

城市小学可达范围通学道路安全评价研究 ——以济南市历下区为例

马馨悦

山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年3月4日; 录用日期: 2025年4月7日; 发布日期: 2025年4月15日

摘 要

健康安全的通学道路是儿童积极通学的前提条件。道路空间承担儿童的通学活动, 是儿童使用频繁的城市公共空间。现有研究成果已经指出通达性和安全性是影响学生步行通学的重要因素, 本文选取历下区小学为研究案例, 借助ArcGIS划定各小学十分钟可达范围。通过现有文献整理, 将儿童友好的抽象理论转译成城市道路空间评价指标, 加权分析确定各指标的权重, 形成小学通学道路安全性评价体系。分析得出历下区小学通学道路安全性建设仍需增强。老城区需加强道路物理空间建设, 东部新城区需增强道路步行空间营造。针对通学道路面临的问题, 提出道路安全性提升的规划策略。

关键词

可达范围, 通学道路, 安全性, 济南市

Study on the Safety Assessment of Commuting Routes within the Accessible Range of Urban Primary Schools —Taking Lixia District of Jinan City as an Example

Xinyue Ma

School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Mar. 4th, 2024; accepted: Apr. 7th, 2025; published: Apr. 15th, 2025

Abstract

Healthy and safe commuting routes are prerequisites for children's active commuting. Road space,

which bears the commuting activities of children, is a frequently used urban public space by them. Existing research has already pointed out that accessibility and safety are important factors affecting students' walking to school. This paper selects primary schools in the Lixia District as case studies and uses ArcGIS to delineate the ten-minute accessible range of each school. By reviewing existing literature, the abstract theory of child-friendliness is translated into evaluation indicators for urban road space. The weights of these indicators are determined through weighted analysis, forming a safety assessment system for primary school commuting routes. The analysis shows that the construction of safe commuting routes for primary schools in Lixia District still needs to be enhanced. The old urban area needs to strengthen the construction of road physical space, while the eastern new urban area needs to enhance the creation of pedestrian-friendly road space. In response to the problems faced by commuting routes, planning strategies for improving road safety are proposed.

Keywords

Accessible Range, Commuting Routes, Security, Jinan City

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

健康安全的通学空间是儿童积极通学的前提条件[1]。小学是儿童接受正规教育的场所,具有数量多、覆盖广、成体系的特点。通学行为,主要指学生日常上学往返于家和学校的活动[2]。当前“儿童友好”的概念逐步被重视,《深圳市儿童友好型社区建设指引》提出“儿童友好步行路径”的概念,定义为连接社区内学校、幼儿园等公共服务设施与儿童游戏空间,满足儿童步行出行需求的路径。提高学生步行通学比例,既有利于学生的身体发育和心理健康,也有利于教育设施的全面均衡发展。因此如何提高道路安全性,鼓励学龄儿童步行通学成为当前面临的问题。

道路作为主要承担通学活动的空间,对其的研究已有较为丰富的成果。国外的研究较早,Linda等人通过对多伦多的118所小学的研究,得出儿童人口密度、道路交叉口密度、交通设施同步行通学比例显著相关的结论[3]。Xuemei Zhu等人通过对奥斯丁的19所小学的研究,提出最强烈的影响因素是距离和安全性问题[4]。我国对通学道路的研究主要集中于城市规划和交通规划,刘吉祥等以厦门岛为案例,提出通学距离对学生步行通学的影响占比接近四成[5]。何玲玲等提出交通设施、土地混合使用和人口密度与步行通学呈正相关[6]。牛强等人引入“服务绩效”的概念,对小学空间服务进行精细化评价[7]。梁思思等针对北京老城地区进行儿童街区空间安全评价[8]。刘欣宇等人的研究指出不同通学方式的主要影响因素各有不同,影响步行与公交车通学的主要因素是可达性[9]。研究已经明确可达性和安全性对步行通学具有较强影响,但缺少利用两个影响因素针对城市通学道路的现状评价研究。因此,本文选择济南市历下区小学的通学道路为研究对象,以通学道路安全性评价为研究目标。利用空间可达性计算划定研究对象,在保证通学距离的基础上对现状通学道路进行安全性评价,为城市更新、儿童友好社区建设提供参考依据。

