

文章编号:1004-4116(2023)04-0066-08

黄土高原区正宁县宫河镇地质灾害 演化模式及风险管控

包维斌¹,叶红刚^{1,2}

(1. 甘肃省地矿局第四地勘院,甘肃 酒泉 735000;2. 兰州大学资源与环境学院,甘肃 兰州 730030)

摘 要:本文以庆阳市正宁县宫河镇地质灾害精细调查(1:10 000)项目为依托,在野外调查和统计分析基础上对陇东黄土高原宫河镇地质灾害基本特征、演化模式和不合理人类活动及风险管控措施进行了研究。结果表明宫河镇地质灾害精细调查共确定地质灾害及其隐患 19 处,其中,崩塌10处,滑坡9处,规模均以中小型为主。灾害发育过程与降雨、坡面侵蚀、开挖坡脚、开挖窑洞及切坡建房密切相关。按照成因机制和发育特点将研究区灾害模式进行了分类:滑坡模式为“拉裂—推移式浅表层演化模式”和“混合式浅表层演化模式”,崩塌模式以“推移演化模式”和“坠落演化模式”为主。根据灾害点的现状特征、威胁人数和财产数量及风险评估结果等,逐点制定了群防群测、专业监测、排危除险、削方减载、坡面防护和工程治理等风险管控措施建议。

关键词:黄土高原;地质灾害调查;滑坡演化过程;管控措施;甘肃正宁

中图分类号:P694;X43;X14

文献标志码:A

我国西部黄土高原地区地形以山地为主,城镇多依山而建,人地关系错综复杂^[1]。正宁县宫河镇是黄土高原典型沟壑区边缘地区之一,滑坡、崩塌等地质灾害高发,孕灾环境复杂且分布零散,严重影响了该区生态文明建设的进程和人民群众对地质安全保障的需求^[2]。我国从 1999 年开始实施了一系列覆盖全国和重点城镇的地质灾害普查和详查及精细化调查的项目,通过有目的、有计划、渐进式的地质灾害普查与调查及风险评估,基本摸清了地质灾害分布规律、发育特征及孕灾环境条件等,有效减少了地质灾害造成的人民群众生命财产损失^[3-4]。2021 年实施的正宁县宫河镇 1:10 000 地质灾害精细调查项目,采用遥感解译、实地调查、山地工程等一系列措施查明了研究区孕灾地质基础条件和引发因素及隐患点分布规律,以此成果为依托,深入研究正宁县宫河镇地质灾害演化模式及风险管控,为今后国土空间规划、防灾减灾、群测群防系统建设、风险管控措施制定和地质灾害防治管理工作等提供理论依据和技术支撑。

1 研究区概况

研究区位于庆阳市正宁县河源区西南部的宫河镇,受四郎河强烈侵蚀作用影响,地貌主要以黄土台塬和黄土沟壑为主,出露主要地层为第四系上更新统的离石黄土(Q_2^{col})和马兰黄土(Q_3^{col}),厚度约 6 ~ 15 m。该区气候为暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候区,年平均气温 8.3℃,年均降雨 607.3 mm,年降水总量 8.51 亿立方米,降水年际及年内分配不均,多集中于夏秋季节,降雨主要以强降雨和暴雨形式呈现。为规避源边沟壑区地形条件的限制,利用黄土覆盖厚度大,易于开挖的特点,区内普遍存在开挖坡脚和窑洞、切坡房屋、削坡拓地等现象。开挖坡脚高陡处的边坡在降雨影响下极易发生滑坡、崩塌等地质灾害^[5]。通过调查,宫河镇境内共发育地质灾害及隐患点 19 处,其中崩塌 10 处,滑坡 9 处,灾害点分布见图 1。

收稿日期:2023-05-14

基金项目:甘肃省正宁县宫河镇 1:1 万地质灾害精细化调查项目资助(甘资字[2021]63 号)

