

# PP 织物袋梯田筑坎破坏形式与稳定性分析

李光录<sup>1</sup> 高霞<sup>1</sup> 刘馨<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 勉县水土保持工作站, 陕西 勉县 724200)

**摘要** 为解决陕南秦巴山区梯田垮坎的实际问题,采用理论计算的方法,对 PP 织物袋不同筑坎型式的抗滑稳定性、抗倾覆稳定性和抗剪强度进行了分析,结果显示:1)单坎型 PP 织物袋梯田田坎,坎坡  $\alpha \geq 75^\circ$  时,坎高控制在 1.6 m 以下; $60^\circ < \alpha < 75^\circ$  时,坎高应控制在 1.8 m 以下; $\alpha \leq 60^\circ$  时,可以修筑 2 m 坎高。2)L 坎型 PP 织物袋梯田田坎,坎坡  $\alpha \geq 85^\circ$  以上时,坎高应控制于 1.8 m 以下;坎坡  $80^\circ \leq \alpha < 85^\circ$  时,坎高应控制于 1.6 m 以下; $\alpha < 80^\circ$  时,应以 2 m 为宜。3)反坡 L 型 PP 织物袋梯田田坎,坎坡  $\alpha \geq 85^\circ$  以上时,坎高应控制在 1.8 m 以下;坎坡  $\alpha < 85^\circ$  时,坎高应以 2 m 为宜。

**关键词** PP 织物袋;梯田;垮坎形式;稳定性;陕南秦巴山区

中图分类号 S 281

文章编号 1007-4333(2015)02-0201-06

文献标志码 A

## The main forms and stability of terraced walls build with polypropylene geotextile bags

LI Guang-lu<sup>1</sup>, GAO Xia<sup>1</sup>, Liu Xing<sup>2</sup>

(1. College of resources and environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Water and soil conservation station of Mianxian, Mianxian 724200, China)

**Abstract** In order to solve the collapse problem of terrace in Qinba Mountains of southern Shaanxi Province, the sliding stability, stability against overturning and shearing strength were theoretically evaluated on the different building ridge types with polypropylene geotextile bags. The results showed that. 1) The suitable heights of inclined terrace wall built with polypropylene geotextile bags should be lower than 1.6 m, 1.8 m and 2.0 m at the slopes of  $\geq 75^\circ$ ,  $60^\circ - 75^\circ$ ,  $\leq 60^\circ$  respectively. 2) The suitable heights of L-shaped terrace wall of polypropylene geotextile bags should be controlled below 1.8 m, 1.6 m and 2.0 m at the slopes of  $\geq 85^\circ$ ,  $80^\circ - 85^\circ$ ,  $\leq 80^\circ$  respectively. 3) The wall heights of L-shaped with notched sill should be controlled below 1.8 and 2.0 m at the slopes  $> 85^\circ$  and  $< 85^\circ$  respectively.

**Key words** polypropylene geotextile bags; terrace; terrace wall form; stability; Qinba mountains

陕南秦巴山区是汉江和丹江的源头,也是我国南水北调工程的水源保护区。在当地坡改梯作为一项重要的水土保持措施,对保护生态环境,防治水土流失,发挥着重要作用,然而,由于受自然因素及人为不合理活动的影响,梯田垮坎现象极为严重<sup>[1]</sup>。针对这一问题,当地曾采取一些措施,比如:挡板法、土中掺沙法、塑料编织袋充土堆坎法和辅助性固坎增稳措施等,均不能从根本上解决问题,主要原因是对修筑梯田土质的特殊性认识不足<sup>[2]</sup>。而采用石坎

梯田,却因建设成本高,石料短缺和开山取石造易成新的水土流失而不能大面积推广<sup>[3]</sup>。故此,探索新的梯田筑坎技术成为当地坡改梯建设的一项重要任务。

PP 织物袋是含碳墨和其他抗紫外线(UV)成分与聚丙烯(Polypropylene)复合而成的高分子材料,经工业纺织而制成。此材料具有抗老化、抗紫外线及透水保土,便于绿化等特点。在国外,PP 织物袋已广泛应用于公路铁路边坡防护;矿山恢复和沙漠治理;湖岸和河岸砌护,水库迎水坡防冲等多个领

