

段旭, 祝俊华, 董琪, 等. 延安地区人类工程活动与地质灾害相关性探讨[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 106-110. [DUAN Xu, ZHU Junhua, DONG Qi, et al. Discussion of the correlation between Human engineering activities and geological disasters in Yan'an area[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 106-110. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.018.]

## 延安地区人类工程活动与地质灾害相关性探讨\*

段旭<sup>1</sup>, 祝俊华<sup>1</sup>, 董琪<sup>1,2</sup>, 陈志新<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054;  
2. 陕西科技控股集团有限责任公司, 陕西 西安 710003)

**摘要:** 根据延安地区12县1区地质灾害实地调查成果, 对调查数据进行统计分析, 结合遥感技术和调查实例, 对区内主要的人类工程活动与地质灾害发育程度的相关性进行了分析, 研究表明: 延安地区城镇建设、交通建设与地质灾害的分布关系明显; 人口居住密度与滑坡、崩塌、不稳定斜坡的发育数量呈正比, 其中与滑坡灾害的关系最为密切; 地质灾害的发育在空间上与交通线路体现出相关性, 低级别公路建设孕育的地质灾害密度较大; 矿产及油气田开发、水利工程也是区内地质灾害发育的重要原因。

**关键词:** 人类工程活动; 地质灾害; 相关性; 分布规律; 延安地区

**中图分类号:** X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0106-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.018

地处黄河中游的延安市, 属于典型的黄土地区, 区内沟壑纵横, 地质环境与生态环境非常脆弱。随着区域经济水平的发展, 人类工程活动对地质环境也产生了巨大的影响。在交通、矿藏、水利和城乡开发各类工程项目中, 人们愈来愈广泛地利用和改造自然条件, 来获得更适宜的居住与发展环境。人类工程活动对地质环境和生态环境的影响表现为正负两个方面。正面的影响表现在近年来实施退耕还林恢复生态的建设方针, 区内植被覆盖率有所增长, 有效地抑制了水土流失。负面影响表现在盲目的工程建设中破坏了本来就十分脆弱的地质环境, 进而造成人为的地质灾害(如黄土滑坡、崩塌等)频繁发生, 威胁着广大人民群众的生命财产安全, 严重阻碍了社会经济的发展。

国内对人类工程活动引发地质灾害的问题开展了大量的研究, 周平根<sup>[1]</sup>分析了人类各种工程活动在不同的地质条件下造成诱发地质灾害的现象, 为可持续地环境保护和防止灾害指出了方向。张咸恭<sup>[2]</sup>论述了人类活动诱发地质灾害的特点、分类及减灾对策, 指出避免工程建设的盲目性、

作好勘测研究工作、作出预测评价可以有效减轻灾害; 黎志恒对<sup>[3]</sup>兰州市人类工程活动诱发地质灾害的几类典型问题进行了总结; 孟晖<sup>[4]</sup>概述了我国主要人类工程活动引起的滑坡、崩塌和泥石流灾害的发育分布规律; 李相然<sup>[5]</sup>论述了我国人类工程活动引起的几种地貌变形灾害, 并提出了防治的对策与建议。王群<sup>[6]</sup>归纳出湖南省内人类活动方式及各类工程活动与诱发地质灾害的相关关系, 以及各类地质灾害的分布与发育程度。雷祥义<sup>[7]</sup>的研究结果表明, 控制人类盲目建设行为是防止人类活动诱发地质灾害, 尤其黄土滑坡灾害的关键。

近年延安地区人类工程活动诱发地质灾害的相关报道和研究屡见不鲜, 人类工程活动引发的各类地质灾害数量呈上升的趋势, 诸多学者针对各具体灾害问题的发生机理做出了分析<sup>[8-15]</sup>, 针对黄土地区各类地质灾害的发生和致灾机理进行了分析, 但是目前从灾害分布方面对于延安地区人类工程活动与地质灾害相关性的研究还比较少, 本文根据延安地区全面的地质灾害实地调查成果, 结合遥感技术, 探讨各种人类活动对地质

\* 收稿日期: 2016-07-07 修回日期: 2016-08-23

基金项目: 陕西省重点科技创新团队计划项目(2016KCT-13); 陕西省重点产业创新链“社会发展领域”(2015KTZDSF03-02); 陕西省社会发展科技攻关项目(2016SF-455)

