

引用格式: 钱建利, 杨斌, 张贺, 等. 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, 2020, 42(10): 1921-1931. [Qian J L, Yang B, Zhang H, et al. Development of an indicator system of wetland resources based on multidimensional comprehensive observation[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1921-1931.] DOI: 10.18402/resci.2020.10.09

# 基于立体综合观测的湿地资源观测指标体系构建

钱建利<sup>1</sup>, 杨斌<sup>2</sup>, 张贺<sup>3</sup>, 杨瀚文<sup>1</sup>, 郑林昌<sup>4</sup>, 谭昌海<sup>2</sup>, 代辛<sup>5</sup>

(1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 西安 710100; 2. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055; 3. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083; 4. 河北大学经济学院, 保定 071002; 5. 青海省社会科学院, 西宁 810000)

**摘要:** 探索建立湿地资源立体综合观测指标体系对湿地资源统一管理、理论研究和相关决策制定有重要意义。本文以自然资源“两统一”管理为指导, 从山水林田湖草生命共同体理念出发, 阐述了湿地资源立体综合观测系统框架和重要意义, 分析了国内外湿地资源观测现状, 结合湿地资源的独特性、复杂性和立体综合观测多尺度、多要素、系统性、动态性的特点, 提出了指标体系构建原则, 构建了以气候资源、生物资源、地表水资源、土壤资源、地下水资源5个一级指标18个二级指标31个三级指标构成的大气层—地表层—地下层湿地资源立体综合观测指标体系, 对湿地资源开展长期、连续、稳定的观测, 以期实现湿地资源管理从经验决策向数据决策转变, 湿地资源开发利用从粗放向科学精准转变, 从多资源要素保护向山、水、林、田、湖、草等资源全要素保护转变; 同时, 为解决当前湿地资源观测数据格式、标准不统一等问题, 进一步提升湿地资源观测数据开放度、共享度和联网研究的能力提供参考。

**关键词:** 湿地资源; 立体综合观测; 统一管理; 指标体系; 构建原则; 全要素保护

DOI: 10.18402/resci.2020.10.09

## 1 引言

湿地是地球表层独特的重要生态系统, 与森林、海洋等生态系统共同维系着地球表层生物多样性和生态平衡, 是功能独特不可替代的自然综合体<sup>[1]</sup>; 同时也蕴藏着丰富的气候、生物、土壤和水等资源, 形成了一个整体性强、关联度高的系统<sup>[2]</sup>, 具有涵养水源、蓄洪防旱、调节气候、净化环境等功能, 被誉为“地球之肾”, 受到广泛的关注和保护<sup>[3]</sup>。

随着经济社会的发展和人们对湿地资源掠夺性开发利用, 导致湿地资源数量减少, 面积加快萎缩, 破碎化程度、质量下降严重<sup>[4]</sup>, 使湿地自我恢复能力减弱, 动态平衡状态遭到破坏。根据2014年公布的第二次全国湿地资源调查结果显示, 与第一次

调查(2004年公布)同口径比较, 全国湿地面积减少了339.63万 $\text{hm}^2$ , 减少率为8.82%, 其中自然湿地面积减少了337.62万 $\text{hm}^2$ , 减少率为9.33%<sup>[5]</sup>, 对湿地资源的有效管理成为当前面临的一个非常严峻的问题。

近年来, 国内外学者针对湿地水体与土壤中的氮含量<sup>[6]</sup>、湿地植物的元素化学特征<sup>[7]</sup>、湿地水文过程及其对湿地生态的重要性<sup>[8]</sup>等, 开展了湿地生态系统结构、功能和生态要素等内容研究, 重点探讨湿地生态系统微观尺度变化规律和功能评价。同时, 为了支持、服务湿地宏观保护和修复, 加深对湿地生态系统结构和功能的认识, 许多国家和地区根据各自区域湿地类型、观测目标, 建立了相关湿地

收稿日期: 2020-06-04, 修订日期: 2020-08-11

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); 南水北调汉江流域陕西段水生态修复支撑调查项目(DD20208068); 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: 钱建利, 男, 宁夏固原人, 工程师, 研究方向为环境影响评价、自然资源综合观测。E-mail: qianjianli2009@sohu.com

通讯作者: 杨瀚文, 男, 陕西宝鸡人, 工程师, 研究方向为自然资源综合观测和矿产地质。E-mail: 306134832@qq.com

生态系统野外观测站,构建了各种观测指标体系,获取服务科研等相关数据,例如丹麦和瑞典学者针对湿地功能研究,制定了一套主要包括土壤和生物指标的观测指标体系;澳大利亚重点围绕湿地质量观测,提出了生物、水质和物理指标组成的指标体系<sup>[1]</sup>;中国科学院生态系统研究网络(CERN)针对湿地生态系统生产力、生物多样性等内容进行长期观测,构建了一套主要以水、土、气、生为观测要素的指标体系<sup>[9]</sup>。

总体来看,对于湿地各方面的研究已经取得了丰富的成果,也获取了大量观测研究数据,但是更多是从自然、生态角度出发,微观尺度研究较多,目前针对湿地“资源”属性、多要素之间的关联性和宏观尺度下的观测,以及从科研观测转向管理观测方面的研究尚显不足,尤其在湿地资源数量、质量变化的动因、机制和湿地资源系统中资源间耦合作用过程等方面的关键数据相对匮乏。此外,湿地生态系统观测站由不同部门管理,数据标准不统一<sup>[10]</sup>,存在“有数据不能用,无数据可用”的现象,成为当前迫切需要研究解决的问题。因此,基于新形势下湿地资源统一管理的新需求、新目标和空-天对地探测、物联网等技术的成熟,本文侧重从湿地“资源”属性和多尺度观测出发,着眼于开展湿地资源立体综合观测,尝试构建湿地资源立体综合观测指标体系,形成统一的观测指标、标准规范和方法技术,获取野外观测数据,研究湿地资源变化动因、机制、演化趋势和资源环境承载力等问题,以为湿地资源统一管理、保护利用和生态修复提供科技支撑。

## 2 湿地资源立体综合观测的特殊性和意义

湿地资源立体综合观测是基于天-空-地立体观测技术<sup>[11-13]</sup>,实现全要素、全过程、全天候、全尺度的综合观测,掌握湿地资源在多视角、多维度下的变化机制和演化趋势,为湿地资源管理和理论研究提供全面、系统的数据支撑。

