

李家大沟泥石流与三峡库区奉节县新城建设

郑建国, 李天斌, 沈军辉, 张志龙
(成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要: 三峡库区奉节县新城建设大大改变了李家大沟中下游的地质环境, 泥石流将直接威胁到新城区的建设和人民财产的安全。从工程地质角度出发, 对李家大沟泥石流的形成环境(地层岩性条件、构造条件、地貌条件、气象条件、植被发育及人类工程活动)、基本特征(形成区和流通区特征)和形成机制进行了详细的系统研究, 对泥石流的危害性和发展趋势做了预测评价, 并提出了合理科学的建议。

关键词: 李家大沟; 泥石流; 奉节县新城区; 人类工程活动

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2005)03-0084-04

中图分类号: P642.23

Debris Flow in Lijia Gully and New City Construction of Fengjie County in Three Gorges Reservoir Area

ZHENG Jian-guo, LI Tian-bin, SHEN Jun-hui, ZHANG Zhi-long

(Environmental and Civil Engineering Faculty, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan Province, China)

Abstract: Reservoir area of Fengjie County's new city construction in Three Gorges is greatly changing Lijia Gully's engineering geological environment at midstream and downstream. The debris flow will threaten the construction of the new city and security of local people's property directly. The thesis proceeds from the point of geological project, the formation conditions(lithologic character, structure condition, geomorphic condition, meteorological condition, vegetative cover and human engineering activities), essential features(features of forming areas and circulating area) are systematically studied in detail. The calamity and development trend are predicted, and rational suggestions are proposed.

Keywords: Lijia Gully; debris flow; the new-built area of Fengjie County; human engineering activity

李家大沟位于三峡库区奉节县新县城的商业、文化中心三马山小区, 地处长江左岸, 为一泥石流沟。2001 年和 2002 年暴雨季节曾连续发生 2 次较严重的泥石流, 泥石流携带物质淤埋路面, 造成公路阻断达 10 d。新城区的建设大大改变了李家大沟的工程地质环境, 进一步增加了李家大沟泥石流的危险度, 将严重威胁新城区的建设。因此, 对其研究具有重要实际意义, 同时对其它工程建设中泥石流灾害的整治具有一定的借鉴意义。

1 泥石流的地质环境条件概况

1.1 地形与地貌

李家大沟属长江一级支沟, 为浅中切割脊状低山沟谷地形。流域总体近南北走向, 全长约 3.9 km, 流域面积 2.64 km²。上游切割较深, 最深达 100~125 m, 流域最高海拔 950.6 m, 入长江处沟口高程 135 m, 平均纵比降 149.5%。下游段较平缓, 纵比降

77.8%, 中游稍陡, 纵比降 127%~236%, 上游最陡, 纵比降 249.1%。沟谷呈“V”型谷, 沟坡坡角 40°~48°。上游右侧发育 5 条冲沟, 源头发育两条支沟。

1.2 地层岩性及地质构造

沟域内出露地层为第四系(Q₄)、三叠系中统巴东组(T_{2b})及上统须家河组(T_{3xj})。Q₄主要为人工填土层、坡残积层及滑坡堆积体; T_{2b}一、三段以灰岩为主, 二、四段以紫红色泥岩为主; T_{3xj}主要为灰黄色厚层长石石英砂岩。

沟域位于近东西向朱衣复背斜的北东端, 岩层倾向 NW—NE, 倾角 20°~40°, 发育多组裂隙, 岩体较破碎。

1.3 水文地质条件

地下水相对贫乏, 第四系松散层中存在上层滞水, 基岩中存在少量裂隙水, 右谷坡有泉水出露。主要补给来源于降水, 排泄于最低侵蚀基准面长江。三峡大坝建成后, 该段库水位将达 175.4 m。

