

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

Evaluation Method and Optimization Strategy of Primary School Spatial Service Performance Based on Multi-source Data: A Case Study of Dongxihu District, Wuhan

牛强 张永雄 吴宛娴 陈伟 宁玲 彭阳 NIU Qiang, ZHANG Yongxiong, WU Wanxian, CHEN Wei, NING Ling, PENG Yang

摘要 优化小学空间服务绩效对于完善公共服务体系、推进基本教育资源均等化配置具有重要意义。尝试基于多源数据的综合应用构建一个推广性强、科学合理的小学空间服务绩效评价方法,并以湖北省武汉市东西湖区为例进行评价分析,提出优化策略。首先,通过文献梳理确定以步行友好作为评价原则。其次,通过社会调查确定步行可达性与步行安全性两个评价指标及其标准。再次,通过多源大数据,从小学服务的每个个体的出行感受出发,以学区为单位对小学空间服务绩效进行精细化评价。评价结果显示,东西湖区部分小学存在学区面积过大、学校布点不合理、道路系统不完善等问题。最后,针对以上问题提出新增学校、调整学校布点、调整学区、优化步行路网、增加过街设施等优化策略,并选取3个典型小学进行具体的优化方案分析。通过对数据增强设计的一次有益探索,为小学布局、学区设置及道路和用地规划等提供科学依据。

Abstract Optimizing the performance of elementary school spatial services is important for improving the public service system and promoting the equal allocation of basic education resources. This paper attempts to construct a generalized, scientific and reasonable evaluation method for the spatial service performance of elementary schools based on the comprehensive application of multi-source data, and using Dongxihu District of Wuhan City as a specific case to evaluate, analyze and propose optimization strategies. Firstly, the evaluation principle of pedestrian friendliness is determined through a literature review. Then two evaluation indexes and criteria of pedestrian accessibility and safety are determined through a social survey. From the perspective of each student's travel experience, the school-district-based spatial service performance of elementary schools is finely evaluated through a comprehensive analysis of multi-source data. The evaluation results find that the school districts of some elementary schools in Dongxihu District are too large, the distribution of schools is unreasonable, and the road system is not perfect. In response to these problems, we propose optimization strategies such as adding new schools, adjusting school distribution, adjusting school districts, optimizing the pedestrian network, and increasing street crossing facilities, and select three typical elementary schools for specific optimization plan analysis. This study is a useful exploration of Data Augmented Design, and provides a relatively scientific basis for primary school layout, school district setting, road and land planning.

关键词 小学;空间服务绩效;优化策略;多源数据;武汉市

Key words elementary school; spatial service performance; optimization strategy; multi-source data; Wuhan City

文章编号 1673-8985 (2022) 03-0046-09 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220307

作者简介

牛强
武汉大学城市设计学院
城乡规划系主任,教授,博士生导师
niuqiang@whu.edu.cn
张永雄
广州市城市规划勘测设计研究院
助理规划师,硕士
吴宛娴
武汉大学城市设计学院 硕士研究生

陈伟
武汉市土地利用和城市空间规划研究中心
副总工程师,正高级工程师
宁玲
湖北工业大学
高级工程师,硕士
彭阳
武汉市土地利用和城市空间规划研究中心
高级工程师,硕士

0 引言

党的十九大提出“完善公共服务体系,保障群众基本生活,不断满足人民日益增长的美好生活需要,不断促进社会公平正义,使人民获得感、幸福感、安全感更加充实、更有保障、更可持续”。公共服务设施的服务绩效对于居

民生活水平具有重要的影响,科学合理地规划配置公共服务设施是新时代贯彻“以人为本”理念的基本要求,亦是推动城市可持续发展的重要因素。小学作为儿童接受初等正规教育的场所,对于提高人口素质和社会知识启蒙具有重要的作用,是最重要的城乡公共服务设施之一,因而优化小学服务绩效对于完善公共服务体系、推进基本教育资源均等化配置具有重要意义。

服务绩效的概念源于经济管理学领域中衡量社会经济活动成效及资源配置效率的“绩效”^[1]。公共服务绩效则是用于衡量公共部门所提供服务的结果和成效的概念,以对公共服务目标实现程度及效率进行衡量与反馈^[2]。城乡规划领域对于小学服务绩效评价的相关研究主要基于学校空间布局的视角展开,即小学的空间服务绩效,通过GIS空间分析技术对小学布局的均衡性^[3-5]、公平性^[6-7]、可达性^[8-10]等进行评价,并针对其在空间布局上存在的问题提出相应的优化建议。以往关于小学空间服务绩效的研究由于数据和方法上的局限,在数据精度、研究深度等方面存在一定欠缺:如对于上学距离的测算多采用服务半径,未能反映学生具体步行的距离;另外,相关研究多以社区或小区为基本单元,忽略了小区内部的空间差异性。

随着信息与通信技术的发展,大数据应用逐渐普及化,为城乡规划量化研究提供了新的数据来源,且具有数据样本全面、数据精度高等方面的明显优势^[11-13],推动了城乡规划量化研究向空间高精度、时间动态连续、以人为本、开源众包^①等方向转变^[14-15],能显著提高城乡规划量化研究的数据精度与研究深度。在此背景下,综合应用多源数据分析,以推动数据增强设计在实际规划设计中的应用,开拓规划与设计的新视角、新方法。多源数据综合应用将成为提高规划设计科学性及促进智慧规划的重要途径^[16-17]。

本文尝试基于多源数据综合应用构建一个推广性强、科学合理的小学空间服务绩效评价方法,并以湖北省武汉市东西湖区为具体案例进行评价及策略优化分析。首先,通过文献梳理及社会调查确定小学服务绩效的评价指

标体系;其次,综合应用多源数据,从小学服务的每个个体的出行感受出发,以学区为单位对小学空间服务绩效进行精细化的评价分析;最后,根据评价结果挖掘当前东西湖区小学在空间服务绩效上存在的问题,并针对不同问题提出相应的优化策略,以期小学布局、学区设置及道路和用地规划等提供科学依据。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域概况

