

点柱上向水平分层充填法采场结构参数优化

欧阳鑫¹, 周利华¹, 谷新建^{1,2}, 李洪兵¹

(1. 湖南科技大学 能源与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;
2. 湖南科技大学 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要:通过研究和优化河北省矾山磷矿Ⅱ号矿体的结构参数, 可以提高采场稳定性、采矿效率、矿石回收率及确保矿山生产安全。对于Ⅱ号矿体所采用的采矿方法, 拟使用方形矿柱, 对其采场结构参数中的点柱宽度、点柱纵向间距和横向间距这3个参数进行优化, 运用数值模拟与正交试验相结合的方法得到采场结构参数的最优方案。通过此次的采场结构参数优化研究使矿山矿石的损失率、贫化率和采准工程量降低了, 矿山开采的回收率和经济效益得到了一定的提高。在矿山矿石资源的回收及利用方面为其它类似结构的矿山提供了参考意义。

关键词:采场结构; 参数优化; 正交实验法; 有限元数值模拟

中图分类号:TD871 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2015)01-0046-06

Stope structure parameters optimization of upward horizontal slicing filling method with point pillars

OUYANG Xin¹, ZHOU Lihua¹, GU Xinjian^{1,2}, LI Hongbing¹

(1. School of Energy and Safety Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;
2. Hunan Provincial Key Laboratory of Safe Mining Techniques of Coal Mines, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: In order to improve the stability of stope, ensure the security of mining production, increase mining efficiency and the rate of ore recovery, the stope structure parameters of vanadium phosphate rock mountain II[#] ore body in Hebei Province needs to be optimized. For the mining method of II[#] ore body, we use square pillar to optimize the stope structure parameters of point pillars width, longitudinal spacing and lateral spacing. We also use numerical simulation, and orthogonal experiment stope structure parameters are obtained by the combination of the optimal solution. Through the stope structure parameters optimization research, the mine ore loss rate, dilution rate and collect accurate quantity are reduced, and mining recovery rate and the economic benefits have been improved by the stope structure parameters optimization research. Thus, it has provided references for other similar structures of the mine in the mining of mineral resources recycling and utilization.

Key words: stope structure; parameters optimization; orthogonal experiment method; finite element numerical simulation

矾山磷矿坐落于河北涿鹿县孟家窑村, 官厅水库西畔, 地理位置优越, 交通比较便利。该矿山是以磷和铁共生的大型地下开采矿山, 总储量为 $6\,009.4 \times 10^4$ t。以矿区水位的高低为分界线将其低水位和高水位区分别划为东区和西区, 其低水位区矿体的含水层差不多疏干, 其西区上覆高压含水层, 有充足的补水源导致不容易疏干, 考虑到西区的水文地质问题一直没有很好的解决, 致使西区的矿体一直没有被开采, 造成了矿区的大部分资源没有被有效的开发, 很大程度减少了矿区的服务年限^[1]。

目前设计回采赋存于矾山杂岩体中的西区Ⅱ号矿体,矿体厚度为 13.5 m,赋存的标高为 591 ~ 128 m,矿体赋存范围内南北的宽度达到 1 480 m、东西方向的长度达到 1 718 m. 矿体和顶板围岩节理发育较好,矿体的形状是北东走向半盆状或月牙弯曲状,矿体向其中心倾斜,倾斜的角度平均约为 30°^[2].

中等偏复杂是目前西区主要的水文地质条件类型,并且西区是高水位区. 矿区的上面被厚度为 120 ~ 250 m 的砂砾卵石组成的含水层所覆盖,上更新统下部所包含的杂色粘土层与中更新统上部所包含的红色粘土层形成了较好的相对隔水层,其中,由中更新统所包含的砾石承压含水层成为了西区的主要含水层,其所包含的地下水直接与西区矿体基岩的风化带相接触,其地下水的水位的平均标准高度约为 748 m,承压水头的平均长度约为 155 m.

1 点柱上向水平分层充填法

由于充填法采矿在“三下”矿床的应用和开采中具有一定的优越性^[3],因此通过用充填采矿法一边回采其西区的水下矿体一边充填其采空区,可以不用疏干 Q2 含水层,对地下水资源以及地表的环境的保护有着深远的意义. 考虑到西区现有开采技术条件、生产现状及周围的环境多方面的因素,并参考了国内外与其机构相类似的其它矿床的开采状况,点柱式上向水平分层充填法是比较合理的开采方法,采用此方法不但使采场顶板所暴露出来的面积减少了,而且其暴露的顶板部分由开采所留下的各个点柱平均分摊支撑,对于防止开采后暴露的顶板大面积下沉有着比较积极的作用,是回采西区矿体的最佳方法,但是与其他采矿方法相比较该采矿方法对其矿体顶板的稳固性有比较严格的要求^[4-7].

