

# 未来城市研究进展评述

武廷海 宫 鹏 郑伊辰 龙 瀛 孙宏斌 王建强 王 鹏 王书肖  
杨 军 陈宇琳 郝 璐 梁思思 王 辉 袁 琳 赵 亮

## Review on the Progress of Future City Research

WU Tinghai<sup>1</sup>, GONG Peng<sup>2</sup>, ZHENG Yichen<sup>1</sup>, LONG Ying<sup>1</sup>, SUN Hongbin<sup>3</sup>, WANG Jianqiang<sup>4</sup>, WANG Peng<sup>5</sup>, WANG Shuxiao<sup>6</sup>, YANG Jun<sup>2</sup>, CHEN Yulin<sup>1</sup>, HAO Lu<sup>2</sup>, LIANG Sisi<sup>1</sup>, WANG Hui<sup>1</sup>, YUAN Lin<sup>1</sup>, ZHAO Liang<sup>1</sup>

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Ministry of Education Key Laboratory for Earth System Modeling, Beijing 100084, China; 3. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. School of Vehicle and Mobility, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 5. Beijing Institute of Big Data Research, Beijing 100871, China; 6. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** The fourth industrial revolution, based on computing, information, and communication, is fundamentally changing the production and life of the humans as well as the whole society, and the evolution of cities presents unprecedented speed, scale, and complexity. Future cities are closely related to the future of the humankind. This paper reviews four main approaches in the future city research and practice: data-based empirical studies, futuristic imagination, engineering technologies, and spatial design. Based on the distinction of ontology, epistemology, and methodology of these approaches, the paper summarizes the core ideas and main

### 作者简介

武廷海、郑伊辰、龙瀛、陈宇琳、梁思思、王辉、袁琳、赵亮，清华大学建筑学院；  
宫鹏、杨军、郝璐，地球系统数值模拟教育部重点实验室；  
孙宏斌，清华大学电机系；  
王建强，清华大学车辆与运载学院；  
王鹏，北京大数据研究院；  
王书肖，清华大学环境学院。

**摘 要** 以计算、信息与通信为基础的第四次工业革命正在从根本上改变生产、生活和整个社会，城市演变呈现出前所未有的速度、规模与复杂性，未来城市关系人类未来。文章回顾了未来城市研究与实践中的四个主要路径：数据实证、未来学想象、工程技术与空间设计，综述其核心思路与主要进展；结合文献数据检索，对当前未来城市实践中与技术进步直接相关的交通、能源、通信、环境、健康、城市公共服务等前沿方向的成果进行归纳与总结；进而实现对未来城市研究与实践的战略预判，明确进一步创造未来城市的核心思路。

**关键词** 未来城市；研究路径；方法论；复杂性；技术革命

## 1 引言

### 1.1 城市关系人类未来

21 世纪注定是城市的世纪。1950 年，世界人口仅有 30% 居住在城市地区；2018 年，超过半数的世界人口（55%）居住在城市地区；而到 2050 年，这一比例预计将达到 68%（UN, 2018）。人类社会正在经历“都市革命”（urban revolution）（Lefebvre, 2003），在全球尺度上进行着“星球城市化”（planetary urbanization）（Brenner, 2014）。人口的大规模集聚，带来了前所未有的创新动力，提高了人类经济、社会、文化迭代的速度，但也催生或激化了气

progresses in the future city research. Then, in combination of literature analysis, the paper summarizes current achievements in the cutting-edge future city research and practice, including transportation, energy, communication, environment, health, and urban public services, which are directly related to technological progress. By predicting the strategic direction of future city research and practice, the paper further proposes the core thought for the creation of future cities.

**Keywords** future cities; research approach; methodology; complexity; technological revolution

候变化、资源匮乏、社会对立等紧迫问题(UNDESA, 2019)。提高城市人口聚居所带来的规模和密度红利,同时最大限度地减少负面效应,利用空间治理解决发展问题,是人类未来永续发展的关键所在。在当代中国大规模快速城市化以及百年不遇的新冠肺炎疫情这两个关键背景下探讨未来城市问题,更是具有其特殊意义。

## 1.2 预测未来与创造未来

人类大规模快速城镇化与城市蓬勃发展催生了两个基本问题:未来城市将会以何种形态出现?如何应对未来城市可能出现的问题?这也是与城市的产生与发展相伴始终的学术问题——有城市的地方,就有对未来城市的设想与情景预判。公元前5世纪,老子提出“小国寡民”(有限规模)与“安其居、乐其俗”(人居)的未来社会畅想;公元前4世纪,亚里士多德(Aristotle)在《政治学》中提出理想城市和空间规划愿景;16世纪,托马斯·摩尔(Thomas Moore)的《乌托邦》叙述了理性主义下未来城市之基本空间范型。进入工业时代,尤其是20世纪以来,随着城市化进程的迅猛推进和城市问题的集中产生,对未来城市的展望更加科学、细密,这些展望集中体现在《雅典宪章》《马丘比丘宪章》和《新城市议程》等全球共识性文件中,在一定程度上影响着后续的城市实践。

历史只有一条不可重复的轨迹,没有实验组和对照组之区别。事关“未来”的问题不能够在当下被证伪,故并非严格的科学问题。然而,正是因为未来城市这一特点,仅仅解释当下城市现象背后的机制,做出对未来基本的预测,都不能满足科学共同体的要求。预测方法的检验,工程策略的完善,都需要在未来城市实践中推进。面对单纯“认知”未来城市的不可能性,美国计算机科学家艾伦·柯蒂斯·凯(Alan Curtis Kay)提出了“预测未来最好的方法就是创造未来”这一著名论断(Ratti and Claudel, 2016),进一步阐明了预测与创造之间的关系。

艾伦·柯蒂斯·凯意在表明,中长期未来预测不是对未来预测的最佳路径,或者说中长期未来预测未必可靠,所以最好是做短期的预测并付诸行动,创造迅速见效的未来。实际上,这里的预测和创造并非处于相同的时间尺度,不能等量齐观。所谓创造,是针对即将发生的未来所付出的行动,是短期性的不断递进,而预测则可以是中长期的,也可以是短期性的;没有把握好、预测好未来的创造,未必会有好的效果,并且创造的未来需要后续的检验、评估和城市体检工作。

### 1.3 未来城市的认知、预测和创造

未来城市研究与实践可以概括为“认知”“预测”“创造”三个环节。“认知”是在实践中和现象界发生关系,通过主观能动控制变量的实验以及客观观察的比较,总结出现象界的规律;“预测”是通过判断当下出现某些规律得以发生作用的条件,来判断某些规律将会在未来起作用,从而推断现实的可能发展方向;“创造”是基于对现象界规律和事实走向的认知,选用因果组合来调整现象界“自变量”的操作,从而让“因变量”符合我们的预期。

随着历史的进展,“认知—预测—创造”的过程不断循环。首先,与大量现象相接触,得出规律性、因果性形式的语言,为后续实践找到目标与手段;接着,演绎法假设这些发现的规律在未来一段时间内延续(即预测过程或路径依赖的情景分析),为实践过程中合理分配资源点明方向;进而为了达到共同体的既定目标,选用规律和方法的组合,进行创造活动;部分成为现实的未来城市,又成为下一轮归纳活动的研究客体 and 预测的基础,如此周而复始,实现认识的螺旋上升。

现有对未来城市研究成果的综述,主要聚焦在数据导向的实证研究(Batty et al., 2012)和技术导向的城市愿景(黄肇义、杨东援, 2001; 巫细波、杨再高, 2010; 顾朝林, 2011)方面,亦即上述“认知+预测”环节,偏重数据主义和工具理性。这些既有成果丰富了人类对城市未来的认识,但其对“未来城市”这一概念的不同本体意涵以及未来城市从理念到现实的完整转化过程都需要进一步的关注。不把“未来城市何以可能”的基础问题分析清楚,研究就难免拘泥于现象和技术等具体的创新成果,而忽视了城市作为“人类文明‘磁石’和‘容器’”的根本特性(Mumford, 1961)。

究竟如何认知、预测和创造?此问题的回答涉及下述未来城市研究的四个基本路径。

## 2 未来城市研究路径

作为一个开放性课题,有关未来城市的高水平研究与实践可以概括为数据实证、未来学想象、工程技术、空间设计四个研究路径。这四个研究路径的划分源于人类在回答“未来问题”时所采取的不同本体论、认识论和方法论,也与特定的学科、学派有关(图1)。

