



移动扫码阅读

申 涛,朱占荣.陕北矿区煤炭开采沉陷实测参数分析[J].煤炭科学技术,2019,47(12):207-213.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.030
SHEN Tao,ZHU Zhanrong. Analysis of measured mining subsidence parameters in Northern Shaanxi Mining Area [J].Coal Science and Technology,2019,47(12):207-213.doi:10.13199/j.cnki.cst.2019.12.030

陕北矿区煤炭开采沉陷实测参数分析

申 涛^{1,2},朱占荣³

(1.陕西省地质调查院,陕西 西安 710054;2.西安科技大学,陕西 西安 710065;

3.陕西省一八五煤田地质有限公司,陕西 榆林 719053)

摘 要:为了深入研究陕北能源化工基地煤炭开采引起的地表变形及参数分布规律,并为环境修复提供理论及技术支持,采用地表移动实测研究法,在榆树湾煤矿建立矿区典型地表移动观测站,通过观测站设置与数据采集及分析,初步获得了厚风积沙黄土层、中等偏硬基岩条件下的地表移动规律,并结合该矿区多个工作面地表移动观测参数,通过综合分析,获得了概率积分法预计参数与本区域风积沙黄土层以及基岩层的相互关系。结果表明:下沉系数的范围为 0.50~0.65,受风积沙黄土层厚度与基岩厚度的组合变化影响不大;主要影响角正切值与风积沙和黄土层厚度及基岩厚度比值成正比关系;拐点偏移距的范围为开采深度的 0.07~0.40 倍,与本区域岩层硬度为中硬偏硬的规律吻合。

关键词:开采沉陷;地表移动参数;陕北矿区;环境修复

中图分类号:TD173

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2019)12-0207-07

Analysis of measured mining subsidence parameters in Northern Shaanxi Mining Area

SHEN Tao^{1,2},ZHU Zhanrong³

(1. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710065, China;

3. No.185 Exploration Team, Shaanxi Bureau of Coal Geological Exploration, Yulin 719053, China)

Abstract: In order to further study the surface deformation and the distribution of parameters caused by mining and to provide theoretical and technical support for environmental restoration in Northern Shaanxi mining area, this paper adopted the method of surface movement observation. By establishing typical surface movement observation stations in the coal mine of Yushuwan for data collection and analysis, the surface movement patterns in the thick aeolian sand loess layer and the medium hard bedrock layer were observed. With a comprehensive analysis, the relationship between the prediction parameters obtained by probability integral method and the aeolian sand loess layer as well as the bedrock layer was described. The results show that: the subsidence coefficient ranges from 0.50 to 0.65, and it is not affected significantly by the ratio of aeolian sand loess thickness and bedrock thickness; the coefficient mainly influences the angle tangent and is directly proportional to the ratio of aeolian sand loess thickness and bedrock thickness; the range of inflection point offset is 0.07~0.40, which is consistent with the bedrock hardness in this area.

Key words: mining subsidence; surface subsidence parameters; Northern Shaanxi mining area; environmental restoration

0 引 言

煤炭资源在我国国民经济发展中发挥了重要的作用,但同时,煤炭开采也给矿区生态环境造成了比较严重的影响^[1-2]。早在 20 世纪初期煤炭开采沉陷现象就引起了国外学者的重视^[3],从 20 世纪 30

年代开始开采沉陷工程作为一门教学科目在德国成立^[4];同时在苏联波兰,把岩层与地表移动作为一项研究工作。作为一门学科,开采沉陷学形成于 50 年代,迅速发展于 20 世纪 60 年代^[5-8],并取得了可喜的成果^[9-13]。特别是在我国东部矿区,60 年来,通过大量现场观测^[14-18],获得了丰富的地表沉陷规

收稿日期:2019-05-10;责任编辑:杨正凯

基金项目:陕西省公益性地质调查专项资助项目(130201)

