

武汉长江公铁隧道武昌岸设计方案

李 鹏 干学军

(湖北省城建设计院股份有限公司轨道交通分院, 430051, 武汉//第一作者, 高级工程师)

摘 要 简述了武汉长江公铁隧道武昌岸疏解工程及其与地铁 5 号、7 号线的关系。结合工程场地条件和地质条件, 阐述了公路隧道同地铁车站及区间的空间关系, 以及两者之间结构的处理方式。提出了武汉长江公铁隧道在公路隧道超厚覆土段及地铁盾构区间近接公路隧道段的设计要点, 解决了公路隧道同地铁车站及区间合建等技术问题。

关键词 武汉长江公铁隧道; 武昌岸; 设计方案

中图分类号 U459.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.10.011

阳路敷设, 在武昌岸沿秦园路敷设。其地理位置如图 1 所示。

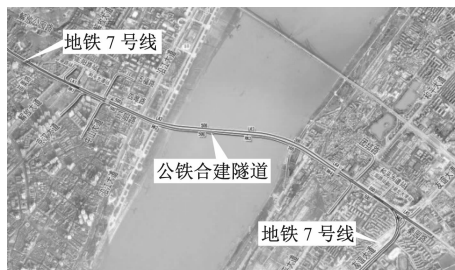
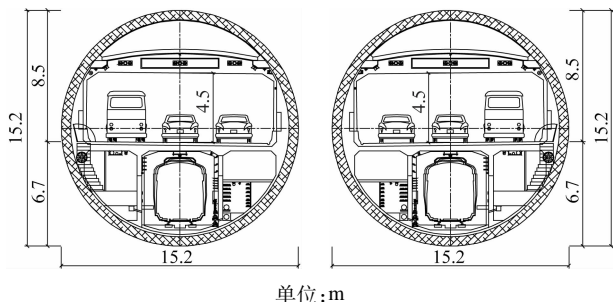


图 1 武汉长江公铁隧道地理位置图

Fig. 1 Map of geological location of Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan

武汉长江公铁隧道采用双向 6 车道公铁合建双管盾构隧道穿越长江, 其越江段隧道横断面布置如图 2 所示^[1]。



单位: m

图 2 武汉长江公铁隧道越江段横断面布置图

Fig. 2 Cross-section layout of Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan

武汉长江公铁隧道从汉口岸的三阳路站出发, 穿越长江后到达武昌岸, 通过武昌风井(工作井)后, 公路隧道与地铁隧道竖向分离, 为 7 号线徐家棚站的设置提供条件; 在武昌岸通过徐家棚站后, 公路隧道与地铁隧道在平面上完全分离。武汉长江公铁隧道纵断面如图 3 所示^[2]。

武汉长江公铁隧道在武昌岸形成三级交通疏解(见图 4): 通过武昌风井后, 主线双向 6 车道隧道沿秦园路下方爬升, 在团结路、和平大道分别设置

Wuchang Bank Design Scheme of Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan

LI Peng, GAN Xuejun

Abstract The relationship between Wuchang bank relief project of Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan and Metro Line 5 and Line 7 is briefly introduced. Considering the engineering site and geological conditions, the spatial relationship between the rail-cum-road tunnel and metro station and interval, as well as the treatment of the structure between tunnel and metro are expounded. The key design points of Wuhan Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in the tunnel extra deep overburden soil layer section, and in metro shield structure interval adjacent to tunnel section are put forward, in order to solve technical problems in joint construction of the tunnel with metro stations and intervals.

