

韩健楠, 刘海南, 贺卫中, 等. 陕西榆神府生态脆弱矿区地质灾害演化过程[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 177–182. [HAN Jiannan, LIU Hainan, HE Weizhong, et al. Evolutionary process of geological hazards in Yushenfu ecological fragile mining area [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 177–182. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.031.]

陕西榆神府生态脆弱矿区地质 灾害演化过程^{*}

韩健楠¹, 刘海南², 贺卫中², 李永红², 姬怡微², 赵 洲³

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054;
3. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 由于自然因素和人为因素的交织、叠代作用, 陕西省榆神府矿区生态环境脆弱敏感多变、水资源短缺、土地沙化与水土流失较为严重, 而地质灾害的孕育、发生、发展及形成又加剧了生态环境的脆弱性。在阐述研究区地质灾害发育特征、分布规律的基础上, 探讨了榆神府地区崩塌、滑坡与地面塌陷的演化过程: 滑坡、崩塌演化过程是黄土沟壑→脆弱的自然边坡→人为活动→形成不稳定边坡→水、岩土与人为作用耦合→地质灾害发生→加剧生态环境的脆弱; 地面塌陷演化过程是河湖三角洲沉积→聚集煤系地层→在自然状态下岩土体应力平衡→人为开发利用矿产资源→地下形成采空区→围岩应力再分配→地面变形→地面塌陷灾害→加剧生态环境的脆弱。

关键词: 生态环境; 脆弱矿区; 地质灾害; 演化过程; 榆神府矿区; 陕西

中图分类号: X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0177-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.031

陕西榆林、神木、府谷(下简称榆神府)矿区是我国北方农牧交错带上典型的生态脆弱区^[1-3], 是毛乌素沙漠向陕北黄土高原丘陵沟壑区的过渡地带, 水力、重力、风力作用十分严重。区内煤炭、天然气、石油等矿产资源丰富, 一系列的人为工程活动严重影响并破坏了本已脆弱的生态平衡状态。脆弱性主要表现在三个方面: 环境脆弱敏感多变、水资源短缺、土地沙漠化和水土流失严重。原生态脆弱性导致自然因素引发的地质灾害频发, 而人为工程活动引发的地质灾害又加剧生态环境的脆弱性。

纵观以往研究成果^[4-9], 关于保水采煤、适度开采、湿地演化等方法进行生态环境保护与恢复治理的研究成果较多, 这类研究成果对陕北地区生态环境的修复与保护做出了较大的贡献, 在全国类似地区也有极高的借鉴价值; 同时科研院所的学者热衷于矿区地表变形的仿真试验和数值模拟^[10]。其共同特点是关于点状的或矿区密集地段的地面塌陷灾害形成机理、演化过程研究程度高, 但对于整个榆神府生态脆弱矿区, 面上地质灾害发育特征、分布规律与其演化过程综合性研究相对较少。

近年来, 随着榆神府经济的快速发展, “短期近利”的土地利用和“有水快流”的能源开发之人为工程活动在研究区全面覆盖, 生态环境的脆弱性与地质灾害在人为工程活动的作用下呈现给陕北人民的是一个面上的恶性循环过程。如果说人类对于客观存在的生态环境脆弱性无回天之力, 但规范工程活动, 减少与避免人类引发地质灾害的发生, 从而进一步减轻脆弱生态环境的恶化, 是完全属于可控范畴。因此本文基于1: 50 000榆阳、神木、府谷县地质灾害详细调查, 研究榆神府生态脆弱矿区区域性的生态环境治理与保护、恢复与重建有一定的现实意义。

1 地质灾害发育特征与分布规律

1.1 基本特征

据调查资料^[11-15], 研究区发育地质灾害 563 处, 地质灾害类型主要为崩塌、滑坡和地面塌陷, 其中崩塌 372 处、滑坡 115 处、地面塌陷 63 处、泥石流 13 处, 潜在威胁 2 387 户 10 166 人和 36 252 万元财产的安全。地质灾害规模以小型为

