

6-20-2024

Digital technologies empower innovative development governance of the Yellow River Basin

Tara Qian SUN

School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China, sunqian@ucas.ac.cn

See next page for additional authors

Recommended Citation

SUN, Tara Qian; JIA, Yingying; SUN, Gaozuo; ZHAO, Xixi; and MU, Rongping (2024) "Digital technologies empower innovative development governance of the Yellow River Basin," *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version)*: Vol. 39 : Iss. 6 , Article 5.

DOI: <https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20240524004>

Available at: <https://bulletinofcas.researchcommons.org/journal/vol39/iss6/5>

This Research and Countermeasures of S&T Innovation in the Yellow River Basin is brought to you for free and open access by Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). It has been accepted for inclusion in Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version) by an authorized editor of Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version). For more information, please contact lcyang@cashq.ac.cn, yjwen@cashq.ac.cn.



Digital technologies empower innovative development governance of the Yellow River Basin

Abstract

The application of digital technologies is the core driving force for innovating traditional development and realizing a leap in productivity. The innovative development governance of the Yellow River Basin is a complex social system, involving economic, social, and ecological aspects. Its key driving force is the profound influence of digital technologies. Focused on how digital technologies empower the innovative development governance of the Yellow River Basin, the development process, problems, and challenges are analyzed at different stages, from the digital Yellow River to the digital twin Yellow River. It is found that the governance of the Yellow River Basin still requires enhancement in four aspects: building a digital innovation ecosystem, establishing a digital governance system, developing data infrastructure, and preventing data security risks. In order to address these challenges so as to promote the realization of the innovative development goals of the Yellow River Basin, four policy recommendations are proposed, namely, encouraging a scientific and technological innovation ecology, improving the agile digital governance system, strengthening the practical value and application of innovations, and enhancing the digital security barrier capacity.

Keywords

digital technology; Yellow River governance; innovative development; digital twin; digital empowerment

Authors

Tara Qian SUN, Yingying JIA, Gaozuo SUN, Xixi ZHAO, and Rongping MU

引用格式:孙茜,贾颖颖,孙高祚,等.数字技术赋能黄河流域创新发展治理研究.中国科学院院刊,2024,39(6):1000-1011,doi:10.16418/j.issn.1000-3045.20240524004.

Sun T Q, Jia Y Y, Sun G Z, et al. Digital technologies empower innovative development governance of the Yellow River Basin. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(6): 1000-1011, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240524004. (in Chinese)

数字技术赋能黄河流域创新发展治理研究

孙茜¹ 贾颖颖¹ 孙高祚^{2*} 赵喜喜² 穆荣平^{1,3}

1 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049

2 山东省海洋科学研究院(青岛国家海洋科学研究中心) 青岛 266100

3 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

摘要 数字技术应用是创新传统发展模式、实现生产力跃迁的核心动力,创新是引领发展的第一生产力。黄河及其流域创新发展治理是一个复杂的社会系统工程,涉及经济、社会、生态多个方面,数字技术深度赋能是其关键驱动力。文章通过聚焦数字技术赋能黄河及其流域创新发展治理,深入剖析其从“数字黄河”到“数字孪生黄河”不同阶段的发展历程、面临的问题挑战,并提出针对性的政策建议。研究发现,黄河及其流域创新治理仍面临数字创新生态建设、数字治理体系建设、数据基础设施建设、数据安全风险防范4个方面的挑战。文章围绕当下面临的挑战,提出了数字技术赋能黄河及其流域创新发展治理的建议,即构建黄河科技创新生态、健全敏捷数字治理体系、强化黄河创新要素价值开发和增强黄河数字安全屏障能力,以助推黄河及其流域创新发展目标的实现。

关键词 数字技术,黄河治理,创新发展,数字孪生,数字赋能

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240524004

CSTR 32128.14.CASbulletin.20240524004

数字技术应用是创新传统发展模式、实现生产力跃迁的核心动力,创新是引领发展的第一生产力。2019年9月,习近平总书记在深入推动黄河流域生态

保护和高质量发展座谈会上强调:“共同抓好大保护、协同推进大治理、着力加强生态保护治理、保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展”。创新发展是黄

*通信作者

资助项目:中国工程院院地合作重大咨询项目(2023-DFZD-23)

修改稿收到日期:2024年5月28日

河流域生态保护和高质量发展的根本动力，现阶段，黄河流域仍存在科技创新驱动不强，经济增长资源依赖明显，创新发展动力不足的难题。2023年2月，《数字中国建设整体布局规划》明确提出：“运用数字技术推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，完善自然资源三维立体‘一张图’和国土空间基础信息平台，构建以数字孪生流域为核心的智慧水利体系。”“数字黄河”“智慧水利”“孪生流域”建设标志着黄河治理进入数字化时代，数字技术赋能黄河流域创新发展急需发挥数据作为新生产要素的乘数效应，以数据流引领技术流、资金流、人才流，发挥数字技术的动力变革作用。

创新是一个复杂的社会系统工程，涉及经济社会的各个领域，创新发展要贯穿经济、社会、生态多个方面。已有研究多将数字技术视为“社会技术系统”的一部分^[1]，探究社会子系统中的要素如制度环境、社会规制对数字技术创新的影响^[2]，主要面向其经济价值实现^[2,3]，数字技术赋能社会、生态等价值目标实现亟需引起学界重视。黄河流域智慧水利体系建设为数字技术赋能创新发展提供了现实情境，黄河上中游地区经济、社会、生态的发展是新时代推动西部大开发战略的现实需求。抓住新一轮科技革命和产业变革新机遇，基于“数字孪生黄河”建设案例深入探讨数字技术赋能黄河及其流域开发与保护的数字生态文明建设，凝练数字技术赋能“经济—社会—生态”协调发展的中国方案，具有重要的理论和现实价值。面向黄河流域创新发展的现实需求，从数字技术推动实现黄河“经济—社会—生态”发展目标出发，本研究总结了数字技术应用在黄河治理中从“数字黄河”到“数字孪生黄河”阶段的支撑作用，揭示数字孪生技术赋能黄河及其流域创新发展目标的作用机理与成功关键。面向数字化转型的机遇，发现数字技术赋能黄河经济社会生态发展模式和治理模式重构的关键因素，为数字技

