

天水市红花咀沟滑坡泥石流分析防治

同霄¹, 彭建兵^{1,2}, 朱兴华¹, 马鹏辉¹, 孟振江¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 西安 710054; 2. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 西安 710054)

摘 要: 红花咀沟上游和侧壁经过多次小规模滑移, 堆积黄土疏松, 随着夏秋集中降雨, 滑坡体在失稳后会沿着红花咀沟顺流而下, 携带沟内的大量黄土物源转变泥石流, 估计潜在的泥石流物源有 10^5 m^3 。利用颗粒流数值分析以及 Lorente 模型、刘希林模型的对比, 确定了滑坡泥石流的规模及危害范围。选取布设拦挡坝的防治措施, 计算得到布置拦挡坝后, 泥石流前缘距离缩短为 1 531 m, 堆积区宽度降低至 552 m, 在房屋公路农田中堆积区的宽度减小到 174 m 以及泥石流的峰值速度降低为 10.1 m/s。提出拦挡坝评价指标 P 来衡量其防治效率, 计算结果显示拦挡坝可以很大程度降低泥石流的危害程度。

关键词: 滑坡; 泥石流; 数值计算; 拦挡坝; 预警预防

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)03-0343-05

Analysis and Prevention of Landslide Debris Flow in Honghuazui of Tianshui City

TONG Xiao¹, PENG Jianbing^{1,2}, ZHU Xinghua¹, MA Penghui¹, MENG Zhenjiang¹

(1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Western Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: The accumulation of loess is loose after many small slips of the upper and side walls in Honghuazui. With concentrated rainfall in the summer and fall, the instability landslide will move downstream along the gully and will carry a large number of loess sources and transform into debris flow, it will be estimated that there is 10^5 m^3 of the potential debris flow source. Using the quantitative formula and particle flow numerical calculation analysis of Honghuazui, we determined the size and scope of landslide debris flow. The control method of setting up the embankment was selected, and the debris flow front distance reduced to 1 531 m, the accumulation zone width reduced to 552 m, the accumulation zone width in building, highway and farmland reduced to 174 m and the debris flow peak velocity decreased to 10.1 m/s. The embankment evaluation index P to measure the efficiency of control was put forward. The calculation results show that the embankment can greatly reduce the harmful level of debris flow.

Keywords: landslides; debris flow; numerical calculation; embankment; early warning

甘肃省天水市位于陇西黄土高原的东南侧, 市区呈条带状, 东西长约 30 km, 南北宽 2~3 km。天水境内山脉纵横, 地势西北高, 东南低, 海拔为 1 000~2 000 m。东部和南部因古老地层褶皱而隆起, 形成山地地貌。北部因受地质沉陷和红、黄土层沉积, 形成黄土丘陵地貌。中部小部分地区因纬向构造带的断裂, 形成渭河地堑, 经第四纪河流分育和侵蚀堆积, 形成渭河河谷地貌^[1]。红花咀沟位于大沟村和刘家堡村东侧, 地形条件和地质条件相似, 在进入夏秋两季, 雨水充沛的情况下, 红花咀沟易发生滑坡泥石流灾害, 对红花咀沟滑坡泥石流灾害进行预警预测, 这对滑坡泥石流灾

害的研究与防治有重要意义。对滑坡泥石流的预警, 其中一个核心问题是对灾害危险范围的预测。日本在 20 世纪 80、90 年代取得了较多研究成果, 池谷浩^[2] 基于统计理论, 通过流域的面积计算泥石流堆积扇的长度与宽度, 对泥石流危险范围进行了系统研究。高桥保^[3] 通过室内泥石流模型试验, 提出了计算泥石流危险范围的经验模型。欧美学者 Cannon 等^[4] 根据动力学的理论提出了泥石流危险范围最远冲出距离的计算模型。Lorente 等^[5] 建立了西班牙 Pyrenean 地区的泥石流危险范围的指数经验模型。国内开展泥石流危险范围研究较早的学者是刘希林等^[6], 基于回归分析理论, 提出了泥石流

