

杭海城际铁路某车站基坑临近天桥结构段 设计及施工关键技术分析

牛要闯

(中铁隧道局集团有限公司市政工程公司, 浙江 杭州 310000)

摘 要: 随着城市地铁建设的快速发展, 越来越多的车站基坑距离既有建(构)筑物非常近, 不仅其施工条件受到限制, 而且基坑开挖也会对临近建筑物产生不利影响。如果技术保护措施不当, 严重者甚至会威胁到建筑物的安全。本文基于某下穿天桥结构的地铁站基坑工程, 通过一系列设计、施工关键技术措施, 有效的控制了上部天桥结构变形量, 顺利完成了基坑及车站主体的结构施工。本工程的成功实施可为今后类似项目的设计、施工提供经验参考。

关键词: 地铁车站; 基坑施工; 既有建筑; 技术保护; 低净空施工

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096 - 7195(2019)02 - 0076 - 06

作者简介: 牛要闯(1983 -), 男, 河南濮阳人, 工程师, 现从事地下工程施工和管理工作的。E-mail: 281384080@qq.com。

The design and construction key technologies for a metro station pit near an overbridge in the construction of HANGHAI intercity railway

NIU Yao-chuang

(China Railway Tunnel Group Co., Ltd. Municipal Engineering Company, Hangzhou 310000, China)

Abstract: With the rapid development of urban subway construction, more and more metro stations are built near the existing building. Not only the construction condition is restricted, but also the excavation will be harmful to adjacent buildings. If improper technology protection measures were taken, the existing buildings will be damaged by the construction. In this paper, an example for the protection of the overbridge near a subway station pit is given. By a series of design and construction key technical measures, the deformation of the overbridge was very small during the excavation and the metro station was completed successfully. This project can provide good experience for the design and construction of similar cases in the future.

Key words: subway station; foundation pit construction; existing buildings; technical protection; low clearance construction

0 引 言

随着我国城市化进程的不断加快, 城市交通的压力也与日俱增, 为了改善城市拥挤的交通状况, 作为大交通线网的重要组成部分, 地铁的建设也日益加快^[1]。由于越来越多的地铁站建在客流量大、客运繁忙的中心地段, 往往会与既有建(构)筑物的距离非常近, 这样一方面会造成现场施工条件受到既有建(构)筑物的限制, 同时, 基坑施工也不可避免地会对周边土体产生扰动, 进而影响到既有建(构)筑物的安全^[2-4]。因此, 当地铁车站基坑毗邻既有建(构)筑物时, 必须针对工程的具体情况而采取针对性的设计和施工方案, 以保证基坑施工的顺利进行

以及最大限度减小对周围环境的影响^[5-7]。

本文基于某下穿天桥结构的地铁站基坑工程, 针对上部天桥结构对变形敏感以及基坑施工条件受限等问题, 通过一系列设计、施工关键技术措施, 有效的控制了上部天桥结构变形量, 顺利完成了基坑及车站主体的结构施工。施工监控数据表明, 基坑施工过程中对天桥结构的整体影响安全可控, 本工程的成功实施可为今后类似项目的设计、施工提供经验参考。

1 工程背景

1.1 工程概况

杭海城际铁路某地铁车站为地下两层岛式站台结构, 位于城市主干道正下方, 呈东西走向。车站东端含单渡线, 下穿既有西天桥结构。天桥下净空约 8.68 m(天桥底部至地面), 施工基坑(约 31.2 m 长) 位于西天桥正下方, 项目总平面图及天桥立面图详见图 1 和图 2 所示。



图 1 车站位置总平面图

Figure 1 General plan of station location



图 2 西天桥结构立面图

Figure 2 The elevation of the west overpass structure

基坑正上方南北两侧的天桥主墩桩基采用钢筋混凝土钻孔灌注桩, 桩径 600 mm, 桩长 30 m, 北侧 4 个主墩桩基数量共 26 个, 南侧 4 个主墩桩基数量共 24 个; 天桥主墩靠近车站基坑处的承台高 1.5 m, 承台顶部覆土厚度为 0.5 m。