2. 研究区域、数据来源与研究方法

2.1. 研究区域

济南市历下区,位于济南市东部,是济南市政治、经济、文化中心。历下区扎实推进基础教育设施

建设,在“2021中国公平教育百佳县市”评选中名列全国第九。历下区共有小学48所(除培智学校),历下区小学的选址建校时间跨度大,济南市历下区韶光小学建校最早,建于1889年,受规划建设年代的影响,校际道路条件差别较大。因此,本文选择历下区作为研究区域,探究城市通学道路的可达范围与安全性。

2.2. 数据来源与数据处理

2.2.1. 数据来源

历下区小学名单来自2022年历下区政府官网信息发布,使用高德开放平台获取历下区小学经纬度数据;小学可达范围计算使用道路数据,济南市道路矢量数据来自OSM(Open Street Map,开放街道数据);通学道路安全性评价使用道路数据和建筑物数据,建筑物数据来自OSM。道路安全性评价需要道路现状信息,通过实地调研、百度全景地图获取。

2.2.2. 数据处理

借助ArcGIS10.8进行数据处理。将小学POI数据和历下区行政区域数据相对比,由于2022年济南振声学校、山东大学附属中学和山东省济南历元学校从属于历下区教育局管理但位于其他行政范围内,本次研究不讨论这三所学校。利用ArcGIS10.8提取道路中心线,获取的道路数据进行缓冲区处理,利用“提取中心线”工具提取缓冲区中心线,即道路中心线,同济南市卫星图进行相互校核,删除封闭园区内的道路,例如大学校园、工厂、封闭住区等,并补充缺失的城市支路、胡同等低等级道路。

2.3. 研究方法

2.3.1. 基于网络分析法的可达范围计算

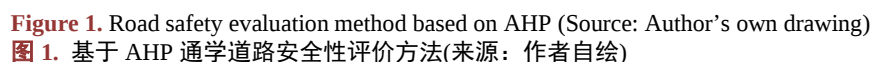
可达性源于古典区位论,公共设施的空间可达性,主要是指拥有相应需求的人群通过某种交通方式从某一给定区位到达目标设施的便捷程度[10]。可达性是可步行性的重要组成部分,网络分析是GIS空间分析的重要组成部分,它是对地理网络、城市基础设施网络进行地理分析和模型化的过程[11]。多数研究从时间成本、距离成本两个角度出发。

利用网络分析法的可达性计算是基于矢量化的现状路网,提取面状路网的道路中心线,在ArcGIS10.8中建立拓扑关系,确保道路的连通性和现势性。本文基于现有文献、研究,设定小学生的步行速度为1 m/s。参照各类中小学设计规范,小学服务半径宜为500米且步行时间不超过10分钟,选定时间成本为10分钟。建立网络分析数据集,以小学作为出发点,使用道路长度和时间成本进行计算,得出步行方式下的小学十分钟可达范围。

2.3.2. 基于AHP的道路安全性评价

通学道路的安全性评价,以“儿童-道路”为中心视角,根据心理学、环境行为学等多学科知识,选取建成环境中的相关因素,构建综合、科学的评估体系。运用频次统计法,基于现有文献资料、标准等,统计出现频率较高的指标,增加儿童友好的相关指标,得出本文的安全评价指标。利用层次分析法确定通学道路安全评价指标的重要程度,建立直观、可靠的安全性评价体系。

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP),是由美国运筹学家萨蒂提出的一种层次权重分析方法。该方法将多目标的复杂问题,分解成目标、原则、方法等层次,利用定性和定量的方法进行决策。本文基于选取出的安全性评价指标,采用模糊分析法建立数学模型,基于专家打分结果计算各项指标的重要程度。对各个学校通学道路进行打分,得出初始分数,加权计算后得出最终结果(图1)。



