

淄博一环快速路昌国路-鲁山大道立交桥总体设计

张 泉

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 淄博一环快速路是“三环五射”快速路网的重要组成部分,鲁山大道立交是鲁山大道和昌国路交叉处枢纽立交。结合立交设计过程,阐述该立交的技术标准与结构形式。结合立交中 WN 匝道与 NE 匝道交叉处净空校核过程,分析对比不同计算方法的计算过程、结果精度,总结出各计算方法的优缺点与适用性。为今后类似工程的设计积累经验并提供参考。

关键词: 立交;总体设计;净空;桥梁

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)06-0079-05

1 项目概况

淄博市城市快速路网建设一期工程建设地点位于淄博市张店区、周村区,由鲁泰大道—宝山路—昌国路—原山大道合围而成,总长约 39 km^[3]。项目平面位置如图 1 所示。



图 1 淄博市城市快速路网一期规划图

鲁山大道立交位于鲁山大道与昌国路交叉口,设置十字型立交。鲁山大道和昌国路均为城市快速路,该立交为一环快速路(南环)与二环快速路(东环)的重要交通转换节点,功能定位为枢纽立交^[3]。

通过设置匝道实现西至北、西至南、南向西、北向西、东至北、东至南、南至东、北至东 8 个流向的转向需求。南北向直行采用桥梁跨越地面平交口,位于第二层。东西向采用桥梁跨越南北向跨线桥,位于第三层。鲁山大道地面辅路和昌国路地面辅路交叉口处

设置灯控平交口。立交效果图见图 2。



图 2 鲁山大道立交效果图

2 工程设计标准^[4]

(1)道路等级及设计车速

主路:城市快速路。

辅路:城市主干路。

主线高架设计速度 80 km/h。

匝道设计速度 40 km/h。

(2)荷载等级

高架桥梁:城-A 级。

人群荷载:按《城市桥梁设计规范(2019 年版)》

(CJJ 11—2011)取用。

(3)桥梁设计基准期及使用年限

桥梁设计基准期:100 a。

桥梁设计使用年限:主体结构 100 a。

(4)设计安全等级

一级,结构重要性系数 $\gamma_0=1.1$ 。

3 桥梁设计方案

3.1 立交桥设计原则

桥梁结构设计在贯彻工程性能良好、经济安全合

收稿日期:2021-11-02

作者简介:张泉(1986—),男,学士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

理、绿色施工、满足道路交通功能总体要求的基础上,兼顾桥梁建筑的美观。桥梁结构的选型体现结构施工方便、快速、文明的特点。为此确定桥梁结构设计原则如下^[4]:

(1)桥梁结构设计应符合安全、适用、经济、美观、耐久与环保、便于快速施工的建设要求。

(2)桥梁方案应满足交通功能的需要,根据功能、使用要求、城市规划和周围环境、工程地质、水文等情况,并充分考虑现场的施工条件、景观协调和造价经济合理等因素,综合比较选择。桥梁方案应积极采用新技术、新工艺、新材料,使所选结构的适用性和经济性结合最佳,且方便施工,便于维修、养护。

(3)积极推广应用标准化、工厂化、装配化施工模式,尽量减少工地现场混凝土现浇施工。方案的选择需考虑施工速度快、工期短,以满足工期要求;并减小施工期间对地面交通影响,减少施工中和建成后对环境造成的不利影响。

(4)桥梁的跨径布置和标高控制应在满足交通功能要求和总体方案的前提下,尽量减少桥梁长度和降低梁高,合理控制材料指标,节约投资。

(5)结构设计应满足界限设计要求,桥梁与横向道路、立交和河流相交时,其桥下净空必须满足行车、排洪、通航等要求。

3.2 立交桥结构形式

上部结构采用预应力混凝土小箱梁,曲线半径较小或跨径较大时采用钢-混组合梁。

匝道小箱梁标准断面如图3所示。

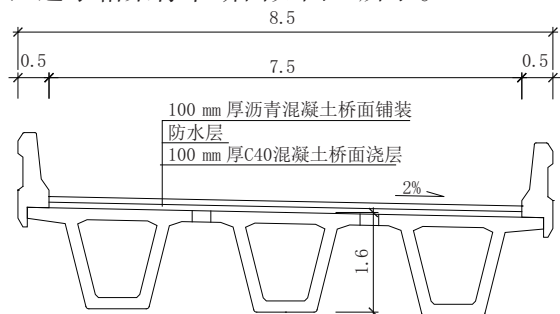


图3 预应力混凝土小箱梁标准断面图(单位:m)

