

道路可连续直行适宜城市公共交通的假设及其在济南的验证*

宋小冬 张竹君 庞磊 齐文菲

提要 道路结构是城市道路系统的核心，路段相互衔接是道路结构的基本要素。直观观察可发现，路段相互衔接为连续直行时，该道路上的公共交通线路较多，反之较少，由此提出假设：道路连续直行适宜城市公交运营。除了凭经验论述这一假设的理由，还可针对路段，提出连续直行定量评价指标，该指标可综合考虑道路的中部、端部、全长。以山东省济南市中心城区为例，结合道路等级，将连续直行路段指标和该路段上运营的公交线路数做线性回归，其结果为很强的线性相关，验证了假设。再进一步针对济南特殊情况，对统计残差做定性解释。据此，多角度验证了连续直行较长相对适宜公交运营的假设。和以往方法相比，用连续直行长度评价道路适宜公交，微观、具体、易操作，不但可融入路网密度评价法，还可为在较低等级道路上布置、运营公交线路，提高公交的覆盖率和均衡率提供依据，在贯彻公交优先战略中，发挥出城市规划专业更加积极而主动的作用。

关键词 道路结构；城市公共交通；连续直行；道路规划

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.202106011
文章编号 1000-3363(2021)06-0086-06

作者简介

宋小冬，同济大学建筑与城市规划学院，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，教授，spt@tongji.edu.cn
张竹君，同济大学建筑与城市规划学院，硕士研究生
庞磊，同济大学建筑与城市规划学院，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，讲师
齐文菲，济南市规划设计研究院，高级工程师

Continuous Straight Roads Suitable for Urban Public Transport: Hypothesis and Verification in Jinan

SONG Xiaodong, ZHANG Zhujun, PANG Lei, QI Wenfei

Abstract: Road structure is the core of the urban road system, and the linkage between road sections is its basic element. Casual observations indicate that when road sections are connected to each other by continuous straight lines, there tend to be more bus lines on the road. If the road section is not continuously straight, there will be fewer buses. Therefore, a hypothesis is formed that straight roads are more suitable for bus operations. A quantitative indicator to road sections is put forward, which can define the middle, end, and total length of a road. This study takes the central area of Jinan, Shandong Province as an example, and uses linear regression to test the relationship between the continuous straight indicator of sections and number of bus lines on the streets for different road grades. A strong linear correlation between the two parameters is obtained. Based on the special situation of Jinan, statistical residual is qualitatively explained. The hypothesis that roads with continuous straight sections are more suitable for bus operation is verified from multiple perspectives. The method used in this study not only can be easily combined with road network density method, but also provides rationales for arranging and operating bus lines on lower-grade roads, improving coverage, equalization and quality of urban transit systems.

Keywords: road structure; public transport; continuous straight; road planning

发展公共交通、鼓励公交优先、依靠公交引导城市发展，是城市规划、建设、管理领域的长期方针。近年来，随着国家经济能力的提升，大容量轨道交通得到较高度重视（高岳，等，2017），但是，普通公共汽电车依然不可放弃，两者应发挥各自的优势，相互补充。城市道路结构是常规公共交通的物质基础（叶彭姚，等，2010），城市规划专业必须长期重视，承担起不可推卸的重要职责。

道路结构是道路系统的核心，一般将等级、密度、路段的相互衔接作为道路结构的三要素。

关于等级。一般大城市，公交线路往往集中在较高等级（较宽）的道路上，已是普遍现象。有少量研究基于居民问卷调查、统计，认为简单增加道路宽度，对私人小汽车更加有利，应该鼓励公交企业在较低等级的道路上布线、运营，提高居民的公交出行比例（石飞，2015）。

*上海同济城市规划设计研究院有限公司科研项目“适宜常规公交的城市道路结构规划方法”（项目编号：KY-2019-YB-B02）

关于密度。该方向有不少研究,多用理论推导,认为路网密度适当,才对公交有利(杨佩昆,2003;王召森,2004;蔡军,2008;叶茂、过秀成,等,2010;叶茂,等,2013)。这类研究所使用的计算方法有两个条件:一是计算密度之前,要排除较窄的道路;二是道路布局形式是标准方格网,间距基本一致,不考虑丁字交叉,更不考虑尽端。如果方格网布局发生变化,对公交布线会有什么影响,原有的密度指标如何跟着变化,还有待探索。

