

文章编号:1005-0523(2018)03-0029-06

# 城市部分互通立交增设转向匝道方法研究

彭庆艳

(上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司,上海 200125)

**摘要:**研究部分互通立交增设转向匝道的分合流点与已有互通转向匝道之间的关系,给出全互通立交转向匝道数和新增匝道驶出匝道、驶入匝道选择组合数的计算公式,以及增设匝道的平面布置和方案选择要点。给出了3路、4路、5路相交道路立交增设转向匝道的具体范例,并以上海市莘庄立交为例,进行了实证研究。

**关键词:**部分互通立交;增设匝道;驶出匝道-驶入匝道;组合数;莘庄立交

**中图分类号:**U412.3

**文献标志码:**A

互通立交承担着高快速路网节点交通转换的功能,但也存在占地大、造价高的缺点,交通功能适合、工程经济合理是立交方案选型的主要原则。在某些转向预测流量较小的情况,往往会建设部分互通立交。随着道路等级提升、交通需求增长,将部分互通立交改造为全互通立交,或是增设某一个方向转向匝道,是高快速路功能完善的重要手段。

许多学者针对改建后互通立交选型、增设匝道的平纵线形、方案比选要点开展研究,并结合具体工程进行实证应用。盛萍<sup>[1]</sup>、刘健汉<sup>[2]</sup>研究了单喇叭立交改建为枢纽立交增设匝道的设计方案,盛萍<sup>[1]</sup>、周道<sup>[3]</sup>研究了T型互通立交改建为十字互通立交增设匝道的设计方案优化思路,曹胤<sup>[4]</sup>研究了L型主线改造为T型互通增设匝道的设计方案,并提出从工程造价、立交占地、施工保通、交通评价等角度进行方案比选和优化的原则。苗贵华<sup>[5]</sup>、代冬霞<sup>[6]</sup>、黄光耀<sup>[7]</sup>研究了立交改建期间的施工组织方案。

现有研究成果多针对3路立交改造为4路立交,对4路、5路甚至更多路立交改造研究较少;多针对高速公路立交改建,立交周边控制物少,立交允许占地大,增设匝道平面选择余地大,施工期间易组织临时交通。与之相比,城市互通立交具有相交道路多、立交层次高、立交可占地小、建构物平纵关系复杂等特点,增设匝道难度更大,需要深化研究。

## 1 部分互通立交增设转向匝道方法

### 1.1 增设转向匝道设计步骤

根据部分互通立交现状平纵线形、构筑物情况、周边建筑用地情况,可综合确定新增匝道的平纵线形方案,设计步骤如图1所示。

### 1.2 关于立交相交道路及匝道编号的规定

以 $k$ 个方向的道路相交的立交节点为例,首先对起点道路方向进行编号,按照逆时针方向依次将道路起点编号为①,②,③,⋯,④。然后对转向匝道(含直行主线方向匝道)进行编号,匝道编号格式为:匝道起点道路所在方向-匝道终点道路所在方向。例如匝道起点道路为①、匝道终点道路为②的转向匝道,其编号为①-②,如图2所示。

收稿日期:2018-01-12

基金项目:住房和城乡建设部科学技术计划项目(2017-K2-010)

