

文章编号:1674-2869(2019)01-0074-05

基坑近接施工安全监测技术及应用研究

王震¹,任高峰^{*1},胡仲春²,张聪瑞¹,周可¹

1. 武汉理工大学资源与环境工程学院,湖北 武汉 430070;

2. 中铁十四局集团有限公司,山东 济南 250014

摘要:依托中铁十四局北京新机场段土建预留基坑工程,利用拉线式光纤 Bragg 光栅位移计对基坑开挖施工过程中边坡稳定性进行实时监测,并利用 ANSYS 软件对基坑开挖支护的全过程进行数值模拟。结果表明:数值模拟结果与实际监测数据规律符合较好;基坑东侧的位移计 11 水平位移最大值达到 14.23 mm,基坑西侧的位移计 12 水平位移最大值为 2.15 mm,基坑东侧的边坡位移值比西侧较大;基于数值模拟结果,在车辆和房屋荷载作用下,基坑周边沉降最大值为 9.23 mm,基坑采用挂网喷混凝土和钢支撑联合支护后,水平位移较支护前减少;光纤 Bragg 光栅传感器用于基坑变形监测是可行的,能够真实地反映出现场的变化情况。

关键词:安全工程;基坑监测;近接施工;光纤 Bragg 光栅传感器;数值模拟

中图分类号:X924.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2019.01.012

Safety Monitoring Technology for Foundation Pit Adjacent Construction and Its Application

WANG Zhen¹, REN Gaofeng^{*1}, HU Zhongchun², ZHANG Congrui¹, ZHOU Ke¹

1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. China Railway Shisiju Group Corporation, Jinan 250014, China

Abstract: Taking a reserved foundation pit engineering of the Beijing New Airport Section undertaken by the China Railway Shisiju Group Corporation as a study case, we monitored the slope stability during the foundation pit excavation using the wire-pull fiber Bragg grating displacement sensor. And the supported processes of foundation during excavation were simulated by ANSYS. The simulation results are in good agreement with the monitoring data. The maximum displacement of the east sensor 11 is 14.23 mm, and that of the west sensor 12 is 2.15 mm. Therefore, the slope displacement ratio of the east side is bigger than that of the west side. According to the simulation results, the maximum settlement around the foundation is 9.23 mm with the effect of load from the vehicles and buildings. Significantly, the horizontal displacement decreased with support of the combined shotcrete and steel. Hence, fiber Bragg grating sensors are available for monitoring the displacement of the foundation pit and the results can reflect the real situation.

Keywords: safety engineering; foundation pit monitoring; adjacent construction; fiber Bragg grating sensor; numerical simulation

近年来,随着现代化进程的推进,高层建筑、桥梁基础、过江隧道、地下通道、地下立交和地铁车站等工程大量涌现,诸如此类的大型工程建设有个共同特征即会涉及到基坑工程施工^[1-2]。然而,

由于这类工程规划已落后于周边建设,基坑工程周边往往有各类建筑物,所以难免会产生各类近接施工情况,近接施工必然会破坏土体原有平衡引起土体的变形,当土体形变过大时,会造成邻近结

收稿日期:2018-10-22

基金项目:国家自然科学基金(51774220);中央高校基本科研业务费专项(185208014)

作者简介:王震,硕士研究生。Email:wzwhutsree@163.com

*通讯作者:任高峰,博士,教授。Email:rgfwhut@163.com

引文格式:王震,任高峰,胡仲春,等.基坑近接施工安全监测技术及应用研究[J].武汉工程大学学报,2019,41(1):74-78.

