土地资源智能管控

郭仁忠^{1,2*}, 罗婷文^{2,3}

1. 深圳大学智慧城市研究院, 深圳 518060;

2. 自然资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室, 深圳 518034;

3. 深圳市数字城市工程研究中心, 深圳 518034

* 联系人, E-mail: guorz2013@qq.com

过去对于土地问题, 我们较多地从经济视角予以研究。随着我国经济社会发展进入新的历史时期, 在“五位一体”发展战略的背景下, 如何多维度、立体化、综合性地认识、研究和利用土地, 创新土地研究方法, 提升土地管理能力成为土地资源领域的重要课题。同时, 基于人类活动的深入所带来的土地资源系统的动态性与复杂性, 以及我国广袤国土下土地利用活动的多样性与土地问题的特殊性, 也迫切需要通过土地科技创新、寻求更先进的技术手段来实现土地资源的有效管理。

当今社会是信息技术驱动的社会, 需求牵引和技术驱动成为经济社会发展的两大基本方式。信息通信技术(Information and Communications Technology, ICT)的快速发展大幅度提升人类处理复杂问题的能力, 提供新的路径与可能。利用新一代 ICT 技术, 推进土地资源管理和利用的数字化、智能化, 实现土地资源智能管控, 应是我们的明智选择和优化路径。

1 土地认知的转变

1.1 以经济为核心的土地认知

土地具有自然、社会二重属性, 有学者提出关于土地社会属性的认知大致可归纳为3种, 即“阶级剥夺反抗观”、“宗族伦理观”和“资产财富观”。它们分别强调了土地的政治、社会(文化)与经济3种属性^[1], 其中最核心的是经济属性。一直以来, 生产要素理论都将土地视为重要的经济生产要素。早在17世纪, 英国古典政治经济学之父威廉·配第就提出“土地为财富之母”, 将土地作为经济生产活动中的第一要素^[2]。18世纪法国经济学家萨伊提出三元论, 把自然力、劳动和资本归结为生产的3个要素, 指出劳动创造了资本, 资本创造了利息, 自然力创造了地租^[3], 土地即为最重要的自然力。19世纪末20世纪初, 经济学家马歇尔在《经济学原理》中将组织从资本中分离出来, 提出第四生产要素, 构成了生产要素的四元论^[4], 其中土地仍是最根本的。无论生产要素理论如何变化和发展, 从“二元论”、“三元论”到“四元论”, 乃至之后的“五元论”、“六元论”

郭仁忠 中国工程院院士, 国际欧亚科学院院士, 中国地理信息工程专家。现任深圳大学智慧城市研究院院长、教授、博士生导师, 兼任武汉大学博士生导师、国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室主任、中国土地学会副理事长、中国城市科学研究会副理事长、广东院士联合会

副会长等。主要研究方向为地理信息技术理论研究和工程应用。

等^[5,6], 土地一直是作为重要的生产要素位列其中。

土地管理方面, 地籍管理的初衷之一即是经济导向的土地税收。以不动产权籍为重要内容的产权制度是市场经济的基石, 也是土地市场秩序维护的核心基础。因此, 地籍管理主要是基于土地的经济属性^[7]。土地有偿使用制度, 实质上是基于经济价值挖掘的制度建设。土地出让制度, 也是基于土地经济价值的出让、交易、登记, 如经营性用地出让的招拍挂制度, 其遵循的也是“价高者得”的原则。土地评估主要是价格评估, 是为土地出让、土地税费征收、土地有偿使用等提供依据, 主要关注的也是土地在使用状况下的经济价值。土地用途管制及土地利用规划管理, 也主要是从土地经济价值角度出发, 譬如农用地与建设用地的转用、不同类型建设用地的功能转换, 其背后都是经济要素的考量。改革开放以来, 土地财政逐渐成为各界争论的话题, 重要原因也是人们较多地聚焦于土地的经济属性^[8]。

