

文章编号:1004-4116(2023)01-0052-07

会宁县滑坡发育特征及孕灾条件分析

李凯

(甘肃省有色金属地质勘查局白银矿产勘查院,甘肃 兰州 730900)

摘要:会宁县属于陇中黄土高原沟壑区,新构造运动强烈,处在西海固地震带的影响区之内。县域绝大部分地区为黄土覆盖,土层厚度大。本文依据会宁县地质灾害风险调查工作相关数据资料,对本区滑坡灾害的分布、滑坡发生类型及其基本特征进行了总结归纳,并从地形地貌等5个方面对影响滑坡发育关系密切的孕灾条件进行了相应分析论述。研究发现,滑坡主要受地形地貌、断层构造的控制、地层岩性等内因和物质基础的影响,在降雨的主要诱发下,大多数为黄土类推移式小型新滑坡。现状下,人类工程活动产生的工程斜坡应当引起足够的重视,此类斜坡已成为不可忽视的致灾体。

关键词:风险调查;滑坡;发育特征;诱发因素;孕灾条件;甘肃会宁

中图分类号:P642.22

文献标志码:A

会宁县属于黄土高原区,广泛覆盖黄土且厚度较大。区域上处于西海固地震带的影响区,新构造运动活跃,域内山体破碎,经过水流的长期切割作用,沟壑纵横^[1]。气候干旱,土地裸露程度高,生态环境脆弱,水土流失严重。会宁县经济发展相对落后,近年来在国家政策的支持下国民经济取得了较为快速增长,各类工程投资逐渐增多。大规模的工程建设产生的工程斜坡数量逐年增长的同时也增加了坡体失稳的频率。据统计,自1996年至2014年,滑坡/崩塌灾害累计夺去7人生命,毁损房屋375间,工厂17个,财产损失达1 239万元。目前,滑坡灾害仍威胁着400余户1 900多人,威胁财产1.28亿元。滑坡地质灾害成为该区最为发育、威胁人口及财产数量最多、造成损失最大的灾种^[2]。因此,开展会宁县滑坡发育特征及孕灾条件的研究,在今后的防灾减灾,保护人民生命以及财产安全,保障当地经济社会良性发展意义重大。2021年实施的会宁县1:5万地质灾害风险调查项目,采用遥感解译、实地调查、山地工程等一系列手段进行全域的孕灾地质条件调查和灾害隐患点的核查工作,以此成果为依托,深入总结会宁县滑坡地质灾害的发育机理及孕灾条件,为今后建立群测群防体系、防灾减灾、城乡建设规划等工作提供理论

依据和技术支撑。

1 地质环境背景

会宁县地处西北内陆,年降雨量贫乏,受季节影响明显,且年际差异较大。丰水期一般为每年的6~9月,降雨多发且偶有暴雨发生,呈现出由南到北递减的趋势。2011—2020年,多年平均降雨量254.1~500.4 mm,其中2016年降雨量254.1 mm,2020年降雨量500.4 mm。发源于会宁县南部的祖厉河属黄河一级支流,向北径流贯穿会宁全境。总体地势南高北低,海拔介于1 500~2 404 m之间,相对高差介于200~300 m之间,沟壑密度每平方公里3~5 km。会宁县地处“祁连山加里东褶皱带—北祁连褶皱带”中段,同时受到“中祁连隆起”的改造,地质构造较复杂,新构造运动主要表现为垂直升降运动^[3]。会宁县的地貌类型主要为构造侵蚀黄土丘陵地貌,此地貌类型广泛分布于全区,第四系风积黄土覆盖于古近系、新近系及其它老地层之上,局部基岩出露;侵蚀堆积河、沟谷谷地地貌主要分布在祖厉河及其一、二级支沟,宽度较大,局部达3 km,河谷两侧地势较平坦,中部侵蚀下切严重,形成10~50 m的深切沟;构

收稿日期:2022-04-29

基金项目:中央财政自然灾害防治体系建设补助资金项目(2020620268)

