

doi: 10.12029/gc20220402

付宇佳, 谭昌海, 刘晓煌, 孙兴丽, 袁泽民, 郑艺文. 2022. 自然资源定义、分类, 观测监测及其在国土规划治理中的应用[J]. 中国地质, 49(4): 1048–1063.

Fu Yujia, Tan Changhai, Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Yuan Zemin, Zheng Yiwen. 2022. Definition, classification, observation and monitoring of natural resources and their application in territorial planning and governance[J]. *Geology in China*, 49(4): 1048–1063(in Chinese with English abstract).

自然资源定义、分类, 观测监测及其 在国土规划治理中的应用

付宇佳^{1,2}, 谭昌海^{3,2}, 刘晓煌^{4,2}, 孙兴丽⁵, 袁泽民⁴, 郑艺文⁶

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074; 2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室, 北京 100055; 3. 中国地质调查局应用地质研究中心, 四川 成都 610036; 4. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 5. 河北地质大学自然资源资产资本研究中心, 河北 石家庄 050031; 6. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要:【研究目的】为摸清中国资源家底、认清资源变化规律、管好国土用途, 解决现有自然资源内涵不一、分类上存在差异、在数据获取上不统一、资源管理分属不同部门导致的资源在空间管理上交叉重叠等问题。【研究方法】本文采用文献综述法对自然资源的定义、分类及有关资源观测监测指标的相关文献进行梳理。【研究结果】(1)明确了观测监测体系下的自然资源是自然状态或未被加工的状态下通过生产能够产生价值的资源, 可将其分为气候资源、地表覆盖资源及地下水资源 3 类开展研究; (2)总结得到自然资源综合观测与监测的对象、内容及观测方法; (3)分析自然资源观测监测在资源间及资源与环境间、资源资产管理、生态环境修复上的具体作用。【结论】文章最后指出自然资源观测监测是研究资源间、资源与环境间作用, 资源资产管理以及生态环境修复中不可缺少的技术手段。

关键词: 自然资源; 观测; 监测; 生态环境; 国土规划

创 新 点: (1)明确了自然资源的定义, 解决自然资源在部门管理上、分类上以及数据获取上不统一的问题; (2)分析自然资源观测与监测的内容和指标, 结合系统调查、观测实验、预测模拟、监测评价“四位一体”的探测技术, 有效掌握自然资源家底、进行资源资产管理, 研究资源间、资源与环境的相互关系, 在国土规划治理中发挥作用。

中图分类号: P96; TU982 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2022)04-1048-16

Definition, classification, observation and monitoring of natural resources and their application in territorial planning and governance

FU Yujia^{1,2}, TAN Changhai^{3,2}, LIU Xiaohuang^{4,2}, SUN Xingli⁵, YUAN Zemin⁴, ZHENG Yiwen⁶

(1. School of Geophysics and Spatial Information, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China; 3. Research Center for Applied

收稿日期: 2021-11-26; 改回日期: 2022-02-09

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20208064)资助。

作者简介: 付宇佳, 女, 1997, 硕士生, 主要从事自然资源学、地理信息系统和遥感技术应用研究; E-mail: fuyujia@cug.edu.cn。

通讯作者: 刘晓煌, 男, 1972, 博士, 高级工程师, 主要从事自然资源学、基础地质学和矿床学研究; E-mail: liuxh19972004@163.com。

Geology, China Geological Survey, Chengdu 610036, Sichuan, China; 4. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 5. Hebei University of Geosciences, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 6. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: This paper is the result of natural resource survey engineering.

[Objective] At present, there are many problems, such as the different connotations of natural resources, the differences in classification, the inconsistency in data acquisition, and the overlapping of resources in spatial management caused by the different departments of resource management. We need to solve above-mentioned problems to investigate the situation of resources in China to recognize the variation laws of resource, and to manage utilization of territory. **[Methods]** This paper adopted the method of literature review to sort out the definition, classification and observation and monitoring index of natural resources. **[Results]** (1) We clarified the conception of natural resources under the observation and monitoring system which were resources that could generate value through production in natural state or unprocessed state. They were divided into three categories: Climatic resources, surface cover resources, and groundwater resources; (2) We summarized the object, content and observation method of the comprehensive observation and monitoring of natural resources; (3) We analyzed the role of natural resource observation and monitoring in resources assets management and ecological environment restoration with examples. **[Conclusions]** Based on the analysis above, this paper pointed out that natural resources observation and monitoring were indispensable technical means to study the interaction between resources, resources and environment, resource asset management, and ecological environment restoration.

Key words: natural resources; observation; monitor; ecological environment; territorial planning

Highlights: (1) Clarify the definition of natural resources and solve the problem of inconsistencies in the management, classification, and data access of natural resources; (2) The content and indicators of natural resource observation and monitoring are analyzed, combined with the "four-in-one" detection technology of systematic survey, observation experiment, prediction simulation, monitoring, and evaluation, effectively grasping the natural resource base, carrying out resource asset management, studying the interrelationship between resources, resources, and the environment, and playing a role in land planning and governance.

About the first author: FU Yujia, female, born in 1997, master candidate, engaged in natural resources, geographic information systems and remote sensing technology applications; E-mail: fuyujia@cug.edu.cn.

About the corresponding author: LIU Xiaohuang, male, born in 1972, doctor, senior engineer, engaged in natural resources, basic geology and mineral deposits; E-mail: liuxh19972004@163.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. DD20208064).

1 引言

自然资源作为生态和经济可持续发展的物质基础,其结构复杂、区域差异明显。而自然资源的不合理利用会导致生态环境污染的加剧,酸雨污染、臭氧层耗损、生物多样性锐减等问题频繁发生,阻碍人类社会的发展。

面对这种情况美国、俄罗斯、加拿大等资源大国对自然资源实施了综合管理,其中美国地质调查局(USGS)在2021年1月颁布新的十年科学战略《美国地质调查21世纪科学战略(2020—2030)》,该战略将观测、模拟、评估、预测等技术方法融合,掌握人与自然资源相互作用的现状及动态过程,取得了比

较好的成果(苏轶娜等,2016;陈静等,2018;杨杰等,2018;秦齐等,2021)。中国同为资源大国,由于资源管理与用途管制分属于不同的部门,各部门的管理与规划要求不同,因此不同部门对自然资源的定义与分类也不同。这种现状不但不利于自然资源的保护、开发和利用,引发社会经济的可持续发展问题(谷树忠等,2011;垄健等,2020),而且还会导致同一资源各部门数据不一致等问题的出现(孙兴丽等,2020;袁承程等,2021)。

在上述背景下,2018年中国提出组建自然资源部,将原国土资源部等8个部委的管理职责整合;2018年10月自然资源部下发《自然资源科技创新发展规划纲要》(自然资发〔2018〕117号)将“自然资源

要素综合观测网络工程”列入十二大科技工程之首;2020年1月自然资源部印发了《自然资源调查监测体系构建总体方案》(自然资发[2020]15号),这些初步的统一和规定说明自然资源观测监测是进行国土规划治理中的重要手段,它们的的目的都是着力解决自然资源所有者不明确、空间规划重叠等问题(孙兴丽等,2020),实现对生态环境的保护和修复。但在上述初步的统一和规定中,自然资源定义、分类以及观测监测的内涵和外延在学术层面、管理层面、技术层面仍然存在诸多不明确的问题(叶远智等,2019)。而自然资源作为观测、监测的研究对象,明确其内涵和分类是进行自然资源观测、监测的前提。因此,本文首先对现有自然资源内涵及分类进行总结,梳理观测监测下自然资源的分类体系,再分析自然资源观测监测的内容与指标,研究自然资源观测监测在国土规划治理中的应用。

2 自然资源系统的内涵及分类

2.1 自然资源基本内涵

明确自然资源的基本内涵是认识自然资源、合理开发利用和保护自然资源的前提。当前,关于自然资源的概念不同的学者有不同的认识。

孙鸿烈等一类学者认为,只要它们能(或被认为能)满足人们需要、为人类提供福利的都属于自然资源(孙鸿烈,2000;蔡运龙,2008);而另一类学者认为,自然资源仅指天然存在的、未经人类加工的资源或能量(辞海编辑委员会,1980)。两者的主要区别是前者不仅包含了天然存在的资源还包括了经加工能给人类提供福利的资源,而后者必须是未经加工的资源。中国《党的十八届三中全会重要决定辅导读本》中提出的自然资源内涵与后一类学者观点类似,认为自然资源是天然存在、有使用价值、可提高人类当前和未来福祉的自然环境因素的总和。

中国在实行自然资源两统一管理时提出统一行使全民所有自然资源资产所有者职责。根据上述管理需求,作为观测、监测对象的自然资源可以概括为自然状态或未被加工的状态下通过生产能够产生价值的资源。也就是说不能被人类利用的或能被利用但不能产生价值的物质不是自然资源,例如空气等。这里的自然资源是可资产化、资本