^{*} 收稿日期: 2016-05-31 修回日期: 2016-09-30

基金项目: 国家重点基础研究发展(973)计划(2013CB227901); 陕西省财政专项地质灾害防治经费项目(陕地调院发[2015]17号)

第一作者简介: 韩健楠(1993-), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害研究。E-mail: 411759647@qq.com



(a) 神木县鑫轮煤矿开采导致二道沟村1组黄土梁顶部出现直线形裂缝



(b) 神木县西沟利民煤矿在三河道村黄土梁上形成的弧状裂缝



(c) 神木县大砭窑煤矿工作面上的裂缝槽



(d) 神木县鑫轮煤矿开采导致黄土沟壑边坡失稳,形成滑坡、崩塌

图1 研究区地面塌陷裂缝及其引发的滑坡分布图

主, 占总点数的 60.21%; 稳定性较差和差居多, 占总点数的 87.74%; 威胁人数小于 100 人的灾害占 95% 以上; 趋势预测以不稳定为主, 与现状稳定性相当; 低危险和中危险的点较多, 占总数的 96.45%, 这与榆神府研究区地广人稀密不可分, 加之地面塌陷区内受威胁对象搬迁力度较大有关。

1.2 灾害发育特征

崩塌: 崩塌体边坡类型主要为土质边坡和岩质边坡, 比例为 135:237, 大部分坡体为后期改造的人工边坡; 有三种坍塌、剥落、张裂—移动式^[16]运动方式, 比例为 15:298:59, 一次崩塌的发生, 其运动方式往往是三种运动方式的综合体现; 崩塌边界条件之高度 50 m 下、厚度 5 m 下、宽度 90 m 下、坡度 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$, 与生态脆弱矿区黄土沟壑切割深、坡面破碎有关; 由于微地貌受沉积环境和后期人为工程活动的影响, 黄土边坡坡向在各个方向均有分布, 因此崩塌方向四面八方。

滑坡: 研究区滑坡以小型、浅层、黄土、现代、牵引为主。115 处滑坡中, 小型滑坡 99 处; 滑体厚度小于 10 m 的滑坡为 108 处; 黄土滑坡 90 处; 研究区 50% 以上滑坡由人为工程活动引发 (其中神木县 91.2%、榆阳区 92.5%、府谷县 56.6%); 牵引式现代滑坡 70 处; 平面形态以半圆为主、剖面形态以直线为主; 坡度介于 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 间、滑向介于 $150^{\circ} \sim 300^{\circ}$ 间, 前者坡度受地形岩土体结构的影响, 后者与研究区河流走向控制的斜坡坡向有关。

地面塌陷: 研究区地面塌陷的表现形式除上述崩塌、滑坡特征外, 主要表现为地表裂缝、塌陷盆地、塌陷坑、塌陷槽。①地表裂缝表现形式为直线型、弧型、折线型、不规则型等 (图 1), 作者认为后两种裂缝是前两种裂缝在地表拉裂、变形、下错过程中因地质条件的不同组合而成。②

塌陷盆地主要分布于榆阳区与神木县沙漠地区, 形如“碗状”, 由于研究区黄土地貌地形起伏较大, 盆地下沉值远小于地形高差, 在黄土沟壑区很难发现该类变形特征。③塌陷坑在斜坡边缘地带分布, 初期变形特征为裂缝 (或为原有节理裂隙面、或为下沉盆地边缘拉张裂缝), 经水蚀、风蚀、重力作用形成面积更大而深度较浅的塌陷坑。④塌陷槽主要发育在研究区梁顶部平坦宽阔的区域, 走向基本与地形等高线平行、长度与宽度不等、槽底平坦且保持原有地形, 塌陷槽两帮的地裂缝与其它裂缝无异。

