

监测与评价

潞安矿区地面塌陷发育特征与危险性评价

王洋¹, 马施民¹, 安俊元², 贾宏飞¹, 杨雯¹, 庆亢阳¹, 王明明¹

(1. 中国矿业大学(北京), 北京 100083; 2. 山西省煤炭地质 114 勘查院, 山西 长治 046011)

摘要:为全面了解潞安矿区地面塌陷的现状与特征,并为地质灾害的防治工作提供理论依据,依据野外调查的资料分析结果,指出了该矿区地面塌陷的发育特征,并在分析地面塌陷形成机制和影响因素的基础上,依据模糊综合评价的理论与方法,建立了矿区地面塌陷危险性评价模型,得出的评价结果与实际情况基本吻合。

关键词:地面塌陷;发育特征;模糊评价;潞安矿区

中图分类号:X171.4,X820.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8759(2014)04-0054-04

GROUND SUBSIDENCE DEVELOPMENT CHARACTERISTICS AND RISK ASSESSMENT IN LUAN MINING AREA

WANG Yang¹, MA Shi-min¹, AN Jun-yuan², JIA Hong-fei¹, QING Kang-yang¹,
WANG Ming-ming¹

(1. *China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083;*

2. *No.114 Exploration Institute, Shanxi Bureau of Coal Geological Exploration, Changzhi, Shanxi 046011)*

Abstract: For a comprehensive understanding of the status and characteristics of Luan mining area of ground subsidence, and provide a theoretical basis for the prevention and control of geological disasters, based on the field survey data analysis results, this paper points out the development characteristics of ground subsidence in the mining area. Based on the analysis of ground subsidence mechanism and influencing factors, on the basis of the theory and the method of fuzzy comprehensive evaluation, this paper establishes the mining ground subsidence hazard evaluation model. The evaluation results are basically consistent with the actual situation.

Key Words: ground subsidence; development characteristics; fuzzy evaluation; Luan mining area.

潞安矿区位于山西省东南部,沁水煤田的中段东翼,地跨左权、榆社、武乡、襄垣、潞城、屯留、长子、长治县、壶关及长治市等行政辖区。潞安矿区是山西省所属 12 个国家煤炭规划矿区之一,具

有 50 年以上的开发历史,在有力支援国民经济建设的同时,煤炭资源的高强度开采带来严重的地质环境问题。据有关资料统计,潞安矿区因采煤活动形成的采空塌陷达 64.23 km²,已造成的灾害损失达 24854.33 万元,这些灾害给矿区及周边居民的生产和生活造成了很大的影响,其主要危害是毁坏土地、房屋和交通运输线。为此,全面、系统、深入地了解潞安矿区地面塌陷的发育特征、形

收稿日期:2013-08-09

第一作者简介:王洋(1987-),男,安徽蚌埠人,中国矿业大学(北京)硕士研究生,主要从事环境地质以及灾害地质方面的研究。
项目资助:山西省潞安国家规划矿区煤炭开采地质环境影响调查评价。

成机理、影响因素和危险程度,为该区合理开发煤炭资源和保护生态环境,保持区域可持续发展提供科学依据,具有重要的现实意义。

1 地面塌陷的发育特征

1.1 地面塌陷的分布特征

地面塌陷是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下向下塌落,并在地表形成塌陷坑(洞)的一种动力地质现象^[1]。潞安矿区多为现代化生产矿井,采掘机械化程度高,建矿时间长,采空区面积较大,因此由采煤活动造成的地面塌陷非常普遍,是潞安矿区的一种主要地质灾害。据调查,潞安矿区发生地面塌陷 205 处,规模以中小型为主,其中小型 92 个,占地面塌陷灾害总数的 44.88%,中型 102 个,占地面塌陷灾害总数的 49.76%,大型 11 个,占地面塌陷灾害总数的 5.36%。潞安矿区地面塌陷在区域展布上由东北方向向西南方向有逐渐减少的趋势如图 1 所示,矿区塌陷严重的区域主要分布于长子县东部、长治县北部、屯留县东部和襄垣县南部等,这些区域主要与五阳矿、王庄矿、常村矿等矿井分布较集中、开采规模大、采空区面积大有密切关系。潞安矿区的其它中小型煤矿所形成的塌陷区,面积与规模较小、危害较轻,2007 年后塌陷面积逐渐趋于稳定。