3.1. 历下区小学空间分布特征

图例

- 济南市道路
- ▲ 历下区空间范围内小学

0 0.5 1 2 3 4 千米

2025.142031 302 地理科学研究

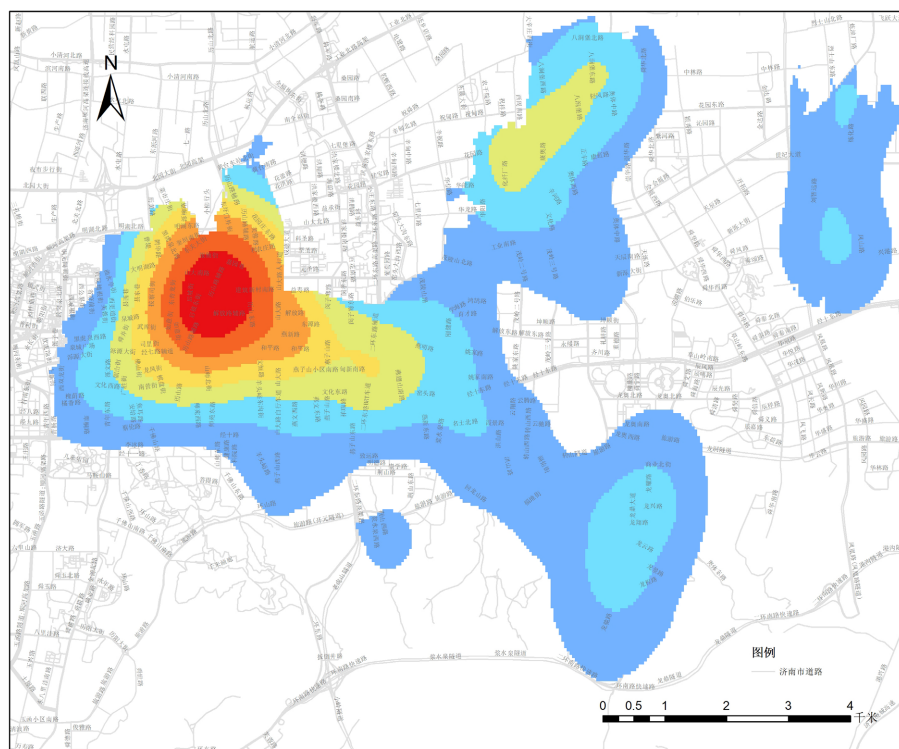


Figure 3. Nuclear density analysis diagram of primary schools in Lixia District (Source: Author's own drawing)
图 3. 历下区小学核密度分析图(来源: 作者自绘)