### 2.1 立体综合观测的特点

湿地资源立体综合观测体系,既考虑湿地资源空间构成情况,又研究不同空间尺度上的状态,同时考虑湿地资源在时间尺度上的连续变化过程,是

一个三维视角下的立体综合观测(图1),具有多尺度、多要素、系统性、动态性特点。

(1)多尺度。立体综合观测尺度包括空间尺度和时间尺度。从空间尺度上看,通过航天遥感、航空遥感和地面观测等技术,不仅掌握湿地资源在国家或区域尺度上“看得见”的状态,如湿地面积、分布区域等,又能依托景观或站点尺度研究“看不见”的资源状态,如湿地资源数量、质量变化动因与机制等;从时间尺度上看,对湿地资源观测指标按照每天、每月或者每年不同观测频率进行长期、连续、稳定的观测,不断积累数据。通过这样的多尺度观测,可以掌握不同空间和时间上湿地资源过去状态和现在状态,还可以利用观测数据,预判湿地资源未来状态和变化趋势。

(2)多要素。从观测对象上看,湿地类型多样,结构复杂,包括湖泊、海滨、沼泽等,不同类型湿地差异性大,观测要素不一致;从观测要素上看,对于某种具体类型湿地而言,资源要素种类多,包含气候、生物、土壤和水等。因此,湿地资源观测要素众多,并且各要素对湿地资源影响内容不同,影响程度不一,影响方式不同,对湿地资源进行多要素观测,才能全面、系统、科学掌握湿地资源基础、权威、准确的观测数据和演变规律。

(3)系统性。湿地资源系统是由气候、生物、土壤和水等多种资源组成,资源间相互作用、联系、影响和转化,构成了一个复杂巨系统。因此,依据山水林田湖草生命共同体理念,对湿地资源开展综合

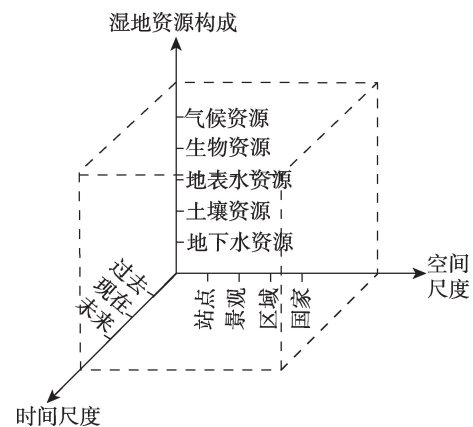


图1 湿地资源立体综合观测特点  
Figure 1 Comprehensive observation of wetland resources

2020年10月

观测,既要关注单种要素的变化情况,同时又要关注各要素之间的耦合关系和作用过程,系统掌握湿地资源整体变化状况。

(4)动态性。随着时间和外部环境的不不断变化,湿地资源的数量、质量会发生相应的动态变化。一方面,要观测湿地资源在空间尺度上的变化,掌握其在空间上的变化过程,如湿地资源破碎化程度等状况;另一方面,观测湿地资源随着时间或季节的变化其状态会发生改变,如由于气候干旱、蒸发加强造成湖泊湿地面积变小,或者沼泽湿地消失;到了雨水丰沛的季节湖泊湿地面积随之变大,或消失的沼泽湿地又重新恢复等。

## 2.2 立体综合观测解决的主要问题

开展湿地资源立体综合观测,要摸清其数量、质量变化和资源间耦合作用过程,研究解决湿地资源系统中以水资源平衡、关键元素平衡、生物多样性结构平衡为主的多种平衡问题,和各平衡之间的关系问题,最终掌握湿地资源系统动态平衡过程(图2)。

(1)水资源平衡:在湿地资源系统中,水是最活跃、关键的自然要素,湿地资源系统是由水主宰的系统。在湿地资源系统中水的来源主要有大气降水、地表水、土壤含水、地下水等,保持水资源平衡是维持湿地资源系统稳定的必要条件,如果湿地中水资源失衡,一定程度上会造成湿地资源退化、局部气候环境变得恶劣等问题发生。故在立体综合观测时,重点观测湿地资源水的转化过程和水位、水域面积等指标,定量评价湿地水资源环境承载能力,掌握湿地资源系统水资源动态平衡状态,实现

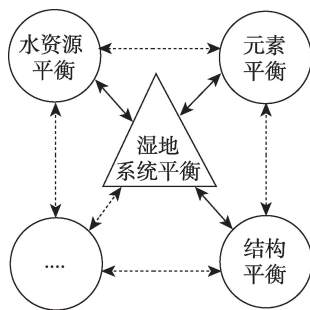


图2 湿地资源系统平衡过程示意图

Figure 2 Schematic diagram of the balancing process of wetland systems

以水定需、以水定绿、适水发展的湿地资源管理理念。

(2)关键元素平衡:湿地资源系统中C、N、P、K等是生物资源生长需要的关键元素,也是重要的营养物质,元素含量的变化会影响C、N、P、K等元素之间的立体循环过程,影响生物资源生长,降低湿地生态系统质量,发生湿地水体富营养化等问题。因此,需要关注湿地资源系统中关键元素含量,尤其是掌握湿地植被、水、土壤等要素中元素配比平衡和相互联系,定量研究关键元素的生物循环过程和湿地资源系统中养分的迁移转化过程<sup>[14]</sup>,防止发生生物资源减少、水质恶化等资源、环境问题。

(3)生物多样性结构平衡:湿地是生物多样性最丰富的区域之一,主要体现在湿地生态系统、植物、动物、微生物的多样性和复杂性<sup>[15]</sup>。湿地生物多样性结构的失衡,会破坏湿地生态系统中“食物链”的完整性,导致生物资源数量、质量下降,甚至使部分生物资源趋于濒危,造成整个湿地生态系统失衡。要通过立体综合观测,准确掌握生物多样性分布和种群结构情况,摸清生物资源的种类、数量、质量变化和生物群落在湿地资源系统中的时间位、空间位和资源位,及时作出预测预警,防止生物多样性结构失衡引发一系列资源安全问题。