土地研究方面, 围绕土地经济属性的研究具有较为悠久的历史渊源。理论方面, 从亚当·斯密、李嘉图到马克思的地租理论的系列研究, 以及土地报酬规律、土地集约经营与规模经营原理等, 都是经济视角解析土地的经典理论^[9,10]。随着经济学与土地领域不断交叉、融合与创新, 形成了以土地经济属性和经济功能为研究对象的学科, 即土

地经济学,关注的也是土地利用与收益分配中人与人之间的经济关系^[11]。

因此,可以认为过去的土地研究主要是以经济为核心,土地管理基本上是基于经济导向的制度体系。

1.2 新时期土地认知的挑战

国家发展理念从物质文明、精神文明的“两位一体”、经济、文化、政治建设的“三位一体”到经济、文化、政治、社会的“四位一体”,再到经济、政治、文化、社会、生态的“五位一体”,其内涵与目标不断演进,而一直以经济价值为核心的土地认知总体上滞后于国家发展理念的演进。在新的历史条件下,我们需要创新思维、延伸视角,转变土地认知,重构土地范式(表 1)。

首先,土地资源内涵属性被赋予新的内容,土地资源的物质形态和利用方式得以丰富。土地由以经济为核心的生产要素演变为人口-经济-社会-生态-文化等多要素耦合而成的复合系统或生命有机体,并具备资源、资产、资本、生态、文化等多重属性^[12],需建立新的土地系统观和广义的土地价值观。同时,在土地资源禀赋不足的背景下,随着城市发展理念的演进,土地立体化利用活动不断深入,土地管理三维思维得以提出,土地资源认知由此拓展至土地空间资源的认知^[13]。如何管理被赋予了新内涵属性的土地资源,对传统理论方法提出了挑战。

其次,土地价值的审视与评估也发生了变化。土地价值已超越单纯的经济价值范畴,社会、人文、生态等价值逐渐得以重视,并尝试以货币化定量进行表征,需要创造或发展广义的土地价值论。土地评估不再局限于基于区位、功能、容积率的土地估价,而需补充或加强生态、社会、文化等要素对土地价值的影响评估,建立综合的土地价值评估技术体系。

再者,关于土地活动的组织与管理,也衍生了新的要求。例如,土地用途管制不应仅局限于建设与农业用途的二元化指标管理,需关注建设用地上内部生态资源资产的管理、土地生态功能的管理等;优化土地分类及评价等支撑

技术,从城市规模扩张控制向城市土地资源资产包括生态资产的运营转变,土地督察内涵也需随之调整。土地规划亦不应仅以人口与经济规模为主要考量指标,规划目标应该多元化,在“五位一体”总体布局下多维度考虑土地利用与空间安排。同时,因社会、文化、生态等元素具有时空延续性特征以及土地本身要素的综合性,土地管理不宜局限于行政辖区、管理部门或管辖期限,管理模式和制度需要创新^[14],构建超越空间区域的政区化、管理事权的部门化、行政管理的届次化的土地系统调控理论方法。此外,伴随着土地立体化利用活动及土地空间资源认知,如何基于三维思维实施空间规划、开展不动产登记等,也需要深入思考^[13,15]。

凡此种种,均预示着很多既定的行之有效的理论、方法、技术均可能不再可行。土地研究的复杂性和难度大幅度增加,对传统的土地研究理论和方法体系提出挑战,需要创新土地研究方法与管理思路,多维度、立体化、综合性地去认识、研究和利用土地。

2 土地资源智能管控的发展需求

科技是第一生产力。近年来以互联网、大数据、云计算为代表的新一代 ICT 技术掀起了全球信息化变革,信息空间或虚拟空间正在成为物理实体空间之外的第二空间,极大地影响和改变着土地利用、管理和研究的方式、手段乃至理念。如立体实时感知技术使得多维度土地信息快速获取和动态更新成为现实;海量存储、高速网络技术的发展,奠定了土地大数据存储与传输的基础;大数据、人工智能技术支撑了土地的科学分析与决策能力的提升;虚拟现实与三维地理信息系统技术的融合,实现了对土地空间的模拟与仿真,支撑了可视化土地管理的实现。总之,在新一代信息化浪潮的驱动下,随着海量存储、高速网络、大数据、人工智能等技术的发展成熟,土地资源的管控势必进入一种新的技术框架中而前行,未来土地资源管控的数字化、精细化、智能化发展将成为必然趋势。

