未来城市体系: 概念、机理与创造

武廷海^{1*}, 宫鹏², 李嫣¹

1. 清华大学建筑学院, 北京 100084;

2. 香港大学地理系, 地球科学系, 香港 999077

* 联系人, E-mail: frank@tsinghua.edu.cn

人类社会正在全球尺度上进行“星球城市化”^[1]. 1950年世界人口仅有30%居住在城市地区, 2018年世界城市化率已达55%, 预计到2050年将达68%^[2]. 人类大规模城市化已经催生或激化了气候变化、资源匮乏、社会对立等紧迫问题, 对人与城市赖以生存的自然环境带来巨大冲击^[3]. 城市问题影响广泛而深远, 联合国《可持续发展目标报告2020》中, “可持续的城市与社区”“可支付的清洁能源”“健康与幸福”“工业、创新与基础设施”等目标都与城市直接相关^[4].

值得注意的是, 第二次世界大战以来人类大规模城市化进程与信息革命相重叠, 信息革命驱动的人类社会与城市发展已经引起了广泛的思考^[5]. 近10年来, 有关“未来城市”(Future Cities)的文献数量亦不断增加. 这些所谓的未来城市实际上是指未来的城市, 主要是畅想未来在城市中的生活或技术愿景, 属于发散式的描绘.

从“历史-现在-未来”宏观尺度提出的未来城市概念, 不同于农业社会作为人类聚居容器的城市, 也不同于工业社会作为生产中心的城市. 未来城市是信息革命背景下对未来的城市进行理性思考, 代表着人类对幸福生活的向往, 以及作为解决人类发展问题(包括城市问题)的希望. 2019年4月, 清华大学与丰田汽车公司联合成立研究院, 针对大气污染、能源枯竭、交通拥堵、老龄化等城市问题, 开展未来城市移动出行社会示范跨学科专项研究(Creating Future Cities and Future Society Program), 推进美好人居、智慧交通、清洁能源、绿色无废、智慧健康服务等关键领域的技术交叉、关联、综合, 致力于创造面向未来的城市美好生活(<https://www.tsinghua.edu.cn/xswyh/info/1020/1037.htm>).

信息革命带来的技术创新突飞猛进, 单个城市的复杂性也与日俱增, 越来越不能简约为一个可以还原的系统; 并且, 城市与周边地区之间相互作用增强, 形成城市地区(city region), 地理邻近城市之间相互作用增强又形成协同发展的城市集合(conurbation, urban cluster). 从地理上看, 未来城市实际上也是多种尺度的区域城市(regional city), 未来城市地区是星球城市化的主要形态.

武廷海 清华大学建筑学院教授、城市规划系主任, 清华大学-丰田联合研究院跨学科专项总体专家组组长, 中国城市百人论坛成员兼副秘书长, 中国城市规划学会学术工作委员会副主任委员、城市规划与历史理论学术委员会副主任委员. 主要研究方向为规划历史与理论、未来城市、人居科学.

1 未来城市的体系特征

1.1 从城市体系到城市作为一个体系

在城市地理视野中, 一般系统论是研究城市聚落及其空间结构形态的理论基础. 1933年, Christaller^[6]就将一定区域内的城市作为一个群体来研究, 建立了中心地理论, 体现出早期的系统思维. 1964年, Berry^[7]把系统分析与一般系统论应用于中心地体系研究, 认为城市系统群(systems of cities)包括一系列以城市为中心的区域(城镇、城市及其腹地), 其内部不同等级的城市之间存在着多方面的竞争与协作, 对外则是一个整体. 这种城市系统群通常被称为城市体系(urban system), 它以一个区域内的城市群体为研究对象, 而不是把一座城市当作一个区域系统来研究^[8]. 20世纪80年代以来, 中国实行“市管县”行政体制. 宋家泰^[9]提出“城市-区域”理论, 提出城镇(市)体系规划的理论与方法, 认为规划的基本内容是作为节点的城镇的研究, 以及节点之间相互关系的研究, 并通过强化体系内部的控制和调节作用来提高体系的组织程度^[10]. 值得注意的是, urban system也可以直译为城市系统, 但是在中文语境中, 城市系统通常指将城市视为一个系统, 或指城市中的某个系统, 含义比较宽泛^[11].

