

广元堡后沟矿渣泥石流成因分析及应急抢险工程方案

周 毅, 刘 鑫, 孙喜丽

(四川省地质矿产勘查开发局九一五水文地质工程地质队, 四川 眉山 620010)

摘要:2013 年 7 月 4 日, 石棉县广元堡地区发生特大矿渣泥石流, 给沟口的广元堡社区人民造成严重威胁。由于矿渣泥石流的特殊性, 国内泥石流应急抢险治理方面的经验相对较少。结合广元堡后沟矿渣泥石流应急抢险工程实例, 对泥石流的成因进行了简要分析, 并介绍了泥石流应急治理的方案和设计内容。

关键词:矿渣泥石流; 应急抢险; 灾害治理

中图分类号: P642.23 文献标识码: B 文章编号: 1672-7428(2016)10-0087-05

Causes Analysis on Slag Debris Flow and Emergency Rescue Project/ZHOU Yi, LIU Xin, SUN Xi-li (915 Geological Team of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Meishan Sichuan 620010, China)

Abstract: A heavy slag debris flow occurred in Shimian of Guangyuan in July of 2013, which caused serious threat to the lives and property of the people there. Because of the particularity of this debris flow, there was little similar control experience in China. Based on the case of emergency rescue project in Guangyuan, the paper analyzes the causes of this slag debris flow and introduces the emergency rescue project and the design.

Key words: slag debris flow; emergency rescue; disaster control

1 广元堡后沟泥石流基本特征

四川省雅安市石棉县广元堡后沟历来是一条泥石流沟, 位于石棉县城南侧的楠桠河右岸的高中山区, 该沟沟域面积 9.265 km^2 , 流程长 6.77 km , 平均纵坡降 236% , 沟谷宽 $50 \sim 170 \text{ m}$ 不等, 两侧山坡坡角一般 $35^\circ \sim 60^\circ$, 局部 $70^\circ \sim 85^\circ$, 沿途接纳了 5 条长 $0.6 \sim 1.28 \text{ km}$ 的次级冲沟, 于广元堡社区侧汇入楠桠河。

该沟地质环境条件复杂, 地质历史时期形成的松散的自然堆积物历经多次自然泥石流或洪流的搬运已所剩不多。然而, 广元堡后沟的下游沟域北侧山地曾经蕴藏着丰富的石棉矿(四川石棉矿的南矿区所在地), 四川石棉矿在该沟域长达 50 余年的开采活动中先后向下游沟谷及山坡排放了大约 760 万 m^3 的矿渣(见图 1)。尽管该矿已是闭坑矿山, 但这些堆积如山的毫无防护措施的矿渣已演变成该沟近 40 年泥石流活动的主要物源, 曾几度给沟口的居民及交通运输构成了灾害。

2 广元堡后沟泥石流治理工程简史

受“5·12”汶川特大地震的影响, 这些矿渣堆积物愈显松散而更易失稳, 加之近年来当地集中降水



图 1 广元堡后沟沟口石棉矿渣堆积情况(2009 年)

天气的增加, 致使沟域下游泥石流、崩塌等地质灾害暴发的频率增高, 规模加大, 严重危害沟口的村庄和公路, 还可能对下游的石棉县城构成威胁。

对此, 四川省国土资源厅高度重视, 于 2009 年 1 月下达项目工作任务书, 组织地勘单位对广元堡后沟泥石流沟进行勘查设计活动。由于该沟地质环境条件复杂, 流域面积大, 勘查设计活动期间遭遇了泥石流爆发, 被迫开展了补充勘查设计工作。最终于 2011 年 7 月完成勘查设计活动。设计单位针对该沟提出的工程治理方案为“矿渣堆清方 + 单边防护堤 + 潜坝群 + 排导槽”的“清 + 固 + 排”综合治理措施, 治理工程设计标准为 $P = 5\%$ (20 年一遇)。

收稿日期: 2016-07-14; 修回日期: 2016-09-07

作者简介: 周毅, 男, 汉族, 1984 年生, 工程师, 硕士, 从事地质灾害勘查设计工作, 四川省眉山市东坡区眉州大道东 1 段 157 号, 86921568@QQ.com。

在相关部门的组织和督促下,随后的施工前准备工作和工程建设活动紧锣密鼓的进行。2013年4月,石棉县广元堡后沟泥石流治理工程竣工并通过竣工验收。

3 广元堡后沟矿渣泥石流基本情况

3.1 雨情

2013年7月4日16时至5日7时,石棉县境内普降暴雨。据四川省雅安市水文局、石棉县气象局雨量监测资料,7月4日中心城区1h最大暴雨量达43.7mm。据石棉县气象局推算,在7月4日16时至当日22时6h内,后沟暴雨中心的降雨量超过了180mm。根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》推荐的中小流域设计流量理论公式计算,本次广元堡后沟暴雨中心6h雨强的频率应大于300年一遇。

