

doi: 10.12097/gbc.2023.02.047

# 自然资源动态监测网络构建 ——以江苏省为例

李胤<sup>1,2</sup>, 宋珂<sup>1,2</sup>, 王玉军<sup>1,2</sup>, 詹雅婷<sup>1,2</sup>, 朱叶飞<sup>1,2</sup>

LI Yin<sup>1,2</sup>, SONG Ke<sup>1,2</sup>, WANG Yujun<sup>1,2</sup>, ZHAN Yating<sup>1,2</sup>, ZHU Yefei<sup>1,2</sup>

1. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018;

2. 自然资源江苏省卫星应用技术中心, 江苏 南京 210018

1. *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, Jiangsu, China;*

2. *Natural Resources Satellite Application Technology Center of Jiangsu Province, Nanjing 210018, Jiangsu, China*

**摘要:** 自然资源是人类生产、生活的基本物质基础和空间载体, 动态监测自然资源数量、质量、生态变化, 系统获取长期、稳定、准确、连续的自然资源监测数据, 对自然资源管理决策具有十分重要的科学和现实意义。在对江苏省自然资源监测现状梳理基础上, 以管理需求和问题为导向, 基于“融合视频物联”的对地观测网络构建技术、“陆海统筹”的地面监测站网构建技术、动态监测监管平台构建技术, 构建形成了“天空地海”自然资源动态监测网络, 并应用于江苏省“1+6+X”自然资源常规、专项和专题动态监测服务。研究表明, 研究整合建立的陆海统筹、天地一体、上下协同、信息共享的全省自然资源动态监测网络, 及时监测江苏省土地、矿产、森林、水、湿地、海域海岛等自然资源的种类、空间分布、质量、生态等动态变化情况, 形成了以“天-空-地-海”协同作业为特征的自然资源全覆盖、全天候、全要素监测能力, 实现了自然资源数量-质量-生态一体化监测服务, 为支撑自然资源管理“两统一”职责履行、推进自然资源治理体系和治理能力现代化、保障经济高质量发展和生态文明建设奠定了坚实的基础。

**关键词:** 自然资源; 动态监测网络; 天空地海协同观测; 监测体系; 自然资源管理

**中图分类号:** P622<sup>+.1</sup>; P96 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)09-1459-11

**Li Y, Song K, Wang Y J, Zhan Y T, Zhu Y F. Construction of dynamic monitoring network for natural resources: An example study of Jiangsu Province. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(9): 1459-1469**

**Abstract:** Natural resources are the basic material basis and spatial carrier of human production and life. Dynamic monitoring of the quantity, quality and ecological changes of natural resources, and systematic acquisition of long-term, stable, accurate and continuous monitoring data of natural resources have very important scientific and practical significance for decision-making of natural resources management. On the basis of sorting out the current situation of natural resource monitoring in Jiangsu Province, guided by management needs and issues, this article constructs a "space - aerial - ground - sea" natural resource dynamic monitoring network based on the integration of Video Internet of Things (IoT) and ground observation network construction technology, "land and sea coordination" ground monitoring station network construction technology, and dynamic monitoring supervision platform construction technology, and applies it to the "1+6+X" natural resources routine, special and thematic dynamic monitoring services in Jiangsu province. The results show that: This article studies and integrates the establishment of a dynamic monitoring network of natural resources in Jiangsu province, which integrates land and sea, coordinates up and down, and shares information, and timely monitors the dynamic changes in the types, spatial distribution, quality, and ecology of various natural resources such as land, minerals, forests,

收稿日期: 2023-02-22; 修订日期: 2023-04-15

资助项目: 江苏省自然资源厅 2021 年度科技计划项目《市县级耕地保护遥感动态监测体系研究与应用》(编号: 2021037)、自然资源部试点项目《自然资源调查监测技术体系构建第一批试点项目(自然资源综合调查监测试点)》(编号: 自然资调查函[2021]3 号)

作者简介: 李胤(1986-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事自然资源调查监测研究。E-mail: liyinjssdy@163.com

water, wetlands, and sea islands in Jiangsu Province. It is expected to form a full coverage, all-weather and all factor monitoring capability of natural resources characterized by "space - aerial - ground - Sea" collaborative operation, and realize the integrated monitoring service of quantity, quality and ecology of natural resources, so as to lay a solid foundation for supporting the fulfillment of the "two unification" responsibilities of natural resource management, promoting the modernization of the natural resource governance system and governance capabilities, ensuring high-quality economic development and the construction of ecological civilization.

**Key words:** natural resources; dynamic monitoring network; space-aerial-ground-sea collaborative observation; monitoring system; natural resource management

自然资源是人类生产、生活的基本物质基础和空间载体。联合国环境规划署定义,自然资源是在一定时间和条件下,能产生经济效益,提高人类当前和未来自福利的自然因素和条件。中国《辞海》定义,自然资源为广泛存在于自然界并能对人类利用的自然要素,是人类生存的重要基础,是人类生产生活所需的物质和能量来源,是生产布局的重要条件和场所(辞海编辑委员会,1980)。及时、准确、科学的自然资源数据是自然资源科学管理、决策的重要基础。一直以来,中国的自然资源调查监测内容彼此交叉,调查部门相对分散,标准不一,数据共享不畅,已成为中国自然资源统一管理的瓶颈和亟待解决的问题。2018年4月,自然资源部正式挂牌成立,被赋予“两统一”管理职责,对自然资源调查监测等工作提出了更高的标准和要求(葛良胜等,2022)。2018年10月,自然资源部印发《自然资源科技创新发展规划纲要》(自然资源部,2018),提出总体目标之一为建立自然资源调查监测技术体系,建立较完善的自然资源要素综合观测网络。2020年1月,自然资源部印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》(自然资源部,2020),明确自然资源调查监测将围绕自然资源部职责涉及土地、矿产、森林、草原、水、湿地、海域海岛等自然资源开展,统筹好各项业务需求,充分发挥各部门已有各类监测站点的作用,建立全国自然资源综合监测网络,逐步建成自然资源监测体系。2022年2月,自然资源部编制了《自然资源调查监测技术体系总体设计方案》,提出协同式数据获取,构建内外业一体、地面协同、点面结合、综合集成的多层次、多尺度动态协同式数据获取系统网络,形成服务自然资源调查监测的全天候、全天候、全要素、全尺度数据协同获取能力。

20世纪80年代以来,一些国际组织、国家逐步建立起了国家、区域或全球尺度的自然资源监测网络(张贺等,2020;钱建利等,2021;彭令等,2023)。美国在1980年建立的长期生态研究网络、森林资源