术在发挥黄河治理等重大环境问题和复杂治理中的有效性和创新性提供政策建议。

1 数字技术赋能黄河发展的历程

过去的20余年，黄河的数字治理经历了从“数字黄河”到“数字孪生黄河”的发展历程（图1）。“数字黄河”工程利用全数字摄影、遥感、地理信息系统、全球定位系统等技术手段进行基础数据采集，在黄河流域打造数字集成平台和虚拟环境，实现黄河流域全方位监测和决策支持。“数字黄河”工程在2001—2019年近20年的发展中，从“0”到“1”地建设了相关基础设施和六大应用系统、数学模拟系统，“端—边—云”的部署体系逐渐形成。截至2019年，干流主要水文站实际输沙量较1987—2000年均值偏小23.6%—78.1%，“数字黄河”工程下“三条黄河”（即原型黄河、数字黄河、模型黄河）的战略举措，在打造黄河流域水安全、水资源、水生态、水文化、水环境治理和管理方面成效显著。

进入新发展阶段，黄河及其流域创新发展是数字技术赋能黄河流域上层建筑与经济基础、生产关系与生产力的全要素、全系统、全方位变革，是经济社会发展、流域文化传承与生态系统保护的必然要求，云计算、大数据、人工智能、物联网、数字孪生等新一代信息技术推动“数字黄河”工程向新形态——“数字孪生黄河”升级。

1.1 “数字黄河”发展的3个阶段

2001年，水利部黄河水利委员会提出建设“数字黄河”工程发展战略，考虑数字技术发展水平，“数字黄河”工程建设分“三步走”，总体规划为3个阶段。基本设想为借助传统与现代化手段进行数字信息采集，通过微波、超短波、光缆、卫星等数字信息传输方式打造数据传输网络，构建黄河流域及其相关地区的“自然—经济—社会”的一体化数字集成平台和虚拟环境。

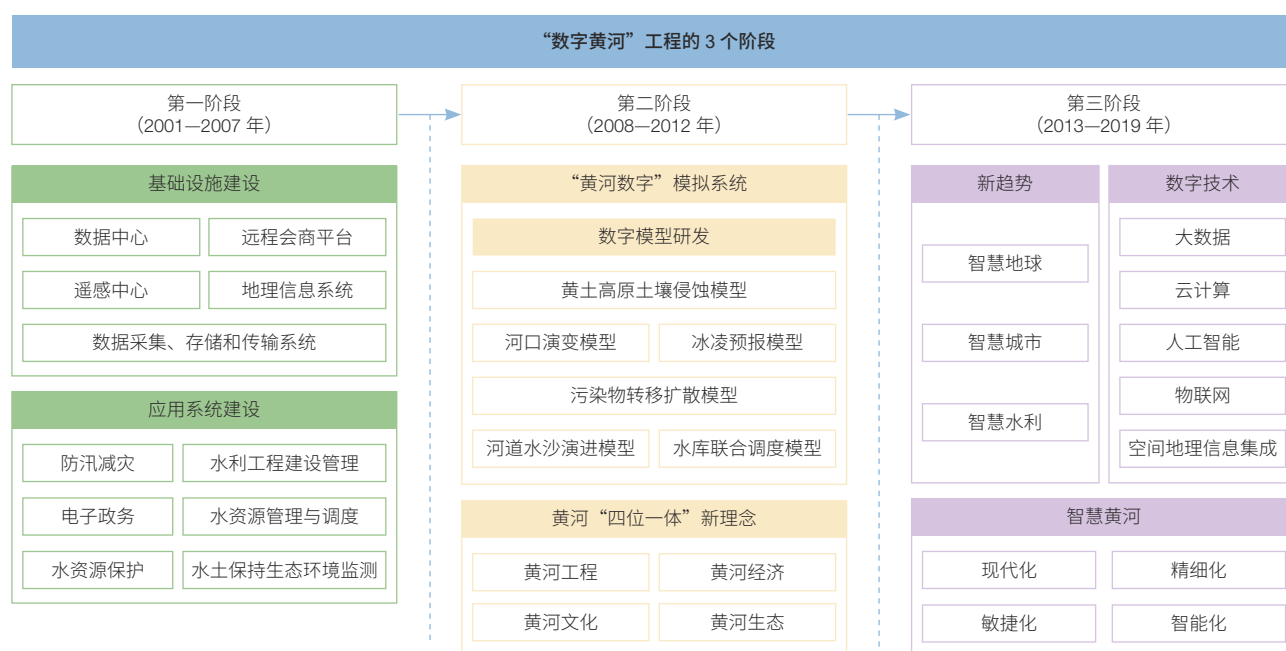


图1 “数字黄河”工程的3个阶段

Figure 1 Three phases of “Digital Yellow River” project

“数字黄河”工程第一阶段（2001—2007年）。此阶段主要目标为基础设施建设、应用系统建设，构建“数字黄河”的工程基本框架与工程技术标准体系^[4]。在基础设施建设方面，数字技术的创新应用整合了现有软、硬件资源，建成了黄河流域基础地理信息系统、远程会商平台、遥感中心、数据中心与基础信息库以及数据采集、存储和传输系统。在应用系统建设方面，以系统分析、模拟仿真技术为支撑，建设防汛减灾、水调度、生态监测、水资源保护、水利工程建设管理、电子政务六大应用系统为基础，搭建了应用系统开发集成平台，构建了面向治黄目标导向的数据库、知识库、模型库、数据存储接口与应用中介，提高了治黄能力与决策科学性。

