

# 滇中地区小流域水土流失治理效应研究

段青松<sup>1</sup>, 吴伯志<sup>2</sup>, 字淑慧<sup>2</sup>

(1. 云南农业大学水利水电学院; 2. 云南农业大学农学与生物技术学院, 昆明 650201)

**摘 要:**通过生物措施、工程措施和耕作措施对滇中地区典型小流域——王家箐进行综合治理, 对治理前后气象、水文、水土流失资料进行观测分析。结果表明综合治理后, 试验区径流系数从 0.290 降到 0.06, 侵蚀模数从 294.28  $t/(hm^2 \cdot a)$  降到 9.19  $t/(hm^2 \cdot a)$ , 水土流失治理效果显著。治理措施减少水土流失作用主要表现在三个方面: 一是提高了降雨产流的最小雨量和最大 30 min 雨强  $I_{30}$ , 降雨产流的最小雨量从 2.9 mm 提高到 4.5 mm, 最小  $I_{30}$  从 0.027 mm/min 提高到 0.067 mm/min, 最小  $PI_{30}$  从 0.077 mm $\cdot$ mm/min 提高到 0.300 mm $\cdot$ mm/min。二是降低了径流的泥沙含量, 治理后的泥沙含量减少 65%。三是影响了产流过程, 采取水保措施延长了汇流过程, 推迟并削减洪峰。选治理前后  $P, I_{30}$  相似的降雨, 分析其洪水过程表明, 治理后产流的洪峰流量和洪量比治理前减少 84.2% ~ 92.1% 和 81.6% ~ 87.5%, 涨水速率降低 78.6% ~ 91.4%, 洪峰和雨峰的间隔时间延长 1.5~2 倍。

**关键词:**滇中地区; 小流域; 水土流失治理; 效应

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0265-03

## Effect of Comprehensive Treatment on Soil Erosion in the Small Watershed in Central Yunnan Province

DUAN Qing-song<sup>1</sup>, WU Bo-zhi<sup>2</sup>, ZI Shu-hui<sup>2</sup>

(1. Faculty of Water Resourced, Hydranlic and Architecture, YA U,

2. Faculty of Agronomy and Biotechnology, YA U, Kunming 650201, China)

**Abstract:** In order to control soil and water loss in the small Wangjia watershed in central Yunnan Province, engineering, biological and crop cultivation measures were implemented. The data of climate, hydrology and soil erosion were collected and analyzed. It is indicated that the measures are effective to reduce soil and water loss in the small watershed. After comprehensive measures, the runoff coefficient decreases from 0.287 to 0.006 and the rate of erosion decreases from 294.28  $t/(hm^2 \cdot a)$  to 9.19  $t/(hm^2 \cdot a)$ . The erosive minimum precipitation( $P$ ) increases from 2.9 mm to 4.5 mm, and the minimum rainfall intensity of 30 min( $I_{30}$ ) increases from 0.027 mm/min to 0.067 mm/min, and the  $PI_{30}$  from 0.077 mm $\cdot$ mm/min to 0.300 mm $\cdot$ mm/min. The runoff suspended sediment concentration decreases 65%, and the runoff procedure converged extends and the peak of runoff reduces. The similar precipitation( $P$ ) and rainfall intensity of 30 min( $I_{30}$ ) before and after treated are selected and compared. The result indicates that, after treatment the peak flow is 84.2% ~ 92.1% less than before, and the runoff is 81.6% ~ 87.5% less, and the ratio of rising flow is 78.6% ~ 91.4% less, the time interval between the peak flow and the peak precipitation extends 1.5~2 times.

