的产生。^②领域法学的研究方法强调要以问题解决为导向,不能人为创造出新的“领域”。

对于未来的法学研究而言,经常使用各类法律科技手段是必不可少的。要进一步深化跨学科的研究方法,由于法学研究的问题导向特性,过于明确的学科区分是没有意义的。

三、新法学学科问题:法学数字化

随着数字技术的发展,法学领域出现了一系列新的概念与学科名称,从网络法、电子商务法,到人工智能法、数据法,再到得到广泛认可的数字法学、智能法。2023年,两办文件《关于加强新时代法学教育和法学理论研究的意见》明确提出“数字法学”的概念,标志着新法学学科的发展进入新阶段。2024年,国务院学位委员会将“网络与信息法”纳入研究生教育学科专业,进一步确立了新法学学科的地位,这一演进过程反映出法学研究对技术变革的动态响应。

新法学学科的价值主要体现在两个方面。一是支撑现有法学的发展,通过研究数字时代的新问题,为传统法学分支提供新的视角与规则补充。例如,电子通信技术(网络通信技术)在商务领域的应用曾引发很多新问题,由此形成特定时期电子商务法研究的热潮;而在今天来看,当时“有关前沿问题的探

^①《中华人民共和国电子商务法》第四条规定:“国家平等对待线上线下商务活动,促进线上线下融合发展,各级人民政府和有关部门不得采取歧视性的政策措施,不得滥用行政权力排除、限制市场竞争。”

^②“马法”是芝加哥法学院院长 Gerhar Casper 提出的一个比喻,“马的法律”是指为某项技术或某个人类活动新领域(马的领域)所专门创建的独立法律体系。他认为这种做法不值得提倡,相反对于新技术或者人类活动适用普遍法律原则和规则体系。

讨”已经被各个学科吸收,成为部门法研究的一部分。对此,笔者曾在 2004 年出版的《网络对社会的挑战与立法政策选择:电子商务立法研究报告》一书前言中提到,电子商务法、网络法的研究是具有扩散性的,现在的电子商务法、网络法或其他类似名称的新型法学研究终将逐渐渗透进各个学科之中,电子商务法、网络法研究的最高境界是它的消亡,也就是被其他传统的法学学科吸收,融入到既有的法律体系中。^[9]如今以数字技术称谓网络通信技术,当数字经济全面替代电子商务成为主流经济形态后,数字技术所带来的“新问题的研究”也逃不过与既有法律体系融合的命运。二是推动新兴领域的立法与人才培养。面对数据安全、人工智能伦理等新兴领域的法律空白,新法学学科既需要承担起理论创新与规则构建的任务,也需要为社会培养具备数字技术与法律复合知识的专业人才。

实际上,法律是“解决问题的学问”,学科的界分并不重要,当事人的问题不会局限于某一部门法,法律人要掌握主动调动多学科知识解决实际问题的能力。因此,新法学学科的构建应采取领域法的路径,而非以传统的部门法划分。这是因为数字时代的法律问题具有跨领域、跨学科的特点,难以用单一部门法调整。例如,数据治理问题涉及民商法的数据权属、行政法的数据监管、刑法的数据犯罪等多个领域,需要综合运用多学科知识。因此,正如王利明教授提出不能搞“饭碗法学”,^[10]研究应当突破学科边界,借数字化力量,不断走向融合。

关于学科名称,从网络法、人工智能法到数据法学、数字法学,如何命名其实并不重要,核心还是在于建立统一的法律概念、理论、价值和规范体系。当前新法学学科中最大的问题是概念定位不统一。在后续研究中,需要重点解决统一法律概念、理论与价值体系的问题,避免各说各话的混乱局面。例如,只有理论界对数据、算法等核心概念的界定形成共识,才能让新兴领域回到法学研究的范式之中,确保学术交流与规则制定的一致性。

法学数字化对法律人才提出了更高的要求。合格的研究者应具备扎实的社会科学基础,掌握政治学、经济学、社会学等社会科学理论,能够从多维度理解法律问题的社会背景与影响,理解社会运行规律。同时,研究者应具备一定的技术知识,理解数字技术的基本原理与应用场景,能够识别技术创新带来的法律问题。在熟悉特定行业的业务模式与技术应用的同时,研究者更应掌握法学核心素养,精通传统法学的基本理论与方法,既要具备法律解释、法律推理等核心法学方法论能力,也要掌握跨学科研究方法,能够综合运用多学科知识解决问题。复合知识结构的培养要求法学教育打破传统学科壁垒,以问题解决为导向,加强与理工科、社会科学各个学科的交叉融合,以包容的心态建设更加融合的人才培养体系,同时鼓励学生参与跨学科研究与实践。

