

# 城市群公路客运通道与城市交通网络 衔接模式选择模型

周天星<sup>1</sup>, 毛剑楠<sup>2</sup>, 刘澜<sup>\*2</sup>, 余一凡<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031)

**摘要:** 为了解决城市群背景下公路客运通道与城市交通网络衔接模式选择问题, 本文首先基于城市群中各类公路通道特点, 量化城市群中城市间通道结构形式, 建立城市群通道体系宏观架构模型, 对城市群公路客运通道进行分类; 其次, 提出衔接模式选择模型, 通过赋权计算综合城市基础属性指标, 根据得到的城市发展规模指数对其进行分类。随后, 基于城市连接通道的类别及城市属性, 计算判断通道与城市交通网络衔接形式。最后, 对成都平原城市群进行算例分析。研究表明, 设计的衔接模式判断模型能够量化城市群客运通道类型与城市发展规模, 有效判断城市群公路客运通道与城市衔接模式, 能够为城市群公路网规划提供理论依据。

**关键词:** 公路运输; 城市群; 公路客运通道; 衔接模式; 权重计算

## Connection Model of Highway Passenger Transportation Corridor and Urban Transit Network in Metropolitan Area

ZHOU Tian-xing<sup>1</sup>, MAO Jian-nan<sup>2</sup>, LIU Lan<sup>2</sup>, YU Yi-fan<sup>2</sup>

(1. Transportation and Urban Planning Institute, China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdu 610031, China; 2. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to integrate the highway passenger transportation corridor and urban transit network in metropolitan area, this paper firstly aims at measuring the structure of inter-city corridors based on the characteristics of highway corridors, and then establishes the macro-architecture model of transportation corridor in metropolitan area to clarify the inter-city corridors. Secondly, a connection selection model is proposed. The selection model calculates the basic attribute of cities to obtain the urban development scale index then clarifies them. Based on the aforementioned two models, connection mode of transportation corridor and urban network can be determined in a calculation way. Finally, Chengdu metropolitan area is analyzed as an example. The results show that the design connection model can not only measure the corridor type between cities and the scale of urban development but also judge the connection type between highway passenger corridors and urban transit network effectively. And it can provide a theoretical basis for highway network planning in metropolitan area.

**Keywords:** highway transportation; metropolitan area; highway passenger corridor; connection mode; weight calculation

## 0 引言

随着我国城市发展, 城市群作为我国城市发展的新的主体空间形态, 逐渐占据了城市空间发展的主体地位<sup>[1]</sup>。然而, 城市群中各城市间的交通联

通问题成为制约城市群规模及城市群协同发展的重要因素, 其中最为关键的就是城市间客运通道与城市内部交通网络的衔接问题, 如何实现两者的衔接规划逐渐成为交通规划的关注热点。

收稿日期: 2017-12-18

修回日期: 2018-04-09

录用日期: 2018-04-27

基金项目: 中国中铁二院科研项目/Research Project of China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd.(KYY2017044(17-18)).

作者简介: 周天星(1979-), 男, 安徽利辛人, 高级工程师。

\*通信作者: jianan\_l@swjtu.cn

现有对通道与城市网络的衔接研究大多从该城市的经济交通特性出发,孤立地对城市衔接模式或者通道自身运输情况进行判断.李嵘等<sup>[2]</sup>基于区间层次及可拓理论建立衔接路段评价模型.但是该方法只适用于判定单个城市的衔接问题,缺少在城市群背景下的考虑.孙启鹏等<sup>[3]</sup>构建通道耦合协调度模型,评价综合运输通道各方式的协调水平,侧面反映出城市运输通道的运行情况.吴颖等<sup>[4]</sup>运用系统动态理论分析路段和运输节点在识别运输通道的影响要素.此类研究将通道与衔接问题分割,缺少连贯的综合分析,在一定程度上来说是比较片面的.另外,对衔接模式选择的研究大多基于经验分析方法.涂圣文等<sup>[5]</sup>在公路衔接现状调查及规划方案研究的基础上,基于分析评价方法得到了干线公路过境规划评价方法.此类方法都是经过对区域规划现状进行详细调查后得到的,缺少量化分析评定,导致通道与城市网络的研究大多只能对个别城市奏效,难以运用到城市群背景下的衔接规划中.同时,由于城市群交通流受城市相互作用的影响<sup>[6]</sup>,传统针对单个城市的衔接模式规划已经不适用于城市群衔接规划中.因此,迫切的需要一种立足于城市群层面的通道与城市交通网络衔接规划方法.

