

# 基于MADIS/GTS的基坑复合土钉墙支护效果模拟分析

刘 晨<sup>1</sup>, 饶运东<sup>1</sup>, 许开军<sup>1</sup>, 史 林<sup>1</sup>, 杨永康<sup>2</sup>

(1. 深圳市岩土工程有限公司, 广东 深圳 518028; 2. 广州大学土木工程学院, 广东 广州 510006)

**摘要:** 城市化的快速发展促使城市建设中基坑工程的规模不断加大, 复合土钉墙因其安全经济的特点, 得到了极大的重视。根据具体工程实例, 运用MADIS/GTS对基坑开挖过程进行模拟, 得出了不同工况下基坑的位移变形情况, 并对普通土钉墙与复合土钉墙的支护效果进行比较, 同时对施加不同预应力情况下基坑的变形进行了分析, 归纳出相关的结论, 可供类似工程参考。

**关键词:** 复合土钉墙; 基坑; 位移变形; 预应力; MADIS/GTS

**中图分类号:** TU473      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4548(2012)S0-0217-05

**作者简介:** 刘 晨(1985-), 男, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要从事岩土工程与地下结构工程的设计与研究。E-mail: 981022450@qq.com。

## Simulation of supporting effect of composite soil-nailing wall based on MADIS/GTS

LIU Chen<sup>1</sup>, RAO Yun-dong<sup>1</sup>, XU Kai-jun<sup>1</sup>, SHI Lin<sup>1</sup>, YANG Yong-kang<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518028, China; 2. School of Civil Engineering Guang Zhou University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** Rapid urbanization process brings development of large-scale excavation engineering in cities. The application of composite soil-nailing wall has attracted great attention because of its advantages such as security and low price. The displacement deformations of excavations under different working conditions and prestresses are gained, and a comparison of supporting effects between common soil nailing-wall and composite soil-nailing wall is performed through excavation process simulation by means of the software MADIS/GTS according to engineering practices. It may provide reference for similar projects.

**Key words:** composite soil-nailing wall; excavation; displacement deformation; prestress; MADIS/GTS

## 0 引言

随着中国经济水平的提升, 城市建设的发展, 大批高层及超高层建筑拔地而起, 各类复杂的基坑支护工程也应运而生。其中土钉+预应力锚索、土钉+微型桩、土钉+预应力锚索+微型桩等复合土钉墙支护型式因其安全、经济、便利的特点, 得到了普遍的应用和极大的发展。

## 1 复合土钉墙的作用机理<sup>[1]</sup>

普通土钉墙是通过在需支护坡体内设置一定数量的土钉, 与土共同作用, 形成了以增强边坡稳定能力为主要目的的加固土体, 可视为一种土体改良。而复合土钉墙的工作机理则更为复杂, 同时支护构件的性能差异, 使得不同复合型式的工作机理也并不相同。

以土钉+预应力锚索+微型桩复合支护型式进行简要说明, 普通土钉墙需借助土体的微小变形被动

受力, 而在设置锚索并施加了预应力之后, 能主动约束土体的变形。同时, 微型桩因其含有较大刚度的金属构件, 能增加土体的复合抗剪强度, 从而可减少坡体的水平位移及竖向位移。

## 2 工程概况

普宁市汇润平安里基坑工程场地位于普宁市环城北路与文竹北路交叉处东南侧, 呈不规则的四边形, 如图1所示。基坑的支护周长约565 m, 深度为9.03~10.98 m, 工程场区岩土层自上而下大致分为杂填土、粉质黏土、淤泥质土、中粗砂和黏土。

考虑到场地周边既有建筑物与基坑边线间距较小及基坑深度较大等因素, 并结合基坑地质条件及现场施工条件, 场地选用放坡(部分为直立)+微型桩+土钉+预应力锚索联合支护型式, 典型剖面如图2所示。

