

长江三峡香溪—莲沱段水土流失的研究*

林 承 坤

(南京大学大地海洋科学系)

提 要 长江三峡香溪—莲沱段的水土流失可分为水蚀与重力侵蚀两类。据诸多自然地理因素的定量指标与产沙模数的关系,建立了产沙模数的经验公式(即式(1)),用式(1)计算出区内产沙量。据历史记载资料与地质地貌调查,探讨了区内新滩与链子崖的巨型崩塌-滑坡的成因与发展。在此基础上,研究了区内水土流失对自然环境及三峡工程的影响。

关键词 水土流失 产沙模数 崩塌-滑坡

一、水土流失的类型与分区

(一)水土流失的类型

长江三峡香溪—莲沱段全长 48 公里,面积 3812 平方公里。现有研究成果^[1,2]表明,区内水土流失可分为水流侵蚀(简称水蚀)和重力侵蚀两类。

本区地处亚热带季风区,年降水量达 1115 毫米,年径流深度为 679 毫米。因而水蚀成为当地常见的一种水土流失类型。水蚀主要取决于诸多自然地理因素。

当地的重力侵蚀主要是崩塌-滑坡,属特殊地质地貌条件下产生的一种突发性水土流失类型。新滩附近地貌条件颇为特殊,常出现巨型的崩塌-滑坡。有些巨型崩塌-滑坡虽数百年才出现一次,可是崩滑体方量达上千万立方米。

(二)水土流失的分区

不同的岩类直接影响着风化壳厚度。后者除影响水土流失程度外,又影响溪沟切割密度。此外,岩类还是崩塌-滑坡的物质条件。因而岩类的不同,能反映水土流失的差异。区内据岩类的差别,可划分出四个水土流失区(图 1)。各区的水土流失和产沙量是不同的。

二、影响水蚀的自然地理因素与产沙量的计算

(一)影响水蚀的自然地理因素

1. 风化壳厚度 T (米)

这主要决定于岩类及其结构。黑云母石英闪长岩与斜长花岗岩同属全晶质粗粒状结构,易受风化。两者差异主要在于深色矿物含量的不同,前者深色矿物含量占矿物总量的 25%;后者只占 5%。颜色较深的岩石,吸热与放热较多而易,胀缩较大,易于崩解,风化壳

* 国家自然科学基金资助项目。

就较厚。因此黑云母石英闪长岩构成的 I 区,风化壳最厚,平均厚达 50.0 米;斜长花岗岩组成的 II 区,风化壳厚度次之,平均为 29.8 米;具细粒结构的砂岩构成的 III 区,风化壳厚度更次之,平均为 5.9 米;属隐晶质结构的灰岩与白云岩构成的 IV 区,风化壳最薄,平均厚度仅 4.3 米。

