

石家庄土钉支护设计分析 Analysis for soil nailing in Shijiazhuang

王长科¹, 陈小锋², 苗现国²

(1. 石家庄市勘察测绘设计研究院, 河北 石家庄 050011; 2. 核工业第四勘察院, 河北 石家庄 050021)

摘要: 根据石家庄地质条件, 通过几年来的工地观察和实践, 总结出了土钉支护土体破裂面形状和主动土压力分布模式, 提出了土钉支护设计分析方法。结合土钉支护工程实例进行了设计验算。

关键词: 土钉支护; 设计分析

中图分类号: TU 471

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)01-0064-05

作者简介: 王长科(1964-), 男, 河北邯郸人, 硕士, 高级工程师, 石家庄市勘察测绘设计研究院副总工程师, 国际工程地质与环境协会会员, 中国建筑学会工程勘察分会委员, 河北省土木建筑学会理事, 从事岩土工程专业。

WANG Chang-ke¹, CHEN Xiao-feng², MIAO Xian-guo²

(1. Shijiazhuang Design Institute of Geotechnical Investigation & Surveying, Shijiazhuang 050011, China; 2. Fourth Investigation Institute, Ministry of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on the practice of soil nailing in Shijiazhuang, a new method to analyze soil nailing is proposed.

Key words: soil nailing; analysis and design

1 前言*

土钉支护技术是国外 70 年代发展起来的边坡原位加筋支护技术^[1]。德国、法国、英国、美国、加拿大、中国等国的工程师和教授们都分别投入了大量精力进行研究, 获得了许多重要成果。目前, 中国已出版了与土钉支护技术有关的规范^[2-5]、手册^[6-10]和专著^[11, 12]。土钉支护技术在中国各地基坑工程、边坡治理工程中得到了广泛应用, 在工法、设计、材料、构造、施工工艺上, 都得到了蓬勃发展, 各地的工程师们也都积累了丰富的工程经验。同时应该看到, 土钉支护技术还处于发展阶段, 支护失败事故时有发生, 许多设计问题还未澄清。

世界各国的工程师和研究人员, 根据当时的认识思想等条件, 分别在不同时期提出了许多设计方法。这些方法主要有: Lowe & Karafiath 法(1960)、Spencer 方法(1967)、美国陆军工兵部队法(1970)、德国方法(1979 年由 Stocker 提出)、Davis 方法(1981 年由 Shen 等人提出)、法国方法(1983 年由 Schlosser 提出)、英国 R. J. Bridle 方法、有限元方法(1985 年由 Plamelle 等人提出)、改进的 Davis 方法(1988 年由 Juran 提出)、运动学方法(1989 年由 Juran 等人提出)、简化的 Schlusser 方法、中国的国家规范方法^[2-4]、王步云方法^[6]、冶金部建筑研究总院方法^[12]、总参科研三所方法^[10]、孙家乐插筋补强法^[13]、清华大学方法^[14]。这些方法都是从不同的假定前提出发, 研究了土钉支护结构的内部稳定和外部稳定, 是世界各地工程师和研究人员不同时期

实践的结晶。

石家庄地处河北省中南部, 座落在太行山东麓山前微倾斜平原, 位于冲洪积扇群上部的轴部, 滹沱河一级阶地上。地势西高东低, 西部高程 90 m(1985 国家高程基准), 东部约为 64 m。市区地表下 30 m 深度范围内主要地层自上而下有: 全新统新近堆积黄土状土、全新统的黄土状土和砂、晚更新统的粉土、粘性土、砂和碎石土。地下水位埋深约 35~40 m 左右。

石家庄的土钉支护工程经验表明, 用国家规范^[2]进行设计, 常偏于过分保守。90 年代后期以来, 石家庄逐渐积累了一套适合自己地域的土钉支护经验, 但这些经验一直未见总结升华, 以至和外地工程师无法进行设计理论交流。几年来, 笔者根据石家庄地质条件, 结合工地观察、实践总结和设计心得, 提出了一套土钉支护设计方法。现予陈述, 请同行专家指正。

