

文章编号:1004-4116(2023)04-0048-11

兰州市地质灾害防治模式研究

蒋拉弟^{1,2}, 李 松^{1,2}

(1. 甘肃省地矿局第二地质院, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃水文地质工程地质勘察院有限责任公司, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:兰州市地质条件复杂、地质灾害多发、灾害类型多样且点多面广,是我国地质灾害最为严重的省会城市之一。目前对地质灾害类型、分布、发育特征研究较多,而对灾害防治对策及模式的研究较少。笔者通过查阅资料、现场调查、归类分析,系统总结以往地质灾害防治经验,提出了兰州市地质灾害防治模式,力求提升地质灾害防治效果并对国土空间规划提供参考依据。

关键词:滑坡;崩塌;泥石流;地质灾害;防治模式;兰州市

中图分类号:P694

文献标志码:A

兰州市地处黄土丘陵沟壑区,地质条件复杂,生态环境脆弱,降雨时段集中,工程活动强烈,地质环境问题突出,地质灾害类型多样、点多面广,其中以崩塌、滑坡以及泥石流灾害为主,是中国滑坡、泥石流灾害最为严重的省会城市之一。近 10 多年来,兰州市对危险性较大的地质灾害隐患进行了大量的勘查治理,从目前地质灾害防治工作的进展看,对地质灾害分布发育特征的研究比较深入,如郭富赞对兰州地质灾害发育特征进行分析总结并提出了风险管控对策^[1],张黎等对兰州市地质灾害类型与分布特征进行了分析总结,认为兰州市滑坡、崩塌呈带状、成片分布、泥石流呈线状分布的特征^[2],尚瑾瑜等对兰州市区地质灾害发育特征及类型进行了比较深入的研究,总结出兰州市主要地质灾害为滑坡、崩塌、泥石流及潜在崩塌(滑坡),并具有反复性、群发性、突发性、周期性和不均匀性的发育特征^[3];对地质灾害防治工程的适宜性也有部分研究,如彭俊红等在兰州市城关区地质灾害防范初探中提出了一些地质灾害的防治时段及防灾减灾的措施^[4],甘肃省地质环境监测院完成的《兰州城市重大地质灾害治理工程可行性研究报告》中提出了兰州市重大地质灾害治理工程实施的必要性和紧迫性^①,兰州大学完成的《兰州市地质灾害防治研究报告》中提出了斜坡地质

灾害防治模式^②,但目前还缺乏系统性的地质灾害防治模式研究,对未来兰州市地质灾害防治工作的指导意义十分有限。针对这一短板,笔者通过收集大量历史研究资料、勘查设计施工资料及野外实地勘查,分析总结了不同区域、不同类型地质灾害的治理方案和治理效果,提出了兰州市区地质灾害防治模式,力求在防治对策方面进行一些探索,以进一步提升兰州市地质灾害防治水平。

1 兰州市地质环境条件与地质灾害现状

1.1 地质环境条件

兰州市属温带半干旱气候区,总的气候特点是干燥寒冷、冬季长、温差大;据气象部门资料,降水多集中于 6~9 月,日最大降雨量 96.8 mm,10 小时最大降雨量 65.2 mm,1 小时最大降雨量 52.0 mm,30 分钟最大降雨量 39.6 mm,10 分钟最大降雨量 18.6 mm,城区最长连续降水日数为 8 天,降水量 67.7 mm^[5]。兰州地处陇西黄土丘陵中山山地亚区,自新近纪以来,新构造运动强烈,主要表现为地壳的隆升,因而塑造了如今特殊的地貌景观。按地貌成因,可划分为构造—剥蚀、山麓斜坡剥蚀堆积及河流侵蚀堆积等三种地貌类型,形成了山地、丘陵及河谷

收稿日期:2023-07-11

作者简介:蒋拉弟(1986~),女,甘肃兰州人,本科,工程师,主要从事水工环地质勘查、灾害防治等工作。E-mail:375693122@qq.com

① 甘肃省地质环境监测院,兰州城市重大地质灾害治理工程可行性研究报告,2010

② 兰州大学,兰州市地质灾害防治模式研究报告,2020

三个地貌单元^[6]。区内出露地层以新生界为主,中生界及古生界出露较少,第四系极为发育,尤其是第四系黄土分布更为广泛,据钻探验证,兰州市黄土最厚处位于七里河区西津村,厚度达 409.93 m^①。兰州九州台黄土剖面是现今世界上保存最完整、最直观的黄土地层剖面。随着近年来兰州市区南山路、北环路等公路建设和削坡建房、平山盖楼、平山造地等城镇化建设以及开垦荒山荒坡、不合理灌溉等一系列工程活动的不断加剧,一方面改变了原有的地质环境条件,同时也带来了一些新的地质灾害隐患。