**Key words:** the central Yunnan province; small watershed; soil and water loss control; effect

小流域是土壤侵蚀、产沙和输沙的基本单元, 也是水土保持综合治理的基本单元<sup>[1]</sup>。为研究滇中地区小流域水土流失治理的效应, 为类似地区水土流失治理提供理论依据和实践参考, 在欧盟资助下在滇中选择了具有代表性的小流域——云南省昆明市寻甸县柯渡镇可郎办事处王家箐小流域于 1998~2002 年开展了研究。通过对小流域陡坡地退耕还林、还草, 荒坡地植树种草、坡耕地种植草带, 耕地采用不同的覆盖和耕作措施并辅之以适当的工程措施等方式, 对小流域进行综合治理。观测了治理前后气象、水文、土壤侵蚀资料, 分析了水土流失治理的效应。

## 1 材料与方法

### 1.1 小流域概况

王家箐小流域位于云南省昆明市东北 60 km 的寻甸县柯渡镇可郎办事处, 地理位置为北纬 25°28'11", 东经 102°53'66", 流域面积为 0.57 km<sup>2</sup>, 海拔高度范围 1 860~2 473 m, 相对高差 613 m, 从最高点到最低点的平均坡降为 29.2%。表土主要为红壤, 海拔高度在 2 050 m 以上部分为砂岩, 海拔高度在 1 950~2 050 m 之间的为白云岩和石灰岩, 海拔高度在 1 860~1 950 m 之间的为页岩。区内多年平

\* 收稿日期: 2006-01-05

基金项目: 欧盟“坡地作物系统生产力和可持续性改善研究”ERBICT980326; 云南省科技厅“山坡地作物生产持续发展研究”97C012

作者简介: 段青松(1971-), 男, 云南大理人, 讲师; 主要从事水土保持和水资源利用研究; 通讯作者: 吴伯志(1960-), 男, 云南玉溪人, 教授, 博导, 主要从事作物栽培与耕作和水土保持研究。

均降雨量为 908 mm, 雨季(5~ 10 月)为 824 mm, 占年降雨量的 91%, 旱季(11 月~ 次年 4 月)为 84 mm, 占年降雨量的 9%。在流域面积中, 有林地 15. 2 hm<sup>2</sup>, 占 26. 6%; 荒地 3. 1 hm<sup>2</sup>, 占 5. 4%; 坡耕地 38. 92 hm<sup>2</sup>, 占 68. 0%, 约 1/3 的耕地在 25° 以上, 且不规整。大春作物为玉米、烤烟和马铃薯, 小春作物为小麦、豌豆。

1.2 治理措施

针对该小流域的实际, 为减轻水土流失, 改善小流域的生态环境、提高土地生产力、改善耕地的可持续性, 采取了下述生物措施、工程措施和耕作措施进行综合治理。

(1) 工程措施。于 1999 年 3~ 5 月中旬, 在由地表径流冲刷山体形成的冲沟上, 建立 7 道拦沙坝, 拦截泥沙, 阻止冲沟继续扩大, 避免大面积的滑坡, 保证道路村庄的安全。为解决流域内冬春季节干旱, 作物种植和生长严重缺水的问题, 修建了总容积为 520 m<sup>3</sup> 的蓄水池 6 个和相应的输水管道, 确保干旱季节作物用水。

(2) 生物措施。于 1999 年 12 月~ 2000 年 3 月, 对坡度大于 25° 的坡耕地, 实施退耕还林, 根据不同海拔和土壤条件, 合理规划, 种植了板栗、花椒, 并在原有荒山荒坡上种植华山松增加覆盖度。在坡度小于 25° 的东侧坡耕地上沿等高线种植 5 条草带, 逐步形成地埂, 以减少地表径流和冲刷<sup>[2-5]</sup>。

(3) 耕作措施。从 1999 年 5 月起, 采用等高线种植、麦秆和薄膜覆盖、少耕或免耕、双垄种植玉米和玉米间作大豆等措施, 加强雨水入渗, 减少旱季地表蒸发, 改善土壤结构, 达到减少水土流失, 改善田间微环境, 提高作物产量的目的<sup>[6-8]</sup>。

1.3 观测项目与方法

(1) 降雨量。在试验区安装了自计雨量计和从英国进口的全自动气象记录仪(Delta- T)(可观测降雨、气温、风速等指标), 从 1997 年底开始观测降雨量、降雨强度等指标, 并互相校核。