东西湖区位于武汉市西北部,地处长江左岸,汉江、汉北河及府环河汇合处。全境东西长38 km,南北宽22.5 km,总面积495 km²,区内包括城区部分及郊区部分,是武汉市流动人口和城市建设用地增长快速的区域,也是当前武汉市城乡规划的重点区域,如图1所示。

本文以东西湖区内的的小学学区为研究单元,东西湖区现有小学43所,其中完全小学39所,九年一贯制学校4所(见图1)。随着东西湖区的快速发展,居民对于小学服务的需求日益增长,小学规划建设现状与社会需求发展存在一定脱节,在空间分布上存在空间失衡、布点不合理等问题,对其小学的空间服务绩效进行评价优化具有迫切性和典型性。

1.2 研究数据来源

本文研究数据主要包括基础数据、手机信令数据和高德地图路径规划数据(见表1)。基础数据来源于武汉市自然资源和规划局的武汉市规划管理“一张图”,包括社区人口数据、小学数据、居住建筑数据、交通路网数据。其中社

区人口数据包括每个社区的人口统计数据;小学数据包括小学的空间点位、对应学区范围、占地面积和相应的在校生人数等数据;居住建筑数据包括建筑基底面积及建筑层数;交通路网数据包括道路线的矢量数据和道路等级属性数据。手机信令数据由中国联通智慧足迹数据科技有限公司的授权数据平台提供,通过脱敏匿名用户的长期昼夜时空行为观察识别出用户的居住地点,数据精度为与联通信号基站分布相关联的250 m×250 m网格。高德地图路径规划数据通过API(Application Programming Interface,应用程序接口)从高德地图中获取学生的步行上学路径,抓取时间为2019年3月。经核对,该路径与现实步行出行路径高度吻合,充分拟合了小区出入口限制、人行道、过街天桥/隧道、小学校门开口等现实情况。

2 研究思路

2.1 评价指标体系

2.1.1 评价原则

随着社会经济发展和人民生活水平的提

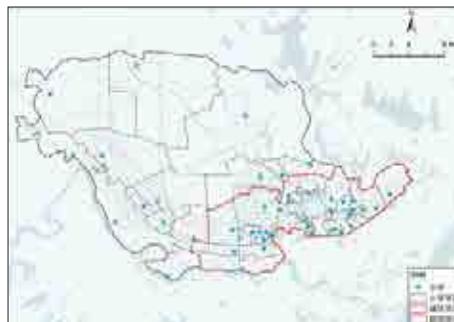


图1 东西湖区范围及其内部的小学空间分布
Fig.1 Dongxihu District scope and spatial distribution of elementary schools within it

资料来源:笔者自绘。

表1 研究数据来源
Tab.1 Sources of study data

数据类型	数据内容	数据年份	数据来源
基础数据	社区人口数据	社区范围、社区常住人口	2019
	小学数据	学校点位、学区范围、占地面积、在校生人数	2019
	居住建筑数据	建筑基底面积、建筑层数	2018
	交通路网数据	道路矢量数据、道路等级	2018
	手机信令数据	250 m×250 m 网格内居住人数	2018
高德地图路径规划数据	学生的步行上学路径	2019	智慧足迹数据平台 高德地图

资料来源:笔者自制。

注释: ①众包(crowd-sourcing)是互联网带来的新的生产组织形式,即利用互联网将原先单一机构内的工作任务以自由自愿的形式分配给机构外的志愿人员(通常为个人)完成,这一组织方式可以充分利用志愿者的创意和技能,以更低的成本、更高的效率完成任务。

高,步行作为一种健康、低碳的出行方式越来越受重视^[18]。步行友好的建成环境能提高居民步行出行的频率,有效促进居民的心理健康,提高居民的生活质量^[19-20];同时也能减少机动车出行,有利于城市低碳交通的发展,促进碳中和的实现^[21-22]。通学环境作为儿童最常接触的环境,其步行友好性对于儿童的健康成长具有重要作用^[23]。相关研究表明步行友好的通学环境能增加小学生的户外活动和社交,进而激发小学生的创造力和想象力^[24]。因而,本文将步行友好作为小学服务绩效的评价原则,并根据社会调查确定具体的评价指标,首先针对小学生和家长的半结构访谈确定影响小学生步行上学的主要指标,其次通过问卷调查数据确定相关指标的评价标准。

2.1.2 评价指标

笔者于2019年3月随机选取了10位东西湖区小学生和家长开展半结构化访谈,以了解影响小学生步行上学的主要指标。整理访谈结果发现步行上学可达性与步行上学安全性是当前小学生和家长关于步行上学较为关注的两个方面。在步行上学可达性方面,由于小学生的体力有限,其可承受的步行上学距离较为有限,因而步行上学距离是影响其步行上学最重要的指标;在步行上学安全性方面,由于小学生的身心发育尚未健全、安全意识不够,步行上学的交通安全也成为学生与家长普遍担心的问题。当前,机动交通快速发展且城市道路普遍存在“大马路”现象,小学生穿越城市干道存在一定的危险系数,因而上学途中穿越城市干道的次数是影响小学生上学交通安全的主要因素。同时,家长也表示人行天桥或者隧道等立体过街设施能有效提高小学生的交通安全性,而人行横道等平面过街设施对于安全意识不够的小学生仍存在一定的危险性,因此本文所指的穿越城市干道均为平面穿越,不包括立体穿越。基于以上访谈结果,本文选取步行上学可达性与步行上学安全性作为东西湖区小学空间服务绩效的评价指标。

2.1.3 评价标准

在确定步行上学可达性与步行上学安全

性两个评价指标的基础上,笔者针对东西湖区小学生和家长发放问卷调查,调查内容主要为小学生能接受的具体步行上学距离与穿越干道次数,用于确定可达性与安全性的评价指标。笔者于2019年3月—4月通过线上与线下结合的方式共发放调查问卷852份,收回有效问卷844份。

