

5•12汶川地震重灾区水土流失初步估算

陈晓清^{1,2}, 李智广³, 崔鹏^{1,2}, 刘宪春³

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 水利部水土保持监测中心, 北京 100053)

摘要: 5•12汶川地震诱发大量的崩塌、滑坡、堰塞湖, 导致了大量的水土流失。基于北京一号小卫星影像数据, 在重灾区共解译出崩塌、滑坡点总面积 $2\,264.53\text{ km}^2$ 。通过对重灾区距离地震破裂带分别做 5 km、10 km、30 km、50 km、100 km 的缓冲区, 分别统计不同区段的崩塌、滑坡体的面积, 结合野外实地考察和简易测量数据来确定不同区段的松散土体厚度, 初步计算出重灾区的崩塌、滑坡水土流失量为相当于全国一年的水土流失量。通过对重灾区 34 处重点堰塞湖的堰塞坝堆积方量进行计算, 估算所有堰塞湖的堰塞坝水土流失量为 $1.87 \times 10^8\text{ t}$ 。重灾区山地灾害的水土流失总量为 $55.86 \times 10^8\text{ t}$ 。讨论估算中存在的问题, 提出了进一步提高精度的措施。

关键词: 汶川地震; 水土流失; 崩塌; 滑坡; 堰塞湖; 估算

中图分类号: P315.9; P642.2; S157.1

文献标识码: A

我国是世界上水土流失最严重的国家之一, 每年土壤流失量约 $50 \times 10^8\text{ t}$ 。包括水蚀、风蚀和冻融侵蚀, 全国水土流失总面积为 $484.74 \times 10^4\text{ km}^2$, 占国土总面积的 51.1%, 其中水蚀和风蚀占 356.92 $\times 10^4\text{ km}^2$ [1]。

5•12汶川地震的主震强烈, 震中烈度达到 XI 度, 对山体造成了严重的破坏, 余震频繁而强烈, 使山体进一步遭到往复破坏。强烈的地震和余震在龙门山断裂带范围内造成了大量的崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生山地灾害, 这些次生山地灾害导致了大规模的水土流失。

大规模的水土流失, 对灾区的生态环境造成了严重的破坏, 为了给灾区恢复重建规划、灾后灾区的生态环境重建提供基础数据, 急需对目前地震导致的水土流失量进行估算。为此, 本文选择汶川地震的重灾区, 针对崩塌、滑坡、堰塞湖产生的水土流失进行估算。

1 自然环境背景

5•12汶川大地震的重灾区主要沿龙门山地震带展布, 呈 NE-SW 走向, 南起天全, 往东北经都江堰、汶川、茂县、北川、青川至陕西安康。长 500 km, 宽 150~200 km, 西南段较宽、东北段较窄, 总面积超过 $10 \times 10^4\text{ km}^2$ 。

1.1 地貌条件

汶川地震重灾区主要为龙门山区, 包括龙门山、茶坪山、九顶山。东北接摩天岭, 西南止岷江边。其西南段南部山顶面一般海拔为 2 500~3 500 m, 最高 4 000 m 左右; 北部 2 500~4 000 m, 茂县境内九顶山高达 4 984 m; 东北段 1 500~2 500 m, 最高为 3 000 m 左右, 总体中部高, 西南部较高; 东北段低。西南段属于青藏高原东部的前缘过渡地带, 山高谷深, 与成都平原界线分明, 犹如屏障拔地而起, 地貌反差强烈; 东北段则与之迥然不同。

收稿日期 (Received date): 2008-07-02; 改回日期 (Accepted): 2008-12-03.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划“973”计划 (2008CB425802) 和国家自然科学基金 (40501008) 资助。[This research is supported by 973 program (2008CB425802) and the National Science Foundation Project (40501008)]

作者简介 (Biography): 陈晓清 (1974-), 男, 四川遂宁人, 博士, 副研究员。主要从事滑坡泥石流防治理论研究和工程设计以及地理信息系统的研究。[Chen Xiaqing (1974-), male, born in Suining, Sichuan, P. H. D., majoring on landslide & debris flow prevention engineering and application of GIS. E-mail: xqchen@imde.ac.cn]

