

南京下关软土深基坑施工引起的变形及控制研究

赵翔¹, 刘祖春², 王道华²

(1. 江苏省有色金属华东地质勘查局八〇七队, 江苏 南京 210007; 2. 南京勘察工程有限公司, 江苏 南京 210007)

摘要:及时有效地预测基坑施工所引起的变形和对周边环境的影响,总结基坑变形控制技术、措施并验证其实施效果,对于软土地区深基坑的设计与施工具有重要指导意义。结合南京下关大唐南京发电厂生产科研及调度指挥综合楼基坑项目的工程实践,采用理论分析、数值模拟和施工监测等方法,对软土地区深基坑开挖引起的变形及变形控制方法进行了研究。

关键词:软土; 深基坑; 数值模拟; 变形控制

中图分类号: TU441⁺.6; TU473.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2017)04-0061-05

Study on Deformation Caused by Deep Foundation Pit Construction in Soft Soil of Nanjing Xiaguan District and the Control Method/ZHAO Xiang¹, LIU Zu-chun², WANG Dao-hua² (1. Jiangsu East China Mineral Exploration and Development Bureau 807 Team, Nanjing Jiangsu 210007, China; 2. Nanjing Exploration Engineering Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210007, China)

Abstract: With the increase of the urban building density, the building groups in soft soil area are also increase, the foundation pit construction is restricted by the strict environments. Timely and effectively predicting the deformation caused by foundation pit construction and the impact on the surrounding environment, summarizing foundation pit deformation control technologies and the measures and verifying the implementation effects have important guiding significance for the design and construction of deep foundation pit in soft soil areas. Combined with the engineering practice of a foundation pit project in Nanjing, by means of theoretical analysis, numerical simulation and construction monitoring, the deformation caused by deep foundation pit excavation in soft soil area and the control methods are studied.

Key words: soft soil; deep foundation pit; numerical simulation; deformation control

0 引言

随着城市建筑密度的增加,软土地区建筑群也日益增多,基坑施工受到严格的环境制约^[1]。及时有效地预测基坑施工所引起的变形和对周边环境的影响^[2-3],总结基坑变形控制技术、措施并验证其实施效果,对于软土地区深基坑的设计与施工具有重要指导意义。

南京下关,濒江而居,自古为江南漕运、贡运、军运之中心,是华东地区重要的物资集散地,素有“金陵北大门”之称。根据南京市把滨江地带打造成“南京浦东”的要求,下关地区的各大建筑企业进驻,带来了大量的配套地下工程项目。河漫滩地貌的滨江带基坑支护及开挖过程中的变形如何进行控制,如何确保建(构)筑物的安全及周边环境不受影响。为此,本文以下关中山码头附近的大唐电厂项目为依托,对软土地区深大型基坑稳定性及支护效

果进行分析研究。

1 工程概况

大唐南京发电厂生产科研及调度指挥综合楼工程位于中山北路和唐山路交会处西南侧(图1)。主楼25层(局部24层)、裙房2~4层,设有3层地下室,地下室开挖深度16.4 m,电梯坑处深度20.6 m。主楼、裙房均为框架结构,最大柱网8.0 m × 38.7



图1 深基坑周边环境图

收稿日期:2016-09-19; 修回日期:2016-12-14

作者简介:赵翔,男,汉族,1981年生,硕士,从事基坑设计、基坑监测、地基处理方面的工作,江苏省南京市秦淮区石门坎102号华鑫大厦12楼,531241110@qq.com。

