

引用格式: 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 等. 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, 2020, 42(10): 1849-1859. [Liu X H, Liu X J, Cheng S B, et al. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1849-1859.] DOI: 10.18402/resci.2020.10.03

# 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术

刘晓煌<sup>1</sup>, 刘晓洁<sup>2</sup>, 程书波<sup>3</sup>, 高学民<sup>4</sup>, 郅文聚<sup>5</sup>, 付宇佳<sup>6</sup>

(1. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 河南理工大学应急管理学院, 焦作 454000; 4. 自然资源部科技发展司, 北京 100812; 5. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035; 6. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 武汉 430074)

**摘要:**新形势下中国的自然资源管理由单资源分部门管理, 转为以山水林田湖草生命共同体发展理念和地球系统科学理论指导下的“两统一”集中管理, 不仅要综合考虑某种资源状态变化引起的其他相关资源状态的变化, 还要考虑对国土空间生态环境的影响和规划, 更要考虑未来的资源状态对国家重大决策的安全保障。因此, 构建全国自然资源要素综合观测体系对国家生态文明建设有序发展具有十分重要的意义。本文论述了国内外现有观测网研究特点和不足, 明确了全国自然资源综合观测网络构建的基本思路与原则; 提出了包括要素、技术、质控、服务和运维五维一体的总体框架, 采用自然资源综合区划与观测台站布设技术、自然资源要素耦合机理与指标选取技术、多源数据整合与数据处理技术、模型模拟技术与自然资源综合评价4种关键技术, 开展自然资源要素长期、稳定、连续综合观测, 探索自然资源各要素间的耦合关系、变化动因机制和演化趋势, 解决认识自然生态变化规律、预判发展趋势的基础数据支撑能力不足问题, 服务于新形势下国家自然资源统一管理和重大资源战略决策。

**关键词:**综合观测网络; 统一管理; 自然资源; 总体框架; 关键技术; 安全保障; 基础数据

DOI: 10.18402/resci.2020.10.03

## 1 引言

长期、连续、稳定的定位观测是实现自然资源综合管理的重要抓手<sup>[1]</sup>, 其中建立全要素综合观测体系, 对提高认识自然资源变化规律和决策管理具有十分重要的意义<sup>[2]</sup>。自然资源要素综合观测网络工程建设已经被列为中国《自然资源科技创新发展规划纲要》中“十二大科技工程”之首, 是一项具有“战略性、基础性、紧迫性”的系统工程<sup>[3]</sup>。

目前, 中国观测站网主要有中国科学院生态系统研究网络和各单位围绕科研、业务领域的需求而建立的其他站网, 侧重科研属性, 研究生态系统结构、功能和修复等内容。在自然资源数量结构变化

方面, 相关单位主要通过对自然资源几年一次的调查和每年1~2次的监测获得; 但自然资源变化动因、演化趋势和资源环境承载力的科学预判, 需要通过自然资源各要素长期、连续、稳定的观测, 获取资源间耦合作用过程、变化趋势和速度等关键数据。而现有此类过程观测数据的匮乏, 已经成为制约中国自然资源统一管理的瓶颈问题。

因此, 本文试图以地球系统科学理论和“山水林田湖草生命共同体”理念为出发点, 构建全国自然资源要素综合观测体系, 通过多方技术与手段融通, 突破关键技术瓶颈, 实现观测成果向管理决策的转化, 服务新形势下自然资源统一管理需求。

收稿日期: 2020-06-04, 修订日期: 2020-08-07

基金项目: 全国自然资源要素综合观测体系规划与部署项目(DD20208063); 自然资源要素综合观测数据集成与应用服务项目(DD20208067)。

作者简介: 刘晓煌, 男, 山西平遥人, 博士, 研究方向为自然资源学、基础地质学和矿床学。E-mail: liuxh19972004@163.com

通讯作者: 刘晓洁, 女, 山东潍坊人, 博士, 副研究员, 研究方向为资源可持续利用政策。E-mail: liuxj@igsnr.ac.cn

## 2 国内外野外观测站网研究现状与需求意义

### 2.1 国外野外观测站网现状

资源-生态-环境观测研究站网受到许多国家和组织的重视,如美国、英国、德国、联合国粮农组织等主要发达国家和一些国际组织纷纷建立观测站网用以开展观测与试验研究(表1),这些观测站网主要有以下特点:

(1)观测尺度:重视长期连续观测和数据积累,主要围绕区域尺度、国家尺度和全球尺度进行系统观测研究。

(2)方法手段:采用自动化观测仪器设备开展系统联网观测,形成了天-空-地一体化立体观测,具有完善的体制机制和标准体系,能够实现数据共享和多学科综合观测。

(3)运行机制:采取多部门、跨国界联合观测,具有布设站点密集、观测与监测周期短等特点。

(4)成果应用:主要形成预警监测、综合观测、科学研究和政府决策一体化服务功能。

### 2.2 国内野外观测网现状

中国高度重视野外科学观测和试验研究工作,是世界上最早开展自然资源长期定位观测的国家之一。据不完全统计,全国各类野外观测站约7000个<sup>[4]</sup>,自然资源综合科学观测研究台站有600余个(不含气象、水文等专项监测站),覆盖了农田、森林、草原、湿地、荒漠等多种生态系统类型,涉及水土流失、泥石流、滑坡、冰川与积雪等特殊环境与灾

害多个领域,具有明显的多学科特色;在区域布局上,基本覆盖了中国各个生态类型的区划单元。

长期多学科观测和研究,积累了大量基础数据和资料,为学科基础理论研究和前沿问题探索作出了重要贡献;并在科技创新、研究领域拓展和学科交叉建设方面发挥了重要作用。观测站已成为国家知识创新体系的重要组成部分,也为中国创新人才培养提供平台<sup>[5-7]</sup>。根据观测站所属部门、服务对象和目的,分为部门业务观测网和综合科研观测网两类(表2)。