表 1 土地认知的转变

Table 1 The transformation of land cognition

	传统土地认知	新时期土地认知
价值	以经济价值为主	社会、经济、生态、文化等多重价值
属性内涵	资源	资源、资产、资本
	土地平面资源	土地空间资源
	生产要素	复合系统、生命有机体
理论方法	经济价值评估理论方法	广义土地价值论
	耕地保护、农业用途转为建设用途的管制	土地资源资产资本的运营管理
	以宗地为对象的土地平面资源管理	以三维空间为对象的土地空间资源管理
	土地单一要素管理的理论方法	土地系统的理论方法

国际上关于土地资源管控的信息化或数字化,大致体现出两种方式.一种是在国家、区域、生态气候区等宏观尺度,将土地资源信息融合在国土资源、空间的体系中,建立相应的信息系统,对国土资源信息、空间信息、环境状况等进行定点、高频、定量的综合监测,内容上包括土地覆被、水文、生物、人类活动等多要素.如美国航空航天局的土地信息系统(NASA Land Information System, NASN LIS)、加拿大的“安大略土地信息”(LIO)计划^[16]、英格兰和威尔士的土地信息系统(Land Information System, LandIS)、以及欧美国家的陆地环境观测系统及生态观测网等.另一种是聚焦土地管理,建立专门服务于土地或地籍管理的信息系统,如澳大利亚昆士兰的地籍管理信息系统^[17]、德国的不动产地籍信息系统(ALKIS)^[18].我国从1999年的数字国土工程、2006年的金土工程,再到“十二五”期间提出的“智慧国土”,经过多年努力,基本建成国土资源“一张图”、国土资源综合监管平台,初步实施数字化调查与评价,在土地资源数字化管控上初见成效.但整体而言,技术水平相比国际前沿仍有发展空间,管控能力面临中国复杂而特殊的土地问题时更显不足.首先是内容仍较单一,管控以建设用地为主,与当前“五位一体”发展要求不相适应,缺乏综合全面的管控,土地治理模式需要转型;其次是技术手段,随着新一代 ICT 技术的快速发展,面临我国丰富多样的土地资源环境、复杂而特殊的土地问题,需要研究和发展适应中国国情的土地资源智能管控的理论、方法、技术与制度,全面提升土地治理能力.

3 土地资源智能管控的初步思路

一般情况下,信息通信技术的应用会形成一个闭合的数字环链,即感知、传输、数据融合、数据管理、分析建模、决策行动,构成6个阶段的闭合环链.土地资源智能管控亦遵循这个规律.在转变土地认知的基础上,基于重构的土地范式,面向赋予新内涵的土地资源,形成符合中国国情、实现土地资源智慧管理与有效调控的智能管控基础理论,在“感知、传输、融合、分析、决策”5个层面探索构建土地资源智能管控技术体系,以系统、平台、硬件、技术等为支撑,从而实现土地资源的精确感知、全网共享、多维融合、精明利用、精准调控(图1).

土地资源感知是土地资源智能管控的先行基础,智能管控目标下的土地资源感知应是泛在、全面、立体、动态的,需要及时、迅速、系统、精确地掌握土地系统状态.基于卫星遥感、航空摄影等传统对地观测技术,发展倾斜摄影、机载雷达等新型技术,构建土地资源空、天、地一体化的立体对地观测网络,感知土地覆被、功能用途、位置等地理空间信息,包括三维空间信息.研发专业传感器,尤其是面向土地资源质量及生态参数的感知设备与监测技术,譬如土壤质量的实时探测等.基于互联网、社交网、

图1 土地资源智能管控概念图

Figure 1 Concept figure of intelligent management and control for land resources

政务网等,研究面向社会经济感知的土地空间信息获取技术,收集土地利用的社会经济属性信息,譬如源于政务网的土地审批信息、源于手机信令的人口流动数据等.总之,面向新型土地认知下土地资源内涵与特征,需构建涵盖土地资源自然、生态、社会、文化等多重属性的智能感知体系与平台.

