

手机信息干预下寒冷赛区行人候车决策行为

黄文博¹, 陈艳艳¹, 柴树山²

(1. 北京工业大学 城建学部城市交通学院, 北京 100124; 2. 公安部道路交通安全研究中心, 北京 100062)

摘要:大型寒冷赛事活动中,为缓解行人在站台长时间候车时饱受低温、风雪等恶劣天气的侵扰,提高赛区出行服务质量,本文从信息服务的角度提出基于手机信息干预的行人决策引导与客流调控方式。在实地问卷调查的基础上,分析寒冷环境下行人候车行为特性,基于Nested Logit模型建立了手机信息干预下的行人候车决策行为模型,探讨了多因素耦合作用对行人候车决策行为的影响,对关键变量进行敏感性分析,从信息发布的内容、频次等方面提出了管理建议。结果表明:与传统站牌信息相比,手机信息干预有助于提高行人候车时采取临时取暖的概率,提高行人候车时的服务体验;受手机信息干预时,行人的候车决策行为主要受取暖地点布设、距离比赛时间的影响,此时,建议管理者在制定信息内容时,重点突出临时取暖和比赛的信息;当信息发布频次为2时,行人接受信息引导的概率达到36.6%,调控效果最好。本文研究成果可为赛区管理者调控客流、提高赛区信息服务水平等提供理论基础和数据支撑。

关键词:交通运输系统工程;寒冷赛事;信息干预;离散选择模型;候车行为

中图分类号:U491.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2023)01-0132-09

DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb20210517

Decision-making behavior of pedestrians in cold competition area under the intervention of mobile information

HUANG Wen-bo¹, CHEN Yan-yan¹, CHAI Shu-shan²

(1. College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Research Institute for Road Safety of MPS, Beijing 100062, China)

Abstract: In cold mega-competition events, in order to alleviate pedestrians suffering from severe weather such as low temperature, wind and snow while waiting for a long time in the bus station, and improve the quality of travel service in the area, a decision-making guidance and passenger flow control method was proposed based on mobile information intervention from the perspective of information service. Based on the results of questionnaire survey, the characteristics of waiting behavior in cold environment were analyzed, and a decision-making behavior model for pedestrians waiting for bus was established based on the Nested Logit model. With the model, the coupling influence of multiple factors on pedestrians' decision-making behavior was discussed and the sensitivity analysis of key variable was carried out. The management suggestions were put forward from the content and frequency of information release. The

收稿日期: 2021-06-08.

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFF0300300).

作者简介: 黄文博(1991-), 女, 博士研究生. 研究方向: 交通规划与管理. E-mail: huangwenbo@emails.bjut.edu.cn

通信作者: 陈艳艳(1970-), 女, 教授, 博士生导师. 研究方向: 交通规划与管理. E-mail: cdyan@bjut.edu.cn

results show that, compared with the traditional stop sign information, mobile phone information intervention can help to improve the probability of temporary heating and improve the service experience of pedestrians. With the interference of mobile information, pedestrians' decision-making behavior is mainly affected by the layout of temporary heating places and the time from the start of competition. At this time, it is suggested that managers should focus on the information about temporary heating and competition when formulating the content of mobile information. When the frequency of information release is twice per hour, the probability of pedestrians receiving information guidance reaches the highest, which is about 36.6%, indicating that the control effect of information intervention reaches the best. The research can provide theoretical basis and data support for the intervention of passenger flow and the improvement of information service level in the competition area.

Key words: engineering of communication and transportation system; cold events; information intervention; discrete choice model; decision-making behavior

0 引言

冬奥会等大型赛事多在寒冷环境中举办,常伴随严寒风雪、路面结冰等恶劣工况^[1],若大型赛区内行人候车时间过长,将饱受低温、风雪等的侵扰,出现焦虑情绪,甚至产生低温冻伤的风险。因此,提高赛区候车区域服务质量,对于提高参与者对寒冷赛事活动的积极性、保障赛事的顺利开展显得尤为重要。

