

· 研究简报 ·

# 运用加筋土原理设计新型挡土结构

左 军\*

(大连海事大学修膳科,大连 116024)

**摘 要** 本文是加筋土原理在工程实践中应用的一个实例,文中对加筋土挡土墙的工作原理、组成以及挡土板、拉筋、回填料的结构、材料与计算作了概括介绍。

**关键词** 加筋土;挡土板;拉筋;回填料

**中图分类号** TU36

加筋土是一种在土体中加入筋条(拉筋)的复合土。在土体中加入适当数量的拉筋能够大大提高土体的强度与整体稳定性。应用这种原理,一种新型的支挡结构——加筋土挡土墙诞生了。加筋土技术的应用在国内外已有悠久的历史,在早期的土木工程中,人们就在土壤中放入枝条、草绳、毛石等筋料来加固土体。在本世纪六十年代,法国、日本等30多个国家已利用加筋土技术相继建造了5000多项加筋土结构工程并收到了显著的效果。加筋土技术应用范围十分广阔,包括:挡土墙、桥台、护岸、堤坝、沉淀池、半地下仓库、建筑物基础、核电站反应堆等结构。目前,加筋土技术已被世界各国所重视和研究。我国的加筋土技术在南方地区的应用较多,但在北方地区却很少尝试。随着社会生产力的不断发展和人们对审美的需要,作为一种新技术,加筋土的应用和发展有着美好的前景。本文就大连钢厂加筋土挡土墙这一工程实例,对钢筋混凝土加筋土挡土墙原理作以简要介绍。

## 1 工程概况

本工程位于大连市甘井子区金家街大连钢厂职工大学附近的山脚下。此挡土墙用于阻挡山脚下的土体塌方与移动,其上部为活动场地。本工程始建于1989年10月,于1989年12月竣工,工期为二个月。墙高15 m,长100余米。挡土板为“十”字型钢筋混凝土板,拉筋为钢筋混凝土拉杆,墙后回填料为山皮土。经近7年的使用结果表明,整个墙体未出现变形、裂缝和沉降,并且外表造型美观、大方,为当地增添一美景。图1为该挡土墙的全貌。

收稿日期: 1996-07-15

## 2 钢筋混凝土加筋土挡土墙的工作原理及结构计算

### 2.1 钢筋混凝土加筋土

#### 挡土墙的组成

钢筋混凝土挡土墙由三部分构成:①钢筋混凝土挡土板;②钢筋混凝土拉杆(拉筋);③墙后回填料(回填土)挡土墙的构成如图 2 所示

### 2.2 加筋土挡土墙的工作原理

#### 作原理

加筋土挡土墙是靠挡土板、拉筋及土体三者间的协同工作来维持平衡的。在此结构中,拉筋作为关键构件,它起着联系挡土板与土体的作用,当拉筋与土体间产生足够的摩擦力时,整个加筋土结构维持平衡,从而使挡土墙后的土体达到稳定状态。加筋土结构单元的受力状态如图 3 所示。由图可知,当土体产生破坏时,在土体中会产生一个破裂面。破裂面左边的土体称为不稳定区,破裂面右边的土体称为稳定区。在拉筋的埋设全长中,埋于不稳定区的拉筋长度为无效长度  $L_A$ ;埋于稳定区内的拉筋长度为有效长度  $L_B$ 。当土体受到外力和自重作用时,在土体内部将会产生

竖直压应力  $\sigma_v$  和水平向侧压力  $e_H$ 。由  $\sigma_v$  所引起的土体与拉筋间的摩擦力,在稳定区为  $\sigma_v$  在不稳定区为  $\sigma_v'$ 。图中 B、C 两点间阴影部分的土侧压力将与摩擦力  $\sigma_v'$  相互抵消,从而阴影部分的土体处于平衡状态。阴影部分以外的土体侧压力  $e_H$  使土产生运动。由于受到

