

◎ 城市设计与智慧城市

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20190101

孙彤宇. 智慧城市技术对未来城市空间发展的影响[J]. 西部人居环境学刊, 2019, 34(1): 1-12.

SUN T Y. The Influence of Smart City Technology on the Development of Urban Space in the Future[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2019, 34(1): 1-12.

智慧城市技术对未来城市空间发展的影响*

The Influence of Smart City Technology on the Development of Urban Space in the Future

孙彤宇 SUN Tongyu

摘要 大数据、人工智能、移动网络、云计算等新技术的发展,正在引发一场全球新一轮的技术革命。智能技术的发展不仅成为国家经济、社会发展的创新动力,而且也对城市的运作和发展产生了深刻的影响。智慧城市在这样的大背景下,正以比我们想象得更快的速度在城市的各个领域展开,如智慧交通、智慧能源、智能通讯、智慧政务、智慧医疗等等几乎涉及了城市运作的各个层面和各个方面,这些智慧技术的应用已经对城市生活产生了巨大影响,那么它将对未来城市空间格局产生什么影响,对城市设计带来怎么样的机遇和挑战,或者反过来说,我们可以利用智慧技术在城市设计领域做些什么,值得我们进一步思考。本文将通过对国内外智慧城市研究领域前沿研究的分析,揭示智慧城市技术对城市各个方面产生的影响和潜在机遇,并提出未来城市设计利用智慧技术将面临的新的课题和值得关注的研究方向。

关键词 智慧城市; 城市设计; 空间格局; 资源配置

中图分类号 TU984.11*9

文献标识码 A

文章编号 2095-6304(2019)01-0001-12

* 国家重点研发计划(2016YFC0700200);

国家自然科学基金资助项目(51578383)

作者简介

孙彤宇: 同济大学建筑与城市规划学院, 教授, 博士生导师; 上海市绿色建筑协会, 副会长; 中国建筑学会城市设计分会, 常务理事

Abstract: The development of big data, artificial intelligence, mobile network, cloud computing and other new technologies is triggering a new round of technological revolution in the world. The development of intelligent technology has not only become the innovative driving force of national economic and social development, but also has a profound impact on the operation and development of cities. In this context, smart cities are developing in all areas of the city at a faster rate than we thought. For example, smart transportation, smart energy, smart communication, smart governance, smart medical and so on involve almost all aspects of urban operation. The application of these intelligent technologies has had a great impact on urban life. So, what impact will it have on the future urban spatial pattern, what opportunities and challenges will it bring to urban design, or, on the other hand, what we can do in the field of urban design by using intelligent technology, which is worthy of our further consideration.

Because the concept of smart city has various statements in various contexts, there is no precise definition. This paper analyzes the frontier research in the field of smart city broadly across the world, and combs the relevant definitions of smart city in the existing research literature, in which the six dimensions proposed by Rudolf Giffinger who is the professor of Technical University of Vienna are widely recognized by the academic community, namely: smart economy, smart governance, smart environment, smart people, smart mobility, smart living. These six dimensions also lay the basic framework for smart cities.

Through extensive interdisciplinary literature review, this paper expounds the relevant components of smart city technology and its research progress. Generally speaking, there are many researches on all aspects of the components of smart city, but relatively scattered and regardless of size. It is mainly based on the overall concept, system framework and technical means, and there is little discussion on the relationship between smart city technology and urban space form. This paper then points out the current research tendency of smart sustainable city from a large number of literature, and illustrates it with four cases of smart city new projects. On this basis, this paper reveals the influence and potential opportunities of smart city technology on all aspects of the city, and puts forward the new topics and research directions that will be faced by urban design in the context of utilization of intelligent technology in the future.

Keywords: Smart City; Urban Design; Urban Pattern; Resource allocation

0 引言

当人们谈论起“智慧城市”，无不联想到移动网络、大数据、云计算、人工智能等新兴科技对城市生活方方面面的影响，我们都亲身感受到移动支付、共享单车、智能政务等等带来的便利，在过去的二十年中，智慧城市的概念改变了城市生活的各个方面，涉及到交通、安全、卫生、医疗、能源和教育等部门。各国政府、各大城市已开始采纳智慧城市的理念，以提高市民的生活品质。智慧城市的各类应用正在改变城市经济、社会的各个部门，例如城市中的监视和监测可以实时跟踪交通和犯罪情况、可以及早发现关键基础设施的受损情况，以便城市职能部门能够对紧急情况作出及时反应等等。

在城市规划和城市设计领域，智慧城市的传感器、大数据、网络、社交媒体信息等技术手段已经在城市的流动性和出行行

为研究、城市土地利用模型、跨城市领域综合数据库建立、参与性城市治理和规划结构、空间绩效评估、运输和经济互动、城市能源结构优化、水资源管理、废弃物管理、城市智能决策等方面产生了积极的作用^[1]。智慧城市的这些智能技术还在不断地改变着我们的生活以及我们生活的环境。我们需要思考的是如何认识智慧城市，如何认识新兴技术对城市生活和城市空间带来的影响，如何将新兴技术带来的潜在机遇在城市设计的过程中，通过空间和资源的高效配置，实现未来宜居生态的可持续城市环境。

1 智慧城市的概念及框架

一般认为“智慧城市”概念是2008年由IBM提出“智慧地球”，进而结合2010上海世博会“城市让生活更美好”的主题而提出，自“智慧城市”概念诞生以来，智慧

城市已深入人心，相关的各个方面的研究和实践也在蓬勃开展。学界普遍认为智慧城市(Smart City)的特征是广泛而智能地使用数字技术，使信息得到有效利用，并通过参与性治理，在人力和社会资本以及现代信息通信技术基础设施方面的投资推动可持续经济发展和高质量的生活，并对自然资源进行智慧的管理^[2]。使用智能计算技术使城市的关键基础设施和服务(包括城市管理、教育、医疗、公共安全、房地产、交通和公用事业等)更智能、更互联、更高效。

智慧城市的技术核心是智能计算(Smart Computing)，智能计算具有串联各个行业的可能，例如城市管理、教育、医疗、交通和公用事业等，而城市是所有行业交叉的载体，因而，智能计算将是智慧城市的技术源头，将影响到城市运作的各个方面，包括市政、建筑、交通、能源、环境和服务等，涵盖面非常广泛，至今对智慧城市还没有一个非常精确的定义，也没有明确的评价体系和评价标准，在不同的语境中有不同的含义。但大量的研究表明，对于智慧城市的认识是在不断演进的，最初智慧城市被用来描绘一个数字城市，随着智慧城市概念的深入人心和在更宽泛的城市范畴内不断演变，人们意识到智慧城市实质上是通过智慧地应用信息和通讯技术以及人工智能等新兴技术手段来提供更好的生活品质以及更加高效地利用各类资源，实现可持续城市发展的目标。在文献中出现的关于智慧城市的相关定义可以见表1。

尽管对于智慧城市的定义各有侧重，但在实际操作中普遍认同维也纳工大鲁道夫·吉芬格教授2007年提出的“智慧城市六个维度”，分别是：智慧经济(Smart Economy)、智慧治理(Smart Governance)、智慧环境(Smart Environment)、智慧人力资源(Smart People)、智慧机动性(Smart Mobility)、智慧生活(Smart Living)^[11]。其中：智慧经济主要包括创新精神、创业精神、经济形象与商标、产业效率、劳动市场的灵活性、国际网络嵌入程度、科技转化能力；智慧治理主要包括决策参与、公共和社会服务、治理的透明性、政治策略与视角；智慧环

