

技术方法

平邑县安泰石膏矿采空区稳定性综合评价方法

孟婷婷,马鹏

(临沂市国土资源局,山东临沂 276000)

摘要:石膏矿采空区的治理难度大、成本高。为科学决策石膏矿采空区的防治措施,需要准确评价采空区稳定性。在分析各种石膏矿采空区稳定性评价方法的基础上,该文提出了一种联合应用综合评判法和矿柱安全系数法的综合评价方法。该文以平邑县安泰石膏矿采空区的稳定性评价为例,介绍了该综合评价方法的应用过程。综合评价结果表明,该采空区有7个分区处于不稳定状态,评价结果与地表观测结果吻合较好。实践表明,该综合评价方法评价过程简便,评价结果准确,可以为其他石膏矿采空区稳定性评价提供借鉴。

关键词:石膏矿;采空区;稳定性;综合评价法

中图分类号:TD73

文献标识码:B

引文格式:孟婷婷,马鹏.平邑县安泰石膏矿采空区稳定性综合评价方法[J].山东国土资源,2018,34(7):73-77.

MENG Tingting, MA Peng. Comprehensive Stability Evaluation Method of Goaf in Antai Gypsum Mine in Pingyi County[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(7): 73-77.

0 引言

临沂市石膏资源丰富,目前已探明的储量位居全国地级市第二位。大规模的开采石膏矿,一度促进了地方经济的发展,但创造经济效益的同时也留下了极大的安全隐患。大面积的采空区导致地质灾害频发,2015年12月25日,玉荣商贸有限公司石膏矿区发生的采空区坍塌事故就是其中一例。该事故导致1人死亡,13名矿工失联,360余公顷(5400余亩)农田受损,同时塌陷造成周围几个村庄的民房受损、地下水位下降,严重危害了人民群众的生命和财产安全^[1]。各级政府高度重视石膏矿采空区防治工作,要求按照“先急后缓、突出重点、防治结合、务求实效”的原则,对经调查评价确认稳定性较差、危险性较大、可能造成重大生命和财产安全隐患的采空区,要优先安排资金,率先开展隐患治理。因此,准确评价各采空区的稳定情况,为采空区防治措施选择和资金安排提供科学依据显得尤为重要。

石膏矿采空区稳定性评价,目前常用4种方法:第一种是参照地质和开采条件类似的矿山相关经验,判断采空区稳定性的经验类比法^[2-3],如

Mathews 稳定图法。该方法需要大量的经验,且各采空区情况不尽相同,一般无法准确判断。第二种是借助各种计算机模拟软件,通过简化各种地质和力学参数、设置模拟条件,计算采空区受力状态,判断采空区稳定性的数值模拟法^[4-5]。采空区地质条件和受力状态复杂多变,模拟参数难以简单量化,模拟结果有时与实际出入较大。第三种是应用最为广泛的数学预测法,首先选择影响采空区稳定性的各种因素,然后利用各种数学预测方法定量计算采空区稳定性,最后与预先设定的评价指标进行对比得到采空区的稳定性。综合评判法、集对理论、模糊综合评判法、综合指数法都属于数学预测法的范畴^[6-9]。该方法受评价因素及其权重影响较大,评价因素越全面、各因素权重越合理,预测结果就越准确。第四种是力学分析法,该方法认为矿柱和护顶层是影响石膏矿采空区稳定性的主要因素,通过计算矿柱安全系数和护顶层抗压破坏安全系数,判断采空区的稳定性^[10-11],经室内实验和实地验证,认为评价结果较为客观准确,但力学参数是否具有代表性将直接决定评价结果准确与否。

以上4种评价方法各有优缺点,单独应用其中

收稿日期:2017-12-07;修订日期:2018-01-17;编辑:曹丽丽

作者简介:孟婷婷(1985—),女,山东临沂人,工程师,经济师,主要从事国土资源管理工作;E-mail:18763483@qq.com

一种可能得不到准确的评价结论。综合评判法考虑的影响因素较为全面,评价过程简便,结果较准确;而矿柱稳定性是最能直接反映采空区稳定性的指标,因此,该文尝试联合综合评判法和矿柱安全系数法,以求全面、客观、准确地评价石膏矿采空区的稳定性。

1 矿区基本情况

平邑县安泰石膏矿始建于1994年10月,设计开采矿层为Ⅲ矿层,年设计生产能力为20万t。采取一对斜井开拓,开采方式为地下开采,设计开采标高从+170 m~-250 m。根据矿体赋存情况,在倾向上,先采上山后采下山,上(下)山均由高处向低处回采。矿床呈层状赋存于卞桥组二段岩层中,含矿1层,矿层产状与地层产状一致,走向100°~108°,倾向NE,倾角16~23°,区域上对比相当于Ⅲ矿层。

