

文章编号: 1008-2786-(2010)1-116-07

四川省西溪河地洛水电工程区“7.31”泥石流灾害

陈兴长^{1,2,3}, 崔鹏^{1*}, 葛永刚¹, 裴来政^{1,2}, 方华^{1,2}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室/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;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049 3. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 2009-07-31 四川省凉山彝族自治州西溪河流域金阳县地洛电站施工区暴发泥石流, 造成9人死亡、施工道路及设施损毁。通过现场调查和分析认为, “7.31”泥石流是一场高容重低粘度坡面型泥石质泥石流, 强降雨是此次泥石流形成的激发条件, 工程弃渣是其形成的物质基础和条件, 过沟公路未合理设置排水涵洞, 路基被毁, 沿途大量物质补给是泥石流形成的促进因素。“7.31”泥石流隐蔽性强, 人们对其危害范围认识不足, 防灾意识薄弱, 监测预警不到位, 是造成人员伤亡与财产损失的重要因素。结合西溪河流域水电开发的现状, 针对性地提出了规范人类工程活动, 提高防灾意识, 加强地质灾害的监测预警等防治对策, 建议进一步加强中小水电工程施工的监管力度, 切实落实灾害危险性评估与防灾措施, 最大限度地减少人为地质灾害。

关键词: 泥石流; 成灾特征; 防治对策; 地洛电站; 西溪河

中图分类号: P642.2 B59

文献标识码: A

2008-07-31 10:03:06 华电集团地洛电站钢筋加工场的一座施工棚上方山坡突发泥石流。泥石流持续10 min左右, 导致9人死亡, 一个炸药库被毁, 钢筋加工场地部分被埋, 两条施工道路完全冲断, 电站施工被迫停止的严重后果。

地洛电站是西溪河流域“二库五级”水电开发的第四级, 为引水式中小水电开发工程。此次泥石流(简称“7.31”泥石流)发生在地洛电站施工区, 距离厂房仅有300 m左右, 造成较大的损失。深入研究此次泥石流灾害的活动特征、形成因素和致灾原因, 对于我国西南地区中小水电开发过程中预防和减少此类灾害具有借鉴意义。

1 流域水电开发现状及环境影响

1.1 流域概况

西溪河是金沙江左岸的一级支流, 发源于横断山系东缘凉山彝族自治州越西县南部蘑菇山, 自北向南流经越西、昭觉、布拖、金阳四县, 在金阳县的石门坎汇入金沙江, 流域面积2 902 km², 河道全长174 km, 落差2 773 m, 平均比降为16.2‰。该流域水能蕴藏丰富, 河口平均流量61.4 m³/s, 多年平均水量19.4 m³/s, 可开发水能量为22.34×10⁴ kW。西溪河下游河段属高山峡谷地貌, 滩多水急, 落差较为集中, 在长81 km的河段内, 天然落差达1 439 m, 平均比降为17.8‰。径流年内分布极不均匀, 5~10月径流占全年的88.3%, 6~9月为汛期, 大洪水多发生在6~7月。

西溪河流域下游段气候复杂多样, 垂直变化明显。南部属金沙江沿岸亚热带干热河谷气候, 干湿季节分明, 年内7月最高气温38.6℃, 年平均气温10℃, 极端最低气温为-25.4℃。据布拖、金阳气象

收稿日期(Received date): 2009-09-17; 改回日期(Accepted): 2009-11-11.

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划项目(2006BAC10B04-1); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-302)[Jointly supported by the State Key Project of China (2006BAC10B04-1) and the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy Sciences (KZCX2-YW-302)]

作者简介(Biography): 陈兴长(1970-), 男, 河南泌阳县人, 博士生, 讲师, 研究方向: 山地灾害及其治理。[Chen Xingzhang (1970-), male, born in Biyang, Henan Province, postgraduate of doctor, lecturer, specialized in mountain hazards and their control.] E-mail: mygeotc@126.com

*通讯作者(Author for correspondence): 028-85214421 E-mail: pengcu@indep.cn

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

站资料, 区域内多年平均年降水量 958 mm, 最大年降水量 1 264.1 mm, 最小年降水量 724.4 mm, 最大日降水量 79.5 mm。

根据区域地质资料, 该区地处扬子地台的美姑—金阳陷褶束, 地质构造主要表现为褶皱和断裂, 主构造线受南北向构造控制, 大多呈南北向, 局部呈北东向和北西向。区内为短轴背斜, 背斜长轴方向为北东向, 主要地层为寒武系下统筇竹寺组, 岩性为灰黑色泥质石英粉砂岩, 受构造影响, 岩体节理发育, 裂隙明显, 岩层破碎。

