

苍山十八溪的水石流及其防治*

李德基

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所)

提 要 云南省苍山十八溪发育十分典型的水石流,流动时表面为高含沙洪水,底部为粗相沙砾和巨石,固液两相离析为非均质两相流。流体具有很大的动能和冲击力,对富绕的苍洱平坝区造成危害。为了治灾除害,保护生态环境,本文对防治目的、治理目标、防治方针与方法,以及实施顺序、程序、方案、技术措施等问题作了阐述。

关键词 苍山十八溪 水石流 灾害防治 堆积扇

苍山位于滇西大理白族自治州中部,水石流发育十分典型,对苍洱平坝危害频繁。历史上虽经多期防治,但至今灾害仍未解除。目前已纳入“八五”计划并开始实施。

一、水石流形成的自然环境

(一)地质地貌

区内出露地层从老至新为:

1. 前寒武系苍山群 是构成苍山的主体,为深变质岩系。
2. 泥盆系下统康廊组 见于本区北部,为白云质灰岩、白云岩。
3. 二叠系玄武岩系 见于本区北部,以一套杏仁状,角粒状,緻密块状玄武岩为主。
4. 上三叠统歪古组 分布于马鹿塘—中山和西洱河两侧。
5. 第四系松散堆积层 上更新统冰水堆积物,呈条带状和斑状分布,为粘土夹砾石层;全新统冲积、洪积和湖积,分布于苍山东麓至洱海西侧为漂石、砾沙和粘土等。

晋宁、喜山期花岗岩、闪长岩及基性、超基性岩体,除云弄峰一带出露面积较大外,一般以岩脉或岩珠状零星分布。

大地构造上本区位于青藏滇缅“歹”字型构造体系与经向构造体系的复合部。洱海深断裂,呈北西-南东向。后期为北东向及东西向断裂错断,形成棋盘式构造格局。

洱海深断裂地史上为一活动构造带。受多期褶皱、断裂与岩浆作用,前第四系地层普遍变质,片理、片麻理发育,岩石破碎。

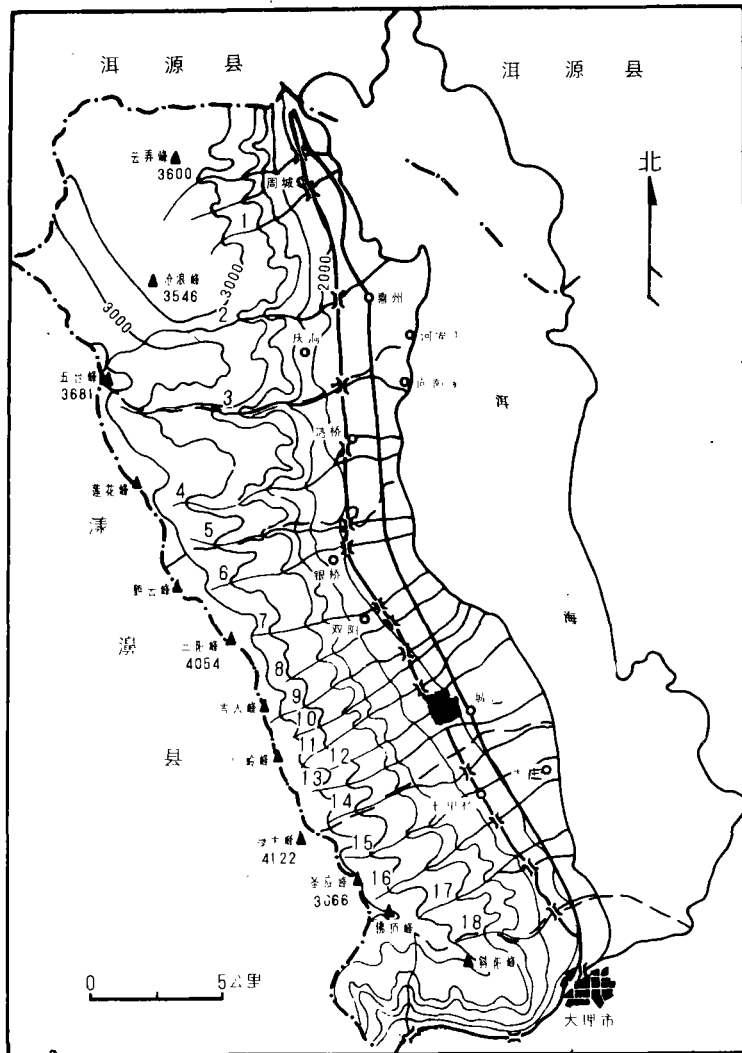
该区是一个现代强震区。据统计,公元 886—1990 年,本区 ≥ 4.0 级地震共 46 次,其中 6.0—6.9 级的 6 次, ≥ 7.0 级的 2 次。1925 年 3 月 16 日大理 7.0 级地震,震中位于苍山山前北西向断层带上。

* 文中地质地貌部分蒙李钟武指正,增加野外工作并提供部分资料的有李泳,冯水志和鲁小兵,谨致谢忱。

本文改回日期:1992-07-14.

