

文章编号: 1008-2786-(2020)5-798-07

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000556

# 兰州城市建设中的人为地质灾害调查

王景辉<sup>1</sup>, 张永军<sup>2</sup>, 杨志全<sup>3\*</sup>, 黎志恒<sup>2</sup>, 郭富赞<sup>2</sup>

(1. 甘肃地质博物馆, 兰州 730030; 2. 甘肃省地质环境监测院, 兰州 730050; 3. 昆明理工大学 公共安全与应急管理学院, 昆明 650093)

**摘 要:** 山区城市建设过程中, 不可避免地改变地质环境。当改变强度过大时便会引发地质灾害。兰州市是我国地质环境最脆弱的城市之一。近年来, 在城市建设和发展过程中, 引发了一系列人为地质灾害。系统梳理这些人为灾害的类型、不合理人类活动类型及其关系, 总结教训, 不仅对兰州市今后城市建设极为重要, 而且可为其他山区城市建设提供借鉴。本文总结了兰州市在近 20 年来大规模“开发性”建设过程中引发地质灾害的人为因素和地质灾害类型, 分析了兰州市九州、北环路和海石湾等 3 个地区、4 处典型人为滑坡、泥石流地质灾害的基本特征及其成因和教训。认为, 兰州城市建设过程中的人为地质灾害既与选址勘察不够、用地评价不足有关, 更与规划有关。基于分析, 对今后和正在进行的大规模“开发性”城市建设中人为地质灾害的风险管控提出了对策建议。

**关键词:** 兰州市; 城市建设; 人为地质灾害; 风险管控

**中图分类号:** X45

**文献标志码:** B

兰州市是全国地质灾害最为严重的省会城市之一。进入 21 世纪以来, 兰州城市高速发展, 因城市建设过程中人类工程活动的急剧增强和极端暴雨的频繁出现, 兰州市地质灾害呈现高发的态势。尤其是近年来, 大规模的“开发性”建设, 极大改变了城市地质环境条件, 因此而引发的崩塌、滑坡及泥石流等地质灾害的灾害程度呈现日益加剧趋势。如何结合城市建设做好地质灾害风险管控, 既是地质灾害防治中面临的基本问题, 也是制约城市可持续发展的难题。梳理、总结近期兰州城市区人为地质灾害背后人的作用及其规律, 不仅对今后兰州发展极为重要, 而且可为其他山区城市提供极为重要的借鉴。基于此, 本文在总结了近 20 年来大规模“开发性”

建设过程中改变地质环境的主要人为因素及其引发的主要地质灾害类型, 分析了典型人为地质灾害的基本特征, 进而对兰州城市“开发性”建设与地质灾害风险管控提出了对策建议, 以期为今后兰州城市建设和其他山区城市发展提供参考。

## 1 地质灾害概况

兰州地处青藏高原和黄土高原的交汇地带和南北地震带的影响区。城市地形具有典型的“两山夹一谷”特征, 特殊的地形地貌、复杂的地质构造、强烈的新构造运动, 加之日益加剧的人类工程活动以及降雨等因素, 兰州市区滑坡、崩塌、泥石流、地面塌

收稿日期 (Received date): 2020-09-01; 改回日期 (Accepted date): 2020-10-10

基金项目 (Foundation item): 云南省基础研究计划面上项目 (2020FB128); 云南省重点研发计划项目 (202003AC100002); 国家自然科学基金项目 (41861134008); 中国地质调查局西安地质调查中心科研项目 ([2018]01-21)。[General Program of Basic Research Plan of Yunnan Province (2020FB128); Key R&D Program of Yunnan Province (202003AC100002); National Natural Science Foundation of China (41861134008); Research Project of Xi'an Geological Survey of China Geological Survey ([2018]01-21)]