基于现有研究,本文对城市群客运通道与城市交通网络衔接模式选择问题进行研究.首先,从城市间运输联系强度、运输结构及运输可达性3方面构建城市群客运通道体系宏观架构模型,判断城市群各城市间客运通道类型;随后根据城市基础属性指标,建立城市发展规模匡算模型,测度城

市整体发展规模;同时综合2个模型的计算结果,确定城市衔接模式选择模型;最后将建立的模型运用到成都平原城市群实例分析中,确定各城市与客运通道衔接模式.

### 1 模型构建

本文所研究的城际公路客运通道和城市交通网络的衔接规划是在城市群内部已经形成交通通道和城市交通网络已经成熟的基础上,针对两者如何衔接问题进行研究和建模,流程图如图1所示.在具体建模前需做出两点假设:

**假设 1** 城市交通网、交通基础设施已经规划建设完成,城市内部交通网络已经成熟.

**假设 2** 城市群各城市间的公路网等交通基础设施已经规划建设完成,城市群内部已经形成交通运输通道.

#### 1.1 城市群客运通道体系宏观架构模型

本节通过构建城市群客运通道体系宏观架构模型,量化评价各城市间客运通道等级.城市群中各城市间交通联系紧密,孤立地对单个城市或者从单方面对城市群城市进行分析不能得到切合实际的结果.因此,考虑从各城市间运输联系强度、运输结构模式及运输可达性3方面对客运通道进行评价分析.

模型具体步骤如下:

**Step 1** 选取运输联系强度指标来表征城市间运量的大小,选取运输结构指标来表征城市间运输方式的构成情况,选取综合运输可达性来表征城市间的时空距离.

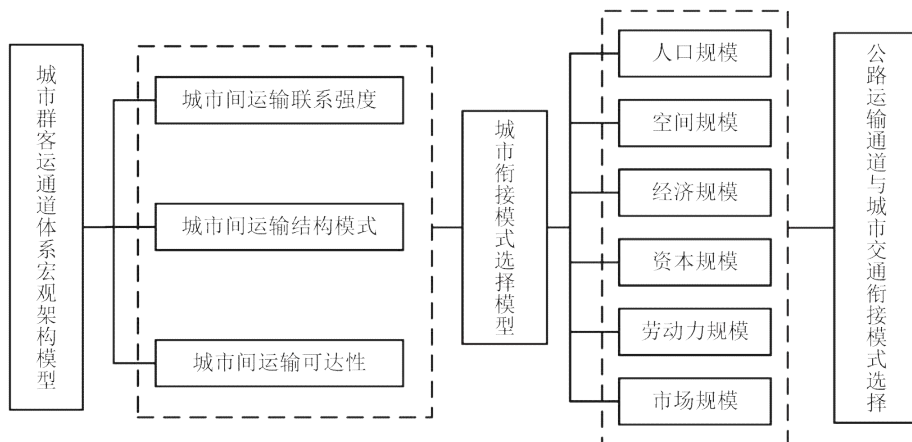


图1 模型流程图  
Fig. 1 Statistical flow

Step 2 构建运输联系强度的计算公式,即

$$I_{ij} = \frac{\sqrt{P_i \cdot V_i} \cdot \sqrt{P_j \cdot V_j}}{T_{ij}^2} \quad (1)$$

式中: $I_{ij}$ 表示两个城市之间空间运输联系强度; $P_i$ 、 $P_j$ 分别表示城市*i*、*j*的公路运输货物周转总量(万吨公里); $V_i$ 、 $V_j$ 分别表示城市*i*、*j*的公路客运周转总量(万人公里); $T_{ij}$ 表示城市*i*与城市*j*之间的最短旅行时间(min)。