“数字黄河”工程第二阶段（2008—2012年）。此阶段黄河治理确认了“第二步”发展目标，即基本建成黄河数学模拟系统。这一阶段相继启动了“模型黄土高原”工程、四库水沙联合调度模型、黄河口模型、宁蒙河段冰凌预报模型、污染物输移扩散模型等

的研发与应用，有力支撑了黄河的调水调沙、水土保持、污染防治与生态保护^[5]。此外，基于黄河流域文化的地貌景观的丰富性、支津文化的代表性、历代治河的关键性、中心地位的特殊性及民族形成的根源性等特征，河南省黄河河务局提出了“四位一体”新理念。黄河独特文化在生态黄河建设中的应有地位和重要作用得到充分认可，现代水利科技与黄河文化的紧密结合成为对黄河流域文化保护举措的有效补充。

“数字黄河”工程第三阶段（2013—2019年）。随着《黄河水利信息化发展战略》实施，“数字黄河”开始向第三阶段目标“智慧黄河”推进。物联网、大数据、云计算等信息技术的迅速发展，“智慧城市”“智慧水利”等新趋势极大提高了治黄现代化要求。此阶段，黄河数据中心云计算服务和大数据治理能力有效增强，有效实现资源共享和智能管理；“端一边一云”体系不断完善，治黄业务应用与信息服务的移动化、智能化特点不断提升；黄河治理、开发与保护过程中的方案谋划、决策、应急指挥等工作的动态

化、精细化、智能化水平不断提升；信息快速分析、深度挖掘能力也逐步提升，网络信息安全保障能力同步提高；黄河治理、开发、保护和管理等工作的效能得到了有效提升。

1.2 “数字孪生黄河”的起步与发展

“数字孪生黄河”起步于2020年黄河水利委员会《“六个一”信息化建设提升两年实施方案（2020—2021年）》的实施，其立足于黄河治理的进一步需求和新时期信息技术的发展，以期弥补黄河过去20年信息化短板，开启“数字孪生黄河”时代。“数字黄河”从概念、设计、实践方面都充分体现了数字孪生的思想，但早于数字孪生。“数字孪生黄河”与“数字黄河”工程本质要求、理念及涉及物理对象均相同，只是在性能方面有更高要求，“数字孪生黄河”是“数字黄河”发展的高级形态^①。具体表现为：信息监测采集要求更准更全、信息传输连接要求更安全更快速、数学模拟仿真要求更保真更敏捷。适应新要求，以“现代化应用、立体化筑防、精准化决策”为导向，加快构建创新发展的智慧水利体系，“数字孪生

黄河”工程纳入规划。

2022年4月，黄河水利委员会印发《数字孪生黄河建设规划（2022—2025）》，该规划是我国七大江河流域首个公开发布的数字孪生建设规划，要求“十四五”期间加快构建具有预报、预警、预演、预案功能的“数字孪生黄河”，是“智慧水利体系”建设的关键一环。2023年，“数字孪生黄河”工程建设进入深入推进之年，黄河水利委员会组织对“数字孪生黄河”建设前期工作进行了全面复盘，编制《数字孪生黄河建设2023年工作任务清单》，推进“数字孪生黄河”建设走实走深。2024年全河工作会议对推进“数字孪生黄河”建设提出明确要求，聚焦信息采集、通信传输、数据管理、应用开发、运行维护等关键领域，黄河水利委员会信息中心明确持之以恒构建数字孪生黄河体系。本部分针对2022年以来“数字孪生黄河”工程规划和相关政策做了梳理（表1）。

“数字孪生黄河”工程的建设遵循“需求牵引，应用至上，数字赋能，提升能力”的基本原则^②。①立足

表1 “数字孪生黄河”工程规划方案概览
Table 1 Overview of “Digital Twin Yellow River” project

时间	规划及方案名称	预期目标
2022年3月	《数字孪生流域共建共享管理办法（试行）》	数据底板基础数据、地理空间数据共建； 开发通用模型，共享技术标准及接口
2022年3月	《数字孪生水利工程建设技术导则（试行）》	细化数字孪生水利工程建设内容、建设方法，提出建设指标； 对典型应用、网络安全体系和保障体系提出要求
2022年4月	《数字孪生黄河建设规划（2022—2025）》	初步建成“2+N”水利智能业务应用； 接入小浪底、万家寨等重要水库数字孪生工程建设成果
2023年3月	《数字孪生黄河建设2023年工作任务清单》	分级细化：13类69项任务明确牵头单位、承担单位和完成期限
2024年4月	《2024年数字孪生黄河建设工作要点》	部署推动“数字孪生黄河”建设走深走实：7个方面36条年度重点工作

① “数字黄河”20年暨智慧水利发展技术第三期高端讲座。寇怀忠《谈数字孪生黄河》. (2021-12-24)[2021-12-24]. http://mwr.gov.cn/ztpd/2021ztbd/slbjzshsljsgzhy/gcls/202112/t20211227_1557070.html.
② 李国英. 为以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业提供有力的水安全保障——在2024年全国水利工作会议上的讲话. (2024-01-11) [2024-01-11]. http://mwr.gov.cn/ztpd/2024ztbd/qgslgzhy2024/ldjh/202401/t20240117_1701574.html.