匝道小箱梁梁高1.6m,顶宽1.675m,底宽1.0m,标准跨径22~31m。

直线段小箱梁平行布置,悬臂长度1.6m,湿接缝宽度0.3~1.1m。曲线段小箱梁平行布置,湿接缝宽度保持不变,通过悬臂宽度变化适应匝道线型变化。对曲线段小箱梁构造布置采取如下优化措施,以保证互通立交整体景观效果:

(1)曲线段小箱梁梁端悬臂长度保持1.6m,方

便与前后结构顺接。

(2)控制曲线段小箱梁悬臂矢高,保证箱梁外形顺滑、流畅。经设计人员反复计算对比,控制悬臂最大矢高 <0.3 m,则小箱梁景观效果不会有明显的影响。

钢-混组合梁标准断面如图4所示。

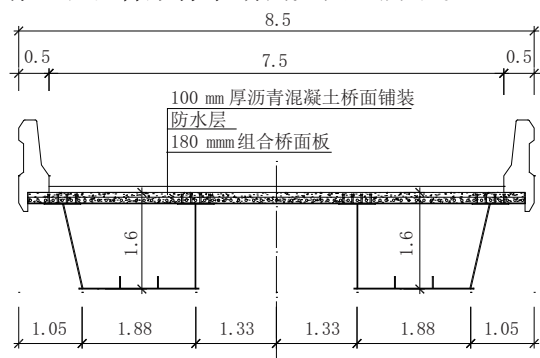


图4 钢-混组合梁标准断面图(单位:m)

立交匝道中钢-混组合梁采用“双边箱”结构,简化构造,方便施工,最大限度利用混凝土桥面板承载能力。

钢-混组合梁梁高1.6m,箱梁腹板与小箱梁对齐,方便与小箱梁顺接。

为提高抗风及抗倾覆稳定性,下部结构采用盖梁柱式墩,如图5所示。

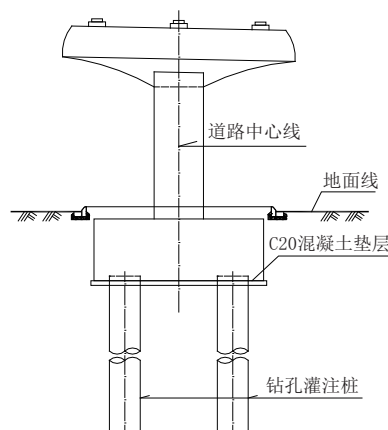


图5 盖梁柱式墩立面图

墩柱采用圆角矩形截面,截面尺寸1.6×1.6m~1.8×1.8m。盖梁中心梁高1.9m,盖梁顶面横坡2%,底面为圆弧曲线,梁高逐渐减小。盖梁梁高变化符合力学原理,曲线造型新颖独特,改善桥下景观效果。

桥墩基础采用承台桩基础,桩径1.0~1.2m,基础为嵌岩桩,桩间距3.5~4.0m。

3.3 立交匝道布置原则

混凝土小箱梁造价低,施工周期短,技术成熟,但跨越能力不高,为保证景观效果,不能用于小半径曲线匝道。

钢-混组合梁跨越能力强,其外形可适应任意

道路线形,但造价较高,加工周期长,施工难度大。

经分析对比,按以下原则布置小箱梁及钢-混凝土组合梁,充分利用两种结构的优势,满足立交设计安全、适用、经济、美观等要求。

(1)预应力小箱梁标准跨径 22~31 m,最大跨径 31.5 m,当布置跨径大于 31.5 m 时应采用钢-混凝土组合梁。

(2)预应力小箱梁悬臂矢高小于等于 0.3 m,当布置跨径为 22 m 时,对应曲率半径 220 m。即,当匝道线形曲率半径小于 220 m 时应采用钢-混凝土组合梁。

