

采空区稳定性的三维有限元模拟

第六图书馆

某矿采空区的存在,可能诱发冲击地压灾害。为了评价其稳定性,应用三维ANSYS程序模拟了采空区的形成过程,并应用先进的矿柱强度理论校核了ANSYS分析结果。结果表明:该采空区不会发生冲击地压灾害,但可能发生局部冒顶。某矿采空区的存在,可能诱发冲击地压灾害。为了评价其稳定性,应用三维ANSYS程序模拟了采空区的形成过程,并应用先进的矿柱强度理论校核了ANSYS分析结果。结果表明:该采空区不会发生冲击地压灾害,但可能发生局部冒顶。采空区 冲击地压 数值模拟 有限元矿业研究与开发田显高
陈慧明 陈松树三鑫金铜股份有限公司,湖北大冶市4351002007第六图书馆

第六图书馆

www.6lib.com

采空区稳定性的三维有限元模拟

田显高, 陈慧明, 陈松树

(三鑫金铜股份有限公司, 湖北大冶市 435100)

摘要:某矿采空区的存在,可能诱发冲击地压灾害。为了评价其稳定性,应用三维 ANSYS 程序模拟了采空区的形成过程,并应用先进的矿柱强度理论校核了 ANSYS 分析结果。结果表明:该采空区不会发生冲击地压灾害,但可能发生局部冒顶。

关键词:采空区;冲击地压;数值模拟;有限元

中图分类号:TD325.3, TD853.391 **文献标识码:**A

文章编号:1005-2763(2007)01-0032-03

Tree - dimension Finite Element Analysis on Mined - out Area Stability

Tian Xiangao, Chen Huiming, Chen Songshu

(Sanxin Gold - Copper Co. ; Ltd, Daye, Hubei 435100, China)

Abstract: The existing Mined - out area may induce impact ground pressure hazard in some mine. For evaluating the stability of the mined - out area, the forming process of the mined - out area was simulation with 3d - ANSYS software, and the analyzed results were checked according to the advanced theory of ore pillar strength. The result showed that the mined - out area can not induce impact ground pressure hazard, but partial caving may occur.

Key Words: Mined - out area, Impact ground pressure, Numerical simulation, Finite element

某矿采空区分布在-2~305 m 高程之间,倾角变化较大,从0°~70°都有分布。垂直剖面线的采空区宽度一般不超过20 m,局部达到80 m。顶板跨度一般不超过20 m,局部达到35 m。从地表至-200 m 水平主要有白云岩、砂岩、灰岩和铅锌矿等4种岩体,其中铅锌矿赋存在灰岩中。岩体力学参数见表1。

该采空区顶板跨度一般都小于20 m,矿柱尺寸较大,能满足顶板稳定性的要求。现场调查可见,顶板应力集中的现象不明显,除局部出现矿柱表面破损外,未见矿柱垮塌、顶板冒顶等地压显现现象。

尽管该采空区的地压显现不明显,但相邻的另

一矿山总认为该采空区可能发生冲击地压隐患,从而影响他们的安全生产,为此,特应用三维 ANSYS 程序模拟了该采空区的形成过程,并应用先进的矿柱强度理论校核了 ANSYS 分析的结果。

表1 岩体力学参数

岩性	容重 ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹模 (GPa)	泊松比	抗拉强度 (MPa)	凝聚力 (MPa)	内摩擦角 (°)
白云岩	28.1	22.9	0.33	3.92	9.15	37
砂岩	26.4	11.4	0.20	6.80	9.80	35
铅锌矿	42.1	22.5	0.35	6.40	13.0	32
灰岩	27.4	29.4	0.25	6.67	11.70	31

1 地压显现调查分析

尽管地压显现不明显,但仍然可能发生顶板局部冒顶、片帮事故,这是因为:

(1) 绝大多数采空区都未处理,顶板悬空高度一般达10~15 m,普遍超过了《金属非金属地下矿山安全规程》(GB 6424-1996)的规定^[1],在长期暴露及风化、爆破震动、岩体重力等作用下,可能发生冒顶、片帮事故;

(2) 局部采空区、巷道围岩结构面发育,顶板风化严重,可能再次发生冒顶、片帮;

(3) 局部采场、采空区的顶板跨度过大,如斜井附近+85~+20 m 水平的采空区,部分顶板跨度超过了30 m,在长期暴露及风化、爆破震动、岩体重力等作用下,可能发生顶板折断、局部垮塌;

(4) 在未清理的破损矿柱表面,可能发生片帮事故。

地表踏勘发现,在9线~11线靠近9线一侧,曾经出现过地表塌陷。地表塌陷曾经引起地表排水沟断裂,并导致该排水沟改道。无论断裂后经过修复的排水沟,还是改道重修的排水沟,都处在将来可

收稿日期:2006-11-03

作者简介:田显高(1967-),男,湖北麻城人,高级工程师,注册安全工程师,从事矿山采矿生产与技术管理工作,Email:yaoxiang@126.com。

空区的整体稳定性较好,不会导致地表塌陷,地表塌陷可能是由于浅层的老采空区、老采洞或采矿疏干的浅层溶洞塌陷而引起的。

地压显现调查分析表明:该采空区引起的地压显现不明显;地表塌陷与地压显现无关,可能与浅层未探明的老采空区、老采洞或采矿疏干的浅层溶洞的塌陷有关;采空区可能发生局部片帮、冒顶事故。

