

多层面步行系统中垂直联系对人流预测模型的影响

庄宇¹, 宋晓宇¹, 戴晓玲²

(1. 同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092; 2. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 基于空间句法理论, 通过与垂直联系的距离及其类型对多层面步行系统的人流预测模型进行修正. 以两个轨交站区的多层面步行系统为例, 分析发现距离及类型两个因子均对行人流量产生不同程度的影响, 在分别采用两种修正方法之后, 人流预测模型的预测能力均得到较为显著的提高.

关键词: 空间句法; 多层面; 行人流量; 垂直联系

中图分类号: TU-023

文献标志码: A

Influence of Vertical Transition in Multi-level Pedestrian Systems on Prediction Models of Pedestrian Movement

ZHUANG Yu¹, SONG Xiaoyu¹, DAI Xiaoling²

(1. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Architecture & Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Based on the theory of space syntax, this paper presents two correction methods of prediction model of pedestrian movement by introducing the distance and type of vertical transition. Two case studies of the multi-level systems in the metro station area show that the pedestrian movement can be influenced by either the distance or the type of vertical transition to different degrees. Furthermore, both of the two correction methods significantly improve the ability of the prediction models of the pedestrian movement.

Key words: space syntax; multi-level; pedestrian movement; vertical transition

国内外学者的大量研究表明, 人的空间活动或行为在很大程度上受到空间结构形态的影响, 其中句法语言中量化描述城市空间组构关系的空间整合度值与行人分布密切相关^[1-3], 尤其体现在二维层

面.

然而人们也逐渐认识到, 在三维层面, 基于空间句法理论通过空间整合度直接预测行人分布的能力被大大削弱. 其主要原因是, 相比于二维层面的街区步行路径, 在地下、地面、地上多个层面交叠连接的步行路径的可理解性降低^[4], 而其所呈现出的多样且复杂的空间形态结构并不能在句法的组构关系分析中得到充分体现. 由此, 在多层面地区(以轨交站地区为例)的行人活动与步行路径关联分析中, 除了要关注多层面步行路径整体的内在组构关系, 其他影响行人活动的空间要素也应纳入分析.

事实上, 轨道交通站点区域行人活动的分布与区域通行效率、经济活力等密切相关, 有效组织、引导站区人流一方面可以快捷疏散站区自身集聚的大量客流, 提高区域运行效率; 另一方面也可以带动站地区的空间价值, 增加城市活力. 垂直联系作为这一地区重要的空间组成要素, 其对行人活动的影响成为本研究的主要关注点.

1 垂直联系

在多层面的路径网络中, 垂直联系通过特定的方式联系不同层面, 对步行活动影响颇大. 在国内外文献中, 研究者如 Chang 等^[4]、Afroza Parvin 等^[5]、庄宇等^[6]均提到了利用垂直联系对多层面人流预测模型进行修正的必要性. 上述学者所提到的修正方法虽然一定程度上体现了垂直联系对行人流量的影响, 但却忽略了以下两个方面:

首先, 垂直联系对行人流量的影响范围不仅包括直接与之相连的路径, 也可能包括其他间接与之相连的步行路径, 进而影响到整个站区的行人空间分布. 前述修正方法忽略了这种间接影响, 而将所有

收稿日期: 2013-05-21

基金项目: 国家自然科学基金(51178318)

第一作者: 庄宇(1968—), 男, 教授, 博士生导师, 国家一级注册建筑师, 建筑学博士, 主要研究方向为城市设计.

E-mail: arch-urban@163.com

通讯作者: 宋晓宇(1985—), 女, 建筑学博士, 主要研究方向为城市设计. E-mail: xiaoyusong25@gmail.com

不与垂直联系直接相连的路径一视同仁。

其次,不同类型的垂直联系对行人流量的影响可能是不同的. 轨交站区的垂直联系在类型上可分为楼梯、自动扶梯和升降机 3 类,其中,自动扶梯又分为单向自动扶梯和双向自动扶梯. 虽然楼梯是最经济的垂直联系,但在人流密集的多层区域,自动扶梯是最主要的垂直交通工具,其连续运作的方式无论对于大人流量的疏散,还是行人流线的引导都发挥了重要的作用. 升降机则多用于人流较少,垂直距离较大的场所,在人流密集的多层面区域(如轨交站点区域、大型商业综合体区域等),升降机相较前两者载客效率要低很多,其往往作为无障碍交通工具供特殊情况使用.