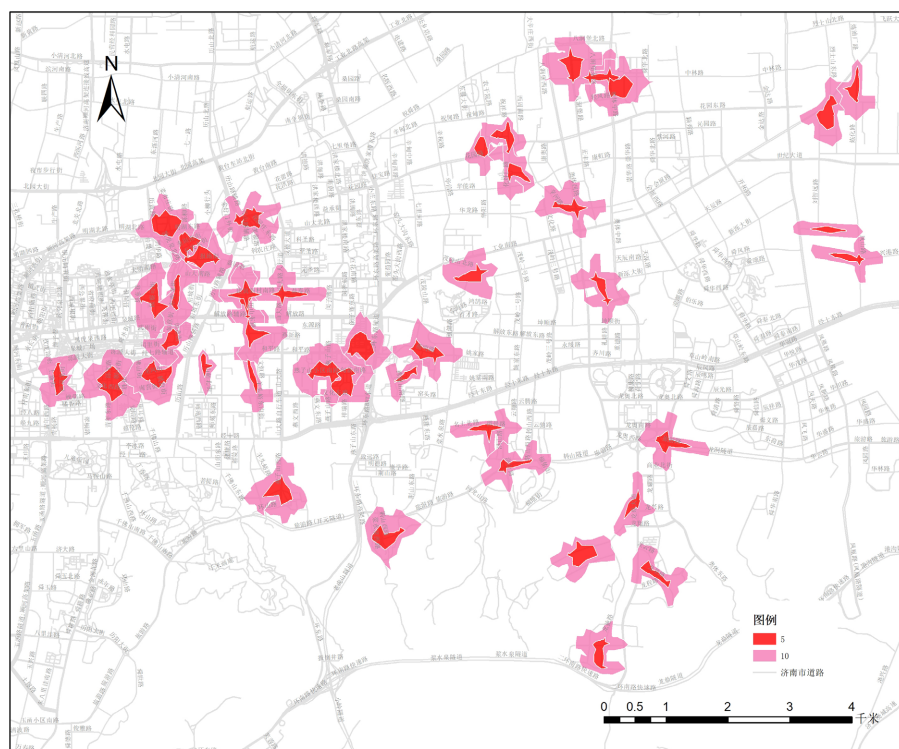


Figure 4. Accessibility analysis of primary schools based on time cost (Source: Author's own drawing)
图 4. 基于时间成本的历下区小学可达性分析(来源: 作者自绘)

3.2. 历下区小学可达范围分析

历下区各小学可达范围覆盖度较低,校际可达范围差异较大(图 4)。以十分钟为时间成本计算得出的空间范围,呈现从西到东可达范围逐步递减的现象。护城河沿线的小学十分钟可达范围较大,九所学校的可达范围相接形成了面积最大的步行通学带。有四所小学位于历山东路,因此沿历山东路形成了南北向步行通学带。二环东路以东片区,校际可达范围差距较小,可达范围相连的学校数量减少,平均 2~3 所。多独立存在,同其他小学的范围距离较远。

4. 历下区小学通学道路安全性评价

道路安全性评价首先要考虑儿童生理特点,受生理发育的限制,儿童无法较好地应对复杂的交通环境[12]。《中国儿童身高管理现状调研报告》指出,中国 7~12 岁学龄儿童的身高范围为 124 cm~152 cm,远低于成年人身高,因此学生在步行通学活动时常处于来往车辆的视觉盲点。儿童视域范围远小于成年人在行走时的视域范围,成年人视域为水平 150°、竖直 120°,儿童在步行时的视域为竖直的 70°、水平 90°视域,因此步行时更注重眼前事物。

儿童步行行为特征也与成人存在着较大差异。儿童具有较为强烈的好奇心,规则意识淡薄,因此在通学时会不定时、不定点地被沿街事物吸引,造成活动轨迹不可预测。儿童在通学步行时倾向与同学伙伴结伴而行,男生在步行时会追逐打闹,女生会三两好友并排通行。家长作为儿童通学出行方式选择的主要决策者,在通学距离合理时,会对通学出行的安全性进行预期判断,并依此决定儿童通学出行的具体方式。

4.1. 安全性评价体系

4.1.1. 道路安全性指标

道路安全性指标是道路安全性评价的基础性指标。道路步行道宽度是衡量可步行性的基础性指标,较宽的步行道具有较强的交通承载力,可供更多的步行者使用,不容易因占道、地面破损、人车混行等情况打断步行空间的问题。机非混行是影响通学步行的安全的重要因素,设置路缘石、隔离带或绿化带能在空间上隔离学生和车辆,也能在心理上减小学生受车辆的影响程度;小学生受身高、步速、观察力等因素的影响,在道路交叉口更容易同车辆发生冲撞,因此统计范围内的道路交叉口数量;道路设计车速影响车辆的制动距离,也影响学生心理上对道路安全的感受,车速越快,学生对通学道路的安全感越低。

4.1.2. 社会安全性指标

社会安全指标是对通学道路安全性的深入讨论。道路照明系统评价是指道路照明设施密度是否能为儿童通学活动提供足够的照明,降低夜间活动的危险性,提高儿童通学步行时的安全感,本文以配备照明设施道路的百分比进行打分。建筑密度从平面的角度反映可步行性,建筑平均高度则是从竖向角度反映可步行性,步行者行走在道路与建筑形成的城市空间中,其心理感知被建筑高度所影响[13]。本文计算可达范围内建筑的平均高度进行打分。

