

## 大高差空间受限跨通航水系城市多岔交叉方案研究

李景, 李洋, 陈天幸

(湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430051)

**摘要:**为解决平原河网地区跨通航水系造成的大高差空间受限城市多岔交叉方案布设难题,通过分析交叉岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系,结合桥型结构的影响,提出通过缺省交叉岔数和交通流线减少交通组织难度、以不完全互通形式将多岔互通方案进行简化的思路;以某城市跨通航水系项目为例进行实证分析,提出大高差空间受限跨通航水系城市多岔交叉方案。

**关键词:**桥梁;城市交叉口;多岔交叉;大高差;空间受限;跨通航水系;交通流线

**中图分类号:**U442.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-2668(2023)05-0103-04

在中国平原河网地区,很多城市临河而建,沿河两侧一般建有河堤或临河道路等,通过跨河桥梁和两侧临河道路连接城市路网。由于建设背景不同,部分跨河桥梁未考虑通航需求。随着内河航运的发展,部分未通航水系规划了通航航道或对通航水系航道等级进行了提升,原有跨河桥梁已无法满足通航净空要求,需改建抬高,造成原有平面交叉关系出现较大高差,需统筹考虑交通组织方案。而相关研究鲜有报道。针对上述问题,本文以某城市跨通航水系项目为例,通过分析交叉岔数与交通组织的关系及桥型结构对交叉方案的影响提出多岔交叉方案设计思路,为类似项目提供参考。

## 1 水系通航对交叉关系的影响

在河流上通航需要满足通航净空要求。根据 GB 50139—2014《内河通航标准》<sup>[1]</sup>,天然和渠化河流水上过河建筑物通航净空为设计最高通航水位加通航净高  $H_m$ 。航道等级和代表船舶、船队不同,  $H_m$ 取值不同,Ⅳ级航道为 8 m,Ⅲ级航道为 10 m,Ⅱ级航道为 10 m 或 18 m。

根据 GB 50286—2013《堤防工程设计规范》<sup>[2]</sup>,堤顶高程应按设计洪水位或设计高潮位加堤顶超高确定。堤顶超高为设计波浪爬高、设计风雍水面高度和安全加高值之和。根据设计经验,取 1 级、2 级堤防的堤顶超高值不小于 2.0 m 进行粗略计算,Ⅳ级及以上航道堤顶高程与通航净空之间的高差不小于 6 m。对于跨通航水系的碍航改建城市道路,须在受限的城市空间里解决与临河道路(或城市道路)由平交的零高差变为满足通航净空要求的大高

差问题。

## 2 交叉岔数与交通组织的关系

对于平面交叉,交叉岔数(也称交叉路数)越多,交通冲突点越多,交通组织越困难。当交叉中某一岔或某几岔由于某些原因造成交叉出现高差时,交叉变得更复杂,难以合理进行交通组织,通常需要采用新的思路解决渠化问题。

根据文献[3],在无交通管制的交叉口,交通冲突点数量  $q_{\text{冲突点}}$  可用式(1)计算。

$$q_{\text{冲突点}} = \frac{n^2(n-1)(n-2)}{6} \quad (1)$$

式中:  $n$  为交叉岔数。

交叉岔数超过四岔称为多岔交叉。对于立体交叉,若采用完全互通方案,需要的交通流线数量  $N$  与交叉岔数  $n$  的关系见式(2)<sup>[4]</sup>。若采用不完全互通方案,即部分交通流方向未被连通,缺省部分交通流线,通过地面层平交或周边路网实现缺省交通流线的交通组织。交叉岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系见图 1<sup>[3]</sup>。

$$N = n(n-1) \quad (2)$$

分别计算三岔、四岔、五岔、六岔交叉时交通冲突点和交通流线数量,结果见表 1。由表 1 可知:交叉岔数超过四岔时,平面交叉交通冲突点和完全互通的交通流线数量急剧增加。而城区空间受限,用地资源宝贵,完全互通方案一般情况下不采用,应研究不完全互通方案,将主流向采用立交匝道的方式实现空间分离,次流向采用平交或路网绕行的方式进行交通转换。