小学生能接受的步行上学距离统计如图2所示。能接受的步行上学距离在0—500 m的小学生比例为12.91%,在500—1 000 m的比例为57.70%,在1 000 m以上的比例为29.38%。其中,能接受的步行上学距离在1 000 m以内的总占比为70.62%,且1 000 m的上学距离与国家相关规范及15分钟生活圈的要求相契合,因此本文选取1 000 m步行距离作为小学合理服务半径。

小学生能接受的步行上学穿越干道次数统计如图3所示。不能接受穿越任何干道的小学生比例为23.70%,能接受穿越干道1次的小学生比例为32.58%,而能接受穿越干道次数在2次、3次、4次及以上的比例分别为32.70%、7.46%、3.55%。其中能接受的穿越干道次数在1次及以下的总占比为56.28%,有43.72%的小学生能接受穿越干道2次或以上,整体接受度偏高,与小学生上学不穿越城市干道的规划理念相差较远。考虑到小学生对穿越干道次数的接受程度会受到现状环境的影响,本文选取步行上学平面穿越干道1次及以下作为小学生步行上学的安全标准。

2.2 评价方法

2.2.1 人口分布数据校核

人口数据校核是指将不同来源的人口空间分布数据进行互相校核以得到精细且准确的人口空间分布数据,是后进行小学服务绩效评价的基础。本文人口分布相关数据包括社区人口统计数据、联通手机信令数据和居住建筑数据,其中社区人口统计数据来源可靠准确,但空间精度较低,不能反映人口在社区内部的微观空间分布;手机信令数据较社区人口统计数据来说空间精度更高,但由于联通用户只占部分市场份额,不能准确反映全样本的人口情况;居

住建筑数据可以通过人均建筑面积的换算大致估算居住人口,但由于人均居住面积在不同的社区有所差异,因此也有一定的误差。本文综合社区人口统计数据、手机信令数据和居住建筑数据,通过相互校核得到准确且精细的人口空间分布数据。具体校核步骤如下:

(1) 以社区为空间单元对联通用户数进行汇总,再以每个社区单元的统计人数与联通用户数之比作为每个社区内的联通扩样系数。

(2) 将每个250 m网格的联通用户数乘上其所在社区的联通扩样系数,得到每个250 m网格的真实常住人口数。

(3) 汇总每个250 m网格内的居住建筑总面积,将每个网格内的常住人口数按照每栋居住建筑的居住面积占其所在250 m网格居住建筑总面积的比例分配到每栋居住建筑上,得到建筑尺度下的精细人口分布数据。由于小学生的手机普及率不高,通过手机信令数据识别出的小学生数量与实际数量有较大差异,因此本文使用全口径的人口分布数据进行分析。

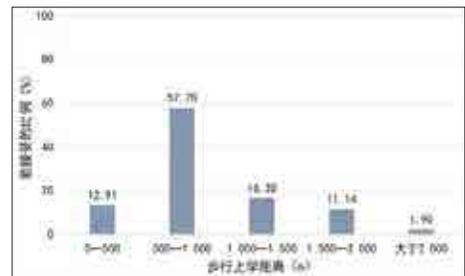


图2 小学生能接受的步行上学距离分布图

Fig.2 Distribution of acceptable walking distance to school for elementary school students

资料来源:笔者自绘。

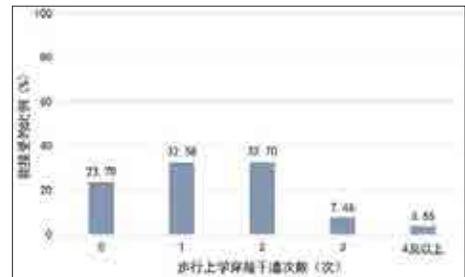


图3 小学生能接受的步行上学平面穿越干道次数分布图

Fig.3 Distribution of acceptable number of times to walk across arterial roads from the ground for elementary school students

资料来源:笔者自绘。

2.2.2 步行上学可达性评价

衡量学生步行上学可达性的指标是步行上学距离,本文通过高德地图路径规划API获取学生的步行上学距离。路径规划API是网络电子地图服务商提供的HTTP编程数据接口,用户可以通过此接口获取指定始终点和出行方式的实时出行路径信息,返回数据包括出行路径轨迹、出行距离、出行时间等。通过路径规划API获取出行成本数据相对于传统的通过GIS平台构建拓扑路网进行网络分析而言,具有精确性、实时性和使用方便等优势^[25-26]。

具体计算过程中以研究区域内每栋居住建筑为出发点,以对应学区内学校为到达点,通过高德开放平台的路径规划API获取学生步行上学路径数据并在GIS平台进行矢量化,最终得到每栋居住建筑中的居民到对应学校的步行上学路径轨迹和步行距离,并以此为基础测度各学校的步行1 000 m覆盖率作为小学步行上学可达性的评价指标,具体计算方法如公式(1)所示。

$$\text{步行1 000 m覆盖率} = \frac{\text{步行1 000 m距离内的人数}}{\text{学区内的总人数}} \quad (1)$$

2.2.3 步行上学安全性评价

衡量学生步行上学安全性的主要指标是步行上学穿越干道次数,即学生从家步行到达学校的过程中需要穿越干道的次数(由于本文研究区域包含城区与郊区,此处的干道包括城区的城市干道与郊区的公路),是学生步行上学安全性的主要指标。对于上学穿越干道次数的计算,主要通过ArcGIS平台的空间连接工具计算各栋居住建筑中居民步行上学的矢量路径与干道平面相交的次数得到,并通过街景地图与实地踏勘进行检查校核。调研表明能接受超过2 000 m的步行上学距离的学生家长比例仅有1.90%,在步行2 000 m范围外的学生大部分会采用公交车、家长接送等方式上学,因此本文仅考虑2 000 m内的步行上学安全性。通过计算各学校步行距离2 000 m内的学生步行上学平面穿越干道1次及以下的覆盖率作为小学步行上学安全性的评价指标,具体计

