

面向城市国土空间总体规划实施监测的预警技术体系构建与实践探索

Construction and Practical Exploration of a Warning Technology System for Monitoring the Implementation of Territorial Spatial Master Planning

吴玉 李璐 张姗姗 甄峰 林昀 朱青荣 WU Yu, LI Lu, ZHANG Shanqi, ZHEN Feng, LIN Yun, ZHU Qingrong

摘要 国土空间规划实施监测预警是预防国土空间开发利用与保护过程中的潜在风险、保障规划实施成效、实现全生命周期管理的重要手段,也是数字化转型背景下实现精细化国土空间治理和高质量发展的关键举措。系统回顾我国规划实施监测预警相关工作的发展历程,结合新时期国土空间规划需求,从人地视角构建面向城市国土空间总体规划实施监测的预警技术体系。在人口和用地模拟的基础上,分别构建规划指标和空间管控要素的预警方法,实现分区、分级预警。以浙江省宁波市实践为例,其提出的技术方法可有效预判城市发展风险,缓解人地矛盾,以期为我国城市国土空间总体规划实施监测预警工作提供经验借鉴。

Abstract Monitoring and warning of the implementation of territorial spatial planning is an important method for preventing potential risks in the development and utilization of territorial space, guaranteeing the effectiveness of planning implementation, and realizing the management of the whole life cycle. It is also a key measure for realizing the refined territorial spatial governance and high-quality development in the context of digital transformation. In this paper, we systematically review the progress of monitoring and warning of planning implementation in China, and combine with the needs of national spatial planning in the new period to construct a warning technology system for monitoring the implementation of territorial spatial master planning from the perspective of people and land. On the basis of population and land use simulation, the warning methods for planning indicators and spatial elements are established to achieve zoning and hierarchical warning. The practice of Ningbo City in Zhejiang Province shows that the proposed technical method can effectively predict the risk of urban development and alleviate the contradiction between people and land, which is expected to provide experience for the monitoring and warning of the implementation of the territorial spatial master planning in China.

关键词 国土空间总体规划;规划实施监测;预警技术;宁波

Key words territorial spatial master planning; implementation monitoring of planning; warning technology; Ningbo

文章编号 1673-8985 (2025) 04-0099-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20250414

作者简介

吴玉

南京大学建筑与城市规划学院 硕士研究生

李璐

宁波市测绘和遥感技术研究院(宁波市自然资源和规划调查监测中心) 工程师,硕士

张姗姗(通信作者)

南京大学建筑与城市规划学院

城市AI与绿色人居环境营造省高校重点实验室

助理教授,博士生导师

zhangshanqi@nju.edu.cn

甄峰

南京大学建筑与城市规划学院

城市AI与绿色人居环境营造省高校重点实验室

教授,博士生导师

林昀

宁波市测绘和遥感技术研究院(宁波市自然资源和规划调查监测中心) 高级工程师,硕士

朱青荣

宁波市测绘和遥感技术研究院(宁波市自然资源和规划调查监测中心) 经济师

0 引言

城镇化的快速推进带来土地资源紧张、生态失衡、城乡发展不平衡等一系列复杂的人地问题^[1]。为有效解决这些问题并预防新风险的产生,实现生态文明引领下的高质量发展,迫切需要以国土空间规划为引领,加强规划实施监督体系建设,保障规划顺利实施。2019年《全国国土空间规划纲要》明确提出以“建

设数字国土”为战略目标,建设国土空间规划实施监测网络,支撑规划实施监督体系构建。城市级国土空间总体规划的陆续批复也要求尽快开展规划实施监测工作,通过持续、动态监测,掌握规划实施情况,纠偏规划实施中出现的指标突破、执行不力等问题,为优化国土空间开发保护格局、实现规划全生命周期管理提供支撑。其中,动态、准确地识别规划实施过程中的潜在发展风险并及时预警,是国土空间规划实施监测的重要环节^{[2]2951},也是实现国土空间规划的智慧化转型,从被动响应转向“先知先觉”的关键所在。

预警是对某一系统可能产生的不良状态提前警示的过程。在国土空间规划体系下,预警技术强调结合相关规则,关注规划实施与目标的差异和用地矛盾情况,遏制规划偏离。北京^[3]、上海^[4]、广州^[5]、深圳等城市均开展试点实践,基于新算法和新模型,将预警内容从风险灾害、空间冲突扩展至高品质生活。学术研究方面,强调预警在全生命周期管理和规划实施监测中的关键作用,对监测预警技术方法进行了持续探讨^[6]。相关研究主要关注用地变化、发展风险、违规行为等方面的监测预警,通过构建预警指标体系,利用预测模型模拟未来指标发展,对标规划阈值实现预警^[7]。也有部分学者^[8]在3S技术(GIS、RS、GPS)的基础上,通过情景分析等方法实现对未来土地利用的模拟,结合管控规则,实现空间开发预警。

总体而言,相关实践和研究从多角度论证了预警对于规划实施监督的重要性,已初步形成面向国土空间规划实施监测的预警技术

方法。但目前的研究与实践仍存在不足,尚不能完全满足国土规划实施监测的需求,主要体现在两个方面:一方面,现有预警方法与技术主要针对城市发展某一方面或某一要素,如空间管控、设施建设等,尚未形成系统、全面的规划实施监测预警技术框架;另一方面,预警是通过国土空间发展情况的模拟与预测,及时发现国土空间的潜在风险,相关研究虽已关注到空间要素(如用地),对土地利用开展模拟推演,但对于人的动态变化考虑较少,也未考虑人与空间的复杂交互关系,不能有效反映用途变更、功能矛盾等空间冲突。

国土空间规划的本质是从人地系统、生命共同体等方面对空间关系的重构^[9],核心任务在于平衡人类活动对资源的需求与资源承载能力之间的关系。相应地,规划实施监测预警不仅要关注空间要素的动态变化,更要深入剖析人类活动与空间环境的相互作用关系。因此,本文从人地关系的视角出发,模拟未来国土空间发展。在此基础上,面向规划实施效果监测、国土空间潜在风险预警、空间管控预警3大目标,提出与新时期规划体系相适应的城市级总体规划实施监测预警技术框架。进一步将技术框架应用于浙江省宁波市,验证所提技术体系的可行性,为开展城市级总体规划实施监测预警工作提供经验借鉴。

