

# 陕南西部土坎梯地建设研究

朱建强                      李 靖

(西北农业大学水利与建筑工程学院·陕西杨陵·712100)

**摘 要** 通过野外调查,基本查清了陕南西部土坎梯地坎坡变形破坏的类型与特点,在土性试验的基础上,总结出陕南西部兴修梯田而垮坎严重的土质类型与土性特征。根据土性特征提出了土坎梯地建设应遵循的原则和固坎增稳措施。

**关键词:** 土坎梯地 陕南西部

## A Study on Soil-bank Terrace Construction in Western Part of South Shannxi Province

*Zhu Jianqiang              Li Jing*

*(Water Conservancy and Architectural Engineering College, Northwestern Agricultural University, Yangling, Shaanxi Province, 712100, PRC)*

**Abstract** The types and characteristics of deformation and breaking of terrace-bank slope in the western part of south Shannxi province are studied. Based on soil property trial, the authors point out the earth type and soil property which result in bank collapse is severe in constructing terrace. According to the soil characteristics, the authors also put forward some principles for terrace constructing, and measures for increasing terrace-bank stability.

**Keywords** terrace with soil-bank; the western part of south Shaanxi province

陕南土坎梯地建设存在的主要问题是埂坎稳定性差,垮坎严重。一般当年修的土坎梯地在第2年雨季中有30%~40%因垮坎而毁坏,有些地方甚至更严重。这样修了垮,垮了修,反反复复,挫伤了群众的积极性,给秦巴山区以兴修土坎梯地为主的农田基本建设蒙上了阴影。为巩固已有梯地建设成果,进一步调动群众坡改梯的积极性,加快秦巴山区水土流失综合治理,迫切需要解决土坎梯地垮坎问题。在长江上游水土保持局和陕西省水土保持局的大力支持下,作者重点对陕南西部的土坎梯地垮坎问题进行了研究。该文以实地调查和土性试验为基础,归纳总结了陕南西部土坎梯地坎坡变形破坏的类型与特点,指出了修地垮坎严重的土质类型与土性特征,提出了陕南西部土坎梯地建设应遵循的原则和固坎增稳措施。

## 1 梯地坎坡变形类型及其特点

土坎梯地坎坡破坏是坎坡土体变形发展到一定阶段的必然现象。人们在坡改梯的过程中引起了自然土体环境条件的改变,这是诱发变形发展的主导因素。据野外调查,可将陕南土坎梯地坎坡变形概括为 4 种主要类型,现将各种类型及其特点分述如下:

### 1.1 剥落

剥落是指坎坡表层土受物理化学风化作用,土棱块解体、碎裂成松散土粒,在重力作用下沿坎坡面滚落、滑溜,最后堆积于坎坡坡脚的现象。这种作用的特征是:(1)剥落物较小,沿坡面层层深入;(2)与气候关系密切,主要发生在蒸发作用强烈的干旱季节。一般旱季愈长,蒸发愈强烈,剥落愈严重;(3)剥落物多出现在坡面上受物理风化作用显著的表层土,约 0.1~0.2m 深度范围。

### 1.2 鼓胀

由于干缩湿胀效应,坎坡面局部土体出现向外突出扩张的现象称之鼓胀。在连阴雨过后很容易在陕南粘土边坡中看到这种现象。鼓胀将形成松散层,使旱季易剥落,雨季易冲蚀或溜塌。对石坎梯地来说,土的鼓胀使得干砌石块变得松动,甚至挤垮石坎。鼓胀有两个特征:(1)多产生于坎坡局部坡面,规模不大;(2)与降雨有关,其出现一般滞后于降雨。

