

# 土钉墙的设计

陈皆福

(广州市政技术开发公司, 广东广州 510060)

**摘要:** 简明扼要地介绍了土钉墙的发展历史, 并对其特点及适用范围、基本原理、构造要求、计算公式等作了介绍, 最后通过算例介绍公式的运用。

**关键词:** 土钉墙; 特点; 原理; 公式; 算例; 广州市

**中图分类号:** TU472.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)02-0037-04

## 0 前言

土钉墙是一种放置在加固土体中的土钉、坡面上布置的护面板或框架梁组成的复合土体。土钉与土体依靠其之间的粘结力、摩阻力联结在一起, 成为一种类似重力式的挡土墙结构体, 以抵抗墙后土压力, 使挖方边坡达到稳定。

在上世纪 70 年代, 德、法、美等国对土钉进行了研究与应用, 1972 年法国提出了新奥法原理能够用于土质边坡和软岩边坡的临时支护, 并成功地应用于工程上, 德国和美国也同时发展了土钉技术。我国在 20 世纪 80 年代开始应用土钉技术, 并开始了土钉的试验研究和工程实践。在我国, 基坑支护应用土钉墙技术最为广泛。近几年来, 土钉墙在城市道路工程中的路堑边坡防护中的应用也不断增多。

## 1 土钉墙的特点及适用范围

### 1.1 土钉墙的特点

(1) 土钉与土体形成复合体, 提高边坡的整体稳定性, 有较好的抗震性能和延性, 有效地防止边坡突然塌方的发生, 有利于施工安全。

(2) 施工设备简单, 操作方便, 易于推广。

(3) 能与边坡开挖顺序结合起来进行施工, 缩短施工工期。

(4) 在高陡边坡防护工程中, 土钉墙的工程造价相对较低。

(5) 在城市道路边坡防护工程中, 可避免或减少征地拆迁量。

(6) 如坡面结合框架梁护面, 有利于坡面的绿化美化。

(7) 在松散性的砂土、软土等不良土质的土中施工, 需先行加固处理, 往往会增加工程造价。

### 1.2 适用范围

(1) 土钉墙适用于边坡稳定, 地下水位以上或经降水措施后具有一定粘性的砂土或普通粘土, 一般可用于  $N \geq 5$  的砂质土与  $N \geq 3$  的粘性土。

(2) 土钉墙也适用于现有挡土结构的加固、改造与维修工程中。

## 2 土钉墙的基本原理

土体的抗剪强度较低, 几乎可以忽略其抗拉强度, 但土体具有一定的结构整体性。在土体内设置的土钉与土体共同作用, 形成复合体, 成为主动约束机制的复合墙体, 有效提高土体的整体刚度, 同时弥补了土体抗拉、抗剪的不足。通过相互作用, 土体自身结构强度潜力得到充分发挥, 改变了边坡变形和破坏状态, 显著提高了整体稳定性。试验表明, 土钉墙与素土承载力相比, 土钉墙承载力为素土承载力的 2~3 倍。同时, 土钉墙在荷载作用下, 延缓了塑性变形阶段, 明显地为渐进性变形和开裂, 直到丧失承载能力, 但不发生整体性坍塌。

土钉墙是通过土钉与土体之间的相互作用来实现这些性状的。这种作用主要体现在土钉与土体之间阻力的发挥程度, 此外, 土钉与土体之间刚度比相差较大, 在土钉墙进入塑性阶段后, 土钉自身的作用增强, 从而改善了土钉墙塑性变形和破坏状态。

土钉在土钉墙中作用大致有四种: (1) 骨架约束作用; (2) 分担作用; (3) 应力传递与扩散作用; (4) 坡面变形的约束作用。

## 3 土钉墙的构造要求

(1) 土钉墙的适用高度为 6~12 m, 一般不超过 15 m, 目前亦有做到 18 m 高。

收稿日期: 2005-09-13

作者简介: 陈皆福(1964-), 男, 广东广州人, 工程师, 从事道路工程技术开发工作。

(2) 斜面坡一般为  $70^\circ \sim 90^\circ$ 。

(3) 土钉长度一般为拟设计墙高的  $0.5 \sim 1.2$  倍,其间距为  $1 \sim 2$  m,土钉的入射角度为  $10^\circ \sim 20^\circ$ ,一般取  $15^\circ$ 。土钉的初拟长度和间距可分别由下式计算。

a. 土钉初拟长度计算:

$$L = (0.7 \sim 1.0) \cdot H + (0.8 \sim 1.5) \quad (1)$$

式中:  $H$ ——土钉墙的垂直高度(m)