矿区范围内地质资源储量315.7万t,扣除断层保安矿柱、村庄保安矿柱、井筒保安矿柱及边角损失

共计76.4万t后,可利用资源储量为239.3万t。开采回采率为29.9%,可采出矿石量为71.6万t,综合回采率为22.7%。矿山采用房柱式采矿方法采矿,矿房之间留连续矿柱,矿房宽度8 m,矿柱宽度6 m。盘区长度一般为200 m。矿房高度一般不超过10 m,留护顶厚度一般2.0 m,底膏层留1.0 m。闭坑时,矿柱不回收,为永久性矿柱。回采工艺选择浅眼爆破法落矿,采后依靠所留矿柱有效地支承采场顶板。

矿山现有采空区共划分为9处(编号依次为C1,C2,……,C8,C9),其中C1采空区形成于1996年;C2采空区形成于1997—1998年;C3采空区形成于1999—2000年;C4采空区形成于2002年;C5采空区形成于2003年;C6采空区形成于2000—2001年;C7采空区形成于2004—2005年;C8采空区形成于2008—2009年;C9采空区形成于2010—2013年,各采空区基本情况如表1所示。

表1 采空区基本情况

采空区特征	采空区编号								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
存在时间(a)	21	19	17	15	14	16	12	8	4
面积(m ²)	13800	25500	12000	1900	9800	5300	1800	9600	12800
最大埋深(m)	105.3	131.7	156.2	164.5	116.7	174.5	196.4	243.9	274.1
矿柱面积比率	63	65	60	60	64	62	65	63	60
矿柱尺寸	宽6m,高10m								
来压情况	无明显矿压显现								
含水情况	均有大量积水								
周边情况	均存在塌陷区、高应力区等大量不利情况								
矿柱情况	矿柱部分风化,有剥落现象								
护顶层情况	留设厚度0.5~1.5 m之间,完整连续,局部有开裂现象								
连通情况	通过运输巷道连通								
上下重叠情况	无重叠现象								

2015年10月至2016年3月该石膏矿陆续发生了七起采空塌陷,地表塌陷面积约2 km²。塌陷区中心最大坍塌深度约3~4 m,在公路路面及两侧农田内形成整体呈SN向的多条地裂缝,裂缝最宽处约0.3 m,受塌陷区边缘拉张裂缝影响,公路路面挤压隆起,附近部分房屋倾斜,墙体斑裂,门窗破碎,严重危害了群众的生命财产安全。

2 基于综合评判法的采空区稳定性评价

2.1 确定影响因素

采空区的稳定性受地质条件、开采条件、周围环境等众多因素影响,该文根据国内相关研究^[2,6,12-13],采用采空区形成时间、采空区面积、采空区矿柱面积比率、矿柱宽高比、采空区是否有水、采空区当前来压情况、采空区周边情况7个因素,综合分析采空区稳定性。

2.2 影响因素权重赋值

影响采空区稳定性的各因素对采空区稳定性的

影响程度是不同的,各因素之间也不是单独作用、毫无关联的,而是具有一定联系的。为反映 7 个影响因素的综合影响,需赋予各个因素不同的权重。结合相关研究成果^[4]及工作经验,确定各因素的权重为:采空区存在时间 W_1 为 0.18;采空区面积 W_2 为 0.09;矿柱面积比率 W_3 为 0.14;矿柱宽比高 W_4 为 0.16;采空区来压情况 W_5 为 0.20;采空区是否有水

W_6 为 0.12;采空区周边情况 W_7 为 0.11。

2.3 单个影响因素分级赋值

每个影响因素都存在不同的情况,需要对每个因素按照不同级别赋予不同的分值。约定对单个因素来说,影响程度越大,分值越高。结合相关研究成果及工作经验,确定单个影响因素分级赋值结果如表 2 所示。

表 2 各影响因素分级赋值

影响因素	分级赋值标准		
	80	50	30
存在时间(T)	>10 年	5 年<T≤10 年	≤5 年
面积(A)	>20000m ²	2000<A≤20000m ²	≤2000m ²
矿柱面积比率(R)	≤50%	50%<R≤65%	>65%
矿柱宽比高(B)	≤1/2	1/2<B≤1	>1
来压情况(P)	显现且范围较大	局部显现	无明显矿压显现
是否有水(W)	较大范围积水	局部积水、潮湿	干燥
周边情况(S)	周边存在塌陷区、高应力区等大量不利情况	周边存在少量或局部塌陷区等不利情况	无明显不利情况