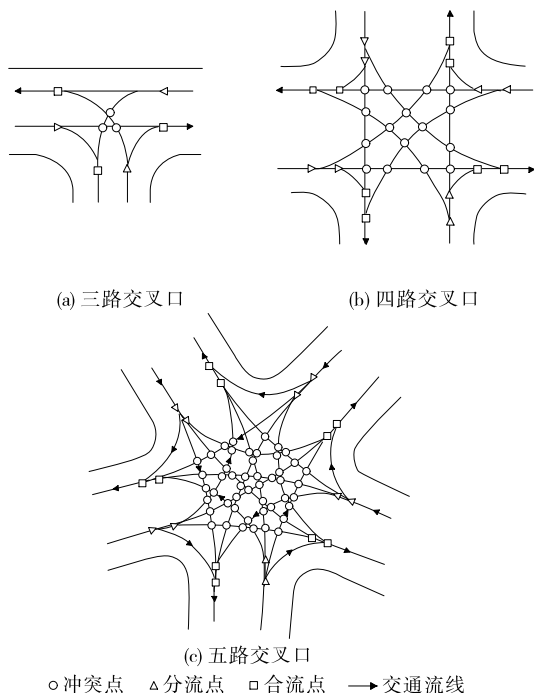


图1 交叉岔数与交通冲突点及交通流线的关系

表1 交叉岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系

交叉岔数	交通冲突点数量/个	交通流线数量/条	交叉岔数	交通冲突点数量/个	交通流线数量/条
3	3	6	5	50	20
4	16	12	6	120	30

本文研究对象为交叉道路的一岔进行抬升,形成空间上的分离,其他岔数须进行连通,交通冲突点计算可减少一岔。如图2所示(以四岔交叉口为

例),交通流线数量计算可不考虑平交的各岔之间的连通,计算结果见表2。

若在此基础上缺省部分交通流线,采用合适的交通组织方案或只连通某一岔的一半,如图3所示(以四岔交叉口为例),交通冲突点及交通流线数量见表3。

由表2、表3可知:缺省部分岔数时,交通流线数量急剧减少。说明可通过缺省部分岔数、减少交通流线数量减小交通组织难度,这为解决空间受限的城市多岔交叉提供了思路。

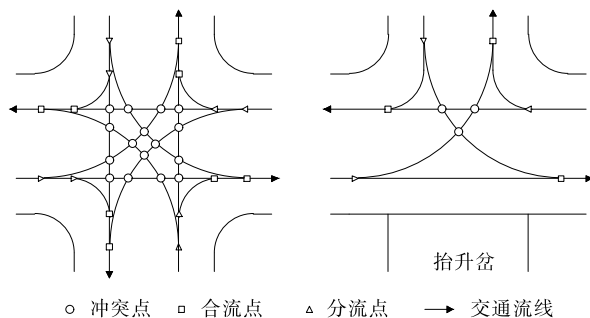


图2 四岔交叉口抬升一岔后交叉岔数与交通冲突点及交通流线的关系

表2 抬升一岔后交叉岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系

交叉岔数	交通冲突点数量/个	交通流线数量/条	交叉岔数	交通冲突点数量/个	交通流线数量/条
3	0	4	5	16	10
4	3	6	6	50	12

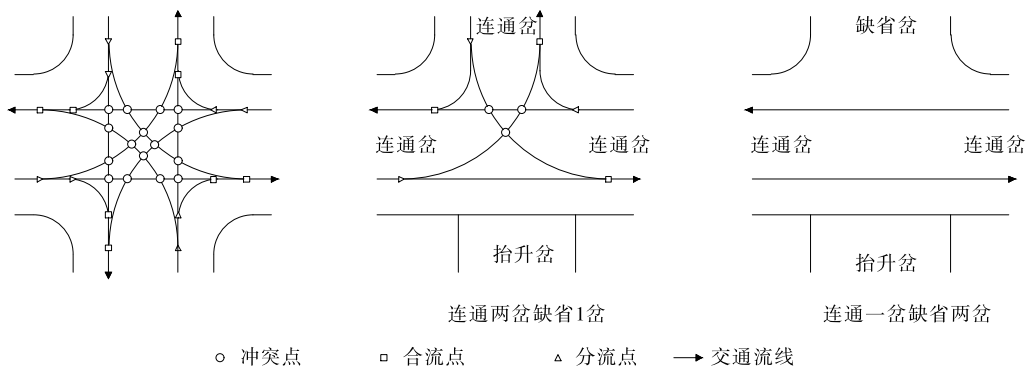


图3 四岔交叉口抬升一岔后缺省岔数与交通冲突点及交通流线的关系

### 3 交叉方案设计思路

#### 3.1 桥型结构对交叉方案的影响

桥梁按承重构件受力情况分为梁桥、板桥、拱桥、钢结构桥、吊桥、组合体系桥(斜拉桥、悬索桥)