关于路段的相互衔接。有少量学者从拓扑关系来分析道路网络如何适宜公交(叶彭姚,等,2012;宋小冬,等,2020)。还有学者计算路段的相互连通性(又称连接度)(王伟,等,1998;周涛,等,2015;方彬,等,2019),虽然不针对公交,但可以认为,道路网络连通性较高,公交布线较灵活。分析拓扑关系、计算连通性均侧重网络的宏观、整体结构,网络中哪些局部对公交适宜、哪些局部对公交不利,依然要凭经验判断。

本研究在前人对等级、密度、相互衔接等研究的基础上,朝相对微观、便于操作的方向推进,对传统方法作扩展、补充。

1 可连续直行的道路有利公交布线

有学者观察到,支路较长可能对公共交通有利(蔡军,等,2017)。作者直观观察也发现,比较顺直的道路上,公交线路相对较多,反之相对较少。对此,本文将较长而且顺直的道路定义为连续直行,具体含义为,不同路段相互连接起来,车辆可以连续直行,等级(宽度)基本一致,如果有尽端,或者必须转弯,或者宽度明显变窄,该方向的连续直行就到此为止^①。按此规则,将相互连接的路段长度累加,就得到连续直行的全长。

为何连续直行较长适宜公交,根据经验,可以有三条理由:

(1)道路连续直行,公交线路较顺直,乘客绕行少、企业运能浪费少。公交面向大众,乘客的出发地、到达地互不相同,线路过于曲折,对不需要绕行的乘客不利,线路比较顺直,众人的平

均绕行量就少,虽然不可能契合每位乘客的路径,但是乘客选择某公交线路,可看成是相互妥协的结果,道路连续直行可满足公交线路顺直的要求。

(2)道路连续直行较长,企业布线有灵活性。现实中,市民出行方向是多元的,当公交需求量较大时,线路多,路径也多,线路就要转弯,错位竞争。有多少线路要转弯,在何处转弯,转向什么方向,转几次弯,道路设计者均难以精确估计。如果道路的连续直行距离较长,企业可以按需求决定在道路网络中的某处转弯,有一定灵活性,主动性;反过来,道路的连续直行距离较短,线路被迫转弯,产生不必要的曲折,或者线路的非直线系数不必要地增大,企业相对被动。

(3)连续直行较长,容易适应较长的线路。一般公交线路,两端容易出现运能富余(除非在末端有特殊需求),线路较短,富余的运能占比较多,浪费的运能也较多。从理论上说,长线浪费的运能比短线小。当然,线路过长也有弊端,如局部道路发生堵车,公交容易误点;沿途需求不均的话,配置的运能会浪费或不足。因此,线路的长度,应该是企业根据当时、当地的路况条件、市民需求、其他线路的走向和路径来决定,道路设计者也难以精确估计。如果道路连续长度较长,企业既可配长线,也可配短线,或者长、短线都配。如果道路连续长度较短,配长线就会增加绕行,浪费运能。

依据上述理由,本研究提出假设:连续直行较长的道路有利公交企业布线、运营。

2 针对路段的连续直行指标

道路是否适宜公交,可以用该道路上运营的公交线路数来判断,当市民对公交的需求没有明显变化,公交线路相对多的道路应该较适宜,相对少的道路不适宜。将连续直行长度赋值给内部路段,用路段上运营的公交线路数来验证适宜性,是比较简单而直接的方法。但在现实中,一条连续直行的道路内部,不同路段承载的公交线路数不均匀。一般来说,靠近中部,线路数相对多,靠



