

基于“步行链”的轨道站点交通设施规划研究

周嗣恩

【摘要】轨道站点是轨道交通线路衔接成网的基础要素，站点内部、外部以及相互衔接的交通设施关系到轨道交通的服务水平和效率。在现有研究基础上，研究提出了轨道站点“步行链”的概念，分析了构成“步行链”的外部换乘接驳设施、垂直通道设施、平面通道设施、交通语言系统、无障碍设施等各要素的规划特征，并从发展理念转变、站点“步行链”规划层次、整体链条交通设施规划、规划实施机制等方面论述了适用于“步行链”的交通设施规划建议。

【关键词】轨道站点；交通接驳；步行链；交通设施

1. 引言

轨道站点是轨道交通线路衔接成网的桥梁，也是乘客进出站乘坐轨道交通的必经场所。轨道站点交通设施的规划布局与乘客的服务体验直接相关，也影响着轨道交通客流集散的效率。例如，沈芬等认为北京市轨道站点的换乘效率不高，制约轨道交通成网运营效率的发挥，应在注重站点覆盖率提升的基础上，更进一步提高站点的换乘效率^[1]。郭彧鑫等以北京市为例，进行了轨道交通出行前-出行中-出行后整个轨道交通出行链的出行特征与行为研究^[2]。毛程远、裴玉龙提出了轨道交通综合枢纽站、重点换乘站、一般换乘站等站点类型的交通接驳设施建议^[3]。方晓丽^[4]、崔晓琳^[5]等分别研究了轨道交通站点地面公交、公租房自行车等交通方式的接驳和优化布局。上述研究为轨道站点周边交通设施的接驳规划提供了借鉴和参考，但在该领域的研究也面临着如下的挑战：

1) 目前研究以轨道交通站点周边的交通设施接驳规划为主，自上一种交通方式结束至轨道交通出入口，沿途站点内部设施和通道至登降轨道交通车辆整个“步行链”的交通设施规划研究不充分。

2) 地铁设计规范^[6]侧重于地铁线路的工程土建设计，对车站平面、出入口、扶梯等提出了设计要求，但不足以囊括和体现站点内部交通设施布局精细化规划的内涵。

3) 轨道交通出行时间的可靠性、可掌控性等特征使轨道交通在中长距离出行方面的优势显著，但轨道交通站点换乘距离与时间长、进出站通道拥挤不堪、自动扶梯承载能力不足等现状问题极大地制约了轨道交通服务水平的提升。

针对上述挑战，研究提出了轨道站点“步行链”的概念，并通过案例分析阐述对应于“步行链”的交通设施规划特征，在此基础上，结合相关规范和研究成果，提出适用于“步行链”

的轨道站点交通设施规划建议。

2. 轨道站点“步行链”解析

Mitchell 等于 1954 年提出了基于出行与活动的出行行为概念，奠定了基于活动与出行链研究的基础^[7]。郭彧鑫等^[2]总结了轨道交通出行链的概念，即以轨道交通为主导的多种出行方式衔接而成的链条，包括轨道交通出行前（至轨道站点）、出行中（轨道交通系统内部）、出行后（至目的地）。类比这些概念，轨道站点“步行链”是指自上一交通方式结束（步行方式为步行起讫点）至登降轨道交通车辆之间的乘客步行链条，包括“步行空间链”与“步行时间链”。

2.1 轨道站点“步行空间链”

轨道站点“步行空间链”是从空间距离角度对换乘距离的度量，即如图 1 所示，乘客自步行、自行车、小汽车、出租车、公交车或地铁等上一种交通方式结束后为起点，通过通道、楼梯、扶梯或电梯等平面或垂直交通，途径地铁出入口、站厅（非付费区）、售票处、安检、闸机、站厅（付费区）、站台至登降地铁车辆的空间距离。

