

# 西南丘陵山区坡耕地水平梯田工程设计分析

范玉芳, 罗友进, 魏朝富\*

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

**摘要:** 坡耕地改梯田是坡耕地治理的一项重要工程措施, 也是建设生态农业和实现农业机械化的重要内容之一。以重庆市三峡库区土地开发整理移土培肥工程万州区龙都街道等 13 个街道(镇、乡)土地整理项目的坡改梯工程为例, 分析了岩层倾角、厚度和岩性与坡耕地形成和利用的关系, 探讨了基于岩层分析的坡改梯设计方案。同时, 为了避免实践中典型田块选取的主观性, 采用数字高程模型(DEM)的坡度分析作为研究区坡度分析方法。结果表明: 在  $5^\circ$  以下的缓坡地、 $5^\circ \sim 15^\circ$  的中坡地、 $15^\circ \sim 25^\circ$  的陡坡地, 设计田面宽度分别在 19~30 m、8~20 m、7~10 m 范围内, 从而既能适应机耕和灌溉, 又能最大限度地节省土石方量。由于石坎与田面的非整体性, 在满足抗滑移稳定和地基承载力的要求下, 1.8 m 高石坎需砌筑一轮 30 cm×30 cm×100 cm 的丁字石, 同时通过占地分析发现, 条石坎占地损失远远少于块石坎。

**关键词:** 岩层; DEM; 水平梯田

**中图分类号:** S284 S29

**文献标识码:** A

坡耕地改梯田是我国开发利用坡地, 发展农业生产的一种传统方式, 也是我国坡耕地治理的一项重要工程措施, 对指导坡耕地的治理开发、建设生态农业、实现农业生产小型农机应用具有重要的意义。通过坡改梯, 减缓田面坡度, 增厚有效土层厚度, 改良土壤质地, 提高土壤宜种性水平等方面, 改善田块小环境, 使土壤发育朝向有利于作物的方向发展<sup>[1]</sup>。水平梯田对一般降雨可以就地拦蓄, 对暴雨可拦蓄径流 92.4% 以上, 控制泥沙 87.6%~95%。不同类型梯田水土保持效应也有相关比较分析。前埂后沟式水平梯田蓄水保土效益最好, 而标准水平梯田和内斜式梯田蓄水保土的效果差异不明显<sup>[2]</sup>。水平梯田基于配套培肥措施, 作物产量同未治理的坡地相比可增产 1~3 倍<sup>[3]</sup>。同时为减少投资、降低施工难度, 有学者进行了植物梯坎代替石质梯坎的初步设想, 其生态效果比较好<sup>[4]</sup>。

水平梯田工程研究集中在坡改梯后生态、经济

和社会效益的分析评价上。然而, 基于梯田断面的工程设计研究较少<sup>[5]</sup>, 迫切需要进行这方面的研究, 来适合西南丘陵山区坡改梯实践工作的开展。水平梯田工程设计抓住了水土流失这个矛盾, 运用反侵蚀战略, 改造中低产田, 培肥土壤, 提高土地生产力, 确保人类对耕地资源的永续利用。

本文以重庆市三峡库区土地开发整理移土培肥工程万州区龙都街道等 13 个街道(镇、乡)土地整理项目为例, 对岩层、坡度和土层厚度三因素进行分析, 提出了坡耕地水平梯田工程的设计方案, 以期对西南丘陵山区坡耕地治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 区域概况

重庆市三峡库区土地开发整理移土培肥工程万州区龙都街道等 13 个街道(镇、乡)土地整理项目

收稿日期(Received date): 2009-09-27; 改回日期(Accepted): 2010-01-19.

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题(2006BAD05801)。[Research subject of state science and technology support program (2006BAD05801).]

