



南方建筑

South Architecture

ISSN 1000-0232,CN 44-1263/TU

《南方建筑》网络首发论文

题目：立体 TOD 城市设计模式探究及数字化研究展望—以城市轨道中心型站点为例
作者：袁红，何媛，姚强
网络首发日期：2020-10-22
引用格式：袁红，何媛，姚强. 立体 TOD 城市设计模式探究及数字化研究展望—以城市轨道中心型站点为例. 南方建筑.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1263.tu.20201022.1200.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

立体 TOD 城市设计模式探究及数字化研究展望—以城市轨道交通中心型站点为例*

Three-dimensional TOD Urban Design Pattern Exploration and Digital Research Prospect—Take Urban Central Railway Station as an Example

袁红^{1*}, 何媛², 姚强³

Yuan Hong, He Yuan, Yao Qiang

开放科学（资源服务）标识码（OSID）：



本文引用格式：袁红，何媛，姚强. 立体 TOD 城市设计模式探究及数字化研究展望—以城市轨道交通中心型站点为例[J]. 南方建筑.

摘要：当前我国大城市呈现高度集聚性及立体化的发展趋势，传统的 TOD 理论不能完全诠释中国大城市的 TOD 发展模式。在智慧城市及城市高度集聚发展的背景下，通过研究城市立体化发展理论基础及实际项目，提出城市中心型轨道站点核心区立体 TOD（3D TOD）城市设计模式，根据站点核心区土地利用及城市功能特征，总结出“商务+商业、商业+公共枢纽、商务+公共枢纽、会展+商务、商业+教育、商业+历史街区”六种中心型站点立体 TOD 模式的发展类型，构建站点核心区智能化立体 TOD 城市设计方法技术框架，研究城市轨道交通中心型站点核心区立体集聚发展的机制，优化 TOD 理论，为智能化城市设计提供参考。

关键词：立体 TOD 模式；城市设计；轨道中心型站点核心区；人工智能；设计决策平台

ABSTRACT：At present, China's big cities are showing a high concentration and three-dimensional development status. The traditional TOD theory cannot fully explain the current TOD development model of China. In the context of smart city and the highly concentrated development of cities, this paper proposes a three-dimensional TOD (3D TOD) urban design model for the core area of urban central railway station by studying the theoretical basis of urban three-dimensional development and practical projects. Based on the characteristics of land use and urban functions in the core area of railway station, this study summarizes six development types of the three-dimensional TOD model: "Business + Commerce, Commerce + Public Hub, Business + Public Hub, Convention & Exhibition + Business, Commerce + Education, Commerce + Historic District". In addition, this paper constructs the technical framework of intelligent three-dimensional TOD urban design method in the core area of urban central railway station, studies the mechanism of three-dimensional agglomeration development, and optimizes the TOD theory, so as to provide a reference for intelligent urban design.

KEY WORDS：Three-dimensional TOD model, Urban design, The core area of urban central railway station, Artificial intelligence technology, Design decision platform

***基金项目：**国家自然科学基金面上项目（51678486）：山城轨道影响区地下空间立体紧凑设计理论研究—基于大数据及 3D GIS 技术

作者简介：¹副教授，电子邮箱：yuanyuqing0106@foxmail.com；²博士研究生；³助理研究员¹⁸²⁸³西南交通大学建筑与设计学院；¹华盛顿大学城市设计与规划系

引言

2015 年《中央城市工作会议》提出“加强对城市的空间立体性、平面协调性……要坚持集约发展、树立‘精明增长’、‘紧凑城市’理念，科学划定城市开发边界，推动城市发展由外延扩张式向内涵提升式转变”等一系列理念^[1]。2020 年中国的城市轨道交通将达到 6000 公里设置 4000 个站点^[2]。在 TOD 助推中国城市转型的理念下，轨道交通的快速发展为城市提供了一个调整城市结构、促进低碳发展的重要契机^[3]。面对我国大城市的高度集聚及立体发展的现状，发源于美国的 TOD 模式及理论不能解决中国城市的发展问题，迫切需要研究适应中国国情的立体 TOD 模式及城市设计方法。城市轨道交通中心型站点核心区是城市中心区的核心，是人口聚集程度最高、城市矛盾（交通堵塞、地价高昂、环境复杂）最突出的区域，也是进行城市综合体开发建设和地下空间利用需求度最高的区域。核心区地上、地面、空中三维空间协同（3D TOD）发展，可以优化城市功能布局 and 空间结构、提高城市容量、组织交通换乘、改善城市环境、构建步行网络，有效承载城市人口（实现 50% 以上的城市人口和通勤交通需求分布在轨道影响区范围内^[4]）实现城市集约发展。同时，国土空间规划将地上与地下空间资源均纳入空间规划范畴，极大地促进城市立体化、集约化、生态化发展。中心型站点核心区作为空间立体性最高、功能混合度最高、空间集约性最高、城市经济性最高的区域，其立体空间规划（3D TOD 规划）是当代城市空间规划的重要研究内容。

基于对中英文数据库的综合检索和文献分析，发现目前国内外缺乏对站点区域城市空间形态及 TOD 城市设计的量化研究，缺乏立体化/数字化 TOD 空间模式研究。通过英文数据库 Web of Science 以主题词“transit-oriented development+urban design+3D”检索结果为 1 篇会议短文，提出采用混合土地使用、TOD 和 3D（三维）设计方法实现城市设计的可持续性^[5]；以主题词“station area+3D”检索结果中没有属于 urban study 的相关研究，论文仅出现在工程、地质等领域；以主题词“TOD+underground space”检索结果仅为 3 篇；以主题词“TOD+urban design”检索结果 51 篇^[1]，侧重于站点区域土地利用与交通相互作用机制^[6]、可步行性^[7]、居民出行方式^[8]的量化研究以及 TOD 建成环境及效能指标评价^[9]、^[10]，缺乏将 TOD 模式与三维（3D）城市设计结合的研究^[2]。

通过中文数据库 CNKI 以主题词“TOD+城市设计+立体”直接检索结果为 0 篇；以主题词“TOD+城市设计”检索结果为期刊论文 32 篇（核心期刊 6 篇）、博士论文 5 篇，硕士论文 28 篇、会议论文 4 篇（以主题词“TOD+地下空间”检索发现核心期刊及博士论文与前者高度重合），涉及立体 TOD 相关内容的论文以站点区域地上地下一体化开发^[11]、土地利用^[13]、空间发展模式^[14]、步行系统^[15]的定性研究为主，侧重城市设计方法及策略的研究以及导则编制^[16]、^[17]。

基于中国立体 TOD 发展的重要性及研究缺陷，本文结合数字化技术和设计实践要求，提出城市中心型轨道站点核心区立体 TOD（3D TOD）的城市设计模式，探索智能化立体 TOD 城市设计的 AI 技术支持，展望智能化设计决策平台的数字化 TOD 城市设计研究发展前景，为构建中国城市中心型轨道站点核心区数字化立体 TOD 模式及城市设计理论提供有力的支撑。

