

**【摘要】** 目前软土地区地铁车站深基坑多采用地下连续墙作为围护结构,通过对上海轨道交通 10 号线同济大学站基坑地下连续墙现场监测结果的分析,研究了基坑开挖深度与地下连续墙侧移及最大相对侧移的关系,同时给出了地下连续墙最大侧移及最大侧移位置随开挖时间的变化规律,并对不同测点的侧移结果进行分析比较。结果表明:长条形地铁车站深基坑虽然是对称结构,但是对基坑外侧土体进行加固一侧的地下连续墙的变形远远小于未经加固一侧的变形,所以在对基坑设计时一定要考虑土体加固的影响。

**【关键词】** 地下连续墙;侧向变形;地铁车站基坑;工程实例;时空效应

## 0 引言

目前,上海、北京、广州、深圳、南京等城市都有多条同时开工建设的轨道交通线路。根据上海市轨道交通近期建设规划,到 2012 年累计运营线路 13 条,运营里程超过 500km。地铁车站基坑一般开挖较深,为了减小基坑开挖对周围环境的影响,基坑的围护结构一般选用地下连续墙,为了确保基坑开挖的安全和质量,地下连续墙的变形控制便成为研究的重点。Mana 和 Clough[1](1981)通过对一些基坑的监测数据进行分析,发现围护墙体的变形与抗隆起稳定安全系数有密切的关系,Wong 和 Broms[2](1989)对有撑基坑支护墙体的变形进行研究,并提出一个估计有锚撑桩板墙体水平变形的方方法,Clough 和 O'Rourke[3](1990)综合考虑基底抗隆起稳定安全系数和支护系统刚度等因素,通过对一些实例进行总结,给出了一个估算软土与中等硬度土体围护墙水平变形规律,Hashash 和 Whittle[4](1996)通过非线性有限元分析,研究了软土深嵌地下连续墙的变形与基坑长度和支撑间距之间的关系。Kung 等[5](2007)用神经网络法对软中等硬度土基坑地下连续墙的变形进行预测。王建华等[6](2005)根据上海软土地区 50 个深基坑工程的实测结果,研究了基坑开挖深度、支撑系统的相对刚度对连续墙最大侧移的影响,最大侧移的深度及墙后软土层厚度对基坑变形特性的影响。李琳等[7](2007)就杭州和上海软土地区 46 个成功深基坑的实测结果进行了研究和总结,分析了基坑开挖深度与最大侧移及其位置和当前基坑开挖深度和所采用支撑系统相对刚度之间的关系,建立了抗隆起稳定安全系数与围护墙体最大侧移和墙后最大地面沉降与之间的关系。Kung 等[8][9](2007)通过实例分析和有限元模拟计算,得出了预测软土及中等硬度土基坑地下连续墙变形的经验公式。

### 1 影响墙体变形的因素分析

通过对大量基坑实例监测数据的分析,并结合前人研究的成果[1]~[11]得出,影响基坑围护墙体水平变形的因素包括开挖深度  $H_e$ 、支护体系的系统刚度  $EI/(\gamma_m h^4_{avg})$ 、开挖宽度  $B$ 、土体的平均抗剪强度与竖向有效应力的比值  $su/\sigma'_v$ 、土体的平均初始杨氏模量与竖向有效应力的比值  $E_i/\sigma'_v$ 、开挖面到硬土层的深度与基坑开挖宽度的比值  $T/B$ 。另外墙体的变形与支撑的刚度  $E_s I_s$ 、连续墙的嵌固系数  $\lambda$ 、基坑降水效果  $E$ 、基坑周围附加荷载  $q$  及基坑基底稳定安全系数  $F$  等有较大关系。