水电开发现状

西溪河干流水电开发密集, 梯级开发规划为“二库五级”, 共利用天然落差 1 670 m。第一级水库库依水电站装机容量 33 MW, 有效库容 $2.19 \times 10^8 \text{ m}^3$, 属多年调节; 第二级水库洛古水电站装机 110 MW, 水库有效库容 $0.36 \times 10^8 \text{ m}^3$, 属不完全年调节, 混合式开发; 其余 3 级分别是联补电站 (130 MW)、地洛电站 (100 MW) 和青松电站 (100 MW), 均为引水式电站, 日调节运行。五级电站总装机容量 $47.3 \times 10^4 \text{ kW}$, 年发电量 $22.0 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 总投资约 50 亿元人民币。

地洛水电站的取水枢纽位于布拖县地洛乡上游 4.5 km 的扎台村附近左岸, 通过长约 13.53 km 的隧洞, 引水至花坪子对岸, 发电厂房厂址距布拖县城 85 km (图 1)。“7.31”泥石流就发生在引水隧洞出口的施工区。

水电工程活动对地质环境的影响

西溪河水电工程开发对当地的地质环境造成了一定的影响, 主要体现在以下几个方面。

1. 进场公路施工对环境的影响

为了便于施工, 对西溪河两岸原有公路进行了扩建和整修。施工过程中产生的大量弃渣倾倒在河流两岸, 加上边坡开挖后未及时处理, 沿途引发了大量的滑坡、崩塌、碎屑流。图 2 和图 3 为西溪河扩建公路引发的滑坡和随意堆放的工程弃渣。在地洛电站施工区, 由于道路施工更是引发了数十处浅层滑坡和十余处泥石流 (图 4 和图 5)。

2. 工程弃渣对环境的影响

工程弃渣一旦处置不当, 直接引发滑坡和泥石流, 危害极大。根据实地考察, 地洛电站引水隧道施工产生的弃渣直接倾倒在山坡上 (图 6)。这些弃渣在 07—31 的降雨中大都形成了小规模泥石流, 幸亏降雨持续时间短, 才没有造成更大泥石流灾害。



图 1 地洛电站发电厂位置示意图

Fig. 1 Location of Diluo water-power station

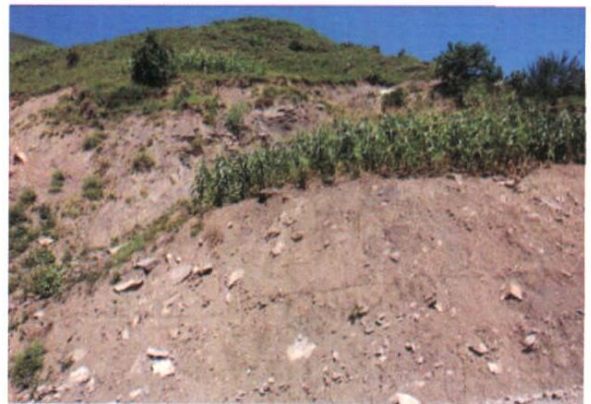


图 2 联补电站水库右岸公路滑坡

Fig. 2 Landslide occurred at the reservoir area of Lianbu water-power station



图 3 地洛电站进坝公路典型滑坡及工程弃渣

Fig. 3 Landslide and engineering-oriented wastes along the highway to Diluo water-power station



图4 地洛电站道路施工开挖边坡引发的滑坡

Fig. 4 Landslide triggered by slope dug during highway construction in Diluo water-power station



图5 地洛电站施工道路开挖引发的泥石流

Fig. 5 Debris flow induced by slope dug during highway construction in Diluo water-power station