危险范围的预测模型。

本文在野外调查的基础上,采用颗粒流数值计算方法,建立红花咀沟滑坡泥石流模型,对灾害的危险范围进行定量的预测,选取 Lorente 模型和刘希林模型进行对比,同时选取拦挡坝的防治措施,数值计算预测得到在下游布设拦挡坝后,对滑坡泥石流灾害的防治效果,提出拦挡坝效果评价指标,并对红花咀沟滑坡泥石流灾害的防治提出建议措施。

1 滑坡调查分析

1.1 研究区概况

红花咀沟距离天水市区 23 km,在羲皇大道的南侧,如图 1 所示,3 号沟为红花咀沟,其西侧分布有 3 条沟;2 号沟为马家塔沟;1 号沟为 2013 年 12 月 16 日发生的刘家堡滑坡;4 号沟为 2013 年 7 月 22 日发生的大沟滑坡泥石流。红花咀沟距离大沟约 600 m,距离刘家堡约 350 m。红花咀沟长 1.3 km,沟的源头处和侧壁发生多次小规模滑移,沟的下半部分植被覆盖,1,2,3 号沟在下部汇为一条,北侧的出口处是一片工厂和住宅区。

1.2 滑坡体野外调查

滑坡后壁海拔 1 320 m,出口处海拔 1 090 m,海

拔差为 230 m。滑坡后壁宽 10 m,高 10 m,后壁裸露光滑,经过常年剥落和滑移,在下方堆积了大量块状的松散黄土。随着长年的滑移堆积,现在堆积物形成了 4 个台阶(图 2—3)。形成的第 1 级台阶长 15 m,宽 30 m;第 2 级台阶较大,长 30 m,宽 80 m;第 3 级台阶长 10 m,宽 60 m;第 4 级台阶最大,长 50 m,宽 100 m。滑坡堆积物为黄土松散物质,掺杂少量泥岩,孔隙度较大。



图 1 红花咀沟的地理位置



图 2 滑坡后壁和第一级台阶

根据野外调查,在红花咀沟的两侧,由于常年雨水冲刷侵蚀作用,从沟的源头处发育了两条冲沟,宽约 1.5 m,最深有 1.0 m,平均 0.5 m。其中 1 条延伸至第 4 台阶,另外 1 条延伸至沟底(图 3)。在第 2 级台阶上发现拉张裂缝,宽约 5 cm,沿着台阶边缘发育,延伸长度约 20 m(图 4)。在夏季集中降雨条件下,雨水从地势较高处向地势较低处流动,由于堆积物土质疏松,所以在滑坡堆积物中发育了较多的小规模泥石流扇,其形态完整(图 5)。

2 滑坡转化为泥石流的潜在危险性分析

在集中降雨诱发下,位于沟谷上游的松散滑坡体会沿着沟道滑动,由于大量雨水的软化及润滑作用,

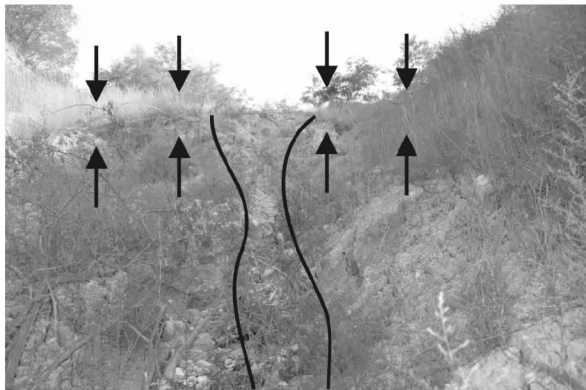


图 3 第四级台阶和冲沟

可滑动很远,滑体常堆积于沟口。在黄土高原地区,这种滑坡泥石流时有发生,常造成更大的未预料到的灾害损失^[7]。滑坡泥石流形成的主要条件有 3 个:

(1) 充沛的水动力。天水市位于中纬度内陆地区,属于冷温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,其具有冬春两季干旱少雨,夏秋两季湿热多雨的气候特征。天水地区年降水量一般为 400~700 mm。年内降水分配不均,一般降水多集中在夏秋两季,占年总降水量 77.4%^[8]。这种集中降雨的特点为红花咀沟发生泥石流提供了水动力;