调查和监测网,主要用于国家生态环境研究和森林资源监测;联合国粮农组织在1996年建立的全球陆地观测系统,主要用于研究全球尺度生态、冰川、水文和永冻土;联合国、欧盟和美国环境规划署在2002年建立的全球综合地球观测系统,主要用于研究全球气候、海洋、陆地、地质动态、自然资源、生态系统。这些监测网建设起步较早,具有全球性、综合性观测特点,且长期定位连续观测。中国的自然资源监测网络与美国、英国等国家相比,起步稍晚,呈现分散分布、各自独立的特点。2018年自然资源部门重组前,土地、地质、海洋、林草、水利等部门均有良好的技术支撑系统,并开展了制度化的调查监测工作,建立了具有不同的功能定位和服务目标的相关调查监测网络,如国家地下水监测网、国家土壤环境监测网、国家全球海洋立体观测网、耕地质量调查监测网、国家生态系统观测研究网等。但是,各部门建立的调查监测网均侧重于单一的自然资源观测,对于各类自然资源之间相互关系的监测较少,不同部门建立的调查监测网的数量、质量、生态监测是独立分割的,不符合“山水林田湖是生命共同体”理念,需根据自然资源部“两统一”职责履行,对这些监测网络进行整合,形成新一代技术支撑体系。

本文提出了协同化感知的技术方法,形成了本地化的动态监测网络建设方案,推动自然资源由单要素监测向多要素综合监测转变,并在数量与质量上掌握各自然资源之间的相互关系,实现全过程用途管控、全流程综合监管,为支撑自然资源管理“两统一”职责履行、推进自然资源治理体系和治理能力现代化、保障经济高质量发展和生态文明建设奠定了坚实基础。

## 1 研究区概况

### 1.1 江苏省自然资源监测现状

江苏省位于中国大陆东部沿海,陆地面积 $10.72 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,辖江临海,湖泊众多,水网密布,海陆

相邻,包含平原、山区和丘陵3种类型的地貌,是全国唯一一个拥有大江大河大湖大海的省份。江苏省自然资源丰富,包括土地、矿产、森林、水、湿地、海洋资源等(江苏省草地地类仅有其他草地)。

2018年自然资源部门重组前,江苏省各自然资源管理相关部门分别建立了与自然资源要素相关的调查监测技术系统,开展了制度化的调查监测工作,为当时的自然资源管理提供了很好的支撑,发挥了重要的作用。原国土部门负责土地资源调查、土地变更调查、矿产资源调查与监测、地下水监测、耕地质量等别数据年度更新评价等工作,农业部门负责耕地质量等级调查评价工作,地调部门负责土地质量调查工作,水利部门负责水利普查、水资源调查评价、水资源监测等工作,生态环境部门负责地表水水质监测、农用地土壤污染状况详查等工作,林业部门负责森林资源规划设计调查、森林资源连续清查、林地变更调查、湿地资源调查与监测等工作,原海洋部门负责海洋(海岸带)综合调查、监测、评价等工作

(崔巍,2019)。各部门均按照各自的业务管理要求开展调查监测工作,建立了各类自然资源调查监测站点(表1)。

## 1.2 存在问题

长期以来,自然资源调查监测工作分散在不同的部门,各个部门先后建立了相关的监测站网,在保障资源开发利用和生态环境保护中发挥了重要作用,但由于其建设背景不同,导致各类自然资源调查监测存在尺度、规范差异,且内容有交叉,难以支撑服务国家自然资源统一管理,难以全面覆盖自然资源“资源、资产、资本”三大属性,不利于推进自然资源资产产权制度改革及国家生态文明建设。为切实支撑自然资源部“两统一”职责管理和国家生态文明建设,急需改变以往各自为政的监测方式,开展自然资源统一调查监测,全面摸清家底,及时掌握变化,支撑精准化管理和科学化决策,为有效保护、永续利用、科学规划自然资源提供基础数据与决策支撑(黄贤金,2019)。

表1 江苏省各部门现有调查监测站点基本情况

Table 1 Basic information of existing investigation and monitoring stations in Jiangsu Province

自然资源分类	已有站点情况	数据获取途径
耕地资源	江苏省国土(耕地)生态地质环境监测已有监测点位1978个 省生态环境部门在全省共布设国家网土壤监测点位1690个,其中基础点位807个,背景点位82个,风险点位801个	自然资源部门 生态环境部门 农业部门
地表水资源	省水利部门现有水文站150个、水位站137个、雨量站237个、泥沙站21个、蒸发站35个、墒情站27个 省生态环境部门现有国控断面194个、省控断面674个、饮用水水源地测点180个、入海河口监测断面31个、省级管理的自动站130个、近岸海域国控海水水质测点78个、海洋生物测点40个	自然资源部门 水利部门 生态环境部门
地下水资源	省自然资源部门有国家级、省级地下水监测站点637个,其中,国家地下水监测工程站点有336个、未纳入国家地下水监测工程的站点有55个、省级地下水监测站点246眼。自动化监测站点366个,人工监测站点271个 省水利部门有地下水监测井1153眼(浅层井299眼、深层井854眼),其中国家地下水监测工程站点523个 省生态环境部门现有区域地下水质量考核点68处	自然资源部门 水利部门 生态环境部门
森林资源	全省森林样地1337个,生态样地270个 已建成2个森林生态站(包括江苏长江三角洲森林生态站和华东沿海防护林生态站),竹林生态监测站1个(江苏宜兴竹林生态站),城市生态站1个(江苏扬州城市生态站)	林业部门
湿地资源	全省湿地样地429个 已建成盐城滨海湿地、太湖湿地、洪泽湖湿地3个国家湿地生态定位站;全省101个计划监测湿地主体中,已有39个保护主体开展了生态实时监测,共建设204个湿地监测站点	林业部门
矿产资源	在采矿山196个,矿产地498个	自然资源部门
海洋资源	北起平岛,南至连兴港,最外侧外礁脚领海基点位置,岸基在线监测站4个,水文观测平台12个,海上监测站点35个,监测断面8条	海洋部门

## 2 数据与方法

### 2.1 “天空地海”自然资源动态监测网络构建总体技术路线

建立自然资源动态监测网络,应充分发挥各类

自然资源地面监测站点作用,综合应用航空、航天、国土调查云等,开展一体化、集成化动态监测,构建“天-空-地-海”一体的自然资源统一调查监测技术体系(图1)。基于统一调查监测总体目标,自然资源动态监测网络的构建内容主要包括3个方面:一是