(1)部门业务观测网:以部门需求为导向,由政府部门为主导组建而成,有较为稳定的运行经费,主要围绕服务部门职能、国家减灾防灾和公共社会等,如地震网、气象网。

(2)综合科研观测网:以科学问题为导向,围绕水、土、气、生等自然资源要素开展观测研究,多以生态系统研究为重点,如生态网、高寒网等。综合科研观测网多依托项目建站,人员、经费和观测内容等根据项目的具体要求而定。

根据《科技部关于发布国家野外科学观测研究站优化调整名单的通知》(国科发基[2019]218号)数据显示,现有97个国家级观测站,包括国有资产监督管理委员会、农业农村部、水利部、自然资源部、气象局、地震局、国家林业和草原局等部门业务站44个;综合科研观测网53个,主要以综合科研观测网为主。此外,由于现有观测网分布在多个部门,观测数据融合难、共享难、统一管理难,数据价

表1 国外典型野外观测站网

Table 1 Typical international and national field observation networks

观测尺度	国家或组织	开始年份	站网名称	观测(监测)内容
区域尺度	英国	1843	洛桑试验站	土壤肥力、肥料效益
	美国	1933	Andrews生态试验站、Hubbard Brook试验站、Coweeta水文实验室	生态系统
	美国	2000	美国国家生态观测站网络(NEON)	生态环境
国家尺度	德国	1980	森林资源调查和监测	森林资源
	英国	1990	环境变化研究监测网络(ECN)	生态环境
全球尺度	联合国粮农组织	1996	全球陆地观测系统(GTOS)	生态、冰川、水文和永冻土
	世界气象组织、日本、美国等	1992	全球气候观测系统(GCOS)	气候、水文循环、冰川、陆地永冻带
	政府间海洋学委员会、世界气象组织、国际科学联合会理事会和联合国环境规划署	1996	全球海洋观测系统(GOOS)	海洋环境现状与未来状态
	美国国家科学基金	1993	国际长期生态观测研究网络(ILTER)	生态现象

表2 国内典型野外观测站网

Table 2 Typical field observation networks in China

观测网名称	建设单位	观测点(站)数量/个	主要观测内容	定位
气象监测站网	国家气候信息中心	41636	气象	业务网
水文监测站网(地下水)	中国地质调查局	10168	水文	业务网
水文监测站网(地表水)	环境监测院	由水文站 6700 余、水位站 12000 余、雨量站 51000 余、报讯站 51000 余组成	水文	业务网
水土保持监测网	水利部门	175	不同水土流失类型区	业务网
国家土壤肥力和肥料效益监测网	农业部门	9	不同温带的农业区土壤肥力	业务网
国家土壤环境监测网	生态环境部门和农业部门	由生态环境部 38880 个、农业农村部 40061 个和自然资源部 1000 个监测点位组成	不同类型土壤	业务网
中国数字地震台网	地震局	152	不同地震带和区域的地震监测	业务网
中国生态系统研究网络(简称生态网)	中国科学院	54	生态类型	科研网
中国荒漠-草地生态系统观测研究野外站联盟	中国科学院、林业部门、教育和农业部门	30	荒漠化、石漠化生态系统和水土流失治理	科研网
黑河流域地表过程综合观测网	北京师范大学和中国科学院	11	黑河流域地表过程	科研网
高寒区地表过程与环境观测研究网络(简称高寒网)	中国科学院	17	高寒区地表过程与环境变化	科研网
日地空间环境观测研究网络	中国科学院	9	地球空间环境中涉及的磁层、电离层、中高层大气以及地球磁场与重力场	科研网
地球物理观测台网	中国科学院	由专业地球物理站 500 余、地方站约 500 个组成	重力、地磁、测震、大地电场	科研网
全国材料环境腐蚀试验网站	中国科学院	46	大气、海水、土壤腐蚀试验	科研网
区域大气本底观测研究网络	中国科学院	10	大气本底	科研网
中国陆地生态系统通量观测研究网络	中国科学院	79	陆地生态系统与大气间 CO <sub>2</sub> 、水汽、能量通量的日、季节、年际变化观测研究	科研网
中国物候观测网络	中国科学院	39	植被类型区植物、动物和气象水文等物候现象	科研网
中国森林生态系统定位研究网络	林业部门	192	森林、草原生态系统观测研究	科研网

值没有得到充分挖掘,难以全面反映国家自然资源态势,在支撑自然资源变化动因机制、发展趋势研究、宏观判断和国家重大战略决策等方面还有待加强完善。

### 2.3 需求意义

自然资源是人类赖以生存和国家经济社会发展的物质基础,也是人民群众幸福生活的基本保障。人类社会的发展史就是一部改造和利用自然资源史<sup>[8-10]</sup>。随着人类需求的不断增长,自然资源消耗呈现加剧的趋势,带来了一系列资源环境问题,成为制约人与自然和谐发展的障碍性因素<sup>[11-13]</sup>,如黄土高原水土流失、草地荒漠化、华北平原地下水

紧缺等,以上环境问题,归根到底是资源过度开发、粗放利用、奢侈消费造成的<sup>[14]</sup>。同时,要遵循自然生态系统运行规律,实施国土空间有效治理,恢复、修复重要生态安全屏障和生态功能区;迫切需要研究全球气候变化背景下冰川冻土变化、水平衡、生态系统退化等变化规律及其相互影响,为自然资源重大决策提供科学依据。

因此,以自然资源综合观测体系为抓手,构建形成控制全国自然资源三级以上区划单元的自然资源要素综合观测站网,获取资源间耦合作用过程、变化趋势和速度等关键数据,从国家、区域、景观等不同尺度对自然资源可能发生的变化进行预



测、预警,为管理者和决策者制定预案、响应机制、减轻或消除风险提供科学依据,对于掌握资源现状,预判未来状态,支撑《自然资源调查监测总体方案》和《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》实施,服务山水林田湖草整体性保护与系统性修复、国土空间规划与用途管制等领域提供科技支撑。

