

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.04-07

# 青海西宁南北山滑坡、崩塌成因及影响分析

魏正发, 张俊才, 曹小岩, 魏赛拉加, 严慧珺  
(青海省地质环境监测总站, 青海 西宁 810008)

**摘要:**近年来,随着青藏高原暖湿化加剧,降雨量及极端降雨天气增多等原因,西宁市南北山地质灾害呈多发群发、逐年增长态势,尤其是滑坡、崩塌灾害,造成了严重的人员伤亡和经济损失,严重威胁西宁市区居民、基础设施、绿化设施安全。为积极应对南北山地质灾害严峻形势,保障居民生活生产安全,巩固已有来之不易的绿化成果,深入分析了西宁市南北山近 18 年以来地质灾害发生情况、分布规律及影响因素,提出了南北山地质灾害重点预防时期、重点防范区域、对绿化区的影响及后期防治建议。

**关键词:**地质灾害;影响因素;分布规律;防治建议

**中图分类号:** P642      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1003-8035(2021)04-0047-09

## Causes and influential factor analysis of landslides and rockfalls in north & south mountain areas of Xining City, Qinghai Province

WEI Zhengfa, ZHANG Juncai, CAO Xiaoyan, WEI Sailajia, YAN Huijun  
(Qinghai Geological Environment Monitoring Station, Xining, Qinghai 810008, China)

**Abstract:** In recent years, with the aggravation of warming and humidification in the Qinghai-Tibet Plateau, regional rainfall increase and extreme rainfall weather happened frequently, unexpected geo-hazards in North & South Mountains area of Xining City are frequently and massively increasing year by year, especially the landslide and collapse disasters, which cause serious casualties and economic losses, and seriously threaten the safety of residents, infrastructure and greening facilities in Xining City. In order to actively deal with the severe geo-hazards situation in the area, ensure the safety of residents' life and consolidate the hard-won greening achievements, the occurrence, distribution and influence factors of geo-hazards in the area in the past 18 years are analyzed deeply, the key prevention period, key prevention area, influence on green area and later prevention suggestions are put forward.

**Keywords:** landslide; influential factors; distribution law; prevention suggestions

### 0 引言

西宁市为青海省省会,是全省政治、经济、文化、教育、科教、交通和通讯中心,对全省社会经济发展具有辐射带头作用,土地总面积 497.4 km<sup>2</sup>,其中山区面积 255.72 km<sup>2</sup>,占总面积的 51.4%,总人口 131.55 万人,国民生产总值 1 004.08 亿元,占全省生产总值的 35%。本

文所述西宁市不含湟中、湟源和大通三县。

西宁市地处湟水中游河谷盆地,地势西北高东南低,东西狭长,四面环山,三川汇聚,属典型的山间河谷型城市。属半干旱高原大陆性气候,年均降雨量仅 380 mm,年均蒸发量却达 1 363.6 mm,年平均气温 7.6 ℃,最高气温 34.6 ℃,最低气温-18.9 ℃。具日照长、雨水

收稿日期: 2020-10-09; 修订日期: 2020-11-09

基金项目: 青海省应用基础研究项目(2019-ZJ-7053)

第一作者: 魏正发(1993-),男,青海互助人,本科,工程师,主要从事地灾调查与防治研究工作。E-mail: 1522497033@qq.com

少、蒸发量大、太阳辐射强、昼夜温差大、冰冻期长等特点。近东西向的湟水河谷将西宁市山区分为南北两山,南山东起杨沟湾,西至阴山堂,长约 27 km,北山东起小峡口,西至巴浪沟,长约 36 km<sup>[1]</sup>(图 1);南北山是全市主要自然景观区,由于特定的自然地理条件,区内土壤贫瘠、植被稀疏、地形破碎、岩石裸露,长期以来水土流失严重,泥石流等地质灾害发育。



图 1 西宁市山区、河谷及地质灾害多发地段分布简图

Fig. 1 Sketch map of mountainous area, river valley and geological disaster prone area in Xining City

为改善生态环境,提升城市品位,建设美丽西宁,1989年3月我省启动了西宁市南北山绿化工程,由西宁地区 168 个国家机关、团体、企事业单位、驻军、武警部队参加,相继划分成立了 117 个绿化责任片区<sup>[2]</sup>。限于西宁市降雨量远小于蒸发量,自产水资源匮乏,为解决灌溉用水,利用大南川水库、云谷川水库、小南川水库、南门峡水库和盘道水库以及引大济宁工程干、支渠扩展延伸,引水上山<sup>[3]</sup>,先后共建成泵站 62 座,铺设输水管道 2 000 km,修筑调节涝池 19 座,蓄水池 589 座,形成了总容量  $27 \times 10^4 \text{ m}^3$  的林灌网络系统。为方便绿化工作修筑硬化道路 251 km,简易道路 350 km,建成管护房、检查站等 128 处。截至目前,南北山绿化总面积达 13 954  $\text{hm}^2$ ,森林覆盖率由绿化前的 7.2% 增长到 79.53%<sup>[4]</sup>。南北山生态环境得到了明显改善,在一定程度上降低了地质灾害的发生;尤其在减少泥石流物源、减轻泥石流灾害方面效果显著。据资料显示,1979—1997 年西宁市曾发生过 7 次严重的泥石流(表 1),造成 13 人死亡、8 人受伤,直接经济损失 7 838 万元。但是,