作者简介:包维斌(1991 ~),男,甘肃省秦安县人,硕士,主要从事自然资源开发与自然灾害研究。E-mail:baoweibin12@163.com

2 调查与研究方法

2.1 调查资料来源

甘肃省正宁县宫河镇 1 : 1 万地质灾害精细化调查项目来源于《甘肃省自然资源厅提前下达 2022 年度中央财政自然灾害防治体系建设补助资金预算资金计划的通知》(甘资字〔2021〕63 号),地质灾害数量和规模、财产损失、人员风险、财产易损性、人员易损性、承灾体价值等数据来源于《甘肃省庆阳市正宁县宫河镇地质灾害精细调查(1 : 10 000)成果报告》。本次调查分三种精度进行,既一般调查区工作精度为 1 : 10 000,重点调查区工作精度为 1 : 2 000,重要地质灾害隐患点、重要斜坡和小流域沟谷等区域工作精度为 1 : 1 000 ~ 1 : 500。

2.2 风险分析方法

(1)财产风险计算公式:

$$R_{(prop)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(prop:S)} \times E$$

式中, $R_{(prop)}$ 为财产年损失; $P_{(L)}$ 为地质灾害发生年概率; $P_{(T:L)}$ 为地质灾害到达承灾体概率; $P_{(S:T)}$ 为承灾体时空概率; $V_{(prop:S)}$ 为财产易损性; E 为承灾体价值。

(2)人员风险计算公式:

$$P_{(LOL)} = P_{(L)} \times P_{(T:L)} \times P_{(S:T)} \times V_{(D:T)}$$

式中, $P_{(LOL)}$ 为单人年死亡概率; $V_{(D:T)}$ 为人员易损性。

根据野外实地调查结果和参考前人研究成果^[6],将处于基本稳定的地质灾害点的 $P_{(L)}$ 取 10^{-4} ,将处于不稳定的地质灾害点取 10^{-2} 。

$P_{(T:L)}$ 主要由承灾体距离灾害体的远近及相对位置所决定,正宁县宫河镇 19 处灾害体威胁的承灾体距坡脚或斜坡体 < 1 m,既 $P_{(T:L)}$ 均为 1; $P_{(S:T)}$ 主要包含固定承灾体和流动承灾体,对于固定的建筑物、道路等承灾体设为 1,对于受地质灾害威胁但有人居住的建筑物内时,考虑居住人员基本为留守老人和儿童,每年居住在建筑物的时间为 300 d,每天居住约为 14 h,则 $P_{(S:T)} = (300/365) \times (14/24) = 0.491$ 。

财产易损性 $V_{(prop:S)}$:通过野外调查进行估计得

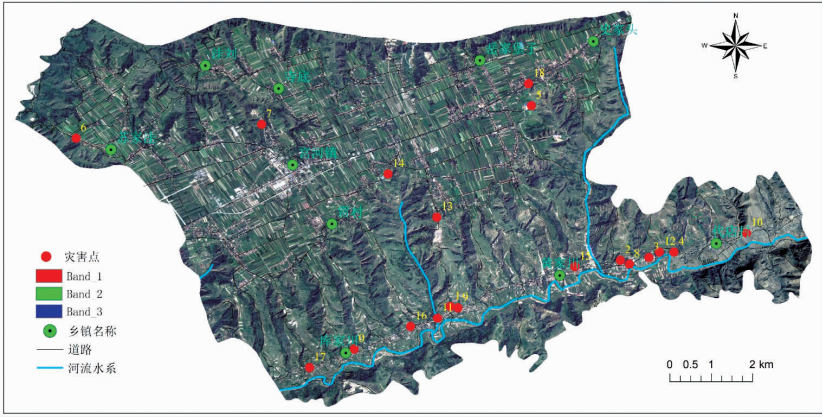


图 1 研究区灾害点分布图

Fig. 1 Distribution of disaster occurrences in the study area

到,财产易损性为 0 ~ 1,0 为无财产损坏,1 为财产完全毁坏。既灾害规模、强度越大,威胁人口、财产越多,建筑物等固定承灾体抵御风险的能力越低,财产越容易损性。

人员易损性 $V_{(D:T)}$:通过野外调查进行估计得到,人员易损性为 0 ~ 1,0 为无人员伤亡,1 表示有人员死亡。既灾害规模、强度越大,威胁人口距离灾害点越近,抵御风险的能力越低,人员越容易受伤害。

承灾体价值 E :依据甘肃省地质灾害精细调查技术要求(试行)要求,通过野外实地调研并结合当地经济发展水平及物价确定。其中,砖木结构、砖混结构、框架结构房屋的单价分别按 250、500、750 元/ m^2 估算,窑洞按 1.0 万元/间估算,乡级道路按 0.09 万元/m 估算。

