

# 三元融合智慧城市的发展趋势解读

## Interpretation on Cyber-Physical-Social Integrating Trend of Smart City

刘 泉 李 昊 钱征寒 LIU Quan, LI Hao, QIAN Zhenghan

**摘 要** 智慧城市将形成信息维度、社会维度和物理维度三元融合发展趋势。这一论述来源于信息通信技术领域的认识,且广泛影响到信息通信技术领域、社会发展领域和城市空间规划领域。3个领域对智慧城市三元融合趋势具有共同的内涵解读,但关注重点并不相同。智慧城市三元融合趋势的论述可从两个方面来认识:一是这一趋势反映了技术哲学中“我—技术—世界”基本关系;二是城市规划建设始终处于“社会—技术—空间”相互作用的维度中,而智慧城市三元融合趋势则是城市发展演变的新阶段。总体上,这一趋势设想符合城市规划理论的发展规律,能够在规划历史脉络中得到解释。最后,从空间维、操作维和技术维3个向量提出基于三元融合趋势的智慧城市规划总体框架。

**Abstract** The development of smart cities will form a trend of cyber-physical-social integration. This discussion comes from the field of information and communication technologies (ICTs), and mainly affects ICTs, social development and urban planning. The three fields have a common interpretation of the cyber-physical-social integrating trend of the smart city but different explanations and countermeasures. The trend of smart cities can be recognized from two aspects. Firstly, this trend reflects the basic relationship of the "I-technology-world" in technology philosophy. Secondly, urban planning and construction have always been in the social-technological-spatial interaction, and the cyber-physical-social integration of the smart city is a new stage of urban evolution. This trend conforms to the development law of urban planning theory and can be explained in the context of planning history. Finally, the paper proposes the framework of smart cities' cyber-physical-social integration from three aspects of technology, operation and physical space.

**关键词** 未来城市;三元空间;三元维度;人—信息—物理系统;总体框架;行动规划

**Key words** future city; cyber-physical-social space; cyber-physical-social dimension; human-cyber-physical system; overall framework; action planning

文章编号 1673-8985 (2023) 04-0070-08 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20230411

### 作者简介

#### 刘 泉

深圳市麓奥规划设计咨询股份有限公司  
副总规划师,智慧城市与未来社区实验室主任  
高级工程师,硕士

#### 李 昊(通信作者)

中规院(北京)规划设计有限公司  
高级工程师,硕士, 123541153@qq.com

#### 钱征寒

深圳市麓奥规划设计咨询股份有限公司  
副总经理,总规划师,研发总监  
高级工程师,博士

智慧技术对城市发展建设的影响已经显现,既涉及城市整体层面的建设与运行,也关系到居民个体生活的方方面面。在这一背景下,城市的发展理念、空间结构和建造形态将发生新的变化<sup>[1]43, [2]11, [3]18, [4]36, [5]1183, [6]47</sup>,智慧城市 (smart city) 成为发展趋势。针对未来智慧城市会如何演变,部分学者提出其将对

城市的认知理解呈现从物理维度和社会维度的二元结构发展为信息维度、物理维度和社会维度三元融合的新趋势<sup>[7]2, [8]171, [9]</sup>。

三元融合智慧城市趋势的论述主要来源于信息通信技术 (ICTs) 视角的认识,影响到技术、社会和空间3个方面,逐步被城市规划专业所接受。这一趋势在城市规划领域影响广

注释: ① 如潘云鹤、郭仁忠等人称这一结构为三元“世界”或三元“空间”。为避免上述论述中的“空间”概念与城市规划领域的“空间”概念形成混淆,本文将其表述为“三元维度”。

泛,涉及城市运营管理<sup>[9]</sup>、<sup>[10]</sup><sup>[156]</sup>、<sup>[11]</sup><sup>[132]</sup>、区域规划<sup>[12]</sup><sup>[408]</sup>、<sup>[13]</sup><sup>[28]</sup>、城市规划<sup>[3]</sup><sup>[23]</sup>、<sup>[4]</sup><sup>[34]</sup>、<sup>[5]</sup><sup>[1177]</sup>、<sup>[6]</sup><sup>[47]</sup>、<sup>[14]</sup><sup>[21]</sup>、城市设计<sup>[15]</sup>、<sup>[16]</sup><sup>[6]</sup>、<sup>[17]</sup>、<sup>[18]</sup><sup>[97]</sup>和交通规划<sup>[19-20]</sup>等不同方面,但城市规划研究中对三元融合智慧城市趋势的系统论述较为不足。因此,有必要对三元融合理念和趋势的发展脉络进行梳理,从技术哲学的基本关系和智慧城市的发展趋势两个视角来综合解读,并探索智慧城市规划总体框架的构建思路。

### 1 智慧城市三元融合趋势论述

三元融合智慧城市的趋势是指在智慧技术应用的背景下,城市从物理维度和社会维度的二元结构发展为信息维度、物理维度和社会维度相融合的新趋势。这一趋势的理论基础主要来源于计算机技术领域关于人、机、物关系的探讨,向上可以追溯到技术哲学中“我—技术—世界”关系的论述<sup>[18]</sup><sup>[97]</sup>、人机工程学(ergonomics)或人体工学对人机系统(man-machine systems)的研究<sup>[21]</sup>以及科学方法、生态学或时间地理学中的“社会—自然—技术”综合体系的研究<sup>[22-23]</sup>,并在城市规划领域得到融合拓展(见图1)。

#### 1.1 三元融合趋势的信息通信技术论述起源

在计算机和工程技术领域,美国于2007年提出信息物理系统(CPS: Cyber-Physical System),探讨信息维度与物理维度的联系,一时间成为工程技术领域智能系统研究的重要方向。这一系统被认为是德国工业4.0的核心。信息物理系统强调信息通信技术与物理环境的二元联系,人被作为不可预测的元素来认知,而被放在控制回路的外部<sup>[24]</sup>。

CPS理论存在与人及社会环境连接薄弱的问题,信息领域、物理领域如何与社会领域进一步结合,需要提出更为完善的框架系统。针对这一问题,中科院在2009年总结信息技术趋势时提出应重视人、机、物三元融合计算的理念。李国杰等<sup>[25]</sup>提出信息技术是未来15—20年新经济的主要动力,其中,人、机、物融合的智能技术是未来社会最有引领性的新

