

规划支持系统框架及其应用

A Framework of Planning Support System and Its Applications

龙瀛 黄晓春 张永平 何莲娜 程辉

Long Ying, Huang Xiaochun, Zhang Yongping, He Lianna, Cheng Hui

摘要: 近年来, 规划支持系统 (PSS: Planning Support System) 引起了学者和决策者的广泛关注, 但已有研究多集中于单一系统 (如 What if?, CommunityViz 和 INDEX 等) 的设计、开发和应用, 还未提出一个能综合考虑不同城乡规划类型的 PSS 框架。在广泛的文献调研和多轮针对规划师、决策者的问卷调查和访谈后, 提出了一个涵盖国内各项规划 (如总体规划、详细规划、市政基础设施建设规划和交通规划等) 的 PSS 框架。该框架针对城乡规划的编制和评估两方面, 将规划支持系统分为三类, 即方法、软件和模型, 逐项列出了每项规划的内容和与之相关的 PSS。截至投稿, 该框架已在北京城市规划设计研究院进行数月的实践, 产生了数百次的应用请求, 并取得了较好的实际效果, 证明其能够促进规划信息化由数据服务向知识服务扩展。

Abstract: Planning support system (PSS) has attracted extensive attention from scholars and decision makers for decades. Most of the existing research on PSS is related to system design, implementation, application as well as evaluation of a standalone system in one area, e.g. What if?, CommunityViz and INDEX. There is no existing research on an entire framework of PSS for various types of plans. In this paper, we propose a PSS framework for several types of city plans in China, e.g. master plan, detailed plan, municipal infrastructure plan and transport plan. Based on an extensive literature review and multiple rounds of planners and decision makers surveys, the framework we proposed focuses on two aspects. On the one hand, we itemize plan contents (termed as “plan elements”) into various steps for each type of plan, e.g. population forecasting and establishing urban growth boundaries in a master plan. On the other hand, we list related PSSs for each plan element. In our research, PSSs embody three forms, which are existing PSS software (e.g. What if? and INDEX), planning support models to be developed or already developed as well as quantitative methods (e.g. scenario analysis, systems analysis, and logistic regression). The two dimensional framework provides a full picture of PSS applications in various types of plans. The framework has been applied in the Beijing Institute of City Planning (BICP) for several months till the submission of this manuscript, and has attracted hundreds of application requests from planners in the Institute.

关键词: 规划支持系统; 框架; 城乡规划; 北京

Keywords: Planning Support System (PSS); Framework; Urban and Rural Planning; Beijing

国家自然科学基金青年项目 (51408039)

作者: 龙瀛, 博士, 清华大学建筑学院, 副研究员; 清华大学恒隆房地产研究中心, 研究员。

ylong@tsinghua.edu.cn

黄晓春, 北京市城市规划设计研究院规划信息中心主任, 教授级高级工程师

张永平 (通信作者), 伦敦大学学院高级空间分析研究中心, 博士研究生。

zhangyongping2112@gmail.com

何莲娜, 北京市城市规划设计研究院工程师

程辉, 北京市城市规划设计研究院工程师

1 规划支持系统介绍

中国正处于快速的城市化进程, 大部分地区尤其是大城市都经历了显著的城市用地增长过程。城乡规划在促进城市物质空间和社会的可持续发展中起着十分重要的作用, 然而国内的规划师多具有建筑学 (或设计) 背景, 部分缺乏新技术 (以 GIS 为典型) 应用和量化分析能力, 导致部分传统的城乡规划编制和评估基于规划师及相关决策者的主观判断。面对城乡规划问题的日益复杂化, 依赖主观判断和忽视定量应用, 不利于提高规划的科学性。另一方面, 由于城乡规划编制和评估的许多过程都需要人工参与, 并存在不同方案重复进行类似操作的情况, 限制了规划效率的提升。“规划支持系统”

