

城市大脑工程开放复杂巨系统特征与发展分析

文 / 唐怀坤 陈翔

摘要：智慧城市的建设是跨领域、多学科交叉的复杂综合系统工程，作为其建设载体的城市大脑呈现出开放复杂巨系统的特征：系统性、复杂性、开放性、不透明性、自组织性、动态性等。未来城市大脑的发展需要遵循这些特征：面向系统性特征建设三大子系统；面向复杂性特征开展建设仿真；面向开放性特征引导产业形成集群；面向不透明性特征通过数字孪生实现数字空间与非数字空间的同步；面向自组织性特征强化城市分布式云脑；面向动态性特征围绕数字经济建设城市大脑。本文基于开放复杂巨系统理论结合行业发展态势，提出重构城市大脑理论体系和实践新趋势，为下一步在城市大脑理论与建设层面形成共识提供参考。

一、城市大脑研究与建设现状分析

在城市大脑产业实践百花齐放的发展局面之下，城市大脑的理论研究应当如何从实践中总结升华，并且进一步指导实践显得尤为重要。结合文献计量学分析工具 Citespace 对“城市大脑”相关文献进行关键词分析显示（关键词是文献主题、核心内容的凝练），关键词的总体数量特征可以在一定程度上反映该学科领域的主

题分布^[1]，可以客观反映我国“城市大脑”领域的发展态势与研究热点，为理论服务实践提供重大帮助。图 1 展示了以篇名“城市大脑”进行期刊论文检索，期间为 2012-2022 年，总文章篇数为 365 篇，利用 Citespace 软件绘制的“城市大脑”领域研究热点知识图谱。由知识图谱我们可以直观看出，城市大脑领域的研究百花齐放，研究视角多种多样，“城市治理”“数据资源”“人工智能”“智慧城市”“智慧城市建设”“中

枢系统”等关键词最为突出，反映了城市大脑领域的研究热点。

通过梳理以上领域文献资料发现，从理论层面来说，目前对城市大脑还没有形成统一、有效的基础理论能够完全指导城市大脑建设的各领域，不能从基础理论中找到依据就无法发展理论和指导实践；从建设层面来说，各城市在建设城市大脑的目标和内容差异较大，有些城市大脑建设是将传统的政务信息化、交通信息化项目纳入城市大脑，呈现了“新瓶



图1 中国城市大脑领域研究热点的可视化图谱

装旧酒”，并重建设轻运维，重展示轻实用的特征。本文从理论层面提出基于开放复杂巨系统理论重构城市大脑理论体系和实践新趋势，为下一步在城市大脑理论与建设层面形成共识提供参考。

二、城市大脑呈现的开放复杂巨系统特征

开放的复杂巨系统这一概念的形成大致经历了系统—巨系统—复杂巨系统—开放的复杂巨系统四个阶段^[2]，以系统

论观点为基础的复杂性科学兴起于20世纪80年代的复杂性科学，是系统科学发展的新阶段，也是当代科学发展的前沿领域之一。钱学森提出城市是一个开放的复杂巨系统^[3]，而作为智慧城市载体的城市大脑在建设的过程中呈现出了开放复杂系统的特征：系统性、复杂性、开放性、不透明性等。城市大脑是社会发展进步的文明成果，是人类社会对城市发展规律自我探索、自我认识的过程，具有自组织特征；其发展水平代表城市的发展阶段，

因此还具有动态性特征。

(一) 系统性

城市大脑系统性体现在将整个城市的基础设施进行物联感知、城市运行中各个委办局的数据进行整合汇聚，是一个有机的整体，并能通过数据的协同、共享、分析，实时地展现出城市的运行状态，提供决策依据，甚至进行简单的自主决策，这就需要系统论的支持，但关键是需要找到支撑系统的核心子系统。城市大脑复杂巨系统实际上是由城市的空间系统、数字系统、社会系统三者统一形成，确定了这三大子系统才能对关键要素进行分解和组合。