算方法如公式(2)所示。

$$\text{穿越干道1次及以下覆盖率} = \frac{\text{步行2 000 m内平面穿越干道1次及以下的人数}}{\text{学区步行距离2 000 m内的总人数}} \quad (2)$$

3 评价结果及优化策略

3.1 评价结果

3.1.1 步行上学可达性

各栋居住建筑到所在学区小学的步行距离如图4所示。从总体上来看,东西湖区有大量居住建筑位于小学1 000 m步行覆盖范围外,小学1 000 m步行覆盖率较低。从空间分布上来看,研究区域内城区与郊区的空间差异较大:东南部城区小学分布密度较高,其1 000 m步行覆盖率也相对较高;而西北部郊区小学分布密度则明显低于城区,其1 000 m步行覆盖率也明显低于城区。

对不同步行上学距离所覆盖居住建筑及人口的比例进行统计汇总,结果如图5所示。从图中可看出,不同步行上学距离的居住建筑覆盖率与人口覆盖率有较大差距:2 000 m以内的人口覆盖率均高于居住建筑覆盖率,2 000 m以上的人口覆盖率则远低于居住建筑覆盖率;其中1 000 m步行距离内的居住建筑覆盖率为28.35%,明显低于相应的人口覆盖率(53.83%)。根据实地调研情况显示,居住建筑覆盖率与人口覆盖率不同步的原因在于东西湖区位于武汉主城区边缘,仍处于快速发展阶段,研究区域内既有城区也有郊区,不同区域的开发强度差异较大:其居住建筑类型及高度也不同,学校一般位于中心片区,其附近的居住建筑以中高层为主,每栋居住建筑的居住人数较多;而远离学校片区开发强度较低,居住建筑以低层为主,步行距离2 000 m以上的居住建筑主要为郊区自建平房,总体上每栋居住建筑的平均居住人数明显低于学校附近的居住建筑。

对各小学1 000 m步行范围内覆盖的人口进行汇总统计,结果如图6所示。东南部城区小学步行1 000 m覆盖率明显高于西北部郊区小学,进一步印证了上文所呈现的城郊空间异质性。其中覆盖率在80%—100%区间的学校有12所,此类学校大部分位于东南部城区,且学区

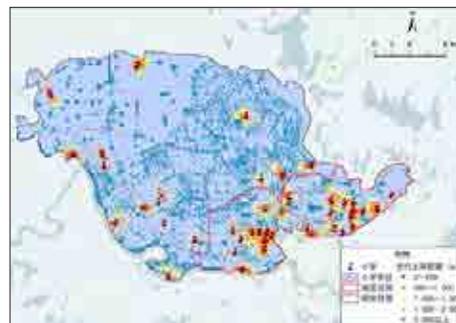


图4 各栋居住建筑到对应小学的步行距离
Fig.4 Walking distance from each residential building to the corresponding elementary school

资料来源:笔者自绘。

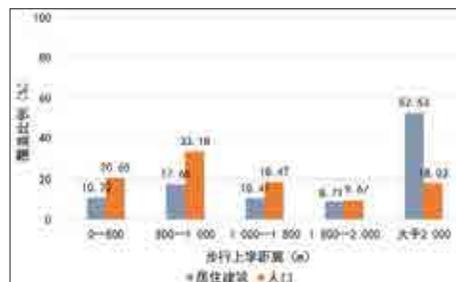


图5 不同步行上学距离所覆盖的居住建筑及人口比例
Fig.5 Proportion of residential buildings and population covered by different walking distances to school

资料来源:笔者自绘。

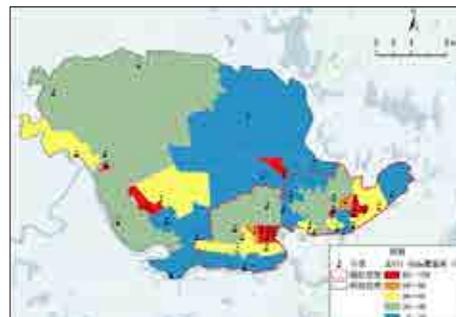


图6 各小学的步行1 000 m覆盖率
Fig.6 Walking 1 000 m coverage of each elementary school

资料来源:笔者自绘。

面积较小;而覆盖率低的学校多位于郊区且学区面积过大。覆盖率低于20%的学区有12所。此类学区普遍存在学区面积过大、学校位于学区边缘等问题。

3.1.2 步行上学安全性

各栋居住建筑到所在学区小学步行穿越干道次数如图7所示。从总体上来看,存在大量居住建筑到对应学校的步行路径需要穿越干道1次以上,步行上学穿越干道1次及以下的覆盖率较低。从空间分布上来看,城区学校

的学生上学穿越干道次数少于郊区学校。郊区学校的学区面积普遍较大,学生上学距离总体上较远,上学途中穿越干道的概率也较大。而城区虽然大部分学校的学区面积较小,学生上学距离较短,但由于城区干道密度较高,也有部分学校的学生需要穿越多次干道上学。

对步行2 000 m距离内上学穿越不同干道次数所覆盖居住建筑及人口的比例进行统计,结果如图8所示。上学途中不需要穿越干道所覆盖的居住建筑与人口分别为38.49%与32.05%,需穿越1次干道所覆盖的居住建筑与人口分别为30.54%与31.86%,需穿越2次干道及以上所覆盖的居住建筑与人口分别为