## 2.3 立体综合观测的意义

基于湿地资源立体综合观测,坚持山水林田湖草生命共同体理念,通过获取不同尺度和要素观测数据,构建模型模拟,准确计算湿地资源利用阈限<sup>[16]</sup>,研究湿地动态变化过程,揭示湿地资源发展趋势,探索湿地资源保护途径。它是科学制定湿地资源保护政策和恢复重建方案的依据,是进行湿地科学研究的基础环节,是实现湿地资源综合化、精细化管理的科技支撑。同时,也是解决当前湿地资源观测数据格式、标准不统一等问题,链接起碎片化的湿地资源观测数据,提升湿地资源数据开放度、共享度和联网研究的有效手段。

## 3 国内外湿地资源观测现状分析

### 3.1 国外湿地资源观测站现状

国外对湿地观测较早,尤其20世纪以来,随着对湿地功能和价值认识的加深,以及全球性湿地的

退化和各国政府对湿地资源保护的重视,各国相继针对湿地退化问题的研究、保护和合理开发而开展湿地生态系统的野外观测工作,建立了一批野外观测台站(表1)<sup>[16-19]</sup>,主要针对生态系统结构与功能、环境变化、发展趋势等项目进行观测研究。例如美国建立佛罗里达海岸湿地站,以气象、土壤、水质、草本植物、初级生产力等为观测内容;希腊建立Kekrim湖湿地观测站,围绕受威胁的生境类型、水文要素、沉积物、人类的农业活动内容进行观测。随后,许多国家和国际组织也相继建立了湿地观测站,促进了湿地生态系统科学研究水平。

### 3.2 国内相关湿地资源观测现状

中国对湿地观测起步较晚,目前主要有中国科学院生态系统研究网络(CERN)和教育部、生态环境部、国家林业和草原局等部门建立的湿地生态系统观测站,可分为国家级、部级、局级、院级等类别(表2),按照其定位可分为部门业务观测网和科研

观测网,按照功能可分为生态观测站、水文观测站等,总体来看具有以下特点:

第一,从定位看,以科研网为主。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,现有国家级观测站97个,其中湿地观测站7个;以中国科学院生态系统研究网络为依托的陆地生态系统通量观测研究网络中湿地观测站15个,中国科学院生态系统研究网络中湿地观测站7个。这些观测站多数为科学研究观测站,主要以科研任务为导向,以湿地生态系统研究为重点,依托重大科学问题建站。第二,从功能看,以生态观测为主。在现有7个国家级湿地观测站中,其中生态网(CERN)占85%,侧重于生态要素和过程,主要服务湿地生态系统功能和健康程度评价。观测指标注重选取生态指标,包括湿地生态系统结构与功能的特征要素、功能要素等<sup>[4]</sup>。第三,从区域看,站点分布不均衡。目前,

表1 国外典型相关湿地观测站信息

Table 1 Information table of foreign representative wetland observation stations

国家/国际组织	观测站名称	湿地类型	观测内容
美国	佛罗里达海岸湿地站	河流河口、红树林湿地等	气象、土壤、水文、生物等
	缅因州湿地观测站	沼泽、红树林湿地等	水文、生物等
	弗吉尼亚海岸保护区站	开阔海滩、砂质潮间带湿地等	生态过程、水文过程、生物演替等
自然环境研究和英国自然委员会	Upper Teesdale 实验站	湖泊、沼泽湿地等	大气化学、土壤性质、植被、地表水流量和化学性质等
希腊	Kekrim 湖湿地观测站	内陆三角洲湿地等	水文、生境、沉积物等
法国	Canidllargues 湿地观测站	咸水盐沼、永久性的淡水草木沼泽湿地等	水文动力学、水质、水底沉积物等

表2 中国部分重要湿地观测站及其观测项目

Table 2 Some important wetland observation stations and their observation projects in China

主管部门	观测站名称	台站类别	湿地类型	观测要素
中国科学院	三江平原沼泽湿地生态试验站 <sup>[20]</sup>	国家级、CERN	沼泽湿地	大气、水、土壤、生物、生态系统生产力和农田生态系统等
	大亚湾试验站 <sup>[21]</sup>	国家级、CERN	滨海滩涂、沼泽湿地	海域生态系统结构、功能和人类活动对其影响等
	胶州湾海洋生态系统观测研究站 <sup>[22]</sup>	国家级、CERN	滨海滩涂、河口河流、沼泽湿地	海域生态、环境和资源要素、海洋生态过程等
	洞庭湖湿地生态系统观测研究站 <sup>[23]</sup>	院级、CERN	湖泊、浅水滩涂湿地	水文、土壤、气象、生物要素等
	鄱阳湖湖泊湿地观测研究站 <sup>[24]</sup>	院级、CERN	湖泊湿地	气象、水文水动力、湖泊水质、湖泊水生态等
教育部	兴凯湖湿地生态研究站 <sup>[25]</sup>	所级	淡水湖泊湿地	水环境、气象、水文、土壤、生物等
	梁子湖泊生态系统野外科学观测研究站 <sup>[26]</sup>	国家级	湖泊湿地	水体物理与化学、大气、水生植物、动物等
生态环境部	洞庭湖科学观测研究站 <sup>[26]</sup>	部级	湖泊湿地	水文、水质、水生态、物种多样性、环境健康等
国家林业和草原局	杭州湾湿地生态系统定位观测研究站 <sup>[26]</sup>	局级	咸水海滩湿地	湿地特征、气象、水文、大气、水体、土壤、动物、植物等

2020年10月

多数观测站布设在我国的国际重要湿地和国家重点保护湿地,如三江源、黄河三角洲、洞庭湖等;而国内非典型、一般湿地(包括人工湿地)布设的观测站相对较少。第四,从观测手段看,以人工观测为主。20世纪80年代以来,中国陆续建立了湿地生态系统观测站,比如三江平原沼泽湿地站始建于1986年,胶州湾湿地站始建于1981年等,多数台站建于2000年左右,主要以定点定时的人工观测为主,比如林内降雨、树高、生物量等指标仍为人工观测。

综上所述,现有湿地观测站主要通过科研项目落地,服务生态科学研究较多,支撑湿地资源精细化管理相对不足;关注局部重点、典型湿地较多,在区域尺度或国家尺度上,湿地资源观测网络有待完善加强。同时,亟待引入逐渐发展成熟的物联网、无人机等新技术和天-空-地立体观测手段,进一步提高野外自动化观测水平。

