

文章编号: 1008-2786-(2010)1-123-06

汉源县大渡河“8.6”崩塌堵河灾害研究

葛永刚¹, 陈兴长^{1,2,3}, 方华^{1,2}, 裴来政^{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: 2009-08-06四川省汉源县顺河乡猴子岩发生大型崩塌, 90余万 m³ 崩塌体直接冲进大渡河, 形成 40 m 高的堰塞坝, 阻断大渡河, 形成库容达 6 000×10⁴ m³ 堰塞湖, 导致 2人死亡, 29人失踪和重大财产损失。以现场调查与观测为基础, 分析灾害发育条件和成灾过程, 认为高陡边坡次级断裂造成的岩体破裂是崩塌发育的基础条件, “5.12”汶川大地震、强降雨及道路工程建设造成的边坡失稳是灾害发生的重要原因。针对崩塌堵河灾害的成灾特点, 提出加强山区重大工程区地质灾害评价、预防、预警, 科学设计、施工减少陡坡开挖, 采取果断措施处置施工过程中出现的险情、灾情, 及时在灾害点设置警示标志减少灾害损失等减灾对策。

关键词: 崩塌; 堵河; 堰塞湖; 大渡河; 汉源县

中图分类号: P642.2 P594

文献标识码: A

崩塌、滑坡、泥石流等灾害不仅直接造成人员伤亡和财产损失, 还可阻断河流, 形成堰塞湖, 威胁堰塞体上下游人民生命和财产安全。“5.12”汶川大地震后, 崩塌、滑坡、泥石流、滚石等次生灾害广泛发育, 大规模的崩塌滑坡阻断河道, 形成大量堰塞湖, 存留时间超过 14 d 的堰塞湖达 256 个^[1,2], 具有明显危害的达 34 个^[3], 一度成为震后对灾区最具威胁的灾害类型。公元 1786 年康定-泸定磨西发生 7.4 级地震, 造成大渡河沿岸的摩岗岭山体垮塌, 阻断大渡河 9 d 堰塞湖溃坝形成的洪水横扫下游地区, 大渡河、岷江下游漂溺以万家记, 淹没范围直达宜宾、泸州, 到湖北宜昌江水始渐平息^[4]。2009-07-23 四川省康定县舍联乡响水沟暴发大型泥石流, 阻断大渡河, 堰塞湖回水近 5 000 m, 造成 18 人死亡、36 人失踪及重大财产损失。仅仅两个星期后, 2009-08-06 汉源县顺河乡猴子岩发生山体崩塌, 再次阻断大渡河, 形成高达 40 m 的堰塞坝, 堰塞湖淹没上游大量农田、房屋, 严重威胁上、下游地区安

全(简称“8.6”崩塌堵河)。本文在野外实际调查的基础上, 分析“8.6”崩塌堵河灾害的特征和成因, 并针对此次灾害提出减灾建议。

1 灾害发育的自然背景

崩塌堵河事件发生于四川省汉源县顺河乡大渡河左岸猴子岩(N 29°18', E 102°47'), 位于汉源县城下游约 10 km 和大渡河上最大的水电站——瀑布沟水库大坝上游约 15 km 处(图 1)。

1.1 地质条件

汉源县大渡河干流位于川滇南北构造带北段东侧, 为南北向、北西向、北东向三大构造的复合区。构造断裂以南北走向的汉源-昭觉断裂和宜坪-美姑断裂为主体, 北东走向的峨眉山断裂、北西走向的金坪断裂和石棉断裂与南北向断裂交切。瀑布沟库区出露地层以震旦系下统陆相酸性火山熔岩、火山碎屑岩和澄江期花岗岩为主; 库区中段的由上震旦

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

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究 (973) 项目 (2008CB425802) 和国家科技支撑计划项目 (2006BAC10B04-1)。[Jointly supported by the National Basic Research Program (973) (2008CB425802) and the National Key Technologies R & D Program (2006BAC10B04-1).]