1.2 地质灾害现状

依据《兰州市地质灾害隐患点核查报告(2021 年度)》,截止 2022 年 6 月,兰州市共有地质灾害隐患点 2 470 处,其中滑坡 335 处、崩塌 205 处、泥石流 257 处、地面塌陷 12 处、潜在崩塌(滑坡)1 661 处。随着城市化进程的加快,地质灾害呈现上升趋势,据调查资料显示,2016 年 6 月地质灾害隐患点为 1 156 处^[2],2017 年 12 月地质灾害隐患点增加到了 2 451 处^[1],2022 年 6 月地质灾害隐患点增加到了 2 470 处。

兰州市地质灾害具有带状、成片分布的特点^[7],主要分布于黄河及其支流两岸、地质构造密集发育部位及工程扰动强烈地区,尤其在黄河两岸高阶地前缘的市民居住区、工业密集区以及主干道路边坡沿线分布更为密集(图 1)。泥石流、滑坡、崩塌灾害受降雨影响,具有反复性、群发性、突发性、周期性特征^[3]。

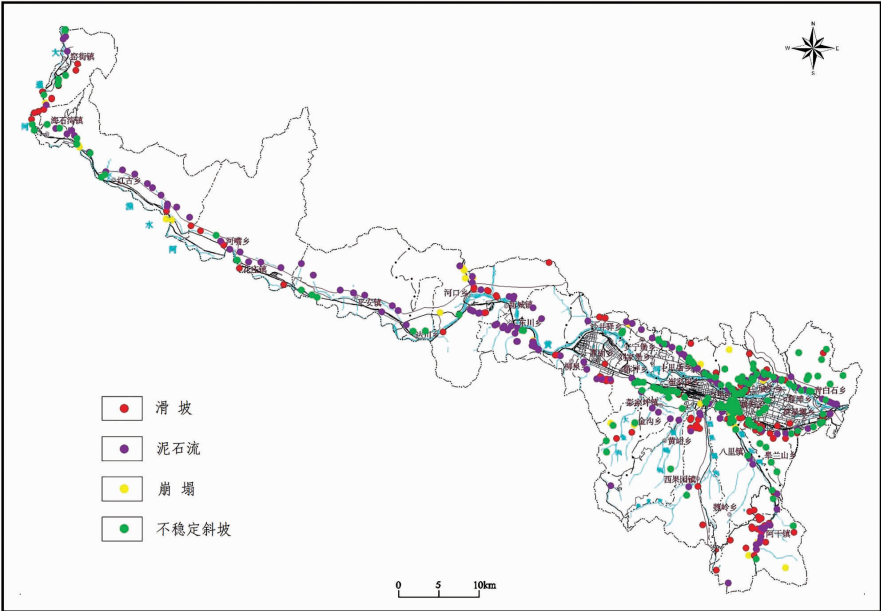


图 1 兰州市地质灾害分布简图

Fig. 1 Distribution of geo-hazards occurred in Lanzhou City

2 兰州市区地质灾害防治工程

针对兰州市现有危害程度严重、危险性大的灾害隐患点和治理工程,重点分析防治工程的现状、分类及适用性,以 2014 年以来兰州市区实施的滑坡、崩塌及潜在滑坡崩塌、泥石流隐患防治工程为研究