(2) 陡峻的地形。红花咀沟三面环山,海拔高差 230 m,上部坡度高达 45°~60°,下部坡度 15°左右。沟内已经被冲沟切割,谷壁较陡峻、为狭窄的深切沟

谷。这种地形为泥石流的物源区和流通区提供了地形条件^[9]。泥石流的堆积区一般位于山口外侧、地形平缓等区域。红花咀沟的另一面为开阔地带,修建有



图 4 第二级台阶上的裂缝

(3) 丰富的松散物质。根据野外调查和探访村民,红花咀沟已经发生了多次滑坡,现在的地表物源为滑坡形成的堆积物。堆积物松散破碎,抗侵蚀能力差,受到集中降雨的侵蚀冲刷,可能形成泥石流造成严重危害。红花咀沟的侧壁陡峭,也分布了较多的小规模滑坡,在强降雨的作用下,滑坡体可直接转变为泥石流,或者滑坡体补给泥石流,增大泥石流灾害的规模^[10-11]。根据计算,潜在的泥石流物源有 10^5 m^3 ,属于中型泥石流。

为了将未来可能造成的损失降到最低,选取 Lorente 经验模型、刘希林模型以及颗粒流数值计算方法对红花咀沟滑坡泥石流灾害进行定量的预警预测,划分出潜在的危害范围。

2.1 经验公式分析法

Lorente 等^[5]建立了西班牙 Pyrenean 地区的泥石流冲出距离经验模型:

$$L=7.13(M \cdot H)^{0.271} \tag{1}$$

式中: L ——泥石流冲出最大距离(m); M ——泥石流冲出堆积物总量(m^3); H ——泥石流流域高差(m)。

该模型将泥石流冲出总量与地形高差的乘积作为自变量,在国际上被普遍接受并应用。根据该公式,带入红花咀沟的参数, $M=10^5 \text{ m}^3$, $H=230 \text{ m}$,可以预测得到红花咀沟滑坡泥石流的冲出距离 $L=705 \text{ m}$ 。

刘希林等^[6]利用泥石流堆积模型试验得到的泥石流危险范围模型,可以预测泥石流危险范围,最大堆积长度,最大堆积厚度。

$$a=0.5063l^2 \tag{2}$$

$$l=8.71(V \cdot G \cdot \gamma_c / \ln \gamma_c)^{\frac{1}{3}} \tag{3}$$

$$d=0.017[V \cdot \gamma_c / (G^2 \cdot \ln \gamma_c)]^{\frac{1}{3}} \tag{4}$$

公路、工厂、民房和农田。羲皇大道是天水市区的主干道,连接着 G310 高速公路,是连接天水和宝鸡,进出甘肃省和陕西省的主要交通要道;



图 5 小规模泥石流扇

式中: a ——泥石流危险范围(m^2); l ——泥石流最大堆积长度(m); V ——松散固体物质(可能)的最大补给量(m^3); G ——堆积区域的坡度($^\circ$); γ_c ——泥石流(可能)的最大容重(kN/m^3); d ——泥石流最大堆积厚度(m)。

带入红花咀沟的参数, $V=10 \text{ 万 m}^3$, $G=1.0^\circ$, $\gamma_c=19.6 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。可以得到,泥石流的危险范围 $a=167\,718.354\,9 \text{ m}^2$,最大堆积厚度 $d=1.12 \text{ m}$,最大堆积长度 $l=575.5 \text{ m}$ 。那么可以计算出椭圆形的危险范围的长轴为 575.5 m ,短轴为 $\frac{a}{\pi l}=92.8 \text{ m}$ 。

2.2 数值分析

随着计算机技术的发展,对于滑坡泥石流运动过程中大变形、不连续变形等问题,运用离散单元法等数值分析进行数值模拟,已经成为一种可行的手段。本文利用颗粒流数值方法分析了红花咀沟滑坡泥石流的运动过程和危险范围。颗粒流数值方法适用于研究粒状集合体的破裂和破裂发展问题、以及颗粒的流动(大位移)问题。目前在国内外已被广泛应用于包括滑坡、泥石流等各个研究领域^[12]。