m,柱下最大轴力为 19700 kN,设计拟采用钻孔嵌岩灌注桩基础方案。室外设计 ±0.00 标高为 9.40 m。

超深基坑周边环境及地下管线情况叙述如下。

北侧:中山北路,侧壁距路边约 23 m。

南侧:准备拆迁的 2 层民宅数幢,侧壁距民宅最近约 4 m;另有一幢 5 层民宅,侧壁距该民宅 19 m。

西北侧:公交 31、34 路汽车站及 2 层站房,基坑侧壁距站房约 27 m。

西南侧:中国人民解放军七三八五七部队营区施工区(主体已竣工)。

东侧:唐山路,基坑侧壁距路边约 7 m。

基坑北、东侧的道路下均有地下管线(燃气管道、通讯光缆、自来水)分布。

综上所述,超深基坑工程周边环境复杂,需保护的對象多,如发生基坑环境效应问题,其损失、影响都无法估计。

基坑支护结构设计采用的土层参数见表 1。

基坑围护结构采用 Ø1100@1300 钻孔灌注桩,嵌固深度 21~22 m。其中南侧桩长间隔增加 2 m,

表 1 基坑工程支护结构设计土层参数表

土层名称	重度 $\gamma/$ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	固结快剪		渗透系数/ ($10^{-6}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	垂直 K_V	水平 K_H
① ₁ 杂填土	19.0	5.0	15.0	500	500
① ₂ 素填土	18.8	15.1	12.3	20	20
② ₁ 粉质粘土	19.6	22.1	14.4	2.18	0.77
② ₂ 淤泥质粉质粘土	18.1	13.1	13.7	3	13.9
② ₃ 淤泥质粉质粘土	18.3	12.4	14.5	5	6.18
② ₄ 粉质粘土	18.5	14.5	15.4	0.21	2.79

注:c、 φ 指标为标准值,其它为平均值。

加长桩嵌固深度 23~24 m。桩身主筋为 24Ø25 三级钢。采用单排 Ø650@900 三轴水泥土深层搅拌桩作止水帷幕,桩长 24.0 m。支护结构平面布置详见图 2。采用 3 道混凝土内支撑,中心标高分别为 -1.95 m、-8.95 m、-12.95 m;由于基坑周边环境复杂,仅唐山路与中山北路有出入口,且基坑深度较大,因此,在第一道支撑位置设置了 L 型栈桥,确保了整个基坑施工的高效性^[4]。

