

文章编号: 1002-0268 (2006) 10-0099-04

高速公路网规划阶段互通式立交选型方法研究

赵发科^{1,2}, 宋家骅², 李旭宏¹

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 深圳市城市交通规划研究中心, 广东 深圳 518034)

摘要: 提出适合在高速公路网规划阶段进行的立交等级划分和形式选择的实用方法。该方法首先选取 25 种具有代表性的立交形式作为分析对象, 然后提取这些立交形式的通行能力、设计车速、复杂程度、占地面积、造价等有关规模等级方面的技术指标作为变量进行聚类分析, 最后根据聚类分析结果将这些典型立交形式划分为不同规模和等级, 每一级中包含有数个立交基本形式, 它们具有相近的技术指标、规模和特点, 并有各自的适用条件和范围。为检验该方法的实用性, 选取安徽省高速公路网规划进行了实例分析。

关键词: 高速公路网; 立交形式规划; 规模等级划分; 聚类分析法

中图分类号: U412.11

文献标识码: A

Study on Interchange Type Selection at Expressway Network Planning Stage

ZHAO Fa-ke^{1,2}, SONG Jia-hua², LI Xu-hong¹

(1. Transportation College of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. Shenzhen Urban Transport Planning Center, Guangdong Shenzhen 518034, China)

Abstract: A methodology for the type selection of interchanges at expressway network planning stage was proposed. Firstly, 25 typical interchanges were selected to be the objects of the analysis. With the cluster analysis, the capacities, design speeds, complexities, areas required, and costs of these interchanges were analyzed for the classification. Based on the results of the cluster analysis, the 25 commonly used interchanges were classified into 6 classes, and the interchanges in each class have similar characteristics and application conditions. With the classification results, this methodology was applied in the Expressway Network Planning of Anhui Province for checking the applicability and practicability.

Key words: expressway network; interchanges types planning; scale classification; cluster analysis

目前, 在高速公路网规划阶段, 大多侧重路网的规划和布局研究, 而对于立交总体布局和形式选择却往往较少提及。虽然在该阶段, 难以也不必对每个立交单体的具体线形、匝道设计以及桥梁结构物等都做出十分详细的设计, 但是由于在立交单体设计阶段往往较少考虑整体路网布局情况, 所以如果能在高速公路网规划阶段对互通式立交的规模等级和基本形式做出明确的规划, 那么在单体设计时则可以按照规划中提出的建议和要求进行具体设计, 使得高速公路网规划不仅能提供宏观的总体规模控

制指标, 而且可以直接指导下阶段其他规划设计工作, 如预可、工可和初步设计等。所以综合考虑立交形式、立交规模等级和立交的适用范围这三者之间有着紧密的对应关系: 即每种立交形式均有其相应的适用条件和规模等级, 不同规模等级的立交具有不同的立交形式和不同的适用范围, 而每种适用范围可以选择的立交形式和规模等级也是相互对应的。本文首先选取 25 种具有代表性的立交典型形式, 然后提取这些立交形式有关规模等级的关键技术指标作为变量进行聚类分析, 将这些典型立交形式

收稿日期: 2005-05-23

作者简介: 赵发科 (1970-), 男, 新疆博乐人, 博士研究生, 研究方向为城市交通规划和公路网规划。(zfk@sutpc.com)

划分为不同规模的立交等级,每一级中包含有数个立交基本形式,它们具有相近的技术指标、规模、特点和适用条件。在实际项目中,根据实际交通条件和要求,对照聚类分析结果进行立交形式选择和规划。

1 互通式立交规模等级划分

1.1 立交典型形式的选取

按照不同的划分标准,互通式立交可以分为不同的类别,日本道路专家武部建一利用拓扑学原理,共组合出194种可以用于实际的立交形式。如此多的立交形式无法逐个进行分析,只能选取其中典型的立交形式进行分析。立交典型形式的选取是结合我国的立交建设现状,并在咨询了立交设计专家后,参照立交基本形式及其特点进行分析和总结,选取在规模、等级、功能和适用条件、复杂程度和造价等指标上具有代表性的25种典型而且常用的立交形式作为研究对象。这25种立交形式具有较为广泛的代表性,如图1所示^[1-6]。