(PSS: Planning Support System) 的概念最初由哈里斯 (Harris)^[1] 于 1960 年提出, 并在近 20 年引起了学者和决策者的广泛关注, 其应用主要体现在空间规划^[2]、城市环境改善规划^[3]、政策制定^[4]和土地利用规划^[5,6]等诸多方面。PSS 很大程度上改善了目前城乡规划编制和评估过程中面临的科学性和效率性问题。不同于一般的信息技术 (如 AutoCAD) 在城乡规划中的应用, PSS 主要基于城乡规划相关的理论知识, 构建城市模型以促进城乡规划的量化应用。由于 PSS 始终强调规划理念与信息技术的结合, 近年来也更加注重利用先进的可视化技术促进成果表达和考虑公众参与提高成果合理性等,

使得其符合计算机辅助规划技术的发展方向，并被认为是计算机辅助规划技术的最新形式^[7-9]。

随着社会的发展，城乡规划已成为一门极具综合性的学科，与地理、建筑、经济学等相关学科的联系也越来越紧密。为了综合考虑各方面因素，促进更好的规划编制，不同城乡规划类型（如总体规划、详细规划、市政基础设施建设规划和交通规划等）的综合统筹就显得尤为重要。但是，已有的 PSS 研究多集中于单一系统（如 What if?, CommunityViz 和 INDEX 等）的设计、开发和应用，通常关注于促进单一的规划类型（如土地使用布局）的发展，还未提出一个能综合考虑不同城乡规划类型的 PSS 框架，促进各类规划间的统筹。因此，本文在广泛的文献调研和多轮针对规划者、决策者的问卷调查和访谈后，提出了一个能涵盖国内不同城乡规划类型的 PSS 框架。该框架的提出兼顾整体性和灵活性：能系统整理和展现相关的方法、模型和软件，便于规划师的使用与学习；同时，相对于开发一个高度整合的系统（如支持不同规划类型的大型软件），该框架能避免在理论和方法上差异很大的 PSS 间的生硬组合，也有利于框架内容的持续更新。截至投稿，该框架已在北京市城市规划设计研究院（以下简称北规院）开展了初步应用，取得了较好的实际效果，并希望能在实际的城乡规划中进一步推广，促进规划信息化水平的发展，提高了规划的科学性。

当前，较多文献仅从单一案例的角度对 PSS 的实施和应用进行介绍。表 1 列出了一些典型的土地利用 PSS，它们运用元胞自动机等方法分析和预测不同场景下的土地利用模式。但如前所述，已有 PSS 多侧重于城乡规划的某一方面，还未提出能综合涵盖不同城乡规划类型的 PSS 框架。少数研究能有类似的考虑，如吉特曼和史迪威（Geertman &

Stillwell）建立了世界范围内已有的规划支持系统名录，分析并识别了 PSS 的主要特征^[7]。

国内，皮拉查等（Piracha et al.）首次在公开发表物上将规划支持系统的概念引入中国^[17]。杜宁睿和李渊将规划支持系统“*What if?*”应用于我国的规划实践中^[18]。叶嘉安和龙瀛分别出版了关于规划支持系统的专著，其中前者关注多个案例研究；而后者则关注建立规划支持系统的各项技术，如地理系统分析、专业模型和可视化技术等^[19,20]。钮心毅构筑了一个适用于城市总体规划的土地使用规划支持系统^[21]。朱彦和沈体雁提出“*SuperPlanner*”这一规划支持系统的软件框架设计^[22]。李渊对规划支持系统的现状和未来进行了深入分析^[23]。龙瀛等（Long et al.）建立了支持制定北京市限建区规划的 PSS^[24]。

虽然面向单一规划的 PSS 发展和应用仍然是国内研究者的研究重点，但是已有学者开始关注整合与 PSS 有关的一般性技术和多样化的案例。如牛强探讨了城市规划相关的 40 多种 GIS 技术，主要包括基础技术、空间叠加分析技术、三维分析技术、交通网络分析技术、空间研究分析和规划信息管理技术等方面^[25]。罗静等提出一个与城市规划有关的数字技术框架，并开发了一系列支持总体规划和详细规划的工具^[26]。马妍等对规划支持系统的资源进行了分类（数据、技术、模型）和辨析，并探讨了通过软件平台进行资源聚合的发展现状及未来趋势^[27]。中国的城市管理机构在数据管理和土地许可证颁发的过程中广泛运用了决策支持系统（DSS: Decision Support System）和管理信息系统（MIS: Management Information System）。然而，相较于城市管理领域的信息技术应用，城乡规划相关部门和机构在编制规划方案时仍较少运用 PSS 技术。

