

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202101012

复杂环境下超宽深大基坑设计与施工技术分析

——以 X352 县道改扩建工程项目为例

郑永胜^{1,2}, 田盎然², 尹鹏¹, 范韬¹, 刘浩宇¹, 居俊², 唐强²

(1. 中国中铁四局集团第二工程有限公司, 江苏 苏州 215131;
2. 苏州大学 轨道交通学院, 江苏 苏州 215131)

摘要:随着城市化进程,基坑开挖深度和面积越来越大。苏州市 X352 县道改扩建工程三标段基坑开挖深度达到 18 m,宽度达到 61.5 m,同时周围环境复杂,地下管线密布,设计和施工难度较大。通过对降水、支护结构和施工工艺等方案进行比选设计,优化了基坑围护结构的受力性能,加强了基坑稳定性,同时也进一步改善了施工的便捷性。该工程的设计和施工可以为相关工程建设提供参考。

关键词:超宽深大基坑;设计;施工;围护结构

中图分类号:TU753 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2021)01-0060-06

随着城市化进程,城市用地日益紧张,城市交通运输压力不断增大^[1-3]。修筑市政隧道工程能够缓解城市拥堵并扩大城市土地利用,在全国各个城市都得到广泛应用^[4-6]。但是,基坑开挖会释放土体应力,从而引起土层的变形。在周围建筑和地下管线较为复杂的情况下,开挖基坑,特别是开挖深大基坑,容易影响周围环境,甚至发生严重的工程事故。这对基坑的设计和施工提出了更高要求。苏州市 X352 县道改扩建工程三标段基坑开挖深度达到 18 m,宽度达到 61.5 m,周围环境复杂,地下管线密布,设计和施工难度较大,具有一定的研究价值。本文以苏州市 X352 县道改扩建工程三标段为例,对超宽市政隧道深大基坑的设计施工技术进行了研究,为相关工程建设提供参考。

1 工程概况

1.1 工程建设概况

X352 县道改扩建工程三标段(CHDD-TJ03)位于苏州市相城区。标段内隧道由主隧道(机动

车隧道)及人非(人行及非机动车隧道)隧道组成,均自西向东沿着漕湖大道和太东路敷设。主线隧道西起吴韵路路口以东,横断面规模双向六车道,向东以暗埋段穿越水景街、规划环秀湖,其湖底标高为-1.88 m;隧道在规划湖底南北侧各分流出一条匝道(规模单向两车道),在相融路路口以西接地;分流后主隧道横断面规模为双向四车道,穿越相融路路口后上抬,在双泾港西侧敞开段接地(图1)。隧道全线除接地点附近采用放坡开挖外,其余均采用垂直支护+内支撑的围护形式。在相融路和澄阳路口,隧道从远期规划的2号轨道线及澄阳路管廊下经过。隧道穿越的主要路口均采用翻浇施工。主线车行隧道标准暗埋段结构采用两孔箱涵断面形式,敞开段采用U型槽结构(图2);人非隧道暗埋段采用单孔箱涵断面形式,敞开段采用U型槽结构(图3)。

1.2 周边环境概况

从隧道起点处至终点,两侧多为农田、水塘。隧道东段南侧有已建成小区非凡环秀湖花园,距离隧道基坑约28 m。隧道穿越规划环秀湖、轨道

收稿日期:2020-09-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51778386,51708377);中国中铁四局集团第二工程有限公司科技项目。