本区西部为山地,东部为平坝和水域,地貌形态截然不同^[1]:

1. 西部中高山区 各溪山口至分水岭,海拔 2300—4122 米(最高马龙峰),东西宽 5—7 公里,相对高差约 1700 米,形成高山深谷。山顶受冰川与寒冻风化作用,刃脊、角峰、陡岸、跌坎耸立,溪沟沿东西向发育,切割深邃。



附图 苍山十八溪位置图

Figure The location of Shibaxi at the Cangshan Mountain

1. 霞移溪; 2. 万花溪; 3. 阳溪; 4. 茫涌溪; 5. 锦溪; 6. 灵泉溪; 7. 白石溪; 8. 双鸳溪; 9. 隐仙溪; 10. 梅溪; 11. 桃溪; 12. 中和溪; 13. 白鹤溪; 14. 黑龙溪; 15. 清碧溪; 16. 莫残溪; 17. 停溪; 18. 阳南溪

2. 中部山麓堆积扇群 箐口下游海拔 2000—2300 米段,为冲积、洪积与泥石流堆积区,地面坡度 5°—8°,松散碎屑物深厚,越近箐口颗粒越粗。扇顶残留有巨大的漂砾。

3. 东部湖滨平坝区 东临洱海,西接堆积扇群,为断陷湖盆的沉积区,地面坡度 3°—5°,沙、粘土等淤积层厚达数百米。

(二) 气象水文

本区地处低纬度、地势低、高差大,“立体气候”显著。从低到高,由山地北亚热带—暖温带—中温带—寒温带过渡。气温随海拔升高的递减率为 0.66℃/100 米。因此平坝热、

山麓温、中山凉、高山冷^[2]。

本区降水丰沛但干湿季分明。平坝区年均降水量为 1078.9 毫米,11—4 月干季降水量 141.7 毫米,占 13.1%;5—10 月雨季降水量 937.2 毫米,占 86.9%。降水垂直递增率为 60 毫米/100 米。最大降水带在海拔 3000—3200 米处,年降水量达 1846 毫米(花甸站实测)。年均暴雨日数 2.6 天,大雨 11.1 天,一日最大降雨量达 136.8 毫米,1 小时和 10 分钟最大雨强分别为 48.5 毫米和 16.1 毫米。局地暴雨是水石流形成的主要激发因素。

(三)植 被

据统计,苍洱陆域总面积 4.36 万公顷,其中有林地 0.54 万公顷,灌木林 1.49 万公顷,疏林地 0.06 万公顷,森林(照片 1)¹⁾覆盖率达 47.8%,有林地覆被率 12.3%。以阳溪为界,南段覆盖率高而北段较低。

(四)人 为 活 动

苍山东坡有喜州、湾桥、银桥、城邑和七里桥等 5 个乡,201 个自然村,3.27 多万户,15.76 万人,有耕地 0.84 万公顷,人均 0.053 公顷,以种植业为主。沿小岭峰至五台峰一线大理石蕴藏丰富,开采历史悠久。目前,白石、双鹭、桃、梅、隐仙、茫涌和阳溪等沟的中上游均有开采矿点,但布局分散,手段落后,超药量爆破和乱挖滥弃等问题突出。

苍洱之间形成山前和滨海两条人口聚居带。而今人口逐渐向经济迅速发展的滇藏公路沿线集中,受泥石流和山洪威胁严重。特别是近年来滥伐使森林覆盖率不断降低,修路、采石导致山坡失稳,挖沙取石,弃碴堵河(照片 2)阻碍了行洪。从而泥石流活动也更加频繁。1991 年 7 月 19 日莫残溪、清碧溪和黑龙溪暴发水石流,1991 年 8 月 16 日霞移溪、棕树河暴发水石流(照片 3)并酿成了灾害。

