

与地铁地下车站合建的桥梁设计

马晓刚

(上海浦东建筑设计研究院有限公司, 上海市 201204)

摘要: 工程采用地铁地下车站和跨线桥梁合建的形式, 跨线桥在地铁车站范围内以车站结构作为其下部基础, 在盾构区间采用桩基承台基础, 设计精心考虑各区间桥梁上下部结构方案, 取得了较好的实施效果, 站桥合建方案有效节约了建设用地, 降低了建设费用, 可供类似市政工程参考、借鉴。

关键词: 跨线桥; 站桥合建; 钢箱梁; 小箱梁; 设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0055-04

1 概述

随着我国城市建设的快速发展, 城市核心区域可利用建设用地日益紧张, 建设环境愈发复杂、敏感, 建设者须对有限的空间资源进行高效整合利用, 以获得更好的城市开发综合效益, 因而轨道交通与市政交通、建筑等呈现出立体式、一体化发展的趋势。

杨高路-民生路立交位于浦东核心区域, 采用杨高路跨线桥方式上跨民生路, 工程范围内地铁9号线走向与地面道路杨高中路走向一致, 且在民生路位置需设地铁车站。经前期技术方案论证, 采用跨线桥与地铁车站同位合建、结合实施的方案, 以节约建设用地、减少环境影响、降低建设费用^[1]。相关地铁盾构、地下车站与市政道路平面关系见图1。

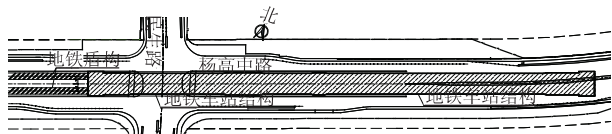


图1 地铁盾构、地下车站与道路关系平面图

2 技术标准

(1)建设标准: 城市主干路 I 级, 设计车速为 60 km/h。

(2)荷载等级: 汽车荷载为城—A 级。

(3)抗震标准: 地震动加速度峰值 0.1g, 按地震基本烈度 7 度设防。

(4)设计安全等级: 一级, $\gamma_0=1.1$ 。

收稿日期: 2020-07-02

作者简介: 马晓刚(1977—), 本科, 高级工程师, 主要从事桥梁设计研究工作。

(5)设计基准期和使用年限: 设计基准期 100 a, 使用年限 100 a。

3 设计方案

3.1 设计原则

(1)地铁车站上的桥梁跨径布置应与地铁车站柱网间距相对应; 地铁盾构区间的桥梁跨径布置应考虑地下管线影响, 并满足地铁管理部门意见。

(2)车站区间的桥梁上部结构形式和桥墩设置均需结合车站结构统一考虑, 既要保证桥梁结构安全、可靠, 又要使车站框架结构受力合理, 并能减轻车站结构及其基础所承受的外部荷载, 减少运营阶段地铁车站发生的沉降。

(3)工程位于环境敏感区, 在保证桥梁结构安全、实用的前提下, 应力求造型简洁、美观, 能适应周边环境, 满足该地段的景观要求。

(4)本项目为 BT 工程, 投资方对工程造价比较敏感, 因此桥梁方案必须考虑对工程造价的影响。

(5)工程位于城市核心区的重要交通节点处, 需采用简便、快捷的预制拼装施工方式, 加快施工进度, 缩短工期, 尽量减少施工期间对地面道路、地下车站和地铁的影响。

3.2 总体布置方案

3.2.1 跨径布置

地铁车站位于杨高中路下, 整个站台以民生路为界, 大部分偏于民生路东侧。结合地铁车站结构在本工程范围内的柱网间距布置、地面道路直行车道和左右转向车道的布置需要, 跨线桥跨地面道路主桥采用一联(25.4+24+46.8+24+24)m 的连续梁方案, 桥梁投影在车站部分的东侧引桥分跨必须与车站结

构相结合设计,采用一联(24+22.5+22)m 的连续梁。该两联桥梁与地铁车站合建,桥梁的桥墩以车站框架结构作为其基础进行设计。

位于车站结构西侧端部以西的一跨桥梁需一端作用在车站结构基础上,一端作用在新建桥梁基础上。为避免由于基础结构不同而可能产生的不均匀沉降对上部结构的不利影响,同时考虑避让地下管线,该跨采用 19.5 m 的简支梁结构。

桥梁投影在地铁盾构区间的引桥结构,考虑避让地下管线、桩基布置需要和降低台后填土高度,采用了 3 × 18 m 的一联连续梁,需新建下部基础。在立交纵坡设计上,该跨线桥在主跨满足道路通行限界的的要求下,采用 4.5% 的纵坡接两端的地面道路,立面布置见图 2,满足设计原则。为减轻对地铁车站结构的不利影响,该区间桥梁上部结构考虑采用钢结构形式。

