

耦合水资源环境的城镇用地扩张 多方案预景与规划路径

——以天津市为例*

贾梦圆 陈 天 臧鑫宇

提 要 协调城镇发展与水资源环境保护的关系是建设生态文明社会的关键议题。秉承“以水定城”的城镇发展思路,整合水资源承载力评估、水生态敏感区域识别、土地利用变化模拟等研究方法,构建耦合水资源环境的城镇用地扩张模拟模型。以天津市为例,应用该模型预景在三种水资源开发利用方案和两种水生态敏感区域保护方案条件下,至2035年城镇社会经济发展和用地扩张趋势。研究表明:①水资源承载力将成为制约天津市社会经济发展的主要因素;②滨海新区海岸带、津城与滨城的中间区域的城水空间矛盾最为突出;③该模拟模型能够有效评估水资源承载力、识别城镇用地扩张热点地区,为优化双评价方法、制定水环境管理目标、细化空间管控边界提供技术支撑。

关键词 城镇用地扩张;水资源环境;规划决策支持;模拟方法;天津市

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.202103009
文章编号 1000-3363(2021)03-0058-08

作者简介

贾梦圆,天津大学建筑学院博士研究生,
jiamengyuan@tju.edu.cn

陈 天,天津大学建筑学院教授,博导,通讯
作者,chentian5561@vip.sina.com

臧鑫宇,天津大学建筑学院副研究员

Coupling Water Resource and Environment in Urban Expansion Modeling and Planning Strategies: A Case Study of Tianjin

JIA Mengyuan, CHEN Tian, ZANG Xinyu

Abstract: Balancing the protection and development of water resource and environment has become a critical issue in promoting high-quality and sustainable urbanization in China. However, existing modeling studies on urban expansion have been built on limited knowledge on how to take the local water resource and environment into consideration. Therefore, this study aims to explore a modeling method by integrating the characteristics of water resource and the environment in a period of urban expansion. The modeling employs methods of water resource carrying capacity evaluation, water sensitive area identification, and land use change modeling. Taking Tianjin as an example, this paper applies the modeling method to predict the scale and spatial pattern of urban expansion till 2035 under three water management scenarios and two water environment protection scenarios. The result reveals that water supply and water pollution will be two major factors limiting Tianjin's urban expansion and it also locates where conflicts between urban expansion and ecological environment protection occur. The case study also shows that the proposed modeling method can be used to evaluate water carrying capacity and identify water sensitive areas, both of which provide key insights into the selection of water management indices and the designation of spatial management boundaries in the territory spatial planning process.

Keywords: urban expansion; water resource and environment; plan-making supports; modeling method; Tianjin

水是生命之源,是具有不可替代性的基础性自然资源和战略性经济资源。随着经济发展和城镇化进程加速,我国的水资源供应压力持续提升,城镇发展用水需求与生态环境保护的矛盾日益突出,部分地区长期的水资源供需失衡造成地下水过量开采、湖泊水位下降、河流干涸、湿地萎缩等一系列生态环境问题(Bao,等,2012)。对此,把水资源作为最大刚性约束,“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”的城镇发展策略已成为生态文明建设的重要路径。资源集约利用和生态环境保护是编制国土空间规划的基本原则和路径要求(林坚,等,2018;杨保军,等,2019;吴志强,2020),水作为一种资源要素与环境要素的集合体,是空间规划编制的重要依据。2020年1月自

*本研究为国家重点研发计划“城市新区水环境系统与规划设计优化技术”(项目编号:2018YFC0704603)项目资助

然资源部发布的《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南（试行）》中，将水资源环境要素作为重要评估维度，进一步强调了国土空间规划中的“以水定城”原则。然而，由于水资源环境要素的复杂性，长期以来其事权分属水利、住建、生态环境、自然资源等多个部门管理，行政事权不一、规划缺乏衔接等因素造成水资源环境的制约作用在城乡规划体系中长期缺位（匡耀求，等，2013）。因而，为进一步完善国土空间规划体系的技术框架，本文希望在城乡规划学与水资源管理、生态学交叉研究领域，构建耦合水资源环境特征的城镇用地扩张模拟模型，探讨融入“以水定城”原则的空间规划编制技术方法，协调城镇发展与水资源环境保护的关系，推动生态文明社会建设。

1 既有研究进展综述

城镇用地扩张是城镇化进程最突出的表现之一，也是造成耕地减少，威胁生态安全的主要因素。上世纪末，随着土地变化科学的诞生和快速发展，多种城镇用地扩张模拟模型应运而生，例如元胞自动机模型（Xie, 1996; Keith, 等，1998）、SLEUTH模型（Clarke, 等，1997; Rafiee, 等，2009）、CLUE-S模型（Verburg, 等，2002）、FLUE模型（Liu, 等，2017）等，这类模型能够预判在不同情景条件下城镇用地扩张的规模与范围，识别可能受到干扰的生态敏感区域，从而支持城镇增长管控政策的制定和国土空间规划的编制（He, 等，2006; 龙瀛, 等，2009; Liang, 等，2018; Tayyebi, 等，2011; 丛佃敏, 等，2018; Huang, 等，2019）。

近年来，城镇用地扩张模拟的研究不断细化深入，围绕水环境保护问题，部分学者开始探索将水资源、水生态、水环境、水安全等因素作为模拟预测城镇用地扩张的参与要素。例如，将水源地保护、雨洪灾害风险、地表水文要素作为城镇用地扩张的约束条件，预测城镇用地扩张过程（李咏华，2011; 周锐, 等，2014; 马淇蔚, 2017; 丛佃敏, 等，2018; 张韶月, 等，2019; 易丹, 等，2020; 刘晓阳, 等，2020），体现了水空间环境对于城镇发展的约束性。但上述