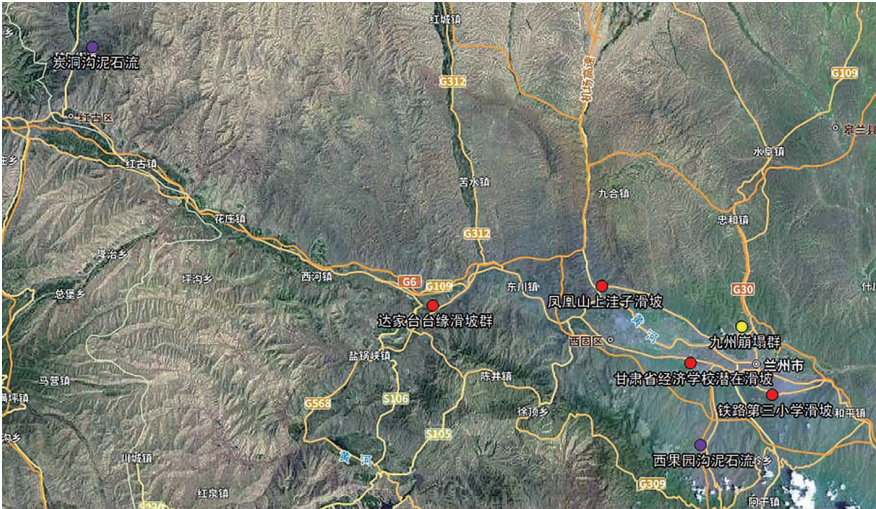


图 2 典型地质灾害点分布图

Fig. 2 Distribution of typical geological disaster points

① 甘肃省地矿局第一水文地质队,甘肃省兰州市西津村黄土钻孔剖面地质报告,1986

对象(图 2),通过收集资料、实地调查,分析总结不同区段、不同类型地质灾害的治理方案措施,总结梳理不同防治工程的适用性。

2.1 滑坡、崩塌及潜在滑坡、崩塌隐患

滑坡、崩塌及潜在滑坡、崩塌隐患主要分布于伏龙坪、皋兰山、盐场堡、五一山、徐家坪、阿干镇、徐家湾、扎马台、达家台、窑街一带^[3]。本次研究主要对具有代表性的皋兰山Ⅲ-1号滑坡、铁路第三小学滑坡、绿色市场滑坡、凤凰山上洼子滑坡、凤凰山报恩寺东侧滑坡、甘肃省经济学校潜在滑坡、山坪子滑坡、扎马台潜在滑坡、达家台台缘滑坡群、“8·9”北环路东段滑坡、阿干镇兰州三十一中滑坡、九州崩塌群、官山林场潜在崩塌、甘肃省武警训练基地潜在滑坡以及南山路彭家坪段高边坡、红古区高陡边坡等灾害点的规模、成因及治理工程进行调查研究,进行了系统的总结分析,对典型灾害点特征和治理工程进行了详细汇总(表 1)。

2.2 泥石流

泥石流沿黄河及其支流呈线状分布,主要分布于南北两山的雷坛河、城关区的青白石东部、白塔山至沙井驿、西固、红古区的大部分地段,沿黄河南岸分布有阳洼沟、黄峪沟、大金沟等 30 多条泥石流沟,类型以泥流为主^①;沿黄河北岸分布有大砂沟、老虎沟、深沟和大青沟等 50 多条泥石流沟,以泥流为主^[8]。此次调查的泥石流沟主要有:老虎沟、西果园沟、马耳山沟、寺儿沟、炭洞沟、捷路沟,对这些泥石流沟的规模、成因以及治理工程进行调查分析总结,对典型灾害点进行了详细汇总(表 1)。

3 地质灾害防治模式及防治效果研究

在对兰州市地形地貌、地层岩性、灾害特点、致灾因素及治理工程特点、治理效果综合研究的基础上,分析总结出了不同区域、不同类型地质灾害的防治模式及防治效果,大致可以归纳为以下几种。

3.1 不同区域(滑坡、崩塌)灾害防治模式及防治效果

根据不同区域灾害特点,将防治模式分为兰州市南山一带、北山一带以及南山路高陡斜坡防治模式。

3.1.1 兰州市南山一带地质灾害防治模式

兰州市南山一带地质灾害主要有皋兰山滑坡群^[9]、老狼沟滑坡群、红山根滑坡群、五泉山滑坡群,均为老滑坡群,这些滑坡群的显著特点是山高坡陡,坡顶至坡脚高差高达 600 m 左右,老滑坡呈明显“圈椅状”形态,坡体裂缝及落水洞发育,滑体厚度 10 ~ 30 m 不等,属于典型的大型中浅层黄土—泥岩老滑坡^[10],坡体前缘靠近主城区,空间狭窄,施工作业面受到严重限制。该类滑坡采用的防治模式为:坡面修整 + 截排水 + 局部锚索格构 + 分级抗滑桩(锚索抗滑桩) + 监测预警 + 群测群防。

坡面修整:老滑坡的岩土结构为黄土层下覆泥岩,地面裂缝、冲沟及落水洞为雨水、地表水入渗提供通道,且水是导致滑坡滑动很关键的外部影响因素。回填夯实黄土层中发育的裂缝、冲沟及落水洞,可以有效解决滑坡体地表水下渗的问题。

截排水:坡顶修建截水防渗工程,坡体及坡脚修建排水工程,减少地表水、雨水通过裂缝、落水洞等渗入黄土与泥岩接触面,减少坡面外地表水对滑坡体的冲蚀。

局部锚索格构:滑坡群中局部凹凸不稳定边坡采取依坡就势锚索格构进行加固,防治局部滑动引起老滑坡的大面积复活。

分级抗滑桩:皋兰山北麓一带滑坡均为大型老滑坡,对于滑坡群进行分级抗滑桩治理,在滑坡中后部采用抗滑力强的锚索抗滑桩,前缘布置一排抗滑桩(锚索抗滑桩)或一排桩板墙进行支挡。

监测预警、群测群防:皋兰山、红山根、五泉山滑坡群坡脚为兰州市城关区主城区,居住着大量居民,在工程治理的同时布置雨量计、裂缝计及声光报警器等监测预警、群测群防装置。

南山一带滑坡均属于大型中浅层老滑坡,老滑坡中又有多处次级中小型崩塌滑坡,针对此类滑坡从治理效果、技术可行性及经济合理性等方面综合考虑,采用分级分区治理措施,主要采用锚索抗滑桩与截排水相结合的治理模式。

3.1.2 兰州市南山一带典型地质灾害防治效果

皋兰山Ⅲ-1号滑坡为皋兰山滑坡群中复活变形最为严重的滑坡,2008 年对该滑坡进行了工程治理(图 3),有效的保护了威胁范围内城关区火车站街道、铁路西村街道、五泉街道及白银路街道共计 4.9 万人生命及 11.71 亿元的财产安全^[11],同时避