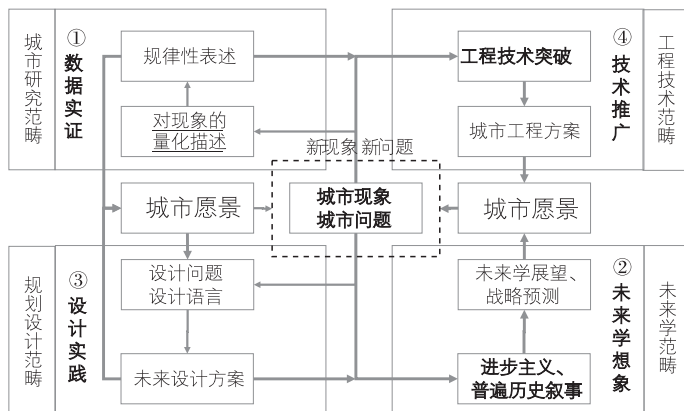


图1 未来城市研究与实践的主要路径及其关系

## 2.1 城市现象的量化表达与数据实证

利用城市活动中生成的大量数据，对城市发展规律及未来走向进行认知与预测，是未来城市研究的数据实证路径。研究手段和成果形式，与数据源的性质高度相关。随着技术的进步与数据质量的提高，人类对城市的定量认知也在不断完善之中。

20世纪50年代之前（前计算机时期），数据的获取和处理基本是手工完成，研究者将统计单元的数据落到空间上，形成对城市的基本认知；城市范畴中的定量研究可以追溯至伦敦医生约翰·斯诺（John Snow）的“瘟疫地图”，而现代意义上的城市定量起于道萨迪亚斯（Doxiadis）的“人类聚居学”（Ekistics）形式逻辑体系，并在底特律发展预测研究等实践项目中得到具体、综合的应用。

20世纪50年代至世纪之交（计算机初步介入时期），50年代计算机进入规划领域，科学的成功使人们感到它可以扩展到人类世界的每个方面，由此兴起城市模型研究的热潮，但此时大量数据还分散存在于政府部门、企业等单位组织，个人活动产生的数据由于没有记录方式而遗失，加之计算机能力不足等原因，城市模型的目标难以达到。70年代，《大尺度模型的安魂曲》列举了城市模型的七大缺陷（Lee, 1973），直至90年代，计算机技术的进步使得模型进步，研究中提出的缺陷才得以部分解决（Harris, 1994），并带来了20世纪90年代城市模型工作的重新繁荣（Li and Gong, 2016）。

计量经济学、交通领域等方面的发展，包括匹兹堡模型、随机效用理论等把空间交互模型同微观经济学结合了起来（Domencich and McFadden, 1975），为宏观城市模型奠定了经济学和数学基础。在城市宏观尺度，出现了元胞自动机、分形等对整体形态进行计算和预测的图形学研究。例如，运用约束性元胞自动机（CA）参与划定城市增长边界、制定与空间形态相适应的城市政策（Ward et al., 2000；龙瀛等，2010），以及对未及实现的特定规划方案进行反现实模拟等（Bae and Jun, 2003）。

2000年至今，尤其是2010年以来（计算机一大数据时期），随着计算机技术的普及和大数据的

兴起,对城市的感知能力逐步摆脱算力的制约,有了很大提高。当下能够为实证研究所利用的数据源包括:在线地图平台、格式化带地址的网站平台(租房网站、点评网站)、公交刷卡数据(Liu et al., 2010)、手机信令数据等,近期更是向穿戴式设备和物联网拓展和延伸。

利用位置更为精确、数量级更大的数据,能够对市民行为特征做出更细致的刻画(Batty, 2013; 龙瀛等, 2018)。例如,徐婉庭等(2019)利用去除隐私信息的手机信令数据,判别了“什么样的人住在什么样的小区、什么样的小区住着什么样的人”两个在传统实证范畴中无法回答的问题;MIT 城市感知实验室 2018 新加坡“Friendly Cities”(友善城市)项目利用空间化的手机信令数据观测市民活动,指导空间优化进程(SENSEable City Lab, 2018);2019“Tasty Data”(新鲜数据)项目利用空间化的大众点评数据评估城市局部活力,并比较不同城市间的活力指标,指导公共决策(SENSEable City Lab, 2019)。

随着人工智能向城市研究领域的不断渗透,机器学习介入相关性—因果性分析,可以对城市人居环境中的用地类型、用地拓张规律等范畴进行更加深刻的认识(龙瀛、郎崑, 2016)。宫鹏等(Gong et al., 2020)对特定功能用地和夜间灯光影像、POI(城市兴趣点)、卫星影像特征建立联结,试图通过“反推”把未知的土地利用类型推导出来,是城市数据实证领域最具技术含量的研究进展。

数据实证路径的基本思路是:运用归纳法,对城市活动中的可量化现象进行相关性和(可能的)因果性分析,对城市问题进行规律化描述,将研究成果反映到空间上,进而运用演绎法得出城市对策,实现治理目标(图2)。一般化的研究步骤包括:确定观测变量—选定研究单元—空间数据统计—发现相关性和因果性—数据验证—模型向未来的推广。

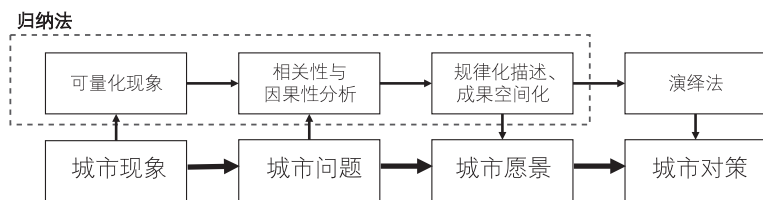
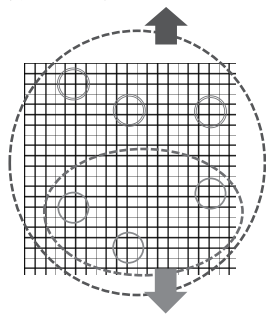


图2 数据实证路径的主要思路

这个认知链条综合运用了归纳与演绎两个思维向度:经由“从特殊到一般”的归纳法,运用最新的数据源,获取对人群活动及其偏好、城市空间状况等要素能够加以定量描述的指标,进而进行相关性分析、因果溯源和回归分析,有条件的情况下,进行控制变量、工具变量和断点回归实验等来进一步证实因果性(图3);而经由“从一般到特殊”的演绎法,明确归纳得出规律发生作用的条件,在条件相似的场合,默认规律存在并可延续,对因变量的变化依据模型语言做出预测,进而对未来实现初步控制。

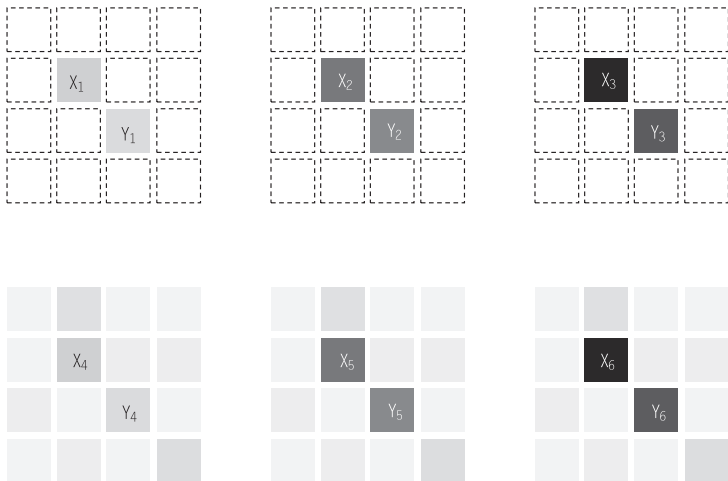
## ① 确认相关性的存在:

在全部含X、Y的研究单元中只观察X、Y两个变量,发现二者变化趋势存在高度一致性,证明二者存在相关性。



## ② 确认因果性或然存在:

选取足够多的、除X、Y之外变量都基本相等的研究单元,证明X、Y之间或然存在因果性。



## ③ 能动的实验,验证因果性:

控制其他变量一定,分别改变两个变量,看另一个变量是否相随变化,从而确定因果关系中的因变量。

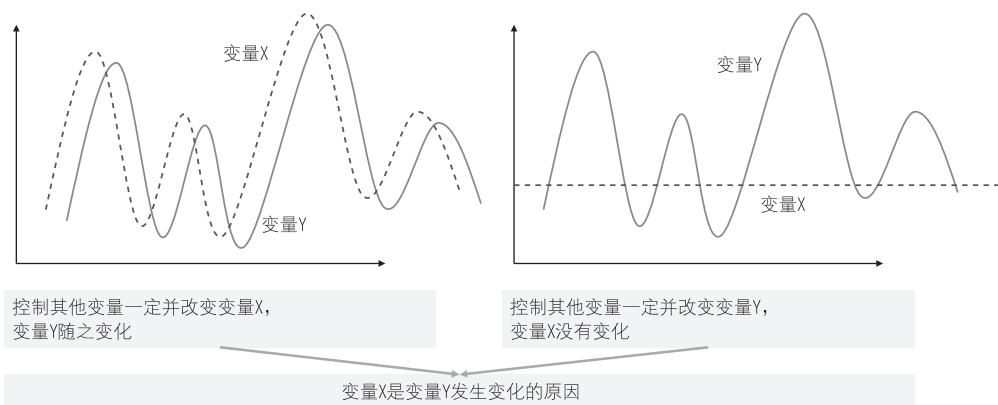


图3 寻找规律的逻辑过程:发现相关性,提出因果假设,实验确认因果性

在本路径中,代表性的研究机构有:伦敦大学学院高级空间分析中心、MIT 城市感知实验室、剑桥大学马丁中心、新加坡未来城市实验室、北京城市实验室(BCL)等。

## 2.2 未来学想象与战略研究

不确定性的未来不能被归纳演绎思维充分覆盖,需要有超出因果性证明的战略思维与预测方法,未来学(futurology)就是这样一个新兴交叉性学科。未来城市研究中的未来学路径超越了单纯意义的