收稿日期:2014-05-04

基金项目:水利部科技推广项目(TG1308);陕西省水土保持局科技示范项目(2010100)

作者简介:李光录,副教授,博士,主要从事土壤侵蚀与土地利用研究,E-mail:guangluli@nwsuaf.edu.cn

域<sup>[4-10]</sup>。在国内,其主要应用水利工程建设水利枢纽工程及引水渠的防渗、铁路、公路建设以及环保工程建设中,但应用于梯田建设还处在探索阶段<sup>[11-16]</sup>。为解决陕南土坎梯田垮坎的问题,经考察论证,引进PP织物袋作为梯田筑坎的材料<sup>[3]</sup>。经在陕西省商州区黑山镇双庙流域的试验,PP织物袋筑坎梯田在技术上具有一定的可行性。本研究在梯田筑坎结构和坎型研究的基础上,对其不同坎型的稳定性进行理论计算与分析,以期陕南PP织物袋筑坎梯田应用与推广提供一定理论依据。

## 1 陕南易垮坎梯田土性

陕南土质主要有三类:黄色、黄褐色、棕色和棕红色粘质土;青白色、五花色、黑色粉质粘土和残坡积母质发育的石渣土。经测试,陕南垮坎土质为活动性较大的粘土,其中以膨胀土坡改梯垮坎最为严重。垮坎严重土质共同特征是抗风化能力差,土壤

遇水强度衰减快,雨多强度大,遇水膨胀发生干缩湿胀变形,使土的强度大大衰减,从而导致表土碎裂松散,发生浅层变形破坏,所以土质松散是造成陕南秦巴山区土坎梯地垮坎的重要原因。土性决定了陕南秦巴山区梯田建设的原则应是排水固坎和防风化固坎<sup>[2]</sup>。

## 2 PP织物袋梯田筑坎型式

坎型对土压力的影响很大,结合当地经验和现场地质条件,并参考同类或已建成的经验,选定3种较适宜的PP织物袋梯田筑坎的坎型<sup>[15]</sup>。1)单坎型,即常规型,是将PP织物袋横向单行错位码放的一种筑坎型式。2)L坎型,是将底层PP织物袋顺坡竖向水平码放,上层横向错位码放的一种筑坎型式。当地基强度较差或缺少石料时,可采用L型。3)反坡L坎型,是将底层PP织物袋顺坡竖向倾斜码放,上层横向错位码放的一种筑坎型式。PP织物袋码放不同坎型的田坎见图1(a)、(b)和(c)。

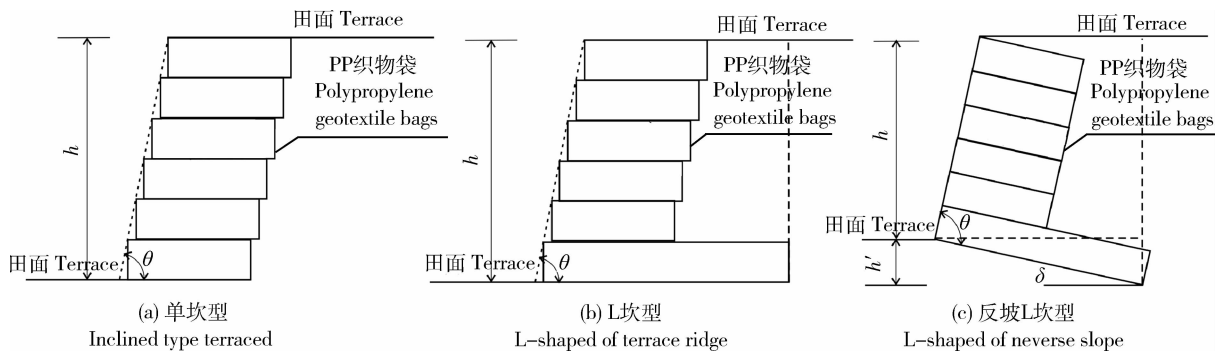


图1 PP织物袋梯田田坎的不同坎型

Fig. 1 Different forms of retaining wall of terraced fields with polypropylene geotextile bags

