深基坑土钉墙支护体系的设计与施工

刘树亚　　王志彬
[深圳市天健（集团）股份有限公司市政工程研究所，深圳，518034]

提　要　介绍土钉墙支护体系在深圳地铁一期工程试验段水晶岛站 17m 深基坑的应用，对支护体系的设计、施工与监测等方面进行分析总结，为造价较低、施工速度快的土钉墙支护结构在深基坑工程中的应用积累经验。

地铁水晶岛站是深圳地铁的第一个工程，站址位于福田中心区，为台地地貌，地形平坦；除一 36 孔通讯电缆横穿车站外，周围无重要建筑物和构筑物。车站基坑支护采用土钉墙——预应力锚索组合型式。基坑长 185.7m，宽 60.0m（标准段宽 47.3m），深约 17.0m，是深圳地区采用土钉墙支护最深的建筑基坑。基坑工程于 1999 年 2 月 12 日开工，6 月 30 日完工，基坑到目前为止运行良好。

一　地质条件

站区范围内上覆第四系全新统人工堆积层、中更新统残积层，下覆燕山期花岗岩。土层物理力学参数见表 1。

本站范围内为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水，水位埋深 3.2～4.9m，主要补给来源为大气降水；砂质粘性土渗透系数为 1.0m/d，砾质粘性土渗透系数为 0.8m/d，全风化花岗岩为 1.0m/d，强风化花岗岩为 5.0m/d。

表 1　土层物理参数

土层	厚度(m)	容重 γ(kN/m³)	摩擦角 ϕ (°)	粘聚力 c(kPa)	粘结强度 r(kN/m²)
杂填土	0~3.6	17.3	28.7	40	
砂质粘性土	0~9.1	17.1	18.9	29	56
砾质粘性土	0~14.1	17.7	24.7	24.8	56
全风化花岗岩	0~7.7	18.6	28	24	56
强风化花岗岩	>1.1	19.4	35	30	

二　设计方案

1. 支护体系设计

支护体系设计见图 1。

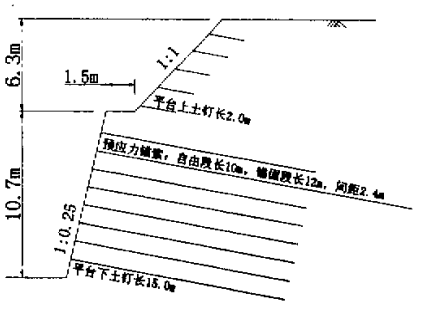


图 1　锚索-土钉组合支护结构图

上部 6～7m 深墙体采用 1:1 土钉墙支护放坡开挖，土钉钢筋为Φ16，长 2.5m。上墙段的土钉墙为构造性设置，其作用主要是防止雨水冲刷、浸泡造成土体失稳。下部 11～10m 深度墙体为支护结构的主要受力部分，采用 1:0.25 坡率土钉墙支护开挖，土钉钢筋为Φ28，长 15m。

上下坡之间设 1.5m 宽平台，平台下 2.4m 设置一排预应力锚索。锚索成孔直径Φ150，水平间距为 2.4m，与土钉间隔跳打。锚索采用 3×7Φ5 钢绞线，长 22m，其中锚固段长 12m，自由段长 10m。

喷射混凝土面层厚 100mm，采用 C20 早强混凝土。

泄水管采用打孔的塑料管，长度为上墙段 0.4m，下墙段 1m，水平间距 2.4m，垂直间距上墙段 2.4m，下墙段 1.2m，孔径 100mm。

2. 降水设计

基坑采用深井降水，外径Φ600、内径Φ400 深 22.5 米降水井共 29 口，均匀分布于基坑周边。

由于基坑西侧坡岩石层面较高，西侧坡部分降水井深度只在 14~16m 之间。

3. 监测设计

水晶岛站属于深圳地铁一期工程的试验站，为取得残积土层中 17m 深基坑土钉墙支护的各项物理参数，共设 6 项监测项目。详见表 2：

表 2　监测项目及频率

序号	项目	点数	频率	备注
1	水平位移	51 点	1 次/2d	
2	沉降	51 点	1 次/2d	
3	坡体测斜	14 孔	1 次/2d	
4	土钉内力	8 根	1 次/7d	一个断面
5	锚索拉力	10 根	1 次/7d	
6	地下水位	10 孔	1 次/2d	