化、货币化、产权归属明确的资源。自然资源首先被认识和发现,然后再通过开发、投资、运营等一系列的市场手段实现资产化、资本化和货币价值化(袁广达等,2021)。由于资源是动态的,所以随着人类社会和科技进步的发展自然资源也许会发生变化。

这里谈到资源就不可避免的要提及环境和生态,资源、环境、生态它们三者不仅有各自的内涵还有着紧密的联系,是生态文明建设的重要内容,也是自然资源部管理范围内的核心内容。

资源、环境、生态对于人类有不同的功能。其中“资源”一般指代“自然资源系统”,是能被人利用的、除人以外的其他生物资源和非生物自然资源。“环境”泛指“自然环境系统”,是与人类发展和生活相关的自然因素,一般如果以人为主体,那么人以外与人有关的都是环境;如果以动物为主体,那么动物以外与动物有关的都是环境(地理信息系统名词审定委员会,2012;管理科学技术名词审定委员会,2016),一些自然环境要素在一定条件下可以转换为自然资源。“生态”多数指“自然生态系统”,主要研究生物之间以及生物与非生物环境之间的相互关系,即生物与自然环境间的物质循环和能量流动(全国科学技术名词审定委员会,2009)。尽管它们各自的功能不同,但三者关系是密不可分的,其中资源是环境和生态中不可缺少的一部分,自然资源间的耦合、资源与生态环境互馈作用见图1。各

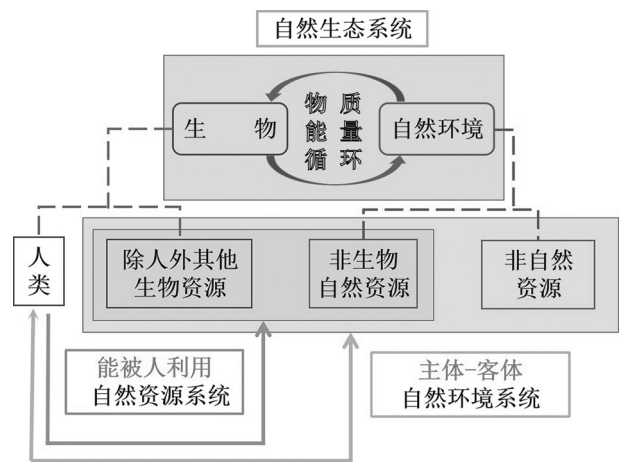


图1 自然资源间耦合、资源与生态环境互馈作用
Fig.1 The coupling between natural resources and the mutual feeding between resources and ecological environment

表1 现有的自然资源分类体系

Table 1 The existing natural resource classification system

分类角度	分类依据	分类结果	优缺点
以学理为基础	自然资源的分布	陆地资源、海洋资源	理论性强,但与资源管理的衔接不足,无法满足资源管理的需求
	地球圈层的分布	矿产资源(地壳)、气候资源(大气圈)、水资源(水圈)、生物资源(生物圈)、土地资源(地表)	
	自然资源固有属性	耗竭性资源、非耗竭性资源	
	资源是否可再生	可再生资源、不可再生资源	
	
以法律规范为基础	《中华人民共和国宪法》	矿藏、水流、森林、山岭、草原、荒地、滩涂	法律中自然资源种类较多,内涵并不十分明确,部分资源类别存在重叠问题
	《民法通则》	矿藏、水流、森林、山岭、草原、荒地、滩涂、水面资源	
	《物权法》	矿藏、水流、森林、山岭、草原、荒地、滩涂、海域资源、野生动植物资源	
	
以管理实践为基础	林草局	森林资源、草原资源	各部门的分类标准和内涵不统一,导致依据分类标准开展的资源调查统计数据缺乏可比性
	土地部门	陆地自然资源分为建筑用地和非建筑用地(森林、草原、湿地、荒地、水面等)	
	

类自然资源要素的种类、数量、质量和丰富化组成特定的国土空间的自然资源配比,这种资源的配比在一定范围内的变化对生态环境的影响很小,但如果资源开发过度打破了原有的平衡生态就会出现环境问题(马震等,2021)。因此一切生态环境问题归根到底是自然资源的开发利用问题,在一定空间内的植物、土地还有水等各类自然资源要素通过物质流、能量流、信息流构成了相互作用的复杂的自然资源系统。

2.2 自然资源的分类

科学的自然资源分类体系是认识、利用、开发和保护自然资源的基础(邓锋,2019)。在科学的自然资源分类体系下,开展自然资源调查、监测、观测掌握自然资源的现状,利于对生态环境保护和修复、促进人类社会的可持续发展。将现有典型的自然资源分类体系进行总结,再分析自然资源观测体系中自然资源的分类情况。

当前现有的自然资源分类可以大体从三个角度去分析现有自然资源分类体系(表1)。孙洪烈等学者以学理为基础,依据自然资源事物的本质属性、自然资源的分布规律和自然资源存在的原因机理等,将自然资源按自然资源的分布、地球圈层分

布、自然资源固有属性和资源是否可再生进行分类(中国自然资源研究会,1985;孙鸿烈,2000;Haggett et al.,2001;陈百明等,2007;Rajović et al.,2017),以学理为基础的自然资源分类虽然理论性较强,但与实际管理的需要衔接不足,无法满足自然资源管理实践的需求(祁信舒等,2020);《中华人民共和国宪法》、《民法通则》、《物权法》等国家的法律法规以法律规范为基础进行自然资源分类,但法律中涉及的自然资源种类宽泛,内涵并不十分明确,部分资源类别间存在重叠现象(张凤荣,2019);水利、土地、林草、海洋、国情地理等各管理部门以管理实践为基础进行自然资源分类(陈长成等,2019),但由于各分管部门的管理需求不同,其分类标准和定义也没有统一,各部门管理分类标准开展的资源调查统计数据无法融合和对比利用。

观测监测体系中的自然资源分类要服从资源的整体性和自然性,保证空间上管理不重叠(孙兴丽等,2020)。因此,这里的自然资源根据空间分布位置在一级类上依据资源的空间属性划分为地下水资源、地表资源和气候资源,在二级分类上依据自然资源要素类别(某一空间属性中自然资源的种类)划分为个森林资源、草原资源、耕地资源等。与

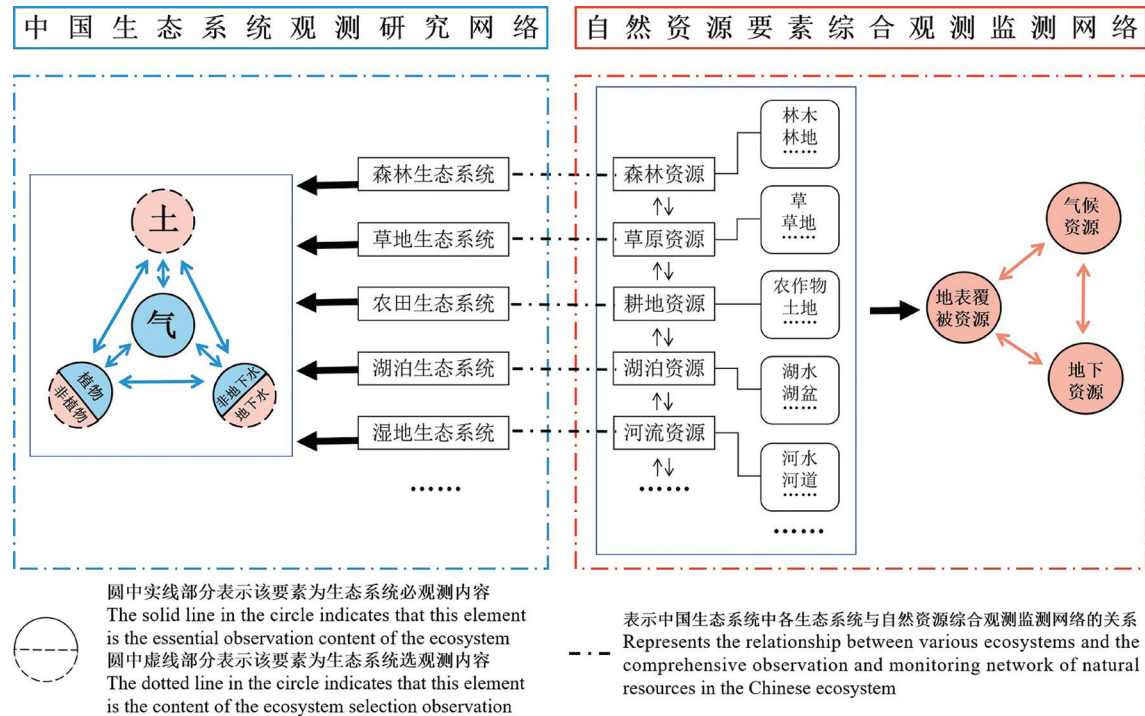


图2 自然资源要素综合观测监测网络与中国生态系统观测网络的关系

Fig.2 The relationship between natural resources observation and monitoring network and Ecosystem observation network in China