3 地质灾害演化模式

地质灾害孕灾环境条件和诱发因子不同,其滑坡、崩塌等地质灾害的发育特征、变形迹象及成灾模式也各异^[7]。按照成因机制和发育特点对滑坡、崩塌等地质灾害演化模式进行分类有助于进一步揭示该类地质灾害的诱发机理,制定更加科学高效有序地质灾害风险管理模式。

3.1 演化模式分类

通过分析正宁县宫河镇地质灾害精细调查(1 : 10 000)野外数据,宫河镇境内共发育地质灾害及隐患点 19 处,其中崩塌 10 处,滑坡 9 处。由表 1 斜坡变形演化模式分类可知,滑移式崩塌 6 处,坠落式崩塌 4 处,拉裂—推移式滑坡 8 处,混合式滑坡 1

表 1 正宁县宫河镇地质灾害变形演化模式分类

Table 1 Deformation and evolution modles of geohazards in Gonghe town of Zhengning County

编号	名称	经度	纬度	灾害类型	演化模式分类
1	长口子村长西组崩塌	108°9′9. 5″	35°18′28. 2″	崩塌	滑移式
2	代店村代西组崩塌	108°10′15. 7″	35°18′39. 6″	崩塌	滑移式
3	南堡子村六组崩塌	108°8′33. 2″	35°20′51. 5″	崩塌	滑移式
4	彭姚川村二组崩塌	108°7′37. 8″	35°17′55. 9″	崩塌	坠落式
5	彭姚川村十组崩塌	108°5′41. 3″	35°17′9. 1″	崩塌	坠落式
6	彭姚川村七组崩塌	108°7′0. 7″	35°17′41. 4″	崩塌	坠落式
7	彭姚川村三组崩塌	108°7′21. 8″	35°17′47. 8″	崩塌	坠落式
8	代店村武西组崩塌	108°11′24. 0″	35°18′54. 5″	崩塌	滑移式
9	雷村三组崩塌	108°6′42. 9″	35°19′40. 8″	崩塌	滑移式
10	东山头村五组崩塌	108°7′21. 2″	35°19′6. 9″	崩塌	滑移式
11	南堡子村四组石料场滑坡	108°8′35. 4″	35°20′34. 2″	滑坡	拉裂—推移式
12	彭姚川村二组滑坡	108°7′31. 8″	35°17′56. 9″	滑坡	拉裂—推移式
13	宫河镇彭姚川村九组滑坡	108°6′16. 4″	35°17′23. 7″	滑坡	拉裂—推移式
14	长口子村一组滑坡	108°9′45. 2″	35°18′33. 1″	滑坡	拉裂—推移式
15	长口子村东坡组滑坡	108°9′52. 4″	35°18′30. 1″	滑坡	拉裂—推移式
16	代店村代西组滑坡	108°10′27. 1″	35°18′39. 7″	滑坡	拉裂—推移式
17	长口子村东坡组滑坡	108°10′7. 5″	35°18′35. 4″	滑坡	混合式
18	宫河村五组滑坡	108°5′3. 8″	35°20′19. 5″	滑坡	拉裂—推移式
19	南庄村九组滑坡	108°2′38. 3″	35°20′8. 7″	滑坡	拉裂—推移式

处。19 处地质灾害均为第四系上更新统马兰黄土和离石黄土,其主要分布在四郎河沟谷两岸,坡脚处存在不同程度的人为切坡建房现象,坡脚斜坡陡立,形成大面积临空面,土质疏松,卸荷剥落现象较为严重,在强降雨和暴雨及地震等诱发因素作用下斜坡稳定性较差,发生滑坡或崩塌灾害的可能性较大。

3.2 滑坡演化模式

黄土高原区正宁县城宫河镇境内发育的滑坡均

为黄土滑坡,且多以中小型浅层滑坡为主。参照前人滑坡变形模式分类方法,宫河镇境内 9 处滑坡演化模式大体可分为“拉裂—推移式浅表层演化模式”和“混合式浅表层演化模式”两类^[8]。宫河镇境内滑坡以黄土高原地最为发育的拉裂—推移演化模式为主,发育地层主要以上更新统马兰黄土 Q³ 和残坡积层为主,主要发育在 40° ~ 60° 的黄土塬沟边两侧斜坡地带,平均坡高 45 m,滑体厚度 < 15 m,平面以半圆形和不规则形为主,剖面以凹型和阶梯形为主。目