1 规划实施监测预警的演进历程

预警是测度某种状态偏离警戒线的强弱程度并发出预警信号的过程,是系统的一种信息反馈机制,源于军事领域,后逐渐进入经济、

医疗等自然和社会经济领域。在城市规划领域,预警多作为城市应急的重要环节^[10],对于提升城市安全性和应对突发事件的能力有重要意义。在底线思维的引导下,预警被逐步运用到耕地预警^[11]、生态承载力预警^[12]、历史资源保护预警等领域,强调对专项领域定量描述后的警情判定与反馈。

《国土空间规划“一张图”实施监督信息系统技术规范(GB/T39972-2021)》明确指出,规划实施监测评估预警的核心是基于城市体检评估,围绕重要控制线刚性管控要求和规划约束性指标开展及时预警。也有学者^[13]认为,预警的本质是在与规划目标、战略导向的对比和预测的基础上,对实施过程中的方向偏离、进度滞后等风险进行预判,触发反馈机制以优化规划实施策略。总之,目前预警的定义主要强调基于多维监测的提前预判和面向规划调整的动态反馈。

1.1 规划实施监测预警的发展历程

21世纪初,我国学者就开展了规划实施监测预警的探索,预警内容与规划实施监测内容紧密相关,从关注单一要素拓展为综合性规划实施监测预警。以2008年《城乡规划法》确定规划实施评估的法定地位和2019年建立国土空间规划体系和监督实施体系为节点,可将规划实施监测预警划分为3个发展阶段(见表1)。

一是规划实施监测预警的萌芽阶段(2007年以前)。城市总体规划和土地利用总体规划两规独立,分别开展空间规划监测,掌

表1 规划实施监测预警发展阶段
Tab.1 Development stage of planning implementation monitoring and warning

发展阶段	发展背景	规划实施监测内容	预警内容	预警方法	阶段特征
规划实施监测预警萌芽阶段(2007年以前)	两规独立下土地变更调查工作和城市规划动态监测的开展	土地利用总体规划的实施结果、效益、效力评价;城乡结合部的建设活动和用地变化	设施布局平衡、耕地动态平衡等	3S技术	数据局限下,关注局部,预警内容不成体系
规划实施监测预警起步阶段(2008—2018年)	总体规划的评估工作成为规划动态实施机制的重要环节	城市发展方向和空间布局一致性、强制性内容的一致性、阶段性目标的落实情况等	城镇发展风险预警	构建综合指标体系定量分析	以发展为导向,关注城市发展重点要素并开展预警
规划实施监测预警重点发展阶段(2019年后)	国土空间规划体系对规划实施监测预警的强调	规划要求落实、规划实施效果和规划过程调整等方面	资源环境承载力风险、“三区三线”等底线预警	构建综合指标体系定量分析、多情景模拟方法	强调运用多元方法对国土空间开发利用管控内容开展及时预警

资料来源:笔者整理。

握空间利用情况。1996年开展土地变更调查工作,掌握土地利用的年度变化情况。2002年结合3S技术开展城市规划监测,重点关注城乡结合部的建设活动和用地变化。规划实施监测预警在此基础上,重点关注“地”的变化和突破情况^[14],对设施布局、耕地发展的总量控制等开展预警,由于监测数据受限,预警内容未成体系。

二是规划实施监测预警的起步阶段(2008—2018年)。2008年,《城乡规划法》的正式施行和《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》的发布,强调了城市动态监测和规划评估的重要性和严肃性。该阶段总体规划实施监测强调发展性和规划实施一致性,预警多关注快速发展与生态压力的平衡,包括资源型城市发展风险^[15]、城镇化风险^[16]、人口失衡风险^[17]等,认为预警是促进社会经济迈向可持续发展的必要手段。在方法上,通过构建综合指标体系量化社会经济信息,利用时间序列法、灰色预测法等开展预测预警。该阶段主要以发展为导向,关注城市重点要素,以构建定量指标体系为主要方法开展预警研究。

三是规划实施监测预警的重点发展阶段(2019年后)。2019年,国土空间规划体系要求构建规划实施监督体系,各地开展规划实施监督体系试点,较多学者针对预警机制开展研究,并强调其对监测的重要性。规划实施监测围绕规划要求落实、规划实施效果和规划过程调整加以开展^[18],全面了解规划实施情况。在“多规合一”对底线管控的强调下,较多研究围绕开发利用管控需求开展预警,包括城镇扩张、“三区三线”底线预警等,利用指标体系、计算模型,辅以多情景模拟方法对空间要素开展预测预警。多情景模拟方法包括未来土地利用模拟(Future Land-Use Simulation, FLUS)、斑块生成土地利用变化模拟模型(Patch-generating Land Use Simulation, PLUS)等,挖掘土地转换规则,动态模拟未来土地空间发展的结构、形态、规模,并结合管控规则实现对空间开发利用情况的警示。研究视角上,多位学者从可持续发展、全生命周期、

空间治理等角度开展监测预警技术和理论的研究。该阶段预警主要强调运用多元方法对国土空间开发利用管控内容开展及时预警。

1.2 总体发展趋势

总体而言,预警在规划动态调整 and 全生命周期管理中的重要性日益凸显,预警内容和技术的完善也成为研究重点。新时期国土空间规划体系变革下,精细化国土空间治理也对预警的主动性、全面性、准确性提出了更高要求。一方面,规划监管业务部门不能停留在传统的事后监管,需要提高对异常情况的预判能力,亟需数字化手段和体系化的预警技术加以支撑。另一方面,尽管规划实施监测预警从关注“地”的突破发展为关注城市发展与资源限制的协调,但对人地关系的预警仍不能满足未来发展需要。

