

城市干路行人过街设施时空阈值研究

Spatial Separation and Signal Timing for Arterial Pedestrian Crossings

熊文 陈小鸿 胡显标

(同济大学交通运输工程学院,上海 201804)

XIONG Wen, CHEN Xiao-hong, HU Xian-biao

(School of Transportation, Tongji University, Shanghai 201804, China)

摘要: 在传统的行人过街设施规划与设计,片面强调机动车的通行效率,常常给行人过街带来很大不便,同时造成安全隐患。首先回顾了国内外行人过街设施布局的相关研究,将上海市2条干路与巴黎、纽约和东京4条干路的行人过街设施进行对比,同时将国内外过街设施信号配时进行比较,揭示了我国城市干路行人过街设施规划及设计的缺陷。基于意愿调查,确定了少年、青年、老年3组行人在各级干路过街的绕行距离阈值和等候时间阈值。以两类阈值为准绳,结合过街步速观测,提出了城市干路过街设施间距阈值与信号控制的最长红灯时间和最短绿灯时间。

Abstract: Traditionally, emphasis is biased towards vehicular mobility while planning and designing pedestrian crossings, which always results in inconvenience and potential safety problems to pedestrians. This paper makes a review on pedestrian facilities arrangement both at home and abroad. Based on two types of comparison, i.e. pedestrian facilities of two arterials in Shanghai and four arterials of Paris, New York and Tokyo, and signal timing of crossing facilities both at home and abroad, the paper reveals the shortcomings in the planning and designs of crossing facilities on urban arterials in China. According to the SP survey data, the paper obtains the thresholds of detour-distance and waiting-time for a crossing signal for teenagers, adults, and seniors crossing urban arterials. In regard of the two types of thresholds and observed pedestrian speeds, the paper proposes the spatial separation thresholds, and maximum red and minimum green signal timing intervals for arterial pedestrian crossings.

关键词: 交通规划; 步行交通; 过街设施; 意愿调查; 阈值

Keywords: transportation planning; pedestrian transportation; crossing facilities; Stated Preference survey; threshold

中图分类号: U491.2*26

文献标识码: A

收稿日期: 2008-12-11

作者简介:熊文(1979—),男,陕西西安人,博士研究生。主要研究方向:城市慢行交通规划与设计。E-mail:xwart@126.com

0 引言

行人过街设施包括横道线、人行天桥和地道、信号灯及标志。城市干路行人过街设施的时空布局不仅直接影响交通系统的便利性,而且是交通安全的重要制约因素。

德国道路通行能力手册(1994)要求,所有信号系统中步行过街延误均不得大于90 s^[1]。而在我国,城市干路信号配时往往仅考虑机动车的通行能力,给行人过街带来很大不便。以上海市东纵(城市主干路)为例,过街设施信号控制的红灯时间多为120~180 s,此类人行横道即便有交通协管员维持秩序,失去耐心的行人仍会集体违章过街,造成了极大的安全隐患。在苏门答腊,因规划时未考虑步行需求,一些道路的过街设施间距过远,居民想要到达触手可及的街对面,利用出租汽车比步行更加快捷,每年有超过7 000 km的出租汽车行驶里程因此而生^[2]。类似问题在我国同样存在,以上海市世纪大道(城市次干路)为例,因过街设施间距过大,部分沿街员工到街对面吃午饭,驾驶小

汽车比步行过街更加方便。

因此,有必要从人性化角度对城市干路行人过街设施间距、配时的控制指标进行研究。

1 行人过街设施时空布局研究概述

1.1 过街设施合理间距

文献[3]指出,美国行人步行过街最大可承受距离为45 m,因此,便利的过街设施间距不应超过90 m。否则行人很可能随意穿越街道,造成过街风险。

文献[4]认为,以步行为导向的北美街区,特别是在主要街道的公寓、商业中心、学校前,152 m是比较合适的过街设施间距。

文献[5]引用了宇宙野在日本的交通调查结论,行人可接受的绕行距离仅为20 m左右,因而当人行横道间距为40 m左右时,行人更乐于使用人行横道。

文献[6]在北京的问卷调查表明,37.6%的行人可接受绕行距离不大于50 m,60.9%的行人可接受50~200 m,只有1.5%的行人愿意绕行200 m以上。

文献[7]通过分析行人心理、车辆行驶、道路通行能力,提出国内城市平面行人过街设施合理间距的计算方法,城市中心商业区道路为双向2,4,6车道时,行人过街设施的最优间距建议值分别为130~230 m,260 m和290 m;城市一般地区的道路为双向2,4,6车道时,行人过街设施的最优间距建议值分别为460 m,520 m和580 m。