作者简介 (Biography): 葛永刚 (1974-), 男, 陕西凤翔人, 博士, 助研, 研究方向: 山地灾害和水土保持。[Ge Yonggang (1974-), male, born in Fengxiang county, Shaanxi Province, Ph.D. assistant professor specialized in mountain hazards and soil and water conservation.] E-mail: gyg@imde.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

统—古生界碳酸盐岩、中生界红层和下更新统昔格达组地层组成。此外,河谷、支沟及两岸谷坡,尚有零星的第四系冲洪积、冰水河湖相堆积或坡崩积等松散层分布^[5]。

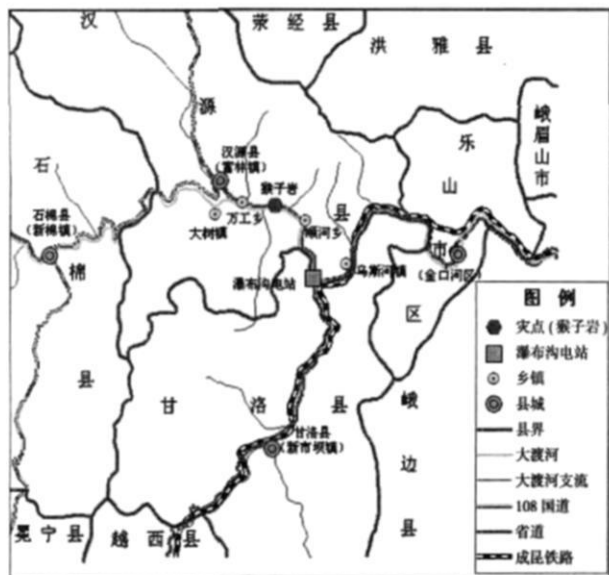


图 1 汉源县 8.6 崩塌堵河灾害位置图

Fig 1 Hazard location of rock fall and Dadu River block in Hanyuan county

顺河乡地处汉源—昭觉断裂与宜坪—美姑断裂所切割的相对稳定的瓦山断块。其基底底部为前震旦系的变质岩,之上为早震旦纪酸性侵入岩。境内有次级断层发育,受新构造运动及地震活动影响,破碎带发育,挤压较紧密,属断块边界低序次级构造。发生崩塌的猴子岩山体由上震旦统灯影组灰色中层块状白云岩及灰岩构成,局部夹钙质页岩,岩石节理和裂隙十分发育,受外力作用极易发生崩塌、滑坡。

1.2 地貌条件

大渡河发育于青藏高原与四川盆地的过渡地带,河流深切,沟谷深邃,地表起伏巨大,相对高差悬殊,两岸谷坡陡峻,形成深切峡谷地貌。汉源县桂贤乡以下西街河汇口至乐山金口河区河段为峡谷地段,大渡河宽 70~150 m,局部河段仅为 50 m。区间山体陡峻,坡度普遍大于 40°,局部河段山体坡度大于 60°,为典型的“V”河谷。猴子岩就处于这一峡谷地带。

1.3 气象水文条件

大渡河沿岸属亚热带山地气候,垂直分异明显,河谷地带干热少雨。据汉源县富林镇(老县城)的气象观测资料,其多年平均气温 17.8℃,极端最高

和最低气温分别为 40.3℃和 -3.3℃,多年平均降水量 730.8 mm,降雨主要集中于 6~9 月,占年降雨的 70% 以上,且多以夜间阵雨和暴雨为主,最大日降雨量达 85.9 mm。大渡河及其支流水流量充沛,河床比降大,滩多水急,据瀑布沟坝址附近的铜街子、沙坪、毛头码水文站 1937~1999 年的观测资料,大渡河年平均流量 1 230 m³/s 平均年径流量 388 × 10⁸ m³,丰水年平均流量 1 640 m³/s 最枯年平均流量 909 m³/s^[5],雨季流量大于 2 000 m³/s。