### 1.3 溜塌

在冻融干湿交替影响下,梯地坎坡表土层由于风化裂隙切割,逐步变成松动的土块,在降雨或地表片状水流作用下充分地吸水饱和至流塑状态后形成片状和碎散状顺坡面下滑的现象谓之溜塌。溜塌多出现在坡面已有剥落、冲蚀或鼓胀的边坡中。其特征是:(1)主要出现在雨季,规模较小,一般长、宽均在 0.2~2.0m 范围;(2)溜塌土层厚度受气候作用显著,因土质而异多在 0.05~0.1m 范围,最厚 0.4m;(3)运动较缓慢,呈塑流状态;(4)一般无明显滑带,上方土体溜塌后常形成弧形小陡坎。塌体大都从坡脚开始顺坡面堆积。因溜塌并无从边坡基部崩坏之势,故可与坍塌相区别。

### 1.4 浅层座落

梯地坎坡下部土体受雨水或地下水(泉水)作用发生软化从基部崩坏的现象,谓之浅层座落,这种变形有如下特征:(1)发生在梯坎基部,多出现在雨天;(2)破坏规模很小,长、宽均在 0.5m 左右。座落体后壁非常陡,大约  $70^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$ 。梯地坎坡浅层座落与工程边坡坍塌有类似之处,差别主要在规模大小不同,可看作微型坍塌。

## 2 修地易垮土质的类别

经现场考察和实地访问,我们选几种农业利用比较广泛、修地垮坎较为严重的土质进行研究。土样取自陕南西部嘉陵江流域高阶地斜坡,其中扰动土样 1 种,原状土样 4 种。按 SD128-006-84 规定的方法进行了颗粒分析试验,按 SD128-007-84 规定的方法测定了土样的液塑限,试验结果分别列于表 1 和表 2 中。

由颗粒分析试验结果,1 种土样全部为细粒土,再根据塑性图可将其分为高液限粘质土和中液限粘质土两类,结果列于表 3 中。鉴于土样取自膨胀土分布广泛的嘉陵江流域,有必要对土样类别作进一步判断。按照膨胀土的有关判别标准,结合已有研究成果,经综合判断<sup>[1]</sup>,认为其中 1~6 号土和 11 号土为膨胀土,其中 3、5、6、11 号土就是当地群众所说的黄泥巴。由谭氏分类

图<sup>[2]</sup>。按膨胀性可将 1~6 号土和 11 号土进一步划分为弱膨胀土和中等膨胀土 (见表 4)

表 1 颗粒分析试验结果

土样 编号	10~ 5 mm (%)	5~ 2 mm (%)	2~ 0.5 mm (%)	0.5~ 0.25 mm (%)	0.25~ 0.1 mm (%)	0.1~ 0.05 mm (%)	0.05~ 0.005 mm (%)	< 0.005 mm (%)	< 0.002 mm (%)	$d_{50}$ ( $\times 10^{-2}$ ) mm
1			3.125	1.775	0.667	3.553	51.65	39.25	27.20	0.92
2			0.286	0.064	0.614	2.706	59.88	36.35	25.60	0.93
3			1.62	0.18	1.99	3.40	55.66	37.15	27.20	1.40
4			0.94	0.05	1.82	2.22	63.65	31.32	19.30	1.12
5					0.67	7.21	45.25	46.87	41.00	0.73
6					4.00	7.17	53.82	35.01	29.40	1.18
7			1.67	0.22	0.30	2.70	55.46	39.65	21.90	0.91
8	4.67	14.39	8.72	8.33	7.23	8.14	24.83	23.72	16.80	5.80
9	18.42	5.33	11.24	6.71	5.81	6.88	27.33	18.28	16.50	7.50
10	13.84	7.80	6.93	4.17	6.87	6.85	25.04	28.50	20.20	3.87
11			0.81	0.92	4.55	8.31	54.66	30.75	17.80	1.36

表 2 液塑限试验结果

土 样 编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$k_L$ (%)	46.00	42.41	52.10	41.40	53.10	50.90	37.00	35.10	35.50	31.00	46.60
$k_P$ (%)	21.10	20.60	20.30	20.70	21.60	23.00	19.70	17.75	17.00	16.80	22.48
$I_P$	24.90	21.81	31.80	20.70	31.50	27.90	17.30	17.35	18.50	14.20	24.12