模型多依据城镇经济社会发展条件及用地增长历史数据预测增长规模，却忽视了水资源承载力对于城镇增长规模的约束性。在水资源管理领域，近年来也有部分研究探讨维持水平衡条件的城镇增长规模预测方法（童玉芬，2010; 薛冰, 等，2011; 李玲玲, 等，2017; 冯浩源, 等，2018），但缺乏与城镇用地扩展空间布局预测的整合协同。因此，本文希望提出一种耦合水资源环境的城镇用地扩张优化模型，为国土空间规划编制进一步落实“以水定城”原则提供参考。

2 耦合水资源环境的城镇用地扩张模拟模型框架

本文拟构建耦合水资源环境的城镇用地扩张模拟模型（图1），整合水资源环境对城镇用地扩张的“规模——形态”双重影响，开展城镇发展的多情景预测研究，通过方案评估比选，提出国土空间规划的相关优化建议。

2.1 依据水资源承载力的规模预测模块

当前城镇用地扩张前景研究对用地规模的预测主要有历史数据推测法（Zhang, 等，2020）、规划资料参考法（龙瀛, 等，2009; Gong, 等，2018）、综合推断方法等。其中，以系统动力学模型（Systematic Dynamics）为代表的综合推断方法，具有耦合人口、经济、土

地利用、生态环境保护等各类要素复杂作用关系的优势（He, 等，2006; 苏伟忠, 等，2012; Liang, 等，2018; 吴欣昕, 等，2018），能够响应城市未来发展的不确定性。SD模型也是进行水资源承载力评估的一种常用方法，旨在建立水资源承载力与城市经济社会发展的动态联系，预测不同水资源开发利用情景下可承载的最大人口、产业和用地规模。

因此，参考城镇发展规模预测SD模型（Liang, 等，2018）和水资源承载力评估SD模型（薛冰, 等，2011; Yang, 等，2015; 杨子江, 等，2019）结构，本研究构建基于水资源承载力的规模预测SD模型。本模型包含水资源供应、水资源需求、水污染反馈、水平衡反馈、城镇发展五个子系统和58项变量（图2）。其中，“水资源供需比”“水污染压力”两项辅助变量为触发水资源环境反馈作用的阈值变量，通过设定条件方程模拟水资源承载力对城镇发展的约束作用。例如，人口增长率变量的条件方程为：

IF THEN ELSE（水资源供需比>1.1;
AND: 水污染压力<0.16, 人口增长率 $\times \mu$,
人口增长率）（1）

式中 μ 为情景条件中设定的调节系数。该方程表示，当水资源供需比大于1.1并且水污染压力小于0.16时，人口增长率将提升 μ 倍；否则，人口增长率为原始设定值。

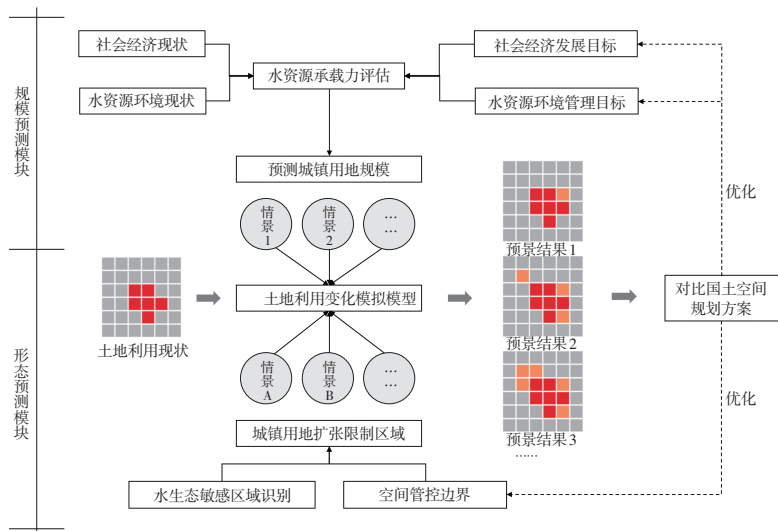


图1 耦合水资源环境的城镇用地扩张前景研究框架

Fig. 1 The research framework of coupling water resource and environment in urban expansion modeling
资料来源：作者自绘。

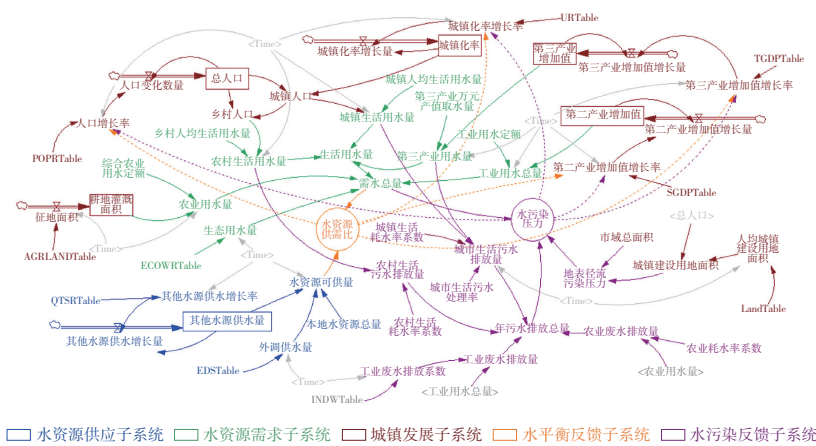


图2 基于水资源承载力的规模预测系统动力学模型流程图

Fig. 2 System dynamics model flow chart of water resources carrying capacity

资料来源：作者自绘。

2.2 避让水生态敏感区的形态预测模块

当前城镇用地扩张的形态预测方法有正向演绎法、逆向剔除法、综合视角法三类（马淇蔚，2017），其中，综合视角法能够融合城镇用地扩张的外在约束因素和内生动力因素进行预测分析，因此，可用于模拟在避让水生态敏感区条件下，不同增长规模对应的城镇用地扩张形态特征。本研究采用综合视角法的CLUE-S模型进行城镇用地扩张形态预测（Gong，等，2018；Huang，等，2019）。相较于其他城镇用地扩张模拟模型，CLUE-S模型的输入条件具有较好的开放性（吴健生，等，2012），可以将水资源环境的“规模——形态”约束作用纳入模拟过程，并且该模型具有较高运算效率，可通过语言编写同时进行多方案模拟与比选分析。CLUE-S模型由四个输入模块和一个空间分配模块组成：土地利用类型转换规则模块与空间特征模块根据研究区的土地利用历史数据设定；土地需求模块根据规模预测模块输出结果设定；土地政策与限制区域模块根据水生态敏感区域保护情景设定。由此，将水资源环境对城镇用地扩张的“规模——形态”约束作用纳入城镇用地扩张的模拟过程（图3）。