作者简介:李凯(1990~),男,甘肃陇西人,工程师,主要从事水文地质、工程地质、环境地质相关工作。E-mail:920341985@qq.com

造剥蚀低中山主要分布在区内西北部的铁木山、南部的华家岭以及东北部的土高山一带;构造剥蚀准平原主要分布在其北部,以白草塬表现规模最大,面积约为 60 km^2 ,塬心地区黄土层厚度大,在 200 m 以上。上述四类地貌类型共同构成了会宁县的基本地貌(图1)。地下水主要分布于祖厉河河谷及其支流河、沟谷中,以砂砾卵石层为含水层的松散岩类孔隙水为主;以泥岩为隔水底板的黄土孔隙、裂隙水赋存在黄土孔隙裂隙和新近系表层风化壳中。《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)中会宁县所处地区地震参数为地震动峰值加速度 $0.15\sim 0.2\text{ (g)}$,特征周期 0.45 (s) 。^[4]

2 滑坡地质灾害的分布特征

2021年实施的“会宁县1:5万地质灾害风险调查项目”调查显示,会宁县现发育滑坡44处,在会宁县以南的翟家所、太平店、杨崖集、侯家川等乡镇黄土梁、崬沟壑区及河谷两岸的斜坡地带以及阶地前缘分布比较集中(图1)。除此之外,会宁县东北部的刘家寨子等乡镇滑坡分布也相对密集,该区处于海原大地震严重影响区内。工程斜坡为潜在滑坡易发区段。

3 滑坡灾害发育特征

3.1 滑坡类型

按照滑坡的物质组成可将会宁县发育滑坡类型分为黄土滑坡和黄土泥岩滑坡两种类型。

(1) 黄土滑坡

调查的44处滑坡中,黄土滑坡40处,占滑坡总数的90.9%(表1),滑坡体由黄土组成,沿河、沟谷两岸斜坡地带或沟脑分布,地下水埋深较大,坡脚无泉水出露。特点是发育于黄土层内的滑动面形成角度大且滑面形态较规则,主要是由于滑面受黄土中的垂直节理以及构造裂隙的控制作用形成^[5],剪出口一般位于黄土层前缘。其运动形式大多为下错平铺或直接滑动抛出,规模主要为浅—中层的中小型滑坡。另外,发生于黄土和泥岩接触层面上的滑坡也较常见,黄土沿接触面下滑。滑面受基岩表面形态的控