构和设施的失效或破坏^[3-4]。因此,在深基坑施工过程中,只有进行系统化的监测,才能对基坑工程的安全性有全面的了解,以确保工程的顺利进行^[5]。

基坑监测仪器最早使用的只是皮尺等简单工具,1996年,姚伯金^[6]较早的提出以小脚法测定基坑支护桩倾斜,经各变形点归心改正后得到变形位移值。随着技术的发展,监测仪器不断涌现,对基坑开挖监测实例的应用也有很多,张伟等^[7]采用全站仪进行基坑水平位移监测,并提到了监测基坑水平位移需要注意的问题;施亚霖等^[8]将经纬仪、钢筋计传感器用于监测坡顶位移、围护桩钢筋应力,使得深基坑工程的安全施工有了可靠保障;黄广龙等^[9]将光纤 Bragg 光栅 (fiber bragg grating, FBG) 传感器用于深基坑钢筋混凝土支撑应变监测,得到了基坑开挖时混凝土内支撑全程应变曲线;叶俊能等^[10]采用普通钢筋计和光纤 Bragg 光栅钢筋计对抗拔桩内力和孔隙水压力,验证了光纤 Bragg 光栅钢筋计可剔除温度的影响,应用于内力测试是合理的;刘杰等^[11]结合基坑现场实验,探讨了基于 BOTDR 的分布式光纤传感器应用于基坑深部土体水平位移监测的具体施工工艺;胡龙伟等^[12]提出快速静态 GPS 基坑水平监测技术,实施动态监测;张建坤等^[13]采用 GNSS 技术进行基坑桩顶水平位移监测,并分析了该技术与常规监测方法的差异;陈致富等^[14]将三维激光扫描系统应用于基坑监测,并讨论分析三维激光的技术优势和存在的问题;易致礼等^[15]介绍了精密监测机器人在基坑边坡水平位移监测的使用方法。上述方法中,全站仪监测不具有实时性,GPS 技术、三维激光在基坑监测应用方面处于初期阶段,机器人监测在复杂环境中可行性不高、成本较大,而光纤类传感器具备灵敏度高、抗电磁干扰、测量速度快、适用于恶劣环境等优点,因此课题组利用拉线式光纤 Bragg 光栅位移计对基坑开挖施工过程中边坡稳定性进行实时监测,并利用 ANSYS 软件对基坑开挖支护的全过程进行数值模拟,得出的结论可对基坑变形监测具有一定的参考价值。

1 工程概况

新建城际铁路联络线北京新机场段土建预留工程 CJLLXTJYL-SG 标段位于北京市大兴区和河北省廊坊市境内,城际铁路联络线自北向南。基坑采用明挖法施工,基坑尺寸是 428 m×18 m×19 m,两边基坑围护桩采用直径 1 m@1.4 m 钻孔灌注桩,桩长 22 m,两壁采用钢筋网喷 C₃₀ 混凝土支护,基

坑分 3 层开挖,每开挖一层架设一道 φ609 钢支撑。基坑东侧坡顶是一条 8 m 宽的硬化路面,路面上经常有大型施工机械、吊机等通过。基坑 DK42+850 东侧近接基坑钢筋加工厂,基坑 DK43+328 处西侧近接另一标段的混凝土加工厂。此外,基坑两侧还有员工宿舍、电线杆、地下管线等。

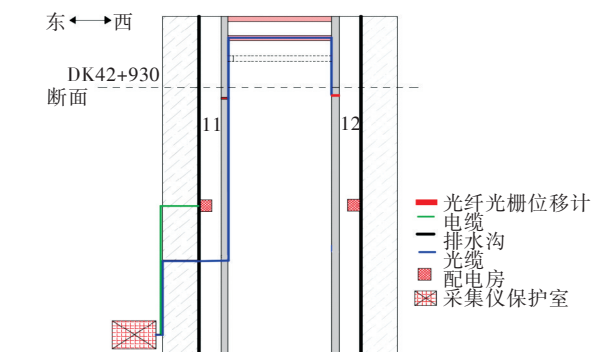


图1 监控平面布置图

Fig. 1 Schematic diagram of monitoring layout

2 传感器工程应用

课题组设计研发了一款拉线式光纤 Bragg 光栅位移传感器,采用工业应用级别的设计,整体结构为高强度钢制造,确保其强度以适应复杂的监测环境;该传感器采用双位移光栅设计,实现位移的正负值测量,双光栅在测量时实现温度互补补偿,主要结构包括基座、弹簧、带楔形凸起拉杆、拉线环、卡扣、尾纤保护、2 个等强度悬臂梁和 2 个 FBG。拉线式光纤 Bragg 光栅位移计测量边坡整体稳定,其关键是在坡顶选取一个相对不动点,然后通过钢丝绳连接测量边坡的位移变化,传感器如图 2 所示,具体参数见表 1。

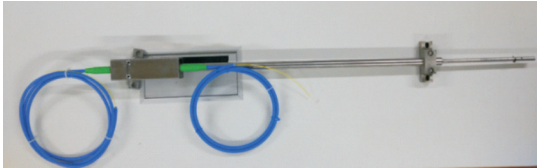


图2 拉线式光纤 Bragg 光栅位移传感器

Fig. 2 Schematic diagram of wire-pull fiber Bragg grating displacement sensor

表 1 拉线式光纤 Bragg 光栅位移传感器参数

Tab. 1 Parameters of wire-pull Bragg fiber grating displacement sensor

参数类型	参数值
量程 / mm	100
精度 (满量程) / %	0.1
分辨率 (满量程) / %	0.05
光纤中心波长 / nm	1 525~1 565
反射率 / %	≥90
外形直径 / mm	32
长度 / mm	700
连接方式	熔接或 FC/APC 插接
安装方式	螺钉固定