自 1997 年后再无泥石流发生,这也从侧面反映了绿化工程对于环境的积极影响,对地质灾害的发生起到了抑制作用。

表 1 1979—2019 年西宁市泥石流一览表

Table 1 List of debris flow in Xining City from 1979—2019

发生时间	地区	规模/( $10^4 \text{ m}^3$ )	人员		经济损失/万元
			死	伤	
1979	付家寨片区	/	0	0	2.71
1987	瓦窑沟流域	/	0	0	1 000
1994-07-05	马坊、盐庄及大寺沟	20.73	2	1	2 250
1995-09-03	沙巴沟	0.14	9	1	2 250
1997-08-05	瓦窑沟	2.4	0	0	1 200
1997-08-05	一颗印大山沟	3.5	2	3	1 125
1997-08-05	付家寨	4.125	0	3	10

然而,西宁市南北山崩塌、滑坡灾害仍然十分发育,尤其是近年来呈多发群发、逐年增长的态势,严重威胁市区居民、基础设施、绿化设施安全。国内外已有一些西宁市及邻近区域地质灾害相关研究的报道,如王维岳等<sup>[5]</sup>分析研究了西宁市山地滑坡、崩塌灾害及防治对策,杨玲等<sup>[6]</sup>分析了西宁市重大地质灾害隐患分布规律,魏刚等<sup>[7]</sup>分析了西宁市林家崖滑坡的发育特征及稳定性,LI 等<sup>[8]</sup>采用强度折减法分析了西宁市凤凰山滑坡的稳定性,姚生海等<sup>[9]</sup>分析研究了西宁北山滑坡与湟水河断裂关系,栗泽桐等<sup>[10]</sup>基于信息量、逻辑回归及其耦合模型评估了沙塘川流域滑坡易发性,辛鹏等<sup>[11-12]</sup>研究了大通县韩家山泥岩质多级旋转型滑坡、互助县菜子沟大型平推式滑坡的形成机制,MU 等<sup>[13]</sup>对民和县上湾特大型泥岩切层旋转老滑坡进行了研究。但是,针对西宁市南北山地质灾害系统性的研究成果资料较少,为此本文系统地分析南北山地质灾害的发育特征、影响因素,提出合理的防治措施建议。

### 1 地质灾害概况

研究区地处黄土高原与青藏高原交界地带,特殊的地理位置和地质环境条件,导致区内地质灾害十分发育,主要集中分布于湟水干流及其主流两侧丘陵区与河(沟)谷区边缘过渡斜坡地带。现已查明地质灾害点共 294 处,其中以滑坡为主,共 184 处,占总数的 62.6%,崩塌、泥石流及不稳定斜坡相对较少,分别为 40 处、39 处、31 处,共占总数的 37.4%<sup>[14]</sup>;地质灾害分布 0.6 处/ $\text{km}^2$ ,是全省 0.006 处/ $\text{km}^2$  的近 100 倍,区内人员密集,亦是全省威胁人员财产最严重的地区之一。

据统计,2002—2019年西宁市南北山共发生滑坡、崩塌125起。其中滑坡93起,占总数的74.4%,崩塌32起,占总数的25.6%。造成10人死亡,损毁绿化道路1.74 km、水渠332 m、绿化管护房及居民房屋40间、林地140亩、各类树木166 120棵、7条绿化输水管线、10座闸阀、2 km供水网等,直接经济损失718.65万元。如2006年8月19日晚城东区付家寨绿化区滑坡,2017年8月8日城东区王家庄绿化区管护基地北侧滑坡(图2),2019年11月18日付家寨绿化区滑坡(图3)等典型地质灾害均造成了严重的经济损失和绿化设施损毁,个别地质灾害甚至造了人员伤亡(表2)。



图2 2017年8月8日王家庄绿化区滑坡

Fig. 2 Landslide in Wangjiazhuang green area in 8 August 2017



图3 2019年11月18日付家寨绿化区滑坡

Fig. 3 Landslide in Fujiazhai green area in 18 November 2019

## 2 地质灾害主要影响因素

### 2.1 构造运动与地形地貌

地质构造作用对于区域地形地貌的塑造和物质沉积起着控制性作用,而地形地貌和沉积物质又是影响地质灾害发育及分布的重要因素,因此研究区域地质构造活动对于分析地质灾害形成机理、分布等具有重要的指导意义。

据曾永年等<sup>[15]</sup>、何生胤<sup>[16]</sup>、孙莹等<sup>[17]</sup>、徐叔鹰等<sup>[18-19]</sup>、鹿化煜等<sup>[20]</sup>、方小敏等<sup>[21]</sup>、李润杰等<sup>[22]</sup>研究,认为西宁盆地是隶属湟水盆地的一新生代断陷盆地,受控于北西向拉脊山北缘断裂带和北西向达坂山南缘断裂带。古近纪以沉积为主,沉积了一套以泥岩石膏岩及砂岩互层为主的湖相碎屑岩,沉积中心是付家寨地区;新近纪以来构造抬升运动才逐渐影响到本区,距今8 Ma左右拉脊山开始强烈阶段性幕式隆升,形成“青东古湖”,期间沉积了以泥岩为主夹少量砂岩的湖相地层;第四纪早中期高原整体进入加速隆升期,距今1.5~1.7 Ma的青藏运动末期古湖外泄并解体,自此进入河流地貌塑造阶段。

据曾永年等<sup>[15]</sup>研究,湟水各阶地形成的年代与距今1.2 Ma以来青藏高原经历的六次剧烈的构造上升运动时期基本吻合,湟水各阶地的形成与高原间歇性隆升存在十分密切的联系<sup>[15]</sup>。距今约1.1 Ma的昆黄运动第一幕时期强烈的构造抬升运动在西宁北山大墩岭位置,湟水河切出VI级阶地,距今约0.8 Ma的昆黄运动第二幕时期湟水盆地内表现为各分割盆地的隆起带剧烈隆升,这一隆升事件形成了湟水V级阶地,距今约0.6 Ma的昆黄运动第三幕时期高原隆升在湟水盆地内表现空前,湟水河切出最深的IV阶地,以北山一颗印、北山寺顶部为代表,基座出露约110 m(图4),张家湾一线斜坡中部也有发育。晚更新世初期拉开了共和运动的序幕,距今约0.12 Ma的第一幕时期III级阶地形成,现付家寨后山较明显,基座出露约40 m,北山山前坡脚处局部地