如何实现立体感知数据的在线、高质、高效传输,将是土地资源智能管控的一个重要环节.其关键在于超大规模高速网络体系的构建、共享网络技术的突破、以及基于机器学习与边缘计算的数据在线传输技术,解决好数据传输的容量、协议、实时这三个核心问题.

数据融合的根本任务是集成整合空间或非空间的、不同格式、不同类型、不同来源、不同基准的立体感知数据,并进行有效管理.数据融合涉及格式转换、基准统一等数据的清洗和同化,通过语义关联等将地理空间数据与行业非空间数据进行自动关联、动态融合与在线集成,通过深度学习、数据挖掘等实现多源异构数据的智能融合与识别,同时加强集成融合过程中的并发控制与及时响应.

土地数据感知、传输、汇聚、融合技术的研究,其最终是为支撑土地资源的智慧管理与智能决策.土地认知的转变带来土地新范式的构建,从而带来土地管控模式的改变.基于新一代 ICT 技术的土地资源智能管控,必然是新技术支撑下基于新范式的数字化与智能化应用.在基于土地系统认知实现土地系统结构、过程、功能的模拟仿真的基础上,开展基于大数据的土地多维价值挖掘与评价、基于多源融合数据的国土空间优化与土地空间资源优化配置等基础支撑性技术研究.实践上,在国家及区域层面,

构建国家级分布式国土空间三维可视化土地资源大数据平台,重点开展土地宏观政策仿真与预警调控、多级耦合协同的国土空间规划宏观调控等技术研究。城市层面上,面向土地管理业务需求,研究三维可视化仿真环境支持宏观决策分析和微观监督管理的支撑技术。重点探索基于土地系统认知的智慧规划与调控技术、面向编制过程与主体管理的在线规划编制技术与规划云平台构建、土地管理三维思维下土地空间虚拟仿真与空间权籍管理技术、土地政策仿真与决策模拟技术、土地市场智能监测与动态调控技术、土地利用智能监管与预警技术等,实现规划、政策制定、审批、监管全业务流程管理的智能化。

4 结论与讨论

土地资源是人类生存发展、国家安全维护、社会安定繁荣的最重要的物质基础。我国土地资源总量相对丰富但

人均绝对匮乏,问题十分复杂,从新时代视角与新技术背景下提升土地治理与资源管控的现代化水平,对于中国乃至全人类的发展均意义重大,土地资源智能管控则是实现该目标的必要路径选择。新时期下,土地认知由以经济为核心拓展为多维度、立体化、综合性的认识,大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术飞速发展,土地资源智能管控要实现治理模式和治理能力的全面转型和升级,面临着认知转变和技术创新双重挑战。本文初步思考了土地认知转变后土地资源智能管控所面临的土地资源内涵、土地价值、土地组织管理等方面的变化,提出需重构土地范式,在基础理论层面需构建符合新范式与中国国情的土地资源智能管控理论;在技术方面,提出基于“感知、传输、融合、分析、决策”五要素闭合链路的土地资源智能管控技术体系,并探讨了相关技术内容,为土地资源智能管控相关研究抛砖引玉,以此推动我国土地资源智能管控科技的发展,实现土地新范式下土地资源管控的智能化与精准化。

