

黄土地区地铁车站深基坑变形规律

任建喜 谭牧凡

(西安科技大学建筑与土木工程学院, 710054, 西安//第一作者, 教授)

摘要 以黄土地区西安地铁车站深基坑工程为依托,通过FLAC软件建立模型,模拟分析深基坑围护桩桩体水平位移特性、地表沉降规律和钢支撑轴力变化规律。实际监测结果与模拟结果基本一致。研究结果表明:车站深基坑采用钻孔灌注桩加内支撑联合围护形式有效限制围护桩桩体水平位移和地表沉降;钢支撑的及时架设能够明显限制深基坑变形,为施工安全提供保障。

关键词 地铁车站深基坑;黄土地区;围护结构;变形规律
中图分类号 TU433

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.08.012

Deformation Pattern of Deep Foundation Pit of Metro Station in Loess Area

REN Jianxi, TAN Mufan

Abstract Taking the deep foundation pit project of Xi'an metro station in the loess area as basis, model is established using FLAC software, and numerical simulation of the horizontal displacement features of deep foundation pit enclosure structure piles, ground surface settlement pattern, and steel support axial force changing pattern is carried out. Field monitoring results and simulation results are primarily in accordance. Research concludes that: adopting the combined support form of bored piles and internal supports for station deep foundation pit can effectively limit pile horizontal displacement and ground surface settlement. Timely set-up of steel supports can significantly limit the deformation of deep foundation pit and provide guarantee for construction safety.

Key words deep foundation pit of metro station; loess area; enclosure structure; deformation pattern

Author's address College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, 710054, Xi'an, China

我国地铁车站深基坑工程的深度和规模逐渐向超深、超大的方向发展^[1]。地铁车站多位于周边环境复杂、施工条件苛刻的城市中心城区内,在施工过程中保证邻近的道路及建筑物安全尤为重

要^[2]。采用信息化施工技术,加强施工监测^[3],研究围护结构的变形规律,对安全施工具有重大意义^[4-5]。现场监测是认识黄土地区深基坑变形规律的有效途径之一^[6]。本文以西安地铁6号线纬二十八站工程为背景,对深基坑围护桩体水平位移、地表沉降、钢支撑受力的现场监测结果与FLAC软件模拟结果进行对比分析,以期为黄土地区地铁车站深基坑工程变形规律分析和安全施工提供支撑。

1 工程概况

西安地铁6号线一期工程纬二十八站位于西太路与纬二十六路路口。该站起始里程为YDK14+671.500,终点里程为YDK14+872.100,主体为单柱双跨结构。纬二十八站深基坑长200.6 m,标准段宽19.7 m,开挖深度为19.092 m。车站南侧均为工业厂房,西北侧为空地,东北侧为民用建筑,邻近地下管线众多,属于三级环境风险。场地地形较平缓,地面高程为422.160~423.759 m,地貌单元属皂河二级阶地。在车站施工地段,地表以下3.6~10.4 m为新黄土层,土质均匀,偶见钙质结核,属中压缩性土;该层土自重湿陷量为20.7 mm,总湿陷量为364.5 mm,属于非自重湿陷性黄土。

纬二十八站围护结构采用钻孔灌注桩+钢支撑联合围护。深基坑围护结构剖面图如图1所示。深基坑标准段钻孔灌注桩直径为1 000 mm,间距为1 500 mm。车站标准段桩体嵌固深度约为4 m,基坑桩长合计为30 989.75 m,最大桩长为34.7 m。主体基坑自上而下有3道钢支撑,均采用 ϕ 609(厚14 mm)的钢管。第1道支撑水平间距为6.0 m,第2道和第3道支撑的水平间距均为3.0 m。第1道支撑和第2道支撑的垂直间距为6.0 m,第2道支撑和第3道支撑的垂直间距为5.7 m,第3道支撑距基坑底约5.4 m。水平支撑预应力加至设计支撑轴力的85%。根据潜水完整井的理论,对围护前基坑降水进行了计算。30口降水井沿基坑周边均匀

