

# 公常路下穿改造工程深基坑开挖施工监测与稳定性分析

史豪杰, 李富相, 李志勇

(中交一公局第四工程有限公司, 广西 南宁 530033)

**摘要:**以深圳公常路下穿改造工程 K1+700—780 段深基坑工程为例,介绍深基坑开挖施工监测方案,根据检测数据对基坑开挖中围护桩深层水平位移、地表沉降、地下水位及支撑轴力进行分析。结果表明,基坑开挖后,设置支撑之前,桩体深层水平位移变化较大,截至工况 5,桩体最大水平位移接近 10 mm;基坑开挖期间,周边地表沉降变化较小,均远小于报警值 35 mm;受分流车道上车辆荷载作用的影响,基坑北侧的地表沉降比南侧大;受坑内降水和当地气候的影响,基坑开挖期间,坑外局部地下水位下降量超出报警值,但坑外水位变化较平稳,未给基坑围护结构及周边环境带来不利影响;支撑轴力受基坑开挖深度、支撑数量及间距等影响较大,开挖深度越大,支撑轴力越大,基坑开挖期间应及时架设支撑,严禁超挖和漏撑。

**关键词:**公路;深基坑;基坑开挖;施工监测;稳定性分析

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2021)04-0097-04

开发和利用城市地下空间、发展高效的地下交通已成为现阶段城市交通建设的重要发展方向,许多地区已开始大规模修建城市地下公路和隧道,建立城市地下交通网,由此出现大量技术复杂、体积量大的深基坑。为保证基坑开挖安全与稳定,需对基坑围护结构变形和内力进行实时监测。许多学者对基坑开挖引起的围护结构墙体位移、深层土体位移、内支撑轴力、地表沉降等进行了分析研究,如魏纲等根据沉降、轴力等实测数据,对比分析了基坑开挖中支撑轴力、地表沉降的变化规律;张雪婵等以杭州庆春路过江隧道江南工作井为例,对墙体水平位移、地表沉降、地下水位及砼支撑轴力进行监测分析,提出了高承压水控制和防治对策;杨有海等根据杭州地铁秋涛路车站深基坑监测数据,分析了工况对桩体侧向变形与钢支撑轴力的影响;丁智等对杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑进行监测,分析了土体深层水平位移和墙体深层水平位移变化规律及地下水位与地表沉降的关系。深圳地区土质条件特殊,对该地区临近地铁施工的深基坑实测分析还不充分,基坑开挖对施工过程和周边环境的影响评估也少有报道。为此,该文以深圳公常路中山大学深圳校区段下穿改造工程为例,通过对基坑围护结构变形、内支撑轴力及基坑周边地表沉降等监测数据的分析,研究基坑开挖中围护结构变形规律和受力特点,为基坑工程施工提供指导和借鉴。

## 1 工程概况

### 1.1 工程概述

公常路中山大学深圳校区段下穿改造工程位于深圳市光明区新湖街道,全长约 3.56 km。其中地下道路长 2.645 km,采用干线性城市主干道标准建设,双向六车道,设计速度 50 km/h;地面道路采用生活性城市主干道标准建设,双向六车道,设计速度 40 km/h。

现状公常路为城市主干道,双向八车道,红线宽度 60 m,沥青路面,设计速度 50 km/h。

### 1.2 工程地质和水文条件

场地原始地貌为残丘坡地及冲积洼地,后经人工挖填改造为现状公常路。根据现场勘察及室内土工试验结果,拟开挖基坑所在区域地层主要由人工填土、含砂粉质黏土、中砂、砂质黏性土、全风化混合花岗岩、土状强风化混合花岗岩及块状强风化混合花岗岩组成(见图 1)。

