

减少软土深基坑周边环境初始位移的方法探讨

罗成恒, 魏建华

(上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 上海 200070)

摘要: 通过上海及周边地区众多的工程实例, 从工程桩、围护桩、内支撑、坑内加固和隔离桩等多方面出发, 系统总结了减少软土深基坑周边环境初始位移的方法, 可供类似工程参考。

关键词: 坑内加固; 隔离桩; 槽壁加固; 人工造浆; 沉桩流程

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0049-05

作者简介: 罗成恒(1978-), 男, 湖南衡阳人, 工学硕士, 从事岩土工程设计咨询工作。E-mail: Luo_ch@163.com。

Method for decreasing initial displacement of surrounding environment of deep excavations in soft soils

LUO Cheng-heng, WEI Jian-hua

(Shanghai Geotechnical Investigations & Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: Through many engineering practices in Shanghai and the surrounding area, considering many aspects, such as engineering pile, retaining pile, inner support, soil reinforcement and isolation pile and so on, the methods for decreasing the initial displacement of surrounding environment of deep excavations in soft soil are summarized. It may provide a reference for similar projects.

Key words: excavation reinforcement; partition wall; reinforcement of tank wall; artificial pulp; piling process

0 引言

随着城市建设规模的不断扩大, 建筑深基坑工程的面积和开挖深度越来越大, 距离保护对象越来越近, 这就要求基坑支护结构除满足自身强度要求外, 还需满足变形要求, 有时变形控制往往起决定因素。大量文献已对减少软土深基坑开挖对周边环境的影响进行了系统、深入的研究, 主要方法有增加支护结构刚度、对坑内土体改良加固、按照时空效应规律进行土方开挖和支撑架设、对临近基坑的建筑物进行超前加固、基坑外循踪注浆等。

以上海为代表的长三角软土地区大量的工程实践表明, 工程桩、导墙、地下连续墙、坑内加固、压顶梁、第一道支撑等前期工程活动对周边环境的影响较大, 尤其对地表土层的扰动较大。往往出现这样的情况, 基坑土方还未开挖, 基坑周边地下管线和建筑物的沉降就已经发生, 而且沉降量不容忽视, 有的甚至能达到报警值的30%以上。

本文总结了笔者多年来的工程实践经验, 简述了减少软土深基坑周边环境初始位移的工程措施, 可供类似工程借鉴和参考。

1 优化土体加固设计和施工方案

在软土地区, 为提高坑内被动区土体强度, 减少基坑变形量, 通常会在基坑长边的中部、阳角或者临近保护对象区域设置坑内土体加固, 具体加固方法有双轴搅拌桩、三轴搅拌桩、高压旋喷桩或者压密注浆等。相对而言, 三轴搅拌桩和压密注浆对周边环境影响最小, 双轴搅拌桩较大, 高压旋喷桩最大。高压旋喷又分为单管、双管和三管法, 单管和二重管工艺较成熟, 质量较易控制, 但挤土量相对较大; 三重管理论上比二重管要好, 但对施工的要求很高, 挤土量相对较小。

另一方面, 无论采用何种方法进行土体加固, 都需先对原状土进行破坏、改良, 由于软土的高灵敏性和触变性, 施工期间土体强度实际上是降低的, 经过一段时间的凝固后土体强度才逐步恢复并提高。因此, 大面积坑底加固宜分段跳仓施工, 且宜远离基坑围护体系和保护对象方向施工。

工程实例 1: 苏州工业园区某已建地铁车站南北两侧均为待建超高层项目, 基坑挖深均超过25 m, 采用两墙合一的地下连续墙结合5道钢筋砼内支撑进行

围护，基坑边线距离地铁车站约10 m。为保护车站，设计要求对车站和高层之间的留土全部采用高压旋喷桩加固。施工初期采用两重管高压旋喷，由于旋喷压力较难控制，地铁车站最大水平位移超过6 mm/d。后经优化和调整，紧贴地铁车站外墙和拟建工程地下连续墙采用三重管高压旋喷，并通过信息化监测实时调整旋喷压力，其余区域全部改为三轴水泥土搅拌桩加固，土体加固结束后地铁车站外墙侧向位移普遍不超过8 mm。