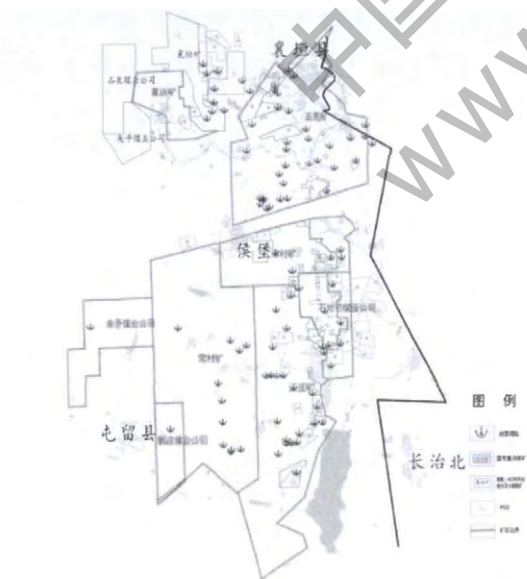


图1 潞安矿区地面塌陷分布示意图

1.2 地面塌陷的类型特征

1.2.1 波浪状塌陷

波浪型塌陷多由彼此相邻的带状塌陷区构成片状区域,范围大,地表起伏特征与周边自然地貌

明显不同,其延展方向常与井下采掘工作面走向大体一致。单个塌陷区“波谷区”多呈长条形分布,一般长轴长 600~1300 m,短轴长 100~250 m,深度一般 3~5 m,最大深度可达 5 m 以上。此类井下采煤活动所造成的地表沉陷即改变了原始地表特征,同时又造成地表附属物(房屋、道路、电力设施等)的毁损,具有波及范围较广、危害面大的特点,如图 2 所示。



图2 潞安矿区经纺矿波浪状农田

1.2.2 阶梯状塌陷

阶梯状塌陷多由彼此相邻的带状塌陷条带构成的片状区域,塌陷条带的边界为彼此大致平行的地裂缝,宽度范围多在 10 m 之内,展布范围比波浪状塌陷要小,在交通道路路面所在的采煤沉陷区域表现尤为明显,如图 3 所示。



图3 潞安矿区常村矿阶梯状塌陷

1.2.3 塌陷积水区

潞安矿区多为现代化生产矿井,采掘机械化程度高,建矿时间长,采空区面积较大,因而采煤沉陷区的数量及面积均相当可观。有关资料表明,潞安矿区明显的积水区(盆地)有 24 个,面积在 15 300~77 333 m²。这些积水区(盆地)代表了早期煤炭开采引起的趋于稳定的地表变形区域,地貌

上均为地势低洼地带。平面上或孤立存在、或彼此联通后呈串珠状，面积较大的积水区现多经人工改造后成为水面养殖区域，如图4所示。



图4 潞安矿区王庄矿塌陷积水区

1.2.4 塌陷坑

工作区所在地区煤炭资源丰富，除国有大型煤炭生产矿井外，地方小煤矿也曾普遍存在，这些小煤矿或小煤窑的开采活动所引发的小型的地面塌陷(坑)，一般长轴长20~400 m，短轴长6~70 m，最小塌陷坑约0.006 km²，塌陷深度较小，一般1 m左右，最深可达2~3 m，如图5所示。

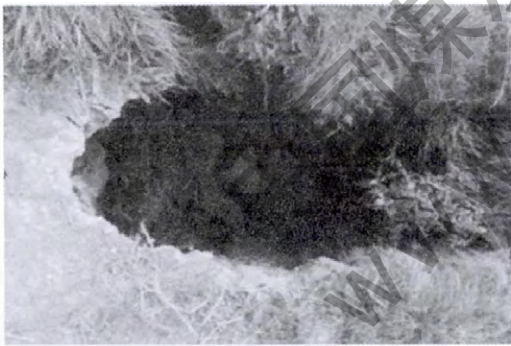


图5 潞安矿区阳站矿塌陷坑

2 地面塌陷的形成机制和影响因素

潞安矿区地面塌陷与区内煤炭生产企业的高强度开采活动有关，因此采空塌陷机制研究主要针对煤炭开采来展开^[2]。煤层进行开采时，在回采过程中巷道及采空区的围岩支护都是暂时性的，在采空区形成之后，采空区顶板岩层在自重力和上覆岩土体的压力之下，产生向下的弯曲和移动。当顶板岩层内部形成的拉张应力超过岩层的抗拉强度极限时，直接顶板就会发生断裂、垮塌、冒落，继而在采空区上覆岩土体中形成明显三带，即冒落带、裂缝带、弯曲变形带，随着采空范围的扩大，受移动的岩层也不断扩大，从而在地表形成塌陷