脆弱的地质环境、陡峻的地形、以暴雨为主的强降雨造成区内崩塌、滑坡、泥石流、山洪等自然灾害广泛发育,也是猴子岩崩塌堵河灾害发生的环境基础。大渡河水量丰富,流量大,一旦崩塌、滑坡、泥石流堵河形成堰塞湖,极易引发上游淹没与下游溃决洪水,威胁上下游安全。

2 崩塌堵河灾害特征

2.1 成灾过程

猴子岩崩塌堵河事件发生于 2009-08-06T23:30 左右,崩塌体源于距大渡河河面约 150 m 的省道 S306 新线上方的猴子岩山体。受到 S306 新线施工扰动的不稳定裸露岩体率先发生崩塌,由此引起公路上部约 260 m 高、顺河方向长 300 余 m 的山体整体发生失稳破坏,崩塌的山体下落进入大渡河。上部山体崩塌作用于下部坡面上,引起公路下方原本堆积的崩塌体及坡体发生浅层滑坡,与上部崩塌的山体一起迅速进入大渡河,并阻断大渡河。崩塌持续大约 5 min,崩塌体在大渡河河道迅速形成高约 40 m,顺河方向 300 余 m,顶部宽约 373 m 的堰塞坝,堵断大渡河,形成堰塞湖(图 2)。初步测量表明:崩滑体下部和中部宽约 300 m,高约 400 m,厚数米~数十米不等,估计崩塌体方量约 90 余万 m³(图 3)。崩塌发生时,崩塌体巨大的动能将湍流的大渡河水激起 70~80 m 高的巨浪,在崩塌体与水浪的作用下猴子岩对岸 300 m 长,70~80 m 高的坡体发生岸坡失稳垮塌,并引起植被破坏。同时,通过原省道 S306 线的车辆被埋或损坏。现场调查发现 1 辆客车,3 辆面包车被埋或冲走,同时造成堰塞坝下游 2 辆面包车、2 辆施工车辆及 5 辆货车损毁,2 人死亡,29 人失踪,18 人受伤。

由于大渡河水量丰沛,流速大,堰塞湖水位迅速升高,从灾害发生到 08-07T4:00 约 4.5 h 内,堰塞

湖水位迅速升高约 20 m 左右,上游淹没范围不断扩大,据汉源县城边设置的水位观测点观测,08-07T1:00~7:00 大渡河水上上涨约 5.7 m,大渡河沿岸 10 余 km 一片泽国。观测数据表明,08-07T3:30 堰塞湖溃决泄流前瀑布沟电站大坝前流量为 $240 \text{ m}^3/\text{s}$ 仅为 08-06T8:00 流量 ($2760 \text{ m}^3/\text{s}$) 的 8.7%,估算堰塞湖库容达 $6000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。08-07T4:00 许,堰塞湖水开始从堰塞坝左侧低凹处翻坝泄流,泄流口逐渐增大,4 h 后,河道中的堰塞体已有近 1/2 溃决,形成宽度约 100 m 的泄流口,泄流口下部接近大渡河正常水位,下游的安全警报解除。但由于堰塞坝体主要白云质灰岩的巨大块石、碎石及破碎砂土组成,坝体结构稳定,尽管大渡河水流湍急,但水流自身难以完全清除堰塞体。至 08-07T7:00 堰塞体上游石棉来水量 $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ 加上流沙河及区段内其他支流,堰塞湖来水量仍然大于下游排水量约 $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (瀑布沟入库流量: $2000 \text{ m}^3/\text{s}$),堰塞湖内壅水明显。现场测量表明,至 08-08T14:00 许,堰塞坝坝体上下游 300~400 m 范围内,水位落差仍有 16 m;加上猴子岩上部存在 3 个危岩体,极有可能再次发生崩塌,因此崩塌阻河灾害造成的威胁还没有完全解除。