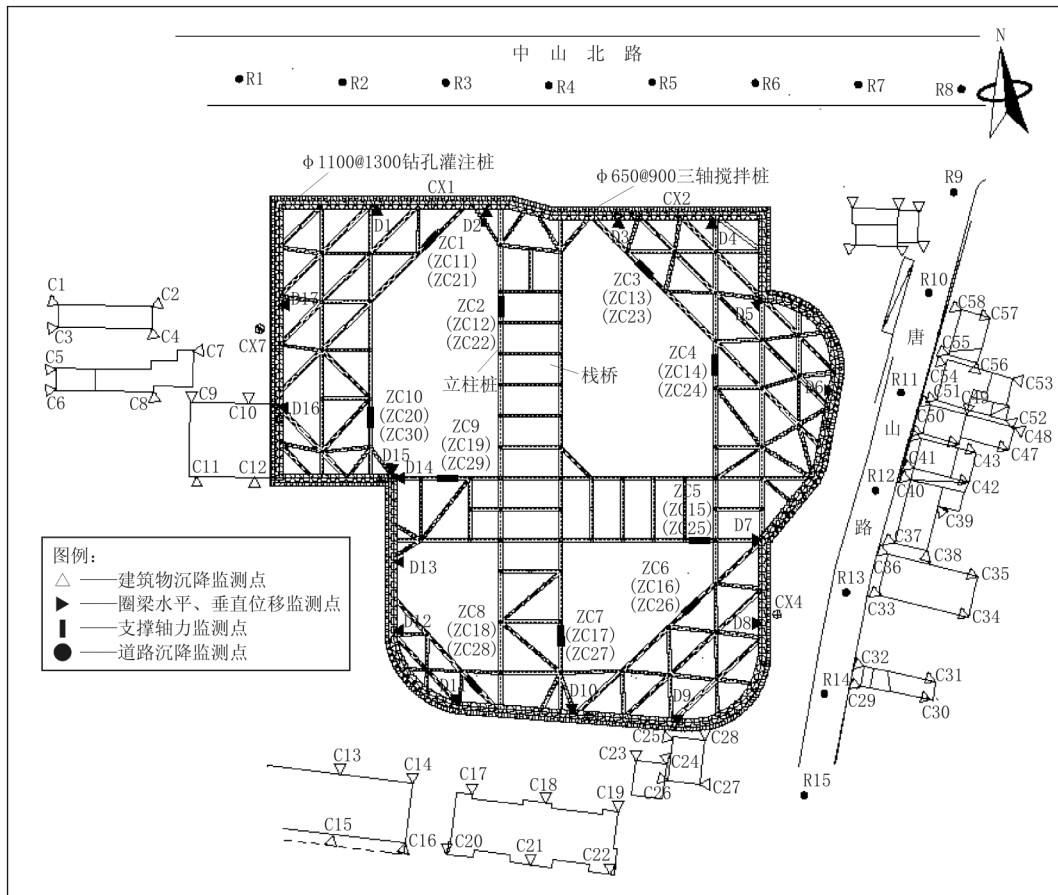


图 2 基坑支护及监测点平面布置图

在勘察深度内未出现承压水层,且超深基坑深度范围主要为粉质粘土、淤泥质粉质粘土,透水性较弱。因此,在超深基坑内每隔 25 m 设置一个疏干井,计 14 口。

2 数值模拟验证^[5]

由于超深基坑开挖区域地层主要为淤泥质粉质粘土,且超深基坑周围情况复杂,分布有建筑物和道路。开挖作业可能会引起超深基坑本身和周边结构物较大变形。因此,针对该超深基坑采用有限元方法进行分析,以得到复杂条件下的变形情况,对复杂条件下的超深基坑的设计进行论证。

本文采用 Plaxis 岩土分析软件对该超深基坑建立有限元分析模型。由于该超深基坑长和宽的尺寸都很大,满足平面应变的条件,因此本有限元模型按照平面应变条件建立。按照最危险的原则,计算选取的是该超深基坑的南北方向剖面,其中基坑南面分布有建筑物,而基坑北面为中山北路。模拟结果如图 3、图 4(开挖至坑底工况)。

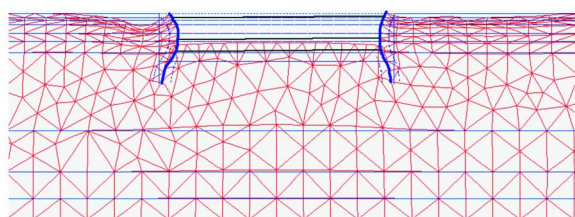


图 3 整体网格变形图

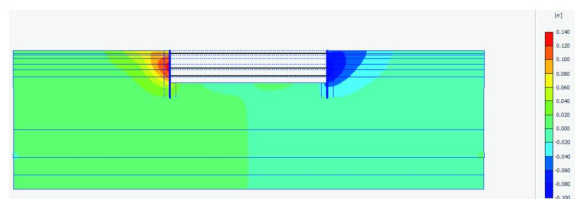


图 4 水平位移云图

图 4 为两侧墙体在各开挖阶段的水平位移沿深度分布的趋势。支护体水平位移沿深度呈抛物线形状分布,在支护桩底部水平位移已经很小,说明钻孔灌注桩的深度达到要求,不会由于土体卸载作用而发生整体平移影响基坑的安全性。南侧的地下支护桩水平位移略大于北侧,这主要是由于南侧的民宅荷载要大于北侧的道路荷载,且民宅距超深基坑的距离要小于道路距超深基坑的距离。随着开挖的进行,支护结构位移平稳增加,但并未出现突变的现象,说明支护结构的安全性较高,围护功能好。

图 5 为圈梁水平位移随开挖深度的变化规律,可以看出,圈梁水平位移随着开挖深度基本呈线性增长,当达到开挖深度时,水平位移值均 < 40 mm。

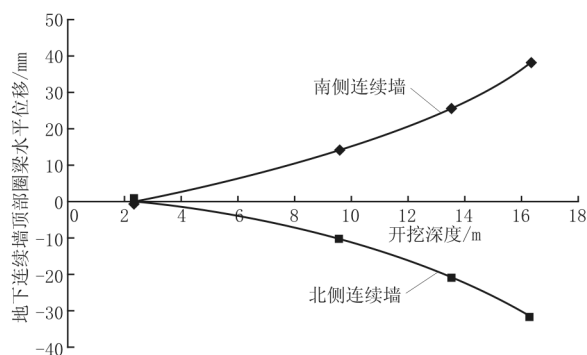


图 5 圈梁水平位移随开挖深度的变化图

图 6 为 3 道支撑的轴力随开挖深度变化的规律。由图 6 可见,在 3 道支撑当中,第二道支撑处于基坑开挖深度的中部,这一范围内基坑的变形趋势最大,因此其轴力也相应最大。第三道支撑轴力次之,第一道支撑轴力最小。基坑开挖完成时,3 道支撑的轴力均达到最大值,且均小于报警值(分别为 9657、11656 和 10529 kN)^[6]。