### 3 中国自然资源要素综合观测网络构建的基本思路与原则

#### 3.1 基本思路

坚持“山水林田湖草命运共同体”理念,以自然资源问题和管理需求为导向,形成法规依据、观测指标、分类标准、技术规范和数据平台统一的自然资源要素综合观测工作机制。以自然资源科学和地球系统科学为理论基础,建立自然资源分类标准体系、多尺度-多要素-全天候的观测指标体系、天-空-地立体观测技术体系;坚持合作共享,试点引领,利用融合共建、改建升级、空白添建3种模式,构建布局合理、体系完整的自然资源要素综合观测体系。依托自然资源“一张网”,加强智能化观测装备自主创新和信息化建设,通过自然资源各要素动因机制研究和耦合关系模型模拟,揭示其演变趋势,与摸清自然资源家底的调查和跟踪掌握自然资源变化的监测形成互补,服务自然资源统一管理,为自然资源预测预判预警和管理决策提供科技支撑。

#### 3.2 基本原则

##### 3.2.1 统筹规划,分步推进

按照中国自然资源管理的科技需求,以服务解决国家重大资源环境问题为根本出发点,综合考虑区域代表性和基础条件,加强自然资源综合观测体系建设的顶层设计,基于当前观测网建设现状,选取重点区域、针对区域内的重大自然资源问题,开展自然资源要素综合观测,积累经验,建立示范,逐步将成熟模式推广至全国。

##### 3.2.2 统一标准,规范管理

按照统一的建设运维、观测指标、观测技术方法、观测数据标准规范等内容,以期满足自然资源管理“一张网、一张图、一个平台”的应用需求。

##### 3.2.3 开放共享,协同合作

全面贯彻落实开放共享发展理念,加强深度合

作交流,打破行业 and 部门壁垒,加强科研设施、科学数据等科技资源共享,强化与国家科技资源共享服务平台等科技创新基地的有效衔接,形成互为补充、协同合作的工作机制,实现观测数据、仪器设备和基础设施等资源的联网与共享。

## 4 体系总体框架

聚焦服务自然资源“两统一”管理需求,瞄准解决认识自然资源变化规律、预判发展趋势的基础数据支撑能力不足问题,在构建覆盖全国自然资源三级区划观测站基础上,提出了要素、技术、质控、服务和运维体系五维一体总体框架,其中要素体系是基础,技术体系是核心,质控体系是关键,服务体系是根本,运维体系是保障,如图1所示。

### 4.1 要素体系

按照地下、地表和大气3种自然资源空间分布,以土壤、生物、水和气候4类资源为观测对象;从资源种类、数量、空间特征与结构、质量、开发利用程度及灾害、变化过程、模拟评价等方面入手,制定科学、全面、统一的观测指标。探索自然资源统一管理下的资源分类,建立观测指标分类规范标准。

### 4.2 技术体系

遵循中国自然资源地带性规律,以自然资源区划类型为单元,分梯次、级别建设各级各类观测站。围绕观测指标,以台站为依托,采用航天遥感、航空遥感、地面调查和定位观测等技术方式,按照统一标准规范和要求,探索自然资源变化规律和原因,比对历史和现在数据,预判资源未来状态等变化状况,通过微观与宏观尺度的观测和研究,形成自然资源区划、分层抽样统计、天-空-地立体观测技术、观测站布设方案和数据融合机制,完成观测站建设标准规范。

### 4.3 质控体系

融合地面观测、航空遥感、航天遥感等数据,统一标准规范、统一精度管理、统一基准原则、统一观测要求,运用数据管理技术,构建基于台站管理的三级质量管理体系、观测数据全过程管控体系和仪器设备标定管理体系等,最终形成自然资源要素综合观测质量管理体系;强化多源异构数据全过程质量管控,依托观测数据规范、观测规程规范和搭建观测网平台,实现自动、半自动和人工质量控制模式,