① 甘肃省地质环境监测院,兰州市城区泥石流综合整治技术研究报告,2017

表 1 典型地质灾害点特征与治理工程

Table 1 Characteristics of typical geological disaster points and control projects							
序号	灾害点名称	岩土体结构	地形地貌	地形坡度	灾害点规模	致灾影响要素	治理工程
1	皋兰山 III-1 滑坡	黄土、泥岩老滑坡	皋兰山北麓	30° ~ 40°	牵引式、特大型	高陡斜坡地形、遇水软化的泥岩、削坡建房、坡面绿化灌溉	锚索抗滑桩
2	铁路第三小滑坡	黄土—泥岩老滑坡		20° ~ 35°	牵引式、大型	高陡斜坡地形、黄土—泥岩结构、削坡建房、坡脚取土、绿化灌溉	坡面平整、坡面绿化、截排水、抗滑桩、挡土墙、谷坊坝
3	凤凰山上洼子滑坡	黄土—泥岩老滑坡	凤凰山南麓	30° ~ 40°	推移—牵引混合式、大型	高陡斜坡地形、遇水软化崩解泥岩、修建北环路开挖坡脚	削方、截排水、锚索格构、抗滑桩、重力式挡土墙
4	凤凰山报恩寺东侧滑坡	黄土—泥岩老滑坡		55° ~ 60°	牵引式、大型	高陡斜坡地形、遇水软化泥岩、坡顶堆载、开挖坡脚、绿化灌溉	坡面平整、截排水、减重反压、锚索格构、抗滑桩
5	甘肃省经济学校潜在滑坡	黄土滑坡	黄河 III 级阶地	35° ~ 50°	浅层、小型	黄土状粉土、人工改造坡度、削坡建房、修建道路、生活污水排放	锚杆框架、截排水、道路硬化、挡土墙、绿化
6	扎马台潜在滑坡	黄土滑坡	黄河 IV 级阶地	40° ~ 50°	浅层、推移式、小型	高陡斜坡、黄土质地疏松、坡顶农业灌溉、坡面修路开挖	截排水、框架锚索、挡土墙
7	达家台台缘滑坡群	黄土滑坡	黄河 IV 级阶地	45° ~ 60°	牵引式、大型	高陡斜坡、黄土质地疏松、下伏泥砂岩、大水漫灌	锚索格构、刷方减载、抗滑桩及板墙支档、截排水
8	九州崩塌群	黄土滑坡	黄土残丘	35° ~ 65°	小型	高陡斜坡、马兰黄土、开挖坡脚、坡顶植树灌溉、坡顶工程加载(蓄水池)	坡面整平、截排水、挡土墙、锚索框架、拱形格构植草护坡
9	官山林场潜在崩塌	黄土—泥岩滑坡	黄土丘陵	28° ~ 80°	崩塌、小型	沟深坡陡、马兰黄土下伏砂泥岩，遇水易崩解软化、绿化灌溉、削坡建房	坡面平整、截排水、挡土墙、锚杆框架、挂网喷浆护坡、被动防护网
10	南山路彭家坪段高边坡	黄土滑坡	黄河 IV 级阶地	30°	高陡边坡、马兰黄土	高陡边坡、马兰黄土、修建南山路开挖坡脚	拱形格构、重力式挡墙
11	红古区高陡边坡	黄土滑坡	黄土丘陵	40° ~ 60°	高陡边坡、马兰黄土	高陡边坡、马兰黄土、开挖坡脚	削方减载、锚索格构、截排水、挡墙
12	白塔山老虎沟泥石流	稀性泥石流	构造剥蚀中低山	沟床纵比降 250‰，沟坡坡度 35° ~ 45°	流域小、比降大、汇流快的特点	流域内山体坡度大、山体破碎、土质松软、沟谷为深切的“V”型谷。兰州市降雨增多。	拦挡坝、排导工程、生物工程
13	西果园沟泥石流	稀性泥石流	构造剥蚀中低山、黄土丘陵	主沟纵坡比降 30‰，沟坡坡度 20° ~ 35°	流域呈漏斗形，支沟较发育，松散堆积物丰富，下游沟道较顺直，有利于流体的倾泻。	区域山高坡陡、山体破碎，沟谷呈“V”字形，兰州市降雨增多。	支沟拦挡坝、主沟拦挡坝、排导工程、谷坊工程、防护堤工程
14	炭洞沟泥石流	稀性泥石流	黄土丘陵	主沟沟床平均纵坡降 53. 17‰。	流域形态呈“柳叶形”，流域面积 5. 02 km²，流域内支沟较发育。	主沟沟谷为“U”型谷，支沟为“V”型谷，沟道内固体堆积物多且集中，属于季节性流水沟谷。	拦挡坝工程、排导堤工程、防冲槛
15	捷路沟泥石流	黏性泥石流	黄土丘陵	主沟纵坡降 97‰，沟坡坡度在 45° ~ 50°	流域形态呈“手掌形”，流域内多呈宽阔的“V”形，流域面积 14. 184 km²，主沟沟道内有多条支沟发育。	沟岸较陡，地形破碎，沟床坡降大，大量残坡积	拦挡坝工程、护坡挡墙、排导渠、防冲坎