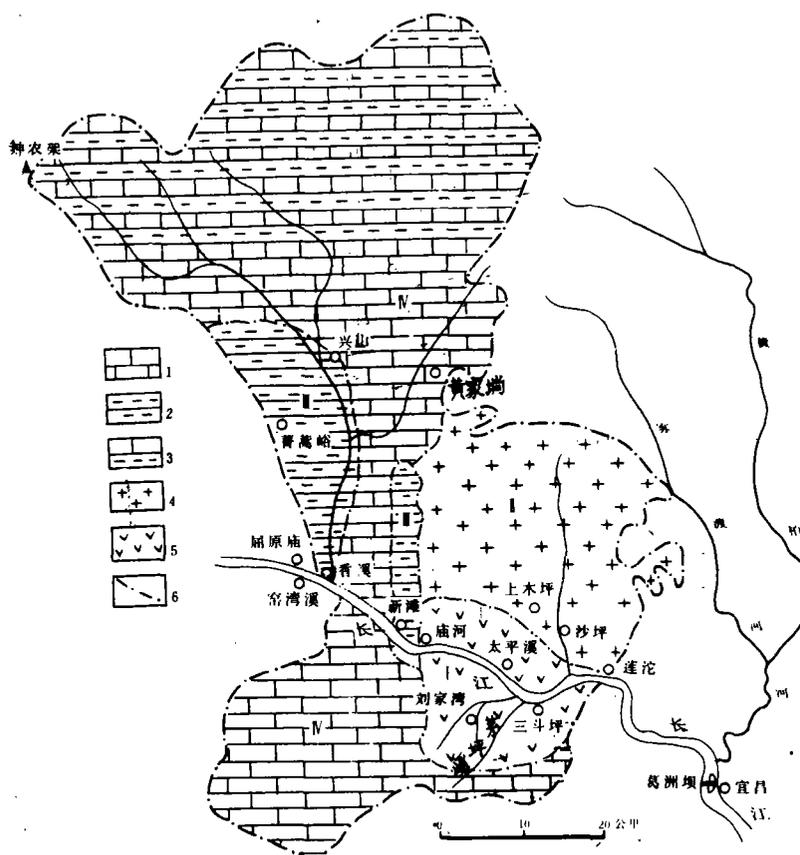


图1 水土流失区的分布

Fig. 1 The distribution of water loss and soil erosion zones

水土流失区: I. 黑云母石英闪长岩区; II. 斜长花岗岩区; III. 砂岩区; IV. 灰岩区。
1. 灰岩与白云岩; 2. 砂岩; 3. 灰岩夹砂岩或夹砂页岩; 4. 斜长花岗岩; 5. 黑云母石英闪长岩; 6. 水土流失区界线

2. 溪沟切割密度 D (公里/平方公里)

这是指单位面积内的溪沟长度。用 1:5 万地形图量算得的当地各水土流失区的 D 分别为: I 区 0.604 公里/平方公里, II 区 0.400 公里/平方公里, III 区 0.320 公里/平方公里, IV 区 0.315 公里/平方公里。 D 主要取决于风化壳厚度。风化壳愈厚,地表愈易遭侵蚀,溪沟愈易发育,溪沟切割密度就高。

3. 径流深度 R (米/年)

现用实测资料绘出的本区年径流等深线图^[1], 计算得全区的 R 为 0.679 米/年。当地各水土流失区的 R 分别是: I 区 0.800 米/年, II 区 0.725 米/年, III 区 0.675 米/年, IV 区 0.650 米/年。径流是水蚀的主要营力。径流深度愈深, 水蚀能力愈大, 产沙量就多。

4. 森林覆盖率 P (%)

据 1977 年宜昌专署林业局的普查资料与 1980—1981 年笔者在当地的调查资料, 计算得全区的 P 为 21.7%。当地各水土流失区的 P 分别是: I 区 10.2%, II 区 17.0%, III 区 22.0%, IV 区 25.0%。森林覆盖率是防止地表水蚀的主要因素。它除对地表起保护作用外, 还可分散与贮藏水分, 减少流量, 并对径流起拦截作用, 降低径流流速。这些都极大地减轻了地表水蚀能力。

(二) 水蚀产沙量的计算

1. 计算产沙模数 M_s (吨/平方公里×年)的经验公式

据本区诸多自然地理因素与实测产沙模数的关系, 以区内七个中小型水库资料与黄柏河上的两个实测资料, 用最小二乘法所建立的 M_s 经验公式^[1]为

$$M_s = 194.7(TDR/P)^{0.624} \quad (1)$$

式(1)的相关系数为 0.997。这说明 M_s 与 TDR/P 的关系十分密切。经验证, 实测的 M_s 值同用式(1)计算得的 M_s 值只相差 1.8%^[2], 可见式(1)的精度较好。

2. 各水土流失区水蚀产沙量的计算

为求得各水土流失区准确的全沙粒配资料, 采样点需选在蓄水型水库和河谷型水库内。前者的库容与水库集水面积的比值较大, 并能拦蓄全部或大部雨季径流; 后者不仅库容也较大, 而且水库较长, 这样的水库使入库水流的流程增大, 利于泥沙沉积。两类水库内采到的沙样, 经分析统计后所得的泥沙粒配, 能代表全沙粒配。布设采样点的水库: I 区选用的是刘家湾水库与刘家湾沟沟口拦沙水库, II 区选用的是沙坪与上木坪两座水库, III 区选用的是菁嵩峪水库, IV 区选用的是黄家淌水库。这些水库的采样点, 除布设于水库三角洲上外, 还布设在三角洲前坡段至拦河坝之间。通过沙样的颗粒分析, 统计出各沙样的粒配。取各水库全部沙样粒配的平均值, 用作代表该水库全沙粒配; 若某区选用两座水库, 则取两者沙样粒配的平均值, 用作代表该区全沙粒配(表 1)。