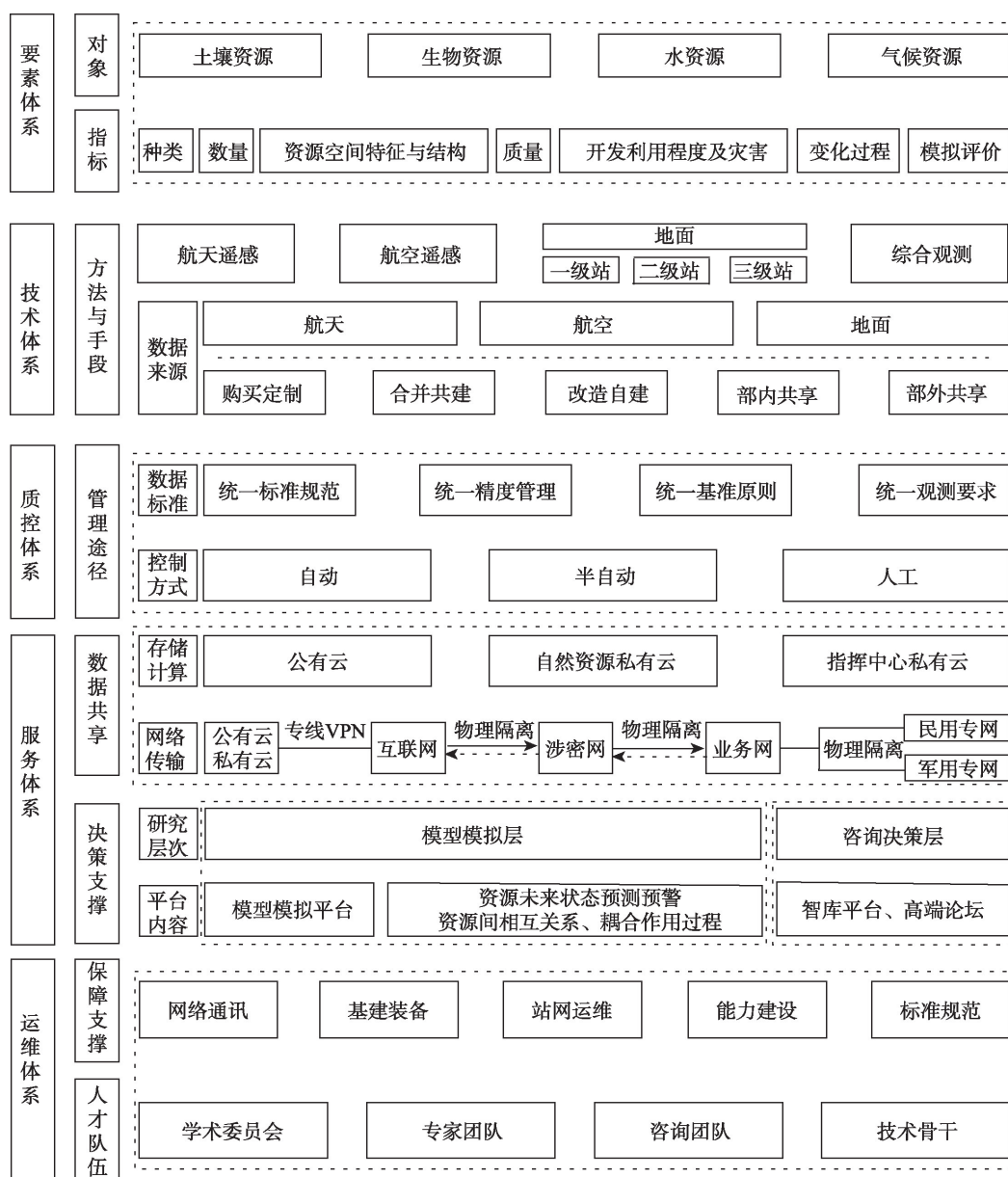


图1 自然资源要素综合观测体系总体框架

Figure 1 A general framework of natural resources comprehensive observation system

确保观测数据真实、可靠、准确。

#### 4.4 服务体系

按照公有云、私有云,运用物联网和保密安全等技术,通过野外观测站、样地观测仪器的组网以及观测站与数据中心的网络连接,实现各方、各类观测数据的汇集集成、云端存储和交换共享,形成综合观测体系运行管理规范和数据共享机制。依据模型模拟和智能分析技术,通过专家分析与模型模拟,对观测数据进行深入挖掘,研究各门类自然资源间的作用机理、变化动因机制和耦合平衡,并

对各类资源的空间结构进行分析,开展资源环境承载力评价、适宜性评价,最终形成观测成果、决策咨询等报告,为自然资源与生态功能区划、区域自然资源和生态环境安全提供决策支撑服务。

#### 4.5 运维体系

运维体系是保证观测站能够正常观测和获取准确、可靠数据的基础和前提。培养专业的运维管理和人才团队,依照有关规范和技术要求,做好所有仪器设备和观测场地的日常运行维护,确保观测工作连续正常进行;探索建立稳定的运维经费机

制、制度保障、基建装备等保障制度,不断完善观测站信息化、科技化建设,确保野外观测站能够连续观测和获取数据积累。同时,强化学术委员会、专家团队、咨询团队、技术骨干遴选和相关规章制度,创新工作模式,全面提升观测研究水平,服务自然资源统一管理和咨询决策能力水平。

### 5 关键技术分析

按照自然资源要素综合观测体系要实现覆盖全国一、二、三级自然资源综合区划单元的思路,利用自然资源综合区划与观测站布设技术,科学布局三级观测站网;根据自然资源的数量、质量和资源间耦合作用过程,按照模块化设计思路,科学遴选观测指标,开展长期、连续、稳定的野外观测和科学试验研究;利用多源数据融合、数据分析挖掘和模型模拟等技术,进行综合研究、科学评价,服务自然资源统一管理,实现观测站网构建、野外观测试验数据获取、模型模拟预测评价,形成科学认知成果和咨询报告,为新体制下自然资源管理重大问题研究与管理决策提供基本依据(图2)。

#### 5.1 自然资源综合区划与观测台站布设技术

中国幅员辽阔,自然环境呈现显著的地带性特征,各个地带上自然资源的类型禀赋和影响自然资源的因素有着显著的差别<sup>[15]</sup>。因此,科学合理选取

少量、典型的观测站(点),最大限度地掌握和了解中国自然资源的总体特征和变化趋势,需要准确科学划分自然资源区划和优化观测站(点)布设<sup>[16-19]</sup>。

目前,中国与自然资源相关的综合自然区划<sup>[20]</sup>、植被区划<sup>[21]</sup>、森林区划<sup>[22]</sup>、生态地理区划<sup>[23]</sup>、国家重点生态功能区<sup>[24]</sup>、生物多样性热点和关键地区<sup>[25]</sup>等研究比较深入,此类区划多侧重于生态功能或单一资源的区域划分,对自然资源综合特征及区域间差异涉及较少,但这些区划为下一步自然资源区划研究奠定了基础。

观测站(点)的布设要选用合理的方法和技术,具有科学性和代表性。很多学者在空间抽样方面进行了探索和研究,提出了最佳采样数计算公式、空间插值<sup>[26-29]</sup>、交叉验证、独立验证、统计优化方法<sup>[30]</sup>、空间抽样理论<sup>[31-32]</sup>、空间三明治抽样<sup>[33-35]</sup>等方法。本文在观测台站布设方法上选用了空间抽样中的空间三明治抽样法。该方法由相互独立的样本层、知识层和报告单元构成<sup>[35-37]</sup>,空间样本总体的估算精度由空间分布格局、样本布设方法和统计推断方法共同决定。在观测站(点)布设运用中具体思路是:①根据中国自然地理综合区划,构成知识层,结合最新的地带性自然资源分布现状和特征划分自然资源区划,消除对象空间的异质特征;②

