

深厚填土基坑的变形控制与分析

罗炳贵 徐静

长沙市建设工程质量安全监督站

摘要：在深厚的填土区域进行基坑支护时，因填土性质差、不稳定，基坑支护隐患极大、成本高昂，采用二次劈裂注浆及后拔管工艺、深层泄水孔控制地下水等工艺，采用有限元方法对基坑周围的道路及管线进行影响性分析，采用自动化监测技术，对基坑的变形情况进行动态监测，有效保证了基坑开挖和使用过程中的安全和稳定。同时也可对类似的深填土基坑支护提高经验积累。

关键词：深厚填土；基坑变形；环境影响；有限元分析；自动化监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.06.032

一、引言

人类活动加大，空间有限，很多工程不可避免地建在深厚填土区。填土性质差，处理难度大，在填土区域的基坑有着较大支护成本和安全隐患^[1]。本文以长沙市某基坑工程为背景，通过对现场深厚填土进行基本试验、数值分析和基坑监测等，对深厚填土基坑的变形控制进行分析，为深厚填土地区深基坑支护提供工程经验^[2]。

二、工程概况

（一）工程地质条件

拟建场地位于长沙市北部，场地原始地貌属丘陵地貌，地形稍有起伏。拟建场地褶皱和断层均不发育，岩层面较稳定、产状较平缓，未见有影响场地稳定性的构造（如断层），在本场地勘察范围内地质构造简单，未发现断裂构造及新构造运动迹象，地质构造对建设工程影响小。场地地层的工程特性自上而下依次如下：

素填土①，素填土②，粉质黏土③，粉质黏土④，圆砾⑤，全风化板岩⑥，强风化板岩⑦，中风化板岩⑧。其中素填土①在场地广泛分布，该填土为褐黄色、褐灰色、杂色，稍湿~湿，结构松散，主要由黏性土回填而成，局部混有砾石、板岩碎块及少量植物根等，系新近填土，采取率约95%，层厚为2.90~14.60m，平均厚度7.73m。承载力特征值为80Kpa，压缩模量为4.0MPa，内摩擦角为9.0度，粘聚力为12.0KPa。

同时局部分布着填土②，该填土为灰黄色、灰黑色，湿，软塑状态，顶部流塑状态，系地势低洼处长期积水浸泡而成。采取率约91%。厚度：0.0~3.70m，平均厚度：1.42m，层底标高为32.77~36.86m。承载力特征值为55Kpa，压缩模量3.0MPa，内摩擦角8.0度，粘聚力12.0KPa。

（二）周边环境情况

拟建项目最复杂的为西南面与道路近乎平行，路缘石距离基坑外边线约5.8m，同时基坑外侧存在大量管网，包括污水管、雨水管、给水管和电缆等，其中给水管距离坑顶约3.9m，埋深为1.1m。基坑顶路基区域的填土为夯实路基填土。该处最大支护深度为14.4m，且均位于填土层中。

三、解决方案

（一）设计及施工方案

根据项目特点、周边环境、水文地质条件和工程经济性，对基坑采用排桩+锚索、钢管土钉墙，并在施工期间采用集水明排加深层泄水孔的方式控制地下水。基坑安全等级为一~二级。

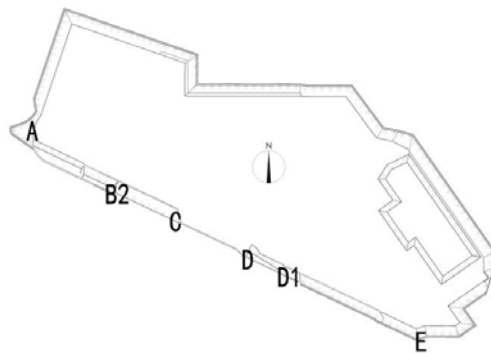


图1 支护平面图

项目主要难点为基坑西南侧的深厚填土区域，针对该区域的工程特点主要措施有：

（1）采用深层泄水孔控制地下水

该段支挡范围内的地下水主要为路基填土中的上层滞水（潜水水位较低影响不大），该水源主要通过大气降水补给，现场踏勘反映该区域路基填土含砾石量较大，黏粒含量相对较小，土体颗粒较大，通过有序排水措施可以较小扰动的排除土体内地下水。为此采用深层排水孔结合孔内多孔排水盲沟材料的方式能够有效排水，同时控制细颗粒流失，进而保证对临近道路影响降到最低。

（2）二次劈裂注浆和后拔管工艺

在深厚填土层，填土与杆体的黏结强度差，保证锚索抗拔承载力是关键，对锚索采用二次劈裂注浆，即在第一次注浆3-4小时后采用5Mpa的压力进行二次注浆，使锚固体与填土之间黏结更紧密，保证土体与杆体紧密接触，并对填土进行加固（在填土层中适量注浆）。施工过程中采用全套管钻机，且成孔后先注浆，下入锚索后再拔出套管，可有效保证成孔质量，减少塌孔。为验