1.2.1 预警内容

国土空间规划编制是规划实施的基础,规划实施评估一方面基于编制内容,对规划目标、实施过程和影响开展评价^[19],另一方面也是规划编制的前置基础。预警则基于二者,对可能出现的偏离规划目标、超出规划承载能力或引发重大风险的情况进行预判,及时采取措施加以调整和优化^{[2]2948}。各类规划需基于规划编制、监测评估,明确预警的重点方向和技术方法。已开展的总体规划实施监测预警仅围绕约束性内容开展,不能满足总规编制兼具战略引领和刚性管控的要求。总体规划实施的效果具有扩散性^[20],应基于规划编制,针对约束性管控和发展性目标内容开展预警,包括国土安全风险、资源利用风险、品质发展滞后等不满足高质量发展要求的内容。

1.2.2 预警技术

建立指标体系是评估和预警的前提,已有研究多基于国土空间总体规划编制指标、国土空间开发保护现状评估指标、城市体检指标等构建指标体系^[21],利用预测模型模拟未来发展。但目前研究与实践多侧重在规划实施一致性的结果评价,重点关注指标数值变化,较少考虑所涉及的人地关系。城市作为复杂生命有

机体,其发展受社会、经济等多种因素的影响,对未来指标的模拟预测也需考虑城市中人与设施的关系、人与地的关系等^[22]。

近年来,面向国土空间规划强化底线约束的要求,学者们逐步强调对环境底线要素的精确合理预测^[23],并注重大数据、人工智能等新技术的应用。在3S技术的基础上,基于机器学习技术的情景模拟预测方法快速发展,对传统以指标计算为主的预警方法进行补充。同时,时空大数据为多元因素相互作用的表达和模拟提供了数据基础,通过构建以土地利用变化模拟为代表的国土空间多情景模拟模型,模拟未来国土空间发展,一方面支撑重要控制线的管控预警,另一方面也辅助人地指标中对“地”的未来预测,更好地实现国土空间底线管控。

各类预警技术基本涵盖从模拟预测、警度划分到结果反馈的全过程,但多聚焦单一、具体要素开展预警分析。如何基于现有研究,梳理、整合各类预警技术,形成科学可行、系统全面的技术体系,以满足城市复杂人地系统的规划实施监测预警需求,仍有待进一步研究。

2 面向城市级国土空间总体规划实施监测的预警技术体系构建

2.1 总体思路

人地关系及其变化是国土空间规划的重点关注内容,实现人地协调是可持续发展的内在要求,也是规划编制与实施监测的重要内容^[24]。20世纪90年代,吴传钧^[25]指出地理学研究的核心是人地地域关系系统,地理学者基于对人地系统的理解认知,针对不同尺度的人地协调模式和途径开展大量研究,形成人地系统耦合、人地系统动力学等理论,科学解析了自然系统和人类社会经济系统交织作用下的地理环境动态变化规律^[26],为从人地视角下理解和模拟国土空间发展奠定了理论基础。

城市人地系统是由人类社会经济系统和自然系统相互耦合、适应形成的复杂大系统。国土空间作为人类生产、生活的物质基础和行为活动,其演化一方面受自然系统邻域差异的

影响,另一方面受人类活动的影响,通过空间组织形成国土空间格局。人地视角下的规划实施监测预警应解构人类社会经济系统和自然系统,基于国土空间演化规律,模拟未来发展,及时反馈潜在风险,修正、减少人地冲突,促进城市可持续发展(见图1)。

城市级总体规划实施监测基于规划编制,强调对总量规模、空间底线等强制性规划要求和战略目标完成情况开展监测。预警是在人地视角模拟未来国土空间的基础上,围绕监测目标,针对人地关系失衡的异常情况开展研判。分析历史人口规模发展规律,利用灰色预测模型等模拟人口发展;分析历史用地演化,结合多元影响因子,利用PLUS模型预测未来土地利用格局。在此基础上,结合预警规则,判定警情,反馈至规划管理。

2.2 关键技术

基于人地系统视角,总体规划实施监测预警应在未来人口和用地推演的基础上模拟未来发展,并提示人地矛盾突出等异常情况。因此本文将预警技术体系分为基础模块与专项模块,构建“2+2”预警技术体系(见图2)。第

一个“2”指利用多种预测模型对城市发展基础要素开展预测,即通过人口和用地模拟实现对国土空间的未来推演,作为预警技术体系的基础。第二个“2”是专项模块,指基于规划实施效果、潜在发展风险、空间管控等预警目标开展预警,以指标要素和空间要素为主,明确预警对象,结合预警规则,划定预警等级和预警区域并做出反馈。

2.2.1 国土空间模拟推演技术

(1) 人口模拟推演

人口模拟推演技术采用多模型对比验证方法提升预测的可靠性和准确度,为预警技术提供人口基准。建立趋势外推模型、Logistic模型、灰色预测模型等模型集成分析,基于历史数据对未来人口开展预测,筛选最优模型参数。趋势外推模型侧重对时空规律的挖掘,Logistic模型引入环境约束因子强调增长的有限性,灰色模型适用于短期人口预测。通过差异化建模逻辑提升预测结果的适用性,并随历史数据更新,迭代预测方法,保障人口预测可持续,为规划预警奠定决策基础。

(2) 土地利用模拟

土地利用模拟技术主要基于PLUS模型,

识别土地利用变化规则,并利用一种基于多类斑块生成策略的CA模型,提高模型对真实景观格局的模拟和仿真能力^[27]。基于PLUS模型,利用马尔科夫链或线性预测等预测未来土地利用总量变化,明确各类用地发展图斑总量;集成多类型驱动因素,通过随机森林算法获取现状各类型用地的发展概率;最后基于CA模型,优化用地转移矩阵和领域权重,提高模拟精度,确保输出的模拟结果能准确反映国土空间地类的动态变化,以模拟结果作为预警技术的用地发展基准。

2.2.2 规划实施监测预警技术

总体规划实施监测预警技术围绕指标和空间两类要素,分别提出指标预测型预警技术和空间推演型预警技术(见表2),明确预警规则,确定预警等级和预警区域。

(1) 指标预测型预警

针对总体规划单一维度指标,关注其是否突破阈值或达到预期;针对多维指标,基于风险发生的关键因素,构建综合指标体系,并对每项子指标赋予权重。通过灰色预测模型、ARIMA预测模型、组合预测等预测未来指标值。组合预测结合多种预测模型,弥补单一模