3.2.2 横断面布置

结合路线设计,桥梁横断面有分幅和整幅两种布置形式可供比选。满足双向 6 车道行车要求,分幅布置时单幅桥宽 13.0 m,桥墩采用 Y 型独柱墩,见图 3。

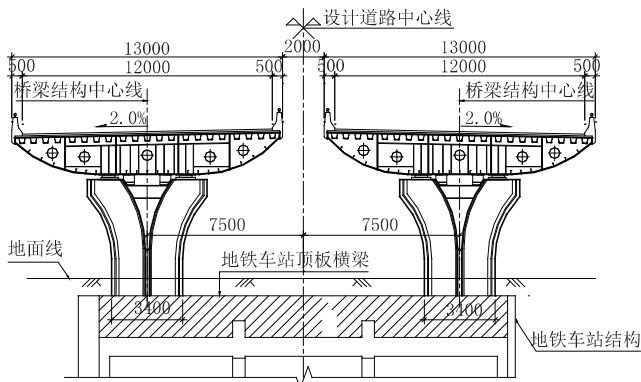


图 3 分幅断面布置图

整幅布置时桥宽 25.5 m, 满足车站结构受力需要,桥墩位置与分幅时一致,见图 4。

本工程根据环评要求,跨线桥需设置声屏障,同时考虑风荷载影响后,对两种断面布置形式进行了详细计算比较。具体比较内容见表 1。

与分幅断面相比,整幅断面时风荷载在墩底产生较小弯矩、车载不产生横桥向弯矩,总的弯矩效应

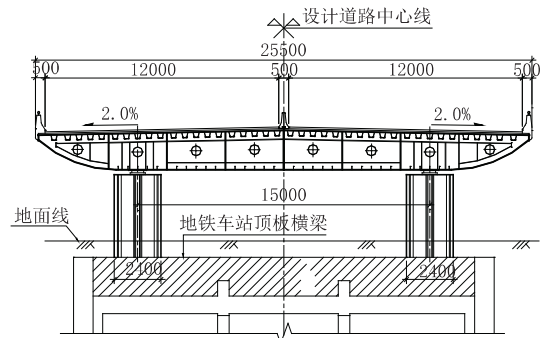


图 4 整幅断面布置图

表 1 横断面方案综合比较

比较项	分幅断面	整幅断面
交通功能	满足要求	满足要求
加减速车道路段路幅	60 m	51 m
西进口渠化路段路幅	65.75 ~ 75.25 m	58.75 m
东进口渠化路段路幅	76.75 m	58.75 ~ 67.75 m
墩柱形式	独柱 Y 型墩,受力较复杂	双柱墩,受力简单
结构抗倾覆能力	支座间距 3.7 m, 钢梁配重后满足抗倾覆要求	支座间距 15 m, 抗倾覆能力强,整体稳定性好
汽车和风荷载对桥墩影响	影响大, 墩底横向弯矩合计最大值 12 370 kN·m	影响小, 墩底横向弯矩合计最大值 1 740 kN·m
工程量变化	考虑风荷载后桥墩钢筋增加约 14 t, 需增加配重钢筋混凝土 1 115 m ³	分幅断面少一道防撞墙的材料量; 桥墩可减少用混凝土 177 m ³ , 桥墩钢筋量减少约 31 t

两者相差约 7 倍, 整幅断面有利于地铁车站和其他下部结构的受力。采用整幅断面后, 下部结构相应采用双柱墩形式, 钢梁支座间距拉大至 15 m, 上部结构不存在倾覆问题, 整体稳定性更好。

考虑到工程建设尽可能节约用地的方针政策, 以及方案在投资、结构受力等方面的优劣势, 整幅断面的整体稳定性好, 风荷载作用下不会在墩底产生较大的横桥向弯矩, 墩底截面内力小, 不会对已运营的地下车站结构产生不利影响, 因此采用整幅断面的方案。