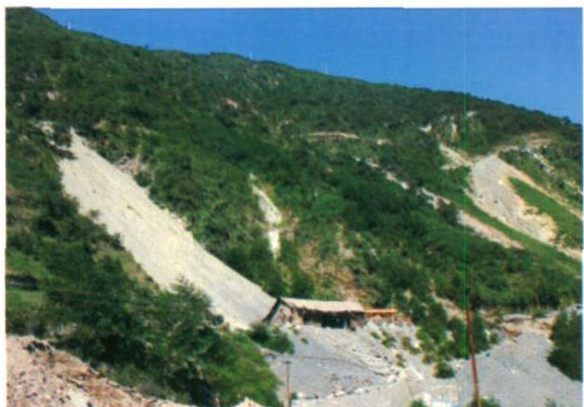


图6 地洛电站隧道施工弃渣直接倾倒在山坡上

Fig. 6 Engineering-oriented wastes on steep slope caused by tunnel construction in Diluo water-power station

但是,大量弃渣目前仍堆积在陡坡上,存在极大的安全隐患,一旦遇到强降雨或持续降雨,极有可能引发

大规模泥石流。泥石流顺坡直接入江,堵塞河道形成堰塞湖,产生灾害链,造成更大范围的灾害与损失。

3. 隧道施工爆破对环境的影响

地洛电站厂房施工区主要以紫红色泥质石英粉砂岩为主,岩层产状平缓,但垂直裂隙发育,表层风化严重,岩体破碎(图7)。脆弱的地质环境条件,在施工爆破(人工地震)的反复作用下,表层岩土体被震松,裂隙加宽加深,从而改变岩土中渗流状态。渗流结果使岩土体的应力状态改变、产生变形^[1],最终导致边坡失稳形成滑坡。如果滑坡体堵塞沟道,很容易引发泥石流造成更大范围的灾害。



图7 地洛电站隧道施工区强风化石英粉砂岩

Fig. 7 Intensively weathered quartz siltstone in tunnel construction area of Diluo water-power station

2 “7.31”泥石流

灾害概况

2009-07-31 02:38 金阳县与布拖县交界处西溪河流域突降特大暴雨,雨量非常集中。降至3:06 华电集团地洛电站的钢筋加工场工棚上方山坡突发泥石流。据现场调查访问,泥石流持续约10 min,冲出物质量达8 500 m³,来势迅猛,致使睡梦中被惊醒的20名工人中只有14人逃了出来,6人被埋,钢筋场地被淤埋,位于山腰处的炸药仓库被泥石流冲毁,看守炸药库的彝族工人连同探亲的妻儿一家三口在睡梦中被卷进了泥石流。泥石流还冲毁两段盘山施工道路,多处道路挡墙和护坡受损。

泥石流形成与发展过程

根据现场调查数据,该泥石流具有典型的坡面泥石流发育过程和特征。图8系泥石流沟演化示意图,表1为根据现场考察数据得出的泥石流沟道特

征值。在山顶公路上方图 8A 处有一小型冲沟, 暴雨形成的洪水汇聚于冲沟中, 并快速淘蚀下方的公路路基。不稳定石块在暴雨作用下滚入沟道, 冲击公路路面。公路路基因失去支撑, 并在上方石块的冲击下被毁(图 8B), 很快就形成了深约 2 m 的冲沟。沟道边上目前仍残存有修路堆放的弃渣。

当洪水演变为泥石流时, 其冲毁能力增大, 并启动沿途的风化层物质, 一起流向下游(图 8C)。把图 8 中断面 II 处的公路冲毁, 切开了原有的坡积物, 形成一段宽约 11 m、深近 4.6 m 的泥石流沟。

被冲毁的炸药库就位于图 8 中断面 III 处的平台上。泥石流不仅把炸药库卷走, 而且还冲毁了此处的公路。由于泥石流连续冲毁两级公路, 并携带了沿途大量弃渣和坡积物, 其冲毁和下切能力进一步

加强, 快速地切开了下方的坡积物, 形成一条深约 7 m 的泥石流沟(图 8E)。由于坡积物的参与, 泥石流的规模越来越大, 最终冲毁并淤埋钢筋加工场, 造成 9 人死亡及大量财产损失。

泥石流成因与性质

通过对“7.31”泥石流形成过程分析发现, 此次泥石流主要是由以下因素共同作用形成的。

1. 强降雨是泥石流形成的激发因素

据国家防总驻四川工作组报告^[2], 07—30 傍晚至 07—31 10 00, 金阳和布拖县城降雨量分别为 32 mm 和 28 mm。但是, 这两个县城与地洛电站所在的西溪河均不在同一个流域, 与地洛电站的降雨量差别很大, 而电站附近没有雨量观测记录, 不能获得确切的降雨量数据。根据调查访问, 当晚 2 点多钟