根据水文地质勘察报告,沿线场地总体地形较平坦、起伏较小,地下水位变化幅度为 1.0~5.0 m。开挖基坑处的地下水对砼结构和钢筋砼结构中的钢筋具有微腐蚀性。

### 1.3 基坑支护设计

选取 K1+700—780 段深基坑进行分析。该段基坑长 80 m,宽度 29 m,开挖深度 17.5 m,采用明

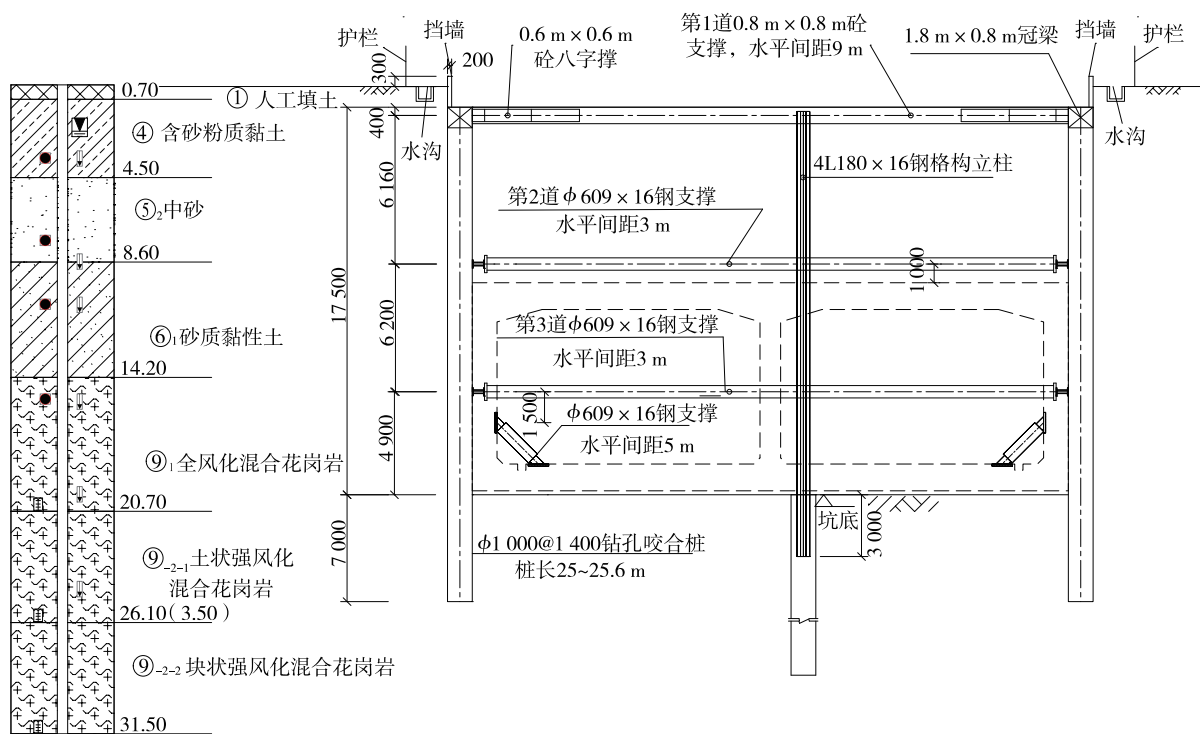


图1 工程地质状况和基坑围护结构断面图(单位:标高为m,其他为mm)

挖法施工。围护结构采用 $\phi 1\,000\text{ mm}@1\,400\text{ mm}$ 钻孔灌注桩和 $\phi 800\text{ mm}$ 旋喷桩桩间咬合止水;内支撑采用3道支撑,第1道为钢筋砼支撑,水平间距9 m;第2、3道均为钢支撑,水平间距3 m。在基坑中间设置520 mm $\times$ 520 mm钢格构立柱,立柱桩采用 $\phi 1\,000\text{ mm}$ 钻孔灌注桩。基坑围护结构断面设计见图1。

#### 1.4 基坑开挖工况

由于该段基坑开挖深度较大,为确保基坑安全,采用分层开挖,基坑开挖施工工况见表1。

表1 基坑开挖工况

工况编号	施工内容
1	开挖土层(挖至1.40 m深)
2	第1道砼支撑架设(深度0.4 m)
3	开挖土层(挖至10.4 m深)
4	第2道钢支撑架设(深度6.4 m)
5	开挖土层(挖至13 m深)
6	第3道钢支撑架设(深度12.6 m)
7	开挖土层(挖至17.5 m深)