或一个比采空区范围大得多的下沉盆地^[4]。一般情况下，煤层距地表埋深浅，且煤层较厚时，则对地表影响较大，冒落带可直达地表，形成地面塌陷带或塌陷坑；当煤层距地表埋深较深，且煤层较厚时，则地表一般表现为裂隙带，地面裂隙分布较多；当煤层距地表埋深很深，或煤层很薄时，则对地表影响轻微。此外，通常在塌陷发生的沉降盆地中心部位以垂向下沉为主，水平位移、倾斜位移量较小，形成沉陷盆地；而盆地边缘及外缘裂隙拉伸带则以倾斜位移和水平位移变形为主，可能出现地表裂缝、漏斗状塌陷坑，进而在斜坡区域引发边坡失稳，产生崩塌、滑坡等。影响地面塌陷的因素错综复杂，根据调查分析认为，潞安矿区煤层开采所引发塌陷的发展过程、规模、地表形态特征除与地貌类型、覆岩类型、地下水资源、年降雨量和煤田构造等有关外，还受开采厚度、开采深度、采矿规模、采矿管理等因素的影响。

3 地面塌陷模糊危险性评价

3.1 因子集的建立及分级标准的确定

通过上文对研究区地面塌陷形成机制和影响因素的分析，认为潞安矿区地面塌陷主要与地质环境条件 U_1 (地貌类型 U_{11} 、覆岩类型 U_{12} 、地下水资源 U_{13} 、年降雨量 U_{14} 、煤田构造 U_{15})、开采条件 U_2 (开采厚度 U_{21} 、开采深度 U_{22} 、采矿规模 U_{23} 、采矿管理 U_{24}) 等因素有关。再根据地质灾害形成因素分析^[5]，确定本次评价的9个因子的等级指标， $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ 为采空区地面塌陷危险性等级， $v_1=\{危险性极高\}$ ， $v_2=\{危险性较高\}$ ， $v_3=\{危险性一般\}$ ， $v_4=\{基本无危险性\}$ ，具体见表1。

表1 地面塌陷影响因子等级标准划分

评价指标	评价等级				
	危险性极高	危险性较高	危险性一般	基本无危险性	
地质环境条件	地貌类型	切割剧烈的黄土沟壑区	较平缓的黄土丘陵区	平缓的黄土平原区	—
	覆岩类型	松散结构	碎裂结构	层状结构	完整块状结构
	地下水资源	赋水性强	赋水性中等	赋水性弱	—
开采条件	年降雨量	>650	650~550	550~500	<500
	煤田构造	复杂	中等	简单	—
开采条件	开采厚度	>8	5~8	2~5	<2
	开采深度	<100	100~250	250~400	>400
	采矿规模	大	中等	较小	无
	采矿管理	滥挖滥采	基本按有关规程开采	完全按有关规程开采	—

3.2 用层次分析法确定因子的权重

在建立了评价指标体系后，可运用层次分析

法确定各因子的权重分配问题^[6]。采用 1~9 级标度法给予数量标度,从第二层开始,对上一层某个元素与下一层相关的元素进行两两对比,按其重要程度等级得到判断矩阵。为使判断结果更好地与实际状况相吻合,需进行一致性检验。评价判断矩阵一致性的检验指标为:CR= CI/RI。其中 CI 为一致性检验指标,CI= (λmax- n)/(n - 1);n 为判断矩阵的阶数;RI 为平均随机一致性指标。当 CI=0 时,判断矩阵具有完全一致性,CI 值越大,说明判断矩阵的一致性越差。当 CR<0.1 时,判断矩阵具有满意的一致性; 否则就需要对判断矩阵进行调整,因子权重确定结果见表 2 至表 4:

表 2 判断矩阵 U-U₁~U₂

地面塌陷	地质条件	开采条件	相对权重
地质环境条件	1	3	0.75
开采条件	1/3	1	0.25

表 3 判断矩阵 U₁~U₁₁~U₁₅

地质环境条件	地貌类型	覆岩类型	地下水资源	年降雨量	煤田构造	相对权重
地貌类型	1	6	4	3	2	0.420
覆岩类型	1/6	1	1/2	1/3	1/5	0.056
地下水资源	1/4	2	1	1/2	1/3	0.096
年降雨量	1/3	3	2	1	2	0.213
煤田构造	1/2	5	3	1/2	1	0.215