第一作者简介: 段旭(1991-), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事地质灾害治理, 土与结构物相互作用的研究。

E-mail: duanxutim@163.com

灾害的影响及其与地质灾害的关系。

## 1 延安地区地质灾害概况

根据延安市十二县一区地质灾害详细调查结果, 本文对延安地区 2013 年以前地质灾害发生的数量、类型及分布情况进行了统计分析, 区内地质灾害的主要类型有滑坡、崩塌、不稳定斜坡、泥石流。结合调查区实际情况, 在划分地质灾害类型时, 以引起灾害或具有潜在危害的地质灾害隐患点 6 761 处(其中 5 777 处滑坡、470 处崩塌、503 处不稳定斜坡和 11 处泥石流), 延安地区地质灾害隐患点发育类型统计见表 1。由表 1 可以看出, 滑坡在地质灾害总数中占比很高, 达到 85.4%, 崩塌和不稳定斜坡占比较为相近, 在 7% 左右, 泥石流仅占 0.2%。

表 1 延安地区地质灾害类型及发育数量统计表

类型	数量/处	比例/%
滑坡	5777	85.4
崩塌	470	7.0
不稳定斜坡	503	7.4
泥石流	11	0.2

## 2 人类工程活动与地质灾害相关性

近年来延安地区经济发展很快, 同时各种地质灾害的发生越来越频繁, 其中不乏人类工程活动诱发灾害的案例, 人类工程活动已成为地质灾害不可忽视的外营力。根据对延安地区地质灾害点的全面调查, 结合遥感技术分析后发现区内地质灾害的分布与城乡建设以及交通建设的密切, 区内矿产及油气田开发、水利工程与地质灾害的关系密切。

### 2.1 城乡建设与地质灾害

近年来, 延安地区的城乡建设规模也日益扩大, 由于地形的限制, 人们将活动区域向城区周边的沟谷地带扩展, 不断地进行削坡盖楼, 斩坡挖窑, 造成了众多的地质灾害及隐患点。

根据实地调查发现, 延安地区城乡建设引发地质灾害的原因主要分为两个方面: ①延安地区沟壑纵横, 原始的地形难以满足建设需求, 为扩展建设空间, 人类对原始山体斜坡进行开挖, 这个过程中不规范的设计和施工破坏了结构体原有

的平衡; ②人工开挖窑洞降低坡体的稳定性, 造成古滑坡复活、崩塌、窑洞坍塌灾害屡见不鲜。2000 年以来区内发生的地质灾害中, 90% 以上与人类不规范的工程经济活动有关, 如: 1974 年在高家屯—干渠许家沟门段工程施工中, 发生黄土崩滑, 压死 12 人; 1997 年永坪镇永坪村红旗沟发生黄土崩塌, 15 人丧生; 2001 年永坪镇罗则沟发生 3 起滑坡, 毁窑 28 孔, 死亡 1 人; 2001 年延川镇园则沟发生黄土崩塌, 造成 2 人死亡; 2003 年延川镇贺土坪村发生黄土崩塌, 死亡 3 人; 2003 年延川镇拐峁村发生黄土崩塌, 死亡 3 人, 以上所列举的这些滑坡、崩塌地质灾害都与削坡建窑或其他工程削坡有直接关系。

根据调查成果及相关资料, 利用 ArcGIS 分析功能, 制作出延安居民点密度与地质灾害分布关系图(图 1), 可以看出居民点密度与灾害发生频度具有一定的相关性: 居民居住密度较低的栅格区域总体灾害发生的频度较低, 而较高居民密度区域总体灾害发生频度则较高。居民密度较低区域人口较少, 人类活动程度相应较低; 随着居住密度的增大, 灾害发育程度也相应的增高, 而居民密度最高的区域是县城乡镇等城市区域, 该区域的一般都处在河流阶地和沟谷地带, 强烈的人类活动大量改变了原有的地形地貌, 表现出了灾害发生频度较高的特点。表 2 为居民点密度与灾害分布统计数据, 图 2 至图 4 分别为延安地区居民点密度与滑坡、崩塌、不稳定斜坡数量的相关关系曲线, 可以看出区内三类主要的地质灾害均与各县居民点密度呈正相关关系, 其中滑坡灾害与居民点密度关系曲线的斜率最大, 说明区内民居、城镇建设与滑坡灾害的关系最为密切。