四、结语

数字经济是驱动社会变革的核心力量,数字时代的本质是信息通信技术从工具向社会基础设施的演进,在数字技术早已无处不在的当下,社会经济向数字经济的转型(数字化转型)过程已经在不断驱动法律的演进和更新,当前法律的作用是为数字技术的应用建立一个有利的、友好的和安全的环境,创造符合数字经济本质的制度规则,以满足数字经济社会对法律制度和法治的需求。^[8]

在日新月异的数字时代,法律规则的形成既不当完全另起炉灶,也不能一味固步自封,试图将数字时代的所有新问题完全装进现有的法律体系之中,而应当保持开放包容的心态和严谨审慎的态度,在对数字化转型所带来的社会经济现实有透彻和全面的了解之后,从社会整体发展的角度出发,思考和理解数字经济对法律制度的需求,以问题解决为导向,破除明确的部门法界限,引领适应数字经济的法律体系和规则的形成,以应对数字时代法学数字化的挑战。

(本文由蔺兮浠博士生根据高富平教授演讲整理)

人工智能赋能海上风电行业发展的现状、问题与前瞻

张士洋

(中国海洋发展研究中心秘书处博士)

随着全球能源结构向低碳化转型,海上风电因其资源丰富、发电稳定等优势,成为可再生能源的新生力量和重要支柱。然而,海上风电产业面临环境复杂、运维成本高、安全风险大等挑战。人工智能技术如雨后春笋般飞速发展,正推动这一行业向智能化、无人化、去风险化方向改变,极大提升了行业发展的速与质。但行业发展过程中也存在诸如“数据孤岛”、高技术成本等问题。如何解决人工智能在应用于海上风电行业发展过程中存在的问题,并借鉴国内外成熟案例提出 AI 赋能海上风电产业的路径与对策,就显得尤为重要。

一、海上风电行业发展的现状与挑战

(一)现状

全球海上风电产业发展迅速。近年来,全球主要国家持续新增海上风电项目,单个项目总装机容量持续扩张、规划投资总量越来越大。全球风能理事会发布的《2025 全球风能报告》显示,2024 年全球海上风电新增装机容量为 8GW,累计装机量为 75.2GW。全球海上风电项目数量在过去一年中从 1461 个增加到 1555 个。随着新增市场的出现,全球有海上风电项目的国家数量从 41 个增加到 44 个。全球风能理事会预计,2022—2031 年全球将新增超过 315GW 的海上风电装机容量;到 2031 年年底,海上风电累计装机容量将达到 370GW。

全球海上风电行业呈现出由近海到深远海、机组技术不断提升、海洋资源一体化开发的发展趋势。随着近海资源逐渐开发,海上风电项目持续向远海发展,新项目离岸距离也在增加。从全球海上风电建设与规划来看,离岸距离大于 100km、水深超过 50m 的深远海域风能资源更加丰富。更多大功率、轻量化、高适应性的机组被研发出来,以推动海上风电产业向规模化、深远海发展。随着海上风电建设逐渐走向深远海,将海上风电与海洋牧场,海上油气,海水淡化,氢能、储能多种能源综合利用融合发展,有助于提升海域利用效率。

(二)挑战

1. 严苛的运营环境与安全风险

海上风电设备部署范围从近海延伸至深远海,需适应差异巨大的海洋水文与气象条件。设备长期暴露于高盐雾、强风、巨浪等恶劣环境中,持续面临海水腐蚀、结构疲劳以及极端天气事件的威胁,对设备的安全运行与结构完整性构成严峻考验。