## 2 基坑开挖施工监测方案

### 2.1 监测内容及监测点布设

根据SJG 05—2011《深圳市深基坑支护技术规范》、GB 50497—2009《建筑基坑工程监测技术规范》,基坑开挖监测内容主要有桩体深层水平位移、

周边地表沉降、坑外地下水位、内支撑轴力。

(1) 围护桩体深层水平位移监测。采用串联式导轮固定测斜仪+测斜管监测围护桩体深层水平位移,监测点间距约50 m。

(2) 周边地表沉降监测。在支护结构周边土体取垂直于线路方向的截面作为监测截面,共设置2个间距为40 m的监测断面,每个截面分别在沿线路南北两侧各布置1个监测点。

(3) 坑外地下水位监测。在垂直于基坑向外距离隔水帷幕1 m处,沿线路方向水位孔按50 m间距布置监测点。

(4) 内支撑轴力监测。沿线路方向自西向东每3道砼支撑取一个监测断面(钢支撑与砼支撑轴力监测共断面),相邻监测断面间距约27 m。每道砼支撑布置8个监测点,分别布置在砼支撑钢筋笼四角的受力主筋上,位于砼支撑长度的 $L/3$ 处,每个监测点放置1个钢筋应力计。每道钢支撑布置一个监测点,布置在钢支撑南侧端部,每个监测点放置1个轴力计。各监测点平面布置见图2。

### 2.2 监测频率和报警值

监测期自元件埋设完成至主体结构顶板浇筑完成止,监测频率见表2。

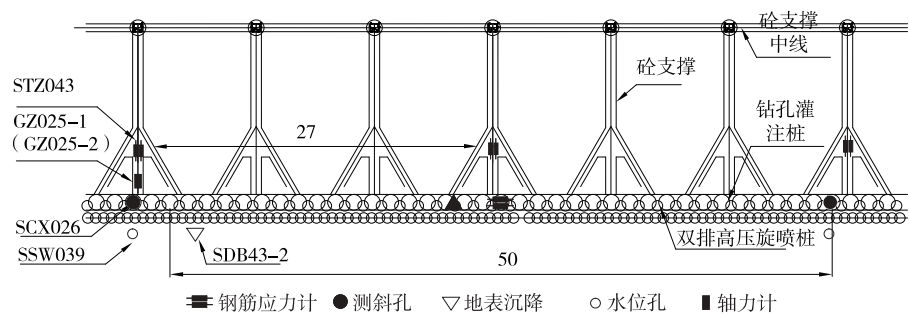


图 2 监测点布置平面图(单位:m)

监测报警值一般由累计变化量及其变化速率控制,累计变化量的报警指标不应超过设计限值。该段基坑属于一级基坑,其报警值见表 3。

表 2 基坑自动化监测频率

监测项目	监测频率/(次·h <sup>-1</sup> )		
	支护结构施工	开挖至底板	主体结构施工
围护桩深层水平位移	测点埋设	1	1
周边地表沉降	测点埋设	1	1
地下水位	测点埋设	1	1
支撑轴力	测点埋设	1	1

表 3 一级基坑围护结构监测报警值

监测内容	累计值		变化速率/(mm·d <sup>-1</sup> )
	绝对值/mm	相对基坑深度 h 控制值	
支护桩深层水平位移	50	0.5%	3
周边地表沉降		35	3
地下水位	1 000		500
桩体内力及支撑轴力	70% f		—

注:h 为基坑设计开挖深度;f 为构件承载能力设计值;  
累计值取绝对值和相对基坑深度控制值中的小值。

3 监测数据及分析

选取 K1+720 作为分析断面,其中包括 1 个桩体深层水平位移监测点、南北侧 2 个周边地表沉降监测点、1 个坑外地下水位监测点和 3 个轴力监测点,分析各工况下监测数据变化规律及基坑的安全稳定性。