1.4 气象

该区属亚热带山区型湿润季风气候, 四季变化明显。据奉节县气象局资料, 多年平均蒸发量 1 324. 4 mm, 平均降雨量为 1 132. 2 mm, 雨量多集中在 5—9 月份, 年最大降雨量 1 635. 2 mm (1963), 日最大降雨量 127. 9 mm (19980628)。

1.5 人类工程活动及植被

区内植被覆盖率约 30%, 植被群落简单, 700 m 高程以上分布松树, 350~ 500 m 分布桐树、柑橘园, 500~ 700 m 为灌木和耕地。区内水土流失现象严重。人类工程活动强烈, 新城建设已将李家大沟的中下游分级填方整平, 沟的两侧及中部新建有大量建筑, 大大恶化了李家大沟的工程地质环境。出现了多个不稳定的斜坡和变形体, 如刘家湾滑坡、刘家包变形体的斜坡和变形体等。

2 泥石流的基本特征

李家大沟沟域平面上呈长条状, 根据地形地貌, 以 4# 路为界, 上游的形成区呈倒勺状, 中下游的流通区改变较大, 堆积区在口前入长江, 目前由于三峡水库护岸已将原地形改变 (图 1)。

2.1 形成区特征

4# 路以北为形成区, 汇水面积 1. 8 km², 主沟长 1 008 m, 纵比降 249. 1 ‰。据地貌特征可分 3 区。

2.1.1 右侧斜坡区 该区冲沟发育, 斜坡呈台阶状, 下部坡角 40°~ 60°, 中部平缓, 坡角 10°~ 30°, 上部变陡, 坡角 30°~ 50°。表层为厚约 1~ 5 m 的坡残积碎石土, 其下为巴东组 3 段中——厚层状的泥灰岩和泥质灰岩及钙质泥岩。坡上植被发育。该区的物源量约 2. 04 × 10⁶ m³。滑坡 (H—5): 位于 2# 支沟左侧, 平面形态呈不规则矩形, 方量 2. 0 × 10⁵ m³。前缘直抵李家大沟沟底, 后缘在一平台陡坎下。滑体物质结构为碎石土, 碎石占 30%。据访滑坡早在 150 a 前发生过滑动, 目前前缘崩塌严重。

5# 支沟左斜坡上有一人工碎石堆积体, 为青莲水库隧道料场, 堆积体呈不规则圆台柱状体, 高约 20 m, 堆积体表面坡角 36°, 方量约 1. 00 × 10⁴ m³。

2.1.2 左侧斜坡区 该区地形陡峻, 下部坡度 50°~ 60°, 上部坡度 30°~ 50°。出露的基岩为巴东组 3 段中——厚层状的泥灰岩和泥质灰岩; 缓坡表面为厚约 30~ 50 cm 的残坡积层。坡上植被覆盖率 30%。左侧较大的冲沟为卧马槽冲沟, 冲沟的上部因弃土填方已形成坡高约 50 m 的高边坡, 坡度 30°~ 35°, 总方量约 2. 5 × 10⁵ m³。2# 拦砂坝下约 20 m, 有 2 个采石厂, 外侧堆积方量约 3. 00 × 10⁴ m³ 的采石废渣。

