

明挖法过河隧道的深基坑支护方案选型与分析

张朝朋

[西安世园投资(集团)有限公司, 陕西 西安 710024]

摘要: 城市内市政道路隧道工程大多采用明挖法的设计与实施方案。以西安一下穿灞河隧道基坑支护设计方案为例进行全面比选,对穿河明挖隧道分期实施方案、深厚淤泥层深基坑支护设计、施工工法的选择进行详细介绍。最后结合后期实施效果总结经验,为后期类似项目提供参考。

关键词: 明挖法;深基坑;淤泥;围护体系

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)04-0134-04

1 工程概况

西安浐灞生态区锦堤六路(欧亚四路)灞河隧道工程,西起灞河西岸的广运潭大道,东至灞河东岸的香槐六路,主线设计总长度约2.9 km。自西向东依次下穿兴泰北路、灞河西路、灞河、灞河东路、华文路后上跨世博大道和香槐六路。兴泰北路至华文路段为下穿隧道,长度为1 458 m。其中过灞河段设置了紧急逃生通道和综合管廊,长度为660 m。总平面图如图1所示。

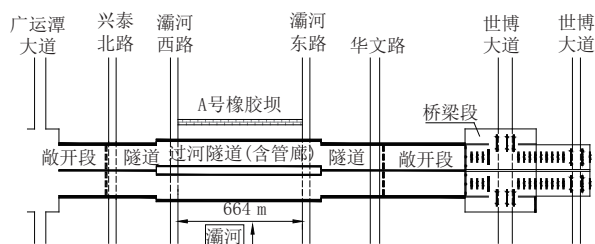


图1 项目总平面示意图

根据本项目特点、灞河水文资料和通航现状等,各方对常规的隧道施工工艺如盾构法、明挖法、沉管法等进行比选后,确定本工程采用明挖法的实施方案。其中,灞河段通过设置土石围堰进行导流的方式分两期进行施工。

隧道结构采用现浇钢筋混凝土箱型结构,隧道普通段净宽26.5 m,基坑开挖宽度约30 m;过河管廊段净宽30 m,基坑开挖宽度约34 m。隧道内净高6.5 m,灞河河道段结构顶部覆土厚度约3 m,考虑顶板、底板厚度,基坑开挖深度约13 m。

2 周边环境和工程地质条件

2.1 周边环境条件

河道段基坑下游80 m处有一橡胶坝,基坑开挖边线距离橡胶坝基础大于3倍基坑开挖深度,围护结构施工和土方开挖等对橡胶坝的影响较小。

2.2 场地工程地质及水文地质

河道段基坑开挖范围内的地层自上至下主要包括:

(1)淤泥②₁。深灰色,饱和,呈泥流态,以粉质黏土为主,结构松散。该层层厚1.70~3.90 m。

(2)淤泥②₂。深灰色,饱和,呈软塑~流塑状态,以粉质黏土为主,土质不均,结构松散,局部含砂粒。该层层厚0.30~5.60 m,层底深度为4.30~11.50 m。

(3)粗砾砂⑤。灰黄~灰褐色,饱和,密实,主要为粗砂、砾砂。实测标贯锤击数20~40击。夹卵石⑤₁杂色,密实,饱和,一般粒径3~5 cm,最大10 cm,亚圆形,中等风化。该层最大厚度3.6 m。圆砾⑤₂杂色,密实,饱和,一般粒径1~3 cm,亚圆形,中等风化。该层最大厚度4.6 m。粉质黏土⑤₃浅灰色,硬塑,饱和。该层层厚4.70~19.30 m,层底深度为15.20~27.60 m。

(4)粉质黏土⑥。黄褐色~灰褐色,硬塑,饱和。该层层厚3.00~16.20 m,层底深度为28.80~33.50 m。

(5)中细砂⑦。浅灰色,饱和,密实。最大揭露厚度11.20 m,最大钻探深度40.00 m。

(6)粉质黏土⑧。灰褐色,可塑,饱和。含少量钙质结核、铁锰质斑点^[1]。

本项目勘察地层的三轴固结不排水剪(CU)试验成果和无侧限抗压强度试验结果统计见表1,对②₂层(泥炭质土)进行了固结系数测试。根据测试结果统

收稿日期: 2021-07-06

作者简介: 张朝朋(1973—),男,硕士,高级工程师,从事建设管理和技术管理工作。

计结合工程经验,其固结系数与推荐值见表 2。

表 1 无侧限抗压强度试验结果统计

地层	指标	统计频数	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数	标准值
② ₂ 泥炭质土	无侧限抗压强度 q_u/kPa	6	14.2	5.8	8.6	2.69	0.31	7.1
	灵敏度	6	4.5	3.1	3.7	0.45	0.12	3.4