3 耦合水资源环境的城镇用地扩张多方案预景

3.1 案例概况与数据处理

本文以天津市行政辖区作为预景方法的实证研究范围（图4），总陆域面积

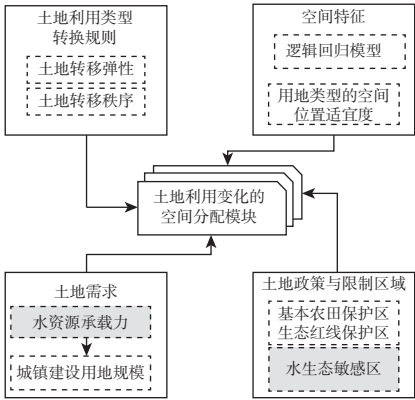


图3 CLUE-S模型的结构框架

Fig. 3 Framework of CLUE-S model

资料来源：作者自绘。



图4 研究区空间范围

Fig. 4 Geographical location of study area

资料来源：作者自绘。

11 760km²。自20世纪末以来，天津的人口、产业、城镇用地规模快速扩张，与此同时，作为我国北方地区典型的缺水城市，天津的水资源环境保护与开发利用之间的矛盾日益突出，面临着严峻的水资源短缺、水环境污染、水生态破坏等问题。因此，天津市作为本论文的实证研究对象具有一定典型性。

研究时间为2010—2035年，其中2010—2018年为构建预景模型的历史数据分析时段，2018—2035年为模拟预景时间。研究所需数据包含天津市行政辖区范围内2010、2018年30m精度土地利用数据^①、数字高程数据、交通路网和水系等空间数据、2009年以来的水资源公报和社会经济统计资料，以及天津市土地利用总体规划（2005—2020年）、天津城市总体规划（2005—2020年）、天津市国土空间总体规划过程稿（2019—2035年）等规划资料。

本研究的规模预测模块应用系统动力学建模软件（Vensim）创建，根据天津市2010—2018年历史数据量化变量结构方程式，选取总人口、城镇人口、城镇化率、第二产业增加值、年污水排放总量、生活用水量6项变量进行有效性检验。2010—2018年的模拟值与历史真实值进行对比，相对误差均低于10%，可以认为模型具有可靠性。

综合既有研究中提出的水生态保护重要空间和敏感空间分析框架（俞孔坚，等，2019；贾梦圆，等，2021），本研究从水资源保护、水文调节、水生命支持、水文化保护维度识别水生态敏感区域。通过ArcGIS的叠置分析（overlay），汇总水生态敏感区域范围，识别天津市1320 km²区域为水生态敏感区域（图5）。应用R语言的Lulcc包创建CLUE-S模型，以2010、2018年土地利用数据进行历史检验和优化，模型Kappa系数0.81，城镇建设用地模拟准确率为81.8%，水域及湿地的模拟准确率为84.2%，基本准确反映了城镇建设用地的扩展趋势，预景结果可作为空间规划的决策参考依据。

3.2 方案设定与预景结果

考虑天津市未来发展的城市定位、人口规模、水资源环境特征以及规划建

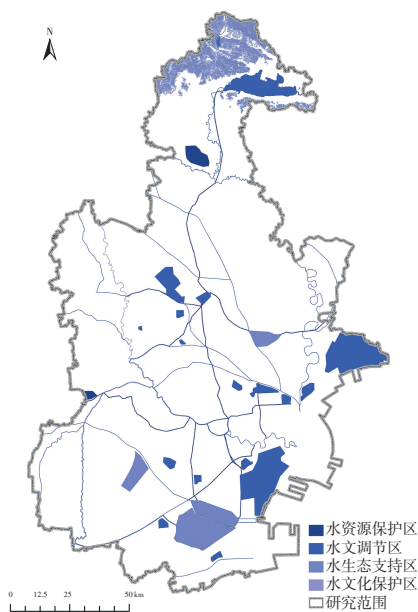


图5 水生态敏感区域的空间范围图
Fig. 5 Map of hydro-ecological sensitive area
资料来源：作者自绘。

设的重大项目等情况，本研究设定三种水资源开发利用情景和两种水生态空间保护对比情景。其中，三种水资源开发利用情景分别为：①现状延续方案（S1）：保持当前水资源开发利用、水污染治理水平，延续2010—2018年期间的城镇社会经济发展趋势；②最大化利用方案（S2）：提高水资源集约利用、水污染治理能力，增加外调水源和非常规水源利用水平，在满足维持水生态系统可持续的前提条件下，最大化满足城镇社会经济发展目标；③保护优先方案（S3）：集约节约开发利用水资源，优先保障水生态系统健康，为此可适当限制人口与经济增速。三种情景方案参数设定依据标准规范文件^②、文献研究成果（薛冰，等，2011）以及专家咨询意见，在各参数的合理区间内根据情景方案特点设定：S1方案设定为维持当前指标水平，S2方案设定为较易达到的目标水平，S3方案设定为最理想的目标水平（表1）。

两种水生态空间保护对比情景分别为：①无水生态敏感区域保护情景（A）：城镇空间不受水环境空间条件影响，能够自由增长扩张；②有水生态敏感区域保护情景（B）：将前文识别的水生态敏感区作为限制城镇用地扩张的刚性边界。两种形态约束方案的CLUE-S模型设定方式详见表2。将水资源环境的规模约束