现有的自然资源分类不同的是这种划分方式避免了空间管理上的交叉重叠,例如在自然资源要素综合观测监测网络与中国生态系统观测网络的关系中(图2)将水资源划分为地表水资源和地下水资源,更便于利用不同的探测手段和技术方法对资源分别进行探测,将土地资源拆分为林地、草地、耕地等并将它们归属到相应的森林资源、草原资源、耕地资源等地表覆被资源中去分析,便于空间上更好管理。自然资源要素综合观测与现有中国生态系统观测研究对象不同,它是对区域内各类自然要素进行分析,了解区域内各自然资源要素之间、资源与环境之间的关系。中国生态系统中各生态系统与自然资源综合观测监测网络的关系,以森林生态系统为例,原始的森林生态系统研究林木林地、森林气候、森林水文的相互关系,而自然资源要素综合观测监测网络是以区域为单元研究所有地表覆被资源与气候、地下水资源的关系。

3 自然资源观测与监测的内容与实分析

3.1 自然资源观测监测的技术体系

观测、监测是自然资源数据获取、预测评估和

科学决策的基础手段,是研究自然资源不可缺少的技术方法,面对全球生态环境问题,各国都在开展生态系统观测监测研究。为贯彻习近平总书记生态文明思想和山水林田湖草生命共同体理念,2019年10月自然资源部启动“自然资源要素综合观测”工程,该工程主要服务于国家自然资源管理和生态文明建设,掌握自然资源基本状况、保障资源合理利用和可持续发展(钱建利等,2021)。

明确自然资源观测监测技术体系是开展综合观测的前提和基础,通过获取自然资源数量、质量变化和相互间耦合平衡过程的观测数据,掌握资源变化动因机制;利用模型模拟等技术,预测资源未来状态;评价预判区域资源的综合承载力、适宜性和安全保障程度,支撑国家生态文明建设和自然资源“两统一”精准化管理。自然资源要素综合观测监测网络技术体系见图3,主要包括观测体系、监测体系及数据共享一体化平台三部分。观测是在自然资源分类、区划、站网布设等基础上,通过空天地同步多尺度观测获取数据(张海燕等,2020;张贺等,2020),掌握各自然资源数量、质量的变化,深入研究资源变化机理及各资源间的耦合关系等,是自然资源要素综合观测网络的基础;监测是通过梳理

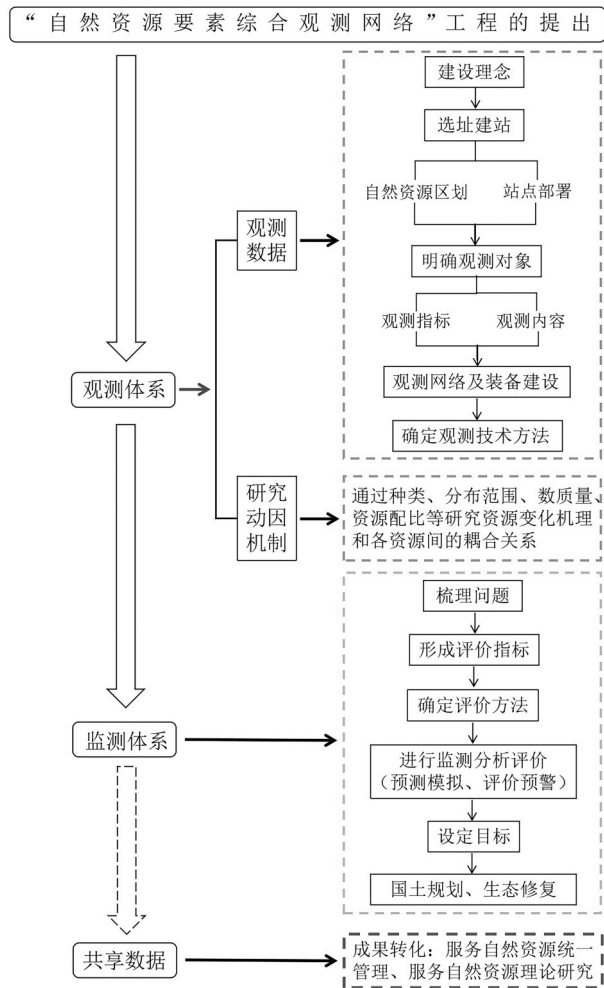


图3 自然资源要素综合观测监测网络技术体系
Fig.3 Technical system of comprehensive observation and monitoring network of natural resource elements

观测数据中的问题,从观测指标中抽取相应的预测、评价指标,确定评价方法进行预测模拟及评价预警,是进行国土规划和生态修复不可缺少的技术手段;数据共享一体化平台要确保数据的安全和质量控制,数据的共享、维护是进行长期连续观测自然资源要素的基本保障。整个自然资源要素综合观测监测网络做到了观测、监测、规划、治理,其中观测、监测互为补充,不可替代,可探究过去-现在-未来演替机理、预测模拟未来状态、进行监测评价预警,通过观测、监测手段来服务自然资源统一管理和理论研究,最终达到国土规划治理和生态环境修复的目的。

3.2 自然资源观测指标体系

观测通常是通过对事物本身的规律和现象进行研究获取相关的数据和科学的推断(阮智富,

2009;冯志纯,2010)。自然资源观测是以地球系统科学理论和山水林田湖草生命共同体发展理念出发,以气候资源、地表覆盖资源、地下水资源为观测对象(地表覆盖资源中的陆生植物是指陆生植物共性指标,像植物类型、数量、质量等(陆生植物包括了林木、草、作物等资源);土地资源是指土地资源共性指标,像土地类别、数量、特征以及土壤理化性质等(土地包括耕地、冻土、海滩等资源)。地表覆盖资源从共性和个性展开两个角度的指标观测,不仅可以掌握该地区土地(土地面积、土壤分层厚度等)和陆生植物(植被覆盖度、植被密度等)的共性问题,也可以对林木资源、草资源、作物资源、耕地资源、冻土海滩等个性资源展开研究),结合自然资源耦合关系观测资源间、资源与环境间的相互作用,采用空-天-地技术手段进行站点尺度上资源数量(土地面积、土壤分层厚度和牧草生产力等)、资源质量(土壤含水率、水体理化性质等)指标的观测,获取高分辨率、高频次、高精度观测数据,运用统计计算、数值分析等摸清自然资源的禀赋特征和生态环境的本底情况(刘晓煌等,2020;张贺等,2020)。

自然资源要素综合观测指标体系(表2),即可以反映某种资源的资源量又可以得到资源的品质和特性,解决了由于资源、生态、环境分属各部门导致数据碎片化的问题,形成一个系统化、规范化的自然资源观测网络。

在自然资源生态系统中,地表水、海水、冰川等资源受气温、风、光等影响,发生蒸发、升华、融化等作用;陆生植物、林木、草等资源受降水、气温、光等影响,发生散发、光合、蒸腾等作用;地表水与地下水发生相互补给;土地与林木、草等资源的发生水分供给和保育等作用。因此要想掌握自然资源变化的动因机制、发展过程和演化规律,建立自然资源耦合关系综合观测指标体系(表3)(张贺等,2020)是至关重要的,通过该体系可以从气候作用、非气候作用两方面对自然资源的动态变化及相互作用过程指标进行观测。

3.3 自然资源监测指标体系

监测一般指为达某种目的展开监视、监听和监督,并进行测试、测量和测验的评价过程。自然资源监测是通过观测数据发现问题,进行监测评价、预判发展趋势,有效服务于自然资源的资产化管理、资源