2.2 灾害特征

1. 崩塌-堰塞湖-(潜在)溃决洪水灾害链

“8.6”崩塌堵河事件发生于大渡河的高山峡谷地区,崩塌体方量大,垂直运动距离长,运动速率高,直接堵断大渡河,表现为崩塌-堰塞湖-(潜在)溃决洪水灾害链。崩塌形成的堰塞坝体主要由巨大石块、碎石及破碎砂土组成,就坝体物质组成和结构而言,上游正常来水条件下,再次溃决引发洪水的可能性虽不大,但堰塞湖泄口水位仍然高于下游河道水位 16 m,始终对下游地区构成威胁。时值雨季,如果上游地区发生大范围强降雨,来水量激增,发生堰塞体溃坝进而引发溃决洪水可能将大大增加,而堰塞湖库容数千万立方米,一旦溃决,后果不堪设想。

2. 突发性与持续性

崩塌堵河灾害前后持续约 5 m in,瞬间堵断大渡河水,形成堰塞湖,灾害事件具有突发性。而在堵江灾害发生前,猴子岩已有持续不断的小型崩塌事件发生,零星的崩塌持续约 50 m in,阻断了来往的车辆。崩塌堵江事件发生后一周内,由于崩塌体上部存有 3 个危岩体,崩塌、滚石还时有发生,而堰塞湖

溢流后,堰塞湖水位仍然保持较高水位,对上下游的威胁一直保持。经过 08-08、08-10 和 08-12 三次爆破,猴子岩上部危岩和堰塞体左侧部分清除后,大渡河水位和流量恢复正常,威胁才最终解除。

3. 交通中断,增大救灾难度

灾害事件发生于高山峡谷地区,交通本就不便,而崩塌堵河又造成省道 S306 新、旧线路损毁,堰塞体上下游交通完全中断,加上灾害点崩塌、飞石持续不断,大大增加了现场调查、勘测的难度,同时还限制了大型机械设备进场开展救灾,增大了救灾难度。

4. 损失巨大,影响范围广

尽管猴子岩崩塌一直持续不断,事发前发现有新的不稳定坡体和裂缝,但对于灾害危险性估计不足,没有采取禁止通行的警示标志,直接造成 2 人死亡,29 人失踪,18 人受伤,5 人被困,13 辆汽车被埋和损毁。堰塞湖造成上游大渡河沿岸 10 余 km 内 147 户农房、118.27 hm^2 农田被淹。崩塌导致省道 S306 新线猴子岩段完全被毁,原省道 S306 线被崩塌体和堰塞湖掩埋、淹没,乌斯河-汉源县城交通中断。崩塌还造成猴子岩附近及对岸山体的稳定性降低,有引发生新的崩塌、滑坡的可能;同时导致两岸约 7~8 hm^2 坡面裸露,植被破坏,生态环境受损,而岩质崩塌物质留存于瀑布沟水库中影响电站安全运行,减少水库库容,堰塞湖翻坝泄流还造成大渡河数十公里河岸冲蚀明显,破坏了库岸和路基的稳定性,影响范围甚广。

3 灾害成因

“8.6”崩塌堵河灾点的现场调查表明,本次灾害是在当地有利的自然环境条件及人类活动的共同作用下发生的大型山地灾害。

3.1 自然因素

猴子岩位于瓦山断块上,岩性为白云质灰岩,局部夹杂钙质页岩,岩层产状为 $N75^\circ W, NE \angle 34^\circ$,受构造运动及地震影响,岩石节理发育,裂隙明显,地层破碎,受外力作用极易出现坡体失稳。猴子岩山体地处大渡河峡谷区,山体坡度超过 60° ,受两边支沟的切割作用,为三面临空的突出山体,在大渡河强烈深切作用下,高陡坡体强烈卸荷,受外力扰动极易触发崩塌、滑坡。“5.12”汶川大地震在汉源县县城周边椭圆形区域内形成了约 400 km^2 的显著高烈度异常地区,其烈度达 (II) 度^[7],猴子岩位于异常烈

面(图 4),山体裂缝清晰可见,崩塌形成的大型石块堆积在陡坡之上,严重威胁原 S306线上的过往车辆与行人安全(图 5)。灾害发生前夕,施工单位在猴子岩 S306新线上部山体发现新的不稳定坡体,山体裂缝明显,考虑到安全因素,施工方撤出了施工机具,等待专家重新制定治理方案,而灾害却发生在等待的过程中。

