维普资讯 http://www.cqvip.com

山西长治市崔蒙地区采煤地面塌陷初步研究

曹金亮[1,2]

（1. 中国地质大学，武汉　430074；2. 山西省地质环境监测中心，太原　030024）

摘要：长治市崔蒙地区因煤矿采空而引发地面塌陷，塌陷积水而使大量农田弃耕，当地经济发展受到极大的影响。本文在地面塌陷地质灾害勘察并查明地面塌陷现状基础上，分析了崔蒙地面塌陷的形成机理，并通过常规移动延续时间、残余移动变形时间估算结合塌陷区地表移动监测资料分析研究，认为地面塌陷仍将持续，只是变形速度较缓慢，不致诱发地裂缝，继续造成土地破坏或地表水体漏失的可能性较小。

关键词：地面塌陷；地质灾害；变形机理；发展趋势

中图分类号：P642.26　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-3665(2007)03-0071-04

1　研究区地面塌陷现状

山西省长治市崔蒙地面塌陷区位于潞安矿区王庄煤矿区，地面塌陷主要分布于屯留县北岗镇崔蒙村以西、顾车村以东，自西向东由 6 个塌陷坑组成。其基本特征有：①地面塌陷形状均呈长条形，长边方向为南北向，短边方向为东西向；②地面塌陷分布范围约 1.8km^2，单个地面塌陷坑最大长度约1 370m，最大宽度约 350m，最大塌陷深度可达 5.0 m，最大面积约 3.29 × 10^{5}m^2；③地面塌陷呈沉陷与凸起相间分布，形成波状起伏的微地貌景观；④地面塌陷形成时间最早为 1990 年，最新发生的地面塌陷时间为 1998 年；⑤地面塌陷积水区主要分布于 T2、T3、T4、T5 塌陷区，积水区水深 0.5 ~ 3.0m(表 1，图 1)。

表 1　面塌陷分布特征表

Table 1　Distribution characteristics of the land collapse

编号	对应采空区编号	塌陷年份	长度 (m)	宽度 (m)	最大深度(m)	塌陷面积 (× 10^{5}m^2)	积水面积 (× 10^{5}m^2)
T1	6106	1992	620	230	4.5	1.43	
T2	6105	1998	1250	210	4.7	2.63	0.49
T3	6104	1992 ~ 1995	1250	210	5.0	2.63	1.86
T4	6103	1991 ~ 1992	1230	230	4.7	2.83	1.2
T5	6102	1996 ~ 1997	1370	210	4.5	2.88	0.97
T6	6101	1990 ~ 1991	1300	230	4.5	2.99	

2　地面塌陷机理

据调查，地面塌陷与王庄煤矿采掘工作面有良好的对应关系：①单个地面塌陷坑正位于王庄煤矿 3# 煤层某个采掘工作面上方地表；②地面塌陷形状与采掘工作面形状基本一致，均呈南北向的长条形；③地面塌陷形成时间基本与煤层开采时间一致，为 1990 ~ 1998 年；④地面塌陷坑表现出的沉陷与凸起相间分布的特征与下伏 3# 煤层相邻多个采掘工作面相对应。

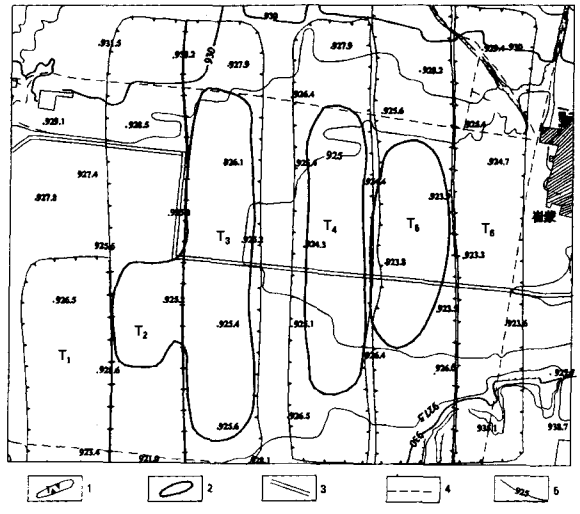


图 1　地面塌陷及塌陷积水区分布图

Fig.1　Distribution of the land collapse and stagnant water

1—地面塌陷及编号；2—地面塌陷积水区；
3—原常村矿排水干渠；4—乡间小路；5—地形等高线及高程

研究区 3# 煤层近水平分布，煤层单一工作面开采后，地表移动盆地基本在采空区正上方对称出现。当煤层有多个矩形工作面用长壁大冒顶方式连续开采时，其对应地表出现连续的槽形塌陷盆地。