表2 自然资源要素综合观测指标体系

Table 2 Comprehensive observation index system of natural resource elements

观测对象	观测指标	观测内容	观测方法/设备
气候资源	云资源量	云量等	实地观测、气象卫星等
	大气水分资源量	铅直水汽通量、水汽通量散度、相对湿度等	CO ₂ /H ₂ O 大气廓线观测系统、涡动相关系统、空气温湿度传感器等
	云层状况	云状、云高、基本反射率等	实地观测、云高仪、天气雷达等
	大气能见度	能见度、最小能见度出现时间等	大气现象(能见度)仪等
	空气质量	CO、SO ₂ 、NO ₂ 、O ₃ 、气溶胶、甲烷等	空气质量监测站、气象卫星、三波长颗粒物浊度仪、CH ₄ /N ₂ O 等
光	太阳能辐射资源量	气温、积温、太阳高度角、光照度等	温度计、太阳辐射观测站等
	其他辐射量	长波辐射量、散射辐射量等	太阳辐射观测站等
风	风资源量	平均风向、平均风速、风能密度等	机械风梯度梯、二维超声系统、三维超声系统观测仪器等
	气压状况	最高气压、平均气压、平均水汽压等	动槽式、定槽式水银压力表
地表水资源	湖库水资源量	水域面积、岸线周长、水深等	卫星遥感解译、测深杆、声呐等
	江河水资源量	河流横截面积、流速、水位等	流速流向仪、自己水位计等
	湿地与沼泽资源量	湿地与沼泽面积、径流、蓄水量等	卫星遥感解译、实地测量等
	地表水理化生性质	水体理化性质(铁、锰、铜、锌等元素, 浑浊度、挥发性酚类、甲醛等)	取样实验室分析(电感耦合等离子体原子发射光谱法、散射法等)
水情	水情	含沙量、冰层厚度	超声脉冲测量系统、冰层厚度测量仪
	植物类型	植被类型、种类, 优势种等	实地观测等
陆生植物(共性)	植物数量	植被面积、高度等	卫星遥感解译、测高仪等
	植物质量	植被覆盖度、植被密度、植被指数等	多光谱冠层指数测量仪、卫星遥感解译、卫星遥感反演等
林木资源	林木数量	森林群落的胸高断面面积等	激光雷达等
	林木生长量	树高年均生长量、净初级生产力、维管束植物根系结构与生长动态等	激光雷达、实地观测、卫星遥感解译、植物根系生长监测系统
	林木质量	郁闭度、林冠结构、植物多样性指数、林木磷元素含量等	卫星遥感解译、冠层分析仪、实地观测、全自动化学分析仪等
草资源	牧草数量	牧草产量	实地观测结合遥感解译
	牧草载畜量	载畜量、放牧面积、放牧时间等	
	草生产力	草面温度等	铂电阻温度传感器
	牧草质量	粗蛋白质、粗脂肪、牧草水分等	取样实验室分析
作物资源	作物播种收获量	播种量、产量等	实地观测
	作物数量	地上部总干重、地下部总干重	电子秤、烘干箱等
	作物质量	分土层根密度、叶面积指数等	实地观测、冠层分析仪、电子秤等
	作物污染物含量	微量金属元素、苯并比等	取样实验室分析
冰川资源	冰川冰储量	冰川长度、宽度、密度、面积、厚度	实地观测、遥感解译
	积雪量	积雪面积、各雪层深度、雪水当量等	实地观测、遥感解译
	冰川及积雪质量	浅冰层温度、雪层温度、积雪血压、微粒物含量等	温度传感器、三角地观测、取样实验室分析等
	冰川水理化性质	铁、锰、铜、锌等元素, 浑浊度、挥发性酚类、甲醛、菌落总数等	取样实验室分析(电感耦合等离子体原子发射光谱法、电感耦合等离子体质谱法、散射法等)
海水资源	海水资源量	近海海域面积、测点平均海水深度	卫星遥感解译
	河流入海量	河流横截面积、水位、河流流速	走航式声学多普勒剖面仪、自记水位计、流速仪等
	海水理化性质	水体理化性质、海流流速、海况、照度、水下向上辐照度等	取样实验室分析、海流计、卫星遥感、照度计、水下剖面测量法等
土地资源(共性)	土地类别	土地类型	实地观测
	土地数量	土地面积、土壤分层厚度等	卫星遥感、实地观测等
	土地特征	地面坡度、坡向	实地观测、数字模型DTM
	土壤物理性质	土壤结构、质地、土壤比重、浅层地温等	实地观测、筛分法、环刀法、土壤三参数观测仪等
土壤化学性质	有机质、全氮、全磷、有效硅、土壤重金属(砷、镉、铬、汞、镍等)等	取样实验室分析(重铬酸钾氧化-容量法、凯氏法、比色法等)	
耕地资源	耕地类别	水田、水浇地、旱地	实地观测
	耕地数量	年耕地播种面积	卫星遥感解译
	土壤物理性质	田间持水量、最大吸湿水量、饱和导水率、通气孔隙度	离心机法、实验室测定、圆盘渗透仪法、环刀法等
	土壤化学性质	有机质、全氮、全磷、有效硅等	取样实验室分析

附表2

观测对象	观测指标	观测内容	观测方法/设备
地表覆盖资源	冻土资源量	冻土面积、冻土厚度、上下限深度等	实地观测、钻探布孔观测等
	冻土物理性质	冻土地温、土壤导温率、土壤导热率	温度探头、实验室测定
	冻土化学性质	易容盐含量、有机质含量等	取样实验室分析
	冻土强度特性	抗拉强度、抗剪强度、抗压强度等	三抽试验
	冻土冻胀特性	冻胀率、地表冻胀量、冻结层厚度	实地观测
海滩资源	海滩类别	海滩类型	卫星遥感
	海滩数量	海滩面积	卫星遥感
	海滩特征	潮间带坡度、岸线变迁特征、海滩长度、海滩平面形态等	卫星遥感、海雪橇等
	土壤理化性质	土地化学性质	取样实验室分析
	沉积物性质	表层沉积物颗粒、表层沉积物矿物组织、底质沉积物元素及粒子组成等	自动粒度分析仪、激光法等
地下水资源	地下水类别	裂隙水、孔隙水、溶洞-管道水等	实地观测
	地下水资源数量	补给量-消耗量	实地观测
	地下水径流量	水位高程、断面宽度等	实地观测
	水体理化生性质	水体理化性质、动力粘滞系数等	取样实验室分析、落球法实验等
	地下水环境	含水层岩溶分布	实地观测

系统平衡、区域资源-生态环境协调、空间适应性等问题的研究和未来资源状态预测模拟等需求,是自然资源要素综合观测监测网络中不可或缺的一环。

自然资源要素综合监测指标是具有不确定性和可扩展性的,它可以在自然资源资产价值评估核算、自然资源开发利用评价、自然资源承载力评价、生物多样性保护、国土空间治理与修复等多方面发挥作用。自然资源要素综合监测首先是在自然资源观测基础上获取长期、连续、精细化的资源现状、资源间耦合作用相关数据;其次利用模型模拟等技术手段,开展资源环境承载力与国土适宜性评价,支撑国土空间生态状态分析评价和生态保护红线及区域的划定;搭建“潜力分析-过程模拟-效益评价”为一体的模拟系统,实现对未来的可研、可预、可控;做到精准、高效的自然灾害预测预警,实现为相关部门进行自然灾害决策管理提供数据支撑和保障。为了更好地了解自然资源要素综合监测运用过程、思路和方法,在表4自然资源要素综合监测指标体系中举例说明针对具体问题监测指标有哪些。

3.4 自然资源观测监测实例分析

随着全球气候变暖、温室效应等现象的出现,人类经济社会可持续发展受到威胁。陆地生态系统中的碳对全球气候有着巨大的影响,而森林生态系统的有机碳储量占整个陆地生态系统碳储量的70%以上,因此森林系统碳储量研究是非常有必要的。下面以森林系统碳储量作为研究对象,分析自

然资源观测监测的具体内容。

基于森林资源的观测数据:(1)面向对象观测:主要是观测森林资源本身状况,通过实地观测、卫星遥感解译、测高仪测量、激光雷达等仪器和方法观测植被类型、数量、质量、生长量等情况;(2)面向区域观测:更加侧重观测森林与其他资源间的相互影响及耦合关系,通过实地观测、实验室取样分析、激光热脉冲法、环刀渗透法、树干茎流传感器等仪器和方法,对土壤的类型、数量及理化性质,森林的生境质量进行研究;通过自动气象站、激光雨滴谱仪等仪器对气候及气候作用的指标进行观测,掌握气候对森林的影响。

基于森林生态系统碳储量主要分布在植被、枯落物和土壤中,因此其估算主要来自森林土壤碳储量、森林枯落物碳储量及森林植被碳储量。土壤有机碳储量估算方法有土壤类型法、模型估算法、相关关系估算法等;森林枯落物碳储量估算方法有直接收集法、分层收割估测法等;森林植被碳储量估算方法有平均生物量法、涡度相关法等。表4是依据辽宁省森林生态系统碳储量研究(刘艳,2016)总结的监测估算指标及计算方法。

4 自然资源观测监测在国土规划治理中的应用

4.1 观测监测数据在国土规划中的应用

在改革开放之初计划经济向市场经济转变的

表3 自然资源耦合关系综合观测指标体系

Table 3 Comprehensive observation index system of natural resource coupling relationship

