

基于大数据的空间治理智慧决策系统建设理论与实践

□ 谢盼, 林文棋, 孙小明, 彭达

[摘要] 在国土空间规划背景下,我国提出构建新时代空间治理体系新要求,大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术为城市空间治理提供了智慧化的方法与手段。针对城市空间治理对象众多、关联复杂、主体多元等特征,本文提出了“2+4+N”的空间治理智慧决策系统建设思路框架,即在多源数据融合治理体系和智能模型运算体系两大基础体系支撑下,拓展动态监测、专项评价、绩效评估和决策模拟四大决策功能,提供“领导驾驶舱”等应用服务,并以北京市空间治理与“疏整促”政策评估系统建设为例,阐述了空间大数据和社会大数据支撑下国土空间资源监测、绩效评估和决策支撑的实践路径。

[关键词] 空间治理;大数据;智慧决策系统;北京

[文章编号] 1006-0022(2020)22-0046-06 [中图分类号] TU984 [文献标识码] B

[引文格式] 谢盼,林文棋,孙小明,等.基于大数据的空间治理智慧决策系统建设理论与实践[J].规划师,2020(22):46-51.

Theory and Practice of Intelligent Decision-making System for Space Governance Based on Big Data/Xie Pan, Lin Wenqi, Sun Xiaoming, Peng Da

[Abstract] New requirements of space governance system have been put forward under the background of national land and space planning. New technologies including big data, artificial intelligence and cloud computing provide intelligent methods for urban space governance. In this research, a “2+4+N” framework of intelligent decision-making system for urban space governance is proposed. “2” stands for multi-source big data governance system and intelligent model computing system. “4” stands for four decision-making functions of dynamic monitoring, project evaluation, performance evaluation, and scenario simulation. “N” stands for a number of application services. With the case of Beijing Urban Space Governance and Performance Evaluation System, the monitoring, performance evaluation, and decision-making for urban space governance under the support of big data is discussed.

[Key words] Space governance, Social big data, Intelligent decision-making system, Beijing

0 引言

2019年,中共中央、国务院发布《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》提出要从更深层次、更科学的角度解决空间问题,构建新时代的空间治理体系^[1,2]。智慧决策是空间治理工作的关键步骤,贯穿空间治理过程中的战略制定、运行管理和重点专项推进等各个环节。新时代的国土空间治理具有要素复杂、

主体多元、关联众多等特征,在如今城市发展和空间演变愈发剧烈的背景下,空间治理的决策难度与复杂度不断提高。

新技术赋予了空间治理决策新动能。近年来,大数据、物联网、云计算和人工智能等新一代信息技术迅猛发展,“智慧城市”技术日趋成熟,契合新时代空间治理动态化、精细化、系统化、智能化的要求,成为推动我国国土空间规划和空间治理智慧化的重要

[作者简介] 谢盼,硕士,工程师,北京清华同衡规划设计研究院有限公司项目经理。

林文棋,博士,高级工程师,清华大学副教授,北京清华同衡规划设计研究院有限公司总规划师。

孙小明,硕士,工程师,北京清华同衡规划设计研究院有限公司技术创新中心副所长。

彭达,中国人民解放军战略支援部队航天工程大学航天信息学院硕士研究生。

因素^[3-5]。2016年，国务院发布的《关于印发促进大数据发展行动纲要的通知》提出“用数据说话，用数据决策，用数据管理，用数据创新”的管理机制，国土空间规划部门也多次提出要建设“可感知、能学习、善治理、自适应”的智慧国土空间规划体系。以多源大数据和新技术开展空间治理决策服务支撑，成为提升空间治理能力和决策科学性的重要手段^[6-8]。

本文针对新时代的空间治理决策需求，强调大数据和智能模型在空间治理智慧决策中的重要作用，提出空间治理智慧决策系统的建设思路和总体框架，并通过北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统的建设实践阐释空间治理智慧决策系统的建设路径。

1 空间治理智慧决策系统建设理论框架

1.1 建设理念与思路

空间治理智慧决策系统是指借助新一代信息技术，充分发挥多源数据融合应用能力和智能模型决策能力，为国土空间规划和空间治理提供科学、高效支撑的信息化平台。空间治理智慧决策系统为自然资源部门空间治理信息化体系的重要组成部分，是国土空间规划基础信息平台 and “一张图”系统建设的重要延伸与前瞻性补充。

