

# 交通政策对主卫城间多模式交通选择行为的影响及系统效益测算

马书红,孙言涵

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

**摘要:**交通政策和管理措施的实施会对主卫城间多模式复合交通出行行为选择方式和系统整体效益产生影响,需要科学评估其影响程度,为城间交通模式的协调配置提供参考。在对城间交通模式及其出行行为特征进行分析的基础上,将基于随机效用理论的 MNL 模型和基于 Logsum 差异的效益测算方法相结合,针对城间 4 种典型的交通模式,通过构建基准情景和多种可能情景,测算了不同交通政策实施对城间交通出行选择的影响和出行者效益。结果表明,实施公交优先(减少乘客出行时间)对城间交通出行选择行为的影响较大,并具有较明显的系统经济效益,在协调城间交通模式配置时可优先考虑。

**关键词:**交通政策;交通模式;行为分析;MNL 模型;Logsum 差异;效益测算

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-6248(2015)04-0042-06

主卫城间(大城市和卫星城之间)的交通出行严格来说属于复合式出行。复合式出行是指出行者在整个出行过程中使用两种或两种以上的交通方式。主卫城间的交通出行具有较明显的时间特性,并且出行距离较长,可选交通模式有一定范围。研究主卫城间多模式交通出行选择行为及影响因素、影响效果等对于合理地进行城间交通模式配置、提高城间交通运行效率具有重要意义。

从已有的研究成果看,王花兰等对城间交通出行特性进行了分析<sup>[1]</sup>,马书红等从出行者需求和系统协调发展的角度研究了城间交通模式配置<sup>[2]</sup>,并提出了基于 SWOT 分析和熵权决策的城间交通模式发展对策,苏友梅以重庆市为例探讨主卫城间交通模式选择的评价指标<sup>[3]</sup>,这些研究成果集中于从模式本身的角度来进行分析,对系统中出行者的选择行为及出行者效益的研究较少。在随机效用理论

的假设前提下,出行者的选择总是致力于实现自身效益(效用)的最大化,本文从这一角度出发,在对主卫城间多模式出行选择行为进行分析的基础上,采用基于 MNL 模型和基于 Logsum 差异的出行者效益测算方法,对不同政策情景下城间交通模式的选择行为及效益测算结果进行分析,可以对城间交通模式的协调配置提供参考。

## 一、主卫城间多模式交通选择行为及特征

### (一)主卫城间交通模式分析

相对于市内交通出行来说,主卫城间的交通出行属于较长距离出行,出行者的交通选择往往基于对出行时间、出行费用、可靠性、舒适性和方便性等多方面

收稿日期:2015-06-01

基金项目:国家自然科学基金项目(51178055);陕西省交通厅科技项目(15-07R)

作者简介:马书红(1975-),女,河北藁城人,副教授,工学博士。

的因素综合考虑后确定。考虑主卫城间的交通供应情况,以客运为分析对象,出行者可选的交通模式如图 1 所示。其中综合交通模式是指小汽车、公交、轻轨、地铁及市郊铁路中两种或两种以上交通方式并存,且难以区分主次交通方式的交通模式,也是目前中国主卫城间普遍存在的发展模式。该模式的存在,使得主卫城间的出行者可以做出更多的出行选择。

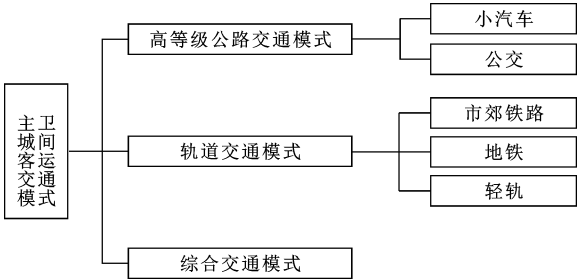


图 1 主卫城间客运交通模式类型

(二) 城间交通出行选择行为及其特征

随着主城区、卫星城和走廊两侧城镇间交流的增加,主卫城间的出行在目的和特征上趋向于与城市交通特征相类似,传统以公路交通为主的城际交通网络不能满足区域交通的要求,并开始向公共交通为主的交通结构转化,交通需求特征趋向于城市交通<sup>[1]</sup>。