1 立体 TOD 城市设计模式构建的理论基础

1.1 与 TOD 相关的轨道站点区域立体化城市设计理论及方法

1.1.1 “二维→三维”、“扩散→紧凑”的城市立体化发展理论

尽管 TOD 概念是作为新城市主义运动的城市设计方法论被提出的（Congress of New Urbanism, Charter of the New Urbanism, 1999），但是“交通引导城市发展”的理念由来已久。早在 1882 年，索里亚·玛塔提出的“带状城市”中就明确了“交通干线是城市主要骨架”这一观点。之后，相关理论及设计实践随之显现，如：巴黎交通枢纽改造方案中将站点分五层布置（1906），“明日城市”、“垂直的田园城市”（1922）中构想多层交通体系；雅典宪章（1933）倡导通过利用地上地下空间结构改善城市环境；阿斯普伦德（Hans Asplund, 1983）总结性的提出双层城市、城市立体化、城市平面交通模式可使城市中心、建筑、交通三者的关系得到协调发展；户所隆（1985）、渡部与四郎（1990）亦提出都市空间立体化；格兰尼、尾岛俊雄倡导地下空间、紧凑城市和坡地选址整合为一体（1995）；荷兰 KVRDW 公司（2010）创新性的提出密度城市、无零水平面、城市基面上下化（立体化）发展；东南大学韩冬青教授（1999）系统地提出城市空间形态与结构的系统化、立体化、宜人化趋势，并认为立体化就是“对用地进行地上、地面、地下三维的综合开发，以构成一个连续的、流动的空间体系”^[18]。城市从原有二维平面发展转向三维立体发展，从土地利用转向空间利用。随着进入后工业化时代，以往城市扩散式发展带来了能源高损耗，耕地不足等城市问题，城市开始从扩散向紧凑式发展转变。

1.1.2 基于 TOD 理论的轨道站点区域立体化城市设计方法及实践

（1）轨道站点区域城市立体化设计实践及理论研究

日本作为最早进行站点区域立体化设计的国家之一，创造了东京站、涩谷站等成功的站城一体化城市设计（图 1-4），受到学界的广泛专注，但目前少有专家进行立体 TOD 模式的系统构建。卢济威教授提出轨道交通站点区域协

同发展有效地促进车站地区多层次空间规划^[19]。国内外相关研究还包括轨道站点立体式开发、交通枢纽与城市发展的一体化趋势、建筑综合体与城市交通系统立体化衔接，轨道站点与区域协同式开发、城市公共空间与交通空间的复合开发模式、城市中心区立体步行交通系统等。

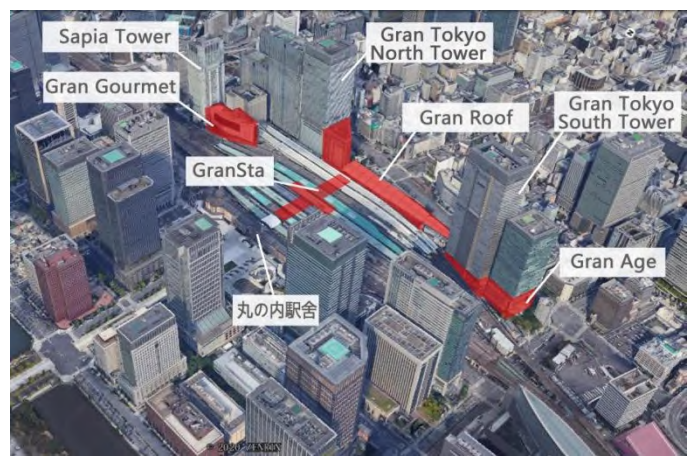


图 1 东京站站域城市更新项目

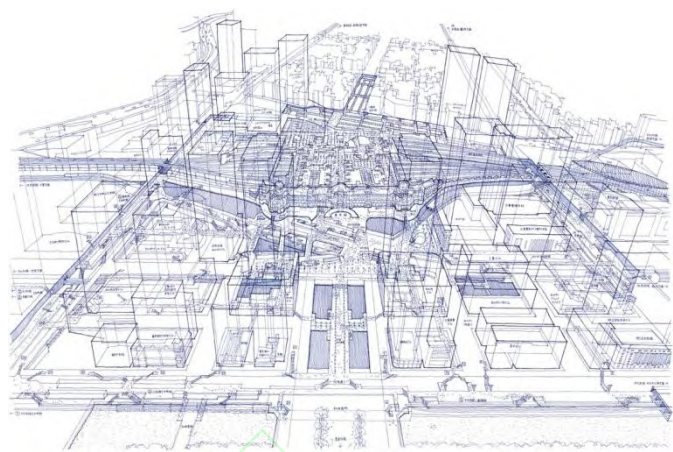


图 2 东京站建筑师手绘图（田中智之绘制）



图 3 未来的涩谷站全景图

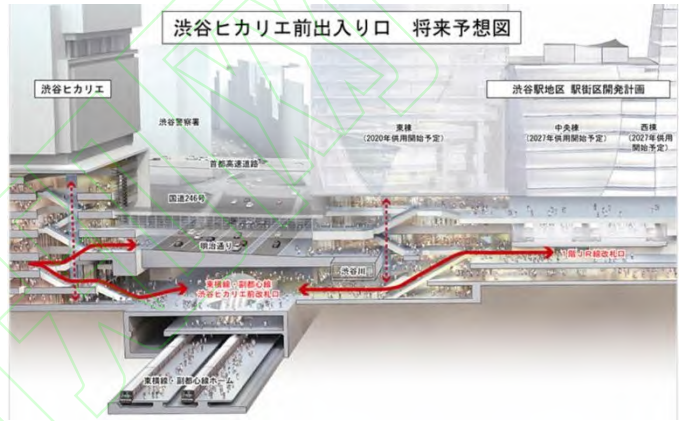


图 4 未来的涩谷站剖面图

（2）轨道站点区域立体 TOD 模式研究

TOD(Transit-Oriented-Development)作为倡导“以公共交通为导向”的城市开发模式^[16]，其概念最早由新城市主义代表人物彼得·卡尔索普提出^[20]，用以控制城市的无序蔓延，后被广泛用于发展轨道交通的欧美中日韩等国。大量的城市实践和研究证明 TOD 模式能够有效提高公共交通沿线地区的土地价值与土地使用效率、减少碳排放量、提高城市空间品质、增加交往机会、提升城市的整体效率，从而促进城市的有序发展（孙施文，2007）。但是由于人口聚集度、城市化率、土地政策、政府机制等制约因素，TOD 模式在各国及城市的发展特征有所不同。由于中国大城市人口的高度集聚特征，其轨道站点核心区的 TOD 发展模式较之欧美城市具有更强的空间立体性，如站点区域地下空间大量综合开发、“轨道+物业”“轨道+停车”模式、以及地下、地面、空中网络步行体系等。

传统的 TOD 理论已经不能完全指导站点区域的立体化发展，因此本文提出 3D TOD 的概念，基于数字技术精准研究这种立体化、系统化的空间发展机制及空间构成模式。通过对“轨道站点区域立体 TOD 模式”的相关研究进行归纳分析发现，轨道站点核心区以立体 TOD 模式进行开发的代表是东京、香港等地上地下一体化开发的站点区域，