表1 智慧城市的一些主要定义

Tab.1 some main definitions of smart city

定义	作者
一个城市如果能够监测和综合其所有关键基础设施的状况，包括道路、桥梁、隧道、铁路、地铁、机场、海港、通信、供水、电力，甚至是主要建筑物，就能更好地优化其资源，规划其预防性维护活动，并监测安全方面的情况，同时最大限度地为其公民提供服务 ^[3]	哈勒(Hall R E), 2000
一个在经济、社会、治理、机动性、环境和生活方面表现良好的城市，一个建立在自主、独立和有意识公民的禀赋和活动巧妙结合之上的城市 ^[4]	吉芬格(Giffinger R), 2007
它是实施和部署信息和通信技术基础设施，通过改善经济、公民参与和政府效率来支持社会和城市发展 ^[5]	霍伦茨(Hollands R G), 2008
智慧城市就其教育程度而言，其居民也是智慧的。此外，这一术语是指城市政府行政部门与其公民之间的关系。善治或精明治理通常被称为公民使用新的沟通渠道，例如“电子政务”或“电子民主” ^[6]	隆巴迪(Lombardi), 2012
“城市”将物理基础设施、IT基础设施、社会基础设施和业务基础设施连接在一起，以充分利用城市的集体智慧 ^[7]	哈里森(Harrison C), 2010
“一个城市”将通信技术和Web 2.0技术与其他组织、设计和规划工作结合起来，以实现城市管理程序的非物质化和加速，并帮助确定解决城市管理中复杂性的创新办法，以提高可持续性和宜居性 ^[8]	托佩塔(Toppeta D), 2010
使用智能计算技术使城市的关键基础设施组件和服务(包括城市管理、教育、医疗、公共安全、房地产、交通和公用事业)更智能、更互联、更高效 ^[2]	沃什伯恩(Washburn D), 2010
一座城市被称为“智慧”，是因为对人力和社会资本以及传统和现代通信基础设施的投资推动了可持续的经济增长和高质量的生活，并通过参与性治理明智地管理了自然资源。此外，如果大学和行业支持政府投资发展此类基础设施，城市就会变得“智慧” ^[9]	卡拉柳(Caragliu A), 2011
一个智慧城市应该是一个建立在自主、独立和有意识公民的禀赋和活动巧妙结合之上的城市，并在六个智能特征(也称为软因素：智慧经济、智慧机动性、智慧环境、智慧人力资源、智慧生活、智慧治理)上表现良好的城市 ^[10]	焦万内拉(Giovannella C), 2013

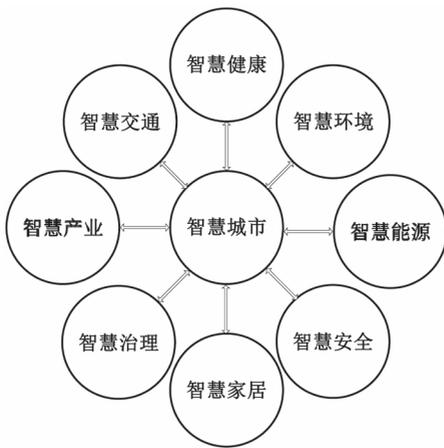


图1 智慧城市模块
Fig.1 smart city components

境包括减少对自然环境的污染、环境保护、可持续资源管理；智慧人力资源包括受教育程度、终身学习的亲和力、社会和族裔的多元性、灵活性、创造力、开放性、公共生活参与性；智慧机动性包括本地辅助功能、(国家间)无障碍交流环境、通信技术基础设施的可用性、可持续、创新和安全、交通运输系统；智慧生活(生活品质)包括文化设施、健康状况、个人安全、居住品质、教育设施、旅游吸引力、社会和谐。

这六个维度全面地涵盖了城市发展的各个领域，尤其是除了城市的物质性要素以外，还将社会和人的要素纳入其中，并将高品质生活和环境可持续作为重要的目标。也就是说，要让城市更智慧，关键在于如何利用信息通信技术创造美好的城市生活和环境的可持续，实现的途径包括提升

经济、改善环境、强化完善城市治理，跟城市空间相关的是提升交通(机动性)的效率，核心问题是社会和人力资源的智能化。智慧城市的六个维度为智慧城市建设确定了基本框架。

2 智慧城市的模块及发展动态

从大量的关于智慧城市的研究文献来看，总体而言分为五大类型：智慧城市理论、智慧城市技术(物联网、大数据、云计算、智能通讯技术等)、智慧基础设施(智慧交通、智慧物流、智慧能源管理、智慧电网、智慧水资源管理、智慧废弃物管理、智慧生态系统等)、智慧城市管理(智慧城市治理、智慧城市运营、城市安全智能系统、智慧政府、智慧社区)、智慧服务(智慧政务、智慧医疗、智慧健康、智慧养老等)当然在其他相关行业的智能化也可以算是智慧城市的组成部分，如智能制造、智能建造、智能建筑、智能家居等。从智慧城市建设和发展模式来看，其基本要素主要包括智能技术、智能产业、智能服务、智能管理和智能生活等，智慧城市的组成模块(smart city components)包括城市发展的各个方面(图1)。

在智能技术领域，最为重要的可能就是物联网技术(IoT-Internet of Things)了，物联网技术可谓是智慧城市的核心，也有学者甚至认为智慧城市就是物联网的具体应用。物联网概念最早由凯文·埃斯顿(Kevin Ashton)^[12]提出，而物联网之父

罗伯·范·克兰伯格(Rob Van Kranenburg)则定义物联网为“在我们的日常用品和小工具中嵌入某种简单的通信技术，使它们能够在本地网络中相互连接，并最终连接到更广泛的网络-互联网”^[13]。物联网的概念是将异构的各类物件联系在一起，通过运行智能计算，以实现互联互动和系统运作的高效率。新的物联网(IoT)应用正在推动全球范围内的智慧城市计划。它提供了远程监控、管理和控制设备的能力，以及从大量实时数据流中创建新的洞察力和可操作信息的能力。在物联网的技术支持下，智慧城市通过仪器化、互联和智能化三个方面的建设，在物联网发展的高级阶段通过集成所有这些智能功能而不断完善^[14]。物联网的通用架构提供了无处不在的媒体，透明、无缝地整合了大量不同且异构的终端系统和传感器，以提供使用非常复杂任务的服务。因此，它已经成为数字时代最广泛应用的技术之一，推动了从智能电网到互联健康等行业的重大变革^[15](图2-3)。

在智慧基础设施领域，最受关注的是智慧能源和智慧交通，其他如智慧水资源管理、智慧废弃物管理、智慧生态系统等也随着智慧城市对于可持续的不断追求而逐渐受到关注。智慧能源研究领域，有学者已开始关注土地利用与能源一体化模式，并尝试模拟未来智慧城市下，土地利用与能源供应的耦合关系^[16]。一些研究则通过建模和仿真来评估智能能源解决方案的技术和政策影响，并探索实现智慧城市能源供应的最佳方式，提出在智慧城市背景下

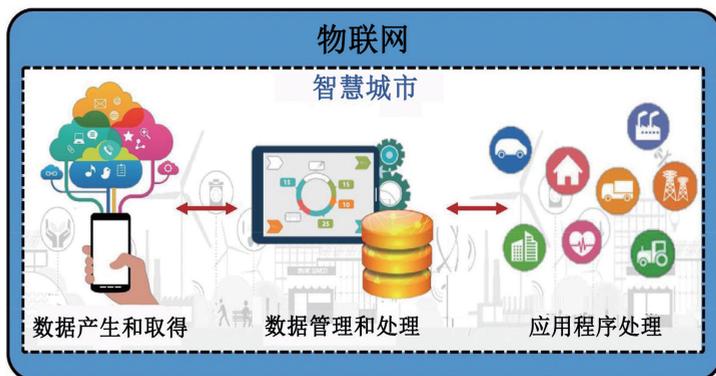


图2 智慧城市建设中的物联网架构
Fig.2 contribution of Internet of things in building smart city



图3 基于物联网的智慧城市组件
Fig.3 generic composition of a smart city architecture

优化能源模式的方法^[17]。使用多分辨率分析(MRA)对城市能源需求的动态高分辨率数据集进行分析,通过深入了解城市能源需求,提出如何利用这样的分析来指导智慧城市的能源需求管理^[18]。对城市多样化能源使用需求进行建模分析,并优化能效实现智慧城市的能效综合设计^[19]。另外一些研究则关注建筑在智慧城市能源体系中的节能作用,如将信息通信技术的分类与家居所有需要能源的活动的分类结合起来,以全生命周期的家庭用能量分析并结合在信息通信技术上的投资,实现城市中减少能源使用的机会^[20]。也有学者关注在城市更新中历史建筑的能耗优化问题,通过物联网实现对能耗的智能化控制。^[21]以及建立智慧城市对家庭能源消费影响的概念模型,用以实现以智能手段达到能源供应的优化布局^[22]。