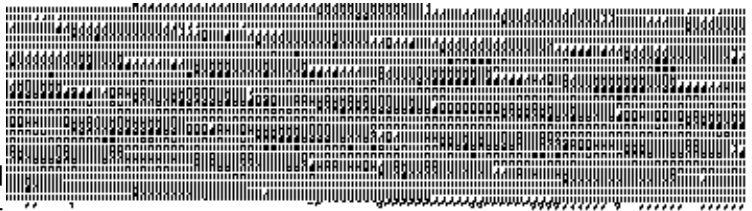


图 1 钢筋混凝土挡土墙全貌

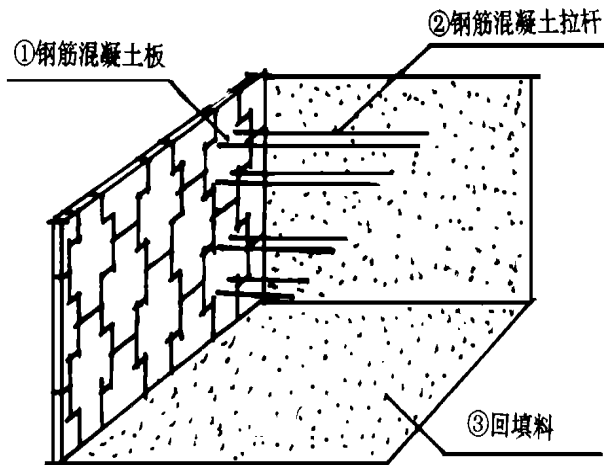


图 2 钢筋混凝土加筋土挡土墙的构成

挡土板的阻碍,土的侧压力  $e_H$  由挡土板承受,然后挡土板将这部分力传给拉筋,当拉筋从稳定区获得充足的摩擦力  $e_f$  时,土体与挡土板处于平衡状态。由此可见,土体与拉筋间的摩擦力是整个结构的关键,而拉筋是整个结构的关键构件。

### 2.3 加筋土挡土墙的计算简介

在加筋土挡土墙的计算中,主要按力学平衡原理<sup>[1]</sup>分别计算拉筋的强度、长度、抗拉安全验算以及加筋土结构的整体稳定性验算。

2.3.1 拉筋拉力  $T_i$  的计算

$$T_i = K_A \cdot V \cdot H_i \cdot S_x \cdot S_y \quad (1)$$

式中:  $T_i$ ——第  $i$  层拉筋的拉力;

$K_A$ ——回填土的主动土压力系数;

$V$ ——回填土的容重;

$H_i$ ——第  $i$  层拉筋至挡土墙底距离;

$S_x$ ——挡土板单元拉筋的水平距离;

$S_y$ ——挡土板单元拉筋的竖直距离。

本工程回填土采用山皮土,取  $K_A = 0.33$ ,  $V = 20 \text{ kN/m}^3$ ,以上数第 1 层拉筋为例,令  $H_1 = 15 \text{ m}$ ,  $S_x = 1.0 \text{ m}$ ,  $S_y = 0.75 \text{ m}$ ,代入式 (1) 中得

$$T_1 = 0.33 \times 20 \times 15 \times 1.0 \times 0.75 = 74 \text{ kN}$$

以下各拉筋拉力如表 1 所注。

### 2.3.2 拉筋钢筋断面计算

为增加钢筋与混凝土的摩擦力,钢筋选用 II 级钢筋。

$$T_i = [\sigma_s] \cdot S_i \quad (2)$$

式中:  $T_i$ ——第  $i$  层拉筋拉力;

$[\sigma_s]$ ——钢筋的允许拉应力;

$S_i$ ——第  $i$  层钢筋的断面。

对于 II 级钢筋,  $[\sigma_s] = 34 \times 10^4 \text{ kPa}$  为统一钢筋规格,方便施工,故取  $T_i = 74 \text{ kN}$  将上述数字代入 (2) 式可得

$$S = \frac{T_i}{[\sigma_s]} = \frac{74 \times 10^4}{34 \times 10^4} \doteq 2.2 \text{ cm}^2$$

由于

$$S = \pi r^2 \quad (3)$$

式中:  $r$ ——钢筋半径,则

$$r = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{2.2/3.14} = 0.837 \text{ cm}$$