城间客运交通走廊一般由一条或几条路径并联或串联组成,各种运输方式之间近似独立,旅客出行路径和方式都是有限的,对旅客来说,选择了“路径”也就选择了“方式”。由于城间客流有相当部分以上班、上学为目的,出行次数多,因此对出行时间和出行费用的关注较高;同时对于走廊两侧的乡镇客流,出行费用也是出行方式选择的重要影响因素。城间交通出行一般是复合式出行,即在一次出行中往往会采用一种或几种交通方式。整个出行包括主出行段和集散段,其中主出行段的长距离出行方式往往是图 1 所示的某种模式,集散段(包括汇集和分流)则主要采用步行、自行车或小汽车模式。城间复合式交通出行模式见图 2 所示。

(三) 城间典型的复合式交通出行模式

对图 2 进行分析,可以得出主卫城间的复合式交通出行模式有 36 种(假定小汽车出行不需要汇集和分流,可以直接从起点到达终点),出行者首先采用步行、自行车或小汽车方式完成汇集过程,然后

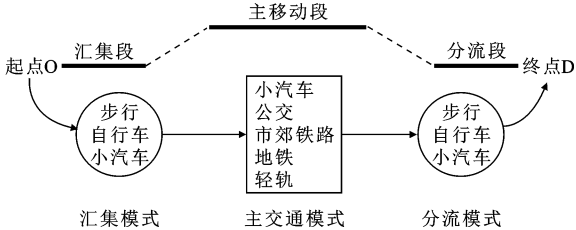


图 2 城间复合式交通出行模式

选择小汽车、公交、市郊铁路、地铁或轻轨等方式实现长距离出行,最后仍采用步行、自行车或小汽车出行中的一种完成分流过程,到达目的地。鉴于地铁与市郊铁路相比运能大致相同,但地铁造价较高,因此,在对主卫城间交通模式进行分析时,选择市郊铁路作为可选模式之一,而对外延型新区与主城的交通联系,则考虑地铁作为可选模式之一。

实际上,由于卫星城和主城之间往往相隔较长距离,用自行车作为集散交通方式需要考虑车辆停放,由于自行车携带不便而只能在起点或终点集散时使用,因此选用自行车作为集散交通方式的情况较少(近年来,公共自行车在中国大城市的逐渐普及将扩大其作为集散工具的可能性,并将和其他交通方式结合形成新的交通出行模式);用小汽车作为集散交通方式在中国也不多见。因此,对上述可能的交通模式进行简化,得到 4 种典型的城间交通出行模式:步行+市郊铁路+步行;步行+公交+步行;步行+轻轨+步行;小汽车。

二、主卫城间常用交通政策及影响分析

政府的有效激励和管制在很大程度上可以影响人们的出行决策和模式选择行为,在城市交通日益拥堵的今天,制定科学合理的政策和措施对实现主卫城间交通的可持续发展具有重要意义。事实上,任何一种交通政策的实施,往往会对交通系统的多个利益相关主体<sup>[4]</sup>产生影响,而站在出行者的角度进行考虑,制定的交通政策应该能够影响系统出行者的交通选择行为,并使得系统全部出行者的效益实现最大化。

从常用交通政策和措施出发,结合城间交通出行特征,确定备选的交通政策(措施)包括:

第一,优先发展公共交通的政策和措施。包括缩小发车间隔、降低公交票价、给予公交在道路和交叉口优先通行权、发布公交到站信息、改善公交车乘坐环境、站点优化等提高公交可达性、可靠性和舒适

性的措施。

第二,限制小汽车发展的政策和措施。包括对小汽车征收通行费、停车费(从无到有或者从低到高),提高燃油费价格,对小汽车的使用进行一定程度的限制等。

第三,提高基础设施建设及服务能力。包括对道路和交叉口进行改造、对路段区间进行速度管理的各项措施。

上述政策(措施)的实施将在一定程度上影响各种交通方式的出行特性,对城间典型交通模式的出行时间、出行费用、舒适性和可靠性等产生影响,并进而影响出行者的出行选择和决策行为。具体影响内容如表1所示。

