

我国生态环境大数据发展现状与展望

王运涛¹, 王国强¹, 王桥², 张庆竹³

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875;
3. 山东大学环境研究院, 山东青岛 266237)

摘要: 生态环境大数据可以通过提升生态环境治理体系和治理能力现代化来进一步支撑生态文明和美丽中国建设, 然而我国生态环境大数据应用还存在思路与技术瓶颈, 导致实施、落地困难。面向“十四五”生态环境保护对生态环境大数据的迫切需求, 本文总结了我国生态环境大数据的发展现状, 分别从机制建设、技术研发及业务支撑三方面分析我国生态环境大数据发展存在的问题, 从生态环境状况智能感知与问题识别、演变规律及驱动机制挖掘、环境污染与生态系统受损溯源分析、情景模拟与预测评估、风险预警与应急决策、工作监督与绩效评价等六个方面指出生态环境大数据发展的重点方向, 围绕管理机制体制、数据资源意识、技术研发与示范、资金投入与人才培养分别提出我国生态环境大数据发展对策建议, 为“十四五”生态环境大数据高质量发展提供支撑。

关键词: 生态环境; 大数据; 协同机制; 资源意识

中图分类号: X830.3 **文献标识码:** A

Development Status and Prospects of Ecological Environment Big Data in China

Wang Yuntao¹, Wang Guoqiang¹, Wang Qiao², Zhang Qingzhu³

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Environment Research Institute, Shandong University, Qingdao 266237, Shandong, China)

Abstract: Ecological environment big data can further support the construction of ecological civilization and the construction of a beautiful China by modernizing the ecological environment governance system and capabilities. However, China's eco-environmental big data strategy is difficult to implement because of mentality and technical bottlenecks. Facing the urgent demand of ecological environment protection for ecological environment big data during the 14th Five-Year period, this article summarizes the development status of ecological environment big data in China and analyzes the existing problems from three aspects: mechanism construction, technology research and development (R&D), and business support. Six key directions are presented: intelligent perception and problem identification of ecological environment; mining of evolution law and driving mechanism; traceability analysis of environmental pollution and ecosystem damages; scenario simulation and prediction evaluation; risk early warning and emergency decision-making; supervision and performance evaluation. Countermeasures are proposed focusing on management mechanism, data resource awareness, technology R&D and demonstration, capital investment, and talent training, thus to support the high-quality development of big data regarding ecological environment during the 14th Five-Year period.

Keywords: ecological environment; big data; coordination mechanism; resource awareness

收稿日期: 2021-11-15; **修回日期:** 2021-12-25

通讯作者: 王桥, 北京师范大学地理科学学部教授, 中国工程院院士, 主要从事环境遥感监测与环境信息研究; E-mail: wangqiao@mee.gov.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新时代国家生态环境大数据发展战略研究”(2021-XY-12)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

生态文明建设是关系中华民族永续发展的千年大计和根本大计,已经列入国家和地方的重要建设内容[1]。生态环境治理体系和治理能力现代化有助于满足人民日益增长的优美生态环境需要[2]。大数据国家战略要求推动政府信息系统和公共数据互联互通,促进大数据在各行业创新应用[3]。国家高度重视大数据在推进生态文明建设中的地位和作用,印发了《生态环境大数据建设总体方案》,指出要开展生态环境大数据分析和应用。生态环境管理与污染防治已进入大数据与智能分析时代,大数据建设是提升生态环境保护综合决策、监管治理和公共服务水平的有力举措。因此,生态环境大数据给我国生态环境治理体系和治理能力现代化带来深刻的变革、影响和促进[4,5]。

近年来,我国在生态环境大数据建设和应用方面取得了诸多进展。然而我国大数据战略在生态环境领域的布局还存在总体框架、业务支撑与服务产品等方面的思路与技术瓶颈,导致进一步实施、落地困难。①通过多年积累形成的生态环境大数据的价值尚未得到充分挖掘。我国虽已初步形成天地一体的立体监测网络,基本具备反映环境污染水平、生态系统状况的能力,但数据的大量涌入带来了存储、处理和利用等方面的困难,甚至增加了生态环境管理决策的不稳定性和不确定性,环保管理部门运用生态环境大数据的能力较低,并未对所积累的海量数据进行深入分析与挖掘,导致生态环境管理决策的有效信息有限,尚未达到新时代生态环境精细化管理的要求。②生态环境大数据专项技术研发投入不足,现有的大数据技术以通用技术为主,针对生态环境大数据特点和生态环境保护与管理实际工作需求进行具有针对性的研发有限。③生态环境大数据平台建设标准与管理机制体制尚不健全,缺乏统一的生态环境大数据平台建设规划和顶层设计,没有有效推动数据共享和业务协同。④缺乏生态环境大数据专业人才培养体系,缺少面向生态环境领域从业人员的“生态环境+大数据”的专项培训。综上所述,面对新形势和新要求,有必要进一步开展我国生态环境大数据发展研究。