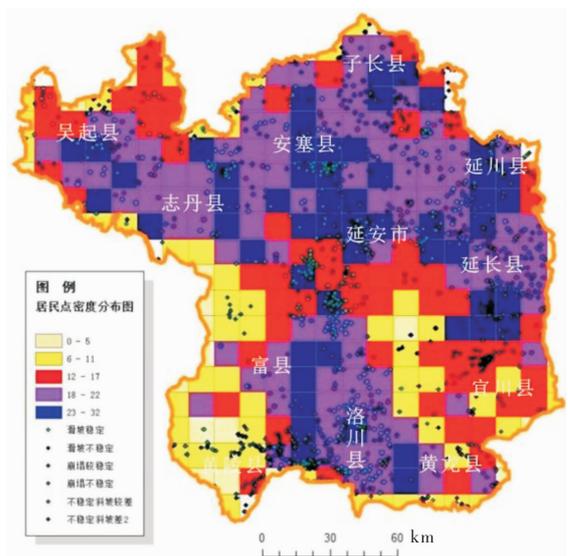


图 1 延安地区居民点密度与地质灾害叠加图

表2 居民点密度与灾害分布统计表

居民点密度/ (个/10km <sup>2</sup> )	滑坡个数	崩塌个数	不稳定斜坡数	总计
0~5	93	53	43	189
6~11	190	65	55	310
12~17	328	92	172	592
18~22	527	129	133	789
23~32	377	145	112	634

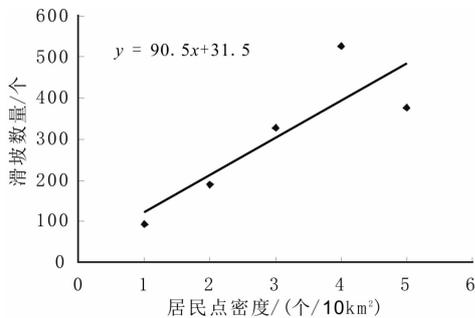


图2 延安地区居民点密度与滑坡数量关系曲线

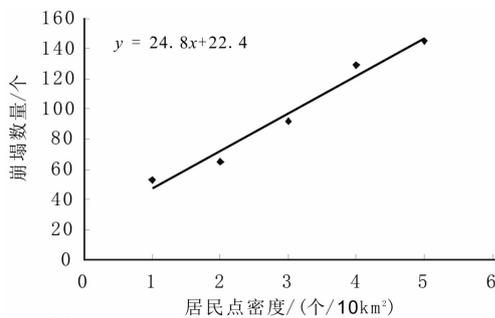


图3 延安地区居民点密度与崩塌数量关系曲线

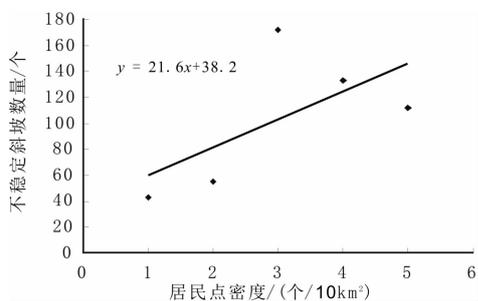


图4 延安地区居民点密度与不稳定斜坡数量关系曲线

## 2.2 交通建设与地质灾害

近年来延安的交通建设事业实现了快速发展,“十一五”期间,公路建设完成投资325亿元,公路里程由14888 km增至20156 km,二级公路在路网中的比重提高到6.8%,公路网密度由44 km/hkm<sup>2</sup>提高到54 km/hkm<sup>2</sup>;7个县通了高速公路,13个县城通了二级以上公路,通过对延安地区12县1区各级公路沿线灾害点进行调查,并与其他地区公路滑坡的互相对比可以看出,区内低等级公

路沿线的滑坡灾害具有以下几个明显的发育特点:①发育密度大且局部路段滑坡的发生呈现串珠状的特征;②滑坡规模较小:该地区公路的黄土边坡破坏多为小型、浅层滑坡;③该地区公路滑坡的破坏模式多为直线型—圆弧型崩滑模式,滑体后缘陡直,滑坡的堆积体松散,原有结构完全被破坏。

黄土边坡中发育有风化节理、垂直节理和构造节理等,受物理风化作用和人工削坡影响,原生节理和构造节理张开、加密和扩宽,导致黄土体支离破碎,形成崩塌隐患。图5为省道S304上的黄土崩塌以及岩体崩塌灾害点照片。



