神府—东胜煤田地表塌陷预测及防治*

雷 霆 董兆祥 吕建红
（河北地质学院环境与工程系，石家庄 050031） （桂林工学院建设工程系）

摘 要 根据钻孔资料，运用概率积分法预测了矿区的地表移动程度；并采用灰色模型对典型矿井综合开采面引起的地表最终塌陷值在实测数据的基础上进行了预测。该煤矿开采后，塌陷严重，大部分矿井地表最大下沉值和水平位移值均超过有关设计规范允许值。在建筑物和线路及地表水体下开采时，除采取井下预留设保护煤柱和提前施工放水孔等措施外，还要加强井上观测，应用拉杆、圈梁等地面防护措施。塌陷地带用开采废弃土石和矸石充填后，及时种植树草，防止土地沙漠化。

关键词 地表塌陷；煤矿；概率积分法；灰色预测；防治；措施；陕西；内蒙
分类号 P642.26；TD325.2

1 矿区概况

神府—东胜煤田位于陕西省北部的神木县、府谷县和内蒙古自治区南部的东胜准格尔旗、伊金霍洛旗，属于黄土高原和鄂尔多斯高原的过渡地带，半干旱大陆性季风气候。地层以侏罗系为主，是一套陆相含煤碎屑岩，另有三叠系和白垩系，自东而西由老到新依次出露，第三系上新统红土零星出露于分水岭地带，第四系黄土广泛覆盖在东南部中生界和第三系上新统上。构造上处于鄂尔多斯台向斜的东翼—陕北斜坡上，地质构造简单，是一个平缓西倾的大单斜层，岩层走向近南北，倾向西。

矿区蕴藏着丰富的煤炭资料，总储量约 2×10^{11}t，含煤丰度大于 10^7t/km^2，被誉为世界八大煤田之一。矿区可行性研究确定的首批开发面积为 2 756km^2，储量 286×10^8t，目前生产能力已达 10^7t/a，是我国未来优质动力煤和出口创汇煤的生产基地。

矿区大规模开发建设使该区本已十分脆弱的生态环境犹如雪上加霜，进一步恶化。其中井硐开采导致的地表塌陷变形就是矿区突出的环境地质问题之一，它不仅对矿区周围环境将造成很大的破坏，而且会影响和制约矿区的建设规模。因此，对矿区地表塌陷的预测和防治措施的提出，显得尤为重要。

2 矿区地表移动的概率积分法预测

开采沉陷地表的移动和变形研究方法有经验方法、分布函数法、理论模型法三大类。国内目前主要有概率积分法、负指数函数法、典型曲线法。其中，概率积分法是波兰学者克诺泰提出的用高期曲线作为影响曲线的一种分布函数法，它用正态分布类型从统计角度出发，

1995年12月18日收稿，1996年3月4日改回。
第一作者简介：雷 霆，男，1966年出生，双学位，讲师，工程地质与经济学专业。
国家“八五”科技攻关项目（85926-05-03-02）部分研究成果。
?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

用概率方法建立地表下沉盆地的剖面方程，然后对开采引起的地表变形进行计算或预测。

概率积分法的地表下沉曲线为：　$W(x)=\int_x^{\infty} f(x)\,\mathrm{d}x$　（1）

$$f(x)=\frac{W_{\max}}{r}\exp(-\pi x^2/r^2)\qquad(2)$$

式中：　r—地表主要影响半径；W_{max}—地表最终最大下沉量，即

$$W(x)=\frac{W_{\max}}{r}\int_x^{\infty}\exp(-\pi x^2/r^2)\,\mathrm{d}x\qquad(3)$$

水平移动式为：　$U(x)=BW_{\max}\exp(-\pi x^2/r^2)$　（4）

式中：B—水平移动系数。

相应的倾斜和曲率变形由下沉曲线变换得出，水平变形则可由水平移动曲线得到。对于尚未开发的矿区，这里只对充分采动状态下的地表移动的最大值进行预测，其预测模式为：

最大下沉值：　$W_{\max}=M\cdot q\cdot\cos\alpha$　（5）

最大水平移动：　$U_{\max}=B\cdot W_{\max}$　（6）

采用 P 系数法确定模式中有关参数

$$P=\sum_{i=1}^{n}M_iQ_i^L/\sum_{i=1}^{n}M_i;\quad q=0.45+P/2;\quad B=0.3\times(1+0.0086\alpha)$$