观测对象	观测指标	观测内容	观测方法/设备
气候与地表水	气温影响	水面面积	温度计
	蒸发	水面小型、大型蒸发量	小型蒸发器、大型蒸发桶
气候与陆生植物	气温影响	露点温度、有效积温、植物无霜期等	温度计、实地观测等
	散发	气孔导度、植物蒸腾效率	光合仪等
	光合	光合有效辐射量、净生态系统交换量、总光合作用生产力、空气负离子浓度等	光合有效辐射记录仪、闭路涡动相关系统、负离子浓度检测仪等
	固氮	固氮量	全自动化学分析仪
气候与林木	降水	林冠截留雨量	雨量筒
	散发	树干蒸腾量	树干茎流传感器
	升华	树冠截雪升华量	计算法
气候与冰川	气温影响	雪表面温度、冰表面温度、冰川水氢、氧同位素等	积雪变化观测系统、冰川高寒气象站等
	升华	冰表面升华量、积雪升华量、升华潜热等	闭路涡动相关系统、双波段大口径闪烁系统等
	融化	冰川上游端下游段海拔、冰川海拔、冰川平衡线等	实地观测结合卫星遥感解译
气候与海水	气温影响	海平面气温、气压	卫星遥感解译
	蒸发	海平面小型、大型蒸发量	实地观测
气候与土地	气温影响	地表温度	气温温度计
	热交换	土壤感热通量、土壤潜热通量	双波段大口径闪烁系统
	蒸发	土壤水分蒸发量	蒸发皿
	呼吸	土壤呼吸速率、土壤甲烷排放通量等	作物便携式土壤温室气体通量测量系统
	风蚀	土壤风侵量、风沙流输沙量等	风蚀圈法、风沙流输沙量测定仪
气候与冻土	气温影响	冻土地表温度	多年冻土温度观测系统
	热交换	活动层土壤感热通量、潜热通量等	多年冻土区活动层土壤水热观测系统
	升华	冻土表面升华量	
	呼吸	冻土碳通量	土壤温室气体通量测量系统
气候与海滩	凝固、融化	季节冻结、融化深度	手工取样钻
	气温影响	海滩地表温度	气温温度计
	热交换	土壤感热通量、土壤潜热通量	双波段大口径闪烁系统
	蒸发	土壤水分蒸发量	蒸发皿
	呼吸	土壤呼吸速率	土壤温室气体通量测量系统
地表水与土地	风蚀	土壤风侵量	风蚀圈法
	渗流	河床介质渗透性、河床渗流速度等	透水性测试仪、渗流仪等
	侵蚀、堆积作用	输沙量、中值粒径等	实验室烘干测定等
地貌改造	河道宽度、河流曲率、下蚀深度等		卫星遥感、雷达等
	地下水	潜水水位、河渠渗漏段面积、河渠渗漏量(上、下断面流量)、湖库入渗补给量、静止地表水氢、氧同位素(D、 ¹⁸ O)等	超声波水位计、卫星遥感解译、便捷式多普勒流速仪、同位素质谱仪等
土地与陆生植物	供给水分	根系径流值、根系分布形态等	作物根系生长监测系统
	呼吸	根系呼吸速率	作物便携式土壤温室气体通量测量系统
	保育	枯落物持水量	称重法
土地与林木	供给水分	树干液流密度、树干茎流量	激光热脉冲法、热扩散探针
	保育	枝干重、叶干重花果干重等	样地调查、实验室测重等
土地与草	保育	枯草干重、杂物干重	样地调查、实验室测重
土地与作物	供给水分	茎流量	茎流传感器
	保育	杂物干重、腐殖质厚度	样地调查、实验室测重
土地与地下水	渗透	壤中水径流量、土壤水氢、氧同位素、地下水向地表渗出量	地下水观测系统
冰川与地下水	融化	冰川融水截面积、冰川融水流速、冰川融水水位、冰川融水流向等	实地观测、流速流量计定点测、水位计定点观测等
冰川与土地	热量传递	热传导率	双波段大口径闪烁系统等
冻土	侵蚀、堆积作用	河流入海口输沙量、岸线侵蚀长度、侵蚀面积、最大侵蚀宽度	实地观测、卫星遥感解译
	地貌改造	海滩宽度	卫星遥感解译

表4 自然资源要素综合监测指标体系
Table 4 Comprehensive monitoring index system of natural resource elements

问题类型	拟解决的问题	解决问题所需指标
自然资源资产价值评估和资产核算	水资源资产价值评估和资产核算	湖库水资源量、江河水资源量、地表水理化生性质、水情等地表水资源观测指标;地下水类别、资源数量、径流量、地下水环境等地下水资源观测指标;地表水与地下水相互作用观测指标
	可开发森林资源资产价值评估和资产核算	植物类型、数量、质量等陆生植物资源观测指标;林木数量质量等林木资源观测者指标;气候与陆生植物相互作用观测指标
	牧草资源资产价值评估和资产核算	植物类型、数量、质量等陆生植物资源观测指标;牧草数量、载畜量及草生产力等草资源观测指标;气候与陆生植物相互作用观测指标

自然资源分等定级价格评估和开发利用评价	江河湖库分等定级及水质评估	湖库水资源量、江河水资源量、地表水理化生性质、水情等地表水资源观测指标
	农用地分等定级及土质评估	土地类别、数量、特征,土壤理化性质等土地资源观测指标;耕地类别、数量、理化性质等耕地资源观测指标
	作物资源分等定级	植物类型、数量、质量等陆生植物资源观测指标;作物数量、质量、播种收获量、污染物含量等作物资源观测指标

资源环境承载力、国土空间开发适宜性评价	牧草载畜能力评价	植物类型、数量、质量等陆生植物资源观测指标;牧草数量、载畜量、质量及草生产力等草资源观测指标;气候与陆生植物相互作用观测指标;土地与草相互作用观测指标
	土地资源承载力评价	土地类别、数量、特征,土壤理化性质等土地资源观测指标;耕地类别、数量、理化性质等耕地资源观测指标;气候与土地相互作用观测指标;土地与陆生植物、林木、草、作物、地下水相互作用观测指标

耕地和永久基本农田特殊保护	永久基本农田储备量	土地类别、数量、特征,土壤理化性质等土地资源观测指标;耕地类别、数量、理化性质等耕地资源观测指标
	耕地资源质量

生态预警监测、灾害预防治理	暴雨、融雪诱发的地质灾害预警	大气、光、风等气候资源观测指标;湖库水资源量、江河水资源量、地表水理化生性质、水情等地表水资源观测指标;土地类别、数量、特征,土壤理化性质等土地资源观测指标;气候与土地相互作用观测指标;冰川与地表水、地下水相互作用观测指标
	地下水过度开采引发的地面沉降	地下水类别、资源数量、径流量、地下水环境等地下水资源观测指标;土地与地下水相互作用观测指标
	海岸沉降和海水入侵预警	海水资源量、河流入海量、海水理化性质等海水资源观测指标;地下水类别、资源数量、径流量、地下水环境等地下水资源观测指标
	海洋生态灾害预警监测	海水资源量、河流入海量、海水理化性质等海水资源观测指标
.....
国土空间生态修复规划	水土流失程度及治理	湖库水资源量、江河水资源量、地表水理化生性质、水情等地表水资源观测指标;地表水与土地相互作用观测指标
	土壤修复治理	土地类别、数量、特征,土壤理化性质等土地资源观测指标
	退化林地生态修复	植物类型、数量、质量等陆生植物资源观测指标;林木数量、质量、生长量等林木资源观测指标

表5 森林生态系统碳储量监测估算
Table 5 Forest ecosystem carbon storage monitoring and estimation

森林土壤碳储量/kg	森林枯落物碳储量/kg	森林植被碳储量/kg
$SOC_i = C_i D_i E_i (1 - G_i) / 100$	$B_i = X_i \cdot S_i$	$B_t = aV + b$ $B_w = P_w \cdot S_w$
$Y_{\pm} = \sum_{i=1}^n SOC_i \cdot S$	$Y_{估} = \sum_{i=1}^n B_i \cdot C_i$	$B_c = P_c \cdot S_c$ $C = B \cdot C_c$
C_i —土壤有机碳含量(g/kg)	B_i —第 <i>i</i> 类林枯落物生物量	$C_i = C/S$
D_i —土壤容重(g/cm ³)	X_i —第 <i>i</i> 类林枯落物蓄积量	a, b —参数; V —森林蓄积量(m ³)
E_i —土层厚度(cm)	S_i —第 <i>i</i> 类林面积	Sw, Sc, S —疏林、灌木林, 经济林面积; 森林面积
G_i —直径大于2mm的石砾所占的质量百分数(%)	X_i —第 <i>i</i> 类林枯落物蓄积量	Pw, Pc —单位面积疏林、灌木林, 经济林生物量(Mg/hm ²)
SOC_i —土层 <i>i</i> 的有机碳密度(kg/m ²)	C_{ci} —第 <i>i</i> 类林碳率	C, C_c, C_d —碳储量(Mg), 含碳率, 碳密度(Mg/hm ²)
Y_{\pm} —森林土壤有机质碳储量	$Y_{估}$ —森林枯落物碳储量	$B_t, B_w, B_c; B$ —乔木林, 疏林、灌木林, 经济林生物量; 森林生物(Mg)
$Y = Y_{\pm} + Y_{估} + C$		
森林系统碳储量=森林土壤碳储量+森林枯落物碳储量+森林植被碳储量		

时期中国的国土规划被提出,国土规划是根据国家经济社会发展条件(战略方向、目标和规划区的自然、经济、社会、科学技术等),对国土空间中土地、森林、草原等自然资源的开发利用和保护。面对资源约束不断加剧、生态环境巨大压力等情况,国土开发的格局急需优化、质量有待提升,因此解决以上问题是进行国土规划的首要任务。为了解决上述问题,一是需要掌握资源的本底数据,通过研究资源的发展方向与变化速度来预测资源的未来状态;二是要掌握区域内自然资源的资源配比结构,分析自然资源间耦合、资源与生态环境的互馈作用。