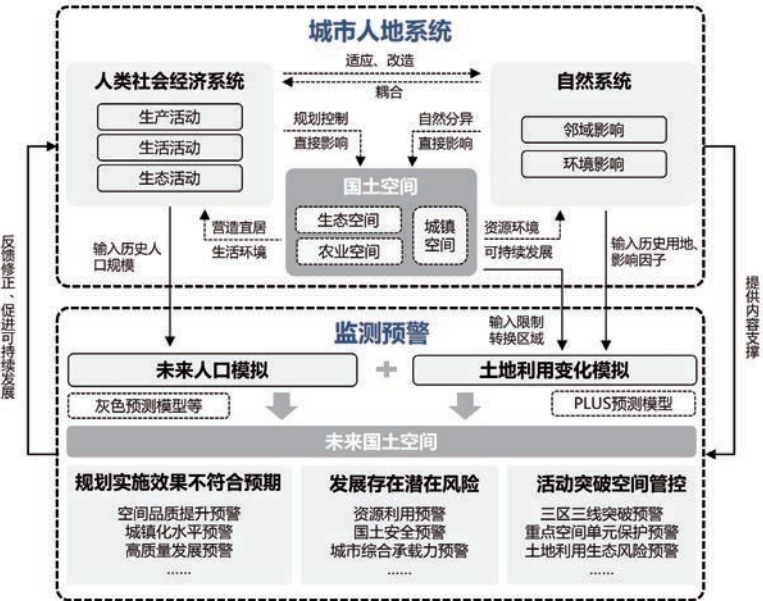


图1 人地视角下的国土空间规划实施监测预警
Fig.1 Monitoring and warning of territory spatial planning implementation from the perspective of human-land relationship

资料来源:笔者自绘。

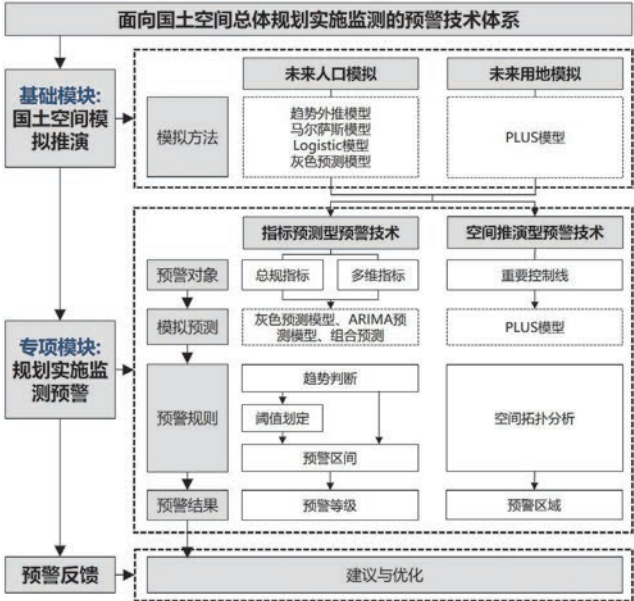


图2 面向国土空间总体规划实施监测的预警技术体系
Fig.2 Warning technology system for the implementation monitoring of territory spatial master planning

资料来源:笔者自绘。

型可能存在的信息缺失,减少随机性以提高预测精度。

各类指标的本质是未来社会经济系统、自然系统及两系统耦合发展情况,是未来的人、地或人地关系的反映。在多种预测方法的基础上,以基础模块推演的人口规模和土地利用情况加以辅助验证,经综合判断后输出未来预测值。

针对总规指标,在分析未来发展是否与经济社会发展趋势和规划预期相符的基础上,基于指标阈值和指标性质,结合经验值初步界定预警区间,并利用与该指标实施效果挂钩的指向性要素建立数学模型,判断指标增幅与实施效果之间的关系,最终优化微调输出预警区间界限阈值。约束性指标分为“未超出”“即将超出”“已超出”3类,预期性指标分为“稳定达成”“略有差距”“一定差距”“差距极大”4类,重点关注位于后两类预警区间的指标。

针对多维指标,参照各类风险评估的国内外相关标准,结合研究区自然与社会经济状况,划分指标风险等级区间。在指标预测的基础上,分析整体发展趋势,并基于预测值所处

区间位置,判定预警等级且加以反馈。

(2) 空间推演型预警

空间管控要素是国空体系下强化规划实施管控的空间抓手,其监测预警重点关注未来空间差异和空间冲突情况,因此采用空间推演型预警方式。基于基础模块对未来土地利用的模拟结果,结合规划重点分区与重要控制线的范围边界和管控要求,分析未来可能突破管控的区域,做到提早预警(见图3)。市级尺度分区县明确建设用地突破比例,基于突破比例对预警单元实现分级预警,对高风险区域进行重点监控和干预,防止空间冲突的产生或扩大。

3 实证研究

宁波是国务院批复确定的中国东南沿海重要的港口城市、长江三角洲南翼经济中心,具有较强的经济实力。国土空间规划体系对规划实施监督提出更高要求,宁波作为自然资源调查监测专题技术研究试点城市,已初步建立国土空间规划实施监测体系。2022年,宁波完成了《宁波市国土空间总体规划(2021—2035年)》(以下简称“《规划》”)的编制,为

规划实施监测预警工作提供了内容指引。本文以宁波为例开展城市级总体规划实施监测预警技术研究,对潜在发展风险予以提前预警。

基于2012—2021年宁波市人口数据,进行精度比较后选择灰色GM(1,1)模型模拟2022—2035年宁波人口,未来人口呈稳步上升态势。基于PLUS模型,输入2009年和2018年的土地利用数据,以到高速路的距离、到政府的距离等社会经济数据和坡度、高程等自然环境数据作为驱动因素,以水域为限制转换区域,模拟2022年自然发展情景下的土地利用,卡帕系数为0.71,模拟精度较高。在此基础上,以2022年为基年,模拟2035年土地利用情况(见图4),作为预警基础。