国内外一些学者在行人候车行为、出行服务及管控等方面开展了较多的研究工作。张越^[2]通过研究站台候车区行人的选择行为特征,发现在候车区设置动态指示牌可有效提高站台的客流疏散能力。孙祥龙等^[3]从候车服务的角度对行人候车时负面情绪的缓解进行了研究,发现管理者可通过提供休息区、网络等便利措施来有效提升出行服务质量、缓解行人候车时产生的负面情绪。Wang等^[4]通过对台北某公交站台进行实地调查,发现乘客在候车区玩手机可减少感知等待时间,从而缓解行人在候车时的焦虑情绪。马卫武等^[5]基于灰色动态理论模拟了行人的候车行为,研究了不同候车时间下客流量的变化,发现大部分行人的候车时间在20~60 min之间。Lu等^[6]对公交站台区的乘客进行了意向行为调查,发现手机或网站提供的公交实时到站信息有助于改善乘客对公交服务的满意度。

相比于一般天气环境,寒冷环境会使行人产生特殊的心生理反应。在生理方面,Věra等^[7]发现,人体对寒冷的适应能力较差,寒冷环境不仅容易引起机体冻伤,还会对机体代谢、骨骼肌功能以

及神经、血液循环等多系统产生影响。Long等^[8]发现,随着受冷时间的延长和受冷强度的加大,行人机体感觉会逐渐减弱,甚至造成低体温或全身性的冷冻伤;在心理方面,Reed等^[9]发现,寒冷环境会使人情绪紊乱,产生紧张、抑郁、愤怒或疲劳等负面情绪,且随着受冷时间的增长,负面情绪越高,认知能力越低。因此,开展寒冷环境下行人的候车决策行为的研究十分必要。

目前,关于寒冷环境下行人候车行为及客流管控方面的研究相对较少。手机作为最便捷的信息传播工具,可被广泛用于行人出行引导等交通服务中,但手机信息对行人候车行为的影响目前尚不清晰。因此,本文通过建立行人的候车决策行为模型,研究手机信息干预下多因素耦合作用对寒冷赛区行人候车决策行为的影响,为提高行人寒冷赛区内的观赛体验、提升赛区信息服务水平提供理论基础和数据支撑。

1 候车行为决策机理

类比于心理干预的定义,本文提出手机信息干预(Intervention of mobile phone information)的概念:指在心理学理论指导下有计划、按步骤地向目标群体手机端发送客观及引导类信息,对该群体个人的心理活动、个性特征或行为决策等施加影响,使之朝着预期目标发生变化的过程。本文中,手机信息发布的形式以移动客户端APP、短消息为主,发布的信息内容包括赛事信息、公交信息、取暖信息、环境信息、以及出行建议等。

为深入解析寒冷环境下信息干预对行人候车决策行为的影响,本文提出了寒冷环境-信息干预

一行为决策三者间的作用机理,见图 1 所示。行人在赛区站台候车时,会收集相关信息,若候车时间过长,就会对当前自身的候车行为进行评估,考虑是否去往取暖点采取临时取暖行为。该过程中行人可通过感知客观环境因素、接收手机等传播媒

介的信息,收集当日天气、客流状态、公交发车时间等信息,经综合决策评估后,做出较为合理的决策行为。行人候车行为特征机理、行为特征变化的研究可为赛区临时取暖点的布设、信息的发布等提供决策参考。