自然资源观测监测是在统一的标准、数据、评价、管理及规划条件下,通过系统调查、观测实验、预测模拟、监测评价“四位一体”的探测技术,掌握自然资源现在家底进行资源资产管理,研究资源间、资源与环境的相互关系(陈汉,2001;郭晓东等,2021),分析区域资源-生态环境协调程度及空间适宜性,解决生态环境问题,为子孙后代留下生存根基。

(1)自然资源观测监测可以研究资源间、资源与环境间的作用

掌握各资源的现状、研究气候资源、地表覆被资源、地下水资源相互作用是研究资源间、资源与环境间作用的基础和关键,自然资源观测监测技术手段在研究资源间、资源与环境间作用中是不可或缺。梁帅等(2022)根据双阳河流域表层土壤、农作物及根系土、成土母质、土壤剖面、灌溉水、大气干湿沉降、人发等采样样品,研究土壤-作物-人体内部硒元素含量的分布。奚秀梅(2009)以遥感形象、

水文资料、气象资料等数据为基础数据,通过地学分析研究胡杨林的分布、水资源的分布以及两者之间存在的关系。因此,通过自然资源观测监测获取基础数据,在数据的基础上分析资源间的联系、寻找它们间的定量关系并对国土规划提出建设性建议,可以更好的对资源进行保护和合理利用。

(2)自然资源观测监测可以进行资源资产管理

资源的资产管理是在掌握资源现状的基础上运用一定的评估方法对资源进行资产价值评估。自然资源观测监测网络可以依据观测监测指标对森林、草原等资源及区域内与该资源相关的地下水资源、气候资源进行长时期、连续高精度观测,结合权威机构的社会公共数据对资源进行资产价值评估。王兵等(2009)依据涵养水源、保育土壤、固碳释氧、积累营养物质、生物多样性六大功能对中国杉木林服务价值物质量、价值量进行评估,分析了物质量、价值量的变化趋势以及不同省之间的相对差异,反映森林生态系统当前的状态,利于更好地管理杉木林充分发挥其生态服务价值。刘华等(2015)对塔里木河中游不同土地条件下怪柳灌丛的碳储量及其价值展开研究,分析影响碳储量的因素,不仅促进区域的经济的发展,而且为地区生物多样性保护和自然资源改善提供重要帮助。

4.2 自然资源观测监测在生态环境修复中的应用

生态系统是生物群落及其生存环境共同组成的动态平衡系统,它受气候、地理条件和人类活动等因素影响。中国的生态系统退化严重,制约了经济、社会和人类的可持续发展,因此中国开始不断

加大生态系统修复力度,进行生态环境保护修复工作(欧阳志云,2017)。生态环境修复大多是指受到干扰或损害的生态系统,遵循生态学的原理及规律,主要依靠自调节能力和适当的人为引导,遏制生态系统的进一步退化(焦士兴,2006)。

生态环境修复根据修复对象可以划分为土壤环境修复、水体环境修复、大气环境修复等,而实施生态环境修复的前提是调查清楚生态环境当前所面对的问题,再通过对资源的预测模拟及定性定量评价,结合物理、化学及生物学等技术措施,使被污染或被破坏的(有问题出现的)资源部分或全部恢复到原始状态,在修复中或修复后开展自动实时或者人工监测科学评估修复的结果。当前中国的生态环境修复对生态系统内部要素的相关性、区域社会经济与生态环境的协调性等内容的研究还比较缺乏,部门间对资源的管理空间上存在交叉重叠,缺乏系统的规划,这种现象使生态环境修复效果并不理想。自然资源观测监测网络工程改变了以往生态网络的单要素对象的局限研究,它以区域为对象研究区域内森林、草原等自然资源要素之间的耦合关系,通过修复受损的生态系统结构、提升生态系统的保护能力,维护和增强生态系统的多样性等服务功能,实现生态系统的可持续发展。

水体环境修复中地下水污染修复是在地下水流向流速、渗透性的基础下得知地下水污染物迁移方向、扩散速度掌握污染物迁移的特征,再对污染场地进行调查评价、修复监测的(费宇红等,2021)。对于土壤环境修复中重金属污染成为最突出的问题,土壤污染的现状和趋势已经非常严重,粮食减少、生态健康风险等问题随着土壤污染问题也不断出现(余涛等,2021)。土壤环境修复主要依据全国地球化学基准网分析指标及分析方法中的重金属元素检测方法、土壤环境质量评价分级(GB15618-1995)、《多目标地球化学规程》和《生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)》等国家、地方标准以及专家的经验总结,对土壤重金属环境质量、生物有效性、污染物成因、污染及潜在生物风险等方面进行分析评价(郭海全等,2011;管后春等,2013;崔邢涛等,2015;鄢光海等,2020)进行土壤环境的修复。因此,自然资源观测监测中的系统调查、观测实验是生态环境修复的支撑,预测模拟

和监测评价是进行生态环境修复的关键。

5 结 论

明确自然资源的基本内涵,进行自然资源科学合理的分类是认识自然资源、合理开发利用和保护自然资源的基础。进行自然资源一体化观测与监测是落实生态环境保护、“山水林田湖草生命共同体”的现实需求,是掌握自然资源现在家底及未来状况、研究资源间以及资源与环境的相互关系、解决生态环境问题的技术手段。

本文在现有自然资源定义的基础上展开梳理,明确观测监测下自然资源的定义,指出自然资源是可资产化、资本化、货币化和产权归属明确的;依据生态环境保护的要求,在保证资源的整体性和自然性的前提下,开展自然资源的合理分类;以气候资源、地表覆被资源、地下水资源为研究对象,构建自然资源要素综合观测指标体系、自然资源耦合关系综合观测指标体系以及自然资源要素综合监测指标体系,运用定点观测、抽样调查和空天遥感观测等技术手段,观测不同时间、空间尺度下各资源的数量质量变化,研究资源系统平衡、区域资源-生态环境协调和空间适应性问题;最后结合实例应用,说明自然资源观测监测是研究资源间以及资源与环境间作用、开展资源资产管理,进行国土空间规划和生态环境修复的基础和技术支撑,为国土规划治理和生态文明建设提供重要的技术支持。

References

- Cai Yunlong. 2008. Principles of Natural Resources Science[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Chen Baiming, Zhou Xiaoping. 2007. Explanation of current land use condition classification for national standard of the People's Republic of China[J]. Journal of Natural Resources, (6): 994-1003 (in Chinese with English abstract).
- Chen Han. 2001. Water resources utilization and ecological environment protection in northwest inland river basin[J]. China Geology, (3): 29-31 (in Chinese with English abstract).
- Chen jing, Chen Liping, Tang Wenhao. 2018. The main characteristics of American natural resource management system[J]. China Land, (6): 36-37 (in Chinese).
- Chen Zhangcheng, Deng Mulin, Zhu Jiang. 2019. Classification of natural resources for spatial planning[J]. Territory & Natural Resources Study, (5): 9-14 (in Chinese with English abstract).
- China Society of Natural Resources. 1985. Theories and Methods of