工程实例 2：上海普陀区曹杨路某商办楼项目，地下三层，基坑挖深约14 m，基坑围护采用地下连续墙结合3道砼内支撑。基坑北侧10 m左右有成片的6F居民楼（天然地基），该侧采用三轴搅拌桩裙边满堂加固。坑底加固施工第一天，平行于地下连续墙边线施工长度约10 m，虽然有地下连续墙的遮挡作用，居民楼当天最大沉降量仍超过1 mm。后通过优化施工参数，跳仓流水作业，且背离居民楼方向施工，居民楼的沉降量基本控制在0.1~0.2 mm/d，坑底加固完成后居民楼的累计沉降量普遍少于3 mm。

2 第一道撑适当抬高或单独设置冠梁

设置内支撑是软土深基坑支护的常规手段，为了充分发挥砼支撑的轴压作用，同时也为了方便施工、节约造价和提高基坑的整体安全性能，第一道支撑顶面通常会落低自然地面0.5~2.0 m。为了施工压顶梁和第一道支撑，基坑表层必须大面积卸土，这对周边环境（特别是紧邻基坑的老房子）影响非常大。为保护周边环境，可在不影响基坑安全的前提下把第一道支撑尽量抬高。但有时由于各种因素，第一道支撑不可能抬得太高，这时可把挡土结构往上做，顶部做个压顶小圈梁，构造配筋即可，在支撑标高位置再设置腰梁与挡土结构连接。

工程实例 3：上海杨浦区国库路某工程，地下2层，挖深8.3 m，距离坑外6 m左右为部队干休所3~4层活动用房，天然地基，基坑围护采用灌注桩加一道砼支撑。方案设计阶段，灌注桩压顶圈梁落低自然地坪1.5 m，施工图阶段为了更好地保护房子，灌注桩压顶梁与自然地面齐平，但由于基坑整体安全的需要，支撑不能再抬高，因此在支撑标高位置额外设置了一道腰梁。典型剖面如图1~2所示。第一道支撑浇筑完成后，干休所最大沉降量仅4 mm。

3 设置隔离桩

大量研究和实测数据表明，基坑围护结构本身的沉降和侧向位移导致坑外土体有向坑内侧涌的趋势，

从而引起坑外地表和建筑物的沉降。如果能把坑外土体侧向挤压的路径切断，则可大大减少周边环境的沉降量，隔离桩就是基于这个思路而发挥作用的。文献[1]对隔离桩在上海软土深基坑周围环境保护中的应用情况做了详细介绍，通过数值计算和工程实践，得到主要结论如下：隔离桩必须达到一定深度，穿越主要的土层滑移面才能发挥减少土体变形的作用；隔离桩必须具备一定的刚度，建议采用钢筋砼结构形式；宜最先施工隔离桩，以减少前期施工对基坑周边土层的扰动。