Key words Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan; Wuchang bank; design scheme

Author's address Rail Transit Branch of Hubei Urban Construction Design Institute Co., Ltd., 430051, Wuhan, China

1 工程概况

武汉长江公铁隧道距离其下游的长江二桥 1.3 km, 距离其上游的武汉长江隧道 1.9 km。该隧道被规划定位为城市道路与武汉轨道交通 7 号线(以下简为“7 号线”)共用的越江隧道, 在汉口岸沿三

进口 E、出口 F 匝道,形成第一级交通疏解;经过一级交通疏解,主线由双向 6 车道调整为双向 4 车道,下穿和平大道及沿和平大道敷设的规划 5 号线后,继续向南前行至 7 号线徐家棚站,上穿徐家棚站后在友谊大道设置进口 G、出口 H 匝道,形成第二级交通疏解;主线下穿友谊大道后爬坡出地面,形成第三级交通疏解。

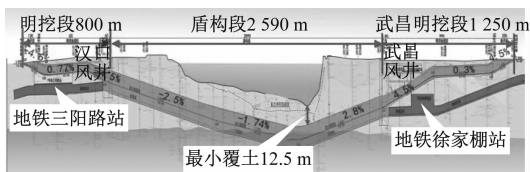


图 3 武汉长江公铁隧道纵断面示意图

Fig. 3 Diagram of longitudinal section of Rail-cum-Road Yangtze River Cross Tunnel in Wuhan

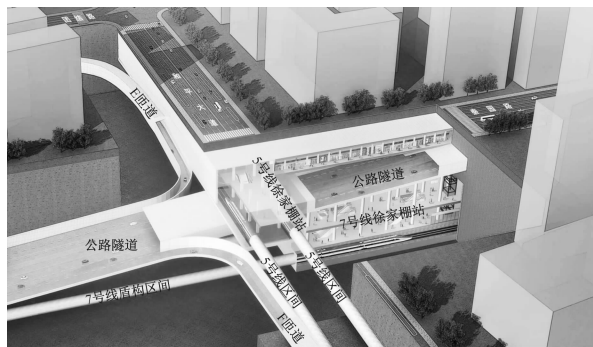


图 4 公路隧道武昌岸交通疏解示意

Fig. 4 Diagram of Wuchang bank traffic evacuation of the rail-cum-road tunnel

地铁线路在毗邻武昌滨江商务区处设置徐家棚站,该车站为线网规划 5、7、8 号线 3 线换乘车站。其中,5 号线沿和平大道走行,7 号线沿秦园路通道过江,8 号线沿团结路通道过江。公路隧道与地铁 5、7、8 号线徐家棚站位置关系如图 5 所示^[3]。

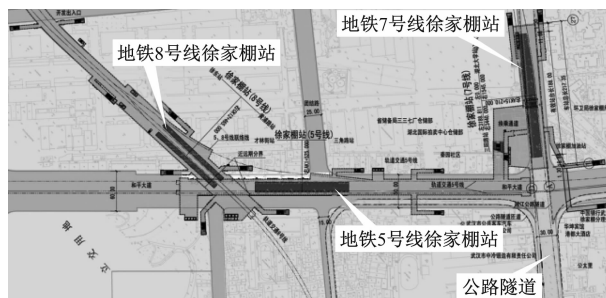


图 5 地铁 5、7、8 号线 3 线换乘总平面图

Fig. 5 General plan of three-line transfer station for Line 5, Line 7 and Line 8

2 工程地质及水文地质

2.1 工程地质

工程场地地貌单元为河流堆积平原,属长江 I 级阶地。场地表层为松散人工填土层(Q^m),局部分布淤泥质土,厚 2~4 m;上部为第四系全新统冲积相(Q_{al}^4)软-可塑状态黏性土,软-流塑淤泥质粉质黏土、粉砂、粉土、粉质黏土互层,厚 13~15 m;中部为稍密-中密粉细砂、中密-密实状态细砂,约厚 40 m;下伏基岩为白垩-下第三系东湖群(K-E)泥质粉砂岩、砂砾岩。

2.2 水文地质

工程场地地下水分为上层滞水、孔隙承压水及基岩裂隙水。孔隙承压水主要赋存于砂性土中,上覆黏性土及下伏基岩为相对隔水层。含水层约厚 40 m,主要接受侧向地下水补给,与长江水力联系密切,呈互补关系,且水量丰富。

