

国土空间监测网络布局优化方法研究

张衍毓^{1,2}, 高秉博³, 郭旭东^{1,2}, 陈美景¹, 任艳敏³, 李晓岚³

(1. 中国土地勘测规划院, 北京 100035; 2. 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035; 3. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 研究目的: 服务于自然资源综合监管以及全国国土空间的多级综合动态监测, 以县域为基本空间单元, 采用多目标优化求解方法, 优选具有国土空间代表性的典型县域监测样点, 使得选取的每个样点县均能同时代表某种类型的农业生产空间、城乡建设空间和生态保育空间, 形成国土空间监测网络优化布局方案, 为构建国土空间监测网络提供参考依据。研究方法: 基于2015年土地利用变更调查分县数据, 结合自然本底、社会经济统计数据, 构建空间采样数据集; 采用土地垦殖率、城乡建设强度、生态覆盖度三个指标表征国土空间类型, 选择与其相关性较大的自然、社会经济指标作为辅助变量, 采用重复二分聚类方法进行国土空间分区; 根据监测点对不同的农业生产空间类型、城乡建设空间类型、生态保育空间类型的代表性, 以及地理空间分布的均匀性, 设定多目标优化函数, 采用多路空间模拟退火方法进行多目标优化求解, 从全国县域单元中优选出能够同时对不同类型的农业生产、城乡建设、生态保育空间均具有代表性的样点县, 形成国土空间监测网络布局备选方案; 基于专家知识, 充分考虑管理实践对监测样点布设的现实要求, 从多套理论方案中优选出国土空间监测网络布局的优化方案。研究结果: 基于成本最小原则, 优选出34个县域监测样点, 形成了国土空间监测网络布局参考方案。研究结论: 人类对自然资源的开发能力日益增强, 国土空间格局正在发生剧烈演变。为动态获取国土空间变化信息, 掌握国土空间演变规律, 及时制定国土空间优化调控策略, 优化国土空间开发格局, 亟需加快构建覆盖全国的国土空间多级综合监测网络。本文面向全国国土空间监测网络建设优选出的34个县域监测样点, 能够以最少的样本数量实现对主要国土空间类型的全面覆盖, 可为全国国土空间监测网络优化布局提供参考。同时, 研究提出的国土空间分区和监测样点优化布局方法可为重点区域国土空间监测网络构建提供借鉴。

关键词: 土地管理; 国土空间; 监测网络; 布局优化; 多目标优化模型

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-8158 (2018)01-0011-09

1 加快构建国土空间多级综合监测网络

随着科学技术的发展, 国家系列重大战略的实施以及经济实力的日益增强, 各类自然资源开发利用活动对国土空间的塑造能力日益强大, 人类活动对地表层系统的扰动日益剧烈, 国土空间格局正在发生剧烈演变。城市群、现代综合交通运输体系建设突飞猛进; “一带一路”、京津冀协同发展、长江经济带建设引领下, 区域发展格局日新月异; 巨型流域开发、南水北调等重大工程实施, 互联网时代国内外产业转移背景下的产业格局演变、全球气候变化下的粮食生产格局变化等, 均会对国土空间格局产生深刻影响; 乡村振兴、精准扶贫、统筹城乡背景下, 城乡要

素流动频繁, 城乡一体化格局正在形成, 也伴随着大量人口非农化造成乡村空心化、土地撂荒等问题; 生态文明战略落实, 传统国土空间开发方式转变, 正在塑造新的生态安全格局。可以预见, 未来国土空间演变将是更为剧烈、深刻的, 新时代的国土空间新格局正在加速形成。国家战略导向下, 国土开发活动会对国土空间格局产生何种影响, 国土空间格局演变又会产生怎样的自然、社会经济效应。解决诸如此类科学问题, 亟需对国土空间变化及其生态环境、社会经济影响的关键科学现象和科学数据开展全要素、多尺度的国土空间动态监测。同时, 生态文明体制改革^[1]、自然资源综合监管^[2]、建立国家公园体制^[3]、生态红线划定、优化国土开发格局等管理实践也明确要

收稿日期: 2017-09-16; 修稿日期: 2017-12-20

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201211050); 国土资源部土地利用重点实验室开放基金(KLLU201701)。