智慧交通系统的发展除了应对快速城市化和日益增长的交通拥堵的挑战外,近年来也引起了人们的极大关注,黛比纳等人根据智慧交通实际案例的分析,提出了评估智慧交通的详细评估标准及计算模型,有助于进行城市间的比较分析,促进相互学习、提高完善^[23]。在智慧交通领域的研究涉及广泛的主题,有关于智慧城市中的自动化交通^[24]、在智慧城市中使用大数据分析定义交通系统行为^[25]、智慧城市中的交通流量监测系统研究,以及使用新的监控和跟踪系统研究智慧城市的实际交通和移动场景^[26];在自动驾驶汽车的场景下探索范式转换对城市交通的影响,为自主车辆在智慧城市中的应用提供基本框架^[27];探索智慧城市作为可持续交通和交通脱碳的工具^[28]、智慧城市在道路交通管理中的优化方法^[29];有些研究则将交通作为数据采集的来源,认为汽车是智慧城市的主要ICT资源^[30]、也有将路灯灯杆作为交通监控及城市安全监控的数据采集点^[31];关于新型能源汽车在智慧城市中的应用也备受关注,如通过德国电动共享汽车car2go项目的评估,探索智慧城市浮动电动共享汽车系统的可能性^[32]、针对电动汽车的用电需求、位置和并网周期,提出一种估计电动汽车可能状态的框架和方法,提出了支持智能电网的运营决策^[33]、探索分布式能源与

住宅用能和电动汽车用能需求之间的协同效应,实现一定城区内能源供需的优化匹配,达到提高能效和节能的目标^[34]等等,智慧交通的各项研究为未来城市交通展开了一幅充满想象和潜力的图景。

人们越来越认识到智慧城市需要面对环境的挑战,借助先进的信息通信技术和物联网技术,对城市环境相关的问题进行了广泛的探索。在城市气候方面,有研究者从地理基础、连接方式、功能和活动探索城市间气候变化行动网络,为智慧城市的生态系统提供决策基础^[35];有关于智慧城市如何服务于生态系统的框架性分析^[36],有智慧城市生态系统数据驱动创新与价值创造分析模型的建立^[37],以及关于智慧城市如何基于生态系统来考虑减少灾害风险方法^[38]等等。另外还有针对智慧城市综合水资源管理^[39-40]以及智慧城市低碳综合废弃物管理决策支持系统等相关研究^[41]。当然如何用智能技术使城市环境、城市生态系统更加可持续仍然是一个具有巨大挑战的研究领域,需要多学科交叉融合,并针对具体的重要问题进行深入的探索。

总体而言,有关智慧城市的组成模块的各个方面都有较多的研究,但相对比较分散、不分巨细,主要还是以总体理念、系统框架和技术手段为主,很少有涉及智慧城市技术与城市空间形态之间关系的讨论。也许这将是城市设计学科在智慧城市框架下面临的挑战和潜在的研究方向。

3 智慧城市与可持续城市发展趋势

智慧城市的发展,最终目的是为了建设更加高品质城市生活和更加可持续的城市环境,在众多的关于智慧城市研究的议题中,可持续城市的主题越来越受到广泛关注。自1990年代初以来,可持续性和可持续发展的概念一直被应用于城市规划和城市设计^[42],从而出现了城市可持续性和可持续城市发展的概念。城市可持续性是指城市发展的进程能够在与环境保护一体化、经济发展与再生、城市内部社会公平与正义之间实现平衡的一种理想状态。因此,可持续的城市发展寻求以最低的资源需求(能源、物质等)创造健康、宜居和繁

荣的人类环境,以及对环境的最小影响。尽管实现城市可持续发展的这些长期目标之间存在一定程度的冲突,对当代城市规划和城市决策而言是一项巨大挑战,但对全球城市化的飞速增长、资源短缺的压力、环境变化的挑战,可持续城市发展自然地成为城市发展的长期目标,而智慧城市则在可持续发展领域体现出十分显著的作用,“智慧可持续城市”的概念成为当前和未来城市发展的理想目标。

智慧可持续城市(Smart Sustainable Cities)的主题已经引起当代城市学者、规划者和决策者的极大关注,它作为一种话语和社会实践的插入、运作和演变,越来越多地受到新兴信息通信技术产业联盟、合作研究机构、政策网络和“大学-产业-政府关系的三重螺旋”(Etzkowitz & Leydesdorff, 2000)^[43]在技术-城市创新方面的影响。考虑到现有的可持续城市模式对可持续发展的贡献方面尚未解决的问题,加上智慧城市现有方法与城市可持续性相关的不足,智慧可持续城市这一研究领域成为城市规划、城市设计和城市发展中的一项目潜在热点研究领域。

到目前为止,有关智慧可持续城市的研究内容主要来自于与智慧城市和可持续城市相关的理论、分析和总体观点。一些研究倾向于将现有的可持续城市模型和智慧城市方法的各个方面结合起来,以克服可持续性目标的相互冲突问题,要将生态城市、知识城市和数字城市的系统进行整合,作为迈向可持续发展的解决方案,最终形成一种智慧城市规划方法(Murray, 2011)^[44]。这种整合的方法有可能应对城市可持续性的挑战,今后在这方面的研究工作将为实现智慧可持续城市的目标提供规范性的方案,并制定相关的评估框架(Batagan, 2011年)^[45]。国际电讯联盟(International Telecommunications Union)也为制定这一框架提供了基础标准(图4)(ITU, 2014)^[46]。

国际电信联盟智慧可持续城市重点小组(ITU-T FG-SSC)对这一概念提出了新的定义,“智慧可持续城市是利用信息通信技术(ICT)及其他手段提高生活质量、提高城市运营和服务效率以及竞争力的创新型



图4 国际电讯联盟对智慧可持续城市的解释
Fig.4 the interpretation of Smart Sustainable City by ITU

城市；同时确保在经济、社会、文化和环境方面满足当代人和子孙后代的需要。”同时，吉芬格（Giffinger）教授的智慧城市六维度仍然被继承为智慧可持续城市（SSC）的六个维度（图5），而信息通信技术则作为连接智慧可持续城市六个维度的跨部门推动因素^[47]。

智慧可持续城市正在演变为一种城市空间，用于解决城市问题，提高公民的生活质量，使城市发展更可持续^[48-49]。在城市规划、城市设计领域，智慧可持续城市发展面临的重大科学挑战包括：通过监测、分析、评估、管理、控制和优化，将可持续城市形态的类型、基础设施、管理系统、生态系统和城市服务与其运营、组织、协调、规划和发展联系起来，以及在建模、模拟、决策支持和预测方面的工作。在这方面，应致力于展示如何整合大数据分析和情景感知计算及相关基础设施（数据处理平台、云计算基础设施和中间件架构）的发展，从而使这些形式在城市规划者、城市管理人员和城市管理部门使用新技术应用、服务的方式中更加智能，提高可持续性和整合其各个层面的能力。同时，以城市可持续发展为目标，进行城市技术的创新，开发各项智能功能作为可持续城市发展空间形态的运行和管理方式的新概念，通过开发利用先进的模拟模型和优化算法来对城市的能源系统、交通运输系统和通信系统进行优化设计和实时监测，以提高运行效率，并以先进的智能技术提供更加高效和更高质量的