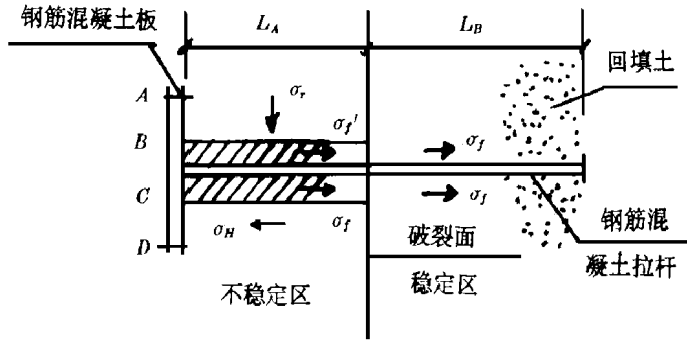


图 3 加筋土结构单元受力图

钢筋直径  $\varnothing = 2r = 2 \times 0.837 \doteq 1.7 \text{ cm} = 17 \text{ mm}$   
 取钢筋直径  $\varnothing = 18 \text{ mm}$

表 1

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_i / \text{m}$	15	14.3	13.5	12.8	12	11.3	10.5	9.75	9	8.3
$T_i / \text{kN}$	74	71	67	63	59	56	52	48	45	41
$i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$H_i / \text{m}$	7.5	6.8	6	5.3	4.5	3.8	3	2.3	1.5	8.75
$T_i / \text{kN}$	37	34	30	26	22	19	15	11	7	4

### 2.3.3 拉筋抗拉强度验算

拉筋抗拉强度以抗拉安全系数为准,与允许抗拉安全系数  $[K_L]$  比较,当  $K_L \geq [K_L]$  时,拉筋处于安全状态。

$$K_L = \frac{[\sigma_L] \cdot S}{K_A \cdot V \cdot H_i \cdot S_x \cdot S_y} \quad (4)$$

式中:  $L_L$ ——拉筋的抗拉安全系数

本工程中,对上数第 1 层拉筋进行验算即可,则

$$K_L = \frac{34 \times 10^4 \times 2.2 \times 10^4}{0.33 \times 2.0 \times 15 \times 1.0 \times 0.75} = 1.01$$

二级钢筋  $L_0$  允许抗拉安全系数  $[K_L] = 1.0$ ,因  $K_L > [K_L]$ ,所以拉筋满足抗拉安全要求

### 2.3.4 拉筋长度计算

$$\text{拉筋无效长度} \quad L_A = \frac{H_i}{\text{tg}(45^\circ + \varnothing/2)} \quad (5)$$

$$\text{拉筋有效长度} \quad L_B = \frac{S_x \cdot S_y \cdot K_A \cdot K_B}{2 \cdot b \cdot \text{tg}\varnothing} \quad (6)$$

式中:  $\varnothing$ ——回填土的内摩擦角;

$K_B$ ——拉筋的抗拔安全系数;

$\varnothing$ ——拉筋与回填土的摩擦角;

$b$ ——拉杆宽度

对于山皮土,  $\varnothing = 30^\circ$ ,  $\varnothing = 35^\circ$ ,取  $K_B = 2.0$ ,  $K_A = 0.33$ ,以上数第 1 层拉筋为例,  $H_i = 15 \text{ m}$ ,  $b = 0.1 \text{ m}$ ,将上述数字代入式 (5), (6) 中

$$L_A = \frac{15}{\text{tg}(45^\circ + \frac{30^\circ}{2})} = 8.66 \text{ m}$$

$$L_B = \frac{1.0 \times 0.75 \times 0.33 \times 2.0}{2 \times 0.1 \times \text{tg}35^\circ} = 3.54 \text{ m}$$

则钢筋总长  $L = L_A + L_B = 8.66 + 3.54 \doteq 12 \text{ m}$

以下各层钢筋长度如表 2 所注。

表 2

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_A / m$	8.66	8.3	7.8	7.4	6.9	6.5	6.1	5.6	5.2	4.8
$L_B / m$	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54
$L = (L_A + L_B) / m$	12	11.8	11.3	11	10.4	10	9.6	9.1	8.7	8.3
<i>i</i>	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$L_A / m$	4.3	3.9	3.5	3.1	2.6	2.2	1.7	1.3	0.9	0.4
$L_B / m$	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54	3.54
$L = (L_A + L_B) / m$	7.8	7.4	7	6.6	6.1	5.7	5.2	4.8	4.4	3.9