二、水石流的特征

(一)流体组成与性质

苍山十八溪上游前寒武系片麻岩岩性坚硬,整体性较好,崩塌、滑坡等重力侵蚀不发育,缺少松散碎屑物的集中供应源地。区内历经古冰川作用,寒冻风化作用和流水侵蚀,松散碎屑物储量分散,颗粒粗大,粉沙和粘土等微细组分的含量很低($<2\%$),为水石流物质的潜在储供源地。

十八溪中游古泥石流—洪积扇(照片 4),以及山麓一带的断层破碎带为水石流形成区,不断地提供和补充了泥石流活动所需的固体物质。由于该区缺乏亲水性微粒,无法形成粘性浆体,以致沙浆松散而无整体结构,不仅层间自由水容易流失,沙砾之间充填的孔隙水也会离析。因而无法形成有整体结构的粘性泥石流,也难以形成含细粒塑浆的稀性泥石流或过渡性泥石流。多形成表面为含沙洪流,底层为漂石和沙砾等推移质的典型水石流(照片 5)。流动时固液两相离析,水是输送介质;巨石起动作滚动推移,漂石跃起输移,泥沙悬移输送。流动具有二元性,为典型的非均质两相流^[3]。

1)本文照片见刊末图版 I, I。

(二)形成方式与规模

十八溪水石流属于水力侵蚀起动的暴雨泥石流。当大暴雨或短历时局地暴雨降落时,水源区径流快速汇聚,洪水峰高流急,对形成区沟床集中冲刷,产生塌岸致松散固体物质不断加入而形成水石流(照片 6)。

水石流形成过程中无快速崩滑的集中供应方式,而水力侵蚀供应固体物质分散且数量较少,流体的体积浓度相对较低(折合容重为 1.40—1.60 吨/立方米),一场水石流输移固体物质的总量,约为数千至数万立方米,属于中小型规模。少数间歇期很长的可以达到或超过 10 万立方米,属于大型规模。前者如 1990 年 7 月 21 日,莫残、清碧和黑龙溪发生的水石流;1991 年 8 月 16 日,霞移溪和棕树河发生的水石流,以及近期内白鹤、锦、停溪溪和小干河所暴发的水石流。后者如 1971 年 7 月 3 日,阳溪所暴发的水石流。它们都给沿溪一带的村镇、农田、交通、水利设施和下游洱海造成了直接灾害和间接危害(照片 7)。

(三)运 动 特 征

苍山十八溪南段以莫残溪为代表,北段以阳溪为代表,水石流运动具有以下特征:

1. 间歇性 水源区海拔 2450 米以下至箐口,处在泥石流形成区上部,下与堆积扇相接。区内沿程沟床质储分散并时有小股水石流发生,但其中多数无法进入形成区便在中途停歇而消亡了,究其原因分析是由于沟道弯曲,宽窄变化多,沟床糙率大,运动阻力也大,小股水石流动能耗尽也难出箐口,便在弯道凹岸或沟道突然扩宽处停积下来(照片 8),故运动呈间歇性。莫残溪箐口供水池上游 1990 年的水石流堆积体,阳溪内基岩峡口(宽谷段上端)的水石流堆积体即为例证(照片 9)。

2. 游动性 由于水石流为非均质两相流,流体具有二元结构。当固相中含有大量粗颗粒时运动惯性很大,底层推移质易和表层水流分离,便出现游动性。沿宽浅河段流动的水石流易左冲右突游动或蛇曲前进,导致造床改道频繁发生。即使在人工排导槽内流动,若断面设计不当,宽深比不适,水石流也会在槽内“耍龙”左右摆动,对底部和边墙造成集中冲刷,使工程遭受破坏。阳溪水石流排导工程前后两番改断面尺寸均未奏效,就是由于水石流的游动性所造成的(照片 10)。

3. 分选性 从总体上看,水石流底层推移质运动属于一种“层动”现象。大小不等的固体颗粒受流水挟带巨石滚动,漂砾跃移,泥沙悬移输送,流态不同,受力各异。挟带力既与固相体形有关,又随水流性质而定。由于水石流的体积浓度较高,分散系内固相颗粒之间的离散力较大^[3],颗粒之间,颗粒与沟床之间摩擦、撞击十分频繁,沿形成-流通-堆积段,沟槽受推移质作用呈现粗化现象并由强到弱递变;与此相应,推移质呈现由大到小,结构从模糊到清晰的分选。它与平原河流的洪水相分选有许多相似之处,惟粒径(D)粗大($D > 0.3$ 米,常含有 > 1 米的巨石),具次棱角状,无定向排列。沿程粒径递变亦不象洪水相分选明显。