2. 运维作业的高难度与高成本

由于海上风电运行条件恶劣,机组故障率高,维护工作量大、风险高、成本高。风电机组及其附属设施系统复杂、部件繁多(如叶片、齿轮箱、发电机等),协同运行时产生海量、多源的运行数据。专业运维船只和经验丰富的运维人员明显欠缺,难以实现对广泛分布设备的全面、实时状态监测与故障早期诊断;同时,智能化运维方案要经过长时间检验和改进,运维管理制度和标准规范要不断完善,运营商、整机制造商、施工单位等要协调衔接,诸多运维保障问题有待实践处理。此外,运维成本通常占据海上风电项目全生命周期度电成本的 25%至 30%。而故障响应的不及时不仅会导致单次维修成本增加,更可

能引发停机损失,显著影响项目的整体经济效益。

3. 三链建设有待加强

海上风电产业涉及的范围广、链条长。前期勘探和设计环节薄弱、风电场建设竞争力不强、生产运维服务环节严重滞后、电力消纳的前瞻性谋划布局缺乏等问题仍较为突出,海上风电场退役后的善后服务则完全空白,供应链衔接也存在较多短板。这涉及风电机组关键技术与核心零部件受制于国外、关键设备依赖进口、专业工程船舶和施工设备供应不足、风电场项目建设与电网建设进度不同步、海上风电的大规模并网设备缺乏等问题。

二、人工智能在海上风电行业中的应用现状

(一)案例

1. 广西防城港海上风电示范项目

防城港海上风电示范项目作为广西首个海上风电项目,积极拓展“人工智能+海上风电”建设运行应用场景,依托“北斗卫星+5G+Wi-Fi”技术,建设多融合大数据中心、综合预警管理平台和智能一体化管理平台,打造“智慧海上风电”,搭建激光测风雷达、风功率预测、智能巡检机器人等功能体系,提高发电效率,推动海上风电运维模式向无人化、智能化转变。

2. 国家能源集团高质量推进数据集建设

从海上风电的无人化探测到风光机组的全域感知,从突破国外技术封锁到构建全球领先的新能源数字生态体系,国家能源集团始终是新能源产业智慧运维的“风向标”。基于龙源电力“无人船+水下机器人”海上风电自主探测平台,该集团实现了无人出海作业,故障定位时间由过去的 20 多天缩短至 2 天,单次故障巡检成本降至原来的十分之一。龙源电力自主研发的生产监控系统能够对超 1000 个场站的实时数据进行统一编码、自动整合分析。通过一键生成的数据报表,运维人员能迅速洞悉场站设备运行状态。

3. 日本 Weathernews 的 ANEMOI 服务

日本 Weathernews 公司为丹麦能源巨头 Ørsted 公司位于台湾彰化的风电场提供 1 千米分辨率的 ANEMOI 气象预测模型。该模型可提前 72 小时预测海浪、风速和台风路径,帮助优化施工窗口期和运维计划。例如,在 2023 年台风季,ANEMOI 准确预测了台风登陆时间,使 Ørsted 公司提前 2 天完成设备加固,避免了约 500 万美元的损失。

(二)人工智能赋能产业后带来的改变

1. 智能化运维成本大幅下降

通过深度学习和大数据分析,对风机振动、温度、电流等海量传感器数据进行实时监测和故障诊断,能够在故障萌芽阶段就发出预警,避免重大停机事故的发生和高昂检修费用的支出。

2. 风机性能与布局优化更精细

人工智能技术可基于地形、海况、风场历史数据构建轻量化风场数字孪生模型,对风机排布、风机叶片角度、发电策略等进行全局优化仿真。美国国家可再生能源实验室(NREL)的研究显示,AI 驱动的布局规划可在保证发电量的同时减少海域占用以最大化收益。

3. 发电量预测更准确、出力更稳定

风电出力受天气波动影响大,AI 结合卫星云图和气象数值预报,通过多模态融合方法,可将发电功率预测精度提升 20%以上。阿里达摩院的算法已能对不同地形(平原、山地、海岸)风速及发电量进行高精度预报,并帮助电网合理调度。

4. 环境影响监测走向智能化

海鸟航迹、鱼群分布等对环境保护至关重要。AI 视觉及声呐技术能够实时识别海上风电场附近的

生物活动,自动调整风机运行模式或启动声光驱鸟装置,有效减少对生态的负面冲击。

5. 产业链协同与决策更高效

AI助力从设计、建设到并网的全流程数字化平台,可快速响应海况和项目工况的时空特性,实现风电场辅助决策能力提质增效。基于精细化建模的智能决策系统,为开发商和运维方提供了更可靠的风险评估和方案比选。