县域21个雨量监测点监测数据显示,此次降雨强度达暴雨量级以上,县域内多条溪沟暴发了山洪、水(泥)石流灾害,广元堡后沟矿渣泥石流即是其中之一。

3.2 灾情

7月2日,石棉地区就出现了较强降雨天气过程,强降雨导致沟域斜坡和沟道松散土体多处于饱和状态。7月4日至5日,远超设计标准的高强度暴雨形成集中山洪对广元堡后沟中下游沟床造成剧烈的揭底冲刷,以及对沟岸的侧蚀,致使沿途大量矿渣参与活动,形成了大规模的矿渣泥石流。

来势汹汹泥石流造成广元堡后沟沿程的既有潜坝和单边防护堤工程基本损毁殆尽,并且在既有排导槽的“喇叭”口入口段右岸翻岸而出,随即向下游缓坡漫流,导致下游的既有排导槽工程被全部淤堵;部分排导槽右边墙被推覆破坏;楠桠河河道被泥石流堆积物挤压,同时造成沟口G108国道以及沟内矿区公路被淤埋,沿沟地形地貌和地质环境遭到严重破坏,所幸既有治理工程起到了较好的减灾作用,未造成人员伤亡。据估算,本次泥石流起动固体物质总量约90.7万 m^3 (其中:约70万 m^3 固体物质堆积于沟口堆积区,其余约20.7万 m^3 被楠桠河携带至下游)。

3.3 泥石流规模与参与泥石流活动的固体物质来源

经实地调查,本次广元堡后沟矿渣泥石流固体

物质主要堆积于下游既有排导槽沟段及沟口的楠桠河河床中。据测算,本次广元堡后沟矿渣泥石流的固体物质总量达90.7万 m^3 ,为大型泥石流。

据初步现场调查分析,本次参与泥石流活动的固体物质主要为石棉矿矿渣,主要来源于广元堡后沟下游沟道矿渣拉槽揭底、矿渣岸坡崩滑失稳,其次为中游沟道浅表层松散堆积物在强降雨作用下新发生的滑塌与沟道揭底。

4 矿渣泥石流成因初步分析

4.1 降雨量超极值,暴雨洪水流量远高于既有治理工程设防标准

如前所述,强降雨的6h雨强达到了180mm以上,降雨频率超过了300年一遇,加之广元堡后沟沟域汇流面积大(9.265 km^2),由此所形成的泥石流的各类数据(流速、流量、冲刷深度等)远远超过了既有治理工程20年一遇的设防标准,并具有极强的破坏力。

4.2 物源松散且渗透性强,易侵蚀

广元堡后沟沟域泥石流物源分布区主要以矿渣物源为主,矿渣堆积十分松散,在“4.20”芦山强烈地震的作用下,沟域内的松散土体进一步松动,稳定性降低,在暴雨或持续降雨的作用下易于失稳,成为潜在的泥石流物源。

7月4日,石棉县出现了持续时间较长的强降雨天气,降雨入渗使得矿渣的稳定性逐渐降低。同时,由于石棉矿矿渣岩性为含块石碎石土,其组成的物源具有很强的渗透性,大量降雨入渗及地表洪流的入渗易在沟道形成潜流,使松散堆积物饱和或处于流态状态,对既有治理工程基础的稳定性构成严重威胁。受设防标准的限制,既有治理工程的基础埋深不能达到超设防标准下的基础埋深要求,因此,在超过300年一遇泥石流的作用下,按20年一遇标准设计的治理工程基础很容易被侵蚀、冲毁。在这种情况下,随着上游汇水的增加,参与泥石流活动的固体物质也不断增多。

4.3 局部沟道狭窄,易壅堵

广元堡后沟局部沟道为V字形断面或过流断面不足5m,岸坡失稳或上游沟段突然涌入大量固体物质,易使沟道壅塞,形成堵溃型泥石流。一旦堰塞体溃决,瞬间冲出的泥石流将对下游造成极大的破坏。

4.4 沟道多弯道,不利于矿渣泥石流的排泄

广元堡后沟沟道弯道多,而泥石流的直进性较强,它们往往会在弯道形成爬高的现象,对其排泄不利,同时这也对冲刷岸的稳定性构成了严重的威胁。

总之,本次泥石流是在 7 月 4 日远超设防频率强降雨的作用下形成的强大山洪对广元堡后沟中下游沟道及岸坡剧烈下切、冲击,导致既有治理工程的单边防护堤和潜坝群损毁,洪流携带沟道和岸坡的松散固体物质形成的。