Step 3 构建运输结构的计算公式,即

$$B_{ij}^k = \frac{1}{e^{x_{ij}}} n_{ij}^k \quad (2)$$

式中: $B_{ij}^k$ 为两个城市间公路通道种类为*k*时城市间运输结构值; $n_{ij}^k$ 为两个城市间公路通道种类(其中, $k=1$ 为国家级高速公路时, $n_{ij}^k$ 取2; $k=2$ 为省级高速公路时, $n_{ij}^k$ 取1.5; $k=3$ 为通道型干线公路时, $n_{ij}^k$ 取1; $k=4$ 为接入型干线公路时, $n_{ij}^k$ 取0.5); $x_{ij}$ 为两个城市间的通道中的城市个数,当城市个数大于等于4时,取值为4。两城市间公路运输结构值 $B_{ij}$ 为城市间存在的各通道种类的运输结构值 $B_{ij}^k$ 之和。

Step 4 构建综合运输可达性的计算公式,即

$$A_{ij} = W_{ij} \frac{(M_i + M_j)}{T_{ij}^2} \quad (3)$$

式中: $A_{ij}$ 为城市*i*到城市*j*的综合运输可达性; $W_{ij}$ 为城市*i*到城市*j*之间的客运班次; $M_i$ 和 $M_j$ 分别代表城市*i*和城市*j*的质量,即 $\sqrt{P \cdot GDP}$ ,其中*P*为城市的总人口数(万人),GDP为城市经济指标(万亿元)。

Step 5 综合上述指标得到综合通道指标 $C_{ij}$ 为

$$C_{ij} = A_{ij} \cdot B_{ij} \cdot I_{ij} \quad (4)$$

将结果标准化后,联系实际城市群通道情况,建立判断准则,如表1所示,构建城市群交通体系宏观架构。

### 1.2 衔接模式选择模型

在城市群交通体系宏观架构的基础上,本节将建立衡量城市发展规模的指标体系,并基于测算的城市总体规模,设置合理阈值,针对通道中不同城市节点选择合适的衔接模式。

Step 1 依据城市发展理论,选取能够全面衡量城市发展规模的评价指标,构建城市发展规模

的评价指标体系,如图2所示。

表1 交通运输通道判断准则

Table 1 Criterion for judging transportation corridors

判断准则	通道等级	通道特点
$C_{ij} \in (0.8, 1]$	一级通道 $C_1$	①城市间公路种类完善且国家级高速公路占较大比例;②城市间运输需求强,运输量大;③城市间大多为直通运行
$C_{ij} \in (0.5, 0.8]$	二级通道 $C_2$	①城市间公路种类较完善,多以通道型干线公路及省级高速公路为主;②城市间运输需求较强,运输量较大;③部分城市为直通运行
$C_{ij} \in (0.1, 0.5]$	三级通道 $C_3$	①城市间公路多以通道型干线公路及省级高速公路为主;②城市间运输需求及运输量较小;③城市间运输需要进行1次中转
$C_{ij} \in [0, 0.1]$	四级通道 $C_4$	①城市间公路多以干线公路为主;②城市间运输需求及运输量小;③城市间运输需要多次中转

Step 2 分别运用德尔菲法与主成分分析法判断指标的主、客观权重,随后综合两者求得最终权重值为

$$W_{T_j}^* = \sum_{a=1}^m M_{aj} / \sum_{a=1}^m \sum_{j=1}^n M_{aj} \quad (5)$$

$$W_{T_j} = \alpha W_{T_j}^* + (1 - \alpha) W_{T_j}^o \quad (6)$$

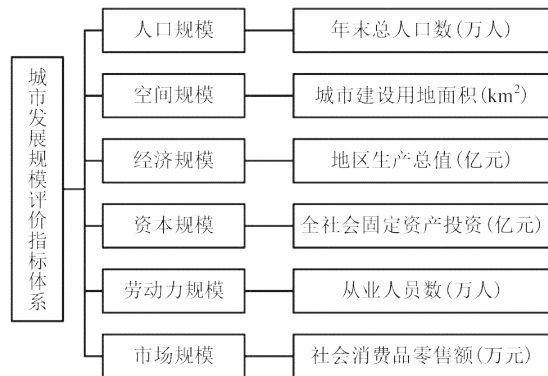


图2 城市发展规模评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index of urban development scale