作者简介:申 涛(1979—),男,山东日照人,高级工程师。E-mail:3611697@qq.com

律^[19-23],为保护矿区的地质环境起到了巨大作用^[24-27]。

陕北侏罗纪煤田已探明煤炭资源总量1 460亿t^[28-32],煤层总厚度15~20 m,单层厚度平均3~6 m,煤层稳定,构造简单,目前已成为全国最重要的煤炭生产基地之一。在强扰动条件下陕北矿区地表的破坏呈现出新的规律和问题,传统的开采沉陷预计技术和方法已经满足不了新问题的需要。近年来,榆树湾、张家崄等大型矿井开展了地表移动观测,取得了一定的成果,但在大区域地质条件下缺少系统的分析和总结,因此,开展陕北煤炭资源大规模开发开采沉陷规律研究,对地质环境保护、治理和煤炭资源有序开发规划具有重要的理论意义和社会价值。

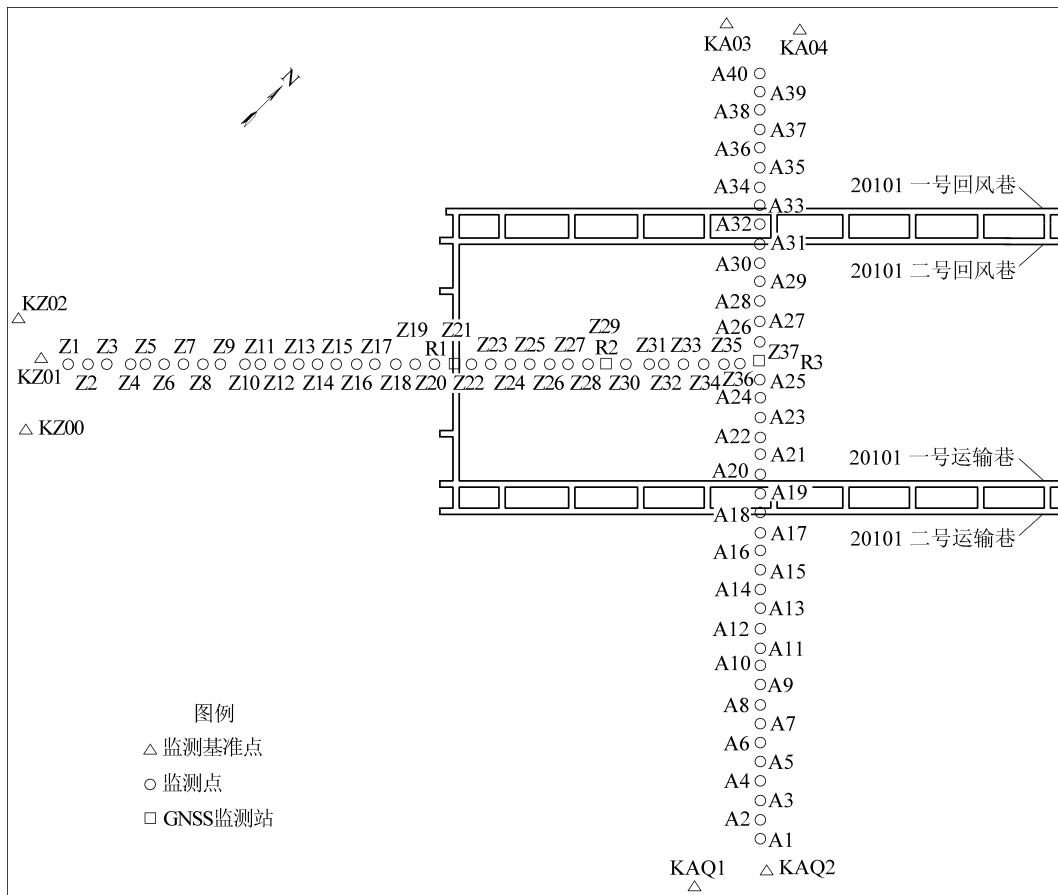
1 典型地表移动观测站数据采集与分析

榆树湾煤矿20101工作面位于毛乌素沙漠西南边缘,属低缓的沙丘地貌单元,该工作面地表平坦,工作面上方为基岩和黄土层,地表为风积沙,该地质

采矿条件在在陕北矿区具有一定的代表性,故选择该工作面观测站作为典型工作站。该工作面采高5 m,平均推进速度为4 m/d,采用综合机械化采煤自然垮落法管理顶板。

1.1 观测站布设

20101观测站建立在开切眼上方。20101工作面地面较为平坦,地面建筑物设施也较为简单,煤层埋深259.16~279.61 m,平均埋深269.69 m,上覆基岩厚度138.27~215.12 m、平均厚度162.30 m,松散沙层厚度14.8~35.21 m、平均厚度24.52 m,土层厚度44.04~109.29 m、平均厚度89 m,可采厚度11.52~11.98 m,平均厚度11.76 m(其中上分层可采厚度5.41~5.94 m,平均厚度5.68 m)。