1.2 合理信号配时

文献[8]在日本的研究表明,行人过街等待的不耐烦峰值大约为40~45 s,而不耐烦感在21~28 s时即已开始产生。当行人感到不耐烦时,倾向于走入机动车道、尽可能寻找车流空当过街,不论其是否合法。作者据此认为,“改进信号控制系统、降低行人过长的等待时间将有益于降低人车冲突。”

文献[9]对北美及欧洲相关研究进行了回顾,认为行人在人行横道线可忍耐的延误其实很短,尤其是当双向车流量低于 $1\,500\text{辆}\cdot\text{h}^{-1}$ 、等待时间超过40 s时,违章穿越机动车道的行人数量会急剧增加(英国人仅能忍受30 s左右)。

大量同类研究表明^[1,9],等待时间越长,行人违章穿越道路的概率越大。鉴于此,各国学者相继提出了信号控制交叉口行人过街最大延误的控制指标:美国的Kaiser(1994)、澳大利亚的Dunn与Pretty(1984)、英国的Hunt与Griffiths(1991)均认为行人过街延误不宜超过30 s,德国的Brilon(1994)认为最大延误不应超过60 s。

佛罗里达州《步行规划设计手册》^[10]提出,无论是否为信号控制过街,当行人过街等待时间超过30 s时即会开始焦躁,交通工程师应尽一切努力将行人过街等候时间最小化。

文献[11]总结了南非城市干路立体过街设施的设置依据,认为行人可以忍受的最大延误、信号控制交叉口的最大通行能力是设置立体过街设施的关键因素,且只有当相位周期超过110 s(相应行人延误50 s)才适于采取立体过街形式。

综上所述,对行人过街可以接受的绕行距离、等候时间,国内外尚未形成一致结论。相关调查中,不同行人在不同过街环境的多元意愿也未得到充分考虑。

2 国内外干路过街设施时空布局比较

2.1 过街设施间距比较

“干路过街”是伴随机动化产生的规划问题。为反映国内城市与国外发达城市间的规划差距,选取巴黎、纽约、东京的4条典型干路,就其行人过街设施的分布与上海市2条干路进行了对比。这6条干路均位于城市核心区,长度及车道数接近,局部对比如图1所示。

1) 干路E(巴黎香榭丽舍大街):研究路段西起巴黎塞纳河畔,穿过凯旋门,东至协和广场,长约5.1 km,双向8~10车道,行人过街设施62组。

2) 干路A1(纽约西部公路): 位于纽约曼哈顿岛西侧, 研究路段沿哈得逊河北起72街, 南至曼哈顿岛南端, 长约6.6 km, 双向8~10车道, 行人过街设施43组。

3) 干路A2(纽约第一大道): 位于纽约曼哈顿岛东侧, 研究路段沿东河北起125街, 南至休斯顿东街, 长约9.9 km, 单向6车道, 行人过街设施121组。

4) 干路B(东京京叶大道): 横亘东京市中心区, 东西走向, 中段跨隅田川, 西段紧邻皇宫北侧, 研究路段长约10.8 km, 双向6车道, 行人过街设施92组。

5) 干路C1(上海市世纪大道): 斜穿上海市浦

东CBD区, 研究路段经过东方明珠、陆家嘴绿地、金茂大厦, 东至世纪公园, 长约4.4 km, 双向8~10车道, 行人过街设施16组。

6) 干路C2(上海市东纵): 贯穿上海市浦西东部, 研究路段北起五角场, 经铁路新村、同济大学、外滩、十六铺等人流密集区域, 南至复兴东路, 长约10 km, 双向6~8车道, 行人过街设施44组。