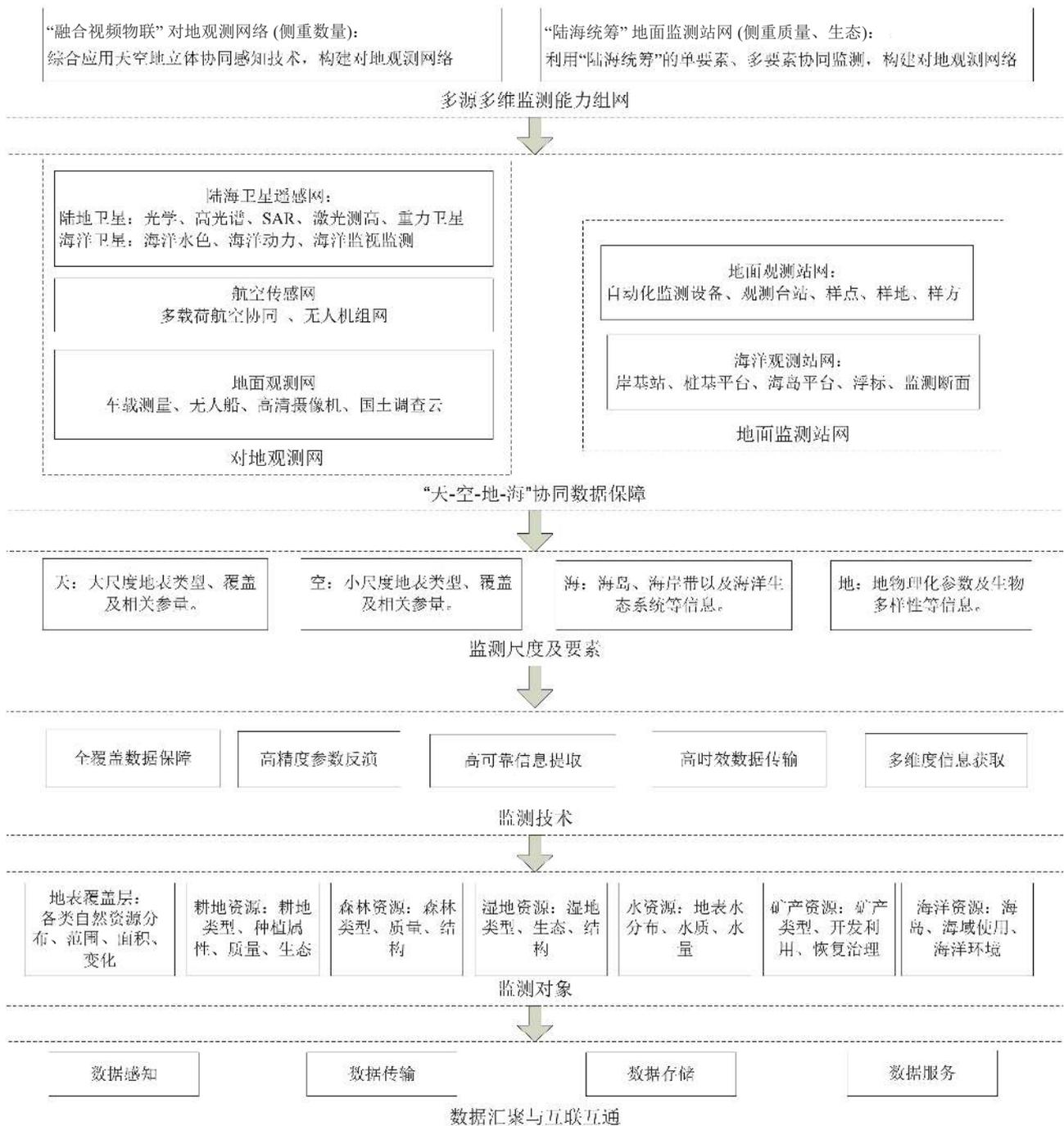


图1 自然资源“天空地海”协同感知网络构建总体技术路线图

Fig. 1 The overall technical roadmap for the construction of the natural resources "space - aerial - ground - sea" collaborative sensing network

由卫星、航空飞机、无人机、无人船、视频探头、国土调查云等组成的“融合视频物联”的对地观测网络,侧重自然资源数量监测;二是由各类自然资源地面监测站点组成的“陆海统筹”地面监测站网,侧重自然资源质量和生态监测;三是汇聚所有监测数据并提供相关监测分析和业务监管功能的监测监管平台。对地观测网络与地面监测站网形成多源多维监测能力,与监测监管平台三者协同配合,构建天地一体、陆海统筹、上下协同、互联互通的自然资源动态监测网络,实现自然资源数量-质量-生态一体化监测服务。

## 2.2 “融合视频物联”对地观测网络构建技术

在自然资源调查监测手段上,很多研究在对地观测方面,特别是在空天遥感技术研究及应用上取得了丰富的理论成果(李德仁, 2012; 许桃园, 2019; 黄露等, 2020; 尤淑撑等, 2020a, b)。“融合视频物联”的对地观测网络主要是综合利用陆地卫星、海洋卫星、航空摄影、无人机、无人船、地面采集车、视频监控探头、国土调查云等“天-空-地-海”立体协同观测手段,构建由陆海卫星遥感网、航空传感网、

地面观测网组成的点面结合、综合集成的多层次、多尺度动态协同式对地观测体系,通过高精度参数反演、高可靠性信息提取、高分辨率三维建模、高智能视频识别,实现对自然资源地表覆盖类型、属性、利用状况信息的实时获取与持续观测,形成服务自然资源监测的全天候、全天时、全尺度协同观测能力。针对土地资源、耕地、森林、湿地、水、海域海岛、矿产资源等不同的监测要素,本文分别梳理其监测需求、监测尺度和监测范围,总结优先采用的对地观测平台、传感器及相应的技术方法(表 2)。依托“天-空-地”立体协同的对地观测体系,形成对各类自然资源与整个国土空间全时、全域、立体实时感知的对地观测能力。

其中,陆海卫星遥感网建设充分依托部-省-市-县贯通的自然资源卫星应用技术体系。通过高分系列、资源系列多星协同的国产公益卫星遥感数据获取方式,基本可实现江苏范围优于 2 m 分辨率光学卫星遥感数据 100% 月度覆盖(梅雨季节除外),对于时间、空间、光谱分辨率有更高需求的,可适当补充商业卫星遥感数据。对航天数据覆盖不全、分