3.1 桩体深层水平位移分析

选取 K1+720 断面南侧深层水平位移监测点的监测数据进行分析,不同工况下桩体深层水平位移变化见图 3,“—”表示桩体向基坑内变形,“+”表示桩体向基坑外变形。

由图 3 可知:随着基坑开挖深度的增大,桩体水

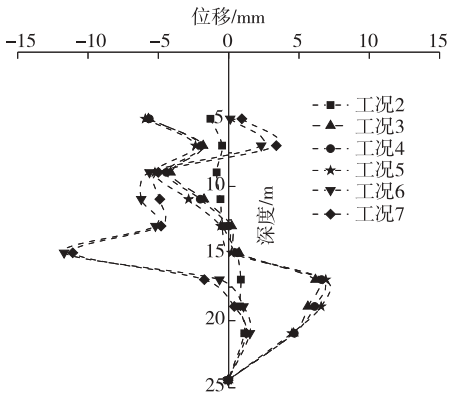


图 3 K1+720 断面桩体深层水平位移

平位移逐渐增加,累计最大水平位移为-9.77 mm,出现在工况 5,该工况的基坑深度最大;基坑开挖过程中围护桩累计水平位移变量均在报警值(±50 mm)范围内。

3.2 周边地表沉降分析

取 K1+720 断面南北两侧 2 个监测点 SDB43-2、NDB28-1 的监测数据进行分析,不同工况下地表沉降变化见图 4。

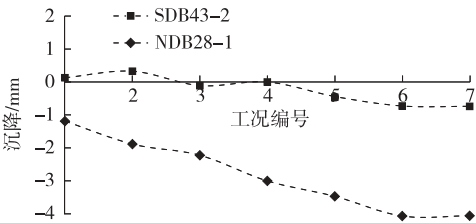


图 4 K1+720 断面基坑周边地表沉降

由图 4 可知:K1+720 断面南北两侧的地表沉降均较小,截至工况 7,南侧地表沉降监测点累计沉降量为 0.65 mm,北侧地表沉降监测点累计沉降量为 3.98 mm;受北侧分流车道上车辆荷载作用,K1+720 断面北侧的地表沉降比南侧大。基坑周边地表沉降均远低于报警值(±35 mm),且现场巡查未发生基坑周边有显著沉陷、开裂或隆起。

### 3.3 坑外地下水位分析

取 K1+720 断面南侧坑外水位监测点 SSW039 的监测数据进行分析,以基坑开挖前的地下水位为初始水位,该测点的水位变化见图 5。

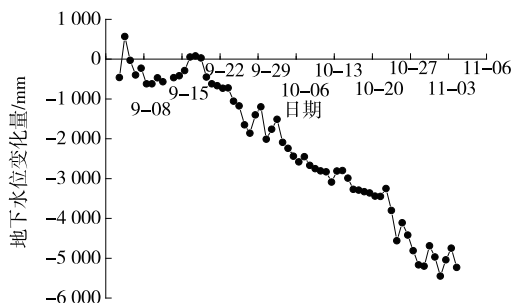


图 5 K1+720 断面坑外地下水位

由图 5 可知:9 月 21—11 月 6 日,K1+720 断面坑外地下水位持续下降。主要原因,一是基坑开挖期间坑内持续降水,导致坑外地下水位持续下降;二是基坑开挖期属于旱季,长时间未降雨,地下水位无法及时得到补充。至 9 月 25 日,坑外地下水位下降量已超出报警值(1 000 mm),且 9 月 28 日坑外地下水位下降幅度达 -1 860 mm,超出日变化量 500 mm/d 的报警值。但总体上地下水位变化较平稳,且未给基坑围护结构及周边环境带来不利影响。

### 3.4 支撑轴力分析

取 K1+720 断面砼支撑南侧监测点 STZ043、第 2 道钢支撑监测点 GZ025-1、第 3 道钢支撑监测点 GZ025-2 的监测数据进行分析,不同工况下支撑轴力变化见图 6。