作者简介(Biography): 范玉芳(1984-)女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事土壤工程技术方面的研究。[Fan Yufang(1984-), female was born in Nanyang, Henan, postgraduate, be engaged in mostly the research about soil engineering and technology.] E-mail: fanyufang3434@sina.com Tel: 13996253439

\*通讯作者(Corresponding author): 魏朝富, 男, 研究员。[Wei Chaofu, male professor.] E-mail: weicf@swu.edu.cn

区位于万州区长江沿岸, 包括 57 个片区, 涉及 13 个乡镇、36 个村、87 个社。项目区总面积  $828.66 \text{ hm}^2$ , 建设规模  $795.97 \text{ hm}^2$ , 地处暖湿中亚热带东南季风区, 温热寒凉, 地质构造为川东弧群褶皱带方斗山背斜和精华山背斜之间, 主要出露岩层为侏罗系沙溪庙组 and 自流井组岩层。沙溪庙组岩层形成的方山丘陵, 分布于向斜, 以紫红、棕红色泥岩与青灰、黄灰色长石砂岩不等厚互层, 岩层倾角相对较小, 砂岩多呈桌状方山或坪台状。自流井组岩层形成的单斜丘陵, 分布于方斗山背斜两翼, 以灰黄、紫红色泥岩、砂质泥岩为主, 夹灰色石英砂岩、粉砂岩, 灰岩, 农耕地主要分布在顺倾坡。土壤类型为侏罗系沙溪庙组和自流井组岩层坡、残积物上发育形成的紫色土和紫色水稻土。

## 1.2 研究思路

研究所用数据包括研究区 1:2 000 土地利用现状图, 项目区地形图, 土壤剖面及土地利用调查资料等。本文在对岩层和土层厚度综合分析研究的基础上, 以研究区 1:2 000 土地利用现状图为基础, 建立数字高程模型 (DEM), 通过 ArcGIS 软件的 Spatial Analyst 工具进行坡度分析, 为坡改梯工程设计提供切实的依据。参照实地地形、地类特征, 以及相关技术标准, 采用断面法进行旱坡地水平梯田工程设计。

# 2 结果与分析

## 2.1 坡耕地水平梯田工程设计理论分析

### 2.1.1 岩层

岩层是自然梯地形成的物质基础。不同地层其岩层组合与风化成土能力不同, 导致自然梯地的形态发育及空间分布各异<sup>[6]</sup>。

现以项目区主要出露的侏罗系沙溪庙组和自流井组岩层为例, 进行坡耕地梯田工程设计分析。沙溪庙组岩层以紫红、棕红色泥岩与青灰、黄灰色长石砂岩不等厚互层, 岩层厚度为  $51.4 \text{ m}$ , 倾角  $23^\circ$  左右, 厚层砂岩发育较好, 多呈桌状方山或坪台状。由于出露岩层的水平宽度取决于岩层的厚度和地面坡度的变化, 该研究区岩层出露宽度相对较大, 在此基础上发育的坡耕地田块宽度较大, 因此, 梯田设计宽度可以考虑适当增大, 修筑成水平梯田, 满足机械化耕作的要求。另外, 厚层砂岩区, 低洼地区土层深厚, 易达到高标准梯田土层厚度的要求。坡顶多为直立的砂岩层露头, 仅有薄层土壤覆盖, 理化性状

差, 呈酸性或微酸性反应。因此, 在对此部分瘠薄坡耕地改造时, 应利用紫色母岩容易风化的特点<sup>[7]</sup>, 就地取风化岩石碎屑或深撬母岩母质促进其风化, 不断增厚土层。而在地形起伏较大、土层薄、不适宜爆破改土的坡地可采用客土法。同时, 由于项目区沙溪庙组厚层砂岩发育较好, 裂隙孔隙率较高, 热容量中等, 吸湿力强, 抗侵蚀度好, 容易开采规则的条石, 所以, 田坎设计采用条石干砌的形式。不仅石坎修筑稳定性好, 且没有边坡设计, 占地面积小, 能增加更多的耕地面积。