基于地图查询与Google Earth测量, 得到6条干路过街设施的间距统计值(见表1)。从过街设施的平均间距来看, 世纪大道是香榭丽舍大街的3.5倍、西部公路的1.9倍, 东纵是第一大道的2.8倍、京叶大道的1.9倍, 也就是说, 上海市居



图1 干路过街设施空间布局比较

Fig.1 Comparison of facilities arrangement for arterial pedestrian crossings

民过街绕行距离约为这几个城市的2~3倍。在国外的4条干路上, 过街设施间距大于300 m的路段十分少见, 而在上海市的两条干路上, 这种情况却普遍存在, 部分路段的过街设施间距甚至超过了600 m。

影响过街设施间距的首要因素是路网密度: 在曼哈顿, 密布的方格路网既有利于行人快捷过街, 又便于组织单向交通。在巴黎、东京, 轨道交通建设时兼顾了居民的地下过街需要, 同时缓解了地面过街压力。而上海市过街设施间距偏大的主要原因有3点: ①路网形态较差且密度过低; ②缺乏路段人行天桥(如世纪大道金茂大厦前); ③建设轨道交通站厅时未兼顾行人过街通道。

2.2 信号配时比较

因忽略了行人等候耐受力而仅考虑对机动交通通行能力的影响, 上海市东纵29组信号控制设施的平均红灯时间高达143 s, 有24处红灯时间超过了120 s, 10处绿灯时间仅为30 s, 此类交叉口往往会成为事故高发地。在东纵最危险的10处行人过街设施中(7年来行人年均死伤人数 ≥ 1 人), 8处为信号控制交叉口(平均红灯时间158 s), 7处红灯时间大于120 s, 5处绿灯时间仅为30 s。国外的行人过街设施信号配时则相对合理, 主要得益于其人性化的设计规范, 例如最新的德国交通信号控制规范(2006)^[12]指出, “当绿灯时间太短或等待时间太长, 行人常会闯红灯, 若无法避免行人等待时间超过60 s, 应检验是否可在一个

周期内分配行人两次绿灯”。

综上所述, 国内城市干路的过街便捷程度同国外发达城市仍存在较大差距, 空间的合理布局与时间的合理控制无疑应成为我国城市干路过街设施规划的重要方面。为了提供更加人性化的过街设施, 行人的行为和意愿应该成为规划设计的主要依据。

3 行人过街时空阈值

行人对使用过街设施完成穿越所派生的绕行距离、等候时间存在一定的容忍限度, 超过此限会感到不适甚至铤而走险, 该容忍距离、时间可定义为行人过街绕行阈值、等候时间阈值, 合称为行人过街时空阈值, 按不适程度可分为两级(理想阈值和极限阈值), 如图2所示。

为确定不同道路、不同年龄行人过街的理想、极限时空阈值, 本研究组织了问卷式意愿调查, 行人过街时空阈值的调查结果如表2、表3所示。被调查者分为3组: ①少年组平均年龄12岁, 样本量26人; ②青年组平均年龄25岁, 样本量28人; ③老年组平均年龄70岁, 样本量32人。其中, 主干路按人车隔离程度的强弱分为A, B两类: A类主干路难以穿越, B类主干路易于违章穿越。

3.1 绕行距离阈值

不同等级道路上居民可接受的过街绕行距离(至最近过街设施单向距离)显著不同, 次干路、

表1 城市干路过街设施间距比较

Tab.1 Comparison of spatial separation for arterial pedestrian crossings

项目	E	A1	A2	B	C1	C2
过街设施平均间距/m	84	156	81	118	293	230
过街设施间距中位值/m	69	157	80	103	301	226
过街设施最大间距/m	274	460	178	423	623	648
间距大于300 m的过街设施比例/%	0	9	0	5	53	39

B类主干路、A类主干路的理想绕行阈值分别为40 m, 62 m和71 m, 极限绕行阈值分别为74 m, 124 m和152 m。在各类场景所有被调查者的绕行距离阈值中, 最大值为300 m, 最小值为12 m。

