

基于行人过街特性的人行横道信号优化

甄云竹, 康金龙, 李英帅*, 庞聿皓

南京工业大学交通运输工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2021年10月21日; 录用日期: 2021年11月10日; 发布日期: 2021年11月17日

摘要

为了解决行人在通过人行横道时, 由于到达时间不同而引起的剩余绿灯时长不足的问题, 对人行横道信号进行优化。通过对南京市的多个信号控制交叉口进行实地问卷调查、过街行人调查以及现有文献查阅和数据整理, 系统地分析了不同的人行横道长度和不同的年龄段对行人过街时步速的影响。研究表明: 行人过街步速与人行横道长度正相关, 且心理预估步速显著高于实际步速。根据以上特征, 建立行人过街模型, 进而对行人过街信号提出优化方案。

关键词

交通工程, 信号优化, 问卷调查, 行人过街, 速度分析

Optimization of Pedestrian Crossing Signal Light Facilities Based on the Study of Pedestrian Crossing Characteristics

Yunzhu Zhen, Jinlong Kang, Yingshuai Li*, Yuhao Pang

School of Transportation Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing Jiangsu

Received: Oct. 21st, 2021; accepted: Nov. 10th, 2021; published: Nov. 17th, 2021

Abstract

In order to solve the problem of insufficient remaining green light time due to different arrival times when pedestrians pass the crosswalk, the crosswalk signal is optimized. Through on-the-spot questionnaire surveys, pedestrian surveys on pedestrians crossing the street, as well as existing literature review and data sorting at multiple signal-controlled intersections in Nanjing, the in-

*通讯作者。

fluence of different crosswalk lengths and different age groups on pedestrian crossing speed was systematically analyzed. Research shows that pedestrian crossing pace is positively correlated with the length of the crosswalk, and the psychologically estimated pace is significantly higher than the actual pace. Based on the above characteristics, a pedestrian crossing model is established, and then an optimized plan for pedestrian crossing signals is proposed.

Keywords

Traffic Engineering, Optimized Design of Traffic Signals, Questionnaire, Pedestrian Crossing, Velocity Analysis

Copyright © 2021 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

目前,我国的交通信号灯设计,主要以车辆的各项参数作为设计依据,行人的各项参数只是作为设计结果的一个检验标准。而在老龄化问题趋势下,这样的设计理念对老年人并不友好。且随着社会发展,道路越来越宽,普通行人的过街也有一定安全隐患。因此,优化行人信号设施变得极为关键。

国内外研究人员在行人过街方面开展了一系列的研究。Zhuang Xiangling [1] [2]研究发现,在通关阶段到达的行人强烈偏向于“穿越”而不是“等待”的决定(85.2% vs. 14.8%),他还发现行人对道路宽度的估计并不一定是准确的。因此估计通行时间会是不准确的判断。Marisamynathan [3]提出了行人年龄分布与过街群体规模的影响更大,并且运用了 SPSS16 进行统计分析将行人到达分布及各项参数进行平行对比。杜先汉[4]分析了现有信号设施的缺陷,提出了现有交通设施设计没有与行人出行特性结合,人行过街信号设施不太人性化。周泱[5]分析了绿闪信号阶段行人的步速特征得出绿闪信号范围内不同时段开始过街的行人步速明显加快,但加速度不大。冯树民[6]的研究表明行人在通过人行街道时,受尽快离开险地的心理所支配,人行横道越长,这种心理表现得越发明,其行走速度也就随之加快。张惠玲[7]研究发现路段上老年人的步行速度、步频、步幅均低于成年人,且老年人在信号交叉口的步行速度显著高于路段的步行速度,而成年人在路段和信号交叉口的步行速度相差不大。武嘉玮[8]得出行人过街的行为特征分析以及预测出行人的过街行为。詹晓松[9]通过调查得到 15%位行人速度为 1.123 m/s,为保证老年人安全和便捷,突出以人为本、保护弱势群体的原则,最后推荐采用的信号交叉口行人过街设计速度为 0.90~1.15 m/s。赵莹莹[10]采用视频观测法,对行人步速进行调查得出老年人步行速度较慢且步伐较为均匀,主要分布于 0.9~1.6 m/s; 中年人瞬时速度相对离散,分布区间主要在 1.1~2 m/s; 青年人相对中年组更加离散,主要分布在 1.2~2.8 m/s。任炜[11]通过对不同区域行人交通特性的调查,得出在不同地域环境的影响下行人通过人行横道的速度存在着显著差异。