结合国家关于新时代空间治理体系建设的最新要求，依托人工智能、大数据、城市信息模型以及遥感、全球定位系统、地理信息系统等新技术与新方法，在现行国土空间规划“一张图”和国土空间基础信息平台建设的背景下，开发以多源数据应用为基础、以模型规则制定为内核、以关键指标为抓手的空间治理智慧决策系统，实现国土空间治理动态监测、专项评价、绩效评估和情景模拟等决策功能，服务于空间治理的资源监测、专项管理、政策决策等各个环节，实现

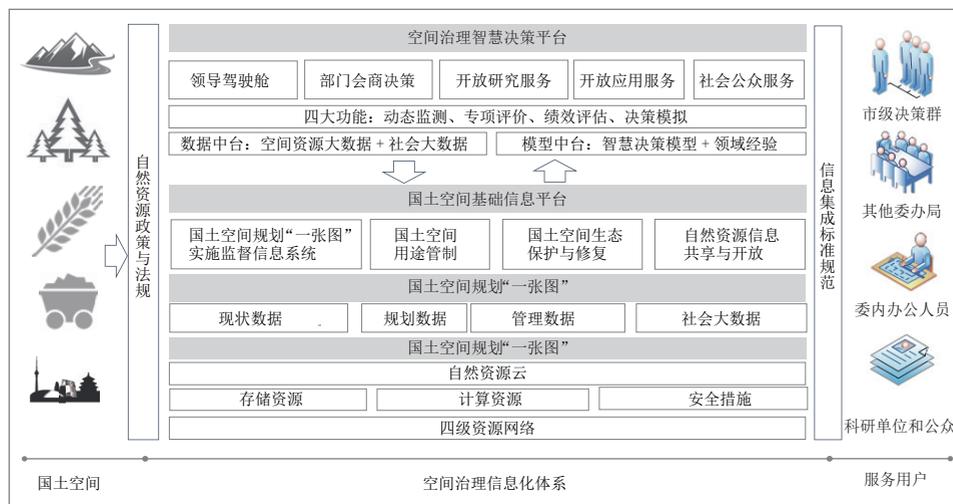


图1 空间治理信息化体系框架



图2 空间治理与智慧决策系统框架

国土治理智慧化和现代化（图1）。

1.2 建设框架与路径

空间治理智慧决策系统建设可以总结为“2+4+N”的建设框架：“2”指多源数据融合治理体系（数据中台）和智能模型算法体系（模型中台）两大支撑体系；“4”指动态监测、专项评价、绩效评估和决策模拟等通用功能模块；“N”为多

个支撑多元主体的不同应用服务，包括“领导驾驶舱”、部门会商决策、开放应用与研究服务、社会公众服务等（图2）。

1.2.1 多源数据融合治理体系

多源大数据包括政务大数据和社会大数据。系统通过数据中台实现多源数据的汇集、存储与交换。通过政务大数据与社会大数据的采集、清洗、校核及融合应用，全面提升数据治理能力，是

