

复杂地下空间环境下城市桥梁基础设计研究

全家欢

(西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710064)

摘要: 城市道路地下分布着各种基础设施及建筑结构,这些构筑物形成了复杂的城市地下空间环境。作为重要的基础设施,城市桥梁基础也参与地下空间环境中。桥梁基础设计及施工均会受到地下临近构筑物的影响。结合西安凤城八路-太华路立交工程,探讨了桥梁基础避让地铁、排水干管等地下构筑物时采取特殊的结构设计和地基处理措施,采用预应力异形承台设计、旋喷桩地基加固设计和设置永久桩基钢护筒等措施。经研究分析,以上措施能够很好地解决桥梁下部基础设计难题,不仅节约工程造价,还具有一定的创新性,项目建成后运营良好,取得较好的社会效益和经济效益。

关键词: 地下空间;地铁;市政主干管;预应力承台;旋喷桩

中图分类号: U445.55

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)08-0089-04

0 引言

城市地下空间是一个宏大的概念范畴,它包含了城市交通设施(地铁、隧道)、地下商业设施、地下车库、地下综合管线、人防工程、地下仓储、高层地下建筑空间及地下军事工程等八个领域。城市地下空间的开发利用应符合近、远期的规划的要求。地下构筑物排布虽错综复杂、层出不穷,但其布置在城市规划层面均考虑了空间的合理划分,对于地铁、市政管线等(见图1)一些大型的基础设施工程,其规划设计线位往往综合考虑了各方面控制因素,并经过多番论证其合理性。这些地下构筑物如已批复实施,将长期服务于城市功能,其空间位置基本上很难改变。



图1 城市地下空间构筑物示例

在城市的基础设施建设过程中,不仅是地下空间的开发,地面立体交通也在不断的完善,桥梁作为一个主要的载体,在城市立交、高架道路及跨越障碍

物的结构中发挥重要的作用。桥梁的设计线位具有固定和灵活两面型,固定主要指它服从于道路线位,这个线位可以是规划道路线位,也可以像立交这样大型的立体交通设施总体方案布置;灵活体现在立交工程受征地、地面构筑物及地下空间构造物的影响,必要时道路线位会因这些边界因素的限制而做相应的调整。

桥梁基础埋置在地下,受地下既有或规划构筑物的影响^[1],基础设计会呈现出各种灵活的布置方式,这些处理方式取决于地下构筑的特性。对于地铁、隧道、市政干管或者军事类构筑物,均属于无法迁改工程,桥梁基础方案只能遵循避让原则,若基础无法避让,桥梁或选择大跨度结构,或指向桥梁整体线位的调整;而对于小的市政支管等可以改迁的构筑物,如桥梁基础无法避让,则需要考虑管线改迁方案。以上为城市桥梁和地下构筑空间交叉时最基本的基础设计思路,此外还需结合经济因素,以什么样的代价来获得最优的设计方案是一个值得深入研究的问题。

1 城市桥梁下部结构类型及布置方式

城市桥梁基础主要分为扩展基础、箱型基础、桩基础、沉井基础等^[4]。其中,最常用、最主要的是桩基础,桩基直常用约1~2 m。桩基础工艺成熟,施工方便,对地下扰动较小,具有较高的承载能力,适用于各类型桥梁。对于城市桥梁中,跨越河流、铁路、公路等构筑物,由于构筑物本身用地要求,当桥墩无法正常

收稿日期: 204-02-22

作者简介: 全家欢(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

设置在相应的位置时,桥梁一般采用较大跨径,结构形式多采用刚构、拱桥或斜拉桥等造价昂贵的大跨径桥型,该类桥梁桩基础多为大直径群桩基础,桩位的选择由跨径决定,也能够较好的避让既有地下构筑物。对于立交桥、高架桥,桥梁结构形式以梁桥为主,多数为 30 m 左右中小跨径,桥梁上部结构一般采用预应力混凝土现浇(或预制)梁、钢箱梁和钢混组合梁形式,下部结构多采用盖梁+柱式墩+承台+钻孔灌注桩基础。梁式桥单墩下桩基一般为 2~6 根,根据地质条件和跨径而不同,桩径常用 1.2~1.8 m,桩间距约 2.5 倍桩径,采用矩形承台,承台顶面覆土约 0.5~1.0 m。