天桥下车站基坑外边距离西天桥主墩桩基水平距离约为 7.7~8 m, 基坑开挖深度为 16.8 m, 车站主体连续墙深度为 37.5 m, 西天桥车站与基坑位置的相对关系如图 3 和图 4 所示。

1.2 工程地质与水文地质条件

该车站主体所处地层主要为: ④₁ 淤泥质黏土、⑤₃ 粉质黏土、⑥₂ 淤泥质粉质黏土。其中车站基坑开挖范围主要处于以④₁ 淤泥质黏土地层为主的流塑状地层, 该地层平均摩擦角约 10.83°, 平均标贯值仅为 3, 具有流塑状、低强度、高含水量、低渗透性、自稳能力差、易蠕变等特点。车站主体结构地质剖面示意如图 5 所示, 主要地层参数如表 1 所示。

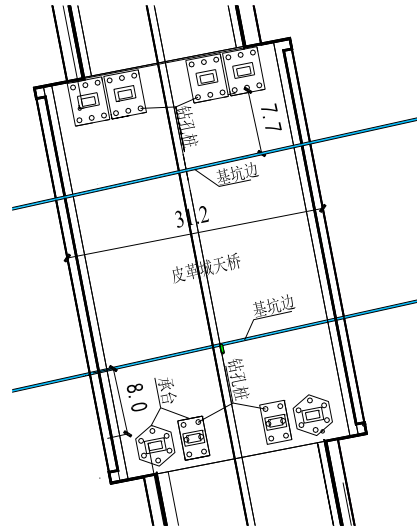


图 3 西天桥与车站基坑位置关系平面图

Figure 3 The position relation between west flyover and station foundation pit

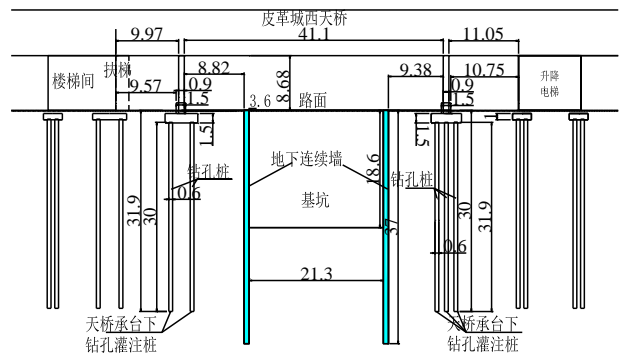


图 4 西天桥与车站基坑位置关系剖面图

Figure 4 Profile of location relationship between West flyover and station foundation pit

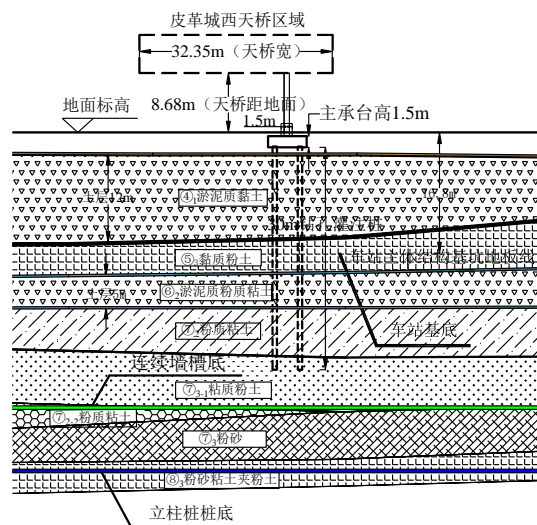


图 5 地质纵剖面示意图

Figure 5 Geological vertical profile sketch

表1 主要地层参数表

Table 1 Major formation parameter tables

地层编号	名称	天然含水量/%	塑性指数	液性指数	标贯值 /击	内摩擦角/°
④ ₁	淤泥质粘土	42.48	18.38	1.11	3	10.83
⑤ ₃	黏质粉土	28.62	8.42	0.96	9	27.90
⑥ ₂	淤泥质粉质黏土	37.56	14.46	1.16	4	11.55
⑦ ₂	粉质黏土	26.59	14.87	0.34	15	8.30
⑦ ₃₋₁	黏质粉土	26.23	9.72	0.70	14	21.34
⑦ ₃	粉砂	22.37	13.80	0.54	26	22.68
⑧ ₃	粉质黏土夹粉土	29.95	15.03	0.58	13	29.76

