

城市立交桥与地铁重叠段地梁设计

王 植

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘 要:随着城市化不断建设与发展,难免出现城市桥梁与地铁线位相冲突的情况。广州市某快速化改造工程部分立交桥与城市已运营地铁线重叠,由于受地铁结构影响所限,需合理设置地梁避让地铁结构以保证桥梁线位通顺。结合项目特点主要介绍工程节点地梁的设计与计算方法,并通过 Midas 建模分析提出在其过程中的注意事项,以供其他类似情况的工程参考。

关键词:地梁;设计;计算

中图分类号: U443.32

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0090-04

0 引 言

该工程原路位为广州与某区联系的一条现状放射性重要通道,为保证其主线交通连续,拟建一座双六至双八行车立交桥跨越两个十字路口达到快速化改造效果。其中立交桥部分路段与已运营地铁线位重叠。原施工图设计中计划桥梁先行于地铁施工,由于现场征拆等不可抗力因素,导致地铁修成运营后桥梁才开始建设。

1 工程概况

该立交桥及引道全长约 1 347 m,其中桥梁长 1 083 m,引道长 264 m,标准段桥梁总宽度为 28.4 m,加宽段总宽 48.4 m。上部结构均采用预应力混凝土连续箱梁;桥墩采用花瓶墩或柱式墩,桥台采用直壁式桥台。与地铁重叠段引道长约 116 m,桥梁段约 200 m。(0 号轴~5 号轴见图 1)。

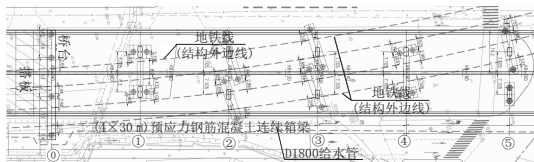


图 1 桥梁平面图

2 技术标准

(1)道路等级:主线为城市主干路,辅道为城市次干路。

(2)设计荷载:汽车荷载:城-A 级。

收稿日期:2022-04-20

作者简介:王植(1988—),男,学士,工程师,从事市政桥梁设计工作。

(3)设计车速:主线 60 km/h,辅道 40 km/h。

(4)车道宽度:一个大车道宽度为 3.75 m,一个小车道宽度为 3.5 m。

(5)桥面铺装:采用双面层式沥青混凝土,5 cm 厚中粒式改性沥青混凝土(AC-16C)+6 cm 中粒式改性沥青混凝土(AC-20C)=11 cm 沥青混凝土。

(6)工程结构设计安全等级为一级,构件重要性系数为 1.1。

(7)地震荷载:地震设防烈度为 7 度,设计基本地震加速度值为 0.10g。

3 地梁设计要点

3.1 地梁概况

该立交桥与地铁重叠段 0~5 号轴共设置了 8 处地梁。0# 桥台跨越地铁线位,采用地梁式承台,为普通钢筋混凝土结构,地梁高 2.5 m,单排桩基础,桩径 1.8 m,桩基距离地铁结构最小距离为 2.44 m;1#、4# 由于受地铁影响,双桩顺桥线方向布置,两承台间设置钢筋混凝土系梁形成整体,桩基距离地铁结构最小距离为 2 m;立交桥左右幅 2、3#,左幅 5# 桥墩处跨越地铁线位,采用预应力混凝土地梁,2、3# 地梁梁高为 2.7 m,两端对称张拉,桩基距离地铁结构最小距离为 2.48 m。

5 号轴位于 35 m+53 m+35 m 大跨桥梁中墩处,承受上部压力最大,本文中选取 5 号轴地梁介绍其设计与计算方法。

5# 地梁,宽 3.2 m,高 3.0 m,长 16.4 m,支承在两根直径 2.0 m 的桩基上,桩基中心间距 13.2 m。桥墩直接连接在地梁上,桥墩中心距地梁右端 7.82 m,桥

墩横向与地梁的轴线夹角为 12° 。桥墩为板式墩,墩高 5.034 m 。上部结构为 $35\text{ m}+53\text{ m}+35\text{ m}$ 现浇连续箱梁,箱梁在5#墩处通过支座支承在桥墩上,5#墩为 $35\text{ m}+53\text{ m}+35\text{ m}$ 现浇连续箱梁的主墩见图2。