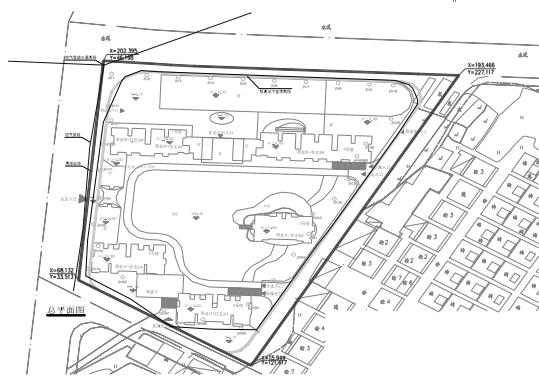


图 1 基坑及周边环境平面图

Fig. 1 Plan of excavation and surrounding environment

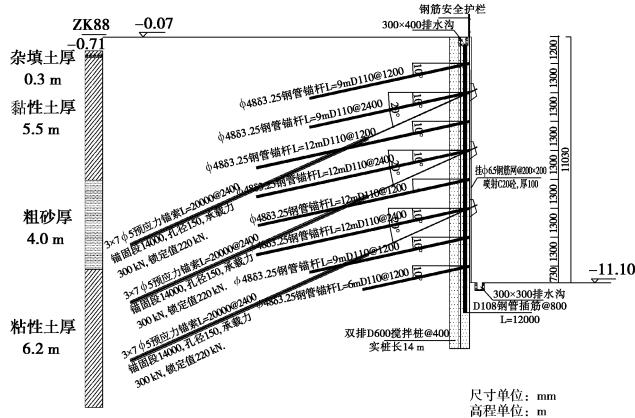


图 2 典型支护剖面图

Fig. 2 Profile of a typical support pattern

### 3 模型的建立

#### 3.1 基本假定及边界条件

建模基本假定主要有以下几点<sup>[2-6]</sup>: ①材料采用摩尔—库仑准则计算; ②假定各土层都为成层均质水平分布; ③对微型桩和锚杆分别采用梁和植入式桁架单元进行模拟, 将预应力锚索等效为施予外加荷载(将预应力和锚索在土层中的摩阻力进行叠加)进行模拟; ④不考虑地下水在开挖过程中的影响; ⑤不考虑开挖过程中时间因素。

计算模型的边界条件为: 顶面为自由边界, 侧面水平方向固定, 底面水平和垂直方向都固定。

#### 3.2 模型物理力学参数

根据《汇润·文竹北路商住楼场址岩土工程勘察报告》选取计算用土体物理力学参数, 见表 1。

表 1 土体物理力学参数表

Table 1 Physical and mechanical properties of soils

岩土层 名称	重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	黏聚 力/kPa	内摩擦角 /(°)	弹性模 量/MPa	泊松比
杂填土	17.5	5	10	6	0.2
黏性土	18	32	10	8	0.3
淤泥	17.6	10	6.2	3.5	0.25
粗砂	19	1	30	10	0.3

支护结构物理力学参数见表 2。

表 2 支护结构物理力学参数表

Table 2 Physical and mechanical properties of supporting structure

名称	重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	有效截 面积 /mm <sup>2</sup>	预成孔 直径 /mm	弹性模 量/GPa	泊松比
微型桩	25	1306.2	200	250	0.2
锚索	78	1237.5	150	195	0.2
锚杆	78	456.7	110	200	0.3

#### 3.3 模拟工况

模型的有限元计算按照以下简化的施工步骤进行:

工况 1: 构筑微型桩 → 工况 2: 开挖至距地面 -1.25 m 处并打入第 1 道锚杆 → 工况 3: 开挖至距地面 -2.55 m 处并打入第 2 道锚杆 → 工况 4: 施作第 1 道锚索 → 工况 5: 开挖至距地面 -3.85 m 处并打入第 3 道锚杆 → 工况 6: 开挖至距地面 -5.15 m 处并打入第 4 道锚杆 → 工况 7: 施作第 2 道锚索 → 工况 8: 开挖至距地面 -6.45 m 处并打入第 5 道锚杆 → 工况 9: 开挖至距地面 -7.75 m 处并打入第 6 道锚杆 → 工况 10: 施作第 3 道锚索 → 工况 11: 开挖至距地面 -9.05 m 处并打入第 7 道锚杆 → 工况 12: 开挖至距地面 -10.35 m 处并打入第 8 道锚杆 → 工况 13: 开挖至基底。