5 应急抢险方案

根据广元堡后沟泥石流发育情况及既有治理工程损毁状况,结合施工条件和后续降雨可能对沟道的影响,石棉县抢险指挥部、石棉县国土资源局与临危受命的设计单位、施工单位和监理单位现场会商,对应急抢险方案进行动态优化和调整,抢险目标是阻止县气象台预警的一星期之后的下一个暴雨期所形成的矿渣泥石流对沟道以及出山口右岸规模庞大矿渣堆的掏蚀裹挟,并通过调整沟道曲率,改变泥石流流行通道的手段,使泥石流顺利回流排导槽中并顺利向下游排泄,以此抢险目标为宗旨形成了最终的应急抢险方案。应急抢险方案为:排导槽及楠桠河河床清淤+排导槽“喇叭”口右岸矿渣边坡段钢筋石笼护岸+潜坝固床+沟床回填压实+大块石(砗块)铺底+排导槽损毁段修复,以保证洪水顺畅归槽导入楠桠河,应急抢险工程布置平面图见图 2。



图 2 应急抢险工程布置平面图

5.1 清淤工程

本次泥石流淤埋了既有的排导槽,并堵塞了楠桠河河道,为使其发挥正常的疏导功能,保证后期洪水或泥石流顺利沿排导槽排导以及和楠桠河河道顺利行洪输沙,对排导槽与楠桠河河道中本次泥石流形成的淤积物进行清理。该项抢险分项工程由某武警水电部队承担清运。

5.2 钢筋石笼护岸工程

受洪水的侵蚀,既有排导槽工程入口以上的右侧矿渣沟岸形成了较大规模的岸坡失稳。为避免洪水再次侵蚀,采用钢筋石笼进行护岸。根据岸坡受威胁程度和形势,护岸工程西连回填压实工程,东接右岸残存的防护堤,钢筋石笼护岸总长 403 m。

5.2.1 钢筋石笼护岸高度设计

钢筋石笼护岸段沟道平均宽度约 15 m,测算泥石流流速 $V_c = 5.5 \text{ m/s}$,允许过流流量为 $230 \text{ m}^3/\text{s}$,计算得设计泥深 $H = 2.8 \text{ m}$,取安全超高 1 m,弯道超高 2 m。因此,钢筋石笼护岸工程顺直段设计有效高度 4 m,弯道段加弯道超高 2 m(弯道超高段从下游至上游为拟建 2~5 号钢筋石笼潜坝段沟道,长约 70 m)。

5.2.2 钢筋石笼护岸断面设计

根据沟道揭底深度确定石笼护岸的基础埋深为 2 m,底宽 4 m,呈阶梯状向岸坡收敛,顶宽 3 m,弯道超高段顶宽 2 m,结构断面设计图见图 3。

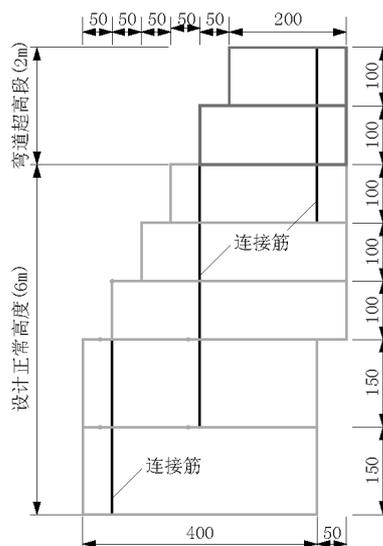


图 3 护岸钢筋石笼结构断面图(单位:cm)

钢筋石笼分层修筑,底部 2 层层高均为 1.5 m,其余层层高均为 1 m,各钢筋石笼层间设连接筋。钢筋石笼设计为长箱形,沿长度方向每延米做一个

隔离面,防止装填石料后钢筋笼受挤压变形。钢筋笼在施工现场编制,为便于抢险施工,所需钢筋材料统一采用直径16 mm的HRB335钢筋。

5.2.3 钢筋石笼护岸填料设计

由于应急抢险工程工期紧迫,故填料采用机械抛填的方式,但每层钢筋石笼表层及侧壁需人工平整,石笼内抛填块度25~40 cm的新鲜坚硬块石。根据多方现场会商意见,块石主要在沟道及附近岸坡选取,根据该区域内石材的岩性(主要为蛇纹石)及其物理力学特性,要求块石强度不低于MU15。