图5 S304省道黄土边坡和岩质边坡崩塌照片

将区内交通建设网与地质灾害分布数据进行叠加便得到图6,从图6中可以看出,区内地质灾害的发育在空间上与交通线路体现出相关性,且在各级公路边坡中灾害的数量以及密度具有差异性。在修筑不同等级的公路时,由于建设规模、资金等条件的不同,高等级公路在建设过程中形成的地质灾害危险位置一般都采取了相应的防护措施,所以高等级公路沿线的地质灾害相对较少发生。调查发现,区内较低等级的公路边坡缺乏必要的防灾措施,为地质灾害的发育埋下了隐患。

## 2.3 矿产及油气田开发与地质灾害

延安地区的主要油气田分布于子长、延长、延川、志丹、甘泉及富县等地,资源储量丰富,资料显示,2011年,原油总产达到 $1602 \times 10^4$  t,加工量突破 $1000 \times 10^4$  t。煤炭产量达到 $2560 \times 10^4$  t。

开采石油往往要修建道路及油井场,在修建油井场过程中,运井架、修路、平基台斩坡开挖,施工中大量弃土直接倾倒入沟谷、斜坡地带,堆积于斜坡,破坏生态环境,一方面使坡体加载,另一方面为泥石流提供物源,导致崩滑流地质灾害。大规模开采石油以来,油路建设快速发展,90%的路段需要开挖边坡,因资金投入有限,县乡(镇)及村级公路往往采用推土机推开,简易削坡处理即可,没能采取必要的防护措施,使斜坡变陡,失去支挡,稳定性降低,形成了高陡边坡,为滑坡、崩塌的形成创造了临空条件,留下许多隐患。

延安地区的主要煤矿分布于黄陵县、黄龙县

和子长县一带,统计显示,2009年原煤产量 $2\ 029 \times 10^4$  t,矿业年产值51.76亿元。黄陵店头煤矿区和子长县煤矿区,这几个区域内,受煤矿开采的影响出现采空区以及采矿公路、房屋修建形成诸多人工不稳定斜坡。随着煤炭开采量的增大,采空区范围越来越大,矿藏开采中产生的机械振动、爆破等增大了矿区地面塌陷、地裂缝、滑坡等灾害发生的可能性。一些煤矿井口、工棚、职工住宿选址不合理,采矿过程中的弃土弃石、煤渣、煤矸石等堆放不合理,引发的地质灾害主要有黄土滑塌隐患、采空区塌陷隐患,对煤矿建设工程、矿区公路、部分农田等产生不良影响。而煤矸石随意堆弃则给汛期泄洪造成严重障碍或有可能成为泥石流新的物源。遇强降水等可能遭受崩塌滑坡危害或引发泥石流灾害。

#### 2.4 水利工程与地质灾害

近年来,延安市集中财力物力,全面掀起了重点水利工程建设高潮,南沟门水库、黄河引水工程、延河水环境治理以及县区重点水利工程等一批重点水利工程快速推进。水利工程在发挥正面效应同时,与延安地区地质灾害问题关系密切<sup>[15-16]</sup>。

图7为调查区内,各区县水利设施用地占比与地质灾害密度的关系,从拟合曲线可以看出水利设施用地占比与地质灾害密度成正相关关系,水利设施用地占比越大灾害点密度越大。

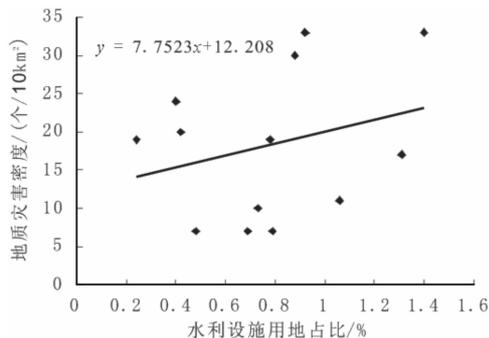


图7 水利设施用地占比与灾害密度关系图

在水利工程建设中,地处黄土高原腹地的延安市为治理水体流失修建了一种以拦泥沙为主要功能的水利设施,俗称“淤地坝”。淤地坝是黄土高原地区人民首创的一种独特的水土保持工程措施,据不完全统计,延安市已建成各类淤地坝11 998座,总库容 $12.99 \times 10^9$  m<sup>3</sup>,拦泥库容 $9.23 \times 10^9$  m<sup>3</sup>,形成坝地200 km<sup>2</sup>,有效地缓解了延安的水土流失状况。这一类工程在发挥正面作用的同时,也成为孕育地质灾害的温床<sup>[17]</sup>。