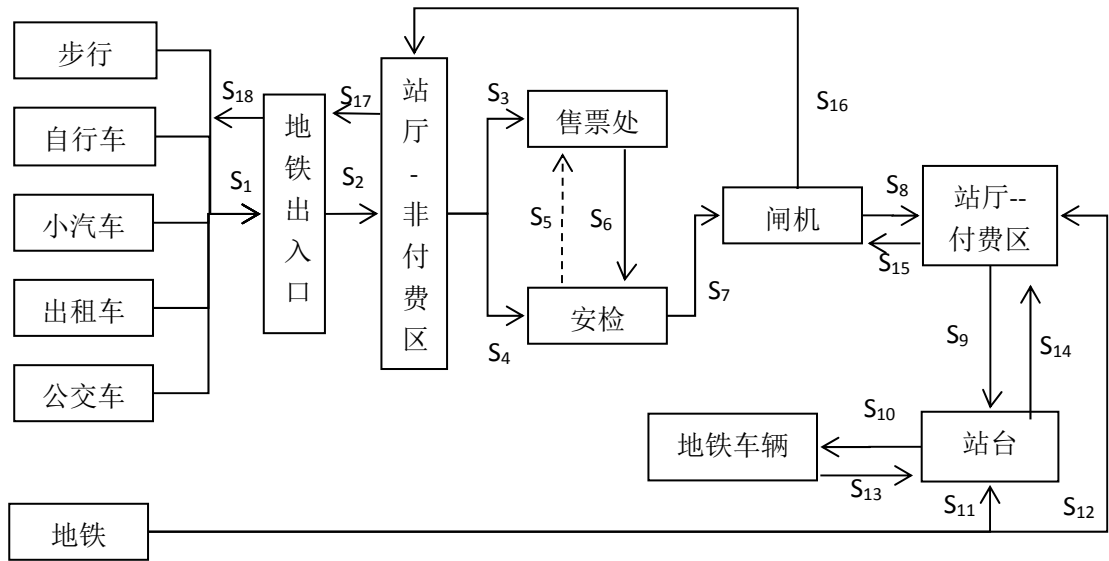


图 1 “步行空间链”示意

$$S = \sum_i (S_i + S'_i) \quad \text{式 1}$$

式中， S 为轨道站点换乘的实际步行距离， S_i 为平面通道通行距离， S'_i 为垂直通道的通行距离， i 为“步行空间链”的各衔接段，其中对于进站的情形， $1 \leq i \leq 10$ ；对于出站的情形， $13 \leq i \leq 18$ ；对于上一交通方式为地铁的情形， $9 \leq i \leq 12$ 。

2.2 轨道站点“步行时间链”

轨道站点“步行时间链”是从换乘时间角度对换乘服务水平的一种度量，在实际的换乘过程中，除了对应于通道、楼梯、扶梯或电梯等平面或垂直交通的通行时间外，还包括在各衔接段的排队等候时间。

$$T = \sum_i (T_i + T'_i + T''_i) \quad \text{式 2}$$

式中， T 为轨道站点换乘的实际步行距离， T_i 为平面通道通行距离， T'_i 为垂直通道的通行距离， T''_i 为排队等候时间， i 为“步行空间链”的各衔接段，其中对于进站的情形， $1 \leq i \leq 10$ ；对于出站的情形， $13 \leq i \leq 18$ ；对于上一交通方式为地铁的情形， $9 \leq i \leq 12$ 。

2.3 轨道站点“步行链”与交通设施规划

通常意义上，轨道站点的换乘距离仅包括上一交通方式至地铁出入口的距离。但实际上，轨道站点内部的步行距离、步行路径的复杂程度、步行环境和感受并不比外部的换乘条件优越，甚至尤为恶劣，成为轨道交通服务水平提升的障碍之一。通过香港与北京轨道站点交通设施服务的对比分析，进行换乘设施的布局时，宜以“步行时间链”和“步行空间链”的双重最小化为约束，并权衡客流需求规模、经济成本、工程复杂性等因素，尽可能实现系统的总体最优化。本次研究重点从乘客服务最优化角度提出基于“步行链”的交通设施规划思路和对策建议。

3. 相应于“步行链”的交通设施规划特征

3.1. 外部换乘接驳设施的特征分析

外部换乘接驳设施对应于图 1 所示“步行链”的各交通方式至地铁出入口的衔接段。在各换乘接驳类型中，宜遵循“步行>自行车>公交车>出租车>小汽车”的优先规则，优先安排步行、自行车和公交车的接驳设施。

步行接驳是采用步行方式到达轨道站点的出入口。选择步行方式的影响因素包括步行距离与时间、步行路径的便捷性、步行环境的舒适性、替代交通方式的便捷性与经济成本等。其中，居民可接受的轨道站点步行接驳时间通常为 10 分钟，按步行速度 1.0~1.2 米/秒折算，约相当于 600 米~720 米，故站点的选址尽可能在居住片区的重心位置。步行通道的连续性、步行环境的舒适性也是居民出行关注的重要因素，例如，香港采用了人车分流的形式，在物业的地上一层修建了舒适、连续的步行连廊（图 1），既提高了步行接驳的效率和服务水平，也为物业的开发带来了人气和活力。此外，为鼓励市民尽可能采用轨道交通出行，可采取灵