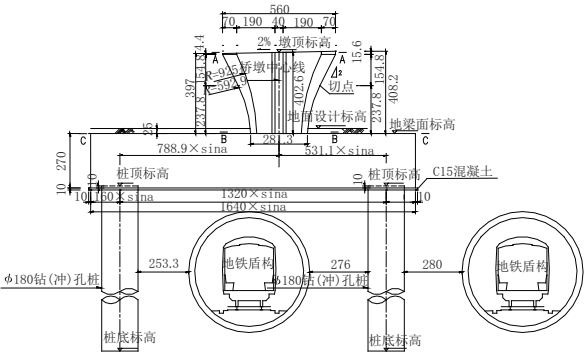


图2 地梁构造图(单位:cm)

5#地梁配置4排7束 $7\phi 5$ 预应力钢束,其中7N1、7N2和7N4为 $17-7\phi 5$ 预应力钢束,7N3为 $19-7\phi 5$ 预应力钢束,钢束布置见图3。

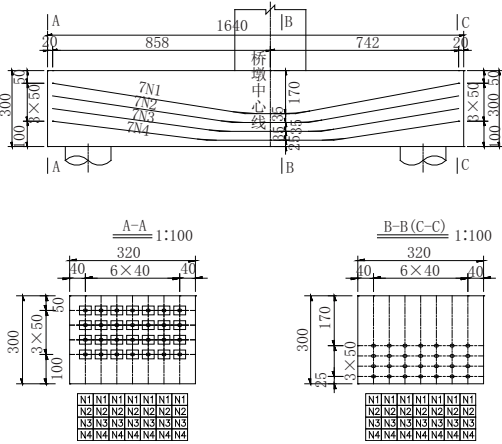


图3 钢束构造图(单位:cm)

3.2 主要材料参数

- (1)混凝土:C50。
- (2)预应力钢筋: $\phi^s15.24$,容重 78.5 kN/m^3 。
- (3)普通钢筋:HRB400。

3.3 荷载取值

3.3.1 永久荷载

- (1)结构自重,预应力混凝土容重取 26 kN/m^3 。
- (2)其他恒载:上部箱梁桥面二期恒载包括混凝土桥面铺装、防撞栏等。上部箱梁恒载以集中荷载($F=15\,920.0\text{ kN}$)形式作用在桥墩上,桥墩连接于地梁上。地梁覆土厚按 50 cm 考虑, 30.4 kN/m 。
- (3)收缩徐变时间取 10 a 。混凝土的收缩徐变根据规范计算。环境湿度取 0.7 。
- (4)预应力:塑料波纹管成孔:管道摩阻系数取 0.17 ,管道偏差系数取 $0.001\,5$,锚具变形、钢筋回缩

和接缝压缩值按 6 mm 计算;各项损失均按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362—2018^[1]计算。

3.3.2 可变荷载

- (1)汽车荷载:荷载等级:城-A。
- (2)冲击系数:按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[2]第4.3.2条计算取值。
- (3)车道折减系数:3车道横向折减系数为 0.78 。
- (4)汽车制动力按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)第4.3.5条计算取值,水平力按 $F=3\times 0.78\times 165=386.1\text{ kN}$ 。
- (5)上部 $35+53\text{ m}+35\text{ m}$ 现浇连续箱梁计算得到5#处最大的活载反力,活载反力等效成横向移动荷载作用在横梁上,见图4,通过横梁、桥墩作用在地梁上。



图4 活载参数

3.3.3 温度荷载

整体温差:升温 25°C ,降温 25°C ;不考虑地梁的温差效应。

3.3.4 支座沉降

按墩隔桩沉降 5 mm 考虑,组合时取极值。

3.3.5 荷载组合

根据规范相关规定,对于成桥运营阶段,采用如下荷载组合工况:

- 组合一(承载能力极限状态):基本组合;
- 组合二(正常使用极限状态):短期组合;
- 组合三(正常使用极限状态):长期组合。

以上组合在进行标准组合、承载能力极限状态组合、正常使用短期效应组合、正常使用长期效应组合时分别乘以不同的荷载组合系数。

3.4 计算模型

计算采用空间三维线弹性分析方法,运用 Midas-Civil 建立地梁三维有限元模型见图5,采用空间梁单元模拟,桩基础根据地质土层用土弹簧模拟。施工

阶段按实际进行了详细划分:

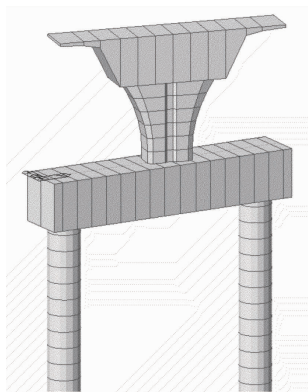


图5 地梁整体模型

- (1)施工基础和地梁;
 - (2)张拉预应力钢束,张拉顺序为 N1-4;
 - (3)地梁基坑回填,施工桥墩和上部结构;
 - (4)收缩徐变 10 a。
- 保守考虑,计算时地梁按全预应力构件设计。