证该工艺的可行性，在开工前进行了基本试验^[3]。

(3) 支护方案

针对项目特点，在复杂区采取桩锚支护、低矮放坡区采用绿色加筋护坡。部分支护段示意图如下。

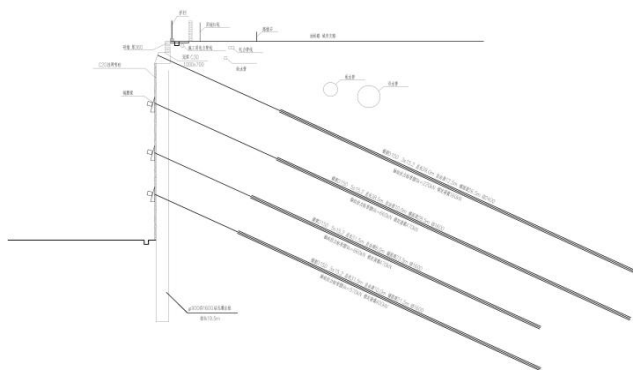


图2 AB段支护剖面图

(二) 锚索基本试验

表1 锚索基本试验结果

锚索编号	设计荷载 (kN)	试验荷载 (kN)	累计位移 (mm)	结论
N0.1	360.0	669.3	100.59	满足规范及设计条件
N0.2	360.0	667.5	99.75	满足规范及设计条件
N0.3	360.0	668.2	99.33	满足规范及设计条件

5. 试验结果

本次对3根锚索进行了基本试验，试验结果表明，本次3根锚索极限抗拔承载力的极差均小于其平均值的30%，则取其平均值。以1#锚索进行典型分析如下：

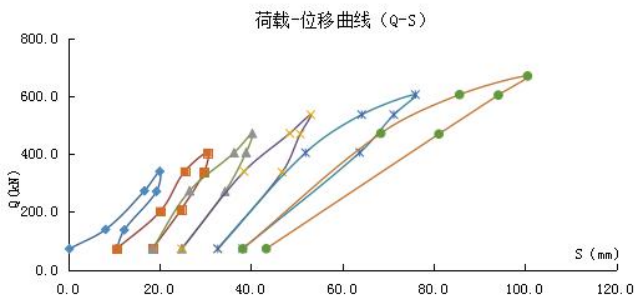


图3 1#锚索荷载-位移曲线

荷载加载至第六循环时最大试验荷载669.3kN，锚头位移稳定，锚索未被拉断。

通过基本试验，在深填土中锚索仍能满足设计要求，可有效保证支护体系整体稳定性。

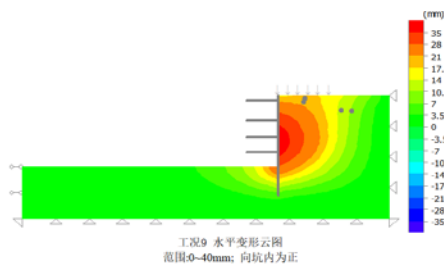


图4 整体水平变形

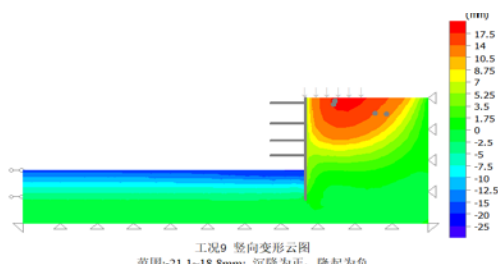


图5 整体竖向变形

1. 仪器设备

RJ-100锚索拉力计 (ZDJC-2181)，工作能力：1000kN；拉力行程：150mm；中心孔距：90mm；精度：1kN；数显百分表 (ZDJC-F804) 精度0.01mm。

2. 试验装置

将试验锚索周围混凝土找平，在锚索与混凝土的交界面垫上一块50cm*50cm厚度为20mm的穿心钢板，千斤顶放在钢板上，并确保锚索轴线与千斤顶轴心重合，锚索顶部用夹具夹紧，对锚索施加抗拔力。

3. 试验方法

基本试验按照《建筑基坑支护技术规程》中有关锚索基本试验的规定及设计图纸要求进行，本次最大试验荷载为杆体极限强度标准值的0.85倍（本次取664kN）^[3]。

4. 检测结果

本工程对3根锚索进行基本试验，基本试验结果汇总表下表。

四、周围环境影响性分析

基坑的变形不仅会影响自身支护体系的稳定性，同时也会对周围环境产生一定的影响，当变形过大时，将对周边构筑物 and 道路等造成损坏^[4]。基坑在开挖后，场地周围的地下水分布将被改变，地下水将往坑中汇集。随着填土中地下水位降低，土体孔隙水压力逐渐消散，土体将产生沉降变形，也会使地面、附近建筑物及道路产生附加沉降。