3 公路隧道与地铁隧道叠交段设计要点

3.1 公路隧道与 7 号线隧道平行叠交段设计要点

3.1.1 公路隧道与 7 号线区间平行叠交段设计要点

公路隧道主线里程 LK4 + 119.001—LK4 + 287.985 段为公路隧道与 7 号线区间隧道平行叠交段。公路隧道结构总宽度为 24.077~52.854 m,底板顶部埋深为 17.718~28.419 m;其正下方地铁区间隧道顶部埋深为 26.615~30.263 m,盾构管片外径为 6.2 m。公路隧道与地铁区间隧道在竖向逐渐分离,公路隧道明挖主体结构与地铁盾构隧道的竖向净距:左线由 0.809 m 逐渐增大至 7.129 m,右线由 0.874 m 逐渐增大至 7.133 m。公路隧道左、右线中心线与地铁盾构隧道左、右线中心线基本重合。根据施工筹划,公路隧道先行施工完成后,地铁盾构区间从武昌工作井始发掘进,在徐家棚站调头,最终在武昌工作井接收。该工程设计与施工过程中存在以下技术难点:

1) 受武汉长江公铁隧道纵断面线形约束,盾构机出武昌工作井后公路隧道底板顶埋深最大值为 28.419 m,为超厚覆土。

2) 受线位限制及盾构始发空间要求约束,明挖矩形隧道底板尺寸不能设置过大。

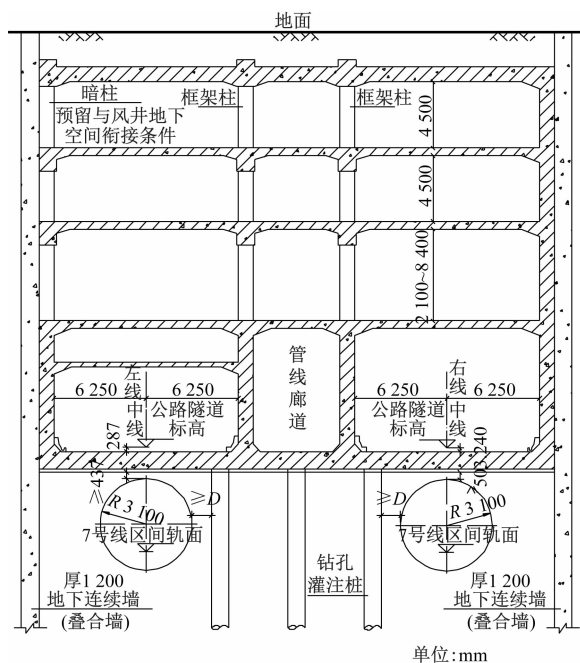
3) 地铁区间盾构始发时,隧道轨面距明挖公路隧道路面最小值为 7.102 m,且两者之间为超薄夹土。公路隧道先行施工完成后,地铁盾构始发引起

的地层位移对明挖隧道结构的安全影响较大。

4) 公路隧道基坑开挖宽度为 24.077 ~ 52.854 m, 开挖深度为 19.119 ~ 29.820 m, 属超深基坑; 且周边建(构)筑物及地下管线密集, 开挖风险大, 地表变形控制及环境保护要求高。

针对上述工程难点, 采取以下应对措施:

1) 超厚覆土段明挖隧道设置架空层, 以控制底板结构厚度。隧道结构上方设置 3 层架空层, 其中, 地下一、二层净高为 4.5 m; 地下三层净高随下方公路隧道纵坡变化, 由 8.4 m 过渡至 2.1 m。地下一、二层采用梁-柱框架结构, 并且预留架空层与远期周边地块地下开发空间衔接条件。其中, 框架边柱外侧设置临时封堵墙, 并在远期周边地块地下空间与架空层衔接时将其拆除; 沿隧道纵向地下一层结构空间与 5、7 号线徐家棚站站厅层连通。将底板结构厚度控制在 1.20 m, 公路隧道与盾构隧道竖向最小净距为 0.637 m, 满足盾构始发空间要求。设置架空层后的公路隧道横断面如图 6 所示。