2 地质灾害分布规律

研究区地质灾害受控于地貌、河流走向与人为工程活动影响, 区域上、地貌上、流域内等规律性明显 (图 2)。

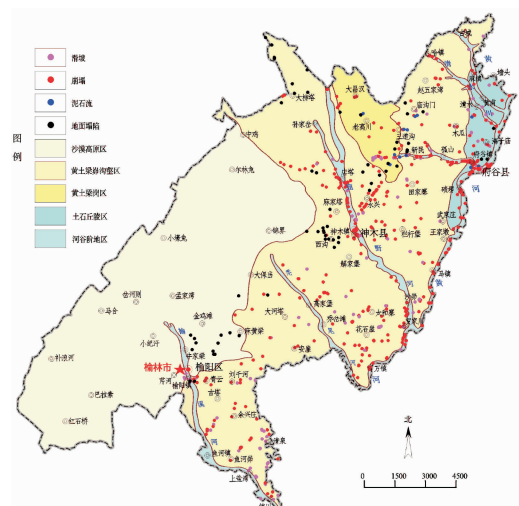


图2 研究区地质灾害在不同地貌单元的分布情况

区域上,研究区地质灾害主要分布于神木(264处),其次是府谷(196处),最后是榆阳区(103处)。府谷县的新民镇灾害点最多为44个,占总数的7.82%,其次是神木县的永兴办和店塔镇,分别是36个和28个,分别占总数的6.39%和4.97%。

地貌上,研究区地貌单元由西向东为沙漠高原区、黄土梁峁沟壑区、黄土梁岗区、土石丘陵区和河谷阶地区五种类型。地质灾害集中分布于三县接壤的黄土梁峁沟壑区,占总数的56.31%;其次是神木县和府谷县黄河西岸与窟野沿岸河谷阶地前缘陡坎上,占总数的26.64%。

流域内,区内水系均为黄河一级支流,由南向北较大的支流有:榆溪河、秃尾河、窟野河、孤山川、木瓜川、清水川、甫川等。地质灾害点多的流域是榆阳区榆溪河东岸、神木县窟野河中游、秃尾河东岸与府谷县杨崖沟流域、窟野河中游、孤山川和木瓜川流域;除此之外其它流域如榆溪河与秃尾河相间的支沟内、窟野河与孤山川相间的支沟内、清水川流域、窟野河上游地质灾害点也较多。

人为活动密集区,发现的63处地面塌陷灾害均由煤炭采空区引发,主要分布于榆阳区金鸡滩、牛家梁、麻黄梁,神木县西沟、永兴、店塔、大柳塔及府谷的新民、庙沟等镇(办事处)人为活动密集区域。主要位于榆神府采动范围矿山地质环境问题影响程度严重、较严重区内。

3 地质灾害演化过程

研究区地质灾害是脆弱的地质环境条件在降水、人为工程活动等引发因素综合作用的产物,其形成与演化过程因地质环境条件不同、引发因素的不同而形成的灾害类型不同,错综复杂、千差万别。

3.1 崩塌、滑坡演化过程

研究区滑坡、崩塌孕育的母体为壮年期沟谷内^[17],研究崩塌、滑坡的演化过程,首先探讨沟谷的形成过程,其次再研究沟谷边坡在人为工程活动、重力侵蚀与降水等外营力作用下的演化过程。

3.1.1 地质环境条件

黄土地区沟谷的演化是黄土地层在水流、重力和风力等作用下完成的。早期的黄土高原是一个广袤的夷平面,水流下切和构造抬升作用下首先在地表出现毛沟或细沟;其次水流侧蚀致使毛沟或细沟两侧或上下游扩张,彼此间成为有水力联系的黄土沟壑;后期在水流、重力、风力综合作用下沟壑不断改变沟谷形态并伴生堆积,最后形成了沟壑纵横,支离破碎的黄土地貌。沟谷演化过程为夷平面→毛沟或细沟→幼年期沟谷→壮年期河谷→老年期河谷。由此可见,早期黄土地

貌的形成实际上地质环境进行自身演化的过程,经过岩层建造、构造抬升、表生演化形成了人为栖息生存必须的岩石圈。在无人为活动条件下,它继续遵从表生演化的规律变化,水流、重力作用或极端天气影响下,沟谷内将形成滑坡和崩塌,由于无致灾对象,称之为不良地质现象,之后又恢复平衡状态。

