

上跨铁路站场咽喉区连续钢箱梁设计与施工

朱永兵

(中铁上海设计院集团有限公司, 上海市 200070)

摘要:呼和浩特市巴彦淖尔路快速路跨越呼和浩特西站场咽喉区,共需跨越16股道,为选择合理桥型方案,尽量减少对运营铁路和地面道路的影响,分别对顶推连续钢箱梁、转体斜拉桥方案进行比选,并介绍连续钢箱梁结构设计和顶推施工步骤,建立了有限元模型,对桥梁运营及施工阶段结构受力进行分析。研究表明,顶推连续钢箱梁方案经济合理,结构受力满足规范要求,为同类型桥梁设计及施工提供参考。

关键词:站场咽喉区;连续钢箱梁;顶推施工;结构设计;受力分析

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0151-04

0 引言

随着社会经济的快速发展,城市平面交通系统不能满足日常出行需求,逐渐向立体化交通方向发展。市区内的高架桥梁建设往往会受到诸多因素的制约,如跨越铁路、公路、航道及重要管线等。常要求在施工时尽量减小对桥下交通、河道通航行洪及堤防安全的影响,促进了转体、顶推等施工工艺的快速发展^[1-9]。

当城市高架桥梁需要同时跨越多条既有运营铁路线时,采用顶推施工工艺,跨径大、施工便捷且对铁路运营影响小的优势,具有广阔的应用前景^[10-12]。连续钢箱梁是常见桥梁结构形式,自重轻、强度高、跨越能力强、施工周期短的特点,可在工厂预制,运输到现场后拼装,其轻质高强的特点可以做到较大的悬挑长度,非常适合顶推施工工艺,同时借助顶推设备钢导梁的作用,使得顶推跨径进一步增大^[13-15]。

本文以呼和浩特市巴彦淖尔路快速路跨越呼和浩特西站场咽喉区工程为例,对新建桥梁从建设环境、施工条件、经济性等方面进行了桥式方案比选,推荐三跨连续钢箱梁顶推施工跨越铁路咽喉区,介绍该桥的结构设计、顶推施工方案,并对结构受力、施工阶段受力进行计算分析,可为类似工程提供参考。

1 工程概况

本项目为城市快速路,是中心城“三环二横六

纵”快速路网的组成部分,是新机场与中心城的主要联系通道,见图1。同时也是公交主通道和市政管线走廊。该项目的实施,对于缓解西部区域的交通压力,疏散中心城过境和出入境交通具有重要意义。



图1 工程整体效果图

本节点跨越某站场咽喉区,站场范围内共有16股铁路股道,其中包括京包客专、唐呼线及站场线,均为电气化铁路。现状地面道路采用六处8 m+12 m+8 m框架桥下穿铁路站场咽喉区。框架桥长度根据股道分布情况在12.6~44.7 m不等,且各框架之间排列紧凑。

本工程高架桥上跨铁路,与现状下穿道路互为上下两层,设计道路中心线与站场股道线夹角在78°~90°之间,桥梁平面位于直线上,立面位于0.3%的纵坡上,为双向八车道。

2 主要设计标准

道路等级:主路城市快速路。

汽车荷载:城-A级荷载,跨铁路桥及相邻跨按照1.3×城-A级荷载设计。

桥下净空:满足电气化铁路净空要求,并满足顶推施工限界要求,接触网支柱顶部距离梁底按照2.6 m

收稿日期:2022-08-02

作者简介:朱永兵(1978—),男,学士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

空间预留。

设计速度:60 km/h。

桥梁设计安全等级:一级。

桥梁设计基准期:100 a。

防撞等级:上跨客专段及邻跨设置两级防护。

抗震设防标准:桥梁地震烈度为8度,水平向设计基本地震动加速度峰值为0.20g,桥梁为乙类,抗震措施按9度设防。

3 总体设计

3.1 方案比选

为确保铁路运营安全,减少对铁路的干扰,根据现场及周边工程条件,现对顶推连续钢箱梁方案和转体斜拉桥方案进行比选。

方案一采用61 m+62 m+67 m连续钢箱梁,见图2。两个主墩在六个框架桥的间隙内立墩,且采用门式墩结构跨越下层道路,门式墩内壁与框架内壁齐平,对下穿道路影响较小。施工方案采用步履式顶推施工,在引桥位置拼装后,利用铁路天窗点顶推至设计位置。