表 3 筑坎土的工程类别

土样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
分类符号	CH	CH	CH	CI	CH	CI	CI	CI	CI	CI	CH
典 型 名 称	粘土	粘土	粘土	粉质 粘土	粘土	粉质 粘土	粉质 粘土	粉质 粘土	粉质 粘土	粉质 粘土	粘土
俗 名	红黄泥	油黄泥	素黄泥	绵黄泥	纯黄泥	纯黄泥	油黄泥	青白泥	五色 花泥	黑泥	栗子 黄泥

表 4 筑坎膨胀土分类

项目	1	2	3	4	5	6	11
直 接 指 标 法 ( $F_s$ )	弱等	弱等	中等	弱等	弱等	中等	弱等
间 接 指 标 法 ( $W_L, I_P$ )	中等	中等	强	中等	强	强	中等
谭氏分类图	弱等	弱等	中等	弱等	中等	中等	弱等

表 5 筑坎土基本物理力学性质指标

土 样 编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$G_s$	2.732	2.727	2.708	2.756	2.732	2.746	2.723	2.776	2.753	2.760	2.783
$k$ (%)	46.00	42.41	52.10	41.40	53.10	50.90	37.00	35.10	35.50	31.00	46.60
$k_p$ (%)	21.10	20.60	20.30	20.70	21.60	23.00	19.70	17.75	17.00	16.80	22.48
$k_s$ (%)	10.36	11.11	8.43	10.95			17.66	14.08	16.16	11.50	
$I_s$	35.64	31.30	43.67	30.45			19.34	21.02	19.34	19.50	
$I_p$	24.90	21.81	31.80	20.70	31.50	27.90	17.30	17.35	18.50	14.20	24.12
$K_A$	0.915	0.852	1.169	1.073			0.790	1.033	1.121	0.703	
$k_{op}$ (%)	19.49	18.23	19.47	20.00	19.72		15.73	12.56	12.73	12.00	19.92
$d_{lm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.691	1.736	1.695	1.678	1.696		1.737	1.926	1.935	1.950	1.680
$C_q$ (kpa)	96.00	92.05	133.60	80.08	105.80		103.61	80.78	69.59	107.82	102.02
$h_b$ (°)	17.36	17.92	11.51	16.60	12.81		28.63	22.28	18.36	23.76	17.81

表 6 填筑膨胀土抗剪强度试验结果及其统计分析

试 样 编 号	击 实 状 态		强 度 指 标		统 计 关 系 ( $C \sim k, h \sim k$ )
	$k$ (%)	$d_l$ (g/cm <sup>3</sup> )	$C$ (kPa)	$h$ (°)	
1- 1	15.57	1.588	148.86	25.98	$C = 332.404 - 12.307k$ $\gamma = -0.986$ $\varphi = 54.135 - 1.828k$ $\gamma = -0.995$
1- 2	17.30	1.600	106.88	23.04	
1- 3	19.49	1.691	96.00	17.36	
1- 4	23.29	1.630	50.16	11.32	
1- 5	24.28	1.571	28.26	9.98	
2- 1	15.70	1.619	147.60	27.58	$C = 287.831 - 10.409k$ $\gamma = -0.913$ $\varphi = 63.068 - 2.515k$ $\gamma = -0.901$
2- 2	16.28	1.678	100.05	16.11	
2- 3	18.23	1.736	92.05	17.92	
2- 4	21.05	1.673	62.65	13.45	
2- 5	23.79	1.577	47.40	1.27	
3- 1	17.41	1.667	132.00	25.17	$C = 324.267 - 10.600k$ $\gamma = -0.925$ $\varphi = 91.732 - 3.736k$ $\gamma = -0.980$
3- 2	19.47	1.695	133.60	20.34	
3- 3	20.43	1.669	106.42	16.04	
3- 4	21.99	1.643	82.65	11.21	
3- 5	23.22	1.614	79.95	2.89	
4- 1	16.71	1.641	120.47	23.65	$C = 272.449 - 9.107k$ $\gamma = -0.942$ $\varphi = 70.110 - 2.695k$ $\gamma = -0.985$
4- 2	18.58	1.668	114.19	22.22	
4- 3	19.74	1.678	80.08	16.60	
4- 4	22.03	1.640	67.52	10.71	
4- 5	23.77	1.585	61.72	5.62	