煤层中一般底部有1~2层夹矸,厚0.10~0.29 m,岩性为炭质泥岩、粉砂岩。煤岩成分以亮煤,暗煤为主,夹镜煤条带及透镜体。煤岩类型为半亮煤、半暗煤。煤层裂隙发育。本次观测站设计采用线性结构,即倾斜观测线和走向观测线的基本布设形式,如图1所示。



1.2 观测站数据处理

1.2.1 地表移动变形曲线

对观测的各期数据分别求取了观测点的下沉量,获得了各种地表移动曲线如图 2 所示,随着开采的推进,地表下沉范围和下沉量均在增加,最大下沉

值接近 2.5 m。下沉曲线的分布形态在采空区边缘比较陡峭,曲线拐点(最大下沉值的 0.5 倍处)明显偏向采空区。体现这些曲线特点主要与黄土层和基岩的厚度分布有关,曲线形态对于分析地表移动规律有重要参考价值。

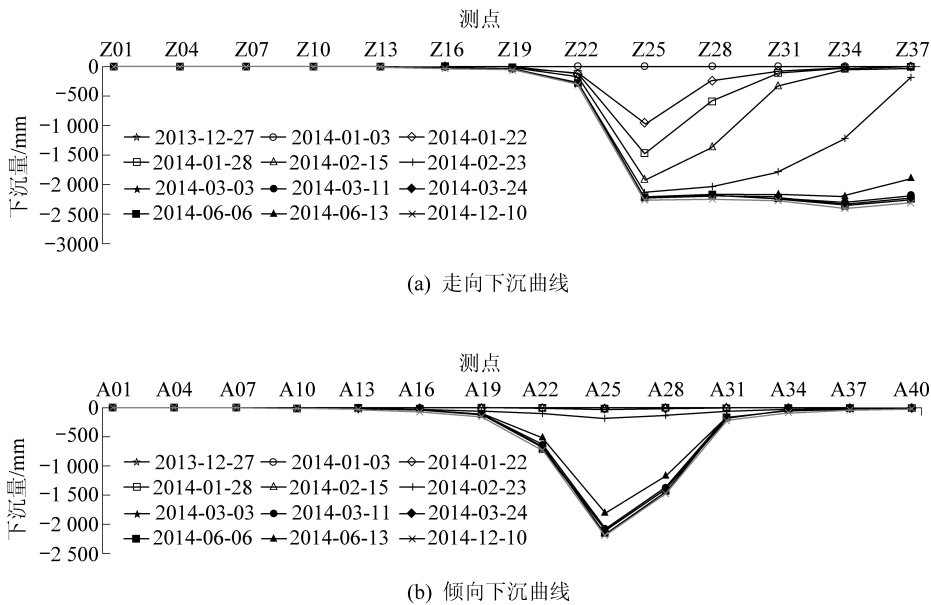


图 2 观测站下沉曲线
Fig. 2 Sinking curve of observation station

1.2.2 地表移动参数分析

通过求取的地表移动变形曲线,采用图解法和拟合法求取其角量参数和预计参数见表 1, H_0 为采深。其中,①榆树湾煤矿平均开采深度 190 m,工作面上覆基岩厚 170 m,松散层厚 20 m,采用全站仪观测;②韩家湾煤矿平均开采深度 270 m,近水平煤层,工作面上覆基岩厚 114 m,松散层厚与黄土层厚 156 m,采用 GPS 和水准测量仪观测;③小纪汗煤矿平均开采深度 135 m,松散层厚度 65 m,基岩厚度