1.2 地质条件

龙门山断裂带的地层发育较全, 自中元古界至第四系均有发育。区内上三叠统广泛出露, 最厚可达 4 254 m, 但一般发育都不完整, 大部分地区缺失晚三叠世早期地层; 发育多套滑脱层, 如志留系龙马溪群 (S_1l) 和茂县群 (S_{mx})、中三叠统雷口坡组 (T_2l) 一下三叠统嘉陵江组 (T_1j) 等, 龙门山冲断带多期构造变形受多套滑脱层的影响, 形成现今的极为复杂的地质构造^[2]。龙门山断裂带前缘发育的中三叠世—侏罗纪地层最全, 区内上三叠统广泛出露, 三叠系以前的地层可以作为基底, 三叠纪以后的主要沉积地层自下而上包括: 三叠纪、侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系^[3]。

在大地构造上, 龙门山断裂带由一系列压性、压扭性断裂及褶皱组成。断裂以青川—茂汶断裂、北川—映秀断裂、江油—都江堰断裂规模较大, 断裂总体走向北东 40°左右, 倾向 NW, 倾角 50°~80°, 还有南北向断裂。断裂发育历史悠久且具有多期活动, 新生代以来又有新的活动。通过对该地区岩石样品的裂变径迹和镜质体反射率的测定以及计算机模拟得出, 龙门山地区 10 M a 以来至少隆升了 5~6 km, 隆升速率为 0.5~0.6 mm/a^[4]。

在 5·12 汶川地震前, 龙门山断裂带附近地震活动频度低, 强度不大, 历史上最大地震震级为 6.5 级 (1675 年汶川地震), 地震分布呈 NE 向, 与龙门山断裂带走向一致。自 1169 年以来龙门山及邻近区域共发生 $I_0 > VI$ 度的地震 17 次, 其中 VII 度以上地震 4 次, VI 度地震 13 次, 震源深度较浅。龙门山断裂带位于重力梯度带上, 也是地壳厚度的分界线, 其西侧地壳厚度为 60~70 km, 东侧在 50 km 以内。

1.3 气象与水文

龙门山区的气象主要受东南暖湿气流及俄罗斯寒流的控制。龙门山东部迎风坡雨泽充沛, 是四川著名的鹿头山暴雨区所在地, 从东南来的暖湿气流受龙门山的阻挡, 使龙门山的山前区域成为川西北的暴雨中心之一。西部背风坡岷江河谷雨水稀少, 气候十分干燥。

区内汶川、茂县、理县属少雨区, 多年平均年降水量在 500~800 mm; 汶川南部、青川县、平武县属过渡区, 多年平均年降水量分布在 800~1 200 mm; 其余地区多年平均年降水量在 1 200 mm 以上, 其中, 北川、安县、绵竹、什邡、彭州、都江堰一带龙门山暴雨高值区, 多年平均年降水量在 1 200~2 200

mm, 位于北川、安县、绵竹一带的高值中心区等值线值最高值为 2 500 mm。

区内河流众多, 有大小河流 200 余条, 由南西向东北主要属岷江、沱江、涪江和嘉陵江水系。水流方向多是由盆地边缘山地向盆地内汇入, 其中沱江、涪江发源于灾区的龙门山脉。

2 重灾区崩塌、滑坡水土流失量

为了获得重灾区的完整影像资料, 对比了不同遥感平台、不同分辨率的数据, 包括法国 SPOT、美国 TM、KONOS、中巴资源卫星等, 以及遥感飞机的航空影像数据。限于灾区常出现多云天气, 使得分辨率高的遥感平台, 在短时间内无法获取完整的灾区影像数据; 遥感飞机又限于抢险救援的飞机占用宝贵的飞行时间段、高山峡谷地貌飞行难度很大, 在短时间内也没能覆盖全灾区。这里基于 2008 年北京一号小卫星 32 m 分辨率多光谱遥感影像, 采用人机交互式解译方式, 利用 5 月 20 日至 31 日之间的影像数据来提取了地震重灾区崩塌、滑坡体信息, 并对照 2007 年遥感影像及 2005 年土地利用图, 对数据进行校正。

基于北京一号小卫星影像数据, 在 203 357.25 km² 的重灾区范围内, 共解译出崩塌、滑坡点 1 135 725 处, 总面积 2 264.53 km²。

