

黄土丘陵区软埂梯田建设与维护监测研究

陈 莉

(延安市水土保持研究所, 陕西 延安 716000)

摘 要: 软埂梯田选择“接近自然”的技术对坡改梯进行了技术改进, 在工程方面设计采用接近黄土自然休止角 40°~45°为梯田埂坡设计坡度, 从而从根本上消除了地埂重力侵蚀危害。试验研究表明, 软埂梯田每年的维护费用为 592.5 元/hm², 是硬埂维护费用的 55.5%; 修筑费用为 435 元/hm², 是硬埂的 24.9%。软埂梯田具有造价低、易维护、修筑和管护简便等特点, 是水平梯田建设的重要发展方向。

关键词: 接近自然; 黄土丘陵区; 软埂农田; 硬埂梯田

中图分类号: S 157.31 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004)02-0041-04

Research on the Supervision to Technic Construction and Maintenance of Soft Ridge Terrace in Loess Hilly-gully Region

CHEN Li

(Institute of Soil and Water Conservation, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

Abstract: Selecting the technology of “close to nature”, soft ridge terrace changes sloping field into terrace. In engineering, the gradient of terrace was designed to 40°~50°, which closed to loess natural caesura angle and eradicated the harm of erosion by ridge gravity. The research indicated that the maintenance fee of soft ridge terrace was 435 yuan per hm² each year, which was 55.5% of hard ridge. The construction fee was 592.5 yuan per hm², which was 24.9% of hard ridge. As a whole, soft ridge terrace is characterized by low-cost, easy maintenance and handy construction and supervision, which is the important development orientation of the adinic terrace.

Key words: close to nature; loess hilly-gully region; soft ridge terrace; hard ridge terrace

坡耕地——特别是轻度水土流失的缓坡耕地改建梯田是控制山地水土流失, 提高山区粮食产量, 实现山区农业经济可持续发展的关键技术措施之一。梯田在世界上分布很广, 意大利、法国、日本及东南亚各国梯田都很普遍, 美国和非洲的许多国家近几十年来也修建了各种类型的梯田^[1]。由于中国人口压力大, 因此中国的水平梯田历史最悠久, 范围也最广, 研究的深度和广度也处于世界领先水平。进入 20 世纪 90 年代以来, 我国广大土质山区机修梯田技术迅速推广, 面积不断扩大, 给水土保持事业和山区农业经济发展做出了巨大贡献。但梯田地埂坡度普遍按 75°坡度设计施工, 高出土壤自然休止角(35°)1 倍以上, 这样就增加了土壤重力侵蚀的活跃程度, 加剧了重力侵蚀危害, 据不完全统计, 中国陕北 20 世纪 70~80 年代人工修筑的窄条梯田保存率已不足 30%, 其中半数以上是因重力侵蚀引起的田埂崩塌后难以恢复所致, 这是因为在自重应力和构造应力的共同参与下, 应

力(自重应力和构造应力的复合应力)容易在坡角处发生集中的必然结果^[2], 特别是冬、春季的冻融膨胀和雨季的干湿膨胀破坏了土壤原有结构的稳定状态, 进一步加剧了田埂崩塌和滑坡侵蚀危害。预计 15~20 年后, 上个世纪 90 年代高标准机修梯田地埂崩塌损坏率将达到 70%~80%, 地埂崩塌将成为未来黄土高原水土保持事业发展面临的重要课题之一^[3,4], 为了减轻重力侵蚀危害和提高地埂利用率, 我国的科学家们开展了一系列研究工作, 李宏平站在土壤力学角度对梯田埂坎坡度的安全性进行了初步研究^[5]; 杨开宝、郭培才对梯田田坎水分耗散进行了研, 结果表明, 田坎水分损失率达 10.9%~11.2%, 距田坎 1 m 以内单位株作物产量较坡地减少 18.2%^[6]; 张廊玉、周晓林对营造梯田地埂防护林技术进行了探讨^[7]; 王喜龙、王忠科通过对不同生物埂生态效益的模糊对比分析与评价, 指出紫穗槐、黄花菜、柠条在地埂栽植的生态效益相对较好^[8]; 代全厚、孙传生对紫花苜蓿