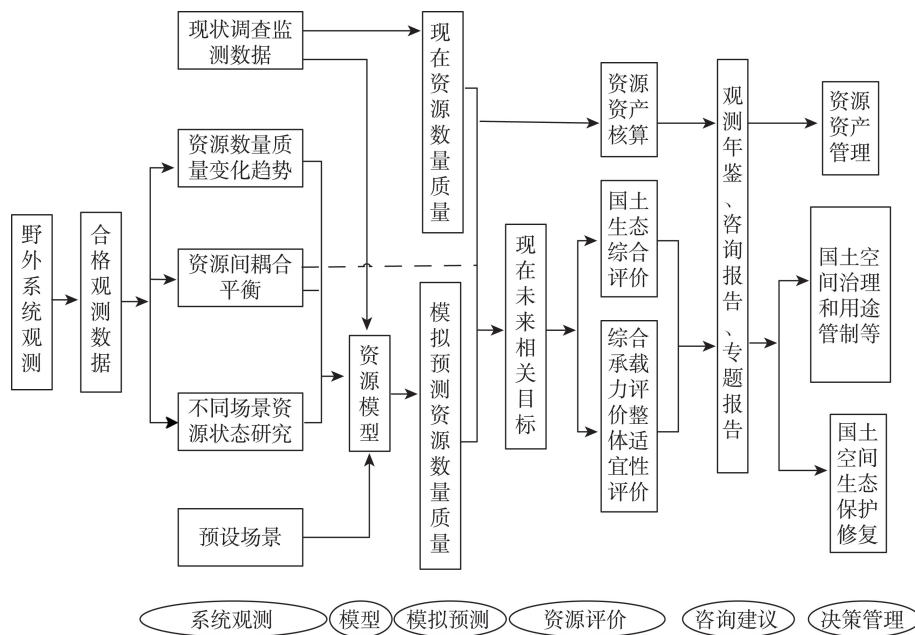


图2 自然资源要素综合观测体系支撑自然资源管理工作原理示意图

Figure 2 Illustration of the working principle of a natural resources comprehensive observation system to support natural resource management



2020年10月

利用多年遥感地表覆盖程度情况,结合全国第三次土地调查和森林、湿地、草原调查数据,定量构建每个分区内的自然资源空间变异模型和分区之间的相关模型;③根据分层异质性表面无偏最优估计方法,将影响自然资源的关键因素地表水的水系密度作为权重,构建自然资源观测网络优化目标公式,再采用空间模拟退火算法,按照不同的观测站(点)数组,形成多个观测方案,并与普通克里金方法平均估计误差方差最小为目标进行实验<sup>[38,39]</sup>,最终确定观测站(点)布设方案。

目前,没有自然资源综合区划图,为检验上述方法的有效性和科学性,本文采用中国科学院地理科学与资源研究所郑度院士等2006年绘制的“中国生态地理区划图”<sup>[23]</sup>作为自然资源分异性区划图(该区划图综合考虑了气温、水分和地貌类型等因素,能够相对较好地刻画自然资源的空间分异情况),陆地采用近10年的植被覆盖影像,海岸带采用夜晚灯光指数(一定程度上反映自然资源开发强度,自然资源开发利用强度间接反映自然资源空间分异区划)构建模型,通过分层异质性表面无偏最优估计方法计算结果,综合观测覆盖范围和经济成本考虑,最终观测站按照综合观测研究中心、一级站、二级站、三级站的金字塔型布设,实现控制全国三级自然资源区划,最大程度掌握中国自然资源的总体特征和变化趋势。

## 5.2 自然资源要素耦合机理与指标选取技术

观测指标体系是根据一定的规范、标准,能够更加科学全面反映观测对象特征的指标集合<sup>[40,41]</sup>,是实现观测对象的数据共享、科学对比研究的前提和基础,也是野外科学观测站建设的关键环节和重要内容。

按照《党的十八届三中全会重要决定辅导读本》《自然资源统一确权登记办法(试行)》《自然资源调查监测体系构建总体方案》和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,涵盖陆地和海洋、地上和地下。其中自然界中,矿产资源形成和变化是百万年尺度,不适合观测;大气的辐射、风、降雨对森林、草原、湿地、土地资源变化影响较大,综合观测必须考虑。因此,指标体系必须围绕可观测的自然资源,以自然资源变化动因机制和相互间的耦合作用为基础,充

分考虑气候资源-地表覆盖资源-土地资源-地下资源整体性、系统性,其形成和种类、数量、质量的变化相互制约、相互影响。其中,水是山水林田湖草生命共同体中最活跃、关键的因素,是整个自然资源系统中,联系各种资源的桥梁和纽带(图3),降雨(雪)受植被蒸腾,土地、水面蒸发,冰川升华,大气辐射、风等因素影响;植被蒸腾、土地蒸发、水面蒸发又受地下水、大气辐射和风影响;地下水又受降雨,地表和植被径流,土壤的毛管、膜状、吸湿作用渗透,地下径流等的影响。因此,按照上述4大类资源特征和相互作用过程的可观测内容,构建自然资源要素综合观测指标体系。

## 5.3 多源数据整合和数据处理技术

基于大数据、云计算和人工智能等信息技术,汇集自然资源要素观测科学数据,建立自然资源要素综合观测大数据中心,开展航天观测、航空观测、地面观测、合作共建站、部内共享等多源异构数据汇聚整合,建立大数据中心。以大数据中心的海量数据为基础,利用高性能计算机集群和可视化技术,构建仿真模拟、情景决策等试验平台,对各种原始数据进行分析、整理、计算、编辑等加工和处理,预判自然演化不同情景并提供可视化仿真环境,产出自然资源数量、质量变化情况和演化趋势的研判成果,实现自然资源定量化、精准化、智慧化管理和科学决策。

## 5.4 模型模拟技术与自然资源综合评价

目前,随着模型模拟技术日趋成熟和相关技术手段的不断完善,在自然资源综合评价方面,有以下3个方向需要深入讨论研究:

(1)自然资源间耦合关系:应用现代数据模型模拟和智能分析等技术手段,构建自然资源大数据分析处理技术体系,对自然资源各指标数据挖掘分析和计算机模拟,探索自然资源各要素动因变化机制,构建自然资源间耦合关系生命共同体认知、互馈、调控、保护和解析知识体系,丰富地球系统科学理论,建立生命共同体功能权衡协同模型、开发模拟预测和资源优化配置调控模型等,产出自然资源系统演化规律和生态环境退化机理等科学认知成果。