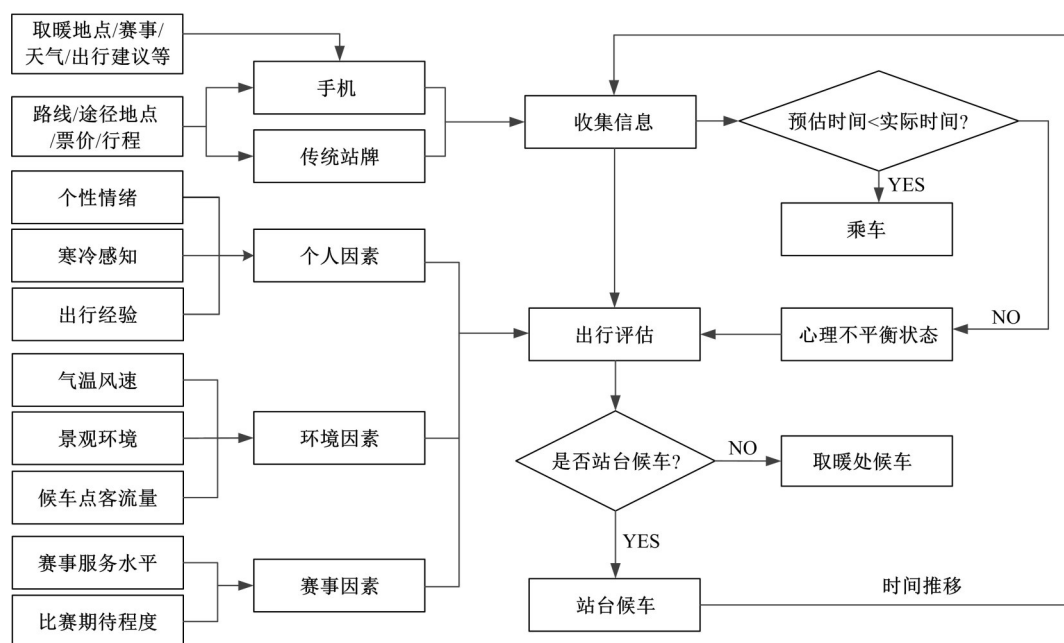


图 1 信息干预下行人候车决策行为机理

Fig. 1 Mechanism of decision-making behavior of pedestrians waiting for bus under the information intervention

2 实地调查

2020 年 1 月 7 日~9 日,哈尔滨伏尔加庄园举办了芬兰蒂亚滑雪马拉松比赛,参与人员约 5000 人次。比赛的 3 天内,日平均气温分别为 -9°C 、 -21°C 和 -27°C ,赛区道路多为冰雪路面,环境较为恶劣。

观赛、参赛人员多乘坐公共交通工具到达目的地,行人在站台候车时,因天气寒冷、站点拥挤等原因,会产生临时取暖意愿,就近寻找临时取暖点,赛区公交站台区和临时取暖点分别如图 2、图

3 所示。因此,该赛事活动可作为本文数据调查的典型案例场景。

为有效获取行人赛区内候车行为的影响因素,本文将调查问卷设计为三部分:①行人基本信息调查,包括性别、年龄、教育程度等;②赛区环境调查,包括景观环境、气温、风速等;③行人候车行为影响调查,影响因素包括比赛期待程度、寒冷感知、取暖地点布设、距离比赛时间、室外最大候车时间、公交发车时间、信息发布频次等。本次调查在赛事举办期间开展,共获取调查问卷 402 份。



图 2 芬兰蒂亚滑雪马拉松赛区公交站台区
Fig. 2 Bus station in the Finndia Ski Marathon



图 3 芬兰蒂亚滑雪马拉松赛区临时取暖处
Fig. 3 Temporary heating place in the Finndia Ski Marathon

3 模型建立

常用的用于描述行人决策行为的离散选择模型包括排序 Logit 模型、条件 Logit 模型、多项 Logit 模型等,但这类模型描述的选择方案间必须具有独立性。而在本文中,行人的候车决策行为受到手机信息干预的影响,不同的决策行为间不具备方案的独立性。因此,这类模型均不能直接用于本文中。

Nested Logit(NL)模型作为多项 Logit(ML)模型的改进,可以归类相似性高的方案,接收备选方案间的相关性,克服了 ML 模型中 IIA(Independence of irrelevant alternatives)特性,能够更好地解释候车的决策选择^[10]。因此,本文基于 NL 模型建立寒冷环境下行人的候车决策行为模型。

建立选择树是构建 NL 模型的前提,选择树中每一个分支节点可看作简单的 Logit 模型,而 NL 模型与各层的简单 Logit 模型间可以看作包含与被包含的关系^[2]。行人在候车过程中,受到手机引导信息、室外寒冷环境等的影响^[11],在继续室外候车和采取临时取暖行为两者间进行选择,其决策选择树如图 4 所示。图 4 中,水平 2 为信息干预的决策方案,水平 1 为是否采取临时取暖的决策方案。

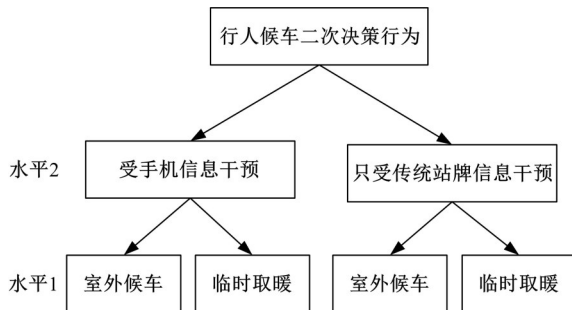


图 4 赛区行人候车行为决策树

Fig. 4 Choice tree of pedestrians' waiting behavior in competition area

其中,受手机信息干预的人群是指选择关注发布的手机信息的人群;而只受传统站牌信息干预的人群指的是仅关注传统站牌信息、不关注手机信息的人群。由第 1 节可知,手机信息类型、内容比传统站牌信息丰富得多。因此,相比于只受传统站牌信息干预的行人,关注手机信息的行人可获取更加丰富、全面、实时的信息及相关引导性的出行建议。