式中：α—煤层倾角；M—煤层采出厚度；q—地表下沉系数；M_i—覆岩 i 分层厚度；B—水平移动系数；Q_i^L—覆岩 i 分层在 L 次采动时岩性评价系数。

按照上面模式，预测参数根据矿区勘察资料选取。为简化计算，依据实际情况，α 一律取为 3°，这样，水平移动系数 $B=0.31$。开采下沉系数和其它有关参数根据各地貌分区（图 1）单元内钻孔资料推算，并按（5）、（6）式计算其最大下沉值和最大水平位移值，结果（表 1）表明，由于受煤层厚度、埋深以及上覆基岩质量的影响，东胜矿区的塌陷程度将比神府矿区严重，而河川地带最大移动值较小。地表下沉值由矿区边界外某点为零值点向边界逐渐增大，并于边界内某点达到最大下沉值。矿区最终开采后达到充分采动的区域，地表均达到该点的最大下沉值，其它变形量也将随着开采过程先后由小逐渐达到最大。

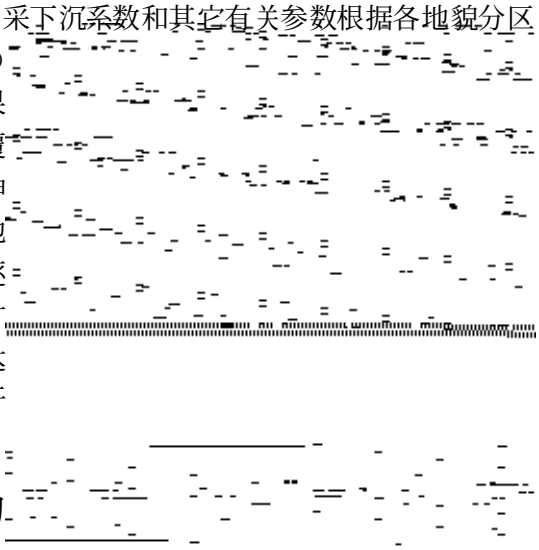


图 1　矿山环境工程地质分区图

Fig. 1　Areas of environment engineering geology in the coalmine area

1—分区界线；2—省界及神府东胜矿区分界线；3—矿区界线。　图中：Ⅰ—中生界碎屑岩石质丘陵区；Ⅱ—风成黄土丘陵沟壑水土流失区；Ⅲ—古风成沙漠草滩区；Ⅳ—毛乌素沙漠；Ⅴ—内流高平原风蚀沙区；Ⅵ—盖沙丘陵风积区

3　神府矿区大柳塔矿井地表移动的灰色预测

大柳塔矿井属神府矿区北部丘陵区，从 1987 年开始勘测，规划至今，已形成了大规模的开采规模，现正处于试投产阶段。神府公司生产处和大柳塔矿井地测科在长 1011.79m、150.00m 的 1203 工作面（图 2）回采过程中布

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

置了沿工作面走向（EW）1 条、垂直矿体走向（SN）2 条、观测点为等间距的地表移动观测线，1993 年 3 月至 1995 年 5 月观测结果表明，一般地表移动滞后开采 2～3 个月。利用前期观测数据，应用灰色 GM（1.1）模型[1]对其地表移动的最终值进行了灰色预测。

表 1 最终开采地表移动参数和最大值预测范围

Table 1 Parameter and maximum value for ground subsidence

	分区	P	W_{max}/m	U_{max}/m
东胜	西北丘陵风沙复盖区	0.8～0.92	14.50～19.90	4.50～6.17
	西部沙漠草滩区	0.70～0.99	4.85～19.10	1.50～5.90
神	北部—中部沙漠丘陵区	0.60～1.003	0.97～11.00	0.30～3.40
府	东南黄土高原沟壑区	0.50～0.93	2.40～9.70	0.75～3.10
	河川地区	0.54～1.00	0.93～7.00	0.29～2.20