具体情况如图 3 所示。

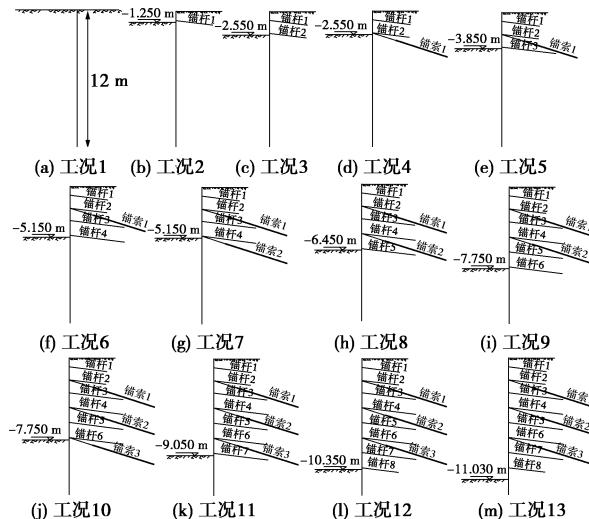


图 3 基坑开挖工况示意图

Fig. 3 Working conditions of excavation

运用 MIDAS-GTS 软件 (Geotechnical&Tunnel Analysis System), 按照上述步骤建立起来的基坑开挖结束(即工况 13)时的二维模型如图 4 所示。

### 4 模拟结果分析

#### 4.1 不同工况的影响

由 MIDAS-GTS 计算所得工况 1~工况 13 作用下

的水平位移变形云图如图5(a)~(m)所示:

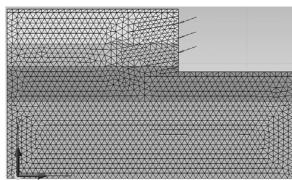


图4 基坑开挖结束时二维模型图

Fig. 4 Two-dimensional model for completion of excavation

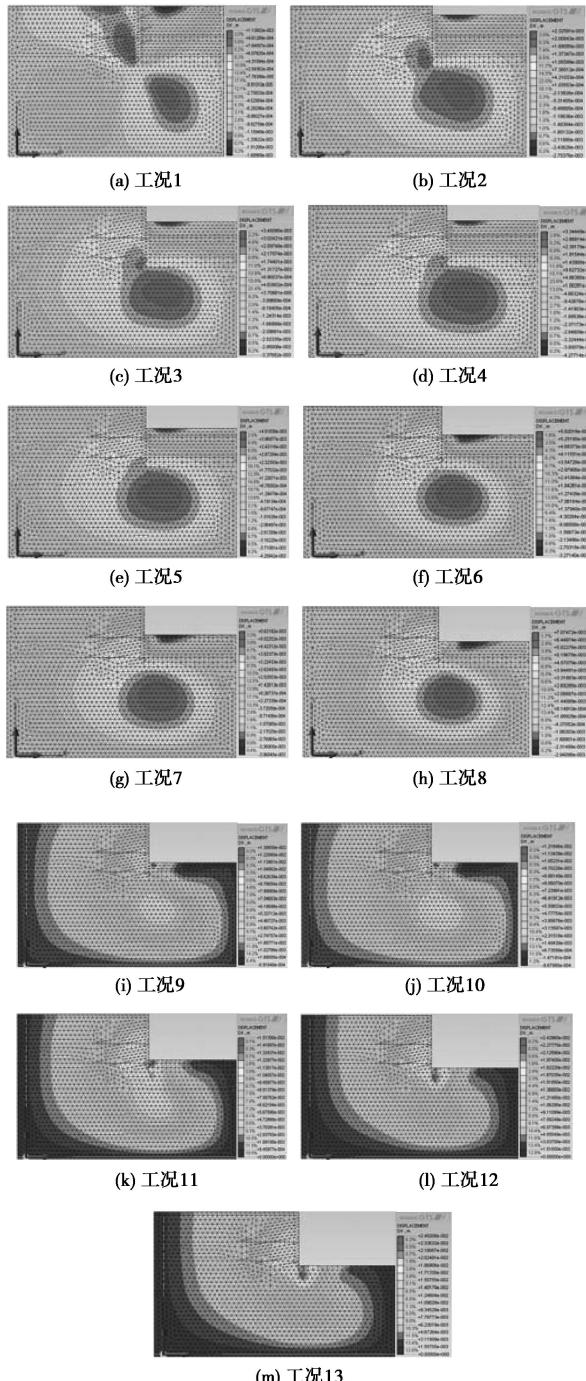


图5 基坑水平位移变形云图

Fig. 5 Horizontal displacement nephogram of excavation

同样地可得出竖向位移变形值, 将基坑的最大水

平位移和竖向位移绘制曲线图, 如图6所示。

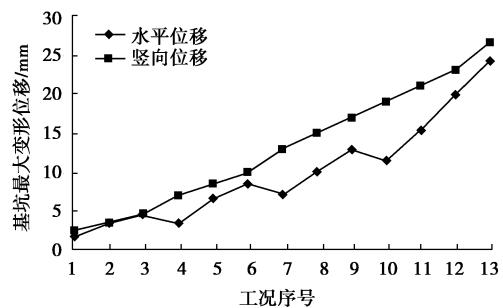


图6 不同工况时基坑最大水平和竖向位移

Fig. 6 Maximum horizontal displacements and vertical displacements of excavation under different working conditions

从图中可以看出, 随着基坑的开挖, 坡体的水平和竖向变形总体都呈增大的趋势, 竖向变形量略大于水平变形量。其中, 当每道锚索施作完毕后, 坡体的水平位移会减少, 这是因为锚索提供的预应力能抵消部分主动土压力, 从而有效地减少水平变形量, 但随着开挖深度的增加, 水平位移还是不断增大。

#### 4.2 模拟值与监测值的对比

根据现有的监测报告和监测数据, 现将有限元模拟计算结果与实测数据进行比较, 见表3、表4和图7、图8。

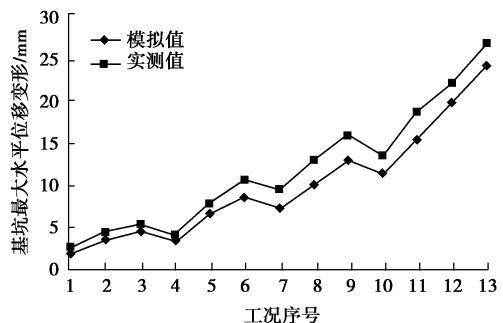


图7 不同工况时水平位移的模拟值与实测值

Fig. 7 Simulated and measured values of horizontal displacement under different working conditions

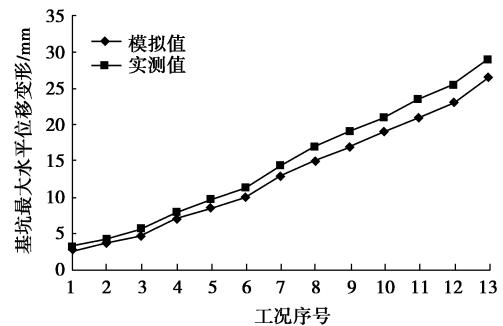


图8 不同工况时竖向位移的模拟值与实测值

Fig. 8 Simulated and measured values of vertical displacements under different working conditions