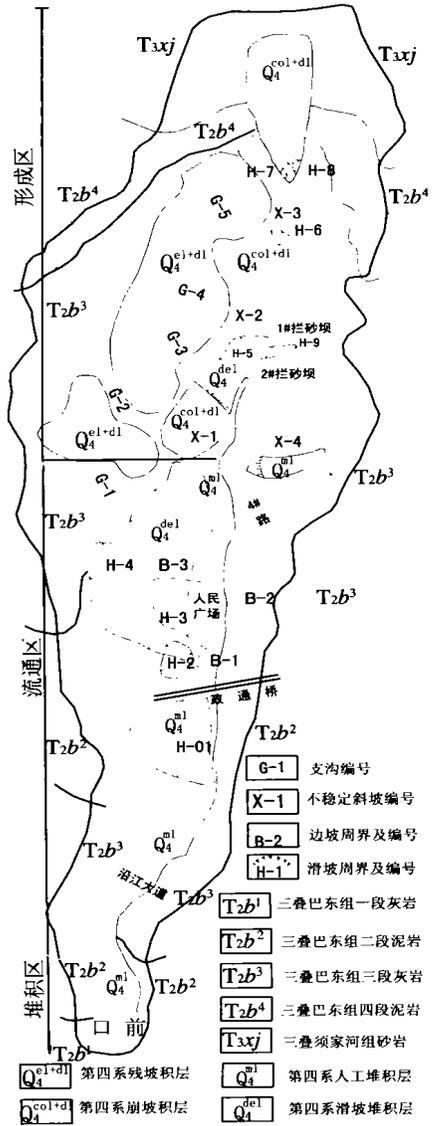


图 1 李家大沟工程地质平面简图

滑坡 (H—9): 位于 2 个拦砂坝之间, 平面形态呈长条形, 下凸上凹, 体积 3. 2 × 10⁵ m³。前缘直抵李家大沟沟底。滑体主要由块碎石组成。2003 年 6 月 5 日, 该滑坡曾发生滑移, 滑坡后缘局部下错 2~ 3 m, 形成 3 条长约 36 m、深 3~ 20 cm、张开达 15 cm 的拉裂缝。该区总的物源量约 6. 1 × 10⁵ m³。

2.1.3 主沟源头区 该区呈倒勺状, 2 条支沟组成, 基岩为巴东组钙质泥岩和须家河组的长石石英砂岩, 坡面表部分布厚 0~ 8 m 的崩积层。右谷坡坡角 20°~ 40°, 左谷坡坡角 30°~ 50°; 2 条支沟中部为一道斜梁, 前缘发育有 2 个土质小滑坡 (H—7、H—8), 分别位于左支沟的右侧和右支沟的左侧。滑坡 H—8, 平面形图态呈长条形, 上凹下凸, 坡角 30°, 前缘直抵冲沟底。滑坡 H—7, 平面形态呈矩形, 前缘直抵冲沟

底。该区总的物源量约 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。另外,在主沟床中有松散的填方及冲洪积堆积物约 $10\,000 \text{ m}^3$ 。总之,李家大沟形成区汇水面积大,物源丰富,沟床纵比降大,具备发生泥石流的物源条件(表 1)。

表 1 形成区松散物源组成统计

形成区部位	编号	直接参与/ 10^4 m^3	未来参与/ 10^4 m^3	合计/ 10^4 m^3
右斜坡区	H-5	1.0	19.0	20.0
	H-6	1.3	—	1.3
	X-1	1.0	25.0	26.0
	X-2	1.0	15.0	16.0
	X-3	1.0	20.0	21.0
	坡面堆积	—	—	120.0
左斜坡区	H-9	1.5	1.5	3.0
	X-4	—	25.0	25.0
	坡面堆积	—	—	33.0
源头区	H-7	0.5	—	0.5
	H-8	0.9	0.6	1.5
	坡面堆积	—	58.0	58.0
沟中堆积		1.0	1.0	1.0
总计		325.0		

2.2 流通区特征

流通区位于 4[#] 路在沟中拐弯处到沟内沿江大道。长约 1400 m, 沟深 50~70 m, 沟宽 30~100 m, 沟床纵比降 127‰~236‰。沟两侧为陡坡, 坡角 $40^\circ \sim 55^\circ$ 。

该区堆积层主要为人工填土、坡残积、冲洪积及滑坡堆积, 基岩为巴东组(T_{2b}) 1 段的灰岩、2 段的紫红色泥岩以及 3 段的泥质灰岩。流通区内分布有刘家包变形体(H-1), 图 1 李家大沟工程地质平面简图双扶实业填土滑坡(H-2), 刘家湾老滑坡(H-3), 刘家湾新滑坡(H-4)和 3 个人工高边坡(B-1, B-2, B-3)。其特征及稳定性见表 2^[1-3]。