70 m,采用 GPS 和水准测量仪观测;④柠条塔煤矿平均开采深度 350 m,松散层厚度 60 m,基岩厚度 290 m,采用 GPS-RTK 观测;⑤哈拉沟煤矿平均开采深度 50~170 m,黄土层厚度 50~100 m,基岩厚度 50~200 m,采用静态 GPS 观测;⑥冯家塔煤矿平均开采深度 70~170 m,工作面上覆基岩厚 35.0~98.5 m,松散层厚 40~69 m,采用 RTK 观测;⑦大柳塔煤矿平均开采深度 60 m,水平煤层,工作面上覆基岩厚 29 m,松散层厚 31 m,采用三等水准测量仪观测。

表 1 煤矿地表移动参数
Table 1 Parameters of surface movement of coal mines

煤矿		榆树湾	韩家湾	小纪汗	柠条塔	哈拉沟	冯家塔	大柳塔
移动参数/ (°)	走向	50.0	58.7	—	60.0	47.0	75.2	56.0
	基岩边界角							
	上山	43.0	59.0	—	58.0	44.0	—	56.0
	下山	—	57.2	—	58.0	44.0	—	56.0
	走向	83.0	62.5	—	65.0	65.0	80.2	57.5
	基岩移动角							
	上山	84.0	62.5	—	71.0	60.0	—	57.5
	下山	80.0	—	—	71.0	60.0	—	57.5
松散层	边界角	—	43.0	—	52.0	—	—	—
	移动角	—	—	—	—	—	—	—

续表									
煤矿		榆树湾	韩家湾	小纪汗	柠条塔	哈拉沟	冯家塔	大柳塔	
移动参数/ (°)	综合	边界角	45.0	58.5	58.0	60.0/58.0	47.0/44.0	—	—
		移动角	83.0	—	63.0	65.0/71.0	65.0/60.0	—	—
	最大下沉角 θ		90	—	—	—	—	—	
	最大下沉速度滞后角 Φ		60.0	50.0	61.0	46.0	66.0	65.7	62.5
	超前影响角 ω		68.0	85.5	72.0	54.0	58.0	58.0	64.0
预计参数	下沉系数 q		0.500	0.560	0.600	0.513	0.620	0.600	0.590
	主要影响角正切 $\tan \beta$		3.35	1.97	1.60	1.72	1.63	1.08	2.65
	开采影响传播角 $\theta_0/(^{\circ})$		90.0	72.7	90.0	82.0	89.0	61.0	90.0
	水平移动系数 b		0.35	0.28	0.30	0.24	0.24	0.26	0.29
	拐点偏移距 S		$0.22H_0$	$0.07H_0$	$0.13H_0$	$0.40H_0$	$0.22H_0$	$0.23H_0$	$0.33H_0$

1.3 典型观测站地表移动规律分析

分析已经得到的岩层移动角量参数,主要表现为在本观测站地质采矿条件下,呈现出边界角偏小移动角偏大的规律。主要成因如下:

1)岩层硬度大,导致井下岩层垮断后悬顶距较大,地表移动外边缘区偏向采空区侧,地表3个临界变形位置也偏向采空区,导致移动角偏大。

2)风积沙黄土层厚度大,导致岩层移动向地表移动传递时受到风积沙黄土层缓冲,延缓了地表移动盆地边缘下沉曲线收敛速度,导致边界角偏小。

3)下沉系数偏小,主要影响角正切偏大主要原因 为基岩偏硬,岩层及黄土层含水量少,岩层中离层裂缝大,导致下沉系数小。主要影响角正切值大主要原因为,基岩厚度在整个岩层中所占比例不大,岩层垮断后,立即通过黄土层传递到地表,导致主要影响半径偏小,进而引起主要影响正切值偏大。