表 4 判断矩阵 U₂~U₂₁~U₂₄

开采条件	开采厚度	开采深度	采矿规模	采矿管理	相对权重
开采厚度	1	2	3	1/2	0.250
开采深度	1/2	1	1	1/4	0.125
采矿规模	1/2	1	1	1/4	0.125
采矿管理	2	4	4	1	0.500

3.3 隶属函数的确定

评价因子分定性指标和定量指标两类。定性指标是离散性取值,其隶属函数为其相应指标所对应的级别;定量指标隶属函数的确定方法有很多种,在地质环境评价实际工作中,梯形分布的隶属函数应用最为广泛^[3],且获得了较好的效果,隶属函数有如下关系式:

$$r(x) = \begin{cases} 1, & x \leq x_1 \\ (-x)/(x_2 - x_1), & x_1 < x < x_2 \\ 0, & x \geq x_2 \end{cases}$$

$$r(x) = \begin{cases} 1 - r(x), & x_1 < x \leq x_2 \\ (-x)/(x_2 - x_1), & x_1 < x < x_2 \\ 0, & x \leq x_1, x \geq x_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$r_m(x) = \begin{cases} 1 - r_{m-1}(x), & m-1 < x \leq m \\ [(m+1)-x]/[(m+1)-m], & m < x < m+1 \\ 0, & x \leq m-1, x \geq m+1 \end{cases}$$

$$r_{m+1}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq m \\ [1 - r_m(x)], & m < x < m+1 \\ 1, & x \geq m+1 \end{cases}$$

式中: r(x), r₁(x), …, r_{m+1}(x) 分别为地面塌陷影响因子 x 对一级、二级、…、m+1 级地面塌陷分级标准的隶属度。

3.4 模糊危险性评价模型及评价过程分析

在分析潞安矿区地质环境现状的基础上,以潞安矿区核心开采区典型煤矿作为评价单元,根据前文确定的权重值和隶属度,采用两级模糊综合评判法,按最大隶属度原则^[7]可得到分级评判,即为地面塌陷模糊危险性评判结果,其综合评判计算公式如下:

$$B=A \cdot R=(b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (2)$$

式中:B 为模糊向量,即综合评判向量;A 为模糊集,即各因子权重集;R 为模糊关系矩阵,即隶属度。

下面以五阳矿这一评价单元为例,简要介绍综合评判的计算过程:

首先当所求的因子为开采厚度时,根据地面塌陷影响因子等级表可知 x₁=2, x₂=5, x₃=8,所求因子的指标 x=5.84,再由上文隶属函数公式(1)可求得 r₂₁=(0, 0.72, 0.28, 0, 0),其他影响因子的隶属函数值按上述方法可得:r₁₁=(0, 1, 0, 0);r₁₂=(0, 0, 1, 0);r₁₃=(0, 1, 0, 0);r₁₄=(0, 0, 0.52, 0.48);r₁₅=(0, 0, 1, 0);r₂₂=(0.47, 0.53, 0, 0);r₂₃=(0, 1, 0, 0);r₂₄=(0, 1, 0, 0)。

其次对每一类分别进行一级模糊综合评判,求得各类对塌陷危险性影响的分级模糊向量 B₁, B₂,即

$$B_1=A_1 \cdot R_1=(0, 0.516, 0.382, 0.102);$$

$$B_2=A_2 \cdot R_2=(0.059, 0.871, 0.07, 0)。$$

最后用以上已求出的各类因素的隶属度等级值组成新的判别矩阵 R,再与因素权重 A 进行矩阵合成运算,从而求得塌陷危险性分级的模糊向量,即:B=A · R=(0.015, 0.605, 0.304, 0.076),按最大隶属度原则,判定五阳矿这一评价单元为地面塌陷较危险区。

3.5 模糊危险性评价结果

根据研究区的实际情况,采用上述方法,以潞安矿区核心开采区典型煤矿作为评价单元,得到地面塌陷模糊危险性评判的最终结果(见表 5),从中可以看出,王庄矿、五阳矿和常村矿地面塌陷危险性较高,应引起充分重视。(下转第 49 页)