本文依托“新时代国家生态环境大数据发展战略研究”项目,归纳总结我国生态环境大数据的发

展现状和面临的问题,提出新时代我国生态环境大数据发展的重点方向,并针对性给出对策建议,以期为我国生态环境大数据发展和有关部门决策提供支撑与参考。

二、我国生态环境大数据发展需求分析

(一)“十四五”生态环境保护新要求

我国当前生态环境保护面临的形势依然严峻复杂,并且随着我国生态环境业务的逐年扩展,相关生态环境问题涉及部门广、过程复杂、驱动因素众多,不同环境要素的相互影响、相互交叉导致生态环境问题更加复杂,生态环境保护与恢复难度增大。站在“两个一百年”历史交汇点上,“十四五”规划以美丽中国建设为目标,为我国生态文明建设和生态环境保护指明了方向,作出了系统谋划和战略部署。强调坚持“山水林田湖草”综合治理、系统治理、源头治理,提升生态系统质量和稳定性;深入打好污染防治攻坚战,健全环境协同治理体系,突出精准治污、科学治污、依法治污;坚持绿色发展与高质量发展,完善生态环境监督管理体系,减污降碳,加快发展方式绿色转型。因此,面对严峻复杂的生态环境形势以及生态环境保护工作的高目标、严要求,亟需科学谋划新思路推进生态文明和美丽中国建设。

(二)生态环境大数据发展需求分析

1. 实现海量数据潜在价值信息挖掘

随着我国生态环境保护事业的快速发展,源自各级生态环境管理部门、技术单位和研发机构的生态环境数据不断积累增多,这些数据的大量涌入对生态环境保护相关工作带来巨大的发展机遇。然而,目前的突出问题是一方面堆积闲置的生态环境数据越来越多,另一方面需要通过这些数据来解决的问题也日益增加。发展生态环境大数据是实现海量数据信息价值和解决生态环境问题的必然趋势。

2. 支撑环境污染协同管控与综合治理

随着跨尺度、跨部门和多要素复合型生态环境问题日益凸显,传统的生态环境管理决策手段已无法应对当前生态环境保护工作复杂性、动态性和系统性的特点。生态环境大数据在解决大尺度、复杂过程、驱动因素众多的生态环境问题方面潜力巨

大，能够推动实现分地区、分类别的差异化管理和精准治理。发展生态环境大数据是深化生态环境治理措施和提升环境管理水平的必然路径。

3. 保障“双碳目标”实现

当前，生态环境大数据建设与“碳达峰、碳中和”目标同处一个时代背景，生态环境行业的大数据转型对工艺、设备、设施的不断优化将提升碳达峰与碳中和的能力，并与其相互耦合、互相促进。在此基础上，推动污染物排放与温室气体排放的同频、同效、同路径治理，实现减污降碳协同综合治理。发展生态环境大数据是实现“双碳目标”与经济社会产业转型协同发展的必然选择。

三、我国生态环境大数据发展现状及面临问题

（一）发展现状

我国生态环境大数据的研究起步相对较晚。20世纪80年代至21世纪初，我国环境信息技术快速发展，组织管理体系不断健全，信息网络基础设施不断改善，环境管理业务应用系统形成一定规模。经过“十一五”全面建设、“十二五”转型发展，环境管理进入信息化新阶段，为大数据技术的落地应用奠定了数据基础。自“十三五”以来，随着《生态环境大数据建设总体方案》的实施，我国生态环境大数据逐步走上了快速发展的道路，赋能生态环境综合决策科学化、生态环境监管精准化、生态环境公共服务便民化。相关部门纷纷启动大数据建设工作，围绕生态环境管理制度、监测设备、数据处理分析、平台管理、业务应用等方面开展不同层面的研究和应用，在生态环境监管、决策及服务等方面的发展取得较大进展[6]。例如，国家水专项“国家水环境监测监控及流域水环境大数据平台构建关键技术研究”项目，针对国内水生态监测技术、水环境监测网络和水环境大数据分析等方面存在的问题，研发了水生态环境监测技术和装备，攻克了水生态环境监测智能评估与质量预测预警技术，构建了以大数据挖掘技术为核心的水环境管理大数据平台。

