

校园步行人流集散特性及峰值计算研究

林思能

(广东工业大学 土木与交通工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 通过对上、下课学生步行集散的实地调查, 分析学生上课前在课室的到达规律和下课后从课室往生活区的疏散规律, 通过统计分析得到集散的时间分布函数; 用随机模拟方法模拟学生疏散的随机过程, 通过统计模拟结果得到步行道上人流集散时间分布曲线及集散峰值. 研究表明, 随机模拟是研究校园步行集散特性的一种有效方法, 其应用能为校园步行交通组织、步行设施的设计和评价提供依据.

关键词: 校园步行; 人流集散; 峰值; 随机模拟

中图分类号: U491.2*26

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)04-0019-05

校园步行交通设施设计须依据合理的设计指标与标准进行, 不恰当的设计指标与标准会导致设施资源浪费(标准过高)或设施服务水平低下(标准过低), 过低的设计标准还将埋下人群聚集的安全隐患, 突发事件下易引发人群拥挤事故. 因此, 校园步行人流集散峰值的计算, 对于指导安全、舒适的步行设施设计具有重要意义.

1 校园步行需求

尽管社会上汽车普及程度在迅速提高, 但步行交通仍是校园内交通的主体. 校园行人交通系统将校园各个功能区(行政办公楼、教学楼、宿舍区、食堂、图书馆、体育馆、运动场、绿化地带等)连接成一个有机整体.

1) 步行目的

校园内的步行出行, 主要是师生在各个功能区之间移动的交通性出行, 如从宿舍区到教学楼、从教学楼到食堂等; 另外也有部分健身、休憩性的出行, 如跑步、散步等.

2) 步行距离

校园内的步行出行, 主要是师生在各个功能区之间移动, 行人步行距离不会太远, 一般不超过 1 km.

3) 步行潮汐性效应

步行潮汐性效应源于学生一致的作息时间表, 由于作息时间表一致, 学生在校园功能区之间移动的时间也基本一致, 因此形成步行人流在功能区之间潮水般的流动, 如上课前从宿舍区流向教学楼、下课时从教学楼流向食堂.

4) 步行需求强度

步行人流潮汐的持续时间较短, 但强度很大. 可以根据校园功能区的规模预测步行需求的强度, 如生活区到教学区的步行需求, 见图 1.

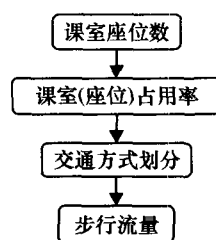


图1 步行需求预测

5) 步行服务水平

上、下课潮汐性集散时步行群体的目的性比较统一, 同时由于结伴出行较多, 行人步行速度、步幅都明显地减小, 对个人空间的要求也会相应降低, 相应的服务水平也较低; 非潮汐性集散时步行道服务水平较高.

2 人流集散特性

校园中人流高强度集散主要发生在目标高度一致的人群移动, 如上课前从宿舍区流向教学楼、下课时从教学楼流向宿舍和食堂.

2.1 学生到达规律

为了研究学生从生活区到教学楼的聚集规律, 可以实地调查学生到达课室的时间分布. 本文应用了广东工业大学学生课外学术科技立项项目的调查数据, 该调查时段为上午第一节课上课前, 调查地点为广东工业大学大学城校区教学楼, 调查样本数为 1 000 人, 结果如表 1.

表1 学生上课前到达调查统计

距上课时间/min	比例/%
<5	34.25
5~10	22.55
10~15	14.85
15~20	9.75
20~25	7.45
25~30	4.55
30~35	2.75
35~40	1.85
40~45	1.25
45~50	0.75

假定学生上课到达时间分布服从负指数分布,其概率密度函数为

$$f(x;\lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (1)$$

累积分布函数

$$F(x;\lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (2)$$

1) 参数 λ 的最大似然(maximum likelihood)估计值为^[1]

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{x}},$$

根据表1的调查结果,计算得到 $\hat{\lambda} = 5.0254$.