作者简介:郑永胜(1980—),男,安徽亳州人,高级工程师,主要研究方向为地下工程。

通讯作者:居俊(1982—),男,江苏苏州人,副教授,博士,主要研究方向为岩土与地下工程。



图1 项目平面图

Fig 1 Project plan

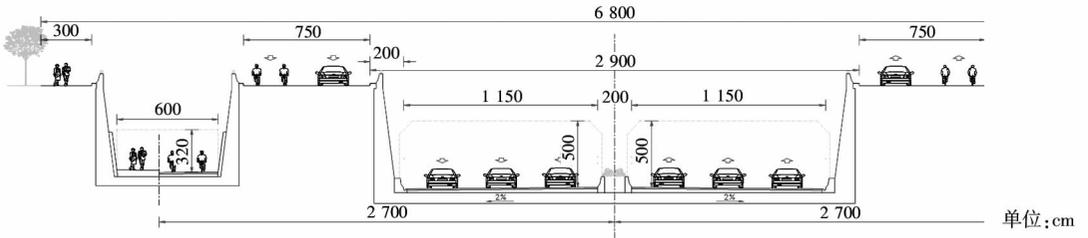


图2 环秀湖隧道敞口段断面图

Fig 2 Cross section of open section of Huanxiuhu tunnel

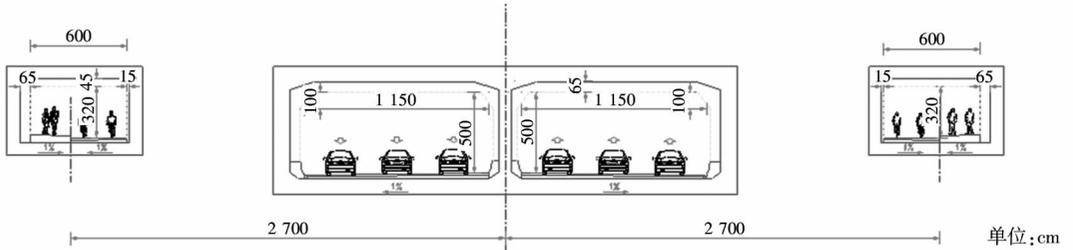


图3 环秀湖隧道暗埋段断面图

Fig 3 Cross section of buried section of Huanxiuhu tunnel

二号线规划北延线和澄阳路管廊规划北延线。此外,基坑范围内还有雨水管、电力线、高压电力架空线、通信线、国防电缆等地下管线,导致基坑围护结构和主体结构施工难度很大。

1.3 工程及水文地质

隧道基坑开挖区域土质具体情况如表1所示。

本工程场地地表水系发达,有4个明塘和1条河道。地下水位为0.60 m~2.70 m,微承压水位于浅部⑤1层砂质粉土及⑤2层砂质粉土夹粉砂中,埋深在3.88 m~12.17 m之间,富水性较好。勘察期间在隧道区域布置了2个承压水水位观测孔。根据观测,本工程拟建场地内承压水(⑨层黏质粉土夹粉质黏土)埋深分别为5.60 m、5.20 m。

表1 土层性质表

Table 1 Soil properties

层号	土名	层厚/ m	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	黏聚力 c / kPa	摩擦角 φ / ($^{\circ}$)
①1	素填土	4.2	18.8	10.0	8
①2	淤泥	2.2	18.9	26.8	14.5
③	淤泥质 粉质黏土	6.9	17.5	13.5	12.3
④1	黏土	2.5	19.5	47.4	15.7
④2	粉质黏土	2.6	19.2	34.8	16.3
⑤1	砂质粉土	5.7	18.6	7.6	24.1
⑤2	粉砂	7.3	18.7	2.8	28.9
⑥	粉质黏土	9.6	18.5	25.4	14.3

2 方案实施

2.1 基坑围护设计

根据基坑深度对基坑进行分类,深度大于 10

m 为一级,4~10 m 为二级。根据基坑保护等级,确定不同的控制参数。具体的控制参数如表 2 所示,其中 H 为基坑开挖深度。

表 2 基坑等级及控制参数

Table 2 Foundation pit grade and control parameters

基坑等级	墙顶竖向位移	围护结构水平位移	基坑周边地表沉降	侧壁重要性系数
一级基坑	$\leq 0.15\% H(15 \text{ mm})$	$\leq 0.2\% H(25 \text{ mm})$	$\leq 25 \text{ mm}$	1.1
二级基坑	$\leq 0.3\% H(25 \text{ mm})$	$\leq 0.4\% H(35 \text{ mm})$	$\leq 50 \text{ mm}$	1.0

基坑开挖施工方法根据基坑支护形式分别制定。根据基坑宽度和基坑深度选择合适的支护形式,支护形式主要有放坡、重力墙、三轴搅拌桩、SMW 工法桩、钻孔灌注桩、地下连续墙等。考虑到超宽深大基坑及周围复杂环境,主线和匝道之间采用钻孔灌注桩围护。具体围护结构如图 4 所示。

基坑第一道支撑采用钢筋混凝土支撑,规格为 800 mm × 800 mm。砼支撑间距为 6~9 m。第二至五道支撑采用钢支撑,钢支撑规格统一采用 D609 及 D800,壁厚 16 mm 的钢管支撑。支撑间距一般为 3~4 m。冠梁高度采用 900 mm,宽度采用 1 200 mm。钢围檩采用 500 mm × 300 mm × 11 mm × 18 mm 或 700 mm × 300 mm × 13 mm × 24 mm 双拼型钢。本工程基坑较宽,需要设置中立柱。标准段基坑设置 1~2 排立柱,50 m 以内设置 3~4 排立柱。