分析表明,自然因素为“8.6”灾害提供了有利的物质、地形及水文条件,“5.12”大地震降低了山体稳定性,有利于崩塌、滑坡的发生。而修建于山腰的省道 S306新线,自开工以来就不断引起崩塌,边坡在猴子岩山体中部形成长 300余 m 的不稳定边坡,造成陡峻山体坡脚应力集中,在施工以来的约 3 a时间里边坡不稳定性持续增加,并在岩体汉源一侧出现 120~130 m,高 70~80m 的崩塌裸露面,创面上可见明显的裂缝(见图 5),是本次崩塌堵河灾害发生的原因之一。

4 应急排险及其成效

“8.6”崩塌堵江灾害发生后,省、市、县各级政府极为重视,及时采取强有力措施,尽最大努力降低灾害造成的各项损失。灾害发生以来采取的应急措施包括:

1. 组成由省级领导任组长,省、市、县各级政府及国土、水利、交通、武警等相关部门参与的灾害应急处理领导小组,指挥救灾,并组织联合专家组进入灾害现场,进行现场勘查与调查,展开科技救灾。

2. 及时启动灾害应急处置方案,沿岸的雅安、凉山、乐山各市县及时通报灾情,进行灾害预警,连夜转移大渡河沿岸受堰塞湖威胁居民数万人,预防堰塞湖溃坝可能造成的更大损失。

3. 以汉源县为主导,联合大渡河沿岸甘洛、金口河、峨边等县区及水电工程单位及时救治灾害中的受伤人员,搜救失踪人员,安抚死亡人员家属,妥善进行灾后处理,维护社会稳定。灾害处置过程中,各大媒体追踪报导灾害信息,受灾地区群众情绪稳定,为救灾、减灾工作营造了良好的社会环境。

4. 经过现场勘查与调查,分析猴子岩山体的稳定性,通过 08-08、08-10两次爆破清除崩塌山体上的危岩,进而于 08-12通过第三次爆破清除堰塞坝体中的大型石块,拓宽堰塞坝泄流面,完全解除堰塞湖形成的威胁。

5 启示与建议

分析“8.6”汉源县崩塌堵河灾害的特征、成因及救灾工作,需要在今后的工作中总结经验,汲取教训,改进以下各方面的工作:

1. 进一步加强山区重大工程区的地质灾害的风险性评估工作,对主体工程与附属工程都应严格进行地质灾害评估,加强区域和重点地段地质灾害的预防与预警工作,切实落实减灾措施,减少地质灾害造成的人员和财产损失。

2. 针对类似猴子岩的陡峻山坡,工程建设过程中应尽量避免边坡开挖,需要开挖的斜坡必须进行严格的勘查和稳定性分析,确定施工方案,采用时序施工或超前支护施工,同时对于开挖的边坡,应及时采取防护和治理措施,确保坡体稳定。建议道路以避让方式通过此类不稳定陡坡地段,不能避让的应主要考虑安全,以替代工程(隧道、桥梁)通过,如 S306线以隧道形式通过猴子岩,其触发灾害的可能性就很小。

3. 以人为本,坚持科学发展观,针对工程建设中出现的险情、灾情及时采取果断措施进行防护与治理,预防灾害发生;对于治理难度大的区域应及时调整工程施工方案,减少工程建设引起新的灾害点。

4. 吸取“8.6”崩塌堵河灾害的教训,及时排查和发现工程建设区的潜在地质灾害,对危险性高,可能造成重大损失的灾点,及时设立警示标志,减少人员伤亡与财产损失。

参考文献 (References)