表2 西宁市南北山典型地质灾害基本情况一览表

Table 2 List of basic information of typical geological hazards in north and south mountains of Xining City

发生日期	灾害名称	体积/m <sup>3</sup>	人员伤亡		其它损失	直接经济损失/万元
			死	伤		
2006-08-19	付家寨绿化区滑坡	31.68	0	0	130亩林地、16.59万株苗木、0.5 km道路、2 km供水管网、10座闸阀井及3间管护房损毁	163.45
2015-06-24	付家寨绿化区滑坡	2.72	0	0	绿化区林木、道路和管护基地房屋等损毁	200
2017-08-08	王家庄绿化区滑坡	4.68	4	0	11间管理用房掩埋及供电等设施损毁	81
2019-07-04	朝阳绿化区滑坡	7.2	0	0	3条灌溉管网断裂,200 m绿化专用道路损毁	50
2019-11-05	朝阳绿化区滑坡	12	0	0	两处墓地损毁,电塔沉陷,网围栏被埋	30
2019-11-18	付家寨绿化区滑坡	39.42	0	0	绿化道路600 m,管护房10间损毁	22.5



图 4 西宁市北山寺地区湟水河 IV 基座阶地

Fig. 4 IV base terrace of Huangshui River in north mountains of Xining City

段有出露,但大部已被湟水侧蚀或IV级阶地基座崩积物覆盖,共和运动第二、三幕时期(0.05~0.01 Ma.P.B)的构造运动形成II、I级阶地,期间构造抬升相对较

弱,形成堆积阶地,分布于西宁市南北山缓坡地带。

地质构造运动严重影响着南北山地质灾害的发育和分布,古、新近系湖盆沉积地层奠定了地质灾害发育的物质基础,第四系昆黄运动中后期及共和运动初期强烈的构造隆升和河谷下切塑造了极为有利的临空条件,是斜坡地质灾害发育地貌的形成期,丰富的崩塌堆积物,为下部堆积层滑坡提供了物质基础,张家湾地区斜坡中部发育的IV级阶地和北山地区斜坡下部已被覆盖的III级阶地成为地下水的线性露头区,使得局部坡体含水量激增,导致浅表层滑坡多发。

### 2.2 微地貌

微地貌亦是影响地质灾害发育的主要地质条件,主要包括坡形、坡度和坡向(表3)。

表 3 斜坡要素对滑坡、崩塌影响统计表

Table 3 Statistical table of influence of slope elements on landslide and collapse

地质灾害		坡形			坡度/(°)						坡向/(°)		
		凸起形	阶梯形	直线形	20~30	30-40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	阳坡 90~270	阴坡 270~90
滑坡	数量	9	60	24	2	30	36	7	7	4	7	54	39
	占比/%	9.7	64.5	25.8	2.2	32.3	38.7	7.5	7.5	4.3	7.5	58.1	41.9
崩塌	数量	28	0	4	0	0	0	1	1	2	28	29	3
	占比/%	87.5	0	12.5	0	0	0	3.1	3.1	6.3	87.5	90.6	9.4

#### 2.2.1 坡形

滑坡、崩塌受斜坡形态影响较大,研究区坡形有凸起形、直线形和阶梯形三类。其中发生滑坡的坡形以阶梯形为主,这是由于坡体曾发生几次滑坡或绿化平整改造而成,共60起,占滑坡总数的63.8%,这也从侧面印证该类坡形岩体结构松散,易积水入渗透发滑坡,其次依次为直线形和凸起形,分别为24起和9起。崩塌则以凸起形和直线形坡为主,多发生于凸形坡,共发生28起,占崩塌总数的87.5%,直线形坡较少,仅发育4起,这是由于凸形坡临空条件较好,一般多为三面临空,稳定性较差。

#### 2.2.2 坡度

斜坡坡度越大应力越集中,也越容易变形失稳发生斜坡地质灾害,据统计滑坡多发生于30°~50°斜坡,占比71%,随着坡度的增大和降较低滑坡发生起数随之越少,80°~90°虽有7起滑坡发生,但该类滑坡皆为小规模黄土滑塌现象;崩塌多发生于80°以上的斜坡,占崩塌总数的87.5%(图5)。

#### 2.2.3 坡向

北半球有“山之南为阳,山之北为阴”说法,因阳坡

太阳光辐射强烈,日照时间长,岩土体昼夜温差大,风化作用较为强烈,尤其是对于高位裸露的岩体作用更为明显,易发生崩塌等地质灾害,据统计90.6%的崩塌灾害位于阳坡,且多为较坚硬的泥岩夹石膏岩层,相比崩塌,坡向对于滑坡的影响不太明显,有58.6%的滑坡发生于阳坡。