① 收稿日期: 2004-02-20
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606); “十五”国家科技攻关课题“区域农业协调持续发展战略研究”项目; 延河流域世行贷款项目
作者简介: 陈莉(1970-), 工程师, 发表学术论文 7 篇。

护埂进行了研究,发现地埂紫花苜蓿主根深达 2~6 m,可减少土壤侵蚀 95.86%^[9];石观海、孙浩峰对中国马莲河流域梯田埂坎利用进行了分类调查和研究,认为梯田埂坎经济植物带建设可充分利用埂坎光、热、水、资源,具有较大经济开发潜力^[10,11];李会科、王忠林对地埂花椒根系分布及力学强度、花椒地埂土壤抗蚀冲性进行了研究^[12~14];赵芹珍对梯田地埂黄花草生物量进行了测定与分析^[15];郭志乾、刘东海对黄土丘陵区水平梯田地埂林植物种选择进行了分析^[16];周兴魁、蔡强国对黄土丘陵区地埂栽植紫穗槐进行了研究^[17];杨才敏、高文敏对中国阳城和沁水两县地埂桑效益调查后认为地埂桑养蚕经济效益显著^[18];张进善、武满山对地埂紫穗槐栽培管理进行了探讨^[19];曾明德对地埂营造防护林技术进行了研究^[20];张玉英对紫穗槐、红柳、大金鸡菊在梯田田埂栽植进行了试验研究^[21]。尽管地埂植树种草方面的研究很活跃,但只是减缓了地埂的重力侵蚀,其并没有从本质上解决人工筑埂提高地埂坡度在土壤自重应力和构造应力共同作用下导致的重力侵蚀活跃性增加问题,同时,所有的护埂植物都种植在地埂内侧的梯田地里,埂坡裸露的不良景观没有改观。1994 年曹世雄先生提出“软硬梯田”技术,把梯田地埂坡度降至接近土壤自然休止角(35°)的 35~45°(见本刊 2003 年 4 期第 30 页图 1)^[22],1996 年,我们对这一技术的可行性进行了监测,监测结果显示,该技术生态经济效益显著,是一项简便可行的水土保持实用技术。

1 项目概况

1.1 试验区自然概况

试验区位于黄土高原陕西省延安市下砭沟小流域,地处延安市北郊 1.2 km,设点前流域内植被破坏严重,两沟两梁地形破碎,属黄土丘陵区第二副区,海拔高度 993.7~1 191.2 m。试验区面积 1.21 km²,土壤侵蚀强烈,年侵蚀模数 15 000 t/km²。年平均气温 9.4℃,年平均降水 547.4 mm,多年汛期平均降水 413.6 mm,1997~2000 年汛期降水 364.0 mm,其中 71.2% 集中于 6~9 月份,年无霜期 147 d,干旱霜冻危害较为频繁。试验区地势由低到高,形成了自然立体差异,具有黄土高原丘陵沟壑区典型地貌特征和典型土壤类型,在研究农果草近自然梯田技术方面具有较强代表性。

1.2 主要检测内容、方法与目的

软硬梯田是指梯田修筑时,埂坡没有夯实,按土壤自然堆积的坡度、形态进行设计、施工的梯田建设技术设想。该技术设计以“接近自然”理论为依据^[23,24],地埂坡度为土壤自然堆积形成的 40~45°为设计坡度,机修梯田推成后在平地边缘修筑 50 cm×50 cm 的挡水边坎,40~45°的埂坡不予处理,处于自然疏松状态,以便对埂坡地进行开发和利用^[22]。该监测项目通过对传统梯田与软硬梯田修筑方法和投入、重力侵蚀及维护费用、占地面积等方面的对比分析,研究新技术的可行性及其与硬硬梯田相比较的优缺点。并通过实际操

