

# 锚杆设计参数对拉锚式支护结构 水平位移的影响

王光勇<sup>1</sup>, 刘希亮<sup>2</sup>, 倪红梅<sup>1</sup>, 杨 超<sup>1</sup>

(1. 焦作工学院 土木建筑工程系, 河南 焦作 454000; 2. 山东大学 岩土工程中心, 山东 济南 250061)

**摘要:** 利用 FLAC<sup>3D</sup> 商业软件对基坑工程拉锚式支护结构的锚杆设计参数(锚杆长度、锚杆倾角及锚杆刚度)对支护结构水平位移的影响进行了数值模拟。模拟结果表明: 随着锚杆长度增加, 最大水平位移减小, 锚杆长度控制在 1.5 ~ 2.0 倍开挖深度之间为宜; 锚杆倾角在 15 ~ 30 ° 之间对最大水平位移的影响不大; 锚杆刚度在 18.75 GPa 左右比较合适。

**关键词:** 锚杆设计参数; 拉锚式支护结构; 数值模拟

**中图分类号:** TU 433

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-0732 (2003) 03-0200-04

## 0 引言

近年来, 随着城市建设的迅速发展, 高层建筑不断兴起, 产生了大量的深基坑开挖工程, 由于基坑支护方案不合理, 造成工程事故时有发生, 总体而言, 发生率约占其数量的 20 % ~ 30 %<sup>[1]</sup>。基坑事故主要涉及两方面的问题, 一是基坑支护体系自身失稳; 二是基坑开挖引起周围环境位移的显著变化, 致使周围建筑物及地下管线破坏<sup>[2]</sup>。因此, 基坑支护结构不仅要保证深基坑本身的安全, 还要保证周围建筑物和地下管道的安全和正常使用。由于深基坑开挖的现场难以对支护参数进行系统的研究分析, 因此采用数值模拟方法对支护参数进行系统分析, 确定各参数的定性关系, 对基坑支护设计具有较大的指导意义。

目前国内一些学者已经对基坑变形作了一定的研究, 俞建霖<sup>[3~6]</sup>研究了支撑刚度、压顶梁和围圈刚度、支护结构刚度、支撑高度和层数、支护结构入土深度、土的强度以及空间效应等对变形特性的影响; 段绍伟和杜飞<sup>[7]</sup>探讨了基坑深度、支护结构长度、支护结构插入深度对基坑变形影响规律; 蒋克锋和赵燕明<sup>[8]</sup>报导了锚杆倾角、锚杆的位置和锚杆预应力对基坑变形的影响, 但没有系统研究锚杆设计参数对基坑变形特性的影响规律。随着基坑深度与宽度的增大, 拉锚式支护结构在基坑工程设计中显得越来越经济, 可明显减小支护结构尺寸、降低造价、改善施工条件, 并加快施工进度<sup>[9]</sup>。而锚杆设计参数的选择直接影响拉锚式支护结构变形特性的效果。本文利用 FLAC<sup>3D</sup> 软件初步研究锚杆设计参数(锚杆长度、锚杆倾角以及锚杆刚度)对拉锚式支护结构水平位移的影响规律, 以提高基坑工程设计理论和指导工程实践。

## 1 数值模型的建立

目前国内多采用有限元数值分析方法进行基坑变形规律研究, 土体本构关系多简化为线弹性模型或非线弹性模型, 由于基坑土体的力学行为多为弹塑性体特征, 因而, 其模拟结果与实际监测数据偏差较大; FLAC<sup>3D</sup> 软件可以模拟岩土或其他材料的二维和三维力学行为, 尤其在材料的弹塑性分析、大变形分析、流固耦合效应以及模拟施工过程时有其独到的优点, 可以准确地模拟材料的屈服、塑性

收稿日期: 2002-04-18; 修回日期: 2003-02-22

作者简介: 王光勇 (1977-), 男, 江西临川人, 在读研究生, 主要从事岩土工程方面的研究。

流动、软化直至大变形等领域.