## 3 PP织物袋筑坎梯田垮坎型式

PP织物袋梯田田坎与垒砌块石挡土墙相似,均以垒砌方式构筑,因此,一般性PP织物袋梯田田坎可以参照垒砌式挡土墙或加劲挡土墙稳定性进行分

析,其稳定性与重力式挡土墙相同,均由墙体自重提供稳定。在PP织物袋梯田田坎的使用中,常见破坏形式主要有:一是外部稳定,分析时将PP织物袋作为一个整体,破坏型式如图2(a)和(b)所示,包括水平滑动破坏和倾覆破坏,此类型安全性分析,可以

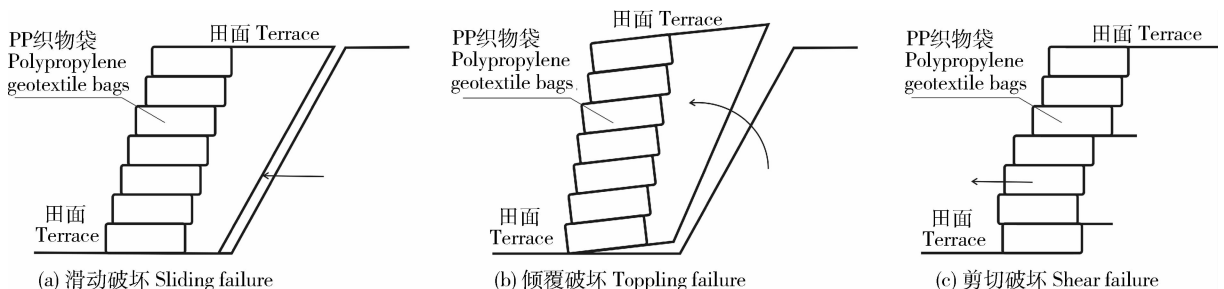


图2 PP织物袋田坎主要破坏形式

Fig. 2 Main destruction forms of retaining wall of terraced fields with polypropylene geotextile bags

依据传统的挡土墙分析方式计算。二是内部稳定，如图 2(c)所示。这种破坏主要是由于剪切破坏，其织物袋联接扣剪切强度不足所导致的破坏。

### 4 PP 织物袋梯田筑坎稳定性计算与分析

#### 4.1 不同坎型 PP 织物袋筑坎主动土压力计算

##### 4.1.1 单坎型

依据 PP 织物袋梯田田坎实际情况，墙背仰斜，墙后填土为粘性土，其主动土压力计算是把粘聚力  $C$  作为内在压力  $P = c \cdot ctg\varphi$ ，把这一内压力作为包围土边界面上的周围压力，然后计算土压力<sup>[17]</sup>。首先把土压力分解成两部分，一部分为侧向土压力，另一部分为竖向压力，看作墙后填土表面上有均布荷载  $q = c \cdot ctg\varphi$ ，分别进行计算，然后叠加计算主动土压力  $E_A$ ，如图 3(a)所示。

##### 4.1.2 L 坎型

L 坎型与悬臂式挡土墙类似，是一种轻型支挡结构物，依靠墙身的重量及底板以上填土或地表超载的重量来维持其平衡，其实质可视为墙身及其墙踵板以上土体共同组成的组合式重力挡土墙<sup>[17-18]</sup>。踵板上方的土体重量有助于增强挡土墙的抗滑和抗倾覆稳定性，趾板也显著地增大了所有抗倾覆作用力的力臂。采用这种结构形式可以实现挡土墙墙身

的轻型化。其主要特点是结构物的厚度小，自重轻，经济指标较好，因而，在缺乏石料地区、地处土质松软地带可以采用 L 型 PP 织物袋坎。设计中 L 坎型的主动土压力计算方法采用朗肯理论。将墙后土体视为墙身重量的一部分，把 AB 视作光滑的竖直墙背进行土压力计算，如图 3(b)所示。