3.1.2 人为工程活动

人为工程活动对地质环境的作用主要有:工程荷载、岩土开挖、水流与水体调节等。本文用示意图(图3),探讨开挖岩土体导致崩塌、滑坡地质灾害发生的演化过程。

平衡状态的黄土沟壑为“V”字型沟谷,由于沟道窄小工程活动受限,为此人们进行削坡开挖,为村庄、厂矿提供生活、生产场所;早期的开挖活动没有严格的规划、选址、设计和施工方案,一般粗放地沿沟谷两侧削坡或回填沟谷、平整场地而建(图3a),村庄、厂矿、道路等构筑物的兴建和运营,以各种不同作用方式对地质环境进行扰动,造成地质环境发生变化。如削坡建房过程中,不可避免的爆破振动,导致本已脆弱的生态环境恶化,加剧岩体节理裂隙发育,边坡稳定性降低,岩土体沿陡直的边坡剥离坠落;降水对坡体的影响体现在四个方面:①冲刷坡体,加剧岩土体坠落。②沿岩土体入渗增加土体的静水压力,致使土体粘聚力与内摩擦角发生变化,并在土岩接触面汇集成水膜,形成软弱结构面(图3b)。③转为地表水侧蚀坡脚而形成临空面,或在坡体上形成下降泉继续冲刷坡体。④在极端天气下雨水直接渗入裂隙,在裂隙两侧形成一股巨大的推力,加速岩土体脱离母体(图3c),致使岩土体将沿着一定的轨迹发生崩塌或滑坡,最终崩塌体、滑坡体与人、构筑物相遇后,碎裂而致灾(图3d)。

研究区地质灾害以小型为主,但陕北地区小型致大灾的实例较多。如2014年10月10日发生于延安市甘泉县马岔沟黄延高速公路14标段的滑坡灾害,位于黄土沟壑内,灾害发生时滑体方量 360 m^3 ,为小型黄土滑坡,造成19人死亡、2人受伤,规模虽小但灾情严重^[18]。

3.2 地面塌陷演化过程

研究区位于鄂尔多斯盆地东北缘,早侏罗世—中侏罗世早期形成了丰富的煤系地层^[19]。煤炭开采的强度与地质灾害的发育程度有明显正相关,高强度开采在研究区已经造成了严重的地面塌陷。

采空区上方覆岩应力再分布达到平衡状态的过程实际是地面塌陷形成的过程,本文从两个阶段的演化过程进行探讨。

3.2.1 采空区覆岩变形破坏

研究区煤层深厚比大于40时,覆岩移动和破坏自下而上出现三个带:冒落带、导水裂隙带、弯曲变形带^[20]。三带变形分布规律取决于地质和采矿等因素,与岩体力学性质、采厚和采空区面