5.3 潜坝固床工程

原有排导槽工程“喇叭”口上游约90 m处(原4号钢筋石笼潜坝坝位)至“喇叭”口下游约70 m沟道纵坡达11.6°,沟道内堆积大量松散矿渣泥石流固体物质,为固定该部分松散矿渣物源,在该段沟道内设置9道钢筋石笼潜坝进行固床。钢筋石笼潜坝左坝肩与排导槽左边墙衔接或嵌入左岸岸坡松散层5 m;右坝肩与钢筋石笼护岸焊接。

5.3.1 钢筋石笼潜坝平面设计

共布设9道钢筋石笼潜坝,设计潜坝间距20 m。潜坝轴线长度等参数详见表1。

表1 钢筋石笼潜坝坝体参数一览表

潜坝编号	轴线长/ m	顶宽/ m	底宽/ m	基础埋深/ m	露出地面/ m
1号	42	3	4	2	1
2号	45	3	4	2	1
3号	37	3	4	2	1
4号	36	3	4	2	1
5号	36.6	3	4	2	1
6号	39.4	3	4	2	1
7号	37.4	3	4	2	1
8号	28.7	3	4	2	1
9号	33.5	3	4	2	1

5.3.2 钢筋石笼潜坝断面设计

设计潜坝底宽4 m,顶宽3 m,高3 m(其中:基础埋深2 m,露出地面1 m),钢筋石笼每层高1 m,共3层,下部2层宽4 m,上部1层宽3 m,迎水面垂直,背水面呈阶段状收敛(见图4)。钢筋石笼分层修筑,底部1层层高为2 m,顶层层高为1 m,钢筋笼编制要求与护岸钢筋石笼相同。

5.3.3 钢筋石笼潜坝填料设计

参见“5.2.3 钢筋石笼护岸填料设计”。

5.4 回填压实工程

回填压实工程为沟道回填压实。受“7.4”泥石流

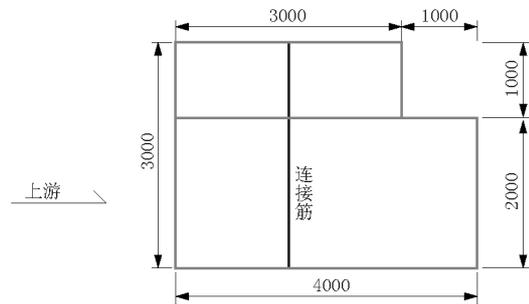


图4 钢筋石笼潜坝结构断面图

强烈侵蚀破坏,既有治理工程的4号钢筋石笼潜坝坝位以上沟道被强烈泥石流强烈侵蚀切割拉槽形成了长150 m、平均宽约30 m、平均深约3.5 m的沟槽。为防止沟道进一步下切,抬高钢筋石笼潜坝基础,须对泥石流切割拉槽的沟段进行回填压实,压实标高根据钢筋石笼护岸及潜坝基底标高确定,保持回填压实高度高于基底标高2 m。

5.5 大块石(砣块)铺底工程

本次拟建工程地带的沟道物质松散,为减轻洪水对沟道的冲蚀下切作用,提高钢筋石笼护岸工程和潜坝的稳定性,采用沟道内的大块石和原防护堤破坏后的混凝土块对钢筋石笼护坡坡脚以及潜坝背水面进行铺底和护脚防护。由于沟道内大块石料数量有限,选料困难,且县城周边无砂石料场可购买,该项工程将大大延长抢险施工工期,经石棉县抢险指挥部等多方现场会议议定,大块石铺填工程调整为对第1道潜坝下游;第9道潜坝上、下游铺填宽3 m的大块石,铺填长度根据坝体轴线长度确定,防止洪流冲蚀其基础,铺填厚度均为1 m,所采用的大块石的直径 ≤ 0.5 m。

5.6 排导槽拆除与修复工程

由于泥石流翻岸漫流,对排导槽右边墙造成局部倾覆破坏,为恢复其行洪能力,对破损段进行修复。另一方面,通过改变泥石流进入排导槽的入口位置,使钢筋石笼护岸的下游段与排导槽上游左边墙可形成巨大的排导槽“喇叭”口,可引导泥石流体顺利进入排导槽。因此,上游端的排导槽右边墙需拆除,以形成新的排导槽“喇叭”口。

(1) 拆除既有排导槽上游端右边墙80 m,拆除过程中形成的粒径大于0.5 m的混凝土块可做铺底工程的填料,右边墙后部至护岸钢筋石笼间所形成的三角地带的土体需尽数清除,形成平顺的“喇叭”口,便于泥石流汇流。