行人可以根据自身效用大小来做出相关选

择,根据随机效用理论,效用函数包括两个分量^[12,13],第一部分是代表性效用,第二部分是随机项,描述了未观测到的特征对效用的影响,如下式所示:

$$U_{ni} = V_{ni} + \epsilon_{ni} \quad (1)$$

式中: n 为决策者编号; i 为选择集中的一个选择肢; ϵ_{ni} 为效用函数的随机项; V_{ni} 为可观测到的效用。

用 m 表示水平 2 上的选择方案,用 rm 表示方案 m 下位于水平 1 的选择方案,由条件概率公式可知:

$$P_n(rm) = P_n(r|m) \cdot P_n(m) \quad (2)$$

$$r = 1, 2, \dots, R_{mn}; m = 1, 2, \dots, M_n$$

式中: $P_n(rm)$ 为出行者 n 选择方案 (rm) 的概率; $P_n(r|m)$ 为出行者 n 在选择方案 m 的基础上选择方案 r 的概率; $P_n(m)$ 为出行者 n 选择方案 m 的概率; M_n 为出行者 n 在水平 2 中的选择方案数; R_{mn} 为出行者 n 在水平 1 中与方案 m 相结合的选择方案数。

根据 NL 模型的基础理论^[10], $P_n(r|m)$ 和 $P_n(m)$ 可由下列公式确定:

$$P_n(r|m) = \frac{e^{\lambda_1 V_{(r|m)_n}}}{\sum_{r'=1}^{R_{mn}} e^{\lambda_1 V_{(r'|m)_n}}} \quad (3)$$

$$P_n(m) = \frac{e^{\lambda_2 (V_{mn} + V_{mn}^*)}}{\sum_{m'=1}^{M_n} e^{\lambda_2 (V_{m'n} + V_{m'n}^*)}} \quad (4)$$

式中: $\lambda_1, \lambda_2, V_{(r|m)_n}, V_{mn}, V_{mn}^*$ 可由式(5)~(9)计算得到。

$$\lambda_1 = \frac{\pi}{\sqrt{6} \sigma_1} \quad (5)$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \left(\sigma_2^2 + \frac{\pi^2}{6\sigma_1^2} \right) \quad (6)$$

$$V_{(r|m)_n} = \sum_{K=1}^{K_1} \beta_k X_{(r|m)_n k} \quad (7)$$

$$V_{mn} = \sum_{K=1}^{K_2} \theta_k X_{mnK} \quad (8)$$

$$V_{mn}^* = \frac{1}{\lambda_1} \ln \sum_{r=1}^{R_{mn}} e^{\lambda_1 V_{(r|m)_n}} \quad (9)$$

式中: $V_{(r|m)_n}$ 为出行者 n 选取了方案 (rm) 时,效用由于方案 (rm) 和方案 m 的组合而变化部分的固定项; V_{mn} 为出行者 n 选取了方案 (rm) 时,效用中与方案 r 无关、仅随方案 m 变化部分的固定项;

V_{mn}^* 为包容值,它表明决策者在进行水平 2 的方案选取时,会考虑从其所包含的水平 1 方案中能够得到的总效用; $X_{(rm)_n}$ 为 K_1 阶特性变量,随着方案 r 的变化而变化; β_k 为 $X_{(rm)_n}$ 的系数; X_{mn} 为 K_2 阶特性变量,它随着方案 m 的变化而变化; $\theta_k (k=1, 2, \dots, K_2)$ 为 X_{mn} 的系数。