第一作者: 张衍毓(1981-), 男, 山东济宁人, 博士, 副研究员。主要研究方向为土地系统科学、空间规划、土地利用战略。

E-mail: zhangyanyu@mail.qlspi.org.cn

求建立覆盖全部国土空间的监测系统,动态监测国土空间变化。

国际上不少国家已在资源、生态环境、农业、水文等相关领域建立了长期监测网络^[4-5],如全球陆地观测系统(GTOS)、国际长期生态研究网络(ILTER)、美国国家生态监测网络(NEON)、英国环境变化监测网络(ECN)、全球通量监测网络(FLUX)、国际生物多样性监测网络(GEO.BON)、“未来地球”(Future Earth)计划,以及地壳动力学数据信息系统(CDDIS)、地球观测体系数据信息系统(EOSDIS),呈现出连续观测、自动智能、综合研究、数据共享、网络联动、学科交叉等趋势。国内,生态学、土壤学、环境科学、海洋学、气象学等学科已形成相对完善的野外台站系统,如中国生态系统研究网络(CERN)、土壤环境质量监测网络、国家地表水环境质量监测网络、全国环境空气质量监测网等,国家野外科学观测研究网络初具规模。目前,相关学科(行业)的监测主要侧重于对国土空间系统个别要素的监测,直接把国土空间系统作为监测对象的综合性网络还未建立;已有监测的内容聚焦在自然要素,对驱动国土空间系统演变的及时的、配套的社会经济因子观测较少;监测尺度也相对单一,未充分体现国土空间系统的尺度差异。笔者认为,国土空间系统是综合性、多尺度、动态化复杂巨系统,国土空间监测需要构建多要素、多层次、持续性的国土空间全面感知体系,强调自然与社会经济要素的综合,以及从大尺度宏观监测到微观尺度精细化监测的尺度跨越和长时间序列动态数据的获取。可见,现有相关行业的监测网络尚不能完全满足国土空间监测的需求。因此,有必要加快推进国土空间监测网络相关研究^[6-7]与建设实践工作。

国土空间监测网络应立足国土空间系统基础理论^[8-11],基于科学布点方法构建多层次监测网络体系^[12],通过一套科学设计的国土空间监测指标,构建国土空间常态化监测与诊断系统,获取长期、动态、精细化、多要素、多尺度国土空间系统监测数据,实现高强度国土开发背景下对国土空间变化及其相关影响因子的全面感知^[13],通过国土空间大数据平台构建与智能化分析,对国土空间格局、功能演变进行系统诊断,提出国土空间优化调控机制与路径,支撑国土空间优化开发决策。完整的国土空间监测网络应该是互联网、物联网和“天—空—地”一体化监测技术支撑下由全国—区域—县市—村镇—地块不同尺度组成的

多层次监测体系^[12]。目前国土空间数量变化监测已有扎实的工作基础^[14-15],基于国土空间精细化分类、数量质量生态并重、自然与人文并举的多要素监测平台与技术体系尚未形成。因此,已有监测成果主要体现在土地利用变化数据,对国土空间演变的成套的自然、社会经济因子数据获取不足。为满足国土空间系统演变机制研究的需要,及时揭示国土空间演变规律,加强对国土空间变化的精准预判与及时调控,需要面向典型国土空间系统,建设精细化监测网络。

县域尺度作为行政管理的基本单元,地域空间完整、稳定,在自然资源、经济社会发展和公共政策等方面具有地域一致性。以县为基本监测单位,构建起县域尺度国土空间监测网络体系,是对现有土地利用宏观监测体系的有益补充。因此,有必要在现有宏观监测的基础上,布设一批县域尺度的国土空间精细化监测网络,构建宏观—中观—微观尺度相结合的立体化的国土空间监测体系。全国的县级行政区中哪些县最具国土空间代表性,能以最小成本实现对国土空间信息的全面、精准获取,这是国土空间监测网络布局优化需要解决的问题。

2 国土空间监测网络优化布局总体设计

2.1 基本原理

构建国土空间多级综合监测网络旨在持续跟踪人与自然交互作用下的国土空间系统演变。通过连续获取动态监测数据,揭示不同区域、不同类型国土空间变化的过程、自然人文响应、功能演变机制和国土空间系统优化调控机理,为自然资源可持续利用和国土空间格局优化提供理论和技术支撑。主要监测内容包括对不同尺度国土空间变化及其自然、社会经济驱动力和效应指标的综合监测。其综合性体现在国土空间类型的全面覆盖,国土空间系统自然、社会经济多要素的全面涵括,国土空间数量、质量、功能性监测指标的全面设计和从宏观到微观多尺度的全面贯通。

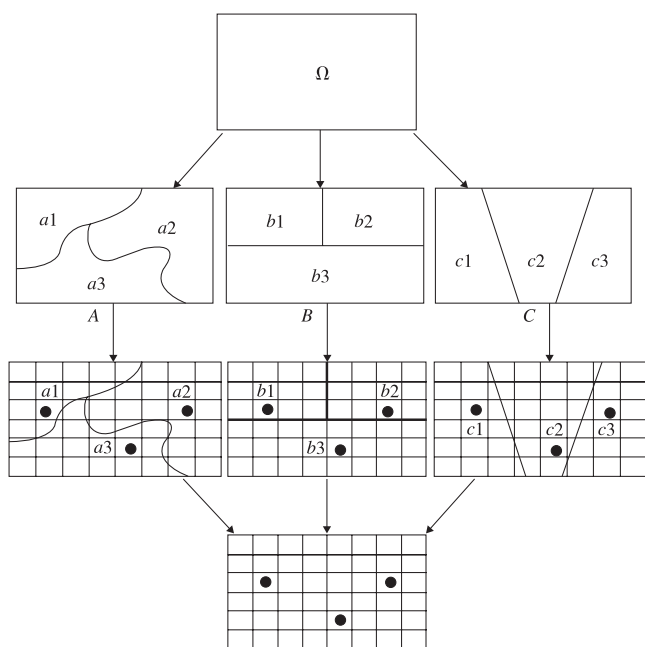
国土空间监测网络首先要实现对不同国土空间类型与功能的全覆盖,还要体现不同国土空间类型与功能所对应的自然、社会经济条件的差异性。因此,在监测网络设计时选择以突显国土空间类型与功能差异的指示性指标为优化目标变量,以与其密切相关的自然、社会经济因子为辅助变量,开展国土空间分区,构建多目标优化函数进行空间采样,形成国土空间监测网络优化布局参考方案。基于以上方法优选