表 1 各水土流失区的泥沙粒配

Table 1 The grading of sediment in water loss and soil erosion zones

水土 流失区	某级粒径(毫米)沙重(%)								合计
	<0.1	0.1—0.25	0.25—0.5	0.5—1	1—2	2—5	5—10	>10	
I	5.5	72.5	3.2	11.9	2.4	1.6	1.9	1.0	100.0
II	7.5	64.0	19.2	2.8	1.1	1.3	1.8	2.3	100.0
III	41.3	26.0	17.6	7.6	0.2	1.7	1.7	3.9	100.0
IV	45.1	23.2	16.9	7.3	0.4	1.1	1.9	4.1	100.0

水蚀产沙量(全沙, 吨/年)就是 M_s (吨/平方公里×年)乘以面积(平方公里)。再用实测的泥沙粒配资料(见表 1), 计算出推移质(粒径 > 0.1 毫米的泥沙)沙量(表 2)。

由表2可见,本区的水蚀产沙量以推移质为主,其占产沙量的83.1%。各水土流失区的 M_s 差异较大。 M_s 最大的I区同 M_s 最小的IV区相比,前者 M_s 约为后者 M_s 的14倍。这说明当地各水土流失区自然地理因素差异较大。

表2 各水土流失区的水蚀产沙量

Table 2 Sediment yield of water erosion in water loss and soil erosion zones

水土流失区	面积 (公里 ²)	T (米)	D (公里/公里 ²)	R (米/年)	P	TDR/P	M_s (吨/公里 ² ·年)	产沙量(万吨/年)	
								全沙	推移质
I	245	50.0	0.604	0.800	0.102	236.90	5903.3	144.6	136.6
II	840	29.8	0.400	0.725	0.170	50.84	2259.6	189.8	175.6
III	767	5.9	0.320	0.675	0.220	5.79	582.5	44.7	26.2
IV	1960	4.3	0.315	0.650	0.250	3.52	427.0	83.7	46.0
全区	3812						1214.1	462.8	384.4

三、巨型崩塌-滑坡

(一)新滩崩塌-滑坡的情况

1985年6月12日,新滩发生了一起崩塌-滑坡(下文简称612滑坡)。通过对612滑坡体的测量,求得陆上部分滑坡体方量为1740万立方米。据滑动前后长江新滩河段G₄₆号断面的对比,计算得水下部分滑坡体方量为151万立方米^[3]。两者合计1891万立方米,故612滑坡属巨型崩塌-滑坡。612滑坡体水下部分的方量仅近及该滑坡体总方量的8%;但调查得知,滑坡体滑入江中后,激起颇大的涌浪,对岸上距海拔92.0米处的一浆砌块石仓库,被涌浪冲毁,当时新滩长江水位为63.5米,涌浪爬高达28.5米。汹涌的巨浪使停泊在新滩与香溪两地的13艘小型机船和64艘木船全部沉没。若未建葛洲坝工程,则612滑坡会使长江三峡段航道堵塞,至少造成枯水期120天断航^[3]。

史书对新滩崩塌-滑坡的记载,统称为“岩崩”或“山崩”。最早记载新滩岩崩的史书是酈道元的《水经·江水注》(公元512—518年),其中记述公元377年(东晋太元二年)岩崩“当崩之日,水逆流百余里,涌起数十丈,今滩上有石,或圆如箬,或方似箭,若此者甚众,皆崩崖所陨,致怒湍流,故谓之新崩滩”。王象之的《舆地纪胜·归州》(公元1221年)记载,公元1026年(北宋天圣四年)新滩再次发生巨型山崩,即“归州东二十里赞皇山崩,蜀江断流,沿溯易舟以行”。《归州府志·祥异》(公元1573—1620年)记载,公元1542年(明嘉靖二十一年)新滩又发生巨型山崩,被描写为“新滩北岸……山崩五里许,闭塞江流,压民舍百余家,舟楫不通”。《归州府志·祥异》还记载了公元1558年(明嘉靖三十七年)“夏……新滩又崩裂,颓民舍数十间,压死三百余人”。公元1561年(明嘉靖四十年)“淫雨浹旬,闰五月十二日州治崩圯,颓官署民舍数十间,压死三百余人”;同年又“淫雨浹旬,雷雨大作,顷刻倾盆,山崩石坠”。