自流井组岩层上部为灰绿色泥质粉砂岩、砂质泥岩, 下部为紫红、灰绿色泥岩, 岩层厚度为  $30.8 \text{ m}$  倾角  $35^\circ$  左右, 地形起伏较大, 因此, 岩层出露宽度较小, 发育形成的坡耕地宽度较小, 适宜进行坡式梯田的建设, 作为水平梯田的过渡。否则, 土方平整工程量和用工量很大。厚层泥岩夹薄层粉砂岩物理风化崩解强烈, 坡腰、坡脚土层深厚, 利用率高。但是, 泥岩的孔隙度和吸水率都较小, 渗透力较弱, 储水量低, 这就导致了泥质岩区常常缺水干旱。因此, 该区域在进行坡面平整的同时, 还要进行蓄水、灌溉的配套设计。土层厚度随地面坡度不断增大而逐渐变薄, 土壤粗骨含量逐渐增加, 水土流失愈加严重。因此, 除了要进行蓄水、灌溉外, 还需要进行降坡处理, 减缓坡度, 切断坡面径流, 避免坡面径流的迭加和汇集, 控制水土流失。

### 2.1.2 坡度

对地面坡度及其组合规律的研究, 是区域自然地理特征及生产力布局的重要基础数据。科学准确的坡度分析是丘陵山区坡耕地工程设计的前提和保障。坡度图制作是对地面坡度研究的必要条件。但是, 由于坡度自身特征的复杂性以及应用目的的多样性, 地面坡度的分级方法上还存在着诸多混淆, 在一定程度上影响了对地面坡度研究与应用的准确性与有效性<sup>[8]</sup>。

研究区坡度分级标准采用临界坡度相关法。根据土壤侵蚀强度面蚀分级指标,  $< 5^\circ$  的地势平坦区域基本上无侵蚀;  $5^\circ \sim 8^\circ$  侵蚀相对较弱, 属于轻度侵蚀;  $8^\circ \sim 15^\circ$  属于中度侵蚀; 当坡度超过  $15^\circ$  时, 侵蚀渐趋加剧, 属于强度侵蚀<sup>[9]</sup>。 $25^\circ$  是土壤侵蚀方式的一个转折点, 也是国家退耕还林的临界点。因此, 本文梯田设计将不考虑  $25^\circ$  以上的坡耕地, 最终确定的坡度分级为:  $0^\circ \sim 5^\circ$ ,  $5^\circ \sim 8^\circ$ ,  $8^\circ \sim 15^\circ$ ,  $15^\circ \sim 25^\circ$  四级分级体系。

研究所采用的数字高程模型 (DEM) 成于 1:2 000 地形图, 数据的水平栅格分辨率为 5 m × 5 m。坡度分区图的建立是通过 Arc GIS 软件 Spatial Analyst 工具的 Surface Analysis 命令实现的。在 Arc GIS 中将坡度分区栅格图转换为矢量图, 统计出不同坡度级对应的分布面积。同时, 将坡度分区图与土地利用图进行叠加分析, 可知不同地类四个坡度分级范围内对应的面积, 见表 1。

表 1 坡度及地类面积统计

Table 1 Statistic of slope and land-use types area				
坡度分级	<5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°
旱地 (hm <sup>2</sup> )	35.48	77.49	129.12	279.01
水田 (hm <sup>2</sup> )	28.66	25.45	26.94	17.79
果园 (hm <sup>2</sup> )	5.89	14.75	43.13	97.64
合计 (hm <sup>2</sup> )	70.03	117.69	199.19	394.44

对应坡度分级面积估算的准确程度直接影响到梯田田面宽度的科学性和合理性。所以, 各个坡度的准确分级及其对应地类的面积为梯田断面的准确设计和工程量的准确计算提供了保障, 进而可做好挖填土方平衡, 控制水土流失, 提高土壤质量。一般来说, 缓丘平坝和河谷平坝工程类型区旱地田面坡

度降至 5° 以下; 中低山坡地、喀斯特坡地工程类型、低山喀斯特槽谷工程类型、丘陵工程类型旱地田面坡度降至 10° 以下。通过改变田面坡度, 能增加土壤入渗时间, 减缓地表径流流速, 其流速减小为整理前后坡度比的 3/10 次方<sup>[1]</sup>。