图1 路段计算方法示意

Fig. 1 Schematic diagram of calculation method to road section

资料来源:作者自绘。

近端部,线路数相对少。不考虑上述不均匀特点,会引起定量验证的偏差。因此,针对路段的评价指标,除了反映连续直行总长度,还应兼顾不同路段所处的不同位置。对此,提出如下计算公式:

$$L_0 = (L_1 * L_2) / (L_1 + L_2) \quad (1)$$

L_0 为针对路段的连续直行评价指标。图1表示某连续直行道路的所有路段,在任意路段上取该路段的中点,道路就被分割为两部分, L_1 、 L_2 为分割后的长度,连续直行全长应该是: $L_1 + L_2$ 。要计算的路段靠近道路端部时, $L_1 * L_2$ 的数值相对偏小,靠近道路中部时, $L_1 * L_2$ 的数值相对偏大。对于同一条道路, $L_1 + L_2$ 固定,靠近端部的路段, L_0 的数值相对小,靠近中部的路段, L_0 的数值相对大。对于不同的道路,连续直行总长度较长时, L_0 的平均值相对大;总长度较短时, L_0 的平均值相对小。因此, L_0 既反映道路连续直行的总长,又反映某路段处在道路的端部还是中部。下一步将用案例城市济南来验证。

3 案例城市简介

本研究以山东省会济南作为验证假设的典型城市。基础资料的收集时间为2018年,中心城区行政辖区内大约有470万常住居民。作为“泉城”,为了保护地下泉脉,地下轨道交通建设相对谨慎,当时仅有两条轨道交通线,未穿越人口密集的中心区。城市公共交通以常规公共汽车为主,有少量中运量BRT(bus rapid transit)。

本研究以成熟发展区为重点:东到凤凰路,西到二环西路,南到二环南路、旅游路,北到二环北路、工业北路,东西向长度约19.3km,南北向宽度约7—14km,面积大约为195km²,处于济南市行政辖区的核心部位。

道路网络数据。老城区内狭窄、很短的小路,大型居住区、大单位不允许

公交进入的道路均不纳入，高架路只纳入底层适合公交的部分，或允许公交行驶的局部，共涉及2185条路段。为了兼顾网络的连续性，将计算范围向外扩大约2km，称扩展区，合计总面积接近340km²，涉及2210条路段（图2）。在计算道路连续直行长度时，以扩展区为边界，进一步统计分析时，限定在成熟发展区内。济南的成熟发展区基本上是平原，山地所占比例很小，因地形而曲折的路段，规划设计采用弧线的路段比例也极小，路段自身的曲折程度可忽略。

公交线路数据来自济南城市总体规划实施评估调研资料（2017年5月），参考高德导航地图（2019年8月），做局部补充（包括道路），共有311条运营线路（因条件所限，会有少量、次要线路遗漏）。如果某条公交线路在某段路上双向行驶，记为经过2次，单向行驶记为1次，没有公交线路经过的道路取值为零。成熟发展区内，按长度计，大约有42%的路段没有公交，排除无公交的路段，公交线路平均数为11.7。如果按双向考虑，重复系数接近6，显然线路分布较集中、不均衡。较特殊的是经十东路，局部达到53。

公交刷卡记录是2017年5月采集（当时手机扫码乘车还未普及），覆盖主要公交企业的主要线路。因绝大多数车辆安装卫星定位仪，根据刷卡的时间，可知该车辆当时的经纬度，进一步判断该乘客大约是在哪个路段上车，虽然没有下车记录，但是可以大致把握公交和市民的供需关系。

4 初步统计分析

经简单统计就可发现，连续直行较长的道路上公交线路较多，刷卡次数也较多，但是后者的变化不均衡（图3）。根据公式（1），可以用路段连续直行指标（ L_0 ）对济南市的道路连续直行、公交线路数、公交刷卡数做分段统计（图4）。

连续直行路段指标（即公式（1）中的 L_0 ）和该路段上行驶的公交线路数做一元线性回归，得到皮尔逊线性相关系数 $R(2185) = 0.722$, $\text{Sig.} < 0.001$ ，两者