2 多矿井地表移动观测结果综合分析

2.1 研究区域其他工作面地表移动实测参数

在分析榆树湾煤矿的开采沉陷参数同时,还收集了陕北矿区韩家湾煤矿、小纪汗煤矿、柠条塔煤矿、哈拉沟煤矿、冯家塔煤矿、大柳塔煤矿的开采沉陷研究数据,见表1,通过分析不同煤矿的地表移动参数来进一步揭示本区域的开采沉陷规律。

2.2 预计参数分布规律

根据研究区域的岩层分布情况,黄土层是本区域特色,在我国的其他矿区,例如两淮矿区、东北矿区、黔西南矿区、山东矿区、华北矿区、河南矿区等均没有这么明显的黄土覆盖。为了分析黄土层对开采沉陷参数的影响规律,将黄土层与表土层合并,统称为风积沙黄土层,其余的为岩石层。上述各个矿区的开采沉陷预计参数与风积沙黄土层以及岩层的分布情况见表2。

表 2 岩层厚度与开采沉陷预计参数

Table 2 Parameters of rock thickness and mining subsidence prediction

工作面	岩层厚度/m			沉陷预计参数				
	S_s	R_s	S_s/R_s	q	$\tan \beta$	$\theta_0/(^{\circ})$	S	b
冯家塔煤矿 2201 工作面	20	170	0.118	0.6	1.08	61	$0.23H_0$	0.26
小纪汗煤矿 11203 工作面	60	290	0.207	0.6	1.60	90	$0.13H_0$	0.30
柠条塔煤矿 N1201 工作面	75	150	0.500	0.513	1.72	82	$0.40H_0$	0.24
哈拉沟煤矿 22407 工作面	55	70	0.786	0.62	1.63	89	$0.22H_0$	0.24
韩家湾煤矿 2304 工作面	65	70	0.929	0.56	1.97	73	$0.07H_0$	0.28
大柳塔煤矿 1203 工作面	31	29	1.069	0.59	2.65	90	$0.33H_0$	0.29
榆树湾煤矿 20101 工作面	156	114	1.368	0.5	3.35	90	$0.22H_0$	0.35

注: S_s 为风积沙黄土层厚度; R_s 为岩层厚度; S_s/R_s 为风积沙黄土层厚度与岩层厚度之比; q 为下沉系数; $\tan \beta$ 为主要影响角正切; θ_0 为开采影响传播角; S 为拐点偏移距; b 为水平移动系数。

1) 下沉系数 q 与 S_s/R_s 的关系(图3)。下沉系数的范围为 0.50~0.65, 而且该值分布较稳定, 在不同的风积沙黄土层厚度与基岩厚度的组合情况下, 变化不大。从矿区岩层的分布情况来看, 岩层以砂岩为主, 其物理力学性质为中硬偏硬, 岩层在开采沉陷过程中能起到较好的控制作用, 故下沉系数不大。这和建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程中列举的岩层硬度与开采沉陷参数相互关系较为吻合。

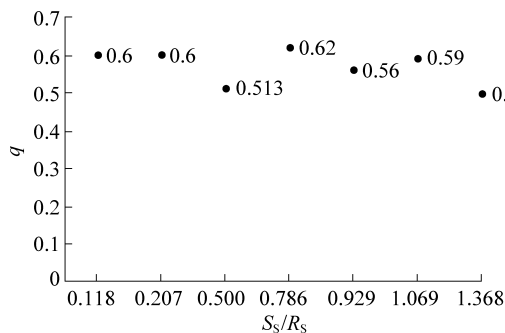


图3 下沉系数 q 与 S_s/R_s 的关系

Fig. 3 Relationship between sinking coefficient and S_s/R_s

2) 主要影响角正切 $\tan \beta$ 与 S_s/R_s 的关系。主要影响角正切与岩层的软硬程度有密切关系, 一般情况下, 煤层上覆岩层综合岩性为坚硬时其值为 1.20~1.91, 为中硬时其值为 1.92~2.40, 为软弱时其值为 2.41~3.54。在本研究区域内, 由于有大量风积沙与黄土层的存在, 风积沙黄土层与岩石层的比例关系决定了煤层上覆岩层的综合岩性, 故其比例关系和 $\tan \beta$ 值有着较大的相关性, 如图4所示。由图4可知, $\tan \beta$ 随着 S_s/R_s 的增大而增大, 接近正比关系。