2.1.3 土层厚度

土层厚度能直接反映土壤的发育程度, 与土壤肥力密切相关, 是野外土壤肥力鉴别的重要指标。它既是土壤养分的补源, 又是土壤矿质元素的储存库<sup>[10]</sup>, 而且还是判定土壤侵蚀程度的主要指标<sup>[11]</sup>, 对土壤的营养状况影响很大。

本文综合分析了土壤类型、地形地貌和土地类型 3 个地理因子, 对研究区紫色土和紫色水稻土的 43 个土壤剖面进行土层厚度分析, 详见表 2。

由表 2 可以看出: 0°~8° 坡耕地土层厚度为 50 cm, 8°~15° 坡耕地土层厚度为 35 cm, 15°~25° 土层厚度为 25 cm。母质层厚度取 30 cm (紫色土区域, 坡耕地表土层 A 下面为母质层 AC 或 C, 母质层厚度在 10~50 cm, 取其平均值 30 cm)。

经过一系列作物的试验, 作物产量深层土壤下在 2.1~3.1 t/hm<sup>2</sup> 之间变化, 浅层土壤在 1.3~2.6 t/hm<sup>2</sup> 之间浮动<sup>[12]</sup>。不同坡度级土层厚度各异, 挖方区挖土层厚度、挖母质层厚度也有很大的差距。

表 2 各坡度级土层厚度统计

0°~8°				8°~15°				15°~25°			
地形	土壤类型	土层厚度 (cm)	种植方式	地形	土壤类型	土层厚度 (cm)	种植方式	地形	土壤类型	土层厚度 (cm)	种植方式
中丘谷坡	中性紫色土	45	麦—玉—薯	丘陵顶部	石灰性紫色土	40	麦—玉—薯	丘陵顶部	中性紫色土	20	麦—玉—薯
背斜翼部	中性紫色土	45	麦—玉—薯	丘陵腰部	潜育型水稻土	40	水旱轮作	丘陵顶部	中性紫色土	25	麦—玉—薯
冲沟台地	中性紫色土	40	麦—玉—薯	冲沟台地	中性紫色土	25	菜地	丘陵中上部	中性紫色土	30	蔬菜
丘陵顶部	石灰性紫色土	50	麦—玉—薯	丘陵腰部	潜育型水稻土	45	麦—玉—薯	丘陵顶部	石灰性紫色土	20	麦—玉—薯
丘陵腰部	淹育型水稻土	60	稻—菜	丘陵中部	中性紫色土	30	玉米—薯—蔬菜	中山山腰	中性紫色土	20	果树
丘陵腰部	淹育型水稻土	60	稻—菜	丘陵中部	中性紫色土	40	桃树	浅丘坡顶	中性紫色土	20	麦—玉—薯
浅丘坡脚	中性紫色土	40	麦—玉—薯	低山背斜	中性紫色土	30	莉树	冲沟台地	潜育型水稻土	25	水旱轮作
冲沟台地	中性紫色土	40	麦—玉—薯	低山背斜	潜育性水稻土	30	稻—菜轮作	丘陵底部	石灰性紫色土	30	抛荒地
浅丘坡脚	中性紫色土	55	麦—玉—薯	丘陵中下部	中性紫色土	40	梨树	丘陵顶部	石灰性紫色土	30	抛荒地
平坝	酸性紫色土	65	麦—玉—薯—油菜	缓丘宽谷	石灰性紫色土	25	麦—玉—薯	丘陵顶部	中性紫色土	20	麦—玉—薯
中丘坡上部	石灰性紫色土	35	玉—薯	缓丘宽谷	石灰性紫色土	40	麦—玉—薯	浅丘	酸性紫色土	18	麦—玉—薯
中丘坡脚	中性紫色土	50	柚园	丘陵中部	中性紫色土	35	麦—玉—薯	浅丘丘顶	中性紫色土	15	豆—薯—玉—菜
浅丘	酸性紫色土	60	麦—玉—薯	平坝	酸性紫色土	40	玉—薯—菜	中丘坡中上部	中性紫色土	30	果树
浅丘坡谷	中性紫色土	60	麦—玉—薯	大坝	潜育性水稻土	40	水稻—油	低山丘陵中上部	中性紫色土	34	麦—玉—薯
								丘陵顶部	潜育型水稻土	35	麦—玉—薯