该工程沿线场地地表水属钱塘江水系, 场地地貌单位为冲湖积平原, 河网密布, 互相连通, 沿线跨越的地表水体主要以小型河流为主。沿线地势较平坦, 测区各河流水力梯度较小, 水流流速缓慢, 加上各河流断面相对较小, 因此, 测区河流的径流量较小, 对河床基本上无冲刷作用, 以淤积为主。本工程主要受潜水影响, 地下水位埋深 1.5~2.5 m, 无承压水。

2 设计与施工技术难点分析

(1) 该项目的工程地质条件对地下工程的设计和施工极为不利, 基坑变形较难控制。而且基坑位于西天桥正下方, 桥墩距离基坑边缘仅为 8 m 左右, 基坑开挖易使天桥产生一定程度的不均匀沉降。由于西天桥主体为外包玻璃幕墙的钢结构, 玻璃幕墙属于脆性物质、不具有延展性, 在主体结构沉降不均匀时极易发生开裂、破碎, 因此对本工程的基坑设计、施工提出了较高的变形控制要求, 加大了设计、施工的难度;

(2) 另一方面, 天桥下净空仅为 8.68 m, 受天桥净空限制, 施工过程中不能采用常规工艺和常规设备进行施工, 而必须采用低净空下的施工工艺和非常规设备施工, 设备工序需进行专项设计; 同时, 低净空施工工效低、作业时间长, 基坑暴露时间长, 地面沉降及结构变形增大, 技术保护措施不当的情况下, 甚至可能造成天桥的失稳倾覆。

基于此, 本项目从设计、施工及过程管理等各个环节采取了针对性的措施, 有效控制了车站基坑开挖对天桥主体结构的影响, 保证了施工期间天桥结构的安全和正常使用, 本项目的相关经验可为类似工程实践提供有益参考。

3 设计方案和采取的技术保护措施

3.1 基坑围护结构设计方案

该项目主体部分外围护结构采用 800 mm 厚工字钢接口型地下连续墙, 连续墙埋深约为 37.5 m, 车站采用明挖顺做法施工。基坑开挖深度约 16.8 m, 设置有一道混凝土支撑和三道钢支撑。第一道混凝土支撑截面尺寸为 800×1000 mm, 第二、三、四道钢支撑为直径 609 mm, 壁厚 16 mm 的钢管。第一道支撑在 3.1 m 处架设, 第二道支撑在 -2.9 m 处架设, 第三道支撑在 -6.9 m 处架设, 第四道支撑在 -9.9 m 处架设。连续墙顶端设置有截面尺寸为 1000×1000 mm 的冠梁, 在冠梁上设置有防水挡墙, 墙高 500 mm, 厚 300 mm。坑底设置有 50 mm 厚防水层, 在防水层正下方设置有 150 mm 厚的 C20 早强素混凝土加固区。基坑采用降水范围不大于 200 m², 直径为 650 mm 的疏干井点降水, 疏干井埋深距坑底 5 m。主体围护结构横断面图详见图 6。