“乌托邦传统”，用“涌现”等复杂性思维认知城市，把握走向。

20 世纪 60 年代以来的全球化背景下，城市竞争方兴未艾，城市战略规划随之兴起。早在“二战”后，大伦敦、大纽约以及东亚的大东京、首尔都会区等就纷纷制定或更新自己的战略规划，20 世纪 80 年代以来中国长三角研究、珠三角研究，以及 20 世纪 90 年代以来的大北京（京津冀）研究等，都是世界城市战略研究的代表性案例。值得一提的是，在中国公共财政与货币体系中，战略的合理性成为公共部门获得信贷的合法性来源，未来城市战略也成为解析中国特色城市化模式的钥匙。

随着全球化和金融化进程的拓展，对城市的战略预测不可能忽视资本和金融力量的介入，以咨询公司、投资银行等为主力的信息服务也开始介入城市战略研究领域。2019 年美银美林“十年十个趋势”（Ten Year Ten Trend）报告，对 2030 年世界经济和城市发展做出了经济学预估，数据源较传统意义上的城市研究更加全面，包括丰富的利率、汇率等市场经济指标（Merrill Lynch, 2020）。BCG、毕马威等也定期发布未来战略研究报告，并且建立了自己的城市战略研究部门。

未来学路径的基本思路是：基于系统综合思维，对未来走势进行合理想象和情景预判，选择几种代表性情景构思对策和解决方案（赖金男，1978），从而实现“对‘复杂问题’的‘有限求解’”（吴良镛，2001）（图 4）。

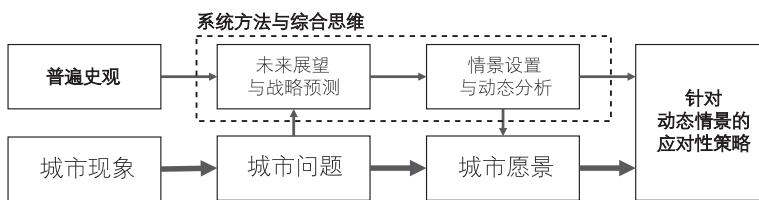


图 4 未来学路径的主要思路

与数据实证路径相比，未来学方法论有两个突出特点：一是更大的时空尺度、粗颗粒的数据；二是对技术细节模糊化的表述、宏大叙事和普遍历史观。相较于在社会科学领域试图重现自然科学之“精确”“规律”的定量实证路径，未来学路径对世界的认知趋向综合而非分析，对规律有效性保持一定的怀疑态度。面对更高层面、更大数量级“涌现”出的规律，主张用整体的视角和方法解析与把握系统的变化（吴彤，2001）。

对特定现象进行回归与预测的可能性有无穷多种，因此，利用科学的方法排除可能性与精准的预测同样重要。人居环境研究中，道萨迪亚斯团队引入可能性排除方法——IDEA 法（isolation of dimensions and elimination of alternatives，限定范围消元法），将数以百万计的可能路径削减到几条主要路径，为城市未来决策提供参考（Doxiadis, 1969）。

未来学的代表研究是罗马俱乐部《增长的极限》中对人类社会未来走向所做的情景分析，研究基于系统科学和建模预测，对人类社会不断追求增长的发展模式提出了质疑和警告（Meadows et al.,

1979)。联合国人居署、欧盟以及以跨学科为研究特色的圣塔菲研究所等，都是未来学研究思路的重要基地。2019年以来，清华大学—丰田联合研究院致力于推进未来城市研究中的学科整合和战略前瞻，目前研究主要涵盖与技术进步密切相关的人居、交通、能源、信息、健康等方向，开始成为未来城市跨学科、多学科协同战略研究的重要基地。

### 2.3 基于预测和想象的设计思维

将实证的规律、战略的预测和工程技术的成果，集成进入城市空间，实现城市愿景，是规划师与建筑师的任务。设计学路径认为，未来场景的不确定性，使得创意工科的思路向未来的拓展成为可能。设计在未来城市研究与实践中肩负着使命。

一是制定空间对策，应对社会问题。19世纪中叶，资本主义世界日趋激化的城市矛盾，使得现代意义上的城市规划应运而生。世纪之交，面对大城市拥挤、无序蔓延等社会问题，埃比尼泽·霍华德（Ebenezer Howard）以田园城市作为空间和政策改良的综合手段；20世纪初期，随着工程技术不断革新换代，勒·柯布西耶（Le Corbusier）的“建筑作为居住机器”、路德维希·卡尔·希尔伯赛默（Ludwig Karl Hilberseimer）的“汽车城市”、弗兰克·劳埃德·赖特（Frank Lloyd Wright）的“广亩城市”等理念，作为调适人与技术关系的设计思想先后提出。

“二战”后，面对战争带来的住房短缺、城市破坏等问题，以西德市中心重建、巴黎郊区社会住宅等为代表的现代主义街区大量填充城市，从这一角度看，未来城市的空间设计从来都不可能脱离“过去”与“此刻”，具有鲜明的“问题导向”性格。

值得一提的是，在当下新数据环境的支撑下，空间设计路径有望更准确地体察空间使用者的需求和活动规律，进而实现更精准到位、实时响应的设计（龙瀛、张恩嘉，2019）——“数据增强设计”（DAD）的思路与方法，已在诸多城市设计与规划项目中得到应用。

二是以艺术的形式畅想未来城市空间的可能性。人类对未来城市空间的文学性、艺术性畅想历史悠久（Abbott，2016），但最初成体系的展望来自于“一战”前意大利艺术家、思想家的未来主义思潮，主张高速度、高技术甚至“割裂历史”的畅想刷新了人类空间思维的边界，这一思潮也在新生的苏联得到了拓展和应用；在“二战”后的城市实践中，以昌迪加尔为代表的现代主义城市规划，以巨构主义为代表的艺术设想，刷新了人类对城市可能性的认知。

而20世纪60年代以来，随着后现代设计思潮和城市更新实践的拓展，空间设计的未来倾向不再一味求新求怪，而是主张与在地文脉历史等元素进行更多对话，未来城市的文化属性与技术属性携手并进。代表性的案例有柏林波茨坦广场、波士顿“BIG DIG”（大开挖）、首尔清溪川工程等。

空间设计路径的基本思路是：经由设计思维，以设计语言解析城市空间问题，进而对城市愿景进行空间应答，制定面向特定情境与群体的空间应对策略（图5）。设计思维是面向创造全新体验的融合了商业、技术两方面可行性与人的渴望的一种创新方法，它强调对用户的痛点与获得的深度挖掘，

强调从人与产品、环境的互动机制的发展视角研判设计的机理与趋势。在空间设计的场景下，设计思维可以在不同层面起到支撑作用，它鼓励了跨学科的融合以及对市民的共情。其对于过去、现在和未来的感知，使得面向未来的城市更新有了科学化迭代发展的依据。

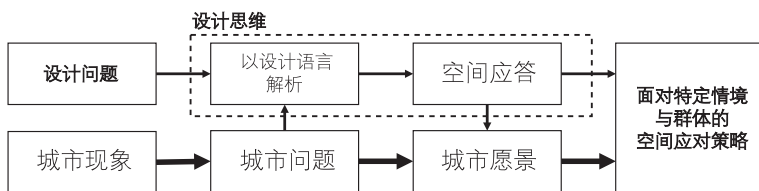


图5 空间设计路径的主要思路

合于形式美的一般法则、满足人类对美好生活的定义和需要，是空间设计的终极追求。面对摆在眼前的现实空间，设计者用应然眼光看待现状，对现实和愿景、原则和可能实现的范围进行对比，进而提出空间实践优化策略。先出现的“典范空间”成为后来者竞相仿效的榜样，纵观城市历史，我们也可以看到，罗马、巴黎、威尼斯、纽约等名城的空间范型经由设计思想在世界范围内的推广（Brook, 2013）。

空间设计路径至少可以实现三个层次的效用：一是物理层面安全、舒适、便捷程度的提高，如英国早期城市规划立法对住宅的规范；二是空间作为调节手段，让使用者更得体地行动，实现经济增长或良性社会关系，如街道之眼预防犯罪的积极效应、大型开敞空间拉动地区开发繁荣等；三是设计作为预测手段，明确未来场景下空间的不同可能性。设计使得预测能够直接生成场景，甚至快速落地，成为集成未来技术成果的物质空间平台。