图 2 宫河镇彭姚川村二组滑坡、宫河镇彭姚川村九组滑坡

Fig. 2 Landslides in Pengyaochuan village

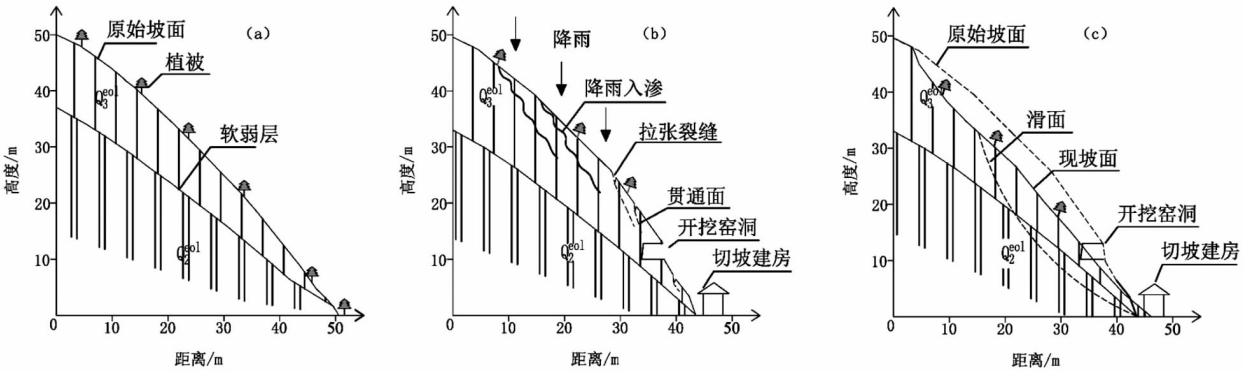


图 3 拉裂—推移式浅表层滑坡破坏演化模式

Fig. 3 Diagram of subsurface landslide by the process of tensile cracking–pushing
(a)拉裂阶段;(b)推移贯通阶段;(c)整体滑脱阶段

前,11 号滑坡处于 (宫河镇南堡子村四组石料场滑坡)变形阶段,12、13 号滑坡(宫河镇彭姚川村二组滑坡、宫河镇彭姚川村九组滑坡)处于蠕变阶段,其他滑坡处于休止阶段。在降雨的影响下 12、13 号滑坡可再次发生滑动或局部破坏现象(图 2)。

宫河镇境内拉裂—推移式浅表层滑坡发生过程受多种因素的影响,其主要受降雨和人为不合理活动的影响。已有研究表明,黄土地区降雨均匀入渗深度 $\leq 5\text{ m}$,受黄土多孔性、垂直节理特性等影响,降雨入渗后土壤表层含水量迅速达到过饱和状态,可塑性增强,强度降低,沿铅直方向易产生裂隙,极易诱发斜坡边坡浅表层部位发生蠕动、滑移等变形迹象,但前期浅表层变形迹象不明显^[9]。同时,在斜坡坡脚处开挖坡脚建房建窑等不合理的人类工程活动,破坏了斜坡原始的应力平衡状态,使坡脚处形成了高陡的临空面,进一步加剧了斜坡的不稳定性,在强降雨和暴雨等突发事件影响下表层发生变形破

坏、滑坡的可能性极大^[10]。此外,开挖坡脚也破坏了不稳定斜坡植被生长环境,大幅度降低了斜坡的植被覆盖率,增加了表层岩土体裸露面,加速了降水的下渗速率,又增加了坡体自重,使裂隙进一步扩张拉裂,在重力作用下浅表层土体短时间内完成“切坡建房—拉裂—推移—贯通—滑脱”过程,从而形成拉裂—推移式浅表层滑坡(图 3)^[11]。

3.3 崩塌演化模式

黄土高原区正宁县城宫河镇境内发育的崩塌均为黄土崩塌,且多以中小型崩塌为主。宫河镇境内崩塌演化模式以“滑移演化模式”和“坠落演化模式”为主。崩塌主要发育斜坡地带与滑坡发生地带相类似,最大落差 $< 50\text{ m}$,最大水平位移 $< 80\text{ m}$,堆积体平均厚度约 2.1 m 。目前,2 号崩塌(宫河镇彭姚川村二组崩塌)处于不稳定变形阶段,高 12 m ,宽 30 m ,厚度 15 m ,坡度约 70° ,部分边坡段崩滑面较新鲜,



