

吴锋,余瑞,张倩,殷亚秋,黄麟.国家公园监管系统框架设计与建设展望.国家公园,2023,1(3): - .
Wu F, Yu R, Zhang Q, Ying Y Q, Huang L. Design framework and construction prospect of national park supervision system. National Park, 2023, 1(3): - .

国家公园监管系统框架设计与建设展望

吴 锋¹, 余 瑞^{2,*}, 张 倩³, 殷亚秋^{1,4,5,6,7}, 黄 麟¹

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 海南大学 生态与环境学院, 海口 570228

3 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193

4 自然资源部国土整治中心, 北京 100035

5 自然资源部土地科技创新中心, 北京 100035

6 自然资源部土地工程技术创新中心, 北京 100035

7 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035

摘要:利用智慧化监测手段对国家公园进行实时、长期监测,评估其生态系统健康状态,是实现气候变化与人类活动影响下国家公园可持续发展的重要支撑。同时,国家公园智慧化建设也是国家公园精细化和动态化监管的基础。系统总结了国内外国家公园管理体系建设的经验,结合我国国家公园的资源禀赋与基础设施现状,提出了国家公园智慧化建设框架、监测指标体系及监管体系构建方案。具体包括指标监测、状态评估和系统分析三个耦合模块,即建设“天空地一体化”监测网络体系,充分发挥地面生态、环境、气象等要素站点监测及无人机与卫星遥感监测能力,围绕生态系统原真性、完整性和多样性构建国家公园生态环境指标监测体系;依托生态环境监管大数据平台,运用云计算与物联网等信息化手段,强化国家公园监测数据分析和系统应用。系统集成应用以监测先行、实时感知、智能决策为导向;以服务国家公园监管业务创新、构建面向生态治理体系与治理能力现代化的生态智慧监管为宗旨,全面推动实现国家公园生态环境信息监测体系与管理业务支撑体系“大融合”。

关键词:监测网络;大数据技术;生态环境监管;国家公园

Design framework and construction prospect of national park supervision system

WU Feng¹, YU Rui^{2,*}, ZHANG Qian³, YING Yaqiu^{1,4,5,6,7}, HUANG Ling¹

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China

2 School of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou 570228, China

3 College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

4 Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

5 Land Science and Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

6 Technology Innovation Center for Land Engineering, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

7 Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China

Abstract: The use of intelligent monitoring methods for real-time and long-term monitoring of national parks, evaluating their ecosystem health status, is an important support for achieving sustainable development of national parks under the influence of climate change and human activities. At the same time, the intelligent construction of national parks is also the foundation for the refinement and dynamic supervision of national parks. This paper has systematically summarized the experience of national park management system construction at home and abroad, combined with the resource endowment

基金项目:国家自然科学基金项目(42261022)

收稿日期:2023-09-07; **采用日期:**2023-12-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yur@outlook.com

#本研究尚缺中国港澳台统计数据。

and infrastructure status of national parks in China, and proposed a framework for intelligent construction of national parks, a monitoring indicator system, and a regulatory system construction plan. Specifically, it includes three coupling modules: indicator monitoring, status evaluation, and system analysis, namely the construction of a "sky land integration" monitoring network system, fully leveraging the monitoring capabilities of ground ecological, environmental, meteorological and other elements stations, as well as Unmanned Aerial Vehicles and satellite remote sensing monitoring, to build a national park ecological environment indicator monitoring system around the authenticity, integrity, and diversity of the ecosystem; By relying on the big data platform for ecological environment supervision and utilizing information technology such as cloud computing and the Internet of Things, we will strengthen the analysis and system application of national park monitoring data. The system integration application is guided by monitoring first, real-time perception, and intelligent decision-making; With the aim of serving the innovation of national park supervision business and building an ecological smart supervision oriented towards the modernization of ecological governance system and governance capacity, we comprehensively promote the integration of national park ecological environment information monitoring system and management business support system.

Key Words: monitoring network; big data technology; ecological environment supervision; National Park

国家公园作为自然保护地体系的主体,其监管的关键环节是要提升监测能力与建立智慧化的评估监管系统,根据监测反馈信息不断提升管理效率,以适应生态系统的动态变化^[1]。世界上已有 200 多个国家设立了不同类型的国家公园^[2],国家公园的智慧化监测也已纳入众多国家公园建设规划,并在管理效果评估上发挥了关键作用^[3-4]。国家公园的保护与管理需要有长期、实时与动态的监测数据支撑,进而厘定生态系统短期、长期及动态变化的规律及驱动机制,科学评估国家公园管理监测体系效能^[5-6]。国家公园监测关键指标是指示生态系统或人类活动的时序变量,旨在监测生态系统动态变化并最终回答有关生态系统如何动态变化,人类活动是否造成了不可逆影响的基础性科学问题^[7]。自 2013 年提出建立国家公园体制以来,我国出台系列政策推进国家公园智慧化建设工作。

全球及国家级生态系统动态监测网络蓬勃发展。如全球环境监测系统、全球陆地观测系统、国际长期生态研究网络、美国国家生态观测站网络、澳大利亚陆地生态系统研究网络、中国生态系统研究网络日益壮大。此外,区域或流域尺度专题监测网络也在不断建设和发展。如德国陆地环境观测站网络^[8]、中国森林生物多样性网络^[9]、黑河流域联合遥感观测实验^[10]等(表 1)。同时,众多国家提出了生态系统长期监测计划,如欧洲山地国家公园及西班牙内华达山脉国家公园淡水监测计划、英国的“共同监测标准”^[11]、加拿大的“生态完整性监测计划”^[12-13]和美国的“生命体征监测计划”^[14]等。长期的生态系统监测计划和研究已被证实有利于加深对生物多样性和生态系统完整性的理解,并为制定生态保护行动提供有利依据^[15]。特别是,整体性监测原则逐渐受到重视。2021 年,我国《“十四五”生态环境监测规划》提出了以更全面、更系统的监测方式提高生态系统监测的整体性。国家公园的建设要以自然资源清查为基础,以生态系统监测为核心,形成以管理成效评估为补充的综合监测体系,并建立自上而下和自下而上相结合的整体性生态系统监管实施机制,倡导社区参与国家公园生态监测^[15]。

我国国家公园体制建设从管理体制、运行机制、生态保护、社区发展等方面进行了探索。先后印发了《建立国家公园体制总体方案》《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》;设立三江源等一批国家公园,保护面积 23 万平方公里,涵盖近 30% 的陆域国家重点保护野生动植物种类^[16]。智慧化建设是国家公园建设的重点任务之一,中央网络安全和信息化委员会印发的《“十四五”国家信息化规划》,将国家公园动态监测网络和监管体系建设纳入绿色智慧生态文明行动,明确提出到 2025 年国家公园数字化、网络化、智能化建设水平要大幅提升,有力支撑美丽中国建设。