## 2.4 工程技术进入城市空间促使理想变成现实

城市空间和生活形态发生转变的根本原因，是支撑城市活动的工程技术发生进步。用科学研究和工程技术成果不断改良城市设施，是未来城市得以实现的核心途径。

在社会性大数据未及生成、即时的设计反馈难以实现的“前数据时代”，工程技术路径的研究与实践成果集中体现为城市规划技术规范，涵盖防洪、给排水、供电、供气、供热、道路交通、信息、邮政、环卫等城市工程领域。舶来的普遍工程技术原理，与具体地区实践经验的累积，形成“工程大数据”——经验数值规范，形塑着在规范知识体系下生成的城市空间。

而IT时代，在第四次工业革命的大潮中，云计算、万物互联等概念进入城市基础设施。工程技术路径的变式包括但不限于：智慧交通、智能电力、智能环境系统、智慧健康、信息通信技术（ICT）和城市大脑等新基础设施（详见后文“未来城市研究与实践重要领域”）。

工程技术路径的基本思路是：运用工程思维，将超前于现有建设状况的、外源性技术进展，融入

城市愿景，以解决城市问题（图 6）。这一路径和城市定量实证路径的根本区别在于实验方法——数据实证一般不能对研究客体进行控制变量的有意识实验操作。故此，相较于社会科学领域宣称的“规律”，自然科学和工程科学数理模型的可实践性比较好。

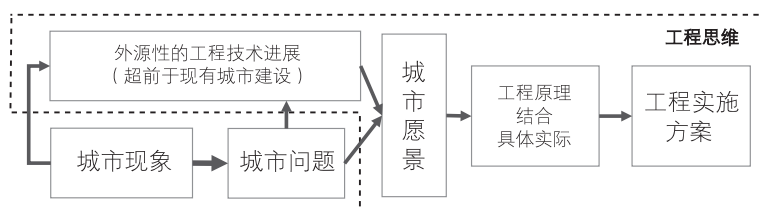


图 6 工程技术路径的主要思路

新技术的引入，纵使在第一时间没有与城市物质空间环境发生直接关系，也会逐渐形塑空间，让城市的发展达到一种新的平衡。技术是对位在“过去”的自然现实的洞悉，也是对未来应然层面可能性的预判和系统的开发愿景。

## 2.5 不同路径的交叉与融合

数据实证路径认为，“城市发展是有规律的，规律可以以可证伪形式的语言加以描述”，其基于多源头、多尺度的数据，对市民活动进行把握，从而调控城市公共产品的提供方式；战略预测与未来学想象路径对世界的认识趋向综合而非分析，面对大数量级“涌现”出的规律，立足整体视角对国家区域和城市的发展进行总体预判，为公众决策提供重要参考；空间设计路径以形式美的一般法则和人类对美好生活的需要为终极追求，明确在特定技术条件下城市空间的可能性，也以艺术的方式对人类未来图景进行展望，进而提出空间实践优化策略；工程技术路径通过实验方法和定量语言，对自然界规律进行探析和复述，以切实的方式将可能性变为现实。

上述四个路径贯穿于未来城市分析、预测与实践落地的各个流程，它们的相互融合是未来城市研究与实践的基本特征（表 1）。

表 1 未来城市研究与实践主要路径比较

| 路径             | 本体论                         | 认识论                           | 方法论                                         |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| 城市现象的量化表达与数据实证 | 城市发展是有规律的，规律可以以可证伪形式的语言加以描述 | 城市现象可以经由数量和关系得到表述与复现；因果性存在并可知 | 确定观测变量—选定研究单元—空间数据统计—发现相关性和因果性—数据验证—模型建立和推广 |

续表

| 路径         | 本体论                               | 认识论                                          | 方法论                                           |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 未来学想象与战略研究 | 对世界的认识趋向综合而非分析,对规律有效性保持怀疑态度       | 面对大数量级“涌现”出的规律,用整体的视角和方法解析与把握系统的变化           | 与数据实证相比:更大的时空尺度、粗颗粒的数据;对技术细节模糊化的表述、宏大叙事和普遍历史观 |
| 设计思维       | 形式美的一般法则+人类对美好生活的定义和需要,是空间设计的终极追求 | 用应然眼光看待现状,对现实和愿景、原则和可能实现的范围进行对比,进而提出空间实践优化策略 | 城市问题的空间解析和空间应答,得出面向特定情境与群体的空间优化和效能提升策略        |
| 工程技术进入城市空间 | 自然现象存在规律,规律可以被把握                  | 通过实验方法和定量语言,对自然界规律进行探析和复述                    | 通过控制变量确认相关性、因果性;通过实验方法确认规律存在;通过运用规律实现技术目标     |

3 未来城市研究与实践重要领域

技术改变城市,技术塑造城市未来,大数据、人工智能、互联网是和人居、交通、能源、环境、健康等未来城市关键领域都密切相关并且带来显著影响的技术。基于 Web of Science 引文数据,对 2000~2019 年未来城市研究与实践有关的 5 338 篇关键文献进行可视化分析,进一步阐明在大数据、人工智能、互联网等新兴技术影响下,交通、能源、通信( ICT )、环境( 生态 )、健康和城市公共服务等领域未来城市研究与实践前沿及其进展( 图 7 )。

3.1 交通

3.1.1 未来城市交通主要技术

智慧交通指通过移动互联、云计算、大数据等技术,实现智能化交通基础设施和智能化运载工具的泛在互联,将信息系统与物理系统相结合,提供门到门一体化综合运输服务,能够应需而变地为用户提供适应性服务,对安全、效率、能耗等指标进行综合优化的智慧型综合交通运输系统(陈琨、杨建国, 2014 )。智慧交通是交通运输系统发展的未来形态,智慧城市下智能交通系统的支撑技术包括城市泛在感知技术、信息物理系统互操作技术、基础设施数字化技术、车辆智能化技术、计算技术等。随着信息技术的快速发展以及用户需求的变化,智能交通界不断调整研发方向,特别是交通大数据、车辆自动化、共享出行、网联式智能应用(含车车、车路协同)等成为研究热点(王笑京等, 2019 )。其中以即将商用的 5G 宽带移动通信为依托的新型智能交通接近实际应用,但是自动驾驶技术、车路协同一体化技术、信息空间映射方法、人工智能决策、交通信息安全等新兴技术带来的冲击和影响有

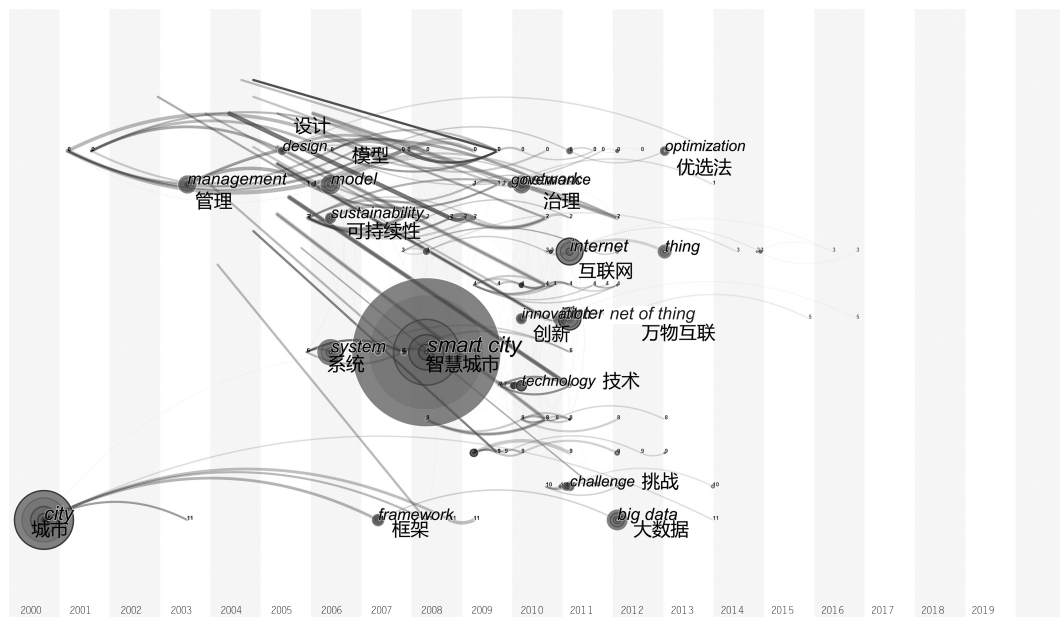


图 7 2000~2015 年未来城市研究关键词演进趋势

资料来源: Wed of Science 论文检索, “主题” = future city。

待进一步研究(徐志刚等, 2019)。除此之外, 车路云融合控制方法、大数据场景泛化性、群体协作等技术, 也都有待进一步突破。

### 3.1.2 研究与实践成果

未来城市交通将围绕绿色、共享及智慧出行方向展开, 其中智能网联汽车是未来城市交通的重要组成部分。美国密歇根大学 Mcity 是世界上第一个为智能网联汽车建造的自动驾驶测试场, 日前已加入国际移动测试和标准化联盟(IAMTS), 旨在开发全球智能移动测试平台组合, 以满足智能出行实施和运营的最高标准(University of Michigan, 2020); 日本丰田考虑为自动驾驶建造新的测试场 Woven City, 以清洁燃料供应城市能源, 立足于帮助人们在未来交通构建中更合理地利用 AI 技术, 实现万物互联(TOYOTA, 2020)。