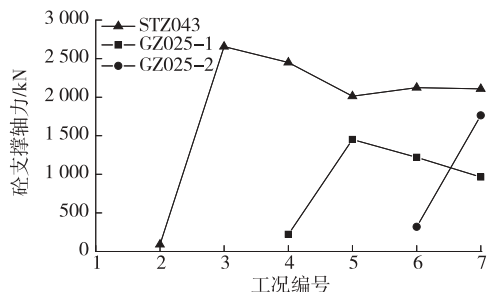


图 6 K1+720 断面支撑轴力

从图 6 可以看出:基坑开挖过程中,随着开挖深度的增大,砼支撑轴力增大,峰值出现在工况 2,为 2 655.20 kN。第 2 道钢支撑架设后(工况 4),第 2 道钢支撑分担了一部分荷载,砼支撑轴力开始减小。到工况 6,由于第 3 道钢支撑的架设,第 2 道钢支撑的轴力开始减少,而砼支撑轴力基本保持不变。基坑支撑轴力均在安全范围内,基坑支撑结构及围护

体系安全可控。另外,支撑的轴力变化与基坑开挖深度、支撑架设数量及支撑间距等有关,施工中应及时架设支撑,严禁超挖、漏撑或少撑等现象,确保基坑安全稳定。

## 4 结论

(1) 基坑开挖后设置支撑之前,水平位移变化较大,截至工况 5,桩体最大水平位移为 -9.77 mm。基坑开挖应遵循先撑后挖的原则,开挖至设计深度后,应及时架设下一道支撑,减少开挖面无支撑暴露时间,确保基坑围护结构的安全稳定。

(2) 基坑开挖期间,周边地表沉降变化较小,远小于报警值( $\pm 35$  mm);受分流车道上车辆荷载作用的影响,基坑北侧的地表沉降比南侧大。

(3) 基坑内降水应按照设计降水方案有序进行,严禁突降、过降。受当地气候的影响,基坑开挖中坑外地下水位下降量局部超出报警值。但总体上水位变化较平稳,未给基坑围护结构及周边环境带来不利影响。

(4) 支撑轴力受基坑开挖深度、支撑数量及间距等影响,开挖深度越大,支撑轴力越大,基坑开挖期间应及时架设支撑,严禁超挖和漏撑。

(5) 公常路中山大学深圳校区段下穿改造工程 K1+700—780 段基坑开挖期间,围护结构及支撑体系均安全稳定,且基坑开挖未给周边环境造成不利影响。

### 参考文献:

- [1] 郭海柱,张庆贺.地铁换乘站近接施工监测与数值模拟分析[J].施工技术,2012,41(13):62—66.
- [2] 宋晓凤,姚爱军,张剑涛,等.深基坑开挖对邻近既有地铁隧道及轨道结构的影响研究[J].施工技术,2018,47(5):122—127.
- [3] 丁勇春,王建华,徐中华,等.上海软土地区地铁车站深基坑的变形特性[J].上海交通大学学报,2008,42(11):1871—1875.
- [4] 魏纲,华鑫欣,虞兴福.杭州某地铁车站深基坑开挖施工监测分析[J].武汉大学学报(工学版),2016,49(6):917—936.
- [5] 张雪婵,龚晓南,尹序源,等.杭州庆春路过江隧道江南工作井监测分析[J].岩土力学,2011,32(增刊):488—494+537.
- [6] 杨有海,王建军,武进广,等.杭州地铁秋涛路车站深基

(下转第 165 页)

在外扩,在YK4+110的1#和6#点位置隧道存在侵限,从图7可看出YK4+112位置明显存在外扩和侵限分界线。二次衬砌台车的长度为6.5 m,隧道出口里程为YK4+125,隧道开挖方向为从大里程到小里程的逆向开挖,该位置正好位于二次衬砌台车不同模的位置,外扩和侵限分界线由不同模间移动二次衬砌台车后调整尺寸所引起。在YK4+085断面,二次衬砌平均外扩3.6 cm,且在其前后5 m范围内2个里程断面切片都存在一定程度二次衬砌侵限,应检查该位置是否存在二次衬砌不足。通过10个断面切片可得拱顶位置的施工质量优于拱脚,隧道后期施工中应严格控制台车拱腰到拱脚位置的尺寸,提高施工质量。