作者简介 (Biography): 王景辉 (1966-), 男, 陕西扶风人, 理学学士, 高级工程师, 主要研究方向: 地质环境和地质灾害防治。[WANG Jinghui (1966-), male, born in Fufeng, Shaanxi Province, B. Sc., senior engineer, research on geo-environment and prevention measures of geological disaster] E-mail: jhwang0327@163.com

\* 通讯作者 (Corresponding author): 杨志全 (1983-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为: 灾害启动机理与水土保持。[YANG Zhiqian (1983-), male, Ph. D., professor, research on disaster start mechanism and soil and water conservation research.] E-mail: yzq1983816@163.com

陷等地质灾害十分发育(图1)<sup>[1-8]</sup>。

据不完全统计,自新中国成立以来,地质灾害在兰州市已造成600余人死亡,累计直接经济损失近十亿元<sup>[3]</sup>。

截至2019年底统计数据显示,兰州市共有各类地质灾害隐患点2470处,其中:城关区554处、七里河区294处、安宁区105处、西固区555处、红古区148处、榆中县363处、皋兰县132处、永登县292处,高新区27处。按灾害类型划分:滑坡335处、不稳定斜坡1661处、崩塌205处、泥石流257处、地面塌陷12处。地质灾害威胁人口45.6万人、财产534.95亿元。

## 2 改变地质环境的工程活动及其对地质灾害的影响

兰州城区面积由解放初期的16 km<sup>2</sup>扩展到如今的250 km<sup>2</sup>。城区由黄河I、II级阶地逐渐向两岸高阶地和山前、山区扩展,伴随城市扩张,兰州基础设施、旧城改造、水利工程、土地开发等建设工程也大幅度增加。在城市扩张和改造、建设中,一系列大强度的工程活动极大改变了兰州地质环境,从而不断引发人为地质灾害。在类型上,引发人为地质灾害的工程活动具有多样性;在空间分布上,各类工程活动具有明显的区段集中性。

### 2.1 绿化灌溉

兰州地处干旱、半干旱地区,城市内植被生长依赖人工长期灌溉。然而,黄土是典型的水敏性特殊土,灌溉水入渗后,黄土强度降低、坡体重量增大,故而时常引发小规模滑坡、崩塌。这类影响在南北两山绿化灌溉区尤为普遍。

### 2.2 坡脚开挖

随着河谷区用地不断消耗,城市建设不断向南北两山斜坡地带扩展,对斜坡坡脚开挖,形成人工边坡,高度15~35 m,时常引发滑坡、崩塌灾害。在城区南北两侧的高坪台地区,也逐渐被开发为城市居住、仓储等用地,这些高坪台前缘区域也成为崩塌、滑坡的集中发育区。居民建房中边坡开挖引发的滑坡、崩塌在兰州具有点多面广、单体规模小、突发性强且防不胜防特点,一旦发生灾害,常造成严重的人员伤亡和经济损失<sup>[9-12]</sup>。

陇海铁路和国道G6、G22、G109、G312等重点交通干线穿兰州市而过,还有多条城区及南北两山山区的省内道路及县乡公路穿过。在建造过程中,交通线路两侧大量切坡活动,形成众多滑坡、崩塌隐患。近年来,沿城市南北两山修建的南环路、北环路,对周边地质环境扰动尤为强烈,坡脚开挖后不仅留下多处崩塌、滑坡隐患,还直接导致数处大型老滑坡复活,不仅严重影响了工程进度,而且极大提高了工程造价。