2) 分布拟合检验—— χ^2 检验

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^g \frac{(f_i - F_i)^2}{F_i} = 19.5216.$$

对 $\chi_a^2(g-a-1)$, 查 χ^2 分布表得 $\chi_{0.01}^2 = 20.090$, $\chi_{0.05}^2 = 15.507$, 有 $\chi_{0.05}^2 < \chi^2 < \chi_{0.01}^2$.

因此,学生上课到达时间分布与负指数分布拟合程度稍差,但尚属可以接受,见图2.

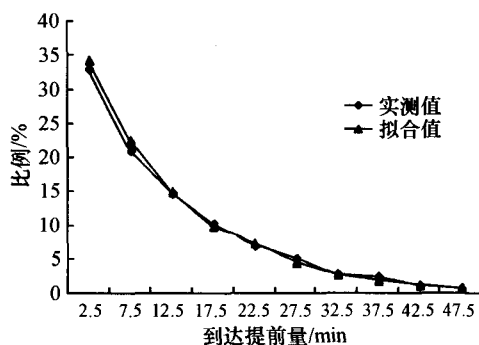


图2 学生到达规律

根据式(1),学生上课到达时间分布服从负指数分布,在某一时段 $[t_i, t_j]$, 学生到达数为

$$P_{ij} = \int_{t_i}^{t_j} \lambda e^{-\lambda t} dt,$$

可计算学生在该区间的平均到达率

$$\bar{v} = P_{ij} / (t_j - t_i).$$

从图2可知,到达课室的人流量峰值出现在上课前夕,考虑到步行所需时间,课室外人行道上人流峰值出现的时间比到达课室的峰值时间会有一个提前量.到达课室的人流有一部分是骑自行车到达,且宿舍区有不止一条道路可通达教学楼,在计算教学楼周边道路断面最大人流量时,应考虑骑车到达人数的比例以及步行人数在教学楼周边不同道路上的分配比例.

2.2 学生下课疏散规律

对学生下课疏散的时间分布,本文同样应用了广东工业大学学生课外学术科技立项项目的调查数据,该调查反映了学生下课后离开课室的疏散规律,调查时间为上午第4节课下课后,调查地点为广东工业大学大学城校区教学楼,调查样本数为1122人,结果如表2及图3.

表2 学生下课后离开课室调查统计

距下课时间/min	比例/%
<3	93.0
3~5	2.9
5~10	1.7
10~15	1.3
15~20	0.9
>20	0.2

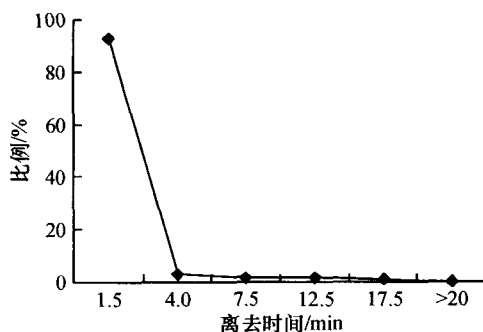


图3 学生疏散规律

从图3可以看出,下课后学生都急于离开课室到生活区的饭堂,疏散的时间较短,5 min内疏散的学生数已超过95%,学生疏散的时间分布很难用函数关系式表示,但可以确定在下课的5 min内大部分上课的学生将迅速疏散到课室通往生活区饭堂的路上.