技术。

随着信息技术的迅速发展,未来的重要方向之一是将计算从单纯的信息空间一元运算过渡到人、机、物三元融合计算,即融合信息空间(cyber space)、物理世界(physical world)与人类社会(human society)的普惠计算(computing for the masses)<sup>[26]</sup>。王飞跃<sup>[27]</sup>于2010年4月在国际会议特邀报告(IEEE AINA 2010)中提出构建信息物理社会系统(CPSS: Cyber-Physical-Social System),即在信息物理系统的基础上,进一步纳入社会信息、虚拟空间的人工系统信息,将研究范围扩展到社会网络系统。

这种基于信息通信技术发展形成的三元融合趋势论述被应用到多个领域。在智能制造领域,周济等<sup>[28]</sup><sup>[624]</sup>、<sup>[29]</sup>对技术发展范式进行了总结,分析制造的技术机理正在从传统制造阶段的“人—物理系统”向数字化制造、数字化网络化制造阶段的“人—信息—物理系统”

(HCPS: Human-Cyber-Physical System)融合的新一代智能制造技术机理转型。这一概念也以SCPS(Social-Cyber-Physical-Systems)或CPST(Cyber-Physical-Social-Thinking)等其他名称被讨论<sup>[30]</sup>。

#### 1.2 智慧城市三元融合趋势的3个视角

三元融合趋势在技术领域形成了多方面的拓展,逐步影响到智慧城市领域,受到相关研究实践的关注,主要可以从技术、社会和空间3个视角来进行观察。

##### 1.2.1 技术视角

智慧城市领域的三元融合趋势较早由信息通信技术视角的研究提出。2014年,潘云鹤<sup>[71]</sup>、<sup>[8]</sup><sup>[171]</sup>提出,城市发展从过去的二元空间升级为现在的三元空间。其中,第一元空间指“物理空间”,第二元空间指“人类社会空间”,第三元空间指“赛博空间”,即计算机、互联网及其“数据信息”。吴志强、郭仁忠<sup>[9]</sup>也对这一



图1 智慧城市的三元融合趋势及影响  
Fig.1 Cyber-physical-social integration and influences of smart city

资料来源:笔者自绘。

概念提出了相应的论述。

克里斯托斯·卡桑德拉斯<sup>[10][158]</sup>认为CPS不应仅仅局限在信息系统和物理系统的融合上,而是需要将理解和尊重人类行为作为重要组成,智慧城市应该基于“信息物理—社会系统”(Cyber-Physical Social Systems)进行构建。宋懿等<sup>[11][130]</sup>在对现有的智慧城市定义进行统计研究之后,提出智慧城市系统是由人的系统、数据/信息的系统、数字的系统及物理的系统组成。

### 1.2.2 社会视角

在社会发展领域,针对习近平关于“智慧社会”的论述,中国电子学会(CIE, The Chinese Institute of Electronics)智库将其解读为以人、机、物三元融合为特征的社会,并参照日本“超智慧社会”(也称社会5.0, Society 5.0)概念进行对比解读,提出智慧社会的核心是提供智慧型服务,涉及人与人、人与物(如智能机器人)以及人与环境的交互,最终融合人类社会、物理世界与信息世界,实现智慧社会三元融合<sup>[31]</sup>。

相关学者从不同视角对三元融合社会进行了研究,如甘中学<sup>[32]</sup>提出人、机、物三元连接促进生活方式、生产方式和思维方式发生改变,未来将形成人、机、物协同的三元群智社会。景轩等<sup>[33]</sup>研究了CPS的社会化特点,提出社会信息物理生产系统的概念,将人类社会和智能体社会相融合。部分学者结合具体空间实践,提出落实三元融合社会模式的建议,如潘教峰<sup>[5][162]</sup>认为以人为本的人、机、物三元融合社会正在兴起,建议以雄安为载体,探索人、机、物三元融合社会下的未来城市新形态。

### 1.2.3 空间视角

在城市规划领域,智慧城市的内涵包括两个方面:一是较为广义的概念,其内涵在理论上来源于精明增长(smart growth)理论,智慧(smart)一词并不是针对狭义的智能技术,而是指“智慧地”发展城市之义;二是较为狭义的概念,强调信息技术发展对城市的作用和影响<sup>[4][34], [12][407], [14][21], [34]</sup>,以实现城市的智

慧管理与发展。

较为直观地说,传统的城市空间依赖于人对物质环境的直接感知,而信息时代的人对物质环境的感知很大程度上将转为数字化的信息记录。目前,相关研究重视三元融合理念,如安东尼·汤森<sup>[35]</sup>提出,智慧城市是信息技术与基础设施、建筑、日常物品甚至我们的身体相结合进而解决社会、经济和环境问题的地方。尼克斯·可姆尼诺斯<sup>[2][162]</sup>提出智慧城市的3个构件——都市、创新、数字化,也可以理解为物理维度、社会维度与信息维度的结合。

### 1.3 三元融合趋势的认识

总体来看,不同维度的研究虽然存在视角上的差异化论述,但也形成了共性的认知,主要包括:

一是不同领域均注意到了城市发展中以信息技术为主的新技术正在发挥越来越重要的价值,成为城市发展中的独立维度,城市发展正在从二元维度走向三元维度。

二是智慧城市3个维度的相互影响越来越强,存在逐渐融合的趋势。

三是三元融合的发展趋势体现在不同尺度和层面,不仅涉及城市整体层面的系统变化,也涉及人的微观尺度的具体调整。

四是融合后的结构整体对不同领域均会形成反馈,促进不同维度的进一步发展。

## 2 三元融合趋势论述在智慧城市规划中的影响

技术领域的三元融合趋势是指基于信息维度与物理维度的二元结构向社会维度映射而形成的新趋势,即从CPS到CPSS;而城市规划领域的三元融合是基于社会维度与物理维度的二元结构向信息维度结合而形成的新趋势,即从PSS(Physical-Social Systems)到CPSS。论述视角各不相同,但均说明了城市空间作为物理载体的基础作用。受到智慧城市概念复杂性的影响,智慧城市规划的内涵也比较丰富,主要涉及两个方面:一是智慧城市的规划,二是智慧的城市规划,二者密切

相关<sup>[4][37], [36][46]</sup>。本文涉及两个方面的论述,但更多是指前一种认识,面向智慧城市发生的三元融合等新变化趋势,规划工作形成的新理念新方法,即智慧城市的规划。社会、技术和空间领域需要进一步融合,从而促进城市整体的智慧化发展和城市空间规划的智慧化发展。三元融合既影响到数字孪生城市建设<sup>[37]</sup>,也影响到空间规划领域的不同方面。