桥梁基础设计前需获得地下空间基本资料,资料应包含用地范围内既有地下构筑物或管线的种类、平面位置、走向、高程(或埋深)、规格(形状及尺寸)、性质、材质等,同时还应获取规划管线或地下构筑物的相关设计资料。根据以上资料,来制定桥梁基础设计方案,如遇到管线较少,无干管或地铁等重要构筑物的地下空间环境,则对设计的边界约束较小;如遇复杂地下空间环境,则需精细测量,空间借位,逐个基础单独考虑,最终呈现出灵活、多变、复杂、不一的地下基础形态(见图 2)。

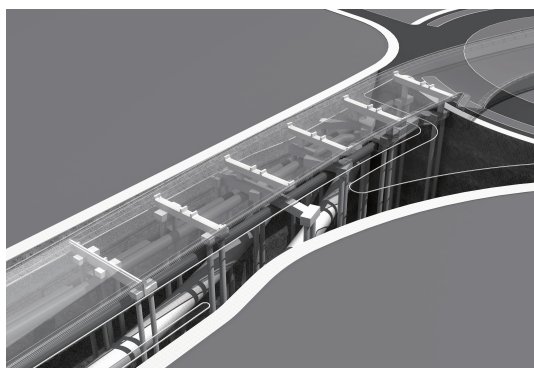


图2 西安凤城八路-太华路立交桥桥梁基础示例

2 工程概况

西安市凤城八路-太华路立交型式为三层部分苜蓿叶互通式立交(见图 3),其中第一层为地面环岛及地面辅路,太华路主线为南北向,位于第二层,道路全长约 866.7 m,凤城八路主线为东西向,位于第三层,道路全长约 1 113.5 m,立交总占地面积约为 17.33 hm²。桥梁跨径以 30 m 为主,上部结构采用预应力混凝土梁和钢箱梁,下部桥墩采用柱式墩,柱顶设盖梁,柱底设承台与下部桩基础连接。

根据对立交地下空间环境的调查,最为复杂的是太华路主线道路,目前地下主要构筑物为西安地



图3 凤城八路-太华路立交实景鸟瞰照

铁四号线区间隧道、3.8 m×2.4 m 雨水箱涵、D2 200 污水管和 D2 400 mm 双排雨水管,见图 4。其中 D2 200 是第五污水处理厂的主干管,沿太华路自南向北穿过,服务西安市东北地区;D2 400 mm 双排雨水管为西安市北二环雨水的出路干管,汇入 3.8 m×2.4 m 雨水箱涵并向东排往灞河。地铁四号线走向由太华路自南向北,经凤城八路后循西而行。

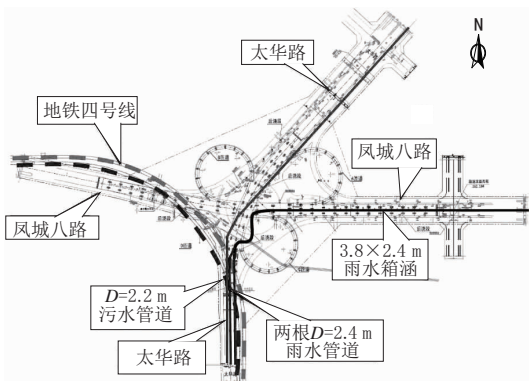


图4 凤城八路-太华路立交地下构筑物分布示意图

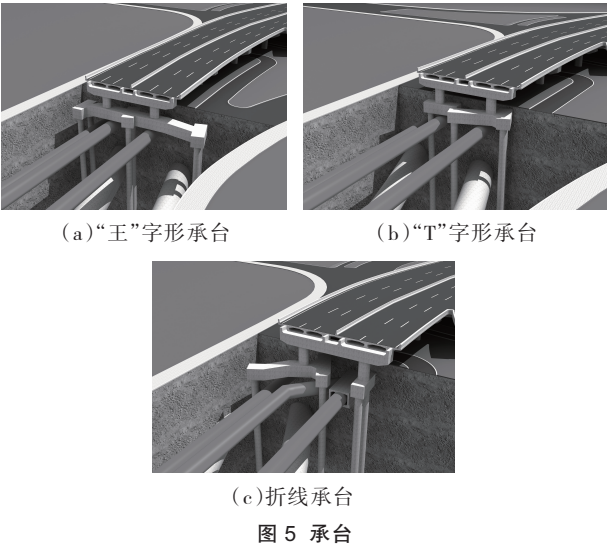
3 复杂地空环境下桥梁基础特殊设计

3.1 跨越地铁及管线的预应力异型承台设计

经研究分析,雨、污水主干管调整难度和代价极高,无法迁改,地铁隧道无调整可能,故桥梁下部结构设计时考虑同时避让地铁及管线,并满足桩基与构筑物之间的安全距离要求,即桩基距离地铁隧道净距不小于 3 m,距离地下管线净距不小于 0.5 m。