结合红花咀沟旁边已经发生的大沟滑坡泥石流和刘家堡滑坡的滑面深度位置,假设得到红花咀沟的滑面位置,并建立数值模型,模型高 230 m ,长 $2\,300 \text{ m}$,上游物源方量为 10^5 m^3 。在颗粒流方法中,物质宏观的特性取决于颗粒介质之间的接触参数,颗粒间的接触参数没有方法直接测量得到,只能通过数值试验和室内试验的标定匹配来得到符合现实情况的接触参数,反复调试颗粒微观参数,使其能够反映土体的宏观力学参数,与室内试验相吻合。本文数值模拟的参数如表 1 所示。

表 1 数值模型参数

模型参数	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	法向刚 度/GPa	切向刚 度/GPa	平行黏结法向 刚度/MPa	平行黏结切 向刚度/MPa	平行黏结法 向强度/MPa	平行黏结切 向强度/MPa	平行键作用 半径乘子
取值	19.6	1.0	0.5	600	600	5.0	5.0	1.0

黄土在降雨入渗的过程中,随着土体内部含水量的增加,土体的强度会相应减小,当强度小于临界条件时,滑坡体发生运动。在持续降雨条件下,随着含水量的剧增,滑坡转换为泥石流顺沟而下,对沟谷下游造成严重破坏。雨水起到了关键的软化及润滑作用。为了模拟降雨条件下滑坡泥石流的运动过程,随着计算时步的增加,降低颗粒间的接触强度来模拟水的软化作用,同时降低颗粒间摩擦力来模拟水的润滑作用。当滑坡体内受力超过临界强度后,滑坡前端土体颗粒开始沿着红花咀沟向下滑动,当滑坡前端土体中索固力完全释放后,滑坡上部的土体由于失去下部索固力的支撑,也沿着红花咀沟向下滑动,并且推挤前面的土体运动,这时到达红花咀沟出口处的泥石流速度达到了最高值 15.931 m/s。随着运动的进一步发生,泥石流运动速度慢慢变小,大部分堆积在红花咀沟的出口处和羲皇大道处,这里的地形相对较低且平坦,在这形成了泥石流的堆积区,距离红花咀沟上部 1 100~1 800 m。泥石流前缘到达的最远位置为 2 200 m 左右。

2.3 3种方法相互比较

本文在野外地质调查工作的基础上,利用 Lorente 模型、刘希林模型以及颗粒流数值计算,分析了红花咀沟滑坡泥石流的运动过程,并且预测得到泥石流灾害范围。由图 6 可以看出,3 种方法得到的红花咀沟滑坡泥石流的危害范围较吻合,出口处的公路、工厂、民房和农田都包括在内。红花咀沟西侧的两条沟和红花咀沟在下部贯通为一条,这两条沟的物源十分丰富,尤其是刘家堡已经发生大规模滑坡。这 3 条沟的物源总量达到 10^6 m^3 ,这为发生特大滑坡泥石流灾害提供了潜在的条件。

Lorente 模型是一个经验公式,其考虑了高差和物源方量两个参数,即重力势能转化为动能,由上游运动至下游的一个过程,计算结果是泥石流的冲出距离,这对预警预测而言过于简单,没有得堆积区的范围大小。刘希林模型是由室内泥石流堆积模型试验得到的数学预测模型,该模型没有考虑不同研究对象实际的坡形、地形起伏的影响以及不同的土体强度参数的影响。颗粒流数值计算以实际地形建立模型,通过室内试验和数值标定得到符合现实情况的数值参数,并计算得到泥石流的堆积区和最远到达位置,这样预测的结果更有针对性。从结果可以看出,颗粒流数值计算的堆积区覆盖了红花咀沟下游的大量人类工程,滑坡泥石流灾害的规避、预防与防治工作应该得到重视。