三、主卫城间多模式交通选择行为分析理论及效益测算方法

(一) 随机效用理论及 MNL 模型

随机效用理论在交通行为分析中主要应用于出行方式选择、路径选择、停车行为分析、居民住房选址与可达性关系等<sup>[5-8]</sup>,其将出行者的选择行为视为和消费者具有相类似的原理,认为出行者会使自己的选择行为效用最大化。主卫城间交通模式的选择也属于这类问题,故可应用随机效用理论进行分析。

在用随机效用理论分析出行者的选择行为时,常用的分析模型是 Logit 模型。其中二元 Logit 模型(BL)、多项 Logit 模型(MNL)和嵌套 Logit 模型(NL)实际中较多采用,常用于确定方式选择结果(即选择概率)。BL 模型可以看作是 MNL 模型的特殊形式,NL 模型的不同层次也可用一个 MNL 模型来描述。对 MNL 模型而言,通常其表达式如式(1)、

(2)所示。

$$P_i = e^{v_i} / \sum_{i=1}^K e^{v_i} \tag{1}$$

$$V_i = \beta_1 \cdot X_{i1} + \beta_2 \cdot X_{i2} + \beta_3 \cdot X_{i3} + \cdots \beta_n \cdot X_{in} \tag{2}$$

式中: $P_i$  为出行者选择某一选择枝  $i$  的概率; $K$  为选择枝数量; $V_i$  为出行选择某一选择枝  $i$  的效用,常表示为式(2); $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n$  为常数; $X_{i1}, X_{i2}, \cdots, X_{in}$  为自变量; $e^{v_i}$  为效用。

(二) 基于 Logsum 的出行者效益测算方法

Logsum 方法是在 1978 年提出的,该方法基于随机效用最大化理论来估计当系统用户的出行选择相对于出行时间、费用等发生变化时,用户效益的增加量或减少量;认为出行需求是单个个体行为选择影响因素(如出行时间、费用)发生变化的结果,所有个体总效用货币化后的 Logsum 差异就是消费者剩余的变化<sup>[8]</sup>,即所说的用户效益或出行者效益。

由于消费者剩余通常与选择枝有关,当用 Logit 模型和随机效用最大化原理进行分析时,消费者剩余的变化可以用方案实施前后(或不同情景间)期望消费者剩余的差值来表示。在这一过程中,不同方案的效用表达是进行后续计算的基础。式(3)给出了基于 Logsum 方法进行用户效益测算的基本公式。

$$\Delta E(CS_n) = (1/\alpha_n) [ \ln( \sum_i e^{v_{ni}^1} ) - \ln( \sum_i e^{v_{ni}^0} ) ] \forall n, i \tag{3}$$

式中: $\Delta E(CS_n)$  为消费者剩余的变化量,在这里也就是出行者  $n$  的效益;上标 0,1 表示方案实施前后(或基准方案和目标方案); $\alpha_n$  代表出行者收入的边际效用  $V_n$  为出行者  $n$  的代表性效用(通常为确定性效用); $i$  为备选方案的选择枝。

表 1 交通政策对出行方式特征和出行者选择行为的影响

交通政策	措施	影响内容	结果
优先发展公共交通	缩小发车间隔	公交候车时间(包括轻轨、地铁)	出行者对主卫城间每一种交通模式的选择结果会发生变化;系统全部出行者整体的效益会发生变化
	降低公交票价	公交出行费用(包括轻轨、地铁)	
	给予公交在道路和交叉口优先通行权	公交运行速度和乘车时间	
	发布公交到站信息	公交可靠性	
	改善公交车乘坐环境	公交舒适性	
	站点优化	公交集散时间(包括轻轨、地铁)	
限制小汽车发展	对小汽车征收通行费、停车费	小汽车出行附加费用	
	提高燃油费价格	小汽车运行费用	
	对小汽车的使用进行一定程度限制	小汽车使用方便性	
基础设施建设及服务能力	对道路和交叉口进行改造	道路通行能力、普通公交和小汽车运行速度	
	对路段区间进行速度管理	普通公交和小汽车运行速度	