推荐阅读文献

- Huang P J. Three-level recognition and comprehension of traditional Chinese land property rights (in Chinese). J Nanjing Agric Univ (Soc Sci Ed), 2014, 14: 80–88, 105 [黄鹏进. 中国传统农村土地产权性质的三重认知及其贯通理解. 南京农业大学学报(社会科学版), 2014, 14: 80–88, 105]
- William P. Xue D Y, transed. A Treatise of Taxes and Contribution (in Chinese). Wuhan: Wuhan University Press, 2011 [William P. 薛东阳, 译. 赋税论(全译本). 武汉: 武汉大学出版社, 2011]
- Jean-Baptiste S. Chen F S, Chen Z H, transed. A Treatise on Political Economy. Beijing: The Commercial Press, 1963 [Jean-Baptiste S. 陈福生, 陈振骅, 译. 政治经济学概论. 北京: 商务印书馆, 1963]
- Alfred M. Chen L B, Zhu Z T, transed. Principles of Economics. Beijing: The Commercial Press, 1964 [Alfred M. 陈良璧, 朱志泰, 译. 经济学原理. 北京: 商务印书馆, 1964]
- Xu B, Li Y F. The main schools of theory on essential factors of production and their new developments (in Chinese). J Beijing Jiaotong Univ (Soc Sci Ed), 2006, (3): 20–24 [徐斌, 李燕芳. 生产要素理论的主要学派与最新发展. 北京交通大学学报(社会科学版), 2006, (3): 20–24]
- Xu S B. Theory of six forces on factors of production (in Chinese). J Beijing Jiaotong Univ (Soc Sci Ed), 2006, (3): 15–19 [徐寿波. 生产要素六元理论. 北京交通大学学报(社会科学版), 2006, (3): 15–19]
- Wu C F, Tan R, Jin X M. An analysis on the nature of Chinese land property rights and its trajectory of reform (in Chinese). J Zhejiang Univ (Human Soc Sci), 2010, 40: 25–32 [吴次芳, 谭荣, 靳相木. 中国土地产权制度的性质和改革路径分析. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2010, 40: 25–32]
- Zhao Y J. Land finance in China: History, logic and choice (in Chinese). Urban Devel Stud, 2014, 21: 1–13 [赵燕菁. 土地财政: 历史、逻辑与选择. 城市发展研究, 2014, 21: 1–13]
- Pei H. Marxian theory of absolute rent and its development in contemporary era (in Chinese). Economist, 2015, (7): 13–20 [裴宏. 马克思的绝对地租理论及其在当代的发展形式. 经济学家, 2015, (7): 13–20]
- Dong L M, Li X M, Feng C C, et al. A study on regional difference of China's paid urban landuse system and grading (in Chinese). Acta Geogr Sin, 1993, (1): 1–10 [董黎明, 李向明, 冯长春, 等. 中国城市土地有偿使用的地域差异及分等研究. 地理学报, 1993, (1): 1–10]
- Liu S K, Qu F T. On the developing land economics and its discipline construction (in Chinese). China Land Sci, 2003, 17: 7–13 [刘书楷, 曲福田. 论发展中的土地经济学及其学科建设. 中国土地科学, 2003, 17: 7–13]
- Liu Y S. Integrated land research and land resources engineering (in Chinese). Resour Sci, 2015, 37: 1–8 [刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程. 资源科学, 2015, 37: 1–8]
- Guo R Z, Luo P, Luo T W. Three-dimensional thinking for land management and land space resources recognition (in Chinese). Geogr Res, 2018, 37: 649–658 [郭仁忠, 罗平, 罗婷文. 土地管理三维思维与土地空间资源认知. 地理研究, 2018, 37: 649–658]