作与传统硬硬梯田的比较实验,得出软硬梯田建设的完整技术体系与量化指标,并及时推广应用。

监测内容包括:①对不同土地类型共计 6 块软、硬硬梯田用皮卷尺测量其长、宽、高及埂坡坡度,计算出地埂占地面积、地埂占地与农田面积比及占土地面积的百分比进行对比分析;②每年定期对试验地软、硬硬梯田埂坡重力侵蚀情况进行监测、测定,计算出相应侵蚀总量及维护费用进行对比分析;③逐年测量软、硬硬梯田地坎高度与宽度,计算出相应的沉陷速度与维护费用进行对比分析。

监测方法包括:(1)维护费用:每年进行不定期维修,每次维修前要对冲毁路段的需土量进行实地测算登记,每次维修时对每一路段的用工量进行登记,年底进行统计分析;(2)土壤容量:每年春、秋两次对各路段和坡耕地孔隙度进行定期测定,工具为环刀,取土深度为 20 cm,每个小区每次选一个取土点。

2 监测结果与分析

2.1 软硬梯田地埂设计施工指标及投入的监测分析

水平梯田埂坡设计的总原则是在保证地埂坚固稳定的前提下,最大限度减少筑埂投入,在这方面各地科技工作者在理论和实践方面都做了不少工作。研究结果表明,地埂稳定性与地埂坡度、高度均呈显著负相关关系,该试验硬硬梯田埂坡度按延安市延河流域世行贷款项目机修梯田实际地埂修筑坡度来确定,软硬按 40~45°坡度设计施工,但在实际操作过程中由于受土壤、地形、地貌条件影响,实际坡度都有所减缓(详见表 1)。试验监测结果表明:在要求水平梯田田面宽度相同或相近时(14~20 m),不同土地类型地埂高度有明显差异,峁地土地平缓,地埂高度较小,硬硬梯田平均仅为 2.7 m,是梁地的 64.3% 和塌地的 56.8%。与硬硬梯田相类似,梁地软硬梯田地埂高度也低于塌地,为塌地的 86.8%~88.5%。软硬高度要明显高于硬硬,塌地高 10.9%~11.6%,梁地高 11.0%;

从地埂坡度来看,地形地貌是影响地埂修筑坡度的最主要因素,梁状(含峁)地形由于土地相对较窄,推土机适应性较差,修筑田埂坡度较缓,硬硬梯田的坡度为 53.47~59.70°;比塌地缓 1.45~7.72°;软硬为 34.90°;比塌地缓 5.16~9.06°;不同的修筑方法对地埂坡度的影响更明显,软硬平均为 39.62°低于硬硬 18.51°;

地埂占地不仅受地埂坡度的影响,同时受地埂相对高度的影响,硬硬梯田在峁地地埂较缓,高宽比为 1:0.74,其高度仅为 2.7 m,是其它土地类型的 56.8%~64.3%,因此地埂占地面积最少仅为 16%,比梁地少 3%,比塌地少 4%。相反,软硬梯田梁地占地较多,为 41%,比塌地高 4%。软硬梯田建设地埂占据了较多的农用地,地埂面积是农田用地的 58%~69%,是硬硬的 2.5 倍,但相对较缓的坡度也为植树种草提供了可能,这和山地农田林网化及山川秀美工程建设

的要求相吻合;

地埂修筑费用受土壤类型和地埂占地比例及地埂高度、修筑方法等多重影响,红胶泥土壤可塑性较差,单位面积筑埂费用为 0.4 元/m²(延安市 1997 年定额),是黄绵土的 1.05 倍。从单位土地面积角度来看,红胶泥硬埂塌地筑埂费用最高,为 2 629.65 元/hm²,分别是黄绵土塌地的 1.52 倍和黄绵土梁地的 1.12 倍。由于软埂梯田只需在地边修筑 0.5 m×0.5 m 的边坎,地埂坡面只是简单平整甚至可不予处理,