表 2 对地观测技术方法

Table 2 Summary of Earth observation techniques and methods

监测平台	监测技术方法	监测要素	监测内容
	优于 2 m 的光学卫星影像、航空影像、无人机影像 高清摄像头、国土调查云 多源海量数据处理及智能信息提取方法	地表覆盖层	各类自然资源的分布、范围、面积等动态变化
	优于 2 m 的光学卫星影像、航空影像、无人机影像高清摄像头、 国土调查云 高光谱卫星影像、无人机搭载高光谱传感器 智能信息提取及高光谱反演方法	耕地资源	耕地非农化非粮化、土壤质量
陆地卫星 海洋卫星 航空飞机 无人机 无人船	高光谱卫星影像、无人机搭载高光谱传感器、无人船搭载多参数 水质传感器、测流仪、采样器等 高光谱反演方法	地表水资源	地表水叶绿素 a、悬浮物含量、透明度、溶解性有机物、重金属元素等进行提取,对地形及库容测绘
高清摄像头 国土调查云	高光谱卫星影像、无人机搭载光学传感器倾斜摄影,无人飞机载 或车载激光雷达 三维建模方法、高光谱反演方法	森林资源	树种、郁闭度、蓄积量、森林健康状况
	利用优于 2 m 的光学卫星影像、航空影像及无人机影像 多源海量数据处理及智能信息提取方法	湿地资源	湿地植被覆盖情况(植被类型、植被面积)、人类活动状况(活动类型、活动面积)
	利用多源、多尺度卫星影像(陆地卫星、海洋卫星)、无人飞机载 激光雷达、光学传感器 多源海量数据处理及智能信息提取方法、温度反演	海洋资源	海岸带侵蚀和淤积、海域海岛保护和利用情况,海洋环境(海面风场、浪高、海面高度、有效波高、大洋环流、海面温度),海洋生态灾害(绿潮、赤潮)
	优于 2 m 的光学卫星影像、航空影像、无人机影像 无人机搭载光学、高光谱传感器,无人飞机载或车载激光雷达 智能信息提取及高光谱反演方法	矿产资源	露采矿山开发利用水平及恢复治理情况、岩性识别、矿物填图

分辨率不足、精度不够、时效性保证弱等监测区域,采用天空数据联合覆盖、航空多视立体观测、无人机倾斜摄影,多尺度同步观测,建立航空传感网,形成光学、高光谱、激光雷达、倾斜摄影等各种遥感数据快速获取能力,与航天遥感数据有效互补,提供更精准、更强时效和更高维度的遥感影像保障。地面观测网建设主要采用视频监控探头(全省已部署视频监控探头 18005 个)、国土调查云、地面采集车、无人船等数据采集方式,构建地面观测网,实时获取自然资源地表覆盖类型、属性、利用状况信息,实现实时获取与持续观测。

### 2.3 “陆海统筹”的地面监测站网构建技术

自然资源调查监测支撑服务“两统一”职责履行,主要体现于摸清家底、监测变化、认知规律、服务科学管控上。在自然资源调查监测的手段上,多数研究集中在对地观测方面,但对于耕地、森林、海洋等自然资源质量监测来说,仅仅对地观测手段难以有效获取所需的监测数据,需借助于布设的各类陆海自然资源监测站(网),采用地面抽样调查手段获取。本研究聚焦各类自然资源开发利用、国土空间规划、生态保护修复、国土空间用途管制等自然资源管理需求,筛选出能够体现“生命共同体”共性的指标,构建地面站点动态感知指标体系。并通过对现有各类自然资源地面监测站点融合共建及补充新建,构建“陆海统筹”的地面监测站网(表 3),形成综合协同、互为补充的各类自然资源监测站点数据动态协同获取的技术方法和实现路径,动态掌握各类自然资源的数量、质量、生态等方面的现状及变化趋势,提升自然资源监测监管能力(李河, 2018; 钱建利等, 2020; 覃迎姿等, 2020; 丛毓等, 2021; 杨志岩等, 2021; 陈军等, 2022; 刘大海等, 2022)。

根据管理需求,筛选出能够体现“生命共同体”共性的指标后,通过技术手段和政策手段对现有的各类监测站点进行整合。技术层面,综合利用物联网数据传输、无线网络传输、移动终端传输、定期拷贝等方式进行实时数据接入或离线数据接入,对现有的各类监测站点数据及系统进行整合,实现监测数据共享。政策层面,通过制定政策,建立健全的机制,对现有的各类监测站点进行整合共享,以满足自然资源综合监管要求,促使不同监测技术方法所对应的空间定位监测、质量监测、生态监测协同统一(刘晓煌等, 2020; 王远超等, 2021; 沈运华等,

2022)。实施层面,对于各类自然资源监管所需的由生态环境、水利、农业农村、气象等相关部门周期性获取的数据(如样点、样地、样方数据),通过建立省级相关部门间数据共享机制,一次性获取、定期批量更新,汇集到动态监测监管平台;对于相关部门的高频更新数据(如水质、水位),借助各级政府统一的数据共享平台或建立部门间网络专线,通过数据共享服务接口实现数据实时获取。

### 2.4 动态监测监管平台构建技术

构建动态监测监管平台,综合集成各类监测成果,实现对各类自然资源的动态更新,分布式管理和协同式服务。以省自然资源大数据平台云技术体系为基础,以面向多源监测数据共享交换为目标,纵向构建省、市、县协同的自然资源动态监测体系,横向按照省级部门政务数据共享的相关规定,与生态环境、水利、农业农村、林业等部门进行数据交换共享,最终实现“天-空-地-海”数据智能汇聚、协同感知与一体化应用。平台总体架构设计由基础层、数据感知层、数据传输层、数据存储层、数据服务层及应用服务层构成(图 2)。其中,数据感知层是自然资源智能化监测监管的本底,包括天网数据感知、空网数据感知、地网数据感知及海网数据感知,是各类核心监测数据的来源,也是智能感知体系的支撑及实现自然资源全领域、全要素监测监管的根本所在。

## 3 研究结果

### 3.1 构建“天空地海”自然资源动态监测网络

通过“融合视频物联”对地观测网络与“陆海统筹”地面监测站网构建,在航天、航空、低空、地面、海洋等多层次空间实现高精度陆海卫星遥感、迅捷无人机、国土调查云、各类地面监测站点、海洋综合监测站点等的合理布局,利用高可靠信息提取、高精度参数反演、高时效数据传输、多维度数据获取技术,形成以“天-空-地-海”协同作业为特征的自然资源全覆盖、全天候、全要素监测能力。通过“智能感知”动态监测监管平台进行天、空、地、海等多维信息的有效获取、协同、传输和汇聚,实现各类监测数据集中管理、展示、预警及共享应用服务。基于融合视频物联”的对地观测网络构建技术、“陆海统筹”的地面监测站网构建技术、动态监测监管平台构建技术,共同构建陆海统筹、天地一体、上下协同、信息共享的全省自然资源动态监测网络,及时监测江苏