(2)排导槽右边墙修复35 m,采用钢筋石笼砌筑,底宽2 m,截面呈矩形,基础埋深1.6 m,有效高度3.4 m。

(3)现存排导槽右边墙至其下游约75 m段的墙背被泥石流掏空,但未破坏。为防治泥石流进一步下切侵蚀墙背而危及右边墙的整体稳定性,墙背需进行压实回填,压实回填高4 m,下底宽3 m,上顶宽5 m。

5.7 应急抢险工程治理效果评估

本次抢险工程首要设计原则是针对沟道内最重要、危险地段进行工程治理,充分发挥它的时效性,第一时间保障人民生命财产安全。

(1)钢筋石笼护坡工程对下游右岸巨大的矿渣堆坡脚进行了防护,有效地防止了山洪翻岸和对坡脚的进一步下切侵蚀,从而大大地减少了参与泥石流活动的物源量。由于钢筋石笼护坡下游与排导槽相接,能够引导泥石流顺利进入排导槽向下游楠垭河排泄。

(2)9道钢筋石笼潜坝布设在原排导槽“喇叭”口段的沟道拐弯处,该段沟道纵坡降较其上游相对较陡,达11.6°,设置潜坝可有效地降低沟道的纵坡降,将沟道纵坡降控制在110‰以内——既有利于砂石淤积的纵坡降,防止沟道的进一步下切侵蚀,从而也减轻了左岸坡受下切侵蚀而垮塌的严重程度。

(3)沟道平整、回填压实与大块石铺填工程可引导和分散洪流,可降低洪流的集中冲刷强度,一定程度上减少洪流对沟道的下切侵蚀,在潜坝左坝肩和部分坝体下游回填大块石可提高坝的抗冲刷能力。

6 后续综合治理方案建议

(1)本次应急抢险工程仅为临时性工程,不能代替永久性工程,在暴雨期后,管理部门应尽快组织专业队伍对广元堡泥石流沟补充详细的勘查设计工作。

(2)根据广元堡后沟泥石流特征及其沟域现

状,建议在开展补充勘查设计工作的基础上,请参考“上游拦挡,中游固源、消能,下游排导与桥涵改造”的综合治理思路,并提高治理工程的设防标准。

(3)根据石棉县县城周边一些地方对填土需求量大客观实际,建议清除堆积区和高陡边坡段的矿渣,并开展沟道护岸与矿山地质环境恢复治理工作。

(4)建议在后沟源头一带设置自动雨量监测器,为水(泥)泥石流的监测预警和工程治理提供有力的基础资料。

(5)进一步加强监测预警工作,尤其是应急抢险阶段更要提高监测预警级别,加密监测次数,防止水(泥)泥石流危及应急抢险人员、施工机械及过往行人和车辆。

参考文献:

- [1] 程思,袁源,周政.文家沟泥石流监测预警系统研发与建设[J].人民黄河,2013,35(7).
- [2] 程盟,周航.石渠县甲日沟泥石流特征研究与治理设计[J].甘肃水利水电技术,2014,(7).
- [3] 康俊杰,刘益珍,李广.四川省汉源县白树沟泥石流特征和危害性分析[J].资源环境与工程,2009,23(4):457-461.
- [4] 李毅,李任华,伍小林.雅江县格宗沟泥石流成因及运动特征研究[J].水电站设计,2013,(1):66-69,78.
- [5] 柏山,沈习文.四川省甘孜州雅江县下渡沟泥石流成因及运动特征研究[J].水电站设计,2015,(1):32-36.
- [6] 彭昌翠,刘海,唐垒庆.黄家沟泥石流成因机制研究及治理设计[J].甘肃水利水电技术,2011,(2):23-24,34.
- [7] 王灵伟.清平“8.13”特大山洪泥石流的抢险方法[J].四川水力发电,2011,30(S1).
- [8] 童立强,张晓坤,程洋,等.“8·7”甘肃舟曲县特大泥石流灾害遥感解译与评价研究[J].遥感信息,2011,(5).
- [9] 李光诚.拦排结合在雅安石龙沟泥石流灾害防治工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):68-70.
- [10] 刘大才,彭涛.潘家沟泥石流灾害特征及其综合治理[J].地下空间与工程学报,2012,8(1):190-197.
- [11] 徐庆,杨文,王浩.胜康沟泥石流特征及危害性评价[J].采矿技术,2010,10(2):45-46,83.
- [12] 杜彦铭,季文魁.四川省某泥石流沟复发成因机制分析[J].江西建材,2015,(18).