

文章编号:1005-0523(2018)01-0063-06

地铁枢纽通勤乘客体能消耗实验设计及感知分析

滕靖¹,段帅¹,胡媛²,陈悦勤²

(1.同济大学道路与交通工程重点实验室,上海 201804; 2.上海轨道交通运营中心,上海 200070)

摘要:大城市地铁对通勤出行者吸引力不断增强,地铁通勤大客流现象呈常态化趋势。地铁枢纽作为地铁网络节点,通勤大客流现象更为频发、显著性更强,地铁枢纽大客流也会对乘客生理感知造成较大影响。通过地铁枢纽内通勤乘客的体能消耗测量实验,获取通勤乘客在地铁枢纽内的体能消耗数据,分析通勤乘客在地铁枢纽的出行体能消耗影响因素,得出初始状态、自身体重、拥挤度、性别等因素对乘客生理感知疲劳度有明显影响。基于降低出行者生理疲劳及提升乘客感知服务水平,提出地铁枢纽的大客流服务改善策略。

关键词:地铁枢纽;通勤;体能消耗;实验设计;感知分析

中图分类号:U293

文献标志码:A

大城市轨道交通具有网络规模大、线路里程长、可达性强、可靠性强等特点,对通勤客流的吸引力较大。在通勤时间,大城市的轨道交通网络运输能力几乎饱和,通勤大客流已经成为常态。在此背景下,乘客在地铁枢纽内的出行感知会有所不同,其生理疲劳度及体能消耗较出行链的其他部分有较大变化。

交通领域关于出行者体能消耗的研究,最早出现在车辆震动、行驶条件和司机驾驶姿势等对司机身体疲劳、心理紧张程度造成的影响等方面。R Passmore 与 J V Durnin^[3]对过往测量人体活动能量消耗的研究进行了归纳总结,其中涵盖静态坐姿、站姿上肢作业、静态站姿、步行、坐姿上肢作业、驾驶车辆等活动的基本能量消耗率;H Spitzer 等^[4]更加详细地对于站立、步行和驾驶行为进行补充;Shivayogi 等^[5]的研究更倾向对人体上肢运动在能耗率细节上的方面进行区分,坐姿的上肢运动与车辆驾驶行为存在相似性。在此之后,相关学者也开始进行出行体能消耗对出行方式选择的影响等方面开展研究。郭寒英^[6]分析各出行方式在不同出行意愿的情况下的绝对能耗量以及相对能耗率,明确了在不同出行过程中和不同出行方式下出行者的体能消耗特征;郭子渝^[7]对出行者的体能消耗的量化测量方法进行了研究,从出行者个人特征以及出行活动的特性两个方面分析出行者能耗的相关影响因素;安健等^[8]采用客观测量与主观估算有效结合的实验手段,给出乘客感知的城市公交出行各个环节的单位时间内的能量消耗。伴随技术手段的更新及测量成本的下降,越来越多的人体活动能耗测量模型与测量值被补充到了数据体系中,其测度值更加精准。虽然人体活动的能耗率都有相关数据可以参照,但是能够实际反映交通出行各环节人体活动特征的研究仍然少见。

过往关于出行者体能消耗的研究,大多集中在出行者在出行链的整个过程中的能量消耗,或者从不同出行方式的角度测量出行者的体能消耗及影响因素。总体来讲,大部分研究都缺乏对出行链中的某一特殊过程进行定量化的研究。对地铁枢纽通勤乘客的体能消耗及其感知影响因素分析,能够从体能消耗的角度量化研究地铁通勤大客流情况下乘客的生理疲劳感知情况,对其影响因素进行分析有利于发现地铁在大客流服务中存在的问题,并提出有针对性的服务改善对策。

收稿日期:2017-11-19

作者简介:滕靖(1977—),男,副教授,博士生导师,主要研究方向为服务与智能化管理技术。

1 体能消耗测量方法

实验是在地铁枢纽的通勤大客流场景下进行,实验者需要在出行中记录运动过程的不同指标数据,实验要求实验仪器便于携带、精度较高、对实验者身体状态没有显著影响。目前较为流行的用于运动体能消耗测定的是可穿戴产品(如手环),能够测量心率(精确度 0.1 次/min)、出行距离、时间、步数、体能消耗(精确度 0.01 Kcal)等指标。由于实验场景聚焦于地铁车站,出行过程相对简单,出行模式较为固定,考虑到实验者心率变化的幅度以及频率对结果的影响不够显著,为了避免误差过大,采用穿戴设备对实验者体能消耗量直接进行测量。