的监测样点,理论上能在成本控制条件下最大程度上实现对主要国土空间类型与功能变化及影响其变化的相关自然、社会经济因子信息的同步捕捉和动态获取,从而达到国土空间综合监测的目的。

2.2 技术路线

采用代表性监测的思路进行国土空间监测网络布局的优化设计。首先开展国土空间分区,基于国土空间(土地)利用及其有较强相关性的自然条件、社会经济因子数据,采用重复二分聚类方法进行空间分区,得到农业生产空间、城乡建设空间、生态保育空间分区方案;然后基于监测样点对不同的农业生产空间类型、城乡建设空间类型、生态保育空间类型和地理空间的代表性,设计国土空间监测网络布设多目标优化函数,使用多目标优化求解算法生成国土空间监测网络布设设备选方案。

本文以县级行政区作为采样单元,基于该优化方法产生的国土空间代表性监测网络能够通过一套监测样点实现对农业、城乡建设、生态主要国土空间类型的代表性监测,同时能够确保在地理空间上的相对均匀,体现监测样点在地域空间上的代表性。如图1所示,特定国土空间的A(农业生产)、B(城乡建设)、C(生态保育)3种分区方案对应同一套监测样点,通过



注: 参照“Hu Y., Wang J. F., Li X. H., et al. Geographical-detector-based risk assessment of the under-five mortality in the 2008 Wenchuan Earthquake, China[J/OL]. PLoS ONE, 2011, 6(6): e21427.”绘制。

图1 国土空间监测网络优化设计示意图

Fig.1 The optimized design for territorial land monitoring Network

在监测样点进行国土空间综合监测,能够使用3个样点a、b、c完成A、B、C三种分区方案的各个分区类型的代表性监测,同时在地理空间上实现均匀覆盖。该方法选出的每个监测样点均能同时代表A、B、C中的一种国土空间类型,即每个监测样点均能同时获取农业生产、城乡建设、生态保育空间的相关信息。

3 国土空间监测网络布局优化模型

3.1 构建空间采样数据集

水、土、气、生等自然要素以及人口、产业等相关社会经济要素是国土空间系统的基本组成要素。本文以县级行政区为基本单元,用土地利用数据表征国土空间特征,收集各县域国土空间数据以及与其密切相关的自然本底和社会经济数据,构建空间采样数据集。

(1)自然本底数据。围绕国土空间系统的水、土、气、生等主导性自然要素,选取了年平均降水量、干燥度、土壤有机质、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、年平均气温、光温生产潜力、植被指数、高程、坡度等数据,这些因子反映了国土空间的自然本底信息。数据格式为栅格,来源于中国科学院资源环境科学数据中心的气象要素空间插值、地形地貌等数据。

(2)国土空间(土地利用)数据。基于2015年末土地变更调查分县数据,依据《土地利用现状分类》(GB/T21010-2007),按照主体功能原则,归并形成三类国土空间:农业生产空间主要包括耕地,城乡建设空间包括城市、建制镇、村庄、采矿用地、风景名胜及特殊用地,生态保育空间包括园地、林地、草地、水域(含河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、冰川与永久积雪)、湿地(含沿海滩涂、内陆滩涂、沼泽地)和退化土地(含盐碱地、沙地、裸地)。为消除行政区大小带来的差异,分别用农业生产空间、城乡建设空间和生态保育空间面积除以行政区面积,得到垦殖率、城乡建设强度、生态覆盖度3个指标,用作国土空间分区的目标变量。

(3)社会经济数据。社会经济信息包括人口、粮食产量、GDP、第一产业增加值、第二产业增加值、固定资产投资等指标,主要来源于《中国县域统计年鉴2016(县市卷)》、2015年社会经济统计年鉴、相关统计公报等资料,这些指标直接或间接地反映了国土空间变化的社会经济驱动因素。