式中: $W_{T_j}$ 为评价指标 $T_j$ 的综合权重; $W_{T_j}^*$ 为评价指标 $T_j$ 的客观权重; $W_{T_j}^o$ 为评价指标 $T_j$ 的主观权重; $M_{aj}$ 为专家*a*对指标 $T_j$ 的打分; $m$ 为专家个数; $n$ 为评价指标个数; $\alpha$ 为客观数据重视度系数, $\alpha$ 越大表示对客观数据越重视, $0 < \alpha < 1$ 。

**Step 3** 利用各项指标数据及对应的综合权重进行计算,得到城市发展规模指数为

$$X_i = \sum_{j=1}^6 X_{i,T_j} \cdot W_{T_j} \quad (7)$$

式中: $X_i$ 为城市*i*的城市发展规模指数; $X_{i,T_j}$ 为城市*i*评价指标*T<sub>j</sub>*的标准化处理值。

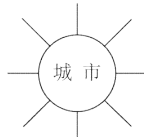


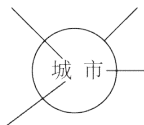

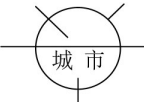
根据所获得的城市发展规模指数,基于统计

学与聚类原理,将城市群城市分为3个层次:首位重要城市( $X_i$ 处于25%中位数前),次重要城市( $X_i$ 处于50%中位数到25%中位数之间),一般城市( $X_i$ 处于50%中位数之后)。

**Step 4** 根据上文所得,结合涂圣文<sup>[7]</sup>的研究成果,确定公路衔接模式选择准则,如表2所示。

表2 城市发展规模与公路衔接模式选择关系

Table 2 The relationship between urban development scale and road connection mode

城市等级	通道等级	衔接模式	图式
首位重要城市	各级通道皆适用	A: 公路环射式衔接,环绕城市外围区域,与城市路网无缝衔接	
		B: 公路绕越式衔接,环绕城市周边穿过,通过支线与城市交通衔接	
次重要城市	二级通道C <sub>2</sub>	C: 公路切线式衔接,采取多点并行支线与城市衔接	
	三、四级通道C <sub>3</sub> 、C <sub>4</sub>	D: 公路插入式衔接,多点式接入城市快速路网	
一般城市	一级通道C <sub>1</sub>	E: 公路切弦式衔接,经过城市城边缘区域,与城市快速路多点衔接	
	二、三、四级通道C <sub>2</sub> 、C <sub>3</sub> 、C <sub>4</sub>	F: 公路穿插式衔接,穿过城市区域,接入城市交通网络	

## 2 算例分析

以成都平原城市群为例,验证上述方法的有效性。成都平原城市群包含成都市、绵阳市、德阳市、资阳市、眉山市、遂宁市、雅安市及乐山市8个城市,覆盖国土面积约6万km<sup>2</sup>,人口近4 000万人,是以平原为主要空间载体的城市群,具备大规模城镇集群发展的地理条件。

### 2.1 成都平原城市群通道体系宏观架构

根据城市群客运通道体系宏观架构模型,计

算成都平原城市群各城市间运输联系强度、运输结构指数及综合运输可达性,数据来源于《四川统计年鉴2016》,具体计算如下。

首先根据式(1)~式(3)计算各城市间运输联系强度、运输结构值与综合运输可达性,并运用log函数方法进行标准化。随后将3方面指标带入式(4),并对结果运用min-max标准化,求得综合通道指标与通道类别,如表3所示。观察表3可知,综合通道指标数据并不具备对称性。例如,成都市与

德阳市之间的综合通道指标因起讫点不同而不一致(成都—德阳为0.87,德阳—成都为0.78).这是由于在计算综合运输可达性时需要考虑城市间客运

班次,而不同城市间每日发车班次有所不同,最后计算得到的综合通道指标不具对称性.