#### 4 结论

(1) 针对隧道光线较差、粉尘大的条件,在施工隧道点云获取方法上采取多分段扫描,有效改善点云质量。为提高拼接精度,采取改进的ICP算法对点云进行拼接,通过合理确定初次迭代的变换矩阵加快迭代速度。

(2) 在具有平纵曲线的隧道设计BIM模型创建中,采用Civil 3D进行隧道中线创建,采用整体式放样建模可减少模型误差的累积和数据冗余,且采取参数化建模,通过轮廓更新修改模型较方便。

(3) 采用同基准三维模型几何偏差提取方法,不仅对隧道的二维设计图纸有更充分的利用,同时能更加全面地检测隧道施工质量,且对施工偏差可进行三维分级化显示,对不同里程断面切片进行二维提取显示,指定偏差区域任意位置进行偏差值定量显示,并据此调整二次衬砌的台车位置,从而提高施工质量。

(4) 基于同基准模型的超欠挖土方量计算、对几何偏差进行空间分布提取建模等问题有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 朱生涛.地面三维激光扫描技术在地形形变监测中的应用研究[D].西安:长安大学,2013.
- [2] JAVIER Roca-Pardinas, RAMON Arguelles-Fraga, FRANCISCO De Asis Lopez, et al. Analysis of the influence of range and angle of incidence of terrestrial laser scanning measurements on tunnel inspection[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2014, 43:133-139.
- [3] 高志国.地面三维激光扫描数据处理及建模研究[D].西安:长安大学,2010.
- [4] 李广云,李明磊,王力,等.地面激光扫描点云数据预处理综述[J].测绘通报,2015(11):1-3.
- [5] 托雷,康志忠,谢远成,等.利用三维点云数据的地铁隧道断面连续截取方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2013,38(2):171-175+185.
- [6] 托雷.基于三维激光扫描数据的地铁隧道变形监测[D].北京:中国地质大学,2012.
- [7] 简晓,童鹏.基于地面激光雷达技术的隧道变形监测方法研究[J].铁道勘察,2011,37(6):19-22.
- [8] 胡琦佳.三维激光扫描技术在隧道工程监测中的应用研究[D].成都:西南交通大学,2013.
- [9] 谢雄耀,卢晓智,田海洋,等.基于地面三维激光扫描技术的隧道全断面变形测量方法[J].岩石力学与工程学报,2013,32(11):2214-2224.
- [10] 方成龙.利用CAD二次开发程序计算超欠挖的研究[J].测绘地理信息,2014,39(1):67-68.
- [11] 许磊,王长进.基于激光点云的隧道超欠挖检测方法研究[J].铁道工程学报,2016,33(12):77-81.
- [12] 王令文,程效军,万程辉.基于三维激光扫描技术的隧道检测技术研究[J].工程勘察,2013,41(7):53-57.
- [13] 李宗平,张永涛,杨钊,等.三维激光扫描技术在隧道变形与断面检测中的应用研究[J].隧道建设,2017,37(3):336-341.

收稿日期:2020-09-26

(上接第100页)

- 坑信息化施工监测分析[J].岩土工程学报,2008,30(10):1550-1554.
- [7] 丁智,王达,虞兴福,等.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,35(增刊2):445-451.
  - [8] 深圳市勘察研究院有限公司.公常路中山大学深圳校区段下穿改造工程岩土工程详细勘察报告[R].深圳:

深圳市勘察研究院有限公司,2018.

- [9] 莫冬华,张耀文,蒋田勇.基于预应力锚索支护的综合管廊深基坑施工监测研究[J].公路与汽运,2019(5):121-124+127.
- [10] 钟玉明,傅鹤林,黄震,等.深基坑工程施工风险评价方法及应用[J].公路与汽运,2019(5):159-165.

收稿日期:2020-09-01