因此,行人选取方案 (rm) 时的效用可表示如下:

$$U_{rmn} = V_{(rm)_n} + V_{mn} + \epsilon_{(rm)_n} + \epsilon_{mn} \quad (10)$$

式中: U_{rmn} 为出行者 n 选取方案 (rm) 时的效用; $\epsilon_{(rm)_n}$ 为出行者 n 在选取了方案 m 的条件下选取方

案 (rm) 时的效用的概率项,设其服从均值为 0、方差为 σ_1^2 的二重指数分布; ϵ_{mn} 为出行者 n 选取方案 m 时的效用的概率项,设其服从均值为 0、方差为 σ_2^2 的二重指数分布。

4 结果分析

4.1 行人基本属性特征统计分析

根据实地调查结果,被访者社会基本属性情况如表 1 所示。被访者中女性占 61%,年龄在 20~40 岁之间的占 58.4%,月收入、教育程度多集中在 5000 元以下、本专科学历,职业占比相对均匀,被访者在东北地区居住的占比约 80.5%。

表 1 行人基本属性特征统计

Table 1 Statistics of basic attributes of pedestrians

基本属性		统计分析			
性别		男性		女性	
		39%		61%	
年龄/岁		<20	20~40	40~60	≥60
		13.4%	58.4%	15.7%	12.5%
月收入/万元		<0.5	0.5~1	1~1.5	≥1.5
		70.1%	23.2%	4.7%	2.0%
教育程度		高中及以下	本专科	硕士及以上	—
		27.0%	54.9%	18.1%	—
职业		机关及事业单位人员	学生	企业或技术人员	自由职业及退休人员
		22.7%	35.7%	23.3%	18.3%
居住地区		东北地区	华北地区	港澳台地区	其他地区
		80.5%	8.7%	2.3%	8.5%

4.2 寒冷环境对行人候车时间的影响分析

根据人体对外界气温的主观感知大小,将寒冷感知等级分为非常寒冷、寒冷、舒适、偏热 4 个等级^[14],不同气温下的受访者的寒冷感知情况如图 5 所示。

可以看出,在不同气温下,受访者的主观寒冷感知有所不同,总体上,随着气温的降低,人体的

寒冷感知等级为“寒冷”的占比逐渐增大,在气温分别为 -9°C 、 -17°C 、 -21°C 时,寒冷感知达到寒冷及以上等级的占比分别为 51.6%、72.2%、85.7%。

在不同气温下,受访者所能承受的最大室外候车时间分布见图 6 所示。可以看出,在 -9°C 时,可停留 2 h 以上的行人占比最大,为 33.1%;在气温为 -17°C 时,可停留 1 h 的行人占比最大,为 31.3%;气温为 -21°C 时,行人可停留 30 min 的占比最大,为 28.4%。结果表明,寒冷条件下,气温越低,行人在室外可停留的时间越短。

4.3 候车决策行为分析

以上为问卷调查中得到的样本统计结果,为分析一般规律下寒冷赛事中手机信息干预对候车决策行为的影响,本文基于建立的 NL 模型探讨多因素对行人决策的耦合影响。

通过对变量进行交叉列联表检验和双变量相

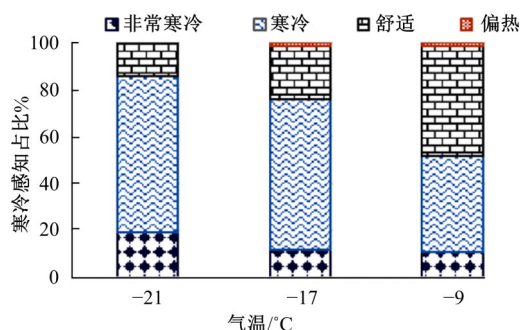


图 5 受访者对寒冷的感知情况分布

Fig. 5 Distribution of interviewees' perception of cold

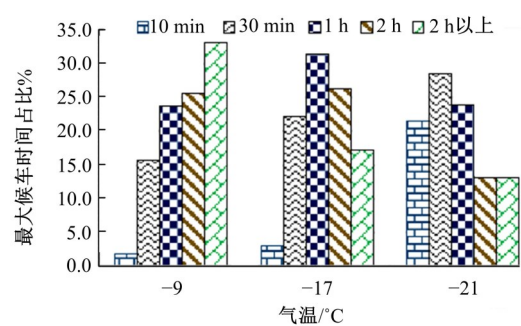


图 6 不同气温下受访者所能承受的最大室外候车时间分布

Fig. 6 Distribution of interviewees' maximum outdoor waiting time with different temperatures