(2) 径流量。在流域出口建立了水文观测站, 从 1997 年底开始用 SW40 型日记式水位计记录过水断面的水位。用 LS25- 1 流速仪(号码: 930441)测定流速, 设 3 条测线, 1 点法施测, 根据过水断面的面积, 计算其过流量, 建立王家箐水文站水位- 流量关系式。再由水位及该式确定洪水过程线

表 1 王家箐水文站水位- 流量观测值

水位/m	0.02	0.05	0.09	0.145	0.2	0.254	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8
流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.011	0.051	0.136	0.281	0.462	0.647	0.847	1.059	1.285	1.518	1.757	2.262	2.781	3.320

表 2 治理前后 Q- S 实测值

流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	0.015	0.043	0.078	0.120	0.166	0.302	0.462	0.642	0.840	1.284
治理前泥沙含量/(kg·m <sup>-3</sup> )	1.846	-	5.92	9.77	14.37	25.9	37.4	-	60.5	80.5
治理后泥沙含量/(kg·m <sup>-3</sup> )	0.65	1.524	2.085	-	5.06	9.12	13.17	18.23	21.29	29.4

2.2 王家箐水文站流量- 泥沙(Q- S)关系

(1)、治理前后流量- 悬移质(Q- S)关系。1998 年的观测值代表了治理前的 Q- S 关系, 治理后由于 2002 年有大流量值, 以 2002 年观测值为代表, 见表 2。

利用 EXCEL 软件分析, 得到治理前后流量- 悬移质(Q- S)关系式:

治理前(1998 年):  $S_b = 70.1Q^{0.8932}$  $R = 0.9954$

治理后(2002 年):  $S_a = 24.7Q^{0.8934}$  $R = 0.9955$

(2) 各年实测推移质

表 3 各年实测推移质

年度	1998	1999	2000	2001	2002
推移质/(t·hm <sup>-2</sup> )	90.91	3.94	4.38	4.09	2.84

2.3 水土流失治理效应分析

将 5 年的降雨、径流、侵蚀的特征值列于表 4。可见, 治理后径流系数、单位降雨的侵蚀模数逐年减少。治理前的

并推算次洪水量。<sup>[9]</sup>

$$W = \overline{Q} \times t$$

$$Q = 0.25A(1.4V_1 + V_2 + 1.4V_3)$$
$$V = 0.2583n + 0.0052$$

式中: W——次洪水量(m<sup>3</sup>),  $\overline{Q}$ ——t 时段内的平均流量(m<sup>3</sup>/s), t——洪水历时(s); Q——过流断面流量(m<sup>3</sup>/s), A——过流断面面积(m<sup>2</sup>)。V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V 为第一条、第二条、第三条测线及测线处的流速(m/s), n——流速仪每秒转数。

(3) 侵蚀量。分悬移质和推移质观测。悬移质: 洪水时在流域出口取水样, 带回实验室后, 摇匀取 100 ml 过滤, 烘干, 算出样品的泥沙含量, 建立流量(Q)和悬移质含量(S)关系线, 据此线计算每次洪水的悬移质量。计算公式如下:

$$D_2 = \overline{S} \times W$$

S(kg/m<sup>3</sup>) = 烘干后泥沙重量(g) × 10<sup>-3</sup> / 100ml × 10<sup>-6</sup>  
式中: D<sub>2</sub>——次洪水悬移质量(kg),  $\overline{S}$ ——次洪水悬移质平均含量(kg/m<sup>3</sup>), W——次洪水量(m<sup>3</sup>), S——悬移质含量(kg/m<sup>3</sup>)。