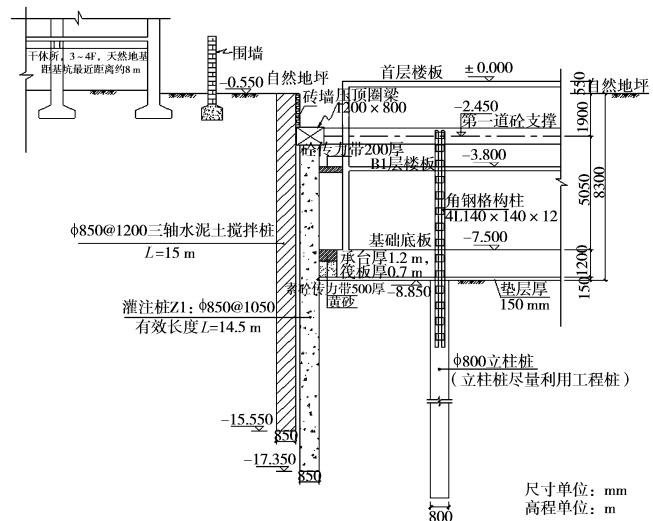


图1 方案阶段典型剖面图

Fig. 1 Typical profile at scheme stage

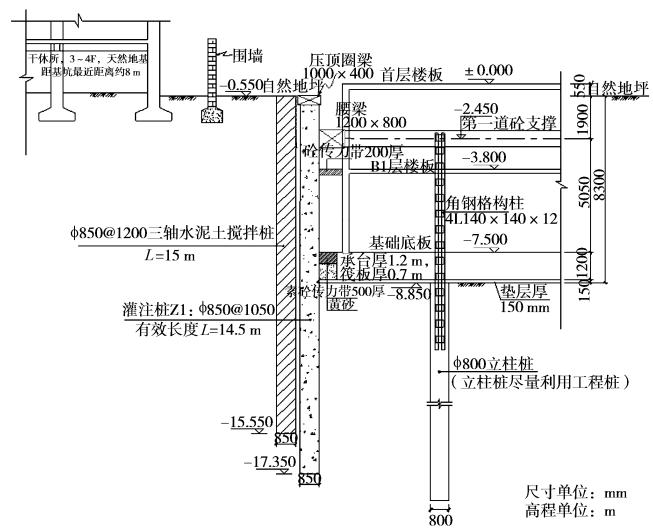


图2 施工图阶段典型剖面图

Fig. 2 Typical profile at implementation stage

工程实例 4：上海城隍庙某工程，地下2层，挖深9.2 m，离开基坑边约8 m有2层楼的文物保护建筑，大放脚天然地基，建于20世纪20年代。在文物保护建筑周边约2 m处设置2排Φ400树根桩作为隔离桩，树根桩在平面上呈弧形布置，顶部设圈梁，以增加其