表 1 软、硬埂梯田埂坡占地及筑埂投资统计分析表

地 名	狮子塌	塘子梁	枇杷山梁	柳条塌	枇杷山梁	枇杷山梁
土壤土地类型筑埂方法	黄绵土塌地软埂	红胶泥塌地软埂	黄绵土梁地软埂	红胶泥塌地硬埂	黄绵土崆山先硬埂	黄绵土梁地硬埂
埂坡高/ m	5.3	5.2	4.6	4.75	2.7	4.2
埂坡坡度/ °	43.94	40.04	34.88	61.19	53.47	59.74
埂坡占地/ %	37	37	41	20	16	19
埂坡面积与农田面积比	0.58 1	0.59 1	0.69 1	0.25 1	0.19 1	0.24 1
单位面积筑埂投资/(元·hm ⁻²)	601.35	570.9	596.1	2659.65	1753.65	2368.95

注: 1、硬埂梯田地埂修筑费用按市场价 2 400 元/hm² 计算; 2、* 括号内的值按总面积(农田面积+ 地埂占地) 计算, 括号外的值按农田面积计算。

2.2 软埂梯田地埂重力侵蚀危害与维护监测分析

机修梯田技术的推广,加宽了梯田地的宽度,同时也增加了田埂的高度,为了防止重力侵蚀危害,埂坡坡度也大大减缓了。该项研究对硬埂梯田修筑没有提出与过去不同的技术要求,因此它对于黄土高原丘陵沟壑区的机修梯田具有代表性。试验监测结果表明,机修硬埂梯田地埂坡度仅为 53.47~61.19°;远低于人工修筑的 75~85 坡度。尽管如此,重力侵蚀引起的田埂塌方还是发生了(详见表 2)。从过去研究结果来看,重力侵蚀与埂高、埂坡坡度均是负相关关系,埂坎越高、坡度越陡,发生重力侵蚀危害的可能性越大。从监测结果来看,柳条塌地埂最高,平均高度为 4.75 m,坡最陡为 61.19°;单位面积发生重力侵蚀次数为 5.4 次/hm²,枇杷山梁地埂高 4.2 m,坡度为 59.74°;单位面积发生重力侵蚀次数为 5.55 次/hm²,而枇杷山崆 埂坡高仅为 2.7 m,埂坡较缓为 53.47°没有发生重力侵蚀;

从重力侵蚀程度来看,黄绵土地塌方量较大,为 930.9 m³/hm²,是红胶泥土的 1.87 倍;尽管红胶泥土壤可塑性较黄绵土差,单位夯土成本为 4.0 元/m³(延安市 1997 年定额),是黄绵土的 1.05 倍,实测红胶泥 5 年内单位土地面积重力侵蚀维护费用为 1 989 元/hm²,小于黄绵土单位土地面积维护费用 3 535 元/hm² 的 43.7%;5 年内硬埂梯田重力侵蚀维护费为 1 904.7 元/hm²,按梯田面积计算为 2 353.35 元/hm²;5 年监测结果表明,软埂梯田实际施工坡度小于设计的 40~45°;与土壤自然休止角相近,因此没有发生重力侵蚀危害。由于试验期间降水量非常少,5 年平均汛期降水量仅为 364.03 mm,是多年平均值 413.56 mm 的 88.02%。过多的降水会增加土壤容量,增加土壤的不稳定性,因此在正常年份硬埂梯田重力侵蚀危害应更严重一些。

因此单位土地面积筑埂费用只有 359.4 元/hm²,仅为硬埂的 18.7%。就是按农田面积计算,单位面积费用也只有 592.65 元/hm²,为硬埂的 24.9%。同时,软埂梯田筑埂费用在不同土地类型上差别也不明显。由此可见,在地广人少的黄土高原丘陵沟壑区,软埂梯田建设是一种比较经济的梯田建设技术,特别是其埂坡的开发利用是山川秀美工程项目的重要方向。在人多地少地区,软埂梯田可否推广还要看其边埂开发利用的效益来确定。