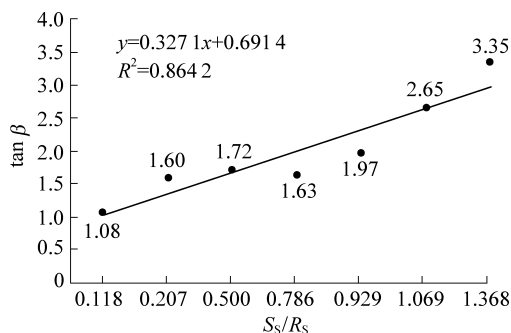


图4 主要影响角正切与 S_s/R_s 的关系

Fig. 4 Relationship between tangent of main influenced angle and S_s/R_s

3) 拐点偏移距 S 与 S_s/R_s 的关系。拐点偏移距的物理意义为在采空区边界靠内侧, 上覆岩层会留下一段悬顶距不垮落, 其数学意义为: 在水平方向上, 主断面下沉曲线拐点偏移采空区边界线的距离。

一般情况, 软弱、中硬和坚硬覆岩的拐点偏移距分别为 $(0 \sim 0.07)H_0$ 、 $(0.08 \sim 0.30)H_0$ 、 $(0.31 \sim 0.43)H_0$ 。本研究区域的拐点偏移距与 S_s/R_s 的相互关系如图5所示。

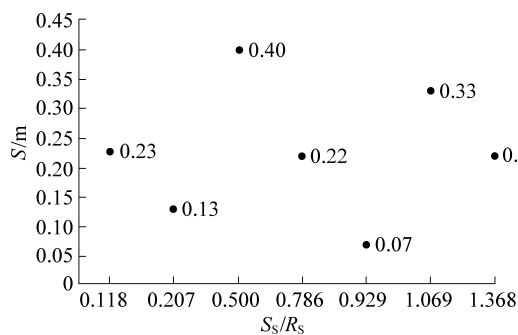


图5 拐点偏移距与 S_s/R_s 的关系

Fig. 5 Relationship between the offset of turn point and S_s/R_s

从图5可知研究区域的拐点偏移距为 $(0.07 \sim 0.40)H_0$, 其值偏大, 可反推本研究区域基岩的岩性为中硬偏硬, 和实际情况相符。

4) 水平移动系数 b 与 S_s/R_s 的关系(图6)。水平移动系数的范围在 0.24~0.35, 和其他矿区表现接近, 厚黄土层对其影响不大。

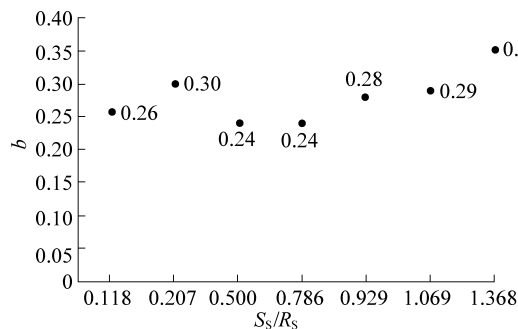


图6 水平移动系数与 S_s/R_s 的关系

Fig. 6 Relationship between the coefficient of horizontal motion and S_s/R_s

5) 开采影响传播角 θ_0 与 S_s/R_s 的关系。开采影响传播角主要和煤层倾角有关, 与 S_s/R_s 的关系不大。在本研究区域, 煤层为水平或近水平, 倾角变化不大, θ_0 的变化规律不突出。