表 2 固结系数试验成果统计与建议值

土层	室内试验固结系数($\times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$)			建议值 ($\times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$)
	试验压力	范围值	平均值	
② ₂ 泥炭质土	$P=60 \text{ kPa}$	6.94 ~ 29.8	18.37	6.9
	$P=100 \text{ kPa}$	3.16 ~ 52.3	17.39	5.8
	$P=150 \text{ kPa}$	3.74 ~ 5.41	4.58	4.5

该场地地下水类型主要为第四系冲积和冲洪积地层中的潜水和承压水。潜水含水层为粗砾砂⑤层及粉质黏土④层及其夹层。粉质黏土⑥层为相对隔水层,但其中的砂夹层透镜体含水,中细砂⑦层在整个场地中分布连续,为含水层。受上部相对隔水层(粉质黏土⑥层)影响,该层水具有承压特性,属承压水,承压水水头标高可按 368.30 m 考虑。

3 基坑支护方案选型

3.1 本工程河道段基坑特点

- (1) 基坑呈长条形,断面大,基坑深度较深。
- (2) 周边环境条件相对简单,无重要建(构)筑物。
- (3) 工程地质条件复杂。
 - a. 灞河河床区域分布有较厚的淤泥质土,力学性质极差。
 - b. 隧道基坑开挖深度影响范围内主分布有粗砾砂层,该层为中密~密实状态,混圆砾、卵石颗粒。
 - c. 地下水位丰富且埋深较浅,基坑开挖深度范围内分布有卵石层及中粗砂层,透水性强。

3.2 基坑支护体系比选

支护结构设计不仅关系到基坑开挖和周边环境的安全,还直接影响土方开挖和地下结构的施工成本。结合本项目主体结构和场地特点,确定本次围护方案选型考虑重点如下:

- (1) 结合本地成熟经验的支护形式,优先考虑支护结构体系的稳定性、可行性和适宜性。
- (2) 控制基坑开挖和地下结构施工期间对周边环境的影响。
- (3) 方便施工,工期短。
- (4) 尽量节约工程造价。

结合大量类似工程经验,对此类深基坑工程,可采用的围护体系主要包括钻孔灌注桩+止水帷幕、地下连续墙、SMW 工法、咬合桩等板式支护。

3.2.1 钻孔灌注桩+止水帷幕

- 钻孔灌注桩+止水帷幕有如下特点:
- (1) 刚度较大,且可根据基坑深度、工程地质条件和周边环境条件选用不同桩径以满足变形控制要求。
 - (2) 成桩工艺成熟,质量易保证。
 - (3) 整体强度、稳定性可靠。
 - (4) 受周边环境限制,围护体占地宽度较大,约 2.0 m。
 - (5) 对场地要求高,需要有钢筋加工场地及泥浆处理设备。
 - (6) 工程投资相对较少。
 - (7) 止水帷幕可结合地层条件灵活选用水泥搅拌桩、等厚水泥土搅拌墙或高压旋喷桩等。
 - (8) 市场成桩设备种类较多、数量多,可根据地层特点选用适用的机械,并可大面积分段同步施工,节约工期。

现场情况见图 2。



图 2 钻孔灌注桩支护

3.2.2 地下连续墙

- 地下连续墙有如下特点:
- (1) 地连墙既可挡土又可止水。
 - (2) 常规地连墙厚度为 800 mm 及 1 000 mm,侧向抗弯刚度大,有利于变形控制。
 - (3) 成墙工艺成熟,质量易保证。
 - (4) 整体强度、稳定性可靠。
 - (5) 围护体占地宽度较小,仅为墙厚。
 - (6) 地连墙可作为地下结构外墙使用,“两墙合一”。
 - (7) 对地墙接缝位置增加高压旋喷桩止水。
 - (8) 对场地要求高,需要硬化路面、钢筋加工场地及泥浆处理设备。
 - (9) 工程投资相对较高。

3.2.3 SMW 工法

SMW 工法为三轴深搅桩插入型钢组成的既可挡

土又止水的一种支护形式。其特点有:

- (1)施工速度较快。
- (2)需要占用的空间较小,尤其适用于施工空间狭小的区段。
- (3)本身具有止水作用,不需另设止水帷幕。
- (4)造价受施工工期影响。
- (5)刚度一般,变形相对较大,对周边环境影响相对较大。
- (6)内插型钢可进行回收重复利用,节省造价。
- (7)在密实砂层、卵石层或较硬黏土层成桩难度较大,需采取引孔措施,工效较低。同时,卵石层插入型钢难度大。

现场情况见图3。



图3 常规SMW工法

3.2.4 咬合桩

咬合桩是在桩与桩之间形成相互咬合排列的一种基坑围护结构。桩的排列方式为一条不配筋,并采用超缓凝素混凝土桩(A桩)和一条钢筋混凝土桩(B桩)(采用全套管钻机施工)间隔布置。咬合桩具有如下特点:

- (1)既可挡土,又可防水。
- (2)围护结构占用的空间较小。
- (3)同钻孔灌注桩,刚度较大,且可根据基坑深度、工程地质条件和周边环境条件选用不同桩径以满足变形控制要求。
- (4)工程所在地成桩设备较少,需引进,对工期不利。

现场情况见图4。

3.3 基坑支护设计总体方案

考虑基坑周边环境条件相对较好,对基坑变形控制要求不高。因此,围护结构可采用刚度相对较小的钻孔灌注桩、工法桩等,并可根据基坑深度灵活选用桩径,在保证安全的同时降低工程造价。

本区域地下水相对丰富,水位较高,基坑开挖深度范围内广泛分布有中粗砂及卵石层,透水性较强,



图4 钻孔咬合桩工法

需采取合理的降、止水措施以满足基坑开挖要求。目前常用的止水帷幕主要包括水泥土搅拌桩和高压旋喷桩,以及地下连续墙、咬合桩(挡土加止水)等。其中,止水效果相对较好的水泥土搅拌桩在本地区成桩难度大、工效较低,地连墙及咬合桩造价相对较高。因此,本工程止水帷幕考虑采用高压旋喷桩^[2]。

综上分析,在满足基坑安全和周边环境要求的条件下,推荐本基坑周边围护体采用钻孔灌注桩+高压旋喷桩止水帷幕的设计方案,坑外增加水位观测井兼作备用降水井。

4 基坑支护设计

4.1 整体施工工况

本工程穿越的灞河水流量较大,无法全断面截流,因此采用设置土石围堰、分期实施的整体施工顺序。河道内隧道明挖基坑按照图5至图8所示工况进行实施。

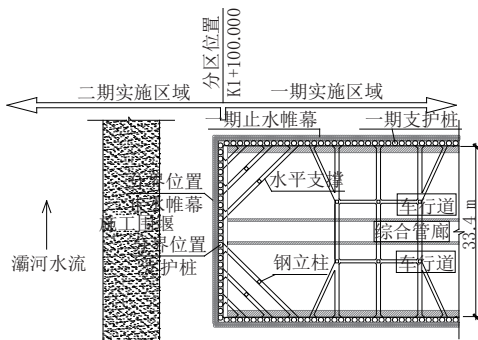


图5 工况一(一期基坑支护施工、土方开挖及隧道主体结构施工)

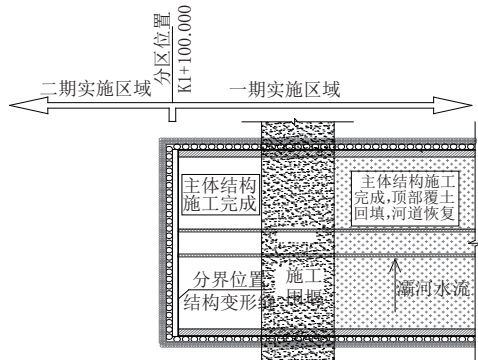


图6 工况二(拆除一期围堰并修筑二期围堰)

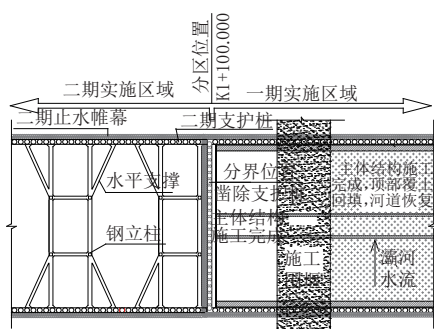


图7 工况三(二期围护结构施工、凿除分界位置支护桩)