## 4 湿地资源立体综合观测指标体系框架构建

### 4.1 构建原则

指标体系构建原则的确定,是保证指标体系客观、可操作和公正的前提和基础<sup>[27]</sup>。本文通过学习和汲取相关指标体系的构建经验<sup>[28-30]</sup>,在科学性、可操作性、可比性和动态性等常规原则基础之上,结合湿地资源的独特性、复杂性和立体综合观测的特点,又归纳、总结出以下7项原则:

(1)基于湿地资源水循环过程。湿地水循环过程是湿地资源形成与变化的核心要素<sup>[31,32]</sup>。水控制着湿地资源系统稳定性,制约着湿地物理化学和生物特征,进而影响着湿地生态系统结构与功能,是各种生物赖以生存的生命之源和研究湿地资源的核心内容<sup>[33,34]</sup>。因此,湿地资源观测指标选取主要以湿地水资源循环为主线,重点考虑大气降水、地表水、土壤含水、地下水等相互转化过程,兼顾其他影响湿地资源水量的指标。

(2)综合考虑单种资源要素变化和资源要素之间的作用关系。湿地资源是多种资源组合的综合体,依据山水林田湖草生命共同体发展理念,从湿地资源整体性、系统性出发,既考虑单种资源要素变化引起湿地资源数量、质量变化的指标,又考虑

资源要素间相互作用、转化、影响等引起湿地资源变化的指标。

(3)典型性。湿地资源不仅观测要素很多,包括大气、水、土壤和生物等,而且类型多样复杂,主要有湖泊、沼泽、滩涂等。过多的观测指标会影响湿地资源观测的有效性和长期性,这就要求在遵循科学性等原则基础之上,尽可能选取较为典型的指标来反映湿地资源整体变化特征和规律,减少相近指标,以增强湿地资源观测指标的实用性、针对性。

(4)可量化。选取指标时主要考虑可量化(直接观测、公式计算和模型模拟等)指标,从而根据观测数据对湿地资源状况进行定量分析与判断。

(5)多尺度。根据立体综合观测的多尺度特点,在指标选取上,不仅要考虑不同空间尺度上反映湿地资源状态变化的指标,而且还要考虑时间尺度上,根据湿地资源随着时间变化程度,选取相应反映湿地资源状态变化的指标。

(6)层次性。观测指标体系构建应层次清晰、结构合理,在指标设置上按照指标间的层次递进关系,尽可能体现层次分明,通过一定的梯度,能准确反映指标间的支配关系,自上而下,由宏观到微观逐层深入细化,构成一套逻辑清晰、不可分割的观测指标体系。

(7)差别性。从湿地资源主导功能方面考虑,有的侧重在水资源方面,有的侧重在生物资源方面,有的则是综合多方面。根据具体湿地主导功能,选取与其关联性强的观测指标,进而反映不同湿地类型观测的差别性,增强湿地资源观测的针对性。

### 4.2 指标体系框架构建

湿地资源具有明显的空间异质性和时间动态性,在观测中需针对湿地水循环和资源间关联性的内在机理,构建湿地资源综合观测指标体系,以体现湿地资源水陆过渡、多圈层交汇、多要素耦合的关键特质。在水循环过程方面,着重考虑气候资源中的大气降雨、生物资源中的植物蒸腾、地表水资源中的地表水蒸发与下渗、土壤资源中的土壤水分蒸发、地下水资源中的降水补给地下水与潜水蒸发等具体指标,也兼顾气温、生物种类与数量、土壤理

化性质和水质等指标,以指示湿地资源质量和所提供生境变化情况。

在指标体系构建的逻辑层面,围绕与湿地资源紧密相连的各圈层及其相互作用,自上而下从大气层-地表层-地下层空间立体关联入手,在各层级中选取气候、生物、地表水、土壤和地下水资源5个一级指标,并进一步细分了18个二级指标,以表征湿地资源数量、质量和界面间作用过程指标;选取具有可操作性的31个三级指标开展野外直接观测,最终构建湿地资源立体综合观测指标体系框架(表3)<sup>[35-39]</sup>。

#### 4.2.1 气候资源指标

气候资源是指气候要素中可以被人类利用的那一部分自然物质和能量,是一种典型的自然资源<sup>[40]</sup>,不仅是生产和生活过程提供资料的天然来源,又能够转变成可供社会经济活动利用的再生能源<sup>[41]</sup>,包括水分、光能、热量、风能等。湿地资源对气候变化较为敏感,气候变化会影响湿地资源面积、水资源分布、生物地球化学过程、植被群落和湿地生态结构、功能等<sup>[42]</sup>,在选取指标时重点考虑影响水资源数量的因素,具体包括气温、相对湿度、日降雨量和降水面积4项指标。

#### 4.2.2 生物资源指标

生物资源是指生物圈中的一切动物、植物、微生物及其周围环境组成的各种生态系统,具有多样性的特点<sup>[43-45]</sup>,它们在湿地资源系统中构成了相互制约、相互影响的“食物链”系统,其中植被是联结大气、土壤、水分的自然“纽带”<sup>[40]</sup>。在指标选取时,着重考虑影响生物多样性结构平衡变化指标,兼顾其他影响植被资源数量、质量和生长状况,反映动物、微生物生境质量和植被对气候调节作用过程等指标。具体选取植被、种类、面积、高度、覆盖度,微生物种类、数量,动物种类、数量,以及植物蒸腾量9项指标。

#### 4.2.3 地表水资源指标

地表水资源指地表水中可以逐年更新的淡水量,是社会经济发展和人类一切活动过程中开发利用最广泛的资源<sup>[46]</sup>,包括河川水、湖沼水、冰雪水等。地表水资源影响湿地生物生活环境、群落分布

状况。水量过少,湿地水位会降低,干旱程度会加重,动植物的栖息地会减少,影响生物的生产力、动植物种群以及湿地资源系统的结构、功能,破坏湿地资源动态平衡<sup>[47]</sup>。在指标选取时,重点考虑影响湿地资源系统中地表水量平衡、生物生境质量和水循环过程的指标,包括地表水位、水域面积、地表径流量、水质、水温、蒸发量和下渗量7项指标。