作者简介:彭庆艳(1977—),女,高级工程师,研究方向为城市交通规划设计。

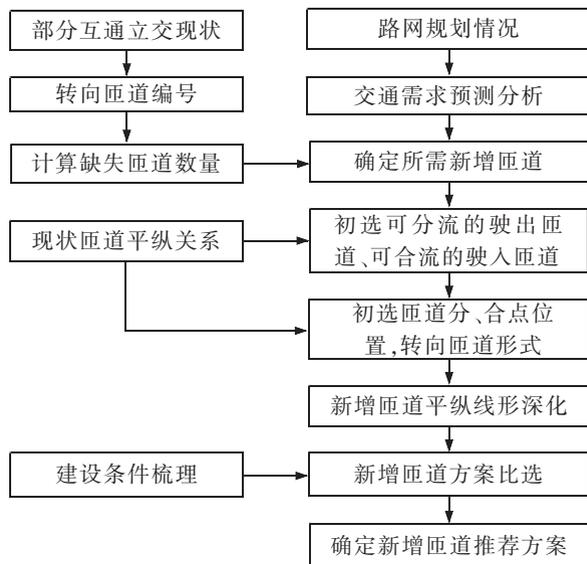


图1 部分互通立交增设匝道设计步骤

Fig.1 The design steps of adding ramps in semi-interchange

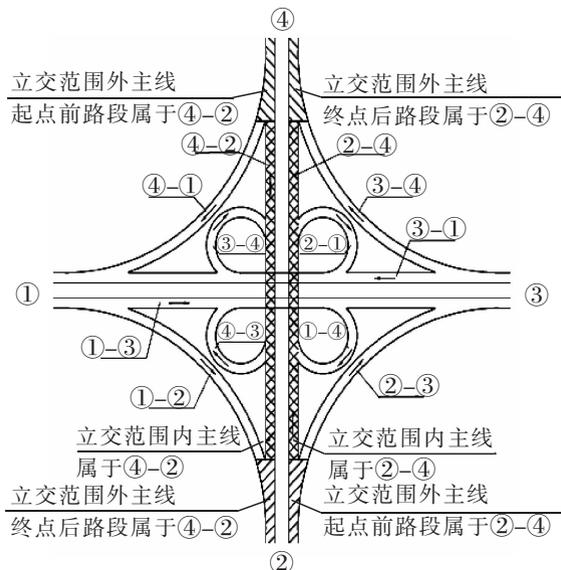


图2 立交相交道路与转向匝道编号示意图

Fig.2 The intersection roads' and turning ramps' number diagram in the interchange

需要说明的是,立交范围内的主线也应按照匝道格式编号,即主线匝道是指起点道路方向与所有终点道路方向夹角(0~180°)最大的匝道。若是有2条或2条以上的匝道角度最大且相同,则取逆时针方向距离起点道路方向较近的终点道路方向之间的匝道为主线匝道。立交范围外的主线,起点前路段属至逆时针方向距离终点道路方向较近的匝道,终点后路段属逆时针方向距离终点道路方向较远的匝道。

### 1.3 需新增转向匝道总根数的计算方法

首先按式(1)计算全互通立交所应设置的转向匝道(含主线匝道)的总根数,然后根据现有转向匝道根数,按式(2)计算需新增的转向匝道总根数<sup>[8]</sup>。

$$n=k(k-1) \quad (1)$$

式中: $n$ 为全互通立交匝道(含主线)应有的总根数; $k$ 为相交进口道路方向数。

$$\Delta n=n-n_0 \quad (2)$$

式中: $\Delta n$ 为改建为全互通立交需新增匝道的根数; $n_0$ 为现有部分互通立交匝道(含主线)的根数。

### 1.4 新增转向匝道驶出、驶入匝道组合的计算方法

立交转向匝道与主线的分合流关系有连续分流、连续合流、合分流及分合流等4种类型<sup>[9]</sup>。如图2所示,以②-①匝道为例,从转向匝道分流处的起点位置来看,既可以直接从驶出道路②-④上直接分叉,也可以从该驶出道路已分流的出口匝道②-③上分叉。从转向匝道合流处的终点位置来看,既可以直接从驶入道路③-①上直接接入,也可以从该驶入道路已合流的入口匝道④-①上接入。因此转向匝道的可选择的驶出、驶入匝道均有多个,按式(3)计算转向匝道可选择的驶出、驶入匝道组合总数。

$$n_{ij}=x_{is}y_{jt} \quad (3)$$

式中: $n_{ij}$ 为部分互通立交由方向*i*至方向*j*新增匝道的组合数; $x_{is}$ 为部分互通立交由方向*i*驶出的匝道的现有数目,最大值为*k*-2。 $s$ 取值1,2,⋯,*k*(不含*i,j*); $y_{jt}$ 为部分互通立交驶入方向*j*的匝道的现有数目,最大值为*k*-2。 $t$ 取值1,2,⋯,*k*(不含*i,j*)。

### 1.5 新增转向匝道初步方案的选择

新增转向匝道与现有匝道的关系有左出、右出、左进、右进几种<sup>[9]</sup>,针对式(3)计算出可选择的驶出匝道,新增匝道可在其左侧、或右侧分叉,可选择的驶入匝道,新增匝道也可在其左侧或右侧接入,驶入、驶出点可为现有匝道的任意位置,如图3所示。

针对每组驶出、驶入匝道组合,新增匝道初步定线步骤如下:

1) 将现有转向匝道标高每 20 m 左右标注在平面图上。

2) 取匝道纵坡最大值为某数值(如 5%),再按分合流点的标高差值由小到大的顺序,粗略计算新增匝道所需的最短平面展线长度。

3) 按照展线长度与分合流点之间直线距离的倍数值  $M$ ,初步选择新增转向匝道的选型。 $M \leq 1.5$  时,可选择定向式、半定向式和苜蓿叶式等型式; $1.5 < M \leq 3$  时,可选择半定向式和苜蓿叶式等型式; $M > 3$  时,应选择苜蓿叶形式。

4) 根据匝道选型,结合现有建筑物情况,在保证不超过最大纵坡值的情况下,进行新增匝道平面定线。

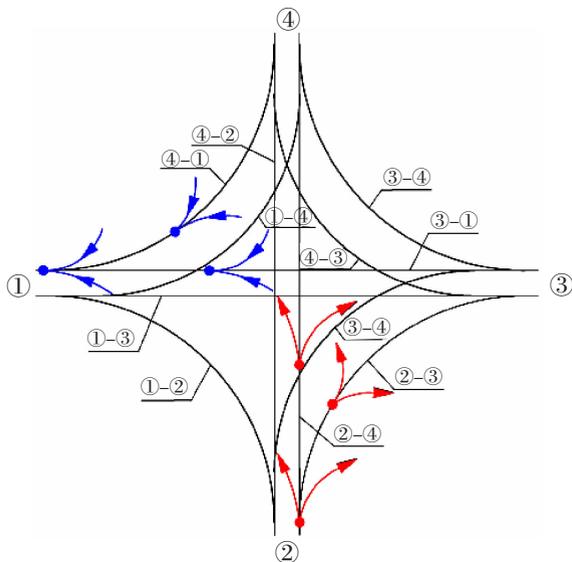


图3 新增②-①匝道可选择的驶出、驶入点  
Fig.3 The alternative turning ramp point from No.2 to No.1 ramp

### 1.6 新增转向匝道方案比选及推荐

在已建成的互通立交上增设匝道,需要考虑如下因素:① 做好施工期间的交通组织,不影响现有转向交通的通行;② 尽量不影响已建互通立交的建构物的使用,包括高架桥梁、桥墩、地道等结构物;③ 考虑周边用地征收、建筑物拆迁的可能性,维持原有居民的社会稳定;④ 新增转向匝道满足交通功能与平纵线形、净空高度等设计标准的要求。

对具有可行性的新增转向匝道设计方案,从工程量、征地拆迁量、施工难度、施工对交通的影响等方面进行比选,最后选择工程量较小、施工难度较低的方案作为推荐方案。

## 2 部分互通立交增设转向匝道方法举例

### 2.1 3路相交互通增设匝道举例

以3个方向的道路相交的3路立交,已有5根转向匝道、需增设①-③匝道为例。进口道路数  $k=3$ ,已有转向匝道数  $n_0=5$ ,驶出道路  $i=1$ ,驶入道路  $j=3$ 。

根据式(1)~式(3),全互通立交应设置的匝道数  $n=3 \times (3-1)=6$ ,需新增匝道数  $\Delta n=6-5=1$ 。现有部分互通立交由方向①驶出的匝道为①-②,1条;驶入方向③的匝道为②-③,1条。则  $n_{13}=x_{13}y_{13}=1 \times 1=1$ 。新增①-③匝道可选择的驶出匝道为①-②,可选择的驶入匝道为②-③,驶出、驶入匝道最大组合数为1,如表1所示。

由①-②匝道驶出、至②-③匝道驶入的新增①-③匝道的可能线形,如图4所示。

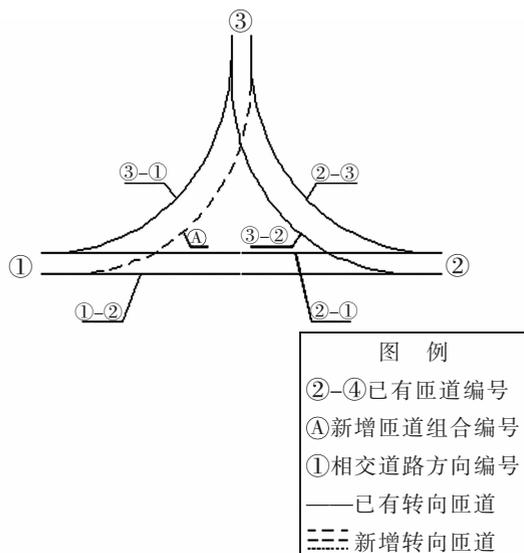


图4 3路立交增设①-③匝道的驶出、驶入匝道组合图  
Fig.4 The combination of adding ramps from No.1 to No.3 in the three-way interchange