表3 各城市间的综合通道指标及通道类别

Table 3 Comprehensive indicators and categories of corridors among cities

$C_{ij}/C$	成都	绵阳	德阳	资阳	眉山	雅安	遂宁	乐山
成都		0.30/ $C_3$	0.87/ $C_1$	0.85/ $C_1$	1.00/ $C_1$	0.83/ $C_1$	0.70/ $C_2$	0.28/ $C_3$
绵阳	0.30/ $C_3$		0.72/ $C_2$	0.04/ $C_4$	0.03/ $C_4$	0.04/ $C_4$	0.32/ $C_3$	0.00/ $C_4$
德阳	0.78/ $C_2$	0.69/ $C_2$		0.13/ $C_3$	0.12/ $C_3$	0.09/ $C_4$	0.11/ $C_3$	0.02/ $C_4$
资阳	0.59/ $C_2$	0.04/ $C_4$	0.13/ $C_3$		0.33/ $C_3$	0.08/ $C_4$	0.20/ $C_3$	0.09/ $C_4$
眉山	0.96/ $C_1$	0.02/ $C_4$	0.10/ $C_4$	0.33/ $C_3$		0.27/ $C_3$	0.07/ $C_4$	0.25/ $C_3$
雅安	0.87/ $C_1$	0.03/ $C_4$	0.09/ $C_4$	0.08/ $C_4$	0.27/ $C_3$		0.01/ $C_4$	0.10/ $C_4$
遂宁	0.54/ $C_2$	0.29/ $C_3$	0.10/ $C_4$	0.18/ $C_3$	0.07/ $C_4$	0.01/ $C_4$		0.02/ $C_4$
乐山	0.27/ $C_3$	0.00/ $C_4$	0.03/ $C_4$	0.09/ $C_4$	0.25/ $C_3$	0.10/ $C_4$	0.02/ $C_4$	

通道矢量图如图3所示.结果显示,三、四级通道 $C_3, C_4$ 在成都平原城市群中占绝大部分比例,达到78%,而这与成都城市群各城市低等级公路(四级公路与等外公路)所占总公路里程比例(83%)相仿.对照表1易知成都平原城市群各城市间运输通道需求量低,运量较少,需要多次换乘,城市交通便捷性不强,客运通道仍需进一步发展.考虑成本限制,最为可行的方法是通过增加城市间客运班次、缩短城市间最短旅行时间来增大综合运输可达性,争取增大二、三等级通道占比,提高直达性,减少中转换乘.同时,绝大部分一、二级通道都是与成都市相接,说明成都市在成都平原城市群处于核心地位.

分分析法确定成都平原城市群城市发展规模评价指标的客观权重,随后通过德尔菲法得到发展规模评价指标的主观权重;最后通过式(5)和式(6)计算发展规模评价指标的综合权重.另外,进行指标灵敏度分析,如图4所示,发现不同 $\alpha$ 值会对综合权重数值有较大影响,当 $\alpha$ 取值较大时,排序会相应发生变化.因此,本节对不同 $\alpha$ 值下各城市的城市发展规模指数进行计算.归一化处理后发现成都、绵阳稳定处于第一、第二位且与其余城市差距较大,因此将成都、绵阳剔除后对其余城市进行展示,如图5所示,发现 $\alpha$ 值的变化只会影响“一般城市”层次内部城市之间的排序,而不会影响总体的三个层次的排序.