3.2 确定国土空间分区指标与方法

国土空间分区采用gCLUTO(Graphical Clustering

Toolkit)软件提供的重复二分聚类方法完成。gCLUTO软件能够有效完成高维数据的高效聚类,并通过bootstrap抽样消除参与聚类数据本身的不确定性,提高聚类结果的稳定性和可靠性^[16-17]。重复二分聚类方法是一种划分聚类方法,通过递归的二分完成聚类,能够以较小的计算资源完成高质量的聚类结果^[18-19]。在聚类过程中,选择式(1)所示的余弦函数作为相似度函数,选择式(2)所示的 I_2 函数作为聚类准则函数。将每个县(区)作为聚类对象,聚类完成后,将属于同一类的县(区)合并,形成一个空间分区。

$$\cos(d_i, d_j) = \frac{d_i^T d_j}{\|d_i\| \|d_j\|} \quad (1)$$

式(1)中, d_i 和 d_j 为包含两个对象属性的矢量, d_i^T 为 d_i 的转置, $\|d_i\|$ 和 $\|d_j\|$ 分别为 d_i 和 d_j 的模。

$$I_2 = \sum_{i=1}^k \sqrt{\sum_{d_i, d_j \in S_i} \cos(d_i, d_j)} \quad (2)$$

式(2)中, k 为聚类个数, S_i 是第 i 个类, d_i 和 d_j 为属于 S_i 的两个对象。

选取垦殖率、城乡建设强度、生态覆盖度3个指标来表征国土空间功能类型。将其与自然和社会经济因子做相关性分析,确定与国土空间特征密切相关的自然和社会经济因素,作为国土空间分区辅助变量。基于相关性分析结果,农业生产空间采用垦殖率、户籍人口、第一产业增加值、农业机械总动力、粮食总产量、年平均降水量、土壤有机质含量、光温生产潜力、高程、坡度共10个变量进行分区。城乡建设空间采用二级分区,首先采用城乡建设强度、户籍人口、GDP、第二产业增加值、公共财政收入、公共财政支出、居民储蓄存款余额、年末金融机构各项贷款余额、规模以上工业总产值、固定资产投资、普通中学在校学生数、小学在校学生数、医疗卫生机构床位数、高程、坡度共15个变量进行一级聚类,然后对城乡建设强度最大的一类(城市群地区)按照空间坐标进行二级聚类分区。生态保育空间采用生态覆盖度、年平均降雨量、年平均温度、NDVI、土壤有机质含量、光温生产潜力、高程、坡度、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、干燥度共10个变量进行分区。

3.3 确定国土空间分区数

空间分层分异特性分析地理探测器被广泛用于探测各类因变量和结果变量的相关性^[20]。将分区结果作为因变量,将农业生产空间、城乡建设空间、生态保育空间等分别作为结果变量。理想的分区方法应

该能够使得分区结果体现农业生产、城乡建设、生态保育3类空间各自的空间分异性。本文采用地理探测器的空间分区分异性指数 q 值来衡量分区效果。 q 值的计算方法为:

$$q = 1 - \frac{1}{n\delta^2} \sum_{h=1}^L n_h \delta_h^2 \quad (3)$$

式(3)中, n 为所有县(区)数目, n_h 为第 h 个分区内的县(区)数目, L 为分区数, δ_h^2 为第 h 个分区内结果变量的方差, δ^2 为整个研究区域内结果变量的方差。 q 取值为0—1之间。对于相同分区数, q 值越大说明分区效果越好。对于不同分区数, q 值一般随着分区数的增加而增大,但是由于分区数增大(监测点增多)会增加监测成本,因此通过绘制边际效益曲线并寻找边际效益曲线的拐点来确定最佳分区数。

3.4 设定优化目标函数

优化目标主要考虑监测样点对不同的农业生产空间类型、城乡建设空间类型、生态保育空间类型的代表性,以及地理空间分布的均匀性。因此,监测网络的优化目标设计如式(4)所示:

$$F(s) = \{f_1(s), f_2(s), f_3(s), f_4(s)\}^T \quad (4)$$

式(4)中, $f_1(s)$ 为监测样点对不同的农业生产空间类型的代表性优化目标函数, $f_2(s)$ 为监测样点对不同的城乡建设空间类型的代表性优化目标函数, $f_3(s)$ 为监测样点对不同的生态保育空间类型的代表性优化目标函数, $f_4(s)$ 为地理空间均匀分布优化目标函数,分别定义为式(5)一式(8):

$$f_1(s) = \sum_{h=1}^L (1 - \tau_h) \quad (5)$$

式(5)中, L 为农业生产空间分区数, τ_h 为位于第 h 个分区内的监测点数目。当每个分区内都有一个监测点时, $f_1(s)$ 取值最小。

$$f_2(s) = \sum_{h=1}^L (1 - \tau_h) \quad (6)$$

式(6)中, L 为城乡建设空间分区数, τ_h 为位于第 h 个分区内的监测点数目。当每个分区内都有一个监测点时, $f_2(s)$ 取值最小。

$$f_3(s) = \sum_{h=1}^L (1 - \tau_h) \quad (7)$$

式(7)中, L 为生态保育空间分区数, τ_h 为位于第 h 个分区内的监测点数目。当每个分区内都有一个监测点时, $f_3(s)$ 取值最小。

$$f_4(s) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{distance}(c_i, s) \quad (8)$$

式(8)中, N 为全国监测点总数, c_i 表示第 i 个县(区), s 表示距离 c_i 最近的监测点, $distance(c_i, s)$ 表示 c_i 和 s 之间的距离。 $f_4(s)$ 即最短距离最小(Minimization of the Mean of the Shortest Distances, MMSD)准则, 经常被用于以地理空间均匀为目的采样布设优化^[21]。