在基础模块对未来国土空间模拟预测的基础上,结合宁波市实际情况,明确专项预警内容(见图5)。以《规划》为核心依据,指标预测型预警支撑总体规划核心指标和城市创新、开放等多维风险指标,通过构建指标体系和界定预警区间实现对城市发展风险的提前预判;空间推演型预警在空间管控的引导下,适用于三区三线、重点空间单元等的保护预警,减少空间开发冲突矛盾。下文分别以城市综合承载力、三区三线突破预警为例开展实践应用。

表2 预警技术分类
Tab.2 Classification of warning technologies

预警技术	方法说明	适用预警对象	预警内容示例
指标预测型 预警技术	1.模拟预测后,明确预警区间,关注目标、底线的完成或超出情况 2.构建综合指标体系并预测,关注未来发展趋势和所属预警区间	1.有明确阈值要求的总体规划目标指标 2.有较为成熟、科学的指标体系支撑	城市综合承载力预警
空间推演型 预警技术	开展土地模拟仿真,明确未来可能突破管控的区域	1.有明确的管控要素空间布局 2.有历史土地利用数据	三区三线突破预警

资料来源:笔者整理。

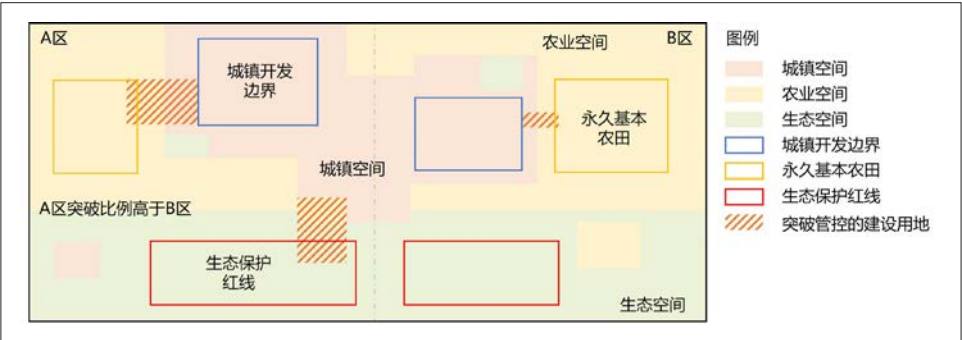


图3 空间推演型预警示意图
Fig.3 Spatial deduction-based warning

资料来源:笔者自绘。

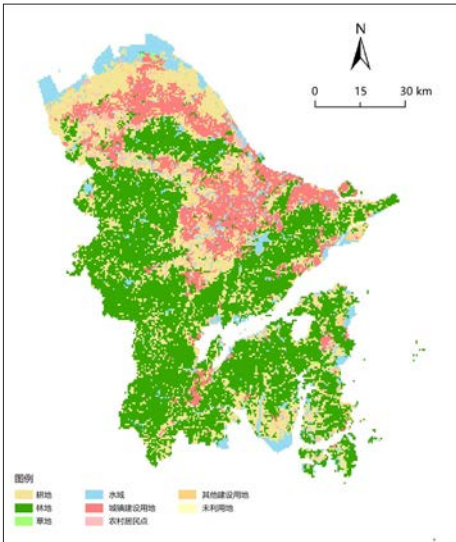


图4 2035年宁波市土地利用模拟图
Fig.4 Simulated results of land use in Ningbo by 2035

资料来源:笔者以项目资料^①为基础自绘。

注释: ① 相关基础资料来自项目《国土空间规划实施监测预警技术研究》。

3.1 指标预测型预警

城市综合承载力是在一定条件下,城市资源所能承载人类活动的规模和强度的阈值。基于人地系统理论,以三生空间视角构建综合承载力指标体系^[28]。数据源于《宁波统计年鉴》《浙江统计年鉴》等,年限为2015—2021年。通过灰色预测模型、ARIMA预测模型开展预测,结合基础模块中的预测人口数据,修正各人均指标数据,综合得到2022—2025年指标数据。结合相关研究,将城市综合承载力分为低、较低、中等、较高、高5个等级。

结果显示,宁波市综合承载力总体上

升趋势,2019—2021年上升幅度较大,预计2022年突破较高水平,2024年迈入高水平行列(见图6)。结果表明,宁波市在三生空间规划管理上存在积极因素,规划管理控制效果较好。因此,从三生空间角度出发,结合宁波实际,应持续强化创新策源和成果转化能力,优化产业结构和土地资源配,提高生产空间承载力;高品质供给城乡设施,提升公共服务均等化水平,有效保障职住平衡,提高生活空间承载力;推动绿色制造产业和低碳经济发展,加强生态保护和修复,促进生态空间承载力稳定提升。未来也应动态跟踪宁波三生空间承载

力变化,加强各类规划和生态政策、产业政策等的有效衔接,以政策合力推动经济、社会和生态的协调发展。

3.2 空间推演型预警

以《规划》送审稿初步确定的三线为基准,输入宁波市未来土地利用情况进行空间拓扑分析,分级分类输出突破3类底线的重点关注区域、持续关注区域和周期性关注区域。

整体而言,宁波市在自然增长状态下,对三线均有突破(见图7)。生态保护红线在政府约束下突破最少,仅为1%,永久基本农田和城镇开发建设的突破比例均在30%左右(见表3)。重点关注区域内城镇发展极有可能突破管控,应在确认空间管控和空间扩张方向科学性的基础上,制定负面清单,升级动态监测频率,严控三区建设行为;加强土地集约利用,确保土地资源合理利用,避免城镇无序扩张。持续关注区域有突破的可能,应缩短数据采集周期,开展定期评估;引导人口和产业合理分布,减少对新增建设用地的需求。周期性关注区域突破风险较小,建议以季度为单位对区域内各类用地图斑进行监测,及时掌握土地变化趋势,确保各项政策措施的有效执行,防范发展风险累积。通过分级管控,减少建设用地越界开发、永久基本农田非农化等问题,为规划实施纠偏提供空间指引。