根据现场情况,北区 DK42+930 断面近接工况较多,道路主要通行重型机械,机械通过时该处震动明显,对边坡加载大,其危险性较高,因此,此次监测位置选定在断面 DK42+930 附近,在该断面处,基坑两侧圈梁处分别安装一个拉线式光纤 Bragg 光栅位移计监测边坡整体稳定性,位移计监测剖面布置如图 3 所示。

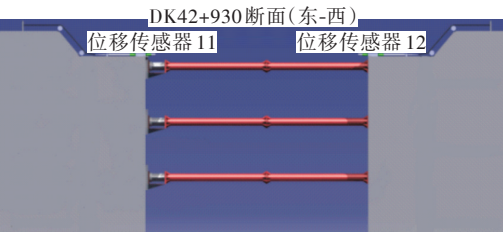


图 3 监测剖面布置图

Fig. 3 Schematic diagram of monitoring layout

3 监测数据分析

位移计安装调试工作在 2017 年 11 月 3 日完成,随后即开始自动化监测工作,并将数据传输至阿里云数据库中,断面开挖至完成钢支撑架设期间一直处于在线监测状态。2017 年 11 月 3 日至 2018 年 1 月 8 日期间的位移变化趋势如图 4 所示。其中,位移值为正表示边坡向基坑方向移动,主要是由基坑开挖所造成;位移值为负表示边坡向远离基坑方向移动,主要是基坑联合支护所造成。

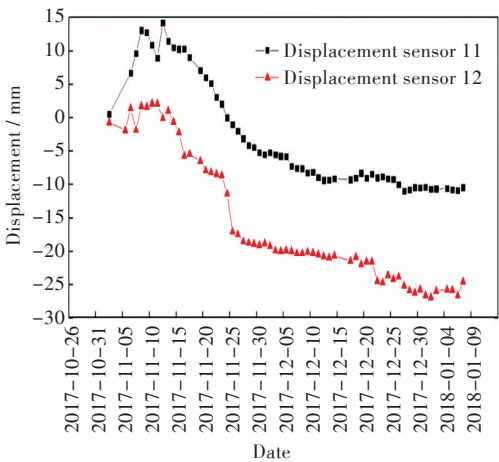


图 4 断面处位移变化趋势

Fig. 4 Displacement trend of section

如图 4 所示,监测数据(位移计 11 和 12)前期处于上升阶段,且位移值为正,说明两侧边坡是向基坑方向移动的,在 2017 年 11 月 12 日达到最大值,主要原因是在此期间,基坑开挖到该断面附近,在该断面处的地质主要为粉质黏土和沙土,地下水丰富,在开挖时,坑壁流土现象严重;2017 年

11 月 12 日以后,断面处开始进行钢支撑架设,位移变化开始变小;2017 年 11 月 25 日,系统监测到位移计 12 变化量达到 8 mm 左右,西侧边坡报警,前往现场查看后发现西侧边坡顶部由于隔壁工程排水导致积水严重,积水下渗会破坏原有平衡状态,因此该处边坡位移变大。整体来看,基坑东侧的边坡位移值比西侧大,最大值达到了 14.23 mm,主要原因是东侧在硬化路面,大型机械及人员的走动及震动造成边坡顶部荷载加大。

4 数值模拟

4.1 模型建立

考虑基坑开挖的边界效应,建立三维立体模型长宽深为 1 284 m×90 m×57 m 土体单元选取三维实体单元进行模拟,钢支撑采用 beam 单元,结构的桩支护部分进行简化,将土层的力学特性和桩材料的力学特性按体积比例进行力学等效,开挖过程中挂网喷射混凝土部分进行等效,等效成壳单元进行模拟,采用自由网格划分网格,模型共有单元 165 104 个,节点 177 450 个,土体参数如表 2 所示。