6. 创新生态加速演化

大数据、AI与产业经济深度融合,推动海上风电产业创新生态系统演化。企业组织韧性增强,供应链协同效率提升,正向加速“深远海示范→批量化开发→智能化运维”全流程升级。

总体来看,人工智能正从硬件层面(机器人巡检、智能传感)、软件层面(算法优化、数字孪生)以及产业层面(生态系统协同)全方位赋能海上风电,助力行业向高效、低碳、可持续方向发展。

三、人工智能在海上风电产业应用中存在的问题

(一)数据传输与存储风险

海上风电场与陆地数据中心之间主要依赖海底光缆或卫星通信,容易受到物理破坏(船锚拖断)或信号干扰,导致数据丢失或泄露。有些风电场采取本地化存储,但存储设备长时间暴露于高湿、高盐环境,硬件腐蚀可能引发数据损毁。数据传输与存储风险将会直接影响人工智能在风电场的使用效能。

(二)“数据孤岛”问题

海上风电场建设过程的各环节涉及业主、整机厂商、零部件供应商、电网公司、气象/海洋监测机构等多方主体。各方数据系统独立,数据标准、格式、权限各异,形成天然壁垒。另外,不同时期建设或不同供应商提供的风机监控系统(SCADA)、状态监测系统(CMS)、功率预测系统往往互不联通。历史数据格式不兼容,使新老系统难以整合,导致数据流动受阻。即使是同一业主的不同风电场,由于建设时间、使用设备、数据平台差异,数据也难以横向贯通,无法进行跨区域风资源或设备性能的联合分析。“数据孤岛”问题也是制约人工智能高效使用的又一因素。

四、人工智能在海上风电产业应用的未来前瞻

随着近海资源趋近饱和,深远海漂浮式风电将成为核心增长点,人工智能未来将重点解决三个方面的挑战。

一是复杂环境下的人工智能适应性挑战。深海气象与洋流多变,人工智能未来将通过融合卫星遥感、浮标传感器和历史台风路径数据,构建“气象—海况—设备响应”耦合模型,利用强化学习算法动态调整漂浮平台锚链张力,降低台风工况下结构载荷。

二是漂浮平台与人工智能控制的融合创新。半潜式、Spar式等平台需实时平衡发电效率与结构稳定。目前已有国内企业尝试将风机控制算法与平台运动预测结合,通过叶片角度的毫秒级微调,捕获效率提升,同时减少平台倾覆风险。

三是深海运维的自主化解决方案。运维船可达性差催生“无人机—水下机器人—人工智能中控”三位一体运维,通过无人机群扫描叶片损伤、水下机器人检测系泊系统、人工智能中控系统综合诊断并生成维修路径规划,减少人工出海频次。

人工智能赋能全球海洋治理的机遇、挑战与展望

陈奕彤

(中国海洋大学法学院副教授)

海洋作为生命起源的摇篮与文明交流的纽带,承载着维系全球生态系统平衡、促进跨文明交流互鉴、支撑可持续发展的基础性功能。2019 年 4 月,习近平主席在集体会见应邀出席中国人民解放军海军成立 70 周年多国海军活动的外方代表团团长时,提出构建海洋命运共同体战略构想。这一理念是人类命运共同体理论体系在海洋治理领域的实践延伸,标志着对全球海洋治理规律的认识达到新高度。近年来,以人工智能为代表的前沿技术加速发展,并持续渗透至全球海洋治理各领域,深刻影响着海洋治理的模式与走向,使全球海洋治理面临全新的发展机遇与严峻挑战。

一、全球海洋治理

全球海洋治理与全球治理新格局紧密相连。海洋治理旨在对海洋利用活动进行全面监管与科学管理,核心目标是减少海洋污染、维持海洋生物多样性、推动海洋资源可持续开发。海洋治理是海洋管理理念的创新发展。在过去的三十年中,联合国积极倡导沿海国构建综合海洋管理系统,以保障海洋可持续发展。综合海洋管理以全面科学的建议为基石,要求深入了解人类活动对自然环境的影响,突破学科与传统部门界限,在统筹利用海洋空间的基础上实施管理。