表 2 软、硬埂梯田不同埂坡重力侵蚀及维护费用表

地 名	面积 /hm ²	筑埂 方法	埂坡 高/ m	坡度 / °	塌方 /处	塌方面 积/m ²	塌方 量/m ³	维护费 用/元
枇杷山黄绵 土崆 地	0.79	硬埂	2.7	53.47°	无	无	无	0.00
柳条塌红 胶泥塌地	1.84	硬埂	4.75	61.19°	10	558.11	558.11	3659.72
枇杷山黄 绵土梁地	2.15	硬埂	4.2	59.74°	12	1178.33	1178.33	7589.28
狮子塌黄 绵土塌地	0.60	软埂	5.3	43.94°	无	无	无	0.00
塘子梁红 胶泥塌地	0.53	软埂	5.2	40.04°	无	无	无	0.00
枇杷山黄 绵土梁地	1.77	软埂	4.6	34.88°	无	无	无	0.00

注: 重力侵蚀主要发生在 1997~1999 年 3 年间,其中 1997 年为 10 处,1998 年也为 10 处,1999 年为两处,2000 年没有发生。

重力侵蚀的另一危害就是地埂自然沉降导致梯田外缘下降并进一步引发水蚀危害。研究结果表明,无论硬埂还是软埂,地埂自然下沉都比较显著,5 年平均下降了 0.23 m,其中软埂下降更快为 0.27 m,是硬埂的 1.29 倍。红胶泥土壤下沉速度较缓,软埂为黄绵土的 66.7%~80.0%,硬埂为黄绵土的 83.3%~100%。由于黄绵土梯田地埂下沉相对较多,因此其维护所需土方量相对也多,费用也较大。黄绵土软埂梯田单位面积 5 年田坎维护土方量为 202.8~241.5 m³/hm²,是红胶泥地的 1.38~1.65 倍,费用为 2 030.7~2 415.6 元/hm² 是红胶泥地的 1.32~1.57 倍;硬埂梯田 5 年内单位面积田坎维护土方量黄绵土为 150.9~175.5 m³/hm²,是红胶泥地的 1.02~1.19 倍,维护费用为 1 509~1 754.85 元/hm²,是红胶泥地的 97% 至 113%,相互差异不明显;从总体

上来看,软硬梯田由于地埂修筑时没有人为夯实,因此下沉速度较快,维护用土和费用也高,据测定,软硬梯田地埂 5 年内下沉土方量为 216.15 m³/hm²,是硬埂的 1.40 倍,维护费用为 2 175.8 元/hm²,是硬埂的 1.39 倍(详见表 3)。

表 3 软硬梯田埂坎沉陷及维护费用表

筑埂方法	软 埂		硬 埂			
	黄绵土 塌地	红胶泥 塌地	黄绵土 梁地	红胶泥 塌地	黄绵土 塌地	黄绵土 梁地
相对沉降高度/m	0.25	0.20	0.30	0.20	0.24	0.20
埂坎宽/m	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
埂坎长/m	640.00	501.08	1847.48	1769.24	753.34	2103.41
平均每/hm ² 埂坎 长/m	1054.95	952.05	1034.1	961.5	949.65	979.8
埂坎沉陷土方 量 m ³ /hm ²	202.8	146.55	241.5	148.05	175.5	150.9
埂坎维护费 用元/hm ²	2030.7	1538.55	2415.6	1554.75	1754.85	1509

注: 1、埂坎宽为平均宽度,埂坎坡度按 75°设计计算。

从以上研究结果来看,无论是软埂还是硬埂,地埂的维护都很重要,综合地埂沉陷与崩塌两方面因素,软硬梯田维护参考文献:

[1] 余汉章.水土保持工程[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988.

[2] 中科院武汉岩土力学所. 岩质边坡稳定性的试验研究[M]. 北京: 科学出版社, 1985.

[3] 曹世雄. 山地农业[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002.

[4] 陈莉. 试论水土资源整治技术[J]. 人民黄河, 2002, 24(3): 18– 20.

[5] 李宏平. 陕北水平梯田埂坎经济安全侧坡分析[J]. 中国水土保持, 1993, (4): 22– 24.

[6] 杨开宝, 郭培才. 梯田田坎水分耗散及其对作物产量的影响初探[J]. 水土保持通报, 1994, 14(4): 43– 47 .