图 4 宫河镇彭姚川村二组崩塌、彭姚川村三组崩塌
Fig. 4 Collapse in Pengyaochuan village

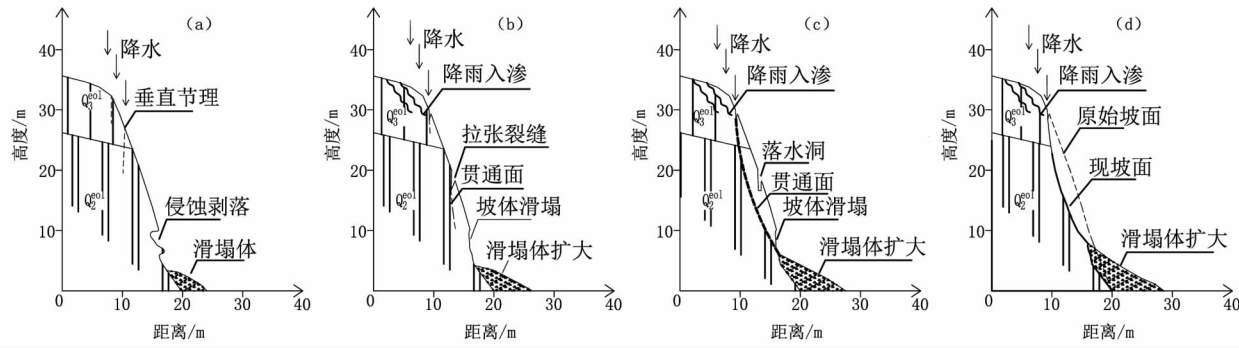


图 5 滑移式崩塌破坏演化模式

Fig. 5 Diagram of slipping collapse

(a)坡脚剥落侵蚀阶段;(b)坡体内凹阶段;(c)坡体张裂阶段;(d)滑移破坏阶段

主要由人工开挖坡脚建房和以往建窑所形成。在降雨影响下 2 号(宫河镇彭姚川村二组崩塌)、7 号(彭姚川村三组崩塌)崩塌可再次发生局部破坏或崩塌的现象(图 4),一旦发生将危及坡脚处 1 户 3 人的生命财产安全和村路、输电线路及通讯设施。其他崩塌均处于基本稳定阶段。

调查研究发现,许多“滑移演化模式”开挖边坡较为严重,存在强烈的剥落侵蚀现象,主要经历“切坡建房—坡脚剥落侵蚀—坡体内凹—坡体张裂—滑移破坏”过程(图 5)。原因主要是夏秋季节强降雨和暴雨等多沿高陡斜坡坡面汇集和冲刷,使坡脚土壤含水量增加或土壤含水量达到过饱和状态,土壤抗侵蚀能力降低,坡体中上部和坡脚处开始出现剥落侵蚀现象,坡脚局部地区也出现小范围滑塌。人为单纯清理掉坡脚局部滑塌堆积物,未实施坡脚的简易护坡工程,坡脚滑塌范围进一步扩大,坡脚剖面由直立型向凹型发展且形成反坡,导致坡脚支撑坡上土重的能力降低,在垂直牵引力作用下坡体中上部产

生拉张裂隙或落水洞。进一步为降雨的汇集和冲刷提供了客观条件,长时期降雨冲刷下拉张裂隙将贯穿坡面并极易出现滑动破坏及滑塌现象。

“坠落演化模式”主要发生在土质斜坡上,其主要经历“差异风化—临空面—张裂—坠落破坏”过程(图 6)。诱发原因也是人类切坡建房、耕种及强降雨等。高陡黄土塬边沟壑两侧斜坡在长时期风化、雨水侵蚀下节理裂隙发育强,人类开挖坡脚建窑建房使坡脚形成高陡的临空面,临空土体在重力作用下沿坡面发生节理裂隙变形破坏迹象,进一步加剧了节理裂隙的形成和扩张及开裂土体剥离斜坡母体的进程,当开裂土体遇强降雨和暴雨及长时降雨时,土体重心出现偏移斜坡母体的现象,致使开裂土体发生变形破坏或坠落形成崩塌灾害。