在城市与社会科学领域对城市、系统、信息技术等的关注由来已久。McLoughlin^[12]将规划过程看作对系统的持续控制。Castells^[13]提出基于信息与通信技术(information and communications technology, ICT)进步的信息化城市(informational city)的概念,预计信息对空间和时间将产生重要影响。Hall^[14]指出,未来城市的驱动力是信息技术,信息技术带来的产业、组织、社会运行等方面的创新将驱动城市的变革。Batty^[15]认为城市是具有层次结构的开放复杂系统,并建立基于流和网络的二元相互作用的新城市科学。Lom与Pribyl^[16]认为城市是一个信息物理系统(Cyber-Physical Systems),其硬件和软件由数据相互连接,能源和信息是城市各系统之间的纽带。

20世纪90年代以来,信息技术的发展使得系统之间的交互作用越来越普遍,体系工程(System of Systems Engineering)应运而生。大规模的系统组合在一起完成任务成为普遍现象,Eisner等人^[17,18]正式提出体系工程的概念,认为其重点在于集成(integration)和转移(transition),并且需要多种快速计算机辅助工具的配合。Maier^[19]将体系视为协作系统(collaborative system),认为组成体系的各个系统均具有独立操作和独立管理的能力,构建体系的目的在于促进系统之间的有效交流,且体系中的若干系统总在螺旋增长、不断集结^[20]。逐渐地,体系(system of systems, SoSs)概念被更广泛地应用于军事、信息系统、系统工程、智能决策等研究领域。截至2005年首次国际体系工程会议召开,体系工程成为一个新的学科。然而,不同背景的研究者对体系概念的认识长期以来并未达成一致共识,造成实践与研究的脱节^[21]。2019年,国际标准化组织发布了与体系相关的标准ISO/IEC/IEEE 21839/21840/21841,统一体系的定义和分类等,为后续体系工程的相关方法和工具的发展奠定了基础。

近10余年,基于物联网、云计算等技术的超大规模系统智慧城市(smart city)成为体系研究的一个热点。哈佛大学商学院和IBM发表智慧城市宣言(<https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=36185>),提及城市作为复杂体系的概念;IBM商业价值研究所报告《智慧城市愿景》提出城市作为一个体系,认为智慧城市运用先进的ICT技术,将人、商业、交通、通信、水和能源等城市运行的各个核心系统以一种协同的方式相互连接,形成一个宏大的“系统之系统”^[22,23]。智慧城市实践同时也受到中国政府的重视。2012年,国家住房和城乡建设部出台国家智慧城市试点暂行管理办法及指标体系,开展智慧城市试点工作(http://www.gov.cn/zwgc/2012-12/05/content_2282674.htm)。2021年数字中国的建设已写入国家“十四五”规划,涉及交通、能源、制造、医疗、社区等若干智慧应用场景(http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564.htm)。

时至今日,城市与体系已经成为多学科关注的重要议题。在创新研究领域,Dodgson和Gann^[24]认为城市多系统之间的整合需要创新的信息技术手段支撑。在人工智能领域,Marci-

niak和Owoc^[25]认为建设智慧城市首先要构建相应的知识网格(knowledge grid);Cavalcante等人^[26]提出智慧城市体系面临系统复杂性、系统矛盾、异质与协作、涌现的影响、信息一体化等五方面的挑战。在环境研究领域,世界观察研究小组成员Gardner^[27]认为城市作为一个体系,与生命体一样具有吸收能量、新陈代谢、排废等系统,在能耗剧增的今天亟须对现代城市中的能源系统、物料系统、食物系统和水系统等进行反思,并发掘更可持续的解决问题方案。

总之,体系的概念与城市息息相关。从多个城市形成一个体系,到一个城市被看作一个体系,技术变革正不断推动着城市体系内部的各个系统本身以及系统之间交互的复杂化。目前,相关研究仍多集中在技术框架的构建方面,如何将这种技术集成的体系落实到城市进而发挥未来城市的价值,是一个值得深入探究的技术与实践问题(图1)。

1.2 未来城市即体系

从体系的角度看,未来城市中存在若干各自发展又相互关联的系统,这与作为单一系统的城市有着根本的区别。在传统的城市规划理论中,城市被视作单一的工程系统,规划通过整体管控寻求系统的“最优解”,基于还原分析,城市的建设过程中形成若干“块块”(不同功能区)和“条条”(不同部门),各自承接上位规划的既定目标、完成建设任务,但往往缺乏横向的弹性调度机制,因此存在管控失效的风险。