5·12 汶川地震破裂带主要沿龙门山中央断裂带——映秀—北川断裂带展布, 破裂带南起映秀, 经龙池镇、虹口镇、龙门山镇、茶坪镇、北川县城、南坝镇、茶坝延伸至陕西境内。基于崩塌、滑坡距离地震破裂带越近, 其破坏土体厚度越大的基本规律, 对重灾区分别做 5 km、10 km、30 km、50 km、100 km 的缓冲区, 见图 1。并对不同距离的缓冲区内崩塌、滑坡造成的水土流失进行统计分析, 分别统计 < 5 km、5~10 km、10~30 km、30~50 km、50~100 km、> 100 km 的崩塌滑坡体的数量和面积, 并计算各区段中滑坡体的分布密度 (滑坡体面积/区段面积, 单位为 km²/km²), 图 2。

由图 2, 5 km 缓冲区中滑坡体面积为 475.9 km², 占总滑坡体面积的 20.9%; 5~10 km 缓冲区范围内, 滑坡体面积为 326.0 km², 占 14.3%; 10~30 km 缓冲区范围内, 滑坡体面积为 554.7 km², 占 24.0%; 30~50 km 缓冲区范围内滑坡体面积为 326.9 km²;

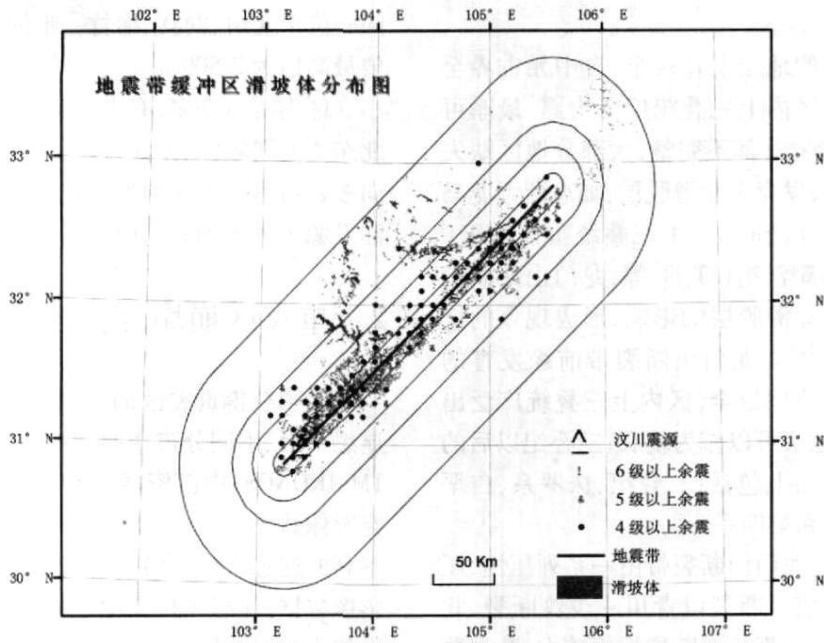


图 1 不同距离缓冲区崩塌滑坡分布图
Fig. 1 Distribution of landslides in different buffers

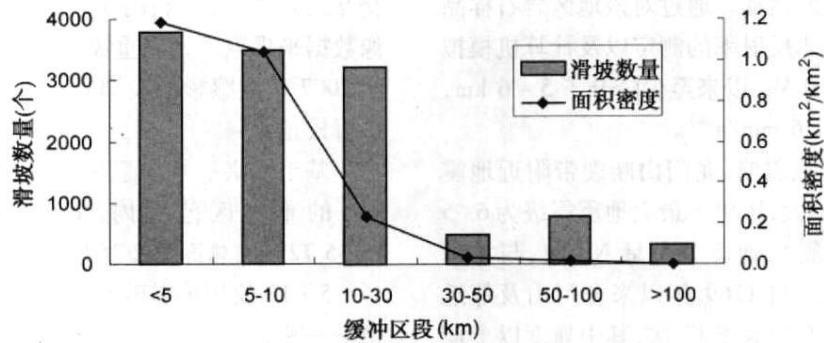


图 2 不同距离缓冲区内崩塌、滑坡体数量及面积密度
Fig. 2 Amount and area density of landslides in different buffers