2019 年, 包括百度、大众在内的汽车及自动驾驶领域的 11 位行业领导者共同发布了《自动驾驶安全第一》白皮书, 建立了安全自动驾驶的行业标准; 清华大学智能车辆团队立足多传感器融合感知、交通态势风险评估及车路一体化协同决控技术, 提出并建立“车路云协同”智慧交通体系, 实现云端资源及应用任务自适应调度的车路云一体化运行架构(Wang et al., 2015; Xu et al., 2019); 复旦大学、中国科学院等团队指出: 智慧交通系统已由传统的技术驱动系统变革为数据驱动系统, 该系统由计算机视觉、多源数据结合机器学习等方法驱动, 实现系统性能优化(Zhang et al., 2011)。

面向未来,城市交通将呈现出高效节能、智能研判的发展态势,多源数据协同感知、车路云融合控制等技术已成为构建未来智能交通的重要技术手段。

## 3.2 能源

### 3.2.1 未来城市能源主要技术

城市能源系统面临海量社会资源利用率低、行业之间壁垒高、本地能源不足以支撑城市高密度能源消耗、能源环境压力突出等问题。利用互联网思维和技术,打破电、热、冷、气、交通等不同能源形式之间相互割裂的现状,实现能源生产、传输、存储、使用等全链条的协同,推动能源行业与其他行业的深度融合、互动和集成,激活城市中沉睡的各种分布式能源资源,形成分布与集中协调、可再生能源充分利用、能源高效集成、智能管理与控制、能源服务和商业繁荣的城市能源互联网,是未来城市能源的重要形态(孙宏斌等,2015;任洪波等,2018)。

能源互联网的目标是构建绿色低碳、安全高效和开放共享的能源生态,主要包括三方面的关键技术。①能量层:高效的多能存储、多能转换、能量路由、无线能量传输等技术和设备,打破物理壁垒,构建电、热、冷、气、交通融合的综合能源系统。②信息层:将物联网、大数据、云计算、人工智能和区块链等互联网技术应用到能源系统中,打破信息壁垒,通过数字化实现智慧的能源管理和控制。③价值层:创新共建共享共赢的商业模式和市场机制,打破商业和市场壁垒,构建万众创业的能源共享经济(孙宏斌等,2020)。

### 3.2.2 研究与实践成果

国际能源署(International Energy Agency, IEA)构建面向全人类的安全可持续的能源未来(IEA, 2020),聚焦电力安全、能源投资、气候变化与空气污染、能源获取与效率等领域的技术实践;IBM公司与加拿大魁北克水电公司等联合成立了智慧能源研究所(Smarter Energy Research Institute, SERI),以开发新能源与提升能源效率为目标建立更发达的城市能源网和基础设施;日本松下公司的Fujisawa Sustainable Smart Town以及美国丹佛市的CityNow智慧城市项目采用微电网(Microgrids)技术,通过太阳能的智慧电网连接万户,实现供电稳定安全;德国联邦经济技术部与环境部发起的E-Energy项目,在六个地方实施了能源互联网(Internet of Energy)示范应用(尹晨晖等,2015)。

国内的研究与实践方兴未艾。2014年,清华大学孙宏斌教授发起并举办了“能源互联网:前沿科学问题与关键技术”香山科学会议;清华大学成立能源互联网创新研究院,从事能源战略与能源政策分析、能源创新规划与设计等研究咨询,提供能源互联网技术工程应用解决方案;国家电网公司成立了城市能源研究院,提出了建设世界一流能源互联网企业的目标,并开展了多个城市能源互联网示范项目;广州供电局承担了国家能源局首批能源互联网示范项目,在广州建成了国内外首个大型城市能源互联网示范工程,打造了1个“互联网+”智慧能源综合服务平台、3个智慧园区和3种创新业态,取得了重要的社会效益。

### 3.3 信息与通信

#### 3.3.1 未来城市信息与通信主要技术

信息与通信技术通过提升信息连接和计算的能力,使城市设施与服务的供给和需求更高效匹配,从而提升城市的运行效率。IBM、Cisco、Accenture 为 ICT 市场化领域中的跨国企业三巨头,也是世界上智慧城市项目领导企业,输出智慧城市先进技术解决城市智能化管理和能源效率等问题 (Van den Buuse and Kolk, 2019)。2009 年以来,IBM Smarter Cities 一直以智慧城市技术和面向城市的咨询服务为项目主要内容,并侧重于城市 ICT 技术的研发创新,以应对城市可持续性发展的挑战。基于大数据分析、云计算和人工智能与机器学习在内的感知技术,提出建设“系统的系统”概念。

2010 年以后,自从中国城市全面开展智慧城市建设以后,国内的系统集成商、互联网公司陆续进入智慧城市领域,以此概念营销其 ICT 产品。随着人工智能、物联网、5G、大数据、区块链、无人驾驶等技术逐渐成熟,这些已经陆续成为智慧城市领域的主要应用技术。

在感知层面, MEMS (Micro-Electro-Mechanical System, 微机电系统) 传感器、分布式光纤传感器、各种雷达传感器、摄像头等设备,逐渐以各种方式与传统的城市基础设施相结合,使城市空间和设施的运行状态可感可控。

在传输层面,无线通信技术依托 5G 技术通过 eMBB (增强移动宽带)、URLLC (超高可靠超低时延通信)、mMTC (低功耗大连接物联网) 三大场景的定义,实现了无线通信高带宽、低时延、大连接的特性,满足不同应用的需求,将在未来的数年催生更多新的产品和商业模式。而未来万物互联的无线网络连接,要求城乡一体覆盖、全天候实时响应、自主运行、智能调控、快速扩展。城市无线通信网将通过毫米波乃至太赫兹等更高频段实现带宽的增强,而低轨卫星互联网将完成广域物联网的无缝覆盖。

在数据和计算层面,大数据、人工智能技术实现了多维、高频、海量互联网和物联网数据的实时分析、挖掘、模拟、预测,实现了大量城市系统的实时控制与城市管理的决策支持。而时空计算引擎与 CIM (城市信息模型) 等技术,则将创造高频、高精度同步城市运行状态的数字孪生系统。

#### 3.3.2 研究与实践成果

Cisco 重在基于 ICT 技术方案提升智慧城市基础设施水平,建设利于经济与环境协同发展的极具规模的智能城市管理体系。其发起的“智慧+互联社区”项目于 2006 年在全球七个试点城市 (旧金山、阿姆斯特丹、首尔、伯明翰、汉堡、里斯本、马德里) 开始了 ICT 技术导向的智慧城市建设; Accenture 的“Intelligent Cities”为城市提供创新的 ICT 技术方案解决城市服务功能问题,代表核心技术模块例如机器交互、传感器、智能软件分析,应用在城市电力、城市用水和供气系统 (Accenture, 2014)。2013 年, Accenture 用其技术助力伦敦建设面向未来提供更优质的市民服务的智慧城市转型蓝图。

IBM 在巴西里约热内卢市建设了全球首个统一的城市数据管理中心,通过各部门数据汇聚、分析

来协调城市运行、提高城市管理效率，并在这里建立了最初的 IOC（智能运行中心）大屏，至今已经成为智慧城市的标配，引发了后续“城市大脑”等概念的不断涌现。此后，韩国松岛、日本柏叶、阿联酋的马斯达尔等分别以通信技术、生态、低碳等不同的技术关注点，尝试建立某类技术驱动的智慧城市样本。而人工智能和物联网技术则促使了互联网公司全面开展智慧城市的实践，其中以 Alphabet（谷歌母公司）旗下的 Sidewalk Toronto 项目最为知名，其在多伦多滨水区提出的全面重建城市系统的构想，在不到三年后因疫情等影响宣告结束。总体而言，目前在世界范围内尚无一个被整体上公认为成功的智慧城市实践。

如迈克尔·巴蒂（Michael Batty）所说：“我们对城市进行远程感知的能力为我们提供了新的见解，使我们了解城市是如何增长或衰退的，理解他们在比实时更长的时间段内的使用方式，以及如何识别在全球范围内出现的与实时个人操作更相关的问题。”这应该就是我们借助 ICT 技术实现基于数据对城市运行状态全面理解的价值所在。