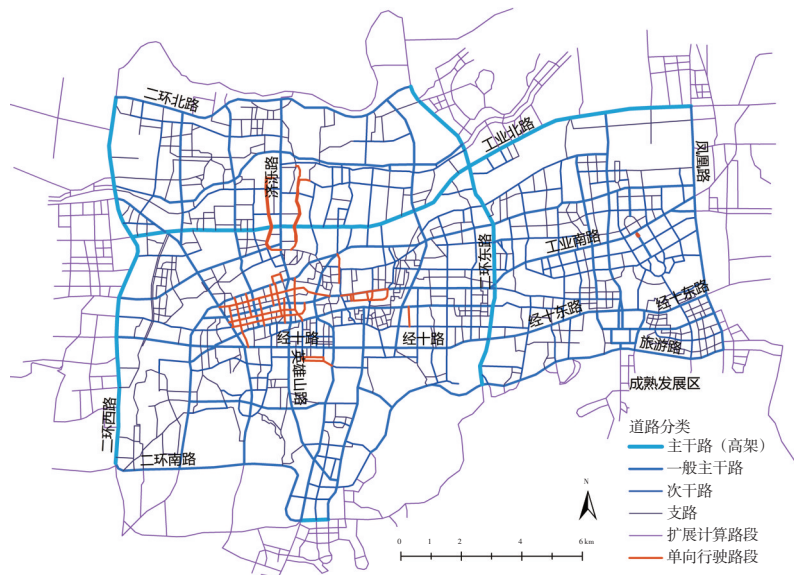


图2 济南中心城区的道路网络、研究范围

Fig. 2 The road network and research boundary of Jinan's central area

资料来源：作者收集资料、编绘。

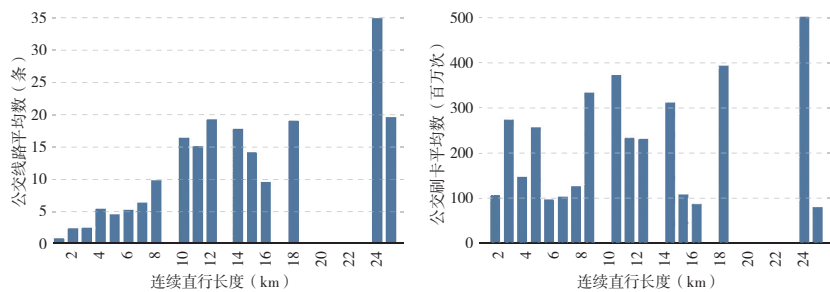


图3 道路连续直行长度和公交线路平均数（左），公交刷卡平均次数（右）

Fig. 3 Road continuous straight length and average bus lines (left), average number of IC card swipes (right)

资料来源：作者自绘。

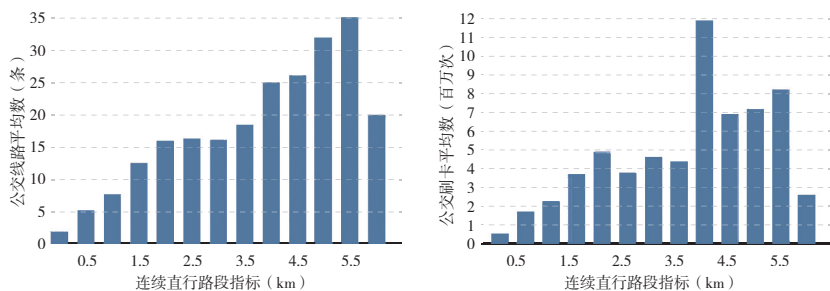


图4 连续直行路段指标（ L_0 ）对应的公交线路平均数（左）、公交刷卡平均数（右）

Fig. 4 Continuous straight indicator of road section to average number of bus lines (left), to average number of bus IC card swipes (right)

资料来源：作者自绘。

强相关，初步验证了道路连续直行较长有利于公交布线的假设。将连续直行路段指标 L_0 和该路段公交刷卡次数也做线性回归，得到皮尔逊线性相关系数 $R(2185) = 0.580$, $\text{Sig.} < 0.001$ ，也是强

强相关。

线性回归得到强强相关，依然会有少量样本远离回归函数的估计值，残差分析可找出偏离函数估计值较远的样本。当样本总量较大时，可用如下公式计算

标准化的残差:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad (2)$$

$$z_{e_i} = (e_i - \bar{e}) / s_e \quad (3)$$

对于样本点 i , 自变量为连续直行路段指标(L_0), 因变量 y_i 为观测值(公交线路数), \hat{y}_i 为线性回归函数的估计值。 e_i 表示残差, \bar{e} 为残差的平均值, s_e 为残差的标准差。如果残差 e_i 服从正态分布, $\pm s_e$ 区间对应的概率为68.26%, $\pm 2s_e$ 区间对应概率为95.44%, 本研究采用 $\pm 2.5s_e$ 区间, 对应概率大于99%, 该区间也可称为显著性区间, 其含义为: 在该显著水平下, 在区间外的样本点残差显著, 区间内的样本点残差可接受。