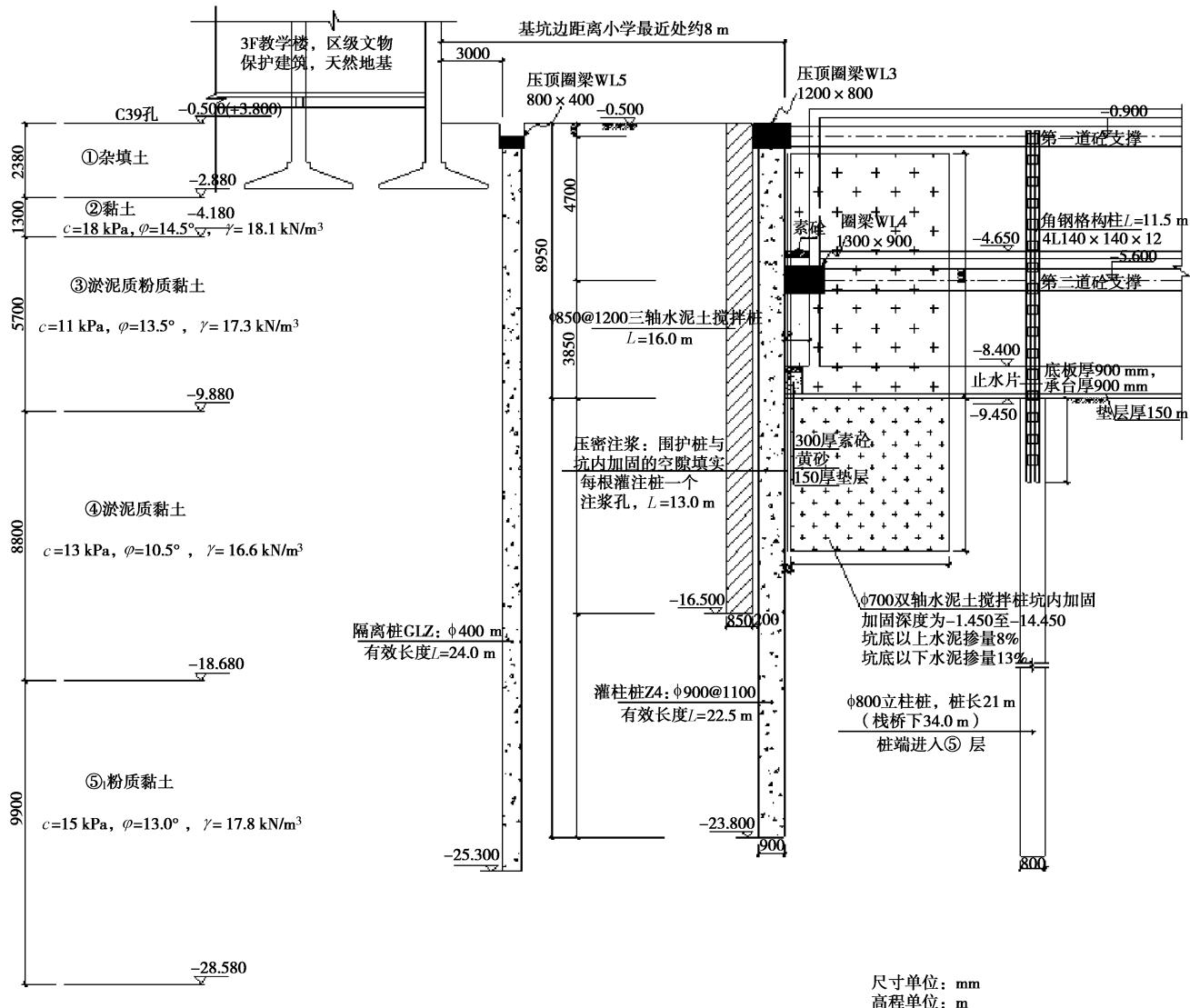


图 3 基坑典型剖面图

Fig. 3 Typical profile of deep excavation

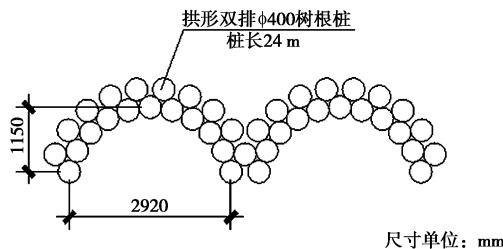


图 4 隔离桩平面布置图

Fig. 4 Plan layout of partition wall

侧向刚度, 隔离桩插入 5-1 层粉质黏土层, 入土深度 24 m。基坑剖面和隔离桩的布置详见图 3~4。监测数据表明, 通过设置隔离桩等保护措施, 在第一道支撑下土方开挖之前, 坑外文物保护建筑的累计沉降量均不超过 3 mm。

4 进行地墙槽壁预加固, 减少地墙幅宽, 采用高导墙, 适当提高泥浆比重

在上海软土地区, 对于地下三层及以上的深基坑工程, 采用地下连续墙围护是十分普遍的。考虑到成槽机抓斗尺寸和施工效率, 单幅地下墙的槽幅宽度一般在 6 m 左右。这就意味着约 6 m 宽、与地墙同深度的大体积原状土在几个小时内就被强行挖除, 代之以护壁泥浆, 同时地墙槽壁周围的土体也被大范围扰动。由于软土的触变性和高灵敏性, 在槽壁开挖、泥浆护壁、吊放钢筋笼、浇筑砼的较长施工过程中, 经常会出现槽壁坍塌等不利情况, 进而引发坑外地表沉降。目前上海地区一般采取槽壁预加固、减少地墙幅宽、采用高导墙、适当提高泥浆比重等方法来减少地墙成槽施工对周围环境的负面影响。