当前我国生态环境监测水平不断完善，大气、水和土壤等领域的监测网络系统初步形成，并且根据业务管理需要不断加大监测密度。我国初步建立的天地立体的生态环境监测系统[7]，融合了地面监

测、卫星遥感、航空遥感[8]、互联网等技术。我国生态环境大数据管理与处理能力不断提升，包括生态环境大数据的存储、整合、标准建设等。生态环境大数据存储管理方式主要有分布式文件系统、关系型数据库、非关系型数据库、数据仓库等[9]。以MapReduce、Hadoop等[10]为代表的技术平台和框架在我国生态环境大数据领域已开始应用，实现海量数据的批处理、存储和分析等[11]。我国出台了数据交换规范和数据资源目录标准体系，与水、气、土壤、生态等相关的数据开始逐步整合[12]，在一定程度上促进了生态环境大数据在各业务部门间的共享和交换，加强了生态环境业务协同力度。我国生态环境大数据分析与应用能力不断提高。当前大数据分析的主要方法包括人工智能[13]、统计分析和系统建模等，这些分析方法在水污染治理、区域大气污染治理、环境影响评价以及环境风险管理等领域得到初步应用[14]，如生态环境部环境工程评估中心的环评管理平台、清华大学环境学院研发的空气质量预测和预报系统等。

（二）面临问题

虽然我国在生态环境大数据建设和应用方面取得了积极进展，但我国生态环境大数据研发与应用仍处于起步探索阶段[15]，尚未真正发挥大数据系统对生态环境管理决策的支撑作用。

1. 数据整合、共享与开放机制不健全

生态环境数据资源分散，不同生态环境保护业务系统之间的数据格式不统一，导致数据整合程度较低，出现了不同程度的数据割据。而且不同业务部门出于“数据保护主义”，阻碍了生态环境数据整合和共享，无法实现数据互联互通，形成了“数据烟囱”和“数据孤岛”[16]。目前国内关于生态环境数据开放方面的管理体制机制和标准还很不完善，制约生态环境数据开放。

2. 生态环境大数据关键核心技术研发不足

目前，大数据技术在生态环境领域的实施和应用仍存在一些问题[17]，多以大数据通用技术为主，未能充分考虑生态环境大数据特点和环保部门实际管理需求进行针对性的关键技术研发，包括生态环境智能感知技术、数据清洗与融合技术、可视化表达技术、云计算技术、人工智能技术、管理平台技术等。例如，在采集技术方面，对不同生态环境要

素进行高频次、多维度、高精度采集的技术攻关不足；在大数据智能分析方面，智能算法的核心架构、运算效能、计算精度等自主技术创新动力不足，并未对所积累的海量数据进行深入分析与挖掘，开发利用程度不足以发挥数据的全部价值。

3. 对生态环境管理核心业务支撑不足

生态环境大数据的核心价值在于挖掘和应用，它是生态环境大数据建设的核心目标。然而，当前堆积闲置的生态环境数据越来越多，真正触及核心职能业务的大数据应用功能少，真正能够开拓业务新需求的应用创新不足，创新动力不够[16,18]，我国运用生态环境大数据的能力还比较初级[19]，多为在线监测数据的收集与展示，对数据的分析与挖掘不够，针对生态环境管理的智能感知与问题识别、演变规律及驱动机制挖掘、溯源分析、情景模拟与预测评估、风险预警与应急决策、环保监督与绩效评价不够，未对环保核心业务管理决策提供强力支撑，产业集群发展态势尚未形成。

四、新阶段我国生态环境大数据的发展路径与重点方向

“十四五”时期应坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党中央国务院指示精神，牢固树立新发展理念，按照高质量发展要求，促进新时代生态环境大数据汇聚共享、深化数据融合创新、提升数据治理能力、保障数据安全，打造应用多样、支撑有力、产业繁荣生态环境大数据良性发展模式，为提高生态环境保护综合决策、监管治理和公共服务现代化水平提供科学支撑和技术支持。