## 3.4 环境

### 3.4.1 未来城市环境保护主要技术

绿色是未来城市发展的底色。大数据、物联网、新材料、可再生能源和资源等技术为城市绿色低碳循环发展提供了基础。未来城市环境的主要技术包括但不限于：空地一体环境感知体系、智慧环境模拟与仿真决策体系、废物源头减量减害及资源循环体系、环境风险防控及应急管理体系、先进环境治理与生态修复体系等。“智慧环境”是将智慧传感、智慧服务、智慧分析、智慧平台等先进技术手段与环保相结合，应用于环保监测、审批、管理、决策等多种场景；智慧传感依赖于 AI 智能传感器和 5G 网络，并已普遍运用于城市环保监测；智慧服务通过服务平台和数据的共享，为环保审批服务提供便利（杨帆，2019）；从数据采集到整体设备系统监控管理，形成“智慧环保”平台和综合应用系统（闫婧姣，2018）。城市水处理和固废管理领域集中在智能微型化传感器组网、模型预测智能控制与远程综合智能管控三方面的技术突破，让城市供排水系统和固废收集与处理系统实现稳定及精细化运行。以智慧供水为例，分布式水量和压力传感器组成了城市供水的实时监测网络；通过供水管网的机理或数据模型可以感知水量和水压数据，实现漏损事件的实时预警和判断；基于用户终端的智能电子水表构建综合管控平台，在降低水资源浪费的同时大幅度提升了整个系统的运行和管理效率（Lee et al., 2015; Ramos et al., 2019）。

### 3.4.2 研究与实践成果

大气环境管理领域，以 GAINS、ABaCAS（Xing et al., 2017）为代表的综合决策评估模型可以实现对特定减排方案的费效评估，而基于环境目标的反算技术（LE-CO）及优化集成运行模式（ABaCAS-OE）实现了对不同环境目标要求的减排量反算，并对优化的减排策略下的空气质量改善效果、目标可达性、控制成本及健康收益进行快速估算（邢佳等，2019）。

固废处理领域,美国 Compology、波兰 BIN-E 智能垃圾桶公司等,在普通垃圾回收箱上安装智能传感器设备将其升级为智能垃圾桶,成为对固废物的回收和堆砌处理进行追踪的流行技术; Bulk Handling System 和 Nordsense 等项目则将人工智能、自动化、物联网、机器学习等技术融合,实现了城市垃圾的高精准分类;以 IBM、芬兰 Enevo、韩国 Ecube Labs 等为代表的公司致力于智能固废管理系统服务技术,实现废物资源利用,提高回收率,为城市快速提供高效固废处理管理解决方案。

中国正在系统开展“无废城市”建设,选择了“11+5”试点城市,加快构建固体废物源头产生量最少、资源充分循环利用、非法转移倾倒和排放量趋零的长效体制机制,创新制度、技术、市场和监管体系建设等具体实践,已经取得了系列成效,初步形成“无废城市”建设先进适用技术,促进了城市绿色发展转型(生态环境部环境发展中心,2019)。

清华大学郝吉明和吴烨团队研发的新能源汽车交通—能源—环境大数据技术平台,综合上下游能源系统构建新能源车生命周期环境评估模型,探索新能源汽车能源环境效益的优化发展情景,为中国未来城市的多元化新能源车发展战略和绿色低碳城市交通体系提供解决方案;清华大学贺克斌和王书肖团队在前期研发的大气污染防治综合科学决策支持平台基础上,提出基于统一的源分类体系与源排放表征技术方法的城市温室气体与大气污染物排放清单编制技术,探索城市空气质量达标和碳排放达峰的未来发展路径及技术路线图,以实现空气污染防治和气候变化的协同应对;清华大学黄霞团队提出实现城市污水高效资源能源回收与高品质水再生的创新理念和范式,围绕碳、磷的高价资源化和氮的深度低成本去除,构建绿色低碳城市水再生与资源能源化技术系统;清华大学李金惠团队研究废旧动力电池回收模式,建立动力电池梯次利用产品的应用体系和对应的评估体系,研发动力电池再生利用金属回收技术,实现动力电池多组分的绿色高效分离和回收,进一步践行“无废”理念。

## 3.5 健康

### 3.5.1 未来城市健康主要技术

大数据、人工智能、物联网、机器人等新技术越来越多地运用在公众健康医疗服务中,为健康领域带来了颠覆性的变革(Yang et al., 2019)。移动健康与智慧医疗产业的技术架构建立在信息感知层、信息传输层和信息分析层之上;可穿戴智能设备、移动智能终端和云计算平台是移动医疗与智慧医疗产业的三大助推器(姜黎辉, 2015)。数据化、标准化、智能化成为智慧医疗服务大趋势。基于深度学习、图像识别等技术途径对海量数据的挖掘使用,大大提高了诊疗效率,优化了医疗服务质量。互联网医疗健康产业联盟 2019 年发布的智慧医疗白皮书中指出 5G 技术的基础,使医疗健康领域包括远程会诊、远程超声、远程手术、应急救援、智慧导诊、移动医护、智慧院区管理、AI 辅助诊断等多种技术服务得以实现(互联网医疗健康产业联盟, 2019)。发展个人与医疗系统间信息、交通、物流和诊疗服务互联互通系统,加强不同人群的健康监测和智能分析能力,是未来城市健康管理的发展趋势(HIMSS, 2020)。

### 3.5.2 研究与实践成果

从大卫·范西克 (David Van Sickle)、格雷格·特雷西 (Greg Tracy)、克里斯·霍格 (Chris Hogg) 在美国威斯康星州创立的 Propeller Health 提供的可实现对患者用药情况进行持续跟踪的呼吸系统健康管理解决方案, 到美国加州 Proteus Digital Health 提供的个性化健康管理, 实现供需双方协同管理的数字医疗产品, 再到印度 Abiogenix 设计研发的针对解决生活中忘记服药问题的智能药盒 uBox, 以及美国心脏协会和 Lifepod 共同开发、已投入试用的音控互动式心脏病病人管理平台, 都诠释了物联网、移动互联、大数据背景下以患者为中心的智慧医疗模式 (周向红等, 2017)。以通过信息手段实现医疗体系变革的美国医疗信息与管理信息系统学会 (Healthcare Information and Management Systems Society, HIMSS) 作为医疗产业系统中的全球领导者, 致力于医疗创新技术研究。

清华大学董家鸿团队以清华长庚医院为核心, 整合清华园区域、天通苑区域健康医疗资源, 构建清华智慧健康医疗服务联合体, 提供 TIHF 认证以及智能化质量监测体系, 协助构建可持续运行的城市医疗服务; 清华大学宫鹏团队在可穿戴设备、健康监测预警等已有研究基础上, 研发集健康监测、辅助机器人、风险识别和健康预警于一体的智能化物联网, 建设城市健康服务智能管理平台, 从衣、食、住、行、医五大方面开展研究, 实现健康监测分析与健康服务体系的一体化。

## 3.6 公共服务

### 3.6.1 未来城市公共服务主要技术

本质上, 信息化是通过信息高效流通, 减轻信任成本与组织中的内耗, 达到边际成本递减的目的。基础设施和公共服务边际成本降低是城市集聚的根本动力, 必然对信息化有着内在的需求。随着城市规划、建设、运营与管理的全面数字化改造, 城市拥有了越发高频甚至实时调整自身运行状态的能力。城市的规划与运营、服务环节越发密不可分, 逐渐融为一体。

城市智能规划是通过多种智能技术辅助城市规划理性分析和科学决策的过程。城市智能规划技术主要有计算机辅助设计技术、城市定量分析技术、城市动态模拟技术以及城市智能交互技术, 且具有大数据、自动化、交互性、复合性、生长性五大技术特征 (甘惟, 2018)。随着网络通信技术的发展, 以“大数据、智能化、云计算、移动互联网”为代表的智能技术的出现, 进一步推动了城市规划工具的理性转型, 借助数据和模型的驱动, 深入发掘城市规律。例如城市智能信息模型与人工智能在城市用地布局推演上的应用, 诠释了新一代规划技术如何实现数据的海量收集存储并转化为对城市时空分析、设计的优化、城市问题的实时响应 (吴志强、甘惟, 2018)。

智慧政务 (治理) 主要指智慧技术和设施在政府管理与决策过程中的应用, 包括电子政务、基于城市大数据的决策分析流程、基于网络通信技术的政务公开和市民参与决策。智慧政务主要是强调通过信息和通信技术在政府管理与决策过程中的应用来提高政府效率, 鼓励公众参与决策 (董宏伟、寇永霞, 2014)。

随着物联网和人工智能技术的发展,城市各种基础设施和公共服务成本逐渐降低,并具备自主运营、自动服务的能力,以空间为核心的共享经济兴起。通过大数据对人群分布和特征的精确实时描述,城市公共服务可以更加准确地按需供给。一些原本需要由政府投资和运营的服务可以由市场化方式运营,政府的职能则收缩为规则的制定和基于数据的底线监管。