50~ 100 km 缓冲区范围内滑坡体面积为 315.1 km², 100 km 缓冲区以外滑坡体面积为 366.7 km²。可见, 随着距离地震带的距离的增大, 滑坡体分布密度持续减小。

根据 2008- 06- 24~ 27 灾区野外现场考察和皮尺、人体身高对比等简易测量结果, 初步确定崩塌、滑坡体的平均厚度为: 5 km 缓冲区内厚约 2.5 m; 5~ 10 km 缓冲区内厚约 2.0 m; 10~ 30 km 厚约 1.0 m; 30~ 50 km 缓冲区内厚约 0.7 m; 50~ 100 km 缓冲区内厚约 0.5 m; 100 km 缓冲区以外厚 0.2 m。由此, 初步计算区域崩塌滑坡的水土流失体积量为: $(475.9 \times 2.5 + 326.0 \times 2.0 + 554.7 \times 1.0 + 236.9 \times 0.7 + 315.1 \times 0.5 + 366.7 \times 0.2) \times 10^6 = 27.93 \times 10^8 \text{ m}^3$

根据《工程地质手册》^[5]及云南东川蒋家沟砾石土现场测试参数^[6], 地震崩塌、滑坡堆积土体的孔隙率在 30% ~ 40%, 体积含水量在 10% ~ 20%, 则堆积岩土体的容重约为 2.0 t/m³ 计算, 则崩塌、滑坡的水土流失量为 $55.86 \times 10^8 \text{ t}$ 。

3 重灾区堰塞坝水土流失量

堰塞湖是一种自然的地貌现象, 主要是在一定的地质和地貌条件下, 由冰碛物、滑坡体、泥石流堆积体、火山喷发物及溢流物等形成横向向堤坝堵塞河道, 造成河流上游壅水形成的湖泊。根据成因可以分为冰川堰塞湖、滑坡堰塞湖等。其中, 由于地震引发河道两侧山体产生滑坡、崩塌、泥石流, 滑坡体、崩

塌体、泥石流流体进入河道形成堤坝, 阻塞河道形成的堰塞湖称为地震堰塞湖。

在历史的地震事件中, 地震诱发产生堰塞湖的情况在山区较为常见, 而且地震堰塞湖由于快速堆积形成, 其坝体结构一般较为松散, 没有胶结, 在渗透水压力作用下溃决, 溃决产生的洪水或泥石流会对下游产生严重的危害^[7]。松散的堰塞坝体也很容易在溃决洪水作用下被侵蚀, 向下游输送。

5• 12汶川地震导致青竹江、通口河、睢水河、

绵远河、石亭江、沙金河、文井江、岷江干流等流域上, 形成大小小滑坡堵塞江河的堰塞湖 130 余处, 其中规模较大、威胁较为严重并且被水利部前线抗震救灾指挥部列为重点防治的堰塞湖共 34 处。这里通过估算这些重点堰塞湖的滑坡堰塞坝堆积方量来推算所有堰塞坝造成的水土流失量。表 1 为 34 处重点堰塞坝的特征参数及堰塞坝堆积松散固体物质体积。