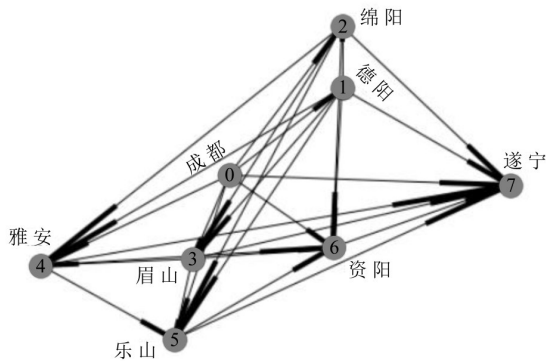


图3 成都平原城市群公路客运通道情况

Fig. 3 Highway passenger transportation corridors in Chengdu metropolitan area

2.2 成都平原城市群城市衔接模式

根据衔接模式选择模型,通过SPSS运用主成

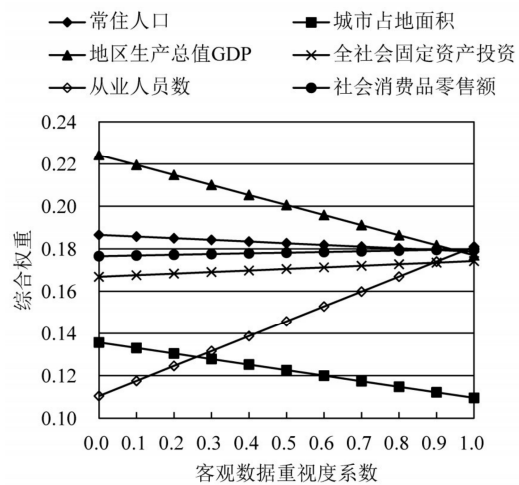


图4 指标权重灵敏度分析

Fig. 4 Sensitivity analysis on the weights of indices

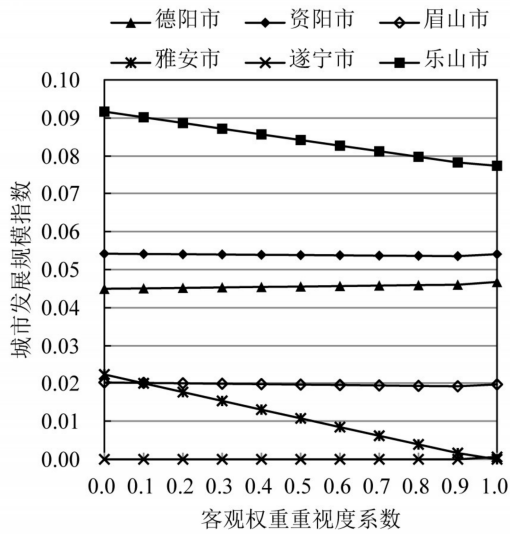


图5 不同 $\alpha$ 值下城市发展规模指数

Fig. 5 Development scale evaluation index in different value of  $\alpha$

本次算例分析以 $\alpha = 0.7$ 为例,具体结果如表4所示,将成都平原城市群城市划分为3个层次.

- (1) 首位重要城市:成都,绵阳.
- (2) 次重要城市:乐山,资阳.
- (3) 一般城市:德阳,眉山,雅安,遂宁.

表4 发展规模评价指标的权重  
Table 4 Weight of the development scale evaluation index

城市发展规模评价指标	客观权重	主权重	综合权重
常住人口	0.178 6	0.186 5	0.181 0
城市占地面积	0.109 5	0.135 6	0.117 3
地区生产总值GDP	0.176 9	0.224 2	0.191 1
全社会固定资产投资	0.174 2	0.166 8	0.172 0
从业人员数	0.181 0	0.110 4	0.159 8
社会消费品零售额	0.179 8	0.176 5	0.178 8

根据划分结果,对照表2,即可得到任意两个城市间运输通道的衔接模式,如表5所示.其中,A~F为表2内衔接模式代号,前一个代号为通道出发城市的衔接模式,后一个为通道抵达城市的衔接模式.

表5 任意两个城市间运输通道衔接模式(区分出发与到达城市)

Table 5 Connection mode of corridors between any two cities (Distinguish O and D)

衔接模式	成都	绵阳	德阳	资阳	眉山	雅安	遂宁	乐山
成都		(A,A)	(A,E)	(A,B)	(A,E)	(A,E)	(A,F)	(A,D)
绵阳	(A,A)		(A,F)	(A,D)	(A,F)	(A,F)	(A,F)	(A,D)
德阳	(F,A)	(F,A)		(F,D)	(F,F)	(F,F)	(F,F)	(F,D)
资阳	(C,A)	(D,A)	(D,F)		(D,F)	(D,F)	(D,F)	(D,D)
眉山	(E,A)	(F,A)	(F,F)	(F,D)		(F,F)	(F,F)	(F,D)
雅安	(E,A)	(F,A)	(F,F)	(F,D)	(F,F)		(F,F)	(F,D)
遂宁	(F,A)	(F,A)	(F,F)	(F,D)	(F,F)	(F,F)		(F,D)
乐山	(D,A)	(D,A)	(D,F)	(D,D)	(D,F)	(D,F)	(D,F)	