体系是由一系列实体(things)与一系列关系(relations)组成,体系的属性包括实体性(thinghood)和关系性(systemhood)两方面。其中,关系性对体系属性的影响更大,这是体系与系统的本质差异。如果只考虑各自独立的系统实体而不讨论它们之间的关系,实体就构成了一个系统的集合(set of systems)而不是一个体系^[28]。关系性是未来城市具有体系特性的关键,未来城市体系内部的复杂关系将成为研究的重心。作为系统的城市以实体性决定城市形态,作为体系的未来城市通过关系性促进城市创造,体现整体大于部分之和的整体观。在未来城市中,能源基础、交通方式、健康医疗、社会生产等都是重要的系统,它们既独立运行,又相互交叉协作,相互之间具有错综复杂的关联(图2)。

2 信息革命驱动的未来城市机理

2.1 信息深度渗透未来城市空间

在未来城市中,关系性之所以对城市体系具有决定性的影响,是因为信息通过空前的快速流动和相互作用,影响了组成未来城市的系统,也模糊了系统之间的边界,并且作用于城市生活中的每一个人。信息本来是物质性事物状态的一种表征,它依赖物质载体存在,但并非物质;它能够对能量的流动和转换提供指引,但并非能量。信息既非物质又非能量,所谓信息革命,并不是说信息本身发生了革命,而是信息的

图 1 多学科关注城市与体系议题

Figure 1 Multi-disciplinary attention to cities and system of systems

	作为系统的城市	作为体系的未来城市
城市构成特征	城市系统可以分解为若干子系统, $N=1+1+\cdots+1$ $N\text{个}1$	多系统各自独立又相互关联, 形成复杂体系, $1+1+\cdots+1>N$ $N\text{个}1$
实体与关系	“实体性”决定城市形态, 控制作用于物	“关系性”促进城市创造, 涌现来源于人
生产与服务	生产主导, 强调规模化供给的“量”, 生产要素: 土地、劳动力、资本	服务主导, 满足精细化需求的“质”, 生产要素: 土地、劳动力、资本、技术、数据
人居环境	居住、工作、交通、休闲四大功能分区分离	
能源基础	不可再生能源批量化、集中式产能	
交通方式	大型枢纽转运, 私人交通依赖性强	
健康医疗	分布式布局医院, 关注治疗阶段	

图 2 作为系统与作为体系的未来城市比较

Figure 2 City as a system versus Future Cities as a system of systems

载体发生了变化。事实上, 在城市出现之前, 信息就已经在人与人、人与自然的对话(相互作用)中产生, 并通过文字、艺

术、传说等载体得以储存并流传后世。但在信息革命中, 与电话、传真、报纸等相比, ICT具有了实时获取地理位置、

用户状态等信息并转译为数据的能力,更进一步打破了原有的时空距离,提高了信息作为一种媒介的运行效率。城市是相互作用的集合,可以说,以数据为载体的信息凸显了这种相互作用,这将对城市之构成、形态、发展等产生深刻的影响。

以数据为载体的信息与既有的城市空间相叠加,将带来革命性的变化。城市中每天都会产生海量的数据,无处不在的信息网络让万物互联,人们能够在有限的时空范围内获得无限时空范围内的经验,知识的迭代和更新周期急速缩短,人的智慧将不断激发创新,迸发前所未有的巨大力量。在未来城市中,人类社会的更迭将更加频繁,未来城市发展必将摆脱物理惰性结构的支配,转向凭借具有高度移动性的流和网络来联系^[29],信息带来的正反馈将改变城市的实体布局。未来城市将涌现出城市的信息空间,打破物理空间与社会空间之间的隔阂,并交织重组。未来城市实际上是物理空间、社会空间和信息空间的融合体(图3)。一方面,信息空间庞大的体量将对物理空间、社会空间中的诸系统带来巨大冲击;另一方面,信息空间浸润城市中的万事万物,时时刻刻影响人们最日常的行为,为诸系统之间的互动以及诸系统与每个人的关联带来新的可能。换言之,信息将形塑未来城市,信息空间中的感知、匹配、安排等将是未来城市的关键领域。

2.2 数字化信息化的未来城市诸系统

随着信息深度渗透到城市空间,对城市各个部分的认识就需要从作为组成城市系统的各子系统,转化为作为体系的未来城市中相互关联的诸系统,如能源、交通、人居、医疗、环境等。

在未来城市中,社区是基本的人居单元,就像构成城市生命体的神经元,可以实现感知、传导、反馈、行动。在人居系统中,社区将成为具有相似价值取向和兴趣的个人与社群选择生活的地方,它将打破居住、工作、交通与休闲的界

图3 未来城市信息空间融合物理空间与社会空间
Figure 3 Information space in Future Cities combines the physical and social space

