

基于工作日与休息日对比的昆明地铁站点 建成环境对客流的影响机制^{*}

李智博¹ 张丽莉² 何保红¹ 郭静辉¹

(1. 昆明理工大学交通工程学院, 650500, 昆明; 2. 珠海市轨道交通有限公司, 519060, 珠海)

摘 要 [目的] 为了研究地铁站点建成环境对站点客流的影响机制, 以昆明市地铁站点为例, 分析建成环境对工作日与休息日不同客源客流的影响机理。[方法] 利用昆明市轨道交通 AFC (自动售检票) 刷卡数据和 POI (多系统接入平台) 数据, 将站点客流细分为发生客流与吸引客流两类。在此基础上进行日变特征及空间可视化分析, 建立不同性质客流的工作日、休息日影响机理模型。[结果及结论] 研究表明, 客流高吸引型站点集中于主城及新城中心, 客流高发生型站点分布于城市近、远郊区。站点建成环境对客流影响机制与客流特征显著相关, 土地利用优势度对发生客流起抑制作用, 对吸引客流起促进作用; 约束型设施、公交线网密度仅对吸引客流产生显著影响; 路网密度和休闲型设施对发生、吸引客流的影响程度不同。随着工作日到休息日的变化, 土地利用优势度对发生客流的影响消失, 而公交线网密度对吸引客流的影响开始显现。

关键词 地铁; 站点建成环境; 客流; 影响机制

中图分类号 U293.13

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.12.023

Influence Mechanism of Kunming Metro Station Built Environment on Passenger Flow Based on the Comparison between Working Days and Rest Days

LI Zhibo¹, ZHANG Lili², HE Baohong¹, GUO Jinghui¹

(1. Faculty of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, 650500, Kunming, China; 2. Zhuhai Rail Transit Co., Ltd., 519060, Zhuhai, China)

Abstract [Objective] In order to study the influence mechanism of metro station built environment on the passenger flow of the station, taking metro stations in Kunming city as the example, the influence mechanism of station built environment on the passenger flow from different sources on working days and rest days is analyzed. [Method] Using Kunming Rail Transit AFC (automatic fare collection) card swiping data and

POI (point of interface) data, the passenger flow of the stations is subdivided into generated passenger flow and attracted passenger flow two types. On this basis, daily variation characteristics and spatial visualization analysis are conducted, and influence mechanism models of working days and rest days on different passenger flow types are established. [Result & Conclusion] The results show that high passenger flow attraction stations are concentrated in the main city area and new town center, and high passenger flow generation stations are distributed in the near and far suburbs of the city. The influence mechanism of station built environment on passenger flow is significantly related to passenger flow characteristics. Land use dominance degree has an inhibitory effect on passenger flow generation but a promoting effect on passenger flow attraction; while the constrained facilities and bus network density only have a significant influence on passenger flow attraction; road network density and leisure facilities have different degrees of influence on the generation and attraction of passenger flow. With the time change from working days to rest days, the influence of land use dominance degree on passenger flow generation disappears, while the influence of bus network density on passenger flow attraction begins to appear.

Key words metro; station built environment; passenger flow; influence mechanism

《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》中明确指出, 要积极引导低碳出行方式, 加快建设大容量公共交通系统, 提高公共交通供给能力。地铁作为低碳交通方式重要组成部分, 在缓解交通拥堵、引导绿色出行方面做出重要贡献, 但也面临客流效益低、难以持续增长等问题。如何优化地铁站点的建成环境以引导客流健康增长成为学术界持续探索与争鸣的话题。

^{*} 国家自然科学基金项目(51668029)