(四)动 力 特 性

对莫残、霞移、棕树和阳溪的水石流灾害研究发现:十八溪的水石流流速大、流程长、冲刷深、冲击力强,冲淤变化快且幅度大。

箐口以下至滇藏公路附近为水石流的形成-流通段,堆积区在滇藏公路至中路(即下

盐线)之间。流程长 3—4 公里,高差 80—250 米,上段纵比降为 10%,下段为 3%左右,其间逐步过渡。水石流形成后沿流通段加速,流速可达 4—6 米/秒,常掀动 1 米左右的巨石。流体动能和单个颗粒的冲击力很大,能刷深沟床,掏空建筑物基础,冲击破坏桥墩导致桥梁垮塌。跨莫残溪的古驿道桥(中墩宽 3.2 米,长 8.5 米,高 3.5 米,由坚硬的条石砌筑)和阳溪山口罗刹阁石拱桥,就是由于水石流冲刷基础,冲击桥墩而破坏的(照片 11)。

含大量固相物质的水石流,运动中因急弯、断面收缩、突然扩大或垂直跌落,流动阻力急剧改变,流态来不及调整。在惯性力作用下出现爬高、弯道超高、反坡堆积、骤然停积、急剧冲刷,甚至改道等大冲大淤现象。与稀性泥石流性质多有相似,但运动特性和动力特征更突出,前者运动介质为含沙水流,几乎无流变浆体性质,故颗粒流的特性更显著^[3]。

现场调查 1990 年 7 月 21 日,莫残溪的水石流将箐口醉仙桥上游沟底冲深 3.8 米,形成深槽(照片 12);并在滇藏公路下游至中路桥之间,将泄流槽全部淤满,顶部与道路齐平,淤厚达 2.5 米。回淤段长 836 米,平均宽 15 米,淤积总量约 2.5 万立方米。

三、水 石 流 防 治

(一)危 害 性

附表 典型水石流灾害统计表

Table Statistics of the typical water debris flow disasters

溪名	发生时间	起因及过程	损失状况	备 注
停 溪	1980 年 9 月	暴发前 5 天连续降雨,洪水冲刷沟床及滑坡体,挟带大量沙石使沟床淤平,河流改道	崇邑村 60 多户被淹没,倒房 3 间,1 人受伤,20.0 公顷稻谷被沙石淤埋	
莫 残 溪	1990 年 7 月 21 日	子夜 2 时降暴雨,凌晨 6 时水石流暴发,持续时间约 4 小时	水石流冲毁古驿道桥,10 多户进水,毁房 3 间。大庄村淹没 110 户,农田 30.0 公顷,埋 3.3 公顷,毁河堤 500 米,房 5 间,直接经济损失 27 万元	50 年代至今 6 场水石流,受灾 630 户,3150 人(次),冲埋农田 15.0 公顷,淹没 70.0 公顷,毁房 52 间,河堤 2500 米,受伤 18 人,直接经济损失达 64 万元
白 鹤 溪	1950 年 6 月	由局地暴雨引起	冲毁农田 6.7 公顷,淹没 67.0 公顷,毁民房数间,10 多户房屋进水,造成 3 人死亡	
锦 溪	1970 年 6 月	1969 年 3 月上游火灾,毁林 1330.0 公顷,山坡开裂并有滑坡活动。雨季首场暴雨将疏松的表土冲下,暴发了水石流	淹埋农田 6.7 公顷,70 多户人家房屋进水	
小 干 河	1966 年 夏季	上游有砖瓦窑 30 多座,伐木烧柴使植被遭严重破坏,地表疏松,冲沟发育,泥石流由暴雨激发	庆洞村 30 多户进水,淹埋庙宇 1 座,冲毁农田 6.7 公顷	此河不属于十八溪之列,为苍洱区间一溪沟
阳 溪	1971 年 7 月 3 日	傍晚降暴雨持续两个多小时,水石流子夜暴发,后续洪水至清晨方才消退	箐口石桥被毁,滇藏公路桥孔淤堵。冲淹农田 34.7 公顷,冲毁河堤 738 米,淤积沟道 3500 米,沿沟 7 个村庄进水,沙埋耕地 6.7 公顷	50 年代至今共暴发 7 场水石流,受灾 2001 户,8290 人(次),埋农田 199.0 公顷,淹没 187.0 公顷,毁堤 10350 米,死亡 5 人,直接经济损失达 101 万元
麓 移	1991 年 8 月 16 日	由局地暴雨引起,过程历时约 3 小时	将箐口外 1.2 公里防洪堤冲毁,淤埋农田 2 公顷,直接经济损失约 80 万元	历史上曾发生过一场大的灾害,冲走 20 多户人家,淤埋农田数十公顷