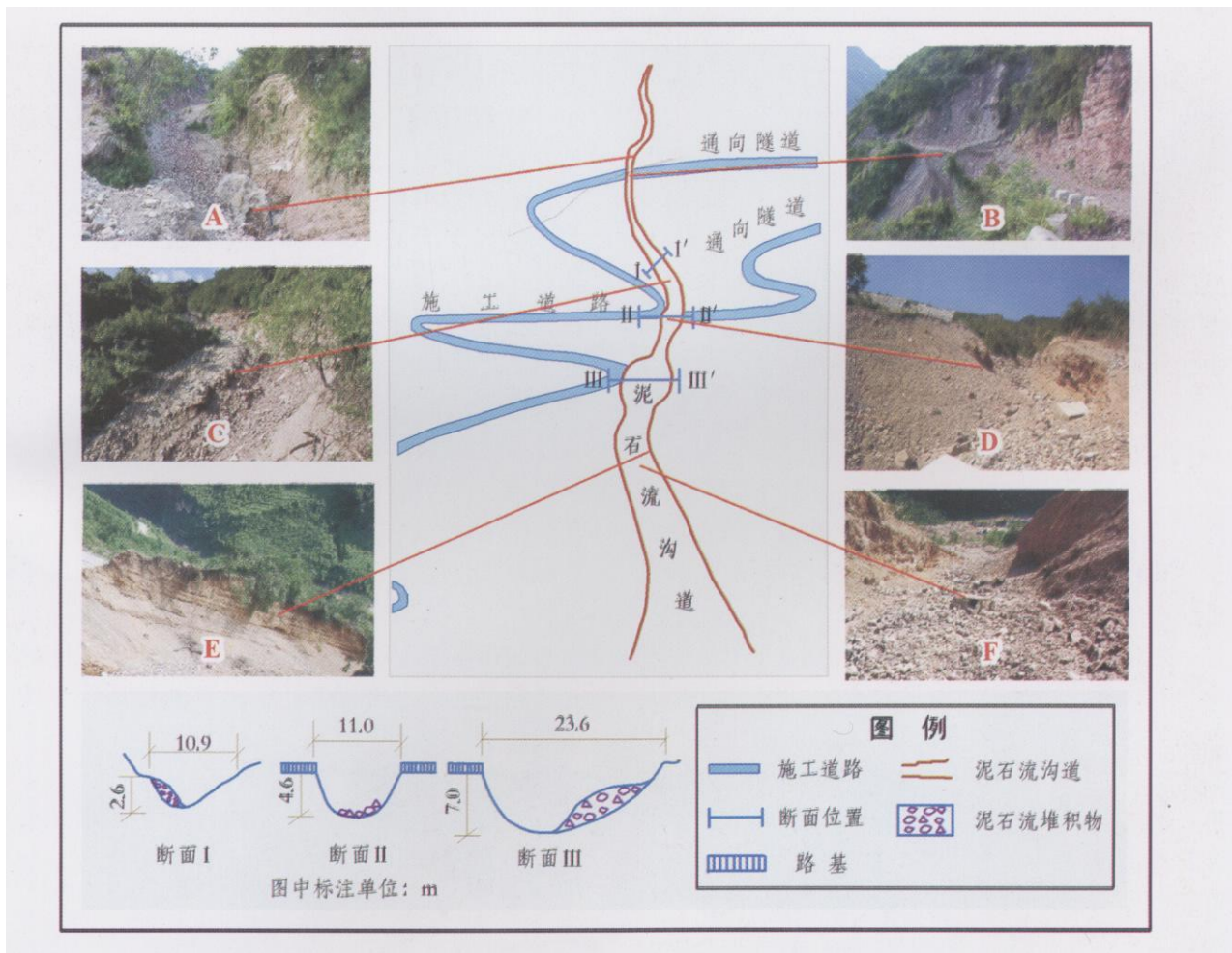


图 8 泥石流沟演化示意图

Fig 8 Schematic diagram of gully evolution of 7.31 debris flow

A 公路上方冲沟现状, B 被冲毁的公路, C 断面 I 处的泥石流沟道, D 断面 II 处的泥石流沟道, E 被泥石流切开的坡积物剖面, F 被泥石流切开的坡积物形成的泥石流沟道