目前,地铁站点的建成环境对客流机理研究从建模要素上可归纳总结为三个方面:①从建模方法上,早期实证研究普遍采用最小二乘法^[1],但存在空间效应体现不足的显著缺陷;继而引入 GWR(地理加权回归)、MGWR(多尺度地理加权回归)为代表的空间模型,通过实证证实地铁站点的建成环境对客流影响存在较强空间差异^[2];随着研究的深入,建成环境与客流间线性关系假设受到诸多质疑,目前以 GBDT(梯度提升决策数)为代表的非线性方法逐渐成为探讨二者关系的新趋势^[3,4]。②在自变量的选取上,基本沿用文献[5]提出的 3D 及衍生而来的 5D 指标。国外文献研究显示,土地利用、公交接驳、站点特征以及社会经济与人口属性等会显著影响客流水平^[1];国内研究则得出差异较大甚至相悖的结论,如文献[6]研究认为密度、多样性等维度对客流无显著影响效果,文献[7]认为细粒度数据能够弥补传统数据获取成本高、精度低等实际问题,基于互联网多源数据已成为现阶段研究中主要数据来源^[7,8]。③在因变量的选取上,主要以整日客流、时段客流和进出站量为主^[1,2,6]。这类客流指标究其本质是在反映站点的客运量及其随时间的波动状态,并不能体现实际的客源差异。客源是整日客流在同一站点不同活动规律的体现,如发生客流一般为早间进站(7:00—9:00)与晚间出站(17:00—19:00),而吸引客流则与之相反。发生客流与吸引客流对于站区建成环境的要求和敏感度存在显著差别,且客源指标与建成环境关联关系相较于客流指标来说更为密切。

1 研究思路与数据处理

截至到 2020 年 11 月,昆明市运营轨道交通线路 5 条共计 83 个站点。研究数据主要有:昆明市 2020 年 11 月轨道交通 AFC(自动售检票)刷卡数据;基于 Python 软件爬取的高德地图 POI(多系统接入平台)数据;由 OpenStreetMap 网站获取的昆明市路网数据。依据本文研究目的,对上述数据做如下处理。

首先,利用 Python 软件对 AFC 刷卡数据进行清洗。选取 2020 年 11 月 2 日至 11 月 29 日 4 个自然周数据,以 1 h 为时间粒度,按进出站方向进行客流统计。

其次,以 POI 数据为主,先剔除公众认知度低的 POI 点,随后按照乘客出行目的划分为维持型、

休闲型和制约型三类。对城市的主次支道路提取中心线,慢行道路作合并处理。多样性维度采用文献[9]提出的优势度、均衡度刻画方法:

$$D = \ln m + \sum_{k=1}^m P_k \ln P_k \quad (1)$$

$$E = \frac{-\sum_{k=1}^m P_k \ln P_k}{\ln m} \quad (2)$$

式中:

D ——用地优势度;

E ——用地均衡度;

P_k ——第 k 类用地占比;

m ——研究区域出现的用地类型数。

优势度、均衡度常以城市用地数据进行计算,由于所用 POI 数据无法反映实体的占地面积,因此将 POI 数据按《城市用地分类与规划建设用地标准》重新进行合并归类、分类。相关变量集合如表 1 所示。

表 1 研究变量集

Tab. 1 Study variable set

变量类别	相关指标及单位	解释说明
土地利用密度	人口密度/(万人/km ²)	
	岗位密度/(万个/km ²)	
土地利用多样性	优势度	按信息熵公式计算
	均衡度	
街道设计	道路线网密度/(km/km ²)	
	慢行道路密度/(km/km ²)	
目的地可达性	维持型设施可达性/(个/km ²)	商超、餐饮店个数与面积之比
	约束型设施可达性/(个/km ²)	政府机构、大型医院个数与面积之比
	休闲型设施可达性/(个/km ²)	休闲娱乐、风景名胜个数与面积之比
道路公交临近性	站点密度/(个/km ²)	
	线网密度/(km/km ²)	

中华人民共和国住房和城乡建设部 2015 年 11 月发布的《城市轨道交通沿线地区规划设计导则》界定站点辐射范围通常为 300 ~ 800 m。参考文献[10]及昆明的城市空间结构,本文选取 500 m 为站点步行吸引范围。采用缓冲区与泰森多边形相交的方式解决城市中心站点缓冲区重合问题。整体研究框架如图 1 所示。