在成都—德阳市运输通道(A, E)中,起始点为成都时,通道为一级通道 $C_1$ ;起始点为德阳时,通道为二级通道 $C_2$ .就成都市(首位重要城市,一级通道 $C_1$ )而言,衔接模式可为:公路环射式衔接,环绕城市外围区域,与城市路网络无缝衔接.就德阳(一般城市,二级通道 $C_2$ )而言,衔接模式为:公路穿过城市区域,接入城市交通网络.在资阳—遂宁通道(D, F)中,无论起始点,通道为三级通道 $C_3$ .就资阳市(次位重要城市,三级通道 $C_3$ )而言,衔接模式可为:公路穿越式衔接,多点式接入城市快速路网.就遂宁(一般城市,三级通道 $C_3$ )而言,衔接模式为:公路穿过城市区域,接入城市交通网络.

### 3 结论

本文通过建立城市群交通通道体系宏观架构模型,对城市群公路运输通道进行了量化分析.随后基于城市公路衔接模式及城市基础属性的分析,综合主观与客观权重,计算城市发展规模指数,得到各类城市与通道的衔接模式判断模型.算例结果表明,本文所提出的方法可以量化计算通道与城市类型,进而客观地选择城市交通网络与通道衔接模式.

不同于以往定性研究,本文通过定量分析各类指标,得到衔接模式选择模型,避免了定性分析中主观因素影响.但是,本文仅仅考虑单一城市群

中各城市与城市群运输通道的衔接,进一步研究可以从不同城市群之间的城市与通道衔接,以及不同城市到同一城市的运输通道的混合问题展开.同时,不同客观数据重视度系数 $\alpha$ 对城市发展规模指数的影响也是下一步研究重点所在.

#### 参考文献:

- [1] 方创琳. 城市群空间范围识别标准的研究进展与基本判断[J]. 城市规划学刊, 2009(4): 1-6. [FANG C L. Research progress and basic judgment of spatial range recognition standards for urban agglomeration[J]. Urban Planning Forum, 2009(4): 1-6.]
- [2] 李嵘, 刘艳, 刘玉露. 基于IAHP-可拓理论的城市道路与高速公路衔接路段评价[J]. 交通科技与经济, 2015, 17(4): 27-33. [LI R, LIU Y, LIU Y L. Evaluation of urban road and expressway connecting link based on IAHP- extenics theory[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2015, 17(4): 27-33.]
- [3] 孙启鹏, 高捷, 邹海波, 等. 通道运输方式的耦合机理及耦合协调度模型[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2014, 34(5): 84-89. [SUN Q P, GAO J, ZOU H B, et al. Coupling mechanism and coupling coordination degree model of channel transport mode[J]. Journal of Chang'an University (Nature Science Edition), 2014, 34(5): 84-89.]
- [4] 吴颖, 卢毅, 黄中祥. 城市群综合路网运输通道仿真识别与优化[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2015, 35(5): 117-123. [WU Y, LU Y, HUANG Z X. Simulation and optimization of integrated road network transportation channel in urban agglomeration[J]. Journal of Chang'an University (Nature Science Edition), 2015, 35(5): 117-123.]
- [5] 涂圣文, 过秀成, 孙志华, 等. 干线公路过境规划评价方法研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2009, 7(1): 32-37. [TU S W, GUO X C, SUN Z H, et al. Study on the evaluation method of highway transit planning[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2009, 7(1): 32-37.]
- [6] 王国明, 李夏苗, 邹华鹏. 城市群道路网络上交通流的演化分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2014, 14(2): 7-12. [WANG G M, LI X M, ZOU H P. The evolution of traffic flow on the road network of urban agglomeration[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2014, 14(2): 7-12.]
- [7] 涂圣文. 干线公路与组团型城市衔接规划关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2014. [TU S W. Research on key technology of connection planning between trunk highway and group city[D]. Nanjing: Southeast University, 2014.]