(2)自然资源的演变趋势预判与模拟:开展自然资源长期演变趋势、变率及幅度等特征预判,预

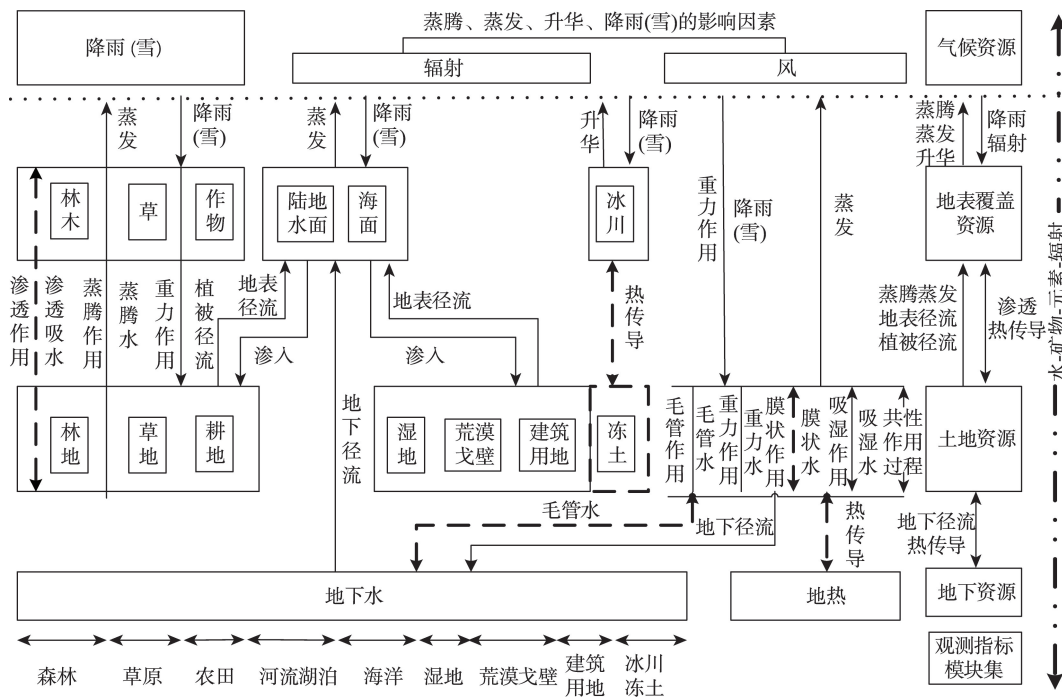


图3 水在自然资源系统中的“桥梁”作用示意图

Figure 3 Illustration of the role of water as a “bridge” in the natural resource system

估自然资源面临气候变化风险的影响,建立高精度的风险图谱,搭建集“潜力分析-过程模拟-效益评价”为一体的模拟系统。

(3)支撑自然资源资产考核评价:弥补中国自然资源变化趋势和动因机制的数据不足,建立有效的自然资源资产综合基础数据库<sup>[42,43]</sup>,形成从数据到指标、理论到实践,支撑探索自然资源资产负债编制技术途径,进一步使自然资源资产考核机制和评价内容更加丰富完善。

### 6 结语

构建自然资源要素综合观测体系是落实中国生态文明建设思想、“山水林田湖草生命共同体”发展理念的重要体现和现实需求,是为自然资源长期综合观测研究工作提供思路、方法和关键技术,对于服务自然资源量化、精准化统一管理和国家重大资源战略决策具有十分重要的意义。

本文围绕国家对自然资源管理需求,构建自然资源要素综合观测体系,围绕掌握大气资源、地表覆盖资源和地下资源的数量、质量和耦合作用过程等内容开展观测,按照自然资源区划和利用空间抽样统计技术布设一级、二级和三级观测站,并提出

了自然资源间耦合关系、自然资源的演变趋势预判与模拟和自然资源资产考核评价3个需要深入探讨的观测研究方向,期望能够为全国自然资源要素综合观测领域的研究起到抛砖引玉的作用。

由于自然资源要素综合观测体系是一项长期和重要的基础工作,实施过程中可能会有许多操作性、技术性等方面问题需要解决;完善综合观测体系是一个漫长的过程,更需要在实践中不断地探索、应用和总结经验,逐步丰富补充综合观测体系内容,提高其可行性、科学性、创新性,以期为新时期中国自然资源统一管理和解决自然资源与环境的重大问题提供科技支撑,为国家生态文明建设提供决策服务。

### 参考文献(References):

[1] 陆成宽. 自然资源要素综合观测体系开建[EB/OL]. (2019-12-18) [2020-06-01]. [http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218\\_2490347.html](http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html). [Lu C K. Construction of a Comprehensive Observation System for Natural Resource Elements[EB/OL]. (2019-12-18) [2020-06-01]. [http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218\\_2490347.html](http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html).]