注: D 为桩径; R 为曲线半径。

图 6 超厚覆土段明挖隧道架空层示意图

Fig. 6 Diagram of open-excavated tunnel open floor in extra deep overburden soil layer section

2) 超深基坑围护结构设计。超厚覆土段基坑最大深度达 30 m, 为超深基坑。该段处于长江 I 级阶地, 砂土层埋藏相对较浅, 厚度达 40 m; 赋存于该层中的承压水水量丰富, 与长江水力联系紧密。根

据武汉市深基坑施工经验^[4], 基坑围护结构采用厚 1.2 m 地连墙落底方案: 地连墙长 55.0 m, 伸入 15b-1 弱胶结砾岩的深度不小于 1.5 m, 以隔断基坑内、外地下水力联系; 同时设置疏干降水井和降压降水井进行降水, 并设置一定数量的坑外观测井, 兼作应急降压降水井; 采用工字钢接头作为地连墙接头, 地连墙接缝外侧设置 2 根 $\phi 1\,000\text{ mm} @ 6\,000\text{ mm}$ “双高压”三管旋喷桩, 旋喷桩伸至基坑底部下方 10 m。

3) 地铁盾构始发掘进时对公路隧道的影晌控制。地铁盾构隧道底部与公路隧道底板结构的竖向净距: 左线为 0.637 ~ 7.695 m, 右线为 0.703 ~ 7.747 m, 属“超近接”施工。综合类似工程经验^[5-6]及计算分析结果, 在公路隧道中隔墙下方底板的底部布置钻孔灌注桩(支撑兼抗拔桩), 在横向共布置 3 根, 纵向间距为 6 m; 考虑后续地铁盾构掘进引起的桩侧摩擦阻力损失, 计算公路隧道桩基承载力时, 桩侧摩阻力须进行折减取值, 折减系数为 0.5。围护结构采用地连墙和主体侧墙构成的“叠合墙”结构, 两墙合一, 以增加围护结构的整体刚度, 充分发挥地连墙的抗浮作用。为尽可能减小下方盾构掘进对已建公路隧道结构的影响, 盾构始发掘进前对公路隧道底板下方土体进行预加固(见图 7); 并在其底板下部预埋注浆管, 在盾构下穿后进行补充注浆(见图 8)。

3.1.2 公路隧道与 7 号线车站平行叠交段设计要点

主线里程为 LK4 + 326.485—LK4 + 543.882 段公路隧道与 7 号线徐家棚站合建, 公路路面以 4.5% 的坡度沿车站纵向爬升。为充分利用建筑空间, 起始里程段公路隧道上方设置物业开发层, 车站与 5、8 号线通道换乘。武汉长江公铁隧道主体结构为地下 4 层现浇钢筋混凝土框架结构^[7]。该隧道纵段面如图 9 所示, 在其中心里程处基坑深 38.36 m。采用盖挖逆作法施工^[8], 围护结构采用厚 1.5 m 地连墙和主体侧墙构成的“叠合墙”结构, 主体结构梁-板系统作为围护结构的水平支撑, 主体结构永久柱兼作水平支撑的临时支承柱, 柱基础采用钻孔灌注桩。