3.5 主要计算结果:

3.5.1 施工阶段应力验算

按照规范 JTG 3362—2018 第 7.2.7 和 7.2.8 条,预应力混凝土受弯构件,在预应力和构件自重等施工荷载作用下截面边缘混凝土的法向应力应满足:

$$\text{压应力: } \sigma_{cc}^i \leq 0.7 f_{ck} = 0.7 \times 0.8 \times f_{ck} = 18.144 \text{ MPa}$$

$$\text{拉应力: } \sigma_{ct}^i \leq 0.7 f_{tk} = 0.7 \times 0.8 \times f_{tk} = 1.484 \text{ MPa}。$$

如图 6、图 7 所示,地梁施工阶段截面边缘混凝土的法向应力最大压应力为 17.26 MPa,最大拉应力为 -0.88 MPa,均满足规范要求。

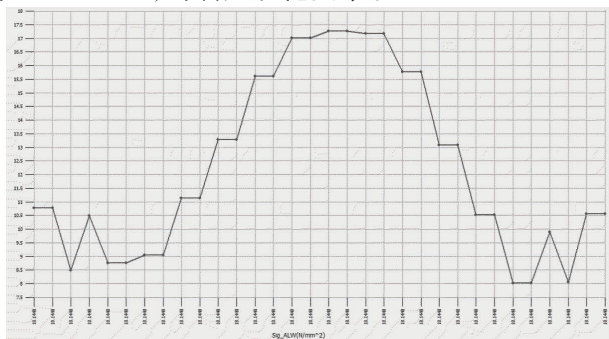


图6 施工阶段法向最大压应力(拉正压负)(单位: N/mm²)

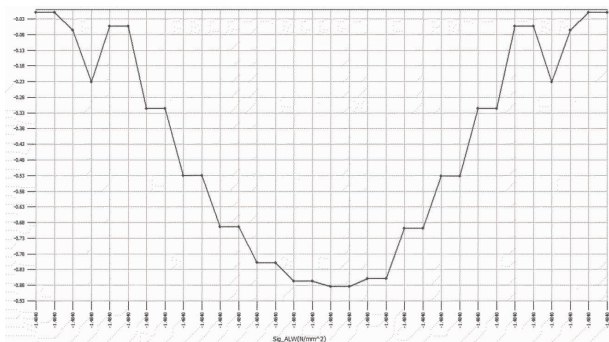


图7 施工阶段法向最大拉应力(拉正压负)(单位: N/mm²)

同时,预拉区应配置其配筋率不小于 0.2% 的纵向钢筋。

如图 8 所示,地梁上缘配置 10 cm 间距 D28 的主筋,下缘配置 10 cm 间距双排 D28 主筋,满足计算要求。

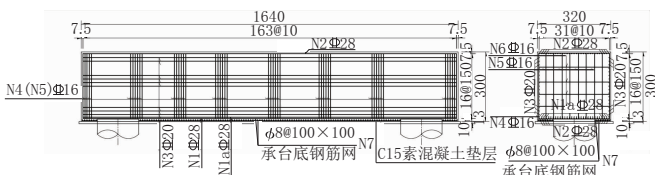


图8 地梁钢筋图(单位: cm)

3.5.2 持久状况正常使用极限状态验算

按照正常使用极限状态的要求,采用作用短期效应组合,按全预应力混凝土构件进行抗裂验算。

(1)正截面抗裂验算

按照规范 JTG 3362—2018 第 6.3.1 条,正截面抗裂应对构件正截面混凝土的拉应力进行验算,对于全预应力混凝土构件,在作用短期效应组合下,应满足: $\sigma_{st} - 0.8 \sigma_{pc} \leq 0$ 。

如图 9 所示,主梁在短期组合作用下截面最小压应力为 0.39 MPa,正常使用阶段正截面抗裂满足规范要求。

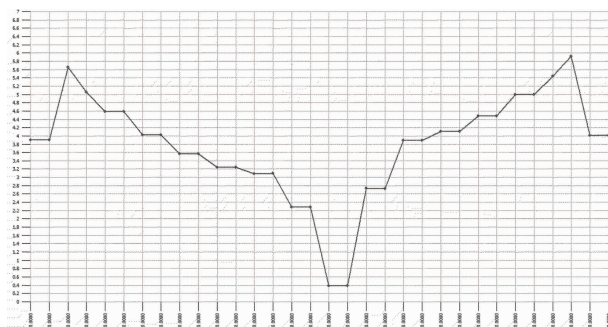


图9 短期效应组合正截面最小应力图(拉负压正)(单位: N/mm²)