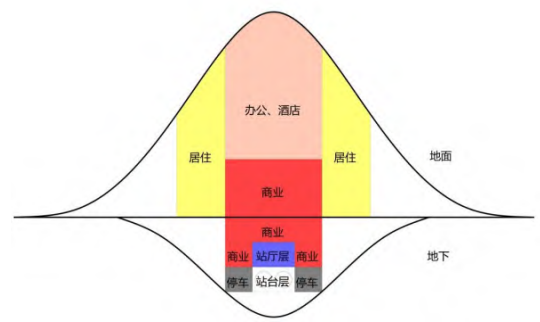


图 5 TOD 的立体设计

其以开发上盖物业及地下空间为特征，以轨道站点为核心向上、向下、周边进行立体空间扩张，将城市功能高度混合设置在站点核心区内，其地下空间的开发亦遵循 TOD 理论，形成“以轨道交通为发展轴、轨道站点为发展点”的空间分布格局。目前，国内外相关大型设计院（日建设计、中建西南院等）、国内知名房地产商（万科、绿城、龙湖等）及地铁公司（重庆轨道交通集团等）在站点区域设计及宣传上已经大量运用了“立体 TOD、TOD 城市设计”等表征立体 TOD 模式的词汇，仅深圳市轨道交通设计研究院兰杰结合大量项目实践提出了 TOD 的立体化模式（图 5），并将地下空间这一站点区域发展的重要因素纳入 TOD 发展范畴^[21]。由此可知，该领域相关研究非常匮乏，并且仍然停留在定性的经验总结阶段。

总之，虽然立体 TOD 模式没有被系统提出，但通过分析城市立体化发展演化脉络发现，“交通引导城市发展”的理念可追溯到“带形城市”（1882），证明站点区域地上地下立体化从产生之初就对城市发展有重要价值。当前轨道站点区域立体化城市设计以定性研究为主，其立体 TOD 模式仍停留在设计实践层面，亟需系统和科学的构建立体 TOD 城市设计模式，满足中国大城市发展要求。

1.2 数字化 TOD 城市设计研究基础

1.2.1 TOD 城市设计量化研究基础

目前，TOD 城市设计量化研究主要集中在交通出行、土地利用、功能混合、建成环境及效能指标^{[9], [10]}等几个方面，仅有少数量化研究探索了站点区域城市地下空间对城市紧凑性和土地多样性的影响机制、分析了站点与城市公共空间的耦合关系，如：构建轨道站点影响区微观万有引力紧凑度模型，证明站域地下空间开发对提高城市紧凑性有重要的促进作用^[22]；运用 GIS 空间分析方法从网络联通度及可达度两方面研究地下空间在城市土地多样性发展中的影响机制^[23]；基于 GIS 平台及空间统计分析，研究站点网络与城市公共中心的空间耦合关系^[24]。但空间形态及 TOD 城市设计的量化研究仍然非常缺乏。

1.2.2 轨道站点区域 3D 数字化模型研究

该领域目前仅有剑桥大学 Simon James Price 以伦敦 Earls Court 为例研究地下空间的三维地质模型，并将其纳入城市规划体系，形成 3D ground-use 模式，以达到缓解土地发展压力及促进可持续性发展的目的^[25]（如图 6）；瑞士 BG Consulting Engineers（2011）小组运用 GIS 研究某城市副中心地下空间资源利用途径并建立 Deep City 模式（2014）^[26]属于基于 GIS 决策支持系统的规划设计研究，类似的三维研究较为匮乏（如图 7）。