## 2 工程实例

### 2.1 工程概况

上海地铁 10 号线同济大学站主体为三层二跨(局部三层三跨、二层二跨)现浇钢筋混凝土结构,车站长度为 313.5m,标准段宽度为 22.9m,南、北端头井深及标准段开挖深度分别为 22.2、23.5、20m,车站主体采用明挖顺作法施工。南、北端头井及车站标准段围护结构均采用 1000mm 厚地下连续墙,墙深分别为 40、41、37m。地下连续墙接头采用锁口管形式,地下连续墙端头井第四道支撑下 2.5m 及坑底 3m 范围内采用高压旋喷周边加固。基坑采用钢支撑和混凝土支撑,南、北端头井均设 7 道支撑,第 1 道为 700×700 混凝土支撑,第 4 道为 800×800 混凝土支撑,第 6 道为  $\Phi 812 \times 20$  钢支撑,其余均采用  $\Phi 609 \times 16$  钢支撑。标准段设 6 道,第 1 道为 700×700 混凝土支撑,第 4 道为 800×800 混凝土支撑,其它的均采用  $\Phi 609 \times 16$  钢支撑。地质情况及支撑位置如图 1 所示。



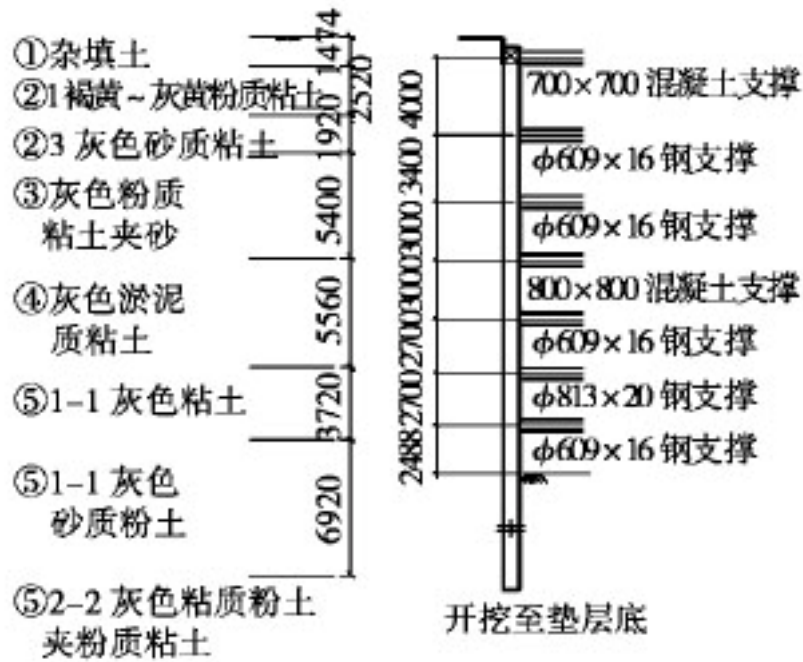


图1 南端头井地质条件及基坑支撑位置

标段车站基坑开挖深度较大,地下连续墙施工开挖时易产生坍塌现象,对地下连续墙及已有建筑物、地下管线等产生不利影响。地下连续墙测斜监测点的位置如图2所示。

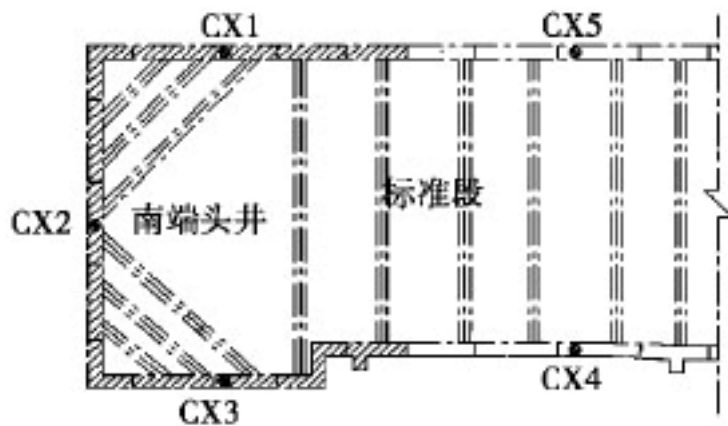


图2 监测点布置图

## 2.2 监测结果分析

图3为南站台段CX3不同开挖阶段地下连续墙侧移情况,墙体变形整体呈现“两头小、中间大”,随着开挖深度的增加,墙侧移不断增大,最大侧移位置位于开挖面附近,坑底垫层完成时最大侧移位置位于坑底下1.5m左右,安装好第7道支撑到垫层完成这个阶段墙位移迅速增加约6mm,墙底踢角增加10mm,踢角达到17mm,最大侧移位置下移4m,主要原因是这