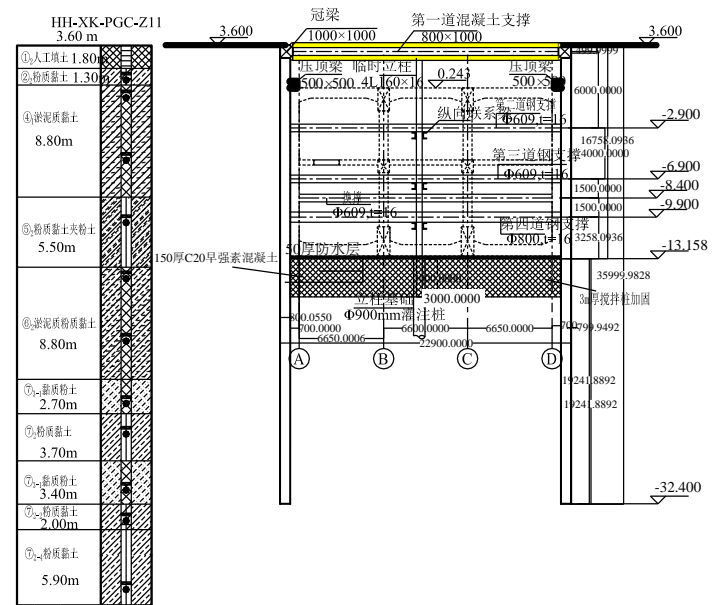


图6 主体围护结构横断面图

Figure 6 Cross-sectional drawing of main enclosure structure

3.2 基坑技术性保护措施

(1) 第三方机构分析评估及安全监控

针对该项目的设计、施工难点问题, 在该基坑的加固设计与施工前, 委托独立第三方专业机构对初步设计方案进行了整体分析评估。评估机构通过有限元分析模拟了基坑围护、支撑和开挖的全过程, 重点分析了不同加固设计方案下周围土体、地连墙、人行天桥桩基础的位移发展规律, 并给出了基坑开挖不利作用下天桥上部结构的变形和内力分布部分评估分析云图, 如图 7、图 8 所示。

技术分析结果表明, 车站基坑施工对天桥结构的影响处于可控范围。一方面基本肯定了初步设计方案的合理性, 同时, 也据此提出了部分变形控制要求和施工建议, 为后续的设计和施工提供了科学的理论支撑。同时, 第三方机构还对施工全过程进行了安全监控, 有效指导了施工的顺利进行。

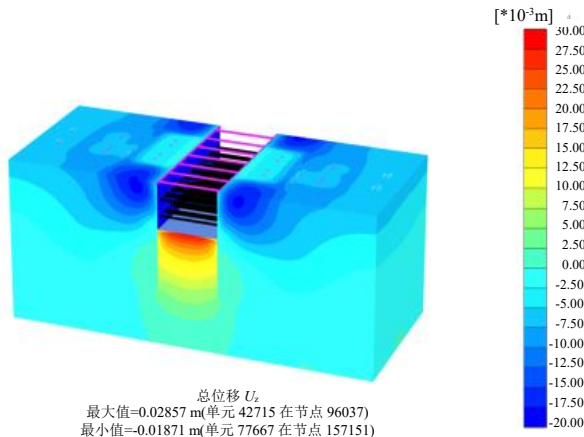


图 7 基坑开挖土体沉降分析云图

Figure 7 Nephogram of soil settlement analysis in foundation pit excavation

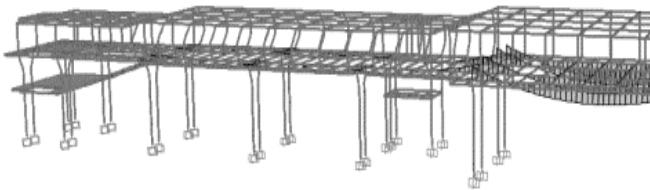


图 8 基坑开挖不利情况下上部天桥变形、内力分析云图

Figure 8 Nephogram of deformation and internal force analysis of upper platform bridge under adverse conditions of foundation pit excavation

(2) 天桥下车站主体基坑加固措施

由于天桥下低净空连续墙施工成槽效率低、成槽时间长, 连续墙所处土体自稳能力差, 极易发生大范围槽壁坍塌, 另一方面, 施工期间受天桥下低净空影响, 基坑土方分层开挖完成后, 不能采用常规吊装设备进行钢支撑架施工, 大大延长基坑暴露时间及支撑架设周期, 基坑安全性难以得到保障。

因此, 该项目采用 $\Phi 800@600$ 二重管高压旋喷桩对车站主体基坑的地下连续墙槽壁、主体基坑坑底和基坑阴阳角先后进行了加固, 选用的高压旋喷桩采用 PO42.5 普通硅酸盐水泥, 水灰比 0.8~1.0, 水泥掺入量不小于 25%, 垂直度偏差不大于 L (桩长)/200, 水泥加固体 28 d 龄期无侧限抗压强度 q_u 不低于 1.0 Mpa, 具体高压旋喷桩参数如表 2 所示, 各区域施工平面布置图如图 9~11 所示。