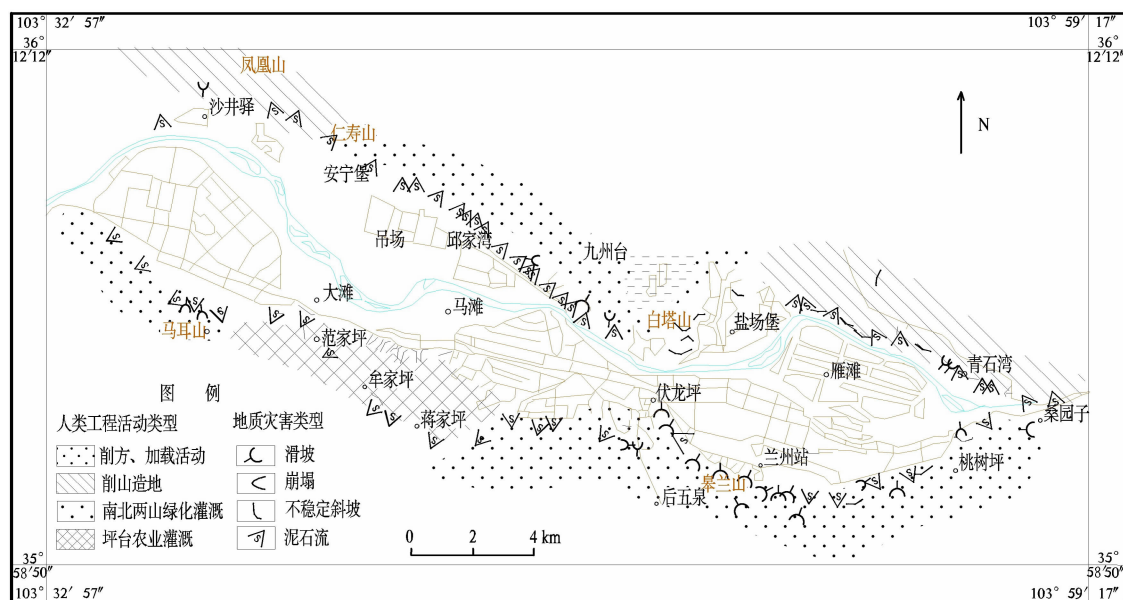


图1 兰州市城区人类工程活动与地质灾害类型图(注:在文献[4]基础上修订)

Fig.1 Types of engineering activities and geo-hazards in Lanzhou City, China(modified from reference [4])

## 2.3 削山造地

近年来,兰州市开始在主城区及其外围低丘缓坡黄土斜坡区开展了大规模的削山造地工程。

削山造地不仅形成大量黄土高切坡,而且产生黄土高填方边坡,边坡高度最高达 150 m,坡度  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。尽管大多数高陡切坡采取分级放坡和截排水措施和坡脚支挡措施,但是边坡表层在降水冲刷和入渗的长期作用下,出现局部滑塌。填方边坡因不均匀沉陷,也出现多处滑塌,削山造地工程中削、填边坡破坏在桃树坪、碧桂园等削山造地开发区尤为显著。

## 2.4 矿渣无序堆放

兰州窑街煤矿、阿干煤矿、海石湾等矿山开采区,采空塌陷导致地面出现开裂、下沉非常普遍,这些塌陷不仅直接危害地表建筑物及矿山安全。同时,矿渣无序堆放还造成山体开裂和老滑坡复活,并为泥石流活动直接提供大量物源。

## 2.5 挤占小流域行洪通道

兰州市南北两山分布有较大规模的沟谷 64 条,兰州市城市建设用地不仅向低丘缓坡区扩展,同时也不断向沟内扩展,严重挤占了行洪通道,部分区域主沟仅保留 5 m 宽的人工渠道作为排洪通道,极大地加剧了地质灾害的隐患和危险性。这类活动加剧的泥石流灾害在南北两山小流域内表现极为突出。

# 3 典型人为地质灾害案例及其教训

## 3.1 开挖、绿化灌溉引发滑坡案例——石峡口滑坡灾害

石峡口位于兰州九州开发区,该区是九州开发

区中坡顶绿化浇灌、山下居民削坡建房活动最强烈地段,因而成为滑坡灾害最多发地段。

石峡口地区第一次滑坡发生于 2007 年 9 月 17 日上午 10 时 15 分,滑坡体积约  $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,滑坡堵断罗锅沟主洪道,压埋九州大道,中断交通,严重影响九州开发区及周边约 10 万居民 100 多家单位的正常生活和生产,也威胁对面的武警甘肃总队油库安全,同时影响罗锅沟正常泄洪。2009 年 5 月 16 日,石峡口地区第二次滑坡,滑坡体积约  $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,摧毁一幢居民楼两个单元,造成 7 人死亡、1 人重伤,紧急撤离险区群众 163 户 600 余人(图 2)。