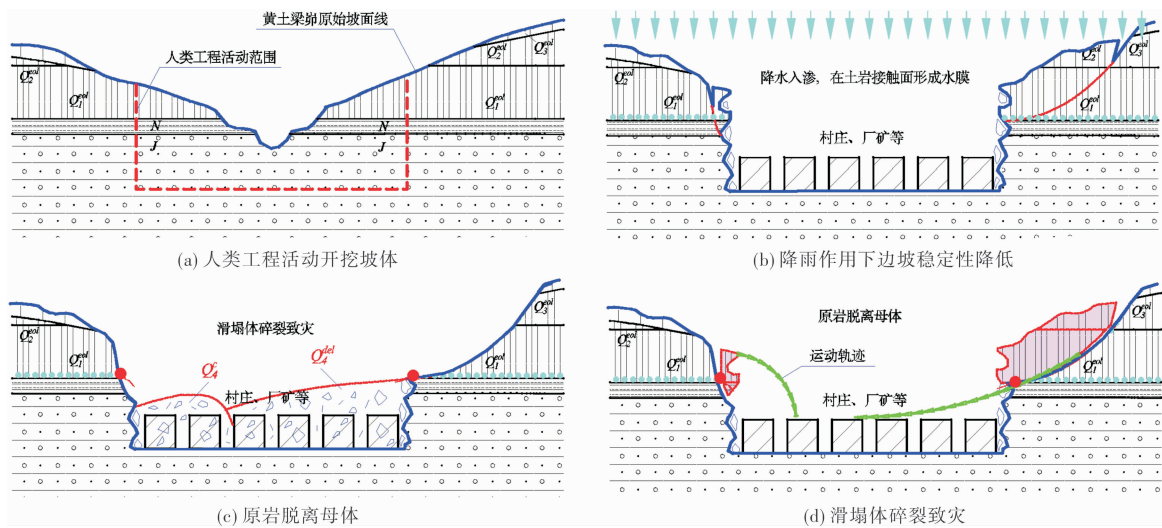


图3 黄土地区崩塌、滑坡形成过程示意图

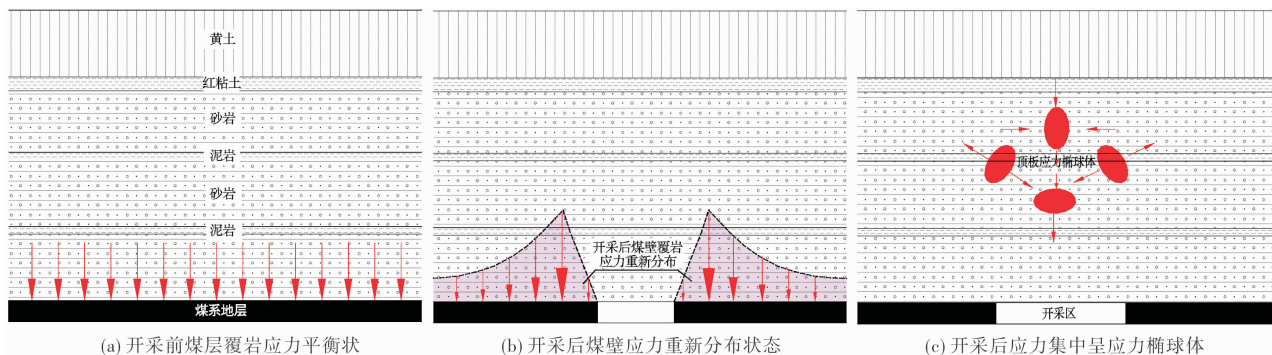
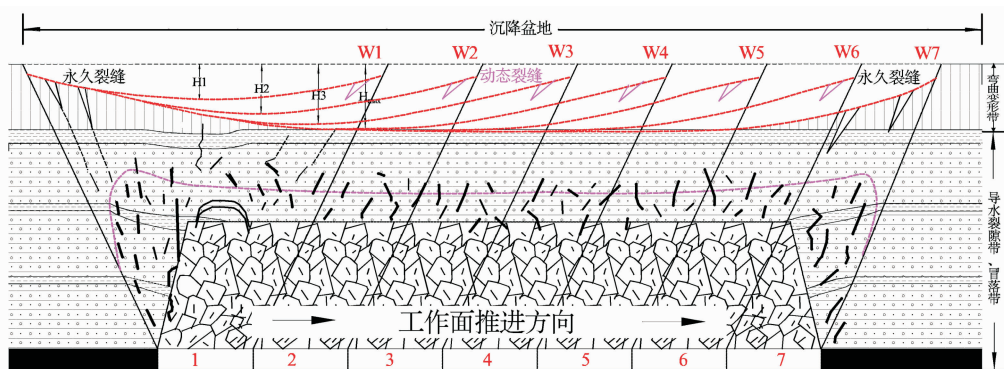
图4 近水平煤层开采后顶板岩层变形与破坏示意图^[20]

图5 地表下沉后盆地的演化过程

积、煤层赋存状态、煤层倾角、采煤方法和顶板管理方法、时间过程等有关。

开采前煤层覆岩应力呈平衡状态。研究区煤层近水平,在工作面未进行回采之前,其顶板岩层的自身重力均匀地作用于煤层之上,并处于一种应力平衡状态。煤层承载的覆岩自重应力与覆岩容重、厚度成正比(图4a)。