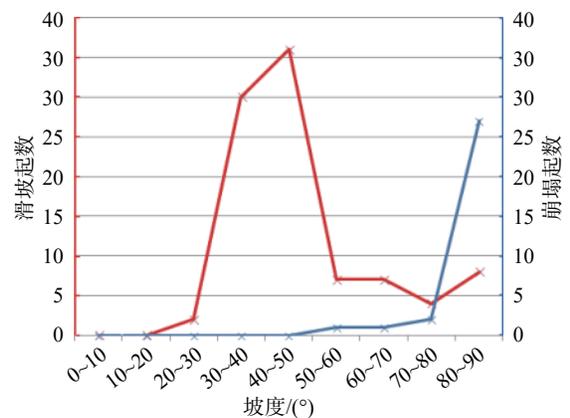


图 5 滑坡、崩塌与坡度关系图

Fig. 5 The relation diagram between landslide, collapse and slope

### 2.3 岩土体类型及其工程性质

研究区发育的滑坡、崩塌均属斜坡地质灾害,岩土

类型和性质是决定斜坡抗变形能力和稳定性的根本因素,也是控制斜坡变形破坏形式的主要原因。区内发生滑坡、崩塌的岩土体类型主要包括黄土、泥岩石膏岩与砂岩互层、松散碎石土三类,均为易失稳变形地层。

### 2.3.1 黄土

研究区内均有分布,厚度不一,差别较大,表现为西厚东薄,集中分布在北山顶部或阶地上部地带,多孔隙且具湿陷性,垂直节理裂隙发育,随着降雨、灌溉、人工开挖等影响而形成地质灾害。共发生滑坡44起,占比47.3%,是滑坡发生的主要地层,且厚度小,均为浅表层滑坡;发生崩塌3起,占比9.4%,均为开挖绿化道路,形成近直立黄土陡坡,于坡顶处发生的小规模崩塌。

### 2.3.2 泥岩石膏岩与砂岩互层

在研究区北山西侧区外,其余地区均有出露,是由几次构造强烈隆升和湟水下切而出露,岩层产状近水平。该套岩层在经历青藏、昆黄及共和运动作用下,应力方向多次偏转导致岩层构造节理发育,尤其在抬升过程中应力分布不均导致垂直节理发育,加之该套地层两类岩体抗风化能力不同,砂岩较强,泥岩相对较弱,经长期差异风化形成泥岩层凹陷砂岩层相对突出的岩层形态(图6),突出砂岩由重力产生卸荷裂隙,随着风化作用的加剧裂隙追索岩体内部原生节理,逐渐形成连通的裂缝,形成崩塌;受限于两岩性互层,岩层厚度较薄,由原生节理分割的危岩体规模并不大,但是由于重力产生卸荷裂隙往往切割较深,易形成较大规模危岩体。是崩塌发生的主要地层,占比90.6%,由于岩体为碎屑沉积岩,成岩度低也易发生滑坡,占比6.5%。

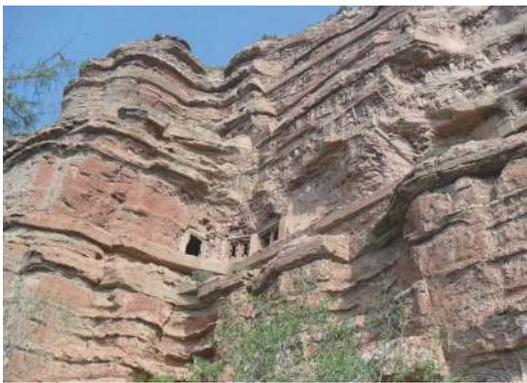


图6 新近系泥岩石膏与砂岩互层岩层(北山)

Fig. 6 Interbedded strata of tertiary mudstone, plaster and sandstone(north mountains)

### 2.3.3 碎石土

主要包括残坡积物、崩塌堆积物、滑坡堆积物和杂填土,分布于湟水V级及IV阶地高陡阶坎下部。其中残坡积物、崩塌、滑坡堆积物在区内大量分布与斜坡表

层,其胶结性质差、结构松散破碎,力学强度低,且多堆积于坡度较陡斜坡,在内外作用力下极易失稳,多发生滑坡,区内46.2%的滑坡发生于该类地层中,亦是发生滑坡的主要岩土体,此外有杂填土形成的滑坡2处,发生在南禅寺西侧和彭家寨阴山堂村人类活动明显地段,岩性主要由建筑废弃砂石料和人工填土组成。

### 2.4 降水与地下水

水对地质灾害的作用亦非常显著,区内滑坡多有无水不滑的特点。其主要包括降雨、地表水和地下水三个方面的影响,但对于山区而言地表水影响不显著,本文主要就降雨和地下水进行分析。

#### 2.4.1 降雨

经2002—2019年18年降雨资料和地质灾害发生数据对比分析,地质灾害发生与降雨基本呈正相关,且近年来随着降雨量的增加地质灾害发生起数也明显上升(图7);通过多年月平均降雨量和月平均地质灾害发生起数对比,西宁市降雨量主要集中于6—9月,月平均降雨量在60mm以上,8月份降雨量最多,达91.28mm,地质灾害也主要集中于6—9月,地质灾害发生与降雨基本呈正相关(图8),降雨对于地质灾害的影响更加明显,也表明6—9月是地质灾害防范的重要时期,降雨天气是防范地质灾害的重要时段。

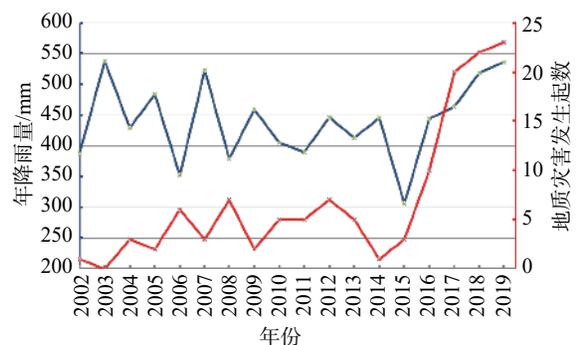


图7 2002—2019年年均降雨量与地质灾害关系图

Fig. 7 The relationship between the average annual rainfall and geological disasters from 2002 to 2019