用上述方法找出残差显著的样本, 也就是统计偏差最大的路段, 然后解释其原因。线性回归的结果是强强相关, 凭经验解释出现残差的原因, 会有若干勉强之处(为了节省篇幅, 不展开讨论), 但至少说明统计的可靠性还不够充分, 可能是道路未分等级引起。

5 统计方法改进

和其他大城市相似, 济南的公交线路过分集中在主干路, 少量行驶在次干路, 有公交的支路很少(图5)。同时, 等级越高的道路, 连续直行也越长, 按道路等级分类统计, 主干路连续直行平均长度为12.60km, 次干路连续直行平均长度为3.13km, 支路连续直行平均长度仅1.21km。为了考虑道路等级, 在前述的一元线性回归方程式中, 增加两个虚拟变量, 做多元线性回归, 计算公式为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (4)$$

公式(4)中, y 为公交线路数或刷卡次数, x_1 为连续直行路段指标(即公式(1)中的 L_0), x_2 为次干路虚拟变量, 如果是次干路, $x_2=1$, 不是次干路, $x_2=0$ 。 x_3 为支路虚拟变量, 如果是支路, $x_3=1$, 不是支路, $x_3=0$ 。对于主干路, x_2 和 x_3 都等于0。 b_0, b_1, b_2, b_3 均由最小二乘法决定。以公交线路数为因变量, 用公式(4)做多元线性回归, 得到皮尔逊线性相关系数 $R(2185)=0.760$, $\text{Sig.} < 0.001$, 和不考虑道路等级的一元回归相

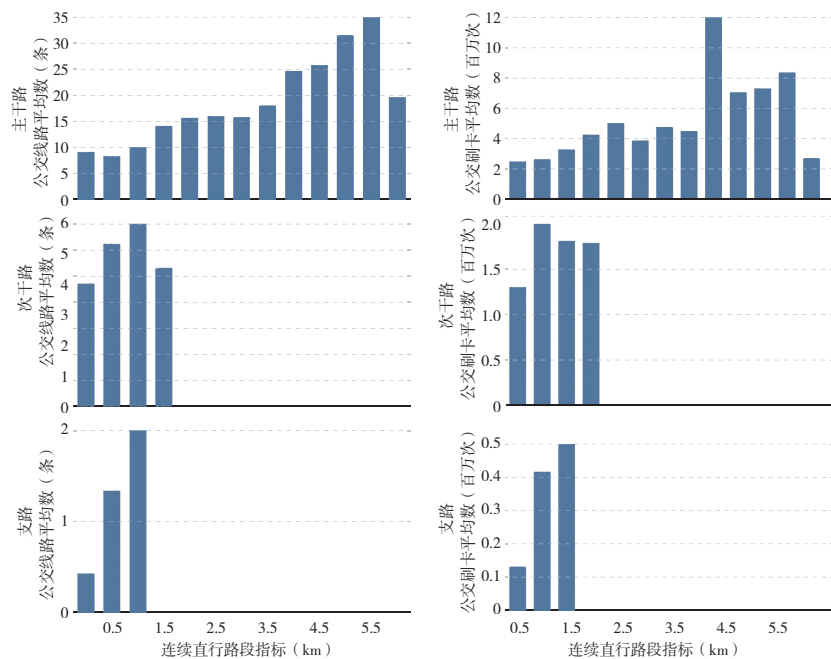


图5 分道路等级的路段指标(L_0)对应的公交线路均值(左)、公交刷卡均值(右)
Fig. 5 Continuous straight indicator of road section by grade to average number of bus lines (left), average number of bus IC card swipes (right)
资料来源: 作者自绘。

比, 线性相关更强了一些, 但是对统计残差, 解释它们发生的原因, 相对容易。

继续利用公式(4), 公交刷卡次数为因变量, 做多元线性回归, 得到皮尔逊线性相关系数 $R(2185)=0.623$, $\text{Sig.} < 0.001$, 再次间接验证了假设。