2 采空区稳定性的 ANSYS 分析

2.1 计算模型建立

选择有代表性的剖面建立计算模型。应用国际通用的商业程序 ANSYS,选用弹塑性模型,开展三维数值模拟。由于 F_1 断层距离评价部位采空区的最小距离都在 280 m 以上,计算过程中不考虑 F_1 断层的影响。采用位移边界条件和德鲁克-普拉格准则。计算范围为 $985\text{ m} \times 546\text{ m} \times 100\text{ m}$,其中沿走向长 100 m,垂直范围为 $-200\text{ m} \sim 346\text{ m}$ 高程,沿倾向的水平宽度为 985 m,共有 12804 个单元,14856 个节点(见图 1)。

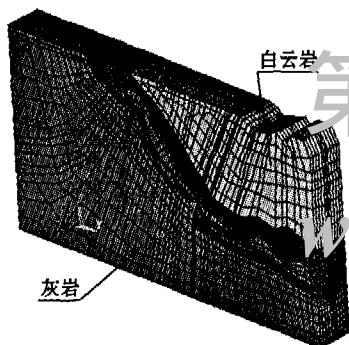


图 1 计算网格

2.2 计算结果分析

三维弹塑性非线性有限元计算结果见图 2~4。应力图中正值表示受拉,负值表示受压。

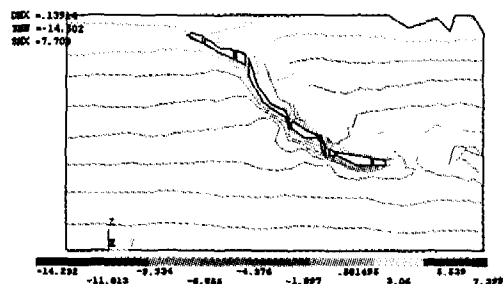


图 2 拉应力等值线 (MPa)

从图 2~3 中可见:绝大多数顶板单元所受的拉应力不超过 2.75 MPa,压应力不超过 12.56 MPa,远

远低于岩体的强度,不会引起顶板破裂、失稳。图 4 表明,开采引起的地表岩体移动不超过 5 mm,顶、底板闭合量一般不超过 5 mm,不会引起地表发生塌陷或明显下沉。

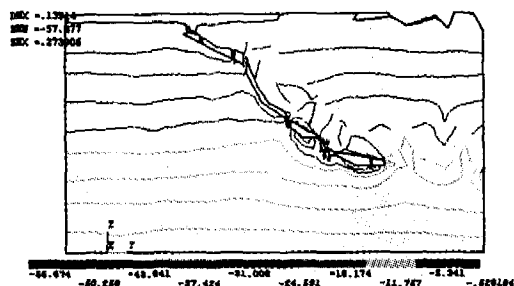


图 3 压应力等值线 (MPa)

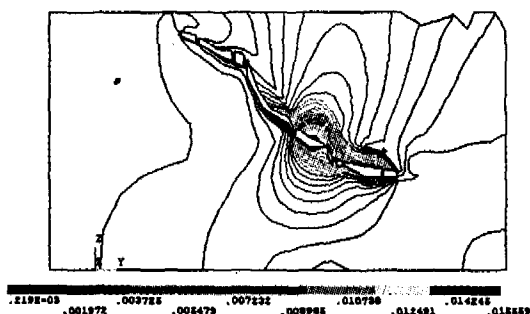


图 4 位移等值线 (m)

为了准确评价采空区的危险性,确保安全生产,建立计算模型时,假设 +85 m 水平以上采空区的水平宽度为 20 m, +85 ~ +62 m 水平之间采空区的水平宽度为 80 m, +62 ~ +20 m 水平之间采空区的水平宽度为 40 m,除了分布有几个点柱外,采空区沿水平方向和倾斜方向都连续分布。计算假设的采空区宽度比实际情况略偏大,计算假设的矿柱分布也比实际情况少,采空区的连续性也比实际情况强,因此,计算的应力、位移值可能比实际情况偏大。总之,ANSYS 分析表明:该采空区引起的地压显现不明显,不会引起顶板失稳,不会导致地表发生明显的岩体移动,不会引起地表塌陷或明显的沉降。

从图 2、图 3 中清晰可见,少数几个顶板单元和矿柱单元,拉应力达到 5 ~ 7 MPa,压应力达到 37 MPa,这几个顶板单元的最大位移量达到 15 mm,其矿柱单元的最大位移量不超过 5 mm,因此,在该部位可能发生拉破坏,从而导致顶板冒落、矿柱片帮。这几个单元正好分布在 +20 ~ +85 m 水平的采空区顶板和矿柱上。该部位采空区悬顶高度达 10 ~ 15 m,局部达 20 m,点柱跨度达 20 m,局部超过 30 m,个别矿柱的有效断面尺寸不足 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ 。顶板

