

丘陵区梯田优化设计研究

王相国¹, 王洪刚², 王 伟²

(1 山东省平邑县资邱乡水利站, 山东平邑 273305; 2 山东省平邑县对外农业协作办公室, 山东平邑 273300)

摘 要: 对平邑县资邱乡时家村东岭修筑的石坎及土坎梯田的断面要素和稳定性分析。根据丘陵区实际情况对梯田修筑参数进行优化设计, 并建立了适用于丘陵区的梯田优化设计数学模型。通过实践应用, 优化参数在稳定性和费用计算方面具有一定优越性, 可供类似地区参考。

关键词: 丘陵; 梯田; 优化设计; 稳定分析

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001) 03-0125-03

Optimal Design for Terrace in Hilly Area

WANG Xiang-guo¹, WANG Hong-gang², WANG Wei²

(1 Station of Water Conservancy, Ziqiu Township, Pingyi County, 273305 Shandong Province, China)

2 Office of External Agricultural Collaboration, Pingyi County, 273300 Shandong Province, China)

Abstract: Through analyzing the transect factors and stability of stone bank and soil bank constructed in Shijia village, Pingyi county, and based on actual condition of the hilly area, optimal design was carried out to the parameters of terrace building, an optimal mathematical model was established. In practice, there are advantages for the optimal parameters to some extent, especially in stability and cost reckon, and they can provide references for other similar area.

Key words: hilly area; terrace; optimal design; stability analysis

梯田建设是水土保持有效的田间工程措施, 通过修筑梯田可改变局部坡面长度, 增加坡面糙率, 有利于拦蓄地表径流, 减少土壤及养分流失, 改善农业生产条件。结合平邑县资邱乡时家村东岭高效农业示范区梯田建设, 分析梯田断面要素及稳定性并进行了梯田参数优化设计, 编制了梯田设计参考表, 在实践中进行了应用, 指导了丘陵区梯田修筑工作。

1 基本情况

平邑县资邱乡时家村东岭, 地貌类型属丘陵, 呈浑圆状, 地形坡度一般在 10~20° 之间, 局部大于 25°; 土壤母质为下第三系泥质胶结的砾岩, 土壤质地为砂质壤土。气候属温带东南亚季风大陆性气候,

多年平均降水量 750 mm, 70% 集中于汛期(7~9 月份)。一般年份是春旱夏涝晚秋又旱。

2 梯田断面要素及工程量分析

梯田形式多种多样, 本文以最普遍应用的石坎梯田与土坎梯田作为研究对象。

2.1 田面要素设计

田面设计, 即梯田在坡面上的规划设计, 均概化为一些较规则的几何图形。根据几何图形分析断面要素的几何关系, 得:

梯田宽度: $B_m = h \cdot \text{ctg} \theta$

耕作宽度: $B = B_m - D = h \cdot \text{ctg} \theta - D$

田坎底宽: $D = d + m(h + h_1)$

* 收稿日期: 2001-06-06

山东省人民政府可持续发展科技示范工程“山区生态资源保护及综合开发利用技术的研究与示范”项目资助。

作者简介: 王相国, 男, 汉族, (1953-), 助理工程师, 从事农田水利工程规划设计与施工。

梯田斜坡长: $L= h/ \sin \theta$

式中: d ——田坎上宽, (m); D ——田坎底宽, (m); h ——田面高差, (m); m ——田坎侧坡率; B_m ——田面毛宽, (m); B ——田面净宽, (m); h_1 ——田埂高, (m); h_2 ——基础埋深, (m); t ——耕作要求最少土层厚度, (m); θ ——原地面坡度, (°); L ——梯田斜坡长, (m)。

2.2 技术经济指标计算

2.2.1 梯田工程量 梯田工程量由土方工程量和田坎工程量两部分组成, 由几何图形关系可以推算出每级梯田单位长度挖(填)土方量为:

$$V_{\alpha}= \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} h \times \frac{1}{2} B_m = \frac{1}{8} h^2 \operatorname{ctg} \theta$$

每公顷梯田长度为 10 000/ B , 则每公顷梯田土方量为:

$$V_{\alpha}= V_{\alpha} \times \frac{10\,000}{B} = \frac{1\,000}{8B} h^2 \operatorname{ctg} \theta$$

土坎梯田田坎单位长度夯实土方量为:

$$V_{\pm}= \frac{1}{2} d + \frac{1}{8} m h$$

每公顷梯田田坎夯实土方量为:

$$V_{\pm}= V_{\pm} \times \frac{10\,000}{B} = \frac{1\,000}{B} \left[\frac{1}{2} d + \frac{1}{8} m h \right]$$