刷卡记录不可能发生在没有公交线路的道路上, 如果排除没有公交线路的路段, 再做道路连续直行和刷卡次数的多元线性回归, 得到皮尔逊线性相关系数 $R(1259)=0.402$, $\text{Sig.} < 0.001$, 虽然也是强强相关, 但是刷卡数为自变量的相关系数明显变小, 可能三个原因:

(1) 刷卡数据没有覆盖所有线路, 而且采集时段不完全一致, 样本分布不全、不均, 造成误差。

(2) 影响刷卡次数或多、或少的原因, 首先是市民对公交的需求, 涉及土地使用、空间布局, 其次是公交布线, 再次是道路结构, 包括连续直行, 后者对刷卡次数的影响相对次要、间接。

(3) 将没有公交的路段纳入统计, 相关性明显变强, 也可间接说明, 路段不适合公交运营, 所以无线路、无刷卡。

6 残差分析和统计推断

因变量为公交线路数, 基于道路等级, 做多元线性回归, 再用公式(2)和公式(3), 做残差分析, 可凭经验解释残差发生的原因(图6)。

6.1 公交线路数偏高(图6中深红色道路)

济泺路(小清河北路附近、师范路至西工商河路)、天成路、纬二路(南至经四路), 该道路是济南唯一南北贯通的地面道路, 公交需求量大, 北段为重要生活用品批发市场, 中段有长途汽车站、客运火车站, 南段为济南传统商业、商务中心。

堤口路东段, 中心城向西的重要通道, 两侧除了客运火车站、长途汽车站, 还有较多商业设施。该路段靠近连续直行道路的端部, 路段指标(L_0)下降, 公交线路却不少。

槐村街、经一路(纬十二路至纬六路), 城市西南部进入客运火车站、长途汽车站的重要通道。

经八路, 周边其他东西向道路非常

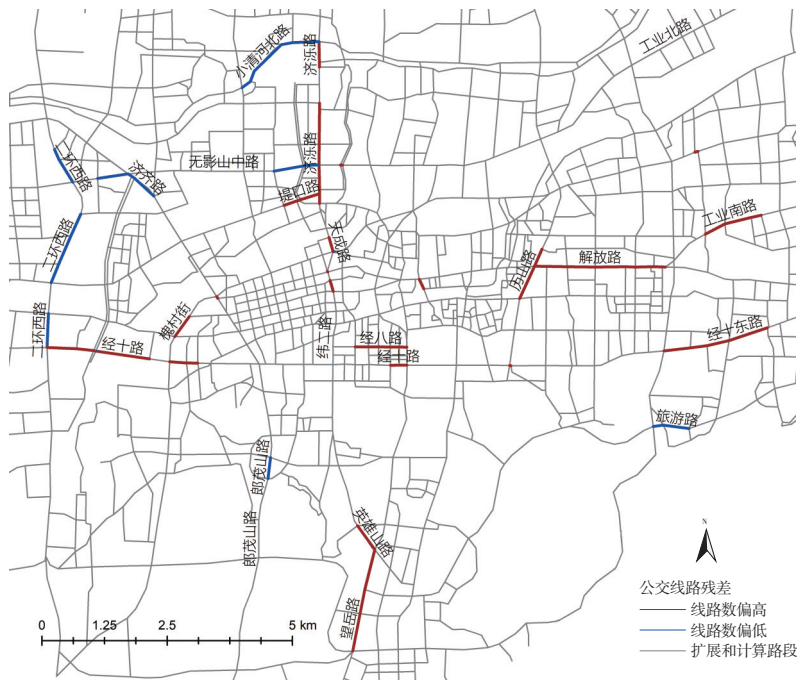


图6 公交线路数在显著性区间之外的路段

Fig. 6 Road sections where the number of bus lines is outside the significant interval
资料来源：依据图2自绘。

短，公交布线特别多，高达28，属特殊路段。

经十路，济南城市东西贯通的主要干路，公交需求量大，营市西街以西至二环西路段是城市西向出入口，营市街至北小辛庄西街段、民生大街至顺河高架路段、二环东至洪山路段公交需求特别高，局部布线数为53（经十东路），为济南之最。