图1 立体交叉典型形式示意图

Fig.1 Chart of typical interchanges types

1.2 立交形式规划过程

本文提出的立交形式规划过程是:首先按照聚类分析法原理,选取各种立交形式的关键指标值:通行能力、设计车速、复杂程度、占地面积和造价作为聚类的变量,将这25种典型立交形式划分成规模不同的级别,每一级均包含几种典型立交形式,而这几种立交形式的规模和特点类似,适用条件和范围类似。然后,根据路网节点的交通条件和要求,

对照聚类分析结果,提出立交形式建议,进行立交形式选择和规划。

1.2.1 聚类分析法原理^[7,8]

聚类分析法是按照物以类聚的指导思想,采用数学上多元分析的方法,以欧氏距离为度量度,把样本分为相似的集合(即类),每一个集合都有其典型的特征。

(1) 假设共有 n 个立交形式,分别用 m 个指标作为分析规模等级的评价指标,从而构造一个 $n \times m$ 的矩阵。

(2) 把 n 个立交形式各自看成一类,这样就构造了 n 类,每类只包含一个立交形式样本。

(3) 计算 n 个类中两两间的欧氏距离,由于此时每类仅有一个立交形式,所以其欧氏距离即为样本间的欧氏距离 d_{ij} 。

$$d_{ij} = [(X_i - X_j)^T (X_i - X_j)]^{1/2}, \quad (1)$$

式中, d_{ij} 为第 i 个立交形式和第 j 个立交形式之间的欧氏距离; X_i 为 i 第个立交形式指标变量列向量, $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im})^T$,其中 x_{i1} 、 x_{i2} 、 x_{i3} 、 x_{im} 分别表示的是第 i 个立交形式的第1、2、3、 m 个指标变量的值。

(4) 合并欧氏距离最近的两类成为一个新类记为 CL_k , $k \in \{1, 2, 3, \dots, n-1\}$ 。

(5) 计算新类与当前各类之间的欧氏距离 $D(p, q)$,本文采用最短距离法计算 $D(p, q)$,即 $D(p, q)$ 等于 CL_p 类和 CL_q 类中最临近的两个立交形式的欧氏距离。

$$D(p, q) = \min\{d_{ik} | i \in CL_p, k \in CL_q\}, \quad (2)$$

式中, $D(p, q)$ 为第 CL_p 类和第 CL_q 类之间的欧氏距离; d_{ik} 为属于 CL_p 类中的第 i 个立交形式和属于 CL_q 类中第 k 个立交形式之间的欧氏距离。

(6) 重复(5)、(6)两步,直到类与类间的欧氏距离 $D(p, q)$ 大于阈值 T ,根据分析 T 取0.5~0.8。

(7) 确定类的个数 N 。

(8) 把每个立交形式指标的列向量 X_i 对应到一个 m 维空间上的一个点,因此每一类 CL_k 都是由散布在 m 维空间中欧氏距离较近的点组成,分析每一类的特征值:重心 $\bar{X}_{\alpha_k}$ 、直径 D_{α_k} 和散布阵 A_{α_k} 。

$$\begin{cases} \bar{X}_{\alpha_k} = \frac{1}{l_k} \sum_{i=1}^{l_k} X_i, \\ D_{\alpha_k} = \frac{2}{l_k} \sum_{i=1}^{l_k} (X_i - \bar{X}_{\alpha_k})^T (X_i - \bar{X}_{\alpha_k}) = \frac{2}{l_k} \text{tr}(A_{\alpha_k}) \\ A_{\alpha_k} = \left[\sum_{i=1}^{l_k} (X_i - \bar{X}_{\alpha_k})(X_i - \bar{X}_{\alpha_k})^T \right], \end{cases} \quad (3)$$

$k=1, 2, \dots, N,$

式中, $\bar{X}_{\alpha_k}$ 为第 k 类的重心列向量, $\bar{X}_{\alpha_k}=(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_4)^T$; I_k 为第 k 类中包含的立交形式; D_{α_k} 为第 l 类的直径等于 2 倍的 l 类中所有立交形式与重心的平均欧氏距离; A_{α_k} 为第 l 类散布阵, 此处为 $m \times m$ 的矩阵。

根据计算出的特征值分析每一类立交形式的典型特征。其中重心 $\bar{X}_{\alpha_k}$ 列向量中的每一个元素代表的是每一类评价指标的值, 可以以此为依据分析每一类的典型特征; 类的直径 D_{α_k} 和类的散布阵 A_{α_k} 主要用于分析和检验分类是否合理, 反映的是类中每个元素的分布情况和离散程度。