个阶段开挖达到最大深度,坑底没有得到及时支撑,基坑暴露时间较长,这进一步验证了基坑时空效应原理,因此,开挖一定要限时限量。

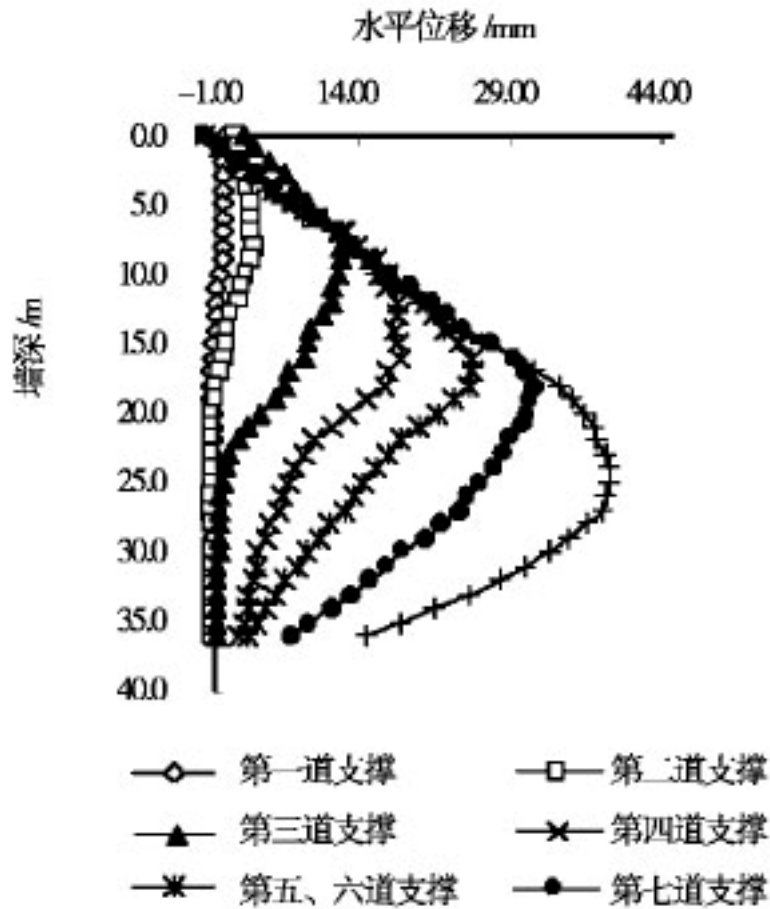


图 3 CX3 不同开挖阶段墙侧移

图 4 为不同测点在坑底垫层完成时墙体侧移曲线,虽然 CX4 与 CX5 位于基坑对称的两个位置,但是 CX5 比 CX4 最大侧移大 23mm,CX5 同一侧的另外三点也比相应 CX4 一侧的三点侧移分别大 17、15、7mm。其原因是基坑开挖前对 CX5 对面一侧坑外土体进行加固,坑外土体加固可有效阻止墙侧移变形,因此,在对长条形基坑进行有限元计算时一定要考虑土体加固的影响。在支撑条件基本相同的情况下,端头井 CX1、CX2、CX3 的墙体变形反而比标准断 CX4、CX5 的变形小,端头井墙底踢角也明显小于标准端墙底踢角,一方面是由于端头井第四道支撑下 2.5m 及坑底 3m 范围内采用高压旋喷周边加固,另一方面由于端头井角部采用斜撑加固。