各年龄段中, 老年人可接受的过街绕行距离最短, 次干路、B类主干路、A类主干路的极限绕行阈值分别为55 m、88 m和108 m, 仅为平均水平的70%。

性别层面, 青年女性可接受的过街绕行距离较远, 比男性高出10%~30%。但在老年组, 女

性的极限绕行阈值明显比男性短, 仅为全市平均水平的50%左右。

调查结果表明, 居民若在上(下)公共汽车前(后)过街, 过街绕行距离阈值会大大降低, 主、次干路的极限绕行距离阈值分别为100 m和63 m。这或许可以解释为何道路中央公共汽车站附近乱穿马路现象更加频繁, 无疑与过街设施的缺位或相距过远有关。

3.2 等候时间阈值

不同等级道路居民可接受的等候时间显著不

表2 城市干路行人过街绕行距离阈值
Tab.2 Threshold of detour-distance for arterial pedestrian crossings

行人类型	理想绕行距离阈值/m			极限绕行距离阈值/m				N ^②		
	A类主干路	B类主干路	次干路	A类主干路	B类主干路	次干路	主干路乘公共汽车过街 ^①		次干路乘公共汽车过街 ^①	
少年组	男性	84	60	47	182	155	73	123	91	11
	女性	86	80	57	174	141	104	128	105	13
	平均	85	70	52	178	148	88	126	98	24
青年组	男性	72	66	29	144	118	61	69	37	16
	女性	74	65	32	169	133	85	88	44	10
	平均	73	66	30	156	125	73	79	41	26
老年组	男性	50	46	46	133	115	68	86	58	9
	女性	45	39	32	82	61	43	104	32	7
	平均	47	43	39	108	88	55	95	45	16
全市平均	71	62	40	152	124	74	100	63	66	

①乘公共汽车过街绕行阈值定义为:到道路对面公共汽车站乘车时,可以承受的过街绕行距离(有折返时以单向最大距离计);
②N为有效样本量,当被调查者回答某类问题表述严重不一致时视作废卷(老龄组废卷率较高),有效样本量少于总样本量。

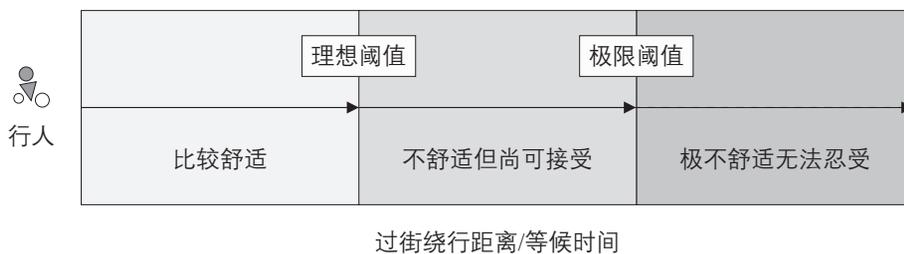


图2 行人过街时空阈值的界定

Fig.2 Thresholds of detour-distance and waiting-time for arterial pedestrian crossings

同, 次干路、B类主干路、A类主干路的理想等候时间阈值分别为45 s, 64 s和65 s, 极限等候时间阈值分别为78 s, 109 s和122 s。在各类场景所有被调查者的等候时间阈值中, 最大值为220 s, 最小值为15 s。

各年龄段中, 青年、老年过街极限等候时间阈值较接近, 显著短于少年。在次干路、B类主干路、A类主干路上, 青年的极限等候阈值分别为77 s, 109 s和113 s。

性别层面, 男性、女性可承受的过街等候时间相差不大, 老年女性最短, 其在次干路、B类主干路、A类主干路的极限等候阈值分别为77 s, 103 s和107 s。

综上所述, 不同类型的城市干路上, 行人过街时空阈值显著不同。总体来说, 少年过街时空阈值最大, 老年人可承受的过街绕行距离最短, 青年可承受的过街等候时间最短。

4 城市干路过街设施时空阈值

4.1 过街设施间距阈值

《城市道路交通规划设计规范》^[13]中规定,

在城市主干路和次干路路段上, 人行横道或过街通道的间距宜为250~300 m。该指标未能考虑区位及用地差异, 对过街设施最大间距的约束作用十分有限。

除了行人过街绕行距离阈值, 干路过街设施间距阈值还取决于3类空间因素: 道路等级、用地类型及步行强度。①道路等级越低, 机动化优先程度越低, 步行过街设施间距宜取较小值(次干路<B类主干路<A类主干路<快速路); ②用地类型越趋近生活化, 过街设施间距越宜取较小值(居住及社会服务用地<商业及办公用地<对外交通用地<绿地<工业仓储用地); ③步行强度越大, 过街设施越应密集布置(市中心<城市副中心<地区中心<其他区位)。