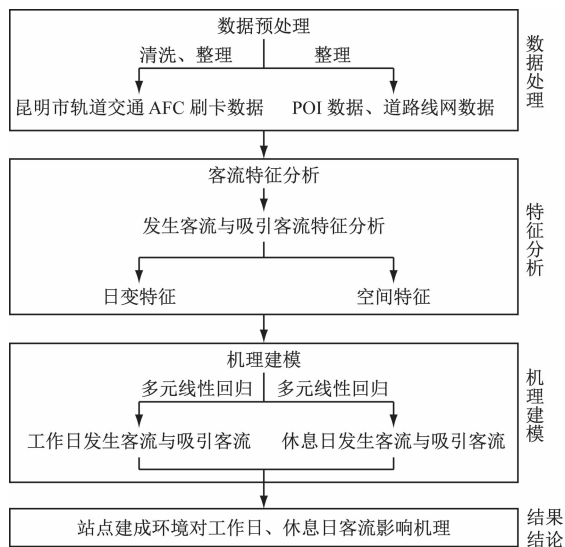


图1 整体研究框架

Fig.1 Overall research framework

2 发生客流与吸引客流特征分析

2.1 客源日变特征分析

昆明城市轨道交通站点周平均发生和吸引客运量分别为 594.5 万人次和 550.5 万人次。一周中客流峰值分别出现在周四和周六。周一至周三日差异较小,发生、吸引客流比保持在 1.07 左右;周四至周日差异相对较大,发生、吸引客流比在 1.07 ~ 1.11 波动。

2.2 空间可视化分析

针对客源日变统计分析,以工作日为例计算出所有站点的发生、吸引客流的差值,并依据所得结果将车站划分为客流发生型和客流吸引型两类。再按具体差值水平划分为 5 个等级,并利用 GIS(地理信息系统)可视化,结果如图 2 所示。

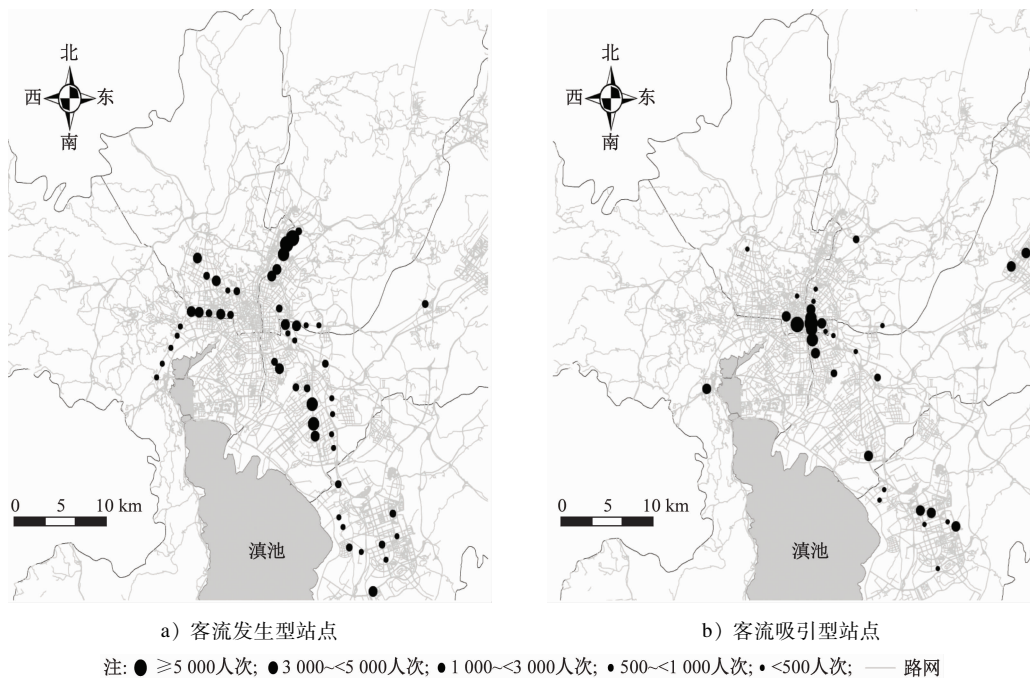


图2 昆明城市轨道交通站点发生客流与吸引客流空间分布特征

Fig.2 Spatial distribution characteristics of generated passenger flow and attracted passenger flow at Kunming urban rail transit stations