在地理信息和区域规划方面,甄峰等<sup>[12][408]</sup>提出,将技术、人文与空间结合起来,运用人文思想去促进技术整合与协调是智慧城市规划与建设的核心所在。林浩嘉等<sup>[13][28]</sup>基于三元维度的认识,以广东为例,从交通建设、信息化和创新力3个方面对城市三元维度的发展水平特征及耦合关系进行研究与评价。

在城市规划方面,龙瀛等<sup>[38-40]</sup>针对城市空间变化进行研究,总结技术、生活方式与城市空间相互影响的演进历程,并在城市设计、公共空间创新和城市更新改造等方面进行尝试探索;王鹏等<sup>[41]</sup>研究信息空间作用于物理空间和社会空间的方式,提出未来城市体系构建的方法;伍蕾等<sup>[42]</sup>总结了新兴技术、人与城市空间的关系,探索技术与以人为本理念下未来城市的空间发展模式;刘泉<sup>[6][48]</sup>基于相关研究提出,智慧城市在空间上将表现为三元融合的社区化结构(见图2);甄峰等<sup>[36][47]</sup>将智慧城市规划框架总结为“人—技术—空间”一体的模式;吴志强等<sup>[43]</sup>提出空间、技术与规划的三元提升螺旋模型。

在城市设计与社区规划建设方面,袁烽<sup>[15]</sup>基于对人、自然和技术三元世界的认识,探索具有融合特征的参数化设计方法;张恩嘉等<sup>[16][6]</sup>尝试将数字创新手段与传统空间设计相融合;刘泓志<sup>[17]</sup>基于三元融合的视角,探讨空间场所和场景的设计方法,并以上海大创智—五角场区域为对象进行设计实践。在社区规划实践中,浙江未来社区9大场景包含了生态化、人本化和数字化3个基础<sup>[44]</sup>。新加坡未来社区的建设则强调空间、技术和行为3大要素缺一不可<sup>[45]</sup>。刘泉等<sup>[46-47]</sup>认为智慧城市场景设计与TOD规划也存在三元融合的特征。

在交通规划及防灾规划领域,葛天任等<sup>[20]23</sup>借鉴杨东援<sup>[19]2</sup>在城市交通领域的“三元空间”论述,提出结合智慧技术,构建跨学科的城市交通治理体系,重视区域交通一体化、技术创新、未来交通发展模式、风险应急管理、公平治理等未来城市交通治理的5大核心议题。夏陈红等<sup>[48]</sup>在基于智慧技术的综合防灾规划体系框架研究中,提出从信息化建设、规划建设和制度规范3个方面构建总体框架。

基于上述梳理可以发现,智慧城市规划呈现以下特点:一是智慧城市三元融合的发展理念与趋势已体现在城市规划不同领域的探索中;二是城市物质空间及相关系统作为容纳技术创新与社会变化的容器,如何变化越来越受到重视;三是基于上述变化,规划方法的创新探索成为体现三元融合价值的重要方向,但不同研究中,对三元维度的具体内容和方向存在一定的理解差异。

### 3 智慧城市三元融合趋势的认识

关于为什么三元融合趋势在智慧城市建设中影响如此广泛,主要原因在于以下两个方面:一是这一趋势反映了技术哲学中“我—技术—世界”的基本关系;二是城市规划建设始终处于“空间—技术—社会”相互作用的维度中,而智慧城市三元融合趋势是城市发展演变的新阶段,符合城市规划理论的发展规律,能够在规划历史脉络中得到解释。

#### 3.1 三元融合趋势反映了技术哲学中“我—技术—世界”基本关系

智慧城市三元融合的趋势得到不同领域的广泛认同,并非是某种巧合,而是反映了技术哲学的本质论述,即社会、技术和空间的三元关系是“我—技术—世界”基本关系的一种表现<sup>[18]97</sup>。技术哲学的视角认为,在人类社会中,人并不是直接与客观世界发生关系,而是依托技术形成人与客观世界的联系<sup>[49]</sup>。人类社会本身即社会、技术和空间相互影响的三元结构,世界以文化、技术和物质3种形式表现出来。刘易斯·芒福德<sup>[50]</sup>提出技术是创造性的推动力量,是介于自然和人类艺术之间的第3种状态。

在智慧城市的宏观层面,三元融合趋势即“我—技术—世界”关系在城市尺度上的反映,如甘中学<sup>[32]45</sup>对人、机、物协同的三元群智社会的认知等;龙瀛等<sup>[40]63</sup>对“新兴技术、人和城市空间”关系的描述。在微观层面,皮埃罗·斯加鲁菲等<sup>[51]</sup>认为在人与客观世界之间,科技发挥了重要而具体的作用,包括消长、延伸和倒置等方面。技术要素可以理解为在人与客观世界中促进三元融合的重要媒介。在以往城市发展过程中,三元维度关系表现为物理空间与社会生活之间依靠传统技术形成的直接联系。而在智慧城市阶段,智慧城市利用信息技术使物理空间与社会生活之间的联系更加高效,功能混合和空间优化等目标更易实现,城市也能够对复杂而个性化的社会需求做

出更加充分和迅速的回应(见图3)。

#### 3.2 智慧城市三元融合趋势是城市“社会—技术—空间”维度结构的新阶段

从城市规划建设历史来看,对理想城市模型的探索大多会依托新技术的支撑,描绘在新技术条件下未来城市理想的发展方式及生活场景,并将这种联系落实在城市空间规划模式上(见图4)。规划领域本身就强调技术、社会与空间3个维度相互作用对城市空间变化的复合影响。技术发展对于城市空间的演化至关重要,不同时期的技术发展带来社会变革,促进生产生活方式变化,从而使城市空间发展出新的形态。

然而,以往的“技术”位于“我”与“世界”之间。而在智慧城市建设阶段,“信息维度”的发展越来越重要,从“社会维度”和“空间维度”的二元结构中脱离出来,成为新的维度,然后又与这两个维度融为一体,构成三元融合的新趋势。总体上,技术发展进入信息技术主导的新阶段,社会发展走向创新型社会和智慧社会的新趋势。相对地,城市发展进入智慧城市阶段。当前的三元融合智慧城市包含低碳生态城市、TOD、新城市主义等以往诸多城市规划建设理念,结合智慧技术形成趋同的共性价值观。