#### 4.2.4 土壤资源指标

土壤资源指具有农、林、牧生产性能的土壤类型的总称,是人类赖以生存的最基本、可以不断更新的自然资源<sup>[48]</sup>。土壤资源是湿地植被资源等获取化学物质的最初场所和地表水与地下水循环的中介,具有维持生物多样性、分解固体污染物、分配和调节地表水分等功能<sup>[49]</sup>。通过选取影响土壤资源数量、植被生长环境与种群分布、湿地水量动态平衡和生物多样性结构平衡等重要指标,定量评价土壤污染程度,土壤水分与地表水、大气水分作用过程和制约关系。因此,选取的观测指标主要有土壤类型、分层厚度、理化性质、水分蒸发量和含水量5项指标。

#### 4.2.5 地下水资源指标

地下水资源是指地下含水层中具有利用价值的地下水水量,在供给人们生活用水、支撑经济发展、维持区域水平衡等方面具有重要的作用<sup>[50,51]</sup>。地下水主要通过与湿地地表水相互作用,进行水质演变和水量交换,进而影响湿地水文过程、生态环境质量和湿地资源系统稳定<sup>[52]</sup>。在指标选取时重点考虑影响地下水量变化、关键化学元素配比平衡和地下水、地表水与大气相互制约、相互转化的关键指标,具体包括地下水径流量、地下水储水量、地下水水位、水体理化性质、降水入渗补给量和潜水蒸发量6项指标。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文通过分析国内外湿地生态系统现有观测指标体系和观测站现状,结合新时代对湿地资源统一管理的新需求,构建了基于立体综合观测的湿地资源观测指标体系,相关研究结论如下:

(1)提出了具有多尺度、多要素、系统性、动态

表3 湿地资源立体综合观测指标信息一览表

Table 3 Wetland resources comprehensive observation indicators

层级	指标体系			计量单位	参考观测频率	指标功能	参考观测仪器
	一级指标	二级指标	三级指标				
大气层	气候资源	太阳能辐射资源量	气温	℃	1次/小时	影响湿地内地表水蒸发量及植被生长	干湿球温度表
		大气水分资源量	相对湿度	%	1次/小时	反映大气水分资源量、计算气候风能资源总储量	干湿球温度表
		气候作用过程	日降雨量	km <sup>3</sup>	降雨时观测	反映大气降雨→水资源补充	雨量器
地表层	生物资源	资源数量	降水面积	mm/天	降雨时观测	估算大气降水量	遥感观测
			植物种类	—	1次/2年	反映物种多样性	野外调查
			植被面积	hm <sup>2</sup>	1次/年	计算植被覆盖率	遥感观测
			植被高度	m	1次/2年	计算蓄积量	测高仪
	资源质量	植被覆盖度	%	1次/月	反映植被茂密程度	多光谱冠层指数测量仪	
		微生物种类	—	1次/2月	反映植被微生物环境	野外调查	
		微生物数量	—	1次/2月	反映植被微生物环境	野外调查	
		动物种类	—	1次/2年	反映植被提供生境情况	样线法、样方法	
	气候与植被作用过程	动物数量	—	1次/2年	反映植被提供生境情况	样线法、样方法	
		植物蒸腾量	mm	连续观测	反映植被→气候调节	光合仪	
		地表水资源	资源数量	地表水位	m	连续观测	计算河流径流量
地表水资源	资源数量	水域面积	km <sup>2</sup>	1次/月	计算地表水总量	遥感观测	
		地表径流量	m <sup>3</sup>	连续观测	计算地表水总量	地表径流测量仪	
		水质	—	1次/月	反映地表水的污染程度→生物生存环境	便携式水质分析仪或实验室分析	
	气候与地表水作用过程	水温	℃	1次/小时	反映大气→地表水	便携式水质分析仪	
		蒸发量	m <sup>3</sup>	1次/小时	反映地表水→大气补充	E601蒸发皿	
地表水与土壤作用过程	下渗量	m <sup>3</sup>	连续观测	反映地表水→土壤水分补充	蒸渗仪		
地下层	土壤资源	资源数量	土壤类型	—	1次/2年	反映土壤类型特性	野外调查、遥感观测
			土壤分层厚度	cm	1次/2年	反映土地资源量、计算涵养水源量	土壤取样钻
		资源质量	土壤理化性质	—	1次/月	反映湿地内土壤污染状况→植被生长环境及种群分布情况	实验室分析测试
	气候与土壤作用过程	土壤水分蒸发量	%	1次/小时	反映土壤→大气补充	蒸渗仪	
		土壤与地表水作用过程	土壤含水量	m <sup>3</sup>	1次/月	反映土壤→地表水影响	重量烘干法
		地下水资源	资源数量	地下水径流量	m <sup>3</sup>	连续观测	反映地下水径流量
	地下水储水量			m <sup>3</sup>	1次/年	估算地下储蓄水资源量	模型模拟计算
	地下水水位			m	连续观测	反映地下水变化程度,预测预警水量变化	高精度水位计
	资源质量		水体理化性质	—	1次/月	反映地下水污染程度→生物生存环境	实验室分析测试
	气候与地下水作用过程	降水入渗量补给量	m <sup>3</sup>	降雨时观测	补给量:大气→地下水	模型模拟计算	
潜水蒸发量		m <sup>3</sup>	1次/月	消耗量:地下水→大气	蒸渗仪		

性特点的湿地资源立体综合观测体系,以及开展湿地资源立体综合观测,解决水资源平衡、关键元素平衡、生物多样性结构平衡等主要问题。

(2)结合湿地资源的独特性、复杂性和立体综合观测的特点,归纳总结了指标体系构建需遵循基于湿地资源水循环过程、综合考虑单种资源要素变化和资源要素之间的作用关系、典型性、可量化、多尺度、层次性和差别性原则。

(3)围绕与湿地资源紧密相连的各圈层及其相互作用,自上而下从大气层—地表层—地下层空间立体关联入手,探索构建了包括气候、生物、地表水、土壤和地下水资源5个一级指标18个二级指标31个三级指标组成的立体综合观测指标体系框架。

## 5.2 讨论

首先,湿地资源观测指标体系构建是一项具有挑战性的工作,如何在前人工作的基础上实现创新,值得思考。本文试图基于现代立体自动观测技术,在自然资源部组建并履行“两统一”职责的新体制下,探索建立了湿地资源立体综合观测指标体系。由于湿地资源系统包括多种资源,以前各部门职责不同,重点围绕部门职责、专项资源管理进行观测;针对新形势下湿地资源统一管理新要求,本文构建的指标体系既考虑了普适性,又考虑了针对性和靶向性,弥补了传统观测当中的局限性,具有整体性、系统性特点。