上述史料可见,新滩崩塌-滑坡,除公元1542年山崩的史料指明在新滩北岸外,其余均未指明发生在新滩哪一岸。

20 世纪 20—30 年代,新滩附近又发生三次大规模的崩塌-滑坡。据调查,公元 1923 年广家崖发生一起崩塌,崩塌体坠入江中,激起长江涌浪,其向上游影响到窑湾溪,下游影响到庙河;1935 年农历六月,连降七昼夜大雨,姜家坡发生大滑坡,20 多间民房被滑坡推入江中。经过这三次崩塌-滑坡,大量崩滑体坠入江中,使新滩滩险恶化,在 50 年代治理前,枯水期长江新滩段的水面最大流速达 7.7 米/秒,因而新滩成为三峡流速最大的枯水急流滩。

(二)巨型崩塌-滑坡发生的原因

1. 地层易崩滑

这是新滩巨型崩塌-滑坡的物质基础。612 滑坡发生在志留系分布区。志留系岩性主要为页岩或含有及夹有页岩。链子崖(陡崖)基部岩性由二叠系含煤地层和灰岩夹粘土岩组成(图 2)。这些地层均属易崩滑地层,在地下水作用下,极易软化。二叠系粘土岩浸水后软化,当地居民称之为“油泥”。岩层软化后,凝聚力降低,而易发生崩滑。此外,志留系页岩易风化。在新滩志留系分布区,生成平均厚度约 20 米的风化壳。风化壳也属易崩滑地

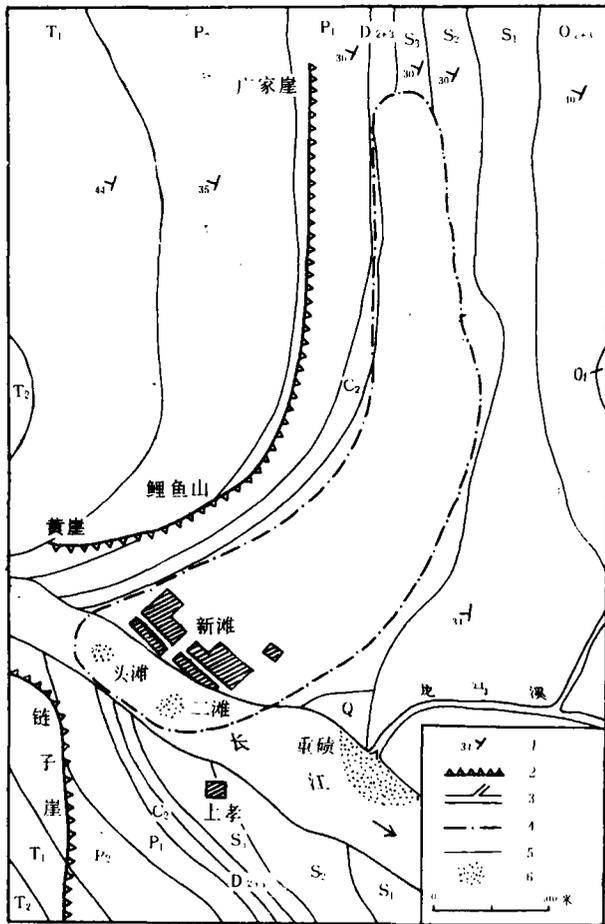


图 2 新滩崩塌-滑坡地质略图

Fig. 2 Geologic sketch of rock fall and landslide in Xintan

O₁ 奥陶系下统灰岩; O₂₋₃ 奥陶系中上统灰岩; S₁ 志留系下统砂页岩; S₂ 志留系中统砂岩夹页岩; S₃ 志留系上统粉砂岩、砂岩夹页岩; D₂₊₃ 泥盆系中上统砂岩; C₂ 石炭系中统灰岩; P₁ 二叠系下统灰岩; P₂ 二叠系上统灰岩、粘土岩与含煤地层; T₁ 三叠系下统灰岩; T₂ 三叠系中统灰岩; Q 第四系冲积物。