因新城建设, 流通区沟道已被分级填方, 沟谷呈 U 型, 形成了沟中填方边坡, 边坡处于潜在不稳定状态, 前缘极易失稳。在其后有奉节人民大会堂等在建工程, 整平平台又提供了泥石流堆积场所; 大规模的工程建设已使流通区变成了威胁区, 同时由于大量的弃土形成了不稳定的斜坡, 使得原流通区成为泥石流的物源区之一, 目前仅流通区填方总量已超过 $3.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

表 2 流通区滑坡变形体及人工高边坡基本特征

编号	方量	变形迹象	物质结构	稳定状况		治理方案	治理进程
				天然	暴雨		
H-1	235	蠕滑变形, 后缘拉张裂缝, 前缘局部产生溜滑, 牵引	残坡积土人工填土	基本稳定	欠稳定	未治理	
H-2	4	前缘局部隆起, 中后部横向拉张裂缝, 且略有下错	人工填土崩坡积土	欠稳定	不稳定	削方+抗滑桩支挡	治理工作基本结束
H-3	122	1998 年 8 月 7 日持续暴雨, 产生面积达 $36\,400 \text{ m}^2$ 变形区, 蠕滑变形。	土质滑坡	稳定	不稳定	堆填压脚	在李家大沟谷坡 275 m 高程, 形成高 61 m 的填方区, 满足要求
H-4	793	中前部地形较陡并向李家大沟下游略微鼓出	泥岩、灰岩	稳定	稳定	堆填压脚	
B-1	100	坡顶边缘部位分布有多条变形裂缝, 延伸长 18~35 m, 下坐 28~40 cm	填方碎块石土	欠稳定状态, 前缘极易失稳或发生泥石流		重力挡土墙+格构护坡	治理后未见大的变形
B-2		路基开挖形成的高陡边坡, 高 32~64 m, 坡角 $50^\circ \sim 64^\circ$, 为弱风化的泥质灰岩, 局部呈碎裂状, 构造裂隙发育、间距小	泥质灰岩	不稳定		下部采取了加固处理	未见大的变形, 但在未经治理的基岩坡面上有掉块现象。
B-3		1998 年路基开挖形成的边坡, 长 135 m, 高 20~40 m, 坡角 $40^\circ \sim 52^\circ$	碎块石土和呈碎裂状的岩体	不稳定		加固处理	监测资料显示边坡仍在变形位移

注: 资料来源为《重庆市三峡库区奉节县新城三马山(刘家湾)滑坡工程地质勘察报告》、《重庆市三峡库区奉节县刘家湾滑坡治理工程设计书》及《三峡库区奉节县三期地质灾害防治规划勘察》。

2.3 堆积区特征

堆积区位于沟内沿江大道至口前入江口, 堆积区前缘直至长江, 前缘宽 300 m, 后缘宽 100 m, 长约 700 m, 纵比降 77 ‰。目前堆积区地面高程 138 m, 主要为人工填土形成面积宽广的场区。平面面积约 $1.5 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。入江口一带堆积物质约 $1.00 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。由于三峡水库的回水, 加之库岸的防护, 沟口方向已由原来 13° 转为 18° 。