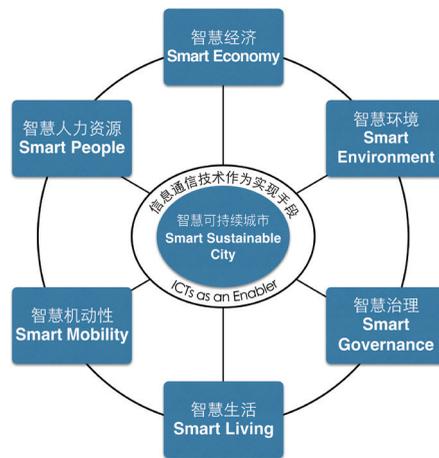


图5 智慧可持续城市的六个维度
Fig.5 the six dimensions of smart sustainable city

公共服务和社会服务。另外，利用先进的智能技术，可以对可持续城市的各类形态及城市中不同的领域进行建模模拟、集成，实现协同优化。在对城市空间发展进行预测的基础上，为未来可持续城市形式的规划设计提供信息。由于信息通信技术和传感器技术的最新进展和普及，以及它们提供实时城市不同领域长期变化的信息的能力，通过现有智慧城市的建设，为未来智慧可持续城市建设目标的实现提供了强大的基础。

智慧可持续城市概念中，不仅考虑了城市环境的可持续性，社会及文化的可持续性也是非常重要的方面，有学者提出了“智慧城市2.0”，主要是强调了智慧城市体系内人的要素，这是一种权力下放、以人为本的方法，利用智能技术作为解决社会问题、满足居民需求和促进协作参与的工具。这与占主导地位的“智慧城市1.0”（即第一代）的技术经济和集中化方法形成了鲜明对比^[50]。

人们越来越认识到智慧可持续城市中人的维度的重要性（图6），智慧城市项目对市民生活质量有重要影响，在智慧可持续城市中个人必须能够相互联系，以提高社会和文化资本，并在生产力方面取得巨大的经济收益。人是最关键的角色，影响着智慧可持续城市各项努力的成败^[52]。智慧可持续城市中的智慧人力资源将驱动创新文化而成为城市发展的动力，智慧人力资源包括人们在技能和教育水平方面的智

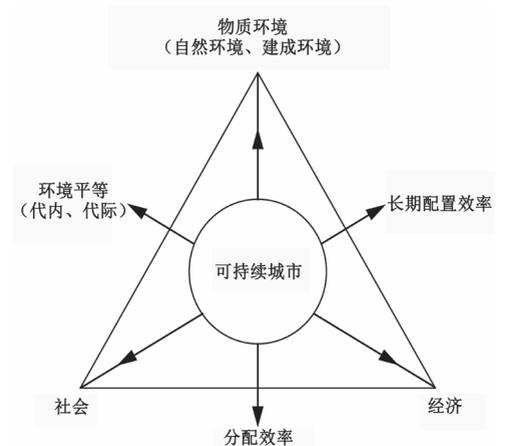


图6 可持续城市的要素及其关系
Fig.6 the main factors and their relationship of sustainable city

慧化，在融合和公共生活方面的社会交往质量以及向“外部”世界开放的能力方面的智慧化。城市总是为人们的聚集、交流提供便利^[53]，生活在城市中的人们可以与自己兴趣相匹配的更广泛的人们建立联系。智慧城市在结构上具有影响或提高这种交流的潜力，信息通信技术可以帮助人们进行联系、协作和分享^[54]。智慧可持续城市正在将“共享城市”的概念引入城市社会，成为未来城市规划和决策的指导目标，因为它优先考虑社会正义并增加信任和协作，采用“共享范式”将为城市提供向公正可持续发展过渡的机会^[55]。当然，只有将以人为中心的参与性方法应用于协同设计，智能干预才能成为更好地满足市民需求的工具，并在人们之间进行有益的互动^[56]。

智慧可持续城市不仅仅是发展智能系统，技术的目的是为了人们的需要，社会的实际需要是选择工具和采取适当行动的起点。智慧城市的发展最终是为了城市的可持续发展，其中环境的可持续和社会的可持续是两大重要组成部分。

4 智慧可持续城市模式及实践

从智慧城市概念提出的初期就已经有相关的实践探索，如1999年新加坡的“智能岛计划（Intelligent Island）”，这个计划就已经设想将IT技术应用于城市的各个方面，包括IT教育、IT基础设施、IT经济及生活质量，提出了建设新加坡ONE（One

Net for Everybody)“新加坡一体化网络”的智慧城市模式架构^[57]。随着信息通信技术(ICT)的不断发展,智慧城市已不仅仅是IT技术的应用,以ICT为核心的物联网技术成为第一代智慧城市的主要技术支撑,在此基础上强调人的要素以及环境和社会的可持续理念,形成了第二代智慧城市。各国政府已开始采纳智慧城市的理念,许多城市开始加入智慧城市的实践,根据智慧城市委员会^[58]的数据,到2020年,40个城市将被视为智慧城市,到2025年,这一数字将增至88个。

在智慧可持续城市理念下,全球范围内现有城市正在对关键基础设施和服务进行改造,但也有一些较新的城市或城区正在规划建设从无到有地将“智慧可持续城市”愿景全面纳入其中的项目。这些城市建设项目有许多共同之处,如自由经济区、可再生能源、智能建筑、智能交通、宽带连接、绿化空间和建设用地之间的平衡等。全球各地都有一些值得注意的例子,如韩国的松岛国际商务区(IBD)、阿布扎比的马斯达尔城(Masdar City)、葡萄牙的信息谷(PlanIT Valley)、挪威的智慧博得(Smart Bodø, Norway)等,这些城市部署了各种信息通信技术组件,如射频识别(RFID)、嵌入式系统、Wi-Fi、WiMax、LTE、ZigBee、机器对机器通信(M2M)、资

源管理、能源管理、统一通信和协作等,是新型智慧可持续城市的实验案例。

4.1 韩国仁川松岛IBD

韩国仁川松岛国际商务区(图7)被认为是韩国生态城市的旗舰模式,是一座由湿地开垦而成的新建城市,占地0.6 km²,可以居住6.5万人,目标是建设成一座未来之城——最绿色最智慧的城区,并寻求建立一个利用能源、水、交通和废物管理等不同方面的高科技绿色城市环境^[59-60],韩国政府为此建立了强大的公共交通网络和最先进的水回收系统。这个项目也是思科(CISCO)智能互联城市计划所体现的战略转变的一部分。计划将能源、电信、流量监控和安全系统连接到一个智能网络中^[61]。该项目设想构建一个开放的基于IP的平台,然后由当地企业构建应用程序。公用事业公司可以向同意在能源高峰期间关闭电器的居民提供较便宜的收费;汽车公司可以向司机提供实时交通信息和指示,自动支付通行费,并在发生事故时向警方和医院发送紧急信息,城市的公共和私人服务可以随时向任何人提供和接收^[62]。松岛IBD规划为绿色城区,从一开始就通过了LEED认证,按设计整个城区的碳排放总量为一般城区碳排放量的三分之一。是典型的智慧可持续城市的示范项目^[63]。

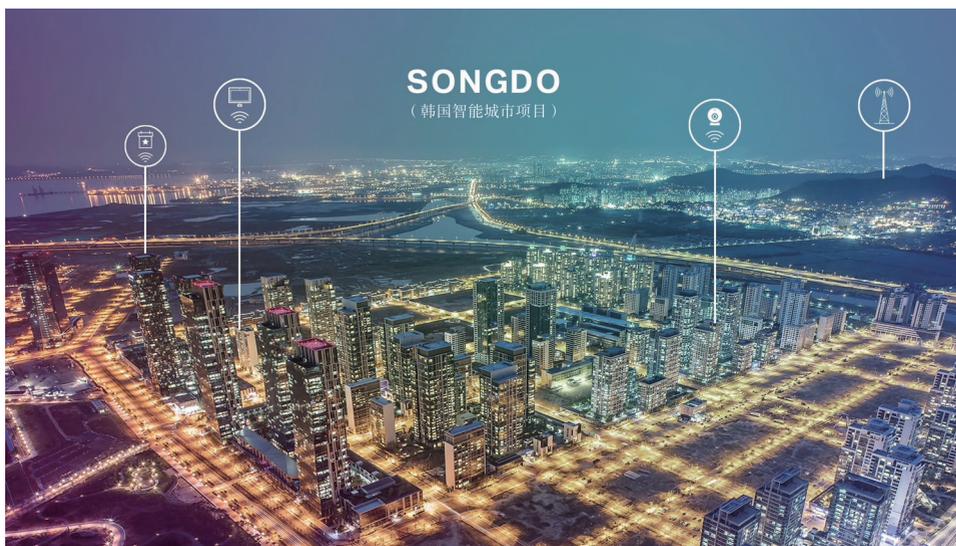


图7 韩国仁川松岛IBD

Fig.7 Songdo International Business District, Incheon, Korea

4.2 阿布扎比马斯达尔新城(Masdar City)