图 3 皋兰山Ⅲ-1号滑坡治理工程

Fig. 3 Control project of Gaolanshan III-1 landslide



图 4 铁路第三小学滑坡治理工程

Fig. 4 Control project of landslide in No. 3 Railway Primary School

免了灾害造成交通、通讯、电路中断等造成的间接损失。铁路第三小学滑坡是皋兰山北坡山前滑坡带的一部分，与皋兰山滑坡属同期滑坡，2015 年对该滑坡进行了工程治理(图 4)，保护了 5 303 人生命及 3 亿元的财产安全^[12]。

3. 1. 3 兰州市北山一带灾害防治模式

兰州市北山一带地质灾害主要有凤凰山上洼子滑坡、凤凰山报恩寺东侧滑坡、官山林场潜在崩塌、九州崩塌群等，均为黄河河谷Ⅲ—Ⅴ级阶地及坡地，坡顶到坡脚高度在 200 m 左右，属黄土—泥岩推移、牵引或推移牵引混合式大中型滑坡，因坡脚开挖、坡顶加载、平山整地、绿化灌溉等工程活动致其滑动。该类滑坡的防治模式基本为：削坡减载 + 坡面修整 + 截排水 + 锚索框架 + 抗滑桩或坡面平整 + 截排

水 + 锚索框架 + 挡土墙等模式^[13]。

①削坡减载 + 坡面修整 + 截排水 + 锚索框架 + 抗滑桩防治模式(如图 5、6)

此防治模式典型点有凤凰山上洼子滑坡、凤凰山报恩寺东侧滑坡，滑坡体具有削坡减载的条件，采用分级削坡，对坡面进行修整，并从坡顶到坡脚修建截排水系统，将雨水、地表水统一收集排出滑坡体；对上部削坡后形成的坡面采取锚索框架(锚杆框架)或框架格构进行护坡，在框架间填充编织植草袋或六棱砖等绿化措施，一方面加强削坡后坡体的稳定性，另一方面防止坡体水土流失，绿化坡体环境；因滑坡体滑动面埋深普遍大于 10 m，坡脚开挖修建北环路，因此，在坡体下部修建抗滑桩，可有效阻止滑坡滑动，并为北环路修建提供有利空



图 5 凤凰山上洼子滑坡治理工程

Fig. 5 Control project of Wazi landslide in Fenghuangshan



图 6 凤凰山报恩寺东侧滑坡治理工程

Fig. 6 Control project of landslide in the east side of Baoensi Temple



图 7 甘肃省经济学校潜在滑坡治理工程

Fig. 7 Potential landslide control project of Gansu Economic School



图 8 扎马台潜在滑坡治理工程

Fig. 8 Potential landslide control project of Zhama tai



图 9 达家台台缘滑坡群治理工程

Fig. 9 Control project of landslide group in Dajiatai



图 10 九州崩塌群治理工程

Fig. 10 Management project of collapse group in Jiuzhou

间。

②削坡减载 + 截排水 + 挡土墙防治模式(如图 7、8、9)

此防治模式的典型点有甘肃省经济学校潜在滑坡、山坪子滑坡、扎马台潜在滑坡、达家台台缘滑坡,其滑坡体所处地貌为黄河阶地,具有削坡减载的条件,采取上部削减、下部支挡,坡体及周围修建截排水设施。

③坡面平整 + 截排水 + 锚索框架 + 挡土墙防治模式(如图 10)

九州崩塌群治理为这种防治模式的典型案例,崩塌群的特点为:地处黄河Ⅳ、Ⅴ级阶地边缘,上缓下陡的高陡斜坡地形,坡面起伏较大,大部分崩塌为开挖坡脚或坡顶加载所致^[14],均为小型崩塌,对

崩塌体上部的坡面进行平整,较陡峭部位依坡修锚索框架,坡度较缓部位修锚杆框架,框架之间填充植草编织袋或六棱砖进行坡体绿化;坡顶修截水沟,坡体及坡脚修排水沟,组成截排水系统;坡脚修建挡土墙。

3.1.4 兰州市北山一带典型灾害防治效果

凤凰山上洼子滑坡主要威胁前缘北环路及坡脚厂房、制砂设备及车场,凤凰山报恩寺东侧滑坡主要威胁北环路及滑坡前缘 142 人生命财产安全,滑坡的治理工程保护了北环路的建设及正常运营,极大的缓解了城市交通压力、带动了沿线土地开发、对城市空间规划利用具有非常重要的意义。甘肃省经济学校潜在滑坡、扎马台潜在滑坡、达家台台缘滑坡群、九州崩塌群的治理,有效的保护了灾害点坡顶坡