- 14 Yan J M, Wang C. Pattern analysis and policy choice on reform and innovation of land administration system based on urban-rural integration development: A case study of integrated reform pilot area for urban-rural integration development in Chengdu (in Chinese). *Chin Soft Sci*, 2011, (7): 1–8 [严金明, 王晨. 基于城乡统筹发展的土地管理制度改革创新模式评析与政策选择——以成都统筹城乡综合配套改革试验区为例. *中国软科学*, 2011, (7): 1–8]
- 15 Ying S, Guo R Z, Li L. *Three-dimensional Cadastre* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2014 [应申, 郭仁忠, 李霖. *三维地籍*. 北京: 科学出版社, 2014]
- 16 Cha Z X, Jiang W B, Wu Z H, et al. The enlightenment from land resource information system construction in Canada (in Chinese). *Land Res Inf*, 2003, (4): 1–7 [查宗祥, 蒋文彪, 吴智慧, 等. 加拿大国土资源信息化建设及其启示. *国土资源情报*, 2003, (4): 1–7]
- 17 Tao X K, Zhou J J. Development tendency of 3S technology application and integration and its enlightenment in Australia (in Chinese). *Land Res Inf*, 2004, (2): 39, 46–48 [陶信宽, 周俊杰. 澳大利亚“3S”技术应用和集成的发展趋势及对我们的启示. *国土资源信息化*, 2004, (2): 39, 46–48]
- 18 Cai X L, Yin P C. Study on the current state of IT development of land in German (in Chinese). *Land Res Inf*, 2012, (4): 107–111 [蔡先变, 尹鹏程. 德国土地信息化发展现状研究. *国土资源信息化*, 2012, (4): 107–111]

Summary for “土地资源智能管控”

Intelligent management and control for land resources

Renzhong Guo^{1,2*} & Tingwen Luo^{2,3}

¹ Research Institute for Smart Cities, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

² Key Laboratory of Urban Land Resources Monitoring and Simulation, Ministry of Natural Resources of China, Shenzhen 518034, China;

³ Shenzhen Research Center of Digital City Engineering, Shenzhen 518034, China

* Corresponding author, E-mail: guorz2013@qq.com

In the past, land was always considered as an important economic factor of production regardless of how distribution theory developed and production factors changed. Researches on land were mainly focusing on economic factors, and land management system was mostly economy oriented. That is, in traditional land cognition and management, the economic value was generally prioritized as the core of land while other values were neglected to a certain extent. This traditional land cognition does not adapt to the evolution of production and life pattern, and the national strategy of “five-sphere integrated plan” in China. Therefore, it is necessary to promote our land cognition and establish a new land paradigm.

Currently, at least five land attributes, i.e., economy, politics, culture, society and ecology, have been differentiated, with certain importance attached to each of them. Then, the connotation of land containing both intension and extension is expanded. Firstly, land value has expanded from merely economic aspect to coupling social, cultural and ecological aspects. Secondly, the cognition of land resources in vertical space, including underground space and aboveground space, should be carried out. Thirdly, more attention needs to be paid to the systematical understanding for land resources, including comprehensiveness and spatio-temporal continuity. All in all, land cognition was expected to take into consideration of multi-attributes, vertical dimension and comprehensiveness.

With the evolution of land cognition, the goal and content of land management has transformed, which demands strong support from more advanced theory and modernized technology. Indeed, such methodologies and tools for land management have been advanced with the development of information and communication technology (ICT). On this background, intelligent management and control for land resources have been made possible, corresponding theory should be deepened and methodologies advanced for achieving smart management and effective regulation.

According to the basic sketch-up of ICT application, we tried to establish a technological framework for intelligent land management and control based on the new land paradigm, which provides support to achieve smart management and effective regulation. It consists of five segments in the chain, including land sensing, data transmission, data fusing, data analysis and decision making. Land sensing, data transmission and fusion technologies are primary segments. The key point is how to obtain land information in real-time with high speed, quantity and accuracy. To achieve these goals, stereoscopic observation platform and transmission network at super large-scale should be established. Besides, sensor, edge computing, smart data integration and fusing technologies are expected to be explored. Afterwards, how to analyze land big-data and support decision making for intelligent land management become the key points. More attention should be paid to land evaluation in new cognition paradigm, land space simulation, smart land planning, intelligent land-use monitoring and early warning.

The authors believe that intelligent management and control of land resources is the transformation of land governance model and the enhancement of land governance capability, which is significant for land governance modernization. On the way, we are facing the double challenges of cognition transformation and technology innovation, to which great attention should be paid and on which great efforts should be spent.

intelligent land management and control, land resources, land cognition, new land paradigm, information and communication technology (ICT)

doi: 10.1360/N972018-01215