#### 2.4.2 地下水

研究区地下水的主要来源为大气降水、绿化灌溉水及灌溉蓄水渗漏等。水通过松散岩土体孔隙,黄土节理裂隙、落水洞等以及泥岩砂岩节理,卸荷裂隙等下渗到坡体内形成地下水,通过增加岩土体容重,或遇相对隔水层软化岩土体,或在裂隙中作用加剧坡体变形,进而引发地质灾害。通过以往调查发现北山一带、南川东路一带、付家寨以及张家湾片区斜坡中、下部都有地下水渗出露头,表明地下水对于研究区地质灾害的影响较为突出。

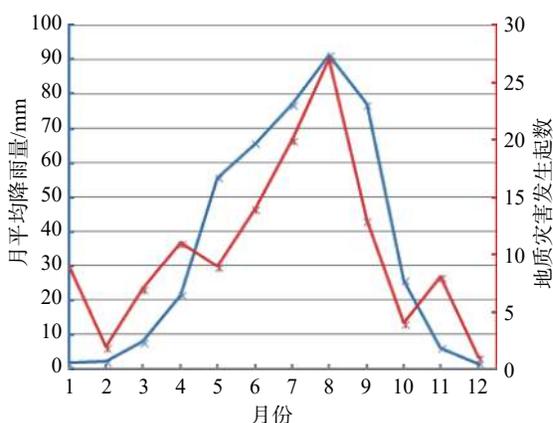


图 8 2002—2019 年月平均降雨量与地质灾害关系对比图

Fig. 8 Comparison chart of average rainfall from 2002 to 2019 and monthly geological disasters

### 2.5 人类工程活动

研究区为山区,人类工程活动主要表现为南北山绿化区建设及后期绿化工作开展对地质灾害的影响,其余工程活动影响不明显。主要表现为绿化区平整坡面改善斜坡坡面形态,修建绿化基础设施和灌溉设施等;如开挖阶梯形坡、鱼鳞坑槽进行绿化植树,修建泵站、调节涝池、蓄水池、硬化道路、简易绿化道路、管护房、检查站等绿化设施时的开挖和加载,绿化灌溉,绿化管道、蓄水池渗漏都对滑坡的发生起到了促进作用,但对于崩塌影响不明显。据统计由绿化工程活动直接或间接参与诱发滑坡 60 起,占滑坡总数的 64.5%,可见绿化工程活动对于南北山地质灾害的影响不容忽视。如北山大墩岭绿化区前期开挖坡脚修建绿化道路 2019 年发生崩塌,造成上山绿化道路被掩埋;北山付家寨绿化区因灌溉及坡顶加载 2015 年发生滑坡造成林木、道路和管护基地房屋等损毁,直接经济损失达 200 万元。

综上,西宁市南北山地质灾害发育主要以地质构造作用塑造的地形地貌和沉积物质为背景条件,地形地貌的塑造和沉积物质决定了区域内地质灾害发育特征和分布规律,并在降雨、人类工程活动等外因作用下发生地质灾害。

## 3 地质灾害分布规律

### 3.1 时间分布规律

绿化区地质灾害在时间上主要集中在 6—9 月,占灾害总数的 59.2%,与青海省汛期相吻合(表 4);且因人类工程活动加剧、累积以及降雨增多呈增长趋势,尤其 2015 年以来影响显著。

表 4 2002—2019 年西宁市南北山地质灾害发生起数按月份统计表

Table 4 Monthly statistics on the occurrence of geological disasters in the north and south mountains of Xining City from 2002 to 2019

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
灾害起数	9	2	7	11	9	14	20	27	13	4	8	1

### 3.2 地质灾害空间分布规律

#### 3.2.1 凹岸近河流地段强烈发育

从西宁市区坐落的河谷地形地貌看,湟水河在西宁市区有两个微小弯曲,形成了相对明显的河流凹岸,分别为阴山堂—汉庄村南凹岸段和汉庄村—小峡口北凹岸段;塑造了凹岸侵蚀强烈的地貌特征;西山阴山堂-张家湾段和北山土楼观-褚家营段就位于河流凹岸顶点处,该区段内河流侧蚀作用曾最为强烈,切割严重,斜坡陡立,是地质灾害高易发地段,此外南山南川东路南禅寺-南苑小区南段也属南川河侵蚀凹岸顶点处;呈现河流凹岸区段地质灾害集中分布的特点(图 9)。

#### 3.2.2 条带状集中分布明显

地质灾害以条带状形式集中分布于湟水及其一级支流河谷平原区向低山丘陵区过渡的斜坡地带(第一斜坡带),主要分布于北山土楼观—褚家营段、付家寨后山付家寨—小峡口段、南山南川东路南禅寺—南苑小区南段、西山张家湾—阴山堂段,共发生地质灾害 82 起,占灾害总数的 65.6%,其中以北山土楼观—褚家营段最为发育(图 9)。

#### 3.2.3 灾种分布位置差异明显

西宁市南北山地质灾害发育地段出露的地层岩性主要为新近系泥岩夹石膏岩与砂岩互层和上覆第四系黄土层,受构造抬升、湟水河下蚀及侧蚀作用影响,南北山不同程度发生抬升和后退。本因被黄土层覆盖的新近系泥岩石膏岩与砂岩互层岩组大规模出露,加之泥岩和砂岩差异风化,山体则因剥蚀、崩落、滑塌变得高陡异常,大量的松散堆积物堆积于坡脚,经过反复作用和长时间积累,在坡脚堆积形成坡度相对较陡的斜坡,形成如今上部近直立下部较缓、上部凹凸不平的斜坡地貌(图 10);也形成了斜坡中下部滑坡发育、上部崩塌发育的分布位置差异性特征。通过统计分析发现滑坡多发生于斜坡下部松散堆积地带,崩塌则大多发生于斜坡上部及顶部近直立的泥岩石膏岩与砂岩互层层中。