全球海洋治理致力于构建公平高效的规则体系,协调海洋资源开发利用中的利益冲突,其制度设计的关键在于破解集体行动困境。当前的全球海洋治理体系呈现出规则碎片化与权力多元化的双重特征:既包含联合国框架下的国际海事组织(IMO)、国际海底管理局(ISA)等以政府间海洋国际组织为核心的多边治理机制,也涉及区域性渔业管理组织(RFMOs)等专业机构;既涵盖主权国家的主权权利行使,也包容了跨国企业、科研机构等非国家行为体的积极参与。

全球海洋治理深刻反映出传统全球治理理论中发达国家与发展中国家的利益冲突,以及海洋治理意识形态多元化的特点,其复杂性和多样性主要表现在两个层面。首先,参与主体多元。主权国家虽发挥主导影响力,但政府间国际组织、非政府组织、跨国公司及个人等也在全球海洋治理中发挥重要补充作用。其中,企业等法律实体深度参与国际海洋商业运作和产业发展。诸多跨国公司正积极通过深海勘探活动探索深海资源。其次,治理机制多样。治理主体既包含联合国下属的国际组织和国际会议等全球性平台,也涉及地区、国内和地方社区等多层次治理主体。近年来,全球治理格局的新变化,进一步凸显了全球海洋治理参与方和机制的多元特征。

当前的全球海洋治理以法律和制度为根基,高度强调国际、国家和地区层面的协调与合作。沿海国、群岛国等所有国家均应携手合作,在满足人类发展需求的同时,切实保护全球海洋环境。多元的参与主体和治理机制促使全球海洋治理权力重新分配,形成两种相互竞争又相互关联的权力体系:一是以主权国家为主导的治理体系,二是由非国家行为体组成的超国家体系。这两种体系之间的协调互动,直接决定着全球海洋治理的成效与发展方向,共同构建起多面复合的全球海洋治理结构体系。

二、人工智能技术赋能全球海洋治理及其带来的挑战

科学技术的创新与应用是全球海洋治理演进的前提和核心驱动力,每一次重大技术变革都推动着

海洋治理的跨越式发展。当前,人工智能技术引发的第四次工业革命正重塑国际海洋秩序和全球海洋治理格局,不仅动态影响着全球海洋治理的议程设置和机制建设,也对全球海洋治理的未来发展和走向带来了根本性挑战。

人工智能技术是对人类智能进行模拟以开发能够像人类一样思考、模仿人类行为的系统或机器,使系统或机器具备学习、适应、推理和决策等独特能力。如今,人工智能技术已与基础科学、工业制造、社会治理、网络空间等领域深度融合,应用范围不断拓展,深刻改变着人类的工作和生活模式。

人工智能技术的发展与应用,提高了海洋相关活动效率,极大拓展了全球海洋治理的深度和广度。在数据和文本分析、文件撰写、政策制定等领域,人工智能技术展现了强大的能力,有助于提升多边谈判和国际立法效率。在《〈联合国海洋法公约〉下国家管辖范围以外区域海洋生物多样性的养护和可持续利用协定》(以下简称《BBNJ 协定》)谈判期间,人工智能已被利用于整合超过 12000 种物种的多样性、生态系统特征、生产力和渔业等 55 个全球数据层,系统分析《BBNJ 协定》下建立空间保护的优先区域。基于大语言模型(Large Language Models)技术,笔者团队研发了适用于 BBNJ 领域的高效计算机问答系统 ChatBBNJ。^[11]该系统以《BBNJ 协定》构造领域知识库,能够快速获取最新的 BBNJ 领域信息,有助于推动《BBNJ 协定》的有效实施,助力实现国家管辖范围外海域海洋生物多样性的保护与可持续利用。