因此，可以认为崔蒙地面塌陷由王庄煤矿开采 3# 煤层形成的采空区塌陷引发而形成，而且符合一般水平岩层地下采空引发变形沉陷的机理[1~3]。

收稿日期：2006-09-29；**修订日期**：2006-10-10

作者简介：曹金亮(1964 -)，男，高级工程师，在职博士研究生，从事环境地质、地质灾害研究。

E-mail：caojinliang87@sohu.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

3 地面塌陷发展趋势评价

本文通过残余移动变形的估算结合塌陷区地表移动监测资料分析来评价崔蒙地面塌陷稳定性。

3.1 塌陷区采空地表移动变形延续时间估算

3.1.1 塌陷区煤矿开采条件特征

研究区 3# 煤层厚 5.19 ~ 6.63m,埋深 213 ~ 291m;煤层倾向南西,倾角约 4°。3# 煤层直接顶板为厚 5.0 ~ 8.0m 的深灰色粗—细—粉砂岩,较坚硬,一般情况下不随煤层开采冒落,底板为深灰色粗粒砂岩,含植物根系及煤质碎屑,一般厚 2.0m。采空工作面长 540 ~ 1260m,宽 165 ~ 190 m,采空区埋深 213 ~ 291 m,开采时间为 1991 ~ 1997 年。

3.1.2 塌陷区采空地表移动变形延续时间估算

采空区地表移动变形延续时间包括从地表下沉 10mm 时的移动开始时间到连续 6 个月下沉值不超过 30mm 时的移动结束时间的常规移动期和残余移动变形延续期[4]。

(1) 常规移动期延续时间估算

山西煤矿开采的经验和观测资料分析结果表明,长壁式全垮落采煤法采空区上方地表的移动沉降是一个长期过程,工作面停采时间越长,其剩余残余沉降量越小。根据相应规程,从地表移动期开始到结束的整个时间称为地表移动的延续时间,地表移动的延续时间分为初始期、活跃期、衰退期[4]。无实测资料时,地表移动的延续时间(T,单位:d)可根据下式计算:

$$T = 2.5H \tag{1}$$

式中:H——工作面平均采深(m)。

据此,塌陷区地表移动变形延续时间估算结果见表 2。由表 2 可看出,开采时间最晚(1998 年)的 6102 采空区塌陷变形也于 2000 年基本结束。通过估算认为,采空区上方地表移动变形基本结束,但其残余移动变形过程中仍会发生不同程度的地表移动变形。

表 2 地表移动延续时间计算结果

Table 2 Calculate results of duration of earth's surface moving

采空区编号	平均采深(m)	开采时间(年份)	延续时间(d)	估算结果
6101	291	1992	728	地表移动变形基本结束
6102	271	1998	678	地表移动变形基本结束
6103	265	1992 - 1995	663	地表移动变形基本结束
6104	246	1991 - 1992	615	地表移动变形基本结束
6105	237	1996 - 1997	593	地表移动变形基本结束
6106	218	1990 - 1991	545	地表移动变形基本结束

(2) 极限残余下沉量和移动变形延续期估算

长壁大冒顶采空区常规移动期以后的残余移动变形主要是由于覆岩下部移动过程中形成的冒裂拉伸带在上覆岩层的自重作用下被逐渐压实的结果。长壁大冒顶采空区的残余移动变形量较小,移动变形速度也较缓慢。目前还没有公认的计算方法,本次研究采用何万龙提出的地表残余移动变形计算方法[6]。

极限残余下沉值(ΔW_j)的计算公式:

$$\Delta W_j = M \cdot \Delta q \cdot \cos\alpha$$
$$\Delta q = k(1 - q) \tag{2}$$

式中:M——开采厚度(mm);

α——煤层倾角(°);

Δq——残余下沉系数;

q——长壁大冒顶开采的常规下沉系数;

k——下沉折减系数,中硬覆岩取 0.7 ~ 0.8。

残余移动变形延续期(T_y,单位:a)按下式计算:

$$T_y = \ln(c \cdot dw_j)/c$$
$$\mathrm{d}w_j = \Delta W_j \tag{3}$$
$$c = t \cdot \rho / H$$

式中:$\mathrm{d}w_j$——以年为单位的极限下沉值,mm/a;

c——残余下沉时间因子,1/a。

ρ——采空区原煤回采率(%);

t——时间折减系数(1/a),中硬覆岩取 0.4 ~ 0.2。

残余移动变形延续期间,其残余下沉量(ΔW)大于 1mm/a。设采空区开采年度为 T_0,则其残余移动变形终结年 T 为:

$$T = T_0 + T_y \tag{4}$$

残余移动变形延续期内任一年度(T)的最大下沉量 $\Delta W_j(T)$可按下式计算:

$$\Delta W_j(T) = \Delta W_j(1 - \mathrm{e}^{-c \cdot \Delta T})$$
$$\Delta T = T - T_0 \tag{5}$$

残余移动变形期间,T 年度以后的最大剩余下沉量 $\Delta W_j(T_y - T)$可按下式计算:

$$\Delta W_j(T_y - T) = \Delta W_j - \Delta W_j(T) \tag{6}$$

计算模型中所需计算参数主要根据研究区工作研究成果及有关经验数据,按研究区内不同采掘工作面分别给出(表 3)。

极限下沉值 ΔW_j、残余移动变形期 T_y、移动变形终结年度 T、2002 年度的最大下沉量 $\Delta W_j(2002)$、2002 年以前年平均极限下沉量 $\Delta W_{j(2002-)}$、2002 年以后的最大剩余下沉量 $\Delta W_{j(T_y - T)}$、2002 年以后年平均极限下沉

维普资讯 http://www.cqvip.com

量 $\Delta W_{j(2002+)}$ 等计算结果见表 4。

表 3　计算参数

Table 3　Calculation parameters

采空区编号	T_0	H	M (m)	α (°)	ρ (%)	q	k	t (1/a)
6101	1992	291	6.30	4	90	0.85	0.70	0.30
6102	1998	271	6.20	4	90	0.85	0.70	0.30
6103	1995	265	6.21	4	90	0.85	0.70	0.30
6104	1992	246	6.10	4	90	0.85	0.70	0.30
6105	1997	237	6.50	4	90	0.85	0.70	0.30
6106	1991	218	6.56	4	90	0.85	0.70	0.30

表 4　计算结果

Table 4　Computation results

编号	ΔW_j (mm)	T_y (a)	T (年)	$\Delta W_{j(2002)}$ (mm)	$\Delta W_{j(2002-)}$ (mm)	$\Delta W_{j(T_y-T)}$ (mm)	$\Delta W_{j(2002+)}$ (mm)
6101	660	44	2036	399	39.9	261	7.7
6102	650	42	2040	211	52.8	439	11.6
6103	651	41	2036	392	43.6	259	8.1
6104	639	39	2031	425	42.5	214	7.4
6105	681	38	2035	286	57.2	395	12.0
6106	687	36	2027	512	46.6	175	7.0

可见，研究区残余移动变形最迟将延续至 2040 年，而至 2002 年底，研究区残余移动变形已持续下沉 211 ~ 512mm，占计算的极限残余下沉量的 32.5% ~ 74.5%，说明还有 67.5% ~ 25.5% 的残余下沉量将持续进行，每年平均极限下沉量 7.0 ~ 12.0mm。

3.2　地表移动测量结果分析

研究区北部垂直采掘工作面分布方向共布置了 7 个观测点[5]。由于塌陷区处于积水状态，水中测量难以实施，因而观测点基本布置于各采空塌陷区边缘。采用Ⅲ等水准测量了 4 次(表 5)。

表 5　地表变形测量结果(m)

Table 5　Measurement reasults of surface displacement(m)

点号	2001.12.15	2002.02.10	2002.03.21	2002.04.26
1#	928.205	928.203	928.200	928.201
2#	926.051	926.052	926.047	926.045
3#	925.626	925.621	925.622	925.622
4#	922.853	922.851	922.850	922.849
5#	923.712	923.711	923.709	923.711
6#	923.568	923.564	923.565	923.564
7#	924.735	924.731	924.730	924.731

从 2001 年 12 月 15 日到 2002 年 4 月 26 日 4 个月的观测周期来看，采空塌陷区处于残余移动变形状态，最大残余移动下沉值 3 ~ 6mm，说明残余移动变形幅度较小。观测结果与前述计算结果有所差别，主要原因是：①前述计算的残余下沉量是采空区中心极限残余下沉量，而地表观测结果主要是采掘工作面边缘的残余下沉量；②受本次地表移动测量地形、精度等条件所限，也是影响其测量结果的一个因素。

3.3　塌陷区地表稳定性评价

根据前述研究区煤层分布特征、煤层开采特征、煤层上覆岩层的工程地质性质及物理力学性质特征、地表移动延续时间及极限残余下沉量和移动变形延续期估算，并结合地表移动测量结果，对研究区采空塌陷区稳定性进行评价。

据地表移动变形延续时间计算，研究区采空区上方地表常规移动变形基本结束，采空塌陷逐步趋于稳定。即在无新的开采扰动、强烈地震或大量抽排地下水等延续的情况下，研究区地表发生突发性地面塌陷、裂缝的可能性较小。

根据本次地表移动测量结果及山西煤矿开采的实践经验和观测资料分析结果，研究区采空塌陷地表移动处于一个残余移动变形过程，最大残余移动变形期达 44a，最晚残余移动变形终结年度至 2040 年，最大极限残余下沉值为 686mm；2002 年以后最大剩余下沉量 175 ~ 439mm，年平均极限下沉量 7 ~ 12mm。

预计今后 38a 期内，研究区地面沉陷仍将持续，变形速度较缓慢。这种缓慢的沉陷不致诱发地裂缝，从而继续造成土地破坏或地表水体漏失的可能性较小。

4　结论

(1)崔蒙地面塌陷由王庄煤矿开采 3# 煤层形成的采空区塌陷引发而形成，且符合一般水平岩层地下采空引发变形沉陷的机理。

(2)研究区采空区上方地表常规移动变形基本结束，目前处于一个残余移动变形过程，且残余移动下沉量较小，残余移动变形幅度较小。

(3)预计今后一定时期，研究区地面沉陷仍将持续，只是变形速度较缓慢，在无外界因素影响情况下，不致引发较大规模的地裂缝等地质灾害。

参考文献：

[1]　狄乾生，隋旺华，黄山民．开采岩层移动工程地质研究[M]．北京：中国建筑工业出版社，1992.

[2]　李智毅，杨裕云．工程地质学概论[M]．武汉：中国地质大学出版社，1994.

[3]　潞安矿务局．潞安矿务局土地破坏状况调查与复垦规划报告[R]．长治：潞安矿务局，1998.

[4]　国家煤炭工业局．建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]．北京：煤炭工业出版

维普资讯 http://www.cqvip.com

社,2000.

[5] 山西省地质环境监测中心.山西省长治市崔蒙地质灾害调(勘)查报告[R].太原:山西省地质环境监测中心,2001.

[6] 太原煤矿设计研究院.柳林县同德焦煤公司新建焦化厂址采空区地表稳定性评价[R]. 太原:太原煤矿设计研究院,2000.

Preliminary study on ground-subsidence caused by coal mining in Cuimeng area of Changzhi City, Shanxi Province

CAO Jin-liang[1,2]

(1. *China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*;
2. *Shanxi Province Center of Geo-Environment Monitoring, Taiyuan* 030024, *China*)

Abstract: Because of coal mining, ground-subsidence appeared in Cuimeng area, Changzhi City. The subsidence seeper caused much farmland to abandon, greatly influencing the local economy development. Based on the geologic hazard survey and ground-subsidence condition, the author analyzed the formation principles. Through analyzing the routine moving continual time and the residual moving deformation time, combined with the analysis of the surface moving survey datum, it was found that the ground-subsidence will go on, but the speed may slow down. The slow ground-subsidence will not cause the earth crack. The probability of destroying land and surface water leakage is small.

Key words: ground-subsidence; geologic hazard; deformation mechanism; development trend

编辑:张明霞

(上接第 62 页)

Centrifuge model test on the deformation mechanism of loess cut slope

LIU Yue[1], HUANG Qiang-bing[2]

(1. *School of Environment Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*;
2. *School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an* 710054, *China*)

Abstract: The deformation characteristics of loess cut slope are demonstrated by centrifuge model test. The results show that the vertical deformation under the self - weight stress is dominant for the whole loess slope before excavation. But after excavation, the deformation of the front and middle of cut slope gradually change from vertical to horizon. The deformation of the back of cut slope is as same as before, but the deformation of the front part is much greater. Meanwhile, combined with the deformation characteristics obtained from the model test of loess cut slope, the paper systematically analyzes the strength varies of the major slip band during the excavating of loess cut slope, and considers that the deformation mechanism of loess cut slope belongs to creeping slide and crack arising from pressing.

Key words: road engineering; loess cut slope; centrifuge model test; deformation mechanism

编辑:张明霞