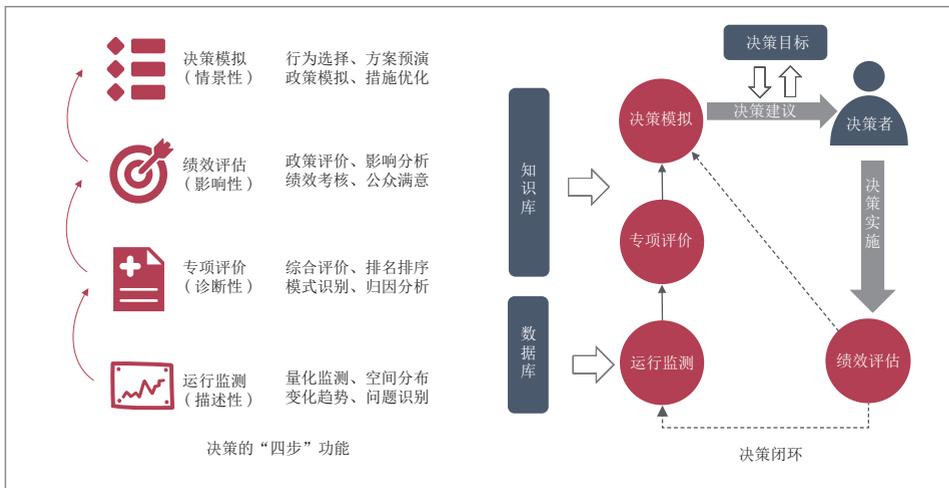


图3 空间治理智慧决策闭环路径

表1 城市空间全要素监测

监测内容	数据基础	监测内容
空间资源监测	“三调”等基础地理信息数据	用地、建筑、管网、矿产、地质等全要素监测
人口时空动态监测	互联网定位数据和手机信令数据等	识别人口数量、结构、精细化的空间分布、职住和通勤特征等
产业发展动态监测	工商注册、投资、专利、税收、产业大数据等	产业结构变化、企业数量变化、投资时空变化监测等
设施使用动态监测	城市POI数据、互联网定位数据等	公共设施人口服务范围、服务质量、使用情况监测
交通运行动态监测	出租车、公交刷卡、共享单车等	城市机动车、公共交通、慢行交通等运行情况监测

使用大数据进行空间治理决策的关键^[9]。

首先，要对政务大数据进行清点与梳理。一般而言，空间大数据包括空间现状数据，如以“三调”为基础的“一张底图”数据、历年测绘遥感数据和地质数据等；空间规划数据包括各类各级国土空间规划数据、控制线和专项规划数据等；空间管理数据包括不动产数据、建设审批数据和矿产资源管理数据等^[10]。

其次，实现多源社会大数据的接入与融合应用。社会大数据是指由物联网监测、互联网定位、手机APP等获取的时空大数据，涉及人口、产业、设施、交通等多领域。传统的空间数据侧重空间资源的物理状态属性（如建设行为、土地利用和植被覆盖等），缺乏对空间资源使用状态、权属状态、合规状态、变化状态等多维度监测评估。多源社会大数据具备高时空精度、多维度、多尺度、

高时效性等特征，能对传统空间大数据起到校核、关联、升维等作用，与空间大数据融合应用能更好地实现价值挖掘与决策支撑，促进国土空间从单一物理空间治理向“地—人—产”综合治理转变。

1.2.2 智能模型算法体系

智能模型算法体系通过模型中封装各类空间分析模型、大数据挖掘模型、深度学习模型等，实现对决策的定量化和科学化支撑^[11]。空间分析模型主要针对自然资源部门提供遥感解译、空间识别、冲突判别、资源评价和风险评价等功能；大数据挖掘模型主要基于人口、产业、设施等海量大数据，结合人工智能手段，实现特征识别、规律认知、归因分析和预测预警等功能；基于大数据的深度学习模型具备强大的学习能力，能够提取大规模多源异构数据之间存在的各种复杂且非线性的关联特征，在空

间分析模型和大数据挖掘模型的基础上结合，共同构成空间治理的学习体系。

智能模型运算体系除了发挥数据和模型自身的价值外，还需要充分关注专家和领域知识的介入，特别是在阈值确定、参数系数赋值等方面，结合领域经验和参考案例进行综合考虑。

1.2.3 智慧决策功能模块

智慧决策能力是空间治理的核心，传统决策过程一般包括发现问题、确定目标、集思广益、拟订方案、综合评估、评选方案、试验实施、总结修正和追踪决策等步骤，需要遵循客观性、信息性、科学性等原则^[12]。结合多源大数据和智能化分析，为决策者提供充分的、结构化的信息，以提升其决策的科学性与高效性是智慧决策的主要目标。空间治理智慧决策系统具备动态监测、专项评价、绩效评价和决策模拟四大功能，贯穿于决策实施的前、中、后过程，形成决策闭环，提供全方位的决策支撑（图3）。

(1) 运行监测功能模块。对城市空间中的要素进行全方位、全时空的指标监测，使决策者能够实时把握城市空间运行动态，主要包括指标量化、空间分布监测、时序变化监测和异常识别等。该模块基于空间大数据和社会大数据，构建全要素、多维度的监测网络。在空间资源监测层面，覆盖用地、建筑、管网、矿产和地质等各个要素，拓展空间资源类型监测、空间资源状态监测和空间资源变化监测等维度。同时，充分利用社会大数据，构建人口分布、产业发展、市民体验（交通/房价/环境）等的综合监测体系（表1）。