30.97%与36.09%。总体上来看,步行上学安全性一般,在步行2 000 m距离内仍有较大比例的学生上学需穿越干道2次及以上。

对各小学步行2 000 m距离内上学只需穿越干道1次及以下的人口比例进行汇总统计,结果如图9所示。研究区域内43个学区中共有20个学区的覆盖率在80%以上,有10个学区覆盖率低于40%,其余学区的覆盖率在40%—80%之间不等。在空间分布方面:城区学校的两极分化现象较为明显,部分学校上学穿越干道1次及以下覆盖率较高,同时部分学校上学穿越干道1次及以下覆盖率较低;而郊区由于路网密度相对城区较低,其上学穿越干道1次及以下覆盖率大多处于较高水平。

3.2 优化策略探讨

3.2.1 整体性问题与优化策略

在分别评价步行上学可达性与安全性的基础上,综合考量各小学的可达性与安全性两个指标,深入挖掘其空间服务绩效存在的问题,作为优化空间布局的依据。以步行1 000 m覆盖率和步行上学穿越干道1次及以下覆盖率两个指标为特征变量,在SPSS平台对研究区域内各小学进行K-means聚类,根据特征变量的相似性将研究区域内的小学进行聚类,聚类结果如图10所示。共得到5个特征相似的聚类,各聚类成员小学的空间分布如图11所示。

聚类1成员小学的可达性与安全性水平均较高,综合服务绩效表现较好。此类小学共有9

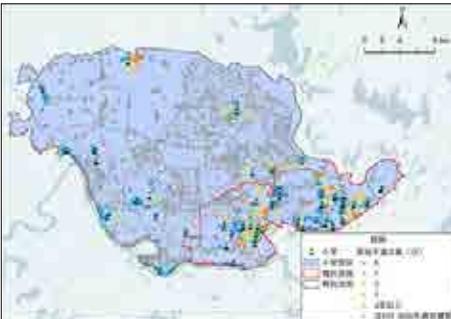


图7 各栋居住建筑到对应小学步行穿越干道次数
Fig.7 The number of times crossing arterial roads from each residential building to the corresponding elementary school on foot

资料来源:笔者自绘。

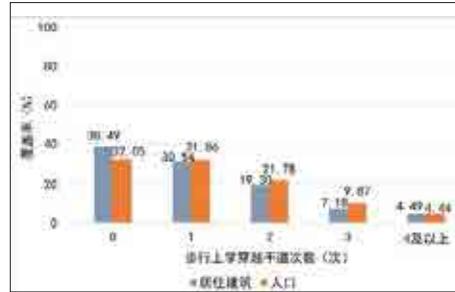


图8 上学穿越不同干道次数所覆盖的居住建筑及人口比例
Fig.8 Proportion of residential buildings and population in terms of the number of times crossing arterial roads to go to school

资料来源:笔者自绘。



图9 各小学上学穿越干道1次及以下覆盖率
Fig.9 Coverage of elementary schools in terms of crossing arterial roads once and below to go to school

资料来源:笔者自绘。

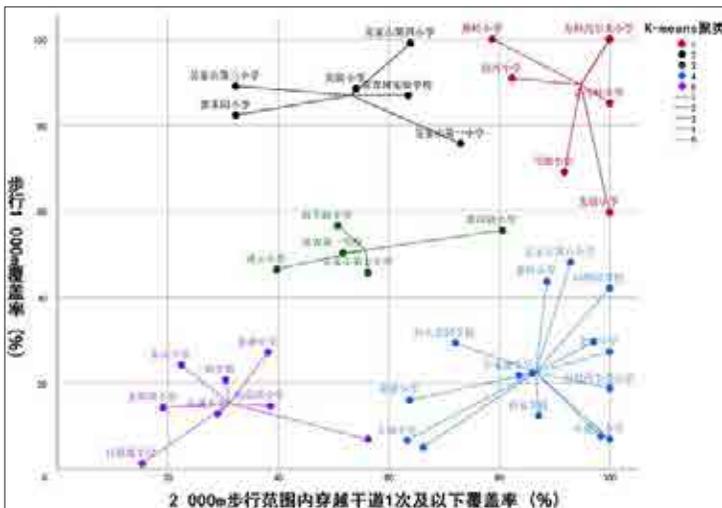


图10 各小学服务绩效聚类散点图
Fig.10 Scatterplot of service performance clustering by elementary schools

资料来源:笔者自绘。

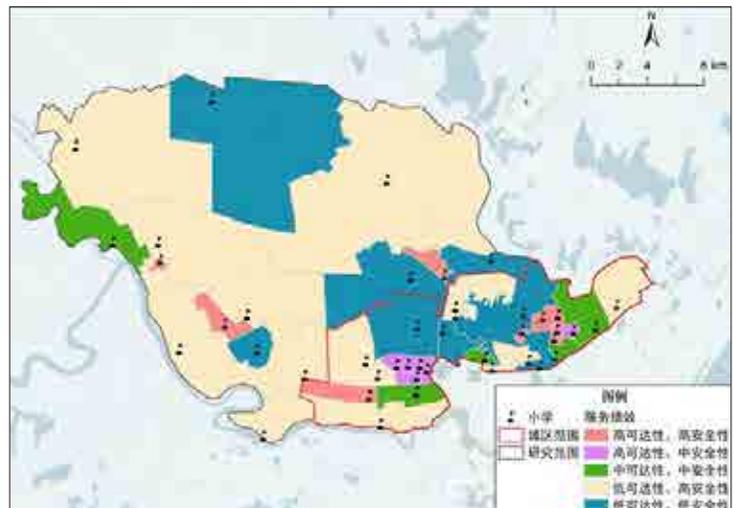


图11 各聚类成员小学的空间分布情况
Fig.11 Spatial distribution of elementary schools by clusters

资料来源:笔者自绘。

所,其学区面积普遍较小、学校位于学区中心或者主要居住片区附近,多数学生可以短距离上学,其所需穿越的干道也少。

聚类2成员小学的可达性水平较高,而安全性处于中等水平。此类小学共有5所,全部位于城区且多位于城区核心区,学区面积较小,学生上学距离较短;但由于学区内干道稍密,导致学生上学途中需穿越干道的次数略多。