4 地质灾害风险评价

正宁县宫河镇地质灾害及其隐患风险评估结果

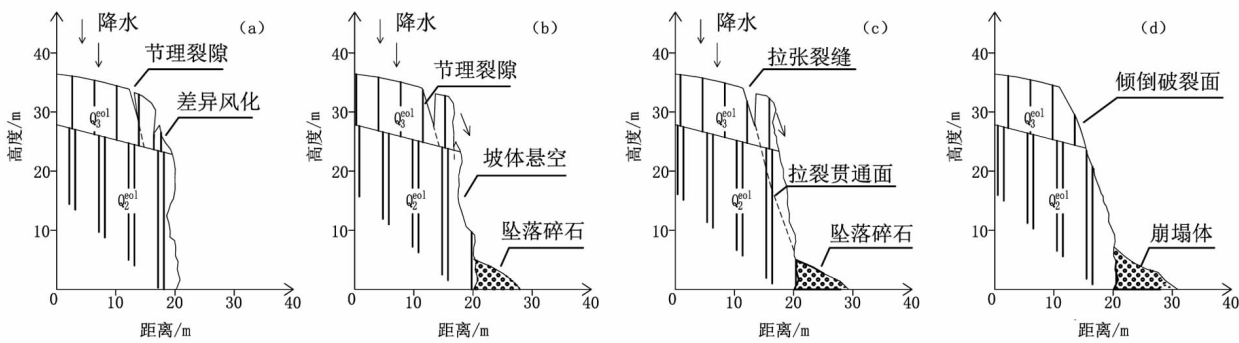


图 6 坠落式岩质崩塌破坏演化模式

Fig. 6 Diagram of rock falling collapse

(a)差异风化阶段;(b)坡体悬空阶段;(c)坡体张裂贯通阶段;(d)倾倒破坏阶段

表 2 宫河镇地质灾害及其隐患风险评估结果

Table 2 Risk assessment and potential dangers of geohazard points in Gonghe town

编号	发生概率 $P_{(L)}$	到达概率 $P_{(T:L)}$	固定承灾体时空 概率 $P_{(S:T)}$	流动承灾体时空 概率 $P_{(S:T)}$	财产易损性 $V_{(prop:S)}$	人员易损性 $V_{(D:T)}$	承灾体价值 E/万元	财产年损失 $R_{(prop)}/(万元 \cdot a^{-1})$	单人年死亡概率 $P_{(LOL)}$
1	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	200	0.008 8	$2.46 \cdot 10^{-05}$
2	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	50	0.002 2	$2.46 \cdot 10^{-05}$
3	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	50	0.002 2	$2.46 \cdot 10^{-05}$
4	10^{-2}	1	1	0.491	0.9	0.5	10	0.044 2	$2.46 \cdot 10^{-05}$
5	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	50	0.002 2	$2.46 \cdot 10^{-05}$
6	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	35	0.001 5	$2.46 \cdot 10^{-05}$
7	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	30	0.001 3	$2.46 \cdot 10^{-05}$
8	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.3	30	0.001 3	$1.47 \cdot 10^{-05}$
9	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.3	30	0.001 3	$1.47 \cdot 10^{-05}$
10	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.3	30	0.001 3	$1.47 \cdot 10^{-05}$
11	10^{-2}	1	1	0.491	0.9	0.7	200	0.883 8	$3.44 \cdot 10^{-03}$
12	10^{-2}	1	1	0.491	0.9	0.7	160	0.707 0	$3.44 \cdot 10^{-03}$
13	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.9	400	0.017 7	$4.42 \cdot 10^{-05}$
14	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	70	0.003 1	$2.46 \cdot 10^{-05}$
15	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	40	0.001 8	$2.46 \cdot 10^{-05}$
16	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.7	150	0.006 6	$3.44 \cdot 10^{-05}$
17	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.3	100	0.004 4	$1.47 \cdot 10^{-05}$
18	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	20	0.000 9	$2.46 \cdot 10^{-05}$
19	10^{-4}	1	1	0.491	0.9	0.5	15	0.000 7	$2.46 \cdot 10^{-05}$