限,不再划分标准化、专业化、集中化的用地,而是形成处处可工作、时时可休闲的混合、弹性空间使用模式。无数个体在日常行为、选择和决策中不断推动更新,从而形成多样化、去极化的新型社区。

在未来城市中,车辆实际上是“车轮上的电脑”,作为城市的一个组件,与其使用者、建筑、交通设施等通过数字操作系统相连。未来城市交通运输系统将由“智能的车”“智慧的路”“强大的网”“共享的云”共同组成,自动驾驶交通工具和共享租赁模式将大幅度提高交通资源利用率^[30],实现个性化出行和大运量出行结合发展,安全、高效地利用有限的交通空间和资源,按需响应,综合优化。

在未来城市中,健康是评价社会服务资源配置的重要标准。医疗系统将在优化静态医院系统布局基础上,增加远程移动端的支撑,主动感知人体健康信息。在清华智慧健康医疗体系(Tsinghua Healthcare Intelligent System, THIS)中,医疗信息终端的整合将带来新的健康服务模式,实现全地域覆盖、全人群服务、全流程医疗跟踪、全生命周期管理,大大提升居民自我健康管理能力、社区健康服务能力和医院疾病救治能力。

在未来城市中,能源是保障城市运行必不可少的基础设施,在碳达峰、碳中和要求下亟须实现生产、消费、储能的结构转型^[31]。未来城市能源供给将由大机组批量化、集中式产能转向能源互联网联动,通过能源生产、传输、存储、使用等全链条协同,全时空平衡供需。当然,能源的“源-网-荷-储”深度互动,不能回避大规模电气化、虚拟电厂和电价市场化可能带来的社会经济问题,需求侧响应技术与机制尚待探究^[32](图4)。

2.3 供需信息精准匹配保障人类幸福生活

信息深度渗透到城市空间,未来城市中的“人”实际上成为“人+信息终端”;当信息的载体本身能够创造经济价值,“人+信息终端”无时无刻的互动将带来无处不在的盈利空间,人的生产生活方式将发生变革。事实上,数据已成为与土地、劳动力、资本、技术并列的新生产要素(http://www.gov.cn/zhengce/2020-04/09/content_5500622.htm),数字平台正逐渐替代传统实体产业,成为市场竞争的主体,更加高频地跨界和创新。“数字经济”“共享经济”等应运而生的新型经济,在一定程度上消解了生产与消费之间的距离^[33]。可以说,数据消费者也是数据生产者:每个人的日常行为生产的数据都可能引发有针对性的服务与产业模式创新,而每种服务生产的数据也同时在改变每个人的日常行为。当全世界范围的“人+信息终端”持续复杂交互,数据收益市场将进一步扩张^[34]。从个体层面看,更多个人权益可能被让渡,但人的需求也能够被更精准地感知。从整体层面看,对需求不断的挖掘在驱动供给创新的同时又将引发新的需求,其背后的商业逻辑,正是得益于以数据为载体的信息的大量流动,从信息空间这一新的维度更

图4 构成未来城市诸系统示意图

Figure 4 Schematic diagram of typical systems in Future Cities

深层次地嵌入城市,影响着供需关系的平衡。

信息是诸系统之间的媒介,供需信息的不断互动将带来新技术的涌现。或许在未来社区中,自动驾驶售货车、摆渡车将行驶在慢行绿道上;交通设施接入能源互联网,或可开发“零碳”出行工具;医疗终端融入交通设施,便利的自动驾驶社区医疗车或是一种新形式。类似地,更多的系统也将持续互动与互操作,不断协同演化、创新供给,推动城市这个完整生命体的发展。例如,丰田公司“WOVEN CITY”项目便是应对城市社会 and 环境保护需求,以太阳能、地热能和氢能研发为能源基础,以数字化交通为主线,结合整体城市设计,力图基于“出行即服务”(MaaS)理念建立一个幸福的碳中和社会(<https://v.qq.com/x/page/e3159sucuag.html?sf=uri>)。

城市既是问题,也是解决方案。在未来城市中,生产主导将转向服务主导^[35],流动的信息使得城市中实实在在的人不再“隐身”,以往对物质生产“数量”(即生产规模扩张)的关注,将转向关注人的生活“质量”(即生活品质提升)。城市发展将通过精准地匹配供需,在降低资源消耗的同时响应人的需求,塑造宜居、绿色、便捷、健康的幸福生活新图景。