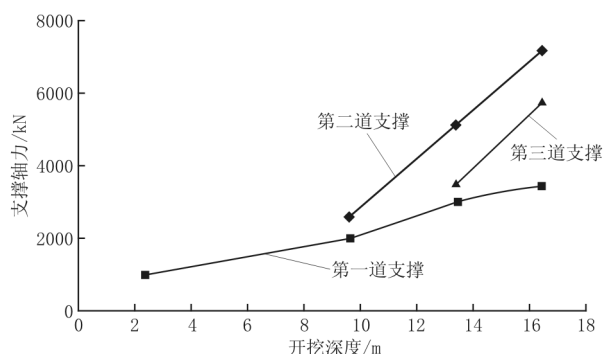


图 6 支撑轴力随开挖深度变化图

图 7 为超深基坑的竖向位移云图,从图 7 可以看出,最大沉降出现在民宅处。随着超深基坑的开挖,沉降量迅速累计。至开挖完毕时,民宅累计沉降大约 100 mm。因此在进行该超深基坑开挖时,应重点对周边沉降进行观测,并提前做好补强处理措施^[7-8]。

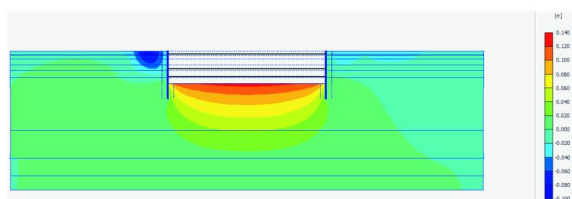


图 7 超深基坑竖向位移云图

3 风险预控措施

3.1 对敏感环境保护措施^[9-10]

超深基坑开挖前,采取以下预控措施。

(1)针对南侧有数幢2层民宅,基坑侧壁距民宅最近约4 m,民楼邻近深基坑,须严格控制该区段土体由深基坑施工引起的变形——地面沉降、水平位移,因此采用了2~3排注浆孔进行预加固,其中最近一排孔边缘距深层搅拌桩外边缘15 cm。孔间距0.5 m,梅花型布置,深度10 m。

(2)针对西北侧公交31、34路汽车站及2层站房位置,采用双排树根桩+盖板进行变形预控,树根桩 $\varnothing 300@500$,排距3.0 m,顶部设置20 cm厚盖板。

3.2 施工变形控制措施^[11]

施工包括支护结构施工、降水井施工、开挖、换撑与支撑拆除等,科学、合理的施工有助于变形的控制,否则会加速变形的发生。

开挖阶段,环境变形量迅速递增,是整个施工的关键。整个开挖过程遵循时空效应原理,制定了切实可行的施工方案,内支撑设置了十字型对撑加4个角支撑的形式,以控制超深基坑的变形;在第一层支撑梁上设置了栈桥,确保渣土车能从自然地面经支撑梁到操作平台,在操作平台上可同时从4个方向进行土方开挖外运,加快了开挖速度,解决了土方外运的困难。

4 现场测试结果及分析^[12-13]

监测工作贯穿整个地下室支护及地下结构施工至 ± 0.00 阶段,监测点布置参见图2。

4.1 道路沉降结果分析

整个施工过程时间较长,开挖过程中基坑长时间暴露,封底较慢;地下水的流失也导致了道路沉降;另外基坑开挖过程中大部分立柱上浮,说明坑底

存在隆起现象,也是道路沉降的原因之一。地下室主体结构施工过程中,道路沉降逐渐趋于稳定。

最后一次监测数据显示,沉降点除R9未超报警外,其它沉降点累计沉降量均超报警值,最大累计沉降量为141.36 mm(R20)。

4.2 建筑物沉降结果分析

本工程基坑影响范围内的民宅均采用天然地基,基坑开挖后对其影响较大。南侧建筑物最大累计沉降量为145.68 mm(C15),南侧5层楼差异沉降最大为1.9‰(C15、C18),地下室差异沉降最大为2.4‰(C49、C50)。导致其建筑物沉降的原因有:土体的挖除破坏了原有的平衡状态,桩体向基坑内位移,必然导致桩后土体应力释放,土体取得新的平衡,影响周边土体产生从而地面沉降;土体工程性质较差,土层孔隙比大,压缩性及灵敏度较高,导致该土体受到荷载(建筑物)压缩后土体蠕变,导致建筑物出现沉降;另外该土层渗透性差导致其土体重新固结时间较长;水位的下降也是影响建筑物下降的原因之一。