3 结 论

笔者综合分析了榆树湾煤矿、韩家湾煤矿、小纪汗煤矿、柠条塔煤矿、哈拉沟煤矿、冯家塔煤矿、大柳塔煤矿等矿井的开采沉陷预计参数。

1) 分析数据表明: 本区域的下沉系数的范围为 0.50~0.65, 而且该值分布较稳定, 在不同的风积沙黄土层厚度与基岩厚度的组合情况下, 变化不大。

2) 主要影响角正切值与风积沙与黄土层厚度与基岩厚度比值成正比关系。

3) 拐点偏移距的范围为 $(0.07 \sim 0.40) H_0$, 与本区域岩层硬度为中硬偏硬的规律硬吻合; 其他参数值受到黄土层影响较小。

参考文献 (References):

- [1] 吕伟才, 杨世清. 开采沉陷对矿区生态环境的影响评价[J]. 江苏环境科技, 2006, 19(S1): 57-59.
LYU Weicai, YANG Shiqing. Influence evaluation of the mining subsidence on the ecological environment of mining area[J]. Environmental Science and Technology, 2006, 19(S1): 57-59.
- [2] 何国清, 杨伦, 贾凤彩, 等. 开采沉陷学[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1991.
- [3] HENRY BRIGGS. Mining Subsidence [M]. London: Edward Arnold, 1929.
- [4] HELNUT Kratzsch. Mining Subsidence Engineering [M]. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1983.
- [5] 萨武斯托维奇 A. 地下开采对地表的影响[M]. 林国厦译. 北京: 煤炭工业出版社, 1959.
- [6] FRANK OTTO. Aspects of surfer and environment protection in German mining areas[J]. Mining Science and Technology, 2009, 19: 0615-0619.
- [7] BIAN Zhengfu, INYANG Hilary, DANIELS John, et al. Environment issues from coal mining and their solutions [J]. Mining Science and Technology, 2010, 17: 215-223.
- [8] López Gayarre F, Álvarez-Fernández M I, González-Nicieza C. Forensic analysis of buildings affected by mining subsidence [J]. Engineering Failure Analysis, 2010, 17: 270-285.
- [9] WEN Xiuli, LIN Liu, LAN Fangdai. Fuzzy probability measures (FPM) based non-symmetric membership function: engineering examples of ground subsidence due to underground mining [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010 (10): 420-431.
- [10] JEAN Hutchinson D, MARK Diederichs, PEETER Pehme, et al. Geomechanics stability assessment of World War I military excavations at the Canadian National Vimy Memorial Site, France [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45(1): 59-77.
- [11] SINGH K B, SINGH T N. Ground movements over longwall workings in the Kamptee coalfield, India [J]. Engineering Geology, 1998(50): 125-139.
- [12] SHEOREY P R, LOUI J P, SINGH K B. Ground subsidence observations and a modified influence function method for complete subsidence prediction [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2000, 37(2): 801-818.
- [13] ZHANG Dongsheng, FAN Gangwei, MA Liqiang. Harmony of large-scale underground mining and surface ecological environment protection in desert district - a case study in Shendong mining area, northwest of China [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009(1): 1114-1120.
- [14] Y GUÉGUEN, B DEFFONTAINES, B FRUNEAU, et al. Monitoring residual mining subsidence of nord/pas-de-calais coal basin from differential and persistent scatterer interferometry; northern france [J]. Journal of Applied Geophysics, 2009, 69: 24-34.
- [15] ALEJANO L R, RAMIREZ-Oyanguren P, TABOADA J, et al. Numerical prediction of subsidence phenomena due to flat coal seam mining [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1998, 35(4/5): 440-441.
- [16] GARCIA A B, MERE J O. Parameter optimization of influence functions in mining subsidence [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1997, 34(7): 1125-1131.
- [17] WU Kan, LI Liang, WANG Xianglei, et al. Research of ground cracks caused by fully-mechanized sublevel caving mining based on field survey [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009(1): 1095-1100.
- [18] HAHN CHUL JUNG, SANG WAN KIM, HYUNG-SUP JUNG, et al. Satellite observation of coal mining subsidence by persistent scatterer analysis [J]. Engineering Geology, 2007, 92: 1-13.
- [19] DAI Huayang, WANG Jinzhuang, CAI Meifeng. Seam dip angle based mining subsidence model and its application [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2002, 39(3): 115-123.
- [20] GUO Guangli, ZHA Jianfeng, MIAO Xiexing. Similar material and numerical simulation of strata movement laws with long wall fully mechanized gangue backfilling [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009(1): 1089-1094.
- [21] GUO Guangli, ZHA Jianfeng, WU Bin. Study of "3-step mining" subsidence control in coal mining under buildings [J]. J China Univ Mining & Technol, 2007, 17(3): 0316-0320.
- [22] TAN Zhixiang, LI Peixian, YAN Lili. Study of the method to calculate subsidence coefficient based on SVM [J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009(1): 970-976.
- [23] ZHANG Hua, WANG Yunjia, LI Yongfeng. SVM model for estimating the parameters of the probability integral method of predicting mining subsidence [J]. Mining Science and Technology, 2009, 19: 385-388.
- [24] 刘立忠, 张云鹏, 崔云龙. 小纪汗煤矿抗采动变形试验房变形规律研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(3): 179-184.
LIU Lizhong, ZHANG Yunpeng, CUI Yunlong. Study on deformation law of testing building with anti-mining induced deformation in Xiaojihan Coal Mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(3): 179-184.
- [25] DONNELLY L J, CRUZ H D L, ASMAR I, et al. The monitoring and prediction of mining subsidence in the Amaga, Angelopolis, Venecia and Bolombolo Regions, Antioquia, Colombia [J]. Engineering Geology, 2001, 59(1): 103-114.
- [26] SINGH R, MANDAL P K, SINGH A K, et al. Upshot of strata movement during underground mining of a thick coal seam below hilly terrain [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45(1): 29-46.
- [27] 姜岳, PREUSSE Axel, SROKA Anton, 等. 控制开采速度减缓建筑物损害程度的方法与应用[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 162-166.