场地周围存在大量管线和新建道路，对基坑变形极为敏感，为保证基坑开挖过程的安全和稳定，本次采用启明星周围环境影响分析软件对最深的AB段进行有限元^[5]建模分析。土体采用三角形单元，支护结构采用梁单元^[6]。考虑支护结构与土体之间的相互影响和作用。在划分网格时将管线位置布置在节点处，从而通过节点的变形情况分析出管线的变化^[7]。

(一) 周围环境影响性分析

该区域外侧存在较多水电管线，距离坑边约5.8m为市政道路，采用有限元分析^[8]如下：

通过分析，管线最大水平位移为10.0-19.7mm，最大沉降为11.7-18.2mm，均在规范合理范围，可以有效保证该基坑周围管线的安全；基坑顶的最大水平位移为40.0mm，最大沉降为18.8mm，且道路基础最大变形值为26.2mm。

五、监测对比分析

(一) 监测方案

在该项目中采用自动化加人工进行监测，可有效保证监测数据的及时性和有效性。本次主要以深层水平位移、锚索轴力和坡顶位移（水平和竖向）的自动化监测数据进行分析^{[9][10]}。

(1) 深层水平位移监测

本次深层水平位移监测共布置了6个个自动化监测点，本次选取其中2个点进行分析。监测频率为每天4次，实时监测基坑随着开挖工程的进度支撑体系深层水平位移的变化趋势。

(2) 锚索轴力监测

本次共选取2个锚索内力自动化监测点，监测前期与人工手持读数对比一致，监测频率每天2-5次，实时监测不同时期锚索内力的变化。

(3) 坡顶水平、竖向位移监测

本项以其中2个点的水平和沉降监测点进行分析。

(二) 监测结果分析

对基坑开挖后至该年第一个汛期结束期间的监测数据进行分析。

(1) 深层水平位移

通过分析，该项目最大深层水平位移发生在CD段的8m处，最大水平位移为9.49mm。变形整体呈增长趋势，在汛期结束时已基本达到稳定，该变形值远小于规范要求，有效保证了基坑的稳定性。

(2) 锚索轴力

通过分析锚索轴力中第二道轴力为最大，本次主要以第二锚索的轴力进行分析。

(3) 坡顶沉降和水平位移



图6

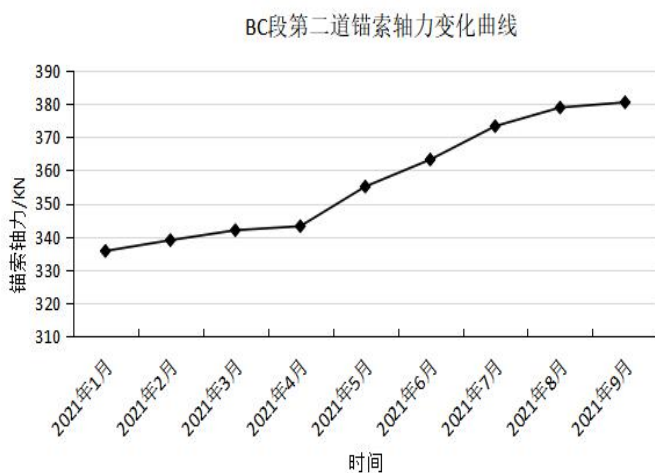


图7

通过分析，基坑开挖后存在一定的沉降和水平变形，最大沉降和最大水平位移均发生在DD1处，最大沉降值为23.17mm，最大水平位移为15.65mm。沉降和位移整体呈增长趋势，在汛期增长最为明显，8月份后基本趋于稳定。

六、结论

通过对该深填土基坑的分析，采用二次劈裂注浆和后拔管工艺、深层泄水孔控制地下水等工艺，并在施工前进行了基本试验，有效验证了锚索的深填土基坑中受力的可靠性。通过采用有限元方法对基坑周围的道路及管线进行影响性分析，基坑开挖对管线和道路的影响较小，处理合理范围。采用自动化监测技术，对基坑的变形情况进行动态监测，随时掌握其变形情况，有效保证了基坑开挖和使用过程中的安全和稳定。同时也可对类似的深填土基坑支护经验积累。

参考文献

- [1] 刘洪伟. 厚粉黏土层中SMW工法桩围护基坑的开挖响应实测研究[J]. 土工基础, 2022(06).
- [2] 孟昭晖, 郭水, 黄明利. 多层承压水地层深大基坑开挖变形规律研究[J]. 建筑结构, 2022(S2).
- [3] 建筑基坑支护技术规程(JGJ120-2012)[M]. 中国建筑工业出版社
- [4] 刘波. 软弱地层中基坑开挖卸荷引起临近既有地铁盾构隧道变形及控制方法研究[D]. 东南大学, 2020.
- [5] 雷亚伟. 内撑式和桩锚式排桩支护基坑的连续破坏机理及控制研究[D]. 天津大学, 2020.

作者简介：罗炳贵（1983-11），男，汉，湖南桃源县人，硕士研究生，工程师，研究方向：房屋建筑工程结构设计、施工、质量安全监督。