2 土钉结构内部稳定分析

2.1 土钉支护设计方法分析

目前, 土钉支护以稳定分析来控制设计, 尚未发展到以变形分析来控制设计。稳定分析的内容主要包括两方面: 内部稳定分析(包括土钉结构体内(内部)破裂面、土压力和土钉内力计算)和外部稳定分析(包括土钉结构整体(外部)抗滑移、抗滑动、抗倾覆、抗隆起计算)。石家庄 30 m 深度范围内的土层承载力标准值 f_k

情况自上而下为: ①新近堆积黄土状粉质粘土、粉土, 厚度 0~3 m, $f_k = 100 \sim 120$ kPa; ②第四系全新统黄土状粉土、粉质粘土, 厚度 3~12 m, $f_k = 130 \sim 160$ kPa; ③第四系全新统粉细砂、中砂, 厚度 0.5~4 m, $f_k = 160 \sim 250$ kPa; ④第四系晚更新统粉土、粉质粘土, 厚度 4~15 m, $f_k = 180 \sim 280$ kPa; ⑤第四系晚更新统中砂、粗砂、砾砂, 厚度 5~20 m, $f_k = 250 \sim 500$ kPa。地下水位埋深 35~40 m。石家庄水文地质与工程地质条件较好, 土钉支护开挖后, 内部稳定条件得到满足时, 外部稳定条件一般都能得到满足。土钉结构内部稳定分析是石家庄土钉支护设计的控制条件。

土钉结构内部稳定分析的核心是确定土钉内力, 有了土钉内力, 土钉选筋及长度确定就不成问题了。这其中就涉及到了滑裂面、土压力问题, 对滑裂面、土压力问题的不同回答, 就构成了本文第一节列出的各种分析方法。依据石家庄土钉支护经验, 提出土钉结构内部稳定分析方法, 阐述如下。

2.2 破裂面

破裂面的寻找和确定, 是土钉结构内部稳定分析的最重要内容之一。石家庄基坑深度一般在 6~17 m 之间, 无支护开挖及土钉支护开挖引起边坡破坏的事故, 时有发生, 根据现场观察和测量, 破裂面形状大体都是如图 1 所示。图中 H 表示基坑深度, α 表示坡角。 z_0 , B_0 , B 建议按下列各式计算:

$$z_0 = \frac{\pi c}{\gamma \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} - \frac{q}{\gamma} \quad (1)$$

$$B = (H - z_0) \tan(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) \quad (2)$$

$$B_0 = B - \frac{H}{\tan \alpha} \quad (3)$$

式中 c 表示坡土粘聚力, φ 表示坡土内摩擦角, γ 表示坡土容重, q 表示坡顶均布荷载。

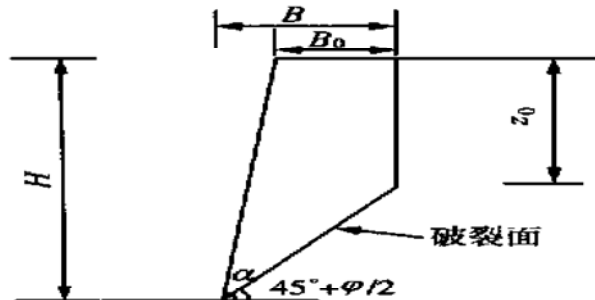


图1 破裂面模型

Fig. 1 Fracture of soil nailing

图1中 z_0 的物理意义表示地面裂缝开裂深度, z_0 的计算, 按 Rankine 理论应该是将式(1)中 π 换为 2, 按库尔曼边坡稳定分析理论, 应该是将式(1)中 π 换为

4。实际观察表明, 在石家庄, 2 偏小, 4 偏大。用 π 差不多。式(1)是从后述式(10)导出。

2.3 主动土压力

用于确定土钉内力的主动土压力, 包括两个问题: 主动土压力随开挖深度的变化模式和主动土压力随坡角的变化模式。德国^[11]的大型试验表明, 土钉支护开挖的主动土压力随开挖深度先是线性增加, 到一定深度后, 改为线性减少, 基坑底标高处的主动土压力很小, 见图2。最近, 张明聚、郭忠贤^[15]通过现场测试发现土钉最大受力在基坑的中部最大, 上下部较小。