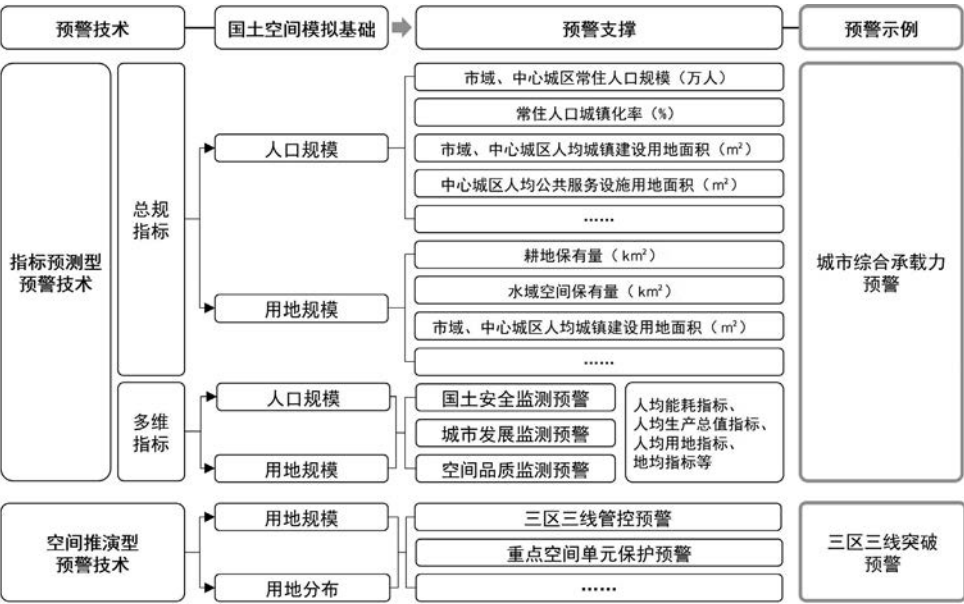


图5 国土空间总体规划实施监测预警技术示例
Fig.5 Examples of monitoring and warning technologies for the implementation of territory spatial master planning
资料来源:笔者基于《宁波市国土空间总体规划(2021—2035年)》整理。

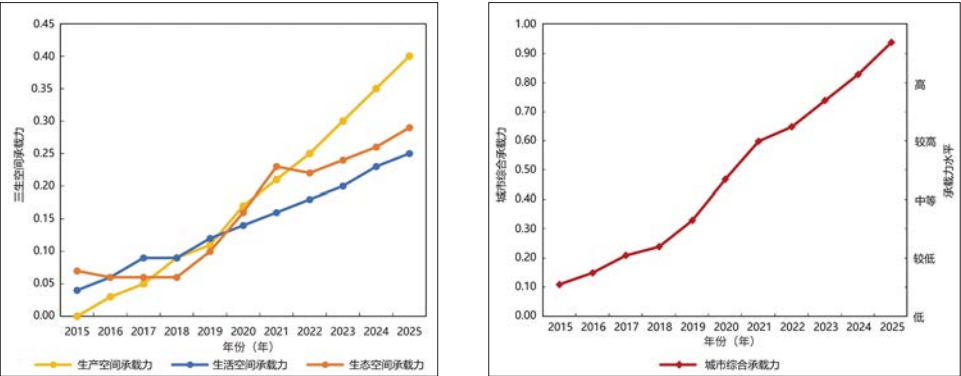
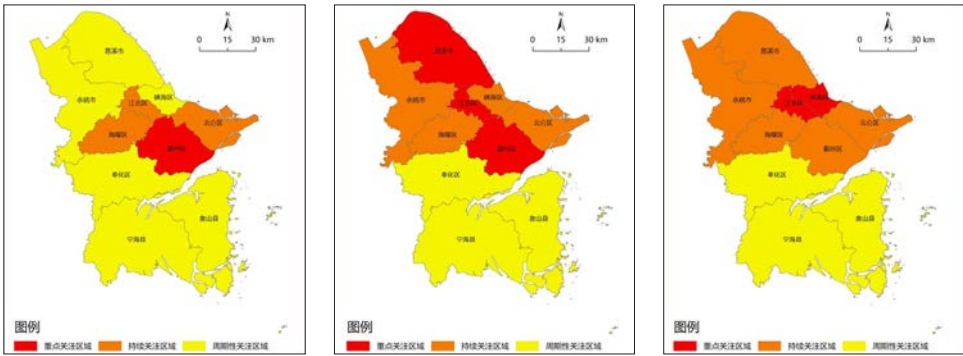


图6 城市综合承载力水平
Fig.6 Level of urban comprehensive carrying capacity

资料来源:笔者基于统计年鉴数据计算。

4 讨论

国土空间规划体系强调风险防范,开展规划实施监测预警是新时期动态感知规划实施状态、提早预判潜在风险的重要手段,也是高质量发展目标下支撑精细化空间治理、缓解人地矛盾的关键步骤。本文从人地视角出发,模拟国土空间复杂系统演化机制,在此基础上系统梳理面向城市级总体规划实施监测的预警技术体系,丰富了对规划实施监测预警的认识,对于更好地理解并开展智慧国土空间规划工作具有重要意义。同时,以宁波市为例,针对不同预警方法开展实践探究,为开展城市级总体规划实施监测预警工作提供经验参考。



α 宁波各区县生态空间预警情况 b 宁波各区县农业空间预警情况 c 宁波各区县城镇空间预警情况
注：目前输入的宁波市三区三线为送审稿，仅用于验证模型推演预警可行性。

图7 宁波各区县三生空间突破预警情况
Fig.7 Warning situations of breakthroughs in the "production-living-ecological" spaces in various districts and counties of Ningbo

资料来源：笔者以项目资料^②为基础自绘。

表3 宁波各区县三生空间突破比例
Tab.3 Proportion of breakthroughs in the "production-living-ecological" spaces in various districts and counties of Ningbo