闭合布置。降水井间距为 13.71~21.01 m(多为 15 m),管井井深为 33 m,井管内径为 500 mm,外径为 600 mm,成井直径为 800 mm。施工时的水位应该降至基坑底板以下 1 m。

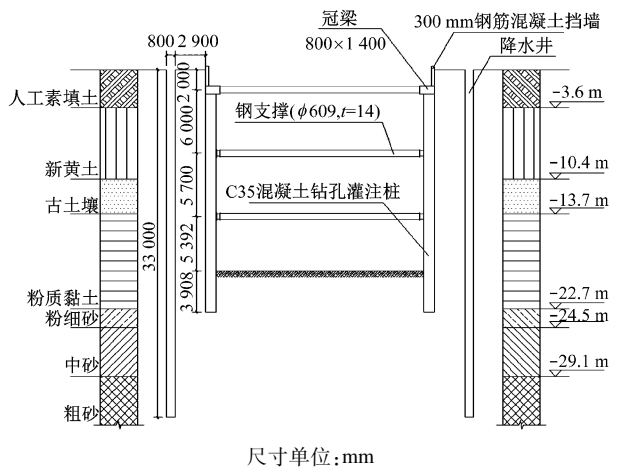


图1 深基坑围护结构剖面图

2 FLAC 软件模型建立与计算

2.1 模型建立与参数确定

根据深基坑和围护结构的实际尺寸与开挖深度,结合工程地质条件等因素对模型计算的影响,确定计算模型尺寸为:100 m×60 m×50 m(长×宽×高)。其中,基坑断面宽度为 24 m,基坑开挖深度为 19 m,并划分了 11 个土层。采用 FLAC3D 软件建立的模型由实体模型部分和结构单元部分组成:土层和混凝土桩均为实体模型,钢支撑采用结构单元。模型有 228 072 个单元,240 120 个节点。模型对底部以及左右两边的位移边界条件进行限制,模型顶部为自由边界,建立的模型如图 2 所示。土层模型参数来源于纬二十八站岩土工程勘察报告,见表 1。

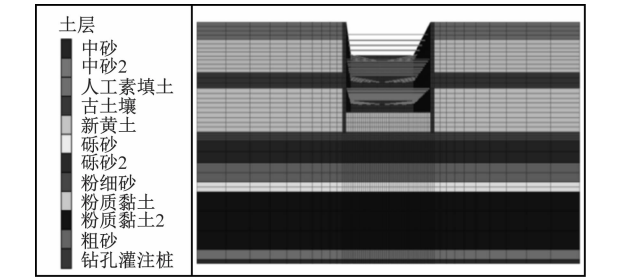


图2 FLAC 计算模型示意图

2.2 工况划分

为准确模拟纬二十八站深基坑开挖及围护全过程,考虑到分层开挖、边挖边撑等实际施工步骤,

故将施工过程分为 5 个工况,如表 2 所示。

表1 模型计算参数

土层名称	层厚/m	密度/(kg/m³)	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	体积模量/MPa	剪切模量/MPa
人工素填土	3.6	1 700	15.0	10	25.00	11.54
新黄土	6.8	1 810	24.0	30	14.17	6.54
古土壤	3.3	1 920	24.2	33	15.00	6.92
粉质黏土	9.0	1 960	23.8	31	15.83	7.31
粉细砂	1.8	2 040	31.2	0	11.67	5.38
中砂	4.6	2 050	34.6	0	23.48	12.11
粗砂	4.0	2 050	31.6	0	21.53	12.30
砾砂	2.0	2 050	34.6	0	21.33	12.80
粉质黏土 2	12.0	1 970	23.7	29	16.67	7.69
中砂 2	2.0	2 060	18.9	0	23.48	12.11
砾砂 2	0.9	2 060	34.6	0	21.33	12.80

表2 工况划分

工况编号	开挖进程	围护内容
工况一	开挖基坑至-2.3 m	施作桩顶冠梁
工况二	开挖基坑至-2.8 m	架设第 1 道钢支撑
工况三	开挖基坑至-8.8 m	架设第 2 道钢支撑
工况四	开挖基坑至-14.5 m	架设第 3 道钢支撑
工况五	开挖基坑至-19.092 m	