1.2.2 聚类指标的选取和量化

综合考虑立交规模和立交形式的关系以及立交的特点, 选取立交的通行能力、设计车速、复杂程度、占地面积和造价等 5 个指标作为聚类分析的变量。另外, 立交的复杂程度是定性指标, 可采用比较矩阵法将其量化。本文选取的 25 种立交典型形式各指标值如表 1^[1,3,4,6-9]。

表 1 立交典型形式聚类分析指标值
Tab.1 The index values for cluster analysis of typical interchange types

立交形式	通行能力/(pcu·h)	车速/(km·h ⁻¹)			复杂程度指标	占地面积/hm ²	造价/万元
		直行	左转	右转			
a	10 000	90	70	80	0.62	7	12 000
b	11 000	90	70	80	0.65	7	13 000
c	9 000	70	50	60	0.51	6	10 000
d	9 000	70	50	60	0.57	6	9 000
e	5 000	70	30	35	0.33	3.5	5 000
f	5 000	70	30	35	0.33	3.5	5 000
g	3 000	60	20	25	0.18	2.0	2 000
h	7 500	80	50	60	0.38	5.0	5 000
i	5 500	70	25	40	0.39	3.5	6 000
j	5 000	80	30	40	0.42	4.0	6 500
k	15 000	100	80	80	0.77	11	28 000
l	14 000	100	70	80	0.84	11.5	27 000
m	14 000	100	70	80	0.83	11.5	27 000
n	12 000	90	65	80	0.77	10	24 000
o	11 000	90	60	80	0.83	10	25 000
p	12 000	90	60	80	0.83	10	25 000
q	11 000	80	35	40	0.70	9.0	20 000
r	8 000	70	30	35	0.51	7.5	15 000
s	5 000	60	30	30	0.36	4.0	6 000
t	3 000	60	20	30	0.18	2.5	2 500
u	8 000	70	35	40	0.52	5.5	8 000
v	5 500	70	30	40	0.37	4.0	6 500
w	5 000	60	25	35	0.33	3.5	4 300
x	12 000	80	35	40	0.88	8.0	19 000
y	15 000	80	40	40	0.94	12.5	23 000

1.2.3 聚类分析计算和结果

采用数学统计分析软件 SAS 对上述 25 种立交形式进行聚类分析, 并结合专家意见, 将这些常见的、具有代表性的立交典型形式按照规模等级分为如表 2 所示的 6 级。其中, 从 F 级到 A 级, 随着级别的升高, 从总体来讲, 立交的规模逐渐升高, 对交通量和设计车速的要求也逐渐升高, 立交的形式越来越复杂, 造价和用地面积也随之增加。表 2 同时列出了与各立交级别对应的立交基本形式、典型形式以及适用条件。

1.2.4 聚类分析结果运用

在高速公路网规划阶段的立交规划中, 根据路网节点的交通条件和要求, 对照表 2 所示的适用条件一栏中列出的通行能力、设计车速、占地面积等技术指标值的范围和其它相关交通条件, 确定立交规模等级, 提出立交基本形式建议, 完成路网规划阶段中的立交形式规划。需要指出的是, 由于地形、环境以及交通流流量、流向等影响因素复杂多变, 在实际项目中应结合具体情况, 根据表 1 和表 2 中给出的各项技术指标以及各级别立交的适用条件, 首先选定立交等级和类别, 然后以给出的 25 种典型立交形式为基础和依据, 对选定类别范围内的更多种立交形式进行灵活选择和组合。

2 实例研究

本文选取安徽省高速公路网作为实例研究对象, 参考东南大学所作的安徽省高速公路网规划研究的路网布局和立交布局规划成果, 结合安徽省各地的实际情况, 采用本文的立交分类成果和形式选择规划方法, 制定了安徽省各地级市互通式立交形式规划, 结果如表 3 所示(该表中立交数量不包括各地级市的下属县)。表 3 中各立交等级和相关指标值范围可参考表 2。在立交形式规划成果中, 既可以得到立交单体的等级、规模、形式以及其它相关指标信息, 还可以求得区域或者各市县互通式立交的总体规模, 做到立交选型和立交布局相结合, 局部与整体相结合。