表 1 生态系统长期动态监测网络

Table 1 Networks for monitoring long-term ecosystem dynamics

监测区域 Monitoring region	名称 Name	网址 Website
全球 Global	全球环境监测系统	http://gemstat.org/
全球 Global	全球陆地观测系统	http://www.fao.org/gtos/
全球 Global	国际长期生态研究网络	http://www.ilternet.edu/
美国 United States	美国国家生态观测站网络	http://www.nsf.gov/bio/neon/start.htm
澳大利亚 Australia	澳大利亚陆地生态系统研究网络	http://www.tern.org.au/
中国 China	中国生态系统研究网络	http://www.cern.ac.cn/Oindex/index.asp
德国 Germany	德国陆地环境观测站网络	https://www.tereno.net/joomla/
中国 China	中国森林生物多样性网络	http://www.cncdiversitas.cn/zyxm/cforbio/js/

国家公园建设中的指标监测、实施评估与科学决策需要考虑生态系统完整性、原真性和生物多样性。生态系统完整性评估框架主要包括生态过程、生物条件、水文地貌、自然干扰等,代表性方法有生物完整性指数评估体系(Index of Biotic Integrity, IBI)^[17]、三级法评估框架(Three Level Approach, TLA)^[18]和生态系统完整性评估框架(Ecosystem Integrity Assessment Framework, EIAF)^[19]。IBI 评估框架最早是以鱼类作为指示生物,主要用于水域生态系统健康评价^[20—21]。TLA 评估框架主要进行脆弱生态系统的识别、大尺度区域生态系统完整性评估与动态监测^[18,22—24]。EIAF 用于监测生态退化过程,同时在 TLA 评估框架的基础上增加了植物和土壤病原体等监测指标,能够更准确地评价未来生态系统的完整性^[24]。邓冉等^[25]基于 TLA 评估框架对青藏高原生态系统完整性进行了综合评估,为第三极国家公园群的规划布局和各国家公园建设优先序的确定提供了数据支撑。蒋亚芳等^[26]参照 EIAF 体系,制定了东北虎豹国家公园“天地空一体化监测系统”和生态系统完整性评价体系^[27]。余建平从景观尺度分析钱江源国家公园生态系统的完整性和原真性^[28]。通过建立国家公园综合管理信息化服务平台,完善国家公园立体化监测指标体系,形成及时、统一、规范、高效的国家公园完整性与原真性监管方案,建成“网格化+智慧化”的一体化监管新模式。

1 国家公园立体化监测与评估体系

国家公园立体化监测与评估体系为国家公园自然资源资产管理和生态环境保护提供信息支撑、监测预警和决策支持。2020 年,国家林草局发布了《国家公园监测规范》、《国家公园考核评价规范》等国家标准,整体上提升了我们对国家公园立体化监测与评估能力。以往国家公园的保护工作中多借助原自然保护地的常规监测或依托科研项目开展专题监测^[29],针对差异化的监测对象与内容,缺乏统一的监测指标体系、有效的数据管理、健全的实施机制^[30]。监测和评估方法存在评估体系单一性、监测手段局限性与指标的非典型性等问题^[31—32]。此外,监测数据的有效挖掘和利用也较欠缺,未能形成学者、政府、公众之间的有效交流^[33]。姚帅臣等利用面向管理目标构建神农架公园分区生态监测指标体系,探讨了基于管理分区构建国家公园生态监测指标体系的可行性^[34]。相关管理机构也尝试建立多个生态系统和生物多样性监测平台,如钱江源国家公园管理局对其区域内的生态系统和动植物群落进行大尺度、多组分、微观与宏观相结合的立体化综合监测,监测指标与体系的标准化建设取得一定成效^[35]。3S 技术的迅猛发展推动了国家公园的“天地空”立体化监测^[36]。国家公园立体化监测涵盖生态环境本底、气候变化、人类活动干扰与自然压力监测等诸多方面,新兴物联网、高精度定位以及 5G 通讯技术等现代科技手段的发展,提高了国家公园立体化监测指标数据获取的时效性、代表性及准确性。

生态“数字底座”建设是国家公园立体化监测与评估体系的核心基础。传统的国家公园“数字底座”建设薄弱,生态系统健康状态、生物多样性、自然环境本底、人类活动及管理机制等指标实时监测数据未受到足够关注^[37—39]。王玉图在生态系统立体化监测与评估体系构建中引入压力(Pressure)-状态(State)-响应

(Response)模型(PSR),建立了生态系统评价框架^[40]。王庆改等通过分布式储存实现了数据格式的统一与分析模型的结合^[41]。姚帅臣等通过建立植物群落、动物群落等分布和状况的国家公园生态监测数据库,揭示了国家公园内生态系统的动态变化^[33]。加快建设国家公园生态“数字底座”,需要完善地质与土壤、林地利用监测管理等国家公园生态管理数据库,构建面向全过程管理目标的国家公园生态监测指标与方法,了解不同管理机制对国家公园生态系统状态的影响^[42]。设立国家公园公共服务数据库,了解人类活动对生态系统指标的相互影响,有助于评估生态旅游与生态系统原真性、完整性和代表性的边界关系^[43]。推动国家公园自然资源动态监测评估数字孪生可视化平台建设,为自然应力和人类干扰监测提供变化因子信息,有助于阐明国家公园的社会和生态成分之间的互馈机制^[29]。

国家公园立体化监测的历史及动态变化数据,可为国家公园建设成效评估与科学管理提供支撑。水、土、气、生监测是诊断潜在的水土流失、面源污染、地质灾害等生态环境问题,制定防治措施的重要依据^[44—46]。高江波等通过构建基于生态系统结构、功能、生境的脆弱性评价指标体系,评估了青藏高原自然生态系统的脆弱性^[47]。刘儒渊等利用植群覆盖度减少率、植相变异度及植株高度降低率等三项合成的植群冲击指数,分析了国家公园内行人步道旁植被冲击因素^[48]。吴挺勋等在海南热带雨林国家公园中利用缓冲区分析法揭示了不同类型道路对生态系统完整性和景观格局的影响,丰富了立体化监测的指标,同时为公园内步道管理策略提供参考^[49]。随着高清摄像机的发展,准确普查公园内中大型兽类的行迹成为可能。申小莉等在钱江源国家公园内建设红外相机监测平台,完成了公园内中大型兽类同域食肉动物种间关系、动物生境利用本底调查^[50]。王天明以东北虎豹国家公园为例,利用红外相机平台开展了野生动物多样性本底调查、虎豹种群分布、数量与扩散限制监测,为国家公园生物多样性监测、评估和管理提供了数据支撑^[51]。