综上所述国内外学者对于行人信号的研究方向多为调查信号交叉口行人过街设计速度,只给出了设计调查地区的一般情况,不具有普适性,且没有将调查结果转化为对现状的优化。考虑到老年人作为行人的特殊部分,应本着“以人为本、保护弱势群体”的原则,进行人性化设计,以保证老年人的安全。本文拟采用观测法和问卷调查法对行人过街进行调查,数据利用相关性和假设检验分析行人过街特性及影响因素,通过回归方法建立多因素影响下的行人过街时间模型,并利用研究结果对行人信号灯中的绿闪相位进行优化。

2. 数据采集与分析

2.1. 调查方案设计与实施

采用人工调查法对南京市行人过街时间进行调查, 将被调查人群分为普通行人(小于 65 岁)与老年行人(大于 65 岁), 调查不同年龄段行人通过人行横道的时间, 并以问卷的方式调查行人的过街心理及预期速度。根据调查所记录的数据分析行人的过街速度, 并结合行人的过街心理, 对人行横道绿灯闪烁时间进行优化。

调查时间涵盖一天内的多个行人出行高峰时间段。选择具有代表性的交叉口或人行横道如城市繁华路段、学校附近的大型交叉口、居民区附近的交叉口, 商业区附近的交叉口等。附近 100 m 内有人行过街天桥或地下通道的交叉口不予选择。调查内容有行人过街的实际时间, 行人过街的心理预期时间, 绿灯时长, 人行横道距离, 行人对人行交通设施的态度, 道路路况等。

2.2. 调查数据处理与分析

2.2.1. 普通行人步速的提取与分析

选取了南京市区的 4 条不同的人行横道进行了调查, 结果如表 1 所示。

Table 1. Average pace table of ordinary pedestrians

表 1. 普通行人平均步速表

龙华路白马路东西侧方向北侧(m/s)	云南北路湖北路东西向南侧(m/s)	龙华路浦口大道西北侧(m/s)
1.330	1.374	1.417

2.2.2. 老年行人步速的提取与分析

受到调查条件限制, 针对老年人的步速我们采取文献调查的形式。

周涛等通过在南京的调研, 认为老年人的过街步速主要集中在 1.0~1.4 m/s, 均值在 1.05 m/s 左右。尹春娥等通过在郑州的调研, 认为老年人的过街步速受年龄段影响, 结果如表 2 所示。

Table 2. The crossing speed of elderly people of different ages

表 2. 不同年龄段的老年人过街速度

年龄段(岁)	均值(m/s)	样本容量(个)
60~65	1.23	285
65~70	1.14	277
≥70	1.00	300

由上可知, 排除高龄老人后, 老年人的平均步速集中在 1.15 m/s 左右, 最大值在 1.45 m/s 左右, 再结合实际调查研究, 老年人过街时的步速大约在 1.15 m/s~1.40 m/s 之间。

2.2.3. 行人心理步速分析

行人心理步速数据主要来源于问卷表上的主观问题答案, 经统计可得表 3:

Table 3. Pedestrian's psychological speed and actual speed

表 3. 行人心理速度与实际速度

统计量	心理预测普通速度(m/s)	心理预测最快速度(m/s)	实际速度(m/s)
120	1.779	3.257	1.321

通过对问卷的结果分析,行人的心理步速与行人实际速度存在偏差,平均心理步速约高出平均实际步速 0.5 m/s,且行人对自己快速通行速度的预估过大。该现象会影响行人进入人行横道前的决策。通过查阅相关文献对该现象进一步研究。