$L$ ——土钉长度(m)

b. 土钉初拟间距计算:

$$\begin{cases} S_x \text{ 或 } S_y = (6 \sim 12) \cdot D \\ S_x \cdot S_y \leq (1.5 \sim 2.5) \cdot D \cdot L \end{cases} \quad (2)$$

$$\quad (3)$$

式中:  $S_x, S_y$ ——土钉的水平距离、垂直距离(m)

$D$ ——土钉成孔孔径(m),  $D = 0.1 \sim 0.20$  m

(4) 土钉宜采用 II 级以上螺纹钢筋,钢筋直径一般为  $\Phi 16 \sim \Phi 32$  之间。

(5) 土钉墙的护面板通常在 I 级钢筋  $\Phi 6 \sim \Phi 10$ ,间距为  $150 \sim 300$  mm 的钢筋网上喷射  $80 \sim 200$  mm 厚 C20 水泥混凝土而成。

(6) 对于环境保护、绿化美化要求较高的坡面防护工程,可采用骨架梁代替护面板。

(7) 土钉护面板或骨架与土钉连接处的混凝土层内应加设局部钢筋网进行加强,并在固定螺帽或钢筋下垫承压钢板,尺寸为  $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ ,厚度为  $8 \sim 15$  mm。

(8) 注浆材料采用水泥净浆,强度应不少于 20 MPa。

## 4 设计计算式

### 4.1 土钉所受土压力的计算

(1) 土的侧压力  $P$  的分布见图 1:

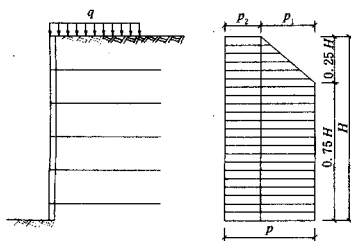


图 1 土钉墙土压力分布

(2) 计算公式:

对于砂土:  $\frac{c}{\gamma \cdot H} \leq 0.05$

$$P_1 = 0.5 K_a \cdot \gamma \cdot H$$

对于粘土:  $0.05 \leq \frac{c}{\gamma \cdot H} \leq 0.2$

$$P_1 = K_a \left( 1 - \frac{2c}{\gamma \cdot H} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_a}} \right) \cdot \gamma H \leq 0.6 \gamma H$$

$$\text{且 } > 0.15 \gamma H$$

$$P_2 = K_a \cdot q \quad (5)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

土钉所受的土压力:

$$N = \bar{P} \cdot S_x \cdot S_y \quad (7)$$

式中:  $N$ ——土钉所受的土压力(kN)

$\bar{P}$ ——各土层内侧土压力  $P$  的平均值(kPa)

$\gamma$ ——土的重度(kN/m<sup>3</sup>)

$H$ ——土层的深度(m)

$P_1, P_2$ ——土压力强度(kPa)

$\varphi$ ——土的内摩擦角

### 4.2 稳定性验算

(1) 抗拉稳定性验算:

$$K_f N \leq 1.35 - \frac{\pi \times d^2}{4} f_y \quad (8)$$

式中:  $K_f$ ——安全系数 1.5

$\frac{\pi \times d^2}{4}$ ——钢筋面积(m<sup>2</sup>)

$f_y$ ——钢筋强度设计值(kPa)

(2) 抗拔稳定性验算:

$$K_f N = T \cdot \cos \theta \quad (9)$$

$$T = \pi D L_b \tau \quad (10)$$

式中:  $K_f$ ——安全系数 1.3~2.0,对于临时性土钉墙取小值,永久性土钉墙取大值

$T$ ——土钉的抗拔力(kN)

$\theta$ ——为土钉入射角

$L_b$ ——土钉的有效长度(m)

$\tau$ ——土的抗剪强度(kPa)

$D$ ——土钉的成孔孔径(m)

(3) 土钉的有效长度  $L_b$  计算(图 2)

$$L_b = L - L_a \quad (11)$$

式中:  $L$ ——土钉的总长度(m)

$L_a$ ——土钉的自由段长度(m)

(4) 抗倾覆稳定性验算:

抗倾覆力矩:

$$M_w = (W + qB) \cdot B/2 \cdot S_x \quad (12)$$

式中:  $M_w$ ——抗倾覆力矩(kN·m)

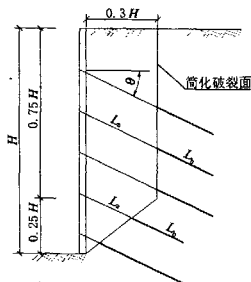


图2 土钉有效长度计算简图

$W$ ——假想墙体的重量(kN),  $W = \gamma \cdot H \cdot B$

$B$ ——假想墙体宽度(m),  $B = 0.4 \sim 0.8 H$

$H$ ——假想墙体高度(m)