表1 3路立交新增①-③匝道接入接出点组合

Tab.1 The entrance and divergence point combination of the adding ramps from No.1 to No.3 in the three-way interchange

驶出匝道	驶入匝道
	②-③
①-②	组合A

### 2.2 4路相交互通增设匝道举例

以4个方向的道路相交的4路立交,已有11根转向匝道、需增设①-④匝道为例。进口道路数  $k=4$ ,已有转向匝道数  $n_0=11$ ,驶出道路  $i=1$ ,驶入道路  $j=4$ 。

根据公式(1)~(3),全互通立交应设置的匝道数  $n=4 \times (4-1)=12$ ,需新增匝道数  $\Delta n=12-11=1$ 。现有部分互通立交由方向①驶出的匝道为①-②,①-③,2条;驶入方向④的匝道为②-④,③-④,2条。则  $n_{14}=x_{14}y_{14}=2 \times 2=4$ 。新增①-④匝道可选择的驶出匝道为①-②,①-③,可选择的驶入匝道为②-④,③-④,共4种组合,如表2所示。

以组合A为例,由①-②匝道驶出、至②-④匝道驶入的新增①-④匝道的几种可能线形,如图5所示。

### 2.3 5路相交互通增设匝道举例

以5个方向的道路相交的5路立交,已有19根转向匝道、需增设①-⑤匝道为例。进口道路数  $k=5$ ,已有转向匝道数  $n_0=19$ ,驶出道路  $i=1$ ,驶入道路  $j=5$ 。

根据公式(1)~(3),全互通立交应设置的匝道数  $n=5 \times (5-1)=20$ ,需新增匝道数  $\Delta n=20-19=1$ 。现有部分互通立交由方向①驶出的匝道为①-②,①-③,①-④,3条;驶入方向④的匝道为②-⑤,③-⑤,④-⑤,3条。则  $n_{15}=x_{15}y_{15}=3 \times 3=9$ 。新增①-⑤匝道可选择的驶出匝道为①-②,①-③,①-④,可选择的驶入匝道为②-⑤,③-⑤,④-⑤,共9种组合,如表3所示。

表2 4路立交新增①-④匝道接入接出点组合  
Tab.2 The entrance and divergence point combination of the adding ramps from No.1 to No.4 in the four-way interchange

驶出匝道	驶入匝道	
	②-④	③-④
①-②	组合A	组合B
①-③	组合C	组合D

表3 新增①-⑤匝道接入接出点组合

Tab.3 The entrance and divergence point combination of the adding ramps from No.1 to No.5 in the five-way interchange

驶出匝道	驶入匝道		
	②-⑤	③-⑤	④-⑤
①-②	组合A	组合B	组合C
①-③	组合D	组合E	组合F
①-④	组合G	组合H	组合I

以组合A为例,由①-②匝道驶出至②-④匝道驶入的新增①-④匝道的可能线形,如图6所示。

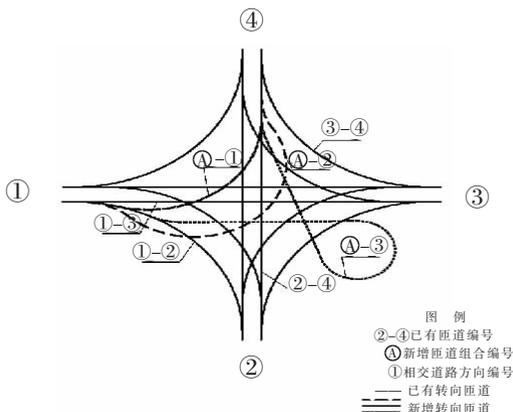


图5 4路立交新增①-④匝道平面线形图

Fig.5 The horizontal alignment of adding ramps from No.1 to No.4 in the four-way interchange