3 现场监测方案

主要监测项目包括车站深基坑地表沉降、桩体水平位移、钢支撑轴力等内容。监测点布置如图 3 所示。监测方案的布置原则是:

1) 采用水准仪通过基坑周边布置的 2 环测点来监测地表沉降。第一环距基坑周边 2 m,第二环距基坑周边 8 m,每环测点间距 10~20 m。要穿透道路表面结构层,将测点埋设在较坚实的地层中。

2) 桩体测斜管预先固定在钢筋笼上,在桩浇筑前布置于桩内。测斜管底部与钢筋笼底部持平,顶部延伸至地面,并保证管内的 1 对测槽垂直于测量面。

3) 钢支撑轴力测点布置在支撑端部,其水平方向应与围护结构水平位移监测断面对应布设。每层支撑监测数量不应少于该层支撑总数的 10%,且

不少于 3 根。

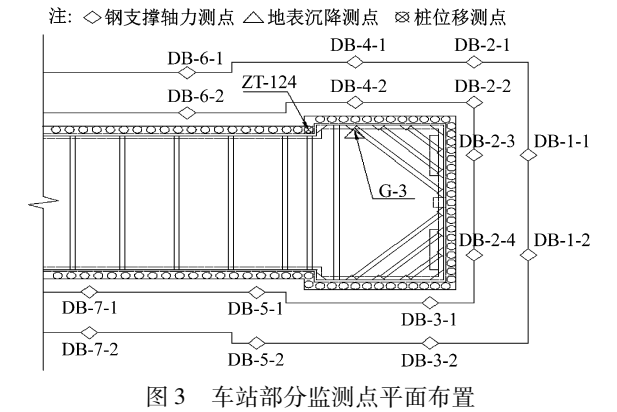


图 3 车站部分监测点平面布置

4 模拟计算结果与实测结果

4.1 桩体水平位移

图 4 是各工况的桩体水平位移云图。取桩体测斜点 ZT-124 进行分析,重点分析工况二至工况五的水平位移变化规律。由图 5 可知:在围护桩附近地表发生了一定的水平位移,水平位移随基坑开挖而不断增大;最大水平位移位于基坑开挖深度 2/3 处,且随土方开挖、钢支撑架设不断发生应力重分布而下移;开挖完成后,位移峰值仍满足相关规范要求。

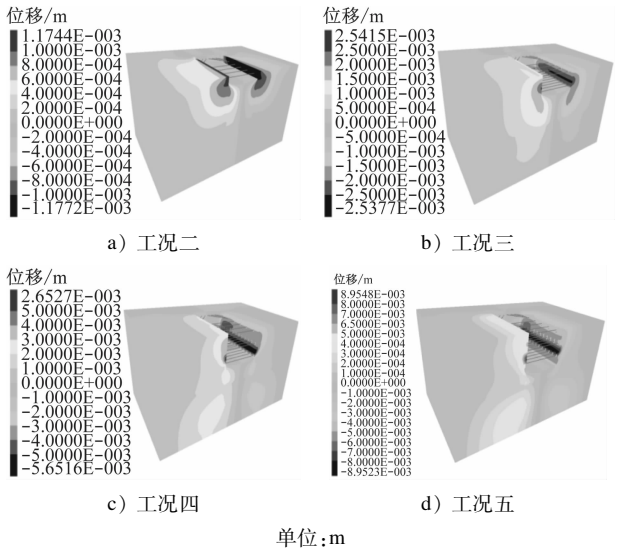


图 4 各工况的桩体水平位移云图

1) 基坑开挖深度 2/3 处出现的较大水平位移主要源于该位置的水土压力与内支撑的共同影响。虽然桩顶处受水土压力时间较长,但由于内支撑的支撑作用,桩体由悬臂的受力模式转变为类连续梁的受力模式,故内支撑不仅能减小桩体的水平位移量,还能改变桩体的水平位移分布,提升围护体系刚度。