在信息的作用下,未来城市体系中的诸系统将与人生活中每个人联动,这将是未来城市运转的关键:高度数字化与信息化使多个系统有机融合、彼此协作,直指人们的需求,保障人类的幸福生活(图5)。由于未来城市发展充满不确定性,未来城市的组成系统及其相互关联也处于变化之中。例如,对大流行病的防控便是一种特殊的突发需求,需要健康、交通、人居、物流、能源等多个系统的协作,才能保障城市整体正常运转、局部地区安全隔离。同时,大数据、物联网等信息技术与“城市-社区”双尺度治理相结合,有助于及时、有效地采集和发布信息,通过数字平台联动多系统有针对性地匹配供给服务,精准响应应急需求。

3 未来城市研究与创造

未来城市具有巨大的复杂性和不确定性,创造未来城市既需要依靠自下而上的共同缔造和自组织,也需要自上而下的战略引领与有效控制。相应地,未来城市的研究也将不断实现从概念共识到体系形态的综合集成与迭代。

图5 供需信息精准匹配保障人类幸福生活

Figure 5 Precise matching of supply and demand guarantees the well-being of humankind

3.1 未来城市的科技创新与社会革新

未来不可预测,但是可被创造^[36]。未来城市必须要解决城市当前面临的复杂问题,但城市问题只能被阶段性地解决,并持续迭代。事实上,未来城市体系及其机理背后蕴藏着深刻的社会、经济、政治问题^[37],这些未来的问题难以在当下被预见。并且,当某种信息技术过快发展时,也可能引发新的社会难题,例如全自动驾驶的法律和伦理问题、大规模共享经济产生的负外部性问题等。但可以确定的是,解决这些问题的路径不仅在技术手段的创新之中,更在社会组织和运营方式的革新与探索之路上。

未来城市的创造客观上是科技创新与社会革新共同作用的结果。Gabor^[38]曾预言,工业革命以来,科技创新(invention)与社会革新(innovation)之间存在的错配将影响人类的生存,对工业社会增长与发展的迷信也将使人类面临重大的环境危机。如今,生态问题已成现实,社会革新却仍落后于科技创新,人们寄希望于ICT,企图通过城市计算来整合自然、建成环境、虚拟空间中的各种可能性,为决策与行动提供更多有价值的实证。问题在于,技术既能拓展人的本性,也能奴役

人的本性。人们真正需要思考的是技术应该用来解决什么问题,而不是从技术能够解决什么出发,反而受其禁锢。破碎化地聚焦于城市生活的每个步骤如何“ICT化”,结果只会使人迷失于“技术障目镜”^[39]。选择权在人的手中,未来城市需要回归人本身。

3.2 未来城市共同缔造与自组织

城市即人,未来城市将由市民共同创造。如果忽略了人的需求和创造,即便应用了先进技术,城市建设仍可能出现预测失误。未来城市不是建筑的总和,而是由无数小共同体构成的大共同体,在有效的协同与整合中形成共治。未来城市居民群体应当获得更多的话语权,推进自上而下与自下而上结合的组织方式与社会革新^[40],在对特定范围的人、物、空间不断地更新中,通过社区营建实现美好生活共同缔造^[41]。在信息时代,数字平台有助于这种共同创造的实现,如波士顿市政府网站的一系列“数字信任”行动(https://monum.github.io/playbook/#plays_index_anchor)、圣莫尼卡市的手机应用程序“City Swipe”(<https://www.dtsmcityswipe.com/>)、北京的城市街道评价程序“Mapping Beijing”(mappingbj.citiesandregions.cn/login)等,都有助于居民对城市进行及时反馈,甚至进一步形成共同创造的团队。

美好生活是人类幸福的外在表现,未来城市应在保障人们身心健康^[42]的同时,让人获得心灵的安顿。当未来城市围绕着人本身展开时,人们对城市的创造将回归生活,从而提升幸福感与归属感。如何激发人们创造的活力,形成共同协

作的权力分配机制,提升城市自组织运营的能力,将是未来城市社会的重要议题。

3.3 未来城市的战略引领与研究集成

Hall和Tewdwr-Jones^[43]曾质疑战略性规划未来的合法性及效用,认为它不能达到人们期待的及时反馈。值得进一步指出的是,未来城市体系的复杂性使其自组织过程存在不可避免的随机性,这将让它面临动态调节(dynamic adjustment)失灵的风险^[44],因此客观上需要预先的战略手段来引领发展,使得未来城市的各系统通过自身及相互联系,尽可能规避风险。战略制定是对未来不确定性中的确定性进行界定的过程,在广泛收集信息后模拟可能发生的变化,设计应对措施,并在短期内不断递进和创造^[45]。