名称	生态保护红线内突破比例	永久基本农田内突破比例	城镇开发边界突破比例
海曙区	0.00	0.35	0.38
江北区	0.02	0.49	0.36
北仑区	0.02	0.32	0.34
镇海区	0.00	0.31	0.37
鄞州区	0.02	0.45	0.31
奉化区	0.00	0.10	0.57
象山县	0.00	0.06	0.17
宁海县	0.00	0.05	0.17
余姚市	0.00	0.22	0.36
慈溪市	0.00	0.32	0.32
市域	0.01	0.27	0.34

资料来源：笔者以项目资料^②为基础整理。

然而，城市级总体规划实施监测预警工作仍处于发展阶段，相关研究和实践仍有待进一步加强。第一，深化智能技术融合驱动的预警技术研究。本文构建了面向规划实施监测的预警技术体系，未来可进一步结合人工智能技术深化方法研究，提高预警的精确度。如基于随机森林、XGBoost等算法模型，在人口分布模拟中嵌入设施可达性等约束条件，以人口精细化预测支撑国土空间仿真推演；依托迁移学习技术建立差异化建模工具包，支持基于地方城镇化率、产业发展等参数，实现用地预测模型的在地化调整，增强技术方法的空间适配性。第二，形成分层分类的技术标准体系。目前《国土空间规划监测评

估预警技术指南》正处于意见征集阶段，对五级三类规划监测预警的主要内容和 technical 支撑提出了框架性要求。未来需在此基础上，结合地方规划实施监督管理的重点领域和突出问题，针对不同层级规划、不同应用场景，细化编制专项技术规范，并设计模块化监测指标集和工具集，形成标准化操作规程。第三，构建政策制度与技术体系协同创新机制。健全技术标准法定转换路径，要求规划动态维护必须接入预警数据，并将预警结果作为编制审批、执法监督的法定依据，如橙色预警区域新建项目需强制开展空间冲突仿真验证。创新“监测预警—规划反馈”的适应性政策工具包，针对输出的风险类型，匹配差异化的政策工具，如针对基础设施承载力超限启动开发强度优化方案或交通分流等。^③

参考文献 References

[1] 王利伟, 赵明. 中国城镇化演进的系统逻辑——基于人地关系视角[J]. 城市规划, 2014, 38 (4): 17-22.
WANG Liwei, ZHAO Ming. The system logic of Chinese urbanization evolution from the perspective

of man-land-relation[J]. City Planning Review, 2014, 38(4): 17-22.
[2] 钟镇涛, 张鸿辉, 刘耿, 等. 面向国土空间规划实施监督的监测评估预警模型体系研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37 (11): 2946-2960.
ZHONG Zhentao, ZHANG Honghui, LIU Geng, et al. Research on model system of monitoring-evaluation-warning for implementation supervision of territory spatial planning[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(11): 2946-2960.
[3] 石晓冬, 王吉力, 杨明. 北京城市总体规划实施评估机制的回顾与新探索[J]. 城市规划学刊, 2019 (3): 66-73.
SHI Xiaodong, WANG Jili, YANG Ming. New explorations of Beijing's urban master plan implementation evaluation mechanism[J]. Urban Planning Forum, 2019(3): 66-73.
[4] 徐毅松, 熊健, 范宇, 等. 关于上海建立国土空间规划体系并监督实施的实践和思考[J]. 城市规划学刊, 2020 (3): 57-64.
XU Yisong, XIONG Jian, FAN Yu, et al. Practice and thoughts on the establishment of the territory development planning system and supervision of the implementation in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 57-64.
[5] 詹美旭, 王龙, 王建军. 广州市国土空间规划监测评估预警研究[J]. 规划师, 2020, 36 (2): 65-70.
ZHAN Meixu, WANG Long, WANG Jianjun. Monitoring, assessment, and warning mechanism of national land-space plan, Guangzhou[J]. Planners, 2020, 36(2): 65-70.
[6] 曹春华, 卢涛, 李鹏, 等. 国土空间规划监测评估预警: 内涵、任务与技术框架[J]. 城市规划学刊, 2022 (6): 88-94.
CAO Chunhua, LU Tao, LI Peng, et al. Monitoring, evaluation, and early warning of territorial spatial planning: concepts, tasks, and the technical framework[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 88-94.
[7] 张庆全, 张培旭, 李晶晶, 等. 区县级国土空间规划实施监测总体建设技术路径研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47 (7): 85-88.
ZHANG Qingquan, ZHANG Peixu, LI Jingjing, et al. Research on the overall construction technical roadmap of implementation and monitoring of land spatial planning at the district and county levels[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2024, 47(7): 85-88.
[8] 鲍辰浩, 张晓平, 邹自力, 等. 多情景下的土地利用生态安全预警研究——以南城县为例[J]. 测绘, 2024, 47 (2): 87-92.
BAO Chenhao, ZHANG Xiaoping, ZOU Zili, et al. Early warning study on ecological security of land use under multiple scenarios: a case study of Nancheng County[J]. Surveying and Mapping, 2024, 47(2): 87-92.
[9] 郝庆, 梁鹤年, 杨开忠, 等. 生态文明时代国土空