3 灾害防治

3.1 数值模型

泥石流是一种破坏性特别强的地质灾害,其由上

游高速向下游运动,对下游造成严重冲击破坏。对于泥石流灾害发生前的预测和灾害发生后的治理这一科学问题,国内外学者均有深入研究。目前,众多学者均认为泥石流拦挡坝是防治泥石流灾害最为可行有效的措施,拦挡坝是修建在泥石流沟上的一种横向拦挡建筑物。拦挡坝一般有两种类型^[13],一种是高坝,普遍为 5 m 左右^[14],有比较大的库容,能保证将泥石流全部拦截储存在坝体内部,当坝体逐渐淤满时,人工进行清除或将坝体加高。另一种为低坝,也叫做砂坊、谷坊、埝,这种坝的高度较小,一般为 1~3 m^[15],泥石流淤满后随即从坝顶流过,它的作用是拦截泥流,减缓下行速度,降低泥石流的冲击力。泥石流拦挡坝可以构成群坝,也可以单独一个存在^[16-18]。本文选取布防泥石流低坝的防治方法,进行数值计算得到预期防治效果。滑坡后壁海拔最高处设为 $x=0 \text{ m}$,红花咀沟长 1 300 m,在下游出口 1 270 m 处设置拦挡坝,选取坝体高度为 2 m,计算模型参数和上文保持一致。



图6 泥石流的危险范围

3.2 计算结果

图 7 是两种工况达到稳定后的结果对比图,图中 a 为自然状态下,即不设置拦挡坝的工况, b 是在 $x=1 270 \text{ m}$ 处设置拦挡坝的工况。从对比图可以看出,自然状态下泥石流到达的最前缘是 2 219 m,而设置拦挡坝后,由于拦挡坝对泥石流的拦截作用,降低了泥石流运动速度,所以泥石流达到的最前缘为 1 531 m,明显降低了泥石流对下游远端的危害。自然状态下,到达稳定后的堆积区范围是 1 144~1 832 m,共 688 m,而设置拦挡坝后,堆积区的范围上移到 922~1 474 m,共 552 m,堆积区集中在拦挡坝的附近,这是由于随着泥石流的向下运动,其被拦截储存在坝体内部,当淤满后才会从坝顶流出,这时溢出的泥石流速度较小,所能到达的范围缩短,堆积在拦挡坝附近,

如图 7 中虚线矩形所示。红花咀沟长为 1 300 m,出口处房屋、公路及农田的范围为 1 300~2 300 m。自然状态下,宽度为 532 m 的泥石流堆积在下游平坦地带,将会造成严重危害。而设置拦挡坝后,堆积区宽度减小了 136 m,而且堆积区上移了 220 m 左右,其中只有 170 m 的泥石流堆积在下游平坦地带,是自然状态下的 30%,很大程度上降低了泥石流的危害,如图 7 实线矩形框所示。

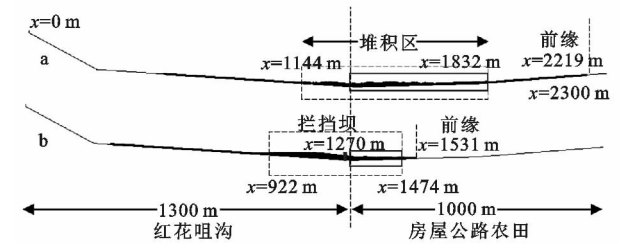


图 7 计算结果对比

在数值计算中每计算 60 000 时步保存结果,提取得到颗粒运动的最大速度,即泥石流峰值速度,绘制得到两种工况下峰值速度对比图,如图 8 所示。从图中可以看出自然状态下峰值速度为 15.931 m/s,而设置拦挡坝后峰值速度降低为 10.101 m/s。自然状态下,当计算时步为 1.8×10^6 时,泥石流运动速度为 0.004 m/s,而设置拦挡坝后,计算时步为 1.8×10^6 时,泥石流运动速度为 1.48×10^{-10} m/s。这说明设置拦挡坝后,泥石流运动的时间缩短,更容易达到平衡状态,本文设置的平衡状态是 1.00×10^{-10} m/s,即当所有颗粒的速度降低为 1.00×10^{-10} m/s 时,认为泥石流达到平衡状态,不再运动。根据统计,自然状态下,计算时步为 7.2×10^6 时达到平衡,设置拦挡坝后,计算时步为 2.0×10^6 时达到平衡。