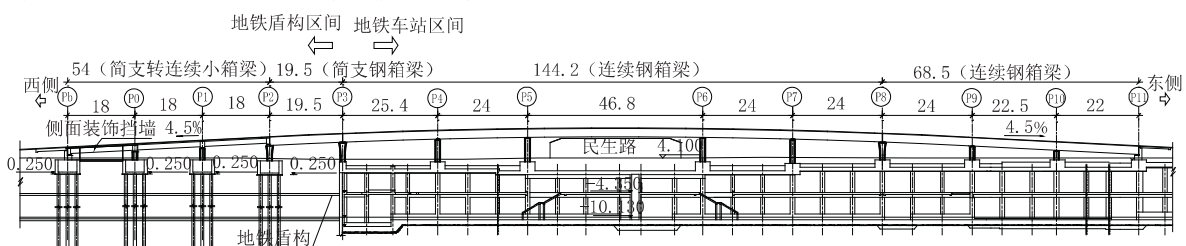


图 2 桥梁立面布置图

3.3 地铁车站区间桥梁结构方案

3.3.1 桥梁上部结构

三联连续梁和一联简支梁上部结构采用结构重量轻、跨越能力大、承载能力强、对基础变形有很好的适应性、施工灵活快速的钢结构箱梁形式。

考虑景观性,截面设计为鱼腹式断面,单箱八室全封闭结构。结构总宽 25.2 m,腹板间距 3 m。为使箱梁外形统一,三联连续梁支座中心线处箱梁梁高均为 1.90 m,箱梁每隔 6 m 设一道厚 12 mm 的大横隔板,大隔板间每隔 2.0 m 设有加强桥面系刚度的小横隔板,小横隔板间设有腹板竖向加劲肋;桥面板为正交异性板结构,顶板厚 16 mm,用 8 mm 厚 U 型肋加劲,间距 560~600 mm;底板采用板型加劲肋,间距 360~375 mm;腹板最小厚 12 mm,采用平钢板进行纵横向加劲,水平加劲肋设置根据计算确定;各箱室内的隔板上均开有人孔。桥面 2% 横坡由箱梁顶板形成,底板水平,腹板铅垂。每一横梁处横桥向设置 2 个支座,支座间距 15 m。

3.3.2 桥梁下部结构

桥墩立柱采用截面尺寸为 2.4 m (宽) × 1.5 m (厚) 的直立柱形式。桥墩、桥台与车站结构结合一起考虑,利用车站结构的顶板横梁作为桥梁墩台的基础。车站结构的顶板横梁和车站站厅、站台内的立柱等组成框架来承受包括立柱以上的桥梁结构的反力。

根据桥梁设计提供的设计资料和计算结果,地铁车站设计对车站结构进行了验算,并根据该工程的特点和验算结果对地铁车站结构做了部分调整和重要节点的加强处理。具体处理思路和措施如下:

(1) 在车站顶板上设转换梁,通过转换梁将跨线桥立柱荷载分配至车站主体框架和两侧连续墙上。

(2) 在车站顶板施工时预留跨线桥 1.5 m 高范围的桥墩立柱,待跨线桥施工时再接长成桥墩立柱。

(3) 为承受跨线桥的荷载,转换横梁两侧一定范围内的连续墙需加强。地下连续墙长度增加 0.5~1.5 m,同时也增加了底板的厚度。

(4) 为防止车站纵向的不均匀变形和沉降,对车站底板下压缩性较大的土层进行高压旋喷加固,并增加底板部分桩基以调整沉降。

3.4 地铁盾构区间桥梁结构方案

3.4.1 桥梁上部结构

为保证该项目投资可控,同时为提高主干路上桥梁结构的耐久性、行车舒适性,经方案比较,盾构

范围内的跨线桥上部结构采用了简支变连续小箱梁结构形式。考虑景观性,对小箱梁连续形式和相应的桥墩结构进行了有盖梁多支撑(见图 5)和无盖梁少支撑(见图 6)2 种结构方案比选。

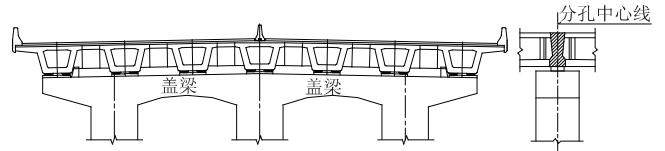


图 5 有盖梁多支撑结构图

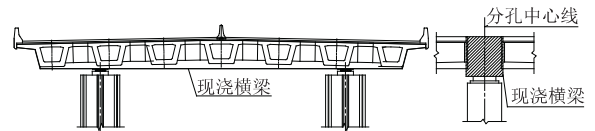


图 6 无盖梁少支撑结构图

有盖梁多支撑结构为常规结构。无盖梁双支撑结构横梁受力较复杂,设计难度稍大,但避免了大体量盖梁结构对整体外形的不利影响,保证了全桥下部结构的一致性,使环境敏感地区、复杂建设条件下的桥梁结构能有较好的整体景观效果,因此选为本工程推荐方案。

连续梁单孔跨径 18 m,每孔横断面上布置 2 片预制小箱梁边梁和 5 片预制小箱梁中梁,各片小箱梁通过现浇钢筋混凝土桥面板横向连接成整体,通过墩顶处的后浇端横梁和中横梁使其纵向连成连续结构。端横梁厚 0.96 m,中横梁厚 1.6 m,边梁顶板宽 3.428 m,悬臂 1 m,中梁顶板宽 2.576 m,底板宽均为 1.5 m。每片小箱梁梁高 1.4 m,每处横梁底设置 2 个支座,支座间距 15 m。小箱梁和横梁按 A 类预应力混凝土构件进行设计,在最不利荷载效应作用下,持久状况下的承载能力、抗裂性能、混凝土压应力、结构刚度,以及短暂状况下的混凝土正应力等,均满足规范^[2]要求。