悬顶高度过大,矿柱尺寸偏小,且顶板跨度太大,将是该处可能发生顶板冒落、矿柱片帮事故的主要原因。

3 矿柱强度校核

根据李俊平等于2002年和2003年提出的设计方法^[2,3],建议该矿开采缓倾斜以下的矿体时,按表2布置矿柱。

表2 矿柱参数建议值

块体厚度 (m)	矿柱间距(m)		矿柱尺寸*(m)		矿柱尺寸** (m)	
	沿水平	沿倾向	b	a	b	a
≤0.5	13	14	5	7.5	3	4.5
1.0	18	19	6.5	10	3.5	5
1.5	22	23	8	12	4	6
≥2.0	25	27	9	13.5	4.5	7

注:安全系数 n 取1.21;为了防止爆破损伤,用简易光面爆破留矿柱,否则 a 、 b 各增加0.5~1.0 m;设计过程中, a 取30°,其它情况可以类似设计;*H按现场实际取15 m,**H按安全规程的规定取无支护顶式的高度4 m。

用房柱法或全面法开采缓倾斜和水平矿体,除了合理布置矿柱外,应按金属非金属地下矿山安全规程(GB16424-1996)限定悬顶高度,即,有支护的顶板悬空高度不得超过6 m,无支护的顶板悬空高度不得超过4 m,以确保方便地撬毛;另外,应对裂隙顶板或破裂顶板进行锚杆条网或锚杆方网支护(李俊平,2000)^[4]。为了确保安全生产万无一失,除了合理布置矿柱,并进行必要的支护顶外,还应坚持开展顶板冒落的声发射监测预报与评价。

从表2的设计值可以看出,在现场实际悬顶高度为10~15 m的情况下,采空区顶板跨度偏大,矿柱尺寸偏小,因而,顶板可能发生局部冒顶,矿柱也可能发生失稳破坏或片帮。

4 结论与建议

根据采空区的稳定性分析,提出如下结论与

建议:

(1) 目前,该采空区不会引起地表塌陷或明显下沉。现场勘查到的塌陷区,可能是近地表的浅层老采洞、老采空区或采矿疏干的溶洞失稳而引起的。

(2) 目前该采空区可能会发生局部冒顶事故。局部采空区(如+20~+85 m水平的采空区),顶板跨度超过30 m,空间高度达10~15 m,顶板跨度偏大,矿柱尺寸偏小,悬顶高度偏大(不符合安全规程),且顶板未进行任何支护,开采过程中很可能发生局部冒顶事故。

为了杜绝局部冒顶事故,建议减小顶板跨度,适当加大矿柱尺寸,参考表2布置缓倾斜及水平矿体的矿柱,减小顶板悬空高度,并对裂隙顶板进行锚杆条网或锚杆方网支护。为了确保顶板不发生冒顶事故,除了合理布置矿柱,合理控制悬顶高度,进行必要的支护顶外,还应把岩体声发射监测预报技术作为顶板安全管理的一种常规监测、评价手段^[5,6]。

开采过程中,建议将深部水平产出的废石有计划地排入上部采空区。这样既可以避免地面排土而占用耕地,又可以有效、及时处理采空区,从而避免采空区的过度积累而诱发顶板冲击地压事故。

参考文献

- [1] GB16424-1996. 金属非金属地下矿山安全规程[S].
- [2] 李俊平,冯长根,郭新亚,等. 矿柱参数计算研究[J]. 北京理工大学学报,2002,22(5):662~664.
- [3] 李俊平. 缓倾斜采空区处理新方法及采场地压控制研究[D]. 北京:北京理工大学,2003.
- [4] 李俊平,武宏岐,成善文. 某金矿顶板管理研究[J]. 中国铝业,2000,24(5):8~11.
- [5] 李俊平. 声发射技术在岩土工程中的应用. 岩石[J]. 力学与工程学报,1995,14(4):371~376.
- [6] 李俊平,汪晓霖,程慧高. 声发射技术在武山铜矿的应用[J]. 岩石力学与工程学报,1996,15(增):577~581.

(上接第29页)

植小矿联合经营,形成生产规模、走集约化道路的措施;实行一矿为主、多种经营,加速矿山采矿和加工技术改造,提高矿山经济效益。

3.2 发展趋势

随着科学技术的进步,耐火粘土的应用领域也在不断扩大,出口产品的数量逐年递增,为适应钢铁冶金及高温节能技术的发展要求,要扩大出口贸易,今后耐火粘土的发展趋势是提高产品质量、增加产

品品种,降低消耗;为了提高资源利用率,要大力提倡资源综合开发和综合利用;要以出口为导向促进我国耐火粘土由初级产品向高纯、超细、均化、合成、改性和产品系列化的深加工方向发展。

随着美国经济复苏,建筑产品市场呈较快上升趋势,用于生产砖、陶瓷、纤维玻璃、胶粘剂轻质骨料、涂料和其它与建筑有关产品的粘土的销售增长较快。用于耐火材料生产和其它工业应用的粘土销售也增长较快。