石坎梯田石坎单位长度的砌石方量为:

$$V_{\text{石}}= \frac{1}{2} (D+ d) (h+ h_1) + h_2 D$$

每公顷梯田砌石工程量为:

$$V_{\text{石}}= V_{\text{石}} \cdot \frac{10\,000}{B} = \left[\frac{1}{2} (D+ d) (h+ h_1) + h_2 D \right] \cdot \frac{10\,000}{B}$$

2.2.2 田坎占地计算 田坎占地率随地面坡度的陡缓而增减, 计算公式为:

$$\rho= \frac{D}{B_m} = \frac{D}{h \operatorname{ctg} \theta}$$

3 梯田设计分析

3.1 土坎梯田土坎稳定性分析

在丘陵区修建土坎梯田, 土坎稳定是关键, 坎坡一般为均质黏性土, 土坡滑动时, 其滑动形状常为一曲面, 其截面近似圆弧。

土体在重力 G 作用下滑动, 同时阻止土体滑动的力 f 是滑弧上的抗滑力, 根据泰勒图表法, 土坡稳定性与土体抗剪强度指标 C 和 φ 土料容重 r 和土坎坡角 β 及坡高 h 有关, 其稳定数:

$$N_s= \frac{r h}{c}。$$

式中: N_s ——稳定数; r ——土容重(t/m^3); h ——坎

坡高(m); c ——土壤黏聚力(t/m^3)。

求出稳定数 N_s 后, 查泰勒图表, 即可得出坡角 β , 再根据相应安全系数 F_s (一般取为 1.5), 计算出相应极限稳定坡角。 $\beta_{\max}= \operatorname{tg}^{-1} \frac{\operatorname{tg} \beta}{F_s}$ 如果梯田土坎坡角大于极限坡角, 则土坎不稳定易滑落。

3.2 石坎梯田稳定性分析

以普遍应用于砌石坎分析其稳定情况。由于干砌石之间无粘结材料, 不是一个整体, 其稳定性较差, 完全是靠自身重量来维持稳定。其破坏形式有滑动和土基承受过大压力而引起地基破坏和沿坎体某一截面发生剪切破坏。针对干砌石结构松散特点, 在稳定性分析中, 需进行滑动稳定与基础应力计算。考虑到砌石剪切破坏实际上也是沿剪切面滑动, 所以不再分析计算。

3.2.1 作用在石坎上的力 石坎梯田的田坎透水性强, 无侧向水压力与基础扬压力, 所受的外力只有自重和坎前土压力、坎后土压力、人畜耕作时的活动荷载。

3.2.2 石坎自重(G) 计算断面以上干砌石体积与其容重(r) 的乘积 $G= V_{\text{石}} \cdot r_{\text{石}}$, 按要求干砌石孔隙率不超过 20% 时, $r_{\text{石}}= 2.2 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

3.2.3 土压力 坎前土压力计算时, 考虑到石坎的变形情况和坎基的变位不可能太大, 坎前土压力可按静止土压力计算:

$$P_0= \frac{1}{2} r h_j^2 k_0$$

式中: r ——土的湿容重, 一般取 $1.55 \text{ t}/\text{m}^3$; k_0 ——静止压力系数, $k_0= 1- \sin \varphi$; φ ——土体内摩擦角; h_j ——计算断面以上土层高度(m)。

坎后土压力按主动土压力计算, 采用朗肯公式

$$P_a= \frac{1}{2} r k_a h_j^2$$

式中: r ——土的湿容重, 一般取 $1.55 \text{ t}/\text{m}^3$; k_a ——主动土压力系数, 按 $k_a= \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{1}{2} \varphi)$; h_j ——计算断面以上土层高度(m)。

3.2.4 活荷压力 E_q 采用匀体荷载,

$$E_q= k_a \cdot q \cdot h_j$$

式中: q ——匀体荷载, 一般为 $1.5 \text{ t}/\text{m}^3$ 。

3.2.5 滑动稳定计算分析 要保证石坎不会发生滑动失稳, 石坎的抗滑安全系数必须大于设计要求的 最小抗滑安全系数 K , 即:

$$\frac{f}{E_q+ P_a- P_o} K$$

式中: f ——摩擦系数, 基岩取 0.7, 土基 0.4;

k ——设计要求最小抗滑稳定安全系数, 常取 1. 3;

$E_q+ P_a- P_o$ ——石坎总水平推动; G ——作用坎体竖向力和, $G= G_1+ G_2+ G_3$ 。

3. 2. 6 基础应力计算 石坎基底的最大压应力不允许超过地基允许承载力 $[\sigma]$, 地基允许承载力一般情况下, 按偏心受压公式计算:

$$\sigma_{\max} = \frac{G}{D}(1 \pm \frac{6e}{D}) \quad [\sigma]$$

式中: D ——坎底宽度(m); $[\sigma]$ ——地基允许承载力, 土基 $[\sigma] = 37 \text{ t/m}^3$, 石基 $[\sigma] = 60 \text{ t/m}^3$;