（一）发展路径

1. 机制建设

加强生态环境大数据标准规范研究，完善生态环境大数据共享开放机制。重点探索生态环境大数据领域“官产学研”合作模式，推动基础科学研究与技术推广应用协同并进，利用大数据技术在生态环境要素配置中的优化和集成作用，加强生态环保相关职能部门、机构数据互联互通与共享开放，解决生态环境大数据应用“烟囱”、数据“孤岛”、信息资源开发利用水平低、产品服务缺乏等问题，促

进生态环境大数据深度融合于生态环境管理业务。

2. 技术研发

推进生态环境大数据基础研究和关键技术研发。针对实现生态环境治理体系和治理能力现代化、提升我国生态环境管理决策综合能力和水平的需要，开展基于云计算、互联网、物联网、人工智能、遥感、环境信息等现代技术的生态环境大数据理论与方法研究，如基于物联网和分布式数据库的生态环境大数据采集与处理、基于人工智能技术的生态环境质量预测预警、基于多元数据同化的污染过程模拟与生态环境评估、污染源与环境质量的关联性分析等，构建面向我国新时代生态环境保护的大数据理论方法体系，为生态环境大数据应用奠定理论方法基础。以技术发展推动生态环境保护业务流程与管理模式创新，实现技术的业务化深度应用，切实提升管理决策的科学性、动态性与精准性。

3. 应用推广

研制生态环境大数据服务平台，开发新型生态环境大数据产品，建立生态环境大数据产业示范区，集成产业链上下游企业，深入挖掘生态环境大数据商用、政用、民用价值，拓宽新的应用场景，实现大数据产品的推广示范与融合应用。运用生态环境大数据研发成果和环境大数据服务平台开展环境大数据应用服务，如支撑打赢污染防治三大攻坚战、助力实现生态环境监测精准化和智能化、支撑开展生态保护与应对气候变化工作等。

（二）重点方向

1. 生态环境状况智能感知与问题识别

综合应用物联感知、卫星遥感、互联网抓取等技术，提高对环境要素和污染源全面智能感知和实时监控能力，通过大数据“一张图”实现污染源监测网络可视化，实时查询对应污染源排污状况及视频信息，结合深度学习等大数据分析，从被动响应转变为主动服务，实现生态环境质量与污染源现状问题精准识别，为生态环境监测常态化运行奠定基础。

2. 生态环境演变规律及驱动机制挖掘

基于大数据技术获取海量多尺度、多要素、多过程观测数据，将基于机理模型的多源数据与基于大数据驱动模型的数据进行整合，深度挖掘生态环境与社会经济多要素间的关系，解释原本可能因宏观加和被掩盖的个体异质性与时空异质性等特征，

形成对于生态环境演变及成因更为深刻与全面的认知，为生态环境领域科学研究与政府部门管理决策提供有价值的知识与信息。

3. 环境污染与生态系统受损溯源分析

基于统计数据分析识别污染受体和污染源之间的相关关系，建立污染溯源模型来模拟污染物的空间过程，厘清环境污染和生态系统受损等存在问题的成因及其贡献。强化多源数据融合与挖掘技术，对与环境污染和生态受损相关的间接变量进行分析，降低对表征源与受体的直接数据的依赖性，实现环境污染与生态系统受损溯源分析。

4. 生态环境管理情景模拟与预测评估

开发分布式并行编程和计算框架，结合深度学习和数据挖掘算法，在海量数据进行处理和分析的基础上建立表征自然要素、管理决策变量与目标变量之间关系的大数据模型，最大限度挖掘现有多源数据间的关系，能够兼顾具体决策场景的灵活性与决策依据数据的可获取性，支撑现有信息下的最优化决策。

5. 生态环境风险预警与应急决策支持

融合天空遥感、传统地面监测以及物联网实时监测等多源异构时空大数据，进行区域生态环境大数据风险预警与应急决策。基于大数据分析对潜在生态风险源、风险路径与受体进行识别。通过对观测异常值快速识别，为突发性生态环境事故进行预警支持，提前判断事故影响范围与严重程度。通过大数据空间分析在突发型污染事故发生后快速合理调配物资与人力资源提供决策支持信息。