### 3.6.2 研究与实践成果

西班牙巴塞罗那基于“欧洲 2002 战略”制定的 MESSI 战略中就包括了电子政务(E-government)专项,体现了巴塞罗那在智慧城市建设中对自下而上的社区参与作用的重视;通过传感与数据展示平台,融合智能城市运行系统,配套移动终端 app 等用户服务,促进全市共同参与治理的效果;“智慧都柏林”中搭建的都柏林展示平台(Dublin Dashboard),作为数据与智能化服务相结合的展示平台,为市民、企业和政府等多群体提供了共享交互平台,促进了多群体在政务中的信息共享效率和参与治理度(周艳等,2015)。

在中国,互联网公司在市场实践中,从线上商业逐渐拓展到 O2O 和越来越丰富的线下场景运营。共享单车、网约车等模式都很大程度上取代了传统的城市出行服务,成为公共交通的重要组成部分。

依托微信、支付宝等国民应用,互联网公司把各种城市服务、日常政务服务、市政缴费业务、交通出行服务等迁移到线上平台。腾讯公司在 2020 年提出了“城市即平台”,未来城市不再是由交通、贸易、金融甚至建筑物构成,数字化重塑的城市治理能力、服务水平与决策效率将成为新的竞争力。城市是市民激发潜能发展创意的平台,城市成为对公共服务开源接口的操作平台。市民即用户,人是城市的目标,人成为城市的数据节点,市民成为城市治理的参与者、城市服务的开发者和城市数据的贡献者。连接即服务,基于广泛的社会化平台与丰富的应用场景的崛起,服务形态渐渐趋向于“无须安装,感知触发,即连即用”。

## 4 进一步预测和创造未来城市

在未来城市的研究与实践中,数据实证、未来学想象、工程技术、空间设计这四条主要路径交织融合、互促生成,推动城市空间迭代革新;交通、能源、通信、环境、健康、城市公共服务技术方向的不断合作与空间化,推动城市空间产品供给提质增效。未来城市的宏旨,在创造活动中不断得到展现和充实。进一步推动学科融合和技术互鉴创造未来城市,重点关注未来城市的原型提炼、设计和创造路径以及建设模式,是未来城市研究与实践的战略方向。

### 4.1 提炼未来城市的原型

与未来城市的创造结果相比,创造过程机制与思维理念的革新显得更为重要且富有意义(Batty, 2018)。尽管城市作为一个复杂性系统,其未来发展的场景特征无法全然精准地预测,但依旧可以并

亟须从已有现象界的认知创造中窥探其共有的趋势特征，用原型（prototype）进行提炼概括，从而为相关的创造响应思维与战略方向带来启示。

传统城市空间是物质空间与社会空间的二元向度，城市居民在物质空间中获取原始信息，通过社会空间的组织引导完成一系列行为活动。随着信息技术的迅猛发展，信息空间逐渐成为城市空间中传统物质空间、社会空间之外的新空间维度，并开始扮演越来越重要的角色。通过泛在的物联网终端、海量的互联应用以及传统城市空间场所中的公众参与、场所营造，信息空间与物质空间、社会空间形成紧密耦合的城市空间联结体，并由城市空间的核心即人进行维系联结。物质与社会空间影响人的行为活动方式，人也反之参与物质与社会空间的干预响应；通过智慧化设备采集的人的信息不断向信息空间反馈，最终又由信息空间进行相应的运营管理与引导。此外，由信息空间的信息反馈以及社会空间的行为活动、物质空间的形态本底构建形成当下城市的数字孪生空间，从而进一步进行城市的实时动态分析模拟与辅助现实的决策优化。这四个空间结构图层及其关系共同构成了未来城市的基本原型。

## 4.2 识别未来城市的设计和创造路径

基于未来城市的原型，需要进一步探索未来城市的设计和创造路径。空间干预（spatial intervention）、场所营造（place making）与数字创新（digital innovation）三个手段结合是一种目前看来行之有效且日益得到关注的方案（龙瀛，2020）。其中，空间干预基于城市物质空间层面，是未来城市创造的基础载体；场所营造基于城市社会空间层面，是未来城市创造的运营与管理系统；数字创新基于城市信息空间的技术层面，是未来城市空间智慧化驱动的核心要素。三条路径分别以建成环境的设计创造和品质提升、城市居民的公众参与和社交沟通以及通过实体传感器置入、虚拟空间 app 运营、数字孪生系统构建等形式和空间干预场所营造紧密结合的方式，最终促进未来城市空间安全舒适、弹性使用、高效节能、智能监管以及趣味活力等愿景。

此外，以城市计算系统为代表的新型数字基础设施，完成了对于城市人居环境的数据观测与灵敏感知，进行高频响应与反馈的同时，也通过对城市的实时抽象与数据实证模拟分析，实现对传统建成环境低频规划与中频设计的补充，最终在未来城市原型的各个流程方面参与优化。例如，通过数据增强设计（data augmented design, DAD）与多主体参与辅助城市规划和设计，通过万物互联的架构与智能建造技术辅助规划设计的建设和实施，通过线上线下空间融合以及数据算法驱动辅助城市的运营和管理，最终通过自反馈系统与数字孪生辅助城市的有机动态更新，完成未来城市创造的螺旋式上升。

## 4.3 探索多主体共同参与的未来城市建设模式

随着城市向着多维度复合空间结构发展，未来城市的创造亦超脱单一物质空间要素的干预，向着更加复杂多元的方向拓展外延，因此，参与未来城市创造的主体力量也从规划设计公司向科技公司、开发商、空间零售商、通信运营商等社会力量逐渐丰富。

规划设计公司直接参与未来城市空间的创造。通过对国际顶级的 100 余家设计公司进行统计分析, 20%以上的公司进行了智能化与数字化设计的转型, 注重利用新兴技术响应城市空间本体以及设计思维与方法层面的新变化; 腾讯、百度等科技公司通过源源不断的技术赋能, 一方面自上而下参与未来智慧城市的顶层设计, 另一方面自下而上积极合作拓展平台服务生态; 万科、碧桂园等开发商参与未来城市空间的市场开发与利用, 从单一的开发空间向开发配套服务模式转型; 丰田、苏宁等(空间)零售商参与未来城市空间各个不同的生态应用场景的具体建设, 探索创新服务应用的场景模式; 中国移动、中国联通等运营商参与未来城市空间的策划组织与管理运营, 进行数字化迭代的同时, 向广义的城市运营商转变; 政府参与未来城市空间的宏观把控并协调不同社会力量积极参与城市共建(北京城市实验室、腾讯, 2020)。

不同参与主体从城市资源配置与运行管理的不同视角出发, 积极参与并探索未来城市的创造路径, 进一步体现出未来城市系统的包容性、多元性与共享性特征。

## 致谢

本文的研究工作得到清华大学—丰田联合研究院跨学科专项资助。

## 参考文献

- [1] ABBOTT C. Imagining urban futures: cities in science fiction and what we might learn from them[M]. Middletown: Wesleyan University Press, 2016.
- [2] ACCENTURE. Intelligent city guide[EB/OL]. [https://www.accenture.com/\\_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy\\_2/Accenture-London-Develop-Blueprint-Become-Intelligent-City](https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_2/Accenture-London-Develop-Blueprint-Become-Intelligent-City), 2014-06-05/2020-02-03.
- [3] BAE C, JUN M. Counterfactual planning: what if there had been no greenbelt in Seoul?[J] Journal of Planning Education and Research, 2003, 22(4): 374-383.
- [4] BATTY M. The new science of cities[M]. Cambridge: The MIT Press, 2013.
- [5] BATTY M. Inventing future cities[M]. Cambridge: The MIT Press, 2018.
- [6] BATTY M, AXHAUSEN K W, GIANNOTTI F, et al. Smart cities of the future[J]. The European Physical Journal Special Topics, 2012, 214(1): 481-518.
- [7] BRENNER N. Implosions/explosions: towards a study of planetary urbanization[M]. Berlin: Jovis, 2014.
- [8] BROOK D. A history of future cities[M]. New York: W. W. Norton & Company, 2013.
- [9] DOMENCICH T A, MCFADDEN D. Urban travel demand: a behavioral analysis[M]. New York: American Elsevier, 1975.
- [10] DOXIADIS C A. Ekistics: an introduction to the science of human settlements[J]. American Journal of Public Health and the Nations Health, 1969, 59(1): 569-570.
- [11] GONG P, CHEN B, LI X, et al. Mapping essential urban land use categories in China (EULUC-China): preliminary results for 2018[J]. Science Bulletin, 2020, 65(3): 182-187.