(二) 复杂性

城市交通与城市经济的关系、城市规划与城市人口的关系、城市各行业的大数据与应用端的关系、各种职能部门因素利益的关联关系复杂，这其中的因变量与自变量、要素之间的敏感度、量化模型非常复杂，很多城市大脑的建设者们仍然在积极探索，因此需要有复杂系统理论作为指导，减少摸索成本。

（三）开放性

在城市这个层面，每个城市同时会受外部气候、自然环境的影响，受国际政治与经济、国家政策与法律、省级政策与法律、人口流动、文化交流、互联网数据流动的影响，这种开放性要求城市大脑具有一定的交互性，能够与其他地区交换数据或者集聚数据。系统的开放性也会带来更大的复杂性，因此需要城市大脑具有“鲁棒性(Robust)”以应对外部的影响。

（四）不透明性

智慧城市 1.0 时，我们认为城市必须要有物联感知平台，采集大量的数据进行汇总反馈；当数据逐渐增多，智慧城市 2.0 时，城市要对数据进行治理。当前应基于大数据让城市的管理更加智能，至于如何实现高度的智能，每个城市都在探索，或者借鉴其他城市的成熟做法，比如一网统管、大数据平台、数据驾驶舱、数字孪生城市等，尤其是城市系统可以分为数字系统、空间系统、社会系统三大系统，空间系统相对透明，但是数字系统呈现半透明性，而社会系统是不透明的，这就需要平衡三者之间

的信息透明度差距，通过数据要素全生命周期管理解决社会系统和数字系统的透明度问题。

（五）自组织性

自组织性是指系统具有自行组织、自行演进、自行发展的特点，系统从无序状态向有序状态、从低级状态向高级状态发展。系统的自组织性由耗散结构理论、协同学、超循环理论、分形理论、突变论和混沌理论组成，这种特征对于社会系统具有明显的适用性。城市系统是由社会分工组成，不同的组织部分存在自组织特征，各个委办局在智慧城市的发展进程中也在自行组织，实现从无序到有序的过程，因此将城市大脑作为宏观环境来对待，那么各个委办局可以称之为“城市云脑”，众多的小型云脑数据经过计算后，根据城市协同管理的需求，将部分数据汇聚到城市大脑，进而形成城市级的自组织性。这种分布式的云脑系统也是城市数字空间系统不可缺少的组成部分。

（六）动态性

系统并不是一成不变的，总体趋势要么熵增要么熵减，

而具体时间段内则存在两者交叉往复波动的特点，因此，动态性要求我们能够从外部看内部，看清系统的总体变化。城市的发展在农业经济、工业经济、数字经济、智能经济时代依次分别呈现出不同的特征；区域人口的年龄结构、受教育程度、人的思想状态等都在发生着渐变式的变化，这种动态性特征是城市大脑的复杂性，其顶层设计要具有可扩展性。城市发展的阶段特征在城市的产业之间、各区县之间可以实现长短板对接、优势互补，城市的扩张与发展也体现为城乡之间的边界动态性，因此，城市大脑的发展也体现在空间区域、产业类型、城乡融合等方面。

三、城市大脑未来发展分析

由于城市大脑具有复杂系统特征，要不断完善城市大脑理论，更好地指导工程实践，就需要面向城市大脑的系统性、复杂性、动态性、开放性、自组织性、不透明性等特征，提出相应的解决方案。在系统性方面，需要进一步划分子系统，实现子系统的结构化、系统化；

在复杂性方面，可以通过构建数字孪生仿真系统解决；在动态性方面，围绕数字经济建设城市大脑，提升数字化赋能传统经济的水平；面向开放性，将智慧城市作为一个产业运营，形成吸引外部技术、投资、人才的产业集群；面向自组织性，要做好各委办局的分布式云脑；面对不透明性，需要通过数字孪生、元宇宙技术，并加强知识协同来改善。