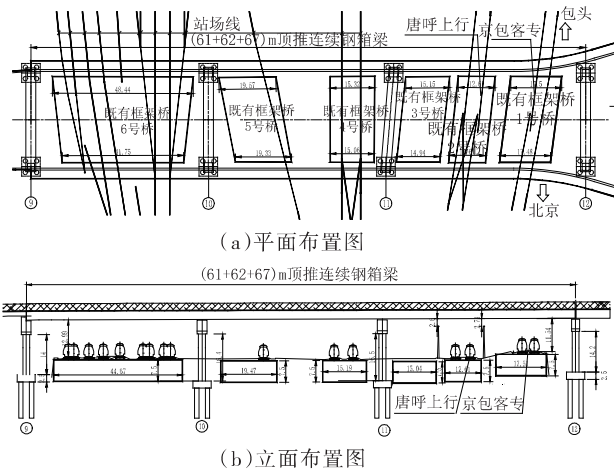


图2 方案一:(61+62+67)m顶推连续钢箱梁(单位:m)

方案二采用111 m+222 m+111 m双塔单索面斜拉桥,见图3。主塔位于现状道路中间,压缩了道路的通行断面。施工方案采用转体施工,主桥在平行于铁路方向拼装后,利用铁路天窗点转体至设计位置,对铁路影响较小。

上述两个方案比较见表1。

转体斜拉桥方案虽然有对铁路的影响小的优势,但也有明显的缺点:转体前平行于铁路施工,以及转体时旋转半径大,需额外征用临时用地,造成较大拆迁;同时,斜拉桥主塔压缩了辅路断面,对辅路交通组织影响较大,整体投资较大。

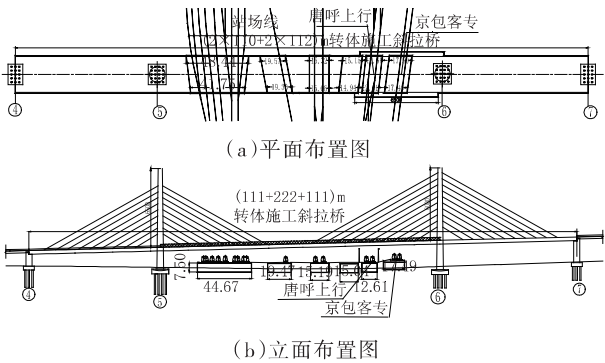


图3 方案二:(2×110+2×112)m转体斜拉桥(单位:m)

表1 上跨铁路桥梁方案影响对比

桥梁形式	连续钢箱梁	转体斜拉桥
桥跨	61 m+62 m+67 m	111 m+222 m+111 m
施工方法	顶推施工	转体施工
对铁路影响	天窗作业45 d	天窗作业1 d
拆迁情况	无拆迁	转体半径大,引起大量拆迁
对现状道路影响	影响较小	压缩了辅路断面,对辅路交通组织影响较大
工程投资	较小	较大

顶推连续钢梁方案在站场咽喉区内布设少量桥墩,施工时对铁路影响有限,钢梁施工过程均在既有征地红线范围内进行。对现状道路基本无影响,且造价相对较小。故推荐顶推连续钢箱梁方案。

3.2 主桥结构设计

主桥上部采用三跨等高连续钢箱梁设计,分为上下行两幅桥,考虑到主桥上跨客运专线需设置两级防护,单幅桥面宽度较标准段17.0 m加宽至20.1 m。主桥采用单箱四室分离式断面。钢箱梁线路中心线处梁高3.0 m。根据受力位置的不同,钢箱梁各板件采用变厚度设计,一般截面顶板厚16 mm,底板厚20 mm,中支点处顶板加厚至30 mm,底板加厚至28 mm;边支点处顶板加厚至20 mm,底板加厚至25 mm。顶板和底板采用U型加劲肋,腹板采用板肋加劲肋。单箱四室共8道腹板,腹板厚16 mm。纵向每隔3 m设置一道横隔板,实腹式和空腹式横隔板交替布置,横隔板板厚14 mm,支点处横隔板布置稍密,横隔板板厚28 mm。横断面见图4。

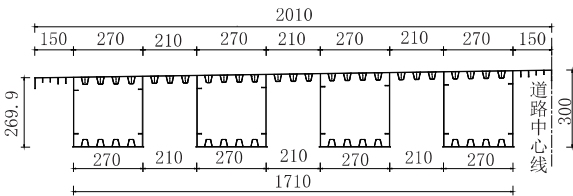


图4 单幅主桥横断面(单位:cm)