### 2.3.5 加筋土挡土墙的整体抗倾覆稳定性验算

加筋土的抗倾覆验算以计算抗倾覆安全系数  $K_q$  为准<sup>[2]</sup>。

$$K_q = \frac{\sum T_i \cdot H_i}{\sum E_i \cdot H_i'} \quad (7)$$

式中:  $\sum T_i \cdot H_i$ ——所有拉筋对墙底力矩之和;  
 $\sum E_i \cdot H_i'$ ——所有土压力对对墙底力矩之和;

$T_i$ ——第  $i$  层拉筋拉力;

$H_i$ ——第  $i$  层拉筋至墙底距离;

$E_i$ ——第  $i$  块挡土板所受的土压力;

$H_i'$ ——土压力对第  $i$  块板作用点到墙底距离

计算结果如表 3 所示

代入 (7) 式, 则

$$K_q = \frac{\sum T_i H_i}{\sum E_i H_i'} = \frac{8058.3}{969.4} = 8.3$$

挡土墙的允许抗倾覆系数  $[K_q] = 1.5$ , 因  $K_q > [K_q]$ , 所以满足抗倾覆安全要求

### 2.3.6 加筋土挡土墙滑动稳定验算

$$K_h = \frac{W \cdot \mu}{E_a} \quad (8)$$

式中:  $K_h$ ——抗滑安全系数;

$W$ ——挡土墙自重;

$\mu$ ——挡土墙基底摩擦系数;

$E_a$ ——土的主动土压力

其中  $W = 15 \times 0.16 \times 100 \times 2.5 = 6000 \text{ kN}$

$\mu = 0.4$

$E_a = \frac{1}{2} r \cdot H^2 \text{tg}^2(45^\circ - 30^\circ) = \frac{1}{2} \times 20 \times 15^2 \times 0.33 = 495 \text{ kN}$

$K_h = \frac{6000 \times 0.4}{495} = 4.8$

允许抗滑安全系数为  $[K_h] = 1.3$

因  $K_h > [K_h]$ , 满足要求。

表 3

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H_i / \text{m}$	15	14.3	13.5	12.8	12	11.3	10.5	9.75	9	8.3
$T_i / \text{kN}$	74	71	67	63	59	56	52	48	45	41
$H_i' / \text{m}$		14		12.5		11		9.5		8
$E_i / \text{kN}$		0.33		2.1		5.3		10		16
$i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$H_i / \text{m}$	7.5	6.8	6	5.3	4.5	3.8	3	2.3	1.5	0.75
$T_i / \text{kN}$	37	34	30	26	22	19	15	11	7	4
$H_i' / \text{m}$		6.5		5		3.5		2		0.5
$E_i / \text{kN}$		24		33		44		56		69
$\sum T_i H_i / (\text{kN} \cdot \text{m})$						8058.3				
$\sum E_i H_i' / (\text{kN} \cdot \text{m})$						964.4				

### 3 加筋土挡土墙的断面设计及构造措施

#### 3.1 钢筋混凝土挡土板

钢筋混凝土挡土板通常为标准件。本工程即采用标准尺寸。该板为  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$  “+” 字型钢筋混凝土板, 板厚  $16 \text{ cm}$ , 混凝土采用  $\text{C}_{15}$  板内配置  $\phi 6@150$  双向钢筋网。板的构造及断面如图 4 所示。每块挡土板单元予埋铁板埋件二块 (四个端头) 以备与拉筋焊接。为防止土颗粒从板间带出, 同时有利于墙体的整体稳定性, 在挡土板周边做成突缘错台的企口, 使挡土板相互嵌接