（一）面向系统性特征：围绕城市大脑建设三大子系统

智慧城市本体探索与实践之间存在较大鸿沟^[4]，对智慧城市的概念存在多种认知，思想观念决定了行动路线，对智慧城市内涵的认知偏差、概念的缺乏统一性，带来建设模式的随意性，也必然引发投资的盲目性，包括偏向于重硬件轻软件、重建设轻运维、重展示轻实用。因此在城市大脑建设方面，要将认知偏差和建设的随意性降至最低。解决这个问题，首先就是要聚焦城市大脑本体的理解，“智慧城市”中的“智慧”是一个形容词，形容词无法本体化、概念化，智

慧化的程度也是很难界定的，而“大脑”的智慧化则可以用各种量化指数衡量。对于一个城市来说，可以分为三大系统：空间系统、社会系统、数字系统，这三大系统围绕城市大脑相互作用，形成“一脑三系统”的智慧城市本体。

空间子系统的发展过程就是城市从发展定位、规划、设计、开发、建设、招商、基础设施等方面不断完善的过程，涉及到城市的三层空间：地下空间、地上空间、地面空间；城市的社会系统是面向市民、企事业单位、城市管理者，满足其生

产生活的诉求；城市数字系统是面向信息化、数字化形成对空间系统的映射与管理，是对社会系统的数字化发展。三个子系统均围绕城市大脑形成集中统一。

（二）面向复杂性特征：开展城市管理的数字化系统仿真

城市大脑是不成熟的产业，没有标准化的样例，因此带有研发特点。当前城市大脑建设的一个明显瓶颈是缺少仿真系统。当前大部分项目是直接从事规划设计到工程实施，这必然带来很多试错成本，带来人力物力财力的巨大浪费，甚

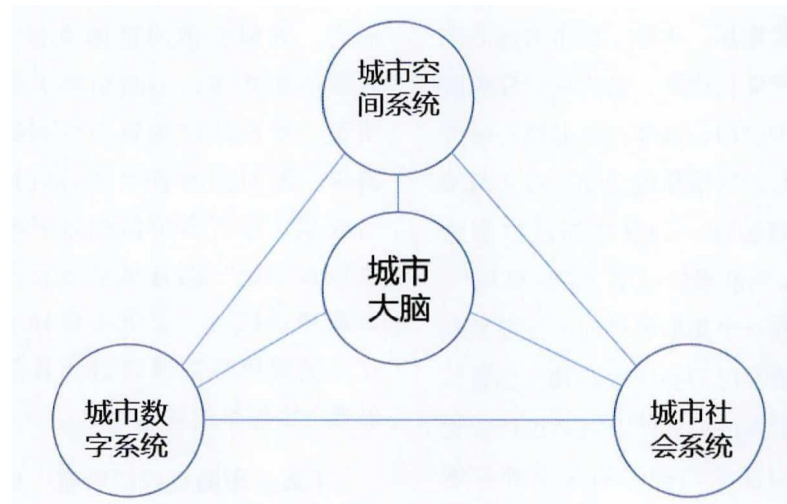


图2 智慧城市“一脑三系统”模型图

至带来各种形象工程的问题。因此,通过数字孪生结合元宇宙方式进行仿真,也是城市大脑研究的过程,系统仿真最核心的内容是解决社会系统的系统需求问题,通过城市管理者、企业经营者、市民等各种角色广泛参与系统模拟仿真以缩小试错成本,减少系统错误,提高系统上线后的“鲁棒性”。

(三) 面向开放性特征:围绕城市大脑形成开放产业化集群

城市大脑的建设不应该只是一个复杂项目,而是一个地方产业,一个新增长点,一个创新的高科技产业集群,这样才能带动城市外部资源向城市内部集聚,实现人才集聚、产业升级、税收增加。未来,城市大脑必然走产业化道路,各大城市应吸收咨询公司、软件开发公司、硬件公司、系统集成公司、行业解决方案公司一起在本市成立联合体,常驻当地城市“招兵买马”,形成一个集聚的产业。城市大脑是数字经济的代表产物,也是城市发展的必然产业。通过产业化可以使参与建设者带来外部的优秀经验,形成产城融合发展新模式。