2) 桩顶处水平位移实测值略小于模拟值,其主要原因是冠梁在一定程度上约束了桩顶的水平位移。桩身处水平位移实测值略大于模拟值,这是由于实际工程中存在的工序安排不紧凑、施工机械扰动以及土体蠕变等影响因素,是数值模拟难以反映的。

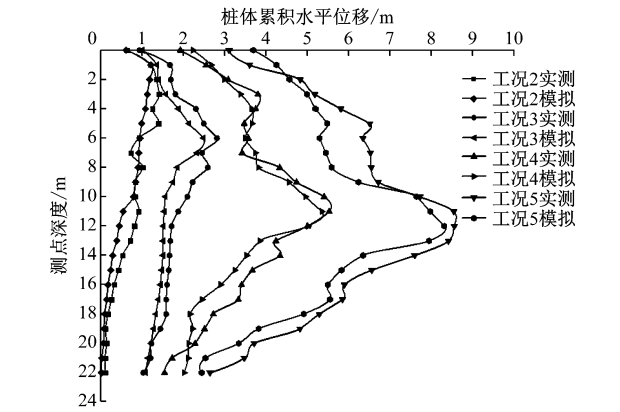


图 5 各工况下 ZT-124 桩体的水平位移

4.2 地表沉降

如图 6 所示:在距基坑坑壁 8 m 的 DB-4-1 测点处,地表土体发生沉降;随土方开挖,下沉量不断增大;实测结果与模拟结果的变化趋势基本吻合。

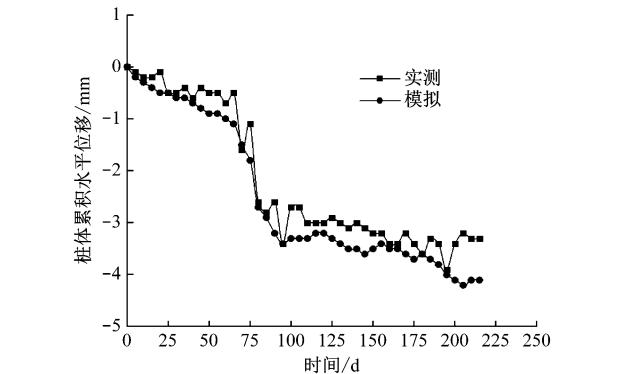


图 6 DB-4-1 测点的地表沉降

经分析:施工地段地表以下 3.6 ~ 10.4 m 为新黄土层,其中湿陷性土层厚度约为 6 m,基坑地表水的侵入对地表沉降的影响较为显著,故实测结果较模拟结果在数值上有些出入。

架设内支撑后,地表的变形速率明显降低,说明地表土体受力状态较复杂,除了外部堆载的附加应力作用与土方开挖后的卸荷作用,还受到围护桩与内支撑的反力作用。

地表变形趋于稳定后,变形峰值低于变形预警值 18 mm,故本文提出的围护方案对于该地区深基坑的围护是有效的。

4.3 钢支撑轴力

钢支撑轴力如图 7 所示。通过分析第 2 道横支撑上 G-3 测点的轴力变化规律可知:第 2 道横支撑在架设之后,轴力逐渐增大,轴力变化率较小;进行下一次土方开挖后,由于基坑内外压力差增大的影响,G-3 测点轴力突变性增大至峰值,且轴力峰值低于轴力预警值 1 115 kN;随着第 3 道横支撑的架设,G-3 测点轴力变化逐渐稳定,最终趋向于一个定值。这说明基坑开挖过程中存在时空效应,钢支撑的及时架设能够显著发挥分担荷载的作用。

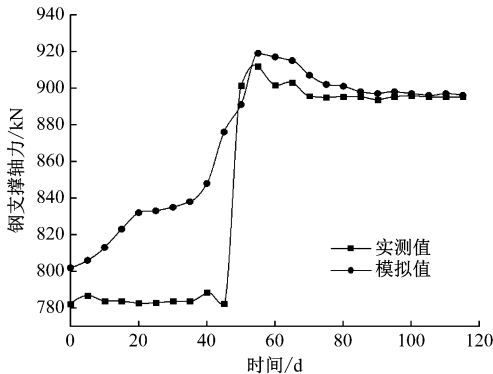


图 7 G-3 测点钢支撑轴力

5 结语

本文以西安地铁 6 号线纬二十八站深基坑工程为背景,开展深基坑围护结构与地表变形规律 FLAC 软件数值模拟与现场监测对比研究。

1) 该深基坑采用围护桩加内支撑的联合围护方案,以及坑外管井降水方案。本文运用 FLAC 软件建立了深基坑施工模型。完成了深基坑围护结构模型参数设计和降水方案模型参数设计。