淤地坝作为流域综合治理体系中的最后一道防线,发挥出“拦”、“蓄”、“淤”的功能,将泥沙拦截的同时控制了水土流失,又能形成坝地,充

分利用水土资源。但是淤地坝工程抗洪能力差,在暴雨中用下,形成了多起水毁灾害,引起争论<sup>[17-18]</sup>。遇到暴雨时,淤地坝经常会发生水毁垮坝事件,甚至是连锁垮坝。尤其是1970年代,黄河中游区连降几次大降雨,对延安地区内众多的淤地坝工程破坏严重,典型案例为1975年8月,延长县先后发生降雨量分别为50.7 mm和108.5 mm的两次强降雨,暴雨频率相当于100年一遇。在这两场暴雨中,6 000座淤地坝中有1 830座不同程度损毁,占30.5%。

淤地坝水毁灾害实质上是洪水溃坝后水土相互作用形成的泥石流灾害,其主要原因是坝系防洪设计标准低,如子长县红石峁,流域面积77 km<sup>2</sup>,在“77.8”暴雨过程中,由于沟内5座坝体早已淤积至峰值,没有发挥出拦洪作用,上游多级坝体毁坏,坝内长期淤积物加入后,泥石流物源量增大,加强了泥石流的破坏力,下游坝库遭到不同程度损毁。造成溃坝形成泥石流的另一原因是坡面治理差,坡面植被稀疏,一方面冲刷严重,带来了大量泥沙;另一方面,在降雨过程中,形成大量的滑坡、崩塌,为水流提供了大量固体物质,增强了水流的冲击力,最终导致溃坝。调查中坡面治理度仅为6%的子长县红石如沟在降雨量为130 mm时,坝库损毁严重,垮坝总数占流域内淤地坝总数的38%。调查资料表明,凡是垮坝严重的沟道多是坡面治理差,而坡面治理好的小流域,一般水毁损失都较轻,这说明流域的坡面治理是流域沟道坝系安全利用的有效保证。

### 3 结论与讨论

本文以延安地区地质灾害调查工作为基础,对2013年以前区内各种人类工程活动与地质灾害的相关性进行了研究,综合来看,人类出于利益与发展的需求,通过工程手段对自然环境进行了各种形式的改造,它们有意或无意地对区内地质灾害的孕育产生影响,本文通过调查、分析主要得出以下结论。

(1)延安地区地质灾害的分布与城镇建设、交通建设、矿产及油气田开发、水利工程建设关系明显。

(2)延安地区各区县居民点密度与滑坡、崩塌、不稳定斜坡数量呈正相关关系,其中区内民居、城镇建设与滑坡灾害的关系最为密切。

(3)地质灾害的发育在空间上与交通线路体现出相关性,低级别公路网附近地质灾害的发育程度明显高于高级别公路。

(4)延安地区各县水利设施占地比与地质灾害发生数呈正相关关系,淤地坝等水利设施在坡面

治理不良时孕育着潜在的地质灾害。

诱发地质灾害的因素是复杂的,人类工程活动往往并不是致灾的唯一因素,本文的统计数据实质上隐含着长期的气象、水文因素在其中,而人类工程作为重要的因素之一,为各类地质灾害的发生埋下了隐患,当有强降雨、地震等自然因素共同作用,人类工程活动埋下的隐患容易集中显现,由于与人类活动区域距离近、关系密切,容易造成巨大的生命和经济损失。2013年7月3日延安地区遭遇百年一遇的持续性强降雨,是该地区自1945年有气象记载以来降雨过程最长、强度最大的一次降雨,引发的灾害类型主要有崩塌、泥石流、滑坡三种类型,黄玉华<sup>[20]</sup>、滕宏泉<sup>[21]</sup>等对这次暴雨诱发的地质灾害发育特征、成灾模式进行了深入的分析,认为突发暴雨、原始沟谷地形、地层岩性是此次大规模地质灾害发生的主要因素,但均没有对人类工程活动在此次群发灾害中的影响进行分析。“7·3”暴雨中受灾最严重的位置在安塞县,宝塔区,延川县一带,正是本文所述人类居住密度大、灾害隐患集中的区域。暴雨突发之时,人工削坡造地、开窑建房、矿产开发对原始坡体的不良影响集中爆发,沟谷型黄土泥石流与淤地坝的水毁密切相关。综上所述,延安地区各种人类工程活动与地质灾害相关性较为明显,孕育了多种地质灾害,在强降雨等外界因素作用下集中爆发的地质灾害会造成严重的生命、财产损失,对于黄土沟壑地区人类工程活动孕育地质灾害的机理和防控措施亟须深入研究。