图 11 南山路彭家坪段高边坡治理工程

Fig. 11 High slope management project in Pengjiaping section of Nanshan Road

脚人员的生命财产安全,尤为明显的为九州崩塌群治理工程,有效保护了坡顶供九州 9 万余人生活用水的高位蓄水池(生命线工程)的安全,同时保护了南侧武警训练场(国防工程)、国家级地质灾害监测预警示范区兰州观测站、国土资源部地质灾害野外观测基地(兰州)九州监测站、中国地质环境监测院兰州九州工作站、甘肃省地质环境监测院兰州九州监测站、九州中学操场以及东侧亨达小区居民的安全。

3.1.5 南绕城、南山路、北环路等高陡边坡防治模式

南绕城、南山路、北环路等高陡边坡均为开挖坡脚产生,这些边坡坡度较缓,稳定性相对较好,防护模式主要采用:护坡+生态防护+截排水+挡土墙。

①护坡+生态防护(图 11)

坡度较缓且稳定性较好的土质边坡主要采用拱形格构,在拱形格构中充填植草编织袋,达到工程护坡与生态护坡双重效果;坡度较陡、稳定性相对较差部位采用锚杆框架,并在框架中充填植草编织袋达到双重护坡效果。

②截排水+挡土墙(图 12)

针对路堑高陡边坡的坡脚,从治理效果、治理成本等综合因素考虑,通常采用挡土墙工程,因高陡边坡大部分为黄土边坡,截排水为最经济有效的治理工程,常将截排水与其他防治工程配合,可以取得良好的治理效果。

3.1.6 南绕城、南山路、北环路等高陡边坡防治效果



图 12 红古区高陡边坡治理工程

Fig. 12 High slope management project in Honggu District

南绕城、南山路、北环路等高陡边坡均为修路开挖坡脚产生,工程治理有效的保护了城市道路等基础设施安全,有效促进了兰州市经济发展,为兰州市国土空间规划提供有利条件。

3.2 不同类型地质灾害防治模式

3.2.1 滑坡

(1)根据滑坡规模分为小型滑坡、中型滑坡、大型滑坡和巨型滑坡。对不同规模的滑坡一般采用不同的防治模式:

①中、小型滑坡防治:截排水+支挡,或坡面修整+截排水+支挡(如图 7、8、9、11、12)

针对实际情况通常采用截排水+锚索(杆)框架+挡土墙。

②大型、巨型滑坡防治:减重反压+截排水+支挡,或截排水+支挡(如图 3、4、5、6)

针对实际情况通常采用减重反压+截排水+锚索抗滑桩(抗滑桩)。

(2)根据滑坡厚度分为浅层滑坡、中层滑坡和深层滑坡,对不同滑坡体厚度的滑坡采用不同的防治模式:

①浅层滑坡防治:截排水+支挡(如图 7、8、9、11、12)

针对实际情况采用截排水+锚索(杆)框架,或截排水+锚索(杆)框架+挡土墙。

②中、深层滑坡防治:减重反压+截排水+支挡工程,或截排水+支挡(如图 3、4、5、6)

针对实际采用截排水+抗滑桩(锚索抗滑桩),或减重反压+截排水+锚索框架(锚杆框架)+抗

滑桩(锚索抗滑桩)。

(3)根据滑坡运动形式分为推移式滑坡、牵引式滑坡,对于不同运动形式的滑坡采取不同的防治模式:

①推移式滑坡防治:减重 + 截排水 + 支挡(如图 5、6、8、9、10、11、12)

针对实际情况采用分级削坡 + 锚索框架(锚杆框架) + 截排水 + 抗滑桩(锚索抗滑桩),分级削坡 + 锚索框架(锚杆框架) + 截排水 + 挡土墙,或分级削坡 + 截排水。

②牵引式滑坡防治:反压 + 截排水 + 支挡(如图 3、4)