3.5 多目标函数优化求解

为了同时优化多个目标函数, 同步实现对3类分区的代表性和地理空间的代表性, 采用多路空间模拟退火方法(Multi-Path Spatial Simulated Annealing, MP-SSA)进行优化求解。该方法基于空间模拟退火(Spatial Simulated Annealing, SSA), 通过为每个优化目标设置单独的降温路径和终止条件实现对多个目标的同步优化, 解决了SSA只能进行单目标优化的问题。优化迭代过程中新解是否接受由所有路径共同决定, 实行一票否决制。每个目标依据Metropolis 准则确定是否接受新解, 即用式(9)依次计算每一个目标对新解的接受概率:

$$p_i = \begin{cases} 1 & f_i(s2) \leq f_i(s) \\ \text{Exp}\left(\frac{f_i(s) - f_i(s2)}{T_i}\right) & f_i(s2) > f_i(s) \end{cases} \quad (9)$$

生成0—1之间的随机数 $rand$, 如果 $rand < p_i$, 则目标 f_i 的判断结果为接受, 否则目标 f_i 的判断结果为不接受。完成针对每个目标的判断后, 判断是否存在目标 f_i 选择拒绝 $s2$, 如果存在, 则拒绝 $s2$; 否则选择接受。

在优化过程中, 为每个退火路径设置了同样的降温参数和终止条件。设置初始温度为1, 降温速度为0.95, 最低温度为 1×10^{-15} 。终止条件为连续拒绝100次。

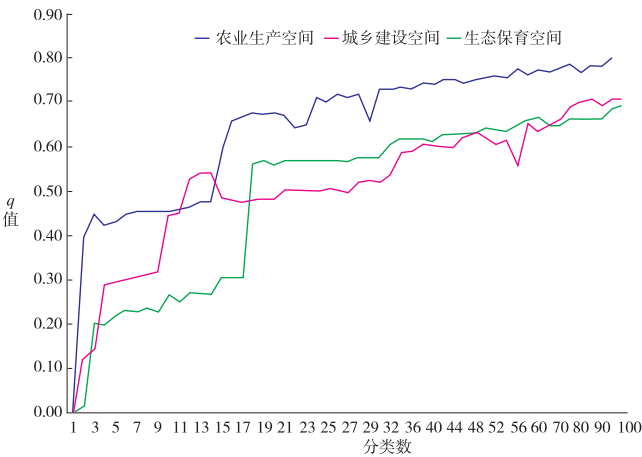


图2 不同国土空间分类数 q 值曲线

Fig.2 The q value change curve with different territorial land zoning numbers

4 国土空间监测网络布局优化方案

4.1 国土“三生”空间分区方案

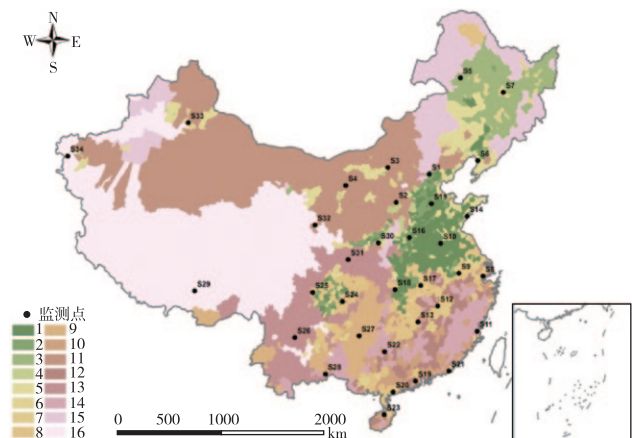
基于地理探测器 q 统计方法, 确定农业生产空间、城乡建设空间、生态保育空间的分类数量。三类国土空间各自的分类数 q 值曲线如图2所示。根据 q 值曲线变化规律, 确定农业生产空间的分类数为16类, 城乡建设空间的分类数为12类, 生态保育空间的分类数为18类。其中, 城乡建设空间的第一类主要是高度城市化地区, 为进一步凸显其内部差异, 基于空间坐标进行了二级聚类分区, 细分成23个亚类, 即城乡建设空间共计分为34类。其中, 23个亚类与城市群的空间分布特征具有很强的空间契合度。国土“三生”空间不同分区目标变量均值如表1所示, 其中某些分区之间的目标变量均值相近, 但是辅助变量存在较大差异, 因此单独分成了一类。

表1 国土“三生”空间不同分区的目标变量均值表
Tab.1 Mean values of target variables regarding different agricultural production, construction and ecology zones

农业生产空间		城乡建设空间		生态保育空间	
分区 序号	垦殖率 (%)	分区 序号	城乡建设 强度(%)	分区 序号	生态覆盖 度(%)
1	58.18	1	34.28	1	87.92
2	56.02	2	20.05	2	83.30
3	51.01	3	14.58	3	81.47
4	35.01	4	11.98	4	80.36
5	33.49	5	11.10	5	79.83
6	33.12	6	10.26	6	76.42
7	33.08	7	9.87	7	72.55
8	32.62	8	4.15	8	72.37
9	20.34	9	3.41	9	70.35
10	18.45	10	2.99	10	69.08
11	17.36	11	2.30	11	56.28
12	15.87	12	2.02	12	39.86
13	14.17			13	39.22
14	11.70			14	38.77
15	11.15			15	37.54
16	9.03			16	33.04
				17	30.70
				18	16.56