3.2 公路隧道与 5 号线盾构隧道垂直叠交段设计要点

3.2.1 主体结构方案比选

公路隧道主线从武昌工作井出发后, 沿秦园路

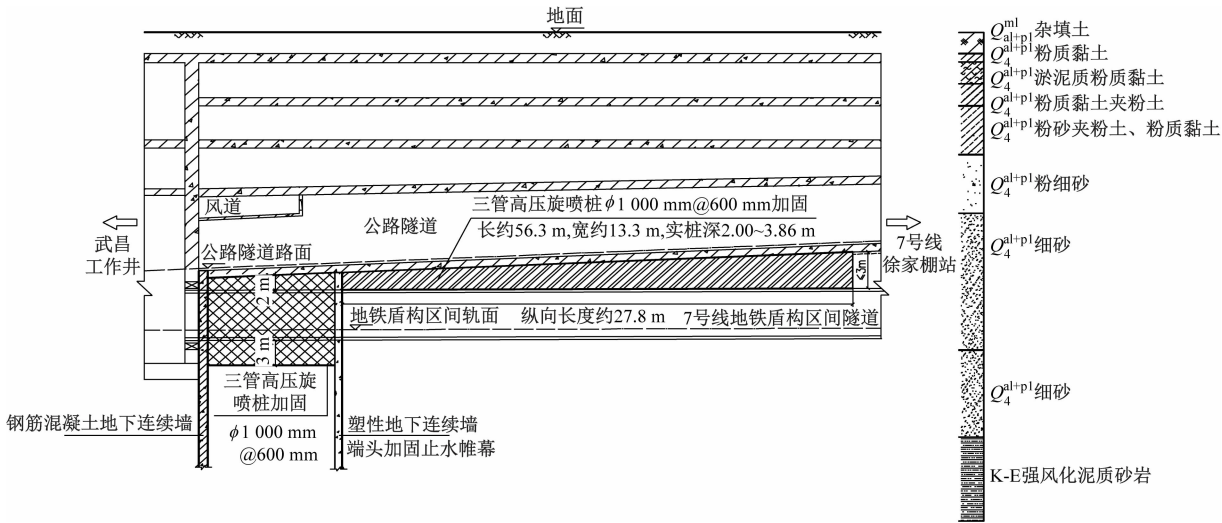


图 7 公路隧道底板下方土层预加固

Fig. 7 Pre-reinforcement of the soil layer under the bottom plate of rail-cum-road tunnel

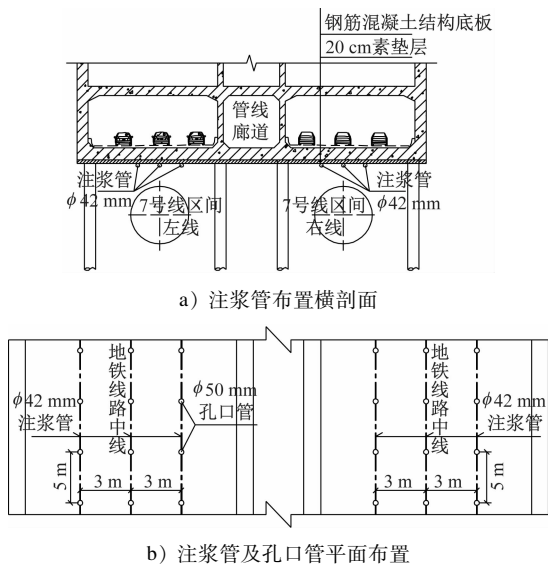


图 8 公路隧道底板下部预埋注浆管

Fig. 8 Embedded grouting pipe under the bottom plate of rail-cum-road tunnel

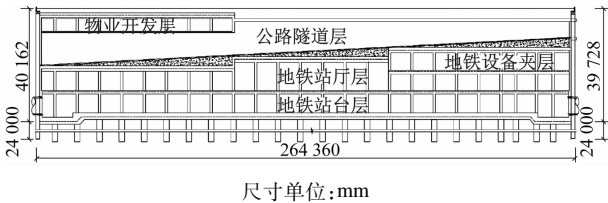


图 9 徐家棚站主体结构纵断面图

Fig. 9 Vertical section view of Xujiapeng Station main body structure

继续向南穿越前行,在 LK4 + 287. 985—LK4 + 319. 285 段秦园路与和平大道交叉路口远期规划有 5 号线徐家棚站。该车站设置为地下二层,采用矩