因此, 基于坡耕地地力提升要求, 土层设计厚度要依据不同工程类型区的现状土层厚度, 寻求最佳的工程综合效益, 确定合适的土层厚度, 最终确定的土层厚度为 50 cm

2.2 坡耕地水平梯田断面设计

水平梯田建设作为改造坡地、控制水土流失、建设基本农田的措施, 是可以通过改变局部地形实现的。梯田断面设计主要考虑两个方面: 选择合适的田面, 适应机耕和灌溉的需要; 选择合适的田坎断面, 不仅保证田坎的坚固、稳定, 还有尽量减少田坎占地。

2.2.1 田面

合适的田面要适应机耕和灌溉的需要。田面净宽偏窄, 将不适于大机械操作, 仅能满足小机械和耕畜操作; 田面净宽过宽, 将增大土方量和用工量, 增加了项目区的建设成本。

本文根据坡度级的划分标准采用断面法进行田面的设计: 人为设定 0°~5°田面坡度为 3°、5°~8°田面坡度为 7°、8°~15°田面坡度为 12°、15°~25°田面坡度为 20°, 以实地地形特征为参照, 进行四个坡度级水平梯田断面的设计, 以改变局部地形, 尽可能地减少水土流失, 提高土壤质量。田面宽度 Bm 主要考虑上下田面高差 H 以及原有田面坡度 α:  $Bm = H / \tan\alpha$ 。四川盆地紫色丘陵区, H 一般取值为 1~2.5 m 因此, 可认为 Bm 与 α 成简单的反比关系, 不同坡度级和田面高差下, 田面要素表如表 3。

表 3 田面要素特性					
Table 3 Factor character of field surface					
原坡度 (°)	采用坡度 (°)	平整后坡度 (°)	田面毛宽 (m)		
			H=1	H=2	H=2.5
0~5	3	0	19	38	48
5~8	7	0	8	16	20
8~15	12	0	5	9	12
15~25	20	0	3	5	7

5°以下的缓坡地一般是当地的主要农业生产基地, 目前已不同程度地实现机耕, 水利设施也发展较快。机耕时, 一般视 20~30m 宽度作为一个耕作小区, 因此, 参照表 3 田面宽度一般为 19~30m 而且坡度越小, 田面越宽; 坡度越大, 田面越窄。这样, 在西南丘陵山区, 既能适应机耕和灌溉, 又能最大限度地节省土方量和需功量。丘陵陡坡地区, 一般坡度为 15°~25°, 目前很少实现机耕。现为建设旱涝保收、高产稳产的基本农田, 必须适当地考虑机耕和灌

溉。根据现有经验, 该区域一般采用小型农机进行耕作, 这种农具在 8~10 m 宽的田面上就能自由地掉头转弯。因此, 田面宽度不宜过窄, 最好在 10 m 左右, 或者先修筑成 5~7 m 小块地, 作为过渡。介于 5°~15°之间的中坡地, 在修梯田时和一般耕作中, 也常与山、丘陡坡地统一安排, 梯田田面一般采取 8~20m 的宽度。

另外, 坡改梯工程的实施大大降低了耕层土壤养分, 要自然恢复到平整前的养分环境, 大约需要 5~8 a 的时间<sup>[13-14]</sup>。为减少平整后表土养分过于贫瘠和物理环境恶化, 需要引入表土处理技术<sup>[15]</sup>。本文设计表土剥离 20 cm 厚, 堆积在附近, 待平整后回填作梯田表土。土层厚度的设计标准需要依据现状土层厚度, 寻求最佳的工程综合效益, 最终确定坡改梯后土层厚度达到 50 cm。对比而言, 填方区土层厚度很容易达到 50 cm 厚的高产田要求, 土壤理化性质较好, 而挖方区土层厚度基于 20 cm 厚的表土回填, 还需要下方 30 cm 厚的母质层松翻和石方爆破, 加速岩石的崩解和碎屑粒化阶段的进行。