### 3 修地易垮土质的主要特性

据实地考察, 陕西南部修地土质主要有 5 类: 黄色、黄褐色、棕色、棕红色粘质土; 青白色、五花色、黑色粉质粘土和残坡积母质上发育的石渣土。该文将重点述及农业利用广泛修地垮坎严重的几种土质特性。筑坎土料的基本物理力学性质指标测定按土工试验规程<sup>[3]</sup>有关规定进行, 测定结果列于表 6 中。

根据作者的试验结果, 陕西南部修地垮坎严重的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。垮坎严重的几种土质其共同特点是遇水强度衰减快, 抗风化能力差。对膨胀土来讲这一点则更为突出。表现为膨胀性越大, 遇水作用强度衰减幅度越大。研究表明<sup>[4]</sup>: 弱等膨胀土经历一次干缩湿胀循环  $C$  值将衰减 38.3% ~ 56.95%; 中等膨胀土经历一次干缩湿胀循环  $C$  值衰减 62.9%,  $\varphi$  值衰减 59.4%。

表 7 非膨胀土重塑后抗剪强度指标及其统计分析

试 样 编 号	击 实 状 态		强 度 指 标		统 计 关 系 ( $C \sim k, h \sim k$ )
	$k$ (%)	$d_v$ ( $g/cm^3$ )	$C$ (kPa)	$h$ (°)	
7- 1	11.60	1.658	137.44	28.93	$C = 233.302 - 7.855k$ $\gamma = -0.951$ $\varphi = 42.134 - 1.029k$ $\gamma = -0.875$
7- 2	13.67	1.689	130.87	27.45	
7- 3	15.73	1.737	103.61	28.63	
7- 4	16.64	1.728	113.70	25.00	
7- 5	19.51	1.706	74.89	20.68	
8- 1	13.48	1.840	71.69	19.49	$C = 159.788 - 6.986k$ $\gamma = -0.975$ $\varphi = 46.65 - 1.84k$ $\gamma = -0.945$
8- 2	15.41	1.869	47.22	21.36	
8- 3	17.76	1.792	31.17	14.63	
8- 4	19.69	1.714	22.65	9.39	
8- 5	21.38	1.677	14.07	7.07	
9- 1	11.65	1.922	86.03	20.52	$C = 218.747 - 11.595k$ $\gamma = -0.998$ $\varphi \sim \omega$ 关系不明显
9- 2	12.73	1.932	69.59	18.36	
9- 3	14.44	1.880	49.32	16.55	
9- 4	16.22	1.820	30.87	18.22	
9- 5	17.98	1.756	11.29	18.97	
10- 1	9.84	1.883	132.42	28.86	$C = 261.159 - 12.778k$ $\gamma = -0.983$ $\varphi = 64.418 - 3.388k$ $\gamma = -0.960$
10- 2	11.67	1.904	110.32	26.33	
10- 3	14.46	1.899	89.17	19.91	
10- 4	15.71	1.855	57.66	8.39	
10- 5	17.35	1.785	34.19	4.70	

表 6 和表 7 分别是膨胀土与活动性较大的非膨胀粘土在不同含水量水平下的击实情况及其对应的剪切强度指标值。试验结果表明, 无论膨胀土还是活动性较大的非膨胀粘土, 重塑后的抗剪强度与填筑干密度和含水量有关: 当填筑干密度一定时, 抗剪强度随填筑含水量增大而减小; 当填筑含水量一定时, 抗剪强度随填筑干密度增大而增加。表中试验结果还表明, 含水量的