表 2 土体参数表
Tab. 2 Soil parameters

土体	厚度 / m	弹性模量 / MPa	泊松比	密度 / (g/cm ³)
杂填土	6.7	30	0.30	1.70
粉土	1.1	25	0.26	1.96
粉质黏土	3.4	20	0.33	1.95
粉质沙土	4.0	65	0.28	2.00
细沙	1.1	70	0.30	2.12
粉质黏土	6.9	40	0.33	2.01
黏土	5.5	27	0.31	1.96

4.2 结果分析

基坑开挖支护计算结果如图 5 所示,其中开挖前主要分析竖直方向(y 方向)的位移,开挖和支护时主要分析水平方向(x 方向)的位移变化。根据模拟结果显示,在车辆载荷和房屋荷载作用下,周边沉降明显,最大值达到了 9.23 mm;基坑开挖后采用挂网喷混凝土和钢支撑联合支护,水平位移较支护前相对减少,表明该联合支护效果良好;基坑东侧的水平位移最大值为 16.24 mm,实测结果为 14.23 mm,基坑西侧的水平位移最小值为 -29.44 mm,实测结果为 -26.83 mm,这表明数值模拟结果与实际监测数据规律较符合。

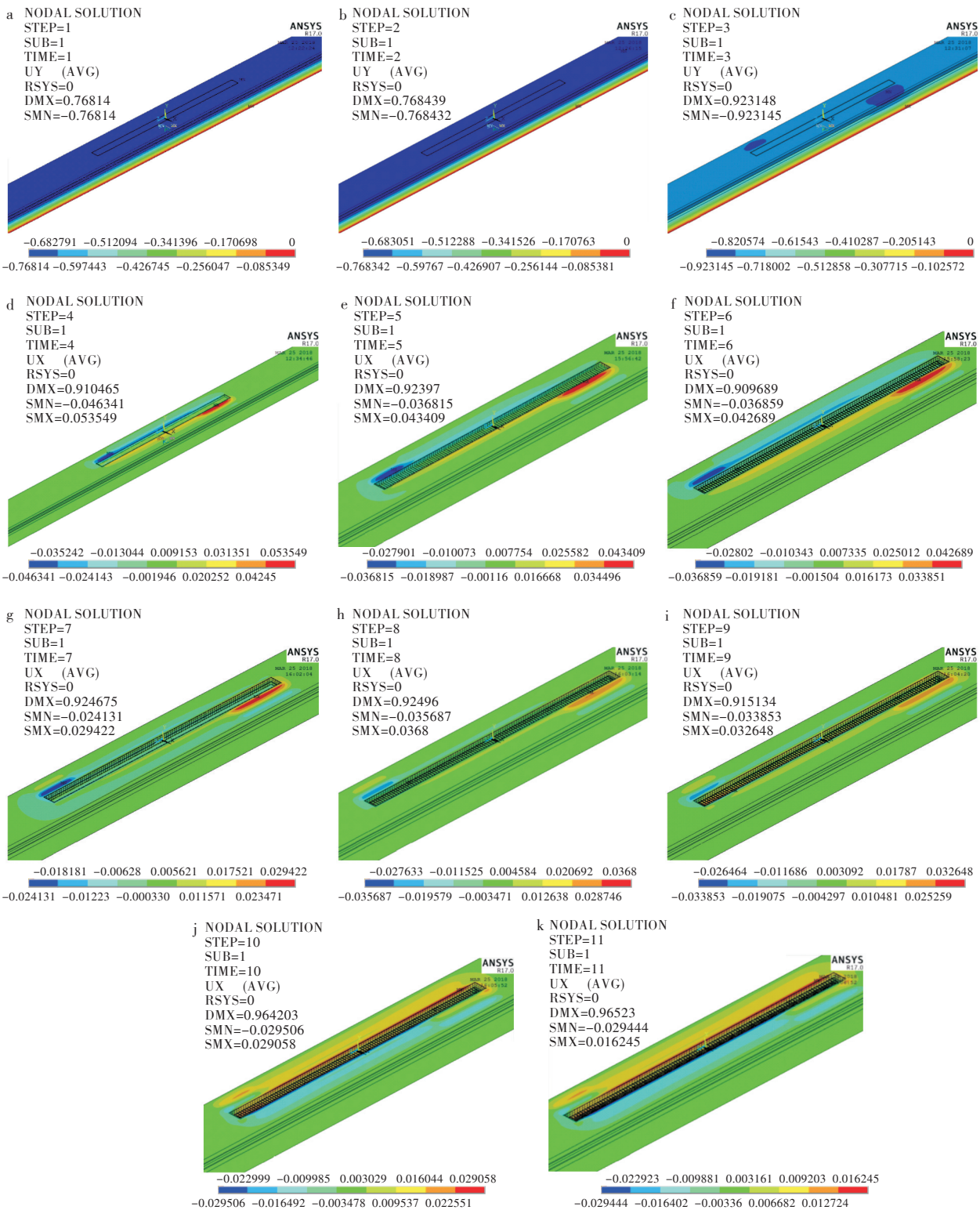


图5 基坑开挖支护过程计算结果云图:(a)重力作用下竖直沉降,(b)打桩后竖直沉降,(c)车辆和房屋荷载施加后竖直位移,(d)第一层开挖后水平方向位移,(e)第一层挂网喷混凝土后水平方向位移,(f)第二层开挖后水平方向位移,(g)第二层挂网喷混凝土后水平方向位移,(h)第一道钢支撑支护后水平方向位移,(i)第三层开挖后水平方向位移,(j)第三层挂网喷混凝土后水平方向位移,(k)第二道钢支撑支护后水平方向位移

Fig. 5 Cloud chart of calculation results of foundation pit excavation and support:(a)vertical settlement under gravity, (b)vertical settlement after piling, (c)vertical displacement under vehicle and buildings load, (d)horizontal displacement after the first layer excavation, (e)horizontal displacement after the first layer of wire mesh concrete, (f)horizontal displacement after the second layer excavation, (g)horizontal displacement after the second layer of wire mesh concrete, (h)horizontal displacement after the first steel support, (i)horizontal displacement after the third layer excavation, (j)horizontal displacement of the third layer with wire mesh concrete, (k)horizontal displacement with the second steel support