本文的研究即在此基础上展开,探讨能否进一步通过垂直联系的分布及其类型对轨交站区多层面路径的人流预测模型进行优化.

2 研究案例

2.1 案例选取

为了突出多层面的空间特性,选取上海五角场轨交站点区域作为研究案例. 五角场站通过环岛下

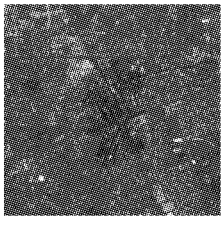
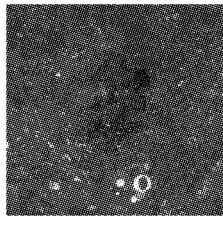
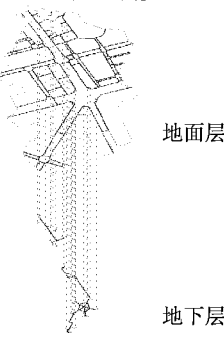
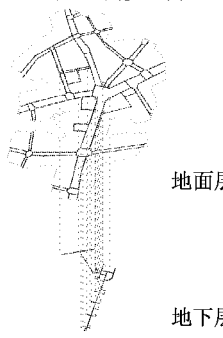
沉广场与周边地下商场相连接,充分解决了车流与人流在环岛区域的矛盾,并利用地下步道将地铁站与环岛下沉广场直接连通,进一步加强了两者之间的联系. 在获得初步研究数据及分析结论后,为避免分析结果的偶然性,本文再选择徐家汇轨交站点区域作为另一个多层面步行系统的典型案例. 徐家汇站是上海地铁早期发展较为成熟的轨交站点,其站点区域通过地下步道与周边商业直接相连,并设置多个出入口,狭长的地下层路径既要解决大人流量的分流问题,也要兼顾与周边地铁的衔接及换乘通道. 为表述清晰,在下述论证过程中本文采用将两个案例并行表达的方式.

2.2 研究范围

基于步行接驳的轨交站域辐射范围是以步行接驳点为起点,可接受的步行距离为半径的可达范围的集合. 这里的步行接驳点即为各个轨交站出入口;而可接受的步行距离是个经验值,本文沿用国内研究中常采用的步行 10 min 即 500 m 的步行距离. 考虑到路网结构的影响,本文所界定的轨交站域以各个轨交站出入口为起点,沿步行路径步行 10 min (500 m)的可达范围的集合,由 GIS 计算得出,如表 1 所示.

表 1 研究案例概况

Tab.1 Case Study

概况	五角场轨交站区	徐家汇轨交站区
城市名称	上海	上海
功能定位	城市副中心	城市副中心
发展原因	地处交通干线交汇处,人车交通矛盾突出	地处交通干线交汇处,人车交通矛盾突出
研究范围		
路径结构 (核心区)	<p>地下-地面步道</p>  <p>地面层</p> <p>地下层</p>	<p>地下-地面步道为主</p>  <p>地面层</p> <p>地下层</p>

3 行人流量实地调研及数据分析

3.1 行人流量实地调研

两次实地调研均选在天气晴朗、温度适宜的气候条件下进行.五角场案例和徐家汇案例的行人流量调研时间分别为 2012 年 4 月 17 日(星期二)和 2012 年 9 月 14 日(星期五),统一选定的 5 个时间段为 8:00—10:00,10:00—12:00,12:30—14:30,14:30—16:30,16:30—18:30,基本可覆盖全天人流高峰时间.其中,五角场案例调研选用 85 个观察点,包括地下层的 23 个观察点和地面层的 62 个观察点;徐家汇调研选用 99 个观察点,其中包括地下层的 23 个观察点和地面层的 76 个观察点.在每个取样时间段对各观察点进行人流量取样 3 min,5 个时间段共计 15 min.图 1 显示的是两个案例中各路径人流在整个工作日内的实际分布情况.