2 体能消耗测量实验设计

2.1 实验对象

本实验随机选择 72 名上海地区经常乘坐地铁通勤的实验者,其中男性 40 人、女性 32 人,各项参数的平均值与标准差为:年龄 28.5 ± 5.4 岁,体重 58.9 ± 11.8 kg,身 168.4 ± 8.3 cm。实验于 2017 年某 3 个工作日早高峰进行,选定上海地铁徐家汇站进行实验。该站是 11 号线与 1 号线及 9 号线换乘枢纽,通勤客流量大、换乘距离长,其换乘距离在上海轨道交通地全网站点中排名前十,符合实验条件。

2.2 实验方案

在阐述实验方法之前,引入基本行为刺激(basic activity stimulus, BAS)的概念。基本行为刺激表示出行者在出行过程中的一种相对稳定的状态,该状态下出行主体采用的初始状态(疲劳度)、体重、拥挤度等基本要素不随时间发生显著变化(见表 1)。

表 1 基于基本出行刺激(BAS)实验方案
Tab.1 Project of experiment based on basic travel stimulus (BAS)

BAS 代码	实验者初始状态	实验者体重	地铁枢纽拥挤度	实验者性别
[1-1]	不疲劳	较轻	不拥挤	男/女
[1-2]	不疲劳	较轻	拥挤	男/女
[1-3]	不疲劳	适中	不拥挤	男/女
[1-4]	不疲劳	适中	拥挤	男/女
[1-5]	不疲劳	较重	不拥挤	男/女
[1-6]	不疲劳	较重	拥挤	男/女
[2-1]	疲劳	较轻	不拥挤	男/女
[2-2]	疲劳	较轻	拥挤	男/女
[2-3]	疲劳	适中	不拥挤	男/女
[2-4]	疲劳	适中	拥挤	男/女
[2-5]	疲劳	较重	不拥挤	男/女
[2-6]	疲劳	较重	拥挤	男/女

实验开始之前,总结了出行体能消耗相关影响因素,交通方式、乘车姿势、负重及拥挤度等都对出行体能消耗有重要影响。在此基础上经过分析,并考虑到实验场景为地铁枢纽大客流情况,出行体能消耗影响因素总结为乘降方式、负重(研究显示日常通勤出行中 3.8 kg 的负重较具代表性,本文采用 3.8 kg)、拥挤度等。经过预调查及分析之后,重点关注本次实验所涉及到的、影响较大的基本影响因素。在正式实验设计中剔除乘降方式及负重两个因素,引入初始状态、体重两个因素。

根据预调查结果,按照实验者在实验之前的疲劳程度将实验者初始状态划分为不疲劳和疲劳两个状态,对应的体能消耗数据为 0~150 Kcal 和 150 Kcal 以上。通过乘客体能消耗测量实验与乘客主观感知疲劳问卷打分,对比分析得出乘客感知疲劳阈值为体能消耗量 150 Kcal;实验者初始状态的数据来自实验者在实验之前(即上一段出行)的体能消耗数据;根据实验者的体重分布情况及地铁站随机抽取的出行者体重调查结果,将实验者体重分为较轻、适中和较重三个状态,分别对应的体重数据为 35~50 kg,50~65 kg,65~80 kg;拥挤度则根据美国服务水平等级划分标准(HCM2000)及相关对地铁枢纽拥挤度研究中将拥挤度划分为 6 个等级,本实验将前三个等级(A,B,C)作为不拥挤状态(平均乘客空间大于 2 m²/人),将后三个等级(B,C,D)作为拥挤状态(平均乘客空间小于 2 m²/人)。

3 实验结果分析

通过预调查分析发现,地铁枢纽内的客流拥挤度对换乘乘客的出行步速有影响,进而影响到乘客换乘时间,为了避免同一因素对单一变量的多重影响,实验结果的分析采用单位出行距离的乘客体能消耗量作为分析基础。

实验共招募实验者 72 人,每位实验者分别进行 12 次不同场景下的地铁站内出行实验(共 864 次实验,其中有效实验 840 次),通过对比不同出行者在同一场景下的出行能耗量以及同一出行者在不同出行场景下的出行能耗量,得出不同场景下的实验者体能消耗及其影响因素。