总体而言, 干路过街设施间距在居住区、商业街等步行密集区域不应大于250 m, 在工业园区等步行活动较少区域不宜大于300 m, 不得大于500 m。以行人过街理想、极限绕行距离阈值的双倍为基准, 结合3类空间因素做出调整, 得到干路过街设施间距阈值, 如表4所示。表中数值为干路过街设施间距的最大值而非推荐值(文献[7]和[13]中是最优推荐值, 相对偏大), 合理

表3 城市干路行人过街等候时间阈值

Tab.3 Threshold of waiting-time for arterial pedestrian crossings

步行者类型	理想等候时间阈值/s			极限等候时间阈值/s			N	
	A类主干路	B类主干路	次干路	A类主干路	B类主干路	次干路		
少年组	男性	61	64	48	137	112	83	11
	女性	62	64	49	130	113	80	15
	平均	62	64	48	134	112	82	26
青年组	男性	69	67	42	116	109	82	17
	女性	57	59	31	111	110	73	10
	平均	63	63	36	113	109	77	27
老年组	男性	72	68	52	127	105	72	9
	女性	73	60	54	107	103	77	7
	平均	72	64	53	117	104	74	16
全市平均	65	64	45	122	109	78	69	

间距需专项计算。

为减小重要过街节点的绕行距离,还应结合行人极限绕行距离阈值及行人视距(过街标示牌最大可识别距离约为60~120 m)对过街设施与重要过街节点的间距做出控制:城市干路过街设施距公共汽车站及轨道交通车站出入口一般不大于60 m,不得大于100 m;距中小学校、医院正门一般不大于80 m,不得大于120 m;距居住区、大型商建、公共活动中心出入口不得大于150 m。

4.2 信号配时阈值

城市干路信号配时在保障机动交通基本通行能力的同时,亦应保证所有行人“等得及、过得去”。而在我国相关规范中,对行人过街最长红灯时间、最小绿灯时间均无明确限定。

基于居民过街极限等候时间阈值调查,城市次干路、B类主干路、A类主干路上,过街设施信号控制最长红灯时间分别不得大于90 s、110 s和120 s,即小于1.5~2 min。

上海市中青年居民过街平均步速为1.6~2.2 $m \cdot s^{-1}$,老年居民过街平均步速仅为0.9~1.2 $m \cdot s^{-1}$ 。无安全岛时,必需保证所有老年人能一次完成过街,故绿灯最小时间为 $T \geq L / 0.9$ (L 为人行横道长度);有安全岛时,应保证中青年居民可一次完成过街,则前半幅绿灯最小时间 $T_{\#} \geq L / 1.6$,同时需保证老年居民能分两次完成过街,即 $T_{\#} \geq 0.5L / 0.9$ 。为简化计算,老年、青年过街步速分别取0.9 $m \cdot s^{-1}$ 和1.6 $m \cdot s^{-1}$,机动车道、非机动车道宽分别取3.5 m和5 m,行人清空时间以5 s计,得到不同场景下城市干路过街设施信号控制最短绿灯时间,如表5所示。表中数值为

表4 城市干路过街设施间距阈值

Tab.4 Threshold of spatial separation for arterial pedestrian crossings m

道路类型	居住、社会服务		商业、办公		对外交通		绿地		工业仓储
	甲类 ^①	乙类 ^②	甲类	乙类	甲类	乙类	甲类	乙类	
次干路	150	200	150	200	150	200	200	250	250
主干路(B类)	150	250	200	250	200	250	250	300	300
主干路(A类)	200	300	250	300	250	300	300	400	400
快速路	250	400	250	400	300	400	400	500	500