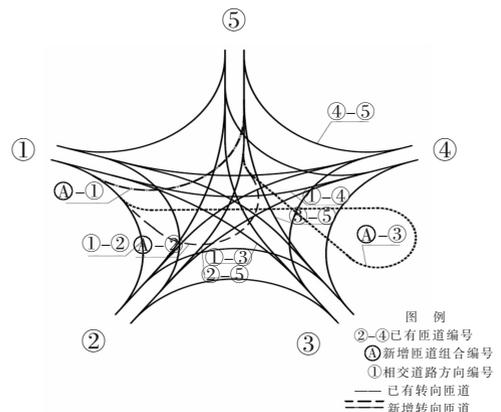


图6 5路立交新增①-⑤匝道平面线形图

Fig.6 The horizontal alignment of adding ramps from No.1 to No.5 in the five-way interchange

### 3 上海市莘庄立交增设转向匝道案例应用

#### 3.1 立交现状情况

上海市莘庄立交位于中心城的西南角,是A20外环线快速路的转角立交,该节点与A8沪杭高速公路、A4莘奉金高速公路、沪闵路快速路以及沪闵路主干路相交,是6条道路相交的枢纽型立交节点<sup>[11]</sup>。立交现有匝道(含主线)总数为20根,沟通着大部分的转向交通,如图7所示。

#### 3.2 立交增设转向匝道需求分析

按照式(1)~式(2),改节点设置全互通立交情况下的匝道总数为 $6 \times (6-1) = 30$ 根,现状尚缺10根匝道。其中A20公路南段和A4公路两条快速路分别连接浦东新区、闵行/奉贤区,原立交中2个方向互转匝道功能缺失,造成了路网绕行严重,出行不便。为弥补该方向转向功能,需增设③-④,④-③匝道,其中③-④左转匝道建设条件更为复杂。

#### 3.3 立交增设4-3转向匝道组合数计算

根据式(3),莘庄立交增设③-④匝道的驶出、驶入匝道组合数最大值为 $(6-2) \times (6-2) = 16$ ,由于现状立交无③-⑤,⑤-④匝道,组合数为 $(6-3) \times (6-3) = 9$ ,如表4所示。

表4 莘庄立交新增③-④匝道接入接出点组合

Tab.4 The entrance and divergence point combination of adding ramps from No.3 to No.4 in Shenzhuang Interchange

驶出匝道	驶入匝道			
	①-④	⑥-④	②-④	⑤-④(现状无)
③-①	√	√	√	-
③-⑥	√	√ <sub>2,3</sub>	√ <sub>4,5</sub>	-
③-②	√	√	√	-
③-⑤(现状无)	-	-	-	-

注:表中数字1~5表示后面5个比选方案。

根据现状立交设计平纵线形情况筛选驶出匝道,由③-①主线左出平面上无条件,③-②匝道右出迂回大,由③-①主线右出或③-②匝道左出条件与③-⑥主线驶出条件类似,因此初步选择③-⑥主线作为驶出匝道。

#### 3.4 立交增设4-3转向匝道方案比选

外环线-莘庄立交增设3-4匝道,共设计了5个方案<sup>[11]</sup>,如图8、表5所示。其中,方案1由③-⑥主线接至①-④主线,匝道为定向;方案2,3由③-⑥主线接至⑥-④匝道,匝道为苜蓿叶、定向。由于驶入、驶出匝道距离较远、高差较大,3个方案线路较长、不经济。方案4,5由③-⑥主线接至②-④匝道,该2根匝道平面位置距离相近、高