桥梁在基础设计时综合考虑各方面边界条件,结合工程实际情况及结构受力合理原则,多个桩基承台采用了异形布置形式,主要分为“王”(见图 5(a))、“T”(见图 5(b))和“折线 T”字形三种类型,其中太华路主线 3# 墩承台跨越距离为 15.5 m,承台计算跨径大;2# 墩承台为了避免露出地面辅路,立面采用 T 形承台折线布置,见图 5(c)。以上结构布置形式具有较高的创新性。以上布置形式均加大了结构设计难度。

采用桩基承台结构跨越地下构筑物,承台的计算跨径加大,承台作为桥墩和基础之间承上启下的



构件,正常情况下,桩间距为 2.5~3 倍的桩径,承台厚度大于 1.5 倍桩径,承台受力模式为“拉杆-压杆”体系^[4],构造设计下承台基本都可以满足强度要求。而承台拉长后,将变为深梁或者一般梁受力模式,承台不仅承受来自桥墩和桩基的冲切、剪切力,也承受巨大的弯矩效应,因此,异形承台设计时采用预应力混凝土结构,预应力工艺较复杂,预应力分两个阶段张拉,第一阶段是混凝土达到张拉强度要求后,第二阶段是在主梁架设完毕后,究其原因,主要是因为预应力效应等效于反向荷载作用与结构上,其施加的大下取决于当下结构承受的荷载大小,需通过精确计算确定。

预应力异形承台设计,不仅很好地解决管线、地铁与桩基平面冲突问题,而且相比于管线迁改和地铁调整,大幅节约工程投资,取得较好的经济效益。

3.2 桥梁桩基毗邻地铁时地基加固设计

桥梁基础毗邻地下重要构筑物时,会对地下构筑物产生一定的影响是在所难免的,工程师要做的就是将这种影响降到最低,毕竟桥梁和地下工程结构服役期均很长,地铁都是百年工程,降低这种影响才能避免在施工过程中产生一些工程问题。从设计和施工角度才说就是保证足够的安全距离。但是这种安全距离往往又是相对的,在紧簇城市地下空间布局中,给的安全距离是有限的,这样就需要采取一些必要的设计措施和施工措施。

桥梁桩基对地铁隧道可能造成的不利影响主要包括以下两个方面。

一是桩基施工成孔时对隧道与桩基之间土体扰动,可能会加大隧道衬砌的围岩压力,对地铁结构不利。

二是运营阶段桩基可能沉降对隧道与桩基之间土体的扰动。当桥梁发生沉降时,桩基侧阻力会带动周边土体一起下移,紧邻地铁隧道会收到周围土体向下的的扰动。

针对以上问题,在桩基设计中采取以下工程措施。

(1)桩基成孔要求采用对土体扰动较小的旋挖钻机械成孔。

(2)旋挖钻机就位灵活,对孔精确,垂直度高,具有较高的施工精度,且成孔效率高,对土层扰动较小^[2]。

(3)地铁段桩基采用永久性钢护筒进行防护。

地铁隧道与桩基之间的土体防护采用永久性钢护筒,护筒下置深度不小于隧道结构底 3m。由于钢护筒的约束作用,可以有效的防止塌孔,同时可以有效的降低施工期间由于桩基施工对隧道与桥梁桩基之间土体的扰动,保护地铁隧道在桩基施工期间的安全。

三、对地铁隧道与桩基之间的地基土采用旋喷桩土体预加固技术。

除了以上桩基施工过程中采取保护措施外,为了尽量减小桩基施工对地铁结构的影响,设计采用旋喷桩对桩基础和地铁隧道结构之间地基土进行预加固。旋喷桩技术主要做法为钻机将旋喷注浆管及喷头钻置于桩底设计高程,利用高压装置使水泥浆液从注浆管喷嘴中高速喷射出来,形成具有强大动能的且集中的液体,直接破坏钻孔周围土体,在喷浆过程中,钻杆一边旋转一边提升,使浆液与土体充分搅拌混合,在土中形成一定直径的柱状固结体,从而使地基得到加固^[3],旋喷桩施工流程见图 6。