4.1.3. 评价指标表

结合综合道路安全性指标和社会安全性指标,得出本次研究的通学道路安全评价量表(表 1)。

4.1.4. 基于 AHP 法的权重确定

借助 Yaapy 软件对选取的评价因子进行赋权。在建立好的分析模型中,每个层次中的因子进行两两比较,计算出权重值。在得出权重后,对结果进行一致性检验,修改对整理结果影响较大的因子并进行再次打分。各因子权重的确定是由五位规划专业人士根据经验主观判断得到,最终权重表如表 2。

Table 1. Evaluation index of road safety
表 1. 通学道路安全性评价指标表

一级指标	序号	二级指标	评价基准表(分)				
			1	2	3	4	5
道路安全性	1	道路步行道宽度(m)	无独立的步行道	步行道净宽度 ≤ 1 米	步行道净宽度 ≤ 3 米	步行道净宽度 ≤ 6 米	步行道净宽度 > 6 米
	2	道路机非分行程度	无路缘石、隔离带、绿化带分割	无路缘石，但有隔离带或绿化带	有路缘石，但无隔离带或绿化带	有路缘石，有隔离带或绿化带	有路缘石、隔离带、绿化带
	3	道路交叉口个数(个)	(12, 15]	(9, 12]	(6, 9]	(3, 6]	(0, 3]
	4	道路设计车速(km/h)	(60, 100]	(40, 60]	(30, 40]	(15, 30]	(0, 15]
社会安全性	5	照明系统	(0%, 20%]	(20%, 40%]	(40%, 60%]	(60%, 80%]	(80, 100%]
	6	建筑平均高度(m)	(80, 100]	(60, 80]	(40, 60]	(20, 40]	(0, 20]

来源：作者自制。

Table 2. Weights of evaluation indexes for road safety
表 2. 通学道路安全性评价指标权重

目标层 T	基准层 S1	权重 ω_I	子自准层 S2	权重值 ω_{II}
通学道路安全性评价	A 道路安全性	0.7400	A1 道路步行道宽度	0.3709
			A2 道路机非分行程度	0.2242
			A3 道路交叉口个数	0.1520
			A4 道路设计车速	0.1080
	B 社会安全性	0.2600	B1 照明系统	0.0783
			B2 建筑平均高度	0.0667

来源：作者自制。

4.2. 道路安全性评价结果

4.2.1. 整体得分分析

将道路安全性和社会安全性两类指标下具体指标得分加权计算后，即可得出历下区各小学可达范围内的通学道路安全性得分。根据评价总分可得，历下区小学通学道路的安全性得分较为均衡，得分大于 3 分的有 30 所小学，小于 3 分的有 16 所小学。最高分得分 3.70 分，道路步行道尺度较为适宜，行人与车辆隔离程度高，道路设计车速对行人的主观安全性感知影响较小；最低分得分 2.58 分，短板主要集中在步行道尺度较小、步行空间划分不彻底和道路交叉口数量较多这三个方面。

4.2.2. 安全性综合评价

分别计算道路安全性和社会安全性的得分，对小学通学道路安全性进行叠加分析。本次分析，选取两个大类评价得分的中位数作为界定高、低的分界点，讨论面向本文研究对象的相对高低。基于此，将通学道路分为四大类：道路分高(H)/社会分高(H)、道路分高(H)/社会分低(L)、道路分低(L)/社会分高(H)和道路分低(L)/社会分低(L)。

道路分高(H)/社会分高(H)共 14 个片区, 占比 30.43%。这类片区内的通学道路的安全性综合评价较好, 具有较好的步行空间环境和步行潜力, 适宜学生步行通学。这类片区多位于历下区东部新城片区, 通学道路现状条件较好。道路设施、道路家具有序排放, 能充当步行空间和行车空间的隔离屏障。步行道尺度适宜, 能保证多人并行通行, 部分步行道路配套景观较好的道路绿化, 提高了步行的舒适度。