3 结语

本文针对我国缺乏适合在高速公路网规划阶段进行的立交形式规划方法的情况, 提出了首先采用聚类分析法将我国常用的立交典型形式划分为不同的规模等级, 然后, 在路网规划阶段根据路网节点的实际交通条件和要求规划立交等级和基本形式的

表 2 立交规模等级划分结果与其相应的立交典型形式和适用条件
Tab.2 Analyses results of interchanges hierarchy and their application conditions

级别	立交基本形式	立交形式	设计车速(km·h ⁻¹)			立交总通行能力(pcu·h ⁻¹)	占地面 积/hm ²	其他条件
			直行	左转	右转			
A	全定向 4 路立交; 涡轮式立交; 5 路及 5 路以上全互通式立交; 组合式互通式立交。	(k)(l)(m)(x)(y)	60~100	70~80	70~80	13 000~15 000	8.5~12.5	高速公路与高速公路相交; 对通行能力和车速要求高; 系统性立交; 高速公路与大城市的快速路相交; 多路相交; 具有足够的用地面积和投资。
								交通量大的高速公路与高速公路之间相交; 通行能力和速度要求高; 某方向转弯流量要求高; 用地和投资要求高。
B	定向 Y 形; 半定向苜蓿叶式 两方向定向匝道)。	(a)(b)(n)(q)(p)	60~100	60~80	60~80	9 000~13 000	7.0~10.5	高速公路与等级较高的道路相交; 不需设收费站; 现有部分苜蓿叶式立交, 进行扩建; 有较高的用地要求。
C	半定向 Y 形立交 两方向定向匝道); 半定向苜蓿叶式 (一个方向定向匝道); 带有 4 条集散路的全苜蓿叶形。	(c)(d)(q)	60~80	30~60	40~70	8 000~11 000	6.0~11.0	高速公路与高等级道路相交; 对交通量和设计车速有一定要求; 双喇叭形适合收费。
D	半定向 Y 形立交 一个定向匝道); 双喇叭形; 全苜蓿叶形 不多于 2 条集散路)。	(h)(r)(u)	60~80	30~60	40~60	7 000~9 000	4.0~8.0	高速公路与快速路、主干路或者一般公路相交; 转弯车流主次方向明显; 对通行能力和车速要求一般。
E	半苜蓿叶形立交; 单喇叭形立交; 菱形立交。	(e)(f)(i)(j)(s)(v)(w)	60~80	25~35	25~40	4 000~8 000	3.5~5.0	高速公路与次要道路或低等级公路相交, 对交通量和匝道速度要求低。
F	单象限部分苜蓿叶形立交; F 形立交; 其他一些简易形立交。	(g)(t)	60~80	20~30	20~30	2 500~4 000	1.5~3.0	

表 3 安徽省高速公路网各地级市互通式立交形式规划结果

Tab.3 Results of the expressway interchanges planning scenario of Anhui cities

城市	各级别立交数量						立交功能	
	A	B	C	D	E	F	服务性	系统性
合肥市	1		1	2	2		6	1
芜湖市		1		1	2		3	1
黄山市		1	2		1		3	1
宣城市		2					2	
⋮				⋮				⋮
滁州市	1		1		2			
合计	2	11	9	15	18	0	45	10

方法。该方法简化了立交形式的选择过程, 提高了工作效率, 而且对于估算路网和立交的总体规模, 完善立交布局规划, 有效衔接路网整体规划和局部单体规划设计具有实际意义。由于互通式立体交叉形式灵活多变, 组合形式繁多, 而且规划地区的实际情况各不相同, 所以, 本文的后续研究将适当增

加用于聚类分析的典型立交形式数量, 并增加相关的聚类指标数量, 细化通行能力等指标, 以进一步提高立交规模等级划分的合理性。

参考文献:

[1] 乔羽, 简惠如. 公路立交规划与设计实务[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[2] 王伯惠. 道路立交工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

[3] 刘旭吾. 互通式立交线性设计与施工 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

[4] 吴国雄, 李方. 互通式立交设计范例[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[5] 江苏专用汽车公路网立交布局评价研究[R]. 江苏史伟高工程咨询有限公司, 1995.

[6] 凌九忠. 互通式立交的规划、选型和设计[J]. 公路, 1999, (4).

[7] 方开泰. 实用多元统计分析 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989.

[8] 朱道元. 多元统计分析与软件 SAS [M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.