现代信息技术支撑的国家公园监管平台是一个监测、评估与管理集成综合信息平台。国家公园监测体系需涵盖自然环境、生物多样性、人类活动等多主题,动态评估生态系统变化状态,厘清国家公园建设成效,调控公园管理措施。国家公园实施监管平台是一个以管促建,实现人与自然和谐的抓手。其应涵盖自然资源管理、生物多样性、景观与自然文化遗产、生态资源利用、生态环境、生态旅游、科普宣教、综合服务管理、生态灾害预警等多场景监测,形成一个全过程多功能的智慧化监测平台。开展不同时期的国家公园管理数据库对比分析、系统模拟与预测,实现国家公园建设成效的动态监测和智能化评估(图1)。

2 国家公园智慧化建设关键支撑技术

数字技术是国家公园实现精细监测、精准决策和精益管理的核心。随着监测能力提高,生态系统调查监测数据的获取途径多样性、数据时效性和成本经济性等均得到了大幅改善。精细化监测数据主要通过样地调查、植物分类编码、高分辨率遥感观测、无人雷达探测等测绘技术与基于位置定位多传感器物联网的“人机物”监测技术。精准决策主要依赖于实时动态的精细化监测数据,在大数据与云计算平台支撑的生态模型、灾害预报、人类活动预警等模型支撑下开展国家公园建设规划和保护决策。精益管理以提升国家公园生态系统服务功能为目标,在精准决策的路径支撑下,调控国家公园人类活动、设施状态,实现国家公园的高质量发展。近年,在公园智慧化能力建设过程中,国内学者不仅吸取国外国家公园建设经验,而且不断吸收汲取在香格里拉普达措、海南热带雨林、武夷山等国家公园建设的技术^[38,52—55]。此外,为推进国家公园智慧化管理,国家林草局研发建设了国家公园感知系统,由自然资源资产管理、天空地一体化监测、物种保护研究中心、森林防火、矛盾调处、社区管理、重点工程项目、宣传教育等功能组成,对接国家公园监测体系,汇集海量监测数据。目前,很多先进技术、设备和经验成果已经在国家公园智慧化建设中广泛应用(表2)^[38,52—55]。

国家公园建设中亟待融合北斗卫星、高分遥感、无人机、物联网等前端感知探测设备,构建国家公园独特的监测体系,实现对国家公园“天上看、空中探、地上查、网上管”。有效解决传统公园监管力度不足,提升国家公园的实时感知、动态模拟、智能决策,为国家公园的保护、利用与监管提供数字化服务,将国家公园空间模型划分为地形地貌层、土壤层、水体层、森林植被层等多层级,立体化展示国家公园“水土气生人”多要素,为

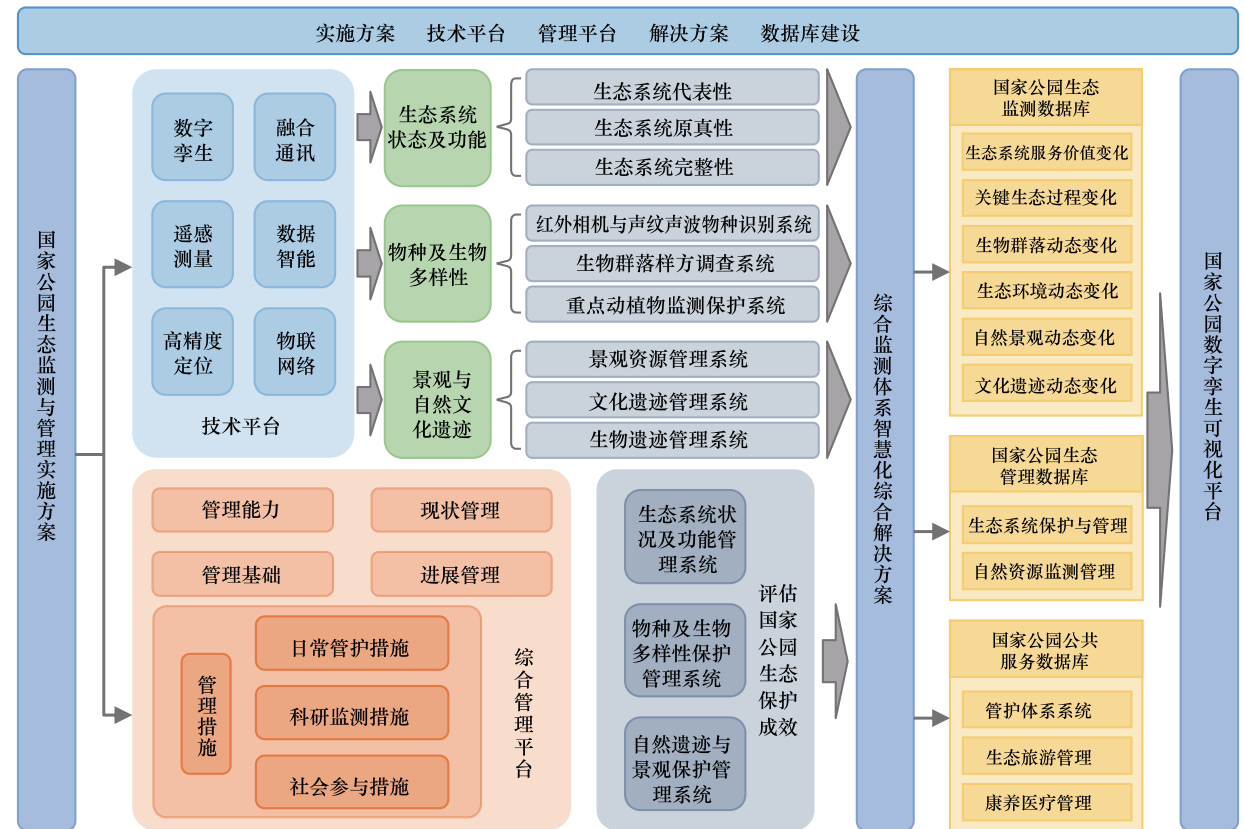


图1 国家公园实施监测网络平台框架

Fig.1 Framework of the National Parks Implementation Monitoring Network Platform

表2 国家公园智慧化建设的关键支撑技术

公园名称 Park name	关键技术 key technology	技术成效 Technical effectiveness	参考文献 Reference
海南热带雨林国家公园 Hainan Tropical Rainforest national park	基于卷积神经网络的声纹识别的方法	利用鸣叫声对雄性海南长臂猿个体进行识别,为海南长臂猿种群智能感知和监测及海南热带雨林国家公园智慧保护地建设提供支撑	冯慧敏 ^[52]
大熊猫国家公园 giant panda national park	IoT+GIS 的动态监测	实现三维场景下对国家公园的人类活动、森林资源、野生动植物资源进行全过程、全方位、一体化实时动态监管	曾岁康 ^[53]
武夷山国家公园 Wuyi mountain national park	智慧管理平台、文物数字化展示平台和巡护管理平台	初步完成武夷山国家公园基础数据库建设,为后续打造武夷山国家公园智慧公园体系奠定基础	耿国彪 ^[54]
东北虎豹国家公园 Northeast Tiger & Leopard national park	700M 网络传输、人工智能、大数据	基本实现了监测数据实时传输、自动识别野生动物等功能,为旗舰物种和栖息地保护人为活动监管、预警防范人虎冲突等提供了数据支撑	耿国彪 ^[54]
三江源国家公园 Three-River Source national park	卫星遥导遥技术	打造覆盖三江源国家公园全域的卫星遥导遥一体化地基信息服务体系,实现对园区生态环境状况、自然资源等全要素监测	宋忠航 ^[55]
普达措国家公园体制试点 Pudacuo (Phu Dacuo) National Park System Pilot Program Pilot National Park System	分类编码技术	实现对植物资源的筛选、分类、整理及编码,建立了植物资源信息管理系统	吴爱华 ^[38]