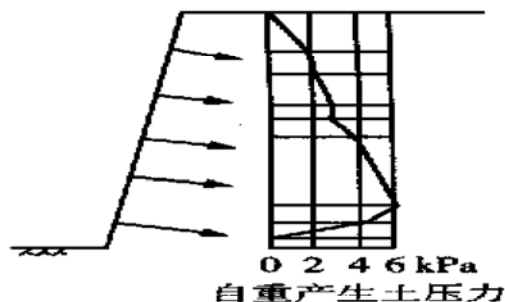


图2 德国 Karlsruhe 大学的大型试验结果

Fig. 2 Result of a model test in Karlsruhe university

土钉支护结构和加筋土挡墙的区别, 就是土钉支护属于天然土体自上而下逐步开挖, 边开挖边支护, 基坑底面以下的天然土体对其上坡体的拱作用, 是明显的。而加筋土挡墙则不是这样。正因为如此, 基坑底标高处的主动土压力和上面相比反而较小, 或者说, 在基坑底标高处设置一道土钉, 土钉内力很小, 甚至可能为零, 这个道理是显而易见的。基于这样的理论分析, 结合已报道的实测资料, 提出如图3的土压力分布模式。考虑到最后一道土钉受力总是较小的事实, 而且只有在进行下步开挖后, 该道土钉才能较大受力, 所以假定倒数第二道土钉以下为坑底土拱作用影响的范围, 见图3。其上仍沿用 Rankine 理论。图中 O 点表示土压力零点, B 点表示倒数第二道土钉位置。

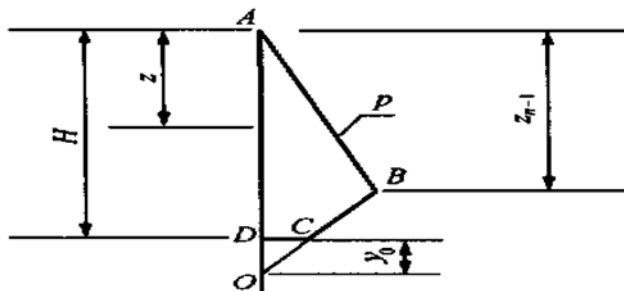


图3 主动土压力分布模型

Fig. 3 Active pressure on a wall with soil nailing

图3中, p 表示主动土压力强度, z_{n-1} 表示第 $n-1$ 道土钉到基坑顶面的距离(第 $n-1$ 道土钉即基坑底面向上第2道土钉, n 表示土钉总道数), 见后述图4。

主动土压力随坡角的变化模式, 中国规范^[2]用荷载折减系数 ζ 来描述。从规范公式来看, 当坡角等于坡土内摩擦角时, $\zeta=0$; 当坡角等于 90° 时, $\zeta=1$ 。后者是毫无疑问的。前者事实上应该是, 当坡角等于临界坡角时 $\zeta=0$, 临界坡角的概念是相应于一定坡高和一定坡顶荷载条件下, 边坡稳定安全系数为 1.0 时的坡角。显然, 处于临界坡角状态时的边坡主动土压力为零。参考 Rankine 理论、库尔曼边坡稳定分析理论和李妥德(1990) 公式^[16], 用瑞典圆弧法计算边坡稳定安全系数为 1.0 时拟合出临界坡高随临界坡角变化的公式, 见式(10)。

基于上述分析和建立的土压力分布模型, 主动土压力强度 p 按下式计算:

$$\text{当 } z \leq z_{n-1} \text{ 时 } p = \zeta(K_a q_z - 2c \sqrt{K_a}) \quad (4)$$

$$\text{当 } z > z_{n-1} \text{ 时 } p = \zeta(K_a q_{z_{n-1}} - 2c \sqrt{K_a}) \frac{H - z + y_0}{H - z_{n-1} + y_0} \quad (5)$$