### 4 三元融合视角下智慧城市规划的总体框架思考

近年来,三元融合趋势对智能制造领域产生很大影响。在技术机理上,智能制造领域利用信息技术的发展,建立了“人—智慧技术—制造系统”的三元融合关系,“HCPS揭示了智能制造的技术机理,也构成了智能制造的技术体系”<sup>[28]624</sup>。借鉴智能制造领域的方法,在总体城市规划层面探讨三元融合视角下智慧城市规划的总体框架。这一框架并非狭义上智慧城市信息系统的总体框架,而是基于城市规划视角借鉴智能制造领域研究“实现架构”<sup>[28]632</sup>而形成更加复合的工作框架,包括技术维、操作维和空间维3个向量。

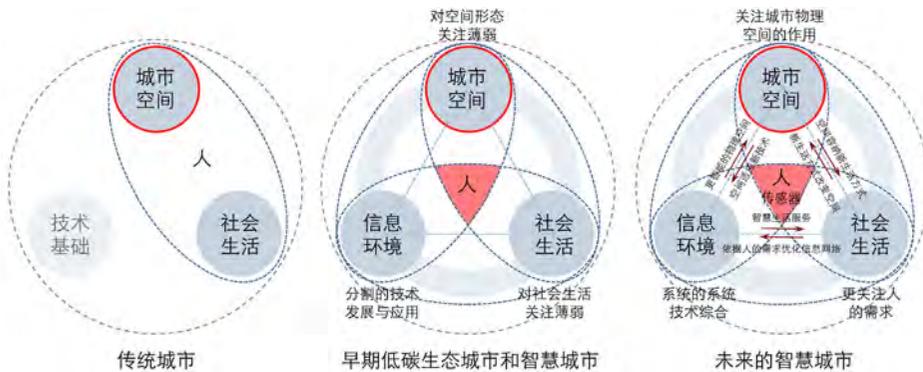


图2 智慧城市的三元融合演变  
Fig.2 Cyber-physical-social integration evolution of smart city

资料来源:参考文献[6]42-50。

在智慧技术应用背景下,智慧城市规划的技术维具有从依赖于空间规划设计与建造技术的本体技术形成的本体结构(“规划操作—城市空间”)向赋能技术与本体技术结合的赋能结构(“规划操作—智慧技术—城市空间”)发展的趋势;操作维具有从终极蓝图式的规划设计方案向时间、财力和组织综合考虑的目标谋划、路径策划、空间规划和行动计划相结合,并进一步融合智慧技术服务的空间规划建设顶层设计模式发展的趋势;空间维具有从中心化结构与功能分区向去中

心化的复杂系统与功能混合的单元化结构发展的趋势(见图5)。

### 4.1 技术维

智慧城市规划将向赋能技术与本体技术结合的赋能结构发展,这需要不同专业领域的相互协作。CPS与CPSS或HCPS的差异在于区分人是在系统内还是系统外,而三元融合论述的核心是以人为中心。这一点既体现在智能制造领域<sup>[28]624</sup>,也反映在智能社会领域<sup>[31]</sup>。三元融合趋势由信息通信技术领

域的专家提出恰恰说明了在智慧城市阶段,信息技术、城市规划和社会科学等不同专业领域具有相互结合渗透的趋势特征。不同专业领域的相互协作将推动智慧城市规划建设的有效实施。未来城市将是城市规划师、设计师、社会工作者和跨国计算巨头的合作<sup>[1]30</sup>。智慧城市规划将不再局限于空间规划设计的单一领域,而需要不同背景技术主体的统筹协调和融合发展,才能真正实现城市智慧发展目标(见图6)。

### 4.2 操作维

当前的城市规划理论正在从以往的静态蓝图式规划向动态规划、更新规划和行动规划的理念和方法转变。王富海<sup>[52]</sup>提出的行动规划是在传统城市空间规划点、线、面的空间三维基础上,增加了时间、财力和组织的操作三维,从而提出目标谋划、路径策划、空间规划和行动计划的内容体系。智慧城市规划总体框架更多是以“信息化架构设计”为主,忽视了城市规划在智慧城市发展过程中的引领作用<sup>[53]</sup>。智慧城市不是一个具体的信息化工程项目,应该是技术创新与城市发展深度融合的过程<sup>[54]</sup>。在智慧城市阶段,结合智慧技术的变化和需要,行动规划的方法也将出现新的变化。城市规划领域的智慧城市顶层设计更多是指利用智慧技术,使城市规划建设更加广义的工作组织和行动安排变得更加智慧高效。如大数据的应用和智慧城市管理运行系统将使对城市时间、财力和组织的操作