优化公园规划布局、实现全域精准管理提供参考。建设国家公园立体化监测与智能评估体系需多角度、全方位获取土地、森林、湿地、水等资源要素信息,嵌入高精度遥感动态感知模型;同时,建立以感知技术和网络通

信息技术为主要手段,实现人、机、物的泛在互联,提供信息感知、信息传输、信息处理等集成服务的物联网基础设施,实现国家公园的全数字化管理支撑。未来依托北斗高精度定位系统、物联网、数字孪生、数据智能等信息化技术,构建大数据智慧管理平台,促进信息化与国家公园的全面融合,为国家公园设立、规划、监测、预警和考核评价等全过程管理提供智能决策技术(图2)。决策服务于国家公园的生态系统格局、状态和功能评估,森林火灾、地质灾害与洪涝灾害的预警,科普与智能公共服务。

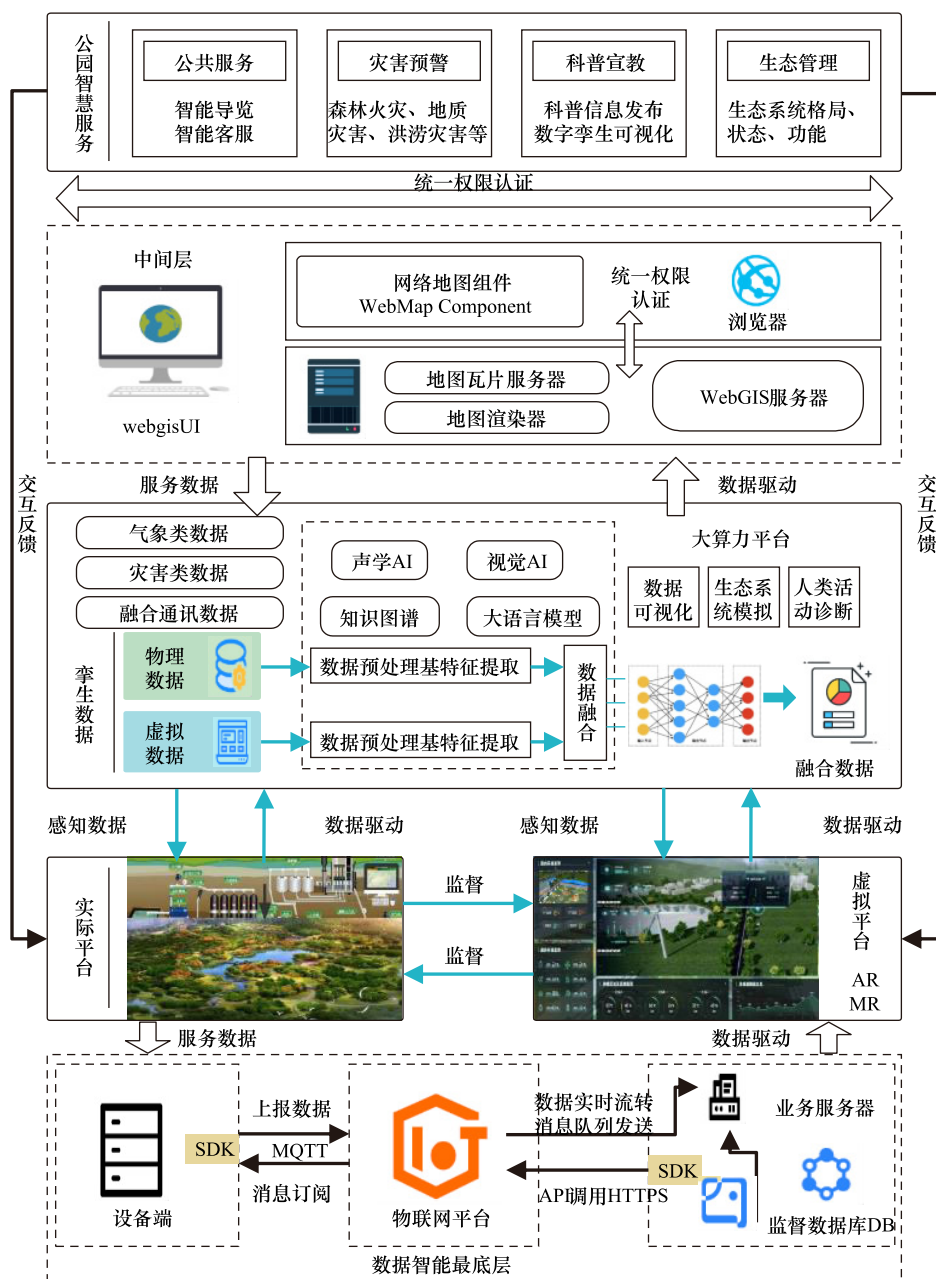


图2 国家公园智慧化监测网络系统建设关键支撑技术

Fig.2 Key Supporting Technologies for the Construction of Intelligent Monitoring Network System in National Parks

webgisUI:网络地图系统图形界面 web geographic information system user interface; WebGIS:网络地理信息系统 web geographic information system; AI:人工智能 artificial intelligence; AR:增强现实技术 augmented reality; MR:混合显示技术 mixed reality; SDK:软件开发工具包 software development kit; MQTT:消息队列遥测传输 message queuing telemetry transport; API:应用程序编程接口 application programming interface; HTTPS:超文本传输安全协议 hypertext transfer protocol over secure socket layer; DB:数据库 database

3 智慧化国家公园的自然资源资产与公众服务的优化管理

3.1 资源调查监测确定国家公园保护与管理基线

自然资源资产化管理是化解保护与开发矛盾的路径。自然资源资产是加强生态保护、促进生态文明建设的重要基础性资源^[56],也是自然生态系统最重要的组成部分、最独特的自然景观、最好的自然遗产和最丰富的生物多样性^[57]。国家公园自然资源资产管理是指“对国家公园范围内的自然资源进行资产管理,履行自然资源资产保值增值职责,建立健全有偿使用和确权登记制度,制定相关标准,监督本区域自然资源资产保值增值”^[56]。国家公园所包含的自然资源资产不仅是社会经济发展的重要物质基础,也是人类生存环境的基本组成部分^[58]。自然资源是国家公园管理的核心,以最严格的生态环境保护标准实现自然资源资产化管理,实现自然资源资产的生态价值、经济价值和社会价值最大化。