道路分高(H)/社会分低(L)共 9 个片区, 占比 19.57%, 片区内的通学道路具有较好的道路环境, 步行空间的营造需要增强。主要是由于道路周围建筑高度较高, 道路视线遮挡较大, 空间营造较为生硬, 步行体验较差。

道路分低(L)/社会分高(H)共 9 个片区, 占比 19.57%, 片区内的通学道路普遍位于路网密集区, 步行路网较为发达。但受道路尺度影响, 机动车、非机动车的停放侵占步行空间, 打断步行空间的连续性。但步行空间的体验较为舒适, 设施配备较为齐全。

道路分低(L)/社会分低(L)共 14 个片区, 占比 30.43%。这类片区的通学道路需要全面提升, 在道路改造提升中需要重点关注。这类片区主要位于开发建设较早的区域, 深入街区内部, 不临近高等级道路。通学道路多为等级较低的城市支路、胡同或建筑间小路, 道路尺度较窄。且不划分车道, 步行、非机动车和机动车混合行进, 路权相互冲撞。部分片区的照明设施配置不足, 步行时的安全感较低。

5. 问题与优化策略

5.1. 通学道路现状问题

5.1.1. 道路缺乏步行安全性建设

当前道路更注重机动车的快速出行, 道路的步行通学的安全性建设被弱化。当前城市通勤成为城市道路面对的主要问题, “街道”演变成了“道路”, 越来越重视道路的通勤效率。而学生的通学活动, 作为一个参与人数多、涉及范围广、时间点集中的交通活动, 学校周边会定时产生高强度的交通流。为了协调通勤活动和通学活动之间的交通矛盾, 鼓励学生步行通学, 基础是提高学校周边通学道路的安全性建设。

5.1.2. 道路环境提升空间有限

二环路范围内受现状建筑的影响, 道路步行空间尺度较小, 且空间受限, 改造提升难度较大。老城区现状高度建成, 道路空间十分紧张, 部分街区内部道路不通不畅, 道路曲折且断头路多。用地权属复杂, 道路空间拓宽难度较大。考虑道路扩宽成本, 难以全面覆盖所有道路。即使道路扩宽, 部分道路也难以达到适宜步行的空间尺度。部分道路现状条件较差, 具有路面铺装凹凸不平、步行道路缘石高低不齐、新增管线侵占步行空间等问题。

5.1.3. 道路服务设施与儿童匹配度较低

通学道路中的公共服务设施主要依据成年人的尺度进行设计, 儿童使用具有一定困难。长椅、栏杆、公共厕所等设施的尺度依据成人尺度设计, 不便于儿童使用。儿童道路的交通引导设施主要为标准制式, 适幼化程度较低, 不适宜儿童感知。部分通学道路坡度较大, 地面铺装的防滑性能不强, 增加了儿童通学时奔跑、嬉闹时的危险性。

5.2. 道路安全性提升策略

5.2.1. 考虑学龄儿童需求进行道路安全建设

新建的小学附近道路, 应全面考虑儿童视角、儿童感知和儿童需求, 面向全年龄段学龄儿童进行通学步道的建设提升。规划设计时, 梳理新建住区与新建小学之间的步行通学线路, 增加通学道路的人行

横道占比，主干道交叉口增设交通岛减少小学生过街滞留在路口的可能性。全面考虑儿童视角与儿童感知，安全标识、限速标识、减速带等标志、设施利用色彩变化提高警示效果。综合考虑新建小学的学生综合性通学方式，完善步行、公共交通、私家车等多种通学方式的衔接空间设计。

5.2.2. 多方协同提升通学道路安全性

针对物理空间改造提升难度较大的道路，步行通学的安全性提升需要儿童、家庭、学校、社区等多方协同努力。增强对儿童的道路交通安全教育，提高儿童的安全防范意识；学校改造提升出入口集散空间设计，保证学生流能在短时间内分流完毕。借助学校周边路段划定单独的儿童通学步行路径，设置临时车辆通行路标或路障，在外围设置儿童上下车接送区；联合社区、交通协管、志愿者等在上放学时把守交通要点，协助管理机动车、非机动车，实施必要的交通管制，保证步行的安全。