1. 岩层产状; 2. 陡崖; 3. 溪流; 4. 崩塌-滑坡界线; 5. 地层界线; 6. 滩险

层。在612滑坡物质中,风化壳碎屑物质占有较大的比重。

2. 地质构造利于崩滑

新滩附近,岩层走向为 $N80^{\circ}E$,倾向 $N10^{\circ}W$,倾角 30° ,岩层倾向长江上游。从612滑坡体形态看,上部向南,中下部逐渐转向西南,主要受岩层倾向控制。滑坡体就是沿岩层倾向滑动的。此外,长江北岸的广家崖—黄崖,南岸的链子崖,均为坡度 $>70^{\circ}$ 的陡崖,由二叠系(部分泥盆系、石炭系与三叠系)组成。对于这两个陡崖的临空面来说,虽然均是逆层构造,但在岩层中,普遍发育有北西向与北东向多组裂隙,裂隙面倾角为 60° — 90° ,多倾向长江而又较密集;广家崖处裂隙平均间距为28米;链子崖为23米。这多组裂隙把岩层分割为块,构成危岩,极易发生崩塌。据调查,链子崖易发生崩塌的岩体与危岩的方量约2500万立方米。广家崖崖麓崩塌体方量约1200万立方米。

3. 存在有崩滑的临空条件

侵蚀而成的新滩与链子崖陡峭的岸坡与陡崖,成为崩塌-滑坡的临空面。此外,广家崖—黄崖又位于612滑坡后缘的上部,大量的崩塌物坠落在612滑坡体上,一方面增加了612滑坡体的重量;另一方面给612滑坡体以巨大的撞击力。由此每当广家崖—黄崖发生大型崩塌,就常会促使新滩巨型崩塌-滑坡的生成。

四、水土流失的发展

(一)水蚀在发展

影响水蚀诸多自然地理因素中,风化壳厚度 T 与溪沟切割密度 D ,都需经历较长地质时期才能发生变化,在几十年内变化甚微。径流深度 R 虽年际变化较大,但多年平均值却相差很小。水土流失IV区中的兴山水文站实测资料统计结果表明,1959—1968年的 R 为0.717米/年,而1969—1978年的 R 为0.724米/年。两个时期的 R 大体相同。

唯森林覆盖率 P 变化较大,用1956年1:5万地形图,量算出森林面积后,计算得1956年全区的 P 为45.1%。1956年当地各水土流失区的 P 分别为:Ⅰ区17.3%,Ⅱ区34.2%,Ⅲ区26.2%,Ⅳ区61.0%。到1980年全区的 P 减少23.4%,而Ⅰ区减少7.1%,Ⅱ区减少17.2%,Ⅲ区减少4.2%,Ⅳ区减少36.0%。可见20余年内森林覆盖率锐减。

森林覆盖率的锐减,是当地水蚀发展的主要原因。用1956年各水土流失区的 P ,按式(1)求得1956年各区产沙量分别为:Ⅰ区104.0万吨/年(1980年144.6万吨/年),Ⅱ区122.7万吨/年(1980年189.8万吨/年),Ⅲ区40.1万吨/年(1980年44.7万吨/年),Ⅳ区48.0万吨/年(1980年83.7万吨/年)。1956年全区水蚀产沙量计314.8万吨/年(其中推移质沙量为261.6万吨/年)。全区1980年水蚀产沙量(462.8万吨/年)比1956年水蚀产沙量增加47.0%。若把其间增加的水蚀产沙量(148.0万吨/年)折算为产沙模数,则全区产沙模数比1956年增加388.3吨/平方公里×年。这就是说,1980年与1956年相比,区内森林覆盖率的降低,使每平方公里的水蚀产沙量增加388.3吨/年。