1.1 数值模拟假设

数值模拟做如下假设：

- (1) 主要研究支护参数对深基坑定性方面影响，为了简化计算，将拉锚式支护结构简化为二维平面应变问题；
- (2) 不考虑施工进度对土体力学指标的影响，开挖深度在地下水位以上，不考虑渗流影响；
- (3) 土体本构关系采用莫尔-库仑（Mohr-Coulomb）准则模拟，由于支护结构刚度相对土体刚度较大，假定其为弹性体；
- (4) 计算过程：先让土体在自重状态下达到初始平衡，再将初始位移设置为零；把每级开挖部分用 null 模型取代，计算变化后的位移与应力.

1.2 标准模型参数

标准算例取单位宽度，宽度  $2L$  为 40 m，开挖深度为 10 m；支护结构采用地下连续墙，为弹性体，厚度  $D$  为 0.8 m，插入深度  $d$  为 8 m，弹性模量  $E$  为 21 000 MPa，泊松比为 0.25. 土体采用弹塑性模型，锚杆为弹性体，其计算参数分别如表 1 和表 2. 工程经验表明，基坑开挖的影响长度为开挖深度的 3~4 倍，影响深度为开挖深度的 2~4 倍，故取计算域长 60 m，深 40 m，其网格划分见图 1. 假定初始地应力场为自重应力场，计算域两侧设有水平链杆，底部设有铰支座，顶部取荷载 15 kPa. 深基坑开挖顺序：首先开挖至 3 m 处，然后加锚杆，再开挖直至基坑底 10 m.

表 1 土层参数  
Tab. 1 Soil parameters

土层号	土层厚度 $H/\text{m}$	土的密度 $/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	土的粘结系数 $C/\text{kPa}$	土的内摩擦角 $/(^{\circ})$	泊松比 $\mu$	弹性模量 $E/\text{MPa}$
1	19	$1.9\times10^3$	25	15	0.3	15
2	>19	$1.94\times10^3$	30	20	0.2	20

表 2 锚杆参数  
Tab. 2 Bolt parameters

参数名称	数量	参数名称	数量
锚杆长度/m	15	锚杆弹性模量/GPa	50
锚杆倾角/ $^{\circ}$	20	锚固体粘结系数/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	2
锚杆横截面积/ $\text{m}^2$	0.001 0	锚固体摩擦角/ $^{\circ}$	30
锚杆周长/m	0.1	锚固体粘结刚度/GPa	0.1
锚杆抗拉强度/kN	200		

2 数值模拟结果及分析

影响拉锚式支护结构变形因素很多，其中锚杆设计参数是主要的影响因素之一. 锚杆设计参数包括：锚杆长度、锚杆倾角及锚杆刚度等，在下面模拟中以标准模型为基准，变化相关参数，通过对设计方案的数值模拟结果处理后得如下结果.

2.1 锚杆长度的影响

图 2 是锚杆长度变化对支护结构最大水平位移的影响规律. 由图 2 可见，随着锚杆长度的增加，最大水平位移越来越小，且趋于平缓. 而锚杆长度变化对最大轴力的影响规律，如图 3 所示. 由图 3 可见，随着锚杆长度的增加，锚杆的最大轴力逐渐增加，且增加速率越来越小，当锚杆长度达到 20 m 以后，轴力便基本保持在 152 kN 左右，不再明显增大. 因而，为了使基坑锚杆既被有效利用，又能有效控制支护结构最大水平位移，建议在该数值模型设计参数的条件下，锚杆长度取 1.5~2.0 倍开挖深度比较适宜.