智慧化国家公园建设助力健全国家公园管理法律法规体系。美国国家公园管理起步较早,最突出的特点是国家公园法律法规体系比较健全,先后颁布了专门法规、综合性资源环境法规和其他适用法规^[59-61]。除法律法规外,美国还制定了标准、基准、操作程序、指南和其他类型的标准化文件,从不同层面,对国家公园活动所应达到的基本要求和条件、操作步骤等进行统一规定^[62]。美国国家公园管理局依据《联邦土地征收统一评估标准》对公园界内存在的非联邦土地进行征收评估^[63]。加拿大和新西兰为代表的国家也制定了国家公园法,为国家公园管理提供法律依据^[60]。目前,我国国家公园法律法规体系尚待完善,已有的土地管理法等基于分散立法方式,重点对某一类自然资源管理作出规范,对于一些共性、基础性问题缺乏统一性、协调性的规定。在国家公园管理方面,林草系统正在积极推进国家公园法等相关法律法规建设。通过自然资源调查可以获得资源清册,即静态“库存”,进一步建立监测系统可探究动态变化以定期更新资源清册^[29]。国家公园管理法律法规体系对促进规范、统一管理具有引领作用。

3.2 综合生态监测体系支撑国家公园全生命周期管理

国家公园全生命周期管理需要体现国家公园的复杂性特征,即兼顾生态保护、资源利用与区域社区发展等多种功能,其监测体系也需要系统化。国家公园建设管理思潮林立,但这些思想和理论却无法解决现阶段生存、竞争与生态发展的问题^[63-64]。专家学者们试图用生态学思维指导管理理念的变革,旨在平衡“人-社会-环境”三者关系,通过生态管理的方式解决自然资源、环境、社会、经济的协同发展问题。同时,结合以往经验,对国家公园建设过程中存在的不确定性因素及时调整管理措施,实现既定目标^[65-66]。目前,关于国家公园的研究主要集中在管理体制^[67-69],而对国家公园生态管理的研究较少,从生态学的角度,将国家公园的自然资源作为生态管理的主体,从行政、法律、经济、社会和科学技术等多维度对国家公园的管理措施进行综合评估显得尤为重要^[70]。国家公园是复杂的生态系统,其管理涉及自然生态、社会经济与历史文化等诸多因素,具有明显的多变性与不确定性,因此,需要运用生态系统思想理念进行管理,即在科学理解生态系统结构、过程与功能的基础上,制定维持生态系统可持续性的政策和措施策略^[71]。国家公园保持生态系统的真实性和完整性并保护生物多样性,受到了相当大的关注^[72]。国家公园是保护区中的重点区域,在维护生物多样性、自然景观和生态系统服务方面发挥着重要作用^[73-74]。Wang 等^[75]与何思源等^[76]提出了与自然资源相关的自然胁迫和人类干扰方面的监测,同时对生物多样性和生态系统的状况及其压力的监测也逐渐成熟,如 Jiao 等^[15]提出了建立中国国家公园的生态监测体系的思路,有效丰富了我国生态监测的理论基础。然而,现有国家公园涵盖不同类型的保护区,其监测对象和指标之间也具有较大差异,因此,建立中国国家公园综合生态监测体系的理论框架,同时构建关键生态系统服务与多重管理目标的权衡分析方法尤为重要。

3.3 动态全域监管促进国家公园协调发展

国家公园丰富的自然和文化资源可为公众提供丰富的科研、教育及游憩的机会,有助于提升国家公园的人文价值和经济价值,促进多元协调发展^[77]。通过完善生态保护补偿制度,引导当地社区可持续利用资源,有效激发社会参与的积极性^[78],促进地方经济社会转型和绿色发展^[58]。开展普惠性、公益性的国家公园科

普活动,采取不收门票或收取最低成本的方式,开展自然教育活动的主题展览、自然课堂、野外观察、科普小径等,自然游憩活动的巡护体验、自然观光、徒步体验等^[79-80],提高公众的幸福感和认同感。挖掘生态保护的潜在经济价值,正确把握生态保护与经济发展的关系,支撑国家公园的管理规划决策^[81]。国家公园全域动态监测解决生态旅游、科普宣传等公众服务给生态环境保护和管理带来的难题和风险,便利地为公众提供优质的生态产品和服务(图3)。国家公园在实践中参考标准中的监测评价指标体系,依据自身情况和特点选择符合实地情况的个性监测评价指标。建立可靠、高效、开放的监测体系,进行采集、传输、存储、分析并向国家公园体系内外提供数据共享交换和发布服务,挖掘国家公园监测体系建设的多重价值。