综上，国内已出现大量相关的研究文献，并有部分学者尝试整合有关 PSS 的各种新方法和技术，本研究将在龙瀛和毛其智^[28]的基础上，对涉及各类城乡规划内容的规划支持技术进行整合，提出一套完整的 PSS 框架体系。本文在第二部分介绍 PSS 框架体系的建立方法，第三部分介绍建立的 PSS 框架和旨在促进框架体系应用而开发的在线查询系统，第四部分讨论该框架体系在北规院的应用及潜在的学术贡献，并在最后进行总结和展望。

2 框架建立方法

2.1 需求分析

PSS 框架需要为具体的城乡规划实践服务。为更好地达到此目的，在框架建立之初，通过在北规院开展两轮研讨会和一次调查问卷进行相应的需求分析。首先举行第一次研讨会；框架初步建立后，需要获得反馈意见时，进行第二次研

表 1 典型 PSS 一览表

文献	PSS 名称	方法
兰迪斯 (Landis) ^[10]	CUF/CUF-2	基于规则的土地适宜性分析 (rule-based land suitability analysis)
克拉克等 (Clark et al.) ^[11]	SLEUTH	元胞自动机 (cellular automata)
吴缚龙 (Wu) ^[12]	SimLand	元胞自动机，层次分析法 (analytic hierarchy process)
克洛斯特曼 (Klosterman) ^[5]	What if?	基于规则的土地适宜性分析
艾伦 (Allen) ^[13]	INDEX	基于规则的土地适宜性分析
沃德尔 (Waddell) ^[14]	UrbanSim	微观模拟 (microsimulation)，离散选择模型 (discrete choice models)
叶嘉安等 (Yeh & Qiao et al.) ^[15]	KBPSS	知识推理 (knowledge-based reasoning)
龙瀛等 (Long et al.) ^[16]	BUDEM	元胞自动机，罗杰斯特回归 (logistic regression)

资料来源：作者根据相关文献整理

讨会。第一次研讨会中，北规院与会的 10 位规划师共提出 20 条评语和建议：大多数人关注框架的可用性，并认为 PSS 框架应涵盖尽可能多的规划类型；也有人提出该框架应该为北规院下一阶段的 PSS 发展做好铺垫。第二次研讨会中，与会的 20 位规划师共提出 30 条评语和建议。根据已有经验，大多数人建议框架应包括一些更具体的规划模型，包括北规院自行研发的多个土地使用模型和交通模型；其次，规划评估也应作为一个重要方面纳入框架；最后，还应对各 PSS 需要的数据集进行必要的说明。

此外，我们在北规院内网发布了一份自行设计的包含 6 个问题的调查问卷，最终获得 34 份有效问卷（全院约有 300 位规划师）。如图 1 所示，34 位规划师中有 29 位关心并希望了解本专业之外其他专业的规划内容和编制方法；19 位在工作开展中没有或较少采用定量分析方法（如 GIS、数理统计、专业模型和可视化技术等）；30 位在工作开展中有定量分析的需要，分别有 30、7 和 27 位反映这些需要体现在现状分析、规划方案制定和规划方案评估方面。

总体而言，通过调查需求分析，我们得出该 PSS 框架应包括城乡规划的编制和评估两类内容及方法、软件和模型三方面的技术支持手段。同时，我们发现规划师对 PSS 的应用表现出了极大的兴趣，他们在研讨会和问卷调查中的积极参与有效提高了 PSS 框架的适用性。由于本文着重介绍该 PSS 框架，对其与需求分析调查的关系暂不做进一步探讨。