与上课前的人流聚集类似,下课疏散人流有一部分是骑自行车离开,且教学楼有不止一条道路可

通达生活区饭堂,在计算教学楼周边道路断面最大疏散人流量时,应考虑骑车人数的比例以及步行人数在不同道路上的分配比例。

3 道路上人流集散峰值的计算

比较学生上课聚集规律和下课疏散规律,由于学生下课疏散时间很短,疏散人流峰值比上课前聚集时的人流峰值要大,故以下课疏散为例计算道路上人流集散的最大值。

步行道上的人流由下课后离开各个教学场所的人流汇集而成。对步行道上的每个步行者而言,老师宣布下课的时间、从座位上到离开课室的时间、步行速度、对步行路径的选择等都是在一定范围内随机变化的,可以用计算机模拟的方法计算人群聚集相关指标^[2-3],模拟每一个步行者下课离开课室步行到生活区饭堂的随机时间,从而得到步行道上人流集散峰值及峰值的持续时间。

模拟时可以考虑下课铃响时刻作为模拟时钟的基点时间,为避免下课时间参差致使模拟事件的发生时刻为负值,取下课铃响时刻的前 2 min 作为模拟时钟的基点时间,每位步行的学生从模拟系统统计时到达步行道某参照断面的时间 T 为

$$T_i = T_{ia} + T_{ib} + T_{ic},$$

其中, T_{ia} 为教师宣布下课的时刻,此时间不等于下课铃响的时间,据调查,该时间服从正态分布,分布参数:均值 $M_a = 2$,方差 $SD_a = 0.6$ 。 T_{ib} 为学生从老师宣布下课到离开课室的时间,根据前述的调查,学生下课离开课室的时间分布如图 3 的疏散曲线所示。 T_{ic} 为学生从课室到通往生活区的步行道上某观测断面的时间,据调查,该时间服从正态分布,分布参数:均值 $M_c = 8$,方差 $SD_c = 1.3$,对不同的步行道,由于观测断面的选取是灵活的,可以选取适当的观测断面使分布参数一致。

用模拟方法计算每个学生下课离开课室步行到生活区饭堂的时间,统计出各路径上的人流峰值。

4 算例

广东工业大学大学城校区共有 6 座教学楼,课室(包括普通课室、多媒体课室、设计课室、语音室)座位数共计 33 161 个。

教学区与生活区之间由双向 6 车道的中环西路分隔,两区之间主要步行通道有 3 处,如图 4 中 A、B、C 所示。其中 A 处上跨中环路,且无信号灯控制,对交通影响最大;B 处下穿中环路,是原设计的主要

人行通道;C 处往西 600 m 有一处信号灯交叉口可以走人行横道线穿越中环西路。

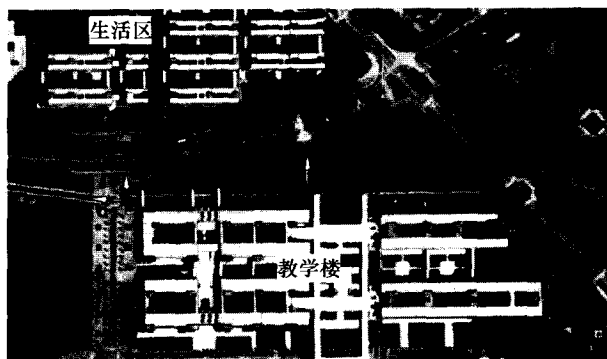


图 4 教学区、生活区联系示意图

教学区第 4 节课下课疏散总人数可表示为

$$S = RK_a K_b,$$

式中, R 为课室总座位数, K_a 为第 4 节课的课室使用率, K_b 为课室座位占用率。按最不利情景考虑, K_a 取 0.85, K_b 取 0.80, 则疏散总人数 $S = 22\ 549$ 。

根据调查,学生下课步行占 60%,骑自行车占 40%。步行者中走 A 路径占 46%,B 路径占 40%,C 路径占 14%;对自行车,A 路径不适合自行车,B 路径占 60%,C 路径占 40%。

在计算机上模拟教学区第 4 节课下课学生的疏散过程,如前所述,第 4 节课下课铃响时刻的前 2 min 作为模拟时钟的基点时间,模拟结果的统计曲线见图 5 ~ 图 10。