##### 4.1.3 反坡 L 坎型

反坡 L 坎型，如图 3(c)所示，就是保持墙胸高度不变，使墙踵下降  $h_0$  高度，从而使挡土墙基础底面具有向内下方倾斜的逆坡，改变基地破裂面的方向。这样可以减少滑动力，增大抗滑力，从而增强挡土墙的抗滑稳定性。同 L 坎型相同，反坡 L 坎的主动土压力计算方法也是朗肯理论。将墙后填土视为重量的一部分，把 AB 视为光滑的竖直墙背。由于趾前地面进行了防护而能确保墙前土体发挥抗力作用，可酌情全部或部分地计入被动土压力。铁路工程设计技术手册《挡土墙》推荐假设  $i = 0$ 、 $\varphi = 0$  和  $c = 0$  时的被动土压力数值近似地估算墙前被动抗力<sup>[19-20]</sup>，即：

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h_p^2 \quad (1)$$

式中： $\gamma$  为墙前土体容重； $h_p$  为墙前土体的计算高度（当地面做了防护时，可采用墙趾至防护顶面的全高）。

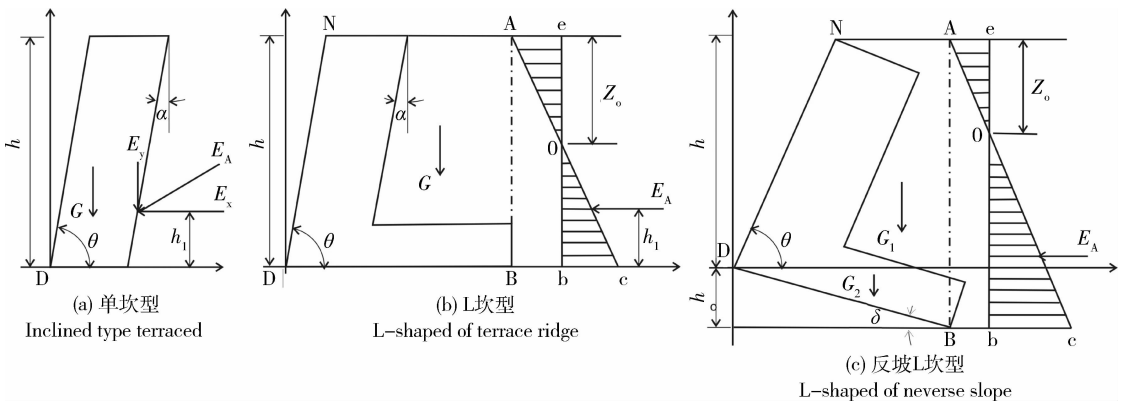


图 3 不同坎型 PP 织物袋筑坎重力及重心分析

Fig. 3 Analysis of gravity and center of gravity on the different forms of retaining wall of terraced fields with polypropylene geotextile bags

#### 4.2 PP 织物袋筑坎稳定性计算

1) PP 织物袋田坎抗滑稳定性。应满足下列要求<sup>[19]</sup>：

$$K_c = \frac{\text{抗滑力}}{\text{滑动力}} = \frac{(G + E_y) \cdot \mu + E_p}{E_x} \geq 1.3 \quad (2)$$

式中： $G$ ，PP 织物袋田坎的重力(kN/m)； $E_x$  和  $E_y$ ，

主动土压力  $E_A$ (kN/m) 在水平方向、垂直方向的分量； $E_p$ ，墙前土体产生的被动抵抗力(kN/m)； $\mu$ ，基地摩擦系数，由试验确定(PP 织物袋与粘性土之间， $\mu = 0.55$ )。

2) PP 织物袋田坎抗倾覆稳定性。计算如下：<sup>[9-10]</sup>

$$K_q = \frac{\text{抗倾覆力矩}}{\text{倾覆力矩}} = \frac{G \cdot a + E_y \cdot b}{E_x \cdot h} \geq 1.5 \quad (3)$$

式中: $a$ 、 $b$ 和 $h$ 分别为 $G$ 、 $E_x$ 和 $E_y$ 对墙址D点的力臂,m。

3)PP 织物袋田坎剪应力验算。

对于一般梯形断面的重力式挡土墙,要求对墙身水平截面进行剪切验算。若检算某一截面的强度,已知此截面以上墙背所受的主动土压力为 $E'_A$ ,此截面以上的墙重为 $G'$ ,两者的向量和为 $P$ 。将 $P$ 分解为竖向分力 $\sum N$ 和水平分力 $\sum T$ 。墙身截面剪应力应满足式(4), $[\tau]$ 为容许剪应力,依据现