## 4 地质灾害影响

近年来,随着全球气候变暖,青藏高原暖湿化加剧,西宁市降雨明显增多,人类工程活动加剧和积累,地质

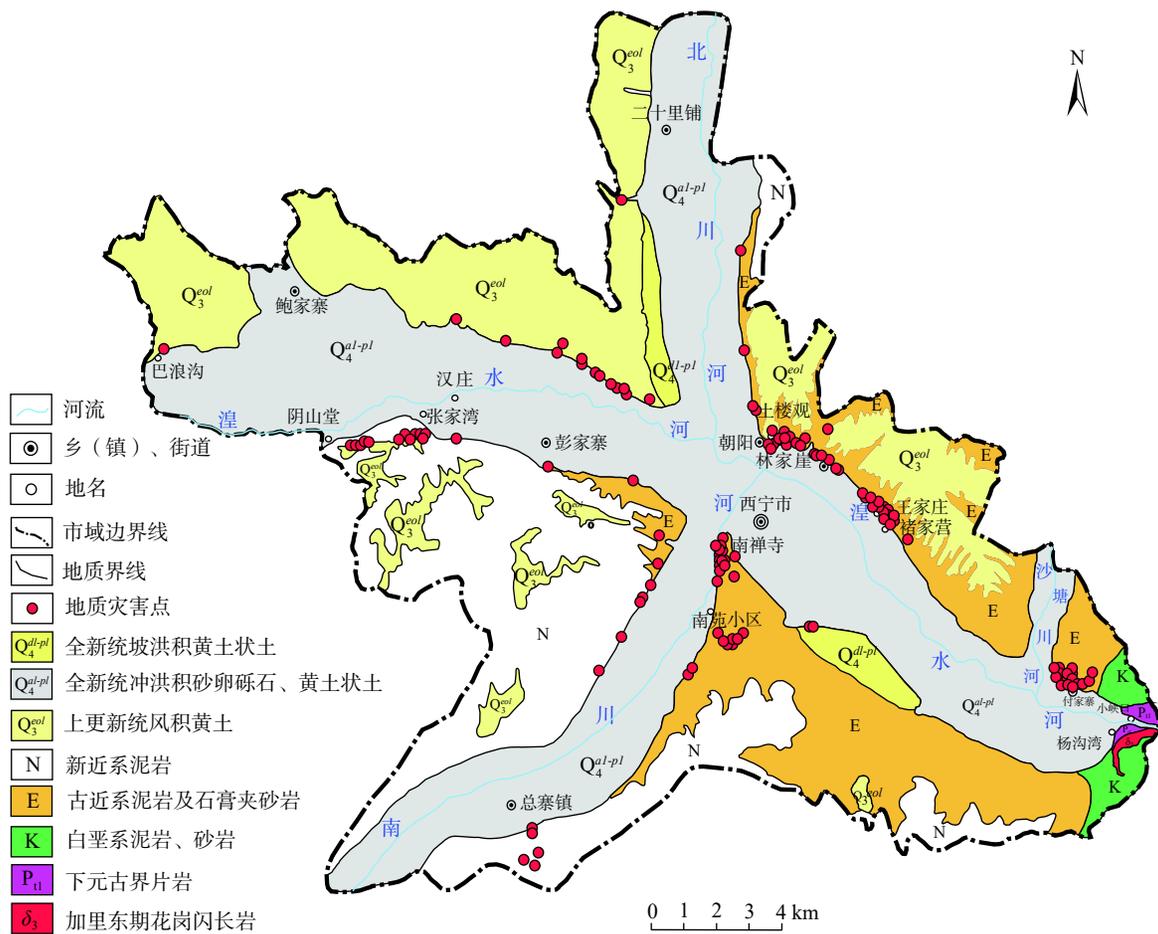


图 9 西宁市地层岩性及地质灾害分布简图

Fig. 9 Sketch map of stratum lithology and geological disasters distribution in Xining City



图 10 北山上部陡崖及下部缓坡地形

Fig. 10 Topography of the upper escarpment and lower gentle slope of north mountains

灾害发生数量明显上升, 从 2004 年之前的年均 5 起左右增加至 2017 年之后的年均 20 起以上, 且很多地质灾害点再次出现变形, 地质灾害防治工作面临着严峻的考验。

#### 4.1 对市区居民及基础设施的影响

南北山地质灾害多集中分布于湟水及其主流两

岸第一斜坡带, 坡下居民区广布, 基础设施密集; 主要对市区居民小区、工厂企业, 青藏铁路、兰新高铁、109 国道、G6 高速公路、南川东路等重要交通干线, 北山土楼观、南山南禅寺、南山公园等旅游景区, 输电、输水及输气等重要输送管道构成严重威胁。

#### 4.2 对绿化区设施及绿化工作的影响

西宁市南北山绿化工程投入了大量的人力物力及财力, 修建了大量的绿化基础设施, 已发灾地质灾害造成了绿化区严重的人员伤亡和经济损失, 随着地质灾害逐年增长态势, 势必会对更多绿化道路、水渠、林木、输水管线、闸阀、供水网等绿化基础设施构成威胁; 也会严重影响南北山绿化工作的正常运行和推进, 严重威胁绿化区管护人员生命财产安全和已取得的绿化成果。水渠、输水管线、闸阀等设施错断、开裂会引发绿化水渗漏, 如不及时采取措施, 会诱发更多地质灾害, 地质灾害的发生会再次损毁绿化设施和绿化成果, 如此反复势必会形成恶性循环, 对于绿化成果巩固和地质灾害防治都不利。