聚类3成员小学的可达性与安全性均处于中等水平,综合服务绩效一般。此类小学共有5所,其学区面积适中,但是学区内路网稍密,也存在穿越干道次数略多的问题。针对此类中等安全性学校,由于学区内基本已经开发建设,调整道路网的难度过高,可以考虑适当增加过街指示牌、人行天桥等过街设施,以提高学生上学的安全性。

聚类4成员小学的可达性水平较低,但安全性水平较高。此类小学共有15所,其特征是学区空间跨度过大或者学校位于学区的边缘地区,导致学生需要远距离上学;同时学区位于郊区或者城区开发强度较低的区域,内部的干道密度较低,因而学生上学需穿越的干道也不多。针对此类小学,可以考虑调整学校布点,将学校调整到学区中心位置或者学区内主要居住片区附近,以提高小学的步行上学覆盖率;另外也可以与周边学校联合优化,将学区内远离学校的居住片区调整到距离较近且用地较为充足的周边学校,从整体上提高该片区学校的综合服务绩效。

聚类5成员小学的可达性与安全性水平均

较低,综合服务绩效较低。此类小学共有8所,普遍存在学区面积过大、学校位于学区边缘地区、道路网络不合理等问题,是本文重点优化调整的对象。针对此类学校,可以从适当增加学校、调整学区或者学校布点、优化步行网络系统等方面进行优化。

3.2.2 典型学校优化方案

在整体性问题分析及相应优化策略的基础上,在低可达性—低安全性、低可达性—高安全性、高可达性—中安全性3类学校里分别选取一个典型学校进行优化方案分析(见表2)。

低可达性—低安全性的典型学校是三店

学校(见图12),其学区面积较大,学校位于学区内偏东的位置,学区内西部片区学生步行上学的可达性与安全性均较差,导致学区的整体空间服务绩效偏低。

根据实地调研及相关规划分析:三店学校学区位于城郊边界,其东部区域基本已建设开发完成,而西部区域开发强度不高,仍存在大片的乡村及农田,但在下一轮的相关规划中,西部区域会继续开发建设,且会新增大量居住用地(见图13)。另外,三店学校作为一所九年一贯制学校,其服务范围过大,因而办学规模也较大(见表3)。综上分析,可考虑在学区西部

表2 各类小学的问题及优化策略

Tab.2 Problems and optimization strategies for various types of elementary schools

聚类	服务绩效	特征与问题	优化策略
1	高可达性 高安全性	学区面积小、学校位于学区中心或者主要居住片区附近	—
2	高可达性 中安全性	学区面积较小、学区位于城区、干道密度较高	增加立体过街设施
3	中可达性 中安全性	学区面积适中,学区内路网密度较高	增加立体过街设施
4	低可达性 高安全性	学区位于郊区或者大型居住片区内、学校位于学区边缘	调整学校布点、调整学区、增加学校
5	低可达性 低安全性	学区面积过大、学校位于学区边缘地区、道路网络不合理	增加学校、调整学校布点、优化路网

资料来源:笔者自制。

表3 三店学校办学规模情况

Tab.3 The scale of Sandian School

小学生数/人	初中生数/人	小学班数/个	初中班数/个	占地面积/m ²	生均用地/(m ² /人)
1 790	543	33	12	90 571	38.82

资料来源:笔者自制。



a 步行上学距离

图12 三店学校学区内学生步行上学情况

Fig.12 Analysis of students walking to school in Sandian School District



b 步行上学穿越干道次数

资料来源:笔者自绘。

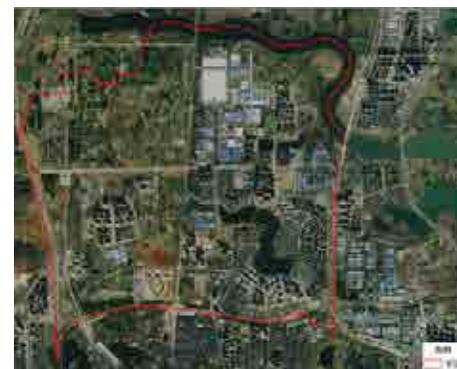


图13 三店学校学区内卫星图

Fig.13 Satellite map of Sandian School District

资料来源:天地图。

新增一所小学,既可以解决西部区域学生上学可达性及安全性较低的问题,也可以减轻当前三店学校过大的办学负担,同时还可以为该片区未来开发建设后新增的居民预留一定的学位资源,提高规划的弹性。

低可达性—高安全性的典型学校是东方红小学,其学区呈西北—东南走向的狭长条状,空间跨度较大,同时学校位于学区内偏西的区域,学区内西北部、东南部及东部3片区域内的学生上学距离较远(见图14a);而由于其位于郊区,干道密度较低,学生上学途中需穿越的干道较少(见图14b)。

东方红小学周边小学生均用地及其学区空间分布情况分别如表4和图15所示,其中燕岭小学、打靶堤小学分别位于东方红小学学区西北、东南两侧,能较好地覆盖该区域内需要远距离到东方红小学上学的学生。同时其生均用地分别为365.49 m²/人、657.54 m²/人,学校用地较为充足,因此可考虑将东方红小学学区西北侧片区划归燕岭小学,东南片区划归打靶堤小学,从而使周边学校的的服务资源得以充分利用,总体上提高该片区内学校的的服务绩效。

高可达性—中安全性的典型学校是嘉禾园小学,其学区面积较小,学生上学距离普遍较短,大部分学生上学距离都在1 000 m以内,只有南部少数区域的上学距离在1 000—1 500 m,整体步行上学可达性较好(见图16a)。同时,学区位于东西湖区城区的核心区,干道密度较高,学生上学途中需穿越的干道次数较多,学生步行上学安全性总体上偏低(见图16b)。