A Gully at the upper of highway B Destroyed highway C Debris flow channel at cross section I, D Debris flow channel at cross section II, E Colluvium scoured by debris flow F Channel formed by debris flow scouring colluvium

表 1 泥石流沟道特征
Table 1 The characteristics of debris flow gully

沟段	长度 (m)	平均深度 (m)	平均坡度 (°)	沟道特征
沟源至山顶公路	80	2.5	45	沟源小冲沟: 两岸均为紫红色粉砂岩; 沟道内较干净, 仅在公路上方残存有少量的碎屑物(如图 8A)
山顶公路至断面Ⅱ	220	4.0	38.4	泥石流起动区: 沟道呈“S”型, 两岸表层松散, 泥石流侵蚀严重, 沟道凹岸停积约 2 m 厚的泥石流物质(如图 8C)
断面Ⅱ至断面Ⅲ	40	5.5	25	中段严重侵蚀区: 断面Ⅱ处的施工道路被冲断, 泥石流严重下切, 大量坡积物和工程弃渣被直接起动(如图 8D)
断面Ⅲ至沟口	110	2.0	29	流通侵蚀区: 因弃渣侵占原有冲沟沟道, 泥石流在坡积物上直接切开一个沟道, 并冲向下游(如图 8F)

突降暴雨, 雨量达到暴雨级, 但持续时间不长。因此局地暴雨是“7.31”泥石流形成的主要激发因素。考察还发现, “7.31”泥石流具有群发性, 只是由于降雨时间较短, 其他泥石流规模较小, 并未形成大的灾害。

2. 工程弃渣是泥石流形成的重要物质基础之一

在我国由工程弃渣(包括矿山开采的尾矿)引发的地质灾害时有报导^[3-5]。考察时发现, 施工区有大量的工程弃渣不加处理地堆放在山坡上或者原来的冲沟内。弃渣坡度约 35°, 处于临界休止角, 一旦遇水流冲刷, 尤其是遇到洪水, 很容易快速起动形成泥石流。“7.31”泥石流正是由于公路弃渣的参与才导致泥石流规模迅速变大, 冲刷能力增强, 从而启动了沿途的坡积物, 并最终形成灾害性泥石流。

3. 过沟公路未设排水涵洞是泥石流形成的促进因素

路边排水沟把集水区以外的路面产流和坡面产流导入沟道, 增加沟道水动力条件, 往往促进泥石流的形成^[9]。考察时发现, 施工区的所有道路在过沟时均未设置过水涵洞, 也未对路基进行加固。由于排水不畅, 洪水大量汇集并淘蚀路基, 最终导致挡墙被破坏, 路基被冲毁。如果两级道路不被冲毁, 完全可以有效地抑制泥石流的规模。地洛电站施工区过沟公路未设排水涵洞是“7.31”泥石流形成的促进因素。

4. 爆破震动是沟道上游松散物质产生的成因之一

隧道开挖过程中的工程爆破, 是形成此次泥石流灾害的成因之一。在施工爆破的反复作用下, 表

层岩体被震松, 产生大量不稳定石块。在雨水的作用下, 上游沟道两岸的不稳定石块滑落, 并随山洪一道冲向下游。山洪加上石块大大增强了其冲击力, 冲垮了两级公路, 演变成大型泥石流。

5. 泥石流的性质为高容重低粘度坡面型泥石质泥石流

根据现场调查, 泥石流暴发前没有明显的沟道, 仅在上游有一小冲沟。现有的泥石流沟是“7.31”泥石流切割形成的。现场测量表明, 图 8 中最高一级公路至断面Ⅱ处沟道平均坡度 38.4°, 断面Ⅱ至断面Ⅲ之间相对较平缓, 坡度约 25°, 断面Ⅲ以下部分沟道坡度 29°。整个泥石流沟道坡度很陡, 该泥石流为坡面型泥石流。

由于有大量工程弃渣参与泥石流形成, 泥石流流体中细颗粒成份较少, 其粒度组成比较粗。根据堆积物颗分试验结果, 粉粒(<0.05 mm)及以下的细颗粒仅占 2.21%, 其余均为砂、砾和碎石等粗大颗粒, 占 97.79%(图 9), 应属于高容重低粘度的泥石质泥石流。因此“7.31”泥石流的性质综合确定为高容重低粘度坡面型泥石质泥石流。