(三) 分析思路与步骤

将基于随机效用理论的 MNL 模型与基于 Logsum 差异的出行者效益测算方法相结合,可以模拟多种情景,对主卫城间的交通选择行为和出行者效益变化情况进行分析,从而更准确地把握不同政策和管理措施对城间交通模式选择的影响。具体思路 and 步骤如下:

第一,明确城间典型的复合式交通出行模式,确定基准模式下各交通模式的出行特征参数,应用 MNL 模型计算基准模式下出行者对各交通模式的选择概率。

第二,确定城间交通模式及系统发展政策(措施)的可能集合,结合实际情况,提取可能的、有代表性的政策(措施)。

第三,根据可采取的措施,构造多种可能情景模式,对不同情景模式下各出行模式的特征参数进行计算,并选择合适的效用表达方式,计算基准情景和可能情景下各典型交通模式的确定性效用;美国 NCHRP 365 报告中给出了一个出行方式选择分析时常用的效用表达式<sup>[11]</sup>,见式(4),可用于本文确定性效用的分析。

$$V_i = a_i + b_i \times I_i + c_i \times O_i + d_i \times C_i \quad (4)$$
式中: $I_i$  为出行者选择某一方式  $i$  的车内时间; $O_i$  为车外时间; $C_i$  为出行者选择某一方式  $i$  的出行费用; $a_i, b_i, c_i$  和  $d_i$  为常数,可根据现状数据进行拟合; $V_i$  为各典型交通模式的确定性效用。

第四,基于不同的情景模式,分析在该情景下出行者个人偏好、出行选择的可能变化情况,计算出行者对不同交通模式的选择概率。

第五,在主卫城间出行者数量  $N$  确定的情况下,在式(3)的基础上,测算系统出行者整体的效益  $B_N$ 。见式(5):

$$B_N = N \cdot (1/\alpha_n) [\ln(\sum_i e^{v_{ni}^1}) - \ln(\sum_i e^{v_{ni}^0})] \quad (5)$$

第六,改变确定性效用表达式中的变量值或系数取值,分析在输入变量和参数发生变化时,出行者选择行为的变化规律和系统效益的变化情况。

四、算例分析

(一) 基本假设

假设某主卫城间的可选交通模式是 4 种常见的典型交通模式:①小汽车;②步行+普通公交+步行;③步行+轻轨+步行;④步行+市郊铁路+步

行。主城与卫星城间的距离为 10.9km,其中主行程段 10km,汇集和分流距离分别为 0.4km 和 0.5km,步行速度 5km/h,模式②、③、④发车间隔分别为 20min、20min 和 30min,等待时间为发车间隔的一半。假定城间交通出行人数为 1 000,具有相同的时间价值。

小汽车出行费用,按照中低档车车辆使用费率在 0.45~1.1 元/km 之间的现状,取 0.6 元/km 进行分析;停车收费标准为 3 元/次。

公共交通票价的确定在参考国内各大城市票价的基础上选定。普通公交采用 1 元一票制,轻轨和市郊铁路采用按里程计价的方式,基准票价取为 3 元,基准票价乘坐距离上限取为 8km,票价递增费率轻轨取为 0.5 元/km,市郊铁路为 1 元/km。

每种模式的出行时间、相关计算参数、费用情况整理如表 2 所示。

表 2 典型交通模式出行时间、费用计算情况表

主要参数	小汽车	公交	轻轨	市郊铁路
计算里程/km	10.9	10+0.9	10+0.9	10+0.9
平均车速/(km·h <sup>-1</sup> )	40	20	30	50
交叉口及红灯延误/min	3	3	0	0
等待时间/min	0	10	10	15
集散时间/min	0	10.8	10.8	10.8
车内时间/min	19.35	33	20	12
车外时间/min	0	20.8	20.8	25.8
总出行时间/min	19.35	53.8	40.8	37.8
停车费/元	3	0	0	0
运行费或票价/元	6	1	4	5
总出行费用/元	9	1	4	5