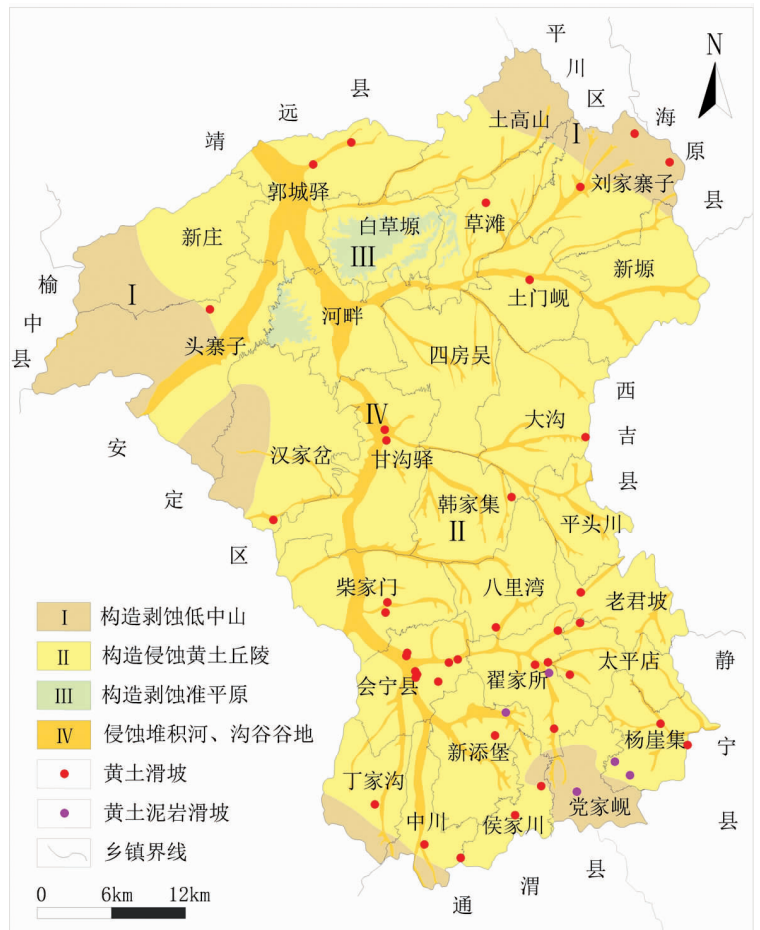


图1 会宁县地貌类型及滑坡分布图

Fig. 1 Geomorphic types and distribution of landslide in Huining County

制,滑坡的复活性较强,常在暴雨或连阴雨之后复活,在被切割的斜坡底部,偶有泉水出露。以新添堡乡河洼村上李社滑坡(HNH09)为例,该滑坡为一老滑坡,2010年8月7日强降雨诱发滑坡复活,从平面形态可以看出,该滑坡由左向右分三个区(图2),滑坡I区前缘具有较好的临空面,II区相对高差较大、坡度陡峻,且前缘发育的冲沟增大了坡脚临空面,为滑动蓄积了巨大的势能。I区滑动后依次牵引II、III区向下滑动,II区规模较大,两级滑动,钻孔揭示其滑面处土体饱和,滑体中含泥岩团块(图3)。适合的地形条件外加强降雨诱发是该滑坡复活的直接因素。

(2) 黄土泥岩滑坡

调查区分布较少,发育4处,占比9.1%(表2),滑坡体包括土体和基岩两部分。滑动时黄土和泥岩组成的滑体沿着基岩中较软弱的夹层或节理、裂隙一起下滑。主要发生在人工削坡的基岩出露位置较高的地段。如翟家所和王川滑坡(图4),该滑坡发生坡

表1 黄土滑坡一览表
Table 1 List of loess landslides

名称	滑坡编号	滑坡体积(m ³)	规模等级	名称	滑坡编号	滑坡体积(m ³)	规模等级
砚台坪滑坡	HNH01	23 985	小型	南口组滑坡	HNH25	70 680	小型
前山社滑坡	HNH02	735 000	中型	小马岔社不稳定斜坡	HNH26	27 627	小型
会师镇北川渠滑坡	HNH03	10 725	小型	下周家沟滑坡	HNH27	300 000	中型
王家磨村李去组滑坡	HNH04	570	小型	陇西川不稳定斜坡	HNH28	280 000	中型
下阳岔社不稳定斜坡	HNH05	6 300	小型	东门社滑坡	HNH29	52 800	小型
水泉湾滑坡	HNH06	35 640	小型	中腰沟不稳定斜坡	HNH30	2 952	小型
焦河组滑坡	HNH07	24 000	小型	米世良家后山滑坡	HNH31	12 357	小型
水岔组滑坡	HNH08	2 840	小型	月牙堡社区不稳定斜坡	HNH32	12 840	小型
河岔村上李组滑坡	HNH09	135 000	中型	月牙堡二组不稳定斜坡	HNH33	7 500	小型
大湾滑坡	HNH10	42 780	小型	黑虎岔三社不稳定斜坡	HNH34	2 002	小型
鸡毛沟滑坡	HNH11	1 768	小型	万寿寺不稳定斜坡	HNH35	18 000	小型
长城养殖场滑坡	HNH12	13 500	小型	马湾组不稳定斜坡	HNH36	5 104	小型
野鹊沟滑坡	HNH13	5 440	小型	下街组不稳定斜坡	HNH37	15 120	小型
武下滑坡	HNH14	6 825	小型	上街组不稳定斜坡	HNH38	16 200	小型
唐川社滑坡	HNH15	28 915	小型	湾去组不稳定斜坡	HNH39	150	小型
崖湾社不稳定斜坡	HNH19	5 400	小型	范坪社不稳定斜坡	HNH40	5 356	小型
芦河村窄峡社滑坡	HNH20	570	小型	甘沟驿村二组不稳定斜坡	HNH41	226 240	中型
九沟组不稳定斜坡	HNH22	39 487	小型	地伍川组不稳定斜坡	HNH42	5 400	小型
阳岔社不稳定斜坡	HNH23	3 840	小型	北庄社滑坡	HNH43	32 825	小型
关道组不稳定斜坡	HNH24	2 100	小型	韩口社滑坡	HNH44	42 500	小型

表2 黄土泥岩滑坡一览表
Table 2 List of loess mudstone landslides

名称	滑坡编号	滑坡体积(m ³)	规模等级
党家峁卫生院滑坡	HNH16	30 900	小型
韩阴湾社滑坡	HNH17	619 030	中型
李岔社滑坡	HNH18	240 845	中型
和王川滑坡	HNH21	78 000	小型