两次滑坡平面距离不足 50 m,均处于罗锅沟右岸斜坡地带。滑坡剪出口位于前寒武系变质片岩中,呈波状起伏,位置高出地面约 30 m。修建城市道路和居民楼对稳定黄土斜坡开挖形成高达 140 m 的高陡黄土边坡地形,坡顶常年的城市绿化灌溉导致黄土力学性质降低是该处多次滑坡的直接原因。显然,城市基础设施建设和房屋建造对黄土斜坡开挖科学评价和管理不足、对绿化灌溉管理不够是直接原因。

## 3.2 北环路滑坡灾害

北环路是 2013 年 5 月开始动工的兰州城市一级干道,直接沿山开挖建设,沿线穿过数个大型—特大型老滑坡。自该工程兴建伊始,大小滑坡、崩塌频繁发生。2015 年 1 月 12 日和 1 月 25 日,北环路安宁区沙井驿凤凰山上洼子北侧和凤凰山报恩寺东侧两处老滑坡复活,不仅造成在建道路毁坏、工程建设中断,而且工程造价提高<sup>[16-17]</sup>。

### (1) 上洼子滑坡

2015 年 1 月 12 日下午 4 点 20 分,凤凰山上洼



图 2 兰州市九州石峡口滑坡(左图 2007 年;右图 2009 年)

Fig. 2 Shixiakou landslides at Jiuzhou, Lanzhou City in 2007 (left) and 2009 (right)





图3 兰州市北环路上汪子滑坡

Fig. 3 Shangwazi landslide at Beihuan Road, Lanzhou City, China

子北侧老滑坡(图3),坡体中下部长约300 m的在建北环路被毁。由于滑坡发生初期变形缓慢,人员及时发现并撤离,未造成人员伤亡。该滑坡由东侧滑坡和西侧滑坡组成。东侧滑坡体最大长度270 m,面积 $3.90 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,总方量 $78.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;西侧滑坡体最大长度约200 m,面积 $1.49 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,总方量 $33.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为黄土泥岩切层滑坡,滑坡复活部分以浅层—中层变形为主。除了滑坡松散结构的天然脆弱条件外,修建北环路对斜坡坡脚开挖是导致滑坡复活的直接原因。

#### (2) 凤凰山报恩寺滑坡

2015年1月25日凌晨5时许,凤凰山报恩寺东侧300 m处山体老滑坡复活(图4),造成坡体上的3座高压线塔及下方在建北环路路肩边坡损毁。

复活滑坡为凤凰山南坡老滑坡群中3号滑坡前缘。老滑坡前沿最大长度815 m,面积 $34.23 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,总体积 $1540 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,为一深层特大型黄土—泥岩切层滑坡。

北环路修建在滑坡上,平山整地、开挖坡脚、坡顶堆载以及滑坡坡顶绿化灌溉等等多种因素叠加,导致该处滑坡复活,其中道路修建的开挖坡脚、在滑坡中部堆载是最直接诱因。北环路的这两处滑坡,对其道路建设施工、前缘铁路枢纽编组站相关设施及人民生命财产安全构成了威胁,为地质灾害的高风险区。

#### 3.3 矿渣无序堆放引发滑坡案例——海石湾工业广场滑坡

海石湾煤矿是兰州主要煤矿之一。2018年4月9日中午12时左右,海石湾煤矿工业广场老滑坡剧烈活动,造成矿区广场、道路及绿地破坏(图5)。

滑坡长240 m,宽506 m,主滑方向 $110^\circ$ ,滑体厚约20 m,滑体方量约 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