泥石流致灾原因

“7.31”泥石流导致 9 人死亡, 多处工程设施被毁或淤埋。通过调查和分析, 此次泥石流致灾的原因主要有以下三点。

1. 路基破坏, 沿途物质大量补给, 是泥石流规模变大, 最终成灾的主要原因。

由于山顶公路路基被毁, 导致下方弃渣和风化层起动形成泥石流。在泥石流运动过程中, 沿途的风化层和坡积物不断为泥石流补给固体物质, 越到下游补给物越丰富, 泥石流的规模也越大, 最终导致

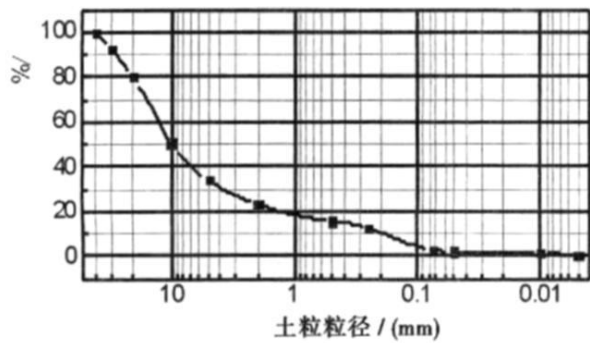


图 9 颗粒大小级配曲线图

Fig. 9 Grain size distribution curves of “7.31” debris flow sample

灾害的发生。

2. 泥石流灾害隐蔽性强, 危害范围认识不足是成灾的重要原因

“7.31”泥石流是一个坡面型泥石流。泥石流暴发前沟道不明显, 而且上游植被较好, 具有很强的隐蔽性。但是由于人类工程活动的影响大大降低了泥石流形成的临界条件, 人们没有意识到这一点, 尤其是对泥石流成灾的危害范围认识不足, 致使工棚选择在泥石流堆积区并导致灾害的发生。

3. 防灾意识薄弱, 监测预警不到位是成灾的主要原因之一

由于防灾意识薄弱, 未建立有效的监测预警制度。所以, 在泥石流发生时, 没有任何预警信号, 导致 9 名工人在睡梦中被泥石流淤埋。

3 防治对策建议

人类工程活动不当往往加剧甚至诱发地质灾害, 控制和规范人类活动是预防此类灾害发生的有效手段。

1. 合理处置工程弃渣。合理处置工程弃渣对工程安全和环境保护至关重要。在工程施工之前应对弃渣场进行合理的设计; 在施工期间应布置必要的防护措施, 保障渣场安全, 坚决杜绝随意堆放弃渣。

2. 加强附属道路施工设计和管理。在道路施工前应进行合理设计, 并严格按照设计施工。对于跨沟公路, 必须设置过流设施并确保足够的过流空间。同时, 采取必要的防护措施, 严禁堵塞沟道, 影响山洪排泄。对于工程开挖形成的边坡应注意施工顺序, 切实做到边开挖边支护, 必要时进行超前支护, 以保证边坡的稳定性。对于边坡的支护措施应

保证施工质量, 严格按照挡墙设计规范进行。考察时发现, 几乎所有的挡墙都未设置有效的排水孔, 排水不畅是导致挡墙失效的原因之一。

3. 加强临时设施选址的危险性评估。无论是施工加工场地, 还是临时驻地, 都应进行地质灾害危险性评估, 在评估的基础上慎重选址, 最大限度地避让地质灾害危险区, 要把民工工棚建在安全区。

4. 加强地质灾害的监测预警。在施工区, 对于危险性斜坡、边坡和沟道在危险性评估的基础上, 加强监测。在施工区和驻地 (包括临时驻地) 应建立监测预警制度, 落实责任人, 平时做好防灾预案和防灾演练, 雨季应安排专人负责巡视预警, 确保安全。

4 结论

通过对“7.31”泥石流灾害的现场调查发现, 此次泥石流沟源区只有不到 200 m² 的汇水面积。如此小的汇水区域却激发了相对较大规模的泥石流, 并造成严重灾害。究其原因, 除工程弃渣外, 施工道路未设置必要的排水措施也是形成此次泥石流灾害的重要原因。因此, 无论再小的安全隐患, 在设计和施工过程中都应慎重对待, 以免造成类似“7.31”泥石流这样的严重灾害。