(3)裤衩段、大变宽桥跨应采用钢-混凝土组合梁。

(4)无上述限制条件时,优先布置预应力小箱梁。

(5)钢-混凝土组合梁简支梁跨径 32~40 m,最大不超过 42 m。

(6)钢-混凝土组合连续梁边中跨比 0.7~1.0,当中跨跨径小时取大值,反之取小值。

(7)当钢-混凝土组合连续梁中跨跨径大于等于 48 m,应布置变高连续梁,中支点梁高 2.4 m,边支点及中跨跨中梁高 1.6 m。

(8)钢-混凝土组合连续梁联长宜 100~120 m,最大不超过 150 m。

3.4 立交匝道总体布置

按以上原则布置立交桥梁如图 6 所示。

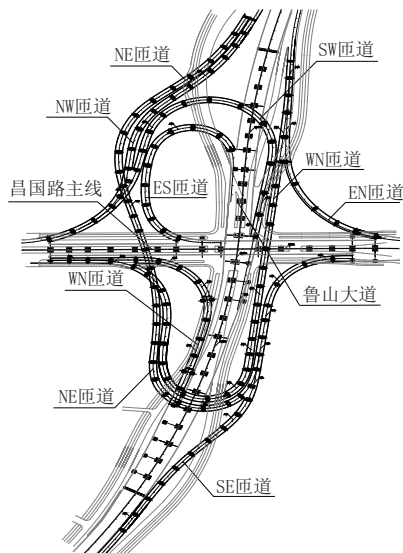


图6 立交平面布置图

其中,预应力小箱梁 43 跨,跨径 23~31.2 m,钢-混凝土组合梁 90 跨,跨径 18.6~48 m。

4 匝道净空复核

鲁山大道立交分为 3 层:1 层为地面道路,2 层为鲁山大道主线桥,3 层为昌国路主线桥。在多个节点处匝道-主线、匝道-匝道交叉跨越,对这些节点

处匝道、主线桥的高程进行验算,是设计中一项重要工作。

4.1 规范要求

《城市桥梁设计规范(2019 年版)》(CJJ 11—2011)

5.0.2 条规定如下^[1]:

城市桥梁中的小桥桥面布置形式及净空限界应与道路相同,特大桥、大桥、中桥的桥面布置及净空限界中的车行道及路缘带的宽度应与道路相同,分隔带宽度可适当缩窄,但不应小于现行行业标准《城市道路设计规范》(CJJ 37—2012)规定的最小值。

《城市道路工程设计规范(2016 年版)》(CJJ 37—2012)3.4.1 条规定如下^[2]:

道路建筑限界应为道路上净高线和道路两侧侧向净宽边线组成的空间界线(见图 7)。顶角抹角宽度(E)不应大于机动车道或非机动车道的侧向净宽(W_1)。

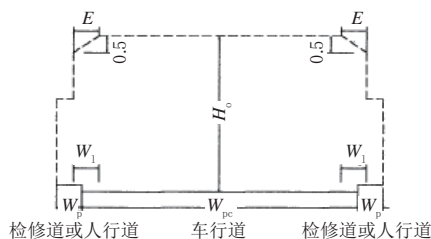


图7 道路建筑限界

根据本项目《设计原则》,图中参数如下:

$$H_c = 5.0 \text{ m}, W_f = 0.5 \text{ m}, W_1 = 0.0 \text{ m}, E = 0.5 \text{ m}$$

4.2 匝道净空计算

本项目设计过程中,考虑以下三种方式计算匝道净空,一是在匝道中线交点处计算;二是在匝道相交区域四个交点处计算;三是沿匝道中线及边线以小步长内插计算。

由图 5 可看到,匝道在多处立体交叉,经初步筛选,大部分立体交叉处净空满足规范要求,但仍有如下两处需详细校核:

(1) WN 匝道上跨 NE 匝道

如图 8 所示,该位置处 NE 匝道高程抬升,WN 匝道高程下降,相交区域内 WNP6 桥墩盖梁侵入 NE 匝道范围内。

(2) SW 匝道上跨 NE 匝道

如图 9 所示,此处 SW 匝道与 NW 匝道合流形成鼻端,NE 匝道从下方穿过,SWP15 桥墩盖梁部分侵入 NE 匝道范围内。

本文将 WN 匝道上跨 NE 匝道区域为例,以前述三种方法分别计算交叉处 NE 匝道净空最小值。

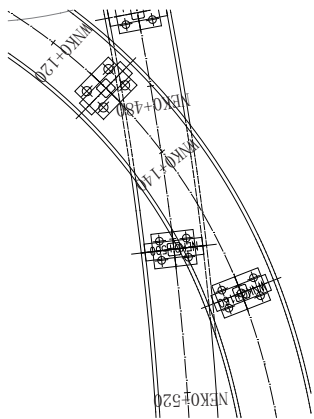


图8 WN匝道上跨NE匝道

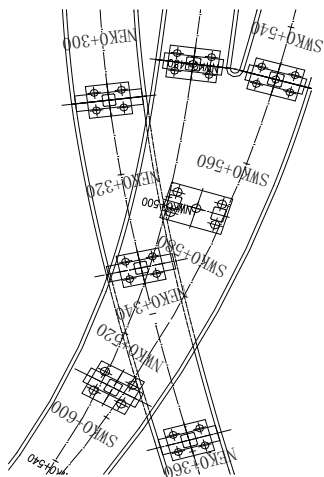


图9 SW匝道上跨NE匝道

a. 在中线交点处计算

查询匝道路线资料,交点处信息如表1所示。

表1 中线交点处计算

匝道名称	里程桩号	中心高程/m	匝道宽度/m	横坡/%
WN	K0+139.705	86.651	10	-3
NE	K0+488.387	77.162	8.5	-2

注:横坡以左下右上为正。

由图中可看出两条匝道同向,则最小高差为:

$$H_1 = 86.651 - 10 \times 0.03 \div 2 = 86.501(\text{m})$$

$$H_2 = 77.162 - 8.5 \times 0.02 \div 2 = 77.077(\text{m})$$

$$h_0 = 86.501 - 77.077 = 9.424(\text{m})$$

上部结构高度为:

$$h_1 = 0.1 + 1.6 = 1.7(\text{m})$$

净空高度为:

$$h = 9.424 - 1.7 = 7.724(\text{m})$$

规范要求桥面净空大于等于5.0 m,根据该方法计算,NE匝道净空在该处有较大富余。

b. 在区域角点处计算

如图10所示,该区域4个角点为LA、RA、LB、RB,根据各点对应匝道中线里程获取中线高程,并根据桥面横坡换算4个交点处匝道高程,并计算得到

交点处桥面高程差,由表2可知,最小高程差为:

$$h_0 = 8.513(\text{m})$$

净空高度为:

$$h = 8.513 - 1.7 = 6.813(\text{m})$$

规范要求桥面净空大于等于5.0 m,根据该方法计算,NE匝道净空在该处仍有一定富余。

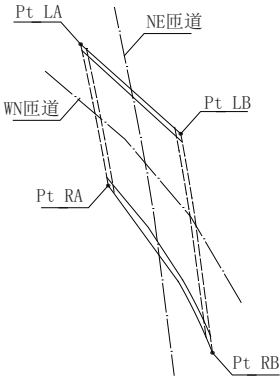


图10 区域角点示意图

表2 区域角点处计算

点号	匝道编号	中心里程	中心高程/m	距中线距离/m	横坡/%	高程/m	角点处高程差/m
Pt_LA	WN	K0+125.004	86.390	-5	-3	86.525	10.138
	NE	K0+472.935	76.462	4.25	-2	76.387	
Pt_RA	WN	K0+139.961	86.702	5	-3	86.567	9.420
	NE	K0+491.064	77.222	4.25	-2	77.147	
Pt_LB	WN	K0+139.450	86.693	-5	-3	86.828	9.784
	NE	K0+485.755	76.969	-4.25	-2	77.044	
Pt_RB	WN	K0+165.420	87.026	5	-3	86.891	8.513
	NE	K0+513.116	78.303	-4.25	-2	78.378	

注:1.横坡以左下右上为正;

2.距中线距离,中线左侧为负,右侧为正。

c. 沿中线、边线插值计算

计算时选择匝道WN、匝道NE边线及中线为关键线,以一定步长获取插值点,对每一插值点(Pt)按如下过程计算两条匝道桥面高程差。

一是计算Pt在所属匝道(A)桥面的关键参数:中线里程、中线高程、距中线距离、横坡。

二是根据以上参数计算Pt在匝道A桥面高程 h_1 ,具体计算过程见表2。

三是计算Pt平面坐标(X,Y)。

四是判断坐标(X,Y)是否在另一匝道(B)范围内(包括在边界上),若(X,Y)不在匝道B范围内(包括在边界上),则放弃该插值点,在(X,Y)处两条匝道不相交;若(X,Y)在匝道B范围内(包括在边界上),则继续以下计算步骤。