(2) 专项评价功能模块。专项评价功能包括综合评价和归因分析等，其以管理目标为导向，针对决策者关注的专项任务等重点问题，构建评价指标体系，对专项工作的开展进行精细化的评价分析，为精准施策提供支撑。综合分析功能一般针对某个专项问题，构建多层次评估体系，通过AHP专家打分、机器自

学习等方法进行权重赋值,实现对象综合评估或多对象的排名,如国土空间规划的现状评估、城市体检等工作均遵循了综合评价的思路;也可针对空间治理关注的土地储备、拆除违建、大棚整治、留白增绿等专项工作进行评估。归因分析功能则需要厘清要素之间的相互影响关系,并针对空间要素多样、关联复杂的特征,通过回归分析、系统动力学或更为复杂的机器学习等模型算法的参与,实现精准的评价分析。

(3) 绩效评估功能模块。通过对政策实施前后或一定时间序列内,城市空间关键要素的变化和影响进行评估,或对不同政策措施的实施绩效进行比对,推动政策不断优化,具体包括政策评价、影响分析、绩效考核和公众满意度评估等。绩效评估可以显著性检验等方式进行,如在对北京“疏整促”政策实施进行绩效评估时,通过手机信令数据等高精度的人口数据,评估拆除违法建设政策实施对居住或就业人口的影响程度和影响时效;又如在对“地摊经济”政策进行绩效评估时,通过灯光数据、互联网定位数据和互联网舆情数据等,评估政策带来的经济和人群活力复苏情况。

(4) 情景模拟功能模块。通过深入分析空间要素的关联性,利用多源数据和机器学习算法,为政府决策提供精细化、针对性的量化决策情景模拟工具,具体包括方案预演、政策模拟、行为选择和措施优化等。结合大数据和人工智能技术,可对人口、产业、用地等进行精准预测模拟。人口统计数据往往时效性较低、统计成本较大,利用手机信令数据、互联网定位数据等将人口数量(包括活动人口、居住人口和就业人口等)预测精度提高到每月甚至每日,结合多源社会大数据,通过时空关联模型、机器学习等算法,实现人口的精准预测。在产业转型模拟方面,结合工商注册、投资、税收等数据,设置不同政策需求出发点,通过机器学习等技术,获得不同政策情

景下产业发展趋势,指导政策制定和落地。在用地拓展情景模拟方面,结合多年城市遥感影像数据,判别城市空间发展影响因子,结合多目标土地利用优化模型和城镇空间拓展模型等,根据城市空间发展政策和耕地保护政策构建城市发展情景,并进行城市空间扩张模拟分析(表2)。

1.2.4 应用服务支撑

通过调用动态监测、诊断分析、绩效评估和情景模拟等通用功能模块,针对政府决策部门、相关业务部门、科研院所和社会公众等不同主体的应用需求,实现“领导驾驶舱”、部门会商决策、开放应用与研究服务、社会公众服务等多种应用服务。推动自然资源部门业务之间数据共享与业务协同模式的创新,开放面向研究机构、社会公众的多源数据和模型决策功能,是实现空间治理智慧决策系统应用服务支撑的重要路径。

2 空间治理智慧决策系统建设实践:北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统

2.1 建设背景与评估系统概况

2017年,北京市出台《关于组织开展“疏解整治促提升”专项行动(2017—2020年)的实施意见》,开展“疏解整治促提升”(以下简称“疏整促”)专项

行动。其中,拆除违法建设(以下简称“拆违”)是北京“疏解整治促提升”十大专项行动确定的核心工作任务之一。北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统的建设,主要以“拆违”专项行动实施为抓手,通过空间资源数据和多源社会大数据的融合应用,构建全要素、多尺度的空间资源和社会运行监测体系,拓展综合评价、绩效评估、预测预警等决策能力,为相关部门提供日常监测、即席分析、应急响应和协同会商的大数据空间治理智慧决策平台。

系统以“地、房、人、产”4个关键要素为主线,构建指标监测、绩效评估和图斑详情3个模块。在多源数据治理与智能模型算法体系支撑下,实现“地—房—人—产”全要素、多维度、多尺度的指标监测,实现“拆违”实施进度评估以及“拆违”人口疏解和产业提质绩效评估,为“拆违”实施专项的跟踪监测、管理决策提供了系统性支撑(图4)。