(2)斜截面抗裂验算

按照规范 JTG 3362—2018 第 6.3.1 条,斜截面抗裂应对构件斜截面混凝土的主拉应力进行验算,对于全预应力混凝土现场浇筑构件,在作用短期效应组合下,应满足: $\sigma_{tp} \leq 0.4 f_{tk} = 0.4 \times 2.65_k = 1.06 \text{ MPa}$ 。

如图 10 所示,主梁在短期组合作用下截面最大主拉应力为 -0.48 MPa,满足规范规定要求,主梁在正常使用阶段斜截面抗裂满足规范要求。

3.5.3 持久状况预应力混凝土构件应力验算

按持久状况设计的预应力混凝土受弯构件,应计算其使用阶段正截面混凝土法向压应力和斜截面混凝土的主压应力,并不超过相应限值。计算时作用取标准值,汽车荷载考虑冲击系数。

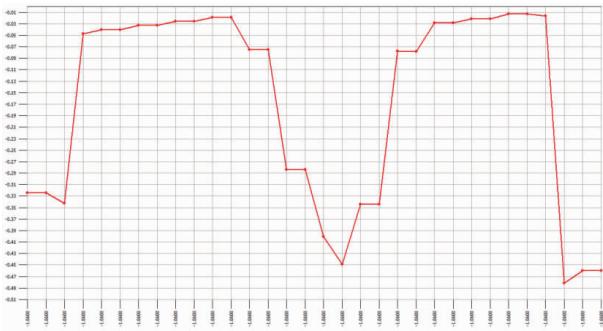


图 10 短期效应组合截面最大主拉应力图(单位: N/mm²)

(1)混凝土正截面压应力验算

按照规范 JTG 3362—2018 第 7.1.5 条,使用阶段预应力混凝土受弯构件正截面混凝土的最大正应力应符合: $\sigma_{kc}+\sigma_{pt}\leq 0.5 f_{ck}=16.2\text{ MPa}$ 。

如图 11 所示,根据运行计算成果,标准组合作用下,构件正截面最大压应力为 13.50 MPa,满足规范限值 16.2 MPa,使用阶段主梁正截面混凝土的压应力满足要求。

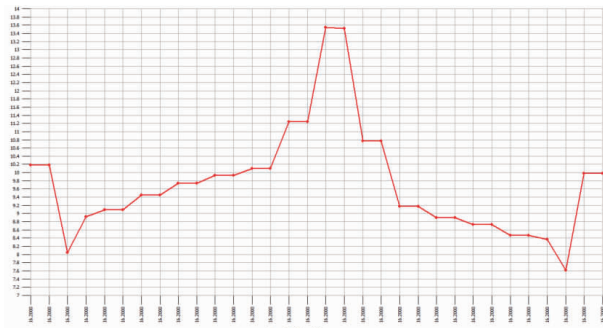


图 11 标准组合正截面最大压应力图(单位: N/mm²)

(2)混凝土主压应力验算

按照规范 JTG D62—2004 第 7.1.6 条,预应力混凝土受弯构件由作用标准值和预加力产生的混凝土主压应力 σ_{cp} 应符合:

$$\sigma_{cp}\leq 0.6 f_{ck}=0.6\times 32.4=19.44\text{ MPa}$$

如图 12 所示,根据运行计算成果,标准组合作用下,构件截面最大主压应力为 13.58 MPa,满足规范限值 19.44 MPa,使用阶段主梁截面混凝土主压应力满足要求。

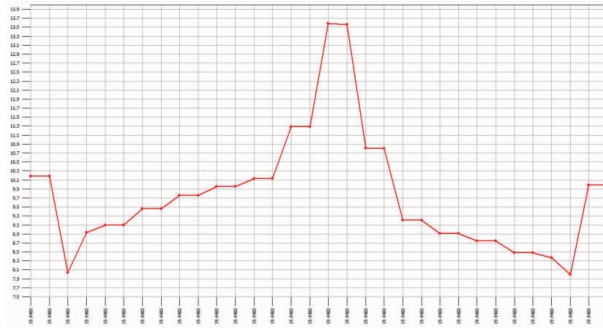


图 12 标准组合正截面最大主压应力图(单位: N/mm²)