推移质: 在拦沙坝内设高度标尺, 每年观测淤积的高度, 结合淤积形状, 计算推移质<sup>[10]</sup>。

$$D_4 = D_{4yr} \times W / W_{yr}$$

$$D_{4yr} = \sum h_i \times A_i \times \rho_d, i = 1, 2, 3 \dots 7$$

式中: D<sub>4</sub>——次洪水推移质量(kg), W——次洪水量(m<sup>3</sup>), W<sub>yr</sub>——年洪水量(m<sup>3</sup>); D<sub>4yr</sub>——年推移质量(kg), h<sub>i</sub>——第 i 个拦沙坝年内淤积高度(m), A<sub>i</sub>——第 i 个拦沙坝年内平均淤积面积(m<sup>2</sup>),  $\rho_d$ ——实测淤积泥沙干密度= 1 610 kg/m<sup>3</sup>。次降雨侵蚀量:

$$D = D_2 + D_4$$

2 结果与分析

2.1 王家箐水文站水位- 流量(H- Q)关系

水位- 流量实测值见表 1, 利用 EXCEL 分析得到关系式<sup>[11]</sup>:

$$Q = 4.96H^{1.475}$$
$$R = 0.998$$

1998 年径流系数为 0.267, 治理后 2002 年的径流系数降为 0.006, 仅为 1998 年的 2. 2%; 单位降雨的侵蚀模数由 1998 年的 294. 28 t/hm<sup>2</sup>降低到 2002 年的 9. 19 t/hm<sup>2</sup>, 仅为 1998 年的 3. 5%, 水土保持治理效果明显。治理措施对水土流失的影响主要表现在三个方面: 一是影响了产流的最小雨量和雨强, 二是影响了径流的泥沙含量, 三是影响了产流过程。

(1) 对产流最小雨量和雨强的影响。1998 年, 降雨量为 2. 9 mm 或最大 30 min 雨强 I<sub>30</sub>为 0.027 mm/min 时, 即产生径流和侵蚀, 治理后的 4 年中, 这两个值分别提高到 6. 7 mm, 6. 7 mm, 4. 8 mm, 4. 5 mm 和 0.040 mm/min, 0.043 mm/min, 0.050 mm/min, 0.067 mm/min。根据文献[12], 该小流域降雨产流和降雨的雨量大 P 和最大 30 min 雨强 I<sub>30</sub>乘积相关性最好, 其间关系为一元三次方函数, 即 W(S) = b<sub>0</sub> + b<sub>1</sub>PI<sub>30</sub> + b<sub>2</sub>PI<sub>30</sub><sup>2</sup> + b<sub>3</sub>PI<sub>30</sub><sup>3</sup>, 相关系数在 0.956~ 0.993 之间, P < 0.01 极显著相关; 产流的最小 PI<sub>30</sub> 值从 1998 年的

0.077 mm • mm/min 提高到 0.268 mm • mm/min, 0.290 mm • mm/min, 0.240 mm • mm/min, 0.300 mm • mm/min。

表 4 王家箐小流域降雨、径流、侵蚀特征值

年度	降雨量 / mm	降雨 次数	$I_{30}>10$ mm 次数	径流深 / mm	径流 系数	产流 次数	产流最小 $I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	产流最小雨 量/mm ( $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) / (\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	$PI_{30\text{mm}}$ /	侵蚀模数  $/ (\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1})$	单位降雨侵蚀模数  $/ (\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1})$
1998	1044.8	140	8	299.4	0.267	48	0.027	2.9	0.077	294.28	0.282
1999	900.8	141	6	79.4	0.009	32	0.040	6.7	0.268	12.76	0.014
2000	727.8	151	8	59.0	0.008	31	0.043	6.7	0.290	14.17	0.019
2001	939.6	185	11	71.9	0.008	34	0.050	4.8	0.240	13.24	0.014
2002	924.8	121	9	52.7	0.006	42	0.067	4.5	0.300	9.19	0.010

(2) 对径流泥沙含量的影响。对径流-悬移质含量( $Q-S$ )关系的影响。见表 2, 采取水保措施后, 洪水的泥沙含量只是原来的 35% 左右。

水土保持措施对小流域产生上述影响的原因在于退耕还林的实施, 使地表的覆盖度逐渐增加; 坡地上等高种植的草带缩短了汇流的坡长, 拦截了径流和泥沙; 玉米等农作物的等高种植, 加上少耕或免耕, 双垄种植等耕作措施, 改善了微地形, 强化了雨水的入渗, 从而提高了产流的最小雨量和雨强, 减少了径流的泥沙含量。