2.2 框架形式选择

根据上述需求分析的结果，设计 PSS 框架体系。首先，框架主要包括城乡规划的编制和评估两类；其次，框架集成了现有的和北规院正在开发的 PSS；第三，框架包括一些不能被称为 PSS 的定量分析理论和方法，这有助于具有建筑学背景但缺乏定量分析技能的规划师了解和掌握定量分析理论和方法；第四，框架强调城市现状是规划编制和评估的基础；最后，框架为规划者的查询和应用提供了尽可能详细的服务。

根据以上原则，PSS 框架对应不同的规划类型，从方法、软件和模型三个角度提出了对应的技术支持手段（图 2）。

2.3 规划内容划分

根据北京城乡规划体系和新技术支撑的特点、研究时间的限制，本研究所建立的 PSS 框架的规划内容主要分为规划编制和规划评估两类，主要依据是《中华人民共和国城乡规划法》（2007-10-28 颁布，2008-1-1 生效）、《中华人民共和国城市规划编制办法》（2006-4-1 施行），和中华人民共和国住房和城乡建设部《城市、镇控制性详细规划编制审批办法》（2010-12-1 颁布，2011-1-1 生效）。如表 2 所示，规划

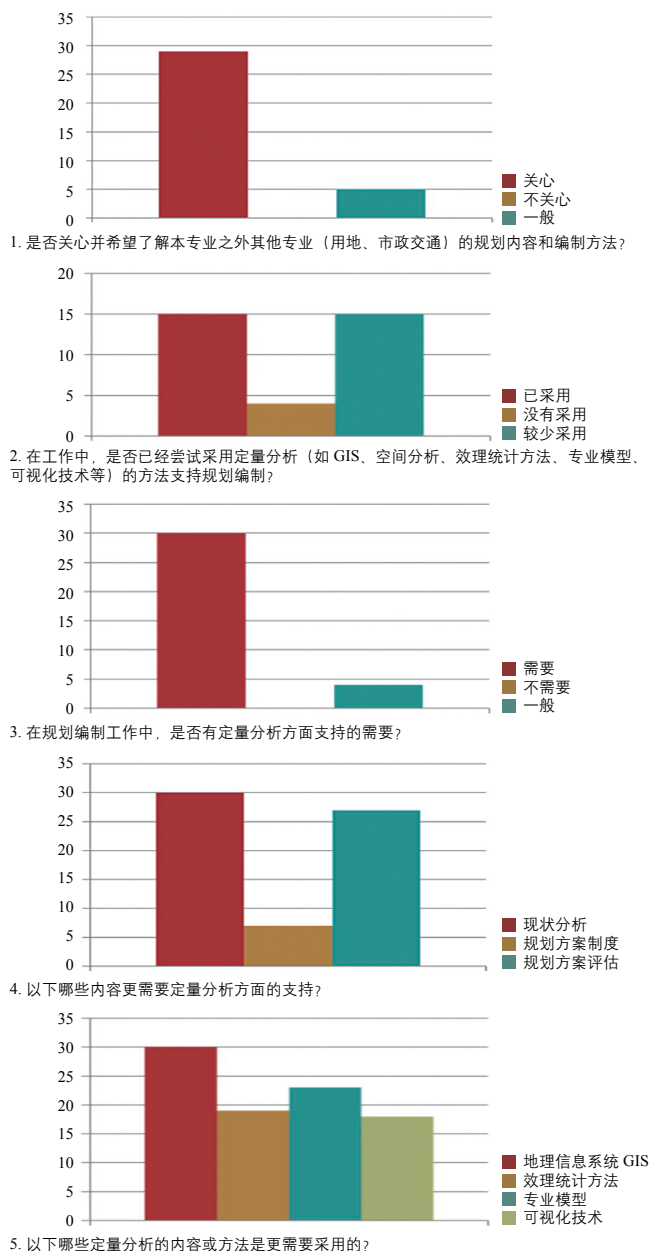


图 1 问卷调查结果

资料来源：作者自绘

工具	方法A	方法B	方法C	软件A	软件B	软件C	模型A	模型B	模型C
战略规划	内容1								
	内容2								
	内容3								
	内容4								
总体规划	内容1								
	内容2								
	内容3								
	内容4								
详细规划	内容1								
	内容2								
	内容3								
	内容4								
专项规划	内容1								
	内容2								
	内容3								
	内容4								