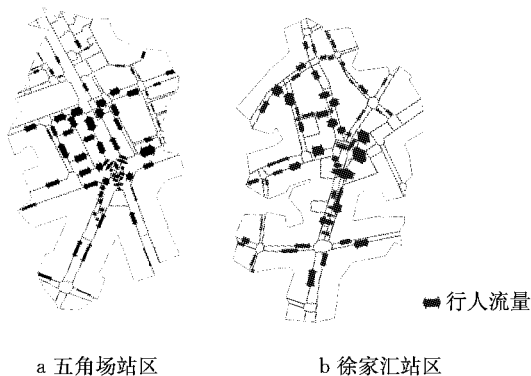


Fig.1 Pedestrian distribution in metro station areas

3.2 距离影响分析

为了考察垂直联系对轨交站区行人分布的影响范围,本文分别将两个案例各自研究范围内的步行路径按照与垂直联系拓扑距离的远近进行了分类,分别为:直接与垂直联系相连的步行路径(V_R0)、与垂直联系相距 1 步的步行路径(V_R1)、与垂直联系相距 2 步的步行路径(V_R2)、与垂直联系相距 3 步及 3 步以上的步行路径(V_R≥3),如图 2 所示.

分别对两个研究案例中各类型路径人流数据作统计分析(图 3),发现在站区多层面步行路径中,各路径和垂直联系之间的距离与行人流量存在重要的关联性.3 步之内,距离越近的步行路径其平均人流量越大,其中与垂直联系直接相连的步行路径相较于站区范围内其他步行路径其平均人流量最大.由此证明,垂直联系不仅对与之相连路径的人流量产生直接影响,也对其周边路径产生间接影响,换言之,

各路径与垂直联系的距离应成为站区行人分布研究中重要的考量因子.

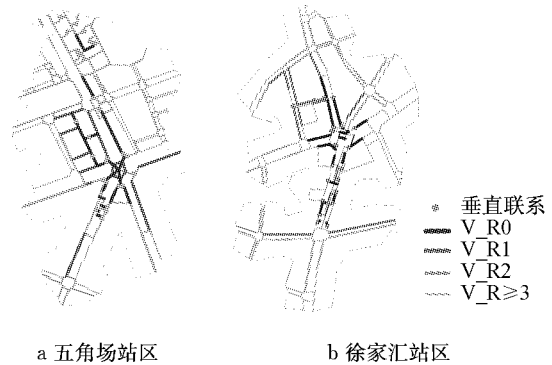


图 2 站区垂直联系分布及路径按距离分类示意
Fig.2 Vertical transition distribution in metro station areas & topological distance to vertical transition

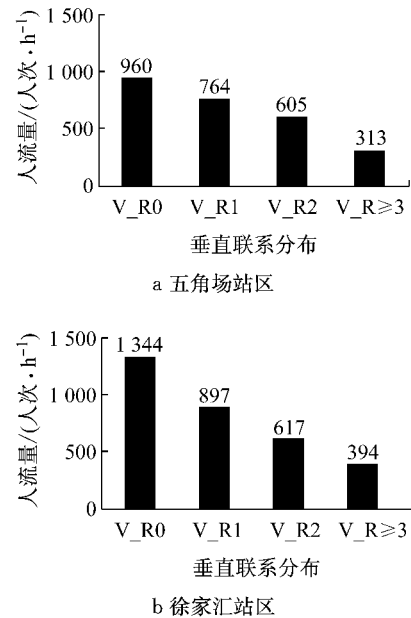


图 3 行人流量与垂直联系分布的关系
Fig.3 The relationship between pedestrian movement and topological distance to vertical transition

3.3 类型影响分析

为了考察不同类型的垂直联系对轨交站区行人分布的影响,本文将与不同类型垂直联系直接相连的人行路径的人流量进行比较.这里,垂直联系的类型如前所述分为:楼梯(S)、单向自动扶梯(ES1)、双向自动扶梯(ES2)、升降机(EL).

研究发现,两组数据呈现了相似的特征(图 4):在与垂直联系直接相连的路径中,与双向自动扶梯直接相连的步行路径人流量往往最大;徐家汇站区与单向自动扶梯直接相连的步行路径位居其次,而由于五角场站研究范围内仅有一部单向自动扶梯,484 人次·h⁻¹的数据具有一定的偶然性.而与升降

机直接相连的步行路径,其每小时所通过的平均人流量则较其他三者有明显减少.这也证明了不同类型的垂直联系对行人流量的影响是不同的观点,因而,垂直联系的类型应成为站区行人分布研究中另一个重要的考量因子.

