

DOI: 10.11779/CJGE2019S2055

立交桥桥台桩基托换基坑支护设计与监测

刘军, 徐志军*, 原方, 郭兆翔

(河南工业大学土木建筑学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 以郑州市中州大道黄河路立交桥匝道 F26 号桥台桩基托换工程基坑支护为例, 提出了一种明挖和暗挖相结合的施工方案, 及采用土钉墙喷锚、钻孔灌注桩和内支撑相结合的复合支护结构。采用远程自动化监测和人工监测相结合的数据监测方式, 对支护结构进行实时数据监测。支护效果表明: 支护结构和施工方案合理, 边坡和周边地表变形得到有效控制, 包含暗挖通道在内的基坑周边地表最大沉降为 12 mm, 最大水平位移为 13 mm, 均小于规范中规定的控制值; 在整个施工过程中, 基坑周边及上部道路交通未受到较大影响; 数据监测系统为安全施工提供了参考, 使得整个工程顺利完成。

关键词: 基坑支护; 明挖; 暗挖; 复合支护; 监测系统

中图分类号: TU473.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2019)S2-0217-04

作者简介: 刘军(1994—), 男, 硕士, 主要从事基坑支护和桩基工程方面的研究。E-mail: 986261928@qq.com。

Design and monitoring of foundation pit support project for pile foundation underpinning of abutment of interchange bridges

LIU Jun, XUN Zhi-jun, YUAN Fang, GUO Zhao-xiang

(School of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the engineering case of the foundation pit support of No. F26 abutment pile foundation underpinning project on the ramp of Huanghe Road Interchange Bridge on Zhongzhou Avenue in Zhengzhou City, a construction scheme combining the cut and cover method with the underground excavation is put forward, and the composite support of soil-nailing wall shotcrete anchors, borehole grouting and internal bracings is employed. The real-time data monitoring of supporting structures is carried out by means of the remote automatic monitoring and the manual monitoring. The results show that the supporting structures and the construction scheme are reasonable, and the deformations of the slope and the surrounding ground are effectively controlled, and the maximum vertical displacement and the maximum horizontal displacement are 12 and 13 mm, respectively, which are less than the control values. During the whole construction process, the traffics around and above the foundation pit are not affected. The data monitoring system provides a reference for the safe construction and makes the whole project be successfully completed.

Key words: foundation pit support; cut and cover method; undercutting method; composite support; monitoring system

0 引言

随着社会经济的快速发展, 人们对于交通出行方式的需求越来越趋于多样化, 城市轨道交通逐渐成为各大城市主要的交通方式。近 20 年中, 中国城市快速轨道交通线路建设高速发展, 新增长度达 4634 km, 其增长速度远远超越欧美发达国家同期轨道建设速度^[1]。由于城市建筑物和构筑物建设较为密集, 地下管道网线埋置复杂, 在地铁轨道建设中, 地铁隧道穿越既有桥梁结构是地铁穿越工程中最为值得关注的问题之一。当新建地铁隧道穿越既有桥梁的桩基时, 桩基托换是目前最为常见的选择, 而当地铁隧道穿越桥梁桥台的桩基时, 桩基托换施工则要进行基坑的开挖, 为

保证桩基托换施工的安全实施, 合理的基坑支护结构设计和施工方案是不可或缺的。

众多学者结合特定的场地条件提出了多种基坑支护结构的设计和施工方案, 并取得了良好的工程效果。乜铁利等^[2]分析了刚果共和国布拉柴维尔商务中心工程的特殊现场条件, 提出了基坑高地下水位边坡支护的有效技术, 使工程得以顺利进行; 刘勇等^[3]对广州白云国际机场 T2 航站楼隧道基坑支护进行了设计,

基金项目: 国家自然科学基金项目(51608177, 51578216, 51708428); 河南工业大学青年骨干教师培育项目(21420004); 河南省属高校基本科研业务费专项资金项目人才支持计划(2017RCJH02)

收稿日期: 2019-04-29

*通讯作者 (E-mail: zj.xu_hust@qq.com)

提出了一种“先浅后深”的施工部署，并发明了一种解决近距离建筑物相互施工影响的基坑支护设计优化技术；金云飞等^[4]对某广场综合改造工程进行了基坑结构的设计，并对斜撑与锚索两种围护方案进行比较分析，对基坑结构设计进行了优选；邢军等^[5]基于宁波国际金融服务中心南区工程的实际特点，提出了地下室分建与合建时两种基坑支护方案，并采用有限元计算和现场监测相对比的方法，验证了合建方案的合理性；周秋来^[6]提出了一种新型双井型钢支撑结构，解决了深基坑施工中混凝土支架拆装难度大和常规单层型钢支撑力有限的问题；Zhang 等^[7]提出了一种采用内嵌式套管连接的玻璃纤维增强塑料在基坑支护中梁施工的方法，解决了常规梁施工方法采用常见材料如钢材或混凝土等施工的缺点。