开采后煤壁应力呈重新分布状态。采空区覆岩因失去下煤层支撑成为临空岩体。随着工作面推进,临空岩体承受的自身和上覆岩层的压力不断增大。为了达到新的平衡状态,采空区两侧煤

壁直接顶的压力急骤上升(图4b)。

开采后应力集中呈应力椭球体。应力变化调整的结果是直接顶板岩层垮落,而基本顶岩层在一定时间内会临空、支撑不足而处于拉应力状态,受拉岩层上方的地层受拱形力的效应而处于水平挤压状态,同时向工作面内侧倾斜的扭应力也渐渐增大。在拉应力、挤应力、扭应力作用下,覆岩应力状态表现为椭球体^[20](图4c)。

开采后顶板不同应力区变形破坏特征。顶板岩层受拉、挤、扭应力作用,当这些作用力超过了岩层自身的强度极限后,顶板覆岩会产生垮落、

离层、张裂等变形或破坏。垮落、离层的岩体构成冒落带,张裂的岩层形成导水裂隙,这种变形直接影响至地表后,地表下沉,盆地边缘出现拉张裂缝(图5)。

3.2.2 采空区沉降破坏

沉降破坏是在工作面推进过程中逐渐形成的,当开采影响波及到地表时开始向下移动。当工作面推进到位置1时,在地表形成一个小盆地W1^[21],如图5所示;工作面继续推进至位置2时,在移动盆地W1的范围内,地表继续下沉,同时在工作面前方原来尚未移动区的地表点进入移动,移动盆地W1扩大为W2;随着工作面的推进,相继形成地表移动盆地W3、W4,与此同时在W4盆地内,下沉值达到最大值 H_{\max} 点;其后随着工作面的继续推进,W5、W6盆地逐步形成,最大下沉值保持在 H_{\max} 点;假设工作面边界至第7点,移动盆地继续不断扩大,下沉值渐渐回升;第7点停采后,地表移动持续一段时间,在这段时间内移动盆地的边界还将继续向工作面推进的方向扩展,最终达到稳定。

由上可见,采空区沉降破坏主要位于工作面上方中部沉降盆地内。主要表现为:①盆地范围远大于相应采空区范围,中央部位均匀下沉且下沉值最大,边缘变形较大且值相对较小;②采空区边界附近到最大下沉点之间为移动盆地的内边缘区,在此范围内,地表下沉值不等,地面移动向盆地的中心方向倾斜,产生压缩变形,一般不出现裂缝;③移动盆地的外边缘区域位于采空区盆地边界,此区域内地表下沉不均匀,地面移动向中心方向倾斜,产生拉伸变形,当拉伸变形超过一定数值后,地面产生拉张裂缝,如图5中盆地W1~W7两侧的拉张裂缝。

从上述顶板覆岩变形破坏至地表沉降破坏的形成过程,不难看出:地表变形不是瞬间完成的,而是随着工作面的逐步推进,表现为一个相对缓变的过程。也就是说沿着回采方向,从盆地一个边界→盆地中心内缘→盆地另一个边界,地面上均可能先出现拉张裂缝,等一个开采工作面结束一段时间,工作面中部垂直下沉达到定值,形成下沉盆地,而盆地边缘即工作面边界附近出现永久拉张裂缝。而在开采工作面推进的过程中,中部盆地在渐变的过程中有动态裂缝出现,如图5中的W1、W2、W3、W4、W5、W6盆地形成过程中,工作面另一边界上的动态裂缝,随着工作面的向前推进在最终下沉盆地形成前消失。盆地、裂缝动态变化的过程中,地表建筑物无不遭到破坏,路面变形、鼓胀;建筑物扭曲、下沉、墙面拉裂缝;输电设施下沉、倒塌……。这些变形破坏均归结为地面塌陷灾害。