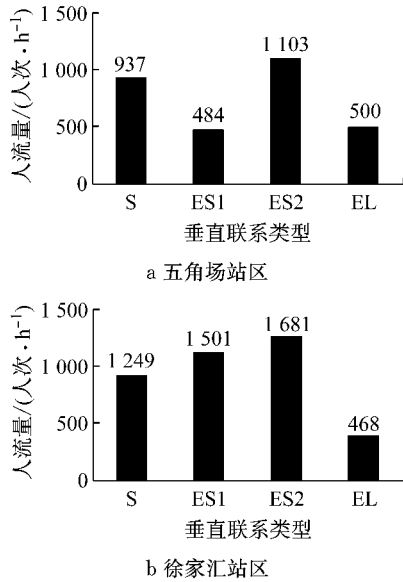


图 4 行人流量与垂直联系类型的关系

Fig. 4 The relationship between pedestrian movement and the type of vertical transition

4 句法模型的建立及分析

绘制站区多层面步行路径线段图,通过 Depthmap 进行句法分析计算,图 5 为分析后得到的 Integration_R800 图.这里需要说明的是,将句法分析计算结果中所有空间特征值与行人流量进行逐步回归分析,结果表明,在五角场站区和徐家汇站区两个研究案例中,Integration_R800 均被证明是与行人流量相关性最高的空间特征值.

5 回归模型的建立及解析

在获取实地信息采集中的行人流量数据及经句法计算得到的整合度数值后,利用 SPSS 数据统计软件,尝试建立行人流量的数学模型,从而可以定量地研究站区多层面路径中行人分布情况,并达到人流预测的目的.

5.1 模型的拟合

数据分析表明,距垂直联系的拓扑距离及垂直联系类型都对多层面步行路径中的行人分布有重要影响,因而本文尝试将上述两种垂直联系相关变量

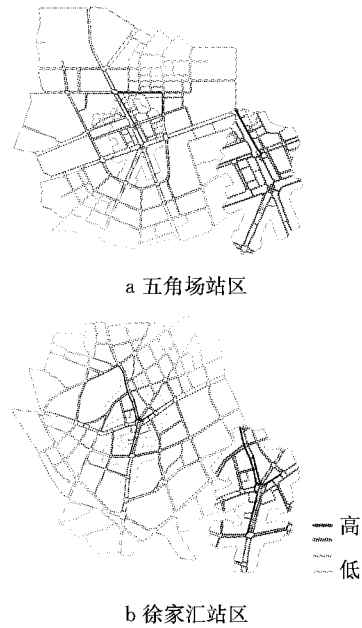


图 5 站区句法模型的 Integration_R800 图

Fig. 5 Integration_R800 of metro area

分别纳入到垂直联系修正模型中,考察其对行人流量回归模型的优化作用.为便于对比分析,依次建立原始模型(模型 A)、以往相关研究中较为常用的垂直联系初步修正模型(模型 B)、本文提出的考虑了垂直联系距离影响的修正模型(模型 C),以及考虑了垂直联系类型影响的修正模型(模型 D),经计算后得到的模型拟合优度见表 2 和表 3.

两个案例的模型拟合结果表明:

(1) 在多层面步行空间中直接应用整合度 Integration_R800 来预测人流并不具有足够的说服力.

(2) 考虑到垂直联系对其直接相连路径行人流量的影响,在模型 A 的基础上引入垂直联系变量 V_{R0} ,将直接与垂直联系相连路径赋值 1,其他路径赋值 0.可以看到,整合模型 B 对行人流量的预测能力较之模型 A 有了较大程度的提高,两个案例的调整 R^2 分别从原来的 0.408 和 0.348 提高到 0.502 和 0.420.

(3) 在模型 B 的基础上,如果再将各路径距垂直联系的距离对行人分布的影响考虑其中,则可以进一步发展这一垂直联系修正模型.模型 C_1 和模型 C_2 分别对应了两种不同的赋值方法.