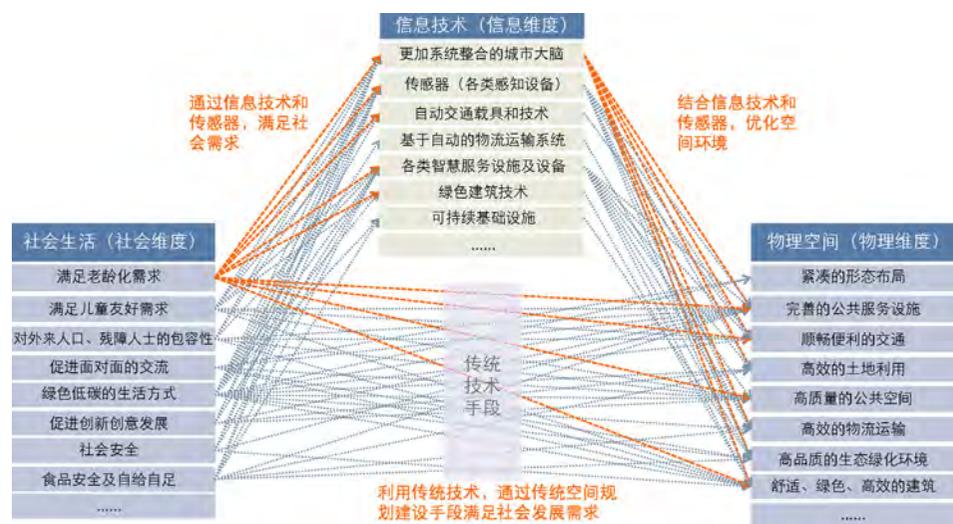


图3 信息环境在智慧城市中的作用  
Fig.3 The function of intelligent environment in smart city

资料来源:笔者自绘。

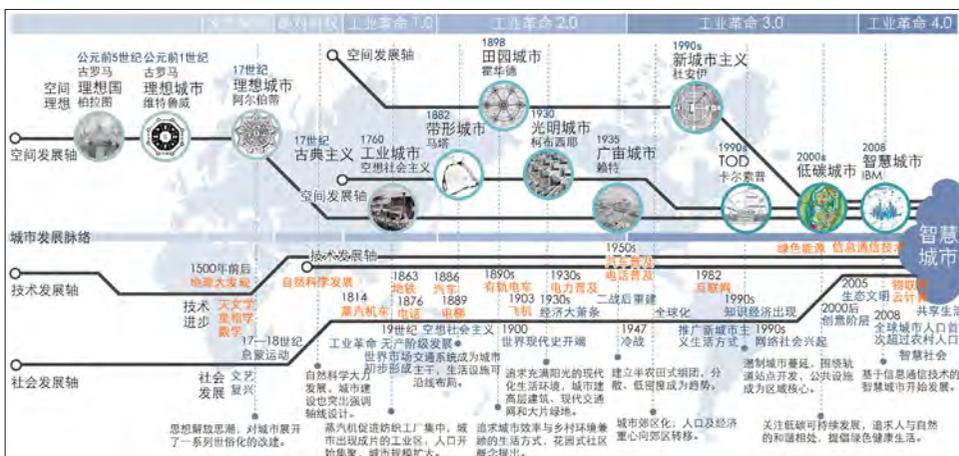


图4 城市规划建设历史进程中的三元维度  
Fig.4 Cyber-physical-social dimension in urban planning and construction history

资料来源:笔者自绘。

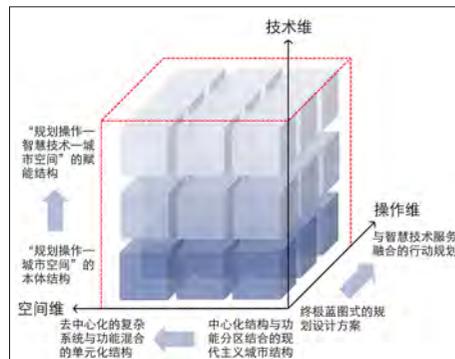


图5 智慧城市规划的总体框架  
Fig.5 The framework of smart city planning

资料来源:笔者自绘。

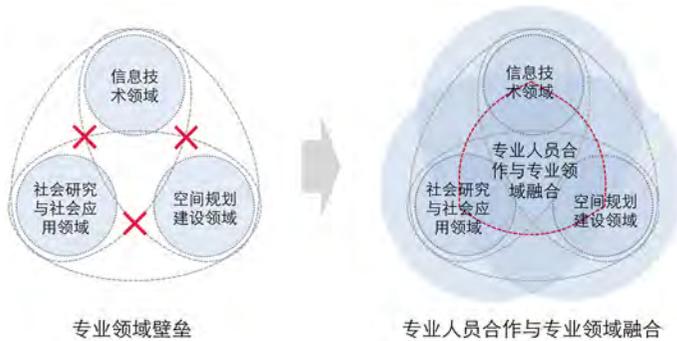


图6 智慧城市规划的专业技术融合

Fig.6 The professional technology integration of smart city planning

资料来源:笔者自绘。

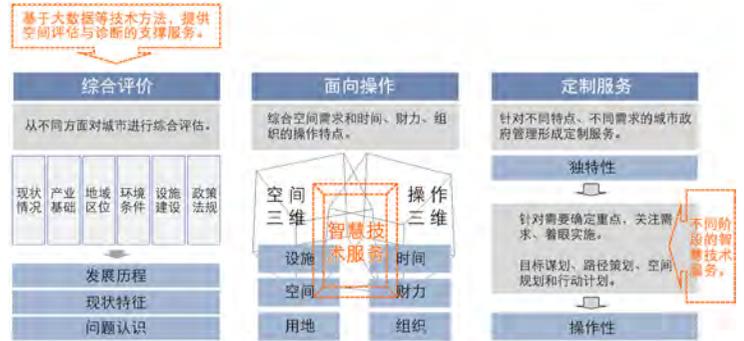


图7 智慧城市规划的操作组织

Fig.7 The operation and organization of smart city planning

资料来源:笔者自绘。

三维评价更加精确;空间诊断与评估的方法将使城市规划建设在目标谋划、路径策划、空间规划和行动计划不同阶段得到更加精确的数据评价支持(见图7)。

### 4.3 空间维

智慧城市规划将向去中心化的复杂系统与功能混合的单元化结构发展。智慧城市具有开放性复杂系统特征,结合智慧城市空间演化的研究论述,智慧城市应该具有三元维度融合的社区化和单元化结构<sup>[6]47</sup>。在三元融合趋势的共同论述上,智慧制造与智慧城市的技术机理是相通的。借鉴智能制造领域的相关研究<sup>[28]633</sup>,智慧城市可以分为系统级三元融合空间结构和单元级三元融合空间结构两个层次。智慧社区单元甚至更小的智慧街区单元成为构建智慧城市的基本空间单元,是单元级三元融合空间结构,成为实现三元融合模式的基础,是实验智慧服务、体现架构迭代的重要空间单元载体;智慧城市整体则是系统级三元融合空间结构,是融合智慧物流、智慧交通、智慧公共服务等系统融合的空间系统。人、智慧社区与智慧城市通过云平台实现交互,并与各类研发创新形成交互反馈,构成智慧城市整体空间模式(见图8)<sup>②</sup>。