于黄河流域生态保护和高质量发展要求。贴合水调度、抗洪防汛、水环境保护、水文化传承等多方面治黄业务需求，统筹推进。**② 大系统设计、分系统建设、模块化链接。**统揽黄河保护治理全局，做好顶层设计，明确实施路线和要求，优先构建重点河段、重点区域数字孪生技术的示范应用，扎实推进分系统建设。**③ 统一标准，智能协同。**统一数据管理与使用标准、绘制“黄河一张图”、统一设备互联、网络安全等标准，提升应用系统的智能协同和决策水平。

1.3 数字孪生技术推动黄河流域创新发展治理

现阶段，黄河流域创新发展仍存在数字基础设施建设薄弱、创新发展资源驱动明显、数字经济等新兴产业发展不足、文化传承与创新欠缺等难题。基于黄河流域生态与文化资源优势 and 战略定位，顺应创新发展趋势，数字孪生技术可通过统一流域治理标准、精细化流域监管^[6,7]、完善创新配套服务能力以开拓应用场景提升自主创新能力、促进创新链产业链融合^[6,8]、赋能沿黄文化传承与创新、推动资源与生态保护，支持黄河流域创新发展与创新发展成果共享，实现黄河流域“经济—社会—生态”和谐共生，创新黄河治理模式。

(1) 统一流域治理标准。**① 流域数据管理标准建设。**水利治理管理活动、数字孪生流域建设倒逼数字孪生技术在应用实际需要中不断统一数据搜集、整合、传输技术标准。**② 流域技术治理标准建设。**数字孪生技术标准规范统一，才能建设具有协同性、协调性的管理机制，在建设、运行、维护、更新上实现同步，以形成创新发展合力^[9]。**③ 流域文化创新治理标准建设。**流域文化治理要在传承中保护，在保护中创新。数字技术作为催化剂，能够将文化元素以多元方

式导入消费领域，数字孪生技术下的沉浸式体验将增加传统文化的亲近感、吸引力和穿透力，有效提升文化价值挖掘与市场保护^[10,11]，实现河湟文化、河洛文化、关中文化、齐鲁文化等历史文化资源的传承与创新。**④ 流域安全体系标准建设。**数字孪生技术可以有效赋能黄河流域网络安全体系构建，“智慧山东黄河”工程及网络攻击防护系统“云堤”是推动水利管理精准化、安全化、智慧化，推动数字化科研成果应用与辐射推广，提升黄河流域治理水平的鲜明展现。

(2) 精细化流域监管。**① 污染治理精细化监管。**黄河流域生态保护中的精细化特点日趋明显，山东省“一区三带”生态保护体系建设、济南国家生态环境超算云中心、“智慧生态黄河”建设、危险废物大数据监管平台等的建成并应用于精细化监管将有助于实现区域能源结构和交通结构优化，推动绿色经济发展。**② 资源效率精细化监管。**数字技术可显著提高能源供给管理的精准化、能源利用有效性；区域“数字节水”技术综合示范，有利于打造基于“自然-社会”水循环及其伴生过程模拟的节水模型，能有效推动节水科学化与精准化^③，是流域资源效率精细化监管的全景展示。

(3) 完善创新配套服务能力。**① 提高数字孪生技术**在生产供应链中的应用潜力，提升科技创新服务能力。“数字孪生技术银行”的建设将完善区域数字技术交易市场，“数字孪生科技成果转化+金融资本”的综合服务可打通数字资产产业链，实现数字技术与创新发展在广度和深度上的融汇贯通。**② 开发数据共享平台，实现区域协同治理与创新发展成果共享。**部、省数据共享交换机制和国家、省、市三级共享黄河信息数据平台建设有助于开发共享平台以监测和控制流域协同治理，有助于流域数字基础设施建设落后地区

③ 杨琳, 邹欣媛, 韩方方. 新时代中国调研行·黄河篇 | 精打细算用好水 从严从细管好水——黄河水资源利用观察. (2023-10-9) [2024-04-19]. http://www.news.cn/politics/2023-10/09/c_1129907041.htm.

共享创新发展成果。

2 数字技术赋能黄河流域创新发展面临的问题与挑战

“数字孪生黄河”工程实施3年来，数字技术在稳步推动黄河治理走向智慧化与现代化发展上初见成效。然而，面向黄河流域创新发展的目标，数字技术赋能黄河流域资源的开发与保护仍存在数字创新生态活力不足、数字治理体系尚未形成、数字基础设施普惠性不足、数据保护与网络安全风险等主要挑战（图2）。

2.1 数字创新生态活力不足

活力的数字创新氛围需要构建数据、技术、人才、政策、市场多要素的数字服务生态，黄河流域数字经济发展面临高端数字技术人才缺乏，数字技术产业资本外流、数据要素市场建设不完备、数字技术标准不统一等问题，黄河数字治理环境仍有待优化。

（1）数字产业人才可持续供应链不完备。现阶段我国万亿产业数字化转型市场急需数字领域人才资源，数字企业用人与高校人才输送存在供需矛盾，学

科设置、校企合作、产教融合无法适应数字产业特需人才培养^④。此外，黄河流域大部分区域为欠发达省份，数字技术人才在本地区培养方面的实力不足，同时向东南发达省份输送明显，处于“人才流失”态势，面临高端人才、技术劳动力外流的竞争压力。

（2）数据要素市场建设不完备。根据《中国城市数据要素市场发展评估报告（2023年）》数据显示，黄河流域城市中只有济南位居第二梯队，其余城市的数据要素市场建设较为缓慢。数字技术应用于流域治理使得数据存储、传输、重构成为可能，“数据”成为新生产要素赋能产业发展与社会治理，加快海量数据开放共享的同时，数据的资产权利也应被考虑，营造安全有序的数据市场，保证数字创新主体积极性。

（3）数字技术标准不统一。数学模型功能、参数估计、模拟精度、模型通用性和稳定性取决于数据精度在层级间的衰减与技术标准统一。然而，数字孪生黄河涉及的人工智能、物联网、云计算、模拟仿真等技术的成熟度不高，平台模型标准化滞后，且数字孪生软件设计与操作系统主要由国外企业主导，美国微软公司、ANSYS公司、戴尔公司等企业依托政产学研用