表 2 NL 模型标定结果(水平 1)

Table 2 Calibration results of NL model (level 1)

变量	受手机信息干预			只受传统站牌信息干预		
	Estimate	Std. Err.	t-Test	Estimate	Std. Err.	t-Test
固有哑元	-3.189	1.816	-1.756	1.824	0.939	1.943
距离比赛时间	-1.009	0.308	-3.275	-0.030	0.003	-9.557
景观环境	-0.720	0.446	-1.615	-0.347	0.198	-1.756
取暖地点布设	1.122	0.347	3.236	0.429	0.191	2.253
公交发车时间	-0.416	0.347	-1.199	-0.325	0.197	-1.650
比赛期待程度	-0.429	0.208	-2.060	0.158	0.248	0.634
寒冷感知	0.066	0.379	0.176	-0.555	0.214	-2.598
室外最大候车时间	0.006	0.003	1.682	0.006	0.002	3.201
信息发布频次	1.155	0.461	2.503	0.325	0.197	1.648
职业 1	-0.987	0.569	-1.734	-0.185	0.246	-0.751
职业 2	0.562	0.767	0.733	-0.627	0.325	-1.928
气温	-0.133	0.115	-1.157	-0.180	0.064	-2.816
风速	2.020	1.209	1.670	-1.460	0.633	-2.306
$L(0)$		-224.580			-482.430	
$L(\hat{\theta})$		-173.185			-394.070	
$-2[L(0)-L(\hat{\theta})]$		102.789			176.720	
ρ^2		0.229			0.183	
$\bar{\rho}^2$		0.131			0.148	

由表 2、表 3 可以看出,85% 模型变量的 t 检验值的绝对值大于 1.65,表明此类变量对行人决策行为具有显著影响的置信度在 90% 以上。其中, ρ^2 分别为 0.183、0.229 及 0.212,表明模型标定精度较高,对水平 1 和水平 2 中行人候车决策行为具有较强的解释能力^[10]。 λ_2 被称为包容系数,当 λ_2 在 0~1 之间时说明模型结构合理,本模型中 λ_2 的估计值为 0.482,说明本 NL 模型的上下层之间有明显的阶层关系,决策树结构合理。

基于模型标定结果,对各影响因素的分析结果如下:

(1)在水平 1 中只受传统站牌信息干预下,影

关性分析,筛选得到的代入 NL 模型中的离散变量分别为性别、文化程度、职业、月收入、天气信息、候车点客流量、景观环境、取暖地点布设、公交载客人数、公交发车时间、寒冷感知、比赛期待程度和个人情绪,连续变量为距离比赛时间、年龄、室外最大候车时间、手机信息发布频次、气温和风速。分别针对影响行人在水平 1、水平 2 决策层的变量进行分析。

根据式(7)~(9),计算得到模型检验中具有显著效应的变量及其模型标定结果如表 2、表 3 所示。

响行人候车决策行为较为显著的因素为:距离比赛时间、寒冷感知、室外最大候车时间。此时,建议管理者在传统站牌内容上增加关于天气、赛事及公交相关信息的发布。

(2)在水平 1 中,受手机信息的干预下,影响行人候车决策行为较为显著的因素为:取暖地点布设、距离比赛时间、比赛期待程度、信息发布频次。此时,建议管理者在制定发布的手机信息内容时,重点突出临时取暖和比赛的信息,同时,注重手机信息发布频次的控制。

(3)由水平 2 中的标定结果可以看出,行人是否选择手机信息干预主要受距离比赛时间、取暖

表 3 NL 模型标定结果(水平 2)
Table 3 Calibration results of NL model (level 2)

变量	受手机信息干预	只受传统站牌信息干预	
	Estimate	Std. Err.	t-Test
Constant 1	0.343	0.826	0.416
距离比赛时间	-0.007	0.003	-2.552
景观环境	-0.942	0.201	-4.689
取暖地点布设	0.411	0.171	2.404
公交发车时间	-0.674	0.179	-3.767
比赛期待程度	0.616	0.149	4.149
寒冷感知	-0.506	0.185	-2.731
室外最大候车时间	-0.004	0.002	-2.189
职业 1	0.807	0.238	3.384
职业 2	-1.605	0.272	-5.906
候车点客流量	-0.961	0.185	-5.205
公交载客人数	-1.152	0.220	-5.235
信息发布频次	0.331	0.164	2.020
λ_2	0.482	0.189	2.549
$L(0)$		-707.010	
$L(\hat{\theta})$		-557.129	
$-2[L(0)-L(\hat{\theta})]$		299.763	
ρ^2		0.212	
$\bar{\rho}^2$		0.177	