## 5 结语

智慧城市的信息维度、社会维度和物理维度三元融合趋势最先于信息通信技术领域提出。虽然相比于社会维度和物理维度,信息

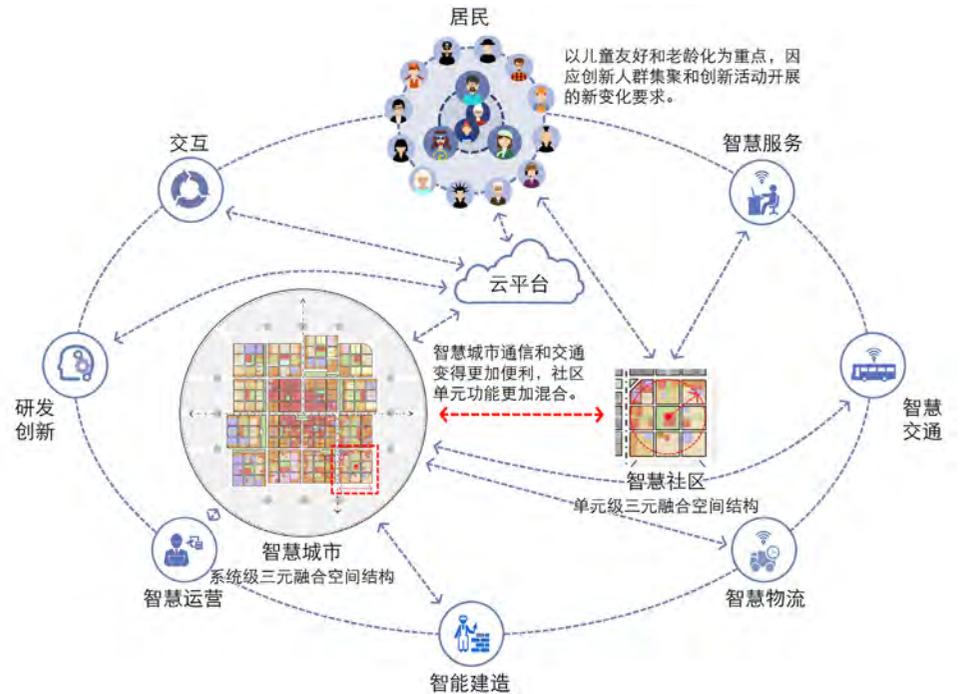


图8 智慧城市规划的空间结构

Fig.8 The spatial structure of smart city planning

资料来源:笔者根据参考文献[28]633智能制造领域理念绘制。

维度是一个新鲜事物,但回到城市规划发展和人类社会演变的历史来看,技术发展、社会变革和空间演化三者相互影响,共同推动城市建设发展则是一个长期存在的关系。三元维度融合结构并没有超出历史发展所提供的已知经验范畴,而可以看作是技术哲学中“我一技术—世界”基本关系的一种表现。这一结构符合城市规划理论的发展规律,信息维度的形成即技术发展在智慧城市时期的阶段变化。

三元维度融合智慧城市所描绘的发展愿景也与城市规划领域一直努力想要达成的理想目标相一致,如功能混合、人性空间、紧凑开发、低碳生态等目标,在智慧技术的应用基础上,将更有条件达成。可以说,信息技术的迅速发展并没有从根本上挑战城市规划理论的论述,而是为城市规划进一步趋向理想发展模式提供了智慧化的新工具和新手段,从而推动城市进一步向智慧化发展演变。<sup>③</sup>

注释: ② 原图来源于参考文献[28]633针对三元融合的智能制造体系插图。智能制造领域对三元融合趋势的认识更加清晰,这种认识借鉴进入城市规划领域,具有较为重要的启发。