2) 本文通过 FLAC 软件完成了纬二十八站深

基坑开挖及围护施工全过程的模拟计算。模拟计算得到的围护桩水平位移特性、地表沉降规律和钢支撑轴力的变化规律与现场实测结果基本一致。

3) 研究结果表明:桩体最大水平位移位于基坑开挖深度 2/3 处;随基坑开挖不断下移,桩体水平位移受到土方开挖、水土压力变化以及内支撑的架设等因素的影响较大;基坑地表沉降受地表水的侵入影响较为显著,黄土地区的湿陷性问题主要体现在地表沉降量,深基坑围护桩与钢支撑反力等因素也对地表沉降有一定影响;下一层土体开挖后,水平钢支撑轴力会出现突然增大现象,水平钢支撑的及时架设对于深基坑变形控制和安全施工具有重要作用。

参考文献

- [1] 徐江,龚维明,穆保岗,等.软土区某地铁深基坑施工过程数值模拟及现场监测[J].东南大学学报(自然科学版),2017(3):590.
- [2] 张钰典.复杂边界条件下地铁车站超深基坑开挖方案研究[J].城市轨道交通研究,2020(7):158.
- [3] 周勇,朱彦鹏.黄土深基坑土钉支护结构设计参数的灵敏度分析[J].四川建筑科学研究,2008(4):131.
- [4] 丁烈云,李炜明,吴贤国,等.武汉地铁循礼门车站深基坑施工监测分析[J].铁道工程学报,2010(9):74.
- [5] 梅源,胡长明,王雪艳,等.西安地区湿陷性黄土地铁车站深基坑开挖引起的地表及基坑支护桩变形特性[J].中国铁道科学,2016(1):9.
- [6] 李裘鹏,桂林,马健,等.深基坑变形实测数据三维图表分析[J].城市轨道交通研究,2019(7):79.
- [7] 陈秋南,周国华,张帆,等.湿陷性黄土地区地铁深基坑支护设计[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2009(1):49.
- [8] 霍润科,颜明圆,宋战平.地铁车站深基坑开挖监测与数值分析[J].铁道工程学报,2011(5):81.

(收稿日期:2020-06-12)

(上接第 54 页)

- [3] 王永.连续梁拱组合桥受力特性研究分析[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [4] 易云焜.梁拱组合体系设计理论关键问题研究[D].上海:同济大学,2007.
- [5] 杨根杰.单拱肋预应力混凝土梁拱组合桥受力性能分析[J].铁道工程学报,2017(6):37.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.城市轨道交通桥梁设计规范:GB/T 51234—2017[S].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [7] 袁堂涛.连续梁拱组合桥梁合理成桥状态优化分析[D].西安:长安大学,2017.
- [8] 苗建伟.多跨预应力砼梁拱桥合理吊杆索力和张拉优化[D].

哈尔滨:东北林业大学,2016.

- [9] 齐林.合蚌高铁连续梁拱组合结构设计研究及动力分析[J].市政技术,2014(4):78.
- [10] 国家铁路局.铁路桥涵设计规范[S].北京:中国铁道出版社,2004.
- [11] 汪振国.轨道交通简支梁桥振动特性与控制研究[D].南昌:华东交通大学,2018.
- [12] 曾峰,刘林芽,吴宇鹏,等.基于车桥耦合的高架槽形梁结构噪声影响分析[J].噪声与振动控制,2016(6):131.
- [13] 刘永乾,任尊松.高速列车荷载频率传递特性研究[J].振动工程学报,2013(5):687.

(收稿日期:2019-08-12)