表 1 重点堰塞坝的参数表
Table 1 The basic parameter of key dammed lakes

| 编号 | 名称 | 位置 | 流域 | 坝高 (m) | 长度 (m) | 宽度 (m) | 坝体面积 (m ²) | 堰塞坝体积 (10 ⁶ m ³) |
|----|------|----|-----|---------|--------|--------|------------------------|---|
| 1 | 治城 | 北川 | 通口河 | 10 | | | | 1. 20 |
| 2 | 唐家山 | 北川 | 通口河 | 82~ 124 | 803 | 611. 0 | 490 633. 0 | 20. 37 |
| 3 | 苦竹坝下 | 北川 | 通口河 | 60 | 300 | 200. 0 | 60 000. 0 | 1. 65 |
| 4 | 新街村 | 北川 | 通口河 | 20 | 350 | 200. 0 | 70 000. 0 | 2. 00 |
| 5 | 白果村 | 北川 | 通口河 | 10 | 200 | 100. 0 | 20 000. 0 | 0. 40 |
| 6 | 岩羊滩 | 北川 | 通口河 | 50 | 250 | 120. 0 | 30 000. 0 | 1. 60 |
| 7 | 孙家院子 | 北川 | 通口河 | 20 | 400 | 150. 0 | 60 000. 0 | 1. 60 |
| 8 | 罐子铺 | 北川 | 通口河 | 60 | 390 | 110. 0 | 42 900. 0 | 1. 80 |
| 9 | 唐家湾 | 北川 | 复兴河 | 40 | 400 | 300. 0 | 120 000. 0 | 4. 00 |
| 10 | 文家坝 | 平武 | 石坎河 | 25~ 50 | 950 | 270. 0 | 256 500. 0 | 5. 32 |
| 11 | 马鞍石 | 平武 | 石坎河 | 67. 6 | 800 | 200 | 160 000. 0 | 5. 80 |
| 12 | 石板沟 | 青川 | 青竹江 | 70 | 800 | 300. 0 | 240 000. 0 | 10. 50 |
| 13 | 红石河 | 青川 | 红石河 | 50~ 100 | 500 | 400. 0 | 200 000. 0 | 4. 00 |
| 14 | 东河口 | 青川 | 青竹江 | 20~ 100 | 800 | 400. 0 | 320 000. 0 | 10. 00 |
| 15 | 肖家桥 | 安县 | 茶坪河 | 63. 7 | 272 | 198. 0 | 53 856. 0 | 2. 00 |
| 16 | 老鹰岩 | 安县 | 睢水河 | 130 | 240 | 200. 0 | 48 000. 0 | 3. 00 |
| 17 | 罐滩 | 安县 | 睢水河 | 60 | 200 | 120. 0 | 24 000. 0 | 1. 20 |
| 18 | 黑洞崖 | 绵竹 | 绵远河 | 50~ 80 | 120 | 50. 0 | 6 000. 0 | 0. 40 |
| 19 | 小岗剑上 | 绵竹 | 绵远河 | 62 | 172 | 120. 0 | 20 640. 0 | 0. 60 |
| 20 | 小岗剑下 | 绵竹 | 绵远河 | 30 | 150 | 150. 0 | 22 500. 0 | 0. 34 |
| 21 | 一把刀 | 绵竹 | 绵远河 | 25 | 100 | 80. 0 | 8 000. 0 | 0. 10 |
| 22 | 干河口 | 石邳 | 石亭江 | 10 | | | | 0. 10 |
| 23 | 马槽滩上 | 石邳 | 石亭江 | 40 | 300 | 100. 0 | 30 000. 0 | 1. 00 |
| 24 | 马槽滩中 | 石邳 | 石亭江 | 40 | 90 | 80. 0 | 7 200. 0 | 0. 20 |
| 25 | 马槽滩下 | 石邳 | 石亭江 | 30 | 100 | 60. 0 | 6 000. 0 | 0. 12 |
| 26 | 木瓜坪 | 石邳 | 石亭江 | 15 | 100 | 20. 0 | 2 000. 0 | 0. 20 |
| 27 | 燕子岩 | 石邳 | 石亭江 | 10 | 30 | 20. 0 | 600. 0 | 0. 01 |
| 28 | 红村电站 | 石邳 | 石亭江 | 40 | 100 | 60. 0 | 6 000. 0 | 0. 24 |
| 29 | 谢家店子 | 彭州 | 沙金河 | 10 | 250 | 70. 0 | 17 500. 0 | 0. 12 |
| 30 | 凤鸣桥 | 彭州 | 沙金河 | 10 | 300 | 80. 0 | 24 000. 0 | 0. 14 |
| 31 | 竹根桥 | 崇州 | 文井江 | 90 | 500 | 68. 0 | 34 000. 0 | 1. 53 |
| 32 | 六顶沟 | 崇州 | 小河 | 60 | 500 | 50. 0 | 25 000. 0 | 0. 75 |
| 33 | 火石沟 | 崇州 | 小河 | 120 | 500 | 40. 0 | 20 000. 0 | 1. 20 |
| 34 | 薤子坪 | 崇州 | 小河 | 8 | 1200 | 70. 0 | 84 000. 0 | 0. 67 |

由表 1 可以计算得出重点堰塞坝的体积方量为: $84.16 \times 10^6 \text{ m}^3$, 岩土体容重按 2.0 t/m^3 计算, 其水土流失量为 $1.68 \times 10^8 \text{ t}$ 。