## 参考文献 References

- [1] 拉蒂 C, 克劳德尔 M. 智慧城市[M]. 赵磊, 译. 北京: 中信出版集团, 2019.  
RATTI C, CLAUDEL M. The city of tomorrow: sensors, networks, hackers, and the future of urban life[M]. ZHAO Lei, translate. Beijing: CITIC Press Corporation, 2019.
- [2] 可姆尼诺斯 N. 智慧城市: 智能环境与全方位创新策略[M]. 夏天, 译. 北京: 机械工业出版社, 2016.  
KOMNINOS N. The age of intelligent cities: smart environments and innovation-for-all strategies[M]. XIA Tian, translate. Beijing: China Machine Press, 2016.
- [3] 昆兹曼 K. 智慧城市发展中的城市挑战和负面影响[J]. 于睿智, 唐燕, 译. 城市设计, 2017 (6): 18-29.  
KUNZMANN K. Urban challenges and darker sides of smart city development[J]. YU Ruizhi, TANG Yan, translate. Urban Design, 2017(6): 18-29.
- [4] 丁国胜, 宋彦. 智慧城市与“智慧规划”——智慧城市视野下城乡规划展开研究的概念框架与关键领域探讨[J]. 城市发展研究, 2013 (8): 34-39.  
DING Guosheng, SONG Yan. Smart city and smart planning: discussion on the conceptual framework and key areas for urban and rural planning from the perspective of smart city[J]. Urban Development Studies, 2013(8): 34-39.
- [5] 潘教峰. 新科技革命与三元融合社会——关于雄安新区建设的宏观思考[J]. 中国科学院院刊, 2017 (11): 1177-1184.  
PAN Jiaofeng. New science and technology revolution and ternary fusion society: macroscopic views on Xiongan New Area construction[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017(11): 1177-1184.
- [6] 刘泉. 奇点临近与智慧城市对现代主义规划的挑战[J]. 城市规划学刊, 2019 (5): 42-50.  
LIU Quan. Singularity approaching and the challenge of smart city to modernism urban planning[J]. Urban Planning Forum, 2019(5): 42-50.
- [7] 潘云鹤. 世界的三元化和新一代人工智能[J]. 现代城市, 2018 (1): 1-3.  
PAN Yunhe. The human world, cyber world and physical world & the new generation of AI[J]. Modern City, 2018(1): 1-3.
- [8] PAN Y, TIAN Y, LIU X, et al. Urban big data and the development of city intelligence[J]. Engineering, 2016(2): 171-178.
- [9] 郭仁忠. GIS与三元世界的智慧转型[EB/OL]. (2019-07-19) [2023-07-26]. <http://www.3snews.net/column/252000048615.html>.  
GUO Renzhong. GIS and intelligent transformation of cyber-physical-social world[EB/OL]. (2019-07-19) [2023-07-26]. <http://www.3snews.net/column/252000048615.html>.
- [10] CASSANDRAS C. Smart cities as cyber-physical social systems[J]. Engineering, 2016(2): 156-158.
- [11] 宋懿, 安小米. 国际标准中的智慧城市概念及其概念体系: 基于ISO, ITU-T和IEC术语定义的分析[J]. 标准研究, 2018 (1): 127-132.  
SONG Yi, AN Xiaomi. Analysis on the concepts and conceptual systems of smart city in international standards based on terminology definitions of ISO, ITU-T and IEC[J]. Standard Science, 2018(1): 127-132.
- [12] 甄峰, 席广亮, 秦萧. 基于地理视角的智慧城市规划与建设的理论思考[J]. 地理科学进展, 2015 (4): 402-409.  
ZHEN Feng, XI Guangliang, QIN Xiao. Smart city planning and construction based on geographic perspectives: some theoretical thinking[J]. Progress in Geography, 2015(4): 402-409.
- [13] 林浩嘉, 郭仁忠. 城市三元空间发展水平的特征及耦合关系研究——以广东省为例[J]. 地理信息世界, 2019 (4): 28-37.  
LIN Haojia, GUO Renzhong. The characteristics and coupling relationship of urban ternary space development: a case study of Guangdong Province[J]. Geomatics World, 2019(4): 28-37.
- [14] 张纯, 李蕾, 夏海山. 城市规划视角下智慧城市的审视和反思[J]. 国际城市规划, 2016 (1): 19-25.  
ZHANG Chun, LI Lei, XIA Haishan. Reflections on smart city from urban planning perspective[J]. Urban Planning International, 2016(1): 19-25.
- [15] 袁烽. 后人文数字建造未来[EB/OL]. (2021-06-16) [2023-07-16]. <https://mp.weixin.qq.com/s/3cgcbb-z7xQip34MShx8Ssw>.  
YUAN Feng. Post human and digital built future[EB/OL]. (2021-06-16) [2023-07-16]. <https://mp.weixin.qq.com/s/3cgcbb-z7xQip34MShx8Ssw>.
- [16] 张恩嘉, 龙瀛. 空间干预、场所营造与数字创新: 颠覆性技术作用下的设计转变[J]. 规划师, 2020 (21): 5-13.  
ZHANG Enjia, LONG Ying. Spatial intervention, place making and digital innovation: design transformation driven by disruptive technologies[J]. Planners, 2020(21): 5-13.
- [17] 刘泓志. 数字化驱动下的城市新空间与新场景[EB/OL]. (2021-05-31) [2023-07-26]. <https://mp.weixin.qq.com/s/dackabPm8tKFYovKN548JQ>.  
LIU Hongzhi. New urban space and new scene driven by digitization[EB/OL]. (2021-05-31) [2023-07-26]. <https://mp.weixin.qq.com/s/dackabPm8tKFYovKN548JQ>.
- [18] 刘泉, 钱征寒, 黄丁芳, 等. 15分钟生活圈的空间模式演化特征与趋势[J]. 城市规划学刊, 2020 (6): 94-101.  
LIU Quan, QIAN Zhenghan, HUANG Dingfang, et al. The characteristics of spatial pattern evolution and the trend of the 15-minute life circle[J]. Urban Planning Forum, 2020(6): 94-101.
- [19] 杨东援. 顺应发展阶段变化的城市交通对策体系变革[J]. 交通与运输, 2018 (4): 1-3.  
YANG Dongyuan. Reform of urban traffic counter-measure system conforming to the developing change[J]. Traffic & Transportation, 2018(4): 1-3.
- [20] 葛天任, 段苏焱, 骆晓. 跨学科的城市交通治理体系研究[J]. 城市交通: 2021 (3): 18-30.  
GE Tianren, DUAN Sutan, LUO Xiao. Interdisciplinary research on urban transportation governance[J]. Urban Transport of China, 2021(3): 18-30.
- [21] 卢兆麟, 汤文成. 工业设计中的人机工程学理论、技术与应用研究进展[J]. 工程图学学报, 2009 (6): 1-9.  
LU Zhaolin, TANG Wencheng. Review on theory, technology and application research of ergonomics in industrial design[J]. Journal of Graphics, 2009(6): 1-9.
- [22] 郭明哲, 董晓洁. 自然、技术、社会——萨克森生态哲学思想探究[J]. 理论月刊, 2014 (1): 50-54.  
GUO Mingzhe, DONG Xiaojie. Nature, technology and society: a probe into Saxony's ecological philosophy[J]. Theory Monthly, 2014(1): 50-54.
- [23] 张艳, 柴彦威. “新”时间地理学——瑞典Kajsa团队的创新研究[J]. 人文地理, 2016 (5): 19-24, 46.  
ZHANG Yan, CHAI Yanwei. "New" time-geography: a review of recent progresses of time-geographical researches from Kajsa Ellegard in Sweden[J]. Human Geography, 2016(5): 19-24, 46.
- [24] SCHIRNER G, ERDOGMUS D, CHOWDHURY K, et al. The future of human-in-the-loop cyber-physical systems[J]. Computer, 2013(1): 36-45.
- [25] 李国杰, 徐志伟. 从信息技术的发展态势看新经济[J]. 中国科学院院刊, 2017 (3): 233-238.  
LI Guojie, XU Zhiwei. Judging new economy from perspective of information technology trend[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017(3): 233-238.
- [26] 徐志伟, 谢毅, 海沫, 等. 人机物三元计算中的通用计算账户与个人信息资产代数[J]. 计算机研究与发展, 2013 (6): 1135-1146.  
XU Zhiwei, XIE Yi, HAI Mo, et al. Universal compute account and personal information asset algebra in human-cyber-physical ternary computing[J]. Journal of Computer Research and Development, 2013(6): 1135-1146.
- [27] WANG F. The emergence of intelligent enterprises: from CPS to CPSS[J]. IEEE Intelligent Systems, 2010(4): 85-88.
- [28] ZHOU J, ZHOU Y, WANG B, et al. Human-Cyber-Physical Systems (HCPSs) in the context of new-generation intelligent manufacturing[J]. Engineering, 2019(4): 71-97.
- [29] 王柏村, 臧冀原, 屈贤明, 等. 基于人一信息一物理系统 (HCPS) 的新一代智能制造研究[J]. 中国工程科学, 2018 (4): 29-34.  
WANG Baicun, ZANG Jiyuan, QU Xianming,