[7] 张廊玉, 周晓林. 怎样营造梯田地埂防护林[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 31– 32.

[8] 王喜龙, 王忠科. 不同生物埂生态效益的模糊对比分析与评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3): 27– 32.

[9] 代全厚, 孙传生. 紫花苜蓿护埂功能研究[J]. 水土保持科技情报, 1998, (3): 38– 41.

[10] 石观海, 孙浩峰. 马莲河流域闲散地与梯田埂坎利用两头调查[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, 32(4): 357– 360.

[11] 孙浩峰, 石观海. 马莲河流域梯田埂坎立地分类与经济植物带建设[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, 32(4): 361– 364.

[12] 李会科, 王忠林. 地埂花椒林根系分布及力学强度测定[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 38– 41.

[13] 王忠林, 李会科. 渭北旱塬花椒地埂土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 33– 37.

[14] 王忠林, 李会科. 花椒地埂林土壤抗蚀性研究[J]. 西北林学院学报, 1998, 13(2): 30– 33.

[15] 赵芹珍. 梯田地埂黄花菜生物量测定与分析[J]. 山西水土保持科技, 1998, (1): 13– 15.

[16] 郭志乾, 刘东海. 黄土丘陵区水平梯田地埂林植物种选择[J]. 宁夏农林科技, 1998, (1): 42– 43.

[17] 周兴魁, 蔡强国. 黄土丘陵区地埂植物篱—紫穗槐[J]. 山西水土保持科技, 1997, (2): 32– 34.

[18] 杨才敏, 高文敏. 开发利用地埂资源大力发展载桑养蚕: 阳城和沁水两县地埂桑效益调查[J]. 山西水土保持科技, 1997, (2): 1– 4.

[19] 张进善, 武满山. 地更紫穗槐栽培管理及效益[J]. 林业科技开发, 1997, (5): 54– 55.

[20] 曾明德. 谈地埂营造防护林的研究[J]. 农村经济与科技, 1997, (4): 10– 11.

[21] 张玉英. 梯田田埂建设试验研究与效益分析[J]. 水利水电科技进展, 1995, 15(2): 44– 46.

[22] 曹世雄. 论山区持续发展的农业技术——山地农业复式生态技术[J]. 生态经济, 1995, 59(4): 39– 42.

[23] 张硕新, 雷瑞德, 陈存根, 等. “近自然林 ”——一种有发展前景的 “人工天然林 ”[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(增刊): 157– 162.

[24] 林天喜, 徐炳芳, 戚继忠, 等. 欧洲近自然森林经营理论与模式[J]. 吉林林业科技, 2003, 32(1): 76– 78.

护费用 5 年累计为 2 175.9 元/hm², 仅为硬硬梯田 3 920.85 元/hm² 的 55.5%。从地埂维护角度来看, 软硬梯田建设是比较经济的选择。

3 结论与建议

试验研究表明, 埂坡设计为 40~45°坡度软硬梯田, 修筑时因地形地貌及推土机自身特点, 实际修筑埂坡坡度为 35~45°, 其中圆形和半圆形梁茆地坡度最小。软硬梯田梁地埂坡占地为 41%, 塌地埂坡占地为 37%, 高出硬硬梯田 95% 至 116%。软硬梯田可以完全消除重力侵蚀引起的田崩塌危害, 但由于其筑埂时没有进行夯实处理, 地埂以每年 5.4 cm 速度下沉, 下沉速度是硬埂的 1.29 倍, 综合考虑软硬梯田每年的维护费用为 435 元/hm², 是硬硬梯田维护费用的 55.5%; 软硬修筑方法简单, 仅在地边筑起 50 cm×50 cm 挡水边坎, 其修筑费用为 592.5 元/hm², 是硬埂的 24.9%。从此项技术推广的效果可以进一步表明, 软硬梯田具有造价低、易维护、修筑和管护简便等特点, 是水平梯田建设的重要发展方向。建议今后进一步开展这一领域的研究与推广工作和地埂坡面开发利用技术的研究工作。