2.2 锚杆倾角的影响

图 4 为锚杆倾角变化对最大水平位移的影响规律，从图 4 中可以看出，倾角在 0~30 $^{\circ}$ 之间，最大水平位移变化不大，保持在 60 mm 左右，但当倾角从 30 $^{\circ}$ 增至 45 $^{\circ}$ 时，最大水平位移从 60.83 mm 增

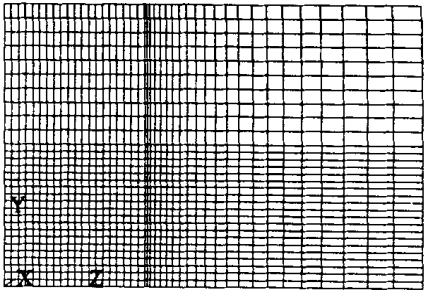


图 1 计算域网格划分示意

Fig.1 Mesh of range of calculation

加到 68.71 mm, 增加了 7.88 mm. 因而, 在加锚时倾角不宜大于  $30^\circ$ , 为了施工方便也不宜小于  $10^\circ$ , 一般在  $15^\circ$  至  $30^\circ$  之间, 但在该地质条件下锚杆倾角最好取  $15^\circ$  左右.

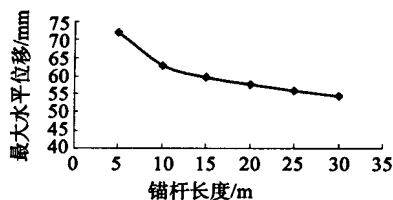


图 2 锚杆长度与最大水平位移关系

Fig.2 The relationship between the length of bolt and the maximum horizontal displacement

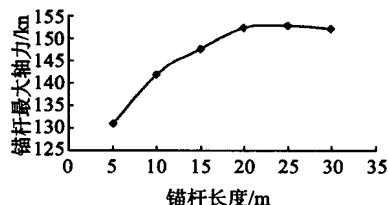


图 3 锚杆长度与锚杆最大轴力关系

Fig.3 The relationship between the length of bolt and its maximum axial force

### 2.3 锚杆刚度的影响

锚杆刚度变化对支护结构最大水平位移的影响规律, 如图 5 所示. 由图 5 可见: 随着锚杆刚度增加, 支护结构最大水平位移逐渐减小, 位移变化率越来越小, 最后趋于零. 图 6 是锚杆刚度与锚杆最大轴力之间的关系. 由图 6 可知, 随着锚杆刚度的增加, 锚杆最大轴力越来越大, 最后达到锚杆的抗拉强度 (200 kN), 从而使得锚杆发生抗拉破坏. 因而, 为了使锚杆能有效使用, 并且有效控制最大水平位移, 锚杆的刚度不宜太小, 否则锚杆将不能被有效使用; 同时锚杆刚度也不宜太大, 否则锚杆将会发生抗拉破坏, 从而使得锚杆不能有效控制水平位移, 有鉴于此, 建议在该地质条件下锚杆刚度在 18.75 GPa 左右比较合适.

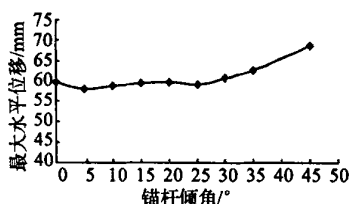


图 4 锚杆倾角与最大水平位移关系

Fig.4 The relationship between the dip angle of bolt and the maximum horizontal displacement

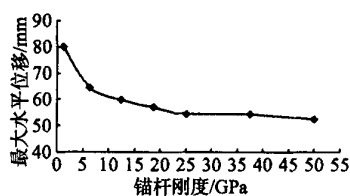


图 5 锚杆刚度与最大水平位移关系

Fig.5 The relationship between the stiffness of bolt and the maximum horizontal displacement

## 3 结 论

(1) 随着锚杆长度增加, 最大水平位移越来越小, 位移比率越来越小. 为使基坑锚杆有效被利用, 又能有效控制支护结构最大水平位移, 建议锚杆长度最好控制在 1.5 ~ 2.0 倍开挖深度之间.

(2) 锚杆倾角在  $0^\circ \sim 30^\circ$  之间, 最大水平位移影响不大, 但超过  $30^\circ$ , 最大水平位移影响较明显. 为使锚杆既有效被利用, 又方便施工, 一般在  $15^\circ \sim 30^\circ$  之间, 建议在该地质条件下倾角最好在  $15^\circ$  左右.