形框架结构,埋深较浅,在公路隧道竣工通车后实施。根据公路隧道与 5 号线的线位关系,两者结构设置形式有以下 3 种方案可供选择:

1) 方案 1:地铁车站与公路隧道共板合建(见图 10)。规划 5 号线与公路隧道交叉节点处设置地下二层徐家棚站。地铁车站提前与公路隧道同步实施,形成地下三层结构。其中,地下一、二层分别为车站站厅、站台层,地下三层为公路隧道,均采用明挖法施工。车站与公路隧道共板合建可避免二次开挖,但合建后车站顶板覆土仅厚 1.3 m,无法满足市政管线的埋设要求。

2) 方案 2:地铁盾构区间上跨公路隧道(见图 11)。远期 5 号线在公路隧道上方以盾构隧道区间穿越。由于公路隧道采用明挖法先行施工,基坑深度约 22.5 m,需采用地连墙围护结构。为满足地铁盾构穿越围护结构,盾构穿越区域地连墙采用 C15 混凝土及玻璃纤维筋。后期盾构机推进时可直接切割纤维筋混凝土,但基坑开挖时存在安全隐患,且盾构穿越地连墙时存在刀盘磨损严重甚至无法切削地连墙的隐患。

3) 方案 3:地铁区间隧道与公路隧道共板合建(见图 12)。5 号线徐家棚站—杨园站区间部分节点提前与公路隧道同步实施,地铁区间隧道与公路隧道合建形成地下 3 层结构。其中,地下一层为过街通道;地下二层为 5 号线轨行区,地下三层为公路隧道,采用明挖法施工。本方案可避免二次开挖,且区间顶板覆土达到 3.3 m,可满足各类市政管线埋设要求。

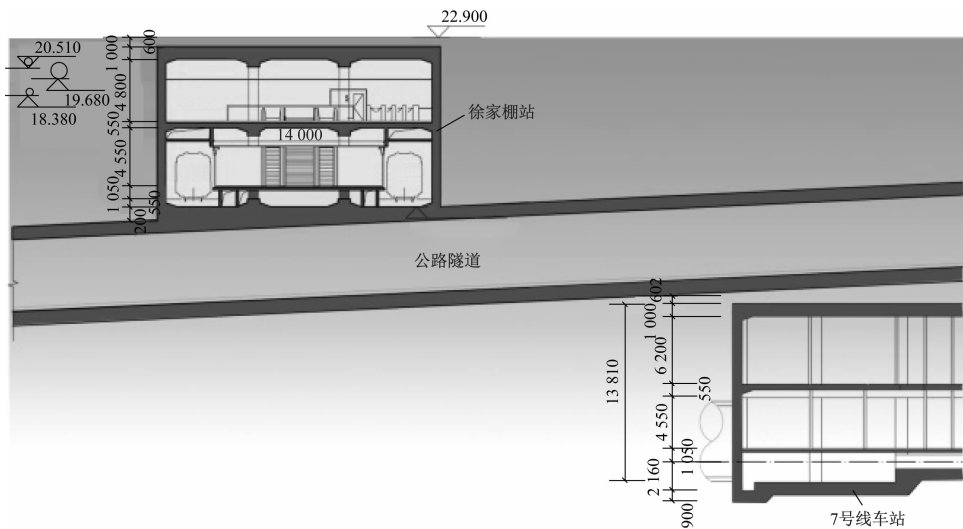


图 10 5 号线徐家棚站与公路隧道共板合建

Fig. 10 Common plate joint construction of Line 5 Xujiapeng Station and the rail-cum-road tunnel