注:车内时间、车外时间和出行费用直接用于计算确定性效用  $V_i$ 。

(二) 基准情景及计算结果

将上述假设情景作为基准情景,以表 2 为基础,用式(4)和式(1)计算相对应的确定性效用及出行者的选择概率,相应的参数取值、效用计算和出行者选择概率计算结果见表 3。

(三) 政策影响下的多情景构建及计算结果

交通政策的实施会对主卫城间交通出行者的选择行为及选择结果产生影响,进而影响整个系统出行者的效益,不同的交通政策往往会产生不同的影响结果。以基准情况为参考,构建 4 种可能情景,对政策影响下各模式出行特征发生变化后的出行选择行为和系统出行者效益进行分析(表 4)。

表 3 基准情景下的效用计算及出行者选择概率

	小汽车	公交	轻轨	市郊铁路
$a_i$	-0.8	0	-1	-1.5
$b_i$	-0.025	-0.025	-0.025	-0.025
$c_i$	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
$d_i$	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
确定性效用 $V_i$	-1.319 75	-1.869	-2.556	-3.11
$\exp(V_i)$	0.267 20	0.154 27	0.077 61	0.044 61
选择概率 $Pr_i$	0.491	0.284	0.143	0.082

注: $a_i, b_i, c_i$  和  $d_i$  为常数, $a_i$  表示出行者对交通模式选择的偏好, $b_i, c_i$  和  $d_i$  表示车内时间、车外时间和出行费用对出行者效用及选择结果的影响系数,在对现状调查基础上确定。

情景 1:假定大力推行公共交通优先政策,交叉口公交优先(公交的交叉口和红灯延误减少为 1min)和减小发车间隔(普通公交和轻轨的发车间隔由原来的 20min 减小为 10min),其他交通模式及出行特征不变。情景 2:假定大力推行公共交通优先政策,普通公交和轻轨的出行费用减少一半,分别由原来的 1 元和 4 元降低为 0.5 元和 2 元,其他交通模式及出行特征不变。情景 3:假定适当限制小汽车的发展,小汽车运行费用和停车费均提升 100%,总出行费用由 9 元提高到 18 元,其他交通模式及出行特征不变。情景 4:假定城间道路通行能力大幅提高,小汽车和普通公交出行速度均提升 50%,其他交通模式及出行特征不变。不同情景下各交通模式及其主要变量情况见表 4。

可以看出,情景 1:随着公共交通出行时间的减少,小汽车出行和市郊铁路出行模式开始向普通公交

和轻轨转化,并且小汽车转化和向普通公交转化的力度大,系统出行者效益为 327.2 元。情景 2:随着公共交通出行费用的减少,出行者的选择结果基本没有变化,系统出行者效益仅为 4.3 元。情景 3:当小汽车出行费用增加一倍时,小汽车出行向其他方式转化,但转化量极小,系统出行者效益为 -43.8 元。情景 4:城间道路通行能力大幅提高使得小汽车和普通公交出行速度均提升 50%,小汽车出行方式无太大变化,轻轨和市郊铁路出行随着普通公交出行时间缩短而向普通公交转化,系统出行者效益为 354.5 元。

(四) 分析结论

上述 4 种模式中,由于各种交通政策(或措施)的实施而对城间交通出行选择行为和出行者效益产生影响。其中情景 2 和情景 3 影响较小;情景 1 对城间交通出行选择行为和出行者效益的影响较大,系统出行者效益明显;情景 4 对城间出行选择行为和出行者效益的影响也比较明显,但小汽车出行方式比例变化不大。同时考虑情景 1 和情景 4 中相应措施的实施成本和系统效益,可知实施公交优先(减少公交出行时间)的成本一般低于提升道路通行能力的成本,但两种情况下系统效益相差不大。因此,基于性价比的考虑,应该优先采用公交优先政策,减少公交出行时间,从而引导小汽车出行模式先公共交通方式转变。