2.4 采空区稳定性的综合评判标准

设采空区第 i 个影响因素的权重为 W_i ,实际分值为 F_i ,则该采空区的综合得分为:

$$P = \sum W_i \cdot F_i$$

工程实践表明,采空区稳定性采用以下评判标准较为合理:当 $P > 55$ 分时,判定为不稳定采空区;当 $42 < P \leq 55$ 分时,判定为基本稳定采空区;当 $P \leq 42$ 分时,判定为稳定采空区。

2.5 评价结果

根据表 1 中各采空区的基本特征,应用综合评

判法,对 C1~C9 采空区稳定性进行了评价,结果如表 3 所示,可以看出,C1~C7 为不稳定采空区,C8,C9 为基本稳定采空区。这与国内众多专家研究结果较为一致^[6,10],石膏矿矿柱的稳定支撑时间大概为 10 年,5 年以内的矿柱稳定性较好。近期部分采空区地表又出现了一些细小的裂缝,有进一步垮塌的危险,与评价结果较为一致。

表 3 采空区稳定性评价

影响因素	采空区编号								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
存在时间(T)	80	80	80	80	80	80	80	50	30
面积(A)	50	80	50	30	50	50	30	50	50
矿柱面积比率(R)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
矿柱宽比高(B)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
来压情况(P)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
是否有水(W)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
周边情况(S)	80	80	80	80	80	80	80	80	80
综合分值	58.3	61.0	58.3	56.5	58.3	58.3	56.5	52.9	49.3
稳定性分类	不稳定采空区	不稳定采空区	不稳定采空区	不稳定采空区	不稳定采空区	不稳定采空区	不稳定采空区	基本稳定采空区	基本稳定采空区

3 基于矿柱安全法的采空区稳定性评价

国内专家的研究表明,石膏矿采空区失稳的形

式主要有两种,一种是矿柱失稳,导致顶板大面积坍塌,甚至造成地表塌陷;另一种是矿柱稳定,顶板岩层破坏,该类事故多发生在单个采场或小面积区域

内^[14-15]。因此,采空区是否稳定可以通过矿柱强度与矿柱所受应力对比来进行预测。评价过程如下:

3.1 矿柱的平均应力

矿柱的面积承载理论认为,矿柱所承受的载荷是其所支撑的顶板范围内直通地表的上覆岩柱的重力,该岩柱的底面积 S 为按岩柱分摊的开采面积与矿柱自身面积之和。以矩形矿柱为例,矿柱的平均应力为:

$$\sigma_p = rz \left(1 + \frac{W_o}{W_p} \right)$$

式中: γ 为岩石容重(kN/m^3); z 为埋藏深度(m); W_o 为矿房宽度(m); W_p 为矿柱的宽度(m)。

3.2 矿柱强度

Bieniawski 矿柱强度公式来源于面积承载理论,该理论在矿山生产中应用较多,预测结果的准确度较高,计算公式如下^[14]:

$$S_p = S_l \left[0.64 + 0.36 \left(\frac{W_p}{h} \right)^a \right]$$

式中: S_p 为矿柱的强度(MPa); S_l 为矿柱平均抗压强度(MPa); W_p 为矿柱的宽度(m); h 为矿柱的高度(m); a 为常数,当矿柱宽高比大于 5 时, $a=1.4$,而当宽高比小于 5 时, $a=1.0$ 。

3.3 矿柱安全系数

根据 Bieniawski 推荐的矿柱强度设计公式及矿柱载荷计算公式,计算矿柱结构的安全系数 F ,其公式为:

$$F_p = \frac{S_p}{\sigma_p}$$

根据国内生产矿山的实践经验总结及彭斌等人的研究成果^[15],当石膏矿柱的安全系数为 1.5~2.0 时,矿柱能满足长期稳定性的要求。

3.4 评价结果

应用矿柱安全法对 C1~C9 采空区稳定性进行了评判,结果如表 4 所示,可以看出,该石膏矿的 9 个采空区矿柱安全系数均小于 1.5,不满足长期安全要求。

表 4 矿柱安全法评价结果

编号	岩石容量 (kN/m^3)	埋藏深度 (m)	矿房宽度 (m)	矿柱宽度 (m)	矿柱高度 (m)	常数	矿柱平均 抗压强度 (MPa)	矿柱平均 应力(MPa)	矿柱强度 (MPa)	安全 系数
C1	27.4	300	8	6	10	1	32.8	19.18	28.08	1.46
C2	27.4	350	8	6	10	1	32.8	22.38	28.08	1.25
C3	27.4	305	8	6	10	1	32.8	19.50	28.08	1.44
C4	27.4	305	8	6	10	1	32.8	19.50	28.08	1.44
C5	27.4	320	8	6	10	1	32.8	20.46	28.08	1.37
C6	27.4	350	8	6	10	1	32.8	22.38	28.08	1.25
C7	27.4	305	8	6	10	1	32.8	19.50	28.08	1.44
C8	27.4	305	8	6	10	1	32.8	19.50	28.08	1.44
C9	27.4	350	8	6	10	1	32.8	22.38	28.08	1.25