由图 2 可知,发生型站点占站点总数的 61%, 站点多处于人口稠密区,有着较高土地利用均衡度及相对完善的通行设施;其空间分布较为连续,由主城中心向外围地区发散(见图 2 a));客流差异最大地区为城市南北部近郊大型居住区,远郊站点客流差异普遍较小。吸引型站点占比 39%,仅在老城核心区及新城中心密集分布;客流差异较大的站点位于城市核心 CBD(中央商务区)及其相邻区域,近

远郊站点客流差异相对较小(见图 2 b));高吸引客流站点周边地区土地开发时间较早,地块成熟度和优势度相对较高。

3 站点建成环境对客流的影响机制

3.1 站点建成环境变量选取

首先对表 1 中的变量进行共线性分析,结果显示变量间 VIF(方差膨胀系数)值小于 5,不存在严

多重共线性。在此基础上将变量分别与站点工作日、休息日的发生和吸引客流进行两两间 Pearson 相关性分析。综合 4 组模型相关性考量,最终将与响应变量相关程度最大的土地利用优势度、道路线网密度、休闲设施可达性、约束型设施可达性及道路公交线网密度纳入线性回归模型中。

3.2 站点建成环境对工作日客流影响机制

表 2 为建成环境对工作日站点客流影响机理。

表 2 建成环境对站点工作日客流影响机理

Tab. 2 Influence mechanism of built environment on station passenger flow during working days

变量类别	工作日发生客流			工作日吸引客流		
	<i>B</i>	<i>t</i>	VIF	<i>B</i>	<i>t</i>	VIF
	(常量为 4.586)	(常量为 2.557 **)		(常量为 -3.177)	(常量为 -2.131 **)	
土地利用优势度	-2.778	-2.410 **	3.517	2.151	2.243 **	3.517
道路线网密度	0.497	2.571 **	1.315	0.340	2.116 **	1.315
休闲型设施可达性	0.029	2.004 *	2.301	0.043	3.543 ***	2.301
约束型设施可达性	-0.090	-1.144	3.948	0.022	3.484 ***	3.948
道路公交线网密度	-0.014	-0.417	2.161	0.037	1.297	2.161
调整后 R^2	0.290			0.555		

注: B 为回归系数; t 为 t 检验值;*** 表示呈现出 1% 水平显著性,** 表示呈现出 5% 水平显著性,* 表示呈现出 10% 水平显著性; R^2 为相关系数。

活动创造了条件,使更多客流转向地铁出行。相比之下,吸引客流大多为进行与站区土地功能密切相关的活动,如上班、就医等。道路线网密度对发生与吸引客流均产生正向影响,道路线网密度越大意味着可达性越好,可将更多客流汇集于轨道交通站点。道路线网密度对吸引客流的影响系数为 0.340,小于发生客流的影响系数 0.497,表明站区设计对站点附近居民选乘地铁更为关键。休闲娱乐活动在发生客流的整日计划中往往处于次要地位,而休闲娱乐活动却是吸引客流的主要出行目的,因此休闲型设施对吸引客流的影响系数更为显著。约束型设施对发生、吸引客流的影响不同。早上发生客流多以步行方式前往,而晚上则错过使用该设施的机会,因此与地铁使用联系不强。约束型设施对吸引客流的时空限制较强,对其选择地铁出行又有很强的引导作用,因此对吸引客流影响显著。

3.3 站点建成环境对休息日客流影响机制

如表 3 所示,休息日发生客流受道路线网密度和休闲设施可达性的影响,均呈现出 1% 水平显著性。吸引客流受到休闲设施可达性、道路线网密度、道路公交线网密度及土地利用优势度的影响,

由表 2 可知:在工作日发生、吸引客流项中,土地利用优势度与道路线网密度呈现出 5% 水平显著性;发生客流项中休闲设施可达性呈现出 10% 水平显著性,吸引客流项中呈现出 1% 水平显著性;约束型设施可达性仅在休息日中呈现出 1% 水平显著性。