3.1 总体分布

在同一个 BAS 场景下所有实验者的体能消耗平均值为该场景下的乘客换乘体能消耗,如图 1 所示。

总体来看,各 BAS 场景下实验者出行体能消耗呈两段增长趋势,单位距离体能消耗最小值为 28.89 Kcal/km,最大值为 58.15 Kcal/km。为了进一步分析体能消耗差异产生的原因,对各个 BAS 场景进行分别分析。

图 2 中,每两个相邻的柱状图表示实验者初始状态相同而其他因素不同的出行场景下,实验者的体能消耗对比。结果表明,每组对比场景下实验者在出行前的初始状态越疲劳,其在地铁枢纽内出行时的体能消耗越大。

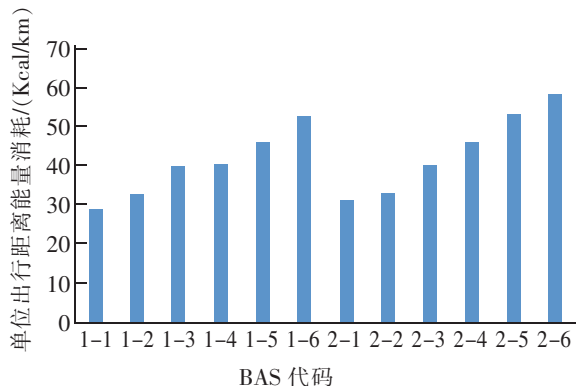


图 1 各BAS 场景下单位出行距离体能消耗分布

Fig.1 Distribution of energy expenditure in every BAS scenarios

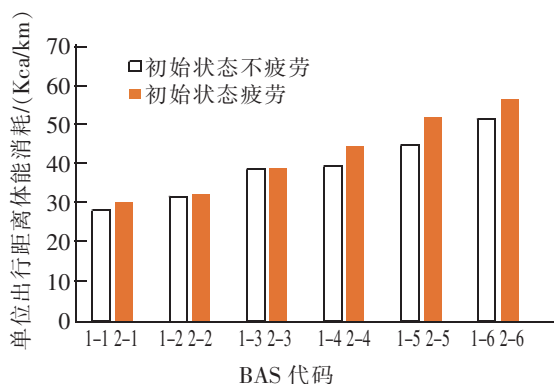


图 2 实验者在不同初始状态情况下的体能消耗对比

Fig.2 Energy expenditure in different initial conditions

图 3 中,每两个相邻的柱状图表示地铁站内拥挤度相同而其他因素不同的出行场景下,实验者的体能消耗对比。从图 3 显示的结果可以看出,每组对比场景下地铁站内越拥挤,实验者在地铁枢纽内的出行体能消耗越大。

图 4 中,每两个相邻的柱状图表示实验者体重相同而其他因素不同的出行场景下,实验者的体能消耗对比。从图 4 结果可以看出,每组对比场景下实验者体重越大,其在地铁枢纽内的出行体能消耗越大。

图 5 中显示的是,将所有实验结果只按实验者体重不同进行对比,结果表明无论其他因素如何,实验者体重越大,其出行体能消耗越大。

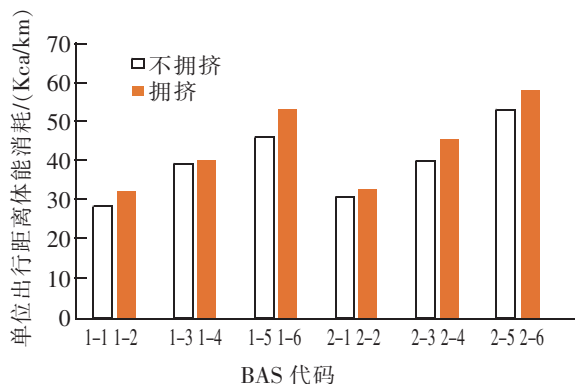


图3 地铁枢纽不同拥挤度情况下实验者体能消耗对比

Fig.3 Energy expenditure in different degree of crowding

从上述结果分析可得出以下结论:

1) 只考虑初始状态因素时, 初始状态为疲劳的实验者出行体能消耗大于初始状态为不疲劳的实验者。

2) 无论实验者初始状态疲劳或不疲劳, 地铁枢纽内拥挤或不拥挤, 体重较重实验者的出行体能消耗都大于体重较轻的实验者。

3) 只考虑拥挤度因素时, 地铁枢纽内客流拥挤度较大时实验者出行体能消耗大于拥挤度较小时。

3.2 方差分析

为了进一步研究各影响因素对出行者体能消耗的影响程度, 除了定性分析同一影响因素下不同水平的体能消耗, 还需定量分析不同影响因素对体能消耗的影响程度。

利用 SPSS 软件对实验者单位出行距离体能消耗数据进行方差分析, 进一步确定影响因子的显著性水平。方差分析之前使用 SPSS 软件对实验数据进行显著性检验和方差齐性检验, 以判断其是否符合方差分析的基本假设前提。经检验, 实验数据总体服从正态分布, 总体方差无显著差异, 满足方差分析的基本假设前提。使用 SPSS 软件对实验数据进行单因素方差分析, 结果如表 2 所示。

表2 方差分析结果

Tab.3 Result of variance analysis

影响因素	显著性	影响因素	显著性
性别	0.043	体重	0.000
初始状态	0.028	拥挤度	0.020

确定显著性水平 α 为 0.05, 若影响因素的显著性概率 p 值大于 α , 则认为其对观测变量没有显著影响; 反之则认为其对观测变量有显著影响。从表 2 可见, 性别、初始状态、体重、拥挤度对单位出行距离体能消耗都有显著性影响, 各因素影响程度的主次顺序为体重、拥挤度、初始状态、性别。

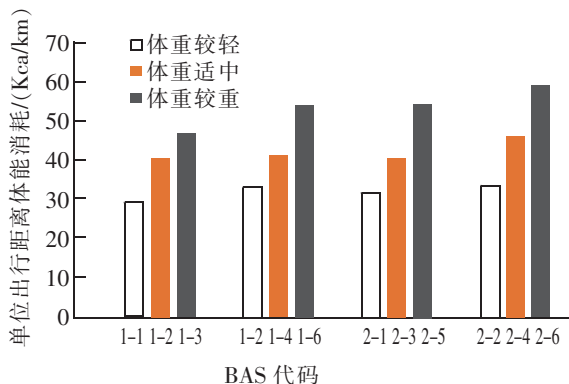


图4 不同体重实验者体能消耗分场景对比

Fig.4 Energy expenditure in different weight

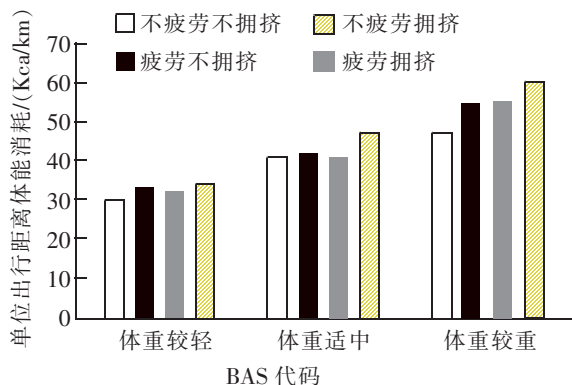


图5 只考虑体重因素的实验者体能消耗对比

Fig.5 Energy expenditure in different weight scenes

4 结语

4.1 结论

出行者体能消耗测量实验结果表明,出行者在地铁枢纽大客流情况下的体能消耗受初始状态、拥挤度、体重、性别等因素影响较大。同时可得出以下结论:

1) 同一实验者在不同实验场景中的出行体能消耗差异较大,不同实验者在同一场景中的出行体能消耗差异也较大,说明出行状态及出行者自身条件都会对出行体能消耗产生影响。

2) 体重较大的出行者相比体重较轻出行者体能消耗较多。

3) 出行者进入地铁枢纽之前的疲劳状态对其在地铁枢纽内的出行体能消耗有很大影响,出行者身体越疲劳,在地铁枢纽内体能消耗越大,反之越少。

4) 出行者体重对于出行体能消耗有显著影响,可以推断,随着出行者负重的增加,负重因素对于出行者体能消耗的影响会相应增加。

4.2 改善策略

根据出行者在地铁枢纽大客流情况下体能消耗的影响因素分析结果,提出相关减轻乘客出行疲劳的地铁站内策略,改善地铁枢纽在大客流情况下的服务,提升乘客满意度。

1) 加强地铁枢纽内引导服务,降低枢纽内拥挤度。提供更加直接、准确的人工引导、广播引导、实时的电子信息、易获取的引导标识信息,合理引导乘客到拥挤度相对较低通道,通过分散站内乘客,达到降低枢纽内拥挤度的目的;对特殊群体,如肥胖者、残疾人等提供特殊引导和服务,引导其采用直升电梯或专用通道进行换乘,降低其在枢纽内出行中的体能消耗。