- [12] HARRIS B. The real issues concerning Lee's "requiem"[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1994, 60(1): 31-34.
- [13] HIMSS. How the smart city movement and it are transforming health[EB/OL]. <https://www.himss.org/resources/how-smart-city-movement-and-it-are-transforming-health>, 2020-03-15/2020-09-01.
- [14] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. About us[EB/OL]. <https://www.iea.org/about>, 2020-05-20/2020-09-01.
- [15] LEE D B, Jr. Requiem for large-scale models[J]. *Journal of the American Institute of Planners*, 1973, 39(3): 163-178.
- [16] LEE S W, SARP S, JEON D J, et al. Smart water grid: the future water management platform[J]. *Desalination and Water Treatment*, 2015, 55(2): 339-346.
- [17] LEFEBVRE H. The urban revolution[M]. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2003.
- [18] LI X, GONG P. Urban growth models: progress and perspective[J]. *Science Bulletin*, 2016, 61(21): 1637-1650.
- [19] LIU L, ANDRIS C, RATTI C. Uncovering cabdrivers' behavior patterns from their digital traces[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2010, 34(6): 541-548.
- [20] MEADOWS D H, GOLDSMITH E, MEADOW P. The limits to growth[M]. London: Macmillan, 1979.
- [21] MERRILL LYNCH. Are you ready for the 2020s? [EB/OL] <https://www.ml.com/articles/preparing-investments-for-2020.html>, 2020-01-03/2020-09-01.
- [22] MUMFORD L. The city in history: its origins, its transformations, and its prospects[M]. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 1961.
- [23] RAMOS H M, MCNABOLA A, P. AMPARO LÓPEZ-JIMÉNEZ, et al. Smart water management towards future water sustainable networks[J]. *Water*, 2019, 12(58): 12.
- [24] RATTI C, CLAUDEL M. The city of tomorrow: sensors, networks, hackers, and the future of urban life[M]. New Haven: Yale University Press, 2016.
- [25] SENSEable City Lab. Friendly cities[EB/OL]. <http://senseable.mit.edu/friendly-cities/>, 2018-06-02/2020-01-01.
- [26] SENSEable City Lab. Tasty data[EB/OL]. <http://senseable.mit.edu/tasty-data/>, 2019-08-11/2020-02-11.
- [27] TOYOTA. TOYOTA woven city [EB/OL]. <https://www.woven-city.global/>, 2020-01-09/2020-07-01.
- [28] UN. WUP2018-Highlights[EB/OL]. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>, 2019-01-01/2020-05-11.
- [29] UNDESA. Global sustainable development report 2019 [EB/OL]. <https://sustainabledevelopment.un.org/globalreport/2019>, 2020-03-11/2020-09-01.
- [30] UNIVERSITY OF MICHIGAN. Mcity joins global alliance focused on advanced mobility testing, standardization [EB/OL]. <https://mcity.umich.edu/mcity-joins-global-alliance-focused-on-advanced-mobility-testing-standardization/>, 2020-06-04/2020-09-01.
- [31] VAN DEN BUUSE D, KOLK A. An exploration of smart city approaches by international ICT firms[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 142(1): 220-234.
- [32] WANG J, WU J, LI Y. The driving safety field based on driver-vehicle-road interactions[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2015, 16(4): 2203-2214.
- [33] WARD D P, MURRAY A T, PHINN S R. A stochastically constrained cellular model of urban growth[J].

- Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24(6): 539-558.
- [34] XING J, WANG S, JANG C, et al. ABaCAS: an overview of the air pollution control cost-benefit and attainment assessment system and its application in China[J]. EM: Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers, 2017.
- [35] XU B, BAN X J, BIAN Y G, et al. Cooperative method of traffic signal optimization and speed control of connected vehicles at isolated intersections[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2019, 20(4): 1390-1403.
- [36] YANG J, SIRI J, REMAIS J, et al. The Tsinghua-Lancet commission on healthy cities in China: unlocking the power of cities for a healthy China[J]. The Lancet, 2018, 391(10135): 2140-2184.
- [37] ZHANG J, WANG F Y, WANG K, et al. Data-driven intelligent transportation systems: a survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2011, 12(4): 1624-1639.
- [38] 北京城市实验室, 腾讯. WeSpace: version 1 [EB/OL]. <https://www.beijingcitylab.com/projects-1/48-wespace-future-city-space/>, 2020-06-18/2020-10-01.
- [39] 陈琨, 杨建国. 智慧交通的内涵与特征研究[J]. 中国交通信息化, 2014(9): 28-30.
- [40] 董宏伟, 寇永霞. 智慧城市的批判与实践——国外文献综述[J]. 城市规划, 2014, 38(11): 52-58.
- [41] 甘惟. 国内外城市智能规划技术类型与特征研究[J]. 国际城市规划, 2018, 33(3): 105-111.
- [42] 顾朝林. 转型发展与未来城市的思考[J]. 城市规划, 2011, 35(11): 23-34+41.
- [43] 互联网医疗健康产业联盟. 5G 时代智慧医疗健康白皮书[EB/OL]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201907/P020190724323587134333.pdf>, 2019-07-01/2020-03-01.
- [44] 黄肇义, 杨东援. 未来城市理论比较研究[J]. 城市规划汇刊, 2001(1): 1-6+79.
- [45] 姜黎辉. 移动健康与智慧医疗商业模式的创新地图和生态网络[J]. 中国科技论坛, 2015(6): 70-75.
- [46] 赖金男. 未来学导论[M]. 新北: 淡江学院出版部, 1978.
- [47] 龙瀛. 颠覆性技术驱动下的未来人居——来自新城市科学和未来城市等视角[J]. 建筑学报, 2020(Z1): 34-40.
- [48] 龙瀛, 郎崑. 新数据环境下的中国人居环境研究[J]. 城市与区域规划研究, 2016, 8(1): 10-32.
- [49] 龙瀛, 罗子昕, 茅明睿. 新数据在城市规划与研究中的应用进展[J]. 城市与区域规划研究, 2018, 10(3): 85-103.
- [50] 龙瀛, 毛其智, 沈振江, 等. 北京城市空间发展分析模型[J]. 城市与区域规划研究, 2010, 3(2): 180-212.
- [51] 龙瀛, 张恩嘉. 数据增强设计框架下的智慧规划研究展望[J]. 城市规划, 2019, 43(8): 34-40+52.
- [52] 任洪波, 刘家明, 吴琼, 等. 城市能源供需体系与空间结构的耦合解析与模式创新[J]. 暖通空调, 2018, 48(1): 83-90.
- [53] 生态环境部环境发展中心. 关于“无废城市”建设试点先进适用技术(第一批)评审结果的公示[M/OL]. [http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/dcsj/zt/yj/201912/t20191203\\_745415.shtml](http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/dcsj/zt/yj/201912/t20191203_745415.shtml), 2019-12-03/2020-09-01.
- [54] 孙宏斌等. 能源互联网[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [55] 孙宏斌, 郭庆来, 潘昭光, 等. 能源互联网: 驱动力、评述与展望[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3005-3013.
- [56] 王笑京, 张纪升, 宋向辉, 等. 国际智能交通系统研发热点[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 36-43.
- [57] 巫细波, 杨再高. 智慧城市理念与未来城市发展[J]. 城市发展研究, 2010, 17(11): 56-60+40.
- [58] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [59] 吴彤. 复杂性范式的兴起[J]. 科学技术与辩证法, 2001(6): 20-24.

- [60] 吴志强, 甘惟. 转型时期的城市智能规划技术实践[J]. 城市建筑, 2018(3): 26-29.
- [61] 邢佳, 王书肖, 朱云, 等. 大气污染防治综合科学决策支持平台的开发及应用[J]. 环境科学研究, 2019, 32(10): 1713-1719.
- [62] 徐婉庭, 张希煜, 龙瀛. 基于手机信令等多源数据的城市居住空间选择行为初探——以北京五环内小区为例[J]. 城市发展研究, 2019, 26(10): 48-56.
- [63] 徐志刚, 李金龙, 赵祥模, 等. 智能公路发展现状与关键技术[J]. 中国公路学报, 2019, 32(8): 1-24.
- [64] 闫婧姣. 探讨环境监测中物联网技术的应用[J]. 农业科技与信息, 2018(2): 32-33+35.
- [65] 杨帆. 大数据如何推动智慧环保落地[J]. 人民论坛, 2019(34): 54-55.
- [66] 尹晨晖, 杨德昌, 耿光飞, 等. 德国能源互联网项目总结及其对我国的启示[J]. 电网技术, 2015, 39(11): 3040-3049.
- [67] 周向红, 赵雅楠, 刘琼. 国外面向需求侧的智慧医疗案例研究[J]. 智慧城市评论, 2017(2): 65-72.
- [68] 周艳, 顾磊宏, 黄华. 智慧城市标准化进展及典型案例分析[C]//中国标准化协会. 标准化改革与发展之机遇——第十二届中国标准化论坛论文集. 北京: 中国标准化协会, 2015: 1047-1052.

#### [欢迎引用]

- 武廷海, 宫鹏, 郑伊辰, 等. 未来城市研究进展评述[J]. 城市与区域规划研究, 2020, 12(2): 5-27.
- WU T H, GONG P, ZHENG Y C, et al. Review on the progress of future city research [J]. Journal of Urban and Regional Planning, 2020, 12(2): 5-27.