滑坡活动地段为海石湾工业广场基岩老滑坡的一部分。滑坡的影响因素有:一是地貌与地形条件,区内梁峁起伏、沟壑纵横,自然斜坡陡峻,坡脚沟谷深切,地形多呈上缓下陡阶梯状陡坎;二是地层岩性,主要为老滑坡堆积碎石土及新近系砂岩、泥岩。

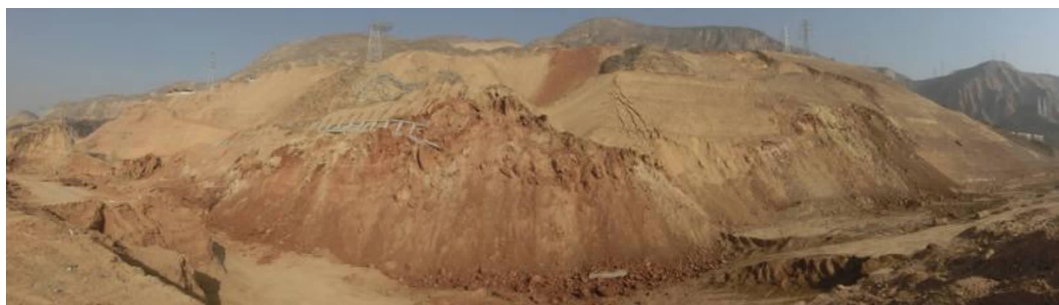


图4 兰州市安宁区凤凰山报恩寺滑坡

Fig. 4 Baoensi landslide at Fenghuangshan, Lanzhou City, China



图5 2018年兰州市海石湾煤矿“4.9”滑坡

Fig. 5 Haishiwan coal mine “4.9” landslide event at Honggu, Lanzhou City, China in 2018

降雨和矿区人工排水形成的水体渗漏,造成滑体含水量高,部分接近饱和,局部呈软塑状,降低了土体强度,加重了土体自重。地下水是该滑坡的主要诱发因素。其次是弃渣的超量堆载。

海石湾煤矿建设初期,该处为弃渣堆积和人工排水场所。煤矿生产的主立井、副井、锅炉房等建筑均位于老滑坡上部平台。1994 年滑坡出现复活迹象,此后每年滑移,速率约 0.4 ~ 0.8 m。滑坡复活滑动后,在滑坡下部可见呈软塑状几处的土体和冒水现象。矿渣堆放加载、人工排水渗漏、软化滑坡物质以及矿区建筑物加载是造成滑坡复活、并且滑坡位移持续发展的直接原因。显然,生产设施规划布局不合理及缺乏科学评价、矿渣堆放和废水排放无序,是该处滑坡灾害的直接原因。

### 3.4 挤占小流域行洪通道引发泥石流案例——大砂沟泥石流

大砂沟位于兰州市黄河北岸,系黄河左岸的一级支流。该沟流域总面积 95.8 km<sup>2</sup>,河床平均比降 14.2‰(图 6)。该沟流域属于典型的黄土高原丘陵沟谷地貌,山高谷深,沟坡陡峻,沟谷横断面呈“V”字型,坡度一般 30° ~ 40°,相对高差 200 ~ 400 m。泥石流固体物质主要源于沟道内的松散堆积物及坡面侵蚀物,其单位面积松散物量为 1.0 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/km,沿程泥沙补给段长度比达 80%。植被较差,山体较为破碎,流域内滑坡、崩塌、落水洞等现象较为发育。该沟道人类工程活动强烈,沿沟修建有柳沟河一忠和高速公路和民用建筑等。人为填埋沟道,致使沟道自然形态破坏严重,造成泄洪不畅,部分区段已将原沟全部填埋,自 1992 年以来,因堵塞主沟泄洪,致使 109 国道被冲毁 2 次。最严重的一次是 1966 年 8 月 8 日,大砂沟暴发罕见的稀性泥石流,造成 141 人死亡,直接经济损失 10 506.6 万元。