本文以郑州市中州大道黄河路立交桥匝道 F26 号桥台桩基托换工程为背景，结合施工场地基坑支护的结构和施工方案设计，提出了一种明挖和暗挖相结合的桥台桩基托换基坑支护施工方案，以及采用土钉墙喷锚、钻孔灌注桩和内支撑相结合的复合支护结构。施工过程中采用远程自动化监测和人工监测相结合的数据监测方式，利用信息化监控进行了过程控制，使施工在不中断上部桥梁和附近道路使用的前提下，安全可靠地完成了桥台的桩基托换。

1 工程概述

1.1 工程概况

在郑州市轨道交通 5 号线中，未来北路站—众意路站盾构区间左线在里程左 DK8+560.405 处与中州大道黄河路立交桥匝道 F26 号桥台桩基位置冲突。桥台下有两根直径 1.5 m、长度 35 m、桩中心距 4.4 m 的钻孔灌注桩。其中位于北侧的桩基与区间左线隧道冲突，冲突处隧道覆土深约 11.2 m。在盾构推进到此段之前，在现状两桩基的外侧各再施做两根新建的基桩，并施做托换梁对此处桩基进行托换处理。在进行桥台桩基托换的施工时，需对施工处进行基坑开挖，开挖深度最深处为 6.740 m，基坑平面图见图 1。

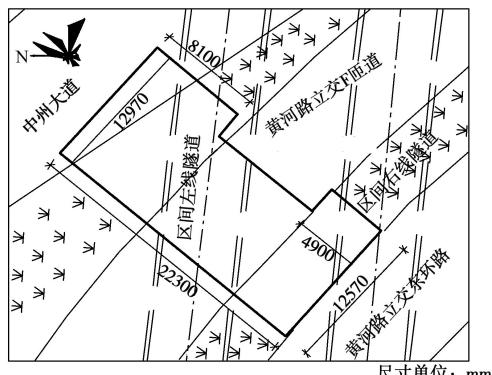


图 1 基坑平面图

Fig. 1 Plan of foundation pit

1.2 工程地质及水文地质条件

基坑所处的地貌单元为黄河冲积平原（A 区）。围护结构主要位于杂填土层和黏质粉土层中，基坑开挖深度范围内的土层厚度及物理力学性能见表 1。

表 1 土层厚度及物理力学性能

Table 1 Thicknesses and physical and mechanical properties of soil layers

土层名称	厚度/m	重度 $\gamma/(kN\cdot m^{-3})$	内摩擦角 $\phi/^\circ$	黏聚力 c/kPa
杂填土	3.00	20.0	12.0	10.0
粉土	4.00	19.3	19.9	17.2
粉土	3.10	19.7	21.5	17.4
黏土	2.00	19.2	16.6	31.2
粉土	4.00	19.5	21.7	17.8

1.3 工程分析

(1) 拟开挖基坑四周环境相对较为简单，其东北侧侵入中州大道最大距离约为 3.8 m；西北侧在黄河路立交桥 F 匝道下绿化带内；西南侧紧邻黄河路立交东环路；东南侧匝道两侧为绿化带，匝道下部采用暗挖方式进行施工支护。

(2) 基坑开挖范围内，土层地质条件良好；开挖深度未到现状水位以下，忽略土体液化影响；拟建工程场地稳定，适宜工程建设。

(3) 基坑开挖周围为郑州市交通要道处，需在不中断道路使用的情况下进行基坑开挖。

(4) 加强数据监测，对基坑开挖进行整体布局，制定合理的施工方案和危险应急方案。

2 围护结构设计及优化

基坑支护方案的选定，通常需要考虑基坑周边环境、基坑开挖深度、工程地质和水文地质条件等多种因素的影响。此外，还应当采取与支护结构相适应的施工方案，以保证基坑支护工程的经济效益最大化^[8]。

结合工程实际特点，本基坑围护结构采用土钉墙喷锚、钻孔灌注桩和内支撑的复合支护结构。为充分保证基坑开挖周围道路及上部匝道的合理使用，基坑在东北、西北和西南三侧采用明挖法施工，围护结构采用钻孔灌注桩+内支撑复合支护；基坑东南侧且在匝道挡土墙两侧明挖段采用土钉墙喷锚支护；在匝道挡土墙内侧进行暗挖施工，采用型钢内支撑支护。支护系统支护效果良好，且不仅保证了基坑的安全，同时也保证基坑周围及上部交通的安全运行。支护系统结构图如图 2~5 所示。