未来城市研究需要适应未来城市体系构成的特征。未来城市研究具有强烈的问题导向(解决城市问题)、目标导向(追求幸福生活)和实践性(落地实施)、综合性(跨学科),根据城市战略规划与体系工程实践经验,可以组建未来城市体系设计的“总体组”,充分利用多学科优势及多样化视角,全面采用体系工程的方法与工具,开展研究及其集成工作。可以说,未来城市研究的集成将是解决冲突、形成共识的迭代过程。

未来城市集成包括基本概念共识、形成机理揭示、系统特征提炼、体系形态集成4个步骤(图6)。在第一个时间周期 t 中,不同领域对未来城市不同系统展开专门研究,在科学共同体内部形成关于未来城市概念的初步共识,基于共识探讨未来城市运作的本质逻辑,并将这一哲学层次的研究反馈

图6 未来城市研究的集成

Figure 6 The integration of Future Cities research

至各系统,探究跨学科认识下的系统特征,以消解冲突,推动战略制定,以及若干系统的落地实践。在下一个时间周期 $t+1$ 中,各系统及其关联的实践中将涌现新的议题与观点,上一周期的共识又将深化,引发新的循环,并不断迭代。在此过程中,未来城市体系逐步完善,各个系统在形态上不断集成,形成研究过程与研究结果的统一。

4 结论与展望

本文从“历史-现在-未来”宏观尺度提出未来城市的概念,揭示未来城市是由多系统组成的复杂体系。随着信息作为媒介的运行效率不断提升,体系的“关系性”日益凸显。当信息渗

透到未来城市空间,体系中的各系统、城市中的每个人都将随之改变。以数据为载体的信息模糊了不同系统的边界,广泛关联多系统与每个人,通过供需精准匹配为人类幸福生活提供保障。未来城市的创造不仅需要技术创新,更需社会革新,其研究将是一个不断从概念共识到体系形态的综合集成与迭代过程。

未来城市概念是在人类长期实践活动中产生的,本质上探讨的是城市如何满足人们对美好生活的需求。信息革命背景下,亟须突破“还原论”思想,运用“体系思维”来认识未来城市,通过不断迭代的实践来规划、建设未来城市,实现人类可持续发展。

致谢 感谢清华大学-丰田联合研究院跨学科专项资助。

推荐阅读文献

- 1 Brenner N. Implosions-Explosions: Towards a Study of Planetary Urbanization. Berlin: Jovis, 2014
- 2 United Nations. World Urbanization Prospects 2018: Highlights (ST/ESA/SER.A/421). New York: United Nations, 2018
- 3 United Nations Development Programme. Human Development Report 2020. New York: United Nations, 2020
- 4 United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2020. New York: United Nations Publications, 2020
- 5 Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. In: World Economic Forum, 2016
- 6 Christaller W. Die Zentralen Orte in Süddeutschland. Jena: Gustav Fischer, 1933
- 7 Berry B J L. Cities as systems within systems of cities. *Pap Reg Sci Assoc*, 1964, 13: 146–163
- 8 Johnston R J, Gregory D, Smith D M. The Dictionary of Human Geography. 3rd ed. Oxford: Basil Blackwell, 1994
- 9 Song J T. Survey on city-region and urban region studies (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1980, 35: 277–287 [宋家泰. 城市-区域与城市区域调查研究——城市发展的区域经济基础调查研究. *地理学报*, 1980, 35: 277–287]
- 10 Song J T, Gu C L. Theory and methodology of Urban System Planning (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 1988, (2): 97–107 [宋家泰, 顾朝林. 城镇体系规划的理论与方法初探. *地理学报*, 1988, (2): 97–107]
- 11 Gu C L, Zhang Y, Zhai W, et al. Progress in urban and regional quantitative research (in Chinese). *Prog Geogr*, 2016, 35: 1433–1446 [顾朝林, 张悦, 翟伟, 等. 城市与区域定量研究进展. *地理科学进展*, 2016, 35: 1433–1446]
- 12 McLoughlin J B. Urban and Regional Planning: A Systems Approach. London: Faber and Faber, 1969. 166–278
- 13 Castells M. The Informational City: Information Technology, Economic Restructuring, and the Urban-Regional Process. Oxford: Blackwell Publishers, 1991. 167–171
- 14 Hall P. Cities in Civilization. New York: Pantheon Books, 1998
- 15 Batty M. The New Science of Cities. Cambridge: The MIT Press, 2013. 65–98
- 16 Lom M, Pribyl O. Smart city model based on systems theory. *Int J Inf Manage*, 2021, 56: 102092
- 17 Eisner H, Marciniak J, Mcmillan R. Computer-aided system of systems (S2) engineering. In: 1991 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics: Decision Aiding for Complex Systems. New York: IEEE, 1991. 531–537
- 18 Eisner H, McMillan R, Marciniak J, et al. RCASSE: Rapid computer-aided system of systems (S2) engineering. *INCOSE Int Symp*, 1993, 3: 267–273
- 19 Maier M W. Architecting principles for systems-of-systems. *INCOSE Int Symp*, 1996, 6: 565–573
- 20 Maier M W, Rechtin E. The Art of Systems Architecting. 2nd ed. London: CRC Press, 2000. 195–203
- 21 Chen P, Unewisse M. SoS thinking: An approach to conceptualising and understanding military systems-of-systems. *Int J Syst Syst Eng*, 2017, 8: 74–101
- 22 Dirks S, Keeling M. A Vision of Smarter Cities: How Cities Can Lead the Way into a Prosperous and Sustainable Future. New York: IBM Global Business Services, 2009
- 23 IBM Institute for Business Value China. Smart Globe (in Chinese). Shanghai: The Eastern Publishing, 2019. 1–16 [IBM商业价值研究院. 智慧地球. 上海: 东方出版社, 2009. 1–16]