较小变化都会引起抗剪强度的较大变化;含水量对抗剪强度的削弱作用远远大于干密度增加对抗剪强度的加强效应;在填筑干密度变化较大的范围内,  $C, h$  值与填筑含水量之间存在显著地线性负相关关系。

## 4 土性与梯地建设

通过多次赴陕西南部调查,我们认为本区梯地垮坎严重的原因除雨多强度大外,最主要的原因是对本区修地易垮土质的特殊性认识不足。根据土性试验,陕西南部修地易垮坎的土质分为膨胀土与活动性较大的非膨胀粘性土。这两类土有一个共同特点是遇水强度衰减大,风干后遇水崩解快。因此,在雨季梯地垮坎往往很严重。对膨胀土来说,它的胀缩变形,强度衰减都与水息息相关,而表层膨胀土由于受大气影响强烈,经常发生干缩湿胀变形,使土的强度大幅度衰减,从而导致表土碎裂松散,易于发生浅层变形破坏。王廷玉在“关于陕西秦巴山区建设水平梯地的战略研究<sup>[5]</sup>”一文指出:土质松散是造成秦巴山区土坎梯地“一年修、二年垮、三年变成平铺塌”的重要原因。

土质特性决定了陕西南部乃至整个秦巴山区土坎梯地建设的原则应当是排水固坎、防风化固坎。建立以排水固坎为中心,坡面工程措施与植物措施相结合、埂坎保护与开发利用相结合的综合防治体系,是解决陕南部土坎梯地垮坎问题的有效途径。从梯地边坡稳定性来看,可以采取以下防治措施:第一,在梯地与其上部陡坡地接合部位修建截排水沟,并修建沿山排水堰渠(沟),疏导降雨径流,防止梯地被冲毁;第二,建造梯地上部陡坡地植被,拦蓄、阻滞坡面径流,减轻截排水沟的防洪压力,确保梯地安全生产;第三,在注重提高埂坎修筑质量的同时要进行植物护埂,削弱大气营力对埂坎土体的风化作用。为便于群众接受和面上推广,应注意植物护埂的经济性,搞好埂坎立体开发。

## 5 讨论与结论

土性试验和实践均表明,陕南膨胀土分布地带不宜修建田面水平的蓄水式土坎梯地。将地面修平不利于排水,会带来两个问题:一是没有抓住筑坎土料遇水软化、强度锐减的特点,不利梯坎稳定;二是易造成耕层土壤板结,影响作物生长。如遇连阴雨常形成耕层滞水,造成作物渍害。综上所述,可以认为陕南膨胀土分布地带不宜修建土坎水平梯地,在条件许可时尽量修石坎梯地。在无石料来源或难以就地就近取材时可考虑修建田面外高内低、沿田面内侧顺地势特点向一侧或两侧排水的土坎梯地。同时采取前面述及的综合防治措施,以确保梯地埂坎稳定,更好地发挥梯地的生产作用和水土保持作用。

### 参 考 文 献

- 1 朱建强. 陕南坡改梯筑坎力学性质试验及垮坎机理研究. 见: 西北农业大学 1995 届硕士研究生学位论文集. 1995. 14~ 16
- 2 谭罗荣. 某些膨胀土的基本性质研究. 岩土工程学报, 1987(5): 31~ 41
- 3 中华人民共和国水利电力部. 土工试验规程 SD128-84, 第一分册(第二版). 北京: 水利电力出版社, 1987年 8月第 3版
- 4 李靖, 朱建强. 陕南坡改梯筑坎膨胀土抗剪强度试验研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995(创刊号)
- 5 王廷玉. 关于陕西秦巴山区建设水平梯地的战略研究. 见: 中国农学会土壤肥料研究会等. 全国梯田学术讨论会论文集汇编. 1986.