其次,在山水林田湖草生命共同体理念的指引下,构建过程中既研究横向上同一个界面不同要素之间的关联性,又研究纵向上不同界面资源之间的耦合性,解决以往湿地资源整体性、关联性研究不足,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等问题,以及具体指导湿地资源科学开发、整体保护和系统修复,保障湿地资源系统良性循环和永续利用。

最后,需要指出的是,由于湿地类型多种多样,功能差别较大,在各级指标选取过程中,本文针对某种具体湿地类型或主导功能特有的一些观测指标可能考虑不详,在未来的研究和工作中应在观测指标体系方面继续深入研究,根据具体的湿地类型特征、主导功能、野外观测站特点等,增加特色或特

殊观测指标;随着区块链、大数据等科学技术的不断发展,结合指标体系的应用实践,逐步丰富观测内容,不断改进完善指标体系和观测手段,力争对中国湿地资源的全面认知、利用科学决策和管制高效优化等方面发挥重要作用,以期为进一步开展湿地资源立体综合观测和科学保护、精细化管理提供理论依据和实践帮助。

## 参考文献(References):

- [1] 吕宪国. 湿地生态系统观测方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. [Lv X G. Observation Method of Wetland Ecosystem[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.]
- [2] 刘红玉, 白云芳. 若尔盖高原湿地资源变化过程与机制分析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 810-818. [Liu H Y, Bai Y F. Changing process and mechanism of wetland resources in Ruergai Plateau, China[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(5): 810-818.]
- [3] 刘红玉, 赵志春, 吕宪国. 中国湿地资源及其保护研究[J]. 资源科学, 1999, 21(6): 34-38. [Liu H Y, Zhao Z C, Lv X G. A study on wetland resources and protection in China[J]. Resources Science, 1999, 21(6): 34-38.]
- [4] 刘红玉. 中国湿地资源特征、现状与生态安全[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 54-60. [Liu H Y. Characteristics of wetland resources and ecological safety in China[J]. Resources Science, 2005, 27(3): 54-60.]
- [5] 国家林业局. 第二次全国湿地资源调查结果[J]. 国土绿化, 2014, (2): 6-7. [The State Forestry Administration. Results of the second national survey on wetland resources[J]. Land Greening, 2014, (2): 6-7.]
- [6] 黄建辉, Baron J, Binkley D. 溪流两边的湿地对其含氮量的贡献[J]. 植物生态学报, 1996, 20(4): 289-302. [Huang J H, Baron J, Binkley D. The contribution of wetlands to stream nitrogen load in the loch vale watershed, colorado, USA[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1996, 20(4): 289-302.]
- [7] 金泰龙. 三江平原沼泽生态系统的化学特征[J]. 生态学报, 1987, 7(4): 289-296. [Jin T L. The chemical characteristics of ecological environment of mires in Sanjiang Plain[J]. Acta Ecologica Sinica, 1987, 7(4): 289-296.]
- [8] Mitsch W J, Gosselin K I G. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- [9] 杨萍, 白永飞, 宋长春, 等. 野外站科研样地建设的思考、探索与展望[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 125-134. [Yang P, Bai Y F, Song C C, et al. Construction of long-term ecological research