6. 生态环境保护工作监督与绩效评价

审核生态环境上报数据，识别错误数据与异常情况，支持生态环保数据可靠性监督与监管。基于多源遥感数据和大数据分析技术，提高环保督查工作效率。构建生态环境保护工程项目大数据集，基于以往项目数据建立绩效评价阈值标准，实现更加精确的环境绩效评价，从而实现有限资源有效分配和效益最大化，提高生态环境部门决策的科学性和资金使用效益。

五、对策建议

从管理机制体制、数据资源意识、技术研发与示范、资金投入与人才培养等方面提出具体对策建

议，从而深化大数据技术在生态环境保护领域业务化应用。

（一）重视顶层设计，优化发展方向

1. 积极推进多部门合作共建与资源共享

会同生态环境部、自然资源部等有关部门，加快制定产业发展指导意见，强化生态环境大数据战略的顶层指引作用。推动观念革新、树立大数据战略整体化意识，加快跨部门、跨行业协议标准的建立和服务系统的设计，尽快出台国家层面生态环境大数据资源汇集与业务支撑流程规定；明确各部门协调职责、量化工作指标体系，制定绩效评估制度。基于大数据标准化、多源化的特性，逐步建立纵横交互、层级明晰的多部门大数据协同策略，切实推动大数据技术集群协同支撑国家治理，建立生态环境大数据支撑的决策、执行和监督全过程管理制度，完善生态环境大数据技术在战略制定、标准确立和争端处理等方面的支撑机制。以业务支撑为目标，探索跨部门大数据技术工具载体研发，尽力发挥跨部门协调机制的最大效力。

2. 从生态环境大数据生命全周期全角度谋划发展方略

在业务融合上，探索开展生态环境大数据战略应用试点，通过软硬件资源整合重构，从规划角度制定生态环境大数据发展路线、从服务角度完善生态环境大数据政策体系、从业务角度谋划生态环境大数据应用支撑布局。规划角度的大数据发展路线需紧密依托新时代生态环境业务方向，制定生态环境大数据发展中长期规划，综合评估现有基础、系统梳理时代需求、分析甄别核心技术，科学谋划发展框架。明确新时代生态环境大数据业务支撑方向，围绕政府行政政策、社会引导政策、公共参与政策，明确新时代生态环境大数据核心战略框架，依托市场、经济等手段促进生态环境大数据战略发展，增强生态环境大数据战略对公共监督、信息发布、参与决策等的支持。在应用支撑上，推进生态环境大数据平台建设和管理工作，实现生态环境大数据产品业务化生产。

（二）树立资源意识，加强数据管理

1. 推动生态环境大数据软硬件基础设施建设

强化生态环境大数据资源意识，将数据资源保

护提升至国家战略层面。在基础设施构建上,应尽快完成国家生态环境大数据中心建设,破除数据壁垒,打通数据汇集通道。在生态环境部内部充分整合相关海量数据,同时集成生态环境相关卫星影像、水文水利、气候气象以及相关经济社会运行数据;在此基础上,完成国家级数据资源目录建设,从业务运行、管理机构和管理要求三个维度指导信息分类,实现多部门数据资源的关联融汇。数据中心是数据汇集与共享的工具集合。数据汇集通道建成后,从数据使用角度完成采集、清洗、存储、共享工具设计,重点拓展互联网信息采集渠道,开展数据高效共享体系建设,研发具有独立知识产权的数据库、文件传输和接口系统,不断提升数据资源传输安全性和传输效率。开展国家级云计算基础设施建设,全面完善提升集群计算、数据存储、产品共享、业务运维基础设施,着力提高计算稳定性、安全性和时效性。

2. 完善生态环境大数据标准规范与管理制度建设

加快建立生态环境数据资源采集标准,建立纵横交互的数据采集协议框架,横向搭建多部门、多行业、多源信息采集协议框架,纵向依托生态环境垂直管理系统统筹上下级数据采集协议。尽快完成数据汇集流通的标准规范体系建设,规范大数据共享。加强数据库标准化管理,加快数据存储交换标准、数据平台交互接口标准建设,保证数据准确、开放、共享,切实避免数据壁垒与数据流失滥用等情况的发生。强化安全制度建设,构建生态环境大数据网络安全、系统安全、设备安全、供应链安全和数据安全的规范体系,建立健全数据使用运营、共享传输风险评估制度,数据安全认证、安全管理责任制度。