Zhuang Xiangling 研究发现,在通关阶段到达的行人强烈偏向于穿越而不是等待。但是,只有 6.2%的行人在红灯出现之前成功通过,而其他人在红灯期间未能通过人行横道。行人在过街时一般存在两种决策行为:提前决策和即时决策。提前决策的情况下,行人会参考自身的实际速度,以及过街的剩余时间,来决定是否过街。即时决策的情况下,行人只考虑车辆的间隙是否允许通过。

对于有剩余时间信号灯的路口,剩余时间也是一个辅助判断,但这并不是帮助行人的最佳提示。判断剩余时间是否足够长到可以安全穿越,心理过程可能包括对道路宽度,和自身速度的估计。所以是否要过街,大部分人都不会去过多的考虑自身速度与剩余时间的关系,行人不会在过街时做如此复杂的数学题,而是走到了路口做出临时决策,这样的一个思维过程,大大增加了行人无法在红灯亮起前完成过街的概率。

由于行人在过马路时对时间和距离没有正确的认知。现有绿闪提示存在缺陷,应给过街行人一个合适的提示,辅助其做出是否过街的决策。

2.2.4. 人行横道长度与行人步速的关系

为探究不同人行横道宽度对于行人过街时间的影响,从河西大道江东中路交叉口南北向西侧调查的数据中抽取 30 组行人过街时间,再通过人行横道长度求出过街时间,进行数据分析,得表 4。

Table 4. The north-south to the west side of the intersection of Hexi Avenue and Jiangdong Middle Road
表 4. 河西大道江东中路交叉口南北向西侧

统计量	极小值(m/s)	极大值(m/s)	均值(m/s)	15%位速度(m/s)	85%位速度(m/s)
30	1.081	1.818	1.453	1.192	1.708

为进一步探究上述观点,进行了文献调查:

刘雪等[12]认为人行横道的长度不仅影响到信号灯长度的设置,也会影响到行人过街的速度,其调查结果如图 1 所示。

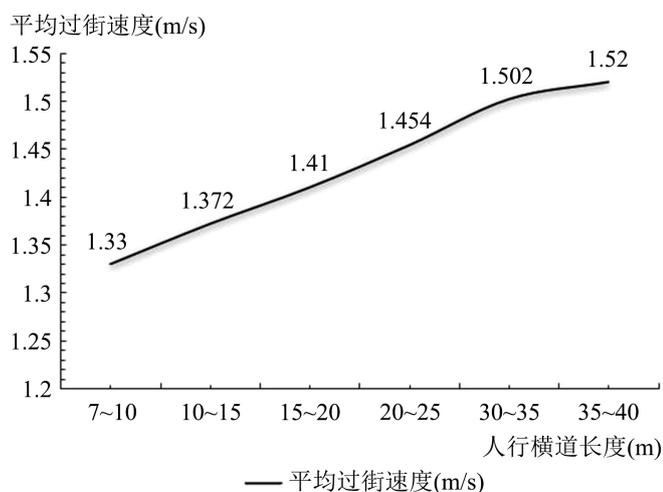


Figure 1. The relationship between average pedestrian crossing speed and crosswalk length
图 1. 行人平均过街速度 - 人行横道长度关系图

通过比较行人在不同长度交叉口的步速, 得出并验证了人行横道的长度会对人们过街速度产生影响, 表现在人行横道越长, 人们处于人行横道的时间越长, 行人的过街速度总体趋向于加快, 且在 10m~35 m 内行人过街速度与人行横道长度近似呈正线性关系, 其增长率约为 8%。

3. 信号灯优化模型建立

3.1. 模型建立

1) 行人正常通过模型:

该模型所计算结果为绿灯时长上的一个临界时刻, 绿灯时间通过该点后, 此时进入人行横道的行人需加快脚步通过。以人行横道长度、人群过街速度为自变量, K 为修正系数建立如下模型

$$T = \frac{C}{KV}。$$

C : 人行横道距离(m);

K : 修正系数;