等<sup>[4]</sup>,不同桥型适应的跨径不相同。城市跨通航水系桥梁一般有打造景观亮点的需求,多采用特殊结构形式,如系杆拱桥、矮塔斜拉桥等。特殊结构桥梁若采用主桥变宽方案,实施难度较大。而立体交叉,主线间需要设置匝道连接,主线桥梁连接匝道处

表 3 缺省岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系

岔数	连通或缺省岔数	交通冲突点数量/个	交通流线数量/条
3	连通岔数 1	0	2
	缺省岔数 1		
4	连通岔数 1	0	2
	缺省岔数 2		
	连通岔数 2	3	4
	缺省岔数 1		
5	连通岔数 1	0	2
	缺省岔数 3		
	连通岔数 2	3	4
	缺省岔数 2		
	连通岔数 3	16	6
	缺省岔数 1		
	连通岔数 1	0	2
	缺省岔数 4		
6	连通岔数 2	3	4
	缺省岔数 3		
	连通岔数 3	16	6
	缺省岔数 2		
	连通岔数 4	50	8
	缺省岔数 1		

多为变宽结构。为分析桥型结构对交叉方案的影响,按主桥能否加宽分为可变宽桥梁和不可变宽桥梁。主桥可变宽,互通布设空间较大,对互通匝道影响较小;主桥不可变宽,将压缩匝道布设空间和匝道数量,互通布设极为受限。

3.2 非建设条件类因素对交叉方案的影响

交叉方案的形成受制约的因素较多。从技术角度来看,非建设条件类因素(如项目的功能定位和交通量等)对交叉方案的影响主要体现在客观层面。项目的功能定位主要影响交叉类型选取,即选用平面交叉还是立体交叉、分离式立体交叉还是互通式立体交叉、一般互通式立体交叉还是枢纽互通式立体交叉等。对于互通式立体交叉,交通量主要影响匝道形式,进而影响互通式立体交叉形式。根据 JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》<sup>[5]</sup>,设计交通量小于 1 000 pcu/d 时,左转弯匝道可选用环形,而 1 000 pcu/d 是设计速度为 40 km/h 的匝

道单车道基本路段的设计通行能力,考虑到环形匝道的平面指标较低,亦可满足 40 km/h 的单车道匝道通行需求,换言之,客观层面交通量对交叉方案的影响有限。

考虑到本文研究对象为原有跨通航水系城市多岔交叉的还建,对项目的功能定位、交通量等非建设条件类因素的影响分析进行弱化,重点从建设条件方面研究交叉方案设计思路。

3.3 交叉方案设计思路

交通流线数量越多,层数越多,需要的空间越大。缺省岔数越多,地面层交通组织压力越大。考虑到本文研究的前提是空间受限,主要交叉方案设计思路是通过缺省岔数和交通流线、以不完全互通形式将多岔互通方案简化为常见的三岔、四岔互通方案。根据前文的分析,结合桥型影响提出如下交叉方案设计思路:

(1) 根据交叉岔数计算交通流线数量,分析连通及缺省岔数。

(2) 当主桥桥型结构受限,不可变宽时,应尽量减少连通岔数,避免交叉匝道的布设造成主桥变宽导致实施难度增大。

(3) 当主桥桥型结构不受限,可变宽时,对于五岔及以上的交叉,应缺省部分岔数,将多岔互通方案简化为常见的三岔或四岔互通方案。

(4) 交叉方案中,跨通航水系抬升的那一岔连通岔数不宜超过三岔,交通流线数量不宜超过 6 条。

4 交叉方案应用实例

以某城市跨通航河流交叉方案为例,研究大高差空间受限城市六岔交叉方案。如图 4 所示,交叉区域主干路 1(设计速度 50 km/h)跨通航水系,与主干路 2(设计速度 50 km/h)、主干路 3(设计速度 50 km/h)、支路 1(设计速度 30 km/h)、堤顶路 1(连通城郊村镇,二级公路)、堤顶路 2(连通城郊村镇,二级公路)相连,属六岔交叉。主干路 1 为城区连接城南多镇的唯一出行通道,亦是该城市的交通瓶颈,交叉方案对于缓解其交通压力意义重大。现由于航道整治,通航等级提升,通航净空仅 0.5 m,主干路 1 须随之抬升,在不足百米的距离内无法连接主干路 2、主干路 3、支路 1。而区域内城市道路周边存在大量居民房屋、办公楼等建筑物,主干路 3 与支路 1 之间为有环保要求的湖泊,环保政策不允许侵占,方案布设极其受限。