## 4 结论与建议

基于对近年来兰州城市建设中引发的人为地质灾害及其典型案例分析,得出如下结论与建议:

(1) 伴随兰州城市的急剧扩展和各种工程建设活动加剧,绿化灌溉、坡脚开挖、坡上无序堆载、排放废水等,是导致人为地质灾害频发的最主要原因。规划不合理、工程活动前科学评价不足是人为地质

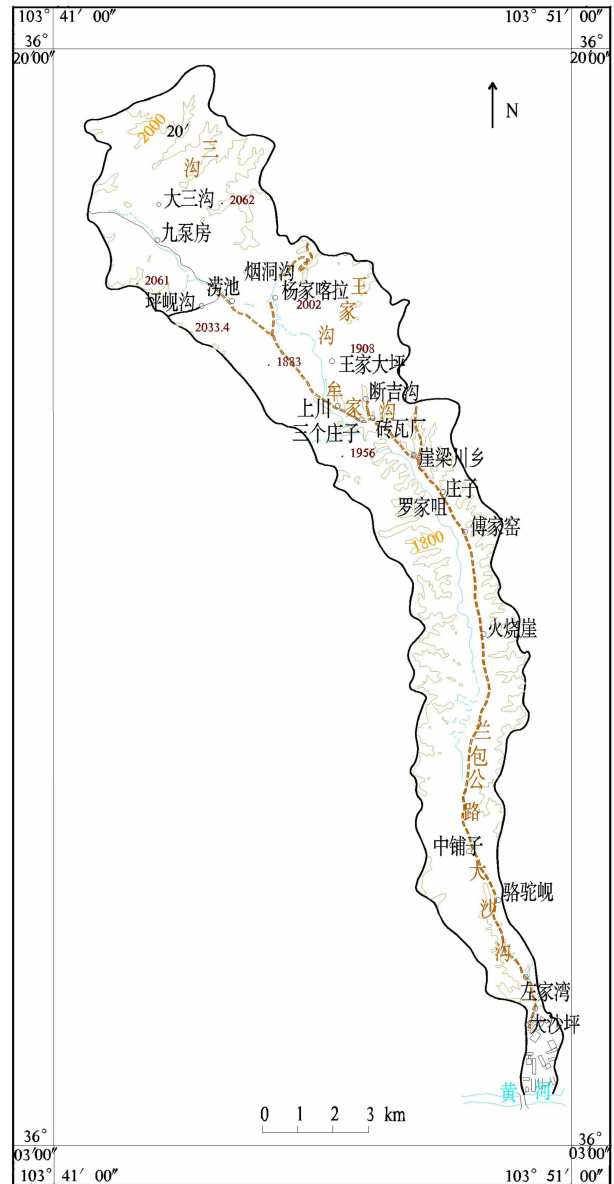


图 6 兰州市大砂沟泥石流

Fig. 6 Dashagou mudslide, Lanzhou City, China

灾害频发的直接原因。

(2) 针对城市规模继续扩大的现状,结合新一轮国土空间规划,迫切需要更系统深入地探索城市“开发性”建设与地质灾害风险管控关系,开展自然灾害综合防治与防灾减灾共赢的风险评价与分析,为保障城市安全提供强有力的科学支撑。

(3) 兰州城市周边黄土丘陵区和高坪区大规模开发建设活动在今后一段时间内还将持续。加强事前合理规划、科学评价,提高城市地质灾害风险管控与防治的管理水平,对市区地质环境分析及严禁管控危险区工程建设评估对减少人为地质灾害至关重