根据 GM（1.1）模型的建模步骤，运用编制的 Basic 程序，并选取部分有代表性的点按照等步长预测了其最终沉降值和水平移动值。模型误差 4%左右，基本满足精度要求。预测结果（表 2、表 3）表明，地表最终最大下沉值为 4.575m，首采外缘点（B_6）沉降最小，仅为 10mm。最大水平位移值 EW 向为 1.3403m，SN 向为 0.973 8m，而且水平位移值首采端和大部分点为正值，说明桩间距增大。部分桩间距出现负值，表明桩间距减小。这说明一方面随着开采的结束，地表移动趋于稳定，并达到最大值；另一方面，地表局部地段呈漏斗状塌陷，最后整体下沉，形成永久塌陷盆地。在构造发育部位，还可能出现塌陷台阶和断裂等现象。

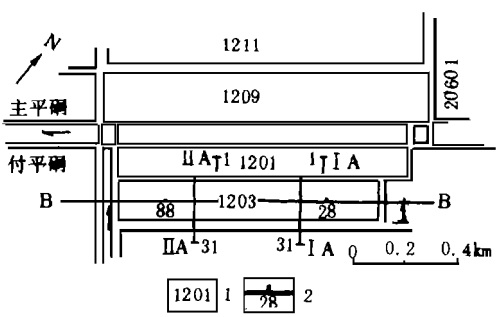


图 2 大柳塔综合采掘工程平面图

Fig. 2 Plane of fully—excavation engineering in Daliuta coalmine

1—工作面编号；2—地表移动观测线及点号

再用（5）式概率积分法进行预测，各参数值如下：煤层平均采高 4.03m，最大采高 5.31m，煤层倾角 $\alpha=3^{\circ}$；上覆岩层为水平岩层和互层性巨厚岩体，下沉系数 q 取 0.90，则最大下沉值 4.77m 与灰色预测结果相吻合，说明灰色预测方法与较成熟的预测方法具有同等的精度，有较高的实用价值，完全可以作为一种预测塌陷的新方法，在全矿区推广。

表 2 部分观测点地表最终下沉值预测

Table 2 The final value of ground settlement in part of observation points m

点号	B_6	B_{10}	B_{12}	B_{14}	B_{16}	B_{18}	B_{38}	B_{40}	B_{44}
初始值	1 221.201	1 219.433	1 220.474	1 220.575	1 219.298	1 221.107	1 220.234	1 220.894	1 220.972
最终值	1 221.191	1 216.000	1 216.500	1 216.000	1 217.500	1 217.500	1 216.000	1 218.000	1 218.918
最终下沉值	0.010	3.433	3.974	4.575	3.298	3.607	3.234	2.8894	2.054

4 地表移动对环境的影响及防治措施

从上面的预测结果可知，神府—东胜矿区采煤后，地表塌陷现象严重，当煤层埋深与采厚比（H/M）＜30 时，地表呈不连续变形，会出现断裂、裂缝、塌陷台阶，甚至出现塌陷洞、坑，从而破坏地表原有形态，产生一系列环境问题。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

表 3　部分观测点地表最终水平移动值预测

Table 3　The final value of level displacement in part of observation point　　m

	EW 测线						*SN* 测线				
点　号	B_6-B_7	B_8-B_9	$B_{10}-B_{11}$	$B_{12}-B_{13}$	$B_{14}-B_{15}$	$B_{16}-B_{17}$	ⅡA_{4-5}	ⅡA_{10-11}	ⅡA_{14-15}	ⅡA_{17-18}	ⅡA_{20-21}	ⅡA_{24-25}
初始值	9.822 8	9.890 2	9.839 1	10.009 1	9.938 8	10.037 9	9.932 8	9.752 1	10.171 6	9.972 1	9.943 2	10.304 4
最终值	9.900 4	11.230 5	10.522 5	10.238 0	10.724 9	9.705 7	9.937 5	8.972 8	10.208 9	9.844 7	8.969 4	10.388 7
最终水平位移值	0.077 6	1.340 3	0.683 4	0.228 9	0.786 1	−0.332 2	0.004 7	−0.779 3	0.037 3	−0.127 4	−0.973 8	0.0843

4.1　对环境的影响

4.1.1　*对地面建筑物的影响*　地下开采不但会引起地面建筑物的下沉和水平移动，而且还将发生倾斜、弯曲和水平变形。下沉地表产生的变形如果超出建筑物的允许范围，将造成建筑物的损坏[2]。从预测结果分析，矿区在最终开采达到充分采动时的变形值均大于有关规范允许值，因此，必须采取妥善的保护措施。