其中

$$y_0 = \frac{(\frac{q}{\gamma} + H)K_a - \frac{2c}{\gamma}(\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a})}{K_p - K_a} \geq 0 \quad (6)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) \quad (7)$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (8)$$

$$\zeta = (\alpha - \alpha_{cr}) / (90^\circ - \alpha_{cr}) \quad (9)$$

$$\alpha_{cr} = \varphi + 2 \tan^{-1} \left(\frac{\pi c}{q + \gamma H} \right) \quad (10)$$

式中 p 表示水平向主动土压力强度(kPa); y_0 表示土压力零点埋深(m); K_a 表示主动土压力系数; K_p 表示被动土压力系数; z 表示计算点深度(m); q_z 表示计算点的竖向有效应力(kPa), $q_{z_{n-1}}$ 表示 $z = z_{n-1}$ 时的 q_z ; ζ 表示主动土压力强度折减系数; α 表示坡角, α_{cr} 表示临界坡角; H 表示坡高; q 表示坡顶均布荷载。

2.4 土钉内力

土钉内力按下式计算:

$$R = S_x S_y p / \cos \beta \quad (11)$$

式中 R 表示土钉内力(kN); $S_x S_y$ 表示土钉控制的坡面垂直面积(m^2); β 表示土钉和水平面的夹角。

2.5 土钉长度

土钉长度设计值应满足下式:

$$L \geq L_f + L_e \quad (12)$$

$$L_e = K_l R / (\pi D \tau) \quad (13)$$

当 $z \leq z_0$ 时

$$L_f = (B_0 + \frac{z}{\tan \alpha}) \frac{1}{\cos \beta} \quad (14)$$

当 $z > z_0$ 时

$$L_f = \frac{H - z}{H - z_0} (B_0 + \frac{z_0}{\tan \alpha}) \frac{1}{\cos \beta} \quad (15)$$

式中 L 表示土钉长度设计值, L_e 表示稳定区土钉长度, L_f 表示滑动区土钉长度, D 表示土钉注浆体直径, τ 表示土钉注浆体侧摩阻力标准值, K_l 表示分项系数, 建议取 1.1~1.3。其他符号如图 4 所示。

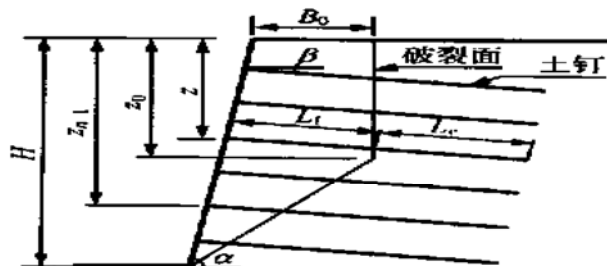


图 4 土钉长度计算

Fig. 4 Length calculation of soil nailing

2.6 土钉选筋

土钉钢筋应选用 II 级钢筋, 钢筋直径设计值应满足下式:

$$d \geq \sqrt{\frac{K_b R}{\pi f_{yk}}} \quad (16)$$

式中 d 表示钢筋直径设计值, f_{yk} 表示钢筋抗拉强度标准值, K_b 表示分项系数, 建议取 1.1~1.3。

2.7 连接计算

土钉和面层的连接计算, 应满足下式:

$$N_t^b \geq K_l (R - \pi D L_f \tau) \quad (17)$$

式中 N_t^b 表示土钉和面层之间的拉力设计值, K_l 表示分项系数, 建议取 1.1~1.3。

土钉和面层连接, 可采用焊接或锚定板螺栓连接。

3 工程实例设计分析

3.1 石家庄市公安交通指挥中心基坑工程

石家庄市公安交通指挥中心位于石家庄市中华南大街, 主楼地上 18 层, 地下 2 层, 筏板基础, 框剪结构。基坑开挖深度 12 m, 平面尺寸为 $63 \text{ m} \times 49.5 \text{ m}$ 。