[2] 中华人民共和国科学技术部. 国家野外科学观测研究站管理办



2020年10月

- 法[EB/OL]. (2018-07-03) [2020-06-01]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5346686.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5346686.htm). [Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. The Measures for the Administration of the National Wild Scientific Observation Station[EB/OL]. (2018-07-03) [2020-06-01]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5346686.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5346686.htm).]
- [3] 自然资源部. 关于印发自然资源科技创新发展规划纲要的通知[EB/OL]. (2018-10-16) [2020-06-01]. [http://gimnr.gov.cn/201811/t20181113\\_2358751.html](http://gimnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html). [Ministry of Natural Resources. Notice on Issuing the Outline of the Natural Resources Science and Technology Innovation Development Plan[EB/OL]. (2018-10-16) [2020-06-01]. [http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113\\_2358751.html](http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html).]
- [4] 高春东, 何洪林. 野外科学观测研究站发展潜力大应予高度重视[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 344-348. [Gao C D, He H L. Great importance should be attached to development potential of field scientific observation and research[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(3): 344-348.]
- [5] Zhou G Y, Liu S G, Li Z A, et al. Old-growth forests can accumulate carbon in soils[J]. Science, 2006, 314(5804): 1417.
- [6] Fang J Y, Yu G R, Liu L L, et al. Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of sciences, 2018, 115(16): 4015-4020.
- [7] Tang X L, Zhao X, Bai Y F, et al. Carbon pools in China's terrestrial ecosystems: New estimates based on an intensive field survey[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, 115(16): 4021-4026.
- [8] 张文驹. 自然资源一级分类[J]. 中国国土资源经济, 2019, 32(1): 4-14. [Zhang W J. The classification for natural resources[J]. Natural Resource Economics of China, 2019, 32(1): 4-14.]
- [9] 沈镭, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721-734. [Shen L, Zhang H L, Zhong S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the new era[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5): 721-734.]
- [10] 封志明. 资源科学的研究对象、学科体系与建设途径[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 742-752. [Feng Z M. Research object, discipline system and development approaches of resource science[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(6): 742-752.]
- [11] 傅伯杰, 牛栋, 于贵瑞. 生态系统观测研究网络在地球系统科学中的作用[J]. 地理科学进展, 2007, 26(1): 1-16. [Fu B J, Niu D, Yu G R. The roles of ecosystem observation and research network in earth system science[J]. Progress in Geography, 2007, 26(1): 1-16.]
- [12] 郝娟娟. 中国自然资源禀赋与经济发展关系研究[D]. 北京: 中央财经大学, 2015. [Hao J J. Research on the Relationship between Chinese Natural Resources Endowment and Economic Development, with the Discussing Theory of "Resource Curse" [D]. Beijing: Central University of Finance and Economics, 2015.]
- [13] 沈镭, 钟帅, 胡纾寒. 全球变化下资源利用的挑战与展望[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 1-10. [Shen L, Zhong S, Hu S H. Resource utilization under global change: Challenges and outlook[J]. Resources Science, 2018, 40(1): 1-10.]
- [14] 中共中央文献研究室. 习近平关于社会主义生态文明建设论述摘编[M]. 北京: 中央文献出版社, 2017. [Literature Research Office of the CPC Central Committee. Excerpts from Xi Jinping's Statement on the Construction of Socialist Ecological Civilization [M]. Beijing: Central Party Literature Press, 2017.]
- [15] 周璞, 侯华丽, 刘天科. 我国矿产资源综合区划模型与实证研究[J]. 中国矿业, 2016, 25(S2): 115-119. [Zhou P, Hou H L, Liu T K. Model and empirical study on comprehensive regionalization of mineral resources in China[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(S2): 115-119.]
- [16] 陆泗进, 王业耀, 何立环. 中国土壤环境调查、评价与监测[J]. 中国环境监测, 2014, 30(6): 19-26. [Lu S J, Wang Y Y, He L H. Soil environmental quality survey and monitoring in China[J]. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(6): 19-26.]
- [17] Teng Y G, Wu J, Lu S J, et al. Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review[J]. Environment International, 2014, 69: 177-199.
- [18] 殷守强, 王鑫, 贺文龙, 等. 耕地质量监测中不同抽样方法的精度比较: 以河北省黄骅市为例[J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2049-2057. [Yin S Q, Wang X, He W L, et al. Comparison of precision among different sampling methods in cultivated land quality monitoring: A case study of Huanghua City in Hebei Province, China[J]. Resources Science, 2016, 38(11): 2049-2057.]
- [19] 谢志宜, 罗小玲, 郭庆荣, 等. 耕地土壤环境质量监测网最优网格尺度识别研究: 以珠三角耕地土壤镉为例[J]. 生态环境学报, 2015, 24(9): 1519-1525. [Xie Z Y, Luo X L, Guo Q R, et al. Identify optimal grid scale on soil environmental quality monitoring network as an example of Cadmium in the Pearl River Delta[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(9): 1519-1525.]
- [20] 黄秉维. 中国综合自然区划草案[J]. 科学通报, 1959, 4(18): 594-602. [Huang B W. China's comprehensive natural zoning draft[J]. Chinese Science Bulletin, 1959, 4(18): 594-602.]
- [21] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980. [Wu Z Y. Chinese Vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1980.]
- [22] 江泽平, 王豁然, 吴中伦. 论北美洲木本植物资源与中国林木引种的关系[J]. 地理学报, 1997, 64(2): 169-176. [Jiang Z P, Wang H R, Wu Z L. North American trees grown in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1997, 64(2): 169-176.]
- [23] 郑度, 欧阳, 周成虎. 对自然地理区划方法的认识与思考[J]. 地理学报, 2008, 63(6): 563-573. [Zheng D, Ou Y, Zhou C H. Understanding of and thinking over geographical regionalization