体岩性为二元结构,上部为风积黄土,下部为新近系泥岩,由于坡脚修路开挖坡脚形成临空面,坡体应力状态发生变化,泥岩层沿风化界面下滑牵引上部黄土层滑动,从坡脚开挖面上部剪出,该类滑坡发生的主要因素为人类工程活动引起。

3.2 基本特征

会宁县发育的44处滑坡中,按照其岩体类别、移动形式、形成时代以及发生规模划分,主要为黄土类推移式小型新滑坡(表3),坡

长5~630 m,宽度10~404 m,坡度30°~63°,滑体厚度0.4~35 m。滑坡的后缘一般形态辨识度较高,在平面上形状多为圈椅状,坡度一般在45°~65°之间。古滑坡和老滑坡平台前缘大多侵蚀严重,在水流冲蚀下大部分滑体或全部已无踪迹可寻,仅从后缘的圈椅符号形态和受侵蚀坍塌而残留的小部分滑体上略判一二^[6]。受地形影响,其滑坡主轴长度一般与宽度相当。坡面形态陡峻、岩土体类型比较复杂,尤其是黄土层与基岩接触面上极易发生浅滑,人工开

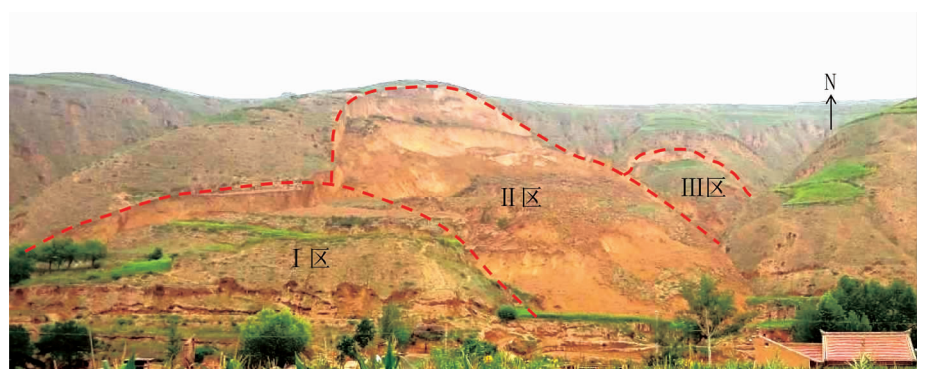


图2 新添堡乡河洼村上李社滑坡(HNH09)全景(据侯云龙等[13])

Fig. 2 Panorama of Lishe landslide (HNH09) in Hewa Village of Xintianbao Township (according to Hou Yunlong et al[13])

表 3 会宁县滑坡特征分类表
Table 3 Summary of landslide in Huining County

分类依据	滑坡类型	主要特征	数量(处)	占比(%)
物质组成	黄土滑坡	滑体主要由黄土组成	42	95.45
	黄土-基岩滑坡	黄土和基岩组成	2	4.55
运动形式	推移式滑坡	后部推动	32	72.73
	牵引式滑坡	前缘牵引	10	22.73
	混合型	后部推动,前缘牵引	2	4.55
发生年代	新滑坡	现今活动	33	75.00
	老滑坡	全新世以来发生	10	22.73
	古滑坡	全新世以前发生	1	2.27
滑体体积	小型滑坡	体积 < 10 × 10 ⁴ m ³	36	81.82
	中型滑坡	体积(10 ~ 100) × 10 ⁴ m ³	7	15.91
	大型滑坡	体积(100 ~ 1 000) × 10 ⁴ m ³	1	2.27

挖切削坡脚产生较大临空面,极大的提升了滑坡发生的可能。

3.3 变形特征

会宁县滑坡扩展方式主要有牵引式、推移式以及混合式。新滑坡大多与人类工程活动有关,由于工程活动开挖坡脚或坡体的上部加载,造成坡体原始应力结构或坡体自重增大,受岩土体类型影响,抗剪强度难以抵御应力改变或自重增大而发生变形破坏。牵引式滑坡发生后表面地形起伏变化较

