

深基坑土钉支护正交数值模拟试验初步研究

袁则循¹, 陶龙光¹, 秦本东², 陶利兵³

(1. 中国矿业大学 (北京校区) 力学与建筑工程学院, 北京 100083; 2. 焦作工学院, 河南 焦作 454003; 3. 北京双圆工程咨询监理公司, 北京 100045)

摘要: 把数值模拟计算用于工程设计阶段, 对深基坑土钉支护设计有很重要的意义, 特别是对超近深基坑 (群) 变形控制的设计. 通过应用于土木及采矿工程的拉格朗日元法的应用程序 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua, 连续介质快速拉格朗日分析), 结合工程实例, 对深基坑土钉支护进行正交数值模拟, 初步探讨了土钉支护参数对支护变形的影响, 可供超近深基坑土钉支护变形控制设计时参考.

关键词: 正交数值模拟试验; 深基坑土钉支护
中图分类号: TU 433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-332 (2004) 03-0209-04

0 引言

把数值模拟计算用于工程设计阶段, 对深基坑土钉支护设计有很重要的意义^[1,2], 特别是对超近深基坑 (群) 变形控制的设计. 目前的深基坑工程土钉支护设计中, 经验方法占重要的地位^[3], 工程设计是在与类似工程条件和地质条件类比的基础上进行的, 然后用极限平衡法进行一定的验算, 在这一过程中没有涉及明确的变形信息, 也没法考虑土钉支护各参数 (钉长、钉距和土钉倾角、面层等) 对支护变形的影响, 难以实现变形控制设计. 基于正交试验原理, 应用土木及采矿工程的拉格朗日元法的应用程序 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua, 连续介质快速拉格朗日分析), 结合北京宏源大厦工程原型, 把正交设计方法和深基坑数值模拟有机的结合起来, 初步研究评价了土钉各支护参数与支护变形的关系, 供深基坑土钉支护基于变形控制设计时参考.

1 正交数值模拟试验在土钉支护中的应用

“正交设计方法”是处理多因素试验的一种科学的试验方法, 它使用一种规格化的表格——“正交表”合理的安排试验. 用这种方法只要较少次数的试验便可以判断出较优的试验条件, 若再对试验结果进行简单的统计分析, 还可以更全面、更系统地掌握试验结果, 作出正确的判断. 在深基坑土钉支护数值模拟中, 可以把每次数值计算作为一次试验, 数值计算结果 (如基坑的位移、沉降) 与开挖方法、土钉长度、土钉间距、土钉倾角和面层厚度等多个因素密切相关. 各因素都或多或少地对基坑边坡的位移和沉降产生影响, 到底哪个因素重要, 哪个因素不重要, 各因素依什么样的水平搭配起来更好等, 都可以通过因素正交设计反映出来. 正交数值模拟分析是按照正交试验原理, 合理构造参数的不同组合进行数值计算, 并将得到的一系列结果进行正交试验分析和回归分析, 由此得出不同参数变化对计算结果的影响.

收稿日期: 2003-09-17; 修回日期: 2004-02-10
作者简介: 袁则循 (1976-), 女, 河南洛阳人, 在读硕士研究生, 主要从事岩土工程方面的研究.

2 正交数值模拟试验实施及结果分析

基坑边坡的位移 (变形), 特别是土钉边坡坡顶的水平位移值是控制基坑稳定性和满足环境要求的最重要和直接的指标. 较合理、恰当的做法是选择基坑开挖终了时基坑边坡坡顶最大水平位移、坡顶最大沉降值、坡中点水平位移作为评价基坑稳定性和满足环境要求的指标^[4,5].

土钉支护的支护结构参数有钉长、钉间距 (水平和垂直)、土钉倾角和喷射混凝土面层的厚度等. 对临时土钉支护, 实测和计算都表明面层不是主要的受力部件. 在这里只考虑钉长、钉间距和土钉倾角三个主要因素, 在实践经验和理论分析的基础上把这三个因素的各水平控制在适当的范围内. 如钉长为 017 ~ 113 H (为便于比较, 取上下土钉长度相等), 钉间距为 1 ~ 2 m, 土钉的倾角不宜大于 15°^[4]. 正交试验中每个因素取三个水平, 因素和水平的变化的情况见表 1.

表 1 中有三个因素, 分别用 A、B、C 来表示, 每个因素三个水平, 各水平用下标来表示, 如: A_2 表示因素 A 的第二水平. 可以选用正交表 $L_9(3^4)$ 安排数值试验的试验方案^[6]. 本文运用 FLAC 软件进行数值分析, FLAC 能进行大变形分析, 是目前世界上最优秀的岩土力学数值计算软件之一, FLAC 中的 CAB、BEAM 等类型的结构单元可较好模拟深基坑土钉支护问题, 试验方案见表 2.