2.2.2 田坎

合适的田坎断面设计要保证田坎坚固、稳定, 并尽量减少田坎占地。田坎保持稳定, 是梯田设计中最基本的要求。影响田坎稳定性的主要因素有田坎高度、内外坡坡度角、土壤密实程度、土壤内摩擦角、以及修筑方法等。

研究区田坎设计采用规格为 30 cm×30 cm×100 cm 的条石干砌。为了满足其挡土要求, 石坎高出平整后地面线 20 cm。同时, 为了更好地保证石坎稳定, 条石坎基础置于坚硬的母质上, 因此, 初步设计高度均为 1.8m 宽度为 0.3 m。

干砌石坎的稳定是靠它的自身重量来维持的, 其破坏形式有滑动和地基承受过大压力而引起地基破坏等。根据《建筑地基基础设计规范》<sup>[16]</sup>, 可进行石坎抗滑移稳定和地基承载力稳定验算。土壤容重为 1.26 t/m<sup>3</sup>, 内摩擦角为 30°, 土壤与石坎的夹角为 10°, 承载力基本值为 200 kPa 主动土压力系数为 0.309<sup>[17]</sup>, 验算可知, 石坎基底总摩擦力与滑动力之比 1.77 其值大于 1.3 石坎不会发生滑移失稳现象。同时, 石坎在设计丁字石一轮 (30×30×100 (cm)) 时, 偏心距为 0.02 其值在 ≤ b/6 (0.05) 的范围内, 地基承载力

$$P_{kmax} = \frac{G_k}{b} (1 + 6e/b) = 100.6 \leq 1.2f = 240$$
$$P_{kmin} = \frac{G_k}{b} (1 - 6e/b) = 46.45 \geq 0$$

$$P=\frac{P_{kmax}+P_{kmin}}{2}=\frac{G_k}{b}=73.52\leq f_0=200$$

各个地基承载力小于相应的承载力基本值的要求,满足其稳定性的要求,丁字石砌筑比例为11.8%。

在梯田建设中,田坎设计还要考虑田坎占地损失问题。田坎占地宽度可用公式表示:  $Bn=H_1\times\text{ctg}\theta_2+d_1$ ,  $H_1$  表示田坎高度;  $d_1$  为田坎上顶宽,  $\theta_2$  表示田坎的外坡坡度角。因此,在  $H_1$  一定时,  $Bn$  与  $\theta_2$  成简单的反比关系;若在  $\theta_2$  一定时,  $Bn$  与  $H_1$  成正相关。不同坡度田坎占地损失  $Z$  可以用公式  $Z=Bn/Bm\times100\%$  计算。

现设计另外一套方案,即选用浆砌块石修建田坎,与研究区条石干砌的方案对比,进行占地损失的变化规律的研究。浆砌块石石坎分别采用内、外坡坡度角  $\theta_1$ 、 $\theta_2$   $90^\circ$ 、 $65^\circ$  和  $90^\circ$ 、 $73^\circ$ ,坎顶宽均为 30 cm,高度为 1.8 m。两种方案田坎占地统计如表 4。

表 4 不同田坎类型占地损失率  
Table 4 Land occupation ratio of different field dikes

田坎类型	占地损失率(%)			
	0°~5° (3°)	5°~8° (7°)	8°~15° (12°)	15°~25° (20°)
块石坎(65°)	3.00	7.12	12.65	22.78
块石坎(73°)	2.24	5.31	9.44	17.00
条石坎(90°)	0.79	1.88	3.33	6.00

说明:田面高差 H 为 2 m

从表 4 可以看出,无论何种田坎,坡度和田坎占地均成正相关,坡面越陡,田坎占地率越大。地面坡度一定时,块石坎由于存在外坡边坡率,占地比例明显大于条石。不同外坡坡度角块石坎占地损失对比分析可知,田坎外坡越缓,安全稳定性越好,但占地增大速率也越快,反之,田坎外坡较陡,占地和用工量越少。因此,不同区域应选取其合适的临界值,比如,在采用 2 m 田面高差的情况下,研究区 1.8 m 高块石坎的临界坡度为  $73^\circ$ ,这样可以在保证田坎稳定性的同时,尽量减少田坎占地。