主桥下部采用预应力混凝土门式墩横跨现状道路。确保下穿道路的交通功能不受本工程影响。横断

面见图 5。

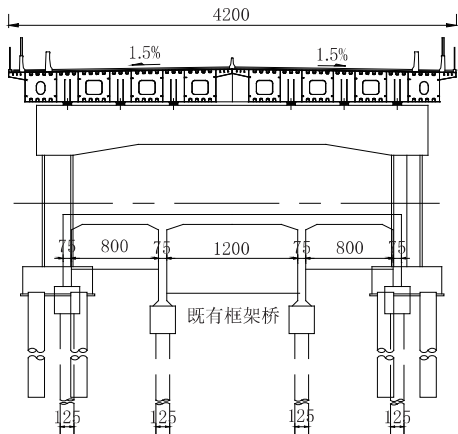


图 5 主桥横断面图(单位:cm)

3.3 施工方案

本桥采用多点步履式顶推施工。与拖拉式相比,步履式具有对临时墩产生水平力较小和安全可靠的优点。

本工程左右幅桥分别进行顶推施工。在小里程侧搭设拼装平台,单幅钢箱梁总长度约 190 m,采用钢梁分节段拼装,拼装一段顶推一段的施工方案,直至顶推就位,见图 6。最大顶推重量约 2 660 t,最大顶推距离 230 m,跨间不设临时墩,在墩顶布置步履式顶推装置。钢导梁重约 80 t,由 2 片等高度工字形梁组成,横向中心距 7.5 m,导梁长 47.0 m。导梁根部与钢箱梁相对应竖腹板等高,高度为 2.85 m,前端底板逐渐抬高 0.62 m。图 6 为顶推支架桥墩布置图。

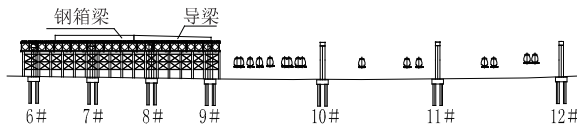


图 6 顶推支架桥墩布置图

本钢梁顶推主要步骤如下:

- (1)搭设拼装支架、顶推平台,设置滑道;
- (2)拼装 A 节段钢箱梁及导梁;
- (3)在多次天窗点中完成第 1 次顶推,导梁伸至 10# 墩处;
- (4)拼装 B 节段钢箱梁;
- (5)依次类推,直至主梁顶推到设计位置。
- (6)拆除导梁、滑道、拼装平台;
- (7)安装永久支座、落梁;
- (8)进行后续桥面系等施工。

4 主梁受力分析

4.1 计算模型

本文对单幅桥梁结构计算采用 Midas Civil 空间

有限元软件,建立三跨等高连续钢箱梁有限元模型,并考虑了下部结构门式墩变形对结构受力的影响。主梁、桥墩按照实际截面特性采用梁单元模拟,结构计算模型见图 7。计算荷载主要包括恒载、汽车荷载、制动力、风荷载、温度作用等。

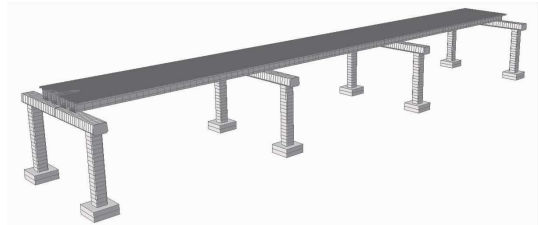


图 7 空间有限元计算模型

4.2 施工阶段受力分析

(1)抗倾覆及最大支反力

顶推最不利倾覆工况发生在导梁前支腿落在 10# 墩之前的最大悬臂状态,此时倾覆弯矩为 110 915 kN·m,抗倾覆弯矩为 191 549 kN·m,得到纵向倾覆稳定系数为 1.73,大于 1.3 的要求。

顶推过程中最大支反力位于 11# 墩顶处,发生在顶推完成工况,反力大小为 10 291 kN。

(2)位移

顶推过程导梁前端最大挠度为 47.7 cm,出现在导梁处于最大悬臂状态时,此时主梁悬臂端最大挠度为 10.7 cm。

(3)强度

顶推过程主梁最大拉应力为 87.3 MPa,最大压应力为 -96.8 MPa;导梁最大拉应力为 109.4 MPa,最大压应力为 -109.4 MPa。施工过程受力满足要求。