图4 交叉区域示意图

预测建成通车20年(2041年)交通量见图5。

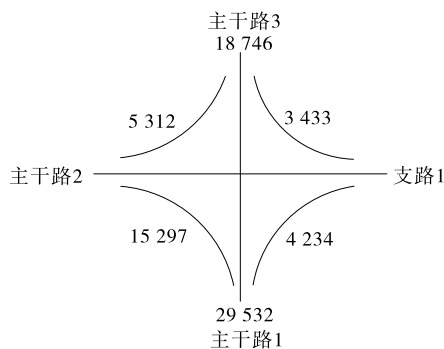


图5 预测建成通车20年(2041年)交通量(单位:pcu/d)

根据地方要求,通航桥梁靠近城区,计划将其打造为城市景观名片,即通航桥梁有一定景观需求。因此,优先考虑带有一定景观效果的系杆拱桥、矮塔斜拉桥等特殊桥梁结构形式。为减少实施难度,考虑桥梁主桥为等宽结构。

该交叉方案中交叉岔数为六岔,若采用完全互通方案,交通流线数量为30条。结合交叉方案实际,不考虑原有地面层各岔连通的交通流线,仅考虑地面层各岔分别与抬升的主干路1连通,交通流线数量仍有12条。由于交叉方案布设空间受限,须缺省部分岔数。结合交通量和各岔数道路等级,拟定图6、图7所示2种缺省部分岔数的交叉方案。

方案一将主干路1与主干路3连通,设置A匝道、B匝道连接主干路1和主干路2,设置C匝道连接主干路1和支路1,缺省支路1连接主干路1及主干路1与堤顶路1、堤顶路2之间的交通流线,通过地面层交通进行转换,为不完全互通方案。

方案二在方案一的基础上摒弃主线贯通的思路,设置C匝道、D匝道连接主干路1和主干路3,

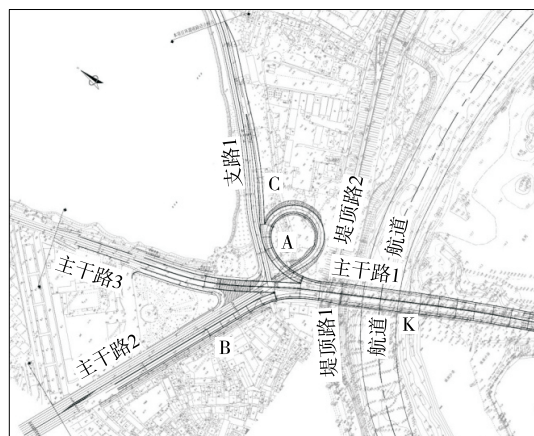


图6 交叉方案一平面图

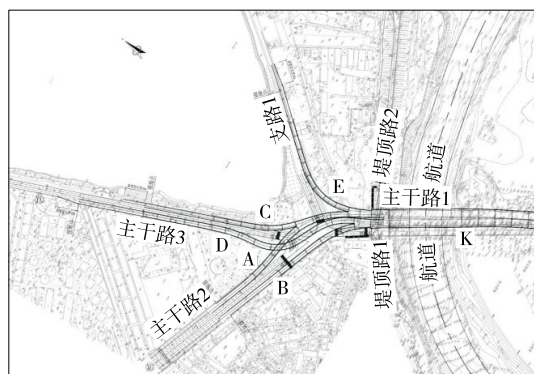


图7 交叉方案二平面图

设置A匝道、B匝道连接主干路1和主干路2,设置E匝道连接主干路1和支路1,缺省支路1连接主干路1及主干路1与堤顶路1、堤顶路2之间的交通流线,通过地面层交通进行连接,为不完全互通方案。

两方案功能相当,平纵面指标相当,相对而言,方案一的交通组织较简单,交叉层数较少,桥梁减少597 m,桥梁规模较小,整体工程规模较小,结合地方意见,最终推荐方案一。

## 5 结论

(1) 分析交叉岔数与交通冲突点及交通流线数量的关系,结合主桥桥型结构对交叉方案的影响,提出通过缺省岔数和交通流线减少交通组织难度、以不完全互通形式将多岔互通方案简化的交叉方案设计思路。

(2) 对于五岔以上交叉,设计思路是缺省部分岔数,将多岔互通方案简化为常见的三岔或四岔互通方案。但缺省岔数越多,地面层交通组织压力越

(下转第123页)