活的票价政策,例如香港在距离轨道站点较远且具有一定吸引力的地方设置了地铁刷卡优惠装置,市民刷卡后乘坐轨道交通可享受一定的优惠。

自行车接驳包括普通自行车接驳与公租房自行车接驳。选择自行车方式接驳的影响因素包括自行车停车场距离地铁出入口的距离、自行车通道的连续性和安全性、停车场的收费情况、停车场的管理与安全状况、停车场的硬件设施环境、公租房自行车的网点分布等。其中,目前国内各城市轨道站点周边公租房自行车的接驳尚处于起步和探索阶段,例如图 2-1 为北京西单-金融街地区地铁沿线站点周边公租房自行车的分布情况,各网点距离轨道站点的距离均超过 300 米,网点的分布不均衡,局部地区覆盖较为薄弱。在普通自行车接驳方面,由于重视程度不够,轨道交通与自行车接驳设施建设机制与体制、建设时序等方面的不协调性,地铁站点周边普通自行车停车设施的规划布置较为薄弱,多为利用站点周边绿化、步行道路空间、边角地等自发形成的接驳设施区域(图 2-2)。



图 1 轨道站点步行接驳



1) 西单-金融街地区地铁沿线站点公租房自行车分布



2) 某地铁站点周边自行车停车

图 2 轨道站点自行车接驳

站点周边的公交车接驳也是轨道站点周边主要的接驳方式,例如,有研究表明轨道站点周边的接驳方式中,地面公交所占的比例位于步行接驳之后,占 20~30%。选择公交车接驳方式的影响因素包括公交站点距离轨道站点出入口的距离,接驳公交的线路条数、走向、发车频率、运营时间、准时可靠性等。但是目前运营轨道交通的城市中,轨道交通网与地面公交网“两张网”客流同质性竞争强于客流服务为导向的协同性发展,例如图 3 为轨道站

点周边地面公交接驳的案例，图 3-1 所示北京某地铁站点周边公交停靠站的距离均在 300 米左右，且与地铁共走廊的公交线路较多。北京、南京等多个城市交通行业主管部门提出了强化轨道站点周边公交接驳的目标，并建议公交接驳距离不宜超过 150 米，部分有条件的区域实现了较好的改善，缩短了地面公交接驳地铁的距离（图 3-2）。图 3-3 所示的香港某站点地铁、地面公交与物业的紧密结合也为轨道站点的公交接驳规划提供了参考。



3-1 北京某地铁站点周边公交站点布局



3-2 北京某轨道站点公交接驳



3-3 香港某轨道站点公交接驳

图 3 轨道站点公交接驳

此外，站点周边出租车、小汽车接驳的优先顺序要低于步行、自行车和公交，接驳规划时应布局适当规模的下客区，宜与公交车停靠站点分开设置，并保持适当的距离，避免车流、人流的交织。

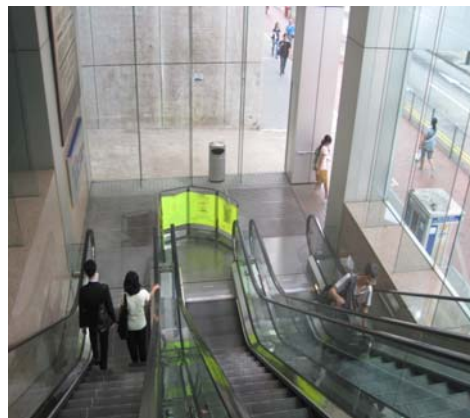
3.2. 垂直通道设施的特征分析

轨道站点“步行链”的垂直通道设施是指地铁出入口至站厅层、站厅层至站台层的立体衔接设施，包括楼梯、自动扶梯、电梯等。电梯主要为携带大件以及有特殊需求的乘客提供服务。楼梯和自动扶梯通常是衔接垂直交通的主要方式，国标《地铁设计规范》提出地铁车站自动扶梯的设置数量，应按远期超高峰客流量、提升高度以及客流量不均衡系数等通过计算确定，一般情况下，任意高差的上行通道均可设置自动扶梯，但下行的自动扶梯仅建议在高差超过 12 米时设置。在实际运营的线路中，乘客偏向于乘坐自动扶梯，但自动扶梯的数量和能力有限，自动扶梯和楼梯利用率“两重天”的局面较为常见（图 4-1）。而在香港运