图 2 规划支持系统框架示意

资料来源：作者自绘

编制细分为战略规划、总体规划、详细规划、专项规划、市政专题和交通专题 6 类（每一类又细分为若干子类），而本研究中的规划评估部分仅考虑城市的总体规划评估。每一个三级分类中，还包括若干项具体的规划内容，如战略规划的空间发展研究还包括问题分析、发展趋势与规模判断和空间发展战略三个第四级分类，问题分析还包括地形地貌、现状基础条件、用地适宜性和人口空间分布等具体规划内容（第五级分类），每一项对应更为详细的解释。

2.4 规划支持系统划分

基于文献调研和专家访谈等方法,我们将 PSS 分为三类,即方法、软件和模型。

(1) 方法。城乡规划相关学科的理论方法,如城市经济学、城市地理学、系统科学、地理信息科学、情景分析和系统动力学等。这些方法来源于已有文献或教科书,需要规划师掌握,但不要求有明确的软件载体。本研究中的 PSS 框架提供相应方法的内容,供规划师学习。

(2) 软件。目前已经存在的商业、共享或免费软件,可支持开展规划编制和评估工作,如 ArcGIS、What if? 和 INDEX 等软件。这些软件需要规划师掌握,但不需要北规院额外进行开发。为了提出的 PSS 框架内容更加清晰及使用方便,我们将部分不是北规院开发的 城市模型(如 UrbanSim)归入软件,而非模型的范畴。

(3) 模型。针对具体任务的由北规院开发或即将开发的规划支持工具,不包括第三方软件。模型是该 PSS 框架的重点,我们将汇总北规院已有的若干模型,并提出北规院未来不同阶段的规划支持模型发展战略。

方法、软件和模型都存在更新的问题,如随着时间的推移,有些方法已不再适用于未来的规划,有些软件已被淘汰,而有些模型会不断升级版本等。因此,该 PSS 框架会每年更新一次,以保证能提供规划师最新、最有用的各类规划支持工具。

表 2 PSS 框架的规划内容划分

一类	二类	三类 1	三类 2	三类 3
一、规划编制				
	1 战略规划	1.1 空间发展研究	—	—
	2 总体规划	2.1 城市总规	2.2 新城总规	2.3 镇总规
	3 详细规划	3.1 街区层面	3.2 地块层面	3.3 城市设计
	4 市政专题	4.1 供水规划	4.2 雨水排除规划	……
	5 交通专题	5.1 交通需求预测	5.2 道路网规划	……
	6 专项规划	6.1 基础教育设施专项规划	6.2 城市消防设施专项规划	……
二、规划评估				
	1 总规评估	1.1 城市总规评估		

资料来源：作者自绘

2.5 规划支持系统确定

以文献调研为主要方法,并邀请 10 名以上具有不同规划专业背景(如总体规划、详细规划和交通设施规划等)的规划师共同确定适合不同类型规划的 PSS。上述过程是构建 PSS 框架的最核心工作。第三部分详细描述了确定后的 PSS 框架。

3 PSS 框架体系

3.1 框架描述

本研究提出了一个能涵盖各类城乡规划的 PSS 框架。框架共包含 128 个方法、59 个软件和 58 个模型,部分模型为北规院自主开发,表 3 显示了其代表性的内容。用户可通过北规院内网直接查询每一项 PSS 的详尽说明(图 3)。关于框架体系的更多信息可以登录北京城市实验室(Beijing City Lab)网站(www.beijingscitylab)获得。

3.2 在线查询系统

该框架的最终成果包括纸质版和网络版两种形式。用户可通过网络直接浏览每项规划的 PSS,查询其应用领域,并下载 PDF 文件进一步学习。在线查询系统的主界面如图 4 所示,本系统基于 Asp.Net 和 C# 在 Windows 2003 开发,内容存储在 SQL Server2005 的数据库中。系统功能包括:

- (1) 查询某一类型规划的 PSS、数据、指导说明等内容;
 - (2) 查询某一特定 PSS 的详尽说明;
 - (3) 下载已有的 PSS;
 - (4) 查询 PSS 的负责人;
 - (5) 搜索 PSS 的内容。
- 此系统发布在北规院的内网上,院内人员可通过浏览器方便使用。

4 讨论

4.1 实际应用和评估

截至投稿,该框架已在北规院进行了数月的实践,产生数百次的应用请求。应用主要包括以下方面。

(1) 规划师将该框架作为 PSS 的知识库。框架中的每个 PSS 都由一位经验丰富的规划师负责,用户可通过即时通讯工具向相关负责人获取更多知识;该框架建立在北规院现有空间数据库的基础之上,可促进新技术在城乡规划编制和评估中的应用,而这些新技术在目前国内的多数规划机构中仍较少被运用,因此该框架具有潜在的推广空间;该框架介绍了大量的规划支持方法,可以开阔规划师的眼界,有助于提高规划工作效率和科学性。

(2) 规划师将该框架作为城乡规划理论方法的知识库。新来的规划师可从框架中获取信息以更有效地完成实际任务,可通过查询规划类别了解某一类规划的具体工作流程,

如总体规划和详细规划；拥有不同规划专业背景者，可学习到不熟悉的规划领域的知识，促进规划师自身能力的提升；该框架有望改善国内不同规划专业背景的规划师较难了解其他规划专业知识的情况。

(3) 基于该框架拟定北规院的规划支持模型发展战略。该框架能明晰实现不同规划类型所需的 PSS，结合北规院的 PSS 发展现状，拟定相应的发展战略。2011—2015 年，北规

院计划开发一些基础的城市空间模型，如土地现状分析模型、城乡空间发展分析模型、土地使用和交通整合模型、低碳城市模型、城乡规划实施评估模型、市政设施评估模型和城市暴雨管理模型等。

不过该框架目前还只是初期尝试，尽管结果显示出其具有良好的应用效果，但还有待进一步验证。我们也将根据规划师的使用反馈对框架进行调整。

表 3 PSS 框架示意

规划层次	规划内容	方法	软件	规划模型
总体规划				
现状分析	基础地理（地形地貌、高程、坡度、坡向等）	坡度等	ArcGIS (3D analyst)	—
	基础条件、区位特征分析	灰色理论	规划信息发布系统、CH	现状综合分析模型
			规划数据管理工具	
	用地适宜性分析	栅格代数运算	ArcGIS	用地适宜性分析模型
	城市建设用地演变分析	OVERLAY	ArcGIS	—
	城镇体系评估	—	—	现状综合分析模型
	城镇建设用地规模与布局影响因素分析	线性回归，系统动力学，主成分分析	—	—
	公共服务设施现状分析与评估	—	—	现状综合分析模型，公共服务设施综合模型
	产业发展现状分析	投入产出分析	—	现状综合分析模型
社会经济	预测城市人口规模	回归分析，时间序列分析，贝叶斯预测，小波分析，情景分析，趋势分析	SPSS、SAS	人口模型（如马尔萨斯人口模型、Logistic 人口模型、Leslie 人口模型、刘易斯二元经济模型、托达罗人口流动模型、人口再分布理论等）
	就业岗位预测	情景分析，系统动力学	—	—
	人口承载力分析	情景分析	—	人口承载力分析模型
	人口空间分布模拟	密度核分析，空间插值	ArcGIS, GeoDA	—
空间布局	城市发展方向制定	多属性分析，基础地形分析，流域分析，OVERLAY	ArcGIS	区位模型，用地适宜性分析模型
	城市空间结构	空间相互作用	ArcGIS	BUDEM
	空间形态评价（城市重心、紧凑度、离散度等）	多属性分析	ArcGIS	Fragstats
	地块方向评价（评估城市肌理变化）	—	ArcGIS	PARCTION
	路网评价	空间句法	AxWoman	—
	制定城市增长边界	元胞自动机	CH 规划数据管理工具	城市增长模型 BUDEM