表 3 地面监测站网构建

Table 3 Construction list of ground monitoring station network

资源类型	服务管理新需求	监测指标	网络构建
耕地资源	永久基本农田保护、耕地保护红线、耕地质量分类、耕地占补平衡、耕地质量分等定级、国土空间规划, 自然资源资产清查、生态保护修复等	土层厚度、土壤有机质含量、土壤质地、土壤 pH 值、生物多样性、土壤污染(监测镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍、锌 8 种无机物污染)	充分利用农业农村部门耕地质量等级调查评价、地质调查部门土地质量地球化学调查、生态环境部门农用地土壤污染状况详查等已有监测站点, 构建耕地资源动态监测网络。就土壤条件缺失和异常数据, 开展土壤性状监测的补充站点。针对江苏省典型土地综合整治项目形成的新增耕地及主要大型新建工业园区的耕地, 进行现有样点的加密
森林资源	林长制督查、林权确权登记、森林资源监督管理、碳达峰碳中和、自然资源资产清查、生态保护修复、国土空间规划等	种类(森林类型、植被类型、优势树种)、数量(森林覆盖率及各类森林面积、各类森林储量及其变化(包括蓄积量、生物量、碳储量)、各类森林面积增长量和减少量、毛竹和其他竹株数及其变化)、质量(平均胸径、平均树高、郁闭度/覆盖度、密度、单位面积储量、单位面积生长量、灌木平均高及覆盖度、腐殖质厚度、枯枝落叶厚度、森林健康、森林灾害、自然度)、结构(土地权属、林木权属、起源、龄组、径组、树种(组)结构、林层结构、群落结构)、生态(固碳释氧、水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性)	充分利用林业部门森林资源连续清查和森林生态样地等已有监测站点; 在连续清查样点和森林生态样地的基础上补充监测样点, 建立并逐步完善长期定位的森林动态监测网络
湿地资源	湿地保护修复, 碳达峰碳中和战略、履行国际公约、国土空间用途管制、国土空间规划等	种类(湿地类型、植被类型)、数量(湿地面积、各类型湿地面积、植被覆盖面积)、质量(积水状况、溶解氧、土壤含水率、生物量、植物种类、植被群系、植被群系面积、受威胁状况)、结构(权属、植被起源)	充分利用林业部门湿地监测框架下(气象、水利、生态环境)湿地样地和湿地生态样地等已有监测站点; 在国际重要湿地、重要河湖湿地补充湿地生态监测站; 建立并逐步完善长期定位的湿地动态监测网络
水资源	水资源确权登记、水生态环境修复、自然资源资产负债表编制、国土空间用途管制等	大气水(降水量、蒸发量、地面温度)、地表水资源数量(河湖水位, 河流流速、流量)、地表水资源质量(物理、生物、化学等 109 项, 其中地表水环境质量监测指标 24 项, 集中式生活饮用水地表水源地监测指标 5 项, 集中式生活饮用水地表水源地特定项目 80 项)、地下水资源数量(水位)、地下水资源质量(常规指标 31 项、非常规指标 54 项、特殊用途水质指标 18 项)	充分利用自然资源、水利、生态环境、气象等相关部门已有的监测样点数据, 构建水资源动态监测网络; 大气水监测指标依托省气象部门基准站、基本站、一般站开展监测。地表水监测指标中水资源数量的相关河湖水位、河流流速、河流流量, 依托省水利部门水文站、水位站开展监测; 体现水资源质量的 pH 值、电导率、溶解氧、浊度、温度、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等基本水质指标, 依托省生态环境部门国考、省考断面开展监测; 地下水监测指标, 依托自然资源及水利部门的国家地下水监测工程开展监测。围绕长江、淮河、大运河、太湖、洪泽湖等重点区域, 对监测站点进行加密布设
矿产资源	矿产资源合理利用与保护、国土空间用途管制、生态保护修复等	数量(矿区数量、矿产地数量、资源量、储量)、质量(种类、矿体形态、矿石类型、矿物和化学成分、品位、选冶性能、规模)、结构(未利用、占用、残留、压覆)	利用自然资源部门现有成果, 发挥管理相关数据库及矿区、矿山节点功能, 建立矿产资源地面监测站网, 全面获取当前江苏省各类矿产资源数量、质量、结构和空间分布现状
海洋资源	海洋资源利用与保护、海洋生态保护修复、海洋国土空间用途管制、海洋自然资源资产所有者职责等	近岸趋势性监测: 水文气象(水温、水深、透明度、水色、风向、风速、天气现象、海况)、水体环境(盐度、pH 值、溶解氧、叶绿素 a、活性磷酸盐、活性硅酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、氨氮、总氮、总磷、化学需氧量、悬浮物)、底泥环境(粒度、有机碳、硫化物、Eh)、生物群落(浮游植物、浮游动物、底栖生物种类和数量); 典型生态系统预警监测: 植被、潮间带底栖生物、鸟类栖息地、滨海湿地类及种类、沉积物环境(粒度、含水率、全盐含量、pH 值、有机碳、总氮、硫化物、总磷); 海洋灾害与生态风险监测: 水文气象(风速、风向、气温、水温、盐度、浊度、透明度)、水体环境(pH 值、悬浮物、溶解氧(及电子剖面数据)、氨氮、活性磷酸盐、硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、活性硅酸盐、海水 CO <sub>2</sub> 分压、大气 CO <sub>2</sub> 分压、总氮、总磷等)、生物(叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物、赤潮生物、浒苔绿潮)	充分利用自然资源主管部门长期开展海洋资源调查预警监测工作建成的岸基站、桩基平台、浮标、雷达、视频监控、海上船舶监测为一体的海洋生态预警地面监测站点, 形成点面结合、互为补充、综合协同的全方位多层次海洋资源动态监测网络