- 24 Dodgson M, Gann D. Technological innovation and complex systems in cities. *J Urban Technol*, 2011, 18: 101–113
- 25 Marciniak K, Owoc M. Usability of knowledge grid in smart city concepts. In: Hammoudi S, Maciaszek L, Cordeiro J, et al., eds. Proceedings of the 15th International Conference on Enterprise Information Systems. Setúbal: SciTePress, 2013. 341–346
- 26 Cavalcante E, Cacho N, Lopes F, et al. Thinking smart cities as systems-of-systems: A perspective study. In: The Association for Computing Machinery, ed. SmartCities'16: Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Cities. New York: ACM, 2016, 9: 1–4
- 27 Gardner G. The City: A System of Systems. In: Worldwatch Institute, ed. Can a City Be Sustainable? Washington DC: Island Press, 2016. 27–44
- 28 Fan D P. Systems philosophy and systems thinking for exploring complexity (in Chinese). *Mod Philos*, 2020, (4): 97–102 [范冬萍. 探索复杂性的系统哲学与系统思维. 现代哲学, 2020, (4): 97–102]
- 29 Batty M. *Inventing Future Cities*. Cambridge: The MIT Press, 2018
- 30 Wang J, Wu J, Li Y. The driving safety field based on driver-vehicle-road interactions. *IEEE Trans Intell Transp Syst*, 2015, 16: 2203–2214
- 31 Zhang Y S, Dong D, Xiao Y, et al. Current status and trends in energy production, consumption, and storage under carbon neutrality conditions in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2021, 66: 4466–4476 [张永生, 董舵, 肖逸, 等. 我国能源生产、消费、储能现状及碳中和条件下变化趋势. 科学通报, 2021, 66: 4466–4476]
- 32 Sun H B. *Energy Internet* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2020 [孙宏斌. 能源互联网. 北京: 科学出版社, 2020]
- 33 Oreskes N, Conway E M. The information manipulators. *Sci Am*, 2020, 323: 42–48
- 34 Hu L. Who owns online information: Lessons from Baidu Wenku case (in Chinese). *Peking Univ Law Rev*, 2013, 14: 98–114 [胡凌. 谁拥有互联网信息——从百度文库说起. 北大法律评论, 2013, 14: 98–114]
- 35 Li L F. *New Service Era: New Service, New Infrastructure, and Service Law of Future Society* (in Chinese). Beijing: CITIC Press, 2020 [李乐飞. 新服务时代: 新服务, 新基建, 未来社会的服务法则. 北京: 中信出版社, 2020]
- 36 Gabor D. *Inventing the Future*. New York: Knopf, 1964. 207
- 37 Yang J, Wu T, Gong P. Implementation of China's new urbanization strategy requires new thinking. *Sci Bull*, 2017, 62: 81–82
- 38 Gabor D. *Innovations: Scientific, Technological, and Social*. New York: Oxford University Press, 1970
- 39 Green B. *The Smart Enough City: Putting Technology in Its Place to Reclaim Our Urban Future*. Cambridge: The MIT Press, 2019
- 40 Ratti C, Claudel M. *The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life*. New Haven: Yale University Press, 2016
- 41 Li X, Liu M, Huang Y F. A new model of community participation: A case study of “jointly development” workshop in Zengcuo'an, Xiamen (in Chinese). *City Plann Rev*, 2018, 42: 39–44 [李郇, 刘敏, 黄耀福. 社区参与的新模式——以厦门曾厝垵共同缔造工作坊为例. 城市规划, 2018, 42: 39–44]
- 42 Gong P, Yang J, Xu B, et al. The theory and practice of developing China's healthy city construction (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2018, 63: 979–980 [宫鹏, 杨军, 徐冰, 等. 发展中国的健康城市建设理论与实践. 科学通报, 2018, 63: 979–980]
- 43 Hall P, Tewdwr-Jones M. *Urban and Regional Planning*. 6th ed. Oxon: Routledge, 2020. 331–339
- 44 Hopkins L D. *Urban Development: The Logic of Making Plans*. Washington DC: Island Press, 2001
- 45 Wu T H, Gong P, Zheng Y C, et al. Review on the progress of future city research (in Chinese). *J Urban Reg Plann*, 2020, 12: 5–27 [武廷海, 宫鹏, 郑伊辰, 等. 未来城市研究进展评述. 城市与区域规划研究, 2020, 12: 5–27]