2020年10月

- sites in field station: Status, progress and prospect[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(1): 125-134.]
- [10] 王容, 袁婷, 张亚. 湿地生态环境影响评价研究的进展[J]. 青海环境, 2015, 25(4): 187-190. [Wang R, Yuan T, Zhang Y. Research progress of wetland ecological environmental impact assessment[J]. Journal of Qinghai Environment, 2015, 25(4): 187-190.]
- [11] 沈少青, 洪宇, 郑志文, 等. 基于立体观测网的海洋综合管理信息平台的设计与实现[J]. 测绘通报, 2016, (5): 96-100. [Shen S Q, Hong Y, Zheng Z W, et al. Design and implementation of marine integrated management information platform based on marine observation network[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2016, (5): 96-100.]
- [12] 申旭辉, 王兰炜, 吴云, 等. 地震立体观测体系空间段发展规划框架与进展[J]. 卫星应用, 2011, (6): 9-15. [Shen X H, Wang L W, Wu Y, et al. Development planning framework and progress of the spatial segment of the seismic stereo observation system[J]. Satellite Application, 2011, (6): 9-15.]
- [13] 严登华, 王浩, 秦大庸, 等. 中国南水北调西线工程水源区水资源立体监测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 382-387. [Yan D H, Wang H, Qin D Y, et al. Water resources stereo monitoring system for water source region in West Route Water Transfer Project in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(12): 382-387.]
- [14] 王宇. 从水土环境要素研究河北保定-沧州地区湿地演变[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012. [Wang Y. The Study on Hebei Baoding-Cangzhou Wetland Evolution in Water and Soil Environmental Factors[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [15] 李发文, 王艳萍, 夏超. 桂林会仙湿地生物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(35): 64-66. [Li F W, Wang Y P, Xia C. Study on biodiversity of the Huixian Wetland in Guilin[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(35): 64-66.]
- [16] 姜明, 吕宪国, 刘吉平, 等. 湿地生态系统观测进展与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 41-49. [Jiang M, Lv X G, Liu J P, et al. Progress and prospect of observation on wetland ecosystem[J]. Progress in Geography, 2005, 24(5): 41-49.]
- [17] 曹月华, 赵士洞. 世界环境与生态系统监测和研究网络[M]. 北京: 科学出版社, 1997. [Cao Y H, Zhao S D. World Environment and Ecosystem Monitoring and Research Network[M]. Beijing: Science Press, 1997.]
- [18] Costanza R. The value of the worlds ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [19] Pere T V. Monitoring Mediterranean Wetlands[M]. Slimbridge: Wetlands International, 1996.
- [20] 中国科学院长春地理研究所. 中国科学院三江平原沼泽湿地生态试验站[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(1): 96-97, 2. [Changchun Institute of Geography Chinese Academy of Sciences. The Sanjiang Mire Wetland Experimental Station, Chinese Academy of Sciences[J]. Proceedings of the Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(1): 96-97, 2.]
- [21] 中国科学院南海海洋研究所. 中国科学院大亚湾海洋生物综合实验站[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(1): 130-132. [South China Sea Institute of Academy of Sciences. Daya Bay Marine Biology Comprehensive Experimental Station, Chinese Academy of Sciences[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(1): 130-132.]
- [22] 中国科学院海洋研究所. 中国科学院胶州湾海洋生态系统定位研究站[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(12): 1467-1469. [South China Sea Institute of Academy of Sciences. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Chinese Academy of Sciences[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(12): 1467-1469.]
- [23] 中国科学院亚热带农业生态研究所. 中国科学院洞庭湖湿地生态系统观测研究站[EB/OL]. (2011-07-08) [2020-06-01]. [http://dongtinglake.isa.cas.cn/tzgj/tzjj/jj/201107/t20110708\\_79797.html](http://dongtinglake.isa.cas.cn/tzgj/tzjj/jj/201107/t20110708_79797.html). [Institute of Subtropical Agriculture. Dongting Lake Wetland Ecosystem Observation Research Station, Chinese Academy of Sciences[EB/OL]. (2011-07-08) [2020-06-01]. [http://dongtinglake.isa.cas.cn/tzgj/tzjj/jj/201107/t20110708\\_79797.html](http://dongtinglake.isa.cas.cn/tzgj/tzjj/jj/201107/t20110708_79797.html).]
- [24] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国科学院潘阳湖湖泊湿地观测研究站[EB/OL]. (2017-09-29) [2020-06-01]. [http://poyang.niglas.cas.cn/news\\_38062/news1/201709/t20170929\\_384245.html](http://poyang.niglas.cas.cn/news_38062/news1/201709/t20170929_384245.html). [Nanjing Institute of Geography and Limnology. Poyang Lake Wetland Observation and Research Station, Chinese Academy of Sciences[EB/OL]. (2017-09-29) [2020-06-01]. [http://poyang.niglas.cas.cn/news\\_38062/news1/201709/t20170929\\_384245.html](http://poyang.niglas.cas.cn/news_38062/news1/201709/t20170929_384245.html).]
- [25] 中国科学院东北地理与农业生态研究所. 中国科学院东北湿地观测研究网络[EB/OL]. (2014-03-17) [2020-06-01]. [http://wetlandne.iga.cas.cn/gcyjpt/xkhz/201403/t20140317\\_163998.html](http://wetlandne.iga.cas.cn/gcyjpt/xkhz/201403/t20140317_163998.html). [Northeast Institute of Geography and Agricultural Academy. Northeast Academy wetlands observation and research network [EB/OL]. (2014-03-17) [2020-06-01]. [http://wetlandne.iga.cas.cn/gcyjpt/xkhz/201403/t20140317\\_163998.html](http://wetlandne.iga.cas.cn/gcyjpt/xkhz/201403/t20140317_163998.html).]
- [26] 中国科学院湿地生态系统观测研究野外站联盟[EB/OL]. (2013-11-12) [2020-06-01]. [http://wetland.ihb.cas.cn/sdlmj/lmzjs/hwsdz/201311/t20131121\\_136573.html](http://wetland.ihb.cas.cn/sdlmj/lmzjs/hwsdz/201311/t20131121_136573.html). [Chinese Academy of Science. Wetland Ecosystem Observation and Research Field Station Alliance[EB/OL]. (2013-11-12) [2020-06-01]. [http://wetland.ihb.cas.cn/sdlmj/lmzjs/hwsdz/201311/t20131121\\_136573.html](http://wetland.ihb.cas.cn/sdlmj/lmzjs/hwsdz/201311/t20131121_136573.html).]
- [27] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 341-348. [Fu B J, Yu D D, Lv N. An indicator system for biodiversity and ecosystem services