场试验测定, $[\tau] = 2.76 \text{ MPa}$ (PP 织物袋之间, $\mu = 0.77$ ), $A$ 为单位长度PP 织物袋联接扣剪切面积。

$$\tau = \frac{\sum T - \sum N \cdot \mu}{A} \leq [\tau] \quad (4)$$

## 5 PP 织物袋田坎稳定性计算结果与分析

在陕南黑山镇取原状土,通过直剪试验测得, $c = 2.67 \text{ kPa}$ , $\varphi = 16^\circ$ , $\gamma = 15.6 \text{ kN/m}^3$ 。PP 织物袋田坎顶宽 $B = 0.4 \text{ m}$ , $L = 0.75 \text{ m}$ ,假定不同的田坎坎高及田坎坡度,代入式(1)~(4)可得相应的各值,分别如表1和表2所示。

表1 PP 织物袋筑坎抗滑( $K_c$ )和抗倾覆( $K_q$ )稳定性

Table 1 Sliding stability( $K_c$ ),the resistive overturning stability( $K_q$ ) of terrace ridge with polypropylene geotextile bags

坎坡/(°) Slope of terrace ridge	坎高/m Height of terrace ridge	单坎型 Inclined type of terrace ridge		L坎型 L-shaped of terrace ridge		反坡L坎型 L-shaped of reverse slope	
		$K_c$	$K_q$	$K_c$	$K_q$	$K_c$	$K_q$
85	1.0	4.82	16.13	4.71	19.06	10.13	20.79
	1.2	2.79	6.57	2.99	8.95	4.48	9.46
	1.4	1.91	3.51	2.14	5.11	2.82	5.32
	1.6	1.43	2.19	1.65	3.27	2.04	3.38
	1.8	1.13*	1.50	1.33	2.27	1.58	2.32
	2.0	0.94*	1.09*	1.10*	1.66*	1.29*	1.69
	80	1.0	5.57	24.17	4.53	19.71	215.43
1.2		3.12	9.36	2.84	9.20	7.11	10.85
1.4		2.08	4.87	2.01	5.21	3.55	5.80
1.6		1.52	2.98	1.52	3.32	2.29	3.57
1.8		1.19*	2.02	1.21*	2.28	1.69	2.40
2.0		0.97*	1.47*	0.99*	1.65	1.32	1.71
75		1.0	6.37	36.19	4.36	20.21	
	1.2	3.50	13.28	2.69	9.34	13.19	13.58
	1.4	2.28	6.70	1.87	5.24	4.25	6.50
	1.6	1.64	4.02	1.64	4.08	5.43	3.18
	1.8	1.25*	2.69	1.78	4.26	7.17	2.17
	2.0	1.00*	1.93	1.92	4.48	9.94	1.71
	70	1.0	7.24	55.03	4.17	20.57	
1.2		3.95	19.00	2.82	10.87		9.98
1.4		2.52	9.25	3.13	11.46		4.96
1.6		1.77	5.42	3.45	12.25		3.47
1.8		1.33	3.57	3.76	13.23		2.87
2.0		1.07*	2.58	3.78	9.58		2.48
65		1.0	8.16	87.34	4.81	26.96	
	1.2	4.50	27.91	5.44	28.86		8.99
	1.4	2.82	13.00	6.08	31.29		5.85
	1.6	1.95	7.42	6.71	34.50		4.76
	1.8	1.47	4.86	6.17	17.07		4.08
	2.0	1.21*	3.60	5.45	11.12		3.54

表 1(续)

坎坡/(°) Slope of terrace ridge	坎高/m Height of terrace ridge	单坎型		L 坎型		反坡 L 坎型	
		Inclined type of terrace ridge		L-shaped of terrace ridge		L-shaped of reverse slope	
		$K_c$	$K_q$	$K_c$	$K_q$	$K_c$	$K_q$
60	1.0	9.08	153.62	9.00	68.75		20.79
	1.2	5.22	43.28	10.22	75.60		10.05
	1.4	3.24	19.06	11.44	84.75		7.28
	1.6	2.20	10.48	12.67	96.16		6.24
	1.8	1.68	6.88	8.41	19.32		5.46
	2.0	1.39*	5.02	6.35	11.67		4.77

注：表中带 \* 数值表示  $K_c < 1.3, K_q < 1.5$ ；表中所缺数据表示滑动力为 0，均满足要求。

Note: Values with \* in the table represent  $K_c < 1.3, K_q < 1.5$ ; Missing data in the table represent the sliding force is 0, can meet the requirements.