五是计算平面坐标(X,Y)在匝道B桥面的关键

参数:中线里程、中线高程、距中线距离、横坡。

六是根据以上参数计算匝道 B 桥面在(X,Y)处高程 h_2 。

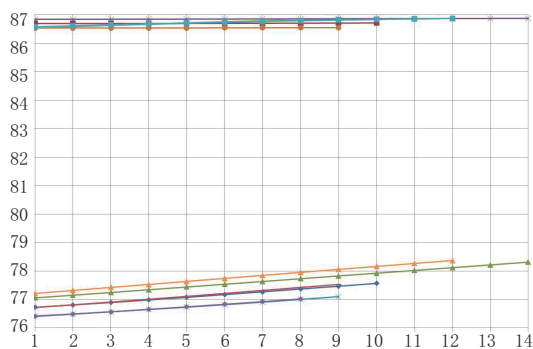
七是计算高程差 $h=\text{abs}(h_1-h_2)$,其中 abs 表示取绝对值。

根据以上方式计算的所有高程差取最小值即为两匝道最小净空。

以上过程若人工计算将非常繁琐,且容易出错。在 AutoCAD 中以 AutoLISP 语言进行二次开发,实现计算过程自动化,将极大减少手动工作量。

在 CAD 软件中将匝道中线、边线编辑为二维多段线,调用 Visual LISP 内置函数可方便完成多段线的测距、定位等操作。程序中用到的主要函数如下^[5]:一是 vl-load-com ,将 Visual LISP 扩展功能加载到 AutoLISP;二是 $\text{vlax-curve-getClosestPointTo}$,曲线上离指定点最近的点;三是 $\text{vlax-curve-getDistAtPoint}$,曲线从开始点到指定点的曲线段的长度;四是 $\text{vlax-curve-getPointAtDist}$,曲线上距开始点为指定距离的点。

取插值步长为 2.0 m,对匝道 WN(K0+120~K0+180)、匝道 NE(K0+460~K0+520)区域进行计算,结果如图 11 所示。



注:1. $H>86\text{ m}$ 为 WN 匝道桥面各计算点处高程;
2. $H<79\text{ m}$ 为 NE 匝道桥面各计算点处高程。

图 11 插值计算结果

由图 11 可得,最小高程差为

$$h_0 = 8.505(\text{m})$$

净空高度为:

$$h = 8.505 - 1.7 = 6.805(\text{m})$$

WNP6 桥墩盖梁端部侵入 NE 匝道平面范围内,需校核该处净空是否满足要求。

根据设计文件,WNP6 桥墩桩号 K0+129.012,盖梁顶面中线处高程 84.307 m,侵入部分盖梁高度 1.765 m,则盖梁底面处高程

$$h' = 84.307 - 1.765 = 82.542(\text{m})$$

由以上插值计算结果可知,对应桥面处高程为 76.550,则净空高度为:

$$h = 82.542 - 76.550 = 5.992(\text{m})$$

满足规范要求,但富余不大。

4.3 结果对比

由以上计算过程可看出,仅计算中线交点处高程会高估桥下净空高度,根据此结果进行匝道设计可能会导致净空不足。

通过计算相交区域角点处高程可得到比较准确的桥下净空值,说明控制点一般都在 4 个角点之一的位置上,这种方法过程简单,计算量不大,可满足日常设计需求。

沿中线、边线插值计算桥下净空,可以精确的获得净空值及控制点位置,并能方便的考虑盖梁侵入、桥面变宽、桥面坡度变化等因素,是最准确,最可靠的计算方法。但这种方法计算量大,过程繁琐,适用于复杂情况下净空计算。

5 结 论

目前鲁山大道立交桥梁设计工作已全部完成,施工工作也陆续开展。通过鲁山大道立交桥梁设计,明确了立交匝道设计的原则,积累相关设计经验,并在验证匝道立交节点净空的过程中,确定相关验算方法的适用性。

参考文献:

- [1] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范(2019 年版)[S].
- [2] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范(2016 年版)[S].
- [3] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.昌国路、宝山路、鲁山大道标段桥梁总体设计[R].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2021.
- [4] 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.淄博一环快速路专业设计原则[Z].上海:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,2021.
- [5] 陈伯雄,冯伟. VISUAL LISP 程序设计——技巧与范例[M].北京:人民邮电出版社,2002.