马斯达尔新城(Masdar City)规划在阿布扎比以外的沙漠,占地6 km²,将有5万居民、1 500多家企业和一所新的大学^[64]。马斯达尔市的目标是建成一个零碳、零汽车和零废弃物的城市,完全无化石燃料、100%可再生能源,80%的用水将在现场回收。市内禁止私家车通行,交通方式将是电动汽车、自行车以及个人快速交通系统(PRT)和轻轨系统(LRT),站点之间的最大距离为200 m。马斯达尔新城将开发地下空间,以容纳各种系统和运输基础设施,而地面则主要服务于行人。市内将安装3 000辆PRT车辆(4名成人+2名儿童)(图8),区域内设置超过85个PRT车站,PRT车辆每天旅行13万次,最长的旅程不超过10 min,PRT车辆使用锂-磷酸盐电池充电1.5 h,最多可行驶60 km。在此基础上还设置了一个快速运输系统(RTS),每次能够运输1.6 t货物^[65]。在马斯达尔新城的规划和设计期间,工程师们确定了创建和维护智慧可持续城市所需的超过25个应用程序,这些应用与智能电网、智能电器、智能建筑、交通系统和全市公共信息系统相联系并加以控制,系统将实时可持续性和能源消耗信息传递给马斯达尔市的工程师,同时马斯达尔新城将对通用电气(General Electric)的新型智能电器进行测试,包括冰箱、炉灶和洗衣机/烘干机等,这些设备将配备智能电表并连接到城市智能电网,传输实时消费数据,并允许在非高峰使用时间运行非必要的功能^[66]。马斯达尔新城为我们展现了未来智慧可持续城市的技术框架和基本模式。

4.3 葡萄牙波尔图信息谷(Plan IT Valley)

葡萄牙计划在波尔图郊外17 km²的土地上建造一座名为信息谷(PlanIT Valley)的城市(图9),制定的目标是:这座城市应该生产所需能源的150%,减少废弃物排放,回收利用大部分的水。通过对传统建筑行业进行新技术、新设计和新工艺的改进,将节省高达40%的建筑成本;借助于物联网的新兴技术,如供应管理、RFID标签射频识别,使建设速度提高50%。PlanIT拥

有重要的合作伙伴,如微软、思科、麻省理工学院和迈凯伦电子系统公司,共同开发实施城市操作系统(UOS)^[67],在这个智慧城市的公共平台上,城市的各个领域、各个方面将可以不断改进发展。该系统将由分布在整个城市和城市环境每一项功能的巨大传感器网络提供实时数据,并收集、合并和分析数据,以便对城市的不同部分及建设过程的每个进程有更好的了解。同时计划将这些数据无限期存储,为不断优化城市操作系统提供基础数据,并预测未来发展的各种可能。这个城市操作系统能够进行实时反应,例如,反馈供水供电网络的错误信息,从而消除断电或断水的可能;进行实时交通控制,当发生事故时,该系统可以通过合并不同的数据(如时间、季节或天气)来预测未来几个小时的影响,交通将改道,并提供公共交通工具。而且在这个平台上,还可以将不断开发的新功能和应用程序添加到UOS中^[68]。

4.4 挪威智慧博德(Smart Bodø, Norway)

博德是挪威北部一个小城市,曾经是国家空军基地,占地3.6 km²,居住2.5万人(图10)。建设智慧城市的愿景是旨在开发新的信息通信技术以实现零排放社区、提高能源利用效率和节能、互联和智能化交通等,同时强调各方合作和参与的重要性,包含了智慧城市的所有层面,是一个全面的智慧城市方法^[69]。博德在智慧城市多个维度上体现了促进创新的潜力,被视为“智慧城市政策和意识形态”发挥作用的代表性案例,这些智慧城市的维度分别是:技术维度、组织维度、合作维度和实验性维度^[70]。博德智慧城市的愿景中,除了低碳、节能、智能化等技术层面和环境可持续的要素以外,特别强调确保市民在发展未来新城市的进程中的参与性。例如,通过使用动态地理空间软件来规划和管理智慧可持续城市,包括公众参与规划和建设新的城市和改善现有的城市^[71]。从这点上,智慧博德成为智慧城市2.0的良好范例。