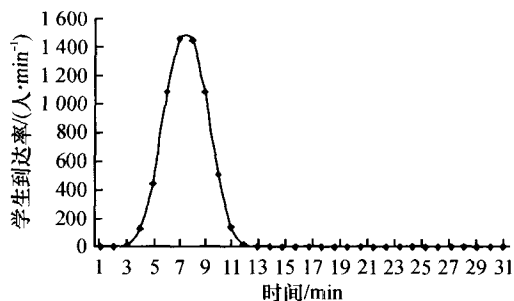


图 5 步行道 A 的到达率

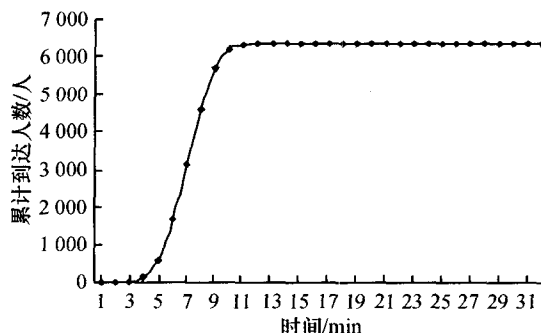


图 6 步行道 A 的累计到达人数

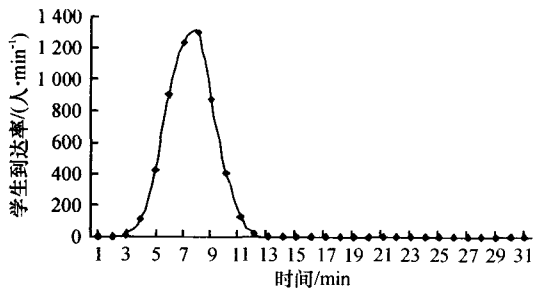


图7 步行道 B 的到达率

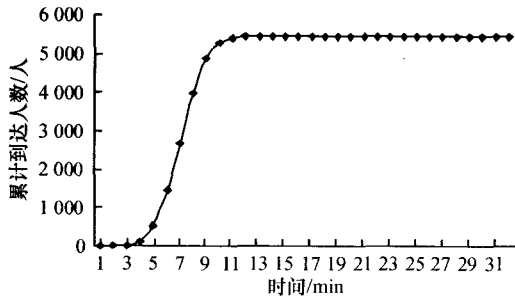


图8 步行道 B 的累计到达人数

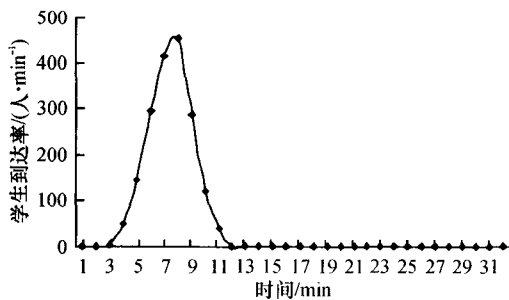


图9 步行道 C 的到达率

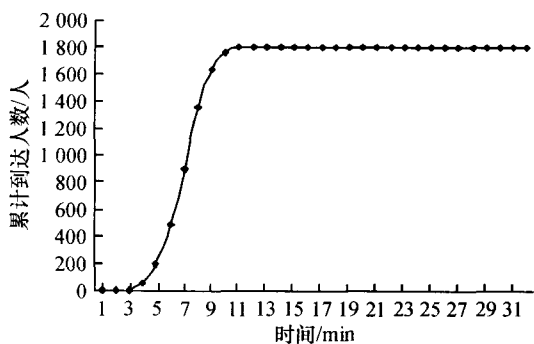


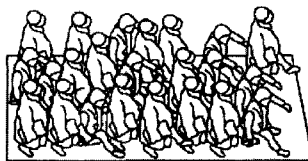
图10 步行道 C 的累计到达人数

从上述曲线可知,步行道 A、B、C 的行人到达率峰值分别为 1 430、1 300 和 450 人/min,实测步行道 A、B、C 的道路宽度分别为 15、18 和 6 m(已扣减自行车占用宽度),可得行人流量分别为 95、72 和 75 人/(min·m),其中步行道 A 的流量已超过单向水平通道的最大流量值^[4],导致部分行人需行走在步行道以外的草地上。