4 结论

(1)榆神府矿区地质灾害的发育特征主要表现

为:规模以小型、稳定性以差和较差、险情等级以小型、引发因素多是人为工程活动的地质灾害点居多;崩塌、滑坡发育的边界条件基本相同,主要发育于60°以上人工土岩边坡上,崩塌以剥落式为主,滑坡以前缘临空牵引为主;地面塌陷主要煤矿采空引发,表现形式主要为地表裂缝、崩塌、滑坡和地面塌陷,裂缝以直线型、弧线型为主。

(2)地质灾害分布规律为:窟野河中游、秃尾河东岸与孤山川和木瓜川等流域内的黄土沟壑地貌单元内地质灾害密集发育;神木县的永兴办与府谷的新民镇灾害点最多。

(3)削坡建房、道路建设及矿业开发等人为工程活动加剧了地质环境的脆弱性,地下采空、坡脚临空、坡体破碎、坡顶荷载,在这个演化过程中,水、岩土体与人为耦合导致灾害的发生。滑坡、崩塌演化过程是黄土沟壑→脆弱的自然边坡→人为活动→形成不稳定边坡→水、土岩与人为作用耦合→地质灾害发生→加剧生态环境的脆弱;地面塌陷演化过程是河湖三角洲沉积→聚集煤系地层→在自然状态下岩土体应力平衡→人为开发利用矿产资源→地下形成采空区→围岩应力再分配→地面变形→地面塌陷灾害→加剧生态环境的脆弱。

(4)榆神府生态脆弱矿区与地质灾害在人为工程活动的作用下呈现一种恶性循环。因此规范化、标准化、制度化等各类工程活动,基于演化过程从源头上或生产建设过程中控制地质灾害的发生,是生态脆弱矿区环境保护与恢复治理之根本。

参考文献:

- [1] 李克煌,钟兆站.论中国生态环境脆弱带[J].河南大学学报(自然科学版),1995,25(4):57-64.
- [2] 刘晓琼,刘彦随.大型能源开发前后区域生态环境脆弱度变化研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):46-51.
- [3] 杨强.基于遥感的榆林地区生态脆弱性研究[D].南京:南京大学,2012.
- [4] 范立民,冀瑞君.论榆神府矿区煤炭资源的适度开发问题[J].中国煤炭,2015,41(2):40-44.
- [5] 范立民.论保水采煤问题[J].煤田地质与勘探,2005,33(5):50-53.
- [6] 王双明,黄庆享,范立民,等.生态脆弱矿区含(隔)水层特征及保水开采分区研究[J].煤炭学报,2010,35(1):7-14.
- [7] 马雄德,范立民,张晓团,等.陕西省榆林市榆神府矿区土地荒漠化及其景观格局动态变化[J].灾害学,2015,30(4):126-129.
- [8] 刘晓琼,刘彦随,任日照.陕西榆林能源重化工基地生态环境问题及防治对策[J].灾害学,2010,25(2):129-133.
- [9] 范立民,张晓团,向茂西,等.浅埋煤层高强度开采区地裂缝发育特征[J].煤炭学报,2015,40(6):1142-1147.
- [10] 朱蕾.陕北煤层开采覆岩变形数值仿真模拟研究[D].西安:长安大学,2009.
- [11] 姬怡微,李成,何意平,等.陕西省榆林市榆阳区地质灾害详细调查报告[R].西安:陕西省地质环境监测总站,2014.
- [12] 李永红,刘海南,姚超伟,等.陕西省神木县地质灾害详细

- 调查报告[R]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 2014.
- [13] 赵洲, 薛喜成, 邓念东, 等. 陕西省府谷县地质灾害详细调查报告[R]. 西安: 西安科技大学, 2014.
- [14] 李永红, 范立民, 贺卫中, 等. 对如何做好地质灾害详细调查工作的探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 102-112.
- [15] 刘海南, 李永红, 杜江丽, 等. 陕西省神木县地质灾害群测群防体系现状与对策[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 144-147.
- [16] 雷祥义. 黄土地质灾害的形成机理与防治对策[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014.
- [17] 曾磊, 黄玉华. 黄土高原河谷演变与地质灾害发育规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 67-71.
- [18] 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): 067-070.
- [19] 王双明, 张玉平. 鄂尔多斯侏罗纪盆地形成演化和聚煤规律[J]. 地学前缘, 1991, 6(S1): 147-155.
- [20] 李帅. 山区部分开采地面变形规律及山坡稳定性分析研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [21] 李海清, 向龙, 贾宏宇. 品字形房柱式采空区开采地表移动规律[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(3): 541-546.