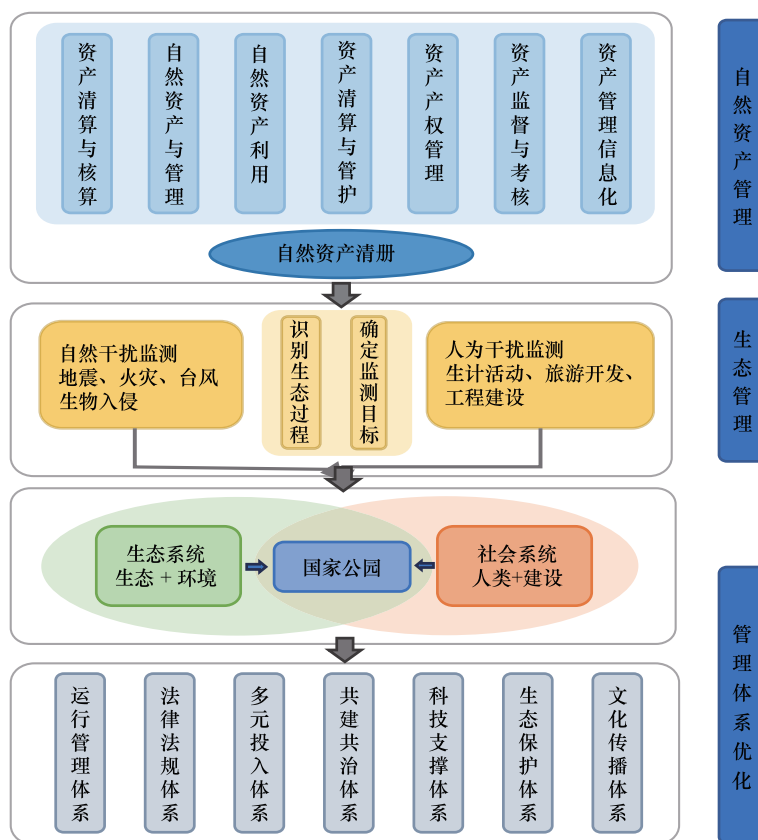


图3 国家公园监测管理体系优化布局

Fig.3 Optimized layout of the monitoring and management system of national parks

4 结论与讨论

国家公园的智慧化监管体系是保护其生态系统完整性和原真性的有效途径,同时也是保护我国珍稀濒危野生动植物资源的重要手段。全球国家公园建设工作成效显著,但在全要素自然资源资产监测与生态管理的自动化、立体化与智慧化方面正逐渐探索。本文系统总结了国内外已有国家公园监测与管理评估框架,结合国家公园的在评价指标体系与评估机制的不足,从人与自然和谐的视角出发,遴选“生态-经济-社会”多维的国家公园监测与评估指标,构建一个集生态监测与实施评估全过程的国家公园建设监管网络平台框架,为提升国家公园保护管理水平提供科学参考。

完善国家公园监测指标体系,制定相关技术标准,优化生态监测网络台站布局,集成全要素数据,强化国家公园范围内人类活动感知,自然灾害风险预报预警,数据智能化分析模型,构建国家公园建设监管网络平台,为国家公园管理决策、成效评估提供依据。针对野外保护,站点巡护,路网监护,灾害救护,草原森林防护,有害生物防治等巡护和监测的需要,亟需建立智能化的国家公园建设发展监测机制。监测网络信息平台融入

自然资本评估与考核制度, 准确掌握自然资源状况, 建立评估和考核的综合监测指标体系, 为国家公园自然资源资产管理提供基础支撑。

建构智慧国家公园建设需要整合生态演变机理、保护修复技术、系统监测评估、智慧运行管理、资源科学利用、人类影响评价、可持续发展等技术体系。创新利用自然资源资产, 按照标准化的科学评估方式完善自然资源的资产状态。构建包含用户层、应用层、平台层、基础设施层、传输层、感知层于一体的智慧化平台, 科学制定自然资源保护与生态修复政策, 探索合理且适宜的国家公园收益分配机制, 实现自然资源的全民共享, 促进调动资源社会性融入国家公园生态保护工作。科学把握生态系统内在规律, 坚持山水林田湖草沙冰一体化保护和系统治理, 促进生态系统正向演替, 不断丰富生物多样性, 提高生态产品供给能力是国家公园建设成效评估的核心。

国家公园是生态文明建设的制度创新, 是习近平生态文明思想的重大实践成果, 是构建人与自然和谐发展新格局、推进美丽中国建设的抓手。国家公园监测与实施评估智慧化建设, 是破解保护与发展矛盾、强弱项补短板的重要手段, 是对国家公园顶层设计的具体落实。在国家公园综合监测体系中, 水土气生自然要素状态是基础, 人类活动是动态监管的主体, 以确定保护与发展基线。生态系统健康与可持续是管理的核心, 以健全和完善生态系统状态监测技术, 自然与人为干扰活动感知为辅助, 支撑国家公园监管的科学决策。在国家公园多层级实施评估机制中, 一方面建立统一的动态监测数据库与智慧化分析平台, 实现对监测数据智能分析; 另一方面建立管理有效性评价制度, 促进监测数据服务于国家公园的保护、规划和动态全过程管理。建设具有中国特色的国家公园是一项长期、艰巨且复杂的系统工程, 本文为国家公园智慧化建设的监测指标体系框架及监管体系优化方案提供了科学参考。

参考文献 (References):

- [1] 唐小平. 高质量建设国家公园的实现路径. 林业资源管理, 2022(3): 1-11.
- [2] 韩爱惠. 国家公园自然资源资产管理探讨. 林业资源管理, 2019(1): 1-5, 37.
- [3] Hockings M. Systems for assessing the effectiveness of management in protected areas. *BioScience*, 2003, 53(9): 823-832.
- [4] Fancy S G, Gross J E, Carter S L. Monitoring the condition of natural resources in US National Parks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 151(1): 161-174.
- [5] Anderson N E, Bessell P R, Mubanga J, Thomas R, Eisler M C, Fèvre E M, Welburn S C. Ecological monitoring and health research in luambe National Park, Zambia: generation of baseline data layers. *EcoHealth*, 2016, 13(3): 511-524.
- [6] Théau J, Trottier S, Graillon P. Optimization of an ecological integrity monitoring program for protected areas: case study for a network of National Parks. *PLoS One*, 2018, 13(9): e0202902.
- [7] Li X, Zhao N, Jin R, Liu S M, Sun X M, Wen X F, Wu D X, Zhou Y, Guo J W, Chen S P, Xu Z W, Ma M G, Wang T M, Qu Y H, Wang X W, Wu F M, Zhou Y K. Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring. *Science Bulletin*, 2019, 64(17): 1234-1245.
- [8] Bogen H R. TERENO: German network of terrestrial environmental observatories. *Journal of Large-Scale Research Facilities JLSRF*, 2016, 2: A52.
- [9] Feng G, Mi X C, Yan H, Li F Y, Svenning J C, Ma K P. CForBio: a network monitoring Chinese forest biodiversity. *Science Bulletin*, 2016, 61(15): 1163-1170.
- [10] Li X, Cheng G D, Liu S M, Xiao Q, Ma M G, Jin R, Che T, Liu Q H, Wang W Z, Qi Y A, Wen J G, Li H Y, Zhu G F, Guo J W, Ran Y H, Wang S G, Zhu Z L, Zhou J A, Hu X L, Xu Z W. Heihe watershed allied telemetry experimental research (HiWATER): scientific objectives and experimental design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2013, 94(8): 1145-1160.
- [11] Gaston K J, Charman K, Jackson S F, Armsworth P R, Bonn A, Briers R A, Callaghan C S Q, Catchpole R, Hopkins J, Kunin W E, Latham J, Opdam P, Stoneman R, Stroud D A, Tratt R. The ecological effectiveness of protected areas: the United Kingdom. *Biological Conservation*, 2006, 132(1): 76-87.
- [12] Tan X, Ma P M, Bunn S E, Zhang Q F. Development of a benthic diatom index of biotic integrity (BD-IBI) for ecosystem health assessment of human dominant subtropical rivers, China. *Journal of Environmental Management*, 2015, 151: 286-294.
- [13] Jacks F, Milošević D, Watson V, Beazley K F, Medeiros A S. Bioassessment of the ecological integrity of freshwater ecosystems using aquatic macroinvertebrates: the case of Sable Island National Park Reserve, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, 193(5): 1-16.
- [14] Fancy S G, Bennetts R E. Institutionalizing an effective long-term monitoring program in the US National Park Service. *Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 481-497.
- [15] Jiao W J, Liu X Y, He S Y. Establishing an ecological monitoring system for National Parks in China: a theoretical framework. *Ecological*