(二)巨型崩塌-滑坡在发展

如前所述,新滩巨型崩塌-滑坡自有文字记载以来,已出现过四次,年份分别为公元

377, 1026, 1542 与 1985 年。三个时间间距分别为 649 年, 516 年, 433 年。每次巨型崩塌-滑坡发生的时间间距在缩短。而且在这四次巨型崩塌-滑坡中, 377 年与 1026 年两次崩塌-滑坡, 每次前后都未发生过崩塌或滑坡; 但 1542 年与 1985 年两次崩塌-滑坡, 每次前后都发生过多次崩塌或滑坡; 前者在 1558 年、1561 年与 1609 年, 后者在 1923 年、1931 年与 1935 年, 都出现过巨型崩塌或滑坡。由此可见, 1600 多年来, 新滩巨型崩塌-滑坡在发展。

五、水土流失对三峡工程与环境的影响

(一) 影响三峡坝区的泥沙问题

目前有的研究者^[4]认为: 1. 三峡水库狭长, 粗沙与卵石不易到达坝区; 2. 水库单独运行 50 年, 在接近平衡时, 坝区(太平溪至三斗坪段长江)可淤积悬沙达 7.15 亿立方米, 而年平均悬沙淤积量为 13 万立方米。由此坝区泥沙淤积问题并不严重。显然, 这里未考虑到区内的水土流失与产沙量问题, 从而忽视了坝区泥沙问题。

如前所述, 现有研究结果表明: 1. 水蚀与崩塌-滑坡是区内的两类主要的产沙源, 且泥沙淤积区距补给区较近, 又有崩滑物质补给, 因而泥沙粒径较粗^[5], 其以卵石和粗沙组成的推移质为主; 2. 区内的水蚀产沙量为 162.3 万吨/年(308.0 万立方米/年), 这是坝区来自长江上游的悬沙淤积量的 2.15 倍; 3. 本区推移质沙量为水蚀产沙量的 83.1%。此外, 泥沙颗粒具有摩氏硬度六级以上, 搬运距离又短, 棱角尖锐, 这将对水轮机与水工建筑物造成磨损^[6]。由此可见, 坝区的泥沙问题实际上是存在的, 不能忽视。

(二) 巨型崩塌-滑坡对三峡工程具有潜在的威胁

新滩附近一公里长的长江河段, 南岸有链子崖, 北岸有新滩巨型崩塌-滑坡和广家崖—黄崖, 分列两边, 隔江对峙。若一岸产生巨型崩塌-滑坡, 其滑入或坠入江中后, 会激起汹涌巨浪, 冲击对岸谷坡而影响稳定性。如果两岸都产生巨型崩塌-滑坡, 则崩滑体方量可达 5500 万立方米, 这些方量能堆成一道高达 90—100 米的天然坝, 而堵塞长江三峡库区航道^[3]。再则, 若三峡大坝建成, 水位抬高, 新滩崩塌-滑坡舌、黄崖和链子崖的基脚均遭水库回水长期浸泡, 使易崩滑地层(页岩、含煤地层、粘土岩和炭质页岩等)软化; 软化后, 一旦产生巨型崩塌-滑坡, 后果不堪设想。这是对三峡工程一个严重的潜在威胁。

(三) 促使自然环境恶化

泥沙是自然环境中较为活跃的因素之一。区内泥沙具有产沙模数大和粒配较粗等特点, 易在河床与河漫滩上加积, 致使环境恶化。

即使是水土流失 IV 区, 虽然属当地产沙模数 M 最小的一个水土流失区, 但近数十年来, 恶化亦甚为迅速。据史书记载, 公元 1488 年(明弘治元年)兴山古城始建于香溪干流河漫滩上, 至公元 1864 年(清同治三年)曾前后四次遭水蚀所毁, 前三次山水均毁北城, 后一次“南城基址为水所啮”。就是说, 公元 1864 年兴山南城被香溪洪水淹没。洪水淹没仅此一次而已。可是 1911 年以后, 兴山县城至少四次为洪水所淹。1980 年调查得知, 1864 年培修的兴山南城已全被埋在河流沉积物之下^[1]。可见河流淤积之严重。

在水土流失最为严重的 I 区, 环境恶化更为严重, 该区是面积最小的水土流失区、面

积只占全区的 6.4%,产沙量却占全区的 31.2%(见表 2),产沙模数达 5903.3 吨/平方公里×年。如此之大的产沙模数,在长江三峡地区并不多见。

长江河床的恶化主要表现为滩险的形成与发展。崩塌-滑坡而成的新滩滩险,被视为“楚蜀诸滩,首险新滩”(见《归州府志·祥异》),成为三峡一个重要的滩险。在 1921 年三峡航道图上,香溪河口未见有碎米碛,龙马溪河口沉积的冲积扇面积为 91000 平方米。至 50 年代,在这两个河口都形成了碍航的溪口滩:前者称碎米碛,后者称重碛。1979 年长江三峡航道图上,量算得的重碛面积达 24.19 万平方米。