情景与空间形态约束情景交叉，获得2035年天津市城镇用地扩张的6种情景结果（表3）。

3.3 情景结果的分析讨论

3.3.1 水资源承载力与社会经济发展趋势

三种水资源开发利用不同情景的预测结果显示：2018—2035年间，S1方案条件下天津市人口、产业规模持续增长，S2方案呈现阶梯上升趋势，而S3方案呈

现出S形增长特征（图6）。S1方案显示，在延续当前城镇发展和水资源开发利用水平不变的情况下，至2030年全市水资源供需比指数将小于1，即水资源供给能力无法满足生产生活用水需求的极度缺水问题。S2方案显示，在最大化保障社会经济发展的理想条件下，至2035年天津市水资源最大可承载人口规模为2191万人，同期第二、三产业GDP年均增长率均在5%以上。S3方案显示，如果秉承“先治理后受益”的发展思路，至2028

表1 三种情景方案的SD模型参数

Tab. 1 Parameters for the three modeling programs

参数	历史参考值	S1方案	S2方案	S3方案
城镇人均生活用水量（L/d）	100 ^a	100	90	85
乡村人均生活用水量（L/d）	80 ^a	80	75	70
人均城镇建设用地面积（m ² /人）	149 ^a	149	140	135
外调水供水量（亿m ³ ）	14.3 ^a	14.3	17.8	17.8
其他水源供水增长率（%）	9.4 ^b	0	3	6
征占地面积（km ² ）	19 ^a	19	19	5
生态用水量（亿m ³ ）	5.6 ^a	5.6	5.6	11.2
城市生活污水处理率（%）	93.8 ^a	93.8	100	100
工业废水排放系数	0.32 ^a	0.32	0.2	0.2
工业用水定额（m ³ /万元）	7.09 ^a	7.09	6	6
第三产业万元产值取水量（m ³ /万元）	7.50 ^a	7.5	6	6
第二产业增加值增长率（%）	6.11 ^b	6.11	6.11 μ	6.11 μ 1
第三产业增加值增长率（%）	12.85 ^b	12.85	12.85 μ	12.85 μ 1
城镇化率增长率（%）	0.68 ^b	0.68	0.68 μ	0.68 μ 2
人口增长率（%）	2.45 ^b	2.45	2.45 μ	2.45 μ 2
水资源供需比	1.33 ^a	—	≥1	≥1.2
水污染压力	0.180 ^a	—	≤0.18	≤0.16
调节系数（ μ ）	—	—	1.5；0.5	μ 1=−0.1； μ 2=0

注释：a数值为2018年数据；b数值为2010—2018年平均值；资料来源：作者自绘。

表2 情景方案的CLUE-S模型参数

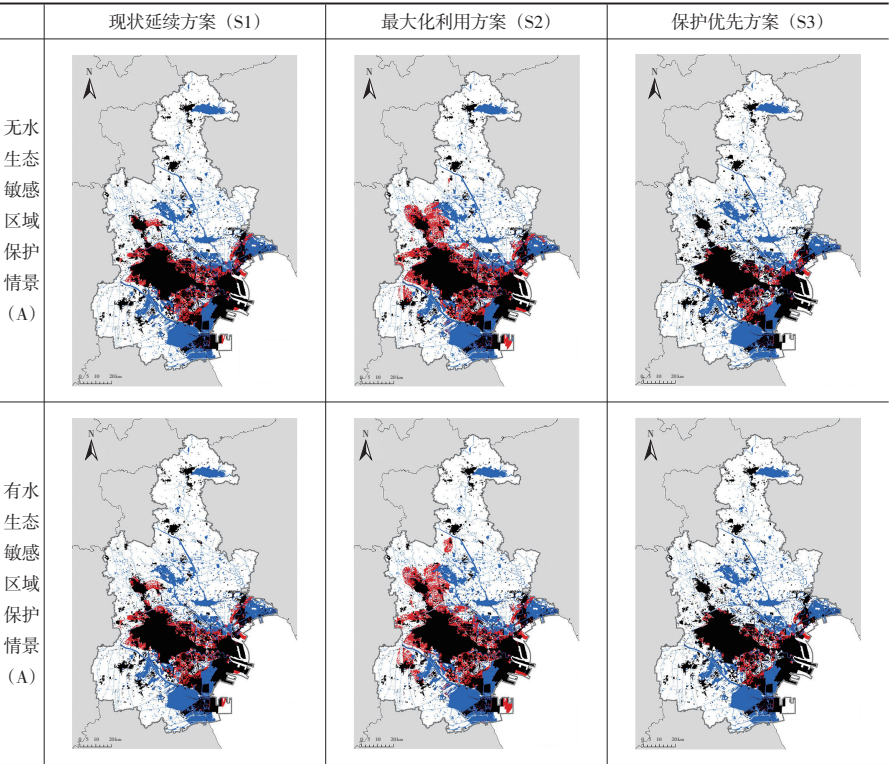
Tab. 2 CLUE-S parameters for the modeling programs

模块	参数	无水生态敏感区域 保护情景（A）	有水生态敏感区域 保护情景（B）
土地利用类型 转换规则	土地转移弹性	城镇建设用地、水域与湿地、其他用地：0.877，0.786，0.885	
	土地转移秩序	地类之间均可转换	
空间特征	逻辑回归模型	解释变量为：与河流的距离、与湖泊水库的距离、蓄滞洪区、高程、坡度、地貌、总人口数变化、人口密度变化、GDP总量变化、与城市中心距离、与交通干道距离、与火车站距离、与地铁站点距离、是否位于规划生态保护区内、是否位于基本农田保护区	
土地需求	城镇建设用地	SD模型的“城镇建设用地面积”变量确定	
	水域及湿地	保持不变	
土地政策与 限制区域	限制区域	永久基本农田保护红线、 生态保护红线	永久基本农田保护红线、 生态保护红线、 水生态敏感区域

资料来源：作者自绘。

表3 2035年天津市耦合水资源环境的城镇用地扩张预景结果

Tab. 3 Projected urban expansion scenarios of Tianjin in 2035 based on water resource and environment