从以上四个新的智慧可持续城市模式和案例中,我们可以看到,随着信息通信技术的发展,全球许多城市已经开始注重利用新的智能科技来实现未来可持续城市,

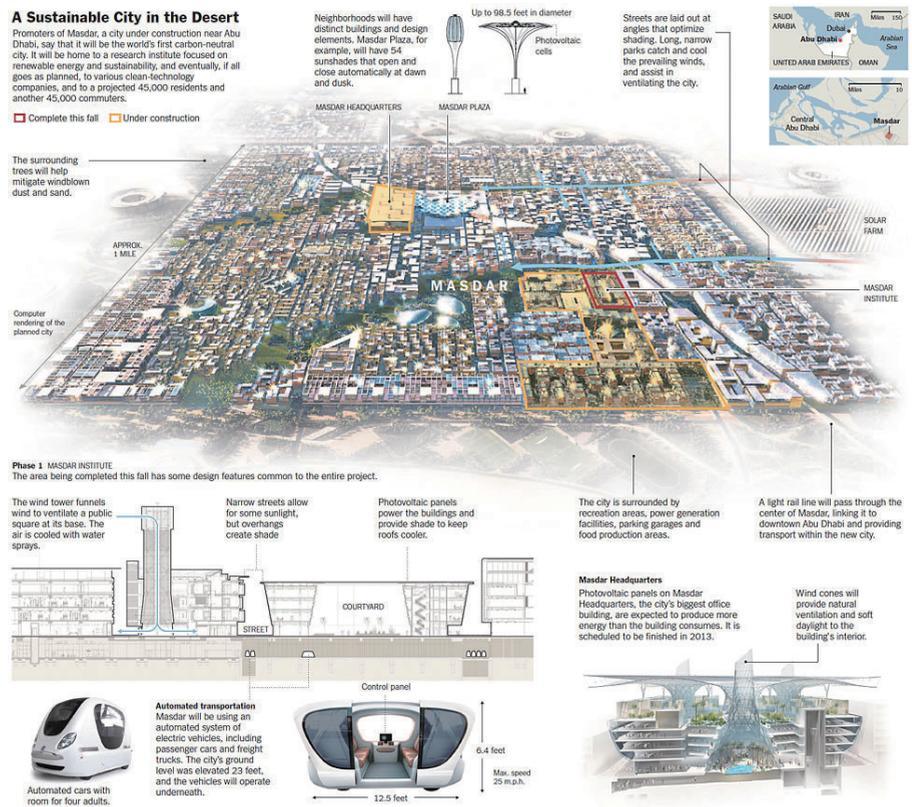


图8 马思达尔新城智慧可持续概念示意图

Fig.8 the smart sustainable city concept diagram of Masdar city

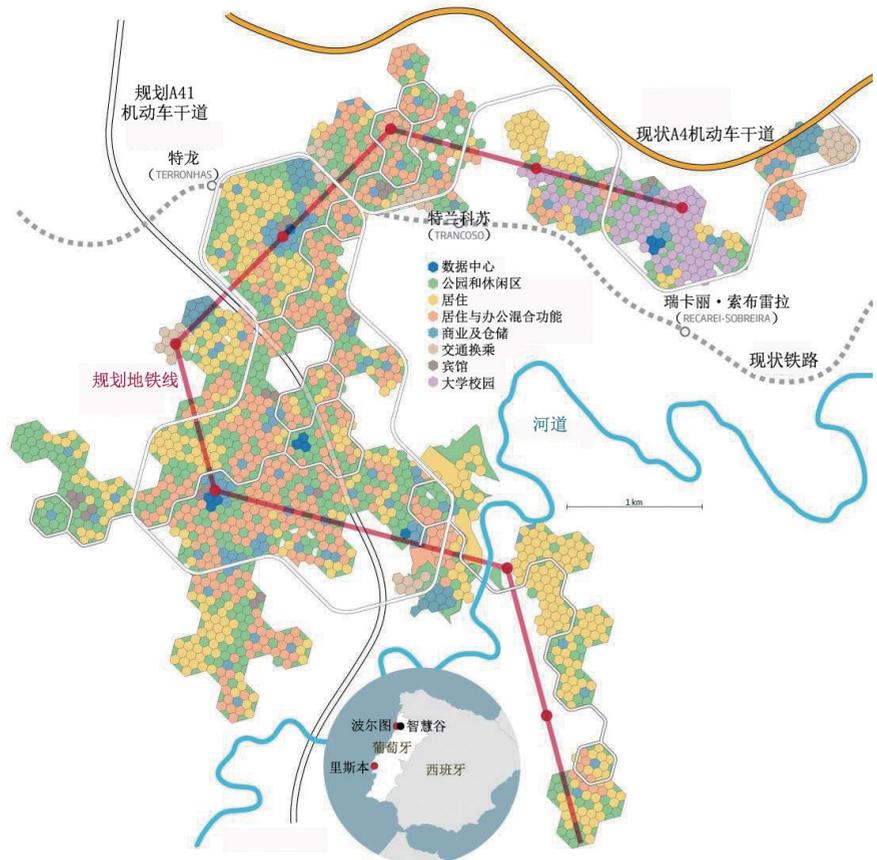


图9 葡萄牙波尔图信息谷(Plan IT Valley)总体结构示意图

Fig.9 the smart city concept diagram of Plan IT Valley, Porto, Portugal



图10 挪威智慧博得总体鸟瞰图

Fig.10 the aerial view of Smart Bodo, Norway

利用物联网及数据技术使城市逐渐走向零能耗、零碳排放、零废弃物、水资源回收利用,同时以智能技术保障更加高品质的城市生活,注重公众在城市发展过程中的参与性,使城市的发展走向环境的可持续和社会可持续。

5 智慧可持续城市概念下城市设计学科未来趋势及议题

联合国对日益增长的城市化和气候变化以及城市对环境的巨大影响所造成的前所未有的自然灾害之间的致命冲突发出警告,城市必须立即采取行动,采取措施减少温室气体排放,促进环境上更可持续和更公平的城市发展^[72]。全世界城市的面积只占地球表面的4%,但却消耗了67%的能源,占温室气体排放量的70%^[73]。随着城市化的发展,预计到2030年,约60%的世界人口将生活在城市^[74],未来几乎所有的人口增长都将发生在城市地区^[75],这对城市发展在应对气候变化方面的努力提出了更高的要求。另一方面,城市是创新的源泉,不仅是规划方面的创新,而且是社会生活新模式的创新^[76-77]。城市是创造力、创新^[78]和复杂生态系统的源泉,鼓励具有不同利益的不同行为者合作,以确保一个可

持续的环境和较高的生活品质^[79]。新型的城市将由学习、技术、创新所支撑,其有形要素是数字基础设施,无形要素则是人的创造力^[80],有形和无形要素之间的联系侧重于创造和创新,这促成了智慧城市的出现。智慧城市的基础是将人力资本、社会资本以及信息通信技术基础设施结合起来,以实现可持续经济发展,改善人们的生活质量。

当前的城市发展一方面面临着人口增长、资源短缺、环境危机等严峻的挑战,另一方面则是信息通信技术和智能技术发展带来的城市繁荣,显然城市发展需要进行一次范式转变,以新兴技术来解决和克服城市面临的挑战。在城市的概念、规划和发展、基础设施、运营和功能形式的概念、规划和城市发展方面,需要在整体方法和长远视野上运用新的城市思维方式。为此,迫切需要在城市规划、城市设计和城市发展领域研发、应用和创新城市发展解决方案和先进的方法。因而城市规划、城市设计研究领域也因技术的发展带来新的挑战 and 机遇。

城市规划是指导土地利用、交通组织、城市基础设施及相关生态系统和人类服务的利用和资源配置的过程,是确保最大程度的经济发展、高品质生活、自然资源

管理和有效的基础设施运营的过程。城市规划需要制定、评估和预测一个城市及其基础设施系统、过程、功能和服务的有组织、协调和标准化的物理安排,即建筑形式(建筑物、街道、邻里、住宅区和商业区、公园等)、城市基础设施(交通、供水、供电、供能及生态系统服务),市民服务(公共服务、社会服务、文化设施等),行政管理(向市民提供服务和设施、实施遵守既定监管框架的机制、政策建议、各种技术和评估研究等)。城市规划的最终目标是使城市更具可持续性,从而使城市更宜居、更具吸引力。作为一门学科,城市规划涉及研究和分析、可持续发展、战略思维、环境规划、交通规划、土地利用规划、政策建议、实施和管理。

而城市设计则是从城市物质空间结构、安排和类型方面设计、塑造和重构城市的过程,包括建筑、街道、邻里、地区、公园、基础设施和公共空间等的布局、形态及其相互之间的关系,同时也需要从实际使用的角度尤其是考虑人的因素对城市规划在土地利用、交通组织、资源配置等方面进行优化和调整。可持续城市设计则需要从城市尺度下对人居环境形态与环境可持续性、经济可行性和社会公平、建筑环境与生态系统、人与自然环境等与城市形式之间建立联系。

在智慧可持续城市概念下,城市信息通信技术和各项智能技术在城市系统和各项城市领域已开始广泛使用。事实上,数据传感和信息处理正在快速嵌入城市的结构中,而无线网络正在以难以想象的规模激增^[81]。因此应将城市系统视作一个动态和不断演变的系统,以数据技术和智能技术来支撑实现城市运作方式、管理和发展方式的可持续性。此外,城市如何智慧地进行规划和设计,对于实现可持续发展的长期目标具有根本性的重要意义。信息通信技术的各种形式(基础设施、应用程序、数据分析能力和服务)日益被视为是解决一系列复杂的环境挑战和当代城市面临的日益严重的社会经济问题的无可比拟的方法。从这样的角度我们乐观地对未来城市设计学科值得关注的研究方向和新的课题进行设想。

第一,在总体概念上,需要利用新兴城市计算技术(大数据、云平台、射频数据采集等)重点研究可持续城市形态的智能规划和设计,将其作为一套完整的类型和设计概念(即密度、紧凑性、多样性、混合土地利用、可持续交通和生态设计),作为城市物质空间布局和组织的基本依据。需要考虑一个城市在可持续的各项指标下(如零能耗、零排放、零废弃物等)的合理规模,如占地面积、人口数量、人口密度、居住和产业的比例等。需要考虑城市功能布局与能源、水资源以及对环境影响等要素最高效、最优化的组织方式或动态组织方式等。

第二,在城市交通形式上,未来智能交通可能颠覆现有机动车的道路系统,这一点在马思达尔新城已经看到这种趋势,也即自动驾驶汽车代替现有的私家车交通系统,可以大大节约道路用地,甚至可能将这类交通布置于地下或高架,地面可以成为行人的活动空间,步行城市成为可能。因而在智慧可持续城市概念下,关于城市交通需要探索的议题有:未来新的城市交通系统的可能形态,其空间尺度、流量、与建筑和城市空间的关系等等;新的交通系统下,建筑与城市空间的关系以及城市生活活动场所的形式等;城市空间结构的各种新的可能模式;新的交通系统下城市居住、公共活动、产业、自然环境的相互关系可能产生的变化(相对与现行的功能区划)而带来的新的城市功能组织的可能性。

第三,由于数据技术和智能技术的支撑,在城市发展过程中公众参与的程度将大大提高,城市发展必须考虑两个特别关键的维度,即环境的可持续性和社会的可持续性,因而,城市不再象过去一旦规划完成,一直按规划蓝图实施,城市更有可能根据实时的数据反馈和市民的实际需求进行智能的综合计算,而确定城市发展每个阶段的重大决策(包括资源再配置、建设容量的动态调整控制、设施的建设、人口流动性、产业结构的完善调整等)。因而具有弹性的城市政策和管理体系将会成为一个重要的研究方向,而动态的渐进式智能城市设计和管理模式也将成为重点探索的领域。