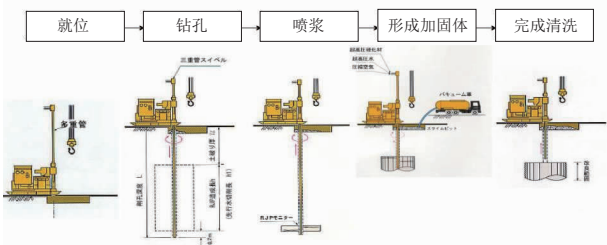


图 6 旋喷桩施工工艺图

本工程设计时在桩基与地铁隧道之间,采用单排旋喷桩对土体进行加固(见图 7),旋喷桩桩径 60 cm;加固范围,超出桩基承台外各 2 m,加固深度 25 m。

此外,避让地铁部分桩基,为提高桩基承载力,减少桩长,采用了桩底后压浆技术^[3],既满足承载力要求,又降低工程造价,取得较好的经济效益。

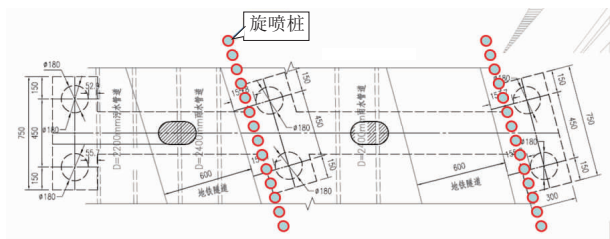


图7 旋喷桩加固平面布置图(单位:cm)

4 结 语

城市建设用地有限,面临征地拆迁的制约,一个立交项目从功能性、经济性和社会效应等各方面经过多番比较论证,而后能落地实属不易。城市桥梁作为城市立体交通的重要组成部分,对改善区域交通,促进城市发展发挥着巨大的作用。不同于公路、铁路桥梁,城市桥梁最大的特点就是受复杂的地下空间构筑物影响,增加了设计和施工的难度。设计师能够

应对难点并提出合理且经济的基础处理方案是保证立交整体方案顺利落地的一个必要条件。本文以实际立交工程为例,研究了城市桥梁基础在和地铁、干管等重要地下构筑物空间交叉时,桥梁桩基无法常规设置,而采取一些特殊的基础设计措施。这些措施能够有效的解决基础设计面临的难题,节约工程成本,保证了整个项目的落地,取得了较好的社会和经济效益,可以在其它工程中推广应有。

参考文献:

- [1] 卫超.武汉市光谷大道南延线与地铁及燃气管道相关区段桥梁总体设计[J].城市道桥与防洪,2019(12):40-42.
- [2] 陈发文,王孝生,白海珠,等.受限条件下的桥梁桩基及承台施工技术[J].建筑施工,2022,44(12):2872-2874,2878.
- [3] 化建新.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [4] JTG 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].

(上接第 77 页)

- [3] 杨正东,郭大成,张文学.斜拉桥塔梁固结区预应力束张拉对横梁应力影响研究.公路,2020,65(4):98-104.
- [4] 程晓毛.新洋港斜拉桥钢桁梁合龙精度敏感性分析[J].铁道建筑,2019,59(9):32-35.
- [5] 卫少阳,张朝晖,严超群,等.塔梁固结体系矮塔斜拉桥墩身结构优化研究[J].工程技术研究,2019,4(16):176-177.
- [6] 李春宏.超宽幅单索面混合梁斜拉桥塔梁固结处受力仿真分析[J].

- 公路, 2019, 64(7):169-173.
- [7] 丁晓峰, 刘流, 曲汉波. 超宽混凝土主梁斜拉桥空间受力分析[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2018, 16(3):49-53.
- [8] 武志军. 塔梁固结体系斜拉桥下横梁预加力效应研究[J]. 世界桥梁, 2008(1):50-52, 60.
- [9] 刘凯舟, 吴文清, 姚伟发. 塔梁固结斜拉桥横梁预应力缺陷研究[J]. 山西建筑, 2008(4):16-17.