(3) 对产流过程的影响。为分析治理措施对产流过程的影响, 对 5 年中降雨后产流的 187 次降雨-径流过程进行分析。为便于对比分析, 按降雨量  $P$ 、最大 30 min 雨强  $I_{30}$ 、降雨过程、降雨时间尽可能相同的原则, 每年各选两场降雨作为典型降雨, 分析其降雨-径流过程, 考虑到年径流、侵蚀主要由几次大雨产生的特点, 在选择典型降雨时, 尽可能选降雨量  $P$ 、 $I_{30}$  均较大的降雨。所选的典型降雨见表 5, 第一组代表了  $P$  和  $I_{30}$  都较大的降雨, 第二组代表了  $I_{30}$  较小, 降雨量在 15 mm 左右, 历时 3.5~5 h 的降雨, 各次降雨径流的特征值见表 5。降雨-径流过程线见附图。从附图径流过程线的形态上来看, 治理前洪峰陡涨陡落, 曲线基本对称, 洪

水历时短; 治理后过程线呈涨洪陡, 落洪缓的偏态型, 洪水历时延长。比较 1998 (代表治理前) 年和 2002 年 (代表治理后) 的洪水过程表明, 采取水土保持措施后, 洪峰流量第一组从 4.177 m<sup>3</sup>/s 降到 0.363 m<sup>3</sup>/s, 比治理前减少 92.1%; 第二组, 洪峰流量从 0.273 m<sup>3</sup>/s 降到 0.043 m<sup>3</sup>/s, 比治理前减少 84.2%, 表明采取水保措施能显著削减洪峰。产流开始的时间由降雨后 15 min 延长到 30~60 min, 洪峰和雨峰的间隔第一组由 20 min 延长到 30 min, 第二组由 30 min 延长到 55 min; 涨水速率分别由 1.882×10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>, 1.517×10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> 降低到 4.030×10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>, 1.303×10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup>, 涨水速率降低 78.6%~91.4%, 表明采取水保措施提高了雨水的入渗, 减小了汇流的流速, 延长了汇流过程, 推迟了洪峰, 有效地减少了水土流失。典型降雨的径流深第一组从 18.4 mm 降到 2.4 mm, 比治理前减少 87.5%; 第二组从 1.9 mm 降到 0.35 mm, 比治理前减少 81.6%; 产流量明显减少。由于产流量和泥沙含量的降低, 侵蚀量从治理前的 878 t、2.62 t 降到治理后的 15.3 t、0.30 t, 仅为治理前的 1.74%、11.5%。表明水保措施削低了洪峰流量, 推迟了洪峰, 致使产流量和侵蚀量逐年减少。

表 5 典型降雨-径流过程特征值表

组别	日期	降雨时间	历时 / min	降雨量 / mm	最大 30 min 雨强 $I_{30}/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	径流 时间	历时 / min	径流量 / m <sup>3</sup>	径流深 / mm	泥沙量 / t	洪峰流量 $/ (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	洪峰雨峰 间隔时长 / min	涨水速率 $/ (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
第一组	1998-07-15	16:55-19:30	155	23.8	0.593	17:10-19:55	155	10511.2	18.4	877.7	4.177	20	1.882×10 <sup>-3</sup>
	1999-07-25	17:15-19:40	145	22.4	0.670	18:00-22:00	240	3830.9	6.7	94	1.01	40	1.122×10 <sup>-3</sup>
	2000-07-30	0:10-2:20	130	24.2	0.677	0:55-4:55	240	1539.1	2.7	12.8	0.273	45	3.033×10 <sup>-4</sup>
	2001-09-20	2:00-3:20	80	28.9	0.577	2:35-6:15	220	1664	2.9	15.2	0.302	30	1.678×10 <sup>-4</sup>
	2002-08-09	16:35-19:20	135	23.6	0.547	17:05-20:50	225	1323.4	2.3	15.3	0.363	30	4.030×10 <sup>-4</sup>
第二组	1998-08-12	10:00-14:10	250	14.5	0.133	10:15-14:45	270	1109	1.9	2.62	0.273	30	1.517×10 <sup>-4</sup>
	1999-05-29	1:30-5:20	230	15.9	0.150	2:30-8:00	330	648.5	1.1	1.37	0.06	60	3.334×10 <sup>-5</sup>
	2000-10-26	2:30-7:40	310	18.4	0.163	5:50-9:00	250	604.1	1	1.09	0.06	70	3.333×10 <sup>-5</sup>
	2001-06-12	0:50-40:20	210	13.5	0.180	0	0	0	0	0	0	0	0
	2002-06-24	23:45-4:45	300	15.1	0.150	0:45-6:30	345	200	0.35	0.30	0.043	55	1.303×10 <sup>-5</sup>