■ 现状城镇建设用地 ■ 新增城镇建设用地 ■ 水域及湿地 □ 其他土地 - 研究范围

资料来源：作者自绘。

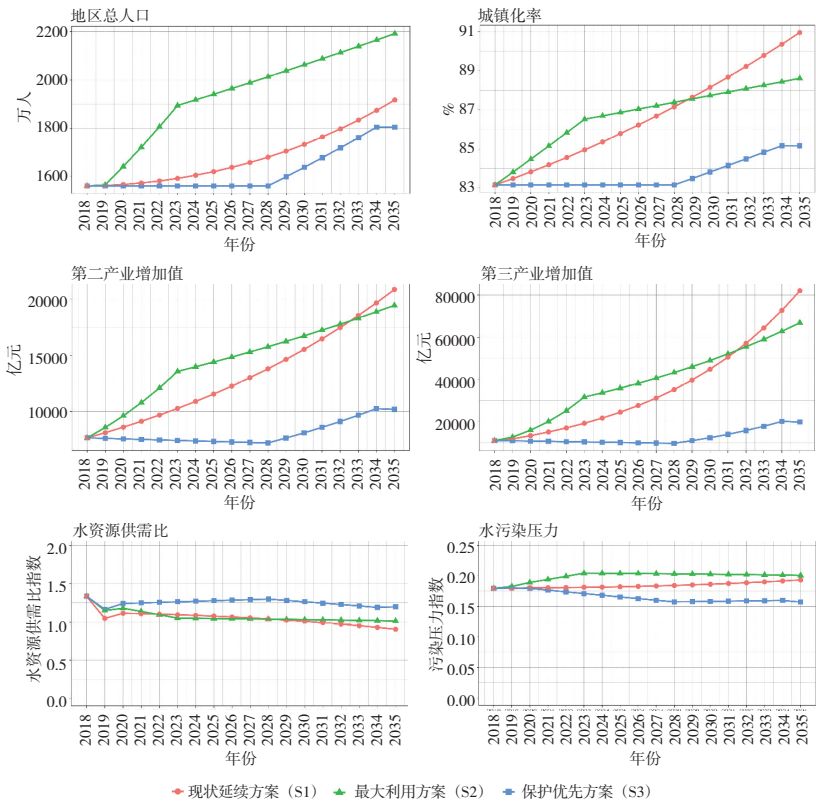


图6 2018—2035年天津市城镇社会经济和水资源环境状态的相关预测

Fig. 6 Predictions of social-economic development, water resource, and environment in Tianjin from 2018 to 2035

资料来源：作者自绘。

年全市对水资源环境保护的投入将初见成效，至2035年地区总人口约为1803万人，是三个预景结果中人口和产业增幅最小的方案，但同时也是水资源环境状态最佳的发展情景。

3.3.2 水生态敏感区与城镇用地扩张热点

从城镇用地扩张角度看，横向对比S1、S2、S3方案预景结果发现（图7-1、7-2）：①天津市中心城区（津城）与滨海新区（滨城）呈现相向拓展趋势，位于双城之间的连接地带是未来城镇用地扩张的热点区域。②随着双城连接地带的发展逐渐饱和，城市空间将向武清区、北辰区、西青区、静海区拓展。③随着城镇用地扩张，滨海新区内城镇与水域湿地之间的大量缓冲白地将被开发建设，这一区域是我国北方地区鸟类迁徙和繁殖的重要生态空间，缓冲白地的消失将加剧城市的噪声、污染物、人类活动对水生生态系统的干扰。

纵向对比A、B情景的预景结果发现（图7-3、7-4、7-5）：将水生态敏感区补充作为用地扩张的刚性约束边界后，能够有效保护中心城区和滨海新区等用地增长热点地区的水生态空间，引导城镇空间向武清、宝坻等节点城市发展。

城镇用地扩张的多方案预景结果显示滨海新区海岸带、津城与滨城的中间区域是城水空间矛盾较为突出的区域，需进一步细化明确城市空间的可拓展范围和水生态保护的关键性区域，协调城水空间关系。

3.3.3 对比当前城镇开发边界划定方案

对比6种预景结果的城镇建设用地范围与天津市城镇开发边界划定初步方案（图8），结果显示：京津新城、团泊新城、静海城区、蓟州区产业园、天津生态城等区域城镇开发边界范围大于模拟方案提示的城镇用地扩张范围，而天津市中心城区与滨海新区之间的连接区域则是模拟结果范围大于城镇开发边界划定范围。依据当前天津市的城镇空间发展战略，双城中间区域将成为构建津城与滨城双主城结构的绿色生态屏障区域，但预景结果提示该区域的城镇开发边界可能面临较大的管理压力，需优化规划管控范围与措施，预防城镇开发对生态空间可能造成的消极影响，引导形成“双主城+多节点城市”的国土空间总体格局。