(四) 面向不透明性特征:基于数字孪生建设城市大脑

数字孪生是通过BIM、CIM将整个城市的管理分为四层:自然环境层、规划层、建设层、行为层,前三层可以通过BIM和CIM来建设,而行为层由于其多变化、计算量大的特点,需要借助元宇宙虚拟化技术来映射物理环境,才能最终实现前三层的透明化。

城市大脑是一项技术密集型的工作,具有社会系统特征,而社会系统具有非透明性,源于不同的认知与研究成果,城市大脑的研究成果要更有包容性,能够包容各方观点。城市可以成立城市大脑专家委员会,形成共研、共建、共享的科研形态,尊重专家的群体决策、依靠数据决策,而避免拍脑袋决策。根据开放的复杂巨系统需求,随时整合各大科研机构成果,通过有价值的数字孪生仿真实践,结合试点示范,萃取建设经验,促进工程标准化,要避免当前通过理念直接形成各级标准的误区。

(五) 面向自组织特征:建设委办局城市分布式云脑

在国内,杭州市首先提出

并建设了城市大脑,并在市内交通领域率先使用,这得益于城市交通管理数年来的数字化部署,包括交通指挥、车辆管理、视频监控等方面数字化基础设施和管理的完善。而其他委办局则不一定有这么完善的数字化基础设施,这体现了各个委办局政府职能部门数字化进程在自组织过程中的非同步特征,此情况与所在行业监管的数字化建设需求紧迫性、投资力度有很大关系。交通领域是城市大脑最先突破的领域,但是严格来说,如果仅仅是面向交通管理,是城市云脑而不是城市大脑,各个委办局的云脑一起协同才组成了整个城市的城市大脑。因此,未来城市大脑的发展一方面要做好总体规划、顶层设计,另一方面还要夯实众多城市云脑的基础,这样才能充分遵循复杂巨系统的自组织规律。

(六) 面向动态性特征:围绕数字经济建设城市大脑

采集经济、渔猎经济、农业经济、工业经济、数字经济、智能经济、星际经济是社会演进的主要轨迹^[5],因此我们城市大脑的建设本质上是站在前

三者经济形态的基础上,面向数字经济的基础设施,是数字经济、数字要素作为新生产要素发挥经济价值的经济形态,城市的生产方式和生活方式如果要更上一层楼,就需要摒弃工业经济的传统做法,通过发展数字经济,各行业推动数字化进程与实体经济深度融合,创造更有价值的数字化,实现可持续的数字化,而不是为了数字化建设各种形象工程。

四、结束语

城市大脑的建设是一项系统工程,也是我国自主创新领域的一大亮点,当前可通过开放复杂巨系统理论完善城市大脑的基础理论,在实践领域注重遵循开放复杂巨系统的规律,实现理论和实践螺旋发展的良性循环。本文在这个方向提出了六大发展思路,期待与业内专家一起开展更深入的研究。【4】

参考文献:

[1] 王娟,陈翔.基于文献计量分析的我国数字经济研究现状[J].技术经济,2020,39(01):19-24.

[2] 卢明森.“开放的复杂巨

系统”概念的形成[J].中国工程科学,2004(05):17-23.

[3] 段汉明.钱学森复杂巨系统理论与城市系统的复杂性[C].钱学森研究(第2辑),2016:64-74.

[4] 安小米,魏玮,闵京华.ISO、IEC和ITU-T智慧城市定义分析(英文)[J].中国科技术语,2021,23(04):65-79.

[5] 唐怀坤,于萍萍,郭江帆,周婷.技术经济演进模式:迈向智能经济之路[M].北京:人民邮电出版社,2022:1-2.

(作者单位:唐怀坤,中通服咨询设计研究院有限公司;陈翔,中兴通讯股份有限公司)
审稿专家/联络员:刘海林

责任编辑 赵香捧