这些重点堰塞湖的堰塞坝方量按占有堰塞坝方量的 90% 计算, 则所有堰塞湖的堰塞坝水土流失量为 $1.87 \times 10^8 \text{ t}$ 。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于北京一号小卫星影像数据, 在 $203\ 357.25 \text{ km}^2$ 的重灾区范围内, 共解译出崩塌、滑坡点 1 135 725 处, 总面积 $2\ 264.53 \text{ km}^2$ 。基于崩塌、滑坡距离地震破裂带越近, 其破坏土体厚度越大的基本规律, 对重灾区分别做 5 km、10 km、30 km、50 km、100 km 的缓冲区。分别统计不同区段的崩塌、滑坡体的面积, 结合野外实地考察和简易测量数据来确定不同区段的松散土体厚度, 初步计算出重灾区的崩塌、滑坡水土流失量为 $55.86 \times 10^8 \text{ t}$ 相当于全国一年的水土流失量。

通过对重灾区 34 处重点堰塞湖的堰塞坝堆积方量进行计算, 估算所有堰塞湖的堰塞坝水土流失量为 $1.68 \times 10^8 \text{ t}$ 。

4.2 讨论

限于时间紧迫、评估采用的卫星影像分辨率偏低, 许多小于最低识别精度 $4\ 096 \text{ m}^2$ 的小崩塌、滑坡体被遗漏, 还有成片崩塌、滑坡体中间的零星地块被误判为崩塌、滑坡体, 造成了解译数据与实际存在一定的误差。在进一步评估时, 可以通过利用高分辨率影像数据, 叠加高精度 DEM 来提高精度, 减小误差。

不同缓冲区段内岩土体厚度的确定是崩塌滑坡水土流失量计算的关键点之一, 这里限于时间的紧迫, 采取简单的测量手段, 如皮尺、人体身高对比等, 使得给定的厚度值与实际存在一定误差。为了提高精度, 可以针对不同区段的崩塌滑坡, 采用钻探、地质雷达等勘测手段, 精确测量土体厚度。

由于地震导致岩土体的松动, 在暴雨的激发下, 未来 5~10 a 内还会有新的崩塌、滑坡、泥石流和堰塞湖产生^[8-9], 导致新的大量水土流失。在下一步更精细评估时, 应该考虑这部分水土流失量。

致谢: 本工作是在水利部水土保持监测中心领导下完成的, 在此感谢!

参考文献 (References)

- [1] Li Zhiguang, Cao Wei, Liu Bingzheng, Luo Zhilong. Current status and developing trend of soil erosion in China[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(1): 57~62 [李智广, 曹伟, 刘秉正, 罗志东. 我国水土流失状况与发展趋势研究[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 57~62]
- [2] Jin Wenzheng, Tang Liangjie, Yang Keming et al. Progress and problem of study on characters of the Longmen mountain thrust belt [J]. *Geological Review*, 2008, 54(1): 37~46 [金文正, 汤良杰, 杨克明, 等. 龙门山冲断带构造特征研究主要进展及存在问题探讨[J]. 地质评论, 2008, 54(1): 37~46]
- [3] Jin Wenzheng, Tang Liangjie, Yang Keming et al. Deformation and zonation of the Longmenshan fold and thrust zone in the western Sichuan basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(8): 1073~1080 [金文正, 汤良杰, 杨克明, 等. 川西龙门山褶皱冲断带分带性变形特征[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1073~1080]
- [4] Liu Shugen, Luo Zhili, Dai Sukan et al. The uplift of the Longmenshan thrust belt and subsidence of the western Sichuan foreland basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1995, 69(3): 205~214 [刘树根, 罗志立, 戴苏兰, 等. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降[J]. 地质学报, 1995, 69(3): 205~214]
- [5] Editor Committee of Engineering Geology. Manual of Engineering Geology. Beijing: China Architecture & Building Press, 1992 195 [《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册 (第三版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1992 195]
- [6] Chen Xiaoping, Cui Peng, Feng Zili et al. 2006 Artificial rainfall experimental study on landslide translation to debris flow [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 25(1): 106~116 [陈晓清, 崔鹏, 冯自立, 等. 2006 滑坡转化泥石流起动的人工降雨试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 25(1): 106~116]
- [7] Seismological Bureau of Sichuan Province. Diexi Earthquake in 1933 [M]. Chengdu: Science and Technology Press of Sichuan, 1983 [四川省地震局. 1933 年叠溪地震 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983.]
- [8] Cui Peng, Wang Daojie, Fan Jianrong et al. Current status and comprehensive control strategies of soil erosion for the upper Yangtze and other rivers in the Southwestern China [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(1): 43~50 [崔鹏, 王道杰, 范建容, 等. 长江上游及西南诸河区水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 43~50]
- [9] Cui Peng, Zhong Dunlun, Li Yong. Landslide and debris flow in Zeqi, Meigu county, Sichuan province [J]. *J. of Mountain Research*, 1997, 15(4): 282~287 [崔鹏, 钟敦伦, 李泳. 四川美姑则租滑坡泥石流[J]. 山地学报, 1997, 15(4): 282~287]