显示(表 2),灾害点 1-3、5-10、13-19 处于基本稳定状态,灾害点 4、11-12 处于不稳定状态。灾害点 11 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 最高,达到 0.883 8 万元 $\cdot a^{-1}$,灾害点 19 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 最低,达到 0.007 万元 $\cdot a^{-1}$ 。灾害点 2、3、5 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 为 0.002 2 万元 $\cdot a^{-1}$,灾害点 7-10 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 为 0.001 3 万元 $\cdot a^{-1}$,灾害点 12 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 为 0.707 0 万元 $\cdot a^{-1}$,灾害点 1、4、6、13、14、15、16、17、18 的财产年损失 $R_{(prop)}$ 分别为 0.008 8、0.442 2、0.001 5、0.017 7、0.003 1、0.001 8、0.006 6、0.004 4、0.000 9 万元 $\cdot a^{-1}$ 。灾害点 1-7、14-15、18-19 的单人年死亡概率 $P_{(LOL)}$ 为 $2.46 \cdot 10^{-05}$,灾害点 8-10、17 的单人年死亡概率 $P_{(LOL)}$ 为 $1.47 \cdot 10^{-05}$,灾害点 11-12 的单人年死亡概率 $P_{(LOL)}$ 为 $2.46 \cdot 10^{-03}$ 。

5 地质灾害风险管控

根据地质灾害点现状特征、威胁人数和财产数量及风险评估结果,并结合当地经济建设与城镇发展规划,对照当地地质灾害防治五年规划,按照轻重缓急提出正宁县宫河镇地质灾害风险管控的一般、次重点、重点防治分区和近、中、远防治分期及防治措施(表 3)。19 处灾害点均进行了群防群测防治措

施,以进一步实现地灾人防作用。其中,对 7 处威胁人口较多和威胁财产数量较大的灾害点开展专业监测;对 5 处强降雨和暴雨等影响下可能失稳的切坡建房、开挖窑洞处斜坡居民点采取了排危除险、削方减载和坡面防护措施;对 3 处目前已经出现拉张裂缝、小范围滑塌的斜坡灾害点提出了工程治理的措施;对不威胁居民点而主要威胁重大基础公路、输电和通讯设施的灾害点只进行群防群测措施。

6 结论

- (1)正宁县宫河镇地处黄土高原河源区,受四郎河强烈侵蚀作用影响,黄土沟壑发育强烈、开挖坡脚窑洞和切坡建房现象普遍,滑坡、崩塌等地质灾害易发。通过宫河镇地质灾害精细调查(1:10 000)共确定地质灾害及其隐患 19 处,其中,崩塌 10 处,滑坡 9 处。
- (2)正宁县宫河镇发育的地质灾害均为黄土滑坡、崩塌,规模以中小型为主。滑坡演化模式为“拉裂—推移式浅表层演化模式”和“混合式浅表层演化模式”;崩塌演化模式以“滑移演化模式”和“坠落演化模式”为主。
- (3)根据各地质灾害点各自的现状特征、威胁人

表 3 官河镇地质灾害及其隐患风险管控措施建议

Table 3 Risk management and control measures of geohazard occurrences in the Gonghe town

编号	防治分区	威胁人口/人	人/km ²	威胁财产/万元	万元/km ²	主要威胁对象	防治分期	防治措施
1	重点防治区	16	1. 28	200	16. 00	居民点、公路	近期	①②⑥
2	重点防治区	11	0. 88	50	4. 00	居民点、农田	近期	①②
3	一般防治区	10	0. 33	50	1. 64	居民点	近期	①②
4	重点防治区	3	0. 24	10	0. 80	公路、输电、通讯设施	中期	①
5	重点防治区	11	0. 88	50	4. 00	居民点	近期	①②
6	重点防治区	7	0. 56	35	2. 80	居民点、公路	中期	①③④⑤
7	重点防治区	6	0. 48	30	2. 40	居民点	中期	①②⑥
8	重点防治区	0	0. 00	30	2. 40	公路	中期	①
9	次重点防治区	0	0. 00	30	0. 67	养殖场	中期	①
10	次重点防治区	0	0. 00	30	0. 67	公路	远期	①
11	一般防治区	23	0. 75	200	6. 54	工厂、农田	中期	①②
12	重点防治区	32	2. 56	160	12. 80	居民点、公路	近期	①③④⑤
13	重点防治区	79	6. 32	400	32. 00	居民点、公路	近期	①⑥
14	重点防治区	14	1. 12	70	5. 60	居民点	近期	①⑥
15	重点防治区	0	0. 00	100	8. 00	公路	中期	①
16	重点防治区	30	2. 40	150	12. 00	居民点	近期	①②
17	重点防治区	8	0. 64	40	3. 20	居民点	中期	①③④⑤
18	次重点防治区	4	0. 09	20	0. 45	居民点、养殖场	近期	①③④⑤
19	次重点防治区	3	0. 07	15	0. 33	居民点	近期	①③④⑤