地点布设、候车点客流量、景观环境、公交载客人数、信息发布频次这类因素的影响。

(4)在水平 1 和水平 2 中,距离比赛时间因素的参数为负,表明距离比赛的时间越近,行人越容易选择手机信息的告知,此时行人倾向于继续留在室外站台候车。

(5)在水平 2 中,信息发布频次的参数为正,这表明信息发布频次越大,行人使用手机信息引导的概率越大。

(6)在水平 1 和 2 中,公交发车时间的参数均为负,表明发车时间越近,行人越倾向于使用手机信息的告知,越倾向于继续选择在室外候车。

(7)水平 1 中室外最大候车时间的系数为正,表明行人所能忍耐的室外候车时间越长,行人越倾向于继续选择室外站台候车。水平 2 中室外最大候车时间参数为负,表明行人所能忍耐的室外候车时间越短,行人越倾向于手机信息的引导,此时行人更倾向于去往临时取暖点。

根据式(3)(4),计算得到的是否受手机信息干预下行人行为的决策概率如表 4 所示。可以看出,只受传统站牌信息干预时,行人采取临时取暖行为的概率约为 44.3%,而受手机信息干预时,

采取临时取暖行为的概率上升至 50.6%,提高了约 8.3%,说明受手机信息干预后,行人采取临时取暖行为的概率有所提升。

表 4 行人候车时的行为决策概率

Table 4 Probability of interviewees' decision-making behavior while waiting

行为	受手机信息干预/%	只受传统站牌信息干预/%
室外候车	49.4	55.7
临时取暖	50.6	44.3

4.4 敏感性分析

由于信息发布频次具有较强的可控性,管理者可通过调节单位小时内信息的发布次数来提升信息干预对客流调控的效果。因此,本文对该指标进行弹性分析。弹性的概念源于微观经济学(Micro economics)中的价格理论^[15],在价格理论中,弹性是指需求量或供给量变动对价格或其他因素变动的敏感程度,本文中指相关指标变化对行人决策(方案选择概率)变化的敏感程度,计算公式如下:

$$E_{X_{in}}^{P_{in}} = \frac{X_{ink}}{P_{in}} \cdot \frac{dP_{in}}{dX_{ink}} = \theta_k X_{ink} (1 - P_{in}) \quad (11)$$

式中: $E_{X_{in}}^{P_{in}}$ 为点弹性值; θ_k 为第 k 个变量所对应的未知参数; P_{in} 为出行者 n 选择方案 i 的概率; X_{ink}

为出行者 n 的第 i 个方案中所包含的第 k 个特型变量。

计算得到的信息发布频次对行人候车决策行为敏感性的影响如图7所示。当信息发布频次为2时,行人接受手机信息引导的概率达到最大,为36.6%,表明此时对行人出行的调控效果最好。

从图7中可以看出,计算得到的点弹性值均为正,表明信息发布频次与行人临时取暖概率的变化是呈正相关的,当信息发布频次为1时,弹性值的绝对值在0~1之间,表明此时信息发布频次的变动幅度对行人采取临时取暖概率的变动影响较小;当信息发布频次 ≥ 2 时,点弹性值大于1,表明此时该指标的变化对行为决策的影响更富有弹性,即对于行人是否采取临时取暖行为具有显著的调节作用。

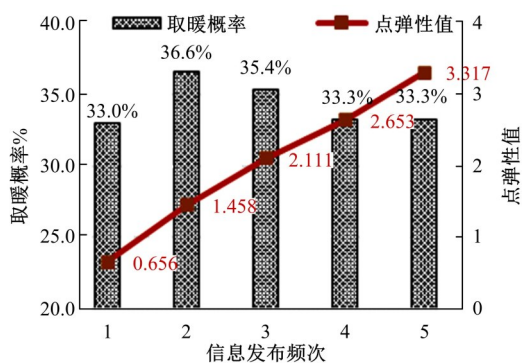


图7 信息发布频次对候车决策行为的影响

Fig. 7 Influence of information release frequency on decision-making behavior of waiting