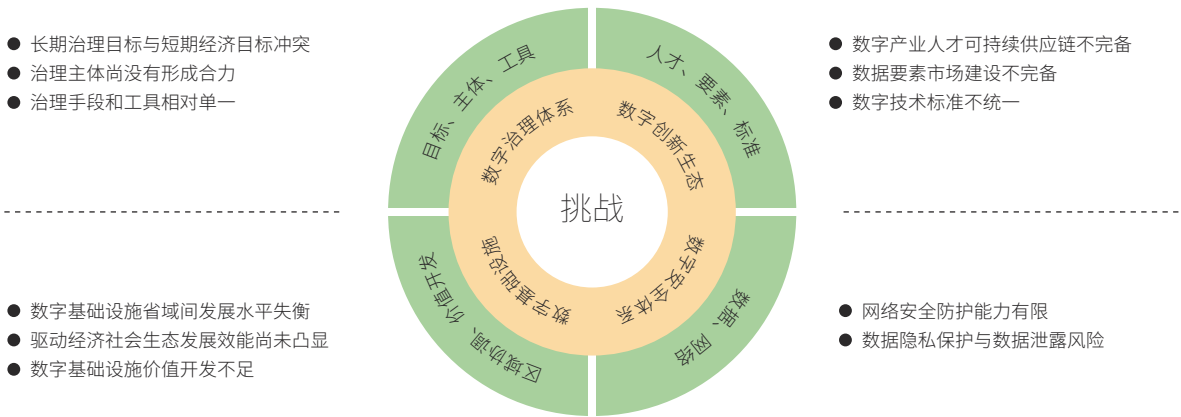


图2 数字技术赋能黄河流域创新发展面临的挑战

Figure 2 Challenges of innovative development of the Yellow River Basin empowered by digital technology

^④ 人瑞人才，德勤中国《产业数字人才研究与发展报告(2023)》. (2023-03-01)[2024-05-05]. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/consulting/deloitte-cn-hc-industrial-digital-talents-zh-230609.pdf>.

结合占据了数字孪生市场先发优势，国内企业自主技术创新能力不足，国际市场占有率较低，难以形成完备的数字孪生框架产业链。

2.2 数字治理体系尚未形成

推动黄河流域治理的数字化转型，在实施系统化解决方案以提供技术支持的同时，需要建立持续变革的数字治理体系以提供相匹配的治理保障。然而，黄河流域数字化治理仍面临长期治理目标与短期经济目标冲突、治理主体间尚未形成合力以及治理手段和工具单一的难题。

(1) **长期治理目标与短期经济目标冲突**。黄河流域经济带产业结构较重，能源基地集中，流域数字基础设施建设在支持资源能源开发的同时也面临着资源过度使用、能耗提高、可持续性与再循环降低的问题^[12]。通信基站及数据中心建设的海量数据处理无形中加大电力能耗，将对区域绿色低碳发展形成巨大挑战。此外，新型数字基础设施生产及使用过程的废水、废气、废渣等有害物质排放将给区域生态系统再循环造成压力。

(2) **治理主体尚未形成合力**。目前，黄河流域的治理依旧以传统治理思路主体，在治理模式上呈现“条条分割、块块分割”的特点，“九省治黄、各管一段”导致流域治理主体权责不清，统筹全流域内各个省份实现跨区域协同治理的能力依旧是较大的困难。在法治协同上，国家层面、流域层面及省域层面的法规文件内容规定相对分散，调整范围较为单一，现实中，这与黄河保护与治理的协同推进目标存在明显差距。

(3) **治理手段和工具相对单一**。黄河流域治理在单一的政府公共管理层面难以发挥有效作用，经济导向、总量控制的传统治理手段落后于黄河高质量开发

与保护的现实需求。在文化传承上，讲好“黄河故事”，坚定文化自信亟待黄河文化时代价值的数字化创播与鲜活性展现，缺乏时代性挖掘与创新的传统文化保护导致其文化影响力、传播力、感染力略显不足；在生态问题监管上，数字生态账户、线上平台污染排放许可与交易、碳排放交易与可转移的土地发展权等开发建设不足，污染物总量控制的传统治理手段难以适应流域市场化治理机制需要。

2.3 数字基础设施普惠性不足

脱贫攻坚以来，推动文化旅游、教育医疗等公共服务资源数字化供给和网络化服务对黄河流域重点省份巩固维持脱贫攻坚成果尤为重要。黄河流域数字基础设施建设存在省域发展失衡、驱动经济—社会—生态发展的效能尚未凸显、经济—社会价值开发不足的问题。

(1) **数字基础设施的省域间发展水平失衡**。截至2022年，山东省使用中全省数据中心标准机架数突破24万个，已建成大中型数据中心44个，边缘数据中心176个^⑤，数字经济蓬勃发展。与此同时，青海省在用在建数据中心总计15个，仍有27%的行政村没有5G通信网络。黄河上中游地区和下游滩区的农村及偏远地区网络覆盖水平较低、数字基础设施建设落后、信息化服务供给不足，黄河数字化普惠建设存在城乡、区域发展不协调问题。

(2) **数字基础设施驱动经济—社会—生态发展的效能尚未凸显**。生态文明建设是“五位一体”总体布局的基础，“数字孪生黄河”作为生态发展的重要方面，其如何与经济、社会、生态、文化建设相统筹至关重要。以5G网络、数据中心建设等为代表的“新基建”有效赋能了生产制造与文化遗产，但政策体系相对于技术创新、公众需求存在滞后性，庞大未知的

⑤ 申佳平. 首届中国算力大会将于7月29日至31日在济南召开. (2022-06-29)[2022-06-29]. http://www.shandong.gov.cn/art/2022/7/31/art_97560_548267.html.