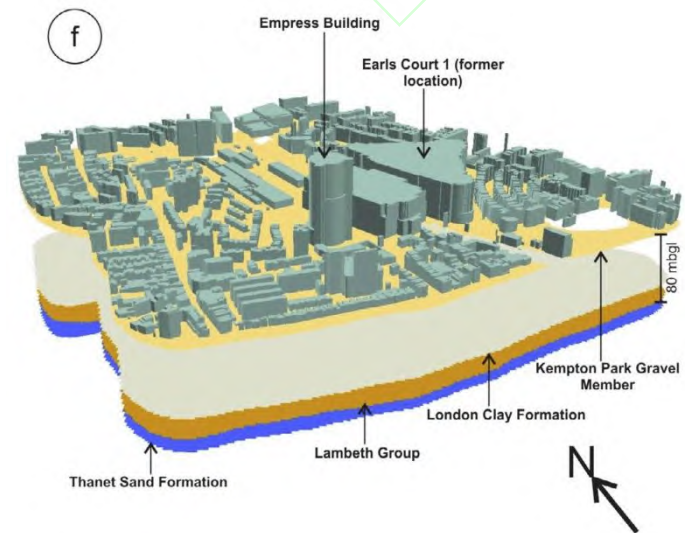


图 6 开发前的 3D 建筑+地质可视化模型

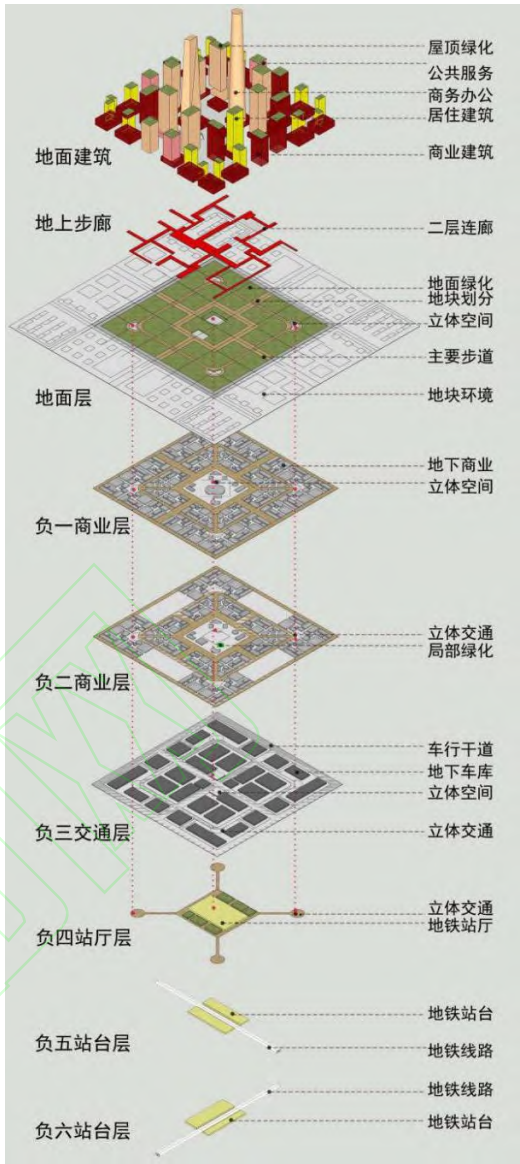


图 8 中心型轨道站点核心区轴侧展开图

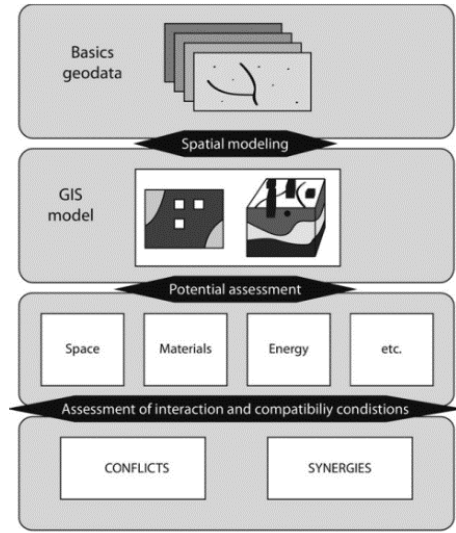


图 7 基于 GIS 评估地下空间资源用于城市规划

2 城市中心型轨道站点立体 TOD 城市设计模式探索

2.1 城市中心型轨道站点概念界定






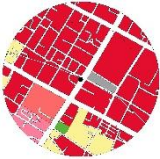




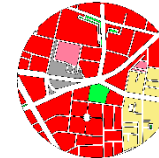




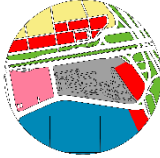

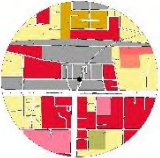




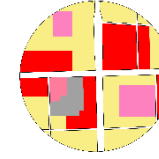
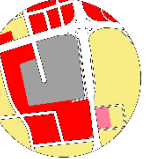
根据《城市轨道沿线地区规划设计导则》（以下简称《导则》），中心型站点是承担城市级中心及副中心功能的轨道站点，原则上为多条轨道交通线路的交汇站，定位为区域级公共服务中心，轨道站点核心区范围内鼓励进行城市综合体开发建设（亦是地下空间利用需求度最高的区域），多个中心站组合构成城市中心区^[4]。《导则》将轨道站点区域分为四个空间范围层次：（1）0-100 m 地上地下空间；（2）100-500m 核心影响区；（3）500-800m 影响区；（4）800-1500m 次级影响区。由于各城市化率发展不一，城市建设规模不同，为提取站点核心区的显著特征，本文选择国内 I 级线网城市 300 米核心区的临界范围^[3]，研究其立体 TOD 城市设计模式。

2.2 立体 TOD 城市设计模式构想

通过对城市中心型轨道站点核心区的研究分析，提出立体 TOD 城市设计模式的初步构想（图 8），选择以站点为中心 300m 范围内的 300m×300m 地块，设定街区尺度 100m，地面-地上建设全步行系统及立体绿化，站点核心区开发地下空间用于商业、停车及轨道交通，地下空间仅在建筑地面层仅保留部分入口及功能房间，形成站点核心区地上-地面-地下多层次的立体城市空间（该立体 TOD 城市设计模式构想可以类比用于轨道站点影响区各圈层的 TOD 模式研究）。

2.3 站点核心区立体 TOD 城市设计模式分析

通过对 12 个国内 I 类线网城市（北京、广州、上海、深圳、重庆、成都、天津、南京、武汉、杭州、郑州、长沙）的中心型轨道站点进行逐一筛选，最终选取其中最具有代表性的 57 个中心型站点，依据《城市轨道沿线地区规划设计导则》并结合站点的实际情况，将其分为“商务+商业、商业+公共枢纽、商务+公共枢纽、会展+商务、商业+教育、商业+历史街区”六种类型^[4]，分析站点核心区用地功能（表 1）。在分析各站点用地功能的基础上，结合《导则》及涩谷站、东京站等案例，提出了以下站点核心区立体 TOD 模式图（表 2）^[5]。

商业 + 商务	北京	广州	上海	深圳	重庆	成都
						
	国贸站	珠江新城站	徐家汇站	车公庙站	小什字站	春熙路站
	天津	南京	武汉	杭州	郑州	长沙
						
	营口道站	新街口站	香港路站	武林广场站	二七广场站	五一广场站
商业 + 公共枢纽	北京	广州	上海	深圳	重庆	成都
						
	西直门站	嘉禾望岗站	上海火车站	竹子林站	沙坪坝站	火车北站
	天津	南京	武汉	杭州	郑州	长沙
						
	复兴路站	南京南站	武昌火车站	杭州客运中心站	京广南路	望城坡站
	北京	广州	上海	深圳	重庆	成都



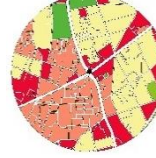

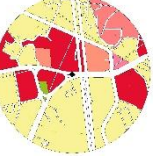
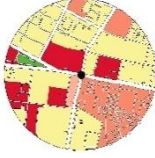




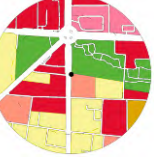
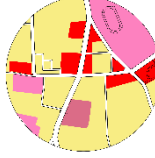


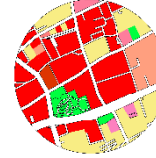


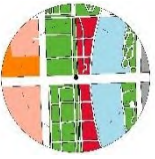
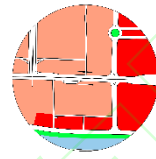
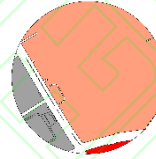

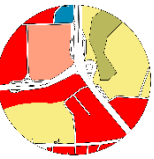
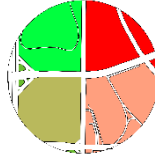


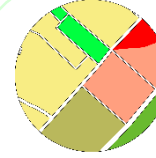

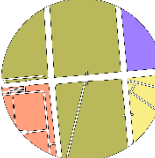
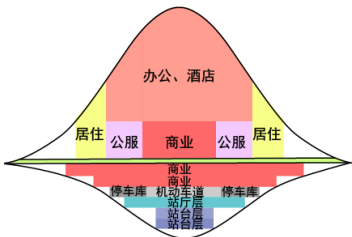

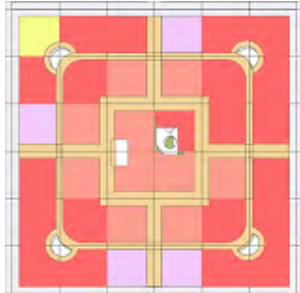
商业 + 教育	 复兴门站	 客村站	 交通大学站	 西丽站	 大坪站	 文化宫站
	天津	南京	武汉	杭州	郑州	长沙
	 成林道站	 鸡鸣寺站	 中南路站	 近江站	 紫荆山站	 黄土岭站
商业 + 历史街区	北京	广州	上海	深圳	重庆	成都
	 南锣鼓巷站	 公园前站	 静安寺站	—	 磁器口	 宽窄巷子站
	天津	南京	武汉	杭州	郑州	长沙
商业 + 会展	北京	广州	上海	深圳	重庆	成都
	 奥林匹克公园站	 琶洲站	 徐泾东站	 会展中心站	 工贸站	 西博城站
	天津	南京	武汉	杭州	郑州	长沙
图例	 天津宾馆站	 元通站	 国博中心南站	—	 会展中心站	 光达站
	<div> 商业、商务及设施用地 文化、展览及设施用地 交通场地及设施用地 体育场馆用地 建设用 物流仓储用地 工业用地 公园绿地 </div> <div> 行政办公用地 教育科研用地 绿地与广场用地 文物古迹用地 居住用地 医疗卫生用地 水域 空闲用地 </div>					