4 结论

该文应用综合评判法和矿柱安全系数法对石膏矿稳定性进行了综合评价,两种方法评价结果较为一致。综合评判法表明,目前已有 7 个采空区处于不稳定状态,矿柱安全系数法表明所有采空区的矿柱均不能满足长期稳定的要求。地表观测结果表明,评价结论与实际情况吻合较好。评价结果为预测采空区稳定性发展趋势和分类治理提供了科学的依据,该方法可以为其他地区石膏矿采空区稳定性评价提供借鉴。

参考文献:

- [1] 杨明,郭长胜,杨月,等.山东省平邑玉荣石膏矿“12.25”事故救援过程中的水文地质问题分析[J].山东国土资源,2016,32(12):41-49.
- [2] 李国新.某石膏矿采空区稳定性评价[J].湖南有色金属,2015,31(3):7-9.
- [3] 胡高建,杨天鸿,胡忠强,等.基于 Mathews 稳定图等方法的多角度采空区群稳定性分析评价[J].采矿与安全工程学报,2017,34(2):348-354.
- [4] 彭欣,崔栋梁,李夕兵,等.特大采空区近区开采的稳定性分析[J].中国矿业,2007,16(4):70-73.
- [5] 罗周全,谭浪浪,邓俏.基于 FLAC3D-RSM 的采空区失稳概率分析及验证[J].科技导报,2012,30(10):43-48.
- [6] 郑茂兴,陈明磊,杨久富,等.石膏矿采空区稳定性分类的综合

- 评判法研究[J].化工矿物与加工,2012(5):24-27.
- [7] 肖超,郑怀昌,武文治,等.基于集对分析的石膏矿采空区稳定性评价[J].中国矿业,2014,23(10):107-110.
- [8] 陈江军,刘波余,荣华,等.基于模糊综合法的采空区稳定性评价—以荆门市子陵石膏矿采空区为例[J].资源环境与工程,2016,30(6):927-932.
- [9] 康钦容,张卫中,倪小山,等.采空区稳定性评价的综合指数法[J].资源环境与工程,2016,30(6):927-932.
- [10] 郑怀昌,赵小稚,李明,等.采空区顶板大面积冒落危害及其控制[J].化工矿物与加工,2004(12):28-31.
- [11] 廖文景.石膏矿采空区积水对矿柱稳定性的影响分析[J].采矿技术,2009,9(3):52-53.
- [12] 李明,郑怀昌,刘志河,等.石膏长期强度对采空区稳定性的影响分析[J].化工矿物与加工,2010(2):21-23.
- [13] 刘沐宇,徐长佑.硬石膏的流变特性及其长期强度的确定[J].中国矿业,2000,9(2):53-55.
- [14] 廖文景,徐必根,唐绍辉.石膏矿采空区稳定性主要影响因素正交试验研究[J].矿业研究与开发,2011,31(6):14-17.
- [15] 彭斌,陈才贤,杨军伟.石膏矿矿柱稳定性分析及试验研究[J].采矿技术,2011,11(2):18-21.

Comprehensive Stability Evaluation Method of Goaf in Antai Gypsum Mine in Pingyi County

MENG Tingting, MA Peng

(Linyi Bureau of Land and Resources Shandong Linyi 276000, China)

Abstract: The treatment of goaf in gypsum mine is very difficult with high cost. In order to make a scientific decision on the prevention and controlling measures of the goaf in gypsum mine, the stability of the goaf needs to be accurately evaluated. Based on the analysis of the stability evaluation methods in various gypsum mine mined out areas, a comprehensive evaluation method which will combine the comprehensive evaluation method and the pillar safety factor method together is put forward in this paper. Taking the stability evaluation of a gypsum mine goaf as an example, the application process of the comprehensive evaluation method is introduced. As showed by the comprehensive evaluation results, 7 subareas in the goaf are in unstable state. The evaluation results are in good agreement with the surface observation results. It is showed that the evaluation process of the comprehensive evaluation method is simple and accurate. It will provide some references for the stability evaluation of other gypsum mine goaf.

Key words: Gypsum mine; goaf; stability; comprehensive evaluation method