## 参考文献:

- [1] 周平根,唐灿,王思敬. 人类活动与诱发地质灾害[J]. 科学对社会的影响, 1998(1): 14-19.  
[2] 张成恭,黄鼎成,韩文峰,等. 人类活动与诱发地质灾害

- [J]. 地质灾害与防治, 1990, 1(2): 3-10.  
[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.  
[4] 孟晖,胡海涛. 我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.  
[5] 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): 84-88.  
[6] 王群,杨顺泉,魏军才,等. 湖南省人类活动诱发地质灾害的现状与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(2): 58-64, 71.  
[7] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京:地质出版社, 2001.  
[8] 王维升. 陕北宅基边坡伤亡性黄土崩塌的形成机制与防治方案[D]. 西安:西北大学, 2001.  
[9] 刘朋飞,李滨,陈志新. 陕西延安地区黄土滑坡特征及其活跃性分期[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(4): 16-19.  
[10] 王佳运,魏兴丽,薛强. 陕西延安杨崖滑坡的形成机理及其致灾分析[J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1230-1234.  
[11] 张延辉. 延安凤凰山滑坡灾害风险性研究[D]. 西安:长安大学, 2008.  
[12] 郝颀. 延安市丁家沟滑坡形成演化研究[D]. 西安:长安大学, 2015.  
[13] 折向毅. 黄土—基岩接触面滑坡形成机理[D]. 西安:长安大学, 2015.  
[14] 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(3): 67-70.  
[15] 赵华. 高速公路沿线黄土滑坡群(带)的利导与整治[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 60-65.  
[16] 王志坚. 黄土高原地区病险淤地坝除险加固探讨[J]. 中国水土保持, 2016(5): 14-16.  
[17] 吴强,向建新. 黄土高原淤地坝安全度汛存在的问题及建议[J]. 中国水土保持, 2012(12): 32-33.  
[18] 李靖,张金柱,王晓. 20世纪70年代淤地坝水毁灾害原因分析[J]. 中国水利, 2003(17): 55-56, 32.  
[19] 魏霞,李占斌,沈冰,等. 淤地坝建设中的水毁问题及其防御措施[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(4): 55-59.  
[20] 黄玉华,冯卫,李政园. 陕北延安地区2013年“7·3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 54-59.  
[21] 滕宏泉,范立民,向茂西,等. 陕北黄土梁峁沟壑区地质灾害与降雨关系浅析——以陕北延安地区2013年强降雨引发地质灾害为例[J]. 地下水, 2016, 38(1): 155-157.

## Discussion of the Correlation between Human Engineering Activities and Geological Disasters in Yan'an Area

DUAN Xu<sup>1</sup>, ZHU Junhua<sup>1</sup>, DONG Qi<sup>1,2</sup> and CHEN Zhixin<sup>1</sup>

(1. Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Shaanxi Science & Technology Holding Group Co., Ltd., Xi'an 710003, China)

**Abstract:** According to the Yan'an area 12 county 1 area of geological disasters investigation results, statistical analysis of survey data, combined with remote sensing technology and investigation on the correlation between examples, human engineering activities and the main geological disaster area development degree are analyzed. The results show that the relationship between the development of Yanan urban construction, traffic construction, mineral and oil gas field development, water conservancy engineering and geological disasters were proportional to the population development; population density and landslides, avalanches and unstable slopes, which is most closely with the landslide; geological disaster development in space and traffic lines reflect the correlation between low grade highway construction has high density of geological disasters; This paper has certain reference value to the work of disaster prevention and land use planning in Yanan area.

**Key words:** human engineering activities; geological disasters; distribution regularity; Yan'an area