- Natural Resources Research[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Cui Xingtao, Wang Xueqiu, Luan Wanlou. 2015. An analysis of modes of occurrence and biological availability of the heavy metal elements in soil of the central and southern plain in Hebei[J]. *Geology in China*, 42(2): 655–663 (in Chinese with English abstract).
- Deng Feng. 2019. Classification and Economic Characteristics of Natural Resources[D]. China University of Geosciences (Beijing) (in Chinese with English abstract).
- Editorial Board of Dictionary. 1980. Dictionary(compact edition)[M]. Shanghai: Shanghai Lexicographical Publishing House (in Chinese).
- Fei Yuhong, Liu Yaci, Li Yasong, Bao Xilin, Zhang Pengwei. 2022. Prospect of groundwater pollution remediation methods and technologies in China[J]. *China Geology*, 49(2): 420–434(in Chinese with English abstract).
- Feng Zhichun. 2010. Dictionary of Modern Usage[M]. Publishers of Dictionaries in Sichuan Province (in Chinese).
- Fu Bojie, Li Shenggong, Yu Xiubo, Yang Ping, Yu Guirui, Feng Renguo, Zhuang Xuliang. 2010. Chinese ecosystem research network: Progress and perspective[J]. *Ecological Complexity*, 7(2): 225–233.
- Fu Bojie, Liu Yu. 2014. Global ecosystem observation and research programs: Evolution and insights for future development[J]. *Progress in Geography*, 33(7): 893–902 (in Chinese with English abstract).
- Fu Bojie, Niu Dong, Yu Guirui. 2007. The Roles of Ecosystem Observation and Research Network in Earth System Science[J]. *Progress in Geography*, (1): 1–16 (in Chinese with English abstract).
- Gong Jian, Li Jingye, Wei Zhaorong, Wang Xiangdong. 2020. Land use classification system and governance for unified management of natural resources[J]. *Planner*, 36(10): 42–49 (in Chinese with English abstract).
- Gu Shuzhong, Cao Xiaoqi, Zhang Liang, Niu Xiong, Qu Bing, He Shaowei. 2011. The evolution process and development direction of China's Natural Resources Policy[J]. *The Population of China & Resource and Environment*, 21(10): 96–101 (in Chinese with English abstract).
- Guan Houchun, Li Yunhuai, Peng Miaozi, Liu Daolin. 2013. The evaluation of heavy metal pollution and its potential ecological risk of urban topsoil in Huangshan City[J]. *Geology in China*, 40(6): 1949–1958 (in Chinese with English abstract).
- Guo Haiquan, Yang Zhihong, Li Hongliang, Ma Wenjing, Ren Jiufeng. 2011. Environmental quality and anthropogenic pollution assessment of heavy metals in topsoil of Hebei plain[J]. *Geology in China*, 38(1): 218–225 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xiaodong, Wang Xiaoguang, Liu Qiang, Wang Changqi, Xiao Changlai, Cheng Xuxue. 2021. Groundwater resources and ecological environment in Songhua River–Liaohe River Basin[J]. *Geology in China*, 48(4): 1062–1074 (in Chinese with English abstract).
- Haggett P. 2001. Geography: A Global Synthesis[M]. Harlow, England: Pearson Education.
- Jiao Shixing. 2006. Discussion on Several Related Problems to Eco-rehabilitation[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, (4): 127–129 (in Chinese with English abstract).
- Liang Shuai, Dai Huimin, Liu Guodong, Cui Furong, Liu Kai, Han Xiaomeng, Song Yunhong, Zhao Jun, Zhang Zhehuan. 2021. Geochemical characteristics and evaluation of ecological environment and human health of selenium in soil–crop–human system in Shuangyang river basin, Heilongjiang[J]. *Geology in China*, 49(4): 1064–1074(in Chinese with English abstract).
- Liu Hua, Dong Ling, Aijier Abula, Li Pijun, Jia Ruiqi, Wang Wenyue. 2015. Value of carbon sequestration of tamarix in the midstream of the Tarim River[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 37(3): 484–489 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiaohuang, Liu Xiaojie, Cheng Shubo, Gao Xuemin, Yun Wenju, Fu Yujia. 2020. Construction of a national natural comprehensive observation system and key technologies[J]. *Resources Science*, 42(10): 1849–1859 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yan. 2016. Study on Carbon Storage and Ecosystem Services Value Measurement of Forest Ecosystem in Liaoning Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhiyu. 2019. Construction and achievements of hydrological monitoring, forecasting and early warning systems in China[J]. *China Flood & Drought Management*, 29(10): 25–29 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yaling, Liu Nianlei, Cheng Xi, Jiang Hongqiang. 2017. Monitoring and early warning of atmospheric environmental carrying in Beijing–Tianjing–Hebei Region[J]. *The Population of China & Resource and Environment*, 27(S1): 36–40 (in Chinese with English abstract).
- Ma Zhen, Xia Yubo, Li Haitao, Han Bo, Yu Xuezhong, Zhou Yalong, Wang Yushan, Guo Xu, Li Hongqiang, Pei Yandong. 2021. Analysis of natural resources and environment eco-geological conditions in the Xiong'an New Area[J]. *Geology in China*, 48(3): 677–696 (in Chinese with English abstract).
- Management term for validation of Science and Technology Committee. 2016. Management of Science and Technology Terms[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Ministry of Natural Resources. 2018. Notice on Issuing the outline of the natural resources science and technology innovation development plan[EB/OL].[2018–10–16]. http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html (in Chinese).
- Ministry of Natural Resources. 2020. Investigation of natural resources

- monitoring system of the overall programme[EB/OL]. [2020-02-17]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200121_2498506.html (in Chinese).
- Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS. 2017. Cryosphere observation and research station of Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 32(10): 1169-1171 (in Chinese).
- Ouyang Yunzhi. 2017. Problems and countermeasures of ecosystem in China[J]. *China National Conditions and Strength*, (3): 6-10 (in Chinese).
- Peng Shouzhong, Zhao Chuanyan, Xu Zhonglin, Wang Chao, Liu Yiyue. 2011. Potential distribution of Qinghai Spruce and assessment of its growth status in the upper reaches of the Heihe River in Qilian Mountains of China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 35(6): 605-614 (in Chinese with English abstract).
- Qi Xinshu, Dong Wenqing, Min Tian. 2020. Research on the classification of geographical conditions monitoring in natural resource survey and monitoring[J]. *Geospatial Information*, 18(5): 26-28,6 (in Chinese with English abstract).
- Qian Jianli, Ni Shubo, Xu Duoxun, Zhangpei, He Haiyang, He Jianning, Liu Xiaohuang. 2021. An analysis of the importance of constructing a comprehensive observation network of natural resources elements[J]. *Natural Resource Economics of China*, (8): 28-36 (in Chinese with English abstract).
- Qin Qi, Liu Xiaohuang, Sun Xingli, Zhao Ruifen. 2021. Comparative analysis of the Earth Observation System between China and the United States and its implications to China[J]. *Natural Resource Economics of China*, (8): 28-36 (in Chinese with English abstract).
- Rajović G, Bulatović J. 2017. Natural resources, classification of natural potential, sustainable development[J]. *Word News Nat. Sci.*, 6:12-27.
- Ruan Zhifu, Guo Zhongxin. 2009. Modern Chinese Dictionary. The second volume[M]. *The Great Chinese Dictionary* (in Chinese).
- Su Yina, Wang Haiping. 2016. Natural resources management system in Russia and its implications[J]. *Chinese Academy of Land & Resource Economics*, 29(5): 54-58. (in Chinese with English abstract).
- Sun Honglie. 2000. *Encyclopedia of Natural Resources of China*[M]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS(in Chinese).
- Sun Xingli, Liu Xiaohuang, Liu Xiaojie, Gao Juan, Zhu Zhangliu, Zheng Wenyi. 2020. Classification system of natural resources for integrated management[J]. *Resource Science*, 42(10): 1860-1869. (in Chinese with English abstract).
- Terms of geographic information system validation Committee. 2012. *Terms of Geographic Information System*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- The Noun Validation of Science and Technology Committee. 2009. *Terms of Atmospheric Science*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Wang Bing, Cui Xianghui, Yang Fengwei. 2004. Chinese forest ecosystem research network (CFERN) and its development[J]. *Ecological Processes*, (4): 84-91(in Chinese with English abstract).
- Wang Bing, Ma Xiangqian, Guo Hao, Wang Yan, Leng Ling. 2009. Evaluation of the Chinese fir forest ecosystem services value[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 45(4): 124-130(in Chinese with English abstract).
- Wu Guanghai, Wang Chensheng, Chen Honghan. 2020. Eco-environmental assessment and genetic analysis of heavy metal pollution in the soil around the abandoned tungsten-molybdenum mine area in Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 47(6): 1838-1852 (in Chinese with English abstract).
- Xi Xiumei. 2009. Research on the Relation to Water and Vegetation in Tarim Huiyuan Nature Reserve[D]. Vrumqi: Xinjiang University. (in Chinese with English abstract).
- Xu Qiang, Dong Xiujun, Li Weile. 2019. Integrated space-air-ground early detection, monitoring and warning system for potential catastrophic geohazards[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 44(7): 957-966(in Chinese with English abstract).
- Yang Jie, Chen Liping, Zhang Yingxin. 2018. Institutions and functions of Canada's natural resource management department[J]. *Information Center of Ministry of Land and Resources*, (4): 9-15 (in Chinese with English abstract).
- Ye Yuanzhi, Zhang Chaomang, Deng Yi, Zhang Yu, Wang Jianbang, Zhang Jian. 2019. Research on the current situation and problems of natural resources monitoring and natural resources assets monitoring in China[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, (10): 23-29 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Chengcheng, Gao Yang, Liu Xiaohuang. 2021. Current situation and consummate suggestions for natural resources classification systems in China[J]. *China Geological Survey*, 8(2): 14-19(in Chinese with English abstract).
- Yuan Guangda, Wang Qi. 2021. The evolutionary cause and path of "ecological resources- ecological asset- ecological capital"[J]. *Finance and Accounting Monthly*, (17):25-32 (in Chinese).
- Yue Wenzhe, Wang Tianyu, Zhen Yanlin. 2020. Unified Zoning of territorial space use control derived from the core concept of "Three types of spatial zones and Alert-lines" [J]. *China Lands Science*, 34(5): 52-59, 68(in Chinese with English abstract).
- Zhang Fengrong. 2019. Establish a unified classification system for natural resources[J]. *China Lands*, (4): 9-10 (in Chinese).
- Zhang Haiyan, Fan Jiangwen, Huanglin, Tang Yulei, Yue Ying, Yang Yu, Liu Xiaohuang. 2020. Theories and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources in China[J]. *Resources Science*, 42(10): 1870-1882 (in Chinese with English abstract).
- Zhang He, Wang Shaoqiang, Wang Liang, Cheng Shubo, Jiang