①甲类:市中心、地区中心等步行强度较高的地块;②乙类:其他步行强度相对较低的地块。

表5 城市干路过街设施信号控制最短绿灯时间

Tab.5 Minimum green signal timing intervals for arterial pedestrian crossings s

双向车道数	一次过街				二次过街(半幅绿灯时间)	
	有非机动车道		无非机动车道		有非机动车道	无非机动车道
	无安全岛	有安全岛	无安全岛	有安全岛		
4~6	40	30	30	20	25	20
8~10	50	40	40	30	30	25
12~14	70	50	60	40	45	40

行人过街绿灯配时的最小值而非推荐值, 合理配时方案仍需专项计算。

5 结语

过街设施布局应兼顾机动交通效率与行人的心理耐受。针对以往干路过街设施布局片面强调小汽车通行能力的问题, 重点研究了不同年龄行人的过街时空阈值, 据此提出了城市干路过街设施时空布局的约束指标, 为行人过街的时空损失划出了人性化“底线”。论文主要研究结论已纳入上海市市政行业标准^[14], 对新建及改建干路的过街设施布局具有一定的指导作用。

参考文献:

References:

- [1] Roupail N, Hummer J, Milazzo II J, Allen P. Capacity Analysis of Pedestrian and Bicycle Facilities: Recommended Procedures for the "Pedestrians" Chapter of the HCM[R]. FHWA-RD-99-107, US: North Carolina State University, 1999.
- [2] Lloyd Wright. *Sustainable Transportation: Sourcebook for Policy-makers in Developing Cites: Preserving and Expanding the Role of Non-motorised Transport* [M]. Germany: Technische Zusammenarbeit(GTZ), 2002.
- [3] Dan Burden. Building Communities with Transportation [J]. *Transportation Research Record Part 1*, 2001, (1773): 5-20.
- [4] Paul M Hess, Anne Vernez Moudon, Mary Catherine, et al. Site Design and Pedestrian Travel[J]. *Transportation Research Record*, 1999, (1674): 9-19.
- [5] 易汉文. 浅议城市道路人行过街横道的合理布设 [J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 1989, 6 (1): 29-33.
YI Han-wen. On the Rational Distribution of the Crosswalk in Urban Road[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science Edition)*, 1989, 6(1):29-33.
- [6] 郭宏伟, 熊辉. 行人过街设施选择偏好研究[A]. 赵胜川, 王生武, 胡祥培. 交通与物流·第六届(2006) 交通运输领域国际学术会议论文集[C]. 大连: 大连理工大学出版社, 2006. 600-605.
GUO Hong-wei, XIONG Hui. A Study on the Preference of Pedestrian's Crossing Facilities Selection [A]. ZHAO Sheng-chuan, WANG Sheng-wu, HU Xiang-pei. *Transportation & Logistics: Proceedings of the 6th International Conference of Transportation Professionals*[C]. Dalian: Dalian University of Technology Press Co., LTD, 2006. 600-605.
- [7] 陆建, 叶惠琼, 姚冬雷. 行人过街设施合理间隔 [J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(4): 63-67.
LU Jian, YE Hui-qiong, YAO Dong-lei. Reasonable Distance of Pedestrian Crossing Facilities [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2002, 2(4):63-67.
- [8] Asaba M, Saito T. Study on Pedestrian Signal Phase Indication System[A]. *Ninth International Conference on Road Transport Information and Control*[C]. London: Baker & Taylor Books, 1998. 182-185.
- [9] Martin A, Johnson Ben. Factors Influencing Pedestrian Safety: Literature Review[R]. UPR SE/199/05, London: Transport Research Laboratory, 2006.
- [10] Kay Fitzpatrick, Shawn Turner, Marcus Brewer, et al. Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Crossings [DB/CD]. Washington DC: TRB, 2006.
- [11] Hubrecht Ribbens. Pedestrian Facilities in South Africa: Research and Practice[J]. *Transportation Research Record*, 1996, (1538): 10-18.
- [12] 德国道路与交通工程研究学会. 交通信号控制指南: 德国现行规范(RiLSA)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
German Road and Transportation Research Associatio. *Guidelines for Traffic Signals*[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- [13] GB 50220—95 城市道路交通规划设计规范[S].
- [14] SZ-C-B03—2007 上海市城市干道行人过街设施规划设计导则[S].