5 结 语

1)从2017年11月3日至2018年1月8日的位移计实测数据得知,基坑东侧的位移计11水平位移最大值达到了14.23 mm,最小值为-10.91 mm,基坑西侧的位移计12水平位移最大值为2.15 mm,最小值为-26.83 mm,整体来看,基坑东侧的边坡位移值比西侧较大。

2)课题组设计的拉线式光纤 Bragg 光栅位移计,经过理论验证、标定测试、现场应用表明该种传感器线性测量和温度补偿性能良好,稳定性、可靠性和精度能满足基坑监测的需求。

参考文献

[1] 徐中华,王卫东. 深基坑变形控制指标研究[J]. 地下空间与工程学报,2010,6(3):619-626.

[2] 代祥,周春梅. 钢支撑对基坑的影响分析——以武汉地铁2号线为例[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(3):259-266.

[3] 王启云,谷淡平,张家生,等. 临近深基坑的高边坡稳定性动态监测及险情分析[J]. 安全与环境学报,2011,11(2):166-171.

[4] 潘世强,邓俊. 富水砂卵石层深基坑近接建筑物安全施工控制技术研究[J]. 公路工程,2018,43(3):173-178.

[5] 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.

[6] 姚伯金. 基坑监测的一种施测方法[J]. 现代测绘,1996(1):31-33.

[7] 张伟,向东,于中伟,等. 基于全站仪的基坑水平位移监测及结果分析[J]. 地矿测绘,2009,25(2):4-6.

[8] 施亚霖,杨顺安. 安全监测在深基坑工程中的应用[J]. 安全与环境学报,2003,3(2):32-35.

[9] 黄广龙,张枫,徐洪钟,等. FBG传感器在深基坑支撑应变监测中的应用[J]. 岩土工程学报,2008(增刊1):436-440.

[10] 叶俊能,刘干斌,贾波. 软土基坑开挖后抗拔桩受力特性监测研究[J]. 岩土工程学报,2013,35(增刊2):1228-1231.

[11] 刘杰,施斌,张丹,等. 基于BOTDR的基坑变形分布式监测实验研究[J]. 岩土力学,2006,27(7):1224-1228.

[12] 胡龙伟,张英杰,张洪源,等. 快速静态GPS基坑水平位移安全性监测技术[J]. 施工技术,2014,43(16):56-58.

[13] 张建坤,王智,谷冰峰,等. GNSS技术在基坑水平位移监测中的应用研究[J]. 工程勘察,2016,44(10):61-65.

[14] 陈致富,陈德立,杨建学. 三维激光扫描技术在基坑变形监测中的应用[J]. 岩土工程学报,2012,34(增刊1):557-559.

[15] 易致礼,张维,李宝安. 徕卡TM30精密监测机器人在基坑边坡水平位移监测中的应用[J]. 测绘通报,2014(增刊2):19-22.

本文编辑:苗 变