Evolutionary Process of Geological Hazards in Yushenfu Ecological Fragile Mining Area

HAN Jiannan¹, LIU Hainan², HE Weizhong², LI Yonghong²,
JI Yiwei² and ZHAO Zhou³

(1. College of Geology Engineering and Geomatic, Chan'an University, Xi'an 710054, China;
2. Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China; 3. College of Geology and
Environment, Xian University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Because of the effect of natural and human factors interweave, iterative. Ecological environment become fragile sensitive and variable, water resources shortage, land desertification and soil erosion is serious in Yushenfu mining area of Shaanxi. Gestate, occurrence, development and the formation of the geological hazards exacerbated the fragility of eco-environment. In this paper, based on expounding development characteristics and distribution regularity of geological hazards, discuss the evolutionary process of collapse, landslide and ground collapse in yushenfu area. The evolutionary process of landslide, collapse is loess ravine→fragile natural slope→human activity→formation of unstable slope→coupled with water, soil, rock and human function→geological hazards occurrence→exacerbated the fragility of eco-environment. The evolutionary process of ground collapse is lake and river deltaic deposits→gathered coal-bearing strata→balance of soil or rock mass stress in a natural state→human exploit and utilize of mineral resources→the formation of mining empty area→surrounding rock stress redistribution→ground deformation→ground collapse occurrence→exacerbated the fragility of eco-environment.

Key words: ecological environment; fragile mining area; geological hazards; evolutionary process; Yushenfu mining area; Shaanxi Province

(上接第 154 页)

- [53] 孙长青, 阎春恒, 吴小平, 等. 青藏高原东部及邻区地震断层面上的潮汐应力触发效应[J]. 地球物理学报, 2014, 57(7): 2054-2064.
- [54] 赵娟, 韩延本, 李志安. 日月引潮力的变化与台湾地震[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 64-67.
- [55] 黄荣辉. ENSO 及热带海气相互作用动力学研究的新进展[J]. 大气科学, 1990, 14(2): 234-242.
- [56] 孟万忠, 王尚义, 赵景波. ENSO 事件与山西气候的关系[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 258-264.

Review on Spatiotemporal Symmetry Methodology of Natural Disasters

YAN Junping, LI Yingjie, LI Shuangshuang, TANG Baoqi and WANG Wenjing
(College of Tourism and Environmental, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The trend judgment theory of major natural disaster could be a new starting point to improve the scientific system of disaster forecast, prediction, assessment, and propelled the innovation of risk management research. This article systematically introduced the previous development of research on the spatiotemporal symmetry of natural disaster. The theories of spatiotemporal symmetry in major natural disaster are summarized from the following five aspects, i. e. symmetry theory, chemical periodical law, reversed innovative thinking, informatics theory and spatiotemporal rules in Geography. Moreover, focused on such three key issues as temporal symmetry, spatial symmetry, and relate mechanism analysis of spatiotemporal symmetry, a new framework of spatiotemporal symmetry on natural disaster was proposed. Finally, future research prospects on the spatiotemporal symmetry of natural disaster are discussed, including building the spatial symmetry of meteorological disaster, quantifying the uncertainty of selecting disaster events, incorporating the rationalism mechanisms on spatiotemporal symmetry of natural disaster, enriching the cases and facts of spatiotemporal symmetry of nature disaster, which provided guidance for structuring the new subject of statistical catastrophology, and deepening the academic research on tendency judgment of natural disaster.

Key words: statistical catastrophology; spatiotemporal; symmetry; method; natural disasters