- [1] Cui Peng, Han Yongshun, Chen Xiaoping. Distribution and risk analysis of dammed lakes reduced by Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2009, 41(3): 35~42 [崔鹏, 韩用顺, 陈晓清. 汶川地震堰塞湖分布规律与风险评估 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2009, 41(3): 35~42]
- [2] Peng Cui Ying-yan Zhu Yong-shun Han et al. The 12 May Wenchuan earthquake-induced landslide lakes distribution and preliminary risk evaluation [J]. *Landslide*, 2009, 6: 209~223 (DOI 10.1007/s10346-009-0160-9)
- [3] Cheng Zunlan, Cui Peng, Li Yong et al. Major disasters and countermeasures of dammed lakes from landslides and debris flows [J]. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(6): 733~738 [程尊兰, 崔鹏, 李泳, 等. 滑坡、泥石流堰塞湖灾害主要的成灾特点与减灾对策 [J]. 山地学报, 2008, 26(6): 733~738]
- [4] Jiang Zaixiong. 1786 earthquake flood and mitigation in Dadu River

- er—200 anniversaries of Moxi Earthquake along Kangding—Luding [J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 2006, 3(4): 4~9 [江在雄. 1786 年大渡河地震、水患及救灾——康定—泸定磨西地震 220 周年 [J]. 四川地震, 2006, 3(4): 4~9]
- [5] Chengdu Investigation and Design Institute of State Power Corporation, Southwest Jiaotong University. Hazards Evaluation Report of GeoHazards of Construction Land for Pubugou Water-Power Station at Dadu River in Sichuan Province [R]. 2003, 6: 6 [国家电力公司成都勘测设计研究院, 西南交通大学. 四川省大渡河瀑布沟水电站工程区建设用地地质灾害危险性评估报告 [R]. 2003, 6: 6]
- [6] Huang Runqiu, Wang Yunsheng, Dong Xijun. The 6th August 2009 field urgent investigation on the geo-hazard of the rock fall damming in Houziyan, Shunhe, Hanyuan, Sichuan [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(4): 445~448 [黄润秋, 王运生, 董秀军. 2009 年 8 月 6 日四川汉源猴子岩崩滑的现场应急调查及危岩处理 [J]. 工程地质学报, 2009, 17(4): 445~448]
- [7] Gao Mengtan, Chen Xueliang, Yu Yanxiang, et al. Preliminary discussion on intensity anomalous mechanism of Hanyuan Town in 5.12 Wenchuan Earthquake [J]. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2008, 3(3): 216~223 [高孟潭, 陈学良, 俞言祥, 等. “5.12”汶川 8.0 级地震汉源烈度异常机理的初步探讨 [J]. 震灾防御技术, 2008, 3(3): 216~223]
- [8] <http://www.time-weekly.com/2009/0812/ynMDAwMDAwMzIyNg.html> [OEOL].

Study on the Disaster of Dadu River Block Induced by the Rock Fall Occurred at Hanyuan County on August 6th, 2009

GE Yonggang¹, CHEN Xingzhang^{1,2,3}, FANG Hua^{1,2}, PEI Laizheng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Processes/Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

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

Abstract August 6th, 2009, a large-scale rock fall occurred at Houziyan in Hanyuan county. $900 \times 10^3 \text{ m}^3$ rock directly rushed into Dadu river and created a dam with the height of 40m, which blocked Dadu river and engendered a dammed lake with the length over 10 km and the capacity of $60 \times 10^6 \text{ m}^3$. This hazard resulted in 2 persons in dead, 29 person lost and quantity of property loss. This paper mainly discussed the causes and characteristics of this disaster on basis of field investigation and observation. It was found that the rock breach induced by high-steep slope sub-rupture provided the favorable condition for this rock fall and the interaction of S306 highway reconstruction, 5.12 Wenchuan Earthquake and intensive rainfall triggered this hazard. For mitigating this kind of hazard, it was recommended that strengthened the assessment, prevention and alarm of geo-hazards at mountain engineering construction areas, reduced steep slope dug and failure by rational design and construction, treated and controlled the hazards in the process of engineering construction as well as decreased the hazard losses by disposing a alarm sign at hazard site in time.

Key words rock fall, river block, dammed lake, Dadu River, Hanyuan County