市场上常规的不锈钢材质,制作简单,设备整体费用低。

脱硫工艺技术改造后特点:用钠碱作为 SO_2 的吸收剂,易吸收 SO_2 ,反应速度快、充分,在较低液气比情况下也能得到较高的脱硫效率,同时具有高效脱硫、不易结垢堵塞、总造价低、运行费用低、管理方便、适合国情等优点。

3 运行结果

改造后烟气除尘脱硫系统运行稳定,除尘脱硫效率达到设计标准,监测符合当地环保的要求(见表 1)。新系统中,除尘脱硫系统新增了引风机,耗电量有所增加,但是引风机叶轮腐蚀情况明

表 1 改造后系统参数监测结果

序号	项目	烟道进口	烟道出口
1	烟气量/($\text{N}\cdot\text{d}\cdot\text{m}^3/\text{h}$)	14 205	14 720
2	烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	120	72
3	烟气含湿量/%	4.3	6.1
4	SO_2 排放浓度/(mg/Nm^3)	1 231	87
5	烟尘排放浓度/(mg/Nm^3)	1 508	15



(上接第 57 页)

表 5 潞安矿区地面塌陷模糊危险性评价结果

评价单元	评价向量	评价等级
王庄矿	(0.006,0.751,0.243,0)	较危险
五阳矿	(0.015,0.605,0.304,0.076)	较危险
漳村矿	(0.01,0.041,0.789,0.16)	危险性一般
常村矿	(0,0.534,0.402,0.064)	较危险
石圪节矿	(0.018,0.17,0.652,0.16)	危险性一般

4 结论与建议

(1) 地面塌陷较危险区,为亟待恢复治理区,塌陷区要作回填处理,开采后的坑道要及时回填,一些老旧矿洞可用废矿石进行充填,并根据我国有关法规搞好土地的复垦工作^[8]。

(2) 地面塌陷危险性一般区,为一般恢复治理区,矿山要合理开采,采取符合矿井实际情况的开采工艺和采矿技术措施,加强已有地面塌陷和潜在隐患的监测,建立完善防灾避险措施。

(3) 采用地面塌陷模糊综合评价模型对研究区进行了预测,其结果与现场野外调查结果基本一

致好于往年,循环液清理亦明显减少。

4 结论

(1) 经过改造后的烟尘与 SO_2 的排放浓度均低于国家与当地的环保排放标准,事实证明该装置对于中小型锅炉脱硫改造是确实可行。

(2) 增加了系统的可靠性。通过增加干式除尘系统和湿法脱硫工艺,防止了循环水的积垢现象,解决了水管堵塞问题,降低了维修工作量,而操作控制简单易行。

(3) 提高了效益。整套系统装置紧凑,不需要特殊材质,建设、安装方便,运行可靠,经济效益可观,在中小燃煤锅炉烟气治理改造方面具有一定的推广应用价值。

参考文献

- [1] 吴忠标. 燃煤锅炉烟气除尘脱硫设施运行与管理[M]. 北京: 北京出版社, 2006.
- [2] 徐君岭, 卢万成. 喷雾脱硫时拐形流道内烟气与水雾间传热传质过程研究[J]. 环境工程, 2000, 18(6): 37-39.
- [3] 吴慧英, 黄晟. 悬浮水幕式除尘脱硫器的研究[J]. 环境工程, 1999, 17(2): 33-36.

致。由于因子评分、权重赋值是专家凭借实践经验来给定的, 该评价结果还带有一定的主观性。因此, 在今后的研究中我们将更加重视专家评分的合理性, 使得这种定性定量相结合的方法更具科学性。

参考文献

- [1] 潘懋, 李铁锋. 灾害地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [2] 武强, 刘伏昌, 李铎. 矿山环境研究理论与实践[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [3] 周爱国. 地质环境评价[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008.
- [4] 蒋仁勇. 山西潞安国家级规划矿区煤炭开采地质灾害及其成因研究[D]. 2012.06: 33-36.
- [5] 张长敏, 董贤哲. 采空区地面塌陷危险性二级模糊综合评判. 地球与环境[J]. 2005, 33: 99.
- [6] 王晖, 杨为民. 基于 GIS 技术的煤矿采空区地表塌陷危险性评判. 煤炭工程[J]. 2008, 9: 121.
- [7] 向灵芝, 杨为民. 京西矿区地面塌陷危险性模糊综合评判. 地质通报[J]. 2008, 27(11): 1865.
- [8] 张华民, 张俊英. 潞安王庄矿塌陷地治理与利用途径探讨. 煤矿环境保护[J]. 2002(5): 52-53.