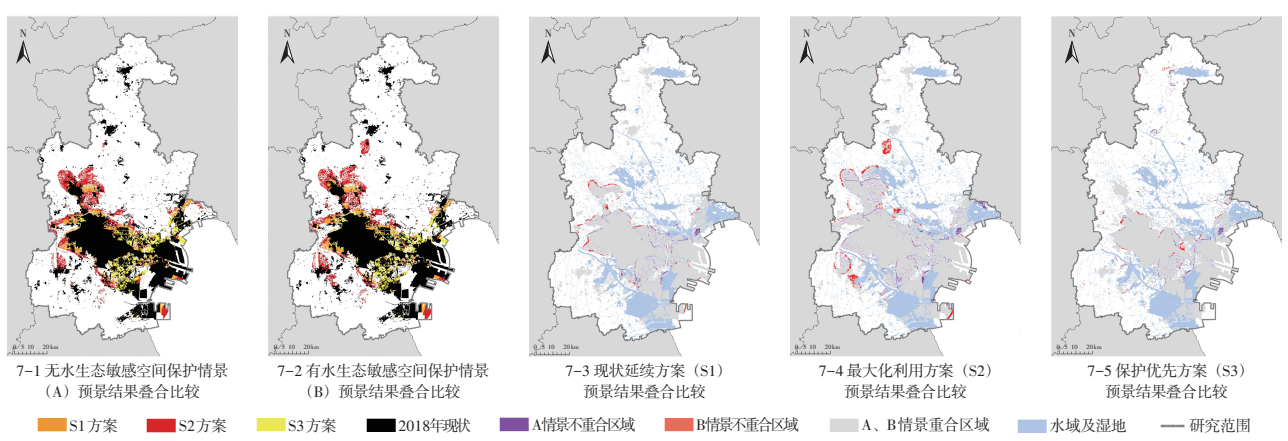


图7 六种远景结果的叠合分析
Fig. 7 Overlay of the six urban expansion scenarios
资料来源：作者自绘。

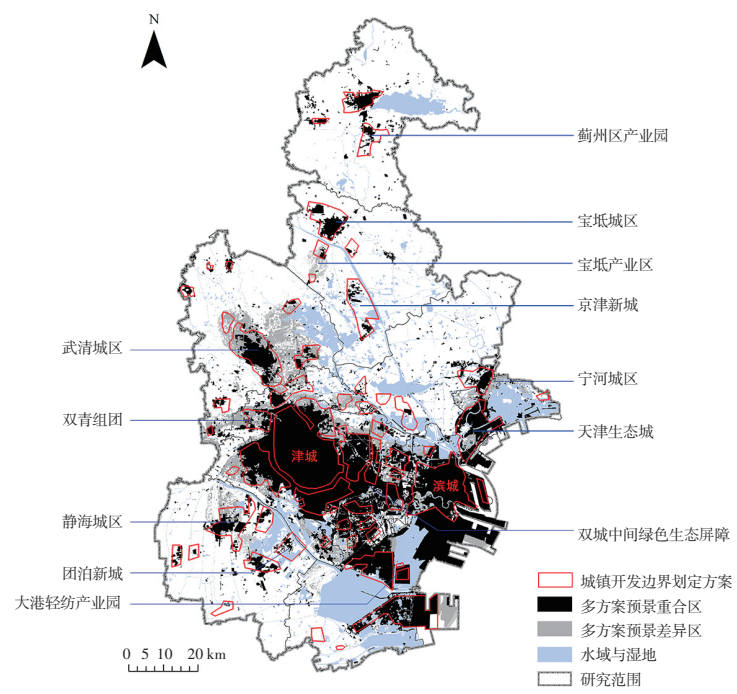


图8 模拟结果与城镇开发边界划定方案的对比
Fig. 8 Comparison between simulated urban land with urban development boundary
资料来源：作者自绘。

4 基于水资源环境特征的规划优化路径

4.1 基于远景模型充实双评价技术方法

水资源环境是双评价的重要评估维度，本文构建的城镇用地扩张远景模型可进一步充实双评价技术方法，强化国土空间规划中水的底线思维。以天津市为例的实证研究中，“水资源供需比”和“水污染压力”两项指标能够有效反馈水量和水质的承载压力，可作为环境承载

评估的度量指标，纳入双评价指标体系。当前环境承载力评估过程中，多依据历史数据或参考国内外案例城市经验值的方法，测算本底条件的承载能力。然而，城镇发展与水资源承载力之间存在相互的激励、反馈、约束的系统关系，本研究采用的用地规模综合推断法（例如系统动力学模型）能够动态评估不同水资源开发利用情景下，可承载的城镇人口、产业与用地合理规模，提高对城市未来发展不确定性的预测能力。

4.2 秉承以水定城明确水环境管理目标

耦合水资源环境的多方案远景分析，一方面能够检验当前规划方案中城镇人口、产业、用地规模是否超出本地水资源环境的合理承载范围；另一方面，多方案远景结果能够为制定与社会经济和空间发展方案相对应的水环境管理指标提供参考依据。如表4所示，对比多方案远景结果与天津市国土空间总体规划的城镇发展目标设定水平，结果提示，当前规划目标设定接近于S2方案，即水资源最大化利用的情景。为维持水平衡和生态系统的健康，水环境管理目标也应参考上限水平设定。耦合水资源环境的城镇用地扩张模拟模型可以预测不同管理指标和目标值设定条件下水资源承载压力水平，为国土空间总体规划中水环境管理目标的设定提供依据。同时，相关数据可纳入国土空间规划城市体检评估指标体系，为规划实施监测提供依据。

4.3 协调城水关系细化空间管控边界

城镇用地扩张的多方案远景结果能够提示城水空间矛盾较为突出的区域，为细化调整城镇开发边界、生态保护红线划定范围提供参考。例如本研究通过远景结果识别出滨海新区海岸带、津城与滨城的中间区域是城水空间矛盾的热点地区，但此类地区的部分用地并未划入三线管控范围，建议在征求自然资源、生态环境、水利、住建等部门意见的基础上，对此类地区进行专门划界，如划定为生态安全缓冲区，明确其空间管制分区及项目准入条件/负面清单，

从而协调梳理城水空间矛盾。再如,本研究发 现容易被城镇用地侵占的水生态敏感区域多位于城市建成区或周边地区,因此,建议将其纳入城镇开发边界中的特殊用途区。相较于划入生态保护红线的方式,这种调整能够避免城镇开发边界划分过于细碎、分散,同时也能实现优化土地开发建设、保护水生态安全格局的目的。

5 结语

本文从“以水定城”视角出发,整合系统动力学和土地利用变化模拟方法,构建了耦合水资源环境的城镇用地扩张远景模型。针对耦合水资源环境特征的研究目标对既有研究方法进行优化,其中,对基于水资源承载力预测城镇用地扩张规模的SD模型,探索增加水污染反馈和水平衡反馈控制回路,体现城水互馈作用,更好地模拟水资源承载力与城镇发展之间的非线性关系。针对模拟城镇用地扩张形态的CLUE-S模型,调整土地需求、土地政策与限制区域的输入条件设定方法,实现将规模约束与空间形态约束双重条件同时纳入城镇用地扩张的预测过程。以天津市为实证对象,设定6种不同的水资源开发利用和水生态空间保护方案进行模拟预测,远景结果提示至2035年天津市水资源可承载的上限发展规模,并显示滨海新区海岸带、津城与滨城的中间区域是城水空间冲突的热点地区。最后,本文针对双评价技术方法、水环境管理目标、空间管控边界三方面内容,探讨耦合水资源环境特征的规划编制与管理优化路径,以期从水资源环境管理视角,充实和丰富国土空间规划编制的技术体系。