3 泥石流发展趋势及危害性评价

3.1 泥石流的形成机制分析

李家大沟为一季节性冲沟, 由于右侧斜坡岩体破碎以及沟水的冲刷, 每年斜坡都发生不同程度的垮滑, 提供了丰富的物质。泥石流沟沟床纵比降平均约 147 ‰, 形成区汇水面积约 $1.8 \times 10^4 \text{ m}^2$, 分布松散土体总方量约 $3.25 \times 10^6 \text{ m}^3$, 若泥石流爆发时有约 5~15% 体积的松散物进入沟谷, 则将有 $1.5 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的物质对下游造成威胁。李家大沟的水源主要来自降雨, 据调查奉节县每年有 4~7 次雨强大于 50 mm/h 的暴雨, 一般降水在坡面上形成片流和散流, 将坡面物质冲刷补给河道, 同时使两岸土体饱水并产生潜流, 形成崩塌滑坡补给河道。在小雨、中雨期间, 由于水动力小, 这些物质多停留在沟床内, 不断累积; 在大雨特别是暴雨期间, 一方面坡面形成较强的水流冲刷及片流散流冲刷, 同时土体饱水产生潜流, 形成土体滑动补给沟道, 另一方面坡面迅速汇水在沟道中形成径流, 支沟的汇水面积大, 两岸坡陡, 汇流迅速, 形成洪峰, 加之支沟坡降陡, 流速快, 流量大, 水能大, 在沟底形成强烈冲刷, 将沟底堆积物一并卷入水中, 致使洪水中固体物质含量急剧增大, 此外强烈的侧蚀作用, 掏蚀岸坡, 使之崩塌, 塌岸汇入水中, 干流洪水中土石含量剧增, 形成泥石流。

3.2 李家大沟泥石流的发展趋势预测

3.2.1 危险程度判别 对李家大沟泥石流的易发程度进行数量化打判别^[1]见表 3。综合评判得分 $111 > 84$, 李家大沟为中等易发、威胁较严重的泥石流沟。

3.2.2 泥石流流量计算 泥石流流量采用雨洪修正法^[2], 即:

$$Q_C = Q_B(1 + \phi) D_C$$

其中: 泥沙修正系数 $\phi = \frac{Y_C - 1}{Y_H - Y_C}$

式中: Q_C, Q_B ——分别为泥石流及洪水设计洪峰流量(m^3/s); D_C ——堵塞系数, 考虑可能发生轻微堵塞, 取 $D_C = 1.35$; Y_C ——泥石流设计容重, 取其为 $= 1.60(\text{t}/\text{m}^3)$; Y_H ——泥石流固体物质比重, 据试验取 $2.72(\text{t}/\text{m}^3)$ 。计算结果见表 4。

表 3 泥石流沟严重程度数量化评分标准判定

影响因素	权重	严重程度	得分
水土流失严重程度	0.159	严重	21
泥沙沿程补给长度比/%	0.118	> 87%	16
沟口泥石流堆积活动程度	0.108	轻微	7
河沟纵坡(坡度或‰)	0.090	149%	9
区域构造影响程度	0.075	中等	7
流域植被覆盖率/%	0.067	15%	7
河沟近期一次变幅/m	0.062	2	8
岩性影响	0.054	软硬相间	5
沿沟松散物储量/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	0.054	230	6
沟岸山坡坡度(度或‰)	0.045	> 45°	6
产沙区沟槽横断面	0.036	V 型沟谷	5
产沙区松散物平均厚度/m	0.036	1.8	3
流域面积/ km^2	0.036	2.64	5
流域相对高差/m	0.030	815	4
河沟堵塞程度	0.030	轻微	2

表 4 李家大沟出山口泥石流峰值流量计算

PI/%	1	2	5	10	20
$Q_B/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	67.4	61.5	53.6	47.5	40.9
$Q_C/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	197.6	180.3	157.1	139.3	119.9

3.2.3 发展趋势预测 李家大沟泥石流形成区物源丰富, 沟谷纵比降较大, 综合评判得分较高, 在连续降雨和暴雨条件下, 极有可能发生规模中等一大型的泥石流灾害。

3.3 泥石流危害性分析

泥石流一旦爆发, 流通区将变成极其严重的威胁区, 尤其是刘家湾滑坡的整治采用堆填压脚方案, 泥石流冲刷坡脚, 极有可能使滑坡和刘家包变形体发生失稳; 另一方面, 滑坡和变形体失稳将大量补给泥石流的固体物质。同时沟底大量人工填土, 也会大量补给泥石流。泥石流的规模和破坏力度将大大增大。堆积区位于沿江大道以下, 可能堆积范围的面积约 $1.05 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。可供泥石流安全堆积的范围较小, 一旦泥石流灾害发生, 极有可能冲毁、淤埋 4[#] 路以下的大量建筑, 造成的直接经济损失大。