表 1：12 个国内 I 类线网城市中心型站点用地功能图

	剖面示意图	城市设计示意图	土地利用性质示意图
商务 + 商业			

	<p>站点中心应商务及商业为主，辅以公共服务设施以及少量居住，呈单峰型分布。地下两层为商业，机动车交通全部放入地下，打造地面全人行环境，各建筑二层设置步行通廊。中心区建筑高度较高，建筑底层局部架空，地面绿化、屋顶绿化以及立面垂直绿化形成良好的碳吸收系统。</p>		
商务 + 公交 枢纽			
	<p>站点中心以办公、酒店等商务功能为主，周围为商业以及少量居住，呈单峰型分布。地下两层为商业，与地上的商业空间结合。将公交枢纽与机动车交通放入地下，配有地下停车场，通过地上地下空间的一体化设计，实现最高效便捷的换乘。</p>		
商业 + 公交 枢纽			
	<p>站点中心应以商业为主，周围为少量居住，呈单峰型分布。地下两层为商业。</p>		
商业 + 教育			
	<p>站点中心应以商业为主，周围为学校以及少量居住。地下两层为商业，与地上的商业空间结合，服务于周边大量的学生人群。</p>		
商业 + 历史 街区			
	<p>站点中心为历史街区，周围为特色商业以及少量居住。地下1-2层为商业，与地上的商业空间结合，服务于大量的旅游人群。</p>		
商业 + 会展 中心			
	<p>站点中心布置会展建筑，周围分布大量商务、少量居住，呈双峰型分布。地下两层为商业，与会展中心的地下部分有机结合，机动车交通放入地下，地面上二层加以步行通廊，打造地面全人行环境。</p>		

表 2 中心型轨道站点核心区立体 TOD 模式图

3 智能化立体 TOD 城市设计研究展望

3.1 建立智能化立体 TOD 城市设计方法

数字化、智能化技术为城乡规划和建筑学提供了新的机遇，也向城市设计的理论建构与实践应用提出了新的命题（杨俊宴，2018）。王建国院士（2017）从历史发展角度将城市设计归类为传统城市设计、现代城市设计、绿色城市设计、基于人机交互的数字化城市设计四个阶段，并系统地提出数字化城市设计“多重尺度的设计对象、数字量化的设计方法、人机互动的设计过程”三个特征^[27]。此外，龙瀛提出数据增强设计（DAD）、数据自适应城市设计的理念，通过数据的有效分析来支撑城市设计方案的生成，通过精细化的“订制大数据”的反馈，来实现设计方案和空间使用的可持续良性互动^[28]；杨俊宴在多源大数据的基础上提出全数字化城市设计的概念及工作方法，建立基于全数字化流程的城市设计理想范式^[29]。

借鉴数字化和智能化城市设计的相关研究成果，本文在研究轨道站点核心区立体 TOD 城市设计模式的基础上，提出建立轨道站点区域“立体 TOD 城市设计技术框架”，研究立体 TOD 城市设计方法。以中国 I 级线网城市中心型站点核心区为目标区域、以日韩新及香港城市中心型站点为样本区域建立 3D GIS 空间数据库，从城市设计的“交通效率、土地利用、空间形态”三大方面建立立体 TOD 测度指标，基于 GIS 及 AI 技术研究样本区域空间发展机制、指标、因素、因子及模式。并将其应用于目标区域数据库、优化目标区域立体 TOD 指标体系，抽提指标影响因素，确定因子区间值，基于 AI 生成空间设计模式、模拟 3D TOD 理想空间模型及建立数字化城市设计方法。从“机制→指标→因素→因子→模式→设计”系统构建立体 TOD 城市设计方法，以促进轨道中心站核心区立体紧凑发展(图 9)。