(3) 锚杆刚度变化对支护结构最大水平位移的影响比较显著, 锚杆的刚度不应该太小, 否则锚杆不能被有效使用; 锚杆刚度也不应该太大, 否则, 锚杆会发生抗拉破坏, 从而使锚杆不能有效的控制水平位移, 建议在该地质条件下锚杆刚度在 18.75 GPa 左右比较合适.

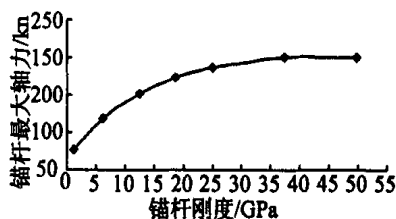


图 6 锚杆刚度与锚杆最大轴力关系

Fig.6 The relationship between the stiffness of bolt and its maximum axial force

### 参考文献:

- [1] 唐业清, 李启民, 崔江余. 基坑工程事故分析与处理 [M]. 北京: 中国建设工业出版社, 1999.

- [2] 秦四海. 深基坑工程优化设计 [M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [3] 俞建霖, 龚晓南. 软土地基基坑开挖的三维性状分析 [J]. 浙江大学学报, 1998, 32 (5): 552 - 557.
- [4] 俞建霖, 赵荣欣, 龚晓南. 软土地基基坑开挖地表沉降量的数值研究 [J]. 浙江大学学报, 1998, 32 (1): 95 - 100.
- [5] 俞建霖, 龚晓南. 深基坑工程的空间性状分析 [J]. 岩土工程学报, 1999, 21 (1): 21 - 25.
- [6] 俞建霖, 龚晓南. 基坑工程变形性状研究 [J]. 土木工程学报, 2002, 35 (4): 86 - 90.
- [7] 段绍伟, 杜 飞, 沈蒲生. 基坑深度、墙体长度、墙体插入深度对高层建筑深基坑开挖变形的影响 [J]. 建筑结构, 2002, 32 (7): 27 - 28.
- [8] 蒋克锋, 赵燕明. 单锚预应力支挡结构锚杆设置的相互作用 [J]. 地下空间, 2001, 21 (5): 470 - 474.
- [9] 龚晓南, 高有潮. 深基坑工程设计施工手册 [M]. 北京: 中国建设工业出版社, 1998.

## The influence of the bolt parameters on the horizontal displacement of tensionAnchor supporting structure

WANG GuangYong<sup>1</sup>, LIU XiQiang<sup>2</sup>, NI HongMei<sup>1</sup>, YANG Chao<sup>1</sup>

(1. Dept. of Civil Eng. & Archi. of JIT, Jiaozou 454000, China; 2. Geotechnical & Structural Eng. Research Center of Shandong Univer., Jinan 250061, China)

**Abstract :** In this paper, the effect of the bolt design parameters of the foundation pit engineering on the horizontal displacement of tensionAnchor supporting structure is performed by FLAC<sup>3D</sup>. Numerical simulation results show that the maximum horizontal displacement decrease with the increase of the bolt length, which is fit for being controlled between 1.5 and 2.0 times of the excavation depth. At the same time, the dip angle of bolt doesn't influence on the maximum horizontal displacement when it is between 15 °and 30 °. The study also shows that the stiffness of bolt can not be too large or too small, and it is more fitful when the stiffness reaches 18.75 GPa.

**Key words :** design parameters of bolt; tensionAnchor supporting structure; numerical simulation

(本文责任编辑 李文清)

## 投本刊“瓦斯地质与安全工程”栏目的文章将优先发表

为了进一步强化《焦作工学院学报(自然科学版)》的特色,本刊新开设了“瓦斯地质与安全工程”栏目,该栏目依托设立在焦作工学院的全国瓦斯地质专业委员会,主要刊登瓦斯地质方面的学术论文,同时也刊登与矿业安全有关的各类科研成果.对该栏目的稿件,本刊将优先发表.欢迎校内外煤矿安全专家向本栏目赐稿.

焦作工学院学报(自然科学版)编辑部