4.3 运营阶段受力分析

4.3.1 支座反力

标准组合下中支点最大支反力为 26 657 kN,最小支反力为 17 365 kN;边支点最大支反力 11 663 kN。最小反力为 6 267 kN。支座均未脱空,且有较大压力储备。

4.3.2 结构变形

连续钢梁的竖向挠度见表 2,结果表明主梁变形满足要求。

4.3.3 钢梁强度计算

(1)钢梁第一体系计算

钢梁强度计算需考虑剪力滞效应及局部稳定的影响,按现行《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)计算,跨中剪力滞折减系数为 1.0,距支点 12 m 附近至支点处剪力滞折减系数由 1.0 变到 0.909;跨中顶板、底板受压局部稳定折减系数为 0.997。基本

表 2 静活载作用位移

项目	左跨跨中	中跨跨中	右跨跨中
最大静活载位移/mm	8.8	14.5	10.1
最小静活载位移/mm	-24.8	-20	-32.9
正负挠度绝对值之和/mm	33.6	34.5	43
挠跨比	1/1 792	1/1 815	1/1 541
容许挠跨比	1/500	1/500	1/500

注:表中变形向上为正。
组合下顶板最大拉应力为 147.9 MPa,最大压应力为 152.2 MPa。

(2)钢梁第二体系计算

以横隔板间的单根纵肋及一定宽度的桥面板作为整体,建立以桥面系为承力载体的第二体系受力模型。纵肋支承在主梁腹板、横隔板上,考虑自重、铺装、汽车活载等作用。桥面板顶板 U 肋第二体系计算跨径取 3 m,将 U 肋和顶板组成的截面等效为工字截面;顶板板肋第二体系计算跨径取 1.5 m,将板肋和顶板组成的截面等效为 T 型截面。计算有效宽度根据《公路钢结构设计规范》(JTG D64—2015) 5.1.8.2 确定。根据圣维南原理,建立 3 个横梁间距的桥面系模型,其计算结果取中间段值。

计算可得,由顶板和 U 肋构成的第二体系最大拉应力为 106.2 MPa,最大压应力为 -72.3 MPa;由顶板和板肋构成的第二体系最大拉应力为 74.2 MPa,最大压应力为 -52.5 MPa。故取由顶板和 U 肋构成的第二体系应力与第一体系相叠加,作为顶板的强度设计值。考虑了第一、第二体系应力叠加的强度结果见表 3。计算结果表明:钢箱梁正应力、剪应力均满足规范要求。

表 3 钢箱梁应力计算结果汇总

位置及计算体系		计算最值/MPa	允许值/MPa
顶板(考虑第二体系)	最大压应力	-202.2	270
	最大拉应力	216.9	270
底板	最大压应力	-184.4	270
	最大拉应力	180.8	270
腹板	最大剪应力	60.2	160

注:表中拉应力为正。

4.2.4 钢结构疲劳验算

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)第 5.5.2 条,采用疲劳荷载模型 I 等效的车道荷载对钢主梁进行疲劳验算。

主梁最大正应力幅为 24.6 MPa,最大剪应力幅为 6.3 MPa,根据《公路钢结构桥梁设计规范》附录 C

表 C.0.2,疲劳细节类别为 50 MPa。经计算疲劳强度为 51.6 MPa,允许正应力幅为 36.85 MPa,剪应力幅为 22.85 MPa,根据应力幅分析可知,主梁疲劳强度满足要求。

5 减小桥梁对铁路运营影响的措施

(1)跨铁路桥梁采用步履式顶推方法施工,过程中严格按照《铁路营业线施工安全管理办法》执行。

(2)为保证铁路运营安全,需要对既有桥墩、轨道的变形进行安全监测。监测范围主要包括施工范围内可能影响的铁路桥墩,前后约 0.3 km 范围内的轨道几何状态进行监测。

(3)上跨既有铁路的桥梁及相邻跨两侧设置坚固的防抛免维护装置,其高度不低于 2.5 m,防抛免维护装置基础必须与桥梁预埋件联结,确保其强度、稳定性满足要求。

(4)桥梁两侧安装异物监测设备,实时监控桥面异物侵限状况。

6 结 语

本文以城市高架跨越铁路站场咽喉区工程为例,通过方案比选、结构设计、顶推施工阶段分析,得到主要结论如下:

(1)跨越铁路站场咽喉区应因地制宜地进行方案比选,本工程跨越铁路站场咽喉区采用连续钢箱梁顶推方案合理可行。新建桥梁采用门式墩结构,保证了既有道路的正常使用寿命,提高了通行效率,对铁路安全影响小。

(2)连续钢箱梁结构设计合理,施工阶段受力合理,运营阶段刚度、强度、疲劳检算均满足规范要求。

参考文献:

[1] 赵人达,张双洋.桥梁顶推法施工研究现状及发展趋势[J].中国公路学报,2016,29(2):32-43.
[2] 马行川.跨线桥转体技术发展现状与展望[J].铁道标准设计,2020,64(6):92-97.
[3] 吴鸿胜.跨线钢箱梁顶推受力全过程分析[J].铁道建筑技术,2016(7):48-52.
[4] 王法武.上跨铁路下承式钢系杆拱桥设计与施工[J].铁道标准设计,2021,65(2):77-82.
[5] 王砾文.大跨度双幅 T 构钢箱连续梁同步转体跨越既有铁路设计[J].铁道标准设计,2022,66(2):61-65.
[6] 李伟.城际铁路大跨跨线桥桥式方案研究[J].铁道标准设计,2021,65(1):59-64.
[7] 陈利民.上跨铁路咽喉区拱桥顶推方案设计与施工技术[J].结构工程师,2020,36(5):166-172.

再将钻头下到孔中继续钻进,每进尺深度达到 2.5 m 时,下沉下一节钢护筒,前后钢护筒的拼接检查合格后,要在护筒上留有十字线。如此循环进行,直至钢护筒达到管线底标高下 2 m 深位置为止,钢护筒与钢护筒之间采用焊接连接,每条焊缝焊接 4 点,每点焊缝长度不小于 8 cm(如图 10)。钢护筒焊接连接时保证接头圆顺,同时满足刚度、强度的要求。



图 10 钢护筒安装实例

4 方案比选

管线保护方法的选择取决于管线的材质、埋深、规格、与建筑物的相对位置关系(见表 1)。
管线保护方法的分析比选(见表 2)。

5 结 语

在市政道路、桥梁改拓建工程中,必然会遇到四

表 1 管线精探方法比较分析表

备选方案	适用管线	管线特点	精度	成本
探沟法	所有管线	埋深较浅	非常准确	底
陀螺仪法	拖拉管	有空管	准确	很高
导向仪法	拖拉管	有空管	准确	高
水冲法	φ300 以上硬管	有较为明确的管线位置	非常准确	高

表 2 管线保护方法比较分析表

备选方案	适用管线	管线特点	工期	成本
混凝土包封	电力信息等小管道	管径小、数量多的软管	快	底
盖板涵	给排水燃气管道	直径大、埋深浅的管道	慢	高
钢护筒	所有管线	距离钻孔桩较近的管线	快	高

大管线。若管线搬迁难度大,时间长,可选择适当的管线保护方案对现状管线加以保护,从而达到缩短工期、节约成本的目的。

参考文献:

[1] 洪根海,浅谈在复杂社会管线条件下新老路基搭接的施工[J].中国市政工程,2016(21):75-77.
[2] 陈建堂,黄华,浅析市政工程施工中地下管线的保护问题[J].工程科学,2010(13):68-68.

(上接第 154 页)

[8] 朱华中.九江快速路跨铁路斜拉桥转体结构及铁路防护设计[J].世界桥梁.2021,49(6):8-13.
[9] 陈卫华,李前名,熊涛.城市快速路跨铁路跨度 160 m 三主桁钢箱组合梁桥设计[J].铁道标准设计,2016,60(5):54-58.
[10] 李静.跨站场咽喉区桥梁改建方案设计及施工技术研究[J].铁道建筑技术,2020(12):64-67,72.
[11] 陈勇.基于顶推施工的连续钢箱梁桥设计及关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(8):129-132,137.
[12] 陈光辉,张传浩,倪堂超.跨铁路大桥钢箱梁顶推施工技术[J].建筑结构,2020,50(S1):1160-1162.
[13] 杜玉林,闫志刚,杜立峰,等.跨密集铁路小半径连续钢箱梁顶推施工技术[J].公路工程,2013,38(4):157-161.
[14] 白全安.一种新型跨线桥——连续钢箱梁设计[J].铁道工程学报,2017,34(10):44-49,92.
[15] 翁方文,田卿,田飞.大跨连续钢箱梁桥顶推施工控制技术研究[J].公路,2018,63(3):89-92.