由上可见,坝区自然环境恶化的过程是:水蚀与崩塌-滑坡加剧→产沙量增大→河床与河漫滩淤高→洪水与泥沙为害,滩险为患,土地资源遭破坏……

参 考 文 献

- [1] 林承坤,1985,鄂西山区香溪流域地理环境的演变,山地研究,3(2),第 79—87 页。
- [2] 林承坤等,1984,葛洲坝枢纽沙砾推移质特性与数量计算,水利学报,(7),第 1—10 页。
- [3] 林承坤,1986,长江三峡新滩口型岩崩与滑坡对航道影响的初步研究,中国航海,18(1),第 13—21 页。
- [4] 唐日长,1985,三峡水利枢纽工程泥沙问题的初步研究,人民长江,(1),第 7—14 页。
- [5] 林承坤等,1980,葛洲坝工程卵石推移质来源分析与数量计算,河流泥沙国际学术讨论会论文集,第 1 卷,光华出版社,第 83—92 页。

A STUDY ON WATER LOSS AND SOIL EROSION IN XIANGXI —LIANTUO REACH OF THREE GORGES OF THE CHANGJIANG RIVER

Lin Chengkun

(Department of Geo and Ocean Sciences, Nanjing University)

Abstract

Xiangxi—Liantuo Reach of Three Gorges of the Changjiang River, with a length 48km, has a total watershed area of 3812km², it belonging to mountain region. According to regional geologic and physiographic characteristics, water loss and soil erosion can be divided into two patterns, namely, water erosion and gravitational erosion.

The main physiographic factors affecting water erosion are thickness of weathering crust (T , m), runoff depth (R , m/y), dissected density of valley and gullies (D , km/km²), rate of forest cover (P , %), etc. Then on the basis of the relationship between their quantitative indices and sediment yield modulus (M_s , t/km²×y) using the Least Square Method, an equation (1) is set up to

calculate sediment yield, it is calculated that sediment yield is $4.628 \times 10^6 \text{t/y}$ of which the bed load takes up 83.1% of total.

Because forest was denuded, rate of forest cover has been decreased from 45.1% in 1956 to 21.7% in 1980, thus causing water loss and soil erosion sediment yield increased 47.0% than in 1956.

Gravitational erosion is namely, rock fall and landslide. Huge rock fall and landslide lies in the Xintan of Three Gorges. A huge slip occurred in June 12, 1985, the volume of slumped mass amount to $18.91 \times 10^6 \text{m}^3$. According to the historical records, since A. D. 377 there have been four times huge rock fall and landslide occurred at Xintan and Lianziyan, brought about, development of water loss and soil erosion.

This regional environment deteriorate with, increasing aggradation of the river bed and valley plain, and the outward expansion of stony and rugged land.

Key words water loss and soil erosion, sediment yield modulus, rock fall and landslide

滑坡研究的新成果——《滑坡论文选集》

由中国滑坡学会筹备委员会和中国科学院成都山地灾害与环境研究所编辑的《滑坡论文选集》，于年内由四川科学技术出版社出版，全书约 35 万字。52 篇论文是从 1987 年全国滑坡学术讨论会上近 200 篇文章中精选出来的，反映了我国滑坡学研究的最新水平。内容包括我国滑坡研究的回顾与展望，国内外滑坡研究的动态及综述，区域滑坡调查及制图，滑坡形成机制及预测预报，滑坡勘测研究方法与手段，滑坡防治对策及工程设计等。可供从事山崩、滑坡等山地灾害防治的科研人员、工程技术人员、山区建设者、大专院校师生、领导干部等参阅。定价 6.00 元，欲购从速。联系地址：成都市华西后坝中国科学院成都山地灾害与环境研究所《滑坡论文选集》编辑委员会（邮政编码，610015）。

《滑坡论文选集》编辑委员会