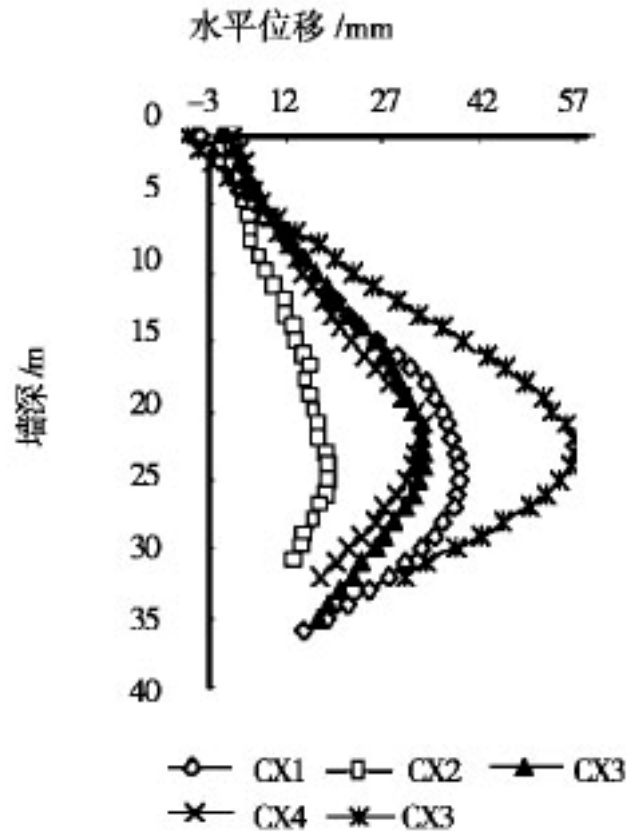


图 4 不同测点开挖到坑底时墙水平侧移

图 5、图 6 分别为地下连续墙最大侧移与最大侧移位置随开挖时间的变化曲线。第一~第七道支撑安装时间依次为 2007 年 8 月 1 日、8 月 31 日、9 月 13 日、9 月 26 日、10 月 10 日、10 月 13 日、10 月 20 日。由图 7 可知,最大侧移随开挖时间单调增加,最大侧移变化速率分阶段变化,在支撑安装后一段时间内变形速率很小,随着开挖面下移,墙体变形变化速率增加,主要是由于支撑下土体暴露时间增加、空间增大,这也与时空效应原理向一致。