表 3 水平位移的模拟值与实测值

Table 3 Simulated and measured values of horizontal displacements

工况序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
模拟值	1.84	3.55	4.58	3.54	6.73	8.57	7.26	10.02	12.97	11.52	15.33	19.86	24.17
实测值	2.63	4.38	5.35	4.12	7.85	10.61	9.57	13.10	15.95	13.67	18.83	22.21	26.94

表 4 坚向位移的模拟值与实测值

Table 4 Simulated and measured values of vertical displacements

工况序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
模拟值	2.54	3.58	4.75	7.03	8.55	10.01	12.97	15.00	16.95	18.97	20.97	23.01	26.44
实测值	3.01	4.14	5.58	7.79	9.65	11.22	14.32	16.92	19.01	21.02	23.42	25.48	28.93

由表 3 和表 4 可见, 在水平位移中, 模拟所得的最大值为 24.17 mm, 实测中的最大值为 26.94 mm, 两者相差 2.77 mm; 在竖向位移中, 模拟所得的最大值为 26.44 mm, 实测中的最大值为 28.93 mm, 两者相差 2.49 mm。

由图 7 和图 8 可见, 模拟结果与实测值的变化趋势基本相同, 模拟结果的最大位移值与实测最大位移值也基本吻合, 说明本文所建立的有限元模型是合理的。

#### 4.3 普通土钉墙与复合土钉墙支护效果比较分析

为比较普通土钉墙与复合土钉墙支护效果的差异, 选取坡面形状、开挖深度、支护位置都相同但无微型桩和锚索的普通土钉墙支护型式进行模拟。将基坑的最大水平位移和竖向位移变形绘制曲线图, 如图 9 所示。

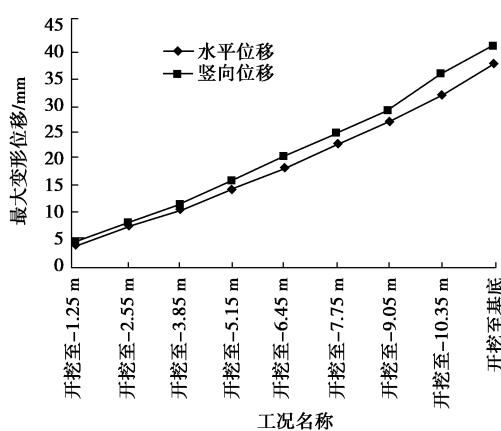


图 9 普通土钉墙支护不同工况时基坑最大水平和竖向位移

Fig. 9 Maximum horizontal displacements and vertical displacements of soil nailing-wall under different working conditions

从图 9 中可以看出, 采用普通土钉墙支护的基坑总体变形趋势与采用复合土钉墙支护型式时一致, 即随着基坑的开挖, 变形位移增大。但有以下几点不同之处: ①采用普通土钉墙支护时的最大水平和竖向位移与采用复合土钉墙支护时相比分别大了 57.6% 和 55.9%, 普通土钉墙限制位移变形的能力远不及复合

土钉墙; ②普通土钉墙支护没有施加预应力, 因此水平位移并不是阶梯状增大, 而是呈连续增大的趋势。

#### 4.4 不同预应力的影响

为分析预应力对支护效果的影响, 分别假定当锚索所施加的预应力为 160, 180, 200, 220, 240 kN 时, 与本工程(所施加的预应力为 220 kN)的位移变形进行对比。将模拟所得结果绘制曲线图, 如图 10, 11 所示。

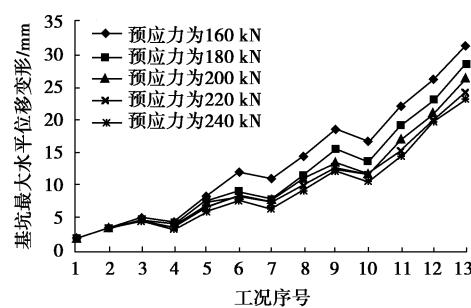


图 10 施加不同预应力时基坑最大水平位移

Fig. 10 Maximum horizontal displacements of excavation by applying different prestresses