系统,做到随挖随撑。每一工况挖土及钢支撑安装时间不得超过 24 h。在安装支撑的过程中,确保各个结构之间连接良好,在预应力施加后进行施工。

3 基坑施工难点及对策

3.1 深基坑施工

本项目中的基坑开挖最深处达 18.5 m,对于施工质量要求很高。此外,周围管线较多,对于基坑的变形要求较高。为提升深基坑施工的安全性和稳定性,提高工程质量,采取以下措施:

(1)将对围护结构的厚度、施工工序等进行严格控制,保证围护结构的质量。

(2)采用管井降水,预降水满足要求后再进行施工。

(3)排干明水,防止土体浸水后强度下降。

(4)对坑底加固范围、底标高、水泥掺量、桩的连续性和均匀性进行严格的控制。及时施作垫层和底板混凝土,控制底板隆起。

(5)对施工的整个过程进行检测,一旦变形速度过快或者变形过大,立即调整施工方案以保证安全。

3.2 超宽基坑设计

西段主线匝道与人非隧道结构距离较近,基坑较宽,总宽达到 61.5 m。主线高、基坑低,高差较大。为提高基坑的稳定性,改善受力性能,主要采取以下措施:

(1)主线基坑与人非隧道分坑分阶段施工,先施工主线隧道再施工人非隧道。坑中坑支护结构形成有效传力体系,保证基坑稳定性。

(2)当主线基坑与匝道基坑的坑底设计标高相差 3 m 以上时,两者之间采用钻孔灌注桩作围护结构,其入土深度根据高差、地质条件及周边环境条件,并结合相关软件坑中坑模块计算结果综

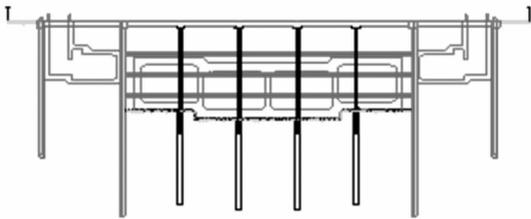


图 4 基坑围护结构

Fig 4 Retaining structure of foundation pit

2.2 基坑开挖施工方法

基坑两侧坡顶不得堆土、堆料。基坑开挖在降水效果明显后开始,由于本工程的土质为软土,因此必须严格控制开挖的空间和开挖的速度。开挖坡度必须小于 1:3。纵向放坡开挖时,在坡顶外设置截水沟,在坡角设置排水沟和集水井。开挖边坡大于 1 m 需采用额外措施,防止边坡失稳。

基坑开挖至支撑设计标高时应及时施工支撑

合确定。

(3)为保证匝道与主线结构连接点的施工便捷性及后期耐久性,设计将高低坑围护结构的顶圈梁设置于匝道底板下方,使得围护与结构互不影响,以减少此处的施工缝。

(4)为保证此高低坑的稳定性,将匝道的底板垫层设置为钢筋砼结构,与顶圈梁整体现浇,以确保支撑的力能有效传至围护结构,以改善高低坑围护结构的受力条件及稳定性。

4 超宽深大基坑工程对比

选择已有了3个典型的超宽深大基坑工程与本项目进行了对比,对比结果如表3所示^[7-9]。通过对比可以发现,随着基坑深度的增加,基坑的排水防渗工作就更加重要,而对于超宽基坑,往往需要分坑分块进行施工。在施工的过程中,还需要灵活调整施工顺序,选择合适的支护结构,以提升基坑的稳定性,提高施工速度,并降低工程造价。

表3 不同超宽深大基坑工程对比

Table 3 Comparison of different super wide and deep foundation pit projects

项目名称	基坑深度/m	基坑宽度/m	设计施工特点	措施效果
广佛环城际轨道陈村站基坑	13.38 ~ 21.23	80.22 ~ 140.56	以“旋喷桩止水帷幕 + 边坡搅拌桩加固 + 边坡分级真空降水”技术防边坡溜塌,以“二级放坡 + 挡土桩 + 内支撑”技术解决有限场地内放坡	施工速度快,经济性好,安全性高,能有效控制基坑变形
上海世博轴基坑工程	17、21.5	110	大面积采用疏干井与降压井“两井合一”管井降水;先中间、后边跨等土方开挖方法	降低了成本,节省了工期,基坑变形较小,满足变形要求
津湾广场站车站基坑	29.9	86	开挖前对周围房屋进行竖向和斜向注浆加固,并设置防渗墙	周围建筑不均匀沉降控制在 2 mm 以内,保证了基坑的稳定性
苏州市 X352 县道改扩建工程三标段基坑	15 ~ 18	20 ~ 61.5	保证围护质量,分坑分阶段施工,坑中坑支护结构形成有效传力体系	有效保证基坑稳定性,控制基坑变形