4.2 国土空间监测网络布局优化方案

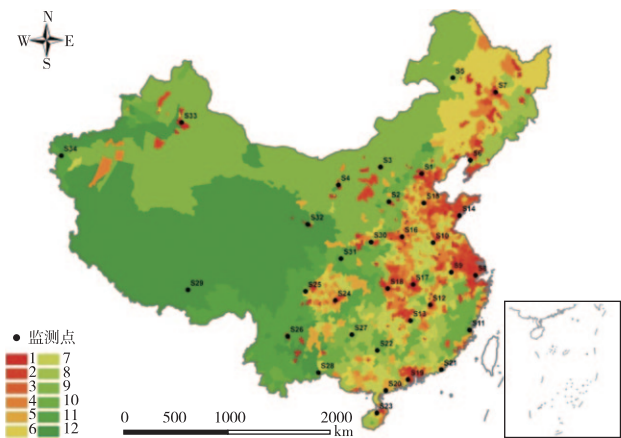
基于上述模型, 在精度要求范围内, 可形成多套监测网络布局备选方案, 理论上讲, 这些方案均符



注：港澳台资料暂缺。

图3 农业生产空间监测点分布图

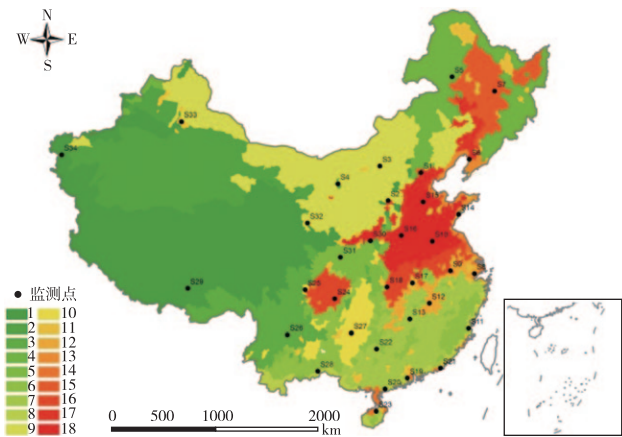
Fig.3 Agricultural production zones and monitoring samples



注：港澳台资料暂缺。

图4 城乡建设空间监测点分布图

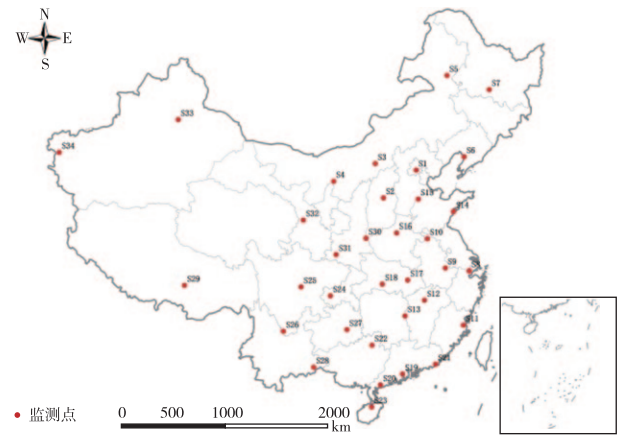
Fig.4 Urban-rural construction zones and monitoring samples



注：港澳台资料暂缺。

图5 生态保育空间监测点分布图

Fig.5 Ecological protection zones and monitoring samples



注：港澳台资料暂缺。

图6 国土空间监测网络布局方案

Fig.6 Land monitoring network optimal distribution

合科学布点要求。这时,需要专家知识介入,根据国土空间监测实践工作的要求、各地监测点布设的均衡性与可行性等因素,从多套方案中优选出监测网络布局参考方案。

最终,形成了由34个县域监测点形成的国土空间监测网络布局优化方案,其中,每个点均代表1种类型的农业生产、城乡建设、生态保育空间(图3—图5)。34个点空间分布均匀,基本上每省都有监测点(图6)。通过与农业综合区划、生态功能区划、城镇化发展综合区划、主体功能区划等已有空间分区成果进行空间比对分析,上述监测网络布局方案能够实现对主要国土空间类型的全面覆盖,可为国土空间监测网络建设实践提供参考依据。

5 国土空间监测基地精准选址

上述国土空间监测网络布局优化方案是在考虑有限因素条件下形成的理论方案,可用于全国尺度国土空间监测网络规划布局时对监测样点的数量、空间位置及辐射区域进行总体控制。实际工作中,要把监测样点建成监测基地来开展具体监测工作。监测基地的精准选址涉及的因素更为复杂,当地的基地建设意愿、基础科研条件、科研体制机制等往往是基地选址中需要考虑的现实因素,但是受数据获取条件等的影响,在上述模型中难以量化和体现,理论上本模型所采用的指标集是不完备集,因此,监测基地实际选点过程中,还要在本文提出的方案基础