表 1 数值试验因素方案

Tab11 Scheme of numerical experiment factors			
水平	钉长 P_m	钉间距 P_m	土钉倾角 $P(^{\circ})$
1	017 H	110	0
2	110 H	115	715
3	113 H	210	15

表 2 正交数值模拟试验方案

Tab12 Scheme of orthogonal numerical simulation experiments						
实验号	钉间距 P_m	土钉倾角 $P(^{\circ})$	钉长 P_m	坡顶最大水平位移 R_m	坡中水平位移 R_m	坡顶最大沉降 R_m
1	1 (210)	1 (0)	1 (017 H)	4120	2190	3130
2	1 (210)	2 (715)	2 (110 H)	2155	2115	2100
3	1 (210)	3 (15°)	3 (113 H)	2120	1185	1180
4	2 (115)	1 (0)	2 (110 H)	2125	1195	1135
5	2 (115)	2 (715)	3 (113 H)	1195	1160	1130
6	2 (115)	3 (15°)	1 (017 H)	4115	2170	3135
7	3 (110)	1 (0)	3 (113 H)	1175	1135	1145
8	3 (110)	2 (715)	1 (017 H)	2135	2100	1145
9	3 (110)	3 (15°)	2 (110 H)	2100	1165	1150

根据表 2, 按照正交设计的分析方法, 把各因素对各个指标的影响值进行平均, 可得到表 3.

表 3 各因素对各指标的影响

Tab13 Influence of each factor to each index									
水平	坡顶最大水平位移 P_{tm}			坡中水平位移 P_{tm}			坡顶最大沉降 P_{tm}		
	A_j	B_j	C_j	A_j	B_j	C_j	A_j	B_j	C_j
$j = 1$	2198	2173	3157	2130	2107	2153	2137	2103	2170
$j = 2$	2178	2128	2127	2108	1192	1192	2133	1158	1162
$j = 3$	2103	2178	1197	1167	2107	1160	1147	2122	1152

为直观起见, 将因素的水平作为横坐标, 坡顶最大水平位移或沉降作为纵坐标, 作出因素与指标

的关系图,如图1所示.级差的大小,反映了因素变化时对指标的变化幅度,因素的级差越大,就说明该因素的影响越大,这个因素越重要.

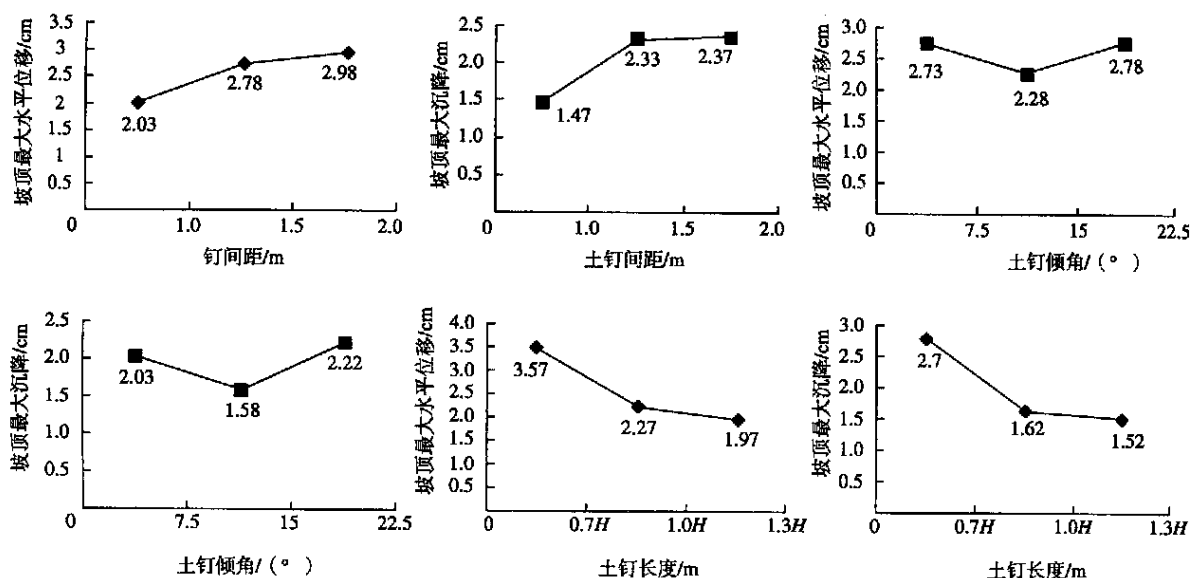


图1 各因素指标关系

Fig.1 Relations of each factor index

由表3和图1可知:

(1) 三个因素对深基坑土钉支护变形的影响作用依次为:土钉钉长、间距、倾角,由此我们可以初步推断:在距基坑坡面一定水平深度范围内,通过增加土钉钉长来控制支护变形比改变土钉间距与倾角有效.

(2) 随着土钉长度的增加,基坑的坡顶最大水平位移、最大沉降,基坑坡中的水平位移一直在相应减小,但当钉长大于 $110H$ 时,这种减小的幅度明显变缓,由 $110H \sim 113H$,坡顶最大水平位移减少了 013 cm ,坡顶最大沉降减少了 011 cm ,坡中水平位移减小了 0132 cm ;而由 $017H \sim 110H$ 值分别为 1130 cm , 1108 cm , 0161 cm ;这说明钉长在 110 倍基坑深度较佳,盲目加大土钉长度,效果并不明显.