注:防治措施建议:①群防群测 ②专业监测 ③排危除险 ④削方减载 ⑤坡面防护 ⑥工程治理

数和财产数量及风险评估结果，制定了切实可行的群防群测、专业监测、排危除险、削方减载、坡面防护和工程治理等风险管控措施建议。

参 考 文 献

[1] 邢书昆,张光辉,王滋贯,等. 黄土丘陵沟壑区浅层滑坡和崩塌形态特征与发育临界地形[J]. 水土保持学报,2022,36(02): 106-113

[2] 曲雪妍,李媛,房浩,等. 基于时空维度耦合的地质灾害发育程度评价研究[J].水文地质工程地质,2022,49(01):137-145

[3] 郭富赞,宋晓玲,刘明霞. 黄河流域甘肃段地质灾害发育特征[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(05):130-136

[4] 张鹏,刘春娟,马金珠. 甘肃南部典型小流域泥石流灾变链预测研究[J]. 人民黄河,2019,41(01):88-96

[5] 许泰,鄂崇毅,蒋兴波,等. 天水市秦州区城区北山群发地质灾害发育现状及综合治理措施[J]. 科学技术与工程,2021,21(32):13614-13627

[6] 陈大伟,吴志坚,梁超,等. 通渭黄土滑坡变形特征及致灾机理分析[J]. 防灾减灾工程学报,2022,42(01):24-33

[7] 李小琴,富海鹰,张迎宾,等. 地形起伏对滑坡运动的影响规律研究[J]. 防灾减灾工程学报,2020,40(06):867-877

[8] 范立民,李勇,宁奎斌,等. 黄土沟壑区小型滑坡致大灾及其机理[J]. 灾害学,2015,30(03):67-70

[9] 周创兵,李典庆. 暴雨诱发滑坡致灾机理与减灾方法研究进展[J]. 地球科学进展,2009,24(05):477-487

[10] 朱彦鹏,杜一博,杨校辉,等. 甘肃舟曲河那滑坡变形特征及孕灾机理[J]. 科学技术与工程,2022,22(25):10884-10895

[11] 郭富赞,王信,吴正军,等. 舟曲磨里巨型滑坡基本特征及成灾模式[J]. 山地学报,2022,40(04):557-569

EVOLUTION MODELS AND RISK CONTROL OF GEOLOGICAL DISASTER IN GONGHE TOWN OF ZHENGNING COUNTY

BAO Wei-bin¹, YE Hong-gang^{1,2}

(1. *The Fourth Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Jiuquan 735000, China;*

2. *College Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China*)

Abstract: Based on detailed investigation of geological disasters project (1 : 10 000), in Gonghe Town, Zhengning County, Qingyang City this paper studies the basic characteristics, evolution patterns, unreasonable human activities and risk control measures of geological hazards in Gonghe Town of Longdong Loess Plateau through the basis of field investigation and statistical analysis. The results show that: A total of 19 geological disasters and hidden dangers were identified in the investigation, including 10 collapses and 9 landslides, all of which were mainly small and medium-sized. The development process of disaster is closely related to rainfall, slope erosion, excavation of slope feet, excavation of caves and slope cutting to build houses. The disaster patterns in the study area were classified based on their genetic mechanisms and developmental characteristics: The landslide mode includes “pull-shift superficial evolution mode” and “mixed superficial evolution mode”, while the collapse mode is mainly “slip evolution mode” and “fall evolution mode”. Based on the current status, the number of threatened people and property, and the risk assessment results of the disaster points, suggestions for risk control measures such as group prevention and group measurement, professional monitoring, risk elimination, load reduction, slope protection and engineering governance were formulated point by point.

Key words: disaster in loess plateau area; cut slopes for building houses; evolutionary process; disaster control; loess; Zhengning County