苍山十八溪水石流灾害由来已久。近期,由于人为活动破坏山区生态环境使灾害暴发更加频繁。据调查,自 50 年代至今共发生较大规模的泥石流 50 多次,典型灾害见附表。

除此之外:

1. 水石流流域坡面裸露,水土流失加重,洪涝与干旱灾害频繁。
2. 水石流还对农业生态系统造成破坏:使被冲刷地带土层变薄,肥力下降。严重者被沙石淤埋变成荒滩,乱石窖。
3. 破坏水利灌溉工程,人畜饮水工程及道路桥涵等基础设施。
4. 水石流使河床逐年淤高,甚至变成地上河,威胁周围村庄和农田;还使地下水位上升,出现大片冷浸田和低产田。
5. 大量泥沙进入洱海,造成湖滨淤积,海域退缩,蓄量减少,水质污染。

其事例有:由于本区一些溪沟的洪水增大,常流量减小,地下水枯竭。莫残溪南岸和阳溪河两岸,堆积扇有沙石荒滩面积 30.7 公顷,下游湖滨有冷浸田 133.0 公顷。白石溪因采大理石乱弃废碴,阻塞沟道、桥涵,常使滇藏公路断道阻车,影响了经济建设和旅游业发展。大量泥沙进入洱海,导致海口淤积,水流不畅造成回灌。洱海水域退缩,水质污染,“弓鱼”珍品也难寻觅了。

(二)防 治 对 策

1. 防治目的 保大理市、城邑、周城、喜州、湾桥、银桥和七里桥等乡镇和 200 多个农村居民点;保滇藏公路、中路交通干线和提水、引水等灌溉设施;保近万公顷高产农田。
2. 治理目标 控制 5—20 年一遇常年水石流灾害的发生,减轻 20—100 年一遇重大水石流灾害的损失,减少十八溪的水土流失和水质污染。
3. 防治方针 实行预防为主,积极治理的防治方针,改变以往灾后被动救灾为灾前主动防治,实行山、水、林、田、路统筹规划。
4. 治理方法与步骤 首先对苍洱地区的水石流灾害做出防治总体规划,将其纳入大理市“八五”经济建设—社会发展计划,供全市统筹安排。

鉴于各沟道水石流暴发频率,规模大小及危害性不同,受灾损失和治理难度差别较大。据此,应分轻重缓急,分期分批编出单项工程的实施性规划和设计。选择灾害典型,工作基础较好,治理难度适中,效益显著的工程优先安排,起示范工程作用。例如,除莫残、阳溪两处试点外,黑龙、白鹤和白石溪即将开展实施性规划。

(三)防 治 方 案

1. 对水石流实施流域综合治理,包括苍山封山绿化、溪沟护堤林、坝区防护林等生物防治,十八溪水石流形成区拦稳、拦蓄工程和堆积区排导、排洪工程,并以行政与法制等管理措施来保证上述措施的贯彻执行。
2. 以莫残和阳溪两处进行生物工程示范,上游封山育林;中游水石流形成区实行人工造林,坝区和排导堤实行绿化和美化造林。
3. 工程防治的重点在各沟道的水石流形成区,以拦稳措施为主,修谷坊、拦砂坝和潜槛固沟稳坡,抑制水石流发生。在溪沟和堆积区的下游,利用开阔地形或沟岸凹地适当停淤,并注意沟道排导和清淤,防治湖滨内涝漫淹。

4. 根据水石流的性质与组成特点,宜采用透水格栅坝坝型(疏齿坝、筛子坝、缝隙坝和切口坝),拦粗过细,汰沙排水,开发库内沙石材料,提高拦蓄工程的效益和使用年限。水石流排导除防止基础冲刷之外,还应妥善解决溢流面耐磨蚀问题。因此嵌防磨层潜肋的软基排导槽是一种优良的结构型式,值得推广应用。

参 考 文 献

- 〔1〕 李炳元,1989,横断山区地貌区划,山地研究,7(1),第13—20页。
- 〔2〕 张谊光,1989,横断山区气候区划,山地研究,7(1),第21—26页。
- 〔3〕 钱 宁主编,1989,高含沙水流运动,清华大学出版社,第140—165页。