李家大沟泥石流威胁实物指标调查: 楼房框架结构面积 $94\ 117 \text{ m}^2$, 砖混结构面积 $13\ 808 \text{ m}^2$, 政通桥一座、公路 1000 m, 住户 182 户, 654 人。该泥石流影响到奉节县城的规划与建设, 直接影响对象为交通、建筑和人群安全。威胁影响人群为 1000 人; 估计经济损失 2.50×10^8 元。

(下转第 96 页)

理,谁治理、谁收益”的政策,推动企业自身自觉进行污染防治的技术开发和产品升级。创造公平竞争的市场秩序,引导社会尤其是民间私人资本进入环境市场。建立股票债券融资、金融信贷、招商引资等多元化筹融资体系,为循环经济发展提供良好的投资和融资环境。

4 结 语

自然环境的演化与陕西省人口、社会和经济等诸多系统出现非协同性发展是我们发现和提出问题的视点,分析发展循环经济的限制因素并采取相应的对策,是目前建设陕西生态省面临的关键问题。从理念、管理和服务的层面上构筑支持体系,按照自然生态系统物质循环和能量转换规律重构陕西省的经济系统,通过资源的循环利用,形成一个“资源消费→产品→再生资源”闭环型物质流动模式,可化解人们不

断追求物质利益与保护环境之间矛盾,统筹人与自然界关系,突破“生态贫困→经济落后→环境退化”的PPE恶性循环怪圈,为实现建设陕西生态省提供最佳的途径。

[参 考 文 献]

- [1] 李树. 循环经济是我国社会经济发展模式的必然选择[J]. 理论导刊, 2002(6): 31—33.
- [2] 张天柱. 循环经济的概念框架[J]. 环境科学动态, 2004(2): 1—3.
- [3] 刘以礼. 都匀城市发展的环境制约与对策[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2001, 19(4): 35—38.
- [4] 胡浩. 陕西关中地区工业水价调整研究[J]. 地域研究与开发, 2004(1): 66—68.
- [5] 何发理. 用循环经济理念统筹我省经济社会与环境协调发展[J]. 理论导刊, 2004(6): 54—55.
- [6] 欧阳绪清, 傅晓华. 试论循环经济[J]. 生态经济, 2002(1): 31—33.

(上接第 87 页)

4 结 论

(1) 李家大沟泥石流是典型的山区暴雨型泥石流。沟内有松散堆积物约 $6.20 \times 10^6 \text{ m}^3$, 且该区域每年有强降雨, 加之人类工程活动剧烈改造, 使得泥石流的发生不可避免。

(2) 该泥石流沟威胁奉节县的城区建筑、主干道人和路、政通桥及沿江大道和威胁人群 10000 人, 估计经济损失 2.50×10^8 元。

(3) 根据对李家大沟流域的认识以及对收集的已有资料分析, 建议对李家大沟泥石流进行生物与工程综合治理。

(4) 李家大沟中下游人类工程活动剧烈, 对自然沟谷的改造、破坏极大, 并且还在继续, 建议对沟中及支冲沟内的高填方区、高边坡区以及滑坡变形体合理治理并加强变形动态监测。

(5) 建议李家大沟在未得到有效治理前不能在沟中继续工程建设活动。

(6) 在山区新城建设规划中应充分考虑泥石流等工程地质灾害问题, 合理布局。

[参 考 文 献]

- [1] 林宗元. 简明岩土工程勘察设计手册上册(第一版)[M]. 中国建筑工业出版社, 2003. 706—707.
- [2] 吴积善, 等. 泥石流及其综合治理[M]. 科学出版社, 1993.