表2 国土空间监测样点与国土空间分区类型对应关系表

Tab.2 Correspondence between land monitoring samples and the types of land zoning

监测样点 编号	农业生产空 间分区代码	城乡建设空 间分区代码	生态保育空 间分区代码	监测样点 编号	农业生产空间 分区代码	城乡建设空间 分区代码	生态保育空间 分区代码
S1	15	1A	17	S18	1	3	16
S2	6	1F	11	S19	10	1G	11
S3	6	1S	9	S20	7	1P	7
S4	11	1T	2	S21	10	7	14
S5	3	8	4	S22	7	1L	11
S6	5	1H	13	S23	10	4	8
S7	6	1U	15	S24	12	1D	16
S8	7	1B	12	S25	9	6	10
S9	6	1I	12	S26	13	1V	3
S10	6	1J	18	S27	9	5	10
S11	10	1K	11	S28	14	9	6
S12	10	1E	11	S29	16	12	1
S13	12	1M	7	S30	4	10	5
S14	8	1O	11	S31	4	1Q	18
S15	2	2	18	S32	6	1N	11
S16	6	1C	17	S33	6	1W	11
S17	8	1R	11	S34	16	11	1

上,充分考虑多种因素,基于科学决策程序,对监测样点进行适当替换、调整,在维护选点科学性的同时,兼顾可行性。

5.1 决策因素

监测基地服务于国土空间监管和科学研究等复合目标^[12]。基地选址时要综合考虑以下因素:(1)选址具有地域代表性,能够代表所在地域的特点,在自然资源禀赋条件、土地利用方式、社会经济发展等方面具有典型的地域特色,优先选择自然条件有特色、国土空间变化剧烈、人为活动干扰大、土地管理和利用特征显著的地区作为监测基地;(2)研究主题符合学科发展的需求,具有学科代表性及鲜明的研究特色和明确的近、中、远期研究目标,便于建设由监测基地—监测站点—监测样地形成的多级监测网络体系;(3)具有高水平的科技研发平台与团队、强有力的保障团队和健全完善的科技制度体系;(4)具有相对完善的科研基础条件,在相关研究领域具有扎实的数据基础和成果积累,具有必需的仪器设备、科研设施和场地,能够保障数据观测的便捷性和稳定性;(5)具有基地建设的积极性,能够保障稳定的运行经费来源;(6)具有科技协同创新组织能力,能够吸纳所在区域的科技研发机构开展协同攻关;(7)具有成

果示范与转化的便捷条件,便于科技成果转化与推广,能够形成较好的科技示范效应。

5.2 科学流程

建议在综合考量上述因素的基础上,充分利用专家知识,采用“上下结合”的决策模式和科学程序确定县域监测基地选址。充分发挥专家在选址科学决策中的作用,由来自国家、区域、市县不同层级的土地管理、农业、生态、城市等相关专业的科研工作者、公共管理决策者、企业专家组成咨询委员会,按照国家需求,结合地方实际,科学选址。同时,通过考核,对基地选点的科学性进行长期跟踪评估,优化调整。

6 结论与讨论

构建国土空间监测网络,实现国土空间多级、综合、动态监测,对于及时掌握国土空间变化规律,揭示其自然、社会因子影响机制,研究优化调控机理,制定国土空间开发与优化调控政策具有重要意义。本文基于多目标优化方法,提出了国土空间监测网络布局优化参考方案,可用于国土空间变化数据的持续观测,还可为土地领域的野外观测基地布点提供参考,并有望为自然资源综合监管、国土空间监管、土地调查数据核查、土地督察、土地政策实施效应评估等自

然资源管理工作提供支撑。

相关技术方法可为下一步重点区域精细化国土空间监测网络的构建提供参考。在全国不同区域构建起集标准化与差异化为一体的区域性国土空间监测网络,获取第一手国土空间系统观测数据,对支撑相关基础研究和关键技术研发,提升国土资源科技支撑服务水平,加快学科、平台和队伍建设具有重要意义。

及时开展国土空间监测网络构建理论、技术研究与实践探索,对于推动形成地学大数据,构建完善的人地关系认知、诊断与调控体系是非常必要的。国土空间多级综合动态监测体系的构建依赖于互联网思维下多视角探测与分析技术的集成应用。要将遥感技术的宏观监测优势、地面监测的精细化优势、GIS、互联网和物联网的集成化优势以及大数据分析技术的深度挖掘优势等结合起来,全视角研究、揭示国土空间系统变化的科学规律,加强对国土空间系统的全面认知、综合诊断与优化调控,形成国土空间持续利用科学决策支撑体系。

参考文献(References):