表 2 高压旋喷桩施工参数

Table 2 Construction parameters of high pressure jet grouting pile

工序	施工部位	加固类型	加固深度范围	水泥掺量/%
1	西天桥下连续墙槽壁加固	$\Phi 800$	地面至基底	25
		@600	下 5 m	
2	西天桥下基坑底加固	$\Phi 800$	坑底至坑底	25
		@600	以下 3 m	
3	基坑阴阳角加固	$\Phi 800$	地面至坑底	25
		@600	以下 3 m	

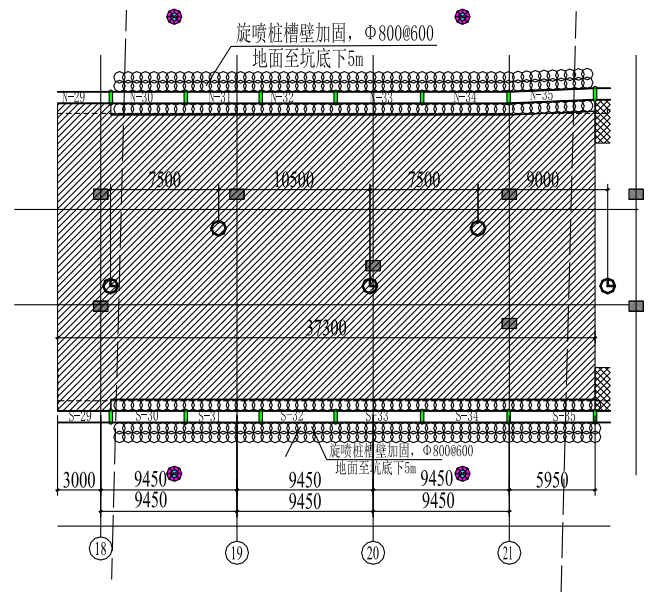


图 9 天桥下槽壁加固平面图

Figure 9 Plane plan for reinforcement of groove wall under overpass

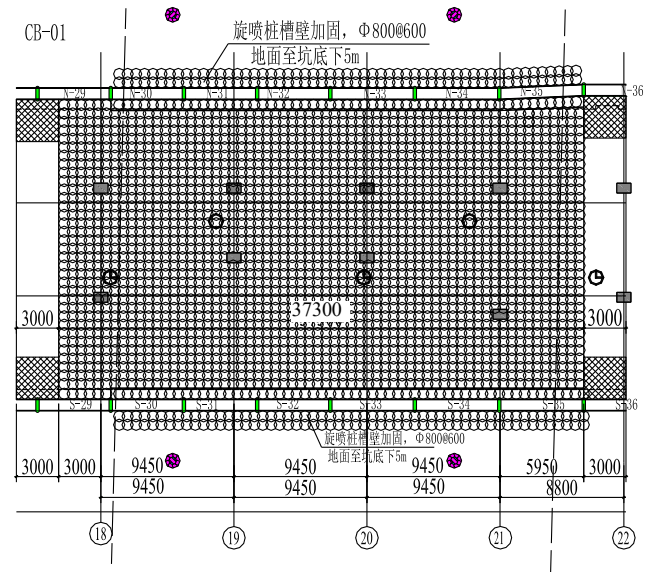


图 10 天桥下基底下加固平面图

Figure 10 Plane plan for reinforcement under foundation of overpass

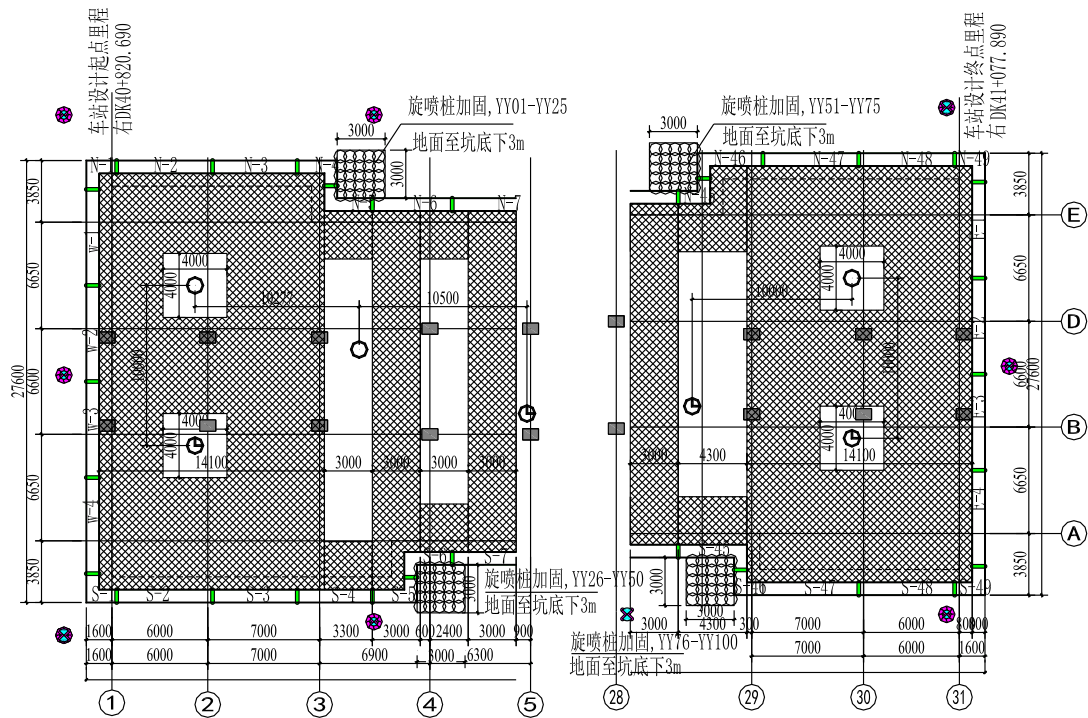


图 11 皮革城站基坑阴阳角加固平面图

Figure 11 Plane plan of yin-yang angle reinforcement of station foundation pit

(3) 天桥主墩承台加固

车站围护结构施工期间,在天桥主墩承台底部旁预埋 1 排 $\Phi 60$ 袖阀式注浆管跟踪注浆,注浆管布置在承台四周,长 4 m,呈 $10^\circ \sim 15^\circ$ 向承台下部打入,间距 0.5 m,梅花形布置,根据施工过程中的监测数据(差异沉降、建筑物倾斜、裂缝)分层、分次注浆,以控制桥桩的变形。浆液配合比水泥浆:水玻璃=1:1(水灰比 W:C=1:1,水玻璃为 20~25 Be),缓凝剂掺量为水泥的 3%,胶凝时间为 2.5~3.5/min。