数字环境同时伴随纷繁复杂的公共问题,为实现公共政策感知社会需求的灵敏性和问题回应的有效性,数字基础设施建设亟待加强^[13]。

(3) **数字基础设施的价值开发不足**。2022年启动的黄河流域科学数据开放共享联盟建设下的黄河数据中心平台已经构建了有关地理、气候、水文、生态的20大类,174个小类的1 000多个专题数据集。打造黄河流域大数据走廊,长期困扰数据社会开放与流通利用的数据安全、数据确权难题和东中西部的数字经济融合与数据创新合作问题,有待于区块链、计算分析服务等数据安全技术解决。

2.4 数据安全和隐私保护能力有限

黄河数字开发与治理过程涉及数据集中度高、数据量大、数据动态性高等问题,且黄河流域地理地形信息属于国防安全重要资源,外部数据入侵影响整个流域安全运行和国防安全,数字赋能区域发展中的风险防范和应对能力建设极为重要。现阶段,黄河数字化开发过程中存在2个主要挑战。

(1) **网络安全应急防护能力有限**。网络机房基础设施建设安全性不足,网络安全事故应急处置能力不够、网络安全产业建设不完备导致黄河信息网络安全问题频出。仅2020年,黄河水利委员会信息中心网络中心监测发现279台主机隐患,103个弱口令漏洞。各类风险叠加引发经济、技术和社会稳定的系统性风险,这与黄河流域安全发展路径相背离,构建“防御—检测—响应”的网络安全闭环体系任重道远。

(2) **数据隐私保护与数据泄露风险挑战**。①黄河数字化建设涉及身份信息、隐私信息、生物特征信息、地理信息的采集传输和使用,多类型数据库交叉使用、数据明文存储、对外开放业务服务极易引发非法篡改、敏感信息泄露和外部非法入侵风险。②数字化、复杂化与多元化的超大流域治理环境亟待政府治理能级升维,政策回应与有效监管需同步进行,有待

推进承袭“灵捷”和“监管”属性的敏捷治理路径^[14,15]。

3 政策建议

把握新发展阶段,贯彻新发展理念,黄河创新发展治理表现出高度复杂性,亟需数字技术的赋能。为积极应对现阶段挑战,本文围绕数字技术赋能黄河及其流域创新发展治理,从构建科技创新生态和敏捷数字治理体系、加强黄河数据要素价值开发和提升风险防控能力4个维度提出了政策建议。**针对数字创新生态活力不足**,提出打造技术、人才、政策、市场多要素、黄河流域多元创新主体构成的黄河科技创新生态体系以推动技术应用在黄河及其流域治理中的落地;**针对数字化时代治理体系尚未形成的挑战**,提出基于敏捷治理模式,运用数字技术推动黄河及其流域治理工具创新,因地制宜赋能沿黄省市、沿黄产业发展;**针对数字基础设施普惠性不足的难题**,提出推动黄河全流域数据要素价值开发,实现流域内数字资源共享共用;**针对黄河数字化开发过程中风险防范和应对能力建设需要**,提出建立围绕黄河及其流域立体协同的风险感知、分析、响应和恢复机制,增强安全意识,借助人工智能提升风险预警与风险防控能力。

3.1 构建数字黄河科技创新生态,促进数字黄河技术应用落地

(1) **以战略科技力量强化数字黄河关键核心技术创新生态**。打造技术、人才、政策、市场等多要素、多元创新主体构成的科技创新生态体系,特别是推动沿黄区域科技领军企业联合全国重点实验室、高校院所等强化数字黄河相关科学理论和关键核心技术的研发创新。聚焦黄河流域科创大走廊建设的重点需求和难点堵点,加强黄河源头区域至入海口相关省域开展全域科学治理所需关键技术研发和平台设施建设,在源头创新环节保障黄河流域生态保护和高质量发展重

大战略的实施。强化数字技术相关研究，将数字时代特有的新发展理念、新要素组织方式、新市场规则引入黄河现有开发与保护体系，大力发展数字医疗、数字文化、数字旅游等新兴产业，推动数字技术与上游能源、矿山、水利水电和下游的农业、畜牧业等传统产业深度融合，推动产业高质量发展。

(2) 以“四链”融合协同发展促进数字黄河技术应用落地。发挥企业的创新主体地位，激发社会资金投入积极性，运用文化物联网、广域信息采集等数字技术来实现黄河生态、文化资源的创造性转化和创新性发展。推动陕西、山东、河南等沿黄发展较好省域创新主体组建创新企业联合体，提升产业链创新水平。聚焦人才发展劣势，针对数字产业需求设计大数据、人工智能等人才教育与培养政策^[16]，建立目标导向的科研机构绩效评估机制，建立健全动态检测和调整机制^[17]，营造良好创新生态，多路径激发科技创新活力。

3.2 健全敏捷数字治理体系，因地制宜赋能沿黄省市和产业协同

(1) 强化区域间敏捷数字治理和创新发展的目标一致性。针对“九省治黄、各管一段”和长短期目标冲突的难题，发挥数字技术在黄河治理中的有效作用，将沿黄流域作为一个整体的经济体系和生态系统^[18]，把黄河数字化治理落实到国家战略层面，融合西部大开发战略统筹全局的发展需要，协调区域经济利益平衡重大问题。推动沿黄区域在治理目标一致性、治理手段差异化等形成共识。充分利用大数据、物联网、人工智能等信息技术，加速打造黄河协同治理数据带，灵活推动治理工具创新，推动治理目标与经验南北共享、东西共享，推进流域重大问题实时协商协作，推动政策制定立足点由区域经济发展向流域经济发展转变，实现全流域敏捷治理能力提升。