4. 现场试验

现场进行的三根锚索基本试验和三根土钉抗拔力试验的结果与设计值相差不大，故设计单位对初始设计未进行修正。

承包商根据现场试验结果计算土质条件较差的南段抗滑稳定安全系数为 1.187。

三　围护结构施工

1. 预应力锚索施工

本工程锚索按照下面施工工艺进行施工：

成孔和锚索编制→锚索下放→预注浆→二次压力注浆→安装传力装置→养护→张拉锁定。为确定工程锚索的二次压力注浆时间，在试验锚索注浆时，做了一组水泥净浆(加 0.6%高效减水剂)试验，4 天强度为 28MPa。考虑到岩土工程的不确定性因素，确定锚索张拉时间为 8 天以后进行。

工程中锚具和夹片采用柳州欧维姆建筑机械有限公司生产的 OVM15-3 型，穿心千斤顶、油表在张拉前进行标定和检定。张拉工艺按深圳地区规范进行。

2. 锚索施工经验总结

在选择架线环的型式时，要采用与孔壁阻力小的架线环，尽量减少架线环在推进过程中环前积土。

锚索下放最好在成孔后立刻进行并立即进行一次预注浆。

二次压力注浆与一次预注浆的间隔时间一定要掌握好，有条件的情况下最好能在工地做二到三根试验，以确定与现有的设备材料和工艺水平相对应的间隔时间。

从本工程情况来看，利用传统设备、工艺进行张拉，按现行规范进行张拉荷载控制，最后得到的张拉锁定荷载不是设计锁定荷载。因此，有条件的情况下尽量做几组监测试验，以做到心中有数。

3. 土钉墙施工

(1)施工工艺：

本工程土钉墙按照下面施工工艺进行施工：

修坡→定孔位→成孔→钢筋下放→注浆→编网→复喷(初喷工序根据实际情况灵活处理)。

(2)工艺试验：

平台下 14m、15m 土钉施工前，先在坑内选定位置进行了 2 组 6 m 长土钉工艺试验。试验目的是检验土钉对中支架能否满足土钉钢筋位于孔中央、注浆方法和压力是否能使注浆饱满。从挖出的土钉情况看，试验结果令人满意。

(3)施工中遇到的问题：

当施工坑底以上 3 排土钉时，由于连续的降雨，西侧坡补给充分的地下水沿岩面和残积土的节理面从开挖面外流，新开挖的工作面土体不稳定，沿摩擦系数很小的节理面整块坍塌，最大滑塌深度达 1.5m。施工中喷射的混凝土沿坡面滑落，钻孔时机械扰动会进一步导致土体坍塌。这些给施工造成了很大的困难。

经分析，认为在上一排土钉已经做好的情况下，土体滑塌范围不会很大。按塌方深度将塌方分为两种情况，分别处理。当塌方深度小于 0.5m 时，处理方法为：①迅速在坡面上分层交叉打设 1.0m 钢筋，以稳定土体，控制滑塌范围；②钻机成孔并注浆；③编钢筋网并在坡面可以喷射混凝土的时候喷射混凝土，完成该处的土钉墙。当塌方深度大于 0.5m 时，处理方法为：①迅速在坡面上分层交叉打设 1.0m 钢筋，以稳定土体，控制滑塌范围；②迅速用砂袋堆压滑塌坡面，并保证砂袋与滑塌体顶部紧密接触；堆体中预留土钉钻孔孔位；③成孔注浆；④编钢筋网并喷射混凝土，完成该处的土钉墙。

为保证雨季施工顺利及出现问题可以集中处理，土方分段开挖的段长根据天气情况灵活缩减，保证开挖出的土坡快速成活成土钉墙。

四　监测结果分析及经验

1. 监测结果分析

(1)水平位移：基坑开挖过程中坡顶及平台的水平位移变化速率都不大，最大位移速率值为 1.18mm/d，远小于设计报警值 5mm/d。但在基坑竣工日期六月底，基坑东侧最大变形量为 67.8mm，超过设计警戒值 60mm，南侧坡顶最大变形量为 55mm，也接近报警值。对此情况，在详细分析的基础上认为暂不必进行特别支护处理。分析如下：60mm 的绝对位移值是逐渐累积而成，没有太大的位移突变。在位移值达到 60mm 时，位移速率只有 1.2~2mm/d，小于 5mm/d 的位移速率警戒值。