营的地铁线路中，轨道站点的垂直交通以自动扶梯为主，自动扶梯的数量超过扶梯的数量，部分站点 80%以上的垂直交通用自动扶梯衔接。同时，垂直通道的电梯通常采用多组电梯组合，并且根据客流的潮汐特征实施“潮汐式”的运营，并可在平峰时段关闭部分电梯以节约资源。乘客出行服务需求的偏向性，以及香港地铁站点垂直交通的运营经验都反映了在地铁站点垂直交通设施的规划中，宜强化机械式设施（自动扶梯等）的整体布局与灵活运用。



4-1 自动扶梯和楼梯利用率



4-3 自动扶梯的“潮汐式”利用



4-2 香港某地铁站点的自动扶梯衔接示意

图 4 轨道站点垂直交通设施

3.3. 平面通道设施的特征分析

轨道站点“步行链”的平面通道设施包括站厅层非付费区的售票处、安检设备、进站闸机至付费区垂直交通出入口的通道设施，以及站台层垂直交通出入口至地铁车辆的通道系统。平面通道设施影响“步行链”的因素包括平面设施的布局、通道的宽度与长度、安检设备的数量和能力、进出站闸机的数量与布局形式、自动步道的设置，以及站点空间可承载的客流能力、站点周边的客流吸引力与站点线路的集散能力的均衡等。典型的站厅层平面设施布局及行人流线如图 5 所示，在国内部分城市地铁的运营过程中，由于高峰期间地铁运力的不足，采取了“用空间换时间”的思路，通过入口通道处限流、增加入口通道的长度、安检通道能力的控制等方式延缓客流高峰强度。在地铁高强度客流安全集散的同时，应强化进出

站客流规模与站点线路能力的均衡，并强化站厅层平面设施的优化布局，例如，从乘客服务角度，优化问询处、自动售票机与安检设备处的行人衔接通道；减小行人流线方向与安检设备、闸机组的交通，尽可能平行以提高设备的利用效率；闸机组、自动售票机、安检通道处等节点预留充足的排队空间；分散均衡设置闸机组；在通道的水平距离超过 100m 时增设自动行人步道[6]；适度超前预留通道的有效宽度等。

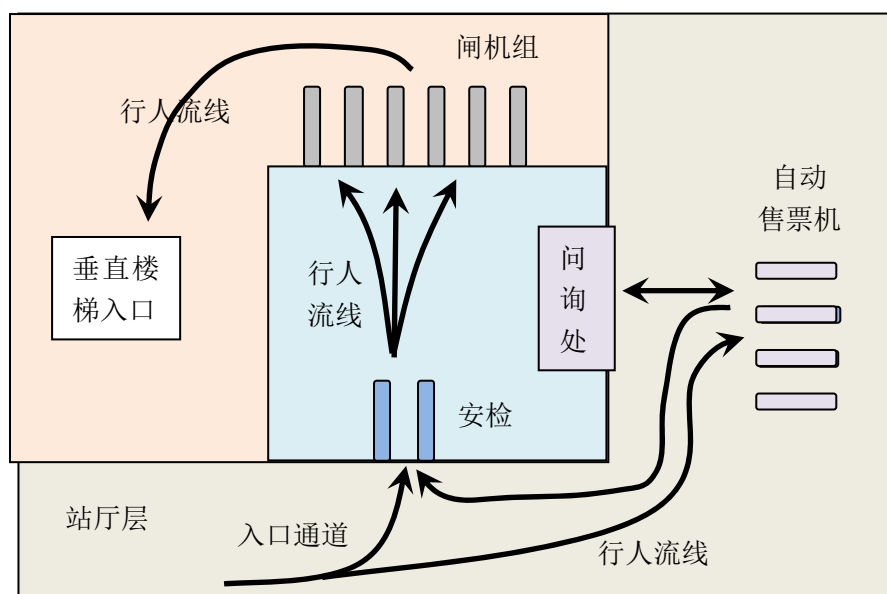


图 5 典型的站厅层平面设施布局及行人流线

3.4. 交通语言系统设计

交通语言系统是用文字、符号、颜色等基础符号和规则体系，向交通设施使用者传递交通管理者意图，并容易被理解的信息系统[8]，它是连续的、系统的、“会说话”的交通标识系统。轨道站点“步行链”的交通语言系统包括站点外部区域到线到面的分层级的、连续的指路系统，站点各站厅与站台层的平面布局系统，站点内部行人流线颜色导行系统，轨道交通线路换乘查询系统，站点内部公共设施标识系统，站点周边标志性建筑物的导行系统、轨道交通线路的实施拥挤信息等。在城市重点功能区，宜强化站点外部地铁站点指路系统的规划设置。在地铁内部，宜引入和强化颜色导行系统的应用（图 6），为乘客的换乘提供清晰、易识别的快捷路径。同时，宜在轨道站点发布轨道交通线路的实时拥挤信息，引导乘客选择轨道交通路线，均衡线路间的客流压力。