2) 地铁换乘枢纽设计时考虑乘客出行距离。针对出行者在枢纽内换乘之前的初始状态越差,出行体能消耗越高的情况,在地铁枢纽设计时可以考虑换乘线路客流主要来向,根据其乘距长短制定换乘路线,如平均乘距较长的乘客来向,其换乘通道在设计时可以适当缩短,适当增加换乘设施,以降低其体能消耗。更加合理地规划枢纽布局、换乘通道设计、设施布局能够显著提升乘客满意度。

3) 客观体能消耗实验方法为服务质量评价提供新思路。目前,大部分城市及企业已开展的地铁服务质量评价及乘客满意度评价依靠大量的乘客主观调查,需要大量人力和物力,调查成本较高、耗时较长,不利于评价工作的周期性展开。在研究过程中发现,可以通过前期实验,将相关评价指标的客观测量结果同乘客主观打分进行对比,建立主、客观指标打分对应表。在实际评价工作中,可以通过科技手段直接获取部分指标对应的数据,并根据上述打分对应表检索乘客主观满意度情况,即在评价中可直接根据采集的客观数据对比数据库,获取乘客的主观感知情况。如此在实际应用中可以节省大量成本和时间,有利于服务质量及乘客满意度评价工作的周期性和大规模的开展。

参考文献:

- [1] 姚满,安玉香. 不同温湿度环境对运动员体能消耗的影响[J]. 当代体育科学,2015(33):250-251.
- [2] 李林波,吴兵. 出行者心理因素对公共交通发展的影响[J]. 重庆交通学院学报,2004(3):94-97.
- [3] PASSMORE R, DURNIN J V. Human energy expenditure[J]. *Physiological Reviews*, 1955, 35:801-840.
- [4] SPITZER H, HETTINGER T, KAMINKSKY G. Tafeln für den energieumsatz bei körperlicher arbeit[M]. 6th edition. Vollständig überarbeitete auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin-K ln, 1982.
- [5] SHIVAYOGI V, HIRE M, DAN D. Evaluation of activity monitors to estimate energy expenditure in manual wheelchair users[C]// *Proceedings of the 31st Annual International IEEE EMBS Conference*. Minneapolis: IEEE EMBS, 2009.
- [6] 郭寒英. 基于出行者生理心理的城市客运交通出行行为研究[D]. 成都:西南交通大学, 2007.

- [7] 郭子渝. 考虑出行者体能消耗的城市轨道交通路径选择模型研究[D]. 北京:北京交通大学,2016.
- [8] 安健,孙明正,郭继孚. 基于客观测度与主观估算的出行疲劳研究[J]. 城市交通,2013(2):73-82.

Experiment Designing and Analysis of Commuting Passenger Perception on Human Energy Expenditure in Metro Hub

Teng Jing¹, Duan Shuai¹, Hu Yuan², Chen Yueqin²

(1.Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Tongji University, Shanghai 201804, China;
2.Shanghai Rail Transit Management Center, Shanghai 200070, China)

Abstract: The phenomenon of large flow of metro passenger has been showing a trend of normalization, which has been causing an increasing attraction of the trip mode of metro to commuters in big cities. The large flow of metro passenger which has a great impact on passenger perception is becoming more and more obvious in metro hubs which are the nodes of metro network. The passenger will feel fatigued when they walking in the condition of large passenger flow in metro hub because of the extra energy expenditure of looking for entrance, the queue and the jam. The fatigue of passenger was reflected by energy expenditure in this paper. After analyzing the data of commuter energy expenditure obtained by designing the experiments in metro hubs, the result was got showing that the factors of initial status of commuters, body weight of commuters, gender of commuters and crowding of metro hubs had greater influence on passenger perception. Strategies of improving passenger service in metro hubs were proposed based on reducing passenger energy expenditure and enhancing passenger perception level.

Key words: metro hub; commuting; energy expenditure; experiment design; perception