通过此次现场调查和研究, 可以得出如下结论:

1. “7.31”泥石流的性质可综合判定为高容重低粘度坡面型泥石质泥石流。

2. 强降雨是“7.31”泥石流形成的激发条件, 工程弃渣是其形成的重要物质基础和成灾条件, 过沟公路未设排水涵洞则是其形成的促进因素。

3. 对于此类地质灾害的预防和防治, 应提高防灾意识, 规范人类工程活动, 加强环境保护力度。

4. 建议进一步加强对中小水电工程施工的监管和管理力度, 最大限度地减少人为地质灾害, 创造人地和谐的生存环境。

参考文献 (References)

- [1] Wang Si-jing. Interaction between human engineering activity and geoenvironment and its environmental effects [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1997, 8(1): 19~26
- [2] 王思敬. 论人类工程活动与地质环境的相互作用及其环境效应 [J]. 地质灾害与环境保护, 1997, 8(1): 19~26
- [3] 国家防总驻四川工作组报告 (四) [EL/OL]. http://www.cjw.gov.cn/news/detail/20090810/117129. asp 2008-8-10 [EL/OL].
- [4] Xie Hong, You Yong, Zhong Dun-lun. A typical man-made debris

- flow in the upper reaches of Changjiang River [J. Mountain Research 1994 12(2): 126 ~ 128 [谢洪, 游勇, 钟敦伦. 长江上游一场典型的人为泥石流 [J. 山地研究 (现山地学报), 1994 12(2): 125 ~ 128]
- [4] Li Zhao-shu. A study on the mud-rock flow disaster in 1994 in the gold mine area of Tongguan, Shaanxi [J. Journal of Catastrophology 1995 10(3): 51 ~ 56 [李昭淑. 陕西潼关金矿 94 年人工泥石流灾害研究 [J. 灾害学, 1995 10(3): 51 ~ 56]
- [5] Wang Wen-long, Li Zhan-bi, Zhang Ping-cang et al. An analysis on forming condition of debris flows caused by human activities in Shenfu-Dongsheng Coal Field [J. Research of Soil and Water Conservation 2003 10(2): 83 ~ 85 [王文龙, 李占斌, 张平仓, 等. 神府东胜煤田开发中人为泥石流形成条件分析 [J. 水土保持研究, 2003 10(2): 83 ~ 85]
- [6] Cui Peng, Lin Yong-ming. Influences of natural and engineering factors on formation of debris flow and landslide along mountainous roads [J. Journal of Catastrophology 2007 22(3): 11 ~ 16 [崔鹏, 林勇明. 自然因素与工程作用对山区道路泥石流、滑坡形成的影响 [J. 灾害学, 2007 22(3): 11 ~ 16]

“7. 31” Debris Flow Hazards Occurred at Diluo Water Power Construction Areas in Xixi River Basin, Sichuan Province

CHEN Xingzhang^{2, 3}, CUI Peng, GE Yonggang, PEI Lai Zheng², FANG Hua²

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

2. Graduate University, CAS, Beijing 100049, China

3. School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: July 31 st 2009, a disastrous debris flow occurred at Diluo Water Power Construction Areas in Xixi River basin, Sichuan province. Debris flow resulted in 9 persons dead, highway broken and many facilities damaged. It was demonstrated on the basis of field investigation that “7. 31” debris flow hazard was a typical slope debris flow with high density and low viscosity, which developed and formed at the construction wastes area, and was triggered by intensive rainfall and exacerbated by virtue of the absence of culverts at where highways spanned gullies so that the roadbeds was broke. It was also proved that the personal casualty and properties loss were mainly caused by the concealment of this debris flow, the mistiness to hazard range and the ignorance to hazard prevention consciousness of local people as well as the absence of alarm measures. Then it was strongly suggested that sticky run construction activities, enhanced hazard prevention consciousness of debris flow, reinforced the monitor and alarm of geo hazards as well as further supervised the construction activities of small middle scale water power station in order to mitigate hazard loss as soon as possible.

Key words: debris flow, hazards characteristics, mitigation measures, Diluo Water Power Station, Xixi River