3.5.4 预应力钢筋拉应力验算

按照规范 JTG 3362—004 第 7.1.5 条,使用阶段预应力混凝土受弯构件受拉区预应力钢筋的最大拉应力应满足: $\sigma_{pe}+\sigma_p\leq 0.65 f_{ck}$,见表 1。

表 1 持久状况预应力钢筋最大拉应力

钢束	验算	Sig DL/ (N·mm ⁻²)	Sig DL/ (N·mm ⁻²)	Sig ADL/ (N·mm ⁻²)	Sig ALL/ (N·mm ⁻²)
N1	OK	1 132.8	1 064.8	1 395.0	1 209.0
N2	OK	1 129.6	1 085.2	1 395.0	1 209.0
N3	OK	1 125.4	1 116.0	1 395.0	1 209.0
N4	OK	1 123.4	1 163.3	1 395.0	1 209.0

3.5.5 持久状况抗弯承载力和斜截面抗剪验算

考虑基本组合下结构的承载能力极限状态,计算结果见图 13~图 16。

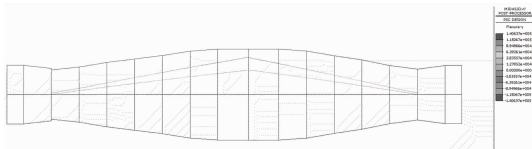


图 13 承载力极限状态弯矩包络图(单位: kN·m)

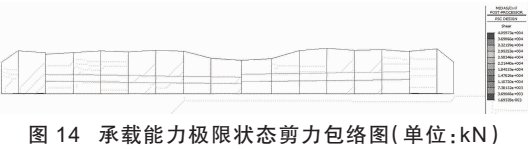


图 14 承载力极限状态剪力包络图(单位: kN)

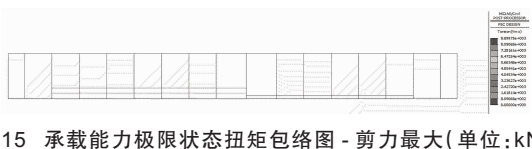


图 15 承载力极限状态扭矩包络图 - 剪力最大(单位: kN)

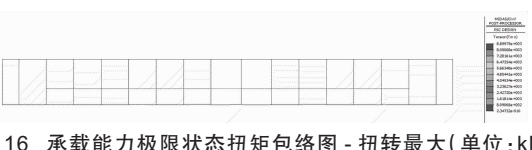


图 16 承载力极限状态扭矩包络图 - 扭转最大(单位: kN)

地梁正截面抗弯、斜截面抗剪及剪扭承载力应满足规范要求。

3.5.6 桩基验算

桩基础按土弹簧在整体模型中模拟,荷载组合作用下,桩基最大内力位于桥墩近侧桩基桩顶,选取桩基最不利内力分别对桩基的最不利组合内力提取,见表 2。

表 2 荷载组合下并发最不利内力值

荷载组合	轴向 /kN	弯矩 -y/(kN·m)
基本组合	14 363.42	3 501.14
短期组合	11 859.3	3 739.49
长期组合	11 859.2	3 739.49

桩基上部主筋采用 25+25 根 D32 的钢筋,对其进行承载能力和裂缝宽度验算,验算结果满足规范

(下转第 99 页)

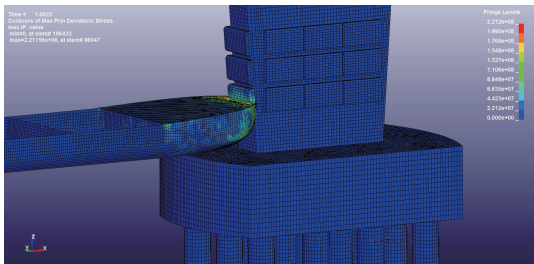


图 6 船撞有限元模型图

4 过渡墩设计

为保证过渡墩与主墩风格统一,过渡墩采用分离式板式实心墩,八角实腹截面,如图 4 所示,横桥向根部宽 6.0 m,顶宽 8.0 m,两侧为直线变化,厚度为 2 m。墩身采用 C40 混凝土。

承台为分离式矩形承台,单个承台平面尺寸为 7.2 m×7.2 m(顺×横),厚度为 2.5 m。单个承台基础由 4 根 D1.8 m 桩组成,按嵌岩桩设计。

5 结 语

本文介绍东莞槎马大桥主桥下部设计方案,结合此类桥型的受力特点,详细描述了下部结构的设计思路和过程,可为类似工程的下部结构设计提供