- evaluation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 341-348.]
- [28] 雷明, 许雁超, 徐艳婷. 台议冶金矿山生态文明建设指标体系的构建[J]. *矿业工程*, 2019, 17(4): 55-57. [Lei M, Xu Y C, Xu Y T. An opinion about the construction of indicator system of metallurgical ecological civilization construction[J]. *Mining Engineering*, 2019, 17(4): 55-57.]
- [29] 陈莲芳, 张富有, 严良. 对我国西部矿产资源综合评价指标体系的构建[J]. *中国矿业*, 2008, 17(10): 24-26. [Chen L F, Zhang F Y, Yan L. Construction of comprehensive evaluation index system of mineral resources collective areas in Chinese Western Region [J]. *China Mining Magazine*, 2008, 17(10): 24-26.]
- [30] 李永峰, 杜培军, 张盼盼. 矿产资源综合评价指标体系的构建及应用[J]. *经济视角*, 2012, (6): 50-53. [Li Y F, Du P J, Zhang P P. Construction and application of comprehensive evaluation system of mineral resources[J]. *Economic Vision*, 2012, (6): 50-53.]
- [31] 章光新, 武瑶, 吴燕锋, 等. 湿地生态水文学研究综述[J]. *水科学进展*, 2018, 29(5): 737-749. [Zhang G X, Wu Y, Wu Y F, et al. A review of research on wetland ecohydrology[J]. *Advances in Water Science*, 2018, 29(5): 737-749.]
- [32] Zhan L C, Chen J S, Li L. Isotopic assessment of fog drip water contribution to vegetation during dry season in Junshan Wetland, northern Dongting Lake[J]. *Wetlands Ecology and Management*, 2017, 25(3): 1-13.
- [33] 刘红玉, 白云芳. 若尔盖高原湿地资源变化过程与机制分析[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 810-818. [Liu H Y, Bai Y F. Changing process and mechanism of wetland resources in Ruoergai Plateau, China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 810-818.]
- [34] 曹杨宇, 刘洁, 陈明叶, 等. 湿地生态环境质量评价的内涵、方法和内容[J]. *河北林果研究*, 2015, 30(3): 248-252. [Cao Y Y, Liu J, Chen M Y, et al. On the eco-environmental quality evaluation of wetland in connotation, method and content[J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2015, 30(3): 248-252.]
- [35] 袁国富, 朱治林, 张心昱, 等. 陆地生态系统水环境观测指标与规范[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019. [Yuan G F, Zhu Z L, Zhang X Y, et al. *Terrestrial Ecosystem Observation Index of Water Environment and the Specification*[M]. Beijing: China Publishing Group Environment, 2019.]
- [36] 潘贤章, 吴冬秀, 袁国富, 等. CERN观测指标、方法及规范的研究与修订[R]. 北京: 中国科学院, 2018. [Pan X Z, Wu D X, Yuan G F, et al. *Research and Revision of CERN Observation Indicators, Methods and Specifications*[R]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2018.]
- [37] 吴冬秀, 张琳, 宋创业, 等. 陆地生态系统生物观测指标与规范[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019. [Wu D X, Zhang L, Song C Y, et al. *Indicators and Norms for Biological Observation of Terrestrial Ecosystems*[M]. Beijing: China Publishing Group Environment, 2019.]
- [38] 潘贤章, 郭志英, 潘凯. 陆地生态系统土壤观测指标与规范[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019. [Pan X Z, Guo Z Y, Pan K. *Soil Observation Index and Norm of Terrestrial Ecosystem*[M]. Beijing: China Publishing Group Environment, 2019.]
- [39] 胡波, 刘广仁, 王跃思, 等. 陆地生态系统大气环境观测指标与规范[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019. [Hu B, Liu G R, Wang Y S, et al. *Observations and Atmospheric Environmental Norms Terrestrial Ecosystems*[M]. Beijing: China Publishing Group Environment, 2019.]
- [40] 杨惜春. 气候资源的法律概念及其属性探讨[J]. *气象与环境学报*, 2007, 23(1): 39-44. [Yang X C. Discussion on the legal concept of climate resources and their attributes[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2007, 23(1): 39-44.]
- [41] 陈恩. 气候资源及其能源产品的权属分析[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2019. [Chen E. *Climatic Resources and Its Ownership Analysis of Energy Products*[D]. Beijing: North China electric power university (Beijing), 2019.]
- [42] 崔瀚文. 30年来东北地区湿地变化及其影响因素分析[D]. 长春: 吉林大学, 2010. [Cui H W. *Wetlands in Northeast China in 30 Years Changes and Its Influencing Factors Is Analyzed*[D]. Changchun: Jilin University, 2010.]
- [43] 李文华. 我国生物资源的综合考察及其开发与保护问题[J]. *资源科学*, 1986, 8(3): 62-69. [Li W H. The comprehensive investigation of China's biological resources and their development and protection[J]. *Resources Science*, 1986, 8(3): 62-69.]
- [44] 徐世晓, 赵新全. 生物资源面临的严重威胁: 生物多样性丧失[J]. *资源科学*, 2002, 24(2): 6-11. [Xu S X, Zhao X Q. A serious menace to biological resources: Losses of biodiversity[J]. *Resources Science*, 2002, 24(2): 6-11.]
- [45] 黄蓉, 杨永华, 张建旗, 等. 兰州市荒山植物群落结构及优势种调查[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(6): 129-135. [Huang R, Yang Y H, Zhang J Q, et al. The investigation of plant community structure and dominant species in barren hill area of Lanzhou[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(6): 129-135.]
- [46] 杨廷军, 徐学良. 地表水资源保护与管理对策的研究[J]. *吉林水利*, 2004, 268(12): 8-10. [Yang T J, Xu X L. Study for surface water resources protection management[J]. *Jilin Water Resources*, 2004, 268(12): 6-7.]
- [47] 严晓瑜. 不同时间尺度若尔盖湿地植被变化及其气候的关系[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2008. [Yan X Y. *Different Time Scales Zoie Wetland Vegetation and Climate Change*[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2008.]
- [48] 关珠连. 普通土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2016. [Guan Z L. *Ordinary Soil Science*[M]. Beijing: China Agricultural

2020年10月

University Press, 2016.]

- [49] 王宇. 从水土环境要素研究河北保定-沧州地区湿地演变[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012. [Wang Y. From Water and Soil Environment Factor Research Baoding-Cangzhou Area Wetland Evolution[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.]
- [50] 林学钰, 廖资生, 赵勇胜, 等. 现代水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 2005. [Lin X Y, Liao Z S, Zhao Y S, et al. Modern Hydrogeology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.]

- [51] 陈兴华, 万书勤, 杨建锋. 中国地下水资源对区域经济社会发展的支撑作用评价[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 97-104. [Chen X H, Wan S Q, Yang J F. An evaluation of groundwater's role in regional economic and social development in China[J]. Resources Science, 2007, 29(5): 97-104.]
- [52] 范伟, 章光新, 李然然. 湿地地表水-地下水交互作用的研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 413-423. [Fan W, Zhang G X, Li R R. Review of groundwater-surface water interactions in wetland[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(4): 413-423.]

## Development of an indicator system of wetland resources based on multidimensional comprehensive observation

QIAN Jianli<sup>1</sup>, YANG Bin<sup>2</sup>, ZHANG He<sup>3</sup>, YANG Hanwen<sup>1</sup>, ZHENG Linchang<sup>4</sup>,  
TAN Changhai<sup>2</sup>, DAI Xin<sup>5</sup>

(1. Xi'an Mineral Resources Research Center of China Geological Survey, Xi'an 710100, China; 2. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China; 3. School of Marine Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 4. College of Economics, Hebei University, Baoding 071002, China; 5. Qinghai Academy of Social Sciences, Xining 810000, China)

**Abstract:** Exploring the development of an indicator system for multidimensional comprehensive observation is of great significance for the integrated management of wetland resources, theoretical research, and related decision making. Starting from the integrated management of resources, this study expounded the characteristics and significance of three-dimensional comprehensive observation of wetland resources and analyzed the current status of wetland resources observation in China. It combined the uniqueness and complexity of wetland resources and characteristics of three-dimensional comprehensive observation, proposed the principles of development of the indicator system, and constructed an atmospheric-surface-underground indicator system of multidimensional comprehensive observation of wetland resources, which is consisted of 5 first-level indicators of climate resources, biological resources, surface water resources, soil resources, and groundwater resources, 18 second-level indicators, and 31 third-level indicators. The system aims to provide long-term, continuous, and stable observations of wetland resources in order to realize the transformation of wetland resource management from empirical to data-driven decision making, from extensive to scientific and precision development and utilization, and from the protection of single resource elements to the protection of all resources of mountains, waters, forests, croplands, and grasslands.

**Key words:** wetland resources; multidimensional comprehensive observation; integrated management; indicator system; principle of development; data-driven decision making