(1) 水文地质与工程地质条件

地下水位埋深在 35 m 以下。自然地面以下 20 m 深度范围内的地层自上而下为: 新近堆积黄土状粉质粘土 ①层, 厚度 1.5 m, 硬塑; 黄土状粉质粘土 ②层, 厚度 3.0~4.6 m, 平均厚度 3.8 m, 可塑; 黄土状粉土 ③层, 厚度 3.9~5.5 m, 平均厚度 4.7 m, 中密、稍湿; 粉细砂 ④层, 厚度 0.0~1.4 m, 平均厚度 0.7 m, 中密、稍湿; 粉质粘土 ⑤层, 厚度 5.3~6.3 m, 平均厚度 5.8 m, 可塑。各层土的力学指标见表 1。

表 1 公交指挥中心坡土力学指标

Table 1 Soil parameters

土层	厚度 /m	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	c /kPa	φ /($^{\circ}$)	τ /kPa
①	1.5	19.4	30	27	40
②	3.0~ 4.6	19.5	20	24	50
③	3.9~ 5.5	19.1	22	26	60
④	0.0~ 1.4	19.1	0	36	80
⑤	5.3~ 6.3	19.8	23	25	55

(2) 土钉支护设计方案

经方案分析论证, 决定南坡采用放坡无支护开挖方案, 坡顶荷载按 20 kPa 考虑, 考虑边坡稳定安全系数为 1.3 时, 放坡坡角设计为 46° 。

北坡、西坡、东坡采用土钉支护开挖方案, 设计坡角 $\alpha=90^{\circ}$, 设 8 道土钉, 土钉水平间距 1.5 m, 竖向间距 1.2~ 1.5 m。土钉下斜角 15° , 土钉钻孔直径 100 mm, 土钉采用 II 级钢筋, 每道土钉设计参数见表 2。注浆采用水灰比为 0.45~ 0.50 的普硅[#] 425 净水泥浆。面层采用挂 $\phi 6@200\times 200$ 钢筋网, 喷射 C20 混凝土面层, 厚度 80 mm, 每道土钉设 $\Phi 16$ 水平加强筋, 土钉和面层连接采用焊接。面层间隔一定距离布置泄水孔。

表 2 公交指挥中心土钉支护设计方案及验算结果

Table 2 Design parameters and calculated result of soil nailing

土钉道号	S_x/m	S_y/m	土钉参数	计算结果	
				K_1	K_b
1	1.5	1.0	1 $\Phi 18L7000$	∞	∞
2	1.5	1.2	1 $\Phi 20L9000$	58.50	95.60
3	1.5	1.5	1 $\Phi 20L9000$	2.30	3.51
4	1.5	1.5	1 $\Phi 20L9000$	1.41	1.81
5	1.5	1.5	1 $\Phi 20L9000$	1.61	1.50
6	1.5	1.4	1 $\Phi 22L9000$	1.42	1.41
7	1.5	1.4	1 $\Phi 22L9000$	1.24	1.09
8	1.5	1.5	1 $\Phi 18L4500$	1.14	1.44

(3) 内部稳定验算

坡顶荷载考虑 20 kPa, 基坑开挖深度 12 m 范围内土的力学参数平均值为 $\gamma=19.34\text{ kN/m}^3$, $c=21\text{ kPa}$, $\varphi=26^{\circ}$, 根据式(1), (3), (6), 得 $z_0=4.5\text{ m}$, $B_0=4.7\text{ m}$, $v_0=0.1\text{ m}$ 。按本文方法计算结果见图 5 和表 3。验算结果见表 2。

