

曲江煤矿地表塌陷成因时空关系分析

胡炳南¹ 江中乐² 郭文砚³

(1. 煤炭科学研究总院 北京 100013; 2. 江西省煤田地质局 普查综合大队 江西 南昌 330201;
3. 中国矿业大学(北京) 资源与安全工程学院 北京 100083)

摘要: 为了研究曲江煤矿地表塌陷机理和原因,基于本区地表塌陷时空特征、地质勘探结果、年降水量季节变化规律、地震记录数据、煤矿开采条件等资料,对该矿9处地表塌陷成因与地下孔洞、降水量、地震、开采等因素进行了时间与空间关系分析。研究表明:地表塌陷周边存在土洞,且埋深与相对塌陷距离多数在20 m以内,浅部存在孔洞和盖层薄是地表塌陷的本质内因;每年3月水位最低,4—6月降水量最多,共发生塌陷7处,地下水位下降和雨季盖层弱化是地表塌陷的直接外因;塌陷发生时间(除1号塌陷)与地震发生时间前后间隔均在3个月之内,地震是地表塌陷的诱发外因;井下开采与地表塌陷的相关性不明显,但对地表塌陷位置存在采动影响。

关键词: 地表塌陷;岩溶溶洞;开采影响;降水量;地震

中图分类号: P642.25

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2017)01-0189-05

Temporal and spatial analysis of surface collapses factors in Qujiang Mine

Hu Bingnan¹ Jiang Zhongle² Guo Wenyan³

(1. China Coal Research Institute Beijing 100013, China; 2. Jiangxi Coal Geology Bureau Comprehensive Survey Team Nanchang 330201, China;
3. Resources & Safety Engineering School, China University of Mining & Technology (Beijing) Beijing 100083, China)

Abstract: In order to research the mechanism and reasons of surface collapses in Qujiang Mine, based on the data of the temporal and spatial characteristics of surface collapses, the results of geological exploration, the seasonal change law of annual precipitation, the record data of earthquakes and the conditions of coal mining in Qujiang Mine, the temporal and spatial relationship analysis between causes of nine surface collapses and several factors was carried out, including underground caves, precipitation, earthquakes and mining. The results showed that soil caves existed around surface collapses, the burial depth and relative distance mostly less than 20 m, so the underground caves in shallow and thin cap rock were essential internal cause of surface collapses, and in March, the water level was minimum, the precipitation were at most from April to June, occurring seven collapses, so the groundwater lowering and cap rock weakening in rainy season were direct external cause, moreover the interval time between occurring collapses and earthquakes was within 3 months, except No. 1 surface collapse, so earthquakes were induced external cause, finally, the correlation between underground mining and surface collapses was not obvious, but the location of surface collapses was influenced by mining.

Key words: surface collapses; karst caves; mining influence; precipitation; earthquake

0 引言

矿区地表塌陷是一种常见的矿山地质灾害,可分为开采引起的地表塌陷和岩溶引起的地表塌陷,均会破坏矿区生态环境,对地表建(构)筑物造成严重

重损坏^[1-2]。对于开采引发的地表塌陷规律,国内学者进行了大量的现场实测及理论分析研究,结果表明开采引起的地表塌陷对环境 and 建(构)筑物的影响是可控的。例如:对峰峰矿区地表移动规律^[3-4]、邢台矿区巨厚松散层下开采地表移动规

收稿日期:2016-10-10;责任编辑:曾康生 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.01.030

基金项目:国家科技重大专项资助项目(2016ZX05068002-003)

作者简介:胡炳南(1960—),男,浙江金华人,研究员,博士。Tel: 13601299120 E-mail: hubingnan@tdkcsj.com

引用格式:胡炳南,江中乐,郭文砚.曲江煤矿地表塌陷成因时空关系分析[J].煤炭科学技术,2017,45(1):189-193.

Hu Bingnan, Jiang Zhongle, Guo Wenyan. Temporal and spatial analysis of surface collapses factors in Qujiang Mine [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 189-193.

律^[5-6]、块段开采条件下地表的移动变形计算^[7]等研究,采用概率积分、剖面函数等方法来描述地表塌陷变形的分布规律与预计采动影响的范围和程度,可通过协调开采、局部开采、充填开采等技术措施^[8-10]来控制地表变形与塌陷。但是对于岩溶塌陷,由于赋存条件复杂,塌陷具有突发性,对建(构)筑物的破坏性更大,危害性更强。20世纪70年代至今,国内学者对岩溶塌陷的分布特征、发育规律、成因机理做了大量研究工作,取得了较多成果。岩溶地表塌陷存在于我国大部分岩溶地质环境的矿区,研究表明产生塌陷的3大主要因素为井下孔洞、覆盖层及动力因素^[11-15],塌陷产生机理常以地下水位变动产生的作用(潜蚀作用、真空吸蚀作用、压强差作用)为主,并伴有其他作用,单一作用几乎不存在^[16-19]。目前国内关于单个因素对岩溶塌陷的影响研究较多,但对于多种因素与岩溶塌陷的时空关系研究不多,笔者对曲江煤矿9处地表塌陷特征成因与地下孔洞、降水量、地震、开采等因素之间进行了时间与空间关系分析,揭示了该矿区地表塌陷机理,为类似条件的地质灾害防治提供借鉴。

1 地质采矿条件

曲江煤矿年生产能力90万t,主采B4煤层,煤层厚2.8~3.0m,采用综采走向长壁采煤方法。所在地区地形平坦,平均标高+35.0m。由钻孔揭示的地层条件由下向上依次为二叠系、三叠系、侏罗系和第四系。其中,二叠系上部赋存有厚达145~250m的巨厚长兴灰岩层,该岩层底部硅质高,岩性硬而脆,富含碳酸钙,可溶性高,经长期溶蚀作用,溶洞发育,并易在侏罗系和第四系中形成土洞。第四系覆盖层厚度较小,仅0~17m,且结构松散。

2 地表塌陷主要因素分析

国内外学者通过分析大量调查研究成果,得出有关岩溶地表塌陷的一些基本认识。对于地表塌陷,一般有以下3个主要影响因素。

2.1 井下孔洞因素

井下孔洞(溶洞和土洞)的存在是地表塌陷产生的本质因素。孔洞体积越大、越多,孔洞水平横断面面积越大、深度越小,就越易发生地表塌陷。

2.2 覆盖层因素

没有厚固结覆盖层,是地表塌陷的结构因素。

据统计,国内土盖层地表塌陷约占塌陷总数的97%,薄基岩盖层岩溶地表塌陷约占总数的3%。土层和泥岩盖层受雨季浸泡,强度易弱化,因而,在已报道的岩溶塌陷中,绝大多数是土盖层(无基岩盖层)的开口溶洞塌陷。

2.3 动力因素

动力因素是诱发地表塌陷的外在因素,比如:大规模降水、抽地下水、排地下水等引起的地下水变化的真空吸压作用,地表加载和地震振动等因素,也包括采矿活动对覆岩和地表影响的动力因素。

3 现场技术调查

3.1 地面塌陷

曲江煤矿地面塌陷点9处,按塌陷发生时间顺序,塌陷点从1到9编号,各个塌陷点的塌陷时间及塌陷情况见表1。4号塌陷的形状如图1所示。

表1 曲江煤矿地面塌陷情况

Table 1 Conditions of surface collapses in Qujiang Mine

点号	塌陷时间	塌陷情况
1	2013年	圆形塌陷,直径3.7m,深度1.5m
2	2013年5月	局部沉陷,面积约30m ² ,下沉1~2m
3	2014年3月7日	圆形塌陷,直径约4m,深度约2m
4	2014年3月8日	圆形塌陷,直径45~50m,深度86m
5	2014年3月17日	椭圆塌陷,长短轴4.0m×2.5m,深度1.5m
6	2014年6月21日	椭圆塌陷,长短轴2m×1m,深度3m
7	2014年12月25日	椭圆塌陷,长短轴4m×3m,深度2m
8	2015年3月10日	圆形塌陷,直径5.5m,深度0.5~2.5m
9	2015年4月13日	圆形塌陷,直径4.5m,深度0.5~1.2m



图1 曲江煤矿内4号塌陷形状

Fig. 1 Shape of No.4 surface collapse in Qujiang Mine

3.2 地下孔洞

通过物探方法,在勘探区一共发现61个井下孔洞。其中,土洞有19个,发育在浅部侏罗系和第四系,距地面10~30m,体积137~29 229 m³,上千立方米的有11个;溶洞有42个,发育在石灰岩内,距地面110.5~335.0m,体积1 010~154 825 m³,上万立方米

的有19个。土洞、溶洞发育为地面塌陷创造了条件。

3.3 地面降水量

根据丰城市曲江镇2001—2014年降水量资料,对降水量进行了按月的统计,见表2。2001—2014

年平均全年降水量为1 647.4 mm,4—6月累计平均降水量760.1 mm,占年平均降水量的46.1%。说明,丰城市曲江镇降水量分布不均,大多数暴雨、洪涝和灾害发生在4—6月。

表2 丰城市曲江镇降水量统计
Table 2 Precipitation statistics in Qujiang Town of Fengcheng City

年度	年降水量/mm												全年
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
2001	116.0	106.1	162.2	271.3	91.3	232.4	84.1	116.4	1.0	45.3	108.4	102.2	1 436.7
2002	64.4	35.3	173.1	304.5	319.7	281.7	221.5	107.8	82.5	143.5	103.5	99.2	1 936.7
2003	79.9	120.3	101.8	239.2	246.4	278.7	36.4	32.5	55.6	36.5	73.4	23.3	1 324.0
2004	50.2	213.1	141.2	135.4	232.1	101.2	154.4	378.9	42.6	2.0	64.0	65.3	1 580.4
2005	100.4	239.3	114.6	114.1	391.8	219.8	96.6	63.2	136.5	50.7	178.1	53.4	1 758.5
2006	66.9	108.3	105.4	281.7	303.7	392.2	54.0	167.5	82.8	34.0	78.6	18.0	1 693.1
2007	55.5	111.8	157.6	151.6	126.3	182.3	110.0	107.8	71.2	0.1	9.2	55.0	1 138.4
2008	84.6	67.7	183.3	238.5	148.2	344.2	128.6	115.7	43.4	25.1	198.4	12.2	1 589.9
2009	28.5	78.7	289.7	220.5	147.0	139.0	223.3	92.1	15.0	12.5	74.0	49.9	1 370.2
2010	90.5	105.8	217.5	311.0	443.5	491.4	101.3	106.5	92.0	75.1	24.5	174.4	2 233.5
2011	43.2	45.7	84.6	126.0	93.5	402.9	139.4	79.7	5.6	93.6	30.0	24.3	1 168.5
2012	103.7	125.3	240.1	274.6	293.1	330.4	158.8	65.2	218.5	34.1	256.1	142.7	2 242.6
2013	18.3	128.6	229.3	263.2	185.6	247.5	71.9	73.0	43.4	15.7	127.1	64.2	1 467.8
2014	33.0	144.3	297.0	150.2	349.2	545.0	295.5	140.1	70.3	7.6	76.7	15.1	2 124.0
平均	66.8	116.4	178.4	220.1	249.8	199.2	133.8	117.6	68.6	41.1	100.1	64.2	1 647.4

3.4 地震

根据江西省地震局的资料,2004—2008年丰城市曲江镇无地震记录;2009年7月—2015年1月期间,曲江镇共发生地震8次(表3)。

表3 2009年以来丰城市曲江镇地震记录
Table 3 Earthquake records of Fengcheng City since 2009

日期(年-月-日)	震级/ML	深度/km
2009-07-15	1.2	8
2010-07-09	1.4	8
2011-09-23	2.6	—
2012-04-09	2.3	5
2012-04-09	—	6
2012-10-25	1.8	8
2013-05-07	2.1	6
2014-03-18	2.0	19
2015-01-30	1.6	15

4 地表塌陷原因时空关系分析

4.1 井下孔洞发育且盖层薄原因

曲江煤矿9个地表塌陷点中,8个地表塌陷点(除4号塌陷深度86 m以外)的塌陷深度在3 m以内、均较小;地表塌陷点所处地层均为第四系、侏罗系地层,属于土洞塌陷,并且从9个地表塌陷点位置分析,其下都为长兴灰岩的地层,灰岩岩溶溶洞普遍发育。根据物探结果,地表塌陷点下方及其周边均

分布有井下孔洞,赋存和距离情况见表4(2、3、5和6号地表塌陷点没有进行物探区)。勘探区范围内的1、4、7、8、9号地表塌陷点与较浅溶洞的水平距离为4.5~60.0 m,多数小于20 m;溶洞埋深为16.7~90.2 m,多数小于20 m。

表4 地表塌陷点与溶洞的关系
Table 4 Relationships between surface collapse point and karst cave

点号	附近溶洞号	溶洞埋深/m	水平距离/m
1	51	19.6	4.5
4	4	90.2	20
7	39	42.6	60
8	40	16.7	5
9	42	18.7	12

土洞是形成地表塌陷的必要条件之一。受地面降水影响,地下水位动态变化反复对浅部土层产生推拉和剪切作用,加快了土层的崩解剥落,由于曲江煤矿长兴岩溶溶洞发育,地下水流动容易带走上覆松软土体通过岩溶裂隙进入溶洞空间,形成浅层土洞。而该区大多数地表塌陷点附近均具有埋深较浅的土洞和溶洞。可以说明:浅层土洞覆盖层薄、强度低,极易出现塌陷,所以该区井下空洞(土洞和溶洞)的发育且盖层薄是本区地表塌陷的本质原因。

4.2 地下水位下降和雨季盖层软化原因

在地下水流动浸泡作用下,会加快浅层土洞的扩展发育。而在井下孔洞相对封闭的条件下,地下水位下降将引起真空吸作用。地下水位下降越深,拉拽孔洞盖层的吸力也越大。地下水位下降引起的真空吸蚀作用结果,就会引起地表土洞塌陷。

通过分析2001—2014年不同月份降水量发现,每年4—6月为雨季,其降雨量占年平均降水量的46.1%。经过雨季补充后,地下水位上升,之后,会随着地面降水量减少,地下水位降低。根据实测资料,地下水位峰值一般滞后降水量峰值1~2个月^[20],可知每年3月为地下低水位时期。地下水位下降,加速了地表塌陷,见表5。

表5 地表塌陷与年平均降水量关系

Table 5 Surface collapses related to annual precipitation

月份	平均降水量/mm	地表塌陷年份和塌陷号
1	66.8	—
2	116.4	—
3	178.4	2014年:3、4、5号塌陷;2015年:8号塌陷
4	220.1	2015年:9号塌陷
5	240.8	2013年:2号塌陷
6	299.2	2014年:6号塌陷
7	134.0	—
8	117.6	—
9	68.6	—
10	41.1	—
11	101.0	—
12	64.2	2014年:7号塌陷

从表5可看出,3月地表塌陷最多,有4个地表塌陷(2014年3个,2015年1个),3、4、5、8号塌陷均在这个地下低水位时期。同时,由于4—6月雨季降水量集中,雨水浸泡土体,使得地表土体盖层强度急剧下降,伴随地下水流动作用引起地面突然塌陷,发生了3个塌陷。因此,地下水位下降和雨季盖层弱化是引起曲江煤矿地表塌陷的直接外因。

4.3 地震振动原因

根据2001年以来丰城市曲江镇地震记录,对地表塌陷与地震的相关性进行分析,发现具有明显相关性:2001—2008年8年时间内无地震,2001—2012年也无地表塌陷记录;2013年5月7日发生地震,在5月就发生2号塌陷;2014年3月18日发生地震前后,在3月7日、3月8日、3月17日和6月21日分别出现了3、4、5和6号塌陷;2015年1月30日发生地震,在其前2014年12月25日、2015年3月10日和4月13日分别出现了7、8、9号塌陷。地

震与塌陷发生时间均在3月之内,见表6。通过分析,2013年后记录的3起地震,深度为6~19 km,而塌陷深度主要集中为0.5~3.0 m,即使最深的4号塌陷,深度为86.0 m,也与地震震源深度相差甚远,分析认为,本区地表塌陷是地震引发,地震是本区地表塌陷的诱导因素。

表6 地表塌陷与地震发生时间关系

Table 6 Surface collapses related to earthquake

地震时间 (年-月-日)	塌陷时间(年-月-日)和塌陷号
2013-05-07	2013-05的2号塌陷
2014-03-18	2014-03-07的3号塌陷;2014-03-08的4号塌陷; 2014-03-17的5号塌陷;2014-06-21的6号塌陷
2015-01-30	2014-12-25的7号塌陷;2015-03-10的8号塌陷; 2015-04-13的9号塌陷

4.4 井下开采原因

开采依据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中硬覆岩条件下导水断裂带预计公式,开采后覆岩破坏产生导水断裂带的最大高度约为42 m,而长兴灰岩岩溶裂隙承压含水层距离开采的B4煤层大于300 m,中间还有相对的隔水层,采煤工作面内没有灰岩水,开采不会引起长兴灰岩含水层失水。而通过对9个地表塌陷点位置、塌陷时间和地表变形情况关系进行了初步分析,均得不出明显规律。但客观地说,地下开采会改变地层受力状态,不可避免引起一定范围内的围岩和地表移动变形。这些移动变形对在影响范围内的土洞和溶洞是有影响的。因此,井下开采也是影响本区地表塌陷的因素之一。

5 结 论

综上所述,可得出曲江煤矿地表塌陷的如下原因。

1) 浅部井下孔洞存在和盖层薄是曲江煤矿地表塌陷的本质原因。该区塌陷点周边均存在浅层土洞,没有基岩盖层且大部分埋深小于20 m;区内岩溶溶洞发育,既是形成土洞的条件,也是导致地表塌陷的内因。

2) 地下水位下降和雨季盖层弱化是地表塌陷的直接外因。地表塌陷多发生在3—6月,而该时段正是地下水位较低和地面降水量较集中时期。由于地下水位下降,空洞内形成了相对真空,吸蚀盖层并使其向下垮落;同时,集中降雨,使得地表土体盖层强度急剧弱化,破坏土的结构。

3) 地震振动是地表塌陷的诱导因素。地震时的强烈振动会是诱发井下孔洞塌陷。对比地表塌陷时间与地震记录发现,曲江煤矿所有地表塌陷均发生在地震前后,大多数地表塌陷均发生在地震前后,说明地表塌陷与地震具有明显相关性。

4) 地下开采对地表塌陷位置有一定影响,尽管地表塌陷与开采影响间相关性不明显,但井下开采也是本区地表塌陷的因素之一。

参考文献(References):

- [1] 王明立.煤矿开采诱发岩溶地表塌陷的机理分析[J].煤炭科学技术, 2014, 42(8): 5-8.
Wang Mingli. Analysis on karst cover collapsing mechanism caused by underground coal mining [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(8): 5-8.
- [2] 胡炳南.丰城矿区坪湖煤矿岩溶塌陷破坏研究[J].矿山测量, 2012(6): 1-4.
Hu Bingnan. Research on the destroy of karst surface collapse in Pinghu mine of Fengcheng Mining Area [J]. Mine Surveying, 2012(6): 1-4.
- [3] 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:煤炭工业出版社, 2000.
- [4] 王金庄,邢安仕,吴立新.矿山开采沉降及其损害防治[M].北京:煤炭工业出版社, 1995.
- [5] 王金庄,李永树,周雄.巨厚松散层下采煤地表移动规律研究[J].煤炭学报, 1997, 22(1): 18-21.
Wang Jinzhuang, Li Yongshu, Zhou Xiong, et al. Ground movement caused by mining under thick alluvium [J]. Journal of China Coal Society, 1997, 22(1): 18-21.
- [6] 李永树,王金庄,周雄.PTS采动沉降模型研究[J].河北煤炭建筑科技学院学报, 1998(3): 32-39.
Li Yongshu, Wang Jinzhuang, Zhou Xiong. Study on the subsidence pattern of PTS [J]. Journal of Hebei Mining and Civil Engineering Institute, 1998(3): 32-39.
- [7] 吴立新,王金庄,周延安.等.建(构)筑物下压煤开采理论与实践[M].徐州:中国矿业大学出版社, 1994.
- [8] 郭惟嘉,刘伟韬,张文泉.矿井特殊开采[M].北京:煤炭工业出版社, 2008.
- [9] 戴华阳,郭俊廷,阎跃观.等.“采-充-留”协调开采技术原理与应用[J].煤炭学报, 2014, 39(8): 1062-1070.
Dai Huayang, Guo Juntao, Yan Yueguan, et al. Principle and application of subsidence control technology of mining coordinately mixed with backfilling and keeping [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1062-1070.
- [10] 瞿群迪,姚强岭,李学华.等.充填开采控制地表沉降的关键因素分析[J].采矿与安全工程学报, 2010, 27(4): 458-462.
Qu Qundi, Yao Qiangling, Li Xuehua, et al. Key factors affecting control surface subsidence in backfilling mining [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(4): 458-462.
- [11] 金晓文,陈植华,曾斌.等.岩溶塌陷机理定量研究的初步思考[J].中国岩溶, 2013, 32(4): 437-446.
Jin Xiaowen, Chen Zhihua, Zeng Bin, et al. Preliminary thinking of quantitative research on the mechanism of karst collapse [J]. Car-sologica Sinica, 2013, 32(4): 437-446.
- [12] 欧阳振华,蔡美峰,李长洪.地表塌陷中隐伏土洞的形成与扩展机理研究[J].金属矿山, 2006, 30(6): 16-19.
Ouyang Zhenhua, Cai Meifeng, Li Changhong. Study on formation and expansion mechanism of hidden soil cavity in ground collapse [J]. Metal Mine, 2006, 30(6): 16-19.
- [13] 王滨,贺可强,高宗军.岩溶塌陷发育的时空阶段性分析[J].水文地质工程地质, 2001, 28(5): 24-27.
Wang Bin, He Keqiang, Gao Zongjun. Space and time analysis of the development of karst collapse in stage [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2001, 28(5): 24-27.
- [14] Bingnan Hu. Study on strata movement control of twice strip mining. Resources and Sustainable Development [C]. Zurich-Durnten: Trans Tech Publications Ltd, 2014: 1085-1090.
- [15] 余业雄,欧阳振华.地下水位下降引起地表塌陷的作用机理研究[J].露天采矿技术, 2005(3): 20-22.
Yu Yexiong, Ouyang Zhenhua. Research on the activity acting mechanism of surface collapse caused by the groundwater lowering [J]. Opencast Mining Technology, 2005(3): 20-22.
- [16] 王滨,李治广,董昕.等.岩溶塌陷的致塌力学模型研究[J].自然灾害学报, 2011, 20(4): 119-125.
Wang Bin, Li Zhiguang, Dong Xin, et al. Study on mechanical model of karst collapse [J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(4): 119-125.
- [17] 王卫军,赵延林,李青锋.等.矿井岩溶突水灾变机理[J].煤炭学报, 2010, 35(3): 443-448.
Wang Weijun, Zhao Yanlin, Li Qingfeng, et al. Disaster mechanism of karst water bursting in mine [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(3): 443-448.
- [18] 康彦仁.论岩溶塌陷形成的致塌模式[J].水文地质工程地质, 1992, 19(4): 32-34.
Kang Yanren. Collapse causing models in karstic collapse process [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1992, 19(4): 32-34.
- [19] 张丽芬,曾夏生,姚运生.等.我国岩溶塌陷研究综述[J].中国地质灾害与防治学报, 2007, 18(3): 126-130.
Zhang Lifen, Zeng Xiasheng, Yao Yunsheng, et al. Review on karst collapse in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007, 18(3): 126-130.
- [20] 刘瑞国,王文.地下水位变化与降水的关系分析[J].地下水, 2009, 31(5): 42-44.
Liu Ruiguo, Wang Wen. Analysis on relation between groundwater level changes and precipitation [J]. Ground Water, 2009, 31(5): 42-44.