G ——作用坎体竖向力和; e ——偏心距(m)。

4 梯田优化设计

4. 1 梯田优化设计目标

田面宽度与梯田产出联系不大, 只要使梯田的造价最低, 经济效益也就最大, 因此以每公顷梯田造价作为目标函数, 求其最小值:

$$\min Z_{\text{石}} = k_1 w_a + k_2 V_{\text{石}}$$

$$\min Z_{\pm} = k_1 w_a + k_3 V_{\pm}$$

式中: $Z_{\text{石}}$ ——石坎梯田造价, 元; Z_{\pm} ——土坎梯田造价, 元; k_1 ——单位土方运移费, 元/ m^3 ; k_2 ——单价干砌石造价, 元/ m^3 ; k_3 ——筑坎夯实造价, 元/ m^3 ; w_a ——每公顷梯田土方需功量, $w_a = 2/3B_m V_a = 1/12h^2 B_m \text{ctg} \theta$

4. 2 田面宽度优化设计

根据山区农业种植特点, 一般设计要求, 地面坡度 15°以下时, 田宽 8~20 m, 地面坡度在 15°以上时, 田面宽不少于 4 m, 地面坡度大于 25°时, 不适宜修梯田。

田面宽度除受到地面坡度限制外, 还要受到土层厚度约束, 坡地土层厚度 T 应大于作物生长要求的最小土层厚度 t (一般作物要求最小土层厚度为 0. 5 m), 则修建梯田最大宽度 $B = 2(T - t) \text{ctg} \theta - D$

4. 3 田坎高度优化设计

田坎高是影响梯田断面设计的关键因素, 根据土壤条件和地面坡度确定, 一般在 1. 0~3. 0 m 范围之内。

4. 4 田坎侧坡率优化设计

田坎侧坡率受土壤黏聚力和内摩擦角变化影响很大, 根据泰安市水保所研究的不同土壤质地黏聚力及内摩擦角取值, 设计田坡侧坡率为 0~0. 4 之间。

4. 5 坎顶宽、埂高和基础埋深优化设计

根据山区特点, 结合实际情况, 土坎梯田坎顶宽为 0. 3 m, 石坎梯田坎顶宽 0. 5 m, 无论土坎梯田还是石坎梯田埂高均为 0. 3 m, 基础埋深 0. 3 m。

根据对梯田断面要素、稳定性、梯田目标优化设计、山区实际情况, 编制了梯田优化设计参考表, 有关参数通过稳定分析计算均达到规定要求, 并在实践中得到应用。

表 4 梯田优化设计参数表

地面倾角	地坎高/ m	斜坡长/ m	土坎梯田		石坎梯田	
			田坎侧坡	田面宽/m	田坎侧坡	田面宽/m
5°	1. 0	11. 5	1 0. 25	11. 2	1 0	11. 4
	1. 5	17. 2	1 0. 25	16. 8	1 0	17. 1
	2. 0	23. 0	1 0. 3	22. 3	1 0. 1	22. 9
	2. 5	28. 7	1 0. 3	27. 8	1 0. 1	28. 3
	1. 0	5. 76	1 0. 25	5. 4	1 0	5. 6
10°	1. 5	8. 6	1 0. 25	8. 1	1 0	8. 5
	2. 0	11. 5	1 0. 3	10. 7	1 0. 1	11. 3
	2. 5	14. 4	1 0. 3	13. 4	1 0. 1	13. 9
	3. 0	17. 3	1 0. 35	16. 0	1 0. 2	16. 7
	1. 5	5. 8	1 0. 25	5. 2	1 0	5. 6
15°	2. 0	7. 7	1 0. 3	6. 9	1 0. 1	7. 5
	2. 5	9. 7	1 0. 3	8. 6	1 0. 1	9. 1
	3. 0	11. 6	1 0. 35	10. 1	1 0. 2	10. 9
	2. 0	5. 8	1 0. 3	4. 9	1 0. 1	5. 5
20°	2. 5	7. 3	1 0. 3	6. 1	1 0. 1	6. 6
	3. 0	8. 8	1 0. 35	7. 2	1 0. 2	7. 9

5 结 论

通过对梯田断面要素及稳定性分析, 根据山区适修梯田区气候特点、土壤条件、农业生产结构, 提出了梯田优化设计参数并编制了梯田优化设计参考表。此表在山东省平邑县资邱乡东岭高效生态农业示范区梯田修筑中应用。梯田建设五年来, 没有出现倒塌、滑坡现象。表明优化数值在稳定性和费用计算方面有一定的优越性, 可以用以指导山丘区梯田建设。

参考文献:

- [1] 泰安市水土保持研究所. 山东省梯田优化设计技术报告[R]. 1998, 12.
[2] 王岭等. 晋东南地区的石坎梯田[J]. 中国水土保持, 1990, 9(9): 22~25.