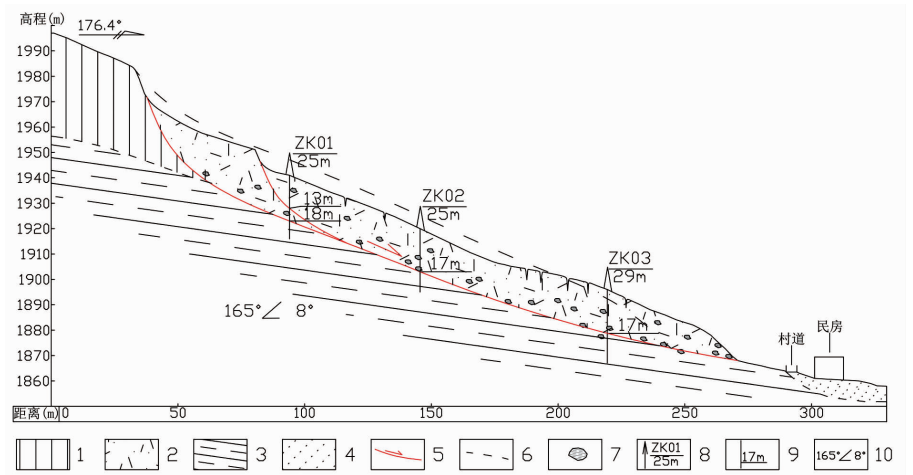


图 3 上李社滑坡(HNH09)典型剖面图

Fig. 3 Typical profile of Shanglishe landslide (HNH09)

- 1—第四系风积黄土;2—滑坡堆积物;3—新近系泥岩;4—冲洪积粉土;5—滑移面;
- 6—原地面线;7—泥岩团块;8—钻孔编号/孔深;9—滑动面深度;10—岩层产状



图 4 翟家所和王川滑坡(HNH21)全貌

Fig. 4 Panoramic view of Zhaijiasuo and Wangchuan landslide (HNH21)

大,与周边斜坡地形存在明显的差异,滑坡后缘呈圈椅状,拉张裂缝明显,坡壁陡直,下错明显并形成滑坡台地或洼地,滑体两侧呈现出走向基本一致的拉张裂缝,裂缝长度和宽度与滑坡规模呈正相关;推移式滑坡前缘一般隆起形成滑坡鼓丘,剖面形态呈“凸形”,前缘横、纵向均形成众多长短不一、平行排布的鼓胀裂缝,错落有致,颇似“峰林”,此类现象的形成主要受控于黄土体内发育的垂直节理;混合式滑坡兼具二者之特征。老滑坡受自然以及人为改造变形特征不明显,在受外力改造产生新的临空面后应力重新分布,出现新的变形迹象。滑坡体有复活运动趋势时坡体中岩土体结构变的疏松,落水洞及裂缝也逐渐向两侧延伸^[7-9]。

4 孕灾条件分析

4.1 地形地貌

会宁县地质环境背景特殊,地形起伏变化大,沟谷深切,山体破碎。地形地貌控制着地质灾害的总体布局,同时也对地质灾害的发育程度起着决定性的因素。

(1) 坡型

边坡的类型不同,其边坡整体应力状态不同,同时地下水的分布也各不相同,进而影响坡体的稳定

性状态。区内斜坡在其表现的形态上有凸形、阶梯形、直线形和凹形。统计分析表明,斜坡形态占比最大的为凸型斜坡,达到滑坡总数的47.7%,滑坡灾害集中发育在凸型斜坡中(表4)。

(2) 坡度

坡度的陡缓对坡体的稳定性产生直接影响,是最主要的因素之一,坡度越大,下滑力越大,坡体越容易失稳。经统计,区内滑坡数量在坡度 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间呈正态分布,坡度在 60° 以上的斜坡,随着坡度增大灾害类型逐渐演变为崩塌(表5)。

(3) 坡高

表4 滑坡坡型分类表

Table 4 Summary of landslide type

坡型	凸形	凹形	直线形	阶梯形	复合形
数量/处	21	3	6	11	3
占比(%)	47.73	6.82	13.64	25	6.82

表5 滑坡坡度分布统计表

Table 5 Statistics of landslide according to its gradient

坡度/ $^{\circ}$	$20^{\circ} \sim 30^{\circ}$	$30^{\circ} \sim 40^{\circ}$	$40^{\circ} \sim 50^{\circ}$	$50^{\circ} \sim 60^{\circ}$	$60^{\circ} \sim 70^{\circ}$	$70^{\circ} \sim 90^{\circ}$
数量/处	4	14	17	8	1	0
占比(%)	9.1	31.82	38.64	18.18	2.27	0