- Indicators, 2022, 143: 109414.
- [16] Zang Z H, Guo Z Q, Fan X Y, Han M, Du A, Xu W H, Ouyang Z Y. Assessing the performance of the pilot National Parks in China. *Ecological Indicators*, 2022, 145: 109699.
- [17] Kerans B L, Karr J R. A benthic index of biotic integrity (B-IBI) for rivers of the Tennessee valley. *Ecological Applications*, 1994, 4(4): 768-785.
- [18] Tiner R W. Remotely-sensed indicators for monitoring the general condition of "natural habitat" in watersheds: an application for Delaware's Nanticoke River watershed. *Ecological Indicators*, 2004, 4(4): 227-243.
- [19] Schroeder M A, Crawford R C, Rocchio F J, John D. Ecological integrity assessments: monitoring and evaluation of wildlife areas in Washington. Olympia: Washington Department of Fish and Wildlife, 2011: 236.
- [20] 牛明香, 王俊, 左涛, 李永涛, 程兆龙. 基于鱼类生物完整性指数的黄河口近岸渔业水域健康评价. *水生态学杂志*, 2023, 44(6): 45-52.
- [21] 潘丽波, 黄雪妍, 刘晶晶, 谢园园, 张坤, 刘博, 赵清英, 关潇, 傅博. 基于鱼类生物完整性的赤水河健康评估研究. *环境科学研究*, 2023, 36(8): 1532-1542.
- [22] Mack J J. Landscape as a predictor of wetland condition: an evaluation of the Landscape Development Index (LDI) with a large reference wetland dataset from Ohio. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 120(1): 221-241.
- [23] 刘晓娜, 刘春兰, 张丛林, 魏钰, 黄宝荣. 青藏高原国家公园群生态系统完整性与原真性评估框架. *生态学报*, 2021, 41(3): 833-846.
- [24] 代云川, 薛亚东, 张云毅, 李迪强. 国家公园生态系统完整性评价研究进展. *生物多样性*, 2019, 27(1): 104-113.
- [25] 邓冉, 邵怀勇, 黄宝荣, 张丛林, 周中仁, 樊杰. 青藏高原生态系统完整性远程评价与国家公园群建设时序研究. *生态学报*, 2021, 41(03): 847-860.
- [26] 蒋亚芳, 田静, 赵晶博, 唐小平. 国家公园生态系统完整性的内涵及评价框架: 以东北虎豹国家公园为例. *生物多样性*, 2021, 29(10): 1279-1287.
- [27] 虎三. 天地空一体化监测东北虎豹. *绿色中国*, 2020(2): 64-65.
- [28] 余建平, 伊晓霞, 余顺海, 徐谊明, 米湘成, 任海保. 基于景观格局指数的钱江源国家公园生态系统完整性评价分析. *浙江林业科技*, 2020, 40(04): 30-36.
- [29] 焦雯珺, 刘显洋, 何思源, 闵庆文. 基于多类型自然保护区整合优化的国家公园综合监测体系构建. *生态学报*, 2022, 42(14): 5825-5837.
- [30] 叶菁, 宋天宇, 陈君帆. 大熊猫国家公园监测指标体系构建研究. *林业资源管理*, 2020(2): 53-60, 66.
- [31] 李伟, 何淑婧, 张明强. 国家公园自然监测体系构建和生态体系完整性评价. *世界林业研究*, 2022, 35(1): 44-49.
- [32] 刘伟玮, 付梦娣, 任月恒, 李博炎, 朱彦鹏, 李俊生, 闵庆文, 彭涛, 宋小友. 国家公园管理评估体系构建与应用. *生态学报*, 2019, 39(22): 8201-8210.
- [33] 姚帅臣, 闵庆文, 焦雯珺, 何思源, 刘某承, 刘显洋, 张碧天, 李文华. 面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建与应用. *生态学报*, 2018, 39(22): 8221-8231.
- [34] 姚帅臣, 闵庆文, 焦雯珺, 何思源, 刘某承, 张碧天, 刘显洋, 杨潇, 李文华. 基于管理分区的神农架国家公园生态监测指标体系构建. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(6): 1511-1520.
- [35] 余建平, 陈小南, 陈声文. 钱江源国家公园生物多样性监测体系研究. *自然保护地*, 2021, 1(2): 58-67.
- [36] 朱育旗, 曹浒, 李绪佳. 3S 技术在国家公园勘界立标中的应用——以大熊猫国家公园四川片区为例. *科学与信息化*, 2022(22): 64-66.
- [37] 宋忠航, 王剑, 马红波, 董佰山, 李媛. 基于高分遥感卫星的三江源国家公园空间基准建设及生态环保应用. *卫星应用*, 2021(3): 29-32.
- [38] 吴爱华. 香格里拉普达措国家公园植物资源信息管理系统的设计与实现. *广东蚕业*, 2020, 54(5): 22-24.
- [39] 郑元, 王敏, 王连勇, 陈安泽. 国家地质公园管理信息库的架构设计及其意义//中国地质学会旅游地质与地质公园研究分会, 福建省国土资源厅, 福建省旅游局, 福建省宁德市人民政府. *旅游地质与地质公园建设—旅游地质论文集第十六集*. 中国林业出版社, 2009: 4.
- [40] 王玉图, 王友绍, 李楠, 林立, 宋晖, 孙翠慈, 吴梅林, 崔海平. 基于 PSR 模型的红树林生态系统健康评价体系——以广东省为例. *生态科学*, 2010, 29(3): 234-241.
- [41] 王庆改, 赵晓宏, 赵越, 丁峰, 邢可佳, 李时蓓. 四川省生物多样性基础数据库信息系统. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1875-1880.
- [42] 陈东军, 钟林生, 肖练练. 国家公园研学旅行适宜性评价指标体系构建与实证研究. *生态学报*, 2020, 40(20): 7222-7230.
- [43] 李博炎, 李爽, 朱彦鹏. 生态旅游在我国国家公园中的定位及效益研究. *生态经济*, 2021, 37(1): 111-115.
- [44] 万利, 高昂, 程越, 王双, 李柏晨. 国家公园自然资源资产管理标准体系框架建设初探. *标准科学*, 2023(1): 42-49.
- [45] 马炜, 唐小平, 蒋亚芳, 刘增力, 蔺琛, 王志臣. 国家公园科研监测构成、特点及管理. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2019, 18(2): 25-31.
- [46] 刘晓娜, 刘春兰, 张丛林, 陈龙, 黄宝荣. 色林错-普若岗日国家公园潜在建设区生态环境脆弱性格局评估. *生态学杂志*, 2020, 39(3): 944-955.
- [47] 高江波, 侯文娟, 赵东升, 吴绍洪. 基于遥感数据的青藏高原自然生态系统脆弱性评估. *地理科学*, 2016, 36(4): 580-587.
- [48] 刘儒渊, 曾家琳. 登山步道游憩冲击之长期监测——以玉山公园塔塔加步道为例. *资源科学*, 2006, 28(3): 120-127.
- [49] 吴挺勋, 姚小兰, 任明迅. 海南热带雨林国家公园道路分布及其对景观完整性的影响. *热带生物学报*, 2022, 13(2): 101-111.
- [50] 申小莉, 余建平, 李晟, 肖慧芸, 陈小南, 陈声文, 刘鸣章, 马克平. 钱江源国家公园红外相机监测平台进展概述. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1110-1114.