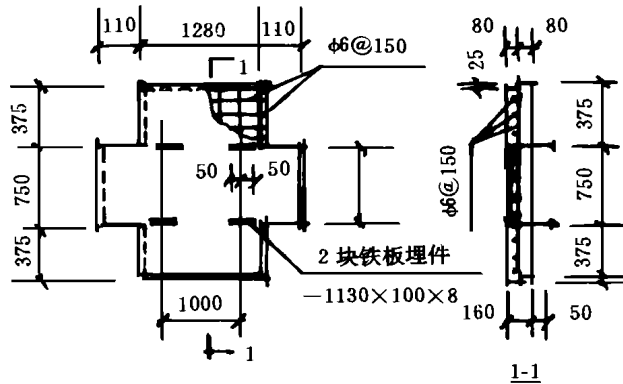


图 4 钢筋混凝土挡土板图

#### 3.2 拉杆

本工程拉杆为钢筋混凝土拉杆。拉杆成水平状分层埋设于回填土中, 并与挡土板焊接。为防止钢筋锈蚀, 钢筋四周用  $\text{C}_{15}$  混凝土包裹, 混凝土杆断面尺寸为  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  包

裹混凝土后的拉杆与回填土间有较大的摩擦力,所以能大大提高拉杆的抗拔能力。由于有的拉杆较长,不便于运输和安装,故将拉杆分成若干节,然后现场安装时相互焊接。挡土板与拉杆,拉杆与拉杆焊接完毕后,需作防腐处理,构件间接头处应涂以沥青,然后用沥青砂浆封闭。构件间的相互连接如图5所示。

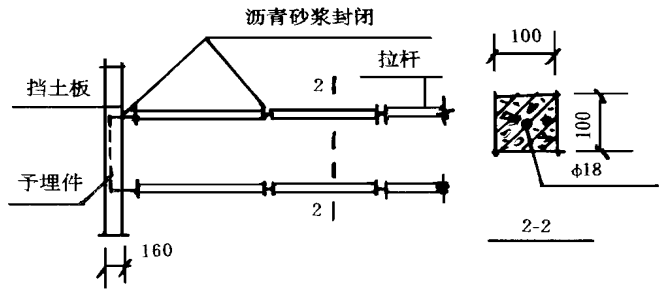


图5 挡土板、拉杆连接图

### 3.3 回填料

本工程回填料就地取料,选用山皮土。因其内含砂、碎石,所以透水性好,与拉筋的摩擦力较大。在回填时,填土应分层铺设,每层土厚宜在0.3~0.5m间。施工时,回填料需分层压实,以增加拉杆的抗拔力。

## 4 钢筋混凝土加筋挡土墙的优点

- 1) 施工简便。钢筋混凝土结构构件可以预制,吊装设备便可将各构件现场拼接安装,简化了施工作业,大大缩短了工期。
- 2) 工程造价较低。同其它土木支撑结构相比,由于构件体积较小,能够降低工程量,从而可降低工程造价。
- 3) 整体稳定性好。加筋土挡土墙由于是各构件协同工作,有拉杆的存在,它可以承受水平力与竖向力,故不宜发生沉降和裂缝现象。
- 4) 排水效果好。加筋土挡土墙有许多板缝,有利于墙后积水顺利排出。
- 5) 节约占地,造型美观。加筋土挡土墙墙厚较薄,并且可以垂直砌筑,不要放坡,可以大量节省占地。墙面板能变化图案,拼接成造型各异的建筑物。

## 5 结束语

加筋土是一种人造的复合土,它的研究和推广在我国的历史较短,至今不过二三十年的时间。所以我国的加筋土技术仍处于早期的研究、发展和应用阶段,尤其是在我国北方地区的工程实践极为少见。本文是加筋土技术在北方地区工程中的应用的一个实例。由于加筋土挡土墙具有较多的优点,所以加筋土挡土墙在城市建设和美化环境方面充满前景。建议在建设支撑结构时,能够大胆采用加筋土技术,使此项技术在实践中得到完善和发

展。

## 参 考 文 献

- 1 张师德,吴邦颖. 加筋土结构原理及应用. 北京: 中国铁道出版社, 1986
- 2 华南工学院,南京工学院,浙江大学,湖南大学. 地基及基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 1980

# To Design a New Structure to Resist Mud with the Principle of Sinew Soil

Zuo Jun

(Department of Reclamation House, Dalian Maritime)

**Abstract** This article is a exeniple which the principle of sinew soil is applied to engineering. It gives a brief introduce on working theory, combination of proveuting soil wall with sinew soil and on structure material, calculation of proveuting soil plank, tensil sinew, restuffing material.

**Key words** sinew soil; proveuting soil plank; tensil sinew; restuffing material