区内地形经过长期的自然演化,斜坡受控于坡度影响整体趋于稳定,滑坡发育与区内坡高无直接关联,滑坡多发生于高度50 m以内的工程斜坡以及沟岸两侧,这是受人类工程活动和沟谷下切侵蚀产生的直接影响。

(4) 坡向

会宁县滑坡发育阳坡占比具有明显的优势,在朝向上,滑坡所发育的数量占比中阳坡 > 半阳坡 > 半阴坡 > 阴坡(图5),坡体朝向在 $157.5^{\circ} \sim 202.5^{\circ}$ 之内的坡体易失稳,为优势坡向(表6)。这说明在地质环境相似的条件,阳坡比阴坡具有更加明显的滑坡发育优势,这导致会宁县滑坡发育在空间分布上具有一定的坡向差异。从整体地势来看,受区内

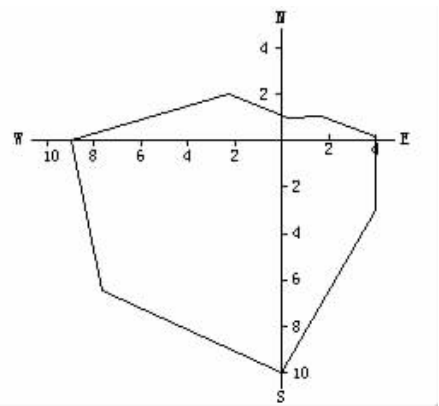


图5 滑坡之坡向玫瑰图

Fig. 5 Roses diagram of landslide slope direction

表6 滑坡坡向分布统计表

Table 6 Statistics of landslide with the different direction

方位/ $^{\circ}$	阴坡		半阴坡		阳坡		半阳坡	
	N ($337.5^{\circ} \sim 22.5^{\circ}$)	NE ($22.5^{\circ} \sim 67.5^{\circ}$)	E ($67.5^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$)	NW ($292.5^{\circ} \sim 337.5^{\circ}$)	S ($157.5^{\circ} \sim 202.5^{\circ}$)	SW ($202.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$)	W ($247.5^{\circ} \sim 292.5^{\circ}$)	SE ($112.5^{\circ} \sim 157.5^{\circ}$)
数量/处	1	2	5	3	10	9	9	5
占比(%)	2.27	4.55	11.36	6.82	22.73	20.45	20.45	11.36
统计(%)	6.82		18.18		43.18		31.81	

祖厉河流向控制,呈现出南北走向的狭长型河谷,将会宁县一分为二,两侧形成东西朝向的斜坡带,河谷两翼支流沿东西走向呈羽状分布。不同的山坡朝向,由于其水热、小气候等方面的差异,导致坡面在自然地理要素方面亦存在差异,使得滑坡发育的本体特性发生改变,因此阳坡比阴坡更有利于滑坡地质灾害的发育^[10]。加之居民大多沿祖厉河右岸二级河谷阶地分布,亦或是向阳而居,会宁县城更是如此,频繁而且剧烈的人类活动影响加剧了不稳定斜坡的发育。

4.2 地质构造

滑坡分布的地理位置、发育与构造的关系密不可分,构造也对滑坡发育的特征上影响巨大。由于会宁县所处构造体系的位置以及所受构造的改造,构造活动强烈。区内主要活动断裂有汉岔—甘沟—王家庙—会宁推测隐伏大断裂,会宁—新添—党家岷断裂等,在这些构造区域滑坡分布比较集中。

4.3 工程地质岩组

地层岩性的不同,主要体现在滑坡的内在因素以及物质基础上的差异,致使滑坡的发生以及发展趋势也不尽相同。会宁县滑坡主要发生于第四系黄土地层,由于其成因比较特殊,赋存环境干燥,黄土具有非常明显的结构强度性质,这种结构一旦破坏后其力学性质也将改变;同时覆盖于基岩表面的黄土结构松散,下覆强风化基岩透水性差,形成了由红色砂质泥岩、砂岩等组成的“双层异质”陡坡,当降雨通过上部松散体渗入岩体覆盖面,由于下部基岩相对隔水,上部的岩土体遇水饱和导致强度下降,坡体沿基覆面下滑。