针对实际采用反压 + 截排水 + 抗滑桩(锚索抗滑桩),反压 + 截排水 + 挡土墙,或反压 + 截排水。

3.2.2 崩塌

对于地形陡峻、岩土体破碎、易发生崩塌灾害的地段,其防治模式为:坡面修整 + 柔性防护系统 + 支挡,或坡面修整 + 支挡(如图 10)。

具体防治措施则结合实际采用削坡 + 被动防护网(主动防护网) + 挡土墙。

3.2.3 泥石流

泥石流的形成需要具备地形条件、地质条件和气象水文条件,对泥石流的防治工程也要从源头抓起,主要分为工程防治措施和生物防治措施(如图 13、14、15、16)。

(1)工程防治措施

泥石流工程治理要因势利导、因地制宜、因害设防和就地取材,充分发挥排、拦、固等防治措施的有机结合。工程措施可分为上游治水工程、中游治土拦蓄工程和下游排导工程。



图 13 白塔山老虎沟泥石流治理工程

Fig. 13 Debris flow management of Laohugou in Baitashan

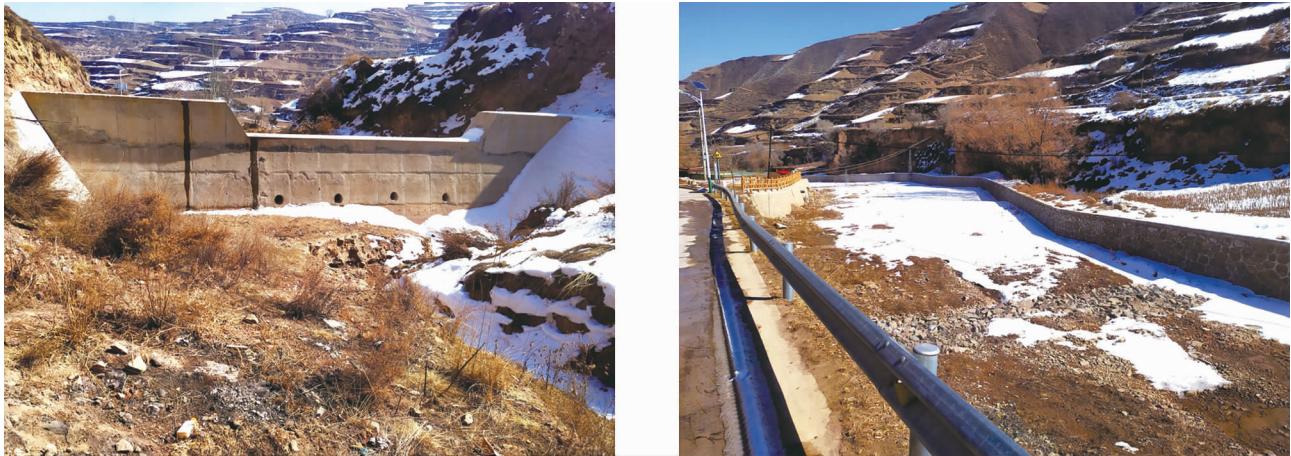


图 14 西果园沟泥石流治理工程

Fig. 14 Mudslides control project in Xiguoyuan



图 15 炭洞沟泥石流治理工程

Fig. 15 Debris flow control project in Tandonggou



图 16 捷路沟泥石流治理工程

Fig. 16 Debris flow control project in Jielugou

治水工程:修建水库、水塘或引水、排水渠道,调蓄、引导泥石流沟流域的地表水,改善泥石流形成的水动力条件。

治土工程:对存在活动性滑坡、崩塌的边坡应采取削头减载措施,滑坡体上造林和修建抗滑桩和挡土墙等工程,阻止沟坡崩塌、滑塌。

拦蓄工程:在泥石流沟道的流通区修建拦挡坝,以拦截泥石流中的巨石与大漂石,使其泥水畅通下泄,减小石砾冲撞。

排导工程:在泥石流沟道的流通区及形成区修建导流堤、排导沟或渡槽,控制泥石流走向和堆积范围。

(2)生物防治措施

泥石流灾害大多是由水土流失形成的,生物防治措施是一种有助于减缓泥石流形成的长期、稳定且有效的治理手段,主要方法是封山育林、退耕还林

等措施,建立起水源涵养林、水土保持林、薪炭林、工程防护林、经济林等,扩大流域内乔灌草植被,提高森林覆盖率,使生态得到恢复,截滞、拦蓄大量降水,减少地表径流,减少水土流失,通过植物群落的地上、地下共同作用,达到“土蓄水、水养树、树固土”的目的,从而逐渐控制泥石流的发生或减小泥石流的规模。

本次研究的 6 条泥石流沟中,具有显明特点的是西果园沟泥石流,其流域面积大,支沟很发育,沟道内堆积大量松散物质。针对以上特点,沟道的治理工程采用在支沟中设置主、副拦挡坝,将支沟的松散物质拦截,同时主沟道中也设置主、副拦挡坝,拦截主沟道松散物质,采取主沟、支沟同时拦截,达到拦截治理目的。

3. 2. 4 泥石流灾害的防治效果

本次研究的 6 条泥石流沟中白塔山老虎沟泥石

流、西果园沟泥石流、捷路沟泥石流、马耳山沟泥石流的特点为支沟发育、流域面积大、沟口为兰州市主城区,防治工程的实施有效保护了沟口居民、农田、公路、铁路的安全,工程效能得到检验,如白塔山老虎沟泥石流,1978年8月7日兰州市降雨89 mm,老虎沟泥石流冲出泥砂量约 $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3$,淹没沟口楼房及农田20余亩,泥石流发生后有关部门对沟道进行了工程治理,1986年6月28日受强降雨影响,徐家湾地区6条泥石流沟同时暴发泥石流,致使徐家湾至十里店道路被阻断,工厂和居民区被掩埋。白塔山老虎沟泥石流已采取了工程治理措施,未引发灾情。炭洞沟泥石流沟道下游及沟口为村民及企事业单位、学校、清真寺等人员密集场所,2021年对沟道进行工程治理,有效保护沟道下游及沟口人员和财产的安全。

4 地质灾害防治建议

针对兰州市地质灾害严重,建设用地紧缺、城市发展空间有限等不利条件,通过对兰州市地质灾害发育特点和已治理工程有效性的研究,提出以下防治建议:

(1)完善群策群防体系

充分利用各种媒介载体宣传地质灾害防灾减灾的知识,一方面将地质灾害防控的思想融入国土空间规划中^[15],合理开发利用现有资源,另一方面提高人民群众的防灾减灾意识和知识水平,增强防灾减灾能力,完善群测群防体系,及时有效的预警预报^[16]。

(2)广泛建立动态预警系统

兰州市地质灾害点的威胁对象主要为主城区居民,广泛建立地质灾害动态预警系统,提高监测预警水平,及时有效的监测预警灾害的变化,提高地质灾害的防治效益。

(3)经济合理的防治工程

通过对已有地质灾害防治工程治理模式、治理效果、经济效益的综合评价,为未来地质灾害防治项目的选择及防治方案的优化提供可靠依据,优化防治方案,使地质灾害防治工程技术可行、经济合理、效果最佳。

5 结论

(1)兰州市地质灾害点数量多、分布广,截止2022年6月,共核查地质灾害隐患点2 470处,呈带状、成片分布,且具有反复性、群发性、突发性、周期性特征。

(2)按照不同区域、不同类型的地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流)分别总结建立了地质灾害防治模式。

(3)根据地质灾害发育特点和治理工程的有效性,提出了地质灾害防治建议。

参 考 文 献

- [1] 郭福赞. 兰州市地质灾害特征与风险管控对策[J]. 城市与减灾, 2019(03): 59-63
- [2] 张黎, 刘延兵. 兰州市地质灾害类型与分布特征浅析[J]. 甘肃科技, 2018, 34(03): 23-25
- [3] 尚瑾瑜, 张永军, 李松. 兰州市市区地质灾害发育特征及类型研究[J]. 甘肃地质, 2014, 26(03): 70-77
- [4] 彭俊红, 杨琼. 兰州市城关区地质灾害防范初探[J]. 甘肃林业, 2021(05): 25-26
- [5] 高晖, 张永军, 刘武. 兰州市市区地质灾害气象预警区划探讨[J]. 甘肃地质, 2013, 22(1): 61-64
- [6] 丁祖全, 黎志恒. 兰州市地质灾害与防治[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2009
- [7] 姚宝贵. 兰州市市区地质灾害分布与防治建议[J]. 甘肃地质, 2007, 16(001): 71-75
- [8] 白风龙. 世界最厚的黄土地层—兰州西津村黄土剖面研究[M]. 地质论评, 1987, 33(02): 188-191
- [9] 王涛. 兰州市皋兰山 I2 滑坡稳定性分析及治理设计[J]. 甘肃地质, 2014, 23(03): 73-78
- [10] 冯学才, 周自强, 王家鼎. 兰州市皋兰山一带滑坡稳定性评价及灾害预测[J]. 甘肃科学(甘肃省科学院学报), 1989(00): 37-42
- [11] 殷跃平, 张作辰, 黎志恒, 等. 兰州皋兰山黄土滑坡特征及灾度评估研究[J]. 第四纪研究, 2004, 24(3): 302-310
- [12] 曾润强, 王思源, 曾宇桐, 等. 兰州市皋兰山铁三小滑坡形成条件及其稳定性分析[J]. 兰州大学学报, 2015, 51(3): 339-343
- [13] 赵成, 张永军. 兰州高阶地斜坡稳定性分析和防治对策—以伏龙坪为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(05): 594-598
- [14] 穆鹏, 董兰凤, 吴玮江. 兰州市九州石峡口滑坡形成机制与稳定性分析[J]. 西北地震学报, 2008, 30(04): 332-336
- [15] 吴玮江, 冯学才, 王志荣, 等. 兰州市滑坡泥石流灾害与防治[J]. 西安工程学院学报, 1996(03): 43-50
- [16] 郭志浩, 魏芳. 兰州市地质灾害群测群防点空间格局分布[J]. 测绘科学, 2018, 43(04): 76-79+86

PREVENTION AND CONTROL MODE OF GEOLOGICAL DISASTERS IN LANZHOU

JIANG La-di^{1,2}, Li Song^{1,2}

*(1. The Second Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral
Exploration and Development, Lanzhou 730020, China;*

2. Gansu Hydrogeological and Engineering Geology Investigation Institute , Lanzhou 730020, China)

Abstract: Lanzhou has complex geological conditions, many geological disasters, various types of disasters and a wide range of points. It is one of the provincial capitals with the most serious geological disasters in China. At present, there are more studies on the types, distributions and developmental characteristics of geological disasters, while there are few studies on disaster prevention and control countermeasures and models. Through consulting materials, on-site investigation, classification and analysis, the author systematically summarizes the previous experience in the prevention and control of geological disasters, puts forward the geological disaster prevention and control model in Lanzhou City, and strives to improve the prevention and control effect of geological disasters and provide a reference basis for land and space planning.

Key words: landslide; collapse; debris flow; geological disasters; geological disaster prevention pattern