(2) 因地制宜推动黄河流域数字技术与各类产业协调发展。沿黄流域各省份在制定创新发展战略时，

要充分结合自身比较优势、资源禀赋和发展阶段，实现区域、产业的分工协作互补。黄河上游、中游作为资源能源富集区，应加强数字化生态环保分析和预警监测平台建设，积极推进水源涵养和生态保护修复，统筹能源化工发展布局；下游黄淮海平原作为粮食主产区可充分利用数字化技术大力发展现代农业和先进制造业，实现农业绿色高效循环。特别地，山东作为工业体系门类齐全、结构完备的沿黄制造业大省，应发挥好龙头作用。

3.3 强化数字基础设施使用效能，提高黄河创新要素价值开发

(1) 强化沿黄省域数字基础设施建设，夯实区域协同的能力基础。围绕国家数据局《“数据要素×”三年行动计划（2024—2026年）》，积极推动沿黄省域聚焦数据要素政策环境、数据要素产业基础、数据要素供给、数据要素流通和数据要素治理领域等方面，为数据要素同传统产业、传统应用场景进行融合提供基础保障，强化数据基础设施对经济、社会和生态发展的支撑能力。在数字基础设施相对成熟的山东半岛城市群、中原城市群、关中平原城市群率先打造一批国家级城市算力网示范区，而青海、甘肃、内蒙古等地区仍需加大信息化关键基础设施建设、5G通信建设及应用，把握发展战略机遇。

(2) 强化数字黄河数据的共享共用，提升黄河数据的使用效能。针对黄河流域上、中、下游互联互通较弱，下游区域算力需求旺盛，上游区域的算力枢纽缺乏应用支撑，算力供需不均衡的难题，建立数据协同服务机制，实现数据和算力服务的综合调度。实现上游为中、下游提供中高时延算力服务，中、下游为上游提供算力网大脑等调度服务，以黄河流域科学数据开放共享联盟为主体，强化社会公众认知、产业发展、生态监测等各类专题数据库的数据存储、深度挖掘和产业应用。吸引全国高水平大学研究团队、科研院所等研发队伍开发大数据模型挖掘分析，探索生成

式人工智能（如ChatGPT）、区块链等在数字黄河相关数据的挖掘和使用中的作用，提升数字黄河相关数据的使用效能。

3.4 增强黄河数字安全屏障能力，化解黄河流域发展系统性风险

（1）增强黄河数字技术安全意识，强化风险防范能力。“数字孪生黄河”建设数据集中度高、数据量大，工程建设涉及产业众多，需要重视区域发展中数据泄露等系统风险问题。围绕国土空间安全保护的需求，“数字孪生黄河”建设之初要开展流域国土空间开发适宜性评价，严格规范沿河开发建设活动，尤其要保障青藏高原地带生物多样性发展空间和中下游地区农业发展空间。围绕风险防范需求，强化数字黄河关键技术节点、重要数据存储环节、关键数据使用范围的保障，全链条增强黄河战略实施需求。

（2）增强数据安全保障能力，化解区域系统性风险。信息系统应用涉及信息安全、数据处理和存储^[19]，黄河流域地理信息、人口资源分布信息、农业信息等国防安全资源汇集与传输需要立体协同的风险感知、分析、响应和恢复机制。黄河数字化为敏捷治理提供了实现基础，人工智能对决策复杂性的简化使得政府可以对复杂问题做出快速回应，实现风险预警与风险防控的有机结合^[20]，有效化解区域系统性风险。

参考文献

- 1 刘洋, 董久钰, 魏江. 数字创新管理: 理论框架与未来研究. 管理世界, 2020, 36(7): 198-217.
Liu Y, Dong J Y, Wei J. Digital innovation management: Theoretical framework and future research. Management World, 2020, 36(7): 198-217. (in Chinese)
- 2 周鹏, 王卓, 谭常春, 等. 数字技术创新的价值——基于并购视角和机器学习方法的分析. 中国工业经济, 2024, (2): 137-154.
Zhou P, Wang Z, Tan C C, et al. The value of digital technology innovation: From the M&A perspective and machine learning methods. China Industrial Economics, 2024, (2): 137-154. (in Chinese)
- 3 Lusch R F, Nambisan S. Service innovation: A service-dominant logic perspective. MIS Quarterly, 2015, 39(1): 155-176.
- 4 李国英. “数字黄河”工程建设“三步走”发展战略. 中国水利, 2010, (1): 14-16.
Li G Y. “Digital Yellow River” project construction “three-step” development strategy. China Water Resources, 2010, (1): 14-16. (in Chinese)
- 5 李国英. 建立黄河数学模拟系统. 中国水利, 2006, (21): 36-38.
Li G Y. Setting up mathematical simulation system of the Yellow River. China Water Resources, 2006, (21): 36-38. (in Chinese)
- 6 Kamble S S, Gunasekaran A, Parekh H, et al. Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 176: 121448.
- 7 穆荣平, 蔺洁, 池康伟, 等. 创新驱动社会服务数字化转型发展的趋势、国内外实践与建议. 中国科学院院刊, 2022, 37(9): 1259-1269.
Mu R P, Lin J, Chi K W, et al. Trends, practices and policy suggestions of innovation-driven digital transformation of social services. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(9): 1259-1269. (in Chinese)
- 8 Ding K, Chan F T S, Zhang X D, et al. Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors. International Journal of Production Research, 2019, 57(20): 6315-6334.
- 9 夏润亮, 李涛, 余伟, 等. 流域数字孪生理论及其在黄河防汛中的实践. 中国水利, 2021, (20): 11-13.
Xia R L, Li T, Yu W, et al. Digital twin theory of watershed and its application in flood control of the Yellow River. China Water Resources, 2021, (20): 11-13. (in Chinese)
- 10 常天恺, 齐骥. 文化记忆视角下讲好黄河故事的理论逻辑