5 诱发因素

5.1 降雨

降雨是坡体失稳的主要诱发因素^[11]。调查结果显示,在本地区雨季是地质灾害的多发季节,具有一定的周期性。每年的6~9月为汛期,在此期间滑坡地质灾害的发生频率增大。降雨沿黄土裂隙、落水洞入渗或灌入使得岩土体含水量增大,岩土体出现软化,因自重的增加导致抗剪强度急剧下降而失稳。

5.2 人类工程活动

日趋强烈的人类工程活动直接或间接地加剧了

地质灾害的发育,坡脚临空面的改变打破了原有应力状态^[12],坡面长期冲刷侵蚀。人类工程活动对斜坡稳定性的影响在一定程度上比地形地貌、地层岩性等地质环境因素的影响更加强烈而明显。会宁县因人类工程活动而引发滑坡发育表现最为突出的是切坡建房、采砂取土以及重大基础设施建设等。

6 结论

通过对会宁县滑坡灾害发育特征及孕灾条件的分析研究,得出以下结论:

(1)会宁县滑坡主要分布在县城以南的黄土梁、崩沟壑区、河谷两岸的斜坡地带、阶地前缘以及受海源大地震影响严重的地区。

(2)会宁县发育滑坡类型主要为黄土滑坡和黄土泥岩组成的滑坡,以黄土类推移式小型新滑坡居多。

(3)地形地貌、地质构造、岩土体性质、降雨以及人类工程活动为滑坡发育的孕灾条件。

(4)人类工程活动加剧了滑坡的发生,应加强对切坡建房、采砂取土、基础设施建设等产生的工程斜坡的监管。

参 考 文 献

- [1] 董毅兵,郁文,张仲福.基于GIS的地质灾害易发性分区评价——以甘肃省会宁县为例[J].中国地质调查,2020,7(3):89
- [2] 李凯,刘彦明,等.甘肃省会宁县地质灾害风险调查评价报告[R].兰州:甘肃省有色金属地质勘查局兰州矿产勘查院,2021
- [3] 尚瑾瑜,杨争,王保磊.会宁县地质灾害发育特征及形成条件分析[J].地下水,2018,40(6):137
- [4] GB18306-2015,中国地震动参数区划图[S].北京:中国地震局,2015
- [5] 于国强,张茂省,胡炜.天水市“7·25”群发性山洪地质灾害发育特征及成因分析[J].西北地质,2014,47(3):187
- [6] 殷志强,秦小光,赵无忌,等.基于多元遥感影像数据的黄河上游滑坡发育特征研究[J].工程地质学报,2013,21(5):782
- [7] 王俊.杂多县地质灾害易发性与危险性定量区划及评价研究[D].西安:长安大学,2017
- [8] 刘海燕.黄陵县地质灾害危险性评价[D].西安:长安大学,2011
- [9] 陈荣彬.黄土高原地区地质灾害调查方法及规律研究——以陕西省吴起县为例[D].西安:长安大学,2009
- [10] 蒋忠信.震后山地地质灾害治理工程勘查设计实用技术[M].成都:西南交通大学出版社,2018:60-61
- [11] 李靖,邢皓枫,罗勇.岩堆边坡变形监测与分析[J].低温建筑技术,2016,01(032):88
- [12] 张激扬.对门坡滑坡整治措施和施工要点[J].贵州大学学报(自然科学版),2006,23(4):421
- [13] 侯云龙,张仲福,等.白银市会宁县地质灾害详细调查报告[R].兰州:甘肃工程地质研究院,2016

ANALYSIS ON DEVELOPMENT CHARACTERISTICS AND DISASTER-INDUCING CONDITIONS OF LANDSLIDE IN HUINING COUNTY

LI Kai

*(Baiyin Geological and Mineral Survey, Gansu Provincial Bureau of Non-Ferrous Metal
Geology and Exploration, Baiyin 730900, China)*

Abstract: Huining County is located in the middle of Gansu Province. Geographically it is loess gully region where has been influenced under Neotectonic Movement. In terms of Geological Hazard Risk Survey in Huining County, it is studied such data of landslide sites as distribution, type and develop features, and analyzed landslide disaster-inducing condition from five aspects such as topography, geomorphology, structure, rainfall and artificial engineering. The occurrence of landslide are mainly controlled by landform terrain, fault and lithology under the inducing condition of rainfall. Meanwhile, the slope which are formed by artificial engineering should be taken into account.

Key words: geohazard risk investigation; landslide; disaster-inducing conditions; Gansu Province