- methodology[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 563–573.]
- [24] 中华人民共和国生态环境部. 关于加强国家重点生态功能区环境保护和管理的意见[EB/OL]. (2013–01–22) [2020–06–01]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201302/t20130201\\_245861.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201302/t20130201_245861.htm). [Ministry of Ecological Environment of the People's of Republic China. Opinions on Strengthening the Environmental Protection and Management of National Key Ecological Function Zones[EB/OL]. (2013–01–22) [2020–06–01]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201302/t20130201\\_245861.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201302/t20130201_245861.htm).]
- [25] 中华人民共和国生态环境部. 生物多样性保护热点问题[EB/OL]. (2010–01–14) [2020–06–01]. [http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/swdyx/2010sdx/sdzsh/201001/t20100114\\_184310.shtml](http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/swdyx/2010sdx/sdzsh/201001/t20100114_184310.shtml). [Ministry of Ecological Environment of the People's of Republic China. Hot Issues of Biodiversity Conservation[EB/OL]. (2010–01–14) [2020–06–01]. [http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/swdyx/2010sdx/sdzsh/201001/t20100114\\_184310.shtml](http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/swdyx/2010sdx/sdzsh/201001/t20100114_184310.shtml).]
- [26] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙. 黄河三角洲土壤盐分空间变异性与合理采样数研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 89–94. [Yao R J, Yang J S, Jiang L. Study on spatial variability and appropriate sampling quantity of soil salinity in Yellow River Delta[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 89–94.]
- [27] 樊燕, 刘洪斌, 武伟. 土壤重金属污染现状评价及其合理采样数的研究[J]. *土壤通报*, 2008, (2): 369–374. [Fan Y, Liu H B, Wu W. Evaluation to soil heavy metals' pollution and the study of reasonable sampling number[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, (2): 369–374.]
- [28] 阎波杰, 潘瑜春, 赵春江. 区域土壤重金属空间变异及合理采样数确定[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(S2): 260–264. [Yan B J, Pan Y C, Zhao C J. Spatial variability and reasonable sampling number of regional soil heavy metals[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(S2): 260–264.]
- [29] McGrath D, Zhang C, Carton O T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in silvermines area, Ireland[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 127(2): 239–248.
- [30] 谢云峰, 杜平, 曹云者, 等. 基于地统计条件模拟的土壤重金属污染范围预测方法研究[J]. *环境污染与防治*, 2015, 37(1): 1–6. [Xie Y F, Du P, Cao Y Z. Estimating the area of heavy metal contaminated soil using geostatistical conditional simulation[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2015, 37(1): 1–6.]
- [31] Lu A X, Wang J H, Qin X Y, et al. Multivariate and geostatistical analyses of the spatial distribution and origin of heavy metals in the agricultural soils in Shunyi, Beijing, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 425(3): 66–74.
- [32] 王圣伟, 冯娟, 刘刚, 等. 多嵌套空间尺度农田土壤重金属空间变异研究[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(6): 128–135. [Wang S W, Feng J, Liu G, et al. Multi-nesting spatial scales of soil heavy metals in farmland[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(6): 128–135.]
- [33] 郭澎涛, 李茂芬, 罗微, 等. 基于多源环境变量和随机森林的橡胶园土壤全氮含量预测[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(5): 194–202. [Guo P T, Li M F, Luo W, et al. Prediction of soil total nitrogen for rubber plantation at regional scale based on environmental variables and random forest approach[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5): 194–202.]
- [34] 王劲峰. 空间抽样与统计推断[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Wang J F. *Spatial Data Analysis Tutorial*[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [35] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2010. [Wang J F, Liao Y L, Liu X. *Spatial Data Analysis Tutorial*[M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [36] Wang J F, Haining R, Liu T J, et al. Sandwich estimation for multi-unit reporting on a stratified heterogeneous surface[J]. *Environment and Planning A*, 2013, 45(10): 2515–2534.
- [37] Ma A H, Wang J F, Zhang K L. Sampling survey of heavy metal in soil using SSSI[J]. *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information*, 2012, 38(2): 191–196.
- [38] Lv J S, Liu Y, Zhang Z L, et al. Identifying the origins and spatial distributions of heavy metals in soils of Ju Country (Eastern China) using multivariate and geostatistical approach[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(1): 163–178.
- [39] 张榆霞, 李宝磊, 施择, 等. 山区土壤重金属空间插值性能的改进[J]. *中国环境监测*, 2014, 30(5): 96–100. [Zhang Y X, Li B L, Shi Z, et al. The research on the spatial interpolation of heavy metals in soil by using an improved neural networks[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, 30(5): 96–100.]
- [40] 袁旭东, 武泽江, 凌鑫. 土地利用与管理形势观测指标体系研究[J]. *国土资源科技管理*, 2010, 27(3): 61–66. [Yuan X D, Wu Z J, Ling X. A research on observation index of land use and management situation[J]. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*, 2010, 27(3): 61–66.]
- [41] 陈思源, 张波, 曲福田. GIS支持下的城市地价动态监测体系建立方法初探: 以江苏省镇江市为例[J]. *资源科学*, 2005, 27(6): 65–70. [Chen S Y, Zhang B, Qu F T. Methodology for establishment of urban land price monitoring systems based on GIS: Taking Zhenjiang City of Jiangsu Province as an example[J]. *Resources Science*, 2005, 27(6): 65–70.]
- [42] 李倩. 中国将构建自然资源统一调查监测体系[J]. *国土资源*, 2018, 35(8): 14–15. [Li Q. China will establish a unified survey and monitoring system for natural resources[J]. *Land Resources*, 2018, 35(8): 14–15.]
- [43] 严竞新, 殷小庆, 陈骏, 等. 自然资源调查与监测标准现状分析[J]. *测绘标准化*, 2019, 35(4): 1–4. [Yan J X, Yin X Q, Chen J, et al. Analysis of the developments of standards for natural resources investigation and monitoring[J]. *Standardization of Surveying and Mapping*, 2019, 35(4): 1–4.]

# Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies

LIU Xiaohuang<sup>1</sup>, LIU Xiaojie<sup>2</sup>, CHENG Shubo<sup>3</sup>, GAO Xuemin<sup>4</sup>, YUN Wenju<sup>5</sup>, FU Yujia<sup>6</sup>

(1. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. School of Emergency Management, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 4. Department of Science and Technology Development, Ministry of Natural Resources, Beijing 100812, China; 5. Center for Land Management, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China; 6. School of Geophysics and Spatial Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Under the new situation of socioeconomic development in China, natural resource management is being transformed from managed by individual resources and single government departments into a centralized management of “two unifications” guided by the principle of “land, water, forest, agricultural field, lake, and grassland life community” of the earth system science. In this process, not only the impact on and planning of the ecological environment of the territorial space, but also the future state of resources must be considered to ensure the safety of major decisions in the country. Therefore, the construction of a national comprehensive observation system of natural resources is very important for the orderly development of the country’s ecological civilization. The construction of a nation-wide natural resources observation system is meaningful to a nation’s ecological progress. This research examined the traits and shortcomings of the Chinese and international observation networks. Based on the analysis, necessity, basic ideas, and principles of the system were developed. The framework of the observation network includes five parts: factors, technologies, quality control, services, and operation and maintenance. Four types of technologies are used, which include natural resources zoning and observation station layout technique, coupling mechanism of natural resource elements and indicator selection technique, multi-source data integration and data processing technique, and simulation technique and comprehensive evaluation of natural resources. The observation network will provide long-term, stable, and constant comprehensive observations of natural resources, in order to explore the coupling relationships of the factors of natural resources, driving factors and mechanisms of change, and trends. The network serves to protect and manage the environment of the country, provide data support for solving the global climate issues, and finally to contribute to the nation’s centralized management of natural resources and resource-related strategic decisions.

**Key words:** comprehensive observation system; unified management; natural resources; general framework; key technologies; security; basic data