(3) 随着钉间距的加大,基坑的坡顶最大水平位移、最大沉降,基坑坡中的水平位移一直在相应增加,当钉间距大于 115 m 时,增加的幅度有所减小.

(4) 随着土钉倾角的增加,基坑的坡顶最大水平位移、最大沉降先减后增,在 715° 左右时,支护变形最小.究其原因,作者认为:人工堆积层的土质较差,土钉有一定倾角,可以使土钉的后半部分插入下部土质较好的粘质粉土、砂质粉土土层内,从而控制支护坡顶的变形;土钉在正常使用阶段主要是受拉,所以当倾角较大时,支护变形加大.

3 工程实例

北京宏源大厦位于北京市朝阳区酒仙桥路4号(718厂界内),由一栋24层、高83m的框剪结构写字楼(写字楼I区),5层高18m的框架结构的裙房(写字楼区);两栋22层高6010m的剪力墙结构公寓(宏源公寓A楼和B楼),游泳池和网球场复合结构及地下车道等组成.工程基坑的特点为多、深、大、近,基坑群中以主楼基坑为最大、最深,以主楼基坑为原型进行数值模拟.采用拉格朗日元法对原型工程主楼基坑进行部分数值模拟和正交数值模拟试验分析.采用二维模型,将土钉支护边坡简化为平面应变问题,用FLAC2D进行模拟,为遵从现场施工实际情况决定将放坡角取 90° ,按施工过程严格模拟.计算范围为 $20\text{ m} \times 35\text{ m}$.选用Mohr-coulomb塑性模型.

宏源大厦主楼基坑土钉支护进行数值模拟和正交试验后, 计算结果与现场实测拟合很好, 这说明建立的模型是基本正确的, 参数的选取是合理的, 用拉格朗日元法计算深基坑土钉支护是可行的。

4 结 论

基于正交试验原理, 结合原型工程, 把正交设计方法和深基坑数值模拟有机的结合起来, 初步研究评价土钉各支护参数与土钉支护变形的关系, 可供深基坑土钉支护变形控制设计时参考。

参考文献:

- [1] 秦四清. 深基坑工程优化设计 [M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [2] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程中的应用 (第二版) [M]. 北京: 中国建筑业出版社, 2000.
- [3] 刘国彬, 侯学渊. 基坑工程发展的现状与趋势 [J]. 地下空间. 1998, 18 (5): 400 - 412.
- [4] 崔 岩. 深基坑土钉支护理论分析及试验研究 [D]. 中国矿业大学北京校区博士学位论文, 2001. 32 - 35.
- [5] 韩彦辉. 土钉墙稳定性分析及模拟试验研究 [D]. 中国矿业大学北京研究生部硕士学位论文, 1998. 28 - 31.
- [6] 崔广心. 相似理论与模型试验 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990.

A preliminary discussion of deep foundation pits adopted soil nailing through the orthogonal numerical simulation experiments

YUAN Ze-xun¹, TAO Long-guang¹, QIN Ben-dong², TAO Li-bing³

(1. College of Mechanics & Civil Eng., China University of Mining & Technology (Beijing Campus), Beijing 100083, China; 2. Jiaozuo Institute of Technology, Jiaozuo 454003, China; 3. Beijing Shuangyuan Eng. Consultation & Supervision Co. Ltd, Beijing 100045, China)

Abstract: By using the Fast Lagrangian Analysis of Continua, the orthogonal numerical simulation experiments are performed. The influences of soil nailing parameters to support deformation have been discussed, which is useful when the soil nailing designs of ultra-near deep foundation pits is based on deformation-controlled.

Key words: orthogonal numerical simulation experiments; deep foundation pits adopted soil nails

(本文责任编辑 李文清)

科技论文中文摘要的 3 种类型

1 报道性摘要

报道性摘要是指明一次文献的主题范围及内容梗概的简明摘要, 相当于简介。报道性摘要一般用来反映科技论文的目的、方法及主要结果与结论, 在有限的字数内向读者提供尽可能多的定性或定量的信息, 充分反映该研究的创新之处。科技论著如果没有创新内容, 如果没有经得起检验的与众不同的方法或结论, 是不会引起读者的阅读兴趣的; 所以建议学术性期刊 (或论文集) 多选用报道性摘要, 用比其他类摘要字数较多的篇幅, 向读者介绍论文的主要内容。篇幅以 300 字左右为宜。

2 指示性摘要

指示性摘要是指明一次文献的论题及取得的成果的性质和水平的摘要, 目的是使读者对该研究的主要内容 (即作者做了什么工作) 有一个轮廓性的了解。创新内容少的论文, 其摘要可写成指示性摘要, 一般适用于学术性期刊的简报、问题讨论等栏目以及技术性期刊等。篇幅以 100 字左右为宜。

3 报道—指示性摘要

这种摘要界于上述两者之间, 以报道性摘要的形式表述一次文献中信息价值较高的部分, 而以指示性摘要的形式表述其余部分。篇幅以 200 字左右为宜。