Estimation of Soil Erosion Caused by the 5·12 Wenchuan Earthquake

CHEN Xiaqing^{1, 2}, LI Zhiguang³, CUI Peng^{1, 2}, LU Xianchun³

(1 Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, C.A.S., 610041 Chengdu, China;

2 Institute of Mountain Hazards and Environment, C.A.S., 610041 Chengdu, China;

3 The Center of Soil and Water Conservation Monitoring, MWR, 100053 Beijing, China)

Abstract The Wenchuan earthquake on May 12, 2008 has induced many secondary disasters, such as collapse, landslide, dammed lake, as well as a wide range of soil erosion. Based on the image data from Beijing No. 1 small satellite, it is estimated that collapses and landslides cover a total area of 2 264.53 km² in the heavy disaster areas. Furthermore, distribution of the total erosive area is analyzed with respect to the subregions in radius of 5 km, 10 km, 30 km, 50 km, 100 km respectively from the major fault. Besides, the erosive depth has been estimated by field investigation. Consequently, the amount quantity of soil erosion of collapse and landslide is about 55.86×10^8 ton. In addition, the erosion quantity from the 34 major dammed lakes is estimated as 1.87×10^8 ton. Thus the soil erosion in the quake-hit area amounts to the quantity in a whole year before. Finally, some problems involved in the estimation are discussed.

Key words Wenchuan earthquake; soil erosion; landslide; dammed lake; estimation

《山地学报》来稿要求 (二)

为了便于国外数据库的检索,如果是中文参考文献,应附上对应的英文。连续出版物及其析出文献作者不超过 3 人全部列出,作者之间加逗号;作者超过 3 人只列前 3 位,后加“等”字。例举如下:

a 期刊著录格式 [序号]作者.文章题目[J].原出版物名称,年,卷(期):起止页码

中文:

[1] Zha Baipin, Yao Yonghui, Mo Shenguo, *et al*. Digital spectra of altitudinal belts and their hierarchical system[J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 660~665 [张百平,姚永慧,莫申国,等.数字山地垂直带谱及其体系的探索[J].山地学报, 2002, 20(6): 660~665]

外文:

[2] Thompson L.G., Yao Tandong, Davis M.E., *et al*. Tropic climate instability: the Last Glacial Cycle from a Qinghai-Tibetan Plateau Ice Core[J]. *Science*, 1997, 276: 1 821~1 825 专著著录格式 [序号]主要责任者.书名[M].出版地:出版者,出版年.起止页码

中文:

[3] Shi Yafeng, Huang Maohuan, Yao Tandong, *et al*. Glaciers and Their Environments in China[M]. Beijing: Science Press, 2000: 1~410 [施雅风,黄茂桓,姚檀栋,等.中国冰川与环境[M].北京:科学出版社,2000: 1~410]

c 论文集著录项目、格式和符号

[序号]作者.析出文章题目[A].见:编著者.论文集[C].出版地:出版者,出版年.起止页码

中文:

[4] Fan Jie. Industrial restructuring and regional economic development[A]. In: Lu Dadao, *et al*. Regional Development of China [C]. Beijing: The Commercial Press, 2001: 71~76 [樊杰.产业结构调整与区域经济发展[A].见:陆大道,等.中国区域发展报告[C].北京:商务印书馆,2001: 71~76]

d 学位论文著录格式和符号

[序号]作者.标题[D].保存地:保存者,年份.

其他引用论文的著录格式,请参考近期本刊发表的文章.