在海洋治理监管方面,人工智能发挥着日益重要的作用,推动监管向高效化、科学化方向发展,提升了全球海洋治理的效能。近年来,人工智能广泛应用于海洋环境监测和管理。通过模式识别和预测建模,人工智能技术可识别异常和潜在的海洋污染事件,整合多源数据评估污染影响并制定应对策略;人工智能驱动的系统具备实时监控、自动警报和自适应决策能力,显著提高了海洋污染管理的效率和准确性。研究统计,在海洋污染治理领域,约 57% 的人工智能应用于监测,24% 用于管理,19% 用于预测。基于人工智能技术的无人船舶等海洋智能装备,在海洋执法、环境监测等领域大显身手,相比传统船舶,其自主作业和应对高风险任务的能力大幅提升。在气候变化导致海洋生物栖息地改变的背景下,基于人工智能的“智慧海洋”与移动海洋保护区,能加强对海洋生物活动的监测,为海洋生物多样性保护提供数据支持,推动全球海洋保护区监管制度的完善。此外,人工智能还可利用卫星数据进行船舶监测、分类、轨迹预测等活动的行为分析,助力海洋活动监测与执法,尤其在打击非法、未报告和无管制(Illegal, Unregulated and Unreported,以下简称 IUU)捕捞方面成效显著。IUU 捕捞严重威胁海洋生态系统、可持续渔业管理及粮食安全。在现实中,IUU 捕捞者常常通过欺骗性地使用渔网、浮标或钓索上的自动识别系统信标,向当地海洋执法部门隐瞒非法捕捞活动。人工智能通过卫星数据、船舶跟踪和无人机等手段,监测分析渔船行为模式,构建 IUU 跟踪器,快速处理相关数据,实现对 IUU 捕捞的精准打击。在此过程中,人工智能实现了信息获取效率的飞跃,以即时远程监测取代事后监测,创造了全球海洋治理“时空数据压缩”的新突破。

人工智能在海洋领域的应用,既扩展了海洋探索边界,又提升了海洋勘探能力。人工智能驱动的自主水下航行器(Autonomous Underwater Vehicles,以下简称 AUVs)能够深入人类难以企及的海洋区域,收集海床、水下洋流和海洋生物等关键数据。AUVs 还可用于海底勘探作业。

然而,随着人工智能技术的广泛应用,一系列新兴的海洋治理挑战也随之而来。例如,一方面,大语言模型在海洋政策制定中存在偏见,易生成倾向于西方经济权力中心的文本,忽视发展中国家诉求。另一方面,人工智能技术的应用引发诸多治理难题,可能加剧大国海上竞争,重塑海洋战略格局,进而影响全球海洋治理格局。人工智能也会冲击现有国际法秩序,可能影响国家主权原则的行使。人工智能赋予非国家行为体强大权力,塑造并改变了海洋生产模式,对海洋法的参与主体、活动和与之相关的法律条款解释及海洋治理机制的运行均构成了挑战。人工智能技术的应用也会导致海洋治理出现真空地带。以无人船舶为例,其在国际海洋法领域引发诸多问题,如能否适用传统船舶定义、船舶相关方权利义务界定、事故损害责任分担等,而现行《联合国海洋法公约》(以下简称《公约》)未涉及无人船舶问题,

国际海事组织虽致力于制定相关法律框架,但仍存在监管空白。

三、未来展望

全球海洋治理的新形势为各方重新审视法治的作用提供了历史契机,有助于推动对全球海洋治理的深入思考,弥合治理机制的碎片化问题与制度缺口。

首先,应坚持以海洋命运共同体理念引领全球海洋治理新实践。海洋命运共同体理念作为人类命运共同体在全球海洋事务中的具体实践,为应对全球海洋治理挑战指明了方向。面对人工智能技术带来的复杂变化,需构建基于对话、协商和多边主义的开放包容的海洋新秩序。

其次,人工智能背景下的全球海洋治理需要国际法的系统全面回应,以及多学科协同合作。《公约》为 21 世纪的海洋治理奠定了法律基础。但国际海洋形势是动态发展的,《公约》未能预见人工智能技术飞速发展所带来的机遇和挑战,存在一定的局限性和滞后性。在尊重现有治理机制的前提下,应针对海洋治理新兴领域构建合作机制与平台,深化国际、区域和地方合作。科技创新与应用是全球海洋治理发展的核心动力,而不断更新的科学成果和适应性强的国际法律制度是重要的治理工具。因此,需开展跨学科研究,加强技术专家、法律专家、海洋实业家和政策制定者之间的持续对话,在全球海洋治理领域构建动态性、响应性更强的法律框架以因应人工智能的挑战与机遇。

最后,加强人工智能技术治理是应对新兴全球海洋治理挑战的关键。当前,人工智能已成为推动海洋新质生产力发展的关键引擎,未来有望在全球海洋治理的立法、监测、管理等方面发挥更大作用。《人工智能全球治理上海宣言》明确了人工智能技术发展和应用的必要性,倡导各方协同构建和实施人工智能全球治理体系。应对全球海洋治理挑战,需加强国际合作,推进人工智能国际治理。中国应积极布局人工智能产业发展,以国内实践推动人工智能国际法律规则和标准的构建与完善。