3.3 防治效果评价

将自然状态下和设置拦挡坝两种工况的泥石流最前缘、堆积区宽度、在房屋公路农田中堆积区的宽度、泥石流的峰值速度这 4 个结果列在表 2 中,分别为 K_1 — K_4 。计算得到拦挡坝评价指标 P , P 根据设置拦挡坝后的泥石流运动结果与自然状态下泥石流运动结果计算得到:

$$P_{1-4}=\left[1-\frac{K_{b(1-4)}}{K_{o(1-4)}}\right]\times100\tag{5}$$

式中: K_o ——自然状态下的计算结果; K_b ——设置拦挡坝后的计算结果;1—4——表 2 中列出的 4 种计算结果。

可以看出 P 值越大,表明设置拦挡坝后对泥石流危害的降低效果越好(表 2)。对于泥石流最前缘、堆积区宽度、在房屋公路农田中堆积区的宽度和泥石流的峰值速度分别降低了 30.70%,20.00%,67.29%和

36.60%。若防治评价指标 P 较小,防治效果不明显,可提高拦挡坝的高度或者布置多个拦挡坝,以此达到降低泥石流速度,上移泥石流堆积区,缩短泥石流堆积区宽度、减小泥石流前缘的效果,从而更大程度上降低泥石流的危害程度。

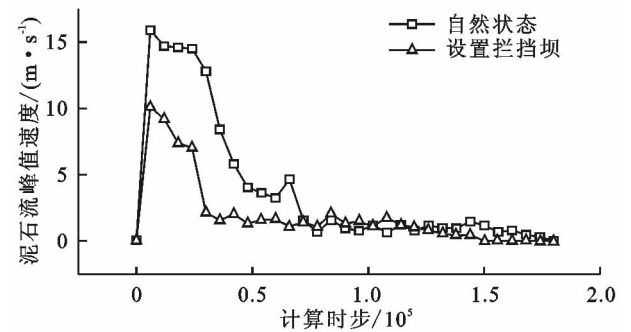


图 8 泥石流峰值速度对比

表 2 防治效果评价

工况	泥石流最前缘(K_1)/m	堆积区宽度(K_2)/m	泥石流堆积	泥石流峰值速度(K_4)/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
			区对房屋公路农田的影响宽度(K_3)/m	
自然状态 K_o	2219	688	532	15.931
设置泥石流拦挡坝 K_b	1531	552	174	10.101
防治效果 P	30.70%	20.00%	67.29%	36.60%

4 结论及建议

(1) 计算得到红花咀沟滑坡泥石流的危险范围,并采用 Lorente 模型和刘希林模型进行对比验证数值计算的准确性。红花咀沟出口处,距离红花咀沟上部 1 100~1 800 m 的范围为滑坡泥石流的堆积区,滑坡泥石流前缘到达的最远位置为 2 200 m 左右。这一危险范围覆盖了大量的公路、工厂、民房和农田。

(2) 选取布置拦挡坝的防治方法,计算得到布置拦挡坝后,泥石流前缘距离为 1 531 m,堆积区宽度 552 m,在房屋公路农田中堆积区的宽度为 174 m 以及泥石流的峰值速度为 10.101 m/s,和自然状态相比分别降低了 30.70%,20.00%,67.29%,36.60%。计算结果表明拦挡坝可以很大程度降低泥石流的危害程度。

(3) 提出拦挡坝评价指标 P , P 值越大,表示拦挡坝的防治效果越好。若评价指标 P 较小,防治效果不明显,可提高拦挡坝的高度或者布置多个拦挡坝,以此达到降低泥石流速度,上移泥石流堆积区,缩短泥石流堆积区宽度、减小泥石流前缘的效果,从而降低泥石流的危害程度。