- [51] 王天明. 东北虎豹国家公园监测、评估和管理. 林业建设, 2018(5): 151-166. [57] 冯慧敏, 金崑. 基于卷积神经网络的雄性海南长臂猿声纹识别. 林业科学, 2023, 59(1): 119-127.
- [52] 冯慧敏, 金崑. 基于卷积神经网络的雄性海南长臂猿声纹识别. 林业科学, 2023, 59(1): 119-127.
- [53] 曾岁康, 林志鹏, 王琦, 都鑫. 物联网与三维 GIS 在大熊猫智慧国家公园建设中的应用. 电力勘测设计, 2023(S1): 97-104.
- [54] 耿国彪, 符超. 国家公园需要天空地监测与新技术应用. 绿色中国, 2023(16): 38-43.
- [55] 宋忠航, 牛泽鹏, 马红波, 陈璐, 王剑, 张拯宁, 曹小敏, 李媛, 侯利波, 李洪福, 靳代樱, 董遼才, 秦阳. 卫星遥感技术在三江源国家公园生态环境监测与保护中的探索与实践. 卫星应用, 2022(6): 8-13.
- [56] 万利, 高昂, 程越, 王双, 李柏晨. 国家公园自然资源资产管理标准体系框架建设初探. 标准科学, 2023(1): 42-49.
- [57] 孙鸿雁, 余莉, 蔡芳, 罗伟雄, 唐芳林. 论国家公园的“管控—功能”二级分区. 林业建设, 2019(3): 1-6.
- [58] 刘宁. 国家公园自然资源资产化管理反思. 南京工业大学学报: 社会科学版, 2022, 21(2): 47-54, 111.
- [59] 周戡, 王丽, 李想, 张多, 刘天科, 林进, 刘鹏. 美国国家公园自然资源管理: 原则、问题及启示. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2020, 19(4): 46-54.
- [60] 陈君帆, 倪建伟, 唐小平, 梁兵宽, 王澍. 中国国家公园标准体系构建研究. 林业资源管理, 2019(6): 1-6.
- [61] 郭萍, 李大伟. 美国国家公园土地政策及其对中国不可移动文物土地问题的启示. 沈阳工业大学学报: 社会科学版, 2015, 8(3): 211-216.
- [62] 孙鸿雁, 唐芳林, 赵文飞, 王梦君. 构建国家公园技术标准体系初探. 林业建设, 2017(5): 7-10.
- [63] Wu R D, Hua C L, Yu G Z, Ma J Z, Yang F L, Wang J J, Jin T, Long Y C, Guo Y, Zhao H W. Assessing protected area overlaps and performance to attain China's new National Park system. *Biological Conservation*, 2020, 241: 108382.
- [64] Wu R D, Possingham H P, Yu G Z, Jin T, Wang J J, Yang F L, Liu S L, Ma J Z, Liu X, Zhao H W. Strengthening China's national biodiversity strategy to attain an ecological civilization. *Conservation Letters*, 2019, 12(5): e12660.
- [65] 罗金华. 中国国家公园设置及其标准研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2013.
- [66] 陈天傲, 李想. 我国国家公园管理体系优化路径: 以中央层面为例. 生物多样性, 2023, 31(3): 233-240.
- [67] 黄宝荣, 王毅, 苏利阳, 张丛林, 程多威, 孙晶, 何思源. 我国国家公园体制试点的进展、问题与对策建议. 中国科学院院刊, 2018, 33(1): 76-85.
- [68] 刘伟玮, 付梦娣, 任月恒, 李博炎, 朱彦鹏, 李俊生, 闵庆文, 彭涛, 宋小友. 国家公园管理评估体系构建与应用. 生态学报, 2019, 39(22): 8201-8210.
- [69] 臧振华, 张多, 王楠, 杜傲, 孔令桥, 徐卫华, 欧阳志云. 中国首批国家公园体制试点的经验与成效、问题与建议. 生态学报, 2020, 40(24): 8839-8850.
- [70] 窦苗, 陶玉柱, 谭琳, 白浩楠. 国家公园生态管理研究. 自然保护地, 2023, 3(1): 102-110.
- [71] 王鹏, 马婷, 李楠. 我国国家公园生态系统管理的社区参与研究. 世界林业研究, 2023, 36(3): 69-74.
- [72] Zong L P. The path to effective National Park conservation and management: Hainan Tropical Rainforest National Park System Pilot Area. *International Journal of Geoh Heritage and Parks*, 2020, 8(4): 225-229.
- [73] Juffe-Bignoli D, Burgess N D, Bingham H, Belle E M S, De Lima M G, Deguignet M, Bertzy B, Milam A N, Martinez-Lopez J, Lewis E, Eassom A. Protected Planet Report 2018. International Union for the Conservation of Nature (IUCN), 2018.
- [74] Zhang L B, Luo Z H, Mallon D, Li C W, Jiang Z G. Biodiversity conservation status in China's growing protected areas. *Biological Conservation*, 2017, 210: 89-100.
- [75] Wang J H Z. National Parks in China: parks for people or for the nation? *Land Use Policy*, 2019, 81: 825-833.
- [76] 何思源, 王国萍, 焦雯珺, 丁陆彬, 刘某承, 李禾尧, 闵庆文. 面向国家公园管理目标的综合灾害风险管理: 一个概念模型. 生态学报, 2020, 40(20): 7238-7247.
- [77] 张业臣, 张宏梅, 虞虎. 基于游客感知的生态系统服务社会价值评估——以钱江源国家公园为例. 旅游科学, 2020, 34(6): 66-85.
- [78] 丘水林, 黄茂兴. 系统观视域下国家公园生态补偿机制构建. 中国国土资源经济: 1-12 [2023-06-30]. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.000907>.
- [79] 胡芳. 现代化新青海建设视域下国家公园高质量发展研究. 青海社会科学, 2022(3): 58-65.
- [80] 朱俊丞. 海南热带雨林国家公园科教游憩区分区规划[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- [81] 陈东军, 虞虎, 钟林生, 刘德军. 国家公园建设背景下区域生态-经济-社会耦合协调发展评价——以神农架林区为例. 资源科学, 2023, 45(2): 417-427.