工程实例 5: 上海普陀区曹杨路某商业项目, 地下三层, 基坑挖深约 14 m, 基坑围护采用地下连续墙结合 3 道砼内支撑。基坑北侧 10 m 左右有成片的 6F 居民楼(天然地基)。为保护居民楼, 地下连续墙的导墙比居民小区路面高出 100 mm, 施工前在槽壁内外侧各采用Φ850 三轴水泥土搅拌桩进行槽壁预加固, 每幅地墙的宽度由最先设计的 6 m 减至 4.2 m(柱网间距 8.4 m)。同时, 本工程采用膨润土泥浆, 新鲜泥浆比重控制在 1.04~1.05, 循环过程中泥浆控制在 1.25~1.30 以下, 灌砼前, 槽内泥浆比重在 1.15~1.20 以下, 要求泥浆液面必须始终处于地下水位面以上, 并尽可能高。采取上述保护措施后, 从施工导墙到地下连续墙施工结束, 坑外居民楼没有明显沉降, 新增沉降量最大不超过 1.5 mm。

5 砂性土地层采用优质泥浆护壁, 或在搅拌桩内套打灌注桩

钻孔灌注桩加内支撑或者锚杆是长三角地区常见的基坑围护形式, 其施工工艺成熟, 受力明确, 应用非常广泛。在镇江、无锡、苏州和上海浦西吴淞江故河道、临港以及崇明等地, 浅部沉积有厚层的粉土或粉砂, 一般呈松散—稍密状, 土性变化较大, 在这类地层中实施钻孔灌注桩, 很容易出现坍孔、扩径等不利现象, 不但灌注桩无法顺利施工, 而且会导致坑外地表沉降。对于这种情况, 宜添加优质配方进行人工造浆^[2], 通常为钠基膨润土外加化学聚合物^[3], 以改善泥浆性能, 同时设置泥浆分离装置来提高泥浆重复利用率; 也可先施工低掺量的搅拌桩, 再在搅拌桩内套打灌注桩。

工程实例 6: 上海杨浦区某商办楼项目, 位于城市副中心五角场核心地段, 周边道路和地下管线密布。该项目属于典型的吴淞江故河道区域, 浅部②₃层砂质粉土厚度达 12 m。该工程设 2 层地下室, 基坑挖深 9.5~10 m, 采用钻孔灌注桩加 2 道钢筋砼支撑。为确保排桩顺利施工, 并减少围护桩施工对周边环境的影响, 先施工 2 排Φ700 双轴搅拌桩, 水泥掺量 8%, 然后在搅拌桩内套打灌注桩。测孔结果表明, 灌注桩的充盈系数均在 1.05~1.20 之间, 排桩施工对周边环境的影响几乎可以忽略不计。

工程实例 7: 上海电气临港重装备产业基地某大型设备基础, 基础埋深 19 m。场地表层有约 5.5 m 厚的吹填土(黏质粉土), 其下为约 12.5 m 厚的②₃层黏质粉土和砂质粉土, 按文献[4]的要求, 基坑围护采用钻孔灌注桩加多道砼内支撑。灌注桩试成桩期间采用自然造浆, 虽然加入了较多的膨润土, 但仍出现了严

重的坍孔、扩径问题, 最后采用人工造浆, 造浆材料为钠基膨润土和化学聚合物, 每立方泥浆中含 10% 钠基膨润土(质量比, 下同), 1.5%聚丙烯酰胺, 3%羧甲基纤维素钠, 10%纯碱。按照上述参数实施后, 灌注桩的充盈系数普遍不超过 1.15, 围护排桩完全可以连续施工, 排桩施工期间紧邻基坑的钢结构厂房柱基累计沉降量不超过 2 mm, 基坑开挖后围护灌注桩表面较为光滑, 几乎没有扩径现象, 效果相当好, 如图 5 所示。



图 5 基坑开挖后暴露的围护桩

Fig. 5 Exposed piles after excavation

6 合理安排挤土工程桩的沉桩流程, 严格控制沉桩速率

随着城市建设的蓬勃发展, 预制桩(特别是 PHC 管桩)用于高层建筑的工程桩越来越普遍。预制桩的挤土效应在软土地区非常明显, 经常出现因预制桩施工引起周边地下管线隆起、建筑物开裂等情况。上海等软土地区一般采取合理安排沉桩流程、严格控制沉桩速率、设置应力释放孔或防挤沟、设置竖向排水通道(如砂井、塑料排水带、管笼井等)等措施来减少预制桩沉桩对周边环境的影响。必要时, 经充分论证且有类似工程经验时, 也可先施工基坑围护结构, 后施工预制工程桩, 但应充分估计并采取切实措施减少预制桩施工对围护结构的侧向挤压, 以防止围护结构开裂漏水, 否则得不偿失。