- [7] Oka H I. Origin of cultivated rice[M]. Tokyo: Elsevier, 2012.
- [8] Huang C, Duan L, Liu Q, et al. Development of a whole-feeding and automatic rice thresher for single plant[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 58(3):684-690.
- [9] Rice O, Miller S H, Morrissey J P, et al. Exploitation of glucose catabolic gene fusions to investigate in situ expression during *Pseudomonas*-plant interactions[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(2):235-238.
- [10] Chen M, Shelton A, Ye G. Insect-resistant genetically modified rice in China: From research to commercialization[J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56(1):81-101.
- [11] Talhelm T, Zhang X, Oishi S, et al. Large-scale psychological differences within China explained by rice versus wheat agriculture [J]. Science, 2014, 344(6184):603-608.
- [12] Huang X, Kurata N, Wei X, et al. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice[J]. Nature, 2012, 490(7421):497-501.
- [13] Sajid M, Butt M S, Shehzad A, et al. Chemical and mineral analysis of garlic: a golden herb[J]. Pakistan Journal of Food Sciences, 2014, 24(1):108-110.
- [14] Antony S, Thomas C G. Nutritive quality of hybrid napier cultivars grown under rainfed ecosystem[J]. Journal of Tropical Agriculture, 2014, 52(1):90-93.
- [15] 刘红江, 陈留根, 郑建初, 等. 不同播栽方式对水稻产量形成和经济效益的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3):474-479.
- [16] 池忠志, 姜心禄, 郑家国. 不同种植方式对水稻产量的影响及其经济效益比较[J]. 作物杂志, 2008(2):73-75.
- [17] Hughes L, Dunlop M, French K, et al. Predicting dispersal spectra: a minimal set of hypotheses based on plant attributes[J]. Journal of Ecology, 1994, 82(4):933-950.
- [18] Wassmann R, Neue H U, Lantin R S, et al. Temporal patterns of methane emissions from wetland rice fields treated by different modes of N application[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres(1984—2012), 1994, 99(D8):16457-16462.
- [19] Sarker M A R, Alam K, Gow J. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: An analysis of time series data[J]. Agricultural Systems, 2012, 112(13):11-16.
- [20] Brookes G, Barfoot P. Economic impact of GM crops: The global income and production effects 1996—2012 [J]. Gm Crops & Food, 2014, 5(1):65-75.

(上接第347页)

(4) 对于天水市红花咀沟滑坡泥石流需要进行监测预警措施,并且在下游出口处布置拦挡坝,同时建立群策群防,预警预报的防灾减灾体系。查明红花咀沟危险区域的人口和财产,进行疏散演练,保障人民生命安全,将危害降低到最小程度。

参考文献:

- [1] 吴玮江,王念秦. 甘肃滑坡灾害[M]. 兰州:兰州大学出版社,2006.
- [2] 池谷浩. 云仙水无川泥砂流失量的推算方法[J]. 水土保持科技情报, 1996(4):30-34.
- [3] 高桥保. 泥石流停止和堆积机理的研究(二):泥石流堆积扇的形成过程[J]. 地理科学进展, 1986(2):39-44.
- [4] Cannon S H, Savage W Z. A mass-change model for the estimation of debris-flow runout[J]. Journal of Geology, 1988, 96(2):221-227.
- [5] Lorente A, Beguerla S, Bathurst J C, et al. Debris flow characteristics and relationships in the Central Spanish Pyrenees[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2003, 3(6):683-692.
- [6] 刘希林,唐川. 泥石流危险性评价[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [7] 吴玮江,贺斌英. 天水市的环境地质问题[J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(S1):200-205.
- [8] 朱文忠. 天水市地质灾害现状与防治对策[J]. 甘肃科技, 2004, 20(6):12-13.
- [9] 倪化勇. 海螺沟景区典型泥石流流域地貌特征及灾害防治[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1):154-158.
- [10] 吴玮江. 天水市滑坡泥石流灾害[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5):75-78.
- [11] 王高峰,唐川,王洪德,等. 初咱磨子沟泥石流特征及危险性评价研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4):234-238.
- [12] Li X, He S, Luo Y, et al. Simulation of the sliding process of Donghekou landslide triggered by the Wenchuan earthquake using a distinct element method[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 65(4):1049-1054.
- [13] 中国市政工程东北设计研究院. 给水排水设计手册[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [14] 南京大学水文地质工程地质教研室. 工程地质学[M]. 北京:地质出版社,1982.
- [15] 崔鹏. 我国泥石流防治进展[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5):7-13.
- [16] 杜杰,左雅娅. 通南巴区块泥石流发育基本特征及防治对策[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3):315-320.
- [17] 海兰. 滑坡灾害防治手册[M]. 北京:地质出版社,2009.
- [18] 唐晓春. 泥石流防治模式初探[J]. 水土保持学报, 1991(4):8-17.