3 结 论

(1) 采取退耕还林、等高种植草带等生物措施、修筑拦沙坝等工程措施和等高耕作、双垄种植等耕作措施能有效抑制以坡耕地为主的小流域的水土流失, 经综合治理后, 试验区径流系数从 0.287 降到 0.006, 侵蚀模数从 294.28 t/(hm<sup>2</sup>•a) 降到 9.19 t/(hm<sup>2</sup>•a), 水土保持治理效应显著。

(2) 治理措施减少水土流失主要作用在三个方面: 一是提高了降雨产流的最小雨量和最大 30 min 雨强  $I_{30}$ , 降雨产流的最小雨量从 2.9 mm 提高到 4.5 mm, 最小从  $I_{30}$  0.027

mm/min 提高到 0.067 mm/min, 最小  $PI_{30}$  从 0.077 (mm • mm)/min 提高到 0.300 (mm • mm)/min。二是降低了径流的泥沙含量, 治理后的泥沙含量仅为治理前的 35%。三是影响了产流过程, 采取水保措施延长了汇流过程, 推迟并削减洪峰。 $P$ 、 $I_{30}$  相似的降雨, 分析其洪水过程表明, 治理后产流的洪峰流量和洪量比治理前减少 84.2%~92.1% 和 81.6%~87.5%, 涨水速率降低 78.6%~91.4%, 洪峰和雨峰的间隔时间延长 1.5~2 倍。

致谢: 感谢英国 The University of Wolverhampton 教授 Michael 老师在本文写作过程中的指导!

3.4 崩塌积碎石土岸坡

崩塌积碎石土广泛发育于水库两岸各地段,这类碎石土具有较高内摩擦角和弱固结、弱钙泥胶结,呈稍密–中密状态。角砾含量超过 85%,棱角状、无分选磨圆;黏性土含量小于 15%,呈可塑状态。

观察点崩塌积碎石土岸坡斜坡的天然稳定坡角一般为  $\angle 39^\circ$ (稍密)~ $44^\circ$ (中密)。在库水的浸润软化及空隙水压力效应的作用下,岸坡普遍保持整体稳定状态。在水库运行水

位急剧消涨波动的长期冲刷–剥蚀作用下,水上稳定坡角  $37^\circ$ ,水下稳定坡角  $25^\circ\sim 29^\circ$ 。

4 各类第四系岸坡的边岸再造特征参数

在上述实测调查的基础上,通过逐一对比及分类统计研究,得出表 1 所示的水库岸坡再造特征参数的实测分类统计成果。据此可以看出,各类第四系岸坡的塌岸特征参数与土石堆积体的成因、性状、组分结构特征及地下水等因素有关。