- 与现实路径. 理论月刊, 2022, (8): 78-85.
- Chang T K, Qi J. Theoretical logic and realistic path of telling the story of the Yellow River from the perspective of cultural memory. Theory Monthly, 2022, (8): 78-85. (in Chinese)
- 11 杨越, 李瑶, 陈玲. 讲好“黄河故事”: 黄河文化保护的创新思路. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(12): 8-16.
Yang Y, Li Y, Chen L. Telling a good “Yellow River story”: Innovative protection logic of the Yellow River culture. China Population, Resources and Environment, 2020, 30 (12): 8-16. (in Chinese)
- 12 王金南. 黄河流域生态保护和高质量发展战略思考. 环境保护, 2020, 48(S1): 18-21.
Wang J N. Strategic thinking on ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. Environmental Protection, 2020, 48(S1): 18-21. (in Chinese)
- 13 顾丽梅, 宋晔琴. 超大城市敏捷治理的路径及其优化研究——基于上海市“一网统管”回应社情民意实践的分析. 中国行政管理, 2023, (6): 6-14.
Gu L M, Song Y Q. Research on the path and optimization of agile governance of megacity—Based on the practice of “one network unified management” in Shanghai. Chinese Public Administration, 2023, (6): 6-14. (in Chinese)
- 14 孙志建, 耿佳皓. 公共管理敏捷革命: 中国城市治理数字化转型的交叉案例研究. 电子政务, 2023, (2): 2-17.
Sun Z J, Geng J H. Agile revolution of public management: A cross-case study of digital transformation of urban governance in China. E-Government, 2023, (2): 2-17. (in Chinese)
- 15 吴磊, 冷玉, 唐书清. 数字化时代敏捷治理的学术图景: 研究范式与实现路径. 电子政务, 2022, (8): 77-88.
Wu L, Leng Y, Tang S Q. Academic prospect of agile governance in digital age: Research paradigm and realization path. E-Government, 2022, (8): 77-88. (in Chinese)
- 16 陈凯华, 郭锐, 裴瑞敏. 我国科技人才政策十年发展与面向高水平科技自立自强的优化思路. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 613-621.
Chen K H, Guo R, Pei R M. Ten-year development of China’s science and technology talent policies and optimizing approach for sci-tech self-reliance and self-improvement. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(5): 613-621. (in Chinese)
- 17 樊春良, 李哲. 国家科研机构在国家战略科技力量中的定位和作用. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 642-651.
Fan C L, Li Z. Orientation and role of national scientific research institutions in national strategic scientific and technological strength. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(5): 642-651. (in Chinese)
- 18 薛澜, 杨越, 陈玲, 等. 黄河流域生态保护和高质量发展战略立法的策略. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(12): 1-7.
Xue L, Yang Y, Chen L, et al. Strategy of the legislation of Yellow River Basin ecological protection and high-quality development. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(12): 1-7. (in Chinese)
- 19 Ismagilova E, Hughes L, Dwivedi Y K, et al. Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. International Journal of Information Management, 2019, 47: 88-100.
- 20 朱国伟, 周妍池, 刘银喜. 敏捷治理推动数字政府建设: 发展趋势与实现路径. 电子政务, 2023, (2): 55-64.
Zhu G W, Zhou Y C, Liu Y X. Agile governance promotes the construction of digital government: Development trend and realization path. E-Government, 2023, (2): 55-64. (in Chinese)

Digital technologies empower innovative development governance of the Yellow River Basin

SUN Tara Qian¹ JIA Yingying¹ SUN Gaozuo^{2*} ZHAO Xixi² MU Rongping^{1,3}

(1 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2 Marine Science Research Institute of Shandong Province (National Oceanographic Center, Qingdao),
Qingdao 266100, China;

3 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The application of digital technologies is the core driving force for innovating traditional development and realizing a leap in productivity. The innovative development governance of the Yellow River Basin is a complex social system, involving economic, social, and ecological aspects. Its key driving force is the profound influence of digital technologies. Focused on how digital technologies empower the innovative development governance of the Yellow River Basin, the development process, problems, and challenges are analyzed at different stages, from the digital Yellow River to the digital twin Yellow River. It is found that the governance of the Yellow River Basin still requires enhancement in four aspects: building a digital innovation ecosystem, establishing a digital governance system, developing data infrastructure, and preventing data security risks. In order to address these challenges so as to promote the realization of the innovative development goals of the Yellow River Basin, four policy recommendations are proposed, namely, encouraging a scientific and technological innovation ecology, improving the agile digital governance system, strengthening the practical value and application of innovations, and enhancing the digital security barrier capacity.

Keywords digital technology, Yellow River governance, innovative development, digital twin, digital empowerment

孙 茜 中国科学院大学公共政策与管理学院副教授。主要研究领域:数字医疗、医疗人工智能、数字治理、数字创新、社会创新、创新发展政策。E-mail: sunqian@ucas.ac.cn

SUN Tara Qian Associate Professor at the School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences (UCAS). Her main research interests include digital healthcare, artificial intelligence in healthcare, digital governance, digital innovation, social innovation, and innovation development policy. E-mail: sunqian@ucas.ac.cn

孙高祚 山东省海洋科学研究院(青岛国家海洋科学研究中心)副院长。主要研究领域:科技发展战略、科技管理。E-mail: sungaozuo@shandong.cn

SUN Gaozuo Vice President of Marine Science Research Institute of Shandong Province (National Oceanographic Center, Qingdao). His research focuses on science and technology development strategy, science and technology management. E-mail: sungaozuo@shandong.cn

■责任编辑:张帆

*Corresponding author