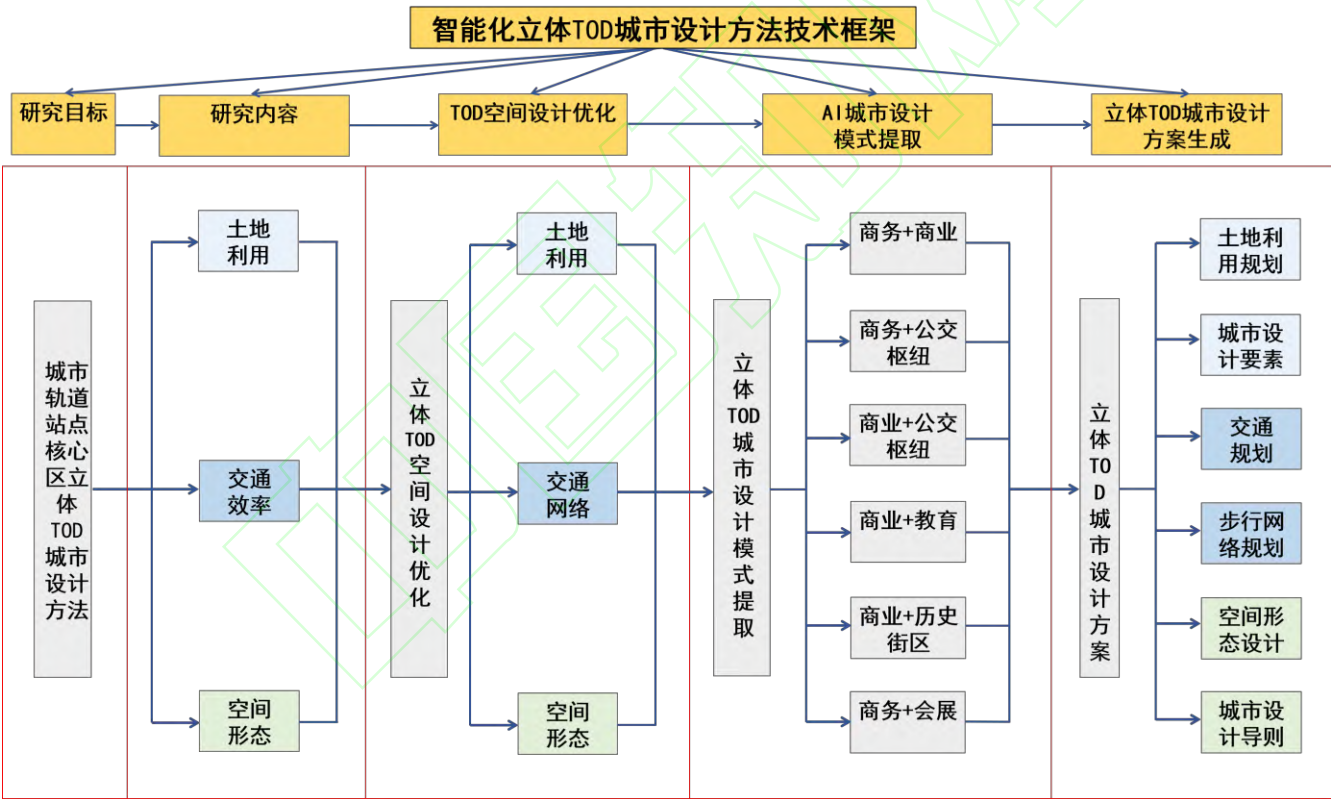


图 9 智能化立体 TOD 城市设计方法技术框架

3.2 智能化立体 TOD 城市设计的 AI 技术支持

3.2.1 AI 技术在城乡规划和建筑学领域的运用概况

当前，人工智能（Artificial intelligence，简称“AI”）技术在城乡规划和建筑学领域的应用主要集中在机器学习层面（吴志强，2018；何宛余，2018）。城乡规划领域，吴志强院士提出将机器学习运用于城市生长规律和城市空间规律的研究，重点研究“智能数据捕捉辅助发掘城市规律、城市功能的智能配置和城市形态的智能设计”；麦克·巴迪（Michael Batty）提出将规划设计问题转化成一个网络化的均值求解问题，通过构建神经网络来实现预测模型的方法。建筑学领域，哈佛大学数据科学家 Stanislas Chaillou 运用 AI 技术进行建筑空间组织和风格塑造，孙澄宇分析了深度神经网络构建的选择原理，何宛余、杨小荻探索了 AI 建筑设计的实现途经，袁烽、柴华提出基于信息系统的建筑可视化技术。但总体来说，国内外尚未有将机器学习运用于站点区域城市设计研究的先例⁶⁾。

3.2.2 AI 技术运用于站点区域土地利用规划

土地利用的相关研究涵盖社会、经济、交通、规划等多领域，涉及多种复杂信息，其智能规划、预测已成为学界关注的热点。目前，地理学领域率先 AI 技术运用在宏观层面的土地利用研究中，通过运用人工神经网络实现城市群或市域土地利用的预测模拟和分析，为城乡规划领域引入 AI 技术研究土地利用规划提供了可借鉴的方法。未来可将 AI 技术运用于站点核心区土地利用模式提取、预测及优化研究。借助 AI 技术强大的非线性数据处理能力，实现研究成果精细化和准确化。技术路线如图 10：首先，建立站点区域立体 TOD 数据库并从中提取样本区域土地利用模式数据和目标区域现状土地利用相关数据；然后，运用 BP 人工神经网络算法以及元胞自动机（cellular automata，简称“CA”），依托 MATLAB 软件，对一定量的样本数据进行训练和校正，学习数据中隐含的知识，从而达到对目标区域土地利用测算模拟；最后，在对模拟精度进行多方法验证确认其相对准确性和合理性后，通过 GIS 将预测结果数据转化为二维或三维图示。

3.2.3 AI 技术运用于城市空间形态设计

近年来已经开始有学者运用机器学习进行更加精细化的城市空间形态研究。例如“小库科技”立足于深度学习图像判别技术，探索卷积神经网络在城市感知方面的应用，设计城市图像识别流程以及 AI 自动生成及优选居住区规划的实践（何宛余，2018）。未来可将 AI 技术运用于站点核心区空间形态模式提取、预测及优化研究。通过建立“生成设计的算法模型”及“限定模型生成的约束参数/判断系统”来实现站点核心区空间形态布局的模拟。具体操作流程如图 11。