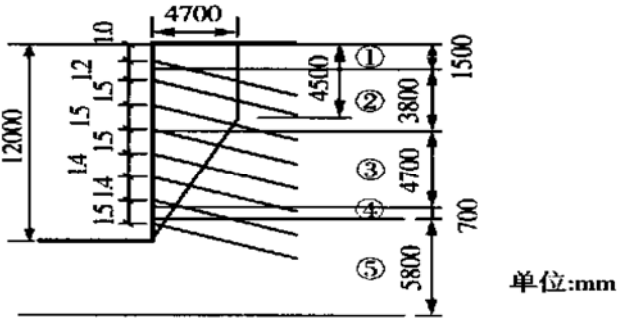


图 5 公安交通指挥中心土钉计算

Fig. 5 Design of soil nailing

表 3 公交指挥中心土钉计算

Table 3 Design of soil nailing

道号	z /m	S_xS_y / m^2	土层	p /kPa	R /kN	L_t /m
1	1.0	2.40	①	0.0	0.0	4.9
2	2.2	2.03	②	0.5	1.1	4.9
3	3.7	2.25	②	13.0	30.0	4.6
4	5.2	2.25	②	25.0	58.0	3.8
5	6.7	2.18	③	31.0	70.0	3.0
6	8.1	2.10	③	41.4	90.0	2.2
7	9.5	2.18	③	51.9	117.0	1.3
8	11.0	2.63	⑤	21.5	59.0	0.6

(4) 土钉支护效果

该支护工程自 1999 年 2 月 3 日进场, 2 月 24 日支护结束。6 个月后主体出正负零, 基坑回填。期间边坡运营良好。坡顶位移观测结果见表 4。实测最大水平位移与坡高之比为 0.4‰, 可见位移控制很好。该工程荣获 2000 年度部级优秀勘察设计二等奖。

表 4 公交指挥中心坡顶位移观测结果

Table 4 Horizontal displacement of soil nailing

观测点号	水平位移/mm	垂直位移/mm
1	2.5	1.5
2	1.0	0.0
3	3.0	- 1.7
4	5.0	- 0.9
5	3.0	1.5
6	1.5	0.0
7	0.5	- 1.7
8	1.0	0.5
9	—	0.0

3.2 石家庄市一宫改造基坑工程

石家庄市一宫改造工程位于中山东路, 基坑平面尺寸 $215\text{ m}\times 168\text{ m}$ 。基坑深度 8.0~ 9.9 m。

(1) 水文地质与工程地质条件

地下水位埋深在 35 m 以下。地层情况: 杂填土, 厚度 2.0 m; 粉质粘土, 厚度 6.5 m, 可塑; 细砂, 厚度 3.5 m, 中密, 稍湿。坡土的力学指标见表 5。

(2) 土钉支护设计方案

设计坡角 79° , 设 9 道土钉, 土钉水平间距 1.1 m, 竖向间距 1.0~ 1.1 m。土钉下斜角 15° , 土钉钻孔直径 80 mm, 土钉采用 II 级钢筋, 每道土钉设计参数见表 6。注浆采用水灰比为 0.45 的普硅[#] 425 净水泥浆。面层采用挂 $\phi 4@200\times 200$ 冷拔钢筋网加铅丝网水泥砂浆人工抹面, 面层厚度 30~ 50 mm。冷拔钢筋搭接长度不小于 $30d$, 坡面上铺放[#] 24 铅丝网 $@15\times 15$, 每 2~ 3 m^2 用骑马钉固定, 抹面砂浆配比采用 1: 2.5(水泥: 砂)。土钉和面层连接采用锚定板螺栓连接, 螺栓采用 II 级钢筋 $\phi 20\sim 22$ 制成, 和土钉对焊连接。

表 5 一宫坡土力学指标

Table 5 Soil parameters

土层	厚度 /m	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	c /kPa	φ /($^\circ$)	τ /kPa
杂填土	2.0	20	22.0	12.0	55
粉质粘土	6.5	20	16.2	16.9	65
细砂	3.5	20	0.0	35.0	85

(3) 内部稳定验算

坡顶荷载取 10 kPa, 坡土的力学参数平均值取 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 15 \text{ kPa}$, $\varphi = 18.5^\circ$ 。由式(1), (3) 得 $z_0 = 2.8 \text{ m}$, $B_0 = 3.2 \text{ m}$, 由式(6), (9), (10) 得 $\gamma_0 = 0.86$, $\alpha_{cr} = 44^\circ$, $\zeta = 0.76$ 。按本文方法计算结果见图 6 和表 7, 验算结果见表 6。