- et al. Research on new-generation intelligent manufacturing based on human-cyber-physical systems[J]. *Strategic Study of CAE*, 2018(4): 29-34.
- [30] YILMAA B, PANETTO H, NAUDET Y. Systemic formalisation of Cyber-Physical-Social System (CPSS): a systematic literature review[J/OL]. *Computers in Industry*, 2021, 129: 1-25. (2021-08-01) [2023-06-04]. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103458>.
- [31] CIE智库. 十九大报告“智慧社会”解读: 日本构建“超智慧社会”的举措解析[EB/OL]. (2017-10-26) [2023-06-05]. <http://www.cujinhao.cn/zhs/5511.html>.  
CIE Think Tank. Interpretation of "smart society" in the report of the 19th National Congress: analysis of Japan's measures to build a "super smart society"[EB/OL]. (2017-10-26) [2023-06-05]. <http://www.cujinhao.cn/zhs/5511.html>.
- [32] 甘中学. 人机器协同的三元群智社会[J]. *互联网经济*, 2019 (11): 42-45.  
GAN Zhongxue. Three element collective intelligence society of man-machine-object cooperation[J]. *The Internet Economy*, 2019(11): 42-45.
- [33] 景轩, 姚锡凡. 走向社会信息物理生产系统[J]. *自动化学报*, 2019 (4): 637-656.  
JING Xuan, YAO Xifan. Towards social cyber-physical production systems[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2019(4): 637-656.
- [34] 席广亮, 甄峰. 基于可持续发展目标的智慧城市空间组织和规划思考[J]. *城市发展研究*, 2014 (5): 102-109.  
XI Guangliang, ZHEN Feng. The spatial organization and planning of smart cities based on the sustainable development goals[J]. *Urban Development Studies*, 2014(5): 102-109.
- [35] 汤森 A. 智慧城市——大数据、互联网时代的城市未来[M]. 赛迪研究院专家组, 译. 北京: 中信出版社, 2015.  
TOWNSEND A. Smart cities: big data, civic hackers, and the quest for a new utopia[M]. Expert Team of CCID Academy, translate. Beijing: CITIC Press, 2015.
- [36] 甄峰, 孔宇. “人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架[J]. *城市规划学刊*, 2021 (6): 45-52.  
ZHEN Feng, KONG Yu. An integrated "human-technology-space" framework of smart city planning[J]. *Urban Planning Forum*, 2021(6): 45-52.
- [37] 武廷海, 官鹏, 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 (2): 5-27.  
WU Tinghai, GONG Peng, ZHENG Yichen, et al. Review on the progress of future city research[J]. *Journal of Urban Regional Planning*, 2020(2): 5-27.
- [38] 龙瀛, 李伟健, 张恩嘉, 等. 未来城市的空间原型与实现路径[J]. *城市与区域规划研究*, 2023 (1): 1-17.  
LONG Ying, LI Weijian, ZHANG Enjia, et al. The spatial prototype and realization path for future city[J]. *Journal of Urban Regional Planning*, 2023(1): 1-17.
- [39] 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 (s1): 34-40.  
LONG Ying. Future of human habitats driven by disruptive technologies: perspectives from the new science of cities and future cities[J]. *Architectural Journals*, 2020(s1): 34-40.
- [40] 龙瀛, 张恩嘉. 科技革命促进城市研究与实践的三个路径: 城市实验室、新城市与未来城市[J]. *世界建筑*, 2021 (3): 62-65, 124.  
LONG Ying, ZHANG Enjia. Three ways to promote urban research and practice with emerging technologies: from the perspectives of city laboratory, new city, and future city[J]. *World Architecture*, 2021(3): 62-65, 124.
- [41] 王鹏, 付佳明, 武廷海, 等. 未来城市的运行机制与构建方法[J]. *城市与区域规划研究*, 2023 (1): 18-30.  
WANG Peng, FU Jiaming, WU Tinghai, et al. Operation mechanism and planning method of future cities[J]. *Journal of Urban Regional Planning*, 2023(1): 18-30.
- [42] 伍蕾, 谢波. “技术”与“人本”理念下未来城市的空间发展模式[J]. *规划师*, 2020 (21): 14-19, 44.  
WU Lei, XIE Bo. The spatial development mode of future city from the perspective of technology and humanism[J]. *Planners*, 2020(21): 14-19, 44.
- [43] 吴志强, 张修宁, 鲁斐栋, 等. 技术赋能空间规划: 走向规律导向的范式[J]. *规划师*, 2021 (19): 5-10.  
WU Zhiqiang, ZHANG Xiuning, LU Feidong, et al. Emerging technology and planning: a new paradigm guided by data-informed laws[J]. *Planners*, 2021(19): 5-10.
- [44] 浙江省发展和改革委员会, 浙江省发展规划研究院. 未来社区——浙江的理论与实践探索[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2021.  
Zhejiang Development and Reform Commission, Zhejiang Development and Planning Institute. Future community: theoretical and practical exploration in Zhejiang[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2021.
- [45] 城市中国. 未来社区: 城市更新的全球理念与六个样本[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2021.  
Urban China. Future community[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2021.
- [46] 刘泉, 陈瑶瑶, 黄丁芳, 等. 智慧街道的融合场景意象及模块化设计方法——以华强北未来街道概念设计为例[J]. *城市规划学刊*, 2023 (2): 110-118.  
LIU Quan, CHEN Yaoyao, HUANG Dingfang, et al. Modular urban design method for integrated cyber-physical-social scenarios in smart cities: the case of conceptual design of Huaqiangbei future street[J]. *Urban Planning Forum*, 2023(2): 110-118.
- [47] 刘泉, 张莞莅, 黄丁芳. 智慧TOD模式的空间规划布局——以日本柏叶智慧城市为例[J]. *现代城市研究*, 2023 (6): 82-87.  
LIU Quan, ZHANG Wanli, HUANG Dingfang. Urban planning pattern of smart TOD mode: a case study on Kashiwanoha smart city in Japan[J]. *Modern Urban Research*, 2023(6): 82-87.
- [48] 夏陈红, 翟国方. 基于智慧技术的综合防灾规划体系框架研究[J]. *规划师*, 2021 (3): 13-21.  
XIA Chenhong, ZHAI Guofang. The framework of comprehensive disaster prevention planning system based on smart technology[J]. *Planners*, 2021(3): 13-21.
- [49] 曹观法. 伊德的技术哲学[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2004 (1): 26-29.  
CAO Guanfa. On Don Ihde's technology philosophy[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2004(1): 26-29.
- [50] 芒福德 L. 技术与文明[M]. 陈允明, 王克仁, 李华山, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
MUMFORD L. Technics and civilization[M]. CHEN Yunming, WANG Keren, LI Huashan, translate. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [51] 斯卡鲁菲 P, 牛金霞, 闫景立. 人类2.0[M]. 北京: 中信出版社, 2017.  
SCARUFFI P, NIU Jinxia, YAN Jingli. Humankind 2.0[M]. Beijing: CITIC Press, 2017.
- [52] 王富海. 开创城市规划2.0——行动规划十年精要[M]. 深圳: 海天出版社, 2018.  
WANG Fuhai. Urban planning 2.0: ten years essentials of action planning[M]. Shenzhen: Haitian Publishing House, 2018.
- [53] 甄峰, 秦箫. 智慧城市顶层设计总体框架研究[J]. *现代城市研究*, 2014 (10): 7-12.  
ZHEN Feng, QIN Xiao. Study on comprehensive framework of top design of smart city[J]. *Modern Urban Research*, 2014(10): 7-12.
- [54] 何军. 智慧城市顶层设计与推进举措研究——以智慧南京顶层设计主要思路及发展策略为例[J]. *城市发展研究*, 2013 (7): 72-76.  
HE Jun. Study on the top-level design and implementation measures of smart city: taking Nanjing as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2013(7): 72-76.