## 5 结论及建议

### 5.1 结论

(1) 西宁市南北山突发性滑坡、崩塌地质灾害多发频发易发,造成了严重的人员伤亡和财产损失,仅 2002—2019 年发生滑坡、崩塌 125 起,造成 10 人死亡、直接经济损失 718.65 万元。

(2) 西宁市南北山地质灾害发育主要受地质构造、地形地貌、岩土体类型及性质、水的作用、人类工程活动等多种因素影响的。区域构造条件控制下的宏观地形地貌、岩土体分布以及微地貌条件,根本上决定了地质灾害的类型、分布,降雨、地下水和开挖、灌溉等人类工程活动是地质灾害多发的直接诱因。

(3) 西宁市南北山地质灾害具有明显的时空分布发育规律。在时间上,主要集中在发生在 6—9 月,且 2015 年以来呈显著增加趋势;在空间上,主要有凹岸近河流地段强烈发育、条带状集中分布、灾种分布位置差异三个明显的特点。

(4) 近年来受降雨量、极端天气增多,绿化设施渗漏、灌溉等因素影响,西宁市南北山地质灾害防灾形势严峻。主要表现为滑坡、崩塌严重威胁着群众生命财产安全、基础设施和绿化设施正常运行以及已有的绿化成果。

### 5.2 建议

(1) 开展西宁市南北山区地质灾害动态核查工作,查清地质灾害的类型、分布、威胁对象、形成机理,提出有效的防灾减灾措施,以保障居民及管护人员安全,巩固绿化成果。

(2) 吸取以往南北山绿化设施渗漏、灌溉等人为活动诱发地质灾害的教训,绿化时尽量减少人类工程活动,科学合理灌溉,加强对绿化设施巡查管护,及时修复渗漏、损毁的绿化设施。

(3) 开展绿化工作、建设绿化设施前,对区域地质灾害进行评估,尽量避开地质灾害多发易发地段,以防患于未然,减少资金投入损失。

(4) 对绿化区已有地质灾害,尽早采取科学合理的防治措施,避免地质灾害进一步发展导致人员伤亡和财产损失增加,积极巩固绿化成果。

### 参考文献 (References) :

- [1] 郑淑霞,马玉林. 西宁南北山主要生态景观林土壤渗透功能的分析与评价 [J]. 青海大学学报, 2015, 33(1): 32-36. [ZHENG Shuxia, MA Yulin. Analysis and evaluation

on permeability function of soil of the main ecological landscape forests in North-South mountains in Xining areas [J]. Journal of Qinghai University, 2015, 33(1): 32-36. (in Chinese with English abstract)]

- [2] 王周. 生态文明视角下西宁市南北山绿化成效思考 [J]. 青海大学学报, 2015, 33(3): 359-362. [WANG Zhou. Thinking on the afforestation effect of the South-North hills in Xining under the perspective of ecological civilization [J]. Journal of Qinghai University, 2015, 33(3): 359-362. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 贺东辰,刘维义. 从水利灌溉谈西宁市南北两山生态治理 [J]. 青海环境, 2004, 14(4): 142-144. [HE Dongchen, LIU Weiyi. Talk about the ecological treatment of North and South mountains in Xining City [J]. Journal of Qinghai Environment, 2004, 14(4): 142-144. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 李雪林. 对西宁市南北山绿化工程建设的思考 [J]. 现代农业科技, 2015(13): 222-224. [LI Xuelin. Consideration on construction of greening project of Nanshan & Beishan in Xining City [J]. Journal of Modern Agricultural Science and Technology, 2015(13): 222-224. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 王维岳,蔡秋青. 西宁市山地崩塌、滑坡灾害及其防治对策 [J]. 中国水土保持, 1996(4): 24-27. [WANG Weiyue, CAI Qiuqing. Mountain collapse and landslide disaster in Xining City and their prevention measures [J]. Soil and Water Conservation in China, 1996(4): 24-27. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 杨玲,权开兄,代庆礼,等. 西宁市重大地质灾害隐患分布规律研究 [J]. 青海环境, 2015, 25(3): 113-116. [YANG Ling, QUAN Kaixiong, DAI Qingli, et al. Study on the distribution law of hidden dangers of major geological disasters in Xining City [J]. Journal of Qinghai Environment, 2015, 25(3): 113-116. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 魏刚,殷志强,史立群,等. 西宁市北山地区林家崖滑坡发育特征及稳定性分析 [J]. 地质与资源, 2015, 24(2): 146-151. [WEI Gang, YIN Zhiqiang, SHI Liqun, et al. The development characteristics and stability analysis of Linjiaya landslides in Beishan region, Xining City [J]. Geology and Resources, 2015, 24(2): 146-151. (in Chinese with English abstract)]
- [8] LI B, ZHANG W H, JING Q G, et al. Stability analysis on loess-mudstone landslide of the Fenghuang mountains [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 405-408: 595-601.
- [9] 姚生海,李智敏,张加庆. 关于西宁北山滑坡与湟水河北岸断裂关系的研究 [J]. 科学技术与工程, 2014, 14(4): 161-163. [YAO Shenghai, LI Zhimin, ZHANG Jiaqing. Research on the relationship between Xining mountain