要。结合城中村、棚户区改造及工业外迁等措施,建议加强危险区的监测措施,严格划定城市建设红线。

## 参考文献 (References)

- [1] 张茂省,李同录,程秀娟,等. 山区城市地下空间资源评价与开发利用模式——以延安市为例[J]. 山地学报, 2019, **37**(3): 303–315. [ZHANG Maosheng, LI Tonglu, CHENG Xiujian, et al. Evaluation of underground space resources in mountain cities and their development models—taking Yan'an City as an example [J]. Mountain Research, 2019, **37**(3): 303–315]
- [2] 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: 1–694 [DING Zuquan, LI Zhiheng. Geological hazards and prevention in Lanzhou city [M]. Gansu Science and Technology Press, 2009: 1–694]
- [3] 黎志恒,张永军,梁收运. 兰州城市地质灾害与人类工程活动[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, **50**(5): 588–593. [LI Zhiheng, ZHANG Yongjun, LIANG Shouyun. Urban geological hazards and human engineering activities in Lanzhou City [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, **50**(5): 588–593]
- [4] 郭富贤. 兰州市地质灾害特征与风险管控对策[J]. 城市与减灾, 2019(3): 59–63. [GUO Fuyun. Characteristics and risk control counter measures of geological hazards in Lanzhou city [J]. City and Disaster Reduction, 2019(3): 59–63]
- [5] 高晖,张永军,张旭光. 兰州城区黄土斜坡地质灾害影响因素分析[J]. 甘肃地质, 2012, **21**(3): 30–36 [GAO Hui, ZHANG Yongjun, ZHANG Xuguang. Factors on geological hazards of loess slope in Lanzhou city [J]. Gansu Geology, 2012, **21**(3): 30–36]
- [6] 李治财,刘高. 黄土滑坡与黄土洞穴的相关性及其相互作用机理[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, **50**(1): 21–25. [LI Zhicai, LIU Gao. Correlation and interaction mechanism between loess landslides and loess caves [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, **50**(1): 21–25]
- [7] 马金辉,年雁云,蔡迪花. 兰州地区滑坡风险因素及其与区域构造的关系[J]. 自然灾害学报, 2006, **15**(3): 14–17. [MA Jinhui, NIAN Yanyun, CAI Dihua. Factors of regional landslide risk and correlation between landslide and geology structure in Lanzhou area [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, **15**(3): 14–17]
- [8] 王思敬. 论人类工程活动与地质环境的相互作用及其环境效应[J]. 地质灾害与环境保护, 1997, **8**(1): 19–26. [WANG Sijing. Interaction between human engineering activity and geoenvironment and its environmental effects [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1997, **8**(1): 19–26]
- [9] 孟晖,胡海海. 中国主要人类工程活动引起的滑坡、崩塌和泥石流灾害[J]. 工程地质学报, 1996, **4**(4): 69–74. [MENG Hui, HU Haitao. Disasters of landslides, rockfalls, and mudflows induced by human engineering in China [J]. Journal of Engineering Geology, 1996, **4**(4): 69–74]
- [10] 李相然. 人类工程活动引起的几种地貌变形灾害及防治对策[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 1997, **18**(3): 277–281. [LI Xiangran. Study of several geomorphic deformational hazards caused by human engineering activities and its prevention and cure countermeasures [J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 1997, **18**(3): 277–281]
- [11] 何红前,陈志新,叶万军,等. 黄土高边坡变形破坏的基本形式及其机理分析[J]. 西部探矿工程, 2005(11): 109–110. [HE Hongqian, CHEN Zhixin, YE Wanjun, et al. Analysis on the basic form and mechanism of deformation and failure of loess high slope [J]. West-China Exploration Engineering, 2005(11): 109–110]
- [12] 李保雄,牛永红,苗天德. 兰州马兰黄土的水敏感性特征[J]. 岩土工程学报, 2007, **29**(2): 294–298 [LI Baoxiong, NIU Yonghong, MIAO Tiande. Water sensitivity of Malan loess in Lanzhou [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, **29**(2): 294–298]
- [13] 王靖泰,李永进,李保雄等. 兰州黄土的物理特性[J]. 水文地质工程地质, 1994, **21**(4): 12–17. [WANG Jingtai, LI Yongjin, LI Baoxiong. Physical properties of Lanzhou loess [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1994, **21**(4): 12–17]
- [14] 李保雄,苗天德. 红层软岩滑坡运移机制[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2004, **40**(3): 95–98. [LI Baoxiong, MIAO Tiande. The sliding mechanism of red-mudstone layer landslides [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2004, **40**(3): 95–98]
- [15] 周自强,李保雄,王志荣. 兰州文昌阁黄土——基岩滑坡临滑预报[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, **43**(1): 11–14. [ZHOU Ziqiang, LI Baoxiong, WANG Zhirong. Critical sliding forecast for loess—rock landslide at Wenchangge, Lanzhou [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2007, **43**(1): 11–14]
- [16] 穆鹏,董凤兰,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**(4): 332–336. [MU Peng, DONG Fenglan, WU Weijiang. Forming mechanism and stability analysis of Shixiakou landslide at Jiuzhou, Lanzhou [J]. Northwestern Seismological Journal, 2008, **30**(4): 332–336]
- [17] 伦国星,崔志杰,贾昊冉,等. 兰州市安宁区凤凰山上洼子滑坡形成条件及稳定性分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015(6): 803–808. [LUN GuoXing, CUI Zhijie, JIA Haoran, et al. Analysis of the features and stability of Shangwazi landslide in Phoenix mountain of Anning District, Lanzhou City [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2015(6): 803–808]
- [18] 李松,黎志恒,庞志刚,等. 兰州市凤凰山报恩寺滑坡发育特征及变形分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015(6): 790–796. [LI Song, LI Zhiheng, PANG Zhigang, et al. Developing and deforming characteristics of Bao'ensi landslide in Phoenix Mountain of Lanzhou City [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2015(6): 790–796]