THE WATER DEBRIS FLOW FROM SHIBAXI AT THE CANGSHAN MOUNTAIN, YUNNAN PROVINCE AND ITS CONTROL

Li Deji

*(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese
Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy)*

Abstract

Based on the geologic and geomorphologic, climatic and hydrologic, vegetation and human activity conditions of Shibaxi at the Cangshan Mountain, Yunnan Province, the water debris flow is analysed in this paper. The flow contains a lot of hard and coarse debris materials, but is short of silt and clay. And it is no integral constructions and belongs to a typical non-uniform two-phase-flow. The flow is of non-continuity in motion. The size of deposits along the flow course has a sorting. Thus, the characteristics of water debris flow from Shibaxi at the Cangshan Mountain are; the flow velocity is fast, the flow course is long, the scouring is deep, the impact force is strong, the change of the erosion and deposit is rapid and the range is wide, and the destructibility is strong. The debris flow brought about destruction to the cities and towns, highway, water conservancy works and farmland etc., as well as destroyed the ecologic environment in this basin and the Er Lake. Therefore, the planning and measures for preventing and controlling the debris flow have been drawn in this region.

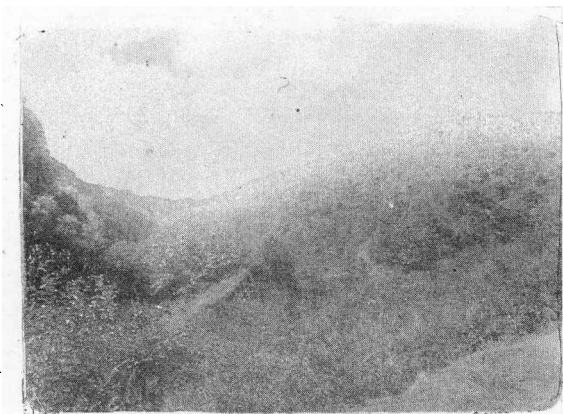
Key words Cangshan Mountain, water debris flow, prevention and control, accumulative fan

李德基, 苍山十八溪的水石流及其防治

图版 I

Li Deji: The Water Debris Flow from Shibaxi at the Cangshan Mountain, Yunnan Province
and Its Control

Plate I



照片 1 海拔 2300 米, 针阔混交林



照片 2 采大理石乱弃废碴, 阻塞河道



照片 3 1991 年 8 月 16 日, 棕树河泥石流成灾



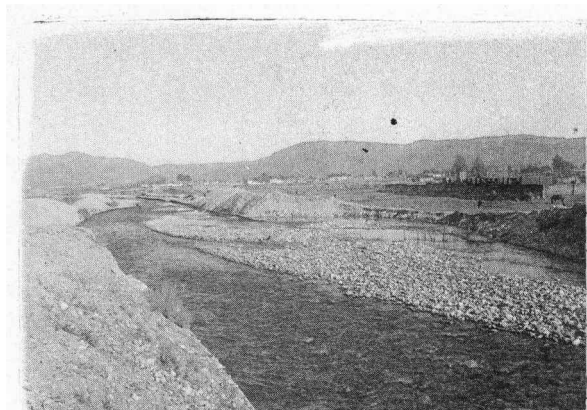
照片 4 沟槽切割古泥石流——洪积扇



照片 5 水石流过后的沟床推移质



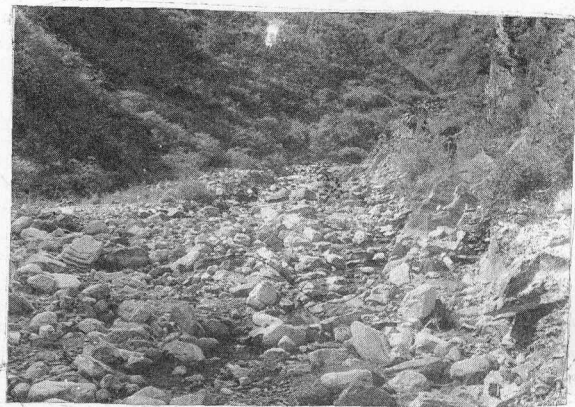
照片 6 岸坡崩塌物加入水石流活动



照片 7 河堤决口, 医院和农田曾遭淹没



照片 8 管口上游弯道处的水石流堆积物



照片 9 基岩峡口下游的水石流堆积物



照片 10 水石流在槽内摆动, 造成集中冲刷



照片 11 古驿道桥被水石流冲毁



照片 12 水石流冲刷形成的 3.8 米高跌坎