$\gamma$ ——土的重度(kN/m<sup>3</sup>)

$S_n$ ——土钉的水平间距(m)

倾覆力矩:

$$M_0 = \sum N \cdot H/3 \quad (13)$$

式中: $M_0$ ——倾覆力矩(kN·m)

安全系数:

$$K_0 = \frac{M_w}{M_0} \geq 1.5 \quad (14)$$

(5) 抗滑稳定验算:

假想墙体底断面上产生的抗滑合力:

$$F_s = (W + qB) \cdot S_n \cdot \tan \varphi \quad (15)$$

式中: $F_s$ ——假想墙体底断面上产生的抗滑合力(kN)

$\varphi$ ——对应底部土层的内摩擦角

土钉墙后主动土压力:

$$E = \sum N \quad (16)$$

式中: $E$ ——土钉墙后主动土压力(kN)

安全系数:

$$K_c = \frac{F_s}{E} \geq 1.3 \quad (17)$$

## 5 算例

### 5.1 基础资料(表1)

表1 各土层基础资料

土层	层厚 (cm)	$c$ (kPa)	$\varphi(^{\circ})$	$\tau$ (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	土名称	深度
①	5.2	15	15	53.8	20	粉质粘土	5.2
②	2.2	15	30	2	20	粉质粘土	7.4
③	3.7	0	34	100	20	密实砂	11.1
④	2.6	0	42	180	20	细粉砂	13.7

### 5.2 设计计算

对性能相差不远的分层土体, $\varphi$ 及 $c$ 值可取各层土的 $\varphi$ 、 $c$ 值按其厚度加权平均。

①、②层土厚为7.4 m,  $\varphi$ 为22.5°,  $c=15$  kPa

③、④层土厚为6.3 m,  $\varphi$ 为38°,  $c=0$

超载 $q$ 取20 kN/m<sup>2</sup>,挡土高 $H$ 为13.7 m,土钉孔径 $D$ 为0.13 m。

(1) 初拟土钉长度和土钉间距:

$$\begin{aligned} \text{土钉长度 } L &= 0.7 H + 0.8 = 0.7 \times 13.7 + 0.8 \\ &= 10.39 \quad \text{取 } L = 10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{土钉间距 } S_n &= S_y = 12 D = 12 \times 0.13 \\ &= 1.56 \text{ m, 取 } S_n = S_y = 1.5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n \cdot S_y &= 1.5 \times 1.5 = 2.25 \text{ m}^2 \leq 2.5 \text{ DL} \\ &= 2.0 \times 0.13 \times 10 = 2.6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

因此初拟尺寸符合要求

(2) 土压力计算:

①、②层土的土压力计算:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{22.5^\circ}{2}) = 0.446$$

$$\frac{c}{\gamma H} = \frac{15}{20 \times 7.4} = 0.101, \text{按粘土计算}$$

$$\begin{aligned} P_{1-1} &= K_a \left[ 1 - \frac{2c}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_a}} \right] \cdot \gamma H \\ &= 0.446 \left[ 1 - \frac{2 \times 15}{20 \times 7.4} \times \frac{1}{\sqrt{0.446}} \right] \times 20 \times 7.4 \\ &= 46 (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

$$P_{1-2} = K_a q = 0.446 \times 20 = 8.92 (\text{kN/m}^2)$$

$$P' = P_{1-1} + P_{1-2} = 46 + 8.92 = 54.9 (\text{kN/m}^2)$$

第③、④层的土压力计算:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2}) = \tan^2(45^\circ - \frac{38^\circ}{2}) = 0.238$$

$$\frac{c}{\gamma H} = \frac{0}{20 \times 6.4} = 0, \text{按砂土计算}$$

$$\begin{aligned} P_{2-1} &= 0.5 K_a \gamma H = 0.5 \times 0.238 \times 20 \times 13.7 \\ &= 32.6 (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

$$P_{2-2} = K_a q = 0.238 \times 20 = 4.76 (\text{kN/m}^2)$$

$$P'' = P_{2-1} + P_{2-2} = 32.6 + 4.76 = 37.36 (\text{kN/m}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{土压力平均值 } \bar{P} &= \frac{P' + P''}{2} = \frac{54.9 + 37.36}{2} \\ &= 46 (\text{kN/m}^2) \end{aligned}$$

土钉自上而下布置距离:1.2、5.4、5.5、7.8、5.10、11.5、13(m)。最后一排土钉离地面0.7 m。

由土钉的布置情况可知,在 $H/4=3.42$  m范围内有两排土钉。

$$\text{第一排土钉的土压力为: } \frac{46 \times 1}{3.42} = 13.45 (\text{kN/m}^2)$$