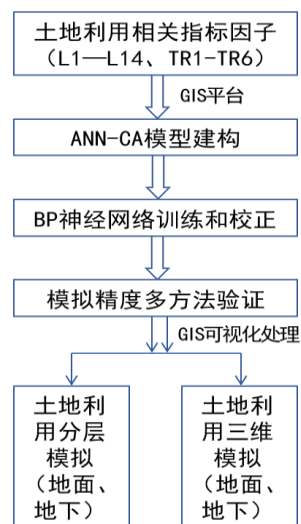


图 10 基于 AI 技术生成立体 TOD 土地利用模式工作流程

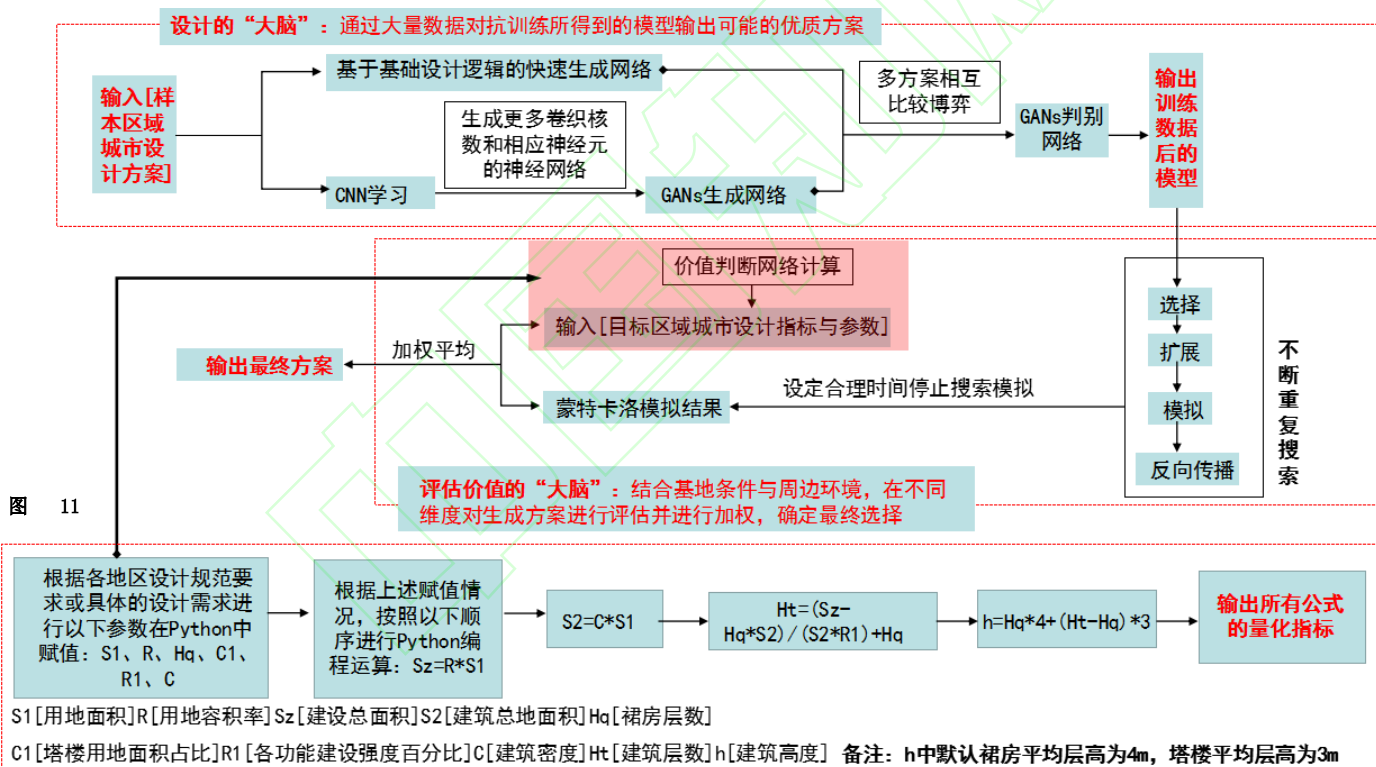


图 11 基于 AI 技术生成空间形态布局方案的具体工作流程

(1) “生成设计的算法模型”：共有三种生成训练模型的方法，每种方法各自对应一种神经网络：a/基于输入的原始数据，通过基于设计逻辑的快速生成网络生成方案一；b/输入足量的原始数据作为训练数据，通过卷积神经网络（Convolutional Neural Network，简称“CNN”）学习生成方案二；c/输入足量的原始数据作为训练数据，通过对抗生成网络（Generative Adversarial networks，简称“Gans”）生成方案三。在以上生成的三种方案中进行择优选择，输出最优的训练数据模型。

(2) “限定模型生成的约束参数/判断系统”：一方面将最优的训练数据模型进行蒙特卡洛树搜索 7)，提取样本区域的 TOD 模式进行最佳方案的训练及搜索；另一方面，基于价值判断网络，输入目标区域立体 TOD 模式下的空间形态布局方案的相关指标与参数；最后，通过将输入价值判断网络的指标参数与蒙特卡洛树搜索结果进行加权平均，输出基于目标区域特征的立体 TOD 模式下的空间形态布局新方案。

3.3 智能化设计决策平台的开发应用

智能化设计决策平台包括 GIS 技术平台、AI 建筑设计软件平台及软件(AI)+模型的设计决策平台三种。其中，基于 GIS 的设计决策平台是规划设计领域的成熟方式（图 12）。首先，将大量空间数据应用于 GIS 系统，再由设计师根据空间分析的结构进行适时调整，最终完成包含空间分析、评价、迭代生成概念的空间规划方案^[27]。基于 AI 建筑设计的软件平台以小库科技的 AI 智能系统为代表，该智能系统专门为建筑设计而开发，前期通过机器学习足量的设计方案训练数据形成生成一套固定的方案设计逻辑，后期可以通过输入特定的各种城市数据、地形、日照、规范等数据而生成建筑概念方案（图 13）^[30]。基于软件(AI)+模型的设计决策平台，其代表是 MIT media Lab 研发的 CityScope，其特点是综合使用乐高积木设计的可触交互界面和增强现实可视化系统以提高决策过程的可参与性；通过多代理模拟和机器学习技术实现的城市多项性能的实时反馈；以及提供优化建议的人工智能助手，帮助使用者更有效地定义、达成关于城市的愿景（图 14）^[31]。

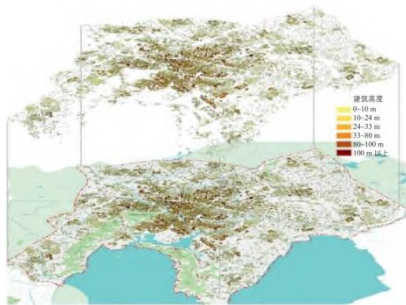


图 12 GIS 运用于大尺度城市空间形态分析



图 13 小库科技自动生成居住区设计方案界面

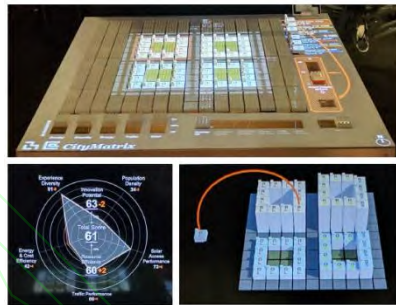


图 14 MIT media Lab 研发的 CityScope

4. 结语

当前，发源于美国的 TOD 理论已经不能完全解决中国大城市高度集聚立体化发展的城市问题。本文在系统归纳城市立体化发展理论、站点区域立体化城市设计方法及实践的基础上，初步构建城市中心型轨道站点核心区立体 TOD（3D TOD）城市设计模式。根据站点核心区土地利用及城市功能特征，总结出“商务+商业、商业+公共枢纽、商务+公共枢纽、会展+商务、商业+教育、商业+历史街区”六种中心型站点立体 TOD 模式的发展类型，构建站点核心区智能化立体 TOD 城市设计方法的技术框架，展望人工智能技术和智能化设计决策平台为立体智能化 TOD 城市设计提供重要技术支持的前景。

图、表来源

- 图 1：根据“Gransta: Tokyo Station in Evolution and ‘Tokyo Station City’，Tetsudo Kaikan, 2009”改绘；
- 图 2：<https://www.wired.com/2016/07/lose-tomoyuki-tanakas-x-ray-illustrations-tokyo-train-stations/>；
- 图 3-4：由东急电铁/东急设计提供；
- 图 5：参考文献[21]；
- 图 6：参考文献[25]；
- 图 7：参考文献[26]；
- 图 8、10、11、表 1、表 2：作者绘制；
- 图 9：王建国. 中国工程院城市设计发展前沿高端论坛. 2017；
- 图 12：参考文献[27]；
- 图 13：参考文献[30]；
- 图 14：参考文献[31]；

注释

- 1) 以主题词检索“station area+urban design”查询结果中属于 urban study 的共 44 篇，且与轨道站点研究相关的论文与“TOD+urban design”检索的文献几乎重复，说明轨道站点（station area）的研究以 TOD 研究为核心。
- 2) 该部分内容详见“1.2.1 TOD 城市设计量化研究基础”。
- 3) 《城市轨道交通沿线地区规划设计导则》规定，“I 级线网”为规划中心城区城市人口超过 500 万的城市轨道线网。
- 4) 主要依据《城市轨道交通沿线地区规划设计导则》P16“图 6.2 确定站点分类及主要功能示例”。

5) 交通布局参考了同济大学建筑与城规学院孙彤宇教授的“超级街区”概念,引自:
<https://mp.weixin.qq.com/s/vi8Cc1TjMDn2r7sPS2Fg8Q>

6) 目前, AI 技术尚未运用在轨道站点区域土地利用研究中, CNKI, Web of science, EI 三个数据库搜索结果均为 0。

7) 蒙特卡洛树搜索(Monte Carlo Tree Search, 简称“MCTS”): 通过四个步骤不断地重复搜索:选择, 扩展, 模拟和反向传播, 根据相关需求设定在一个合理的时间停止搜索模拟(理论上时间越充裕结果越佳)。