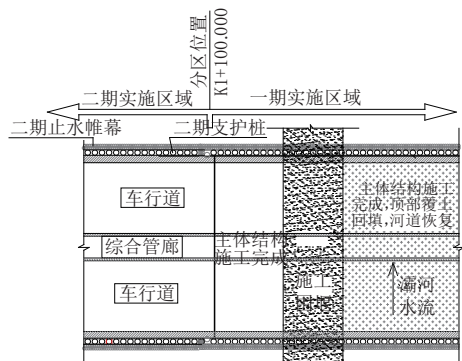


图8 工况四(二期主体结构施工、拆除围堰、恢复河道)

4.2 基坑支护设计

4.2.1 设计内容

依据上述分析,结合具体地层并按照规范计算后,河道区域采用的设计方案为 $\phi 1\,000@1\,300$ 钻孔灌注桩+双排 $\phi 600$ 高压旋喷桩止水帷幕+两道水平支撑。灌注桩嵌固深度为 $6.5\sim 6.9\text{ m}$,满足稳定性计算要求^[3]。止水帷幕进入基底以下 6.5 m ,隔断第⑤砾砂层,进入相对隔水层(粉质黏土层)。基坑竖向设置两道水平支撑,均按照对撑的平面布置形式;考虑浅层淤泥层较厚,为保证安全,同时加快施工速度并降低工程造价,采用了钢筋混凝土支撑与钢支撑组合的形式。具体支护形式详见图9至图11。

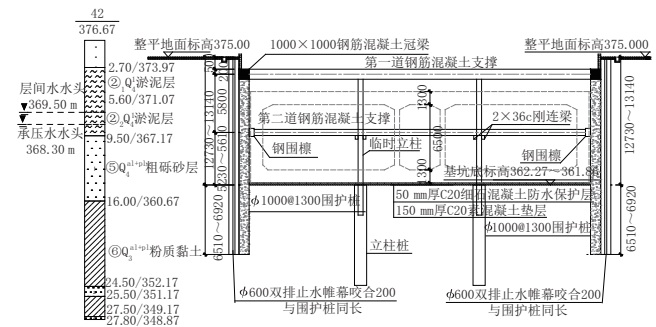


图9 基坑支护剖面图

4.2.2 计算结果

依据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012),对围护结构采用增量法进行变形和内力计算^[4]。其中,黏性土采用直剪快剪指标、水土合算,粉土及砂性土采用固结快剪指标水土分算,参数详见表3,围护结



图10 河道内基坑支护剖面图

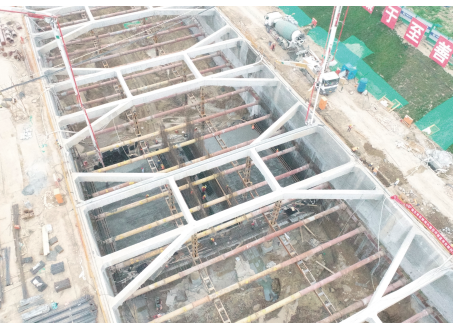


图11 河道内基坑支护俯视图

构桩身水平变形最大值为 25 mm 。

表3 各土层抗剪强度指标(建议值)

层号	直剪(固结快剪)		直剪(快剪)	
	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
② ₂	—	—	5	3
④	32	23.5	30	18
⑤	0	36	0	30
⑥	34	21	32	15

本工程开挖面以下为硬塑状黏性土,抗剪强度高,基坑抗倾覆($K=1.6$)及坑底抗隆起($K=2.5$)计算均能满足规范要求。

5 监测数据

依据信息化施工的原则,本工程在基坑开挖过程中对围护结构的水平变形(桩身测斜)进行监测。通过监测数据(见图12)可知,围护结构水平变形相对较小,基坑开挖至基底标高后的最大水平变形约 20 mm ,满足基坑安全和环境控制要求^[5]。

6 结 语

目前,本基坑工程已按上述方案实施完成,除部分区段因砾砂层中圆砾石较多导致旋喷桩止水效果相对较差外,其他状况良好,整体上能满足土方开挖和主体结构施工。对止水效果较差区段采用了坑外加设降水井或注浆措施,以保证坑内渗漏水可控。

(下转第162页)

(5)应急管理。当发生紧急事件时,大屏在弹出红色预警框,并定位到BIM模型具体位置,可及时查看到紧急事件,填写处理联系负责人和处理意见,实时进行上报处理。

6 结 语

本文的研究可分为两部分:

第一部分研究了多源数据在设计施工阶段BIM模型和运维阶段BIM模型之间的传递方法。该部分对能整合各BIM模型产生的多源数据的向IFC标准数据文件做了深入研究;针对BIM模型数据导出IFC标准数据文件时,数据表达不一致的成因进行了分析;针对多源数据的筛选原则和校验方法进行了探讨。最终得出了构建运维管理平台时合理的数据传递策略。

第二部分探讨了运维管理平台的总体构架和需要具备的功能模块。平台需要充分利用BIM可视化的技术,强化信息技术与桥梁养护需求的深度融合,在基于BIM技术的沪通长江大桥建养管理平台上,开发可视、可解析、可辅助养护决策的大跨桥梁养护模块,实现BIM技术在桥梁全寿命周期的应用,围绕提升大跨桥梁状况的监控评估技术水平的需求,构建既有桥梁信息仿真模型,实现桥梁监测结果可视化呈现。

参考文献:

- [1] 陈国佳.BIM技术在公路工程中的应用研究[J].建筑知识,2017,19(6):14.
- [2] 陈广军,张慧君,吕冰冰.BIM技术在项目运维阶段的应用研究[J].中州大学学报,2016,33(4):120-124.
- [3] 施晨欢,王凯,李嘉军.基于BIM的FM运维管理平台研究——申都大厦运维管理平台应用实践[J].土木工程信息技术,2014(6):50-57.
- [4] 王廷魁,赵一洁,张睿奕.基于BIM与RFID的建筑设备运行维护管理系统研究[J].建筑经济,2013,373(11):113-116.
- [5] 洪磊.BIM技术在桥梁工程中的应用研究[D].成都:西南交通大学,2009.
- [6] 李红学,郭红领,高岩,等.基于BIM的桥梁工程设计与施工优化研究[J].工程管理学报,2012,26(6):48-52.
- [7] H.M.Shin,H.M.Lee,S.J.Oh,etc.Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge Column Based on BIM [J].Procedia Engineering,2011(14):2160-2163.
- [8] K. M. Lee,Y. B. Lee,C.S. Shim,etc.Bridge information models for construction of a concrete box-girder bridge [J].Structure and Infrastructure Engineering,2012(8):687-703.
- [9] Dang N S,Shim C S.BIM authoring for an image-based bridge maintenance system of existing cable-supported bridges[J].IOP Conference Series Earth and Environmental Science,2018,143(1):012032.
- [10] 杨玲玲.BIM技术在铁路基础设施智能运维中的应用及前景分析[J].现代城市轨道交通,2021,33(4):96-102.
- [11] 陈国佳.一种用于路桥建筑物检测的应变片安装装置:中国,CN202021193672.6[P].2021-05-25.

(上接第137页)

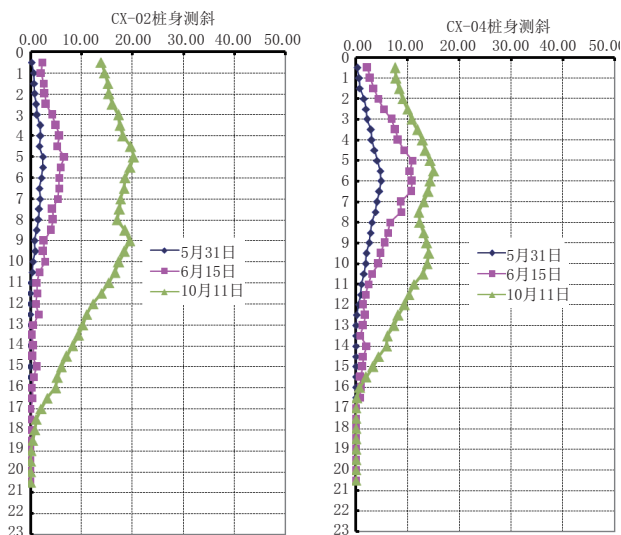


图12 典型桩身测斜曲线

由此可见,类似地层下的深基坑工程的止水、降水设计方案和施工工法是项目成败的关键因素,前期方案阶段在进行全方位的比选后,建议有条件的地区进行原位试验以确保设计方案合理可行。

参考文献:

- [1] 岩土工程勘察报告书[R].西安:机械工业勘察设计院有限公司,2020.
- [2] 刘国彬,王卫东.基坑工程手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 杨光华.深基坑支护结构的实用计算方法及其应用[M].北京:地质出版社,2004.
- [4] 李广信.高等土力学[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [5] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].