4.1.2　*对地表植被的影响*　全矿区地表植被稀疏，覆盖率低，生态环境脆弱。采煤后地表塌陷造成原有地表状态的变化，地表出现裂缝、塌坑，使地表潜水沿裂缝向深层渗漏，同时地表出现更多的移动面松散物，使土地沙化和水土流失加剧，不利于植被的生成。而塌陷盆地的形成，使大气降雨能积蓄于盆地中，起到拦截作用，减少水土流失。

4.1.3　*对地表水体的影响*　当矿区煤层埋深与采厚比＜20 时，采煤后覆岩导水裂隙带高度均会与地表裂隙贯通，如遇上覆松散潜水层，地下水将涌入矿井，不仅影响矿井的安全生产，而且破坏了地表自然径流。大柳塔矿井在 1203 工作面回采过程中于 1993 年 3 月 24 日发生突水，用四台水泵连续不停地排水，28 日才将水抽完，4 月 3 日恢复生产。其涌水量达 39 263m^2，就是由于采煤产生了触及上覆松散含水层的导水裂隙造成的。如果在河床下采煤而不采取防护措施，将会引起河水泄入矿井，造成更大的损失。另外，在采煤塌陷影响范围内的泉水将受到影响，主要因为地下含水层或地下水径流途径遭到破坏而使泉水减少或干涸，影响矿区水源和当地居民用水。

4.2　防护措施

综上所述，地下采煤引起的地表塌陷对环境的影响是严重的，因此，在开采过程中，必须加以防护，采取必要的措施。

（1）对地面建筑物除井下留设保护煤柱外，对重要建筑物还要采取一定的井上保护措施，如设置变形缝，应用钢拉杆或钢筋混凝土圈梁加固，锚固板加固地基等，以防保护煤桩由于应力集中发生破坏后造成不可弥补的损失。同时还可改变开采技术，减少地表移动和变形。

（2）在铁路下开采时，除井下留设保护煤桩外，对线路还要不断维护，防止地面移动和下沉的突然变化、加剧。在地面渐变条件下，可以采取抬高轨面，充填道床，调整轨缝和轨距等维修方法。

（3）在电力、通信等线路下方开采时，应组织专业人员进行观测，及时采取调整措施，保证正常供电和通信。

（4）水下开采应确定安全开采深度，并采取提前在富水地段及初次垮落影响范围内施工放水孔疏水降压，同时，开采技术上应宜由点到面试采，以取得经验。加强井上井下水

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

文观察，掌握突然涌水的各种预兆，井下设防水闸门，保证人员安全。

（5）塌陷引起的地表形态的破坏，可以用煤矿开采的废弃土石和煤矸石填充，再进行种植，保护水土，减少废弃物和塌陷对环境的污染。对于塌陷的水淹区域，可利用作为农业灌溉和水产养殖，化害为利。

参 考 文 献

1 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉：华中理工大学出版社，1988. 25～40

2 颜荣贵. 地基开采沉陷及其地表建筑. 北京：冶金工业出版社，1995. 15～30

THE PREDICTION AND PREVENTION AND CURE MEASURES FOR THE GROUND SUBSIDENCE IN SHENFU—DONGSHENG COALMINE AREA

Lei Ting Dong Zhaoxiang

(*Department of Environment and Engineering, Hebei College of Geology, Shijiazhuang*)

Lu Jianhong

(*Guilin Institute of Technology*)

Abstract According to the drilling data, and by using the method of probability integral, the subsidence is predicated in the whole coalmine area. Based on the reality observed value and by using the grey model, the final value of subsidence is also predicted for the fully mechanized face. After mining, the subsidence is very serious in the coalmine area, the maximum value of ground settlement and level displacement go beyond the allowable value of concerned design regulars. The ground observation and measures of drag link and ring beam must be used in addition to the underground coal prop setting for protection and drillwell for drawing off water are set up beforhand when mining under the building and route and surface water system. In order to provent the desertification, the tree and grass must be planted in the subsidence areas after filling up with the abandon earth and stone as well as gangue.

Key words ground subsidence; coal; method of probability integral; grey prediction; measure of prevention and cure; Shanxi; Inner Mongolia

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www