工程实例 8: 上海徐汇区苍梧路某工程, 拟建多幢 14~16 层的小高层住宅, 工程桩全部采用 PHC AB 400 管桩。基坑边线距离道路红线最近仅 5 m, 设计单位根据周边环境情况和工程桩的实际布置情况, 编制了详细的“沉桩流程图”, 每天施工哪几根桩都有明确规定, 要求沉桩初期每天不超过 8 根桩, 中后期不超过 6 根桩, 并根据周边环境监测情况快速调整沉桩流程和速率。监测数据显示, 工程桩施工完成后周边

道路和地下管线隆起量最大不超过 10 mm。

工程实例 9: 上海徐汇区裕德路某商办楼项目, 主楼 20~27 层, 褶房 3~4 层, 工程桩采用 PHC AB 500 管桩, 由于楼层较高, 工程桩布置得比较密集。离开拟建建筑约 6 m 就有煤气、上水等重要管线、3 层门面房和繁忙的市政道路, 即使采取远离保护对象方向沉桩、控制每天沉桩量、设置应力释放孔和防挤沟等常规措施, 要想把预制桩施工对周边环境影响控制在容许范围内几乎是不可能的事情。该工程创造性的采用先施工基坑围护结构 (SMW 工法) 后静压沉桩的“逆向”施工工艺, 先施工的 SMW 工法桩作为周边环境的“隔离桩”, 并通过合理安排沉桩流程、严格控制沉桩速率、根据监测数据调整沉桩参数等辅助措施来减少预制桩沉桩对 SMW 工法的侧向挤压。监测数据表明, 工程桩施工期间地下管线的隆起量普遍不超过 10 mm, 基坑开挖后 SMW 工法桩也没有出现明显的渗漏点。

7 结 论

(1) 在软土地区, 工程桩、导墙、地下连续墙、坑内加固、压顶梁、第一道支撑等前期工程活动所引起的深基坑周边环境初始位移不容忽视。

(2) 大量工程实践表明, 采取本文所总结的工程措施, 可以大大减少前期工程活动对深基坑周边环境的不利影响。

(3) 针对具体工程项目, 可根据实际情况因地制宜, 综合采取本文所总结的工程措施, 并与增加支护结构刚度、按照时空效应规律进行土方开挖和支撑架

设、对临近基坑的建筑物进行超前加固、基坑外循环注浆等传统方法相结合, 这样就能全过程的减少深基坑开挖卸载对周边环境的不利影响。

参考文献:

- [1] 翟杰群, 贾 坚, 谢小林. 隔离桩在深基坑开挖保护相邻建筑中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(1): 162 - 166. (Zhai Jie-qun, JIA Jian, XIE Xiao-lin. Practice of partition wall in the building protection projects near deep excavation[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(1): 162 - 166. (in Chinese))
- [2] DG/TJ08—202—2007 钻孔灌注桩施工规程[S]. 上海: 上海市建设和交通委员会. 2007. (DG/TJ08—202—2007 Specification for construction of bored cast-in-place pile[S]. Shanghai: Shanghai Construction & Transportation Commission, 2007. (in Chinese))
- [3] 杨 勇. 复合钠基膨润土泥浆护壁机理及其工程应用[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(4): 838 - 843. (YANG Yong. Stability-maintaining Mechanism of compound sodium-based bentonite slurry and its application in practical engineering[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(4): 838 - 843. (in Chinese))
- [4] DG/TJ08—61—2010 基坑工程技术规范[S]. 上海: 上海市城乡建设和交通委员会. 2010. (DG/TJ08—61—2010 Technical code for excavation engineering[S]. Shanghai: Shanghai Town and Country Construction & Transportation Commission, 2010. (in Chinese))

(本文责编 明经平)