- landslide and Huangshui river north fracture [ J ] . *Science Technology and Engineering*, 2014, 14(4): 161 - 163. (in Chinese with English abstract )
- [ 10 ] 栗泽桐,王涛,周杨,等.基于信息量、逻辑回归及其耦合模型的滑坡易发性评估研究:以青海沙塘川流域为例 [ J ] . *现代地质*, 2019, 34(1): 235 - 245. [ LI Zetong, WANG Tao, ZHOU Yang, et al. Landslide susceptibility assessment based on information value model, logistic regression model and their integrated model: A case in Shatang river basin, Qinghai Province [ J ] . *Geoscience*, 2019, 34(1): 235 - 245. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 11 ] 辛鹏,王涛,吴树仁.青海西宁大通县韩家山泥岩质多级旋转型滑坡形成机制研究 [ J ] . *地球学报*, 2015, 36(6): 771 - 780. [ XIN Peng, WANG Tao, WU Shuren. The formation mechanism of multilevel rotational mudstone landslides in Hanjiashan of Datong County, Qinghai Province [ J ] . *Acta Geoscientia Sinica*, 2015, 36(6): 771 - 780. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 12 ] 辛鹏,王涛,吴树仁.青海西宁—民和新近纪泥岩盆地菜子沟大型平推式滑坡形成机制研究 [ J ] . *地球学报*, 2018, 39(3): 342 - 350. [ XIN Peng, WANG Tao, WU Shuren. A study of the formation mechanism of Caizigou large-scale translational gliding landslide in neogene mudstone basin of Xining-Minhe, Qinghai Province [ J ] . *Acta Geoscientia Sinica*, 2018, 39(3): 342 - 350. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 13 ] MU W P, WU X, QIAN C, et al. Triggering mechanism and reactivation probability of loess-mudstone landslides induced by rainfall infiltration: A case study in Qinghai Province, Northwestern China [ J ] . *Environmental Earth Sciences*, 2020, 79(1): 1 - 19.
- [ 14 ] 周保,张俐,王文来,等.青海省西宁市地质灾害详细调查报告[R].西宁:青海省地质环境监测总站,2013. [ ZHOU Bao, ZHANG Li, WANG Wenlai, et al. Detailed investigation report on geological hazards in Xining, Qinghai Province[R]. Xining: Qinghai Institute of Geo-Environmental Monitoring, 2013. (in Chinese) ]
- [ 15 ] 曾永年,马海洲,李珍,等.西宁地区湟水阶地的形成与发育研究 [ J ] . *地理科学*, 1993, 15(3): 253 - 258. [ ZENG Yongnian, MA Haizhou, LI Zhen, et al. A study on terrace formation and development of the Huangshui river in Xining area [ J ] . *Scientia Geographica Sinica*, 1993, 15(3): 253 - 258. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 16 ] 何生胤.西宁盆地湟水河流阶地与高原演化特征分析 [ J ] . *水利与建筑工程学报*, 2007, 5(3): 81 - 85. [ HE Shengyin. Analysis on characteristics of river terrace and plateau evolvement of Huangshui river in Xining basin [ J ] . *Journal of Water Resources and Architectural Engineering*, 2007, 5(3): 81 - 85. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 17 ] 孙莹,隋嘉,魏赛拉加,等.青藏高原隆升与西宁市地质灾害的关系研究 [ J ] . *青海国土经略*, 2018, 15(3): 58 - 61. [ SUN Ying, SUI Jia, WEI Sailajia, et al. Study on the uplift of Qinghai-Tibet Plateau and relationship between Geo-hazards in Xining [ J ] . *Qinghai Guotu Jinglue*, 2018, 15(3): 58 - 61. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 18 ] 徐叔鹰,徐德馥,石生仁,等.共和盆地地貌发育与环境演化探讨 [ J ] . *兰州大学学报*, 1984, 20(1): 146 - 157. [ XU Shuying, XU Defu, SHI Shengren, et al. Landform development and environmental evolution in Gonghe basin [ J ] . *Journal of Lanzhou University*, 1984, 20(1): 146 - 157. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 19 ] 徐叔鹰.青海共和组地层的沉积时代与沉积环境 [ J ] . *兰州大学学报*, 1987, 23(2): 109 - 119. [ XU Shuying. Depositional period and sedimentary environment of Gonghe series in the Qinghai Province [ J ] . *Journal of Lanzhou University*, 1987, 23(2): 109 - 119. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 20 ] 鹿化煜,安芷生,王晓,等.最近14 Ma青藏高原东北缘阶段性隆升的地貌证据 [ J ] . *地球科学*, 2004, 34(9): 855 - 864. [ LU Huayu, AN Zhisheng, WANG Xiaoyong, et al. Geomorphologic evidence of phased uplift of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau since 14 million years ago [ J ] . *Scientia Sinica Terrae*, 2004, 34(9): 855 - 864. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 21 ] 方小敏,宋春晖,戴霜,等.青藏高原东北部阶段性变形隆升:西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录 [ J ] . *地学前缘*, 2007, 14(1): 230 - 242. [ FANG Xiaomin, SONG Chunhui, DAI Shuang, et al. Cenozoic deformation and uplift of the NE Qinghai-Tibet Plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy and basin evolution [ J ] . *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(1): 230 - 242. (in Chinese with English abstract ) ]
- [ 22 ] 李润杰,王文卿,刘得俊,等.西宁周边沟道水土流失综合治理 [ J ] . *水土保持研究*, 2006, 13(4): 158 - 164. [ LI Runjie, WANG Wenqing, LIU Dejun, et al. The Comprehensive management of soil erosion in suburb's watershed of Xining City [ J ] . *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(4): 158 - 164. (in Chinese with English abstract ) ]