考虑到学区位于城区核心区,开发建设已经较为完善,难以进行大幅度的调整,针对其步行上学安全性偏低的问题,可以考虑在适当的位置增加步行过街设施,提高学生上学的步行友好度及安全性。通过对学区内居住建筑、干道空间分布情况及其空间关系的分析发现,学区南部区域有东吴大道、田园街、一清路等多条干道。该区域学生步行上学安全性较低,其中大部分学生上学途中需要穿越东吴大道,因此可考虑在东吴大道增加人行天桥等立体过街设施

(见图17),提高学生步行上学的安全性。增加立体过街设施后,学生上学需平面穿越干道的次数明显减低,整体安全性得到较大的提升。

4 总结

本文是数据增强设计的一次有益探索,同时也证实了小学空间服务绩效评价方法的效用。

表4 东方红小学周边学校生均用地

Tab.4 Per capita land for schools around Dongfanghong Primary School

学校	在校学生数 / 人	占地面积 / m ²	生均用地 / (m ² / 人)
打靶堤小学	72	47 343	657.54
燕岭小学	107	39 107	365.49
东方红小学	530	26 057	49.16
幸福小学	489	18 821	38.49
走马岭小学	748	24 093	32.21
石榴红小学	129	17 644	136.78
荷包湖小学	284	23 506	82.77
新沟镇小学	361	36 511	101.14

资料来源:笔者自制。



a 步行上学距离

b 步行上学穿越干道次数

图14 东方红小学学区内学生步行上学情况

Fig.14 Analysis of students walking to school in Dongfanghong Primary School District

资料来源:笔者自绘。



图15 东方红小学优化策略示意图

Fig.15 Diagram of optimization strategy of Dongfanghong Primary School

资料来源:笔者自绘。



a 步行上学距离

b 步行上学穿越干道次数

图16 嘉禾园小学学区内学生步行上学情况

Fig.16 Analysis of students walking to school in Jiaheyuan Elementary School District

资料来源:笔者自绘。



图17 嘉禾园小学优化示意图

Fig.17 Optimization diagram of Jiaheyuan Elementary School

资料来源:笔者自绘。

但也存在一些不足之处,尽管研究中通过社区人口统计数据、手机信令数据和居住建筑数据相互校核得到了较准确且精细的人口空间分布数据,但由于不同区域人口的年龄结构及社会结构均有所差异,导致人口空间分布与实际的小学生空间分布有一定的差异。后续研究中可结合更精细的人口普查、各学校的生源等数据对人口空间分布进行修正,得到更接近小学生真实空间分布的数据,进一步提高小学空间服务绩效评价分析的准确性。■

参考文献 References

- [1] 姚栋,黄明卓. 基于ICT技术的社区养老设施空间绩效研究[J]. 建筑学报, 2017 (2): 44-47.
YAO Dong, HUANG Mingzhuo. A spatial performance study of community-based facilities for the elderly based on ICT data[J]. Architectural Journal, 2017(2): 44-47.
- [2] 诸大建,王欢明. 公共服务绩效评价的价值取向、评价方法和评价指标[J]. 上海市经济管理干部学院学报, 2013, 11 (2): 1-10.
ZHU Dajian, WANG Huanming. The value orientation, evaluation method and evaluation index of performance evaluation of public services[J]. Journal of Shanghai Economic Management College,

- 2013, 11(2): 1-10.
- [3] 刘天宝,郑莉文,杜鹏. 市域义务教育资源均衡水平的空间特征与分布模式——以大连市小学为例[J]. 经济地理, 2018, 38 (7): 67-74.
LIU Tianbao, ZHENG Liwen, DU Peng. Spatial characteristics and distribution pattern of the equilibrium level of municipal compulsory education resources: take Dalian Primary School as an example[J]. Economic Geography, 2018, 38(7): 67-74.
- [4] 刘凯,刘荣增. 城镇化背景下中部农区县域中小学空间集中趋势与非均衡发展研究——以河南省泌阳县为例[J]. 地理研究, 2017, 36 (9): 1680-1696.
LIU Kai, LIU Rongzeng. Spatial concentration tendency and unbalanced development of elementary and middle schools under the background of urbanization in central rural area: a case study of Biyang County in Henan Province[J]. Geographical Research, 2017, 36(9): 1680-1696.
- [5] 郑童,吕斌,张纯. 北京流动儿童义务教育设施的空间不均衡研究——以丰台区为例[J]. 城市发展研究, 2011, 18 (10): 115-123.
ZHENG Tong, LYU Bin, ZHANG Chun. Research on the inequity of compulsory education infrastructure for migrant children in Beijing: a case study of Fengtai District[J]. Urban Studies, 2011, 18(10): 115-123.
- [6] 尹上岗,胡信,马志飞,等. 基于教育公平视角的城市学区房价价格时空效应——以南京主城区公办小学为例[J]. 经济地理, 2019, 39 (9): 82-93.
YIN Shangang, HU Xin, MA Zhifei, et al. Spatial and temporal effects of housing price in urban school districts based on education equity: a case study of public primary school in the main urban area of Nanjing[J]. Economic Geography, 2019, 39(9): 82-93.
- [7] 蔡辉,王少博,余侃华. 公平与效益视角下乡村地区基础教育设施配置初探——以陕西省泾阳县为例[J]. 现代城市研究, 2016 (3): 83-91.
CAI Hui, WANG Shaobo, YU Kanhua. Preliminary study of basic education facility configuration in rural area under the perspective of fairness and beneficial result: a case study of Jingyang, Shaanxi[J]. Modern Urban Research, 2016(3): 83-91.
- [8] 王侠,陈晓键,焦健. 基于家庭出行的城市小学可达性分析研究——以西安市为例[J]. 城市规划, 2015, 39 (12): 64-72.
WANG Xia, CHEN Xiaojian, JIAO Jian. Accessibility of urban primary schools based on family travel behavior: a case study of Xi'an[J]. City Planning Review, 2015, 39(12): 64-72.
- [9] 韩增林,董梦如,刘天宝,等. 社区生活圈基础教育设施空间可达性评价与布局优化研究——以大连市沙河口区为例[J]. 地理科学, 2020, 40 (11): 1774-1783.
HAN Zenglin, DONG Mengru, LIU Tianbao, et al. Spatial accessibility evaluation and layout