资料来源：作者自绘

流域划分

流域划分方法主要有数字高程（DEM）流域自动分割法，基于水系图和 DEM 的人工划分法。国家流域划分方案主要有 4 类：

方案 I：主要考虑流域管理隶属关系。

方案 II：主要考虑水系分布

方案 III：考虑自然流域的完整性和隶属关系，将全国分为互不相属的一级流域单元，每个单元之间不相隶属，每个单元对应一个一级流域，再根据需要将一级流域单元合并成为 9 个流域片，分别为松辽河、海河、黄河、淮河、长江、珠江、东南诸河、西南诸河、内陆流域。

方案 IV：考虑流域所在大江大河的属性，依据独立的汇流关系、人口和径流深度空间分布状况将我国主要河流所在流域提取为一级流域，再参照方案 I 和方案 II 对内陆流域进行分割，将全国划分为 34 个一级流域，二级流域的数量为 83 个，该方案首次提出了三级流域的划分方法并将全国划分为 255 个三级流域单元。

土地利用演变分析

主要是通过遥感图像分析，通过区域性案例的研究，了解过去不同时段城市土地覆盖的空间变化过程，并将其与改变土地利用方式的自然和经济主要驱动因子联系起来，建立解释土地覆盖时空变化的经验模型，再结合土地利用的地面调查，建立区域性的驱动因子—土地利用—土地覆盖变化的诊断模型（史培军等，2004）。常用的研究方法则主要包括数理统计方法、遥感方法、地理信息系统方法和模型方法等。其中土地利用变化的解释模型可分为两种基本类型，即经验性诊断模型和概念性机理模型（李秀彬，2002）：前者通常基于丰富的土地利用空间格局变化数据，将景观变量与土地利用变化的直接原因建立联系；而后者则基于对土地利用变化因果关系的分析，通常建立在对土地利用主体的个体行为和社会群体行为的解释上。

图 3 PSS 说明示意

资料来源：作者自绘



图 4 在线查询系统主界面

资料来源：作者根据软件界面绘制

4.2 主要贡献

首先, 本研究是第一次尝试建立涵盖不同规划类型的 PSS 框架, 包括方法、模型和软件三方面内容, 整合了现有和即将开发的 PSS; 其次, 该框架是城乡规划知识库的一种形式, 具有不同专长的规划师可在城乡规划理论与 PSS 等方面分享知识, 是研究空间数据库的数字基础设施的有效补充, 促进规划支持系统的潜在应用, 并能作为规划领域的新员工培训材料; 第三, 可基于该框架拟定北规院的规划支持模型发展战略, 为长期目标和短期发展提供平台。

4.3 后续研究

本研究建立的 PSS 框架还可以在以下几方面进一步深化: (1) 依据《中华人民共和国城乡规划法》, 增加该框架尚缺的规划内容, 如部分专项规划; (2) 继续基于文献调研、规划师访谈等方式补充相应的方法、软件和模型; (3) 完善在线查询系统, 数据部分与已有的数据发布系统挂接, 软件提供下载接口, 模型可在线直接调用; (4) 北规院将开发新的规划支持模型, 作为该框架的实际应用。

5 结论

本研究提出了一个能涵盖不同规划类型的规划支持系统 PSS 框架。基于广泛的文献调研和对规划师和决策者的几轮问卷调查和访谈, 将框架内容分为两方面。一方面, 逐项列出不同规划类型各阶段的规划内容, 如总体规划中的人口预测和城市增长边界确定; 另一方面, 列出与不同规划类型有关的 PSS。本研究中的 PSS 包含三种形式, 即方法 (如情景分析和 logistic 回归等)、软件 (如 What if? 和 INDEX), 以及已有或即将开发的规划支持模型。该框架提供了一个全面了解 PSS 在各类规划中应用的平台, 其应用可表现为纸质和在线查询系统两种形式。根据规划师的讨论和反馈, 该框架已进行多次修订, 系统整合了现有的规划支持技术, 为规划师了解规划流程和 PSS 提供了一个共用平台。UPI