五、结语

城间交通模式及其特征的变化往往会对出行者

表 4 可能情景下各交通模式出行特征、选择结果和效益计算表

情景	交通模式	车内时间/min	车外时间/min	总出行时间/min	总出行费用/元	确定性效用 $V_i$	选择概率 $Pr_i$	系统出行者效益/元
情景 1	小汽车	19.35	0	19.35	9	-1.319 75	0.431	327.2
	公交	31	15.8	46.8	1	-1.569	0.336	
	轻轨	20	15.8	35.8	4	-2.306	0.161	
	市郊铁路	12	25.8	37.8	5	-3.11	0.072	
情景 2	小汽车	19.35	0	19.35	9	-1.319 75	0.490	4.3
	公交	33	20.8	53.8	0.5	-1.867	0.284	
	轻轨	20	20.8	40.8	2	-2.548	0.145	
	市郊铁路	12	25.8	37.8	5	-3.11	0.082	
情景 3	小汽车	19.35	0	19.35	18	-1.355 75	0.482	-43.8
	公交	33	20.8	53.8	1	-1.869	0.289	
	轻轨	20	20.8	40.8	4	-2.556	0.145	
	市郊铁路	12	25.8	37.8	5	-3.11	0.083	
情景 4	小汽车	13.9	0	13.9	9	-1.183 5	0.488	354.5
	公交	23	20.8	43.8	1	-1.619	0.316	
	轻轨	20	20.8	40.8	4	-2.556	0.124	
	市郊铁路	12	25.8	37.8	5	-3.11	0.071	

的效益、效用产生影响,进而影响出行者的行为方式和选择结果,因此在交通政策制定和管理措施实施时,需要首先评估其影响程度。本文在对城间多模式交通出行选择行为及其特征进行分析的基础上,针对城间复合式交通出行,将 MNL 模型和基于 Logsum 差异的效益测算方法相结合,通过构建基准情景和多种可能情景,测算了交通政策实施对城间交通出行选择的影响和系统出行者效益。所得结果对于协调主卫城间交通模式配置,进而实现城市交通的可持续发展具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 王花兰. 中心城市-卫星城市间交通配置模式研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [2] 马书红,孙传娇,周伟,等. 基于随机效用模型的大城

- 市与卫星城市间交通模式配置研究[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2008,32(2):316-319.
- [3] 苏友梅. 特大城市主城区和卫星城间交通模式选择研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2010.
- [4] 丁胜仁,马书红. 大城市-卫星城间交通协调发展的政策设计[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,9(6):54-59.
- [5] 邵昀泓,王伟,程琳. 出行方式决策的随机效用模型研究[J]. 公路交通科技,2006,23(8):110-115.
- [6] 解晓灵,张星臣,陈军华,等. 城市轨道交通乘车路径随机效用模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2014,14(2):127-131.
- [7] 郑长龙. 基于效用理论的城市居民出行方式选择分析[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [8] 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.

## Influence of transportation policy on the multi-mode transportation choice behavior between megacity and satellite city and the system benefit estimation

MA Shu-hong, SUN Yan-han

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Transport policy and management measures have an influence on multi-mode transportation choice behavior between megacity and satellite city and the system's whole benefits, which makes it necessary to make a scientific evaluation of the influence and provide a reference for the coordinated configuration of the intercity transportation mode. Based on the analysis of intercity transportation mode and the characteristics of travel behavior, MNL on the basis of random utility theory and benefit estimation method on the basis of Logsum differences were combined together. According to the four typical intercity traffic patterns, the influence of the different transportation policies on the intercity travel choice and travelers' benefits were estimated by constructing a baseline scenario and a variety of possible scenarios. The results show that the implementation of bus priority policy (to reduce passenger travel time) has a significant impact on intercity travelers' behavior choice and achieves obvious system economic benefits, which should be given priority in the coordination of intercity transportation mode.

**Key words:** transportation policy; transportation mode; behavior analysis; MNL; Logsum difference; benefit estimation