5 结 论

(1)大型寒冷赛事活动中,行人的候车决策行为为受多种因素耦合作用影响,而手机信息干预可作为赛区候车区客流引导与调控的一种有效手段。

(2)受手机信息干预时,行人的候车决策行为主要受取暖地点布设、距离比赛时间的影响。因此,管理者在进行信息发布时,应当关注信息内容对行人行为干预效果的影响。

(3)手机信息发布频次的变化对于行人决策行为具有显著的调节作用。因此,建议管理者在进行手机信息发布时,注意对信息发布频次这一因素的控制,以提高信息干预效果。

(4)综上,手机信息的动态干预有助于候车行人寻找临时取暖地点,减少寒冷天气的侵扰,进而提升赛区候车区服务质量。论文研究可应用于大

型活动客流组织、管理中,为管理者在客流引导、信息服务提升等方面提供借鉴。但是,实际影响因素的选取与调查应根据具体应用场景及行人特征来确定。

参考文献:

- [1] Deng Y, Cao B, Yang H, et al. Effects of local body heating on thermal comfort for audiences in open-air venues in 2022 Winter Olympics[J]. Building and Environment, 2019, 165: No. 106363.
- [2] 张越. 基于ACP方法的城市轨道交通枢纽应急疏散若干问题研究[D]. 北京: 北京交通大学电子信息工程学院, 2013.
Zhang Yue. Several problems of urban rail transit hub emergency evacuation based on ACP approach[D]. Beijing: College of Electrical and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 2013.
- [3] 孙祥龙, 冯树民, 吴海月. 站台环境与候车行为对感知候车时间的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51(2):186-190.
Sun Xiang-long, Feng Shu-min, Wu Hai-yue. Influence of stop environment and waiting behavior on perceived waiting time[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2019, 51(2):186-190.
- [4] Wang P C, Hsu Y T, Hsu C W. Analysis of waiting time perception of bus passengers provided with mobile service[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2021, 145(6):319-336.
- [5] 马卫武, 刘小燕, 李立清. 铁路客运站旅客候车时间研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(5):104-107.
Ma Wei-wu, Liu Xiao-yan, Li Li-qing. Research of waiting time of passengers at railway stations[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(5): 104-107.
- [6] Lu Hui, Burge Peter, Heywood Chris, et al. The impact of real-time information on passengers' value of bus waiting time[J]. Transportation Research Procedia, 2018, 31:18-34.
- [7] Věra K, Prague U. Combined restraint and cold stress in rats: effects on memory processing in passive avoidance task and on plasma levels of ACTH and corticosterone[J]. Behavioural Brain Research, 2003, 142(1/2):143-149.
- [8] Long W B, Edlich R F, Winters K L, et al. Cold injuries[J]. J Long Term Eff Med Implants, 2005, 15(1):67-78.
- [9] Reed H L, Reedy K R, Palinkas L A, et al. Impair-

- ment in cognitive and exercise performance during prolonged antarctic residence: effect of thyroxine supplementation in the polar triiodothyronine syndrome[J]. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2001, 86(1):110-116.
- [10] 关宏志. 非集计模型——交通行为分析的工具[M]. 北京:人民交通出版社, 2004:5-35.
- [11] 张文会, 秦佳琪, 等. 考虑拥挤度的常规公交与地铁出行方式选择模型[J]. *吉林大学学报:工学版*, 2021, 51(1):200-205.
Zhang Wen-hui, Qin Jia-qi, et al. Travel choice between bus transit and subway considering crowding degree[J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2021, 51(1):200-205.
- [12] 赵顼, 陆建, 张文珺, 等. Logit模型下的道路拥堵收费策略改善效果分析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2017, 49(3): 80-85.
Zhao Yi, Lu Jian, Zhang Wen-jun, et al. Improvement effect analysis of congestion pricing using Logit model[J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2017, 49(3): 80-85.
- [13] Horowitz J L. Reconsidering the multinomial probit model[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 1991, 25(6):433-438.
- [14] Ehrhart O. Dry wind chill effect and clothing [J]. *Journal of Wilderness Medicine*, 1991, 2(2): 102-109.
- [15] Koppelman F S, Wen C H. The paired combinatorial logit model: properties, estimation and application[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2000, 34(2):75-89.