英雄山路、望岳路（梁家庄大街以南），既是中心城区重要南北干路，也是南向重要出入通道，路上除了城区公交，还有城郊线路。

历山路，南北向重要通道，靠近解放路为老城区东侧的商业、商务中心，附近还有济南中心医院。

解放路（黑虎泉北路以东）、工业南路（奥体中路以西），老城区东西向重要通道，解放路西段靠近连续直行道路的端部，路段指标（ L_0 ）相对低，公交线路数不少。

6.2 公交线路数偏低（图6中深蓝色道路）

二环西路、凤凰路（成熟发展区东侧，图6之外）、旅游路（二环东路至荆

山东路）、济齐路（北园高架路至黄岗路）、阳光新路（卧龙路至郎茂山路）、无影山中路（匡山东路至济齐路），上述道路连续直行很长，连续直行路段指标较高，但都位于成熟发展区的边缘，公交需求量不大。

无影山中路（无影山东路至济泺路），该路向东为北园大街，再向东是工业北路，横贯济南东西，连续直行特别长，虽然公交线路数不算少，但是路段指标（ L_0 ）特别高。

小清河北路（济泺路以西），两侧土地使用尚不充分，周边建设密度不高，而且沿河，连续直行虽很长，公交需求一般。

6.3 统计推断

利用公式（4），公交线路数为因变量，多元线性回归方程式为：

$$y = 7.522554 + 0.003742x_1 - 4.418659x_2 - 7.735287x_3 \quad (5)$$

按上式，当道路为支路时：

$$\text{公交线路数} = -0.214733 + 0.003742 \times \text{连续直行路段指标} \quad (6)$$

据公式（6），连续直行路段指标为591.8581时，公交线路数达到2，对应实际连续直行总长2367.43m，其含义为：宽的支路连续直行较长，对公交运营有利，在济南，达到2.4km时，按统计预测，该承载一条双向行驶的普通公交线路（目前支路平均连续长度为1.2km）。

7 小结与展望

对道路可连续直行为何适宜公交，本研究依据经验说明了原因，然后提出针对路段的连续直行评价指标，以济南为例，做进一步的定量验证，再针对济南实际情况，对统计残差做定性解释。本研究并非要推广验证所用的计算方法，而是验证假设。

在很多城市，道路等级越高、连续直行越长、承载的公交线路也越多，三者有天然的关联性，对此，没有必要对统计结果有非常强的线性相关而自我满足，应该关注本研究所获得的新认知：适宜公路的道路，除了宽度，连续直行也重要。现实中，等级较高的道路，连续直行都较长，但对较低等级的道路，规划设计往往有疏忽，或者故意不连续。对较低等级道路加长连续直行，不一定保证公交企业立刻响应，但是周边的市民有需求，宽度不是太窄的道路，和较高等级道路的走向不一致，或者间距较大，连续直行却较短应该是公交企业不愿意布线或不适合布线的重要原因。

和已有方法相比，本方法也属路段相互衔接类，但是相对微观、具体，易操作；对于传统路网密度方法，可将连续直行融入其中，在计算密度时，作为权重或制约条件；对于传统道路等级（宽度）方法，可为较低等级道路上公交布线、运营，提高覆盖率、均衡率提供依据。

从理论角度，本研究用济南作验证，验证条件较好，为了方法的可靠、观点的普适，有待今后在其他城市再验证。从实践角度，我们希望研究成果能对道路规划设计有参考、指导作用，向规范化、标准化的目标迈进，使得城市规划专业在贯彻公交优先战略中，更加自觉地发挥积极而主动的作用。

注释

- ① 交通管理限制车辆转弯、直行不在本文讨论范畴。但统计验证时,单向行驶因素将纳入。某些城市受地形或特殊地物影响,发展方向发生转折,这时可参考拓扑学来考虑道路的连接。

参考文献 (References)