3.4.2 桥梁下部结构

桥墩立柱外形与车站区间结构保持一致。

盾构区间内西侧引桥部分的桥墩基础,采用 $\phi 800$ mm 的钻孔灌注桩,为减少沉降,满足地铁盾构结构对桥梁的沉降要求,以第⑦2 层粉砂层为桩端持力层,并进行桩底注浆;在桩位布置时考虑了桩与地铁盾构间净距不小于 3 m 的地铁保护要求。

受桩基布置限制,承台采用“王”字形结构,系梁尺寸为 2 800 mm × 4 000 mm。由于承台位于盾构上方并骑跨盾构,使承台结构受力较为复杂,采用钢筋混凝土结构设计计算。考虑到同一墩位处 3 个承台不均匀沉降会对系梁产生不利影响,在承台顶、底缘处各设置通长预应力束,作为承台系梁的抗裂措施,

保证结构的耐久性。承台构造尺寸见图7。

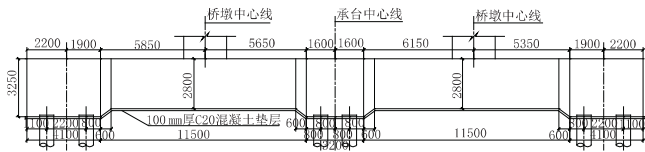


图7 承台构造图

为满足地铁运营单位对结构上方零增荷载的要求,桥头采用EPS路堤处理,避免台后荷载增加和不均匀沉降,保证了主干路的行车舒适性。另外,对侵入辅道的桥梁承台上方路面基层采用连续配筋混凝土结构的特殊设计,避免承台周围路基不均匀沉降。

3.5 抗震设计

在车站已处于运营的条件下,为保证结构能有较好的整体抗震性能,根据不同的抗震设防目标对延性抗震和减隔震抗震进行多方案比较。经过详细的抗震分析,全桥采用了双曲面球钢减隔震支座,通过减隔震设计减小桥梁结构对车站结构的地震作用,以提高站桥合建工程的抗震安全性。

工程抗震设防水准和抗震措施均依据城市桥梁抗震设计规范,采用全桥抗震分析计算模型。桩基采用具有6个自由度的弹簧对其进行模拟,刚度系数由m法确定。与地铁车站相连的墩柱边界条件偏于

保守地采用固结模拟。

工程的抗震设防烈度为7度,地震动峰值加速度A为0.1g,设计地震分组为第1组,场地类型为IV类,场地特征周期 T_g 为0.65s,桥梁结构阻尼比取0.05。在E1地震作用下,桥梁结构尚处于弹性工作阶段,其地震作用响应采用反应谱分析方法计算。在E2地震作用下,支座抗剪销被剪断,其地震作用响应采用时程分析方法计算。经验算,全桥桥墩立柱、支座、桩基在E1、E2地震作用下均满足规范^[3]要求。

4 结语

本工程采用桥梁与地铁地下车站合建形式。虽然工程边界条件不断变化,使跨线桥设计周期长、设计难度较大,但因精心合理的设计方案和技术措施,工程仅用半年时间即建成通车,获得了良好的社会效益。站桥合建设计方案有效节约了建设用地,降低了建设费用,为今后土地资源愈发紧张的类似城市基础设施建设提供了较好的示范案例。

参考文献:

[1] 上海浦东建筑设计研究院有限公司. 杨高路~民生路立交工程可行性研究报告[R].上海:上海浦东建筑设计研究院有限公司, 2007.
 [2] JTG D62—2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
 [3] CJJ 166—2011,城市桥梁抗震设计规范[S].

(上接第44页)

5 结语

连续梁桥是我国预应力混凝土大跨径桥梁的主要桥型之一,其设计和施工也日益引起重视,以使该桥型向更加合理化、精细化的方向发展。本文结合工程实例对长联大跨径连续梁桥进行结构计算,并对最大悬臂状态和全桥合龙阶段的计算结果进行详细分析,分析结论可以为同类型的桥梁提供借鉴。此外,本文对桥梁施工期间的诸多参数进行了敏感性

分析,相应结论有助于同类型桥梁的施工监控和运营维护。

参考文献:

[1] 邵容光. 混凝土弯梁桥[M].北京:人民交通出版社,1994.
 [2] 李惠生. 曲线梁桥结构分析[M].北京:中国铁道出版社,1992.
 [3] 葛耀君. 分段施工桥梁分析与控制[M].北京:人民交通出版社, 2003.
 [4] 张继尧. 悬臂现浇预应力混凝土连续梁桥[M].北京:人民交通出版社,2004.