注释: ② 同注释①。
③ 同注释①。

- 间规划理论与技术方法创新[J]. 自然资源学报, 2022, 37 (11): 2763-2773.
- HAO Qing, LEUNG Hok-lin, YANG Kaizhong, et al. Innovation of theory and technical method of territory spatial planning in the era of eco-civilization[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(11): 2763-2773.
- [10] 邴启亮, 李鑫, 罗彦. 韧性城市理论引导下的城市防灾减灾规划探讨[J]. 规划师, 2017, 33 (8): 12-17.
- BING Qiliang, LI Xin, LUO Yan. Urban disaster prevention plan with resilient city theory[J]. Planners, 2017, 33(8): 12-17.
- [11] 赵曦, 杨柳. 耕地预警的指标体系研究[J]. 测绘标准化, 2015, 31 (3): 27-30.
- ZHAO Xi, YANG Liu. Research on early warning indicators for cultivated lands[J]. Standardization of Surveying and Mapping, 2015, 31(3): 27-30.
- [12] 黄丽华, 姜昀, 杨帆, 等. 基于“3S”的沿海港口生态承载力预警系统构建研究: 以厦门港为例[J]. 环境科学与技术, 2019, 42 (12): 195-201.
- HUANG Lihua, JIANG Yun, YANG Fan, et al. Early warning system construction of coastal port ecological carrying capacity based on "3S" technology: Xiamen Port for example[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 42(12): 195-201.
- [13] 张鸿辉, 洪良, 罗伟玲, 等. 面向“可感知、能学习、善治理、自适应”的智慧国土空间规划理论框架构建与实践探索研究[J]. 城乡规划, 2019 (6): 18-27.
- ZHANG Honghui, HONG Liang, LUO Weiling, et al. Research on the construction and practice of smart territorial spatial planning with principles of "perceivable, learning, good governance and adaptive"[J]. Urban & Rural Planning, 2019(6): 18-27.
- [14] 赵烨, 杨燕敏, 刘锋, 等. 北京市土地利用总体规划实施管理预警系统的构建[J]. 干旱区资源与环境, 2006 (1): 23-26.
- ZHAO Ye, YANG Yanmin, LIU Feng, et al. Establishment of the system of monitoring, evaluation and early warning of the land-use plan actualization in Beijing[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006(1): 23-26.
- [15] 李贤功, 李新春. 煤炭资源型城市衰变风险测度及其预警分析[J]. 煤炭经济研究, 2007 (3): 12-14.
- LI Xiangong, LI Xinchun. Measurement and early warning analysis of decline risks in coal resource-based cities[J]. Coal Economic Research, 2007(3): 12-14.
- [16] 石铁矛, 李绥. 基于空间信息技术的城镇化生态风险预警研究——以南充市为例[J]. 城市规划, 2012, 36 (2): 51-57.
- SHI Tiemao, LI Sui. Study on ecological risk warning of urbanization based on spatial information technology: a case study of Nanchong City[J]. City Planning Review, 2012, 36(2): 51-57.
- [17] 钟晓青. 我国人口增长的总和生育率模型及人口预警[J]. 生态学报, 2009, 29 (8): 4464-4474.
- ZHONG Xiaoqing. Total age-specific fertility rate (TFR) population model of China and its alarm forecasting[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4464-4474.
- [18] 黄伊婧, 张嫚琪, 林昀, 等. 城市级国土空间规划实施监测体系的构建思路与实践探索——以宁波市为例[J]. 自然资源学报, 2024, 39 (4): 823-841.
- HUANG Yijing, ZHANG Shanqi, LIN Yun, et al. Ideas and practices of city-level territorial spatial planning monitoring: a case study of Ningbo[J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(4): 823-841.
- [19] 解瑶, 张军民, 单建树. 近五年我国城市总体规划实施评估研究综述[J]. 上海城市规划, 2015 (6): 21-26.
- XIE Yao, ZHANG Junmin, SHAN Jianshu. Research summary of master urban plan implementation evaluation of recent five years in China[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(6): 21-26.
- [20] 孙施文, 周宇. 城市规划实施评价的理论与方法[J]. 城市规划汇刊, 2003 (2): 15-20.
- SUN Shiwen, ZHOU Yu. Theories and methods of urban planning implementation evaluation[J]. Urban Planning Forum, 2003(2): 15-20.
- [21] 田朝晖, 唐萍, 程潇菁. 省级国土空间规划监测评估预警机制框架建构与运用——以湖南省为例[J]. 国土资源导刊, 2023, 20 (3): 54-60.
- TIAN Zhaohui, TANG Ping, CHENG Xiaojing. Construction and application of a framework for monitoring and evaluating early warning mechanisms for provincial-level land spatial planning—taking Hunan Province as an example[J]. Land & Resources Herald, 2023, 20(3): 54-60.
- [22] 甄峰, 席广亮, 张嫚琪, 等. 智慧城市人地系统理论框架与科学问题[J]. 自然资源学报, 2023, 38 (9): 2187-2200.
- ZHEN Feng, XI Guangliang, ZHANG Shanqi, et al. Theoretical framework and scientific problems of smart city man-land system[J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38(9): 2187-2200.
- [23] 刘禹麒, 钟镇涛, 周广明, 等. 国土空间规划监测评估预警关键技术研究及应用[J]. 国土资源导刊, 2022, 19 (4): 87-92.
- LIU Yuqi, ZHONG Zhentao, ZHOU Guangming, et al. Research and application of key technologies for "monitoring-evaluation-early warning" of land spatial planning[J]. Land & Resources Herald, 2022, 19(4): 87-92.
- [24] 赵鹏军, 刘正莹, 陈军. 国土空间人地关系的概念与内涵辨析[J]. 地域研究与开发, 2024, 43 (4): 1-8.
- ZHAO Pengjun, LIU Zhengying, CHEN Jun. Territorial planning-oriented human-environment relationship: concept and theoretical connotation[J]. Areal Research and Development, 2024, 43(4): 1-8.
- [25] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统经济地理[J]. 经济地理, 1991, 11 (3): 1-6.
- WU Chuanjun. Research core of geography: man-land relationship geographic system[J]. Economic Geography, 1991, 11(3): 1-6.
- [26] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学[J]. 地理科学, 2020, 40 (8): 1221-1234.
- LIU Yansui. Modern human-earth relationship and human-earth system science[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(8): 1221-1234.
- [27] LIANG X, GUAN Q F, CLARKE K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: a case study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2021, 85: 101569.
- [28] 支小军, 李宗阳, 张雪唱, 等. 三生空间视角下宁夏—内蒙古干旱区城市综合承载力研究[J]. 地域研究与开发, 2019, 38 (1): 65-70.
- ZHI Xiaojun, LI Zongyang, ZHANG Xuechang, et al. City comprehensive bearing capacity of Ningxia-Inner Mongolia Arid Area based on the perspective of production-living-ecological space theory[J]. Areal Research and Development, 2019, 38(1): 65-70.