表 2 不同坎型的 PP 织物袋梯田筑坎剪切强度验算

Table 2 Shear strength on different shapes retaining of terrace ridge with polypropylene geotextile bags

坎坡/(°) Slope of terrace	坎高/m Height of terrace	剪切强度/MPa Shear strength			坎坡/(°) Slope of terrace	坎高/m Height of terrace	剪切强度/MPa Shear strength		
		单坎 Inclined type of terrace ridge	L 坎型 L-shaped of terrace ridge	反坡 L 坎型 L-shaped of reverse slope			单坎 Inclined type of terrace ridge	L 坎型 L-shaped of terrace ridge	反坡 L 坎型 L-shaped of reverse slope
85	1.0	-5.24	-4.09	-4.56	70	1.0	-5.39	-4.09	-5.00
	1.2	-5.91	-5.19	-5.71		1.2	-5.87	-5.19	-6.29
	1.4	-6.76	-6.30	-6.88		1.4	-6.50	-6.30	-7.65
	1.6	-7.72	-7.41	-8.06		1.6	-7.30	-7.41	-9.07
	1.8	-8.73	-8.52	-9.26		1.8	-8.21	-8.52	-10.56
	2.0	-9.79	-9.62	-10.48		2.0	-9.31	-9.62	-12.11
80	1.0	-5.28	-4.09	-4.69	65	1.0	-5.39	-4.09	-5.00
	1.2	-5.87	-5.19	-5.88		1.2	-5.87	-5.19	-6.29
	1.4	-6.65	-6.30	-7.11		1.4	-6.50	-6.30	-7.65
	1.6	-7.56	-7.41	-8.37		1.6	-7.30	-7.41	-9.07
	1.8	-8.54	-8.52	-9.66		1.8	-8.21	-8.52	-10.56
	2.0	-9.56	-9.62	-10.99		2.0	-9.31	-9.62	-12.11
75	1.0	-5.34	-4.09	-4.84	60	1.0	-5.48	-4.09	-5.37
	1.2	-5.86	-5.19	-6.08		1.2	-6.05	-5.19	-6.77
	1.4	-6.56	-6.30	-7.37		1.4	-6.52	-6.30	-8.27
	1.6	-7.42	-7.41	-8.70		1.6	-7.20	-7.41	-9.86
	1.8	-8.36	-8.52	-10.09		1.8	-8.51	-8.52	-11.55
	2.0	-9.35	-9.62	-11.53		2.0	-9.97	-9.62	-13.34

注：表中带 \* 数值表示  $\tau > [\tau]$ 。

Note: Values with \* in the table represent  $\tau > [\tau]$ .

通过对单坎、L坎以及反坡L坎型的抗滑稳定系数、抗倾覆稳定系数和剪切强度的对比分析,可得出:

1)单坎型的PP织物袋梯田田坎,在坎坡较大、坎高较高时容易发生滑动破坏,可以适当放缓仰斜墙背,减小土压力、增大稳定力矩来提高稳定系数。具体应按照坎坡 $\theta \geq 75^\circ$ 时,坎高控制在1.6 m以下; $60^\circ < \theta < 75^\circ$ 时,坎高应控制在1.8 m以下; $\theta \leq 60^\circ$ 时,可以修筑2 m坎高。

2)L坎型的梯田田坎,较单坎型田坎因其踵板上土体增强了其抗滑和抗倾覆稳定性。所以,坎坡 $\theta \geq 85^\circ$ 以上时,坎高应控制于1.8 m以下;坎坡 $80^\circ \leq \theta < 85^\circ$ 时,坎高应控制于1.6 m以下; $\theta < 80^\circ$ 时,应以2 m为宜。

3)反坡L坎型PP织物袋梯田田坎因其倾斜基底以及趾前土体被动土压力的作用,其抗滑稳定性较水平基地明显有所增强,尤其是在坎坡 $< 70^\circ$ 时,其倾斜基地滑动力极小。所以,坎坡 $\theta \geq 85^\circ$ 以上时,坎高应控制在1.8 m以下;坎坡 $\theta < 85^\circ$ 时,坎高应以2 m为宜。