2.2 系统特色

2.2.1 数据底板:空间大数据与社会大数据融合应用

系统构建以空间大数据为基础、社会大数据为补充的数据体系。系统接入自然资源部门的各类空间大数据,包括“拆违”实施专项的拆违图斑数据及其他辅助空间大数据。其中,拆违图斑数

表2 空间治理四大决策功能及主要技术方法

决策功能	细分内容	技术手段
运行监测	空间资源、人口、产业、设施、交通等运行监测	物联网、大数据等
专项评价	综合评价 归因分析	AHP专家打分、主成分分析、机器学习等 回归分析、系统动力学、机器学习等
绩效评估	政策评价、影响分析、绩效考核、公众满意度评估等	显著性检验等
决策模拟	人口预测 产业发展模拟 用地扩张模拟	手机信令、互联网定位等大数据,机器学习算法 工商注册、投资、税收等大数据,机器学习、产业图谱等算法 遥感大数据结合多元社会大数据,土地利用优化模型、城市空间拓展模型

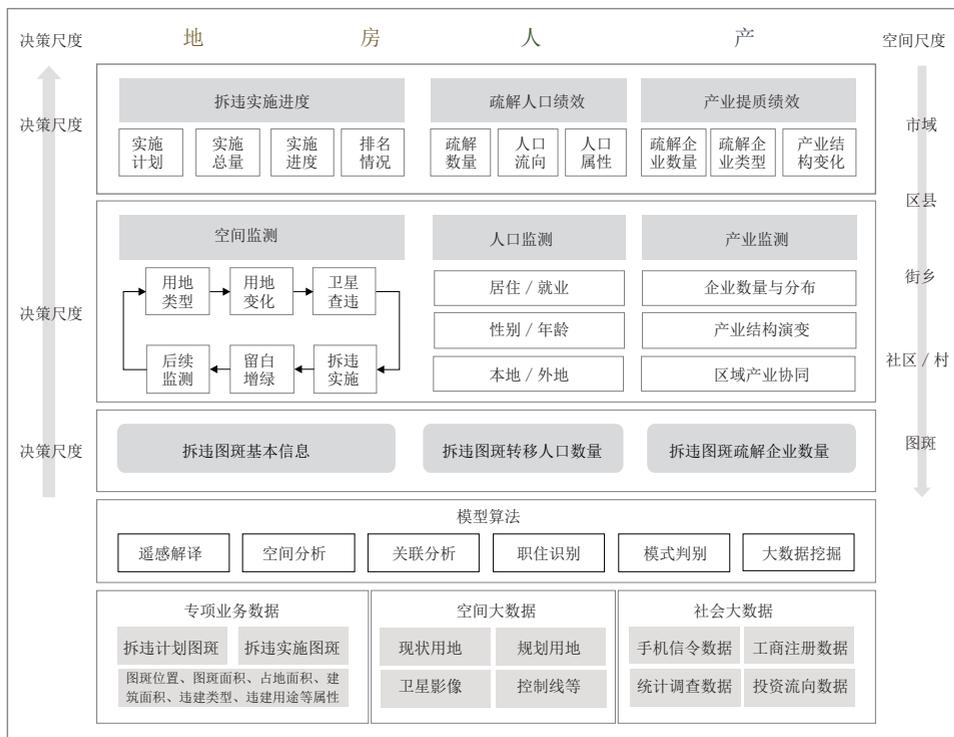


图4 北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统框架

据为各区县近3年每月上报的矢量图斑数据，具体属性包括拆违图斑位置（到村级别）、拆违图斑占地面积、拆违图斑建筑面积、拆违图斑违建类型（占地违建或屋顶违建）和拆违图斑用途（居住、仓储或其他用途）等。其他辅助空间大数据包括北京历年卫星影像底图数据、地表覆盖数据、建设用地变化数据、规划用地数据、生态保护红线等控制线数据、行政边界数据等。

同时，系统汇集了以手机信令数据为主的人口大数据，以工商注册法人数据和投资流向数据为主的产业大数据。其中，手机信令数据空间精度达到百米网格，时间精度到天，通过人口扩样模型和职住地识别模型，测算出每个网格真实的居住人口和就业人口数量。产业大数据包括企业精准的经纬度位置信息及精确到小类的产业类别信息，以及各企业之间的法人投资信息。