注浆的原则是少量多次,注浆终止的标准是控制注浆压力在 2.5 MPa 以内,持续注浆 20 min 左右。注浆时用精密水准仪实时监测桥桩的变形情况,当桥桩变形超过警戒值时,立即结束本次注浆。

单孔注浆量按以下公式确定:

$$Q = LR^2\pi u \mu n \quad (1)$$

式中: L 为袖阀管长度, R 为扩散半径, u 为注浆段土层孔隙率(取 40%), μ 为浆液损失率(取 1.25), n 为浆液有效填充率(取 60%)。

4 现场施工工艺

受天桥净空(天桥底部到地面 8.68 m)的限制,施工过程中不能采用常规工艺和常规设备施工,必须采用低净空下的施工工艺和非常规设备施工。本项目通过对钻孔桩、地下连续墙成槽及钢筋吊装等设备进行改造,以适应低净空下钻孔施工、地连墙

成槽以及钢筋吊装等施工工艺,顺利完成了各项施工任务。

其中,天桥下车站主体围护结构采用 800 mm 厚工字钢接口型地下连续墙,连续墙深度为 37 m,基坑开挖深度约 16.8 m。受天桥下低净空影响,共有 12 幅(单侧 6 幅)地下连续墙采用低净空施工工艺进行连续墙成槽及钢筋吊装施工,与常规施工方案的对比如表 3 所示。

另一方面,天桥下基坑开挖阶段中,无法使用长臂挖机(高度 10 m)直接开挖土方,采用普通挖机开挖后再将土方倒运至天桥以外运走;车站主体施工所需的钢支撑等材料均在坑内采用叉车、挖机、人工等方式进行运输,主体结构混凝土浇筑采用地泵浇筑并长距离拼接输送管施工。部分低净空现场施工图如图 12~13 所示。