四、结语

当前,以《联合国海洋法公约》为代表的国际海洋秩序正处于快速变革期,人工智能的发展与应用在赋能全球海洋治理的同时,也带来诸多复杂挑战。中国应秉持海洋命运共同体理念,加快人工智能发展和海洋高端人才培养,完善国内涉海治理体系,为全球海洋治理贡献中国智慧与方案,助力海洋强国建设和全球海洋治理体系完善。2025 年 4 月 25 日,习近平总书记在中共中央政治局第二十次集体学习时强调,人工智能可以是造福人类的国际公共产品。要广泛开展人工智能国际合作,帮助全球南方国家加强技术能力建设,为弥合全球智能鸿沟作出中国贡献。人工智能在全球海洋治理领域的应用和规则构建将是中国为人类社会提供国际公共产品的又一次有益尝试。

参考文献:

- [1] 新华社. 习近平在全国生态环境保护大会上强调:全面推进美丽中国建设 加快推进人与自然和谐共生的现代化[EB]. https://news.cnr.cn/native/gd/sz/20230718/t20230718_526334173.shtml, 2023-07-18/2024-05-02.
- [2] 胡权. 数字孪生体:第四次工业革命的通用目的技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2021.
- [3] Bahurel P, Brönnner U, Buttigieg P L, et al. DITTO programme white paper[EB]. https://ditto-oceandecade.org/wp-content/uploads/2023/07/DITTO-Whitepaper_FINAL-July-2023.pdf, 2023-07-01/2024-05-02.
- [4] 中国大洋事务管理局. 中国大洋事务管理局牵头发起的联合国“海洋十年”大科学计划成功获批[EB]. https://www.mnr.gov.cn/dt/hy/202306/t20230609_2790928.html, 2023-06-09/2024-05-02.
- [5] 杨剑. 数字边疆的权力与财富[M]. 上海:上海人民出版社, 2012.
- [6] 高富平. 数字经济讲义[M]. 北京:人民日报出版社, 2024.
- [7] 高富平. 数字经济:社会经济变革的力量[J]. 西北工业大学学报(社会科学版), 2023, (2): 103-114.
- [8] 高富平, 侍孝祥. 数字经济与法律发展——数字社会法律体系的形成[J]. 数字法治, 2023, (2): 32-50.

[9] 高富平. 网络对社会的挑战与立法政策选择: 电子商务立法研究报告[M]. 北京: 法律出版社, 2004.

[10] 王利明. “饭碗法学”当休矣[J]. 法制资讯, 2011, (6): 7-9.

[11] Wang X, Zhang M, Liu H, et al. ChatBBNJ: a question-answering system for acquiring knowledge on biodiversity beyond national jurisdiction[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2024, 11: 1368356.

Symposium on Marine Sustainable Development and Governance in the AI Era

Yang Jian¹ Gao Fuping² Zhang Shiyang³ Chen Yitong⁴

(1. Shanghai Institutes for International Studies, Shanghai 200233, China;

2. College of Law, East China University of Political Science and Law, Shanghai 200042, China;

3. Academy of Ocean of China, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

4. School of Law, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Next-generation artificial intelligence (AI) technology is rapidly integrating with ocean governance, fostering digitalized and intelligent technological pathways and governance models that advance sustainable marine development. In the realms of ocean governance and exploitation, digital governance technologies-particularly digital twin systems-provide viable pathways for achieving a sustainable blue economy and efficient marine management. Within the marine energy sector, AI is driving the transformation of offshore wind power toward greater intelligence, unmanned operations, and risk reduction. Amid the evolving landscape of global ocean governance, the application of AI in this domain and the establishment of corresponding regulatory frameworks represent another constructive effort by China to contribute international public goods to human society. The rule of law in the digital age must foster a secure and enabling environment for the application of AI technologies, establishing a legal framework and regulations adapted to the digital economy while providing legal safeguards for AI technological development.

Key words: marine sustainable development; artificial intelligence; digital governance; global ocean governance; legal digitalization

责任编辑:王明舜