- Zhenglong, Zhang Zifan. 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).
- Zou Changxin, Wang Yan, Wang Wenlin, Xu Delin, Lin Naifeng, Li Wenjing. 2018. Theory of mountain–river–forest–farmland–lake–grass system and ecological protection and restoration research[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 34(11): 961–967(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡运龙. 2008. 自然资源学原理[M]. 北京: 科学出版社.
- 陈百明, 周小萍. 2007. 《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报, (6): 994–1003.
- 陈汉. 2001. 西北内陆河流域的水资源利用及生态环境保护[J]. 中国地质, (3):29–31.
- 陈静, 陈丽萍, 汤文豪. 2018. 美国自然资源管理体制的主要特点[J]. 中国土地, (6): 36–37.
- 陈长成, 邓木林, 朱江. 2019. 面向国土空间规划的自然资源分类[J]. 国土与自然资源研究, (5): 9–14.
- 辞海编辑委员会. 1980. 辞海(缩印本)[M]. 上海: 上海辞书出版社.
- 崔邢涛, 王学求, 栾文楼. 2015. 河北中南部平原土壤重金属元素存在形态及生物有效性分析[J]. 中国地质, 42(2): 655–663.
- 地理信息系统名词审定委员会. 2012. 地理信息系统名词[M]. 科学出版社.
- 邓锋. 2019. 自然资源分类及经济特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 费宇红, 刘雅慈, 李亚松, 包锡麟, 张鹏伟. 2022. 中国地下水污染修复方法和技术应用展望[J]. 中国地质, 49(2): 420–434.
- 冯志纯. 2010. 现代汉语用法词典[M]. 成都: 四川辞书出版社.
- 傅伯杰, 刘宇. 2014. 国际生态系统观测研究计划及启示[J]. 地理科学进展, 33(7): 893–902.
- 傅伯杰, 牛栋, 于贵瑞. 2007. 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, (1): 1–16.
- 龚健, 李靖业, 韦兆荣, 王向东. 2020. 面向自然资源统一管理的国土空间规划用地分类体系及用途管制探索[J]. 规划师, 36(10): 42–49.
- 谷树忠, 曹小奇, 张亮, 牛雄, 曲冰, 何绍维. 2011. 中国自然资源政策演进历程与发展方向[J]. 中国人口·资源与环境, 21(10): 96–101.
- 管后春, 李运怀, 彭苗枝, 刘道彬. 2013. 黄山城市土壤重金属污染及其潜在生态风险评价[J]. 中国地质, 40(6): 1949–1958.
- 管理科学技术名词审定委员会. 2016. 管理科学技术名词[M]. 北京: 科学出版社.
- 郭海全, 杨志宏, 李宏亮, 马文静, 任久峰. 2011. 河北平原表层土壤重金属环境质量及污染评价[J]. 中国地质, 38(1): 218–225.
- 郭晓东, 王晓光, 刘强, 王长琪, 肖长来, 程旭学. 2021. 松花江—辽河流域地下水资源及其生态环境问题[J]. 中国地质, 48(4): 1062–1074.
- 焦士兴. 2006. 关于生态修复几个相关问题的探讨[J]. 水土保持研究, (4): 127–129.
- 梁帅, 戴慧敏, 刘国栋, 翟富荣, 刘凯, 韩晓萌, 宋运红, 赵君, 张哲寰. 2022. 黑龙江双阳河流域土壤–作物–人体系统中硒元素地球化学特征及生态环境与人体健康评价[J]. 中国地质, 49(4): 1064–1074.
- 刘华, 董玲, 艾吉尔·阿不拉, 李丕军, 贾瑞琪, 王文月. 2015. 塔里木河中游柽柳灌丛碳储量及其价值评估[J]. 江西农业大学学报, 37(3): 484–489.
- 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 高学民, 鄧文聚, 付宇佳. 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.
- 刘艳. 2016. 辽宁省森林生态系统碳储量及生态系统服务功能价值计量[D]. 北京林业大学.
- 刘志雨. 2019. 我国水文监测预报预警体系建设与成就[J]. 中国防汛抗旱, 29(10): 25–29.
- 卢亚灵, 刘年磊, 程曦, 蒋洪强. 2017. 京津冀区域大气环境承载力监测预警研究[J]. 中国人口·资源与环境, 27(S1): 36–40.
- 马震, 夏雨波, 李海涛, 韩博, 余学中, 周亚龙, 王雨山, 郭旭, 李洪强, 裴艳东. 2021. 雄安新区自然资源与环境–生态地质条件分析[J]. 中国地质, 48(3): 677–696.
- 欧阳志云. 2017. 我国生态系统面临的问题与对策[J]. 中国国情国力, (3): 6–10.
- 彭守璋, 赵传燕, 许仲林, 王超, 柳逸月. 2011. 黑河上游祁连山区青海云杉生长状况及其潜在分布区的模拟[J]. 植物生态学报, 35(6): 605–614.
- 祁信舒, 董文清, 闵天. 2020. 自然资源调查监测中的地理国情监测分类研究[J]. 地理空间信息, 18(5): 26–28+6.
- 钱建利, 倪舒博, 徐多勋, 张沛, 何海洋, 何建宁, 刘晓煌. 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, (08): 28–36.
- 秦奇, 刘晓煌, 孙兴丽, 赵瑞芬. 2021. 中美两国对地系统观测比较分析及对中国的启示[J]. 中国地质调查, 8(2): 8–13.
- 全国科学技术名词审定委员会. 2009. 大气科学名词[M]. 北京: 科学出版社.
- 阮智富, 郭忠新. 2009. 现代汉语大词典. 下册[M]. 汉语大词典出版社.
- 苏轶娜, 王海平. 2016. 俄罗斯自然资源管理体制及其启示[J]. 中国国土资源经济, 29(5): 54–58.
- 孙鸿烈. 2000. 中国自然资源百科全书[M]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所.
- 孙兴丽, 刘晓煌, 刘晓洁, 高娟, 朱樟柳, 郑文艺. 2020. 面向统一管理的自然资源分类体系研究[J]. 资源科学, 42(10): 1860–1869.
- 王兵, 崔向慧, 杨锋伟. 2004. 中国森林生态系统定位研究网络的建设与发展[J]. 生态学杂志, (4): 84–91.
- 王兵, 马向前, 郭浩, 王燕, 冷冷. 2009. 中国杉木林的生态系统服务价值评估[J]. 林业科学, 200, 45(4): 124–130.
- 邬光海, 王晨昇, 陈鸿汉. 2020. 内蒙古废弃铅矿矿区周围土壤重金属污染生态环境评价及成因分析[J]. 中国地质, 47(6): 1838–1852.
- 奚秀梅. 2009. 塔里木胡杨林保护区水资源及植被分布关系研究[D].

- 乌鲁木齐:新疆大学.
- 许强,董秀军,李为乐. 2019. 基于天-空-地一体化的重大地质灾害隐患早期识别与监测预警[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 44(7): 957-966.
- 杨杰,陈丽萍,张迎新. 2018. 加拿大自然资源管理机构及职能[J]. 国土资源情报, (4): 9-15.
- 叶远智,张朝忙,邓轶,张瑜,王建邦,张剑. 2019. 我国自然资源、自然资源资产监测发展现状及问题分析[J]. 测绘通报, (10): 23-29.
- 袁承程,高阳,刘晓煌. 2021. 我国自然资源分类体系现状及完善建议[J]. 中国地质调查, 8(2): 14-19.
- 袁广达,王琪. 2021. “生态资源—生态资产—生态资本”的演化动因与路径[J]. 财会月刊, (17):25-32.
- 岳文泽,王田雨,甄延临. 2020. “三区三线”为核心的统一国土空间用途管制分区[J]. 中国土地科学, 34(5): 52-59, 68.
- 张凤荣. 2019. 建立统一的自然资源系统分类体系[J]. 中国土地, (4): 9-10.
- 张海燕,樊江文,黄麟,汤宇磊,岳颖,杨玉,刘晓煌. 2020. 中国自然资源综合区划理论研究与技术方案[J]. 资源科学, 42(10): 1870-1882.
- 张贺,王绍强,王梁,程书波,姜正龙,张子凡. 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.
- 中国科学院西北生态环境资源研究院. 2017. 中国科学院青藏高原冰冻圈观测研究站[J]. 中国科学院院刊, 32(10): 1169-1171.
- 中国自然资源研究会. 1985. 自然资源研究的理论和方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 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[EB/OL].[2018-10-16] http://gi.mnr.gov.cn/201811/t20181113_2358751.html.
- 自然资源部. 2020. 自然资源调查监测体系构建总体方案[EB/OL]. [2020-02-17]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200121_2498506.html
- 邹长新,王燕,王文林,徐德琳,林乃峰,李文静. 2018. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究[J]. 生态与农村环境学报, 34(11): 961-967.