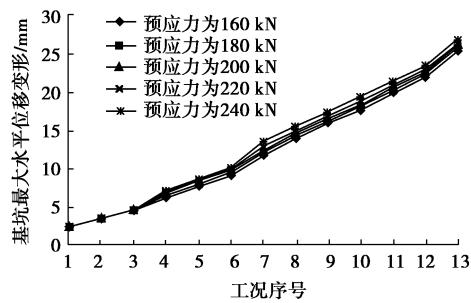


图 11 施加不同预应力时基坑最大竖向位移

Fig. 11 Maximum vertical displacements of excavation by applying different prestresses

从图中可以看出, 随着施加的预应力的增大, 基坑的变形位移呈减小的趋势。但水平位移和竖向位移减小的趋势不同。

从水平位移上来看, 当施加的预应力小于 220 kN 时, 预应力的增加能较为有效地减小基坑变形。当预应力大于 220 kN 后, 即使再增大所施加的预应力, 基

坑变形量也不能得到有效地减小。

从竖向位移上来看, 随着预应力的增大, 基坑沉降量只是略微减小, 影响不是很大。

## 5 结语

通过MIDAS-GTS软件模拟基坑开挖全过程并比较普通土钉墙及不同预应力情况下的支护效果, 得出以下3点结论。

(1) 在复合土钉墙支护型式(含预应力锚索)中, 随着开挖深度的增加, 基坑变形量呈增大的趋势。但在水平位移变形方面, 当施加完预应力后, 由于预应力能部分抵消主动土压力, 变形量会减小, 但随着基坑的开挖, 水平位移变形总体上还是增加的。

(2) 普通土钉墙支护对于基坑变形的限制能力远不及复合土钉墙。

(3) 预应力对于基坑水平位移变形存在着“较强影响区”和“较弱影响区”。在“较强影响区”内, 随着所施加预应力的增大, 水平位移变形能较为有效地减小。当超过临界值后, 即进入“较弱影响区”, 再增大所施加的预应力, 基坑变形量也不能得到有效的减少。预应力对于基坑竖向位移变形的影响不是很明显。

## 参考文献:

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WAN Wei-dong. Excavation engineering manual[M]. Beijing: China Architecture and

Building Press, 2002. (in Chinese))

- [2] LIU Chen, ZHANG Ji-chao, WANG Ke-yi. Technology of soft preventing the tunnel disaster caused by overhead excavation underground space[J]. Advanced Materials Research, (168-170) 2011: 2422 - 2425.
- [3] 张季超, 刘晨, 刘茂龙, 等. 广州珠江新城地下空间关键技术研究与应用[J]. 工程力学, 2010, 27(增刊2): 114 - 123. (ZHANG Ji-chao, LIU Chen, LIU Mao-long, et al. Research and application on the key technology of the underground space of Zhujiang New Town in Guangzhou[J]. Engineering Mechanics, 2010, 27(S2): 114 - 123. (in Chinese))
- [4] 刘晨, 张季超. 基坑开挖对下方地铁隧道结构影响的分析[J]. 地下空间与工程学报, 2010, 6(增刊1): 1390 - 1393. (LIU Chen, ZHANG Ji-chao. Influence of excavation of foundation pits on adjacent subway tunnels in the understand space[J]. Chinese Journal of Understand Space and Engineering, 2010, 6(S1): 1390 - 1393. (in Chinese))
- [5] 刘日成, 张芹. 复合土钉墙支护效果数值模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 8(1): 182 - 189. (LIU Ri-chen, ZHANG Qin. Numerical simulation of composite soil nailed wall[J]. Chinese Journal of Understand Space and Engineering, 2009, 8(1): 182 - 189. (in Chinese))
- [6] BOSE S K, SOM N N. Parametric study of a braced cut by finite element method[J]. Computers and Geotechnics, 1998, 22(2): 91 - 107.

(本文责编 孙振远)