(三) 强化技术攻关, 推动示范引领

1. 制定并发布生态环境大数据典型应用场景

从生态环境保护工作全景出发,制定生态环境大数据典型应用场景。研究大数据关联分析、多元统计、链接预测、相似匹配、因果分析、语义引擎等关键技术在生态环境管理决策中的应用潜力,重点推动态势研判、问题诊断、风险预测预警、感知与溯源、生态环境保护成效评估、环境监测产品自动生产与智能推送等应用场景研发。

2. 着力推动生态环境大数据专用靶向技术研发
围绕生态环境大数据准确性、完整性、一致性、安全性、可用性的具体特征,发展生态环境大数据靶向专用技术,包括生态环境大数据智能获取技术,清理技术、抽取与集成技术、转换与数据规约技术、生态环境大数据融合与分析技术、生态环境大数据可视化表达技术、生态环境大数据产品设计与生产技术等。

3. 推动生态环境大数据服务平台研发与示范应用
开展综合服务功能一体的国家和省级生态环境大数据平台研发和建设。重点推动管理与查询功能、生态环境大数据处理与分析功能、生态环境大数据产品生产与服务功能的研发;推动生态环境大数据智能获取、抽取与集成、分析与挖掘、深度学习、可视化表达、态势研判、问题识别、变化检测、风险预警、综合评估等核心功能研发;最终形成一批操作性强、可靠性高的生态环境管理应用产品,促进生态环境大数据工作从技术方法研究走向业务应用。

(四) 加大研发投入, 壮大人才队伍

1. 加大研发资金投入确保科技创新

积极布局生态环境大数据学科领域基础研究,加大力度支持科研人员在此领域的基础研究,通过项目评审协调、资源配置优化手段,充分调动各部门支持交叉学科研究的积极性。加大生态环境大数据研究学科倾斜支持力度,启动“生态环境大数据重大基础科学问题研究”专项资助工作,安排专项资金用于重点科研基地和重大科学工程的建设。积极引导各级地方政府、企事业单位、社会团体加大对生态环境大数据研究的投入,形成以中央财政支持为主、多元化资助并行的基础研究格局。鼓励和支持有条件的省市以及企事业单位,启动以生态环境大数据技术应用与业务支撑为重点的研发计划,努力提高资金利用效率。

2. 加快培育生态环境大数据领域高层次拔尖创新科技人才

依托高校建设具有国际一流水平的生态环境大数据教学研究机构,填补我国环境大数据学科建设的空白,提升国家环境大数据技术研发、高端人才培养、业务化服务等综合技术能力。高度重视高层次人才队伍规划,通过国家级人才培养、海外优秀

人才引进、特殊人才政策,提供具有国际竞争力和吸引力的基础条件,加强生态环境大数据战略性科学家的培养,充分发挥其战略咨询和规划决策引领能力。推动人事体制改革,打造一批能力突出、专业性强、能够攻坚克难的稳定战略性研究队伍,持续培养一批具有高创新能力和家国情怀的高层次专家团队,加强具有创新活力的中青年科学家梯队建设。