图 12 低净空连续墙成槽

Figure 12 Trenching of diaphragm wall with low clearance



图 13 低净空连续墙钢筋笼拼接入槽

Figure 13 Reinforcement cage of diaphragm wall splicing into groove with low clearance

表 3 常规施工方案与低净空条件下施工方案对比

Table 3 Comparison of conventional construction scheme and low clearance construction scheme

作业工序	常规施工方案	低净空条件下施工方案
成槽施工	宝峨 GB34 液压抓斗成槽机 (作业高度: 15.65 m)	SG40L 型低净空液压抓斗成槽机 (作业高度: 6.5 m)
钢筋笼制作	整体制作、机械连接	整体制作、分段拆分、机械连接
钢筋笼吊装、入槽	180 t、100 t 履带吊双机抬吊、整体吊装, 采用一次吊装入槽形式	天桥外 50 t 履带吊分节起吊及运输, 天桥下 80 t 折臂起重机起吊入槽, 采用分节起吊、槽口上方对接入槽的形式
接头刷壁、封堵	工字钢接头专业刷壁器、配套铲泥板+接头箱+沙袋	工字钢接头专业刷壁器、配套铲泥板+沙袋

5 工后情况分析

截至 2019 年 7 月, 项目基坑及车站主体结构施工已经全部顺利完成。在施工过程中, 建设单位委托第三方评估单位对西天桥主体结构进行了全程变形监测, 并根据监测数据对西天桥结构进行了计算复核, 最终给出了工后安全性评估分析。

安全分析报告中指出, 根据沉降、倾斜观测结果, 西天桥主体结构沉降监测点沉降速率基本稳定, 主体结构变形未见异常。计算复核结果表明, 天桥结构工后的主要技术指标均满足相关要求 (包括承载力、位移角、位移比、剪重比、刚度比等)。

6 结 语

杭海城际铁路某地铁车站主体基坑处在天桥正下方, 施工净空不足, 且基坑的开挖必然对上部变形敏感的天桥结构造成影响, 针对这些设计、施工中的难点问题, 该项目通过一系列的技术性保护措施和合理的低净空施工工艺, 较好完成了项目基坑及车站主体结构施工, 基坑和上部天桥结构的变形在可控范围内, 工后的主要技术指标也均满足相关要求。该项目的设计、施工经验可为同类型的工程提供相关经验参考, 得到的主要结论如下:

(1) 对于工程情况复杂的项目, 建议委托第三方技术服务机构对初步设计方案进行方案评估, 确认工程中的最不利因素和需要重点关注的监测点, 并根据提出的变形控制要求和施工建议进行设计、施工方案的优化、细化;

(2) 本工程中采用的二重管高压旋喷桩加固车站主体基坑, 袖阀式注浆加固上天桥主墩承台等技术保护措施, 提升了基坑的稳定性, 减小了基坑开挖过程中对临近既有结构物的影响, 有效地控制了天桥结构的变形和沉降, 是合理的基坑加固手段;

(3) 对于低净空的施工条件, 可通过对设备进行改造, 利用低净空的施工器械, 通过钢筋分拆, 拼接, 采用地泵并长距离拼接输送管施工混凝土浇筑。

参考文献:

- [1] 梁宁慧, 刘新荣, 曹学山, 等. 中国城市地铁建设的现状和发展战略[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(6): 81-85.
- [2] 高玄涛. 后建车站基坑开挖及区间近距离下穿既有车站安全技术措施研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2019, 36(4): 101-110.
- [3] 王恒, 陈福全, 林海. 基坑开挖对邻近桥梁桩基的影响与加固分析[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(5): 1257-1265.
- [4] 孟繁增. 基坑开挖引起临近高铁桥墩隆起变形实例分析[J]. 铁道标准设计, 2019: 1-7.
- [5] 陈标. 紧邻高架下地铁端头井深基坑施工难点和技术措施[J]. 上海建设科技, 2019, 4: 33-36.
- [6] 罗永磊. 邻近既有桥墩处隧道基坑开挖变形控制方案探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2019, 7: 307-310.
- [7] 杨晶. 某软土地区基坑开挖对临近路基工程影响与处置分析[J]. 福建交通科技, 2019, 4: 49-50.