3 结语

坡耕地水平梯田工程覆盖到西南丘陵山区的瘠薄坡耕地,结合田间道路、排灌设施综合整治,从而达到增加耕地数量,提升耕地质量的目的。本文以

三峡库区土地开发整理移土培肥工程万州区龙都街道等 13 个街道(镇、乡)土地整理项目的坡改梯工程为例,分析了该研究区中岩层倾角、厚度和岩性与坡耕地形成和利用的关系,探讨了基于岩层分析的坡改梯设计方案。同时,为了避免实践中典型田块选取的主观性,采用数字高程模型(DEM)的坡度分析作为研究区坡度分析方法。结果表明:  $5^\circ$  以下的缓坡地,田面宽度一般为 19~30 m,既能适应机耕和灌溉,又能最大限度地节省土方量和需功量。  $15^\circ\sim25^\circ$  的丘陵陡坡地区,田面宽度最好在 10 m 左右,或者先修筑成 5~7 m 小块地,作为过渡。介于  $5^\circ\sim15^\circ$  之间的中坡地,田面一般采取 8~20 m 的宽度。由于石坎与田面的非整体性,在满足抗滑移稳定和地基承载力的要求下,1.8 m 高石坎需砌筑一轮  $30\times30\times100$ (cm)的丁字石,同时通过占地分析发现,条石坎占地损失远远少于块石坎。本文以期西南丘陵山区坡耕地治理提供理论依据。但是南方复杂的区域条件决定了坡耕地梯田优化设计参数确定地难度,还需依据实践情况开展大量的坡耕地整治工程设计研究工作。

参考文献(References)

[1] Wang Lixian Engineering of Soil and Water Conservation [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1991[王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991]

[2] Hu Jiamin, Hu Xia, Zuo Changqing Analysis on soil and water conservation benefit of terracing on red-soil slope land [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12: 271~273[胡建民, 胡欣, 左长清. 红壤坡地坡改梯水土保持效应分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12: 271~273]

[3] Liu Donghai, Ding Jianyi, Zhao Guojie The Yield-Increasing Technical Packages for Newly-Built Level Terraces in the Loessal Hilly Regions [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1995, 13 (2): 26~29[刘东海, 丁健懿, 赵国杰. 黄土丘陵区新修水平梯田综合增产技术体系[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13 (2): 26~29]

[4] Zhong Houbin Initial ideas of plants stone dike replacing stone dike in the transformation of sloppy cultivated land into terraced field [J]. Soil and Water Conservation in China, 2008, (7): 56~57[钟厚彬. 坡改梯中植物梯坎代替石质梯坎的初步设想[J]. 中国水土保持, 2008, (7): 56~57]

[5] Lin Aiven, Hu Yanrong, Hu Lifeng Study on design of soil transfer and muck increase project in Three Gorges Reservoir—a case in xiaokou town of xingshan county [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(4): 126~129[林爱文, 胡艳荣, 胡立峰. 三峡库区土地整理“移土培肥工程”设计研究——以兴山县峡口镇为例[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 126~129]

[6] He Yurong Purple Soils in China [M]. Beijing: Science Press, 2003[何毓蓉. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 2003]