V : 人群过街速度(m/s)。

2) 行人快速通过模型:

该模型所计算结果为绿灯时长上的另一临界时刻, 绿灯时间通过该点后, 绿灯剩余通行时长已不足行人通过。以绿灯总时长、普通行人最快行走速度、人行横道长度为自变量, 建立如下模型:

$$T_C = T - \frac{C}{V_{p\max}}。$$

T : 该路口的人行信号灯绿灯总时长(s);

$V_{p\max}$: 普通行人(不包括老年人)过街最快行走速度(m/s)。

3) 人群过街速度 V 模型:

人群的过街速度主要受到人群的组成影响, 以不同年龄组(老年人、普通行人)行人步速为自变量, 不同人群的占比为系数, 建立如下模型:

$$V = (1-b) \times V_p + b \times V_l。$$

鉴于上文分析出人行横道与行人的过街步速正向相关的关系, 对模型做两种情况分析, 情况一: 人行横道长度介于 0~20 m; 情况二: 人行横道长度介于 20~40 m。大于 40 m 的人行横道一般会做二次过街处理, 故在此不予考虑。

b : 老年人占比(根据市民政和统计部门的数据显示, 截止到目前, 南京市 65 岁以上人口超过 90 万人, 占 667 万户籍人口的 14%。故 b 取 0.14)。

V_p : 普通人过街步速(m/s) (V_p 在情况 1 下, 一般在 1.20 到 1.40 之间, 取 1.30。于情况 2 下, 一般在 1.40 到 1.60 之间, 不同长度取线性内插值)。

V_l : 老年人过街步速(m/s) (V_l 在情况 1 下, 取 1.15, 在情况 2 下取 1.15~1.40 的线性内插值)。

K 值模型:

K 值为修正系数, 其公式如下:

$$K = 1 - \frac{V - V_{l\max}}{V_{l\max} + V_p}。$$

当计算所得的人群过街速度与老年人过街速度相差过大时, 为照顾老年人较慢的步速, 需要对 V 进

行一定程度的折减, 故 K 一定小于 1, 且随着 V 的增大 K 也将增大。人群步速与老年人步速的差值是影响 K 值的重要变量, 经过大量试算, 最后得出该 K 值公式。

3.2. 模型验证

为了验证模型的可行性与正确性, 为了验证模型的可行性与正确性, 分别对三个交叉口进行验证, 结果如下表 5 所示。

Table 5. Checking results table
表 5. 验算结果表

	K 值	KV (m/s)	交叉口绿灯时长(s)	模型计算的 T (s)
云南北路湖北路东西向南侧	0.994	1.408	28	27
河西大道江东中路南北向西侧	0.943	1.449	43	23
龙华路浦口大道西北侧	0.966	1.482	33	16

4. 信号灯优化方案

根据上文所建立的模型, 删除原有绿闪信号提示, 在现有绿灯时长上加入 2 个新的信号灯提示, 如图 2 所示:

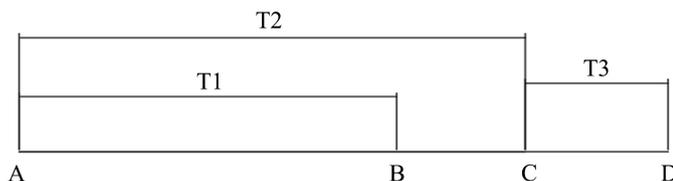


Figure 2. Schematic diagram of optimization scheme
图 2. 优化方案示意图

如上图所示 AD 为行人横道红绿灯绿灯通行时间。

T1 (安全绿灯时间): 此时间段内任意时刻行人进入人行横道, 能以正常的步速通过该人行横道。**T2 (有效绿灯时间):** 此时间段内任意时刻行人进入人行横道, 能以较快的速度通过该人行横道。**T3 (清尾绿灯时间):** 此时间段内任意时刻行人进入人行横道, 将不能通过该人行横道。