进一步看,土地利用优势度越低,站点发生客运量越大,而对于吸引客流结论则相反。出行途中,站区多样化土地开发为发生客流顺路完成整日

分别呈现出 1%、5% 以及 10% 水平显著性。休息日土地利用优势度仅对吸引客流产生正向影响。城市中,购物中心、旅游度假区等地土地利用优势度较高,同时土地主体功能又与吸引客流出行目的高度吻合,因此处于上述用地范围内的地铁站点客流水平往往较高。土地利用优势度对发生客流无显著影响,可能是休息日中发生客流对交通方式的关注度高于站区建成环境,发生客流会挑选活动地点并乘地铁前往,而非将自己的活动限制于站区之内。相较于发生客流,道路公交线网密度对吸引客流有显著影响。与道路网密度相似,道路公交线网密度是可达性水平的又一体现,在休息日情境下吸引客流具有活动频率高、活动空间大等特征,对接驳设施服务水平有较高要求。密集的道路公交线网可为吸引客流向外围地区活动提供便利。而以本地居民为主的发生客流活动路径相对固定且活动类型较为单一,对辅助拓展活动空间的接驳设施需求较弱。

3.4 站点建成环境对工作日与休息日客流的影响机制比较

对比工作日与休息日,土地利用多样性指标对发生客流的影响机理有显著差异。而吸引客流表

现在道路公交邻近性和目的地的可达性。其余变量类别则对工作日、休息日的发生和吸引客流产生不同影响效果。工作日与休息日的发生客流在活动安排和时间利用上存在明显差别,土地利用优势度作为与上述因素密切相关的变量,会对客流水平产生差异化影响效果。吸引客流在休息日的活动范围更广,对站区接驳设施需求更强,因而道路公交线路网密度对其影响显著。约束型设施可达性仅

对工作日吸引客流产生影响,原因为政府机构、医院等有着传统双休工作制,该类设施在工作日与休息日中重要程度不同,从而体现在约束型设施对吸引客流影响的差异上。道路线网密度对发生、吸引客流均有正向影响,说明站区设计是提升客流的重要因素。道路线网密度在工作日的高影响系数表明,工作日客流对站区可达性要求更高。基于分析结果汇总的不同客流活动模式如表 4 所示。

表 3 站点建成环境对休息日客流影响机理

Tab.3 Influence mechanism of station built environment on passenger flow during rest days

变量	休息日发生客流			休息日吸引客流		
	B	t	VIF	B	t	VIF
	(常量为 1.122)	(常量为 0.928)		(常量为 -1.980)	(常量为 -1.491)	
土地利用优势度	-5.01	-0.644	3.517	1.430	1.674 *	3.517
道路线网密度	0.403	3.088 ***	1.315	0.329	2.297 **	1.315
休闲型设施可达性	0.028	2.868 ***	2.301	0.032	2.968 ***	2.301
约束型设施可达性	-0.003	-0.560	3.948	0.004	0.674	3.948
道路公交线路网密度	0.011	0.462	2.161	0.061	2.413 **	2.161
调整后 R^2		0.322			0.363	

注:*** 表示呈现出 1% 水平显著性,** 表示呈现出 5% 水平显著性,* 表示呈现出 10% 水平显著性。

表 4 基于分析结果的不同客流活动模式汇总

Tab.4 Summary of different passenger flow activity patterns based on analysis results

	工作日	休息日
发生客流		
	发生客流由 A 站前往其他站点完成主要活动,前往 A 站途中受土地均衡度影响完成一些次要活动	发生客流由 A 站前往其他站点完成主要活动,由于时间较为宽松,对 A 站建成环境的要求不高、使用次数较低
吸引客流		
	吸引客流由其他站点前往 A 站,在时间较为紧凑的环境下,站区有优势度较高的土地直接满足活动需求	吸引客流由其他站点前往 A 站,部分客流直接在站区内完成主要活动,部分客流选择换乘前往站区外活动

注:表中实心圆圈越大表示活动的重要程度越高。

4 结语

利用昆明市 POI 和 AFC 刷卡数据,在区分客源

特征的基础上,分别建立站点建成环境对工作日与休息日不同客源客流的影响机理。研究发现:

1) 昆明城市轨道交通站点发生客流、吸引客流

的特征差异明显。时间上,周一至周三发生、吸引客流比稳定,周四至周日波动起伏较大;空间上,高发生型与高吸引型站点交错分布,前者远离主城核心区,后者仍以城市中心居多。

2) 站点建成环境对发生客流和吸引客流的影响不同。表现为,土地利用优势度对发生、吸引客流作用机制相反,约束型设施和道路公交线网密度仅对吸引客流产生影响,道路线网密度和休闲型设施分别对发生、吸引客流有着更为明显的影响效果。土地利用优势度、休闲型设施、约束型设施随着时间迁移对发生、吸引客流的差异化影响缩小,而道路线网密度、道路公交线网密度拉大了对发生、吸引客流的影响差异。结果表明,站点建成环境与活动模式关联较为密切。

3) 城市轨道交通站点周边是日常生产生活交流密集地区,应进一步优化站区功能。对站区进行高密度、高混合度开发以满足日常生产活动需求。做好以道路线网规划为代表的站区设计工作,优化构建小街区生活环境。充分挖掘休闲型设施对城市轨道交通客流的吸引潜力,积极拓展站区生活生态功能。城市轨道交通及其接驳方式是站点节点功能的重要组成部分,应协调城市轨道交通-接驳方式的整体目标、重视站点接驳设计、加快基础设施建设,以提升城市轨道交通服务质量。

参考文献

- [1] KUBY M, BARRANDA A, UPCHURCH C. Factors influencing light-rail station boardings in the United States[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2004, 38(3): 223.
- [2] 丛雅蓉,王永岗,余丽洁,等. 土地利用因素对城市轨道交通车站客流的时空影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(1): 116.
CONG Yarong, WANG Yonggang, YU Lijie, et al. Spatial-temporal effects of land use factors on metro station passenger flow[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 116.
- [3] DING C, CAO X, LIU C. How does the station-area build environment influence Metrorail ridership? Using gradient boosting decision trees to identify non-linear thresholds[J]. Journal of Transport Geography, 2019, 77: 70.
- [4] SHAO Q, ZHANG W, CAO X, et al. Threshold and moderating effects of land use on metro ridership in Shenzhen: Implications for TOD planning[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 89: 102878.
- [5] CERVERO R, KOCKELMAN K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199.
- [6] 苏海龙,王焱,王新军,等. 上海市轨道交通客流量的公交导向开发影响因素分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(1): 71.
SU Hailong, WANG Yi, WANG Xinjun, et al. Transit-oriented development correlates of rail transit ridership in Shanghai municipality[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(1): 71.
- [7] 彭诗尧,陈绍宽,许奇,等. 基于POI的土地利用与轨道交通客流的空间特征[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 459.
PENG Shiyao, CHEN Shaokuan, XU Qi, et al. Spatial characteristics of land use based on POI and urban rail transit passenger flow[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(2): 459.
- [8] 高德辉,许奇,陈培文,等. 城市轨道交通客流与精细尺度建成环境的空间特征分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(6): 25.
GAO Dehui, XU Qi, CHEN Peiwen, et al. Spatial characteristics of urban rail transit passenger flows and fine-scale built environment[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(6): 25.
- [9] 段德罡,张凡. 土地利用优化视角下的城市轨道交通站点分类研究:以西安地铁2号线为例[J]. 城市规划, 2013, 37(9): 39.
DUAN Degang, ZHANG Fan. Study on classification of urban rail transit stations from the perspective of land use optimization: a case study on Xi'an subway line 2[J]. City Planning Review, 2013, 37(9): 39.
- [10] 刘泉. 轨道交通TOD地区的步行尺度[J]. 城市规划, 2019, 43(3): 88.
LIU Quan. Walking scale of tod area along rail transit line[J]. City Planning Review, 2019, 43(3): 88.

· 收稿日期:2022-10-05 修回日期:2022-11-14 出版日期:2024-12-10
Received:2022-10-05 Revised:2022-11-14 Published:2024-12-10
· 第一作者:李智博,硕士研究生,836148600@qq.com
通信作者:何保红,教授,94002267@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn