

# 城市快速路出入口间距设计研究

## ——以北京西三环某出入口改造工程为例

李 尚

(北京城建设计发展集团股份有限公司,北京市 100045)

**摘 要:**以北京西三环内环丰益桥至丽泽桥段出入口改造为背景,对先入后出的出入口间距进行了分析探讨。分析比较了第7版美国 *Highway Capacity Manual* (2022年版)(以下简称 HCM2022)和周荣贵《公路通行能力手册》对交织区通行能力、运行速度、服务水平计算结果,对先入后出的出入口间距设计提出了一些建议。基于案例背景,选择流量比、交织区长度为影响因子,分别采用周荣贵的分析方法和 HCM2022 的分析方法对通行能力、运行速度的敏感性进行对比,分析了两种方法的差异。

**关键词:**出入口间距;交织区长度;交织区;通行能力;敏感性分析

**中图分类号:** U412.37

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)06-0056-05

### 0 引 言

2021年“城市更新”被首次写入《政府工作报告》,近两年各地将“有序推进城市更新”列为重点工作。城市更新不是大拆大建,而是通过“微改造”对城市建成区的城市空间形态和城市功能进行持续完善和优化调整。

快速路作为城市的骨干交通组成部分,为长距离机动车出行提供快速、高效的交通服务,其运营效率的高低与出入口的设置密不可分。

城市快速路出入口按照相邻出入口的先后关系,出入口组合共有4种形式,即先入后出、先出后入、连续出口、连续入口。根据《城市快速路设计规程》(CJJ 129—2009)<sup>[1]</sup>的要求,仅考虑主线设计速度的单一因素来确定出入口的最小间距,采用这种一刀切的方式,不能很好地满足实际运营过程中的各类需求。尤其是先入后出型出入口组合(见图1),其间距要求过高,在路网间距较密的老城区和城市核心区,如果机械地搬用规范要求,则不能很好地发挥快速路的交通功能。但是,由于受制于目前的设计标准规范体系,在高质量发展新理念的要求下,对于城市更新和交通疏堵类项目,缺乏针对城市快速路出

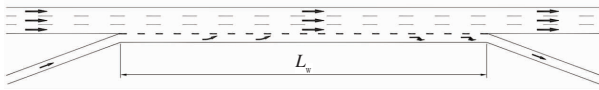


图1 “先入后出”出入口组合示意图

入口间距优化调整的标准和规范依据。

北京市交通综合治理始终坚持“优化供给、调控需求、强化治理”的工作方针,北京市西三环内环(丰益桥至丽泽桥)出入口改造工程作为2022年市级疏堵重点项目,需要因地制宜对出入口进行设计研究,从而提升市民交通出行的获得感。基于上述背景,本文着重对先入后出的单车道出入口组合进行研究。

### 1 案例调查及工程背景

笔者根据所发现的问题,对北京市二环路、三环路、四环路部分路段的出入口进行了调查分析,对快速路出入口间距的研究归纳起到一定的借鉴作用。北京市二环路、三环路、四环路部分路段调查总结见表1。

经调研,出入口间距虽然不满足规范,但平峰时段主线的运行状况基本良好,其中:三环路和四环路平峰时段基本达到二级以上服务水平;二环路由于平峰时段交通量较大,基本能达到三级和四级(饱和流)服务水平。

本次研究项目位于西三环内环丰益桥至丽泽桥段(见图2),为解决丽泽金融商务区凤凰嘴街车辆快

收稿日期:2023-06-28

作者简介:李尚(1988—),男,硕士,高级工程师,主要从事道路工程的规划设计工作。

表 1 北京市部分快速路出入口间距调查表

| 项目名称                   | 主线设计<br>速度 /<br>( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 先入后出<br>相邻出入<br>口间距 /m | 主线高峰平<br>均运行速度<br>( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 主线高峰平<br>价运行速度<br>( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) |
|------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                        |                                                   |                        |                                                     |                                                     |
| 北京西二环外环<br>(阜成门桥)      | 80                                                | 340                    | 24                                                  | 52                                                  |
| 北京西二环内环(阜<br>成门桥—车公庄桥) | 80                                                | 330                    | 27                                                  | 56                                                  |
| 北京西三环内环(六<br>里桥—莲花桥)   | 80                                                | 270                    | 34                                                  | 69                                                  |
| 北京西四环内环(岳<br>各庄桥—南沙窝桥) | 80                                                | 400                    | 44                                                  | 75                                                  |

注:以上数据采集于2023年6月中旬。

速进入三环内环主路的问题,须增加1处主辅路入口。



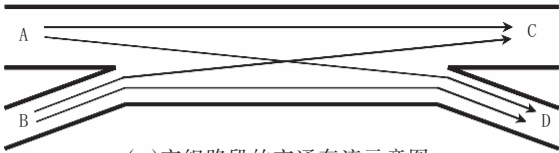
图 2 项目地理位置图

现状凤凰嘴街为双向4车道,由东向西驶入西三环东侧辅路。现状西三环内环丽泽桥以南有先入后出2个出入口,入口位于凤凰嘴街南侧40 m,出口位于凤凰嘴街北侧约307 m,入口—出口间距为347 m(见图3)。现状交通量实测数据为 $Q_{FF}=3\,918\text{ pcu/h}$ , $Q_{FR}=90\text{ pcu/h}$ , $Q_{RF}=930\text{ pcu/h}$ , $Q_{RR}=30\text{ pcu/h}$ (见图4)。

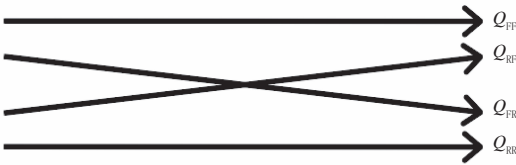


图 3 现状交通组织图

为解决丽泽金融商务区凤凰嘴街车辆快速进入三环内环主路的问题,拟在凤凰嘴街北侧50 m处增加1处主路入口,改造后入口—出口间距约212 m(见图5)。



(a) 交织路段的交通车流示意图



(b) 交织路段的交通流量代号图

图 4 交织路段的交通车流示意图



图 5 出入口改造意向图

2 现行规范的规定

《城市快速路设计规程》(CJJ 129—2009)于2009年颁布实施,出入口最小间距见表2。

表 2 出入口最小间距

| 出入口形式      | 主路设计速度 /( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) |       |     |
|------------|-------------------------------------------|-------|-----|
|            | 100                                       | 80    | 60  |
| 出入口最小间距 /m |                                           |       |     |
|            | 760                                       | 610   | 460 |
|            | 260                                       | 210   | 160 |
|            | 760                                       | 610   | 460 |
|            | 1 270                                     | 1 020 | 760 |

按照规范的要求,现状的出入口间距和拟改造的出入口间距均不能满足规范要求。但是,根据目前

交通调查结果,早晚高峰期拥堵点并不在满足规范要求长度的先入后出的交织段,而是在丽泽桥南向西左转匝道的出口处。

为了满足丽泽金融商务区的使用需求,贯彻“优供、控需、强治”的交通综合治理工作思路,对交织段的通行能力和服务水平进行论证,为决策者提供解决方案。

最小间距值的确定主要是根据车流进出主路的交通特征,汽车通过出入口时,要经过加减速和交织等过程,整个过程中将产生交通紊流,《城市快速路设计规程》(CJJ 129—2009)所要求的最小间距是以紊流交通不重叠确定各类型出入口的最小间距。目前普遍认为其最小间距值标准过高,导致车辆进出不方便,影响快速路交通功能的发挥。

变速车道的长度包括加(减)速车道长度和渐变段长度。依据《城市快速路设计规程》(CJJ 129—2009)的规定,不考虑大纵坡的修正系数,变速车道长度见表3。

考虑到变速车道长度要求,该项目减速车道最

表3 变速车道长度

| 主路设计速度/<br>(km·h <sup>-1</sup> ) | 减速车道长度<br>(单车道)/m | 加速车道长度<br>(单车道)/m | 渐变段长度<br>(单车道)/m |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 100                              | 90                | 180               | 60               |
| 80                               | 80                | 160               | 50               |
| 60                               | 70                | 120               | 45               |

小长度为130 m,加速车道最小长度为210 m。本次拟改造后的出入口间距长度大于加速车道和减速车道的长度,但不满足二者之和,随着交通量和交织比的增大可能会出现紊乱交通情况,故按交织区运行状况分析其服务水平是否满足使用需求。

3 交织区运行分析方法比较

目前交织区运行分析方法<sup>[2-5]</sup>以回归分析法为主,现采用交织区运行分析应用较为广泛的美国HCM2022<sup>[6]</sup>分析方法(以下简称HCM2022分析方法)和周荣贵的《公路通行能力手册》<sup>[7]</sup>分析方法(以下简称周荣贵分析方法)进行对比研究,对研究结果进行对比(见表4)。

表4 HCM2022和周荣贵交织区分析方法模型对比表

| 对比项目       | HCM2022 分析方法:计算公式                                                                                                                        | 周荣贵分析方法:计算公式                                                                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 最大交织区长度    | $L_{MAX}=5\ 728(1+QR)^{1.6}-1\ 566N_{WL}$                                                                                                | $L_{MAX}=1\ 746(1+QR)^{1.6}-477N_{WL}$                                                                                                            |
| 交织区通行能力    | $C_W=\{C_0-[438.2(1+QR)^{1.6}+0.076\ 5L+119.8N_{WL}]\times N$<br>或 $C_W=2\ 400/QR$ 当 $N_{WL}=2$                                          | $C_W=[C_0-495.6\times\ln(1+QR)-103.4\times\ln(1+DR)+0.05\times L-60.38\times N]\times N$                                                          |
| 交织区换道次数    | $LC_{MIN}=LC_{RF}\times Q_{RF}+LC_{FR}\times Q_{FR}$                                                                                     | $LC_{MIN}=LC_{FR}\times Q_{FR}+LC_{RF}\times Q_{RF}$                                                                                              |
|            | $LC_W=LC_{MIN}+0.39[(L-300)^{0.5}N^2\times(1+ID_1)^{0.8}]$                                                                               | $LC_W=LC_{MIN}+0.706\times[(L-90)^{0.5}\times N^2\times(1+ID_2)^{0.8}]$                                                                           |
|            | $I_{NW}=L\times ID_1\times Q_{NW}/3\ 048$                                                                                                | $I_{NW}=L\times ID_2\times Q_{NW}/3\ 048$                                                                                                         |
|            | $LC_{NW}=LC_{NW1}=0.206Q_{NW}+0.542L-192.6N$ , 当 $I_{NW}\leq 1\ 300$                                                                     | $LC_{NW}=LC_{NW1}=0.206\times Q_{NW}+1.778\times L-192.6\times N$ , 当 $I_{NW}\leq 1\ 300$                                                         |
|            | $LC_{NW}=LC_{NW2}=2\ 135+0.223(Q_{NW}-2\ 000)$ , 当 $I_{NW}\geq 1\ 950$                                                                   | $LC_{NW}=LC_{NW2}=2\ 135+0.223\times(Q_{NW}-2\ 000)$ , 当 $I_{NW}\geq 1\ 950$                                                                      |
| 交织区和非交织区速度 | $LC_{NW}=LC_{NW3}=LC_{NW1}+(LC_{NW2}-LC_{NW1})\times[(I_{NW}-1\ 300)/650]$ ,<br>当 $1\ 300<I_{NW}<1\ 950$                                 | $LC_{NW}=LC_{NW3}=LC_{NW1}+(LC_{NW2}-LC_{NW1})\times[(I_{NW}-1\ 300)/650]$ ,<br>当 $1\ 300<I_{NW}<1\ 950$                                          |
|            | $LC_{ALL}=LC_W+LC_{NW}$                                                                                                                  | $LC_{ALL}=LC_W+LC_{NW}$                                                                                                                           |
|            | $v_w=15+(FFS-15)/[1+0.226(LC_{ALL}/L)^{0.789}]$<br>$v_{NW}=FFS-0.007\ 2LC_{MIN}-0.004\ 8Q/N$<br>$v=(Q_W+Q_{NW})/(Q_W/v_w+Q_{NW}/v_{NW})$ | $v_w=24+(FFS-24)/[1+0.78(LC_{ALL}/L)^{0.229}]$<br>$v_{NW}=FFS-0.056\ 2LC_{MIN}/(N_{WLL})-0.017\ 6Q/N$<br>$v=(Q_W+Q_{NW})/(Q_W/v_w+Q_{NW}/v_{NW})$ |

注:  $L_{MAX}$ 、 $L$  分别为最大交织区长度、交织区长度;  $C_0$ 、 $C_W$  分别为自由流车速一条车道基准通行能力、交织区通行能力;  $LC_{MIN}$ 、 $LC_W$ 、 $LC_{NW}$ 、 $LC_{ALL}$  分别为交织车辆最少换道次数、交织车辆换道总次数、非交织车辆换道次数、交织区总换道次数;  $Q$ 、 $Q_W$ 、 $Q_{NW}$  分别为交织区总交通流量、交织区交通流量、非交织区交通流量,  $QR=Q_W/Q$  为流量比;  $DR=Q_{FR}/Q_W$  为汇出流量比;  $v$ 、 $v_w$ 、 $v_{NM}$  分别为交织区全部车辆、交织车辆、非交织车辆的平均速度;  $FFS$  为基本路段实际自由流速度;  $N$ 、 $N_{WL}$  分别为交织区内总车道数、交织车道数;  $ID$  为立体交叉密度,  $ID_1$ 、 $ID_2$  分别为交织区前后 4.8 km 内立交桥的个数除以 6、交织区前后 10 km 内立交桥的个数除以 10;  $I_{NW}$  为非交织车辆换道判别指数。

4 数据结果对比

采用上述方法对现状入口一出口交织区运行情

况进行计算,并与现状实测数据进行对比(见表5)。

计算交织区负荷度为0.72,速度差值为24 km/h,服务水平评价为三级。

表 5 两种交织区运行分析方法计算结果对比表

| 对比项目       | HCM2022 分析方法:<br>计算公式                                                     | 周荣贵分析方法:<br>计算公式                                                      |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 最大交织区长度    | $L_{MAX}=1\ 400\text{ m}$                                                 | $L_{MAX}=1\ 400\text{ m}$                                             |
| 交织区通行能力    | $C_W=7\ 101\text{ pcu/h}$<br>$LC_{MIN}=1\ 020$<br>$LC_W=1\ 335$           | $C_W=6\ 865\text{ pcu/h}$<br>$LC_{MIN}=1\ 020$<br>$LC_W=1\ 335$       |
| 交织区换道次数    | $I_{NW}=449.5$<br>$LC_{NW}=LC_{NW1}=660$<br>$LC_{ALL}=1\ 995$             | $I_{NW}=449.5$<br>$LC_{NW}=LC_{NW1}=660$<br>$LC_{ALL}=1\ 995$         |
| 交织区和非交织区速度 | $v_W=65.5\text{ km/h}$<br>$v_{NW}=58.5\text{ km/h}$<br>$v=60\text{ km/h}$ | $v_W=50\text{ km/h}$<br>$v_{NW}=58\text{ km/h}$<br>$v=56\text{ km/h}$ |

虽然两种模型计算方法得出的交织区平均运行速度相差不大,且与现状实际测量平均运行速度 57 km/h 均比较接近,但是采用 HCM2022 分析方法计算得出的交织车辆运行速度大于非交织车辆运行速度,与实际情况不符。

采用周荣贵分析方法对拟增设的入口进行服务水平预测,增加入口后,交织段长度为 212 m,  $Q_{RF}$  预测为 650 pcu/h,计算得出服务水平为三级,能够满足运行需求。

以不低于三级服务水平为基准,新增入口后交织段长度为 212 m,在出口交通量不增长的前提下,拟新建入口远期最大可通行 1 090 pcu/h,即入口的交通量大于 1 090 pcu/h 后,建议该入口封闭。

5 敏感性分析

基于上述模型,由于三环路主路为 3 车道,出入口匝道为单车道,交织车道数为 2,作为固定参数,故仅以交织区长度和交织流量比为影响因子,对交织区通行能力和交织区运行速度进行敏感性分析。

结果表明,流量比的变化对于交织区通行能力的影响,采用 HCM2022 分析方法的敏感性强于周荣贵分析方法,在流量比为 0.3 左右时,采用两种分析方法得到的通行能力基本相同(见图 6)。

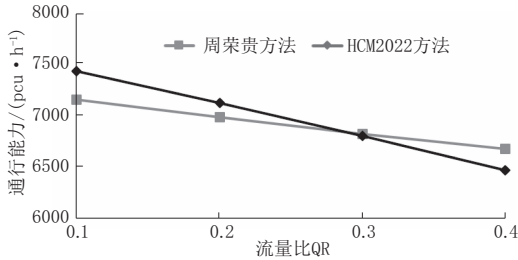


图 6 流量比变化的通行能力敏感性分析

结果表明,随着交织区长度的增加,通行能力都呈现增加趋势,两种分析方法的敏感性相当,总体而言,采用 HCM2022 分析方法得到的通行能力高于周

荣贵分析方法(见图 7)。

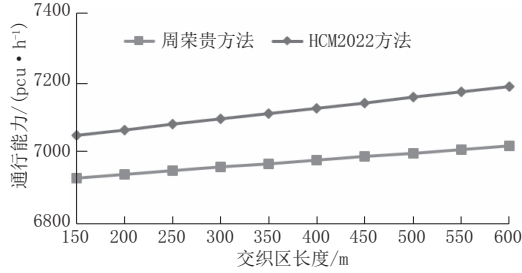


图 7 交织区长度变化的通行能力敏感性分析

结果表明,流量比的变化对于交织区运行速度的影响,采用 HCM2022 分析方法的敏感性强于周荣贵分析方法,在流量比为 0.3 左右时,采用两种方法得到的通行能力基本相同,这与通行能力的结论基本一致。但是采用 HCM2022 分析方法的交织车速大于平均车速,且随着流量比增大差值越大,这与实际情况不符,而周荣贵分析方法,随着流量比增大,交织车速与非交织车速趋于接近(见图 8)。

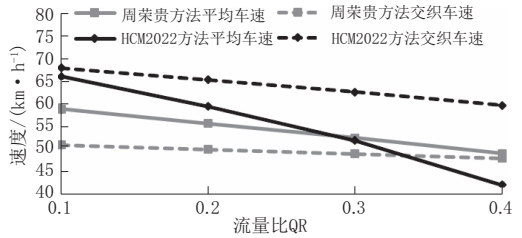


图 8 流量比变化的运行速度敏感性分析

结果表明,交织区长度在 250 m 以下对交织车速的影响较大,而交织区长度大于 250 m 之后,车速的变化率相对较小。总体而言,采用 HCM2022 分析方法得到的运行速度高于周荣贵分析方法(见图 9)。

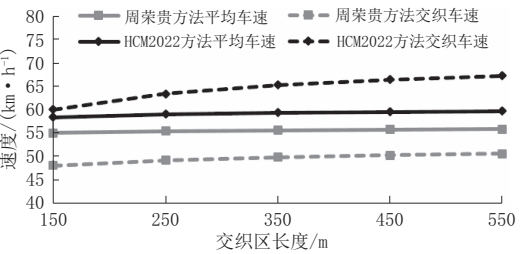


图 9 交织区长度变化的运行速度敏感性分析

6 结论

(1)随着城市更新的推进,结合老城区及核心区的交通发展需要,快速路调整出入口的需求加大。《城市快速路设计规程》(CJJ 129—2009)对于出入口间距的要求偏大,如果按照该规范执行,改扩建项目将无法推进落地。因此,应根据需求,结合实际情况,合理确定出入口的位置,后期再根据交织区的实际运行情况(交通量、车型构成、交通秩序等因素),由交通运营管理部门动态管理出入口开放状态。先

入后出的交织区极限最小长度建议按变速车道的最小长度控制,并以服务水平评价作为交织区长度确定的依据。

(2)HCM2022分析方法的交织区模型中,交织车辆运行速度大于非交织车辆运行速度,且随着流量比增加交织车辆运行速度与平均运行速度差值增大,与实际情况不符,存在交织车辆运行速度预测值偏大的情况,应修正模型参数。

(3)周荣贵分析方法的交织区模型中,增加了汇出比对通行能力的影响,能够反映出口交通量的变化对通行能力的影响,同时该模型能与本项目实测值接近。

(4)本次交织区交通流实测数据样本量较小,对模型的适应性研究还需要大量的实测数据进行验证和修正。同时,随着自动驾驶技术的普及,跟车和换

道行为标准化之后,对整个交织区的交通流会有较大的影响,回归分析模型参数还有较大的修正空间。

#### 参考文献:

- [1] CJJ 129—2009,城市快速路设计规程[S].
- [2] 冯玉荣,杨少伟,杨宏志,等.高速公路交织区运行分析方法对比研究[J].公路交通科技,2018,35(8):134-143.
- [3] 杨少伟,冯玉荣,杨宏志,等.高速公路交织区运行分析方法综述[J].公路交通科技,2018,35(10):92-102.
- [4] 孙剑,姜静茹,郑进炫.城市快速路交织区速度预测模型改进[J].中国公路学报,2017,30(1):83-91.
- [5] 吴新兴.城市快速路“先入后出”出入口形式间距研究[J].黑龙江交通科技,2019,309(11):75-78.
- [6] Transportation Research Board. Highway Capacity Manual 2022[M]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 2022.
- [7] 周荣贵,钟连德.公路通行能力手册[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017:62-76.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com