模型 C_1 中,为考察垂直联系在多大距离范围内影响人流,引入自变量 $V_{R0}, V_{R1}, V_{R2}, V_{R3}$,分别将其各自相连路径赋值 1,其他赋值 0,并将它们与整合度值 Integration_R800 一同进入回归模型进行逐步分析,经模型检验及变量筛选后得到

表 2 五角场案例模型拟合优度

Tab.2 Correlation analysis of Wujiaochang Area, Shanghai

模型	变量	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
模型 A	Integration_R800	0.643	0.414	0.408	0.701 042 666
模型 B	Integration_R800 V_R0	0.716	0.512	0.502	0.642 885 987
模型 C_1	Integration_R800 V_R \geq 3	0.743	0.552	0.543	0.615 787 431
模型 C_2	Integration_R800 V_R	0.755	0.569	0.561	0.603 954 415
模型 D	Integration_R800 ES2	0.721	0.520	0.510	0.637 514 903

表 3 徐家汇案例模型拟合优度

Tab.3 Correlation analysis of Xujiahui Area, Shanghai

模型	变量	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
模型 A	Integration_R800	0.593	0.351	0.348	0.663 292 631
模型 B	Integration_R800 V_R0	0.659	0.435	0.420	0.580 820 744
模型 C_1	Integration_R800 V_R \geq 3	0.679	0.460	0.446	0.615 787 431
模型 C_2	Integration_R800 V_R	0.721	0.520	0.508	0.535 012 552
模型 D	Integration_R800 ES2 ES1 EL	0.729	0.532	0.506	0.535 858 187

的分析结果表明,在两个案例中,除了自变量 Integration_R800 之外, $V_R \geq 3$ 被认为是对人流量影响最大的变量.而在将 $V_R \geq 3$ 与 Integration_R800 一同进入回归模型后,模型拟合优度相较模型 B 再次得到提高,两个案例的调整 R^2 分别从 0.502 和 0.420 提高到 0.543 和 0.446.这说明, $V_R \geq 3$ 是比 V_R0 对人流影响更大的变量,换言之,考虑距垂直联系 3 步以内路径对人流量的正相关影响比垂直联系直接相连路径对人流量的正相关影响更大.

模型 C_2 中则采用了另一种赋值方法,为考察垂直联系距离因素对人流的影响,引入自变量 V_R ,按距垂直联系的拓扑距离数对其进行赋值,分别为 0,1,2,3,再将其与整合度值 Integration_R800 一同进入回归模型进行逐步分析,分析结果表明,考虑了垂直联系距离的整合模型拟合优度相较模型 B 也同样得到提高,两个案例的调整 R^2 分别从模型 B 中的 0.502 和 0.420 提高到 0.561 和 0.508.

对比模型 C_1、模型 C_2,从模型优化的程度来看,五角场和徐家汇案例的模型 C_2 都比模型 C_1 显示了更好的拟合优度.

(4) 另一方面,在模型 B 的基础上发展另一个垂直联系修正模型,尝试把垂直联系的类型纳入到模型中.通过引入楼梯 S、单向自动扶梯 ES1、双向自

动扶梯 ES2、升降机 EL,分别将其各自相连路径赋值 1,其他赋值 0,并将它们作为自变量与整合度值 Integration_R800 一同进入回归模型进行逐步分析.经模型检验及变量筛选后得到的分析结果表明,两个案例中,除了自变量 Integration_R800 之外,双向自动扶梯 ES2 被认为是对人流量影响最大的变量.而考虑了垂直联系类型的整合模型对行人流量的预测能力相较模型 B 也同样得到了提高,两个案例的调整 R^2 分别从原来的 0.502 和 0.420 提高到 0.510 和 0.506.

5.2 模型检验及变量重要性比较

模型 F 检验结果显示,五角场案例的回归模型 C_1、模型 C_2 和模型 D 的 F 值分别为 60.474, 64.805 和 53.139, P 值均小于 0.05;徐家汇案例的回归模型 C_1、模型 C_2 和模型 D 的 F 值分别为 32.000、40.700 和 20.727, P 值均小于 0.05,证明两个案例的 6 个回归模型都具有统计学意义.进一步的系数检验结果(表 4、表 5)显示所有模型中被筛选后的变量都有较理想的显著度,具有统计学意义.