- optimization of basic education facilities in community life circle: a case study of Shahekou in Dalian[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(11): 1774-1783.
- [10] 宋伟轩,涂唐奇,尹上岗,等.南京义务教育资源的社会——空间可达性差异及效应研究[J].*地理研究*, 2019, 38(8):2008-2026.
SONG Weixuan, TU Tangqi, YIN Shanggang, et al. The differentiation and effects of social-spatial accessibility in compulsory education resources in Nanjing[J]. *Geographical Research*, 2019, 38(8): 2008-2026.
- [11] 秦萧,甄峰,熊丽芳,等.大数据时代城市时空行为研究方法[J].*地理科学进展*, 2013, 32(9): 1352-1361.
QIN Xiao, ZHEN Feng, XIONG Lifang, et al. Methods in urban temporal and spatial behavior research in the big data era[J]. *Progress in Geography*, 2013, 32(9): 1352-1361.
- [12] 李苗裔,王鹏.数据驱动的城市规划新技术:从GIS到大数据[J].*国际城市规划*, 2014, 29(6): 58-65.
LI Miaoyi, WANG Peng. New technology in data-driven urban planning: from GIS to big data[J]. *Urban Planning International*, 2014, 29(6): 58-65.
- [13] 牛强.城市规划大数据的空间化及利用之道[J].*上海城市规划*, 2014(5):35-38.
NIU Qiang. The spatialization of urban planning big data and its using methods[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2014(5):35-38.
- [14] 龙瀛,刘伦.新数据环境下定量城市研究的四个变革[J].*国际城市规划*, 2017, 32(1):64-73.
LONG Ying, LIU Lun. Four transformations of Chinese quantitative urban research in the new data environment[J]. *Urban Planning International*, 2017, 32(1): 64-73.
- [15] 魏伟,陶煜,杨欢.大城市中心区小学布局满意度提升规划策略[J].*规划师*, 2020, 36(16):13-18.
WEI Wei, TAO Yu, YANG Huan. Satisfaction improvement on layout of primary schools in central area of big city[J]. *Planners*, 2020, 36(16): 13-18.
- [16] 龙瀛,沈尧.数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J].*上海城市规划*, 2015(2):81-87.
LONG Ying, SHEN Yao. Data Augmented Design: urban planning and design in the new data environment[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2015(2): 81-87.
- [17] 龙瀛,张恩嘉.数据增强设计框架下的智慧规划研究展望[J].*城市规划*, 2019, 43(8):34-40, 52.
LONG Ying, ZHANG Enjia. Smart urban planning under the framework of Data Augmented Design[J]. *City Planning Review*, 2019, 43(8): 34-40, 52.
- [18] 赵梦妮,甄峰,姜玉培.城市社区步行环境综合评价及优化策略研究——以南京主城区为例[J].*现代城市研究*, 2021(2):41-48.
ZHAO Mengni, ZHEN Feng, JIANG Yupei. Study on comprehensive evaluation and optimization strategy of urban community pedestrian environment: a case study of main urban area of Nanjing[J]. *Modern Urban Research*, 2021(2): 41-48.
- [19] HIRSCH J A, DIEZ R A V, MOORE K A, et al. Change in walking and body mass index following residential relocation: the multi-ethnic study of atherosclerosis[J]. *American Journal of Public Health*, 2014, 104(3): e49-e56.
- [20] FRANK D L, ENGELKE O P. The built environment and human activity patterns: exploring the impacts of urban form on public health[J]. *Journal of Planning Literature*, 2001, 16(2): 202-218.
- [21] 关成贺,迈克尔·凯斯,安迪·洪,等.大数据时代步行城市和社区的设计[J].*国际城市规划*, 2019, 34(5):9-15.
GUAN Chenghe, KEITH M, HONG A, et al. Designing walkable cities and neighborhoods in the era of urban big data[J]. *Urban Planning International*, 2019, 34(5): 9-15.
- [22] 刘珺,王德,王昊阳,等.国外城市步行环境评价方法及研究动态[J].*现代城市研究*, 2015(11): 27-33.
LIU Jun, WANG De, WANG Haoyang, et al. Assessment tools for foreign urban walking environment[J]. *Modern Urban Research*, 2015(11): 27-33.
- [23] 王婷.易诱发儿童交往行为发生的老城街巷空间研究[D].武汉:华中科技大学,2006.
WANG Ting. Research on the district space in ancient cities causing children communication behaviors[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [24] 武凤文,陈明远.儿童健康安全视角下的步行通学道评测与优化策略[J].*城市发展研究*, 2020, 27(7):20-27.
WU Fengwen, CHEN Mingyuan. The evaluation and improvement strategy of the way to elementary school from the perspective of children[J]. *Urban Development Studies*, 2020, 27(7): 20-27.
- [25] NIU Q, WANG Y, XIA Y, et al. Detailed assessment of the spatial distribution of urban parks according to day and travel mode based on web mapping API: a case study of main parks in Wuhan[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(8): 1725.
- [26] 牛强,张永雄,张伟铭,等.基于网络地图API开放地图访问和高斯两步移动搜索法的武汉市大型公园可达性评价[C]//智慧规划·生态人居·品质空间——2019年中国城市规划信息化年会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2019:322-328.
NIU Qiang, ZHANG Yongxiong, ZHANG Weiming, et al. Accessibility evaluation of large parks in Wuhan City based on web map API open map access and Gaussian Two-step Movement search method[C]//Intelligent planning - ecological habitat - quality space: proceedings of the 2019 China Annual Conference on Urban Planning Informatization. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019: 322-328.