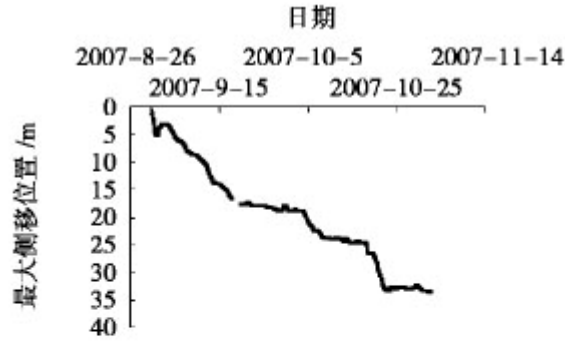


图5 CX3 最大侧移与开挖时间的关系

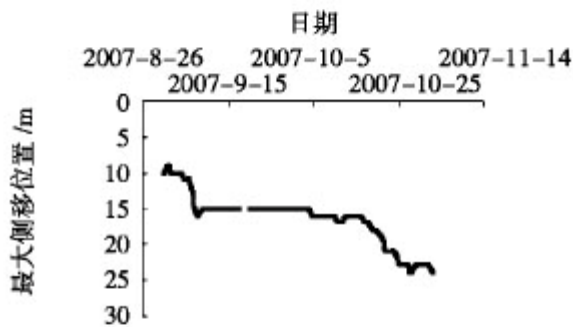


图6 CX3 最大侧移位置与开挖时间的关系

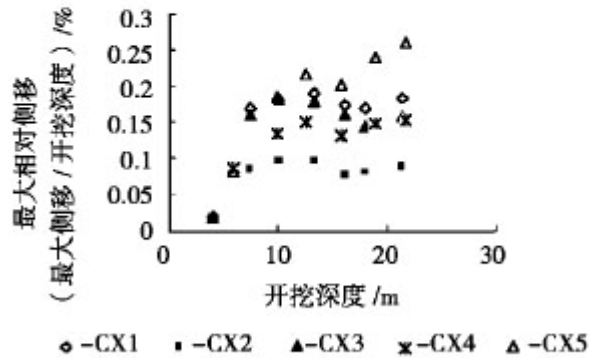


图7 墙相对侧移与开挖深度的关系

图7是不同测点最大墙体相对侧移与开挖深度的关系,各测点平均最大相对侧移约为0.15%,基本满足一级基坑环境保护对侧移控制0.14%的要求。虽然有些点相对侧移达到0.25%,但基坑并未发生险情,因此,在实际工程中,可以根据周围环境的要求,通过加强实时监控等措施,适当放宽报警值,这样既可以节省投资,也可以保证工期,达到工程安全、质量、工期与投资相协调的目的。

### 3 结语

(1)影响地下连续墙变形的因素比较多,监测结果表明:坑外土体加固一侧地下连续墙的侧移远小于未经加固一侧的侧移,基坑外侧土体加固的影响在进行设计时应加以考虑。



(2)监测结果表明:地下连续墙水平变形随开挖深度增加单调增加,最大变形的位置在开挖面附近,基坑开挖过程中存在时空效应,未支撑部分暴露时间和开挖量对基坑的变形有很大影响,斜撑可有效地控制基坑端头井的变形,坑底加固对减小坑底隆起和地下连续墙踢脚剧增起到很好的效果。

#### 参考文献

- [1]Mana AI,Clough GW·Prediction of movements for braced cuts in clay[J]·Journal of Geotechnical Engineering Division,1981,107(6), 759-777·
- [2]Wong K S,Broms, B B·Lateral wall deflections of braced excavations in clay[J]·Journal of Geotechnical Engineering,1989,115(6), 853-870·
- [3]CloughGW,O'RourkeTD·Construction induced movements of in situ walls[J]·Proceeding of Design and Performance of Earth Retaining Structure,Geotechnical Special Publication No·25, ASCE, NewYork:1990,439-470·
- [4]Hashash, Y M A,Whittle A J·Ground movement prediction for deep excavations in soft clay[J]·Journal of Geotechnical Engineering,1996,122(6):474-486·
- [5]KungGTC, Hsiao E CL, SchusterM,Juang, CH·A neural network approach to estimating excavation induced wall deflection in soft clays[J]·Journal of Computers and Geotechnics,2007,34(5),385-396·
- [6]王建华,徐中华,陈锦剑,等·上海软土地区深基坑连续墙的变形特性浅析[J]·地下空间与工程学报,2005,1(4):485-489·
- [7]李琳,杨敏,熊巨华·软土地区深基坑变形特性分析[J]·土木工程学报,2007,40 (4):66-72·
- [8]Gordon TC Kung,C Hsein Juang, Evan C L Hsiao, et al·Simplified model for wall deflection and ground-surface settlement caused by braced excavation in Clays[J]·Journal of Geotechnical Engineering,2007,133(6):731-747·
- [9]Kung GTC, Hsiao E CL,Juang CH·Evaluation of a simplified small strain soil model for predicting excavation-induced wall deflection and ground movement[J]·Journal of Canadian Geotechnical,2007,44(6):726-736·
- [10]Hsieh P G,Ou C Y·Use of the modified hyperbolic model in excavation analysis under undrained condition [J]·SEAGS, Journal of Geotechnical Engineering,1997,28(2),123-150·
- [11]HsiehPG, KungTC, Ou CY·TangYG·Deep Excavation Analysis with Consideration of Small Strain Modulus and its Degradation Behavior of Clay[J]·Proceedings 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering,Singapore:2003,(1):785-733·
- [12]上海轨道交通 10 号线同济大学站岩土工程勘察报告[R],上海市城市建设设计研究院,2005 年 10 月·