## 6 结 论

PP织物袋筑坎梯田是坡改梯工程的一项新技术,在修筑PP织物袋梯田田坎时,应依据当地土壤特性进行稳定性验算,以确定适宜的坎坡和坎高。单坎型PP织物袋坎,适宜的坎坡为 $60^\circ \sim 75^\circ$ ,坎高控制在1.8 m以下;L型坎坎坡应控制在 $80^\circ \sim 85^\circ$ ,坎高应在1.6 m以下;反坡L型坎坎坡应在 $85^\circ$ 以下,坎高控制在2 m以下较为适宜。3种PP织物袋梯田筑坎方式的比较可看出,反坡L坎型稳定性高于L坎型和单坎型。虽然反坡L型其施工工序较为复杂,建设成本高,但对土坎垮坎最为严重的地带该坎型可以大大提高筑坎质量;L坎型其稳定性优于单坎型,对于缺乏石料地区、土质松软地带可以采用。另外,PP织物袋田坎稳定性还受其他因素(降雨和施工等)的影响,在修筑时应尽可能考虑到各种情况,增强防御措施,以保证其稳定性,提高修筑质量。

## 参 考 文 献

[1] 朱建强. 陕南土坎梯田垮坎的原因分析及防治对策[J]. 水土保持通报, 1994, 14(6): 44-47

- [2] 党进谦, 张新和, 李靖. 水土保持与耕地资源持续利用[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 285-287
- [3] 李光录, 柳诗众, 邓民兴, 等. PP织物袋梯田筑坎技术在陕南秦巴山区的应用[J]. 中国水土保持, 2011, (11): 29-30
- [4] Knut Oberhagemann M d, Makbul Hossain. Geotextile bag revetments for large rivers in Bangladesh[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2011, 29(4): 402-414
- [5] Honrnsey W P, Scheirs J, Gates W P, et al. The impact of mining solutions/liquors on geosynthetics[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2010, 28(2): 191-198
- [6] Markus A Wetzel, Melanie wiefmann, Jochen H E koop. The ecological potential of geotextiles in hydraulic engineering[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2011, 29: 440-446
- [7] Robert M Koerner, Te-Yang soong. Geosynthetic reinforced segmental retaining walls[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2001, 19: 359-386
- [8] Allen Lunzhu Li, R Kerry Rowe. Effects of viscous behavior of geosynthetic reinforcement and foundation soils on the performance of reinforced embankments[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2008, 26: 317-334
- [9] R. Bhattacharyya, T Smets, M A Fullen, et al. Booth effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2010, 81: 184-195
- [10] Ennio Marques Palmeira. Soil-geosynthetic interaction: Modelling and analysis[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2009, 27: 368-390
- [11] 孙彤彤. 我国聚丙烯土工布的生产应用及发展前景[J]. 非织造布, 2011, 9(4): 29-35
- [12] 王凤才, 张兴, 朱菊明, 等. 土工布加筋土工挡墙设计与施工[J]. 东北水利水电, 1990(8): 29-33
- [13] 高学刚, 周奎, 张晓辉. 土工编织布加筋土挡土墙在建新拦河闸工程中的应用[J]. 吉林水利, 2000(3): 5-9
- [14] 吕炜, 林杰, 赵武君. 海堤工程中的水土工布施工[J]. 浙江水利科技 2011(1): 70-71
- [15] 李光录, 柳诗众, 邓民兴, 等. 陕南秦巴山区PP织物袋梯田筑坎结构和坎型研究[J]. 中国水土保持, 2012(9): 44-45
- [16] 朱建强, 李靖. 陕西南部土坎梯田建设研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 19-24
- [17] 蔡伟铭, 胡中雄. 土力学与基础工程[M]. 1版, 北京: 中国建筑工业出版社, 1991
- [18] 戴自航, 林智勇, 郑也平, 等. L型挡土墙主动土压力计算的基底摩擦系数折减有限元法[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(4): 508-514
- [19] 梁钟琪. 土力学及路基[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1980
- [20] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范(GBJ7—89)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991