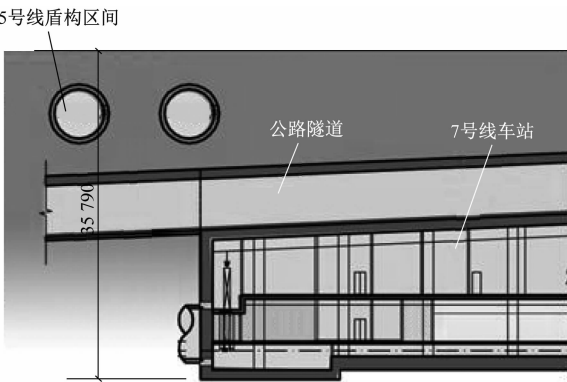


图 11 5 号线盾构隧道上跨公路隧道

Fig. 11 Line 5 shield tunnel over-passing the rail-cum-road tunnel

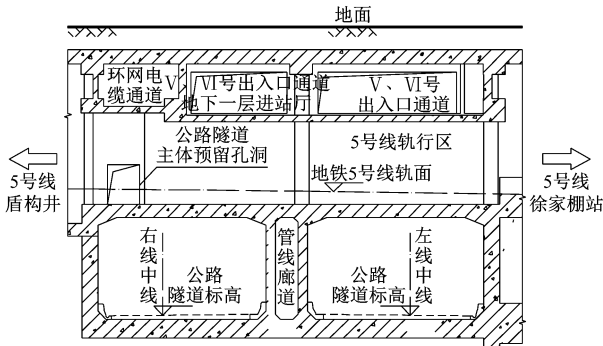


图 12 5 号线明挖区间与公路隧道共板合建

Fig. 12 Common plate joint construction of Line 5 open excavation interval and the rail-cum-road tunnel

综上所述,从施工难度、施工风险及市政管线敷设等因素综合比较,该工程采用方案 3,即明挖区

间与公路隧道共板合建。

3.2.2 基坑围护结构设计

本段基坑围护结构采用厚 1.2 m 地连墙方案。同时考虑到本段公路隧道下穿和平大道路口,为维持明挖基坑开挖时和平大道交通及地下市政管线敷设现状,在横跨和平大道路口段采用顶板盖挖逆作法施工。基坑围护结构横断面及主体结构防水关键节点做法如图 13 所示。

4 结语

1) 城市公路隧道与地铁隧道在越江段合建时,两岸接线工程由于道路与地铁的线位条件及技术要求的不同,存在较多叠交节点。叠交节点处采用结构合建技术,可有效减小主体结构尺寸及基坑规模,从而避免近接施工,降低施工风险。

2) 受越江段线位的约束,两岸工作井后续明挖段埋深较大,可考虑结合周边地块地下空间开发,合理设置架空层并预留衔接条件,以充分利用地下空间。

3) 采用围护结构和主体结构相结合的叠合墙支护方案,结合钻孔灌注桩的设置,形成门架式支撑体系,尽可能减小公路隧道明挖施工完成后,其下方地铁区间盾构近接掘进时对公路隧道结构的影响。