为确定因素和不确定因素。对于确定的影响因素,如节段自质量、混凝土收缩徐变、钢筋预应力、挂篮变形等,设计时可以预先估算施工预拱度,及时调整设计参数确保施工线形可靠、美观;对于不确定的影响因素,如施工温度和湿度、施工周期、施工间隔等,为尽可能减少其影响,应严格控制施工流程和精度,确保每一节段的线形和正常合龙<sup>[13]</sup>。

### 3.7 施工控制措施

针对连续刚构桥悬臂施工中施工挠度的影响因素,为减少过大的挠度,提出如下施工控制措施:

(1) 选用高性能、高强度轻质混凝土,既确保连续刚构的大跨度,又能减轻自质量,降低梁体自质量对施工挠度的影响<sup>[14]</sup>。

(2) 严格控制预应力钢束施工,精准控制预应力管道,确保考虑预应力损失后仍具有相当的预应力。预应力张拉后及时进行压浆,并保证其密实度,避免因压浆不严密造成钢筋锈蚀而导致预应力降低、主梁挠度过大。

(3) 严格控制每一节段的立模标高。采用相对高程立模标高,确保施工进度和结构线形,避免施工中产生误差。因为误差一旦累积,可能导致后期无法正常合龙,造成主梁开裂等。

## 4 结语

根据施工挠度的特点,对连续刚构桥悬臂施工阶段施工挠度曲线进行线性(四次多项式)和非线性拟合,多项式拟合计算简单但拟合程度较低,非线性拟合计算过程较复杂但拟合程度较高,建议采用傅里叶函数进行非线性拟合,且计算过程中考虑施工挠度的各种影响因素。

针对施工挠度影响因素,悬臂施工中可采取选用高性能和高强度轻质混凝土、严格控制预应力钢

束施工并精准控制预应力管道、严格控制每一节段立模标高的控制措施,确保施工质量和精度。

### 参考文献:

- [1] 蓝贤柏.悬臂施工连续梁桥施工预拱度影响因素分析[J].交通世界,2018(21):106—107.
- [2] 关键.某高速公路预应力 T 梁桥上拱度影响因素分析[D].广州:华南理工大学,2016.
- [3] 郑万成.大跨径刚构桥梁跨中下挠病害治理对策研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(5):194—196.
- [4] 黄子雄.预应力混凝土连续梁预拱度研究[J].山西科技,2017,33(2):139—141.
- [5] 郭晓光,安平和,黄叙钦,等.悬臂施工连续梁桥施工预拱度影响因素分析及曲线拟合[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2018,37(3):1—4+21.
- [6] 唐杨.大跨径连续刚构桥预拱度设置研究[J].工程建设,2019,51(12):18—22+52.
- [7] 贺志军.大跨度连续刚构桥施工预拱度控制分析[J].建筑技术开发,2016,43(7):6+11.
- [8] 李青锋.预应力混凝土连续刚构桥悬臂现浇施工监控研究[J].湖南交通科技,2019,45(1):96—98.
- [9] 张禹筭.连续梁桥悬臂施工过程中的线形控制[J].浙江建筑,2018,35(7):29—31.
- [10] 李建梅.浅析大跨度连续刚构桥施工控制关键技术[J].中国公路,2019(22):112—113.
- [11] 范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [12] 齐晓东.大跨度预应力混凝土连续刚构造桥长期挠度分析和施工控制措施[J].四川水泥,2019(4):71+74.
- [13] 刘宇.谈大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术[J].山西建筑,2018,44(4):178—180.
- [14] 刘义才.连续刚构桥施工监控及挠度控制分析[J].交通世界,2018(20):99—100+103.

收稿日期:2022—04—24

\*\*\*\*\*

(上接第 106 页)

大,如何平衡连通岔数与缺省岔数、合理把握工程规模与地面交通组织压力有待研究。

(3) 交叉方案中,跨通航水系抬升的那一岔连通岔数不宜超过三岔,交通流线数量不宜超过 6 条。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通运输部.内河通航标准:GB 50139—2014[S].北京:中国计划出版社,2015.

- [2] 中华人民共和国水利部.堤防工程设计规范:GB 50286—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [3] 杨少伟.道路勘测设计[M].3 版.北京:人民交通出版社,2009.
- [4] 邵旭东.桥梁工程[M].5 版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [5] 中国公路工程咨询集团有限公司.公路立体交叉设计细则:JTG/T D21—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

收稿日期:2022—07—12