由此,可以建立模型 C_1、模型 C_2、模型 D 的多元线性回归方程.下述方程中,人流量的对数 \ln 为应变变量,各自变量的回归系数反映的是各自变量对行人流量的影响程度.

表 4 五角场案例模型系数

Tab.4 T-test of Wujiaochang Model

模型	变量	标准化系数	t 检验	显著性系数
模型 C ₁	Integration_R800	0.439	5.702	0
	V_R≥3	0.424	-5.506	0
模型 C ₂	Integration_R800	0.448	6.052	0
	V_R	-0.440	-5.949	0
模型 D	Integration_R800	0.489	6.310	0
	ES2	0.361	4.660	0

表 5 徐家汇案例模型系数

Tab.5 T-test of Xujiahui Model

模型	变量	标准化系数	t 检验	显著性系数
模型 C ₁	Integration_R800	0.487	5.368	0
	V_R≥3	-0.429	-5.027	0.001
模型 C ₂	Integration_R800	0.475	5.966	0
	V_R	-0.438	-5.745	0.002
模型 D	Integration_R800	0.522	6.062	0
	ES2	0.350	4.177	0
	ES1	0.292	3.517	0.001
	EL	-0.173	-2.077	0.041

(1) 模型 C₁

五角场案例: $Ln = 2.124 + 0.022 \text{ Integration_R800} - 0.769 \text{ V_R} \geq 3$

徐家汇案例: $Ln = 2.991 + 0.017 \text{ Integration_R800} - 0.742 \text{ V_R} \geq 3$

(2) 模型 C₂

五角场案例: $Ln = 2.492 + 0.023 \text{ Integration_R800} - 0.302 \text{ V_R}$

徐家汇案例: $Ln = 4.136 + 0.019 \text{ Integration_R800} - 0.321 \text{ V_R}$

(3) 模型 D

五角场案例: $Ln = 1.078 + 0.025 \text{ Integration_R800} + 0.758 \text{ ES2}$

$R800 + 0.758 \text{ ES2}$

徐家汇案例: $Ln = 2.207 + 0.018 \text{ Integration_R800} + 0.937 \text{ ES2} + 0.774 \text{ ES1} - 1.168 \text{ EL}$

根据模型中各变量的标准化系数,可以比较各模型中各自变量的相对重要性.结果显示,在 6 个模型中,Integration_R800 仍是对行人流量影响最大的变量.同时,模型 C₁ 中的 $V \geq R3$ 也体现了较明显的显著性,相较模型 B,说明考虑距垂直联系 3 步以上路径对人流量的负相关影响比只考虑直接相连路径对人流的影响更重要,换言之,距垂直联系 3 步以内路径对人流量的正相关影响比垂直联系直接相连路径对人流量的正相关影响更大.在采用另一种赋值方法的模型 C₂ 中,V_R 的高显著性也进一步说明各路径距垂直联系的距离的确是多层步行空间中行人分布的重要影响因子.而在模型 D 中,在用逐步回归分析建立“最优”方程的前提下,两个案例分别经筛选后得到的显著自变量也有所不同,因而,在现有数据基础上本文还不能得到标准化模型 D,但现有的模型 D 仍体现了一定的规律性.可以看到,在所有类型的垂直联系中,双向自动扶梯 ES2 在两个案例中均被认为是对人流量影响最大的变量.而在徐家汇案例中,各类型的垂直联系按重要性排序依次为:ES2,ES1,EL.

5.3 综合模型

综合上述分析结果,尝试将模型 C₁、模型 C₂ 分别与模型 D 合并,得到综合模型 E₁、模型 E₂,其拟合结果如表 6 所示.从计算结果可以看出,垂直联系类型以及垂直联系距离都是多层步行空间研究中应关注的要素,但相对于垂直联系类型,垂直联

表 6 综合模型拟合结果

Tab.6 Correlation analysis and T-test of combined models

案例	模型	调整 R ²	变量	标准化系数	t 检验	显著性系数
五角场案例	模型 E ₁	0.570	Integration_R800	0.395	5.162	0
			V_R≥3	-0.322	-3.827	0
			ES2	0.218	2.677	0.009
	模型 E ₂	0.566	Integration_R800	0.428	5.723	0
			V_R	-0.351	-3.669	0
			ES2	0.139	1.462	0.147
徐家汇案例	模型 E ₁	0.575	Integration_R800	0.409	4.767	0
			V_R≥3	-0.317	-3.592	0.001
			ES2	0.276	3.428	0.001
	模型 E ₂	0.569	ES1	0.203	2.508	0.014
			EL	-0.177	-2.281	0.025
			Integration_R800	0.371	3.400	0.001
	模型 E ₂	0.569	V_R	-0.328	-3.318	0.001
			ES2	0.268	3.265	0.002
			ES1	0.136	1.513	0.135
			EL	-0.177	-2.268	0.026