本基坑支护结构的设计标准如下：基坑支护结构采用以分项系数表示的极限状态设计法；围护结构按临时结构设计，不考虑其耐久性，考虑其承载能力及

变形对基坑安全和周边环境的影响; 本次设计的基坑保护等级为二级, 应控制基坑外地面最大沉降量小于等于 $0.15\%H$, 围护结构最大水平位移小于等于 $0.15\%H$, 且小于等于 30 mm 。基坑支护结构构件的重要性系数取 1.0; 围护结构承受全部的土压力及地面超载。按强度控制设计, 不进行裂缝验算; 施工期间地面超载为 20 kPa 。

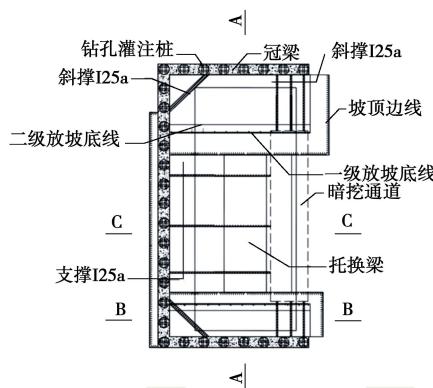


图 2 围护结构平面图

Fig. 2 Plan of enclosure structures

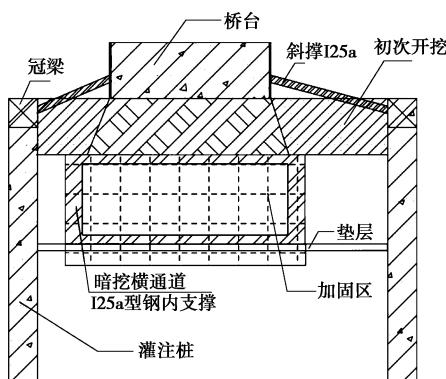


图 3 围护结构 A-A 剖面图

Fig. 3 A-A profile of enclosure structures

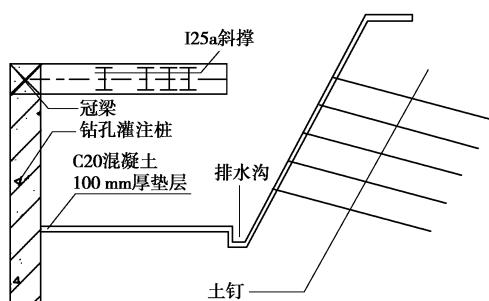


图 4 围护结构 B-B 剖面图

Fig. 4 B-B profile of enclosure structures

根据本基坑的设计方案和设计标准, 确定各个部位的设计方法。围护结构在基坑东南侧进行明挖, 并采用土钉墙喷锚支护结构支护, 按照相关原理对土钉

墙进行设计并采用圆弧滑动条分法进行整体稳定性验算; 针对具有代表性的基坑西北侧存在放坡的排桩和基坑东北侧及西南侧无放坡的排桩进行设计计算, 围护排桩内力采用增量法进行计算, 根据构造和单支点结构计算灌注桩的嵌固深度, 采用三角形法、指数法和抛物线法计算基坑开挖产生的地表沉降位移, 并进行整体稳定性验算; 根据地勘条件, 暗挖通道的深度范围内无地下水, 通道开挖之后进行桥桩托换, 托换完成后进行基坑回填, 故型钢按仅考虑施工工况下的受力情况的进行计算。

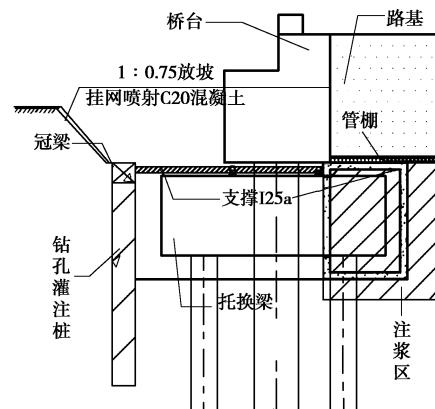


图 5 围护结构 C-C 剖面图

Fig. 5 C-C profile of enclosure structures

3 围护结构支护效果及数据监测

由于该基坑支护工程位于郑州市交通要道处, 基坑支护形式又较为复杂, 且根据要求在施工期间基坑周边及上部道路在一定条件下可安全使用。因此, 在进行基坑围护结构的施工时, 对于关键部位的数据监测是很有必要的, 随时掌握现场各项数据, 指导安全科学施工, 以保证生命财产安全。

针对此基坑支护的结构, 经合理论证, 主要对基坑周边地表沉降、坡顶水平和垂直位移、地下水位和锚杆轴力进行了监测。本基坑支护最为关键的部位是暗挖通道的施工, 为严格控制暗挖通道对上部道路的影响, 在暗挖通道 13 m 长度范围内布置 6 个沉降监测点, 进行实时监护。基坑监测点平面布置图及测点布置数量见图 6, 基坑(含暗挖通道)现场监测对象、项目、精度表及控制值见表 2。