- [19] 李永进,冯学才.兰州市地质灾害特征与防灾战略[J].甘肃科学学报,2003,15(S1):30-33. [LI Yongjin, FENG Xuecai. The characteristics of geological hazards and developing prevention strategy in Lanzhou urbanization [J]. Journal of Gansu Sciences, 2003,15(S1):30-33]
- [20] 畅俊杰.兰州市区滑坡泥石流危害、成因及防治对策[J].水土保持研究,2003,10(4):250-252. [CHANG Junjie. Formative causes of landslide and debris flow in Lanzhou City and preventives [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003,10(4):250-252]
- [21] 鲍文,崔鹏.兰州城市发展与山地灾害防治[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):33-36. [BAO Wen, CUI Peng. Urban development and mountain hazards prevention in Lanzhou city [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008,22(3):33-36]

## Geological Disasters Induced by Human Activities in Lanzhou City, China

WANG Jinghui<sup>1</sup>, ZHANG Yongjun<sup>2</sup>, YANG Zhiquan<sup>3\*</sup>, LI Zhiheng<sup>2</sup>, GUO Fuyun<sup>2</sup>

(1. Department of Natural Resources of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

2. Gansu Institute of Geological Environment Monitoring, Lanzhou 730050, China;

3. College of Public Safety and Emergency Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Development and construction in mountainous cities change geological environment more or less. Geological disasters, such as landslides, soil or rock falls and debris flows, etc. occur quite in response to such excessive changes in geo-environment. Lanzhou city is a typical mountainous city in the loess Plateau, where extremely growing population is challenging the local geo-environment. Along with expansion of settlements, there were lots of geological disasters to be caused by human activities, such as irrigation of vegetation, cutting and filling on slopes, and leakage of sewage, leading to both loss of life and economies, even severe social panic. In this study, it discussed adverse human activities inducing geological disasters in Lanzhou city, followed by a brief of analysis of four typical landslides and mudslides of unprofessional engineering behaviors and the associated lessons learned. Finally, suggestions to reduce geological hazards in Lanzhou and other mountainous cities were proposed.

**Key words:** Lanzhou City; human activities; geological disasters; risk management and control