图 6 轨道站点颜色导行系统

3.5. 无障碍设施设计

轨道站点的“步行链”设施也应该考虑残疾人、老年人、孕妇及儿童等社会成员安全使用的便利，合理规划布置电梯的位置和数量，强化楼梯边机械升降装置的管理和使用，构建连续的无障碍通道。例如，香港的轨道站点进行了无障碍通道的精细化设计，在通道的拐点处设置差异化铺装，并将无障碍通道连接至电梯口、售票处、闸机处，以及站点内的厕所等公共场所，实现无障碍通道的连续性设计。

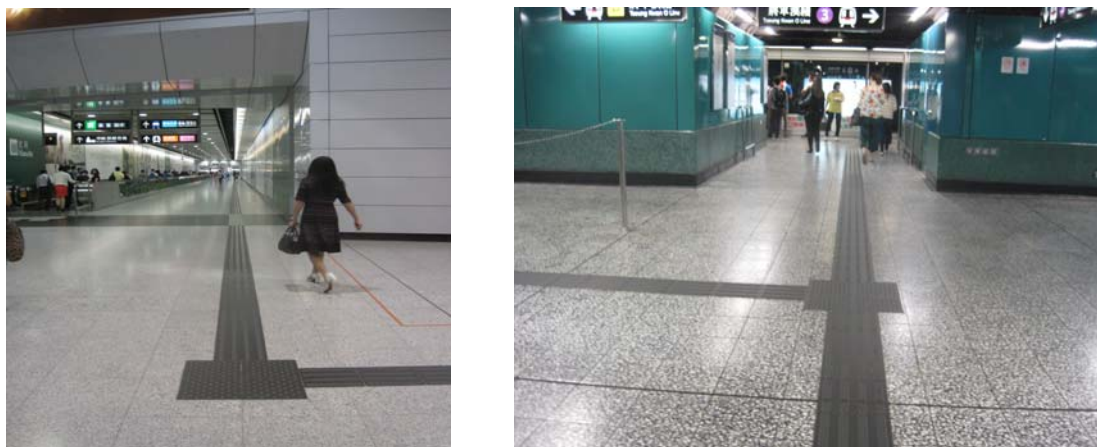


图 7 轨道站点无障碍设计

4. 适用于“步行链”的交通设施规划建议

4.1. 转变发展理念，推进由“保障出行”向“服务导向”的理念转变

伴随新型城镇化的建设，城市空间的利用效率进一步提高，高强度的通勤客流将会有所缓解，与城市开发建设相匹配的站点服务品质需求增加。居民生活水平、生活质量的提升也要求轨道站点服务的改善。同时，在城市交通系统内部各方式的竞争过程中，轨道交通也需要提升轨道站点的服务水平，以提升轨道交通的竞争力和吸引力。因此，有必要综合城市发

展、居民出行、轨道自身吸引力和竞争力的提升等因素，转变轨道交通发展思路，适当引入竞争机制，探索轨道交通服务的 ISO 质量认证管理体系，推进由“保障出行”向“服务导向”的理念转变。

4.2. 引入轨道站点精细化规划，衔接工程规划方案与土建工程设计方案

轨道交通线路的工程规划方案侧重于稳定线、站位的规划条件，而土建工程设计方案侧重于对轨道交通线路平面、纵断面、横断面，以及轨道站点的平面与剖面设计，前者以粗线条的规划为主，后者为依据规划条件的土建结构设计，两者之间承上启下的衔接性规划相对薄弱，因此，有必要引入轨道站点的精细化规划，明确轨道站点内外衔接的交通设施规划方案。

4.3. 注重“步行链”整体链条的交通设施规划

轨道站点服务水平的衡量不应局限于轨道交通站点外部的交通接驳，而事实上轨道交通站点内部设施供给的不便捷性已成为轨道交通服务提升的制约因素。应强化自上一交通方式结束至轨道交通站点出入口，后途经站厅层设施通道至站台层登降轨道车辆整体过程的设施规划，从整体步行链的视角分析各环节设施布局的影响因素以及对应的设施规划需求（表 1）。