2.2.2 模型体系：智能算法支撑多源大数据信息挖掘

空间大数据和社会大数据需有智能模型的支撑才能挖掘出最大的数据价值。

本系统内嵌空间分析、关联分析、大数据挖掘等模型运算，提高空间资源监测的置信度、拓展空间治理决策的维度。

首先，通过多源大数据结合空间分析模型，实现数据自动校核工作。“拆违”实施专项中腾退用地面积、拆除建筑面积等为人工上报记录，存在由人为操作引起的误差，而空间分析模型可对拆违图斑进行空间修复和纠偏，对拆违图斑面积进行再计算；同时，辅助手机信令数据核算拆违图斑上的居住、就业人口，构建人口变化率、人均面积等指标，进行多维度的数据校核，实现对人工上报数据的核查和自动纠偏。

其次，通过多源大数据和关联分析挖掘模型，实现“拆违”实施专项人口疏解和产业提质绩效评估。人口、产业大数据结合拆违图斑，通过空间关联挖掘模型，对拆违图斑上的人口进行跟踪识别，解答“拆违”专项实施是否真的实现了人口疏解、主要疏解的是哪一类人群、疏解的人都去了哪儿等问题；工商注册法人数据结合拆违图斑，通过空间关联挖掘模型，判别拆违图斑上的企

业是否减少、减少的企业类型都有哪些，从而解答“拆违”是否促进了北京产业结构的优化、被疏解的是否都是“非首都功能”企业、京津冀的产业协同发展是否受到影响等问题。

2.2.3 模块功能：指标监测与绩效评估功能辅助智慧决策

(1) 指标监测模块：实现“地—房—人—产”全要素、全流程、多维度、多尺度的动态指标监测。

指标监测模块构建用地腾退（地）、违建拆除（房）、人口疏解（人）、产业提质（产）4个指标监测模块，实现全要素覆盖。

用地腾退（地）、违建拆除（房）监测模块，以自然资源部门的用地数据和建筑数据为主线，围绕“拆违”实施专项的工作流程与周期，构建“用地类型—用地变化—卫星查违—拆违实施—留白增绿—后续监测”的空间资源监测闭环，实现全流程管理。除了对用地和建筑等的构建位置、面积、用地性质等常规监测指标外，系统通过对用地现状和用地规划的关联分析，拓展空间资源的权属属性（个人/集体）、合规属性（合规/违规）以及用途属性（居住/工业/仓储）等，实现多维度监测。

人口疏解（人）、产业提质（产）监测模块充分利用社会大数据高时空精度、多维度的特征，对区域内人口和产业进行数量、空间分布和画像监测。在人口监测方面，依托手机信令数据，识别居住人口/就业人口、本地/外地人口及其性别与年龄等属性，并进行不同空间尺度的按月度的监测。在产业监测方面，依托工商注册法人数据和区域间投资数据，对注册企业的数量与类别、区域产业结构及其演变、区域投资联系等进行监测。

指标监测模块覆盖“市域—区县—街乡—社区村—图斑”等全尺度，实现功能逻辑自上而下层层钻取、数据指标自下而上层层汇总，结合地图和图表的可

可视化表达, 实现任意时空维度的指标获取, 相比于传统的统计报表形式, 大大提高了空间监测的时空覆盖度和工作效率。空间监测最后一个层级可以下钻落实到拆违图斑层面, 拆违图斑含有位置、拆除时间、图斑用途和图斑用地性质等详细信息, 以及该图斑上的转移人口、疏解企业数量信息, 同时可通过分屏的形式实现图斑拆除前后影像和图片比对。

(2) 绩效评估模块: 实现“拆违”实施进度评估和“拆违”绩效评估辅助智慧决策。

通过绩效评估模块, 实现腾退用地、违建拆除的实施进度、实施绩效等指数、指标和排名可视化, 构建“领导驾驶舱”, 为领导实时把握专项实施推进情况提供决策支撑。

在实施进度评估页面, 对用地腾退和违建拆除情况进行实施规模、实施计划、实施进度的统计, 实现实施进度的区域排名与时序变化可视化展示, 对于“拆违”进度落后、排名靠后的区域进行预警和强调。