- [1] 蔡军. 城市路网结构体系规划[M]. 中国建筑工业出版社, 2008. (CAI Jun. Urban road network structural system planning [M]. China Architecture & Building Press, 2008.)
- [2] 蔡军, 程茂春, 朱峰杰. 路网规划关键指标对开发强度的影响作用分析——以国内外24个CBD为例[J]. 城市规划学刊, 2017(1): 79-88. (CAI Jun, CHENG Maochun, ZHU Fengjie. Analysis of impact of key indicators for road network planning on development intensity: case study of 24 CBDs worldwide[J]. Urban Planning Forum, 2017(1): 79-88.)
- [3] 方彬, 石飞. 道路网连通度量方法的研究进展和展望——从规范制定的角度探讨如何在中国推广街区制[J]. 国际城市规划, 2019(4): 72-78. (FANG Bin, SHI Fei. Research progress and prospects of street connectivity measurements: a study on how to popularize block system in China from the prospective of regulations[J]. Urban Planning International, 2019(4): 72-78.)
- [4] 高岳, 周翔, 蔡颖, 等. 公交优先导向下超大城市的综合交通规划研究——“上海2040”交通发展思考[J]. 城市规划学刊, 2017(7): 82-93. (GAO Yue, ZHOU Xiang, CAI Ying, et al. Research on transit-oriented comprehensive transportation planning of megacities[J]. Urban Planning Forum, 2017(7): 82-93.)
- [5] 石飞. 公交导向视角的城市道路网规划设计指标探讨——基于《TOD在中国》一书相关章节的讨论[J]. 建筑与文化, 2015(11): 116-117. (SHI Fei. Discussion on urban road network planning and design indicators from the perspective of transit orientation[J]. Architecture and Culture, 2015(11): 116-117.)
- [6] 宋小冬, 李晓晗, 齐文菲, 等. 城市道路网络拓扑结构对常规公共交通的适宜性评价[J]. 城市规划学刊, 2020(4): 43-50. (SONG Xiaodong, LI Xiaohan, QI Wenfei, et al. The suitability evaluation of urban road network topology for normal bus transports[J]. Urban Planning Forum, 2020(4): 43-50.)
- [7] 王炜, 徐吉谦, 杨涛, 等. 城市交通规划理论及其应用[M]. 东南大学出版社, 1998. (WANG Wei, XU Jiqian, YANG Tao, et al. Urban transportation planning theory and application[M]. Southeast University Press, 1998.)
- [8] 王召森. 规划道路网络密度指标调整之思考[J]. 城市交通, 2004(3): 46-48. (WANG Zhaosen. Consideration on density of urban road network[J]. Urban Transport of China, 2004(3): 46-48.)
- [9] 杨佩昆. 重议城市干道网密度——对修改《城市道路交通规划设计规范》的建议[J]. 城市交通, 2003(1): 52-54. (YANG Peikun. Discussion on density of urban arterial street network[J]. Urban Transport of China, 2003(1): 52-54.)
- [10] 叶茂, 过秀成, 芮建秋, 等. 大城市中心区合理干道网密度研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010(3): 130-135. (YE Mao, GUO Xiucheng, RUI Jianqiu, et al. Reasonable arterial road network density analysis of metropolitan central area[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010(3): 130-135.)
- [11] 叶茂, 于森, 过秀成, 等. 公交导向的历史城区干路网平均间距优化[J]. 北京工业大学学报, 2013(8): 1250-1254. (YE Mao, YU Miao, GUO Xiucheng, et al. Optimizing average space of arterial road network in historic urban area based on transit priority[J]. Journal of Beijing University of technology, 2013(8): 1250-1254.)
- [12] 叶彭姚, 陈小鸿, 崔叙. 从区分到融合——城市道路结构规划理念的演变[J]. 城市规划学刊, 2010(5): 98-104. (YE Pengyao, CHEN Xiaohong, CUI Xu. From traffic differentiation and segregation to traffic integration —— the evolution of urban road network structure planning[J]. Urban Planning Forum, 2010(5): 98-104.)
- [13] 叶彭姚, 陈小鸿, 崔叙. 城市道路网布局结构对公交线网密度的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012(1): 51-56. (YE Pengyao, CHEN Xiaohong, CUI Xu. Impact on density of public transportation network by urban road network layout[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2012(1): 51-56.)
- [14] 周涛, 但媛, 朱军功. 城市道路网络连通性指标探析[J]. 城市交通, 2015(1): 60-65. (ZHOU Tao, DAN Yuan, ZHU Jungong. Assessment of urban roadway network connectivity[J]. Urban Transport of China, 2015(1): 60-65.)

修回: 2021-11