根据美国道路通行能力手册(HCM2000),行人步行服务水平标准分为 6 个等级(A~F)^[5],计算案例中步行道在步行高峰时段服务水平为 E、F 级。表 3 为高密度(低服务水平)条件下行人交通特征描述,在这种服务水平条件下,步行人流的运动受到一定的限制,行人行走非常困难。需要特别注意行人交通的安全性。

表3 步行道服务水平及行人交通特征描述

服务水平	交通特性
E 级	1)行人占有空间 > (0.74 ~ 1.39) m ² /人;
	2)流量 > (49 ~ 75) 人/(min·m);
	3)所有人正常的步行速度受限制,且必须频繁调整步伐,在小范围内只能靠推搡才能向前移动,没有足够的空间用于超过速度较慢的行人;
	4)交叉和反向人流的行进非常困难;
	5)该水平下的最大服务流量接近人行道通行能力,人流停停走走,或出现阻塞。
F 级	1)行人占有空间 ≤ 0.74 m ² /人;
	2)流量处于变动状态;
	3)所有人的步行速度严重受限,只有靠推搡才能向前移动;
	4)行人间的身体接触不可避免,而且相当频繁,交叉和反向行走已不可能;
	5)人流处于间歇的不稳定状态。



由步行道行人到达率变化曲线可以看出,行人流量高峰时段持续时间不长,也就是步行服务水平低只出现在一较短的时段内。服务水平的提高不一

定要通过改善道路硬件设施来实现,可以通过合理的交通组织提高步行人流的安全性、有序性及便利性。

5 结束语

校园人流集散峰值出现在校园功能区之间的潮汐性人流移动中,通过实地调查可以得到人流集散的时间分布特性,可以用随机模拟的方法模拟学生集散过程,统计各步行道上的人流峰值,为校园步行交通组织、设施的设计和评价提供依据。

参考文献:

[1] Donald E Knuth. The Art of Computer Programming volume

2: Seminumerical Algorithms [M]. Third Edition. Boston: Addison-Wesley. 1998.

[2] 何宇强,毛保华,丁勇,等. 铁路客运站最高聚集人数模拟计算研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(1):213-216.

[3] 何宇强,毛保华,陈绍宽,等. 铁路客运站旅客最高聚集人数计算方法研究[J]. 铁道学报,2006,28(1):6-11.

[4] 陈小鸿,叶建红. 步行设施行人交通特性研究[C]//同济大学. 第七届世界华人交通运输学术大会论文集. 北京:人民交通出版社,2007:545-552.

[5] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual [M]. Washington D. C. : National Research Council,2000.

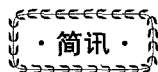
Research on Assembling and Dispersing Characteristics & Peak Value of Pedestrian Flow on Campus

Lin Si-neng

(Faculty of Civil and Transportation Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The survey was conducted of the assembling and dispersing of pedestrians on campus, the characteristics of students' getting to and leaving classrooms were analyzed, and corresponding time distribution curves and the peak value of pedestrian flow were got. The stochastic computer simulation shows that the method is effective.

Key words: walking on campus; assembling and dispersing of pedestrians; peak value; stochastic simulation



我校两期刊双获教育部奖励

2010年11月6日至11日,中国高校科技期刊研究会第14次年会暨科技期刊奖颁奖大会在重庆召开,《广东工业大学学报》获“第3届中国高校特色科技期刊”称号,我校《工业工程》杂志获“第3届中国高校优秀科技期刊”称号。本次评奖由教育部科技司委托中国高校科技期刊研究会承办,根据审读情况、编校质量和印刷装订质量、学术评价指标等各项指标的得分评出。这是我校科技期刊连续2届获教育部奖励,表明两刊的办刊质量持续处于较高水平,为进一步建设一流科技期刊打下了坚实基础。

《广东工业大学学报》编辑部