B 点是行人能否以正常速度通过该横道的临界点, 由行人正常通过模型计算可得出, **C 点**是行人能否以较快速度通过该人行横道的临界点, 由行人快速通过模型计算可得出。

在 **B 点**之后加入绿色闪烁信号灯, 且随时间的减少, 绿色闪烁的频率加快, 通过该方式提示行人需要加快速度通过该横道。在 **C 点**加入黄色闪烁信号灯, 来提示行人此时进入人行横道将有大概率不能在绿灯时间内通过该横道, 应在横道入口等待下一个绿灯; 已经处于横道内的心人应加快速度通过。

上述两种信号灯的加入, 能帮助行人在到达人行横道时做出更为准确的判断, 从而减少不能在绿灯时长内通过的情况, 降低行人过街的危险, 提高车辆通行效率。

若出现现有绿灯时长不能满足 **B 点**的存在, 则认为该绿灯配时不合理, 需重新进行设计。

5. 结论

论文研究得出以下结论:

- 1) 在 10 m~35 m 内行人过街速度与人行横道长度近似呈正线性关系, 其增长率约为 8%。
- 2) 行人的心理步速与行人实际速度存在偏差, 平均心理步速约高出平均实际步速 0.5 m/s。
- 3) 行人在决定是否进入人行横道时, 通常采取临时决策, 不会过多考虑自身速度与剩余时间的关系, 即使考虑也会因为心理速度与实际速度存在偏差, 导致误判而进入横道。
- 4) 现有人行横道信号灯对行人的提示效果不足, 建议参考该文调整绿闪信号灯, 增设黄色信号灯, 来增强对行人的引道作用。

基金项目

道路交通安全公安部重点实验室开放课题(2017ZDSYSKFKT01)、南京工业大学青年教师科研启动基金项目(3827400205)、2020 年南京工业大学江苏省“大学生创新创业与实践开放基金”项目(32131101)。

参考文献

- [1] Zhuang, X., Wu, C., Ma, S., et al. (2018) Cross or Wait? Pedestrian Decision Making during Clearance Phase at Signalized Intersections. *Accident Analysis & Prevention*, **111**, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.019>
- [2] Zhuang, X. and Wu, C. (2018) Display of Required Crossing Speed Improves Pedestrian Judgment of Crossing Possibility at Clearance Phase. *Accident Analysis & Prevention*, **112**, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.022>
- [3] Marisamynathan, S. and Vedagiri, P. (2019) Pedestrian Perception-Based Level-of-Service Model at Signalized Intersection Crosswalks. *Journal of Modern Transportation*, **27**, 266-281. <https://doi.org/10.1007/s40534-019-00196-5>
- [4] 杜先汉. 行人过街交通特性研究综述[J]. 交通标准化, 2014, 42(23): 14-17.
- [5] 周洪, 周竹萍, 徐永能, 蔡逸飞. 交叉口绿闪信号行人过街行为模型[J]. 交通信息与安全, 2018, 36(1): 74-80.
- [6] 冯树民, 吴阅辛. 信号交叉口行人过街速度分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004(1): 76-78.
- [7] 张惠玲, 葛鹏. 信号交叉口过街老年人比例与行人步行速度关系分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(18): 287-292
- [8] 武嘉玮, 张梦瑶, 李纯清, 祝丽莉, 赵杰. 信号交叉口行人过街行为研究分析与建模[J]. 交通世界(运输车辆), 2011(9): 100-101.
- [9] 詹晓松. 城市信号交叉口行人过街速率分析[J]. 交通科技与经济, 2012, 14(5): 73-76.
- [10] 赵莹莹, 曲昭伟, 江晟, 胡宏宇, 胡金辉. 基于视频的行人过街速度特性[J]. 吉林大学学报(工学版), 2013, 43(2): 298-303.
- [11] 任炜, 邵长桥. 行人通过人行横道交通行为初步分析[J]. 道路交通与安全, 2006(3): 33-36.
- [12] 刘雪, 李军令, 刘斯津. 长春市行人过街速度特性调查分析[J]. 长春师范大学学报, 2016, 35(8): 21-23.