注释

① 数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),本研究中参照卫星影像地图、天津市城市总体规划(2005—2020)对建设用地大类中城镇建设 用地、农村居民点、其他建设用地三类用地进行校对调整。

② 《城市居民生活用水量标准(GB50331T—2002)》《天津市城市生活用水定额(DB12/T699—2016)》《天津市农业用水定额 (DB12T 698—2019)》等标准。

表4 天津市至2035年的城镇发展目标和水环境管理目标

Tab. 4 The objectives of urban development and water resource management in Tianjin till 2035

类型	指标名称	现状 (2018)	S1 远景结果	S2 远景结果	S3 远景结果	规划目标 (2035)
城镇 发展 目标	常住人口规模(万人)	1560	1917	2192	1804	2000
	常住人口城镇化率(%)	83	91	90	85	90
	城镇建设用地规模(km ²)	2332	2856	3295	2435	2710
	单位城镇建设用地上三产增加值(亿元/km ²)	8.02	36.02	26.18	12.33	11.28
水环境 管理 目标	水资源供需比	1.33	0.71	0.91	1.2	1—1.2
	年污水排放总量(亿m ³)	3.73	6.38	4.29	2.75	<4
	全市年用水总量(亿m ³)	28.4	41.6	40.3	31.6	<35
	非常规水资源利用率(%)	12.4	18.1	23.7	26.5	>24
	工业用水定额(m ³ /万元)	7.09	7.09	6	6	6
	万元第三产业GDP取水量(m ³ /万元)	7.90	7.5	6	6	6
	城镇人均生活用水量(L/d)	100	100	90	85	85—90
	乡村人均生活用水量(L/d)	80	80	75	70	70—75
	城市生活污水处理率(%)	93.8	93.8	100	100	100

资料来源:作者自绘。

参考文献 (References)

[1] BAO C, FANG C. Water resources flows related to urbanization in China: challenges and perspectives for water management and urban development[J]. Water Resources Management, 2012(2): 531—552.

[2] CLARKE K C, HOPPEN S, GAYDOS L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997(24): 247—261.

[3] 丛佃敏,赵书河,于涛,等.综合生态安全格局构建与城市扩张模拟的城市增长边界划定——以天水市规划区(2015—2030年)为例[J].自然资源学报,2018,33(01):14—26. (CONG Dianmin, ZHAO Shuhe, YU Tao, et al. Urban growth boundary delimitation method integrating comprehensive ecological security pattern and urban expansion simulation—a case study of planning areas in Tianshui city(2015—2030) [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(01): 14—26.)

[4] 冯浩源,石培基,周文霞,等.水资源管理“三条红线”约束下的城镇化水平阈值分析——以张掖市为例[J].自然资源学报,2018(2):287—301. (FENG Haoyuan, SHI Peiji, ZHOU Wenxia, et al. Threshold analysis of urbanization with the constraint of “three red lines” on water resources management: a case study of Zhangye city[J]. Journal of Natural Resources, 2018(2): 287—301.)

[5] GONG J, HU Z, CHEN W, et al. Urban expansion dynamics and modes in metro-politan Guangzhou, China[J]. Land Use Policy, 2018, 72: 100—109.

[6] HE C, OKADA N, ZHANG Q, et al. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China[J]. Applied Geography, 2006, 26(3): 323—345.

[7] HUANG D, HUANG J, LIU T. Delimiting urban growth boundaries using the CLUE-S model with village administrative boundaries[J]. Land Use Policy, 2019, 82 (3): 422—435.

[8] 贾梦圆,陈天.基于土地利用变化模拟的水生态安全格局优化方法——以天津市为例[J].风景园林,2021,28(3):95—100. (JIA Mengyuan, CHEN Tian. Identifying and optimizing hydro-ecological security pattern with land use change modeling: a case study of Tianjin[J]. Landscape Architecture, 2021, 28(3): 95—100.)

[9] KEITH C C, LEONARD J G. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998(7): 699—714.

[10] 匡耀求,黄宁生.中国水资源利用与水环境保护研究的若干问题[J].中国人口·资源与环境,2013(4):29—33. (KUANG Yaoqiu, HUANG Ningsheng. Several issues about the research on the water resources utilization and water environment protection in China[J]. China Population Resources and Environment, 2013(4): 29—33.)