参考文献

- [1] 孙金龙,黄润秋.以习近平生态文明思想为指引 推动生态文明建设实现新进步[J].环境保护,2021,49(15):8-10.
Sun J L, Huang R Q. Taking Xi Jinping's ecological civilization thought as a guide to promote the construction of ecological civilization and realize new progress [J]. Environmental Protection, 2021, 49(15): 8-10.
- [2] 黄润秋.推进生态环境治理体系和治理能力现代化[J].环境保护,2021,49(9):10-11.
Huang R Q. Modernizing China's system and capacity for ecological environment governance [J]. Environmental Protection, 2021, 49(9): 10-11.
- [3] 胡昊,徐富春,韩季奇,等.基于顶层设计方法的生态环境大数据总体框架研究[J].中国环境管理,2018,10(4):107-113.
Hu H, Xu F C, Han J Q. Investigation on the comprehensive framework of eco-environmental big data with top design [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2018, 10(4): 107-113.
- [4] 汪自书,胡迪.我国环境管理新进展及环境大数据技术应用展望[J].中国环境管理,2018,10(5):90-96.
Wang Z S, Hu D. New progress of environmental management in China and the prospect of application of environmental big data technology [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2018, 10(5): 90-96.
- [5] 章少民.中国生态环境信息化:30年历程回顾与展望[J].环境保护,2021,49(2):37-44.
Zhang S M. Ecology and environment informatization in China: 30 years development and expectation [J]. Environmental Protection, 2021, 49(2): 37-44.
- [6] 张毅,贺桂珍,吕永龙,等.我国生态环境大数据建设方案实施及其公开效果评估[J].生态学报,2019,39(4):1290-1299.
Zhang Y, He G Z, Lyu Y L, et al. Evaluation of big data construction for eco-environment and its information disclosure by environmental agencies in China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): 1290-1299.
- [7] 赵海凤,李仁强,赵芬,等.生态环境大数据发展现状与趋势[J].生态科学,2018,37(1):211-218.
Zhao H F, Li R Q, Zhao F, et al. Current status and development trend of eco-environmental big data [J]. Ecological Science, 2018, 37(1): 211-218.
- [8] 王桥.中国环境遥感监测技术进展及若干前沿问题[J].遥感学报,2021,25(1):25-36.
Wang Q. Progress of environmental remote sensing monitoring technology in China and some related frontier issues [J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25(1): 25-36.
- [9] 蒋云钟,冶运涛,赵红莉,等.水利大数据研究现状与展望[J].水力发电学报,2020,39(10):1-32.
Jiang Y Z, Ye Y T, Zhao H L, et al. Research status and prospects on water conservancy big data [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2020, 39(10): 1-32.
- [10] 刘智慧,张泉灵.大数据技术研究综述[J].浙江大学学报(工学版),2014,48(6):957-972.
Liu Z H, Zhang Q L. Research overview of big data technology [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2014, 48(6): 957-972.
- [11] 李继园,孟令奎,田洋,等.水利遥感数据共享平台的高性能运行机制研究[J].水利信息化,2011(2):9-14.
Li J Y, Meng L K, Tian Y, et al. Research on high performance operation mechanism of data sharing platform for water remote sensing data [J]. Water Resources Informatization, 2011(2): 9-14.
- [12] 徐梦溪,施建强,王丹华.天地网一体的水环境监测数据整合关键技术[J].水利信息化,2021(2):29-33.
Xu M X, Shi J Q, Wang D H. Application of smart water conservancy in flood forecast and flood control dispatching of Sichuan Province [J]. Water Resources Informatization, 2021(2): 29-33.
- [13] 张万顺,王浩.流域水环境水生态智慧化管理云平台及应用[J].水利学报,2021,52(2):142-149.
Zhang W S, Wang H. Cloud platform and application of watershed water environment and aquatic ecology intelligent management [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2021, 52(2): 142-149.
- [14] 王永桂,夏晶晶,张万顺,等.基于大数据的水环境风险业务化评估与预警研究[J].中国环境管理,2017,9(2):43-50.
Wang Y G, Xia J J, Zhang W S, et al. Research of water environment risk assessment and early warning based on big data [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2017, 9(2): 43-50.
- [15] 赵苗苗,赵师成,张丽云,等.大数据在生态环境领域的应用进展与展望[J].应用生态学报,2017,28(5):1727-1734.
Zhao M M, Zhao S C, Zhang L Y, et al. Applications of eco-environmental big data: Progress and prospect [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1727-1734.
- [16] 程春明,李蔚,宋旭.生态环境大数据建设的思考[J].中国环境管理,2015,7(6):9-13.
Cheng C M, Li W, Song X. Thinking on the big data construction for ecological environment [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2015, 7(6): 9-13.
- [17] 蒋洪强,卢亚灵,周思,等.生态环境大数据研究与应用进展[J].中国环境管理,2019,11(6):11-15.
Jiang H Q, Lu Y L, Zhou S, et al. Progress in research and application of ecological environment big data [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(6): 11-15.
- [18] 刘丽香,张丽云,赵芬,等.生态环境大数据面临的机遇与挑战[J].生态学报,2017,37(14):4896-4904.
Liu L X, Zhang L Y, Zhao F, et al. The opportunities and challenges presented by ecological environment big data [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(14): 4896-4904.
- [19] 李晓光.生态环境大数据研究与应用进展[J].环境与发展,2020,32(4):193-194.
Li X G. Research and application progress of ecological environment big data [J]. Environment and Development, 2020, 32(4): 193-194.