参考文献

- [1] Harris B. Plan or Projection: An Examination of the Use of Models in Planning[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1960, 26: 265-272.
- [2] Kammeier H D. New Tools for Spatial Analysis and Planning as Components of an Incremental Planning-support System[J]. Environment and Planning B: Planning & Design, 1999, 26: 365-380.
- [3] Edamura T, Tsuchida T. Planning Support System for an Urban Environment Improvement Project[J]. Environment and Planning B: Planning & Design, 1999, 26: 381-391.
- [4] Ballas D, Kingston R, Stillwell J, et al. Building a Spatial Microsimulation-based Planning Support System for Local Policy Making[J]. Environment and Planning A, 39(10): 2482-2499.
- [5] Klosterman R E. The What if? Collaborative Planning Support System[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2007, 26: 393-408.
- [6] Sun Z, Deal B, Pallathucheril V G. The Land-use Evolution and Impact Assessment Model: A Comprehensive Urban Planning Support System[J]. Journal of the Urban and Regional Information Systems Association, 2009, 21(1): 57-68.
- [7] Geertman S, Stillwell J. Planning Support Systems: An Inventory of Current Practice[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2004, 28: 291-310.
- [8] Klosterman R E. Planning Support Systems: A New Perspective on Computer-aided Planning[J]. Journal of Planning Education and Research, 1997, 17: 45-54.
- [9] Geneletti D. Incorporating Biodiversity Assets in Spatial Planning: Methodological Proposal and Development of a Planning Support System[J]. Landscape and Urban Planning, 2008, 84: 252-265.
- [10] Landis J D. The California Urban Futures Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1994, 21: 399-420.
- [11] Clark 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.
- [12] Wu F. Simland: A Prototype to Simulate Land Conversion Through the Integrated GIS and CA with AHP-derived Transition Rules[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12: 63-82.
- [13] Allen E. INDEX: Software for Community Indicators[M] // Brail R K, Klosterman R E. Planning Support Systems: Integrating Geographic Information Systems, Models, and Visualization Tools. Redlands, CA: ESRI Press, 2001.
- [14] Waddell P. Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning[J]. Journal of the American Planning Association, 2002, 68: 297-314.
- [15] Yeh A G O, Qiao J. Component-based Approach in the Development of a Knowledge-based Planning Support System (KBPS). Part 1: The Architecture of KBPS[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2004, 31: 517-537.
- [16] Long Y, Mao Q, Dang A. Beijing Urban Development Model: Urban Growth Analysis and Simulation[J]. Tsinghua Science and Technology, 2009, 14: 787-794.
- [17] Piracha A L, Kammeier H D. 与计算机技术创造性结合的规划支持系统——巴基斯坦旁遮普省引导工业定位决策的研究案例 [J]. 国外城市规划建设, 2003, 18(5): 15-20.
- [18] 杜宁睿, 李渊. 规划支持系统 (PSS) 及其在城市空间规划决策中的应用 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2005, 38(1): 137-142.
- [19] 叶嘉安. 地理信息与规划支持系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [20] 龙瀛. 规划支持系统原理与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [21] 钮心毅. 城市总体规划中的土地使用规划支持系统研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [22] 朱彦, 沈体雁. SuperPlanner: 规划支持系统软件框架设计 [J]. 规划师, 2008, 24(12): 24-27.
- [23] 李渊. 规划支持系统: 现状与思考 [J]. 城市发展研究, 2010, 17(5): 59-65.
- [24] Long Y, Shen Z, Mao Q. An Urban Containment Planning Support System for Beijing[J]. Computers Environment and Urban Systems, 2011, 35: 297-307.
- [25] 牛强. 城市规划 GIS 技术应用指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [26] 罗静, 党安荣, 毛其智. 面向服务的数字城市规划平台集成研究 [J]. 北京规划建设, 2009, 2: 113-116.
- [27] 马妍, 沈振江, 高晓路, 等. 城乡规划支持服务资源聚合现状及发展趋势 [J]. 地理科学进展, 2013, 32(11): 1670-1680.
- [28] 龙瀛, 毛其智. 城市规划支持系统的定义、目标和框架 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2010, 50(3): 335-337.

(本文编辑: 王枫)