[11] 李玲玲,徐琳瑜.特大城市水资源承载力政策响应的动态模拟[J].中国环境科学,2017,37(11):4388—4393. (LI Lingling,

- XU Linyu. Dynamic simulation of policy implications for the water resources carrying capacity of megacities[J]. China Environmental Science, 2017, 37(11): 4388-4393.)
- [12] 李咏华. 生态视角下的城市增长边界划定方法——以杭州市为例[J]. 城市规划, 2011, 35(12): 83-90. (LI Yonghua. Method of determining urban growth boundary from the view of ecology: a case study of Hangzhou[J]. City Planning Review, 2011, 35(12): 83-90.)
- [13] LIANG X, LIU X, LI X, et al. Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 177(9): 47-63.
- [14] 林坚, 吴宇翔, 吴佳雨, 等. 论空间规划体系的构建——兼析空间规划、国土空间用途管制与自然资源监管的关系[J]. 城市规划, 2018(5): 9-17. (LIN Jian, WU Yuxiang, WU Jiayu, et al. Construction of the spatial planning system: with discussions on the relationship between spatial planning, territorial spatial regulation, and natural resources supervision[J]. City Planning Review, 2018(5): 9-17.)
- [15] LIU X, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 168: 94-116.
- [16] 刘晓阳, 曾坚, 贾梦圆, 等. 闽三角城市群生态安全格局构建及城镇扩展模拟[J]. 生态学报, 2020, 40(21): 7873-7885. (LIU Xiaoyang, ZENG Jian, JIA Mengyuan, et al. Construction of ecological security pattern and simulation of urban sprawl in the urban agglomeration of Min Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(21): 7873-7885.)
- [17] 龙瀛, 韩昊英, 毛其智. 利用约束性CA制定城市增长边界[J]. 地理学报, 2009, 64(8): 999-1008. (LONG Ying, HAN Haoying, MAO Qizhi. Establishing urban growth boundaries using constrained CA[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(8): 999-1008.)
- [18] 马洪蔚. 基于绿色基础设施的城市空间增长设定路径及其杭州应用[J]. 城市规划学刊, 2017(4): 104-112. (MA Qiwei. Green-infrastructure-led urban spatial growth: a case study of Hangzhou[J]. Urban Planning Forum, 2017(4): 104-112.)
- [19] RAFIEE R, MAHINY A S, KHORASANI N, et al. Simulating urban growth in Mashad city, Iran through the SLEUTH model (UGM) [J]. Cities, 2009, 26: 19-26.
- [20] 苏伟忠, 杨桂山, 陈爽, 等. 城市增长边界分析方法研究——以长江三角洲常州市为例[J]. 自然资源学报, 2012, 27(2): 322-331. (SU Weizhong, YANG Guishan, CHEN Shuang, et al. Analysis method of urban growth boundary of the Changzhou city in the Yangtze River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(2): 322-331.)
- [21] TAYYEBI A, PIJANOWSKI B C, TAYYEBI A H. An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: an application to Tehran, Iran[J]. Landscape and Urban Planning, 2011, 100: 35-44.
- [22] 童玉芬. 北京市水资源人口承载力的动态模拟与分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(9): 42-47. (TONG Yufen. Dynamic simulation and analysis to population carrying capacity of Beijing[J]. China Population Resources and Environment, 2010, 20(9): 42-47.)
- [23] VERBURG P H, SOEPBOER W, VELD-KAMP A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002(3): 391-405.
- [24] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. CLUE-S模型应用进展与改进研究[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 3-10. (WU Jiansheng, FENG Zhe, GAO Yang, et al. Recent progresses on the application and improvement of the CLUE-S model[J]. Progress in Geography, 2012, 31(1): 3-10.)
- [25] 吴欣昕, 刘小平, 梁迅, 等. FLUS-UGB多情景模拟的珠江三角洲城市增长边界划定[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(4): 532-542. (WU Xinxin, LIU Xiaoping, LIANG Xun, et al. Multi-scenarios simulation of urban growth boundaries in Pearl River Delta based on FLUS-UGB[J]. Journal of Geo-Information Science, 2018, 20(4): 532-542.)
- [26] 吴志强. 国土空间规划的五哲学问题[J]. 城市规划学刊, 2020(6): 7-10. (WU Zhiqiang. Five philosophical concerns of the territorial spatial planning[J]. Urban Planning Forum, 2020(6): 7-10.)
- [27] XIE Y. A generalized model for cellular urban dynamics[J]. Geographical Analysis, 1996(4): 350-373.
- [28] 薛冰, 宋新山, 严登华. 基于系统动力学的天津市水资源模拟及预测[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 43-47. (XUE Bing, SONG Xinshan, YAN Denghua. Simulation and prediction of water resources carrying capacity based on a system dynamic model in Tianjin[J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 43-47.)
- [29] 杨保军, 陈鹏, 董珂, 等. 生态文明背景下的国土空间规划体系构建[J]. 城市规划学刊, 2019(4): 16-23. (YANG Baojun, CHEN Peng, DONG Ke, et al. Formation of the national territory development planning system under the background of ecological civilization[J]. Urban Planning Forum, 2019(4): 16-23.)
- [30] YANG J, LEI K, KHU S, et al. Assessment of water resources carrying capacity for sustainable development based on a system dynamics model: a case study of Tieling city, China[J]. Water Resources Management, 2015, 29(3): 885-899.
- [31] 杨子江, 韩伟超, 杨恩秀. 昆明市水资源承载力系统动力学模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 594-602. (YANG Zijiang, HAN Weichao, YANG Enxiu. A system dynamic model and simulation for water resources carrying capacity in Kunming[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(3): 594-602.)
- [32] 易丹, 赵小敏, 郭熙, 等. 基于生态敏感性评价和CA-Markov模拟的平原型城市开发边界划定——以南昌市为例[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 208-218. (YI Dan, ZHAO Xiaomin, GUO Xi, et al. Delimitation of urban development boundary based on ecological sensitivity evaluation and CA-Markov simulation in plain city: a case of Nanchang, Jiangxi, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(1): 208-218.)
- [33] 俞孔坚, 王春连, 李迪华, 等. 水生态空间红线概念、划定方法及实证研究[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5911-5921. (YU Kongjian, WANG Chunlian, LI Dihua, et al. The concept, methodology and a case study in defining the ecological redline for the hydro-ecological space[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): 5911-5921.)
- [34] 张韶月, 刘小平, 闫志忠, 等. 基于“双评价”与FLUS-UGB的城镇开发边界划定——以长春市为例[J]. 热带地理, 2019, 39(3): 377-386. (ZHANG Shaoyue, LIU Xiaoping, YAN Shizhong, et al. Delimitation of urban development boundaries using two basic evaluations and FLUS-UGB: a case study of Changchun[J]. Tropical Geography, 2019, 39(3): 377-386.)
- [35] ZHANG Y, LIU Y, WANG Y, et al. Urban expansion simulation towards low-carbon development: a case study of Wuhan, China[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 63: 102455.
- [36] 周锐, 王新军, 苏海龙, 等. 基于生态安全格局的城市增长边界划定——以平顶山新区为例[J]. 城市规划学刊, 2014(4): 57-63. (ZHOU Rui, WANG Xinjun, SU Hailong, et al. Delimitation of urban growth boundary based on ecological security pattern[J]. Urban Planning Forum, 2014(4): 57-63.)