4) 深基坑采用落底式止水帷幕,合理选择地连墙墙缝接头形式,以及在接缝处采用高压旋喷桩止水防渗等措施,成功治理了地下水,有效控制了施工风险。

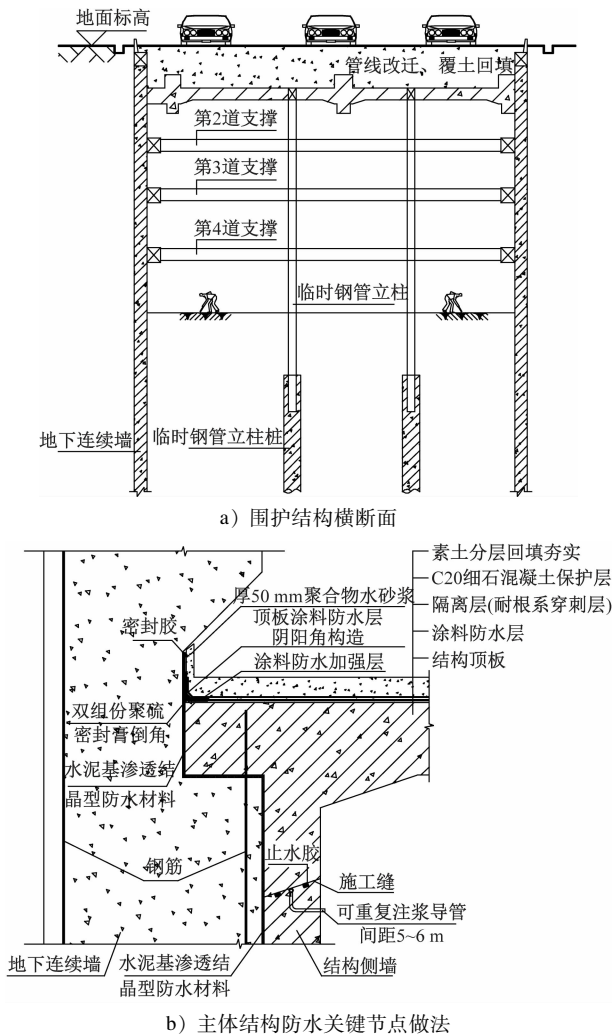


图 13 横跨和平大道路口段围护结构横断面及主体结构防水关键节点做法

Fig. 13 Construction practice of the enclosure structure stretching across Heping Avenue cross-section and the main body structure waterproof key node

参考文献

- [1] 肖明清,凌汉东,孙文昊. 武汉三阳路公铁合建长江隧道总体设计关键技术研究[J]. 现代隧道技术,2014(4):161.
XIAO Mingqing, LING Handong, SUN Wenhao. Key techniques for the overall design of the Rail-and-Road Combined Yangtze River Tunnel on Sanyang Road in Wuhan [J]. Modern Tunnelling Technology, 2014(4):161.

- [2] 中铁第四勘察设计院集团有限公司,湖北省城建设计院股份有限公司. 武汉市轨道交通 7 号线一期工程三阳路越江隧道武昌岸施工图设计[Z]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司,2016.
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Hubei Urban Construction Design Institute Co., Ltd. Construction drawing design of Wuchang Bank of Sanyang Road Cross-river Tunnel of Wuhan Rail Transit Line 7 phase I project[Z]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 2016.
- [3] 魏重丽. 武汉地铁徐家棚站设计方案研究[J]. 铁道工程学报, 2012(6):109.
WEI Chongli. Research on design plan for Xujiapeng transfer station of Wuhan Metro[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012(6):109.
- [4] 湖北省住房和城乡建设厅. 基坑工程技术规程: DB 42/T 159—2012[S]. 武汉: 湖北省住房和城乡建设厅,2012.
Hubei Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development. Technical specification for excavation engineering: DB 42/T 159—2012[S]. Wuhan: Hubei Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development, 2012.
- [5] 龚晓南,伍程杰,俞峰,等. 既有地下室增层开挖引起的桩基侧摩阻力损失分析[J]. 岩土工程学报,2013(11):1957.
GONG Xiaonan, WU Chengjie, YU Feng, et al. Shaft resistance loss of piles due to excavation beneath existing basements[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013(11):1957.
- [6] 赵晓龙. 地铁盾构影响下桥梁下部结构设计[J]. 国防交通工程与技术,2015(3):10.
ZHAO Xiaolong. On the design of the substructure of a bridge under the influence of the subway shield[J]. Traffic Engineering & Technology for National Defense, 2015(3):10.
- [7] 欧阳冬. 武汉地铁徐家棚站“公铁合建”结构方案研究[J]. 铁道工程学报,2014(8):84.
OUYANG Dong. Research on structure plan of the combined construction of highway and subway for Xujiapeng Station of Wuhan Metro[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(8):84.
- [8] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 武汉地铁七号线徐家棚站施工方法研究报告[R]. 武汉: 中铁第四勘察设计院集团有限公司,2013.
China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. Wuhan Metro Line 7 Xujiapeng Station construction method research report [R]. Wuhan: China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 2013.

(收稿日期:2021-04-13)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com