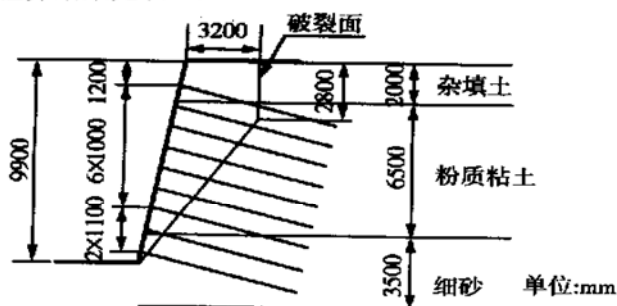


图 6 一宫土钉计算

Fig. 6 Design of soil nailing

表 6 一宫土钉支护设计方案及验算结果

Table 6 Design parameters and calculated results of soil nailing

土钉道号	S_x/m	S_y/m	土钉参数	计算结果	
				K_1	K_b
1	1.1	1.2	1 $\Phi 16L6000$	∞	∞
2	1.1	1.0	1 $\Phi 16L8000$	14.70	13.74
3	1.1	1.0	1 $\Phi 16L8000$	5.51	4.64
4	1.1	1.0	1 $\Phi 16L7000$	2.93	2.82
5	1.1	1.0	1 $\Phi 16L7000$	2.34	2.01
6	1.1	1.0	1 $\Phi 16L6000$	1.59	1.57
7	1.1	1.0	1 $\Phi 16L6000$	1.39	1.22
8	1.1	1.1	1 $\Phi 16L5000$	1.57	1.18
9	1.1	1.1	1 $\Phi 16L5000$	7.22	4.95

表 7 一宫土钉计算

Table 7 Design of soil nailing

道号	z/m	$S_x S_y$ / m^2	p /kPa	R /kN	L_f /m
1	1.2	1.87	0.0	0.0	3.7
2	2.2	1.10	4.3	4.9	3.6
3	3.2	1.10	12.7	14.5	3.1
4	4.2	1.10	21.0	23.9	2.7
5	5.2	1.10	29.4	33.5	2.2
6	6.2	1.10	37.8	43.0	1.8
7	7.2	1.16	46.1	55.4	1.3
8	8.3	1.21	45.7	57.2	0.8
9	9.4	1.16	11.3	13.6	0.4

(4) 土钉支护效果

该支护工程自 1999 年 6 月开始, 8 月支护结束, 至今边坡运营良好。观察表明, 坡顶水平位移一般为 4 ~ 5 mm, 最大为 13 mm, 水平位移控制在坡高的 1.5%。

4 结 论

在石家庄, 一般来说内部稳定分析是土钉结构设计控制因素。本文提出的土钉结构内部稳定分析方法, 可供在石家庄基坑工程设计中, 进行土钉结构内部稳定分析时使用。注意对缺乏经验的深基坑, 除进行内部稳定分析外, 尚应进行外部稳定分析。

参考文献:

- [1] 王长科, 林宗元. 土钉技术的发展及其在我国工程建设中的应用[A]. 中国地质学会第 4 届工程地质大会论文选集[C]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [2] JGJ120-99, 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [3] CECS96:97, 基坑土钉支护技术规程[S]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 1997.
- [4] YB9258-97, 建筑基坑工程技术规范[S]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [5] SJG05-96, 深圳地区建筑深基坑支护技术规范[S]. 深圳: 深圳市勘察测绘院, 1996.
- [6] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [7] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [8] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [9] 龚晓南, 高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [10] 曾宪明, 黄久松, 王作民. 土钉支护设计与施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [11] 陈肇元, 崔京浩. 土钉支护在基坑工程的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [12] 程良奎, 杨志银. 喷射混凝土与土钉墙[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [13] 孙家乐. 插筋补强护坡技术的原理与应用[J]. 工业建筑, 1992, (6).
- [14] 宋二祥, 陈肇元. 土钉支护及其有限元分析[J]. 工程勘察, 1996, (2): 1-5.
- [15] 张明聚, 郭忠贤. 土钉支护工作性能的现场测试研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 319-323.
- [16] 林宗元. 岩土工程勘察手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1996.