表 1 “步行链”交通设施规划需求分析表

类型	设施规划	规划要素
外部换乘接驳设施	步行	步行距离与时间、步行路径的便捷性、步行环境的舒适性、替代交通方式的便捷性与经济成本
	自行车	自行车停车场距离地铁出入口的距离、自行车通道的连续性和安全性、停车场的收费情况、停车场的管理与安全状况、停车场的硬件设施环境、公租房自行车的网点分布等
	公交车	公交站点距离轨道站点出入口的距离，接驳公交的线路条数、走向、发车频率、运营时间、准时可靠性等
	出租车	下客区位置、规模、与上位优先级接驳方式的干扰等
	小汽车	下客区位置、规模、与上位优先级接驳方式的干扰等
垂直通道设施	楼梯、自动扶梯、电梯	数量、分布、占比、乘客倾向性、提升高度、客流需求与不均衡性等
平面通道设施	站厅层非付费区的售票处、安检设备、进站闸机至付费区垂直交通出入口的通道设施，以及站台层垂直交通出入口至地铁车辆的通道系统	平面设施的布局、通道的宽度与长度、安检设备的数量和能力、进出站闸机的数量与布局形式、自动步道的设置，以及站点空间可承载的客流能力、站点周边的客流吸引量与站点线路的集散能力的均衡等
交通语言系统		站点外部区域到线到面的分层级的、连续的指路系统，站点各站厅与站台层的平面布局系统，站点内部行人流线颜色导行系统，轨道交通线路换乘查询系统，站点内部公共设施标识系统，站点

	周边标志性建筑物的导行系统、轨道交通线路的实施拥挤信息等	
无障碍设施	电梯, 机械升降装置, 无障碍通道	电梯的位置和数量, 机械升降装置的管理和使用情况, 无障碍通道的连续性、易识别性等

4.4. 创新轨道站点“步行链”交通设施的协同规划实施机制

依托当前的轨道交通建设模式和机制, 强化轨道站点“步行链”交通设施的协同规划实施机制, 尽可能同步实施、同期实施。对于轨道站点外部的步行、自行车等接驳规划, 应强化与道路规划设计的衔接; 对公交车、出租车、小汽车等的接驳规划, 应强化站点与周边用地的协调规划; 对于站点内部的交通设施规划, 应在运营企业安全管理需求的基础上, 强化公众参与, 以公众服务为导向, 优化站点内部的交通设施。

5. 结束语

轨道站点是轨道交通网络中的关键节点, 研究针对轨道站点内部接驳设施缺乏规划指引、内外衔接不畅的现象, 提出了轨道站点“步行链”的概念, 总结了“步行链”的交通设施规划特征与建议。但应注意到轨道站点设施的规划布局与客流需求密切相关, 研究仅提出了策略性的建议, 在实际工作中应结合站点的交通特性进行轨道站点“步行链”的交通设施规划。

【参考文献】

- [1] 沈芬, 张晓妍, 叶曾, 刘学婧. 北京轨道交通站接驳换乘优化研究[C], 新型城镇化与交通发展——2013年中国城市交通规划年会暨第27次学术研讨会论文集, 北京, 中国城市规划学会城市交通规划学术委员会.
- [2] 郭或鑫. 基于出行链的轨道交通衔接方式研究——以北京为例[D], 北京建筑大学硕士学位论文, 2015年.
- [3] 毛程远, 裴玉龙. 轨道交通站点接驳布局模式研究[C]. 科技创新 绿色交通——第十一次全国城市道路交通学术会议论文集, 2011, 辽宁大连, 中国土木工程学会市政工程分会城市道路与交通学术委员会.
- [4] 方晓丽, 城市轨道交通接驳公交线路布设及优化方法研究[D], 西南交通大学硕士学位论文, 2013.
- [5] 崔晓琳等, 基于轨道交通接驳的公共自行车租赁站点布设研究[D], 北京交通大学硕士学位论文, 2013.
- [6] GB 50157-2003, 地铁设计规范, 建设部
- [7] Pas E I. Recent developments in activity-based travel demand modeling [C] // Activity-based Travel Forecasting Conference, Arlington: Texas Transportation Institute, 1997.
- [8] 杨晓光; 邵海鹏; 云美萍; 交通语言系统结构, 系统工程, 2006, 24(7) pp1-7.

【作者简介】

周嗣恩, 男, 博士研究生, 北京市城市规划设计研究院, 高级工程师。电子信箱: sienzhou@vip.sina.com