在实施绩效评估页面, 通过地、房、人、产等数据的挖掘与分析, 构建“拆违”疏解人口规模、疏解人口画像(年龄、教育水平等)、疏解人口去向(区内/本区京内/京外等)等指标体系, 对“拆违”疏解人口绩效进行综合评估; 构建“拆违”疏解企业数量、疏解企业类型(批发零售/技术服务/租赁商服等)、疏解前后区域产业结构和优势产业变化等指标体系, 对“拆违”疏解产业提质增效进行综合评估。

2.2.4 应用服务: 智慧决策为引导的领导驾驶舱应用

北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统应用对象为北京市领导层, 是北京市“领导驾驶舱”系统分舱之一。“领导驾驶舱”不同于一般的业务系统, 是面向领导层需求, 具备结构化的信息呈现能力和智慧决策能力。本系统聚焦空间治理关键问题, 依循决策逻辑设计

功能模块, 通过多源大数据和智能模型应用, 构建多维度、结构化的指标体系, 结合多元的地图和图表表达方式, 清晰展示“拆违”专项实施的规模、结构、排名、计划、进度、成效等信息, 为领导层的城市空间治理决策提供科学支撑。

3 结论与展望

本文提出了基于大数据的空间治理智慧决策系统建设理念思路与构架, 通过北京城市空间治理与“疏整促”政策评估系统的建设阐述了其具体实现路径, 强调了空间治理智慧决策系统应具备多源大数据的融合治理能力、智能模型计算能力以及动态监测、专项评价、绩效评估、决策模拟等功能。

基于大数据的空间治理决策系统是一个开放的、可生长的系统, 未来将会从丰富数据资源、强化决策内核和拓展应用服务等角度发展。在数据资源层面, 融合不动产、建设项目审批、自然资源督查等空间业务管理数据, 补充接入物联网、交通、环境等海量时空大数据, 为数据挖掘决策支撑提供更为丰富的数据资源。在决策内核层面, 现有的智慧决策系统多处于动态监测和综合评估阶段, 未来应进一步强化智慧决策的核心能力, 实现情景模拟、方案推荐等高阶决策功能。在应用服务层面, 通过数据、指标、算法、模型的不断强化, 拓展定制化功能和应用服务场景, 强化政府、企业、公众等多元主体诉求的体现, 实现政府部门内部系统纵向与横向的贯通, 创新对外的数据共享、众筹智库、公众满意度评价等形式。■

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 孟鹏, 王庆日, 郎海鸥, 等. 空间治理现代化下中国国土空间规划面临的挑战与改革导向——基于国土空间治理重点

问题系列研讨的思考[J]. 中国土地科学, 2019(11): 8-14.

- [3] 金贤锋, 张泽烈, 王博祺, 等. 大数据时代规划信息化建设思考[J]. 规划师, 2015(3): 135-139.
- [4] 甄茂成, 党安荣, 许剑. 大数据在城市规划中的应用研究综述[J]. 地理信息世界, 2019(1): 6-12.
- [5] 肖婧, 李松平, 梁姗. 健康的韧性城市规划模型构建与策略[J]. 规划师, 2020(6): 61-64.
- [6] 丁睿, 吴昊天. 成都市温江区智慧城市规划管理平台建设及作用探讨[J]. 规划师论坛, 2017(22): 21-25
- [7] 杨选伦, 刘洪波, 向其权等. 面向领导决策的城市大数据平台研究与应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(3): 124-127.
- [8] 王缙华. 大数据时代城乡规划与智慧城市研究[J]. 城市建设理论研究(电子版): 12.
- [9] 李振军, 赵华. 手机信令人口大数据在智慧国土空间规划的实践与探索[J]. 城乡规划, 2020(1): 107-112.
- [10] 王英, 易峥, 王芳, 李乔. 空间规划地理信息资源共享现状与发展方向[J]. 规划师, 2019(21): 5-10.
- [11] 牛强, 夏源, 牛雪蕊, 等. 智慧城市的大脑——智慧模型的概念、类型和作用[J]. 上海城市规划, 2018(1): 40-43, 62.
- [12] 杨冠华, 李强. 我国行政领导决策的体制性障碍及其对策研究[J]. 管理观察, 2015(34): 37-39.

[收稿日期] 2020-08-27;

[修回日期] 2020-11-05