第四,设施共享是高效率利用资源的重要途径,在新兴的数据技术和智能技术手段下,“共享城市”和“共享建筑”成为可能,在可以预见的将来,城市的许多资源,包括交通、居住空间、教育设施、文化设施、体育设施及其他基础设施都有进行共享使用的可能,这也是城市设计可以进行发散思考的重点议题之一,共享随之而来的可能性,是原来功能类型建筑的消失,混合功能建筑,甚至是建筑与基础设施及城市空间的混合体,可移动建筑、即插即拔建筑舱体、即时建筑(应特定活动需要临时由智能机器人建造的场所)等都有可能,只要是城市的市民有什么样的需求,就会诞生什么样的建筑。而要进行动态组织和管理这些可能性,在城市设计领域又有许多可待研究的议题。

6 结 语

智慧城市为城市的未来发展创造了无限的可能性,总体而言,我们坚信随着技术的不断进步,未来城市将实现人居环境的理想状态,也就是智慧可持续城市新模式,这将是一个适宜人类生存、文化高度繁荣、不断创新发展的,同时又对环境极小影响的模式。城市设计学科作为研究人居环境形态的领域,将随着新技术带来的可能性,不断探索与人类活动相关的城市空间形态、组织模式、管理模式等方面的议题。

参考文献:

- [1] BATTY M, AXHAUSEN K W, *et al.* Smart cities of the future[J]. The European Physical Journal, 2014: 481-518.
- [2] WASHBURN D, SINDHU U, *et al.* Helping CIOs understand “smart city” initiatives[J]. Growth, 2009, 17(2): 1-17.
- [3] HALL R E, BOWERMAN B, BRAVERMAN J, *et al.* The vision of a smart city[R]. Brookhaven National Lab., Upton, NY (US), 2000.
- [4] HOLLANDS R G. Will the real smart city please stand up? Intelligent,

progressive or entrepreneurial?[J]. City, 2008, 12(3): 303-320.

- [5] GIFFINGER R, FERTNER C, KRAMAR H, *et al.* City-ranking of European medium-sized cities[J]. Cent. Reg. Sci. Vienna UT, 2007: 1-12.
- [6] LOMBARDI P, GIORDANO S, FAROUH H, *et al.* Modelling the smart city performance[J]. Innovation: The European Journal of Social Science Research, 2012, 25(2): 137-149.
- [7] HARRISON C, ECKMAN B, HAMILTON R, *et al.* Foundations for smarter cities[J]. IBM Journal of Research and Development, 2010, 54(4): 1-16.
- [8] TOPPETA D. The smart city vision: how innovation and ICT can build smart, “livable”, sustainable cities[J]. The Innovation Knowledge Foundation, 2010(5): 1-9.
- [9] CARAGLIU A, DEL B C, NIJKAMP P. Smart cities in Europe[J]. Journal of urban technology, 2011, 18(2): 65-82.
- [10] GIOVANNELLA C. “Territorial smartness” and emergent behaviors[C]//Systems and Computer Science (ICSCS), 2013 2nd International Conference on. IEEE, 2013: 170-176.
- [11] GIFFINGER R, FERTNER C, KRAMAR H, *et al.* Smart cities: Ranking of european medium-sized cities. vienna, austria: Centre of regional science (srf), vienna university of technology[J]. www. smart-cities. eu/download/smart cities final report. pdf, 2007.
- [12] ASHTON K. That ‘internet of things’ thing[J]. RFID journal, 2009, 22(7): 97-114.
- [13] VAN K R. The Internet of Things: A critique of ambient technology and the all-seeing network of RFID[M]. Institute of Network Cultures, 2008.
- [14] KIM T, RAMOS C, MOHAMMED S.

- Smart city and IoT[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2017(76): 159-162
- [15] SILVA B N, KHAN M, HAN K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018(38): 697-713.
- [16] YAMAGATA Y, SEYA H. Simulating a future smart city: An integrated land use-energy model[J]. *Applied Energy*, 2013(112): 1466-1474.
- [17] CALVILLO C F, SANCHEZ-MIRALLES A, VILLAR J. Energy management and planning in smart cities[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016(55): 273-287.
- [18] MOUZOURIDES P, KYPRIANOU A, CHOUDHARY R, *et al.* How can a multi-scale analysis guide smart urban energy demand management? An example from London City Westminster Borough[J]. *Procedia Engineering*, 2017(180): 433-442.
- [19] KRARTI M. *Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centers*[M]. Butterworth-Heinemann, 2018.
- [20] KRAMERS A, HOJER M, LOVEHAGEN N, *et al.* Smart sustainable cities—Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities[J]. *Environmental modelling & software*, 2014(56): 52-62.
- [21] VOLLARO R D L, EVANGELISTI L, CARNIELO E, *et al.* An integrated approach for an historical buildings energy analysis in a smart cities perspective[J]. *Energy Procedia*, 2014, 45: 372-378.
- [22] KHANSARI N, MOSTASHARI A, MANSOURI M. Conceptual modeling of the impact of smart cities on household energy consumption[J]. *Procedia Computer Science*, 2014(28): 81-86.
- [23] DEBNATH A K, CHIN H C, HAQUE M M, *et al.* A methodological framework for benchmarking smart transport cities[J]. *Cities*, 2014(37): 47-56.
- [24] CASSANDRAS C G. Automating mobility in smart cities[J]. *Annual Reviews in Control*, 2017(44): 1-8.
- [25] GOHAR M, MUZAMMAL M, RAHMAN A U. SMART TSS: Defining transportation system behavior using big data analytics in smart cities[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2018(41): 114-119.
- [26] FERNANDEZ-ARES A, MORA A M, ARENAS M G, *et al.* Studying real traffic and mobility scenarios for a Smart City using a new monitoring and tracking system[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2017(76): 163-179.
- [27] MEDINA-TAPIA M, ROBUSTE F. Exploring paradigm shift impacts in urban mobility: Autonomous Vehicles and Smart Cities[J]. *Transportation research procedia*, 2018(33): 203-210.
- [28] ZAWIESKA J, PIERIEGUD J. Smart city as a tool for sustainable mobility and transport decarbonisation[J]. *Transport Policy*, 2018(63): 39-50.
- [29] POP M D, PROSTEAN O. A comparison between smart city approaches in road traffic management[J]. *Procedia-social and behavioral sciences*, 2018(238): 29-36.
- [30] HAGENAUER F, DRESSLER F, ALTINTAS O, *et al.* Cars as a main ICT resource of smart cities[M]. *Smart Cities and Homes*. 2016: 131-147.
- [31] LAU S P, MERRETT G V, WEDDELL A S, *et al.* A traffic-aware street lighting scheme for Smart Cities using autonomous networked sensors[J]. *Computers & Electrical Engineering*, 2015(45): 192-207.
- [32] FIRNKORN J, MULLER M. Free-floating electric carsharing-fleets in smart cities: The dawning of a post-private car era in urban environments? [J]. *Environmental Science & Policy*, 2015(45): 30-40.
- [33] SOARES J, BORGES N, GHAZVINI M A F, *et al.* Scenario generation for electric vehicles' uncertain behavior in a smart city environment[J]. *Energy*, 2016(111): 664-675.
- [34] CALVILLO C F, SANCHEZ-MIRALLES A, VILLAR J, *et al.* Impact of EV penetration in the interconnected urban environment of a smart city[J]. *Energy*, 2017(141): 2218-2233.
- [35] LEE T, JUNG H Y. Mapping city-to-city networks for climate change action: Geographic bases, link modalities, functions, and activity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018(182): 96-104.
- [36] ABELLA-GARCIA A, ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO M, DE-PABLO-S-HEREDERO C. The ecosystem of services around Smart cities: An exploratory analysis[J]. *Procedia Computer Science*, 2015(64): 1075-1080.
- [37] ABELLA A, ORTIZ-DE-URBINA-CRIADO M, DE-PABLO-S-HEREDERO C. A model for the analysis of data-driven innovation and value generation in smart cities' ecosystems[J]. *Cities*, 2017(64): 47-53.
- [38] DHYANI S, LAHOTI S, KHARE S, *et al.* Ecosystem based disaster risk reduction approaches (EbDRR) as a prerequisite for inclusive urban transformation of Nagpur City, India[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018.
- [39] HERRERA M, IZQUIERDO J, PEREZ-GARCIA R, *et al.* On-line learning of predictive kernel models for urban water demand in a smart city[J]. *Procedia engineering*, 2014(70): 791-799.
- [40] CHEN Y, HAN D. Water quality