表 1 龚咀水库岸坡类型与塌岸特征参数

岸坡类型	成因	土石组分	抗剪指标		密度、胶结、固结	地下水	水下稳定坡角/ $^\circ$	水上稳定坡角/ $^\circ$
			$C/\text{Mpa}$	$\varphi^\circ$				
黏性土、块碎石堆积岸坡	冲洪积	棕黄色粉质黏土与角砾混合堆积体。其中粉质黏土含量占 30%,重等级、硬可塑;块碎石占 60%,砾径一般 $\varphi=2\sim 3\text{ cm}$ (最大 $\varphi=11\text{ cm}$ );中–粗砂占 10%	0.01	18	稍密–中密,弱固结	地下水富积	23~29	35~36
块碎石夹泥	崩塌积	角砾含量超过 85%,棱角状、无分选磨圆;黏性土含量小于 15%,可塑状态。颗粒组成:砾径 $1\text{ cm}\leqslant\leqslant 3\text{ cm}$ 的角砾占 11.3%、砾径 $3\text{ cm}\leqslant\leqslant 5\text{ cm}$ 的角砾占 24.4%、砾径 $5\text{ cm}\leqslant\leqslant 10\text{ cm}$ 的角砾占 48.7%、最大砾径 <sub>max</sub> =40 cm。			弱固结、弱钙泥胶结,稍密–中密状态	湿	25~29	37
卵砾石	冲积层	卵砾石含量占 85%,黄色粉土占 114.9%。卵砾石具有较好的分选、磨圆性, $\leqslant 1\text{ cm}$ 24.7%、 $1\text{ cm}\leqslant\leqslant 2\text{ cm}$ 39.3%、 $2\text{ cm}\leqslant\leqslant 6\text{ cm}$ 21.1%、 <sub>max</sub> =15 cm。			弱固结、弱钙质胶结,中密–密实	地下水富积	32~36	50~56
粉土	冲积层	水平层理发育,河谷阶地二元结构上部静水相细粒沉积层。	0.012	21~23	中密–软塑状态	地下较富积	17~19	32~24
细砂	冲积层	近代河床相上部静水相细粒松散沉积层			松散饱和状态	地下水富积	21	34
泥砾层	冰水堆积	略具分选性,卵砾石呈次磨圆–次棱角状,卵砾石含量超过 70%,砾径一般 $\varphi=0.2\sim 30\text{ m}$ ,漂砾最大砾径达 $\varphi=3\text{ m}$ 。	0.10	31	密实、钙质胶结	湿	36~38	$\geqslant 82$

5 结论与认识

各类第四系岸坡的稳定坡角与堆积体的形成时代、土石结构、地下水、固结密度及胶结特征等因素有关(表 1)。对

于同类成因的第四系岸坡,稳定坡角总体上与粗颗粒(块石、角砾等)含量、密度及固结度、胶结程度等正相关,与黏粒含量及含水量负相关;形成时代越新稳定坡角越小。

参考文献:

[1] 张奇华,丁秀丽,张杰,等.三峡库区奉节河段库岸蓄水再造研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(7):1007–1012.  
[2] 张倬元,王仕天,王兰生.工程地质分析原理(第二版)[M].北京:地质出版社,1994.  
[3] 左建,郭成久,等.水利工程地质[M].北京:中国水利水电出版社,2004.

(上接第 267 页)

参考文献:

[1] 石辉.小流域侵蚀产沙研究方法进展[J].西北林学院学报,1997,12(3):102–108.  
[2] L B Owens, W M Edwards, R W Van Keuren. Sediment Losses From a Pastured Watershed Before and after Stream Fencing[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 1–2:90–93.  
[3] J E Gilley. Narrow Grass Hedge Effects on Runoff and Soil Loss[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, (2): 191–195.  
[4] Raffaele J B Jr, McGregor K C, Foster G R, et al. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1997, 40(6): 1581–1587.  
[5] 黄必志,吴伯志.草带防止水土保持的效应[J].北京林业大学学报,2000,22(2):84–85.  
[6] 蒋定生,等.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.  
[7] 王万中,焦菊英.黄土高原水土保持减沙效益预测[M].郑州:黄河水利出版社,2002.  
[8] 吴伯志,刘立光.不同耕种措施对坡地红壤侵蚀率的影响[J].耕作与栽培,1996,(5):17–20.  
[9] 詹道江,叶守泽.工程水文学(第三版)[M].北京:中国水利水电出版社,2000.  
[10] 焦居仁,等.水利技术标准汇编.水土保持卷[M].北京:中国水利水电出版社,2002.  
[11] 王礼先.水土保持学[M].北京:中国林业出版社,2000.43–46.  
[12] 段青松,吴伯志,字淑慧.滇中地区小流域治理前后水土流失变化规律的研究[J].农业工程学报,2005,21(5):42–46.