- JIANG Yue, PREUSSE Axel, SROKA Anton, *et al.* Method and application of controlling mining speed to reduce structures damage[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 162-166.
- [28] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [29] 赵卫强, 孟 晴. 国内外矿山开采沉陷研究的历史及发展趋势[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2010, 9(1): 12-15.
- ZHAO Weiqiang, MENG Qing. Research on history and development trend of domestic and foreign mining subsidence [J]. Journal of Beijing Polytechnic College, 2010, 9(1): 12-15.
- [30] 余学义, 张恩强. 开采损害学[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004.
- [31] 蔡来良. 适宜倾角变化的开采沉陷一体化预测模型研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [32] 高岩辉, 刘科伟, 赵西君. 从陕北地区面临的问题看资源富集区可持续发展[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 45-50.
- GAO Yanhui, LIU Kewei, ZHAO Xijun. Sustainable development of resource-rich areas in northwestern china: an example from northern Shaanxi province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment. 2008, 22(4): 45-50.
- [33] 王 鹏. 韩家湾煤矿大采高开采地表移动变形规律研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2012.
- [34] 中国矿业大学, 陕西华电榆横煤电有限责任公司小纪汗煤矿. 陕西华电榆横煤电有限责任公司小纪汗煤矿 11203 工作面地表移动观测研究报告[R]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2014.
- [35] 西安科技大学. 柠条塔煤矿首采工作面(N1201)地表移动规律研究报告[R]. 西安: 西安科技大学, 2010.
- [36] 闫伟涛. 浅埋深高强度开采地表移动变形规律研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2014.
- [36] 陕西冯家塔矿业有限公司, 西北综合勘察设计院. 冯家塔煤矿 2201 工作面地表岩移观测站技术总结报告[R]. 西安: 西北综合勘察设计院, 2013.
- [37] 杜善周. 神东矿区大规模开采的地表移动及环境修复技术研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2010.