- monitoring in smart city: A pilot project[J]. *Automation in Construction*, 2018, 89(1): 307-316.
- [41] DIGIESI S, FACCHINI F, MOSSA G, *et al.* A cyber-based DSS for a low carbon integrated waste management system in a smart city[J]. *IFAC-PapersOnLine*, 2015, 48(3): 2356-2361.
- [42] WHEELER S M, TIMOTHY B. *The sustainable urban development reader*[M]. Routledge, 2014.
- [43] ETZKOWITZ H, LEYDESDORFF L. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations[J]. *Research policy*, 2000, 29(2): 109-123.
- [44] MURRAY A, MINEVICH M, ABDOULLAEV A. Being smart about smart cities[J]. *Searcher*, 2011, 19(8): 20-23.
- [45] BATAGAN L. Smart cities and sustainability models[J]. *Informatica Economica*, 2011, 15(3): 80-87.
- [46] International Telecommunications Union (ITU), 2014, Agreed definition of a smart sustainable city, Focus Group on Smart Sustainable Cities, SSC-0146 version Geneva, 5–6 March.
- [47] IBRAHIM M, EL-ZAART A, ADAMS C. *Smart Sustainable Cities: A New Perspective on Transformation, Roadmap, and Framework Concepts*[C]//The Fifth International Conference on Smart Cities, Systems, Devices and Technologies (includes URBAN COMPUTING 2016), IARIA. 2016: 8-14.
- [48] MONFAREDZADEH T, BERARDI U. Beneath the smart city: dichotomy between sustainability and competitiveness[J]. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2015, 6(3): 140-156.
- [49] NEGRE E, ROSENTHAL-SABROUX C, GASCO M. A knowledge-based conceptual vision of the smart city[C]//2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE, 2015: 2317-2325.
- [50] TRENCHER, G. Towards the smart city 2.0: Empirical evidence of using smartness as a tool for tackling social challenges[J]. *Technological Forecasting & Social Change* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.033>
- [51] FINCO A, NIJKAMP P. Pathways to urban sustainability[J]. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 2001, 3(4): 289-302.
- [52] CHOURABI H, NAM T, WALKER S, *et al.* Understanding smart cities: An integrative framework[C]//System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on. IEEE, 2012: 2289-2297.
- [53] TOWNSEND A M. Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia[M]. WW Norton & Company, 2013.
- [54] GLAESER E. *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*[M]. Penguin Press, New York, 2013.
- [55] MCLAREN D, AGYEMAN J. *Sharing cities: a case for truly smart and sustainable cities*[M]. MIT Press, 2015.
- [56] MONFAREDZADEH T, KRUEGER R. Investigating social factors of sustainability in a smart city[J]. *Procedia engineering*, 2015(118): 1112-1118.
- [57] MAHIZHNAN A. Smart cities: The Singapore case[J]. *Cities*, 1999, 16(1):13-18.
- [58] Smart Cities Council[OL], 2016. <http://smartcitiescouncil.com/article/smarter-city-latin-america-one-may-surprise-you> (accessed 20.07.16).
- [59] UNEP. *City-Level Decoupling: Urban Resource Flows and the Governance of Infrastructure Transitions*[R]. Nairobi: UNEP.2013.
- [60] VOGL A. Smart concepts for greener cities[J]. *Green cities*, 2012: 373-405.
- [61] STRICKLAND E. Cisco bets on South Korean smart city[J]. *IEEE Spectrum*, 2011, 48(8): 11-12.
- [62] KIM T J. Planning for knowledge cities in ubiquitous technology spaces: opportunities and challenges[M]// *Ubiquitous and Pervasive Computing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. IGI Global, 2010: 1613-1625.
- [63] SHWAYRI S T. A model Korean ubiquitous eco-city? The politics of making Songdo[J]. *Journal of Urban Technology*, 2013, 20(1): 39-55.
- [64] STILWELL B, LINDABURY S. MASDAR: “Evaluating the world’s most sustainable city”[J]. *Final Project for City and Regional planning* 3840. 2008.
- [65] Carflor[OL]. <http://caflor.net/datalogger.html>.
- [66] Torque[OL]. <http://torque-bhp.com>.
- [67] <https://www.urenio.org/2015/01/26/smart-city-strategy-planlt-valley-portugal/>
- [68] HAUBENSAK O. Smart cities and internet of things[C]// *Business Aspects of the Internet of Things, Seminar of Advanced Topics*, ETH Zurich. 2011: 33-39.
- [69] NILSSEN M. To the smart city and beyond? Developing a typology of smart urban innovation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018.
- [70] SHELTON T, ZOOK M, WIIG A. The ‘actually existing smart city’ [J]. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2015, 8(1): 13-25.
- [71] Bodø Municipality[OL]. <http://www.nordicpavilion.org/bodo-municipality/>.
- [72] UNEP. *The Emissions Gap Report 2016*.

- United Nations Environment Programm (UNEP)[R], Nairobi.2016. <https://www.unenvironment.org>.
- [73] European Union. Quality of Life in European Cities: Flash Barometer 419[R]. European Union. 2016. https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/.
- [74] UNEP. Climate Finance for Cities and Buildings-a Handbook for Local Governments[R]. UNEP Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), Paris. 2014. pp. 1e68.
- [75] UNDESA, United Nations. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables[R]. Working Paper No. ESA/P/WP.241. 2015.
- [76] PRATT A C. Creative cities: the cultural industries and the creative class[J]. Geografiska annaler: series B, human geography, 2008, 90(2): 107-117.
- [77] RICHARDS G. Creativity and tourism: The state of the art[J]. Annals of tourism research, 2011, 38(4): 1225-1253.
- [78] FLORIDA R. Cities and the creative class[M]. Routledge, 2005.
- [79] CAPDEVILA I, ZARLENGA M I. Smart city or smart citizens? The Barcelona case[J]. Journal of Strategy and Management, 2015, 8(3): 266-282.
- [80] CARAGLIU A, DEL BO C, NIJKAMP P. Smart cities in Europe[J]. Journal of urban technology, 2011, 18(2): 65-82.
- [81] Bibri S E, Krogstie J. The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: a review and synthesis[J]. Journal of Big Data, 2017, 4(1): 38.
- Figure sources:
 Figure 1: Author drawing
 Figure 2-3: From SILVA B N, KHAN M, HAN K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities[J]. Sustainable Cities and Society, 2018(38): 697-713.
 Figure 4: From International Telecommunications Union (ITU), 2014, Agreed definition of a smart sustainable city, Focus Group on Smart Sustainable Cities, SSC-0146 version Geneva, 5-6 March.
 Figure 5: From IBRAHIM M, EL-ZAART A, ADAMS C. Smart Sustainable Cities: A New Perspective on Transformation, Roadmap, and Framework Concepts[C]//The Fifth International Conference on Smart Cities, Systems, Devices and Technologies (includes URBAN COMPUTING 2016), IARIA. 2016: 8-14.
 Figure 6: According to reference literature FINCO A, NIJKAMP P. Pathways to urban sustainability[J]. Journal of Environmental Policy & Planning, 2001, 3(4): 289-302. Drawing
 Figure 7: From Smart City Council
 Figure 8: From Norman Foster Architects
 Figure 9: From <https://www.newscientist.com/article/mg20827814-800-the-green-city-that-has-a-brain/>
 Figure 10: From <http://www.nordicpavilion.org/bodo-municipality/>
 Table 1: Author drawing

收稿日期: 2019-01-20

(编辑: 李方)