为此,采取以下措施:混凝土垫层下铺设30 cm厚碎石垫层;混凝土垫层厚度由10 cm加厚至15 cm。

4.3 支撑轴力结果分析

从图8~10可以看出,受力最大的为二层支撑,符合支护受力特点。随着土方开挖加深支撑轴力逐渐增大,基坑施工过程中每层支撑轴力最大值均没有超过设计报警值。底板施工结束后支撑轴力趋于平稳,过程中受温度影响轴力曲线呈“锯齿”状。

以一层支撑轴力为例,一层支撑轴力在二层支撑施工至底板施工结束期间,未出现轴力突变情况,受荷载、温度影响曲线呈上下波动状,最大轴力为6000 kN左右。当进行第三层、第二层支撑拆除,一层轴力有所增加,在整个基坑施工过程中一层支撑最大轴力为8238.98 kN(ZC10)。

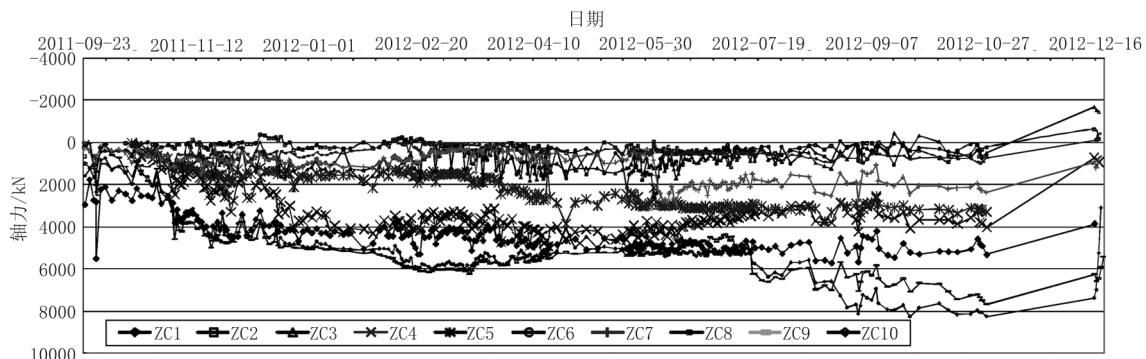


图8 第一层支撑轴力-时间曲线图

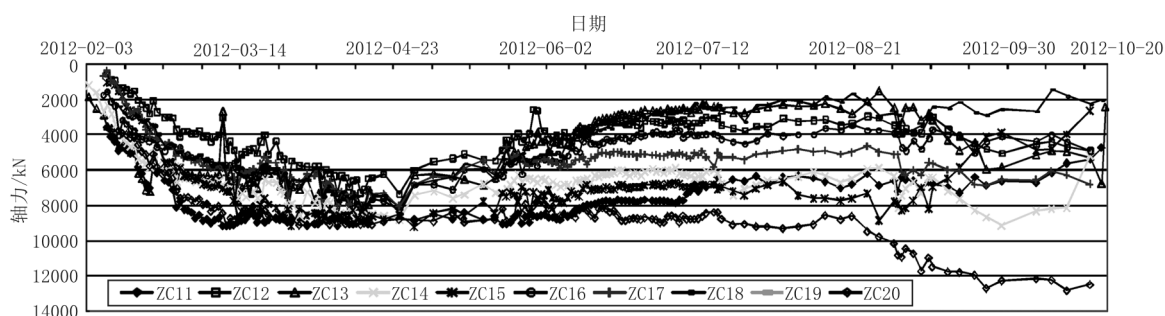


图9 第二层支撑轴力-时间曲线图

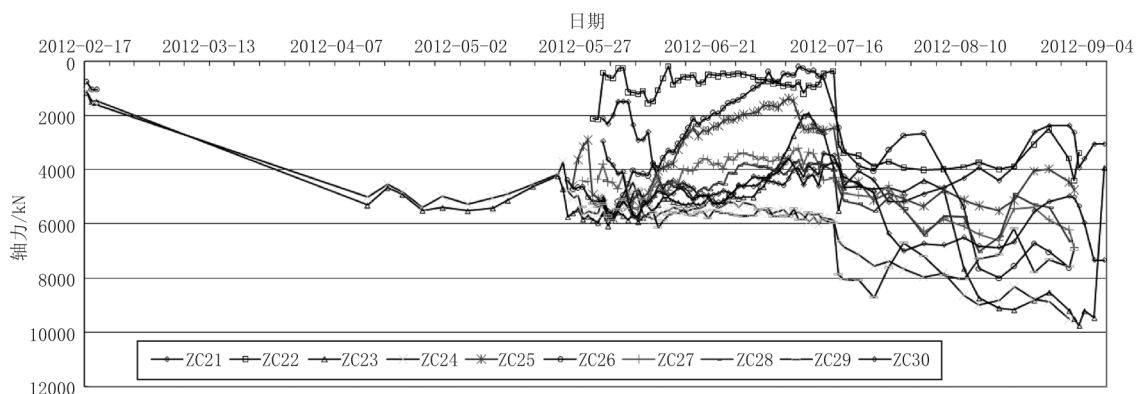


图10 第三层支撑轴力-时间曲线图

5 结论

(1)深基坑工程变形和受力的控制总体上达到了设计的要求,支护结构有效地起到了挡土止水的作用。施工过程中,在监测数据的基础上,采取了有针对性的地基加固措施,超深基坑开挖施工未对周边产生破坏性的影响。

(2)受力最大的为二层支撑,符合支护受力特点。随着土方开挖加深支撑轴力逐渐增大,基坑施工过程中每层支撑轴力最大值均没有超过设计报警值。

(3)在深基坑施工过程中,施工单位要坚持日常巡视的制度,以便及时发现问题,并与监测单位密切配合协作。即使已对周边地层进行了加固,但由于工程地质条件的复杂性,在超深基坑开挖时,仍可能对敏感环境产生不利影响。

(4)充分发挥基坑安全监测在类似基坑工程中的指导作用。基坑监测能够全面反映基坑安全状况,最大限度的保障工程施工安全,减免不必要的经济损失。施工过程中,各参建单位应继续保持对实行信息化施工的高度重视,特别需要强调监测工程的指导意义,在施工流程安排、施工工艺实施、施工变更等过程中,均应参考监测数据。

参考文献:

- [1] 中国土木工程学会土力学及岩土工程学会. 深基坑支护技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 郝根荣. 狭小场地、敏感环境下的深基坑工程施工技术[J]. 建筑施工, 2008, 30(10): 547-553.
- [3] 徐中华, 王建华, 王卫东. 软土地区采用灌注桩挡土的深基坑工程变形性状研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(5): 1362-1366.
- [4] 王晚中, 李为民, 温文富. 苏州某软土深基坑支护设计[J]. 山西建筑, 2011, 37(12).
- [5] 常林越, 沈健, 徐中华. 敏感环境下深基坑的设计与三维数值分析[J]. 铁道工程学报, 2011, 158(11): 52-58.
- [6] 刘志峰. 深基坑支护结构的时空效应研究[J]. 吉林水利, 2008, (6): 29-32.
- [7] 陈华明. 软土地区深基坑管涌事故原因分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(2): 67-69.
- [8] 钟建成. 浅述深基坑工程的特点及其支护技术[J]. 资源环境与工程, 2012(1): 33-35, 39.
- [9] 侯学渊, 陈永福. 深基坑开挖引起周围地基土沉降的计算[J]. 岩土工程师, 1989, 1(1): 3-13.
- [10] 刘建航, 刘国彬, 范益群. 软土基坑工程中时空效应理论与实践(下)[J]. 地下工程与隧道, 1999, (4): 10-14.
- [11] 刘翔, 章昕, 赵翔, 等. 基坑施工阶段性变形分析及预测[J]. 建筑科学, 2007, 23(11): 89-93.
- [12] 赵翔, 丁全海. 软土地区深基坑工程支护结构及地表变形分析[J]. 中国科技论文在线, 2009, 2(2): 187-191.
- [13] 刘翔, 张晨, 赵翔. 由渗流引发的某软土深基坑事故原因分析[J]. 施工技术, 2007, 36(9): 72-74.