参考文献

- [1]Work Conference of the Central Committee of the Communist Party of China, held in Beijing from December 20 to 21, 2015. 中央城市工作会议, 2015 年 12 月 20 日至 21 日在北京举行.
- [2]TOD promotes the transformation of Chinese cities: Global Environment Facility Comprehensive Demonstration Project for Sustainable Urban Development in China [DB / OL]. (2017-11-09) [2019-12-11].
- [3]TOD 助推中国城市转型: 全球环境基金中国可持续城市发展综合示范项目 [DB/OL]. (2017-11-09) [2019-12-11]. <http://www.shihang.org/zh/news/video/2017/11/09/tod-transforming-china-cities>
- [4]National Development and Reform Commission. Guiding Opinions on Cultivating and Developing Modern Metropolitan Area, 2019.
- [5]国家发展改革委. 关于培育发展现代化都市圈的指导意见, 2019.
- [6]Guidelines for planning and design of areas along the urban track [S]. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China. Beijing. 2015.
- [7]建规函[2015]276 号. 城市轨道交通沿线地区规划设计导则[S]. 中国城乡住房建设部. 北京. 2015.
- [8]Li Nan. A Conceptual Framework for Site Design of Urban Design in China. 8th International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT 8), Advanced Materials Research, 878: 866-872, 2014.
- [9]David S Vale , Claudia M Viana, Mauro Pereira. The extended node-place model at the local scale: Evaluating the integration of land use and transport for Lisbon's subway network[J]. JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY, 282-293, 2018.
- [10]Canepa, B. Bursting the bubble-Determining the transit oriented development's walkable limits[J].Transportation Research Record, 2007, 1992: 28-34.
- [11]Li J . Residential and transit decisions: Insights from focus groups of neighborhoods around transit stations[J]. Transport Policy, 2018, 63(APR.):1-9.
- [12]Cervero R and Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997.
- [13]Cervero R, Sarmiento O L, Jacoby E, et al. Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2009, 3(4):203-226.
- [14]Tang Youhai, Yuan Hong. Three-dimensional Developing Mechanism and Urban Design Method of
- [15]Underground Space in CBD Areas [J]. Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15 (05): 1306-1315.
- [16]唐由海, 袁红. 商业中心区地下空间发展机制及城市设计方法[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(05):1306-1315.
- [17]He Donghua. Spatial Evolution And Land Use Reorganization Of Station Vicinity Under TOD Model [J] .Planner, 2017, 33 (04): 126-131.
- [18]何冬华. TOD 影响下的站点地区空间发展演进与土地利用形态重组[J]. 规划师, 2017, 33(04):126-131.
- [19]Gui Wangyang. Integrated development of large railway station' s catchment area [D]. Southeast University, 2018.
- [20]桂汪洋. 大型铁路客站站域空间整体性发展途径研究[D]. 东南大学, 2018.
- [21]The concept of "Super Pedestrian Block" [DB / OL]. (2019-02-24) [2019-12-12].
- [22]“超级步行街区”概念[DB/OL]. (2019-02-24) [2019-12-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/vi8Cc1TjMDn2r7sPS2Fg8Q>
- [23]Lin Zhongjie, Shi Kuang. The urban design methodology of the new urbanism movement [J]. Architectural Journal, 2006 (01): 6-9.
- [24]林中杰, 时匡. 新城市主义运动的都市设计方法论[J]. 建筑学报, 2006(01):6-9.
- [25]Su Beiqing. Urban design based on the development of public transportation-Taking Changsha Xiangjiang waterfront as an example [J]. Urban Development Studies, 2013, 20 (11): 91-99.
- [26]苏倍庆. 基于公共交通导向发展的城市设计——以长沙湘江滨水区为例[J]. 城市发展研究, 2013, 20(11):91-99.
- [27]Han Dongqing, Feng Jinlong. City • Architecture Integration [M]. Nanjing: Southeast University Press. 1999. 1-175.
- [28]韩冬青, 冯金龙. 城市 • 建筑一体化[M]. 南京: 东南大学出版社. 1999. 1-175.
- [29]Lu Jiqi. Synergic development in urban rail transit station areas [J]. Time + Architecture (5) .2009.p34-40.

- [30]卢济威. 轨道交通站点区域的协同发展[J]. 时代建筑 (5). 2009. p34-40.
- [31]Peter Calthorpe. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream, Princeton Architectural Press, New York, 1997. 10.
- [32]Lan Jie. A preliminary study on the three-dimensional model of TOD adapted to Chinese urban rail stations [A]. Sustainable development Rational planning-Proceedings of the 2017 China Urban Planning Annual Conference (06 Urban Transportation Planning) 2017: 17.
- [33]兰杰. 适应于中国城市轨道交通站点 TOD 立体模式初探[A]. 持续发展 理性规划——2017 中国城市规划年会论文集(06 城市交通规划) 2017:17.
- [34]Hong Yuan, Yuan He, Junzheng Zhou, You Li. Research on Compactness Ratio Model of Urban Underground Space and Compact Development Mechanism of Rail Transit Station Affected Area[J]. Sustainable Cities and Society, Volume 55, 2020 (04), 102043.
- [35]WU Yuanyuan, YUAN Hong, Study on the Influence Mechanism of Underground Space of Land Diversity - Taking Shapingba Station as an Example, 16th World Conference of the Associated Research Centers for the urban underground space, 2018.
- [36]Wu Fang. Research on TOD urban space design strategy based on sustainable livable city development [D]. Zhejiang University, 2014.
- [37]吴放. 基于可持续宜居城市发展的 TOD 城市空间设计策略研究[D]. 浙江大学, 2014.
- [38]James P S, Luke T R, Jon B, et al. 3D ground-use optimisation for sustainable urban development planning: A case-study from Earls Court, London, UK[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 81:144-164.
- [39]Piguet P, Blunier P, Lepage M L, et al. A new energy and natural resources investigation method: Geneva case studies[J]. Cities, 2011, 28(6):567-575.
- [40]Academician Wang Jianguo. Lecture report on "Digital Urban Design Based on Human-Computer Interaction". "Forum on Urban Design Development Frontiers of the Chinese Academy of Engineering", November 2017
- [41]王建国院士. “基于人机互动的数字化城市设计”演讲报告. “中国工程院城市设计发展前沿高端论坛”, 2017. 11.
- [42]Cao Zhejing, Long Ying. Methodology and practice of data adaptive urban design: case study of slow traffic system design in Shanghai Hengfu Historical District[J]. Urban Planning Forum, 2017 (04): 47-55.
- [43]曹哲静, 龙瀛. 数据自适应城市设计的方法与实践——以上海衡复历史街区慢行系统设计为例[J]. 城市规划学刊, 2017(04):47-55.
- [44]Yang Junyan. Exploration on Theoretical Paradigm of All-digital Urban Design [J]. Urban Planning International, 2018, 33 (01): 7-21.
- [45]杨俊宴. 全数字化城市设计的理论范式探索[J]. 国际城市规划, 2018, 33(01): 7-21.
- [46]XK00L Technology Official Website [DB / OL].
- [47]小库科技官方网站[DB/OL]. (2019-12-12) [2019-12-11]. <https://www.xkool.ai/>
- [48]Zhang Yan, Kent Lanser. CityScope—application of tangible interface, augmented reality, and artificial intelligence in the urban decision support system [J]. Time + Architecture, 2018 (01).
- [49]张砚, 肯特·蓝森. CityScope—可触交互界面、增强现实以及人工智能于城市决策平台之运用[J]. 时代建筑, 2018 (01).