从结果可以看出，此砾质粘性土中土钉墙支护应以渐进变化的变形累积值为主控目标。从施工进度上分析，当施工进行到最后三层时，变形增大速率较以前加快。

到目前（2000.03.08）为止，车站基坑变形仍发生在南侧边坡中间部位，坡顶最大变形值为 82mm，平台最大变形值为 73mm，坡顶沉降 70mm。

(2)沉降：沉降速率及沉降量的发展规律与水平位移基本相同。其中最大值也发生在基坑的东侧和南侧，其值（1999 年 6 月 30 日）分别为 47.5mm 和 34.8mm。

(3)坡体测斜：根据坡体测斜结果统计，坡体变形基本可概括成图 2 形式。

(4)土钉内力：测试结果表明，土钉内力表现为中间大两端小的规律，面板附近土钉受力不大；各层土钉的最大拉力点连线与边坡稳定分析时的最危险滑弧线基本吻合。见图 3。

(5)锚索拉力：锚索锁定后监测结果基本处于稳定状态。

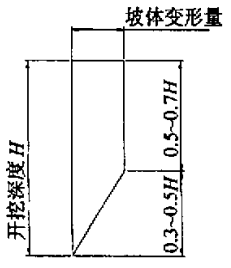


图 2 简化坡体变形分布

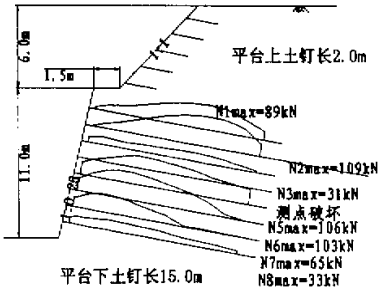


图 3 土钉内力沿钉长分布曲线

(6)地下水位：监测结果表明，在水晶岛站地质条件下，目前的降水设计效果不理想，只能降到 15m 深；另外，分析垂直于基坑坡顶线的降水井观测结果可知：砾质粘性土中，在距降水井 20m 范围内，降水曲线坡度为 1∶3~1∶4。

2. 监测工作经验总结

(1)监测设计(布点和监测频率)也要遵循动态设计方法，也要根据揭露出的地质条件和先期监测结果进行修正。

(2)由于影响边坡变形量值的因素众多，监测结果不一定如人们预期所料，因此，监测结果本身的准确性必须要保证。施工中要注意检查：①监测点位置是否被移动；②监测

操作和方法是否正确；③监测水准基点是否移动。

(3)目前地下水位测点大多安设在基坑外侧，对于宽大基坑或坡率法设计的基坑，如果要了解基坑水位降到多少高程，则还要进行进一步的分析。因此，可以考虑在基坑内部设置降水观测孔。

(4)测量土钉墙墙体倾覆力的土层主动主动土压力值的测量工艺还需要在实践中继续总结经验。

五 结束语

1.设计方面：土钉墙投入小，工期短，在深圳地区残积土中的应用进一步说明了这一支护形式的生命力。土钉墙支护的基坑限制深度一般是 12m，水晶岛站 17m 深基坑支护结构设计基本上是成功的，为土钉墙在深基坑工程中的应用拓展了新的空间。但如何准确地预测土钉墙的变形仍是一个待研究的问题。

2.施工方面：锚索——土钉支护工程中大部分为隐蔽项目，工艺质量控制特别重要。在施工准备过程中，不仅要做好土钉、锚索的基本试验，而且应尽量创造条件，做一些能反映工地实际情况的工艺试验。

3.信息化施工方面：基坑工程动态设计、信息化施工需要承包商、监理、设计和业主四方共同努力去进行。

参考文献

[1] 《深圳地区建筑深基坑支护技术规范》，SGJ05-96。

[2] 陈肇元等：《土钉支护在基坑工程中的应用》，北京，中国建筑工业出版社，1997。

[3] 陈叶青等：《土钉支护在复杂地质条件基坑支护中的应用》，见《施工技术》，1999. No. 1。

[4] 刘树亚：《地铁水晶岛站预应力锚索施工技术》，见《土工基础》，1999. No. 4。