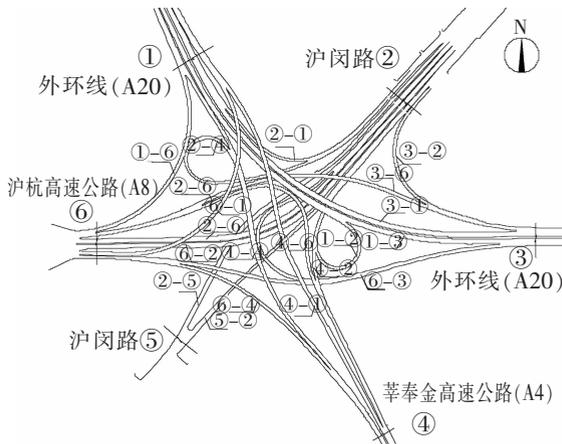


图7 上海外环线-莘庄立交现状  
Fig.7 The current Shenzhuang Interchange in Shanghai

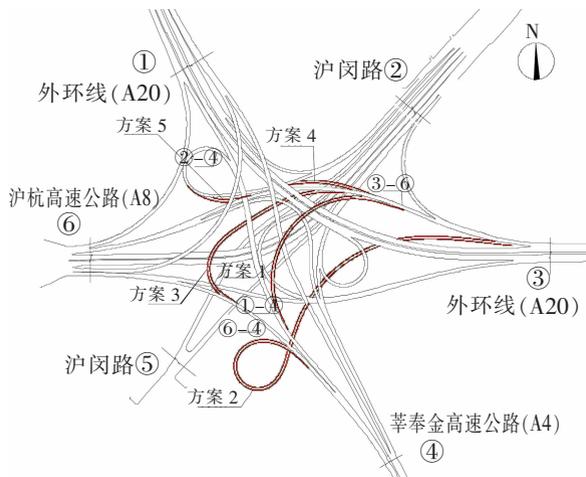


图8 莘庄立交增设③-④匝道方案汇总图  
Fig.8 The scheme comparison diagram of the adding ramps from No.3 to No.4 in Shenzhuang Interchange

差较小,连接匝道长度较短,工程量较小。方案4为高架,施工难度和周期长,方案5为地面,工程量小、施工简单、快,作为推荐实施方案。

#### 4 结语

如何巧妙利用已有匝道的纵向层次与平面相对位置,因地制宜、见缝插针增设匝道,既满足交通需求,又不过分增加工程量与施工难度,是立交改建的重点和难点。本文给出了理论计算方法以筛选确定匝道驶出、驶入点,指导部分互通立交增设匝道设计,期望给同类工程以借鉴。如何利用 BIM 等三维设计手段进行匝道自动化设计和比选,还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 盛萍, 闵泉. 互通式立交改扩建方案设计的探讨[J]. 中外公路, 2007, 27(5): 139-143.
- [2] 刘健汉. 立交改建工程设计[J]. 黑龙江科技信息, 2009(11): 188-188.
- [3] 周道. 枢纽互通式立交改建方案优化[J]. 交通运输研究, 2014, 42(10): 40-43.
- [4] 曹胤. 城市建成区快速化道路立交设计——以上海市虹梅南路中环线立交总体方案设计为例[J]. 中国市政工程, 2015(2): 16-19.
- [5] 苗贵华. 国道 G4 改扩建工程施工交通组织方案优化与仿真研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2008.
- [6] 代冬霞. 高速公路改扩建期间互通立交交通安全设施设置研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [7] 黄光耀, 潘飞鹏, 罗慧, 等. 高速公路互通立交改建施工交通组织方案研究[J]. 公路与汽运, 2014(2): 84-87.
- [8] 彭庆艳, 王啸君, 刘晓倩, 等. 部分互通立交交叉口增设匝道的设计方法: 中国, 201611031241.8[P]. 2016: 11-18.
- [9] 高速公路丛书编委会. 高速公路立交工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001: 139-144.
- [10] 邱志明, 朱兆芳, 黄大健. 上海城市外环线莘庄立交的选型与优化[J]. 上海建设科技, 1998(2): 3-6.
- [11] 彭庆艳, 等. A20 公路莘庄立交增设(A4→A20)匝道施工图设计方案[R]. 上海: 上海市城市建设设计研究院, 2004: 6-11.

表 5 莘庄立交新增③-④匝道方案比选表  
Tab.5 The scheme comparison of the adding ramps from No.3 to No.4 in Shenzhuang Interchange

方案	1	2	3	4	5
交通功能	好	好	好	较差	较差
平面线形 (最小半径)/m	220	70	100	300	150
工程量(桥梁/ 地面段长度)/m	600/0	700/540	350/440	320/0	0/210
实施进度	慢	慢	慢	较快	快
实施难度	大	较小	大	大	小
推荐方案					√

## Research on Method of New Turn Ramp for Urban Partial Interchange

Peng Qingyan

(Shanghai Urban Construction Design and Research General Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

**Abstract:** This paper studies the relationship between the additional confluence of semi-interchange and the existing interchange diversion ramps, presents the full interchange ramp number and calculation formula of combination number for the new off and on ramps and layout and scheme selection points of the adding ramps. In addition, it provides a concrete example of added turning ramps with three-way, four-way and five-way intersection roads. By taking Shenzhuang Interchange in Shanghai as an example, it conducts empirical research.

**Key words:** semi-interchange; new ramp; off ramp - on ramp; combination number; Shenzhuang Interchange