- [1] 生态文明体制改革总体方案[EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/politics/2015-09/21/c_1116632159.htm, 2015-09-21.
- [2] 自然生态空间用途管制办法(试行)[EB/OL]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201704/t20170424_1499615.htm.
- [3] 建立国家公园体制总体方案[EB/OL]. http://news.xinhuanet.com/politics/2017-09/26/c_1121727905.htm, 2017-09-26.
- [4] 赵士洞. 美国国家生态观测站网络(NEON)—概念、设计和进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 578-583.
- [5] 任娟, 肖洪浪, 李锦秀, 等. 美国大尺度综合环境观测站网计划介绍及其相关研究[J]. 地球科学进展, 2008, 23(3): 327-330.
- [6] 国土资源部. 国土资源部中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)[EB/OL]. http://www.mlr.gov.cn/tdzt/zxgz/kyzx/xgwj/201004/t20100429_717352.htm.
- [7] 国土资源部. 国土资源“十三五”科技创新发展规划[EB/OL]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/zytz/201609/t20160914_1417105.htm.
- [8] P. H. Verburg, N. Crossman, E. C. Ellis, et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective[J]. *Anthropocene*, 2015, (12): 29-41.
- [9] P. H. Verburg, K. H. Erb, O. Mertz, et al. Land System Science: between global challenges and local realities[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, (5): 433-437.
- [10] 冯广京. 关于土地科学学科视角下“土地(系统)”定义的讨论[J]. 中国土地科学, 2015, 29(12): 1-10.
- [11] 冯广京. 土地科学学科独立性及学科体系研究框架[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2015: 39-99.
- [12] 张衍毓, 郭旭东, 陈美景. 土地系统多级综合观测研究网络建设框架[J]. 中国土地科学, 2016, 30(7): 4-13.
- [13] 张衍毓, 陈美景. 国土空间系统认知与规划改革构想[J]. 中国土地科学, 2016, 30(2): 11-21.
- [14] 中华人民共和国国土资源部, 国务院第二次全国土地调查领导小组办公室. 第二次全国土地调查成果分析[M]. 北京: 地质出版社, 2017.
- [15] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [16] Matt Rasmussen, George Karypis. gCLUTO: An interactive clustering, visualization, and analysis system[R]. Technical Report TR-04-021, University of Minnesota, 2004.
- [17] Zhao Y., Karypis G. Clustering in the life sciences[A]. M. Brownstein, A. Khodursky, D. Conniffe. *Functional Genomics: Methods and Protocols*[M]. New Jersey: Humana Press.
- [18] Zhao Y., Karypis G. Criterion functions for document clustering: Experiments and analysis[J]. *Machine Learning*, 2004, 55: 311-331.
- [19] Desikan K., Grace G. H. Optimal Clustering Scheme for Repeated Bisection Partitional Algorithm[J]. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2013, 3(5): 1492-1495.
- [20] Wang J., Li X., George C., et al. Geographical Detectors-Based Health Risk Assessment and its Application in the Neural Tube Defects Study of the Heshun Region, China[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [21] Van Groenigen J. W., Siderius W., Stein A. Constrained optimisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance[J]. *Geoderma*, 1999, 87(3-4): 239-259.

Spatial Optimized Distribution Method for China Land Monitoring Network

ZHANG Yan-yu^{1,2}, GAO Bing-bo³, GUO Xu-dong^{1,2}, CHEN Mei-jing¹, REN Yan-min³, LI Xiao-lan³

(1. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China; 2. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China; 3. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: The purpose of this study is to select typical counties/cities from all the Chinese county-level administrative districts based on the multi-objective spatial optimization sampling methods, which can simultaneously represent the specific types of agricultural production space, urban-rural construction space, ecological reservation space, and then to put forward spatial distribution proposal for the construction of China Land Monitoring Network that serves as the natural resources integrated management and multi-level, comprehensive and dynamic land monitoring across the country. Based on land use data of the year 2015 from national land use surveying, natural and social-economic data, the spatial sampling data set was established; three indicators i.e. reclamation rate, urban and rural construction intensity, ecological space covering rate, were selected to reflect main land function types, and combined with highly relevant natural and social-economic variables to conduct China land use zoning by repeated bisection clustering method; taking representativeness on different territorial spaces and geographical distribution uniformity of the monitoring samples as the optimization objectives, the multi-objective optimization function was built and multi-path spatial simulated annealing was used for multi-objective optimization solution, and the common typical counties for different territorial space types were selected as the alternatives samples; fully considering the land management practical requirements on the monitoring samples distribution, one set of samples were selected by virtue of expert knowledge from alternatives as the reference of China land monitoring network. Eventually, 34 counties were selected as the monitoring samples for construction of China Land Monitoring Network based on the principle of minimum cost. In conclusion, human's abilities of land resources developments are increasingly enhanced and spatial patterns of territory development are sharply changing. In order to dynamically obtain land system data of different scales, explore land evolution rules, and put forward land optimization and control strategies, it is imperative to construct China Land Monitoring Network from the national, regional and local perspectives. The 34 samples selected cover all the types of above three territorial spaces and can be used as the reference for the construction of China Land Monitoring network. Meanwhile, the methods of land zoning and monitoring samples distribution optimization proposed by this study can provide the reference for regional land monitoring network design and construction.

Key words: land administration; land space; land monitoring network; spatial optimized distribution; multi-objective optimization model

(本文责编：戴晴)