5 基坑变形分析

目前,对于基坑变形的计算主要有理论公式法、经验值法和有限元模拟计算法等方法^[10]。考虑到计算的准确性,本文主要采用有限元软件进行模拟计算。

有限元软件采用有限元计算软件对本项目中基坑开挖过程造成的变形进行分析。土层、支护结构和开挖方式均按照上文进行模拟。为了提高计算的精度,将模型边长控制在基坑边长的三倍以上。基坑变形如图5所示。图像仅截取了基坑附近有明显变形的区域。

经过计算发现,基坑底部变形以隆起为主。基坑底部中间位置变形最大,为 2.95 cm。在围护桩处变形最小。基坑的变形规律与以往研究一

致^[11-12]。但是,由于基坑面积较大,深度较深,坑底隆起较大,需要对坑底进行加固。

基坑人非隧道围护桩和人非隧道与主隧道之间钻孔灌注桩变形如图6、图7所示。

通过计算可发现,桩在地面处的变形量较小,随着深度的增加变形量不断变大,当深度达到二分之一到三分之二桩长后变形量达到最大,随后逐渐减小。这与以往基坑开挖围护桩的变形规律相符^[13-14]。人非隧道围护桩和人非隧道与主隧道间钻孔灌注桩的最大变形均发生在深度 15 m 处。人非隧道围护桩的最大变形为 0.9 cm,人非隧道与主隧道间钻孔灌注桩最大变形为 1.2 cm。这是由于支撑轴力主要作用在人非隧道与主隧道之间。因此,在进行设计和施工时,需要提高钻孔灌注桩的强度,保证施工质量,并做好监测工作。

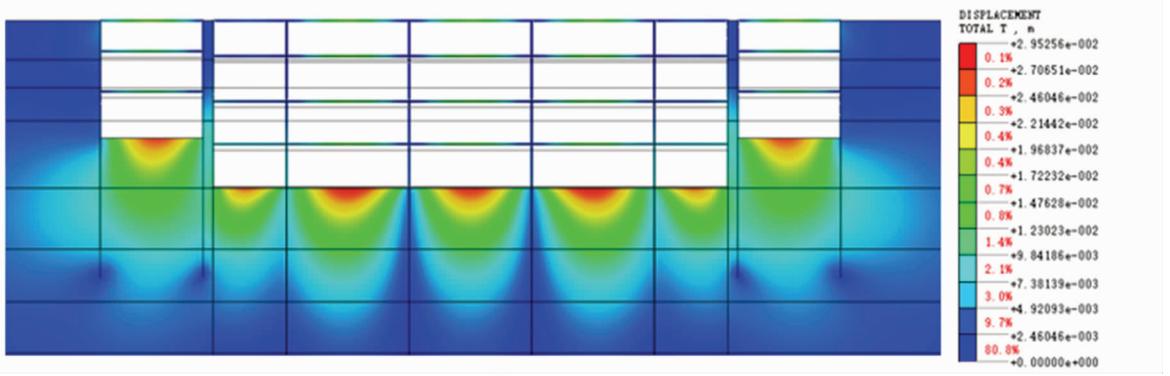


图 5 基坑变形

Fig 5 Deformation of foundation pit

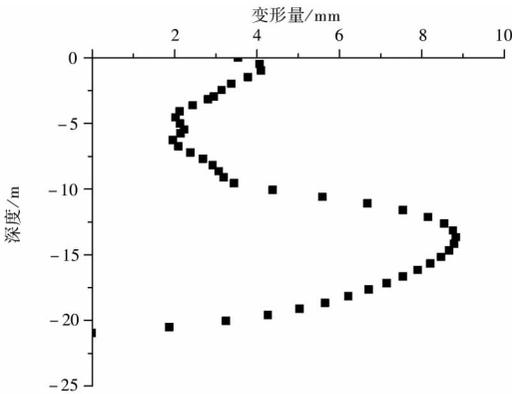


图 6 人非隧道围护桩变形

Fig 6 Deformation of retaining pile of auxiliary tunnel

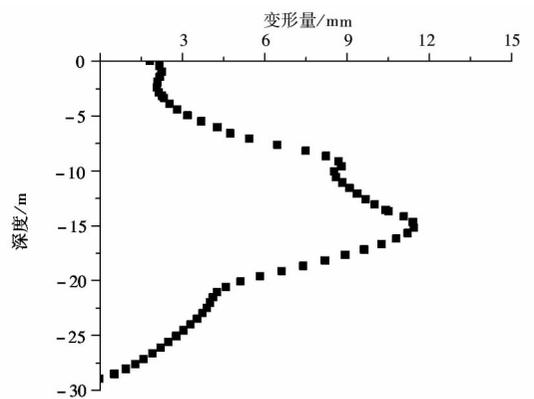


图 7 人非隧道与主隧道间钻孔灌注桩变形

Fig 7 Deformation of bored pile between auxiliary tunnel and main tunnel

6 结论

本文主要得出以下结论:

(1)通过主线基坑与人非隧道分坑分阶段施工、改善高低坑围护结构的受力条件等方法,可以提升基坑的稳定性。

(2)对于不同的超宽深大基坑,需要灵活调整施工顺序,选择恰当的支护结构,以提高基坑的稳定性并降低工程造价。

(3)通过有限元软件计算,发现设计和施工方法取得了较好的效果,基坑的变形较小。但是人非隧道与主隧道之间的钻孔灌注桩受力和变形较大,需要做好施工和监测工作。

参考文献:

[1] YU H, KRSTIC M. Traffic congestion control for Aw-Rascl-Zhang model[J]. Automatica, 2019,100:38-51.

[2] ZHOU J, MURPHY E, CORCORAN J. Integrating road carrying capacity and traffic congestion into the excess commuting framework: The case of Los Angeles[J]. Environment and Planning, B: Urban Analytics and City Science, 2020,47(1): 119-137.

[3] QI L, ZHOU M, LUAN W. A dynamic road incident information delivery strategy to reduce urban traffic congestion[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2018,5(5):934-945.

[4] CHEN Z L, CHEN J Y, LIU H, et al. Present status and development trends of underground space in Chinese cities: Evaluation and analysis[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018,71:253-270.

- [5] ZHAO Y, LI P F. A statistical analysis of China's traffic tunnel development data[J]. Engineering, 2018,4(1):3-5.
- [6] YU G, LIU J J. A hybrid prediction approach for road tunnel traffic based on spatial-temporary data fusion[J]. Applied Intelligence, 2019,49(4):1421-1436.
- [7] 董亮龙. 超大超宽软弱地层深基坑放坡开挖施工技术[J]. 建筑工程技术与设计,2018(23):864.
- [8] 李波,王洪新,曹恒钊. 软土层超宽深大基坑施工技术[J]. 城市道桥与防洪,2009(7):135-139,259.
- [9] 龚长树. 异型超宽深基坑周边建筑物保护施工技术[J]. 城市建设理论研究:电子版,2013(12):1-4.
- [10] 刘勇,李福豪,陈健,等. 深层搅拌水泥土基底加固层的三维随机有限元分析[J]. 岩土工程学报,2018,40(8):1542-1548.
- [11] XU B, ZHANG H Z, CHEN Z Q. Study on heat transfer performance of geothermal pile-foundation heat exchanger with 3-U pipe configuration[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2020,147:119020.
- [12] 徐飞飞,崔梓萍,徐意智,等. 坑中坑的基坑变形分布及其变化规律[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(S1):1376-1380,1388.
- [13] FU Z D, JIANG G L, YUAN S Y, et al. Lateral behavior of piled bridge foundation and stabilizing piles on steep slope [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2019,23(10):4223-4236.
- [14] 庄海洋,吴祥祖,瞿英军. 深软场地地铁车站深基坑开挖变形实测分析[J]. 铁道工程学报,2011,28(5):86-91.

Design and Construction Technology Analysis of Super Wide, Deep and Large Foundation Pit in Complex Environment ——Taking X352 County Road Reconstruction and Expansion Project as an Example

ZHENG Yongsheng^{1,2}, TIAN Angran², YIN Peng¹, FAN Tao¹, LIU Haoyu¹, JU Jun², TANG Qiang²
(1. The Second Engineering Co., Ltd of China Railway Fourth Group, Suzhou Jiangsu 215131, China;
2. School of Rail Transportation, Soochow University, Suzhou Jiangsu 215131, China)

Abstract: With the development of urbanization, the depth and area of the tunnel foundation pit are increasing. The depth of foundation pit is 18 m, and the width is 61.5 m in X352 Country Road Reconstruction and Expansion Project in Suzhou. The surrounding environment is complex due to the underground pipelines. Because of these, the design and construction are difficult. Through the optimization design of precipitation, enclosure and construction sequence, the stress system of foundation pit is improved, the stability of foundation pit strengthened, and the construction time is also shortened. The design and construction of the project can provide reference for related engineering construction.

Keywords: super wide, deep and large foundation pit; design; construction; retaining structure

(责任编辑:张英健)