系距离要素(包括 $V_R, V \geq R3$)对行人流量起到了更重要的作用。

6 结论

本文在原有的垂直联系修正方法基础上,提出了通过与垂直联系的距离及其类型对整合度人流预测模型进行修正的两种方法.以五角场站区和徐家汇站区为例,经数据收集、句法分析和回归计算等,证明在考虑了垂直联系的距离及其类型之后,人流模型的拟合优度相较模型都得到了一定程度的提高.具体结论如下:

(1) 在本文两个研究案例的句法分析中, Integration_R800 均被证明是对行人流量影响最大的空间特征值.这直接说明在多层面的步行路径中,行人流量分布与整合度值仍具有最重要的相关性.

(2) 再次验证行人分布与垂直联系的分布存在较大关联性.通过对直接与垂直联系相连的路径 V_{R0} 进行加权,可以有效地修正多层面的整合度人流预测模型(调整 R^2 分别从 0.408 和 0.348 提高到 0.502 和 0.420).

(3) 调研数据表明,垂直联系不仅对与之相连路径的人流量产生直接影响,也对其周边路径产生间接影响.两种赋值方法对应了两种模型,从计算结果可以看出:第一种赋值方法中通过对站区研究范围内的步行路径按照与垂直联系距离的远近进行分类,发现 $V_R \geq 3$ 是比 V_{R0} 对人流影响更大的变量,这也说明了距垂直联系 3 步以内路径对人流量的正相关影响比垂直联系直接相连路径对人流量的正相关影响更大;而在另一种赋值方法中, V_R 的高显著性也进一步说明各路径距垂直联系的距离的确是多层面步行空间中行人分布的重要影响因子.两个人流模型的拟合优度相较模型 B 都得到了进一步提高(模型 C_1 的调整 R^2 分别从 0.502 和 0.420 提高到 0.543 和 0.446;模型 C_2 的调整 R^2 则分别

提高到 0.561 和 0.508).而从模型优化的程度来看,两个案例中的模型 C_2 都比模型 C_1 显示了更好的拟合优度.

(4) 调研数据表明,不同类型的垂直联系对行人流量的影响是不同的,在整合模型 D 中将垂直联系的类型作为自变量考虑其中也可以进一步优化人流预测模型(调整 R^2 分别从模型 B 的 0.502 和 0.420 提高到 0.510 和 0.506).其中,在所有类型的垂直联系中,双向自动扶梯 ES2 被认为是对行人流量影响最大的变量.

(5) 合并后的综合模型拟合结果说明,垂直联系类型以及垂直联系距离都是多层面行人分布研究中应关注的要素,但相对于垂直联系类型,垂直联系距离要素(包括 $V_R, V \geq R3$)对行人流量起到了更重要的作用.

参考文献:

- [1] Hillier B, Hanson J. The social logic of space [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [2] Hillier B. Space is the machine: a configurational theory of architecture [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [3] Penn A, Hillier B, Banister D, et al. Configurational modeling of urban movement networks [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998, 25: 59.
- [4] Chang D, Penn P. Integrated multilevel circulation in dense urban areas: the effect of multiple interacting constraints on the use of complex urban areas [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998, 25: 57.
- [5] Parvin A, Ye A, Jia B. Multilevel pedestrian movement: does visibility make any difference? [C]//Proceedings of the 6th International Symposium on Space Syntax. Istanbul: [s. n] 2007: 1-16.
- [6] 庄宇,张灵珠,戴晓玲.多层面商业空间整合度与人流关联性分析[J].同济大学学报:自然科学版,2012,40(11):6.
Zhuang Y, Zhang L Z, Dai X L. Space syntax-based configurational study of pedestrian flows in multi-level commercial space [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2012, 40(11): 6.