5.2.3. 规划保障儿童安全的“刚性”需求

我国对于儿童友好的建设发展十分重视，但在规划领域的具体落实还需积极探索。国内的儿童友好城市的建设实践已有多年的探索，但现有的政策、标准制定往往缺乏对儿童需求的探讨，对儿童的权利保障考量不够充分。当前，应从社会整体的角度看待儿童，通过塑造更加安全、更加友好、更加平等的城市空间来保障儿童的“刚性”需求。

规划应增加儿童的“一米视角”，探索建立集科普宣传、意见采纳、专业指导为一体的儿童参与机制。增强儿童参与的宣传，增强成年人对儿童参与决策的重视程度，保障儿童有效行使自身权力，给予儿童充分表达自身意见的机会。建立儿童意见落实的机制，保障儿童参与的有效性。

6. 总结

本文对济南市历下区小学测算步行十分钟可达范围，利用层次分析法对范围内的通学道路安全性进行评价。历下区小学通学道路安全性建设仍需增强，老城区的通学道路需要提升道路物理空间，东部新城区需要提升步行空间环境营造。本文存在数据处理不够精细、安全性评价指标体系建构方面不够全面的问题，对现状的评价不够精细、准确，因此，后续研究需综合考虑上述问题以获取更合理的分析结论。

参考文献

- [1] 张克凡, 吴晓华, 陈楚文, 等. 儿童通学空间环境健康安全评估技术研究及实践——以杭州市为例[J]. 风景园林, 2024, 31(12): 113-120.
- [2] 王琰, 李志民, 王翔, 刘鑫. 基于通学行为的小学与社区边界融合空间时空特征研究——以西安市为例[J]. 新建筑, 2022(3): 38-42.
- [3] Rothman, L., To, T., Buliung, R., Macarthur, C. and Howard, A. (2014) Influence of Social and Built Environment Features on Children Walking to School: An Observational Study. *Preventive Medicine*, **60**, 10-15. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2013.12.005>
- [4] Zhu, X. and Lee, C. (2009) Correlates of Walking to School and Implications for Public Policies: Survey Results from Parents of Elementary School Children in Austin, Texas. *Journal of Public Health Policy*, **30**, S177-S202. <https://doi.org/10.1057/jphp.2008.51>
- [5] 刘吉祥, 肖龙珠, 周江评, 郭源园, 杨林川. 建成环境与青少年步行通学的非线性关系——基于极限梯度提升模型的研究[J]. 地理科学进展, 2022, 41(2): 251-263.
- [6] 何玲玲, 林琳. 学校周边建成环境对学龄儿童上下学交通方式的影响——以上海市为例[J]. 上海城市规划, 2017(3): 30-36.
- [7] 牛强, 张永雄, 吴宛娴, 陈伟, 宁玲, 彭阳. 基于多源数据的小学空间服务绩效评价方法及优化策略——以武汉东西湖区为例[J]. 上海城市规划, 2022(3): 46-54.
- [8] 梁思思, 黄冰冰, 宿佳境, 张鹤鸣. 儿童友好视角下街道空间安全设计策略实证探索——以北京老城片区为例[J]. 上海城市规划, 2020(3): 29-37.

- [9] 刘欣宇, 王文鹏, 刘涟涟. 小学生通学出行与影响因素评价研究[C]//中国城市规划学会, 重庆市人民政府. 活力城乡 美好人居——2019 中国城市规划年会论文集(06 城市交通规划). 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 789-798.
- [10] Hansen, W.G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, **25**, 73-76.
<https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- [11] 宋小冬, 钮心毅. 地理信息系统实习教程[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2013.
- [12] 刘涟涟, 陈飞, 蔡军. 德国促进儿童独立上学的城市交通规划与教育[J]. 城市交通, 2020, 18(2): 17-29.
- [13] 吉雪梅, 张鲲. 基于城市空间形态的可步行性定量研究——以成都市少城片区为例[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2020, 52(4): 563-571.