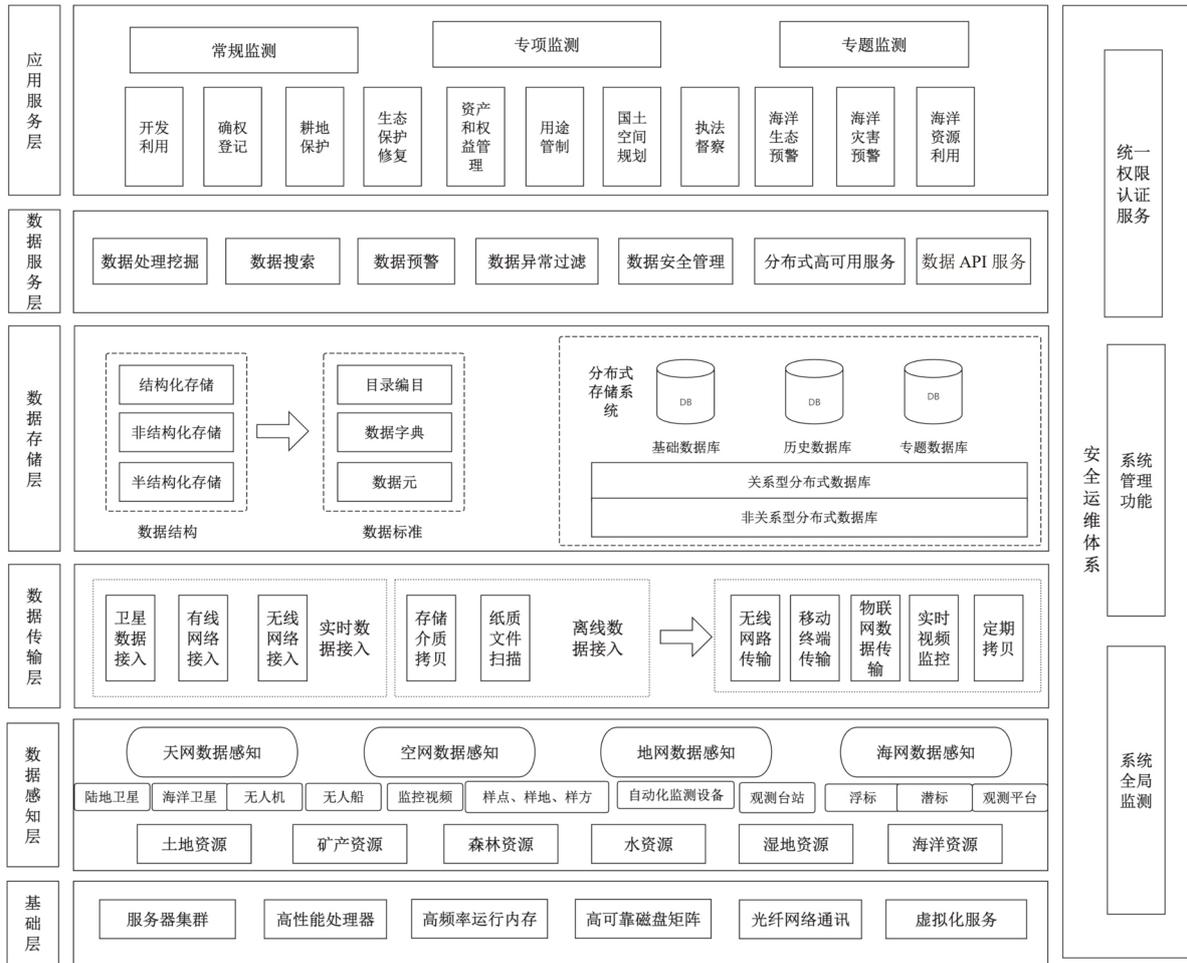


图2 动态监测监管平台架构图

Fig. 2 Architecture diagram of dynamic monitoring and warning platform

省土地、矿产、森林、水、湿地、海域海岛等各类自然资源种类、空间分布、质量、生态等动态变化情况,实现自然资源数量-质量-生态一体化监测服务,全面支撑山水林田湖草海生命共同体的一体化、集成化调查监测,为后续开展自然资源动态监测网络建设,形成以“天-空-地-海”网协同作业为特征的自然资源全覆盖、全天候、全要素监测能力提供依据。

### 3.2 形成“1+6+X”自然资源动态监测服务体系

通过对地观测网络构建、地面监测站点整合构建、动态监测监管平台构建,整合建立了“天-空-地-海”自然资源动态监测网络,形成以“天-空-地-海”协同作业为特征的一种自然资源全覆盖、全天候、全要素监测能力,实现支撑“两统一”职责履行的“1+6+X”自然资源监测服务体系(图3)。该服务体系包括1项常规监测,6项专项监测和X项专题监测(表4)。

#### 3.2.1 以对地观测网络为主开展1项常规监测

主要利用优于2 m分辨率光学卫星遥感影像(对航天数据覆盖不全、分辨率不足、精度不够、时效性保证弱等监测区域,由空天数据联合覆盖、航空多视立体观测、无人机倾斜摄影补充),采用多源海量数据融合处理及智能信息提取方法,高频次(优于季度)获取各类自然资源的数量(分布、范围、面积)变化情况。

#### 3.2.2 以地面监测站网为主、对地观测网络为辅开展6项专项监测

利用样点、样地、样方、观测台站、定点观测传感网、自动化监测设备等组成的地面监测站点,采用实验室分析化验技术、样地调查技术、物联网数据传输技术、无线网络传输技术,获取耕地、森林、湿地、水、矿产、海洋等自然资源的特性指标,重点掌握自然资源质量、生态变化情况。利用高光谱遥感影像

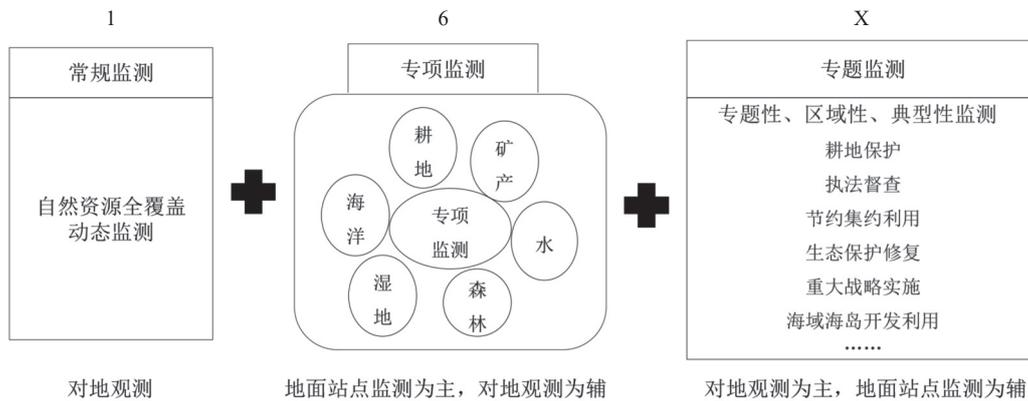


图 3 自然资源监测服务体系图

Fig. 3 Natural resources monitoring service system diagram

表 4 自然资源监测服务体系构建

Table 4 List of construction of natural resources monitoring service system

分类	自然资源分类	监测要素	感知手段	管理数据	服务“两统一”职责
常规监测	地表覆盖层	各类自然资源的分布、范围、面积	对地观测		
专项监测	耕地资源	耕地质量、生态状况	地面站点监测为主, 对地观测为辅		
	水资源	水质、地表水资源量、地下水资源量、水资源总量, 河流年平均径流量, 湖泊水库的蓄水动态, 地下水位动态等变化情况	地面站点监测为主, 对地观测为辅	现状数据: 基础地理、遥感影像、土地利用现状、耕地后备资源、矿产资源等 规划数据: 永久基本农田保护红线、生态保护红线、城镇开发边界、国土规划、交通规划等专项规划	确权登记 耕地保护 执法督查 开发利用 国土空间规划 国土空间用途管制 生态保护修复 资产和权益管理
	森林资源	森林资源的种类、数量、质量、结构、功能、生态状况及变化情况	地面站点监测为主, 对地观测为辅		海洋灾害预警 海洋生态预警
	湿地资源	湿地水环境、水质、富营养化、生物多样性、受威胁状况等变化情况	地面站点监测为主, 对地观测为辅	基础管理数据: 不动产登记、土地审批、土地供应、矿业权审批等	海洋资源利用与保护
	海洋资源	海岸带, 海域、海岛保护和利用情况; 海洋生态灾害(绿潮、赤潮); 海洋水文要素、气象要素、动力环境要素	地面站点监测为主, 对地观测为辅		
	矿产资源	各类矿产资源数量、质量、结构和空间分布现状	地面站点监测为主, 对地观测为辅		
专题监测	自然资源执法督察	新增建设用地图斑、新增围填海造地图斑、新增矿产资源勘查开采图斑、疑似占用林地图斑	对地观测	现状数据: 基础地理、遥感影像、土地利用现状、耕地后备资源、矿产资源等 规划数据: 永久基本农田保护红线、生态保护红线、城镇开发边界、国土规划、交通规划等专项规划	确权登记 耕地保护 执法督查 开发利用 国土空间规划 国土空间用途管制 生态保护修复 资产和权益管理
	土地节约集约利用监测	建设用地的总面积、批而未供、供而未用的建设用地面积	对地观测		海洋灾害预警 海洋生态预警
	耕地保护	耕地非农、非粮化面积	对地观测		海洋资源利用与保护
	重要生态系统保护和重大工程监测	对生态功能重要地区及自然保护地的重要生态要素按需监测; 对土地综合整治、矿山生态修复、海岸带生态修复等进展情况, 地面沉降变化等对自然资源及其自然生态空间的影响情况按需监测	对地观测为主, 地面站点监测为辅	基础管理数据: 不动产登记、土地审批、土地供应、矿业权审批等	

或无人机搭载高光谱传感器,采用地表物化信息反演获取森林、湿地、地表水、海洋等自然资源的质量、生态变化情况。

### 3.2.3 以对地观测网络为主、地面监测站网为辅开展 X 项专题监测

主要利用优于 2 m 的分辨率光学、SAR、高光谱等卫星遥感影像、航摄影像、无人机影像、视频监控探头、国土调查云等对地观测手段,以及相关自然资源地面监测站点,通过高可靠信息提取、高精度参数反演、高时效数据传输、多维度数据获取技术,围绕自然资源执法督察、耕地保护、资源节约利用、生态环境保护、国家重大战略实施等方向,开展专题性、区域性、典型性监测。

## 4 结 语

构建“天-空-地-海”自然资源动态监测网络是支撑自然资源部“两统一”管理和国家生态文明建设的迫切需求,动态监测自然资源数量、质量、生态变化,系统获取长期、稳定、准确、连续的自然资源监测数据,对自然资源管理决策具有十分重要的科学和现实意义。笔者在对江苏省自然资源监测现状梳理的基础上,以管理需求和存在问题为导向,基于“融合视频物联”的对地观测网络构建技术、“陆海统筹”的地面监测站网构建技术、动态监测监管平台构建技术,构建了“天-空-地-海”自然资源动态监测网络,形成了以“天-空-地-海”网协同作业为特征的自然资源全覆盖、全天候、全要素监测能力,并应用于江苏省自然资源常规监测、专题监测、专项监测中,建立了“1+6+X”自然资源动态监测服务体系,对于构建自然资源统一调查监测技术体系具有一定的借鉴与推广价值。

由于自然资源动态监测网络建设是一项系统性、长期性的复杂工程,在具体建设过程中将面临诸多技术、政策难题和瓶颈。需要以自然资源科学和地球系统科学为理论基础,按照“边试边改、边试边用”的工作思路,利用遥感和航空摄影技术、测绘地理信息技术、三维空间技术、5G 物联网、云技术等手段,积极研究人工智能技术、区块链技术、大数据技术等自然资源调查监测中的应用,加强智能化观测装备自主创新和信息化建设,探索变化信息自动识别提取、数据加密传输等手段,完善相关技术体系和方法体系,探索多部门、多学科深度融合共建机制,健全运营及保障机制,不断提高自然资源动态监

测能力与水平,服务生态文明建设,助力提升国家治理体系和治理能力现代化水平。

本文以《自然资源科技创新发展规划纲要》《自然资源调查监测体系构建总体方案》《自然资源调查监测技术体系总体设计方案》等为指引进行研究,按照“边试边改、边试边用”的工作思路,以自然资源部调查监测司的业务体系为主,兼顾生态保护修复司、国土空间规划司等的业务需求,构建一个能支撑“两统一”职责履行的基础自然资源动态监测网络。期待更多的学者对其进行研究,充分考虑其他司局业务需求,补充完善监测指标,构建完善的自然资源统一调查监测技术体系。

## References

- Chen J, Wu H, Zhang J X, et al. 2022. Building natural resources surveying and monitoring technological system: Direction and research agenda[J]. *Acta Geographica Sinica*, 77(5): 1041-1055 (in Chinese with English abstract).
- Cihai Editorial Committee. 1980. *Cihai (in miniature)* [M]. Shanghai: Shanghai Lexicography Publishing House (in Chinese).
- Cong Y, Zou Y C, Lv X G, et al. 2021. Comparison of wetland resources inventory and wetland monitoring[J]. *Wetland Science*, 19(3): 277-284 (in Chinese with English abstract).
- Cui W. 2019. Discrimination and recognition of investigation and monitoring of natural resources[J]. *Modern surveying and mapping*, 42(4): 17-22 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Xia R. 2022. Research on comprehensive investigation work system of natural resources[J]. *Journal of Natural Resources*, 35(9): 2254-2269 (in Chinese with English abstract).
- Huang X J. 2019. Unified management of natural resources: A new era, new characteristics, and new trend[J]. *Resources Science*, 41(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Huang L, Wang A H, Chen J, et al. 2020. Application of domestic satellite remote sensing technology in natural resources survey and monitoring[J]. *Geospatial Information*, 18(5): 73-75 (in Chinese with English abstract).
- Li D R. 2012. On space-air-ground integrated earth observation network[J]. *Journal of geo-information science*, 14(4): 419-425 (in Chinese with English abstract).
- Li H. 2018. Advance and prospects on cultivated land quality evaluation and monitoring in China[J]. *Anhui agricultural sciences*, 46(35): 14-16, 18 (in Chinese with English abstract).
- Liu D H, Dong T, Li Y P, et al. 2022. Reflections on the construction of marine natural resources survey and monitoring system[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 47(8): 36-44, 78 (in Chinese with English abstract).
- Liu X H, Liu X J, Cheng S B, et al. 2020. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies[J]. *Resources Science*, 42(10): 1849-1859 (in Chinese

- with English abstract).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2018. Notice on Printing and Distributing the Outline of the Scientific and Technological Innovation and Development Plan for Natural Resources[Z/OL]. [https://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113\\_2358751.html](https://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html)(in Chinese).
- Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2020. Notice of the Ministry of Natural Resources on Printing and Issuing the Overall Plan for the Construction of the Natural Resources Investigation and Monitoring System[Z/OL]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content\\_5470398.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398.htm)(in Chinese).
- Peng L, Yin Z Q, Jin A F, et al. 2023. Status and enlightenment of natural resources monitoring and observation network construction in China and abroad[J]. *Geological Bulletin of China*, 42(12): 2156–2164 (in Chinese with English abstract).
- Qian J L, Yang B, Zhang H, et al. 2020. Development of an indicator system of wetland resources based on multidimensional comprehensive observation[J]. *Resources Science*, 42(10): 1921–1931 (in Chinese with English abstract).
- Qian J L, Ni S B, Xu D X, et al. 2021. An Analysis of the Importance of Constructing a Comprehensive Observation Network of Natural Resources Elements[J]. *China's land resources economy*, (8): 28–36 (in Chinese with English abstract).
- Qin Y Z, Tuo S F, Liang X, et al. 2020. Evolution trend of cultivated land quality change in Guangxi in the last 35 years based on Long-term location monitoring[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 51(6): 1290–1296 (in Chinese with English abstract).
- Shen Y H, Zhang X R, Liu X H, et al. 2022. An integrated space-aerial-ground monitoring system and applications for natural resources elements[J]. *Resources Science*, 44(8): 1696–1706 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y C, Peng Y, Liu X H, et al. 2021. Establishment needs and development trends of comprehensive observation system for national natural resource elements[J]. *Geological Survey of China*, 8(2): 47–54 (in Chinese with English abstract).
- Xu T Y. 2019. Application of remote sensing in natural resources work[J]. *Surveying and Mapping Bulletin*, (S1): 90–92 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z Y, Li Y J, Wu Y T, et al. 2021. National groundwater monitoring project (natural resources section) achievements in West Liaohai plain[J]. *Geological survey of China*, 8(1): 108–113 (in Chinese with English abstract).
- You S C, He Y. 2020. The status and development of remote sensing monitoring system of natural resources[J]. *Radio Engineering*, 50(5): 343–348 (in Chinese with English abstract).
- You S C, Zhang R, Dong L N, et al. 2020. Framework and key technologies for natural resources satellites remote sensing monitoring[J]. *Geomatics world*, 27(5): 115–120, 128 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H, Wang S Q, Wang L, et al. 2020. Discussion on the indicator system of comprehensive observation of natural resource elements[J]. *Resources Science*, 42(10): 1883–1899 (in Chinese with English abstract).
- abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈军, 武昊, 张继贤, 等. 2022. 自然资源调查监测技术体系构建的方向与任务[J]. *地理学报*, 77(5): 1041–1055.
- 辞海编辑委员会. 1980. 辞海(缩印本)[M]. 上海: 上海辞书出版社.
- 崔巍. 2019. 对自然资源调查与监测的辨析和认识[J]. *现代测绘*, 42(4): 17–22.
- 丛毓, 邹元春, 吕宪国, 等. 2021. 湿地资源调查与湿地监测的比较研究[J]. *湿地科学*, 19(3): 277–284.
- 葛良胜, 夏锐. 2022. 自然资源综合调查业务体系框架[J]. *自然资源学报*, 35(9): 2254–2269.
- 黄贤金. 2019. 自然资源统一管理: 新时代、新特征、新趋向[J]. *资源科学*, 41(1): 1–8.
- 黄露, 王爱华, 陈君, 等. 2020. 国产卫星遥感技术在自然资源调查监测中的应用[J]. *地理空间信息*, 18(5): 73–75.
- 李德仁. 2012. 论空地一体化对地观测网络[J]. *地球信息科学学报*, 14(4): 419–425.
- 李河. 2018. 中国耕地质量评价和监测研究进展与展望[J]. *安徽农业科学*, 46(35): 14–16, 18.
- 刘大海, 董通, 李彦平, 等. 2022. 关于海洋自然资源调查监测体系构建的思考[J]. *测绘科学*, 47(8): 36–44, 78.
- 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 等. 2020. 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术[J]. *资源科学*, 42(10): 1849–1859.
- 彭令, 殷志强, 金爱芳, 等. 2023. 国内外自然资源监测与观测网络建设现状及经验启示[J]. *地质通报*, 42(12): 2156–2164.
- 钱建利, 杨斌, 张贺, 等. 2020. 基于立体综合观测的湿地资源观测指标体系构建[J]. *资源科学*, 42(10): 1921–1931.
- 钱建利, 倪舒博, 徐多勋, 等. 2021. 浅析构建自然资源要素综合观测网络重要意义[J]. *中国国土资源经济*, (8): 28–36.
- 覃迎姿, 陀少芳, 梁雄, 等. 2020. 基于长期定位监测下的近 35 年广西耕地质量演变趋势研究[J]. *土壤通报*, 51(6): 1290–1296.
- 沈运华, 张秀荣, 刘晓煌, 等. 2022. 天空地一体化自然资源要素监测体系及其应用[J]. *资源科学*, 44(8): 1696–1706.
- 王远超, 彭毅, 刘晓煌, 等. 2021. 全国自然资源要素综合观测体系建设需求及发展动态[J]. *中国地质调查*, 8(2): 47–54.
- 许桃元. 2019. 遥感在自然资源工作中的应用浅析[J]. *测绘通报*, (S1): 90–92.
- 杨志岩, 李元杰, 武永涛, 等. 2021. 国家地下水监测工程(自然资源部分)西辽河平原监测区建设成果概述[J]. *中国地质调查*, 8(1): 108–113.
- 尤淑撑, 何芸. 2020a. 自然资源遥感监测体系建设现状与发展展望[J]. *无线电工程*, 50(5): 343–348.
- 尤淑撑, 张锐, 董丽娜, 等. 2020b. 自然资源卫星遥感常态化监测框架设计及关键技术[J]. *地理信息世界*, 27(5): 115–120, 128.
- 张贺, 王绍强, 王梁, 等. 2020. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. *资源科学*, 42(10): 1883–1899.
- 自然资源部. 2018. 关于印发自然资源科技创新发展规划纲要的通知[Z/OL]. [https://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113\\_2358751.html](https://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html).
- 自然资源部. 2020. 自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[Z/OL]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content\\_5470398.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398.htm)