数据监测采用远程自动化监测和人工监测相结合的方式。自动化监测系统采集数据频率为 1 次/ (10~30) min。人工监测在基坑开挖期间及托换梁施工期间每天一次, 遇数据变形较大及现场巡查出现特殊情况及时增大监测频率, 基坑回填完成数据平稳后调整为 1~2 次/周。对于现场监测周期的规定如下: ①初始值测定: 测点布置完成后, 在施工之前, 应对所有

表 3 地表沉降

Table 3 Settlements at monitoring points

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
沉降/mm	-10	11	12	-4	-8	-10	-7	-5	-2	-11	-10	5	6

的监测项目进行连续三次独立的观测, 判定合格后取其平均值作为监测项目的初始值。②停测标准: 本工程中, 变形稳定判断的标准依据《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2007) 相关内容确定, 即“当最后 100 d 的沉降速率小于 0.01~0.04 mm/d 时可认为已经进入稳定阶段”。变形稳定后, 即可向业主及运营单位发出“停止监测申请”, 批准后停止监测。



图 6 基坑测点平面布置图

Fig. 6 Layout of monitoring points for foundation pit

表 2 基坑(含暗挖通道)现场监测对象、项目、精度表及控制值

Table 2 Field monitoring objects, items, accuracy and control values of foundation pit

监测对象	监测项目	监测精度 /mm	控制值 /mm
基坑围护结构自身	坡顶水平位移	1.0	30
	坡顶竖向位移	1.0	10
	土体水平位移	0.5	30
	土钉拉力	0.25/100F.S	根据设计要求
周边环境(含暗挖)	周边地表沉降	0.5	25
	地下水位	0.5	坑底下 1 m

根据监测要求、监测所得累计变形量及基坑(暗挖通道)现场监测对象、项目、精度表及控制值(表 2)等要求对各个监测点进行监测, 各监测点地表沉降数据见表 3, 各坡顶水平位移和垂直位移数据列于表 4。

由表 3, 4 可知: 基坑周边地表最大沉降发生在测点 3 处最大沉降为 12 mm, 小于控制值; 暗挖通道范围内地表沉降介于-4~10 mm 之间, 满足小于暗挖通道地表沉降控制值 25 mm 的要求; 坡顶水平位移介于 4~13 mm 之间, 小于控制值; 坡顶垂直位移介于

-2~5 mm 之间, 满足规定。最大锚杆轴力发生在测点 1 处, 其值为 41.2 kN, 小于设计值, 测点 2 处的锚杆轴力为 38.9 kN。基坑范围内水位维持在距离基坑顶 13.0 m 处。根据各监测数据可知, 支护结构满足支护安全要求, 施工过程中也未出现任何失稳或强度破坏的现象, 围护结构很好地发挥了作用。

表 4 坡顶水平位移和垂直位移

Table 4 Horizontal and vertical displacements of top of slope

测点	1	2	3	4	5
水平位移/mm	13	8	4	6	5
垂直位移/mm	1	2	3	4	5

4 结 论

对郑州市中州大道黄河路立交桥匝道 F26 号桥台桩基托换工程基坑支护工程进行了设计、优化和施工监测, 得到如下结论:

(1) 提出了一种明挖和暗挖相结合的基坑开挖方案, 在保证施工安全的前提下, 确保了桩基托换施工时基坑周边及上部道路的安全使用。

(2) 根据具体施工环境, 合理地选择支护结构和基坑开挖方案, 对于基坑周围土体和结构的受力及卸荷有较大的现实意义, 有利于优化基坑支护结构, 保证基坑安全, 缩短施工工期。

(3) 对基坑支护进行数据监测, 合理布置监测点, 对于基坑工程的安全监控至关重要, 通过实时监测数据的分析, 指导施工作业, 保证工程的安全。

参 考 文 献:

- [1] 顾保南, 杨 照, 徐 雷, 等. 1997—2017 年中国城市轨道交通发展统计分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 85~89. (GU Bao-nan, YANG Zhao, XU Lie, et al. Statistical analysis of urban rail transit lines in China from 1997 to 2017[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 85~89. (in Chinese))
- [2] 乜铁利, 张 波, 张 涛, 等. 布拉柴维尔商务中心基坑地下水位边坡支护技术[J]. 建筑技术, 2017, 48(8): 872~875. (NIE Tie-li, ZHANG Bo, ZHANG Tao, et al. Foundation pit supporting technology of Brazzaville Business Center for excavation under high ground water level[J]. Architecture Technology, 2017, 48(8): 872~875. (in Chinese))