- [ 7 ] Tang Shijia Luo Youfang Soil formation process and evolutionary characteristics of purple sedimentary rocks in the subtropics[ J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition) 1994 16(6): 550~555[ 唐时嘉, 罗有芳. 亚热带紫色沉积岩的成土过程及特点[ J]. 西南农业大学学报, 1994 16(6): 550~555]
- [ 8 ] Tang Guoan Song Jia Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEMs[ J]. Journal of Soil and Water Conservation 2006 20(2): 158~160[ 汤国安, 宋佳. 基于 DEM 坡度制图图中坡度分级方法的比较研究[ J]. 水土保持学报, 2006 20(2): 158~160]
- [ 9 ] Ministry of Water Resources of the People's Republic of China GB50007—2002 occupation standard of Water Resources of the People's Republic of China Standards for classification and gradation of soil erosion[ S]. Beijing: China Waterpower Press 2008[ 中华人民共和国水利部. SL 190—2007 中华人民共和国水利行业标准—土壤侵蚀分类分级标准[ S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008]
- [ 10 ] Liu Changmin Li Changzhe Shi Minhua et al. Multivariate statistical analysis techniques applied in differentiation of soil fertility[ J]. Acta Ecologica Sinica 1996 16(4): 444~447[ 刘创民, 李昌哲, 史敏华, 等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用[ J]. 生态学报, 1996 16(4): 444~447]
- [ 11 ] Zhang Benjia Gao Lan Thickness of soil layer and its year limitation for resistant erosion in Liaoning province[ J]. Research of Soil and Water Conservation 1997 4(4): 57~59[ 张本家, 高岚. 辽宁土壤之土层厚度与抗蚀年限[ J]. 水土保持研究, 1997 4(4): 57~59]
- [ 12 ] P. A. Calvinao V. O. Sadrasb Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil depth and crop management[ J]. Field Crops Research 1999 (63): 237~246
- [ 13 ] Li Fuxiang Xu Di Li Yining et al. Effectiveness evaluation and combined application of land leveling technologies[ J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering 2000 16(2): 50~53[ 李福祥, 许迪, 李益农, 等. 农田土地平整方法的组合应用及效果[ J]. 农业工程学报, 2000 16(2): 50~53]
- [ 14 ] Ai Tiancheng Li Fangmin Influence of land leveling on the quality of soil environment[ J]. Hubei Agricultural Sciences 2007 46(4): 550~551[ 艾天成, 李方敏. 土地平整对土壤环境质量的影响[ J]. 湖北农业科学, 2007 46(4): 550~551]
- [ 15 ] Zheng Caigui Zhu Yubi Research on surface soil of land leveling questions and countermeasures in hilly regions of south China[ J]. Chinese Agricultural Science Bulletin 2006 22(7): 512~515[ 郑财贵, 朱玉碧. 浅析南方丘陵地区土地平整中的表土问题及对策[ J]. 中国农学通报, 2006 22(7): 512~515]
- [ 16 ] China Academy of Building Research GB50007—2002 Code for design of building foundation[ S]. Beijing: China Building Industry Press 2002[ 中国建筑科学研究院. GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[ S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002]
- [ 17 ] Chen Shushen Chen Xiaoping Soil Mechanics and Foundation[ M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press 1997[ 陈书申, 陈晓平. 土力学与地基基础[ M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 1997]

# On Level Terrace Engineering Design of Slope Land in the Hilly and Mountainous Southwestern China

FAN Yufang LUO Youjin WEI Chaofu

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The transformation of slope land into terrace is one of important engineering measures in slope land governance, and is one of important aspects of eco-agriculture building and achievement of agricultural mechanization. Taking engineering of the transformation of slope land into terrace of the land consolidation program of Longdu town et al., Wanzhou District, Chongqing Municipality of Transferring Topsoil and Cultivating Fertility Project in Three Gorges area as an example, the relationships between strata obliquity, bed thickness & lithological characters and the formation & utilization of slope land were analyzed in the study area, and the design of the transformation of slope land into terrace was further discussed based on the analysis of rock stratum. At the same time, digital elevation model (DEM) was used to study change of slope, so that the subjectivity of choosing representative farm lands could be avoided. The results showed that, with slope of  $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ,  $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ,  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ , field width was in range of 19~30 m, 8~20 m, 7~10 m, respectively, which could not only be to adapt to mechanical tillage and irrigation, but also to decrease the amount of earthworks farthest. What is more, due to non-entirety of field surface and stone dike, T-shaped stones of 30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  100 cm were of masonry for stone dikes of 1.8 m, in order to meet the need of the anti-sliding stability and bearing capacity of foundation soil. Meanwhile, land occupation ratio of boulder strip dikes is far less than that of dimension stone dikes by comparative analysis.

**Key words:** rock stratum; DEM; level terrace