Summary for “未来城市体系：概念、机理与创造”

Future Cities as a system of systems: Its concept, mechanism and creation

Tinghai Wu^{1*}, Peng Gong² & Yan Li¹

¹ School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

² Department of Geography and Department of Earth Sciences, the University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China

* Corresponding author, E-mail: frank@tsinghua.edu.cn

As information technology advances rapidly, cities have become more complex and irreducible. In the Anthropocene, the process of planetary urbanization continues to affect the health of the natural and social environment, and the future of cities has a profound impact on the future of mankind. The concept of Future Cities is based on the scrutiny of the urban evolution process in human history. Future Cities are different from agricultural cities as the containers of human settlement and industrial cities as the center of production. Based on interdisciplinary and rational thinking, research on Future Cities aims to establish a way toward humanity's well-being and sustainable development.

From the perspective of a system of systems, Future Cities cannot be regarded as a single system as is usual. They are a much more complex system involving many systems, and this concept needs to be understood and interpreted through systems thinking. The driving force for the change is the information revolution, which has changed the carrier of information from entity to data. Thus, information as a medium has improved its operational efficiency and strengthened the interaction and interoperation between the systems in Future Cities, which emphasizes “systemhood” than “thinghood”, and triggers the formation of a system of systems.

When data-based information penetrates the urban space, the “information space” emerges, and Future Cities become a combination of physical-information-social space. The “information space” also opens a new dimension for systems and people in Future Cities. As for systems, technological inventions take place in the process of digitization and informatization, including human settlement systems, energy systems, traffic systems, health systems, and environmental systems. With regard to individuals, a human being becomes “human being + information terminals”, which in turn gives birth to new lifestyles and brings social innovation. Furthermore, because of the flow of information, the boundaries of different systems will blur and the gap between the systems and inhabitants will be bridged, and the well-being of humankind can be guaranteed through the precise matching of supply and demand.

The creation of Future Cities requires not only bottom-up strength and self-organization but also top-down guidance and effective regulation. Urban problems need to be solved in stages from the aspects of technology invention and social innovation. When Future Cities revolve around the people themselves, people's creation of the city will return to normal life, enhancing the sense of happiness and belonging. How to stimulate the vitality of people's creativity, form a cooperative power distribution mechanism, and improve the city's ability to self-organize and operate will be important issues for future urban society.

Future Cities research is a combination of theory and practice, which should adapt to the characteristics of a system of systems. Based on the practical experience of urban strategic planning and system engineering, the research can form an “overall strategic group” for the design of the system of systems, to make full use of multidisciplinary advantages and diversified perspectives. The integration of future urban research will be an iterative process of resolving conflicts; this integration requires a long-term cycle of four main steps, including reaching consensus on basic concepts, revealing the formation mechanism, refining the characteristics of different systems, and integrating the system of systems.

In conclusion, the concept of Future Cities explores how the city meets people's needs for a better life. Against the backdrop of the information revolution, it is urgent to discard reductionist thinking, use systems thinking to understand the future city instead, plan and build Future Cities through continuous iterative practice, and realize the sustainable development of mankind.

Future Cities, system of systems, systems thinking, urban planning

doi: [10.1360/TB-2021-0647](https://doi.org/10.1360/TB-2021-0647)