2 采场结构参数优化研究

2.1 计算方案的确定

对于Ⅱ号矿体采用所选用的最合理的采矿方法开采,其采场结构参数主要有 7 个,需要优化研究的采场结构参数只有点柱的宽度、纵向及横向间距. 按正交试验方法确定数值模拟计算方案. 点柱宽度、点柱纵向间距和点柱横向间距为 3 个影响因素,即 3 个影响因子,对每个因子拟按 3 个水平进行试验(实为数值模拟计算). 分别取 4,5,6 m 为点柱的宽度,12,15,18 m 为纵向间距,10,12,14 m 为横向间距,其影响因素和水平如表 1.

表 1 点柱水平分层充填法采场结构参数优化计算因素水平

水平	宽度/m	纵向间距/m	横向间距/m
1	4	12	10
2	5	15	12
3	6	18	14

4 因素 3 水平的正交试验共有 9 次正交试验见表 2,即 9 个数值模拟计算方案见表 3.

表 2 4 因素 3 水平正交试验采场结构参数优化计算因素水平

试验号	因 素			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 3 点柱水平分层充填法采场结构参数优化计算方案

计算方案	宽度/m	纵向间距/m	横向间距/m
1	4	12	10
2	4	15	12
3	4	18	14
4	5	12	12
5	5	15	14
6	5	18	10
7	6	12	14
8	6	15	10
9	6	18	12

2.2 数值模拟

与西区采矿工程稳定性关系较密切的岩体主要有 3 种:云斑状辉石正长岩(矿床顶板围岩)、Ⅱ号矿体和辉石岩(矿床底板围岩)。经过现场取样、试件制作和室内岩石物理力学参数测试,获得了这 3 种岩石的密度、弹性模量、泊松比、单轴抗压强度、抗拉强度、内聚力、内摩擦角及岩石波速等参数指标。

表 4 岩体和充填体力学参数值

岩体名称	块体密度/(g/cm ³)	变形模量/GPa	泊松比	抗拉强度/MPa	内聚力/MPa	内摩擦角/(°)
云斑状辉石正长岩	2.71	23.27	0.25	1.27	4.53	43.21
Ⅱ号矿体	3.16	12.54	0.26	0.41	1.92	42.15
辉石岩	3.43	22.20	0.23	0.89	2.76	39.97
充填体	2.20	0.75	0.30	0.35	0.52	35.00

力学模型是在勘探线地质剖面图和有关平面图的基础上构造的,采用沿开挖洞周释放荷载的内加载模型^[8]。首先以三维有限元单法确定边界条件和自身竖直应力载荷均匀分布于模型的顶面确定载荷条件,根据开挖空间直径的 3~5 倍确定模型的大小,以沿着矿体走向、垂直矿体走向和沿垂直矿体拟定模型的长度、宽度和高度分别为 471~495,603~627,360 m。

垂直均匀分布的载荷作用于模型的顶部,根据岩石的泊松比用程序计算出侧面的侧压系数,取 115 m 为地表到模型顶面距的深度。

建立的数值模拟模型如图 1 和图 2 所示。

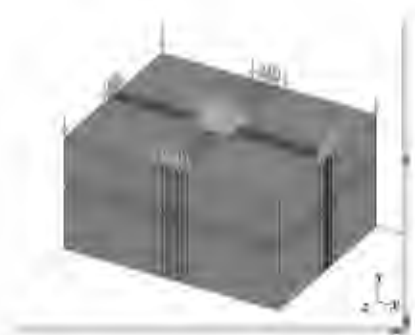


图 1 带约束条件的力学模型图

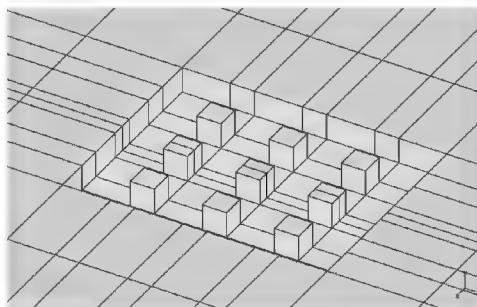


图 2 带约束条件的力学模型图

运用德拉克-普拉格塑性屈服准则对多步骤开挖有限元计算分析^[9],通过对最大空场高度条件下的采场稳定性进行有限元数值模拟研究,优化采场结构参数,只需要一个开挖步骤即可满足有限元数值模拟计算的要求。本力学模型中的每个计算方案按如下 2 个计算步骤进行:第一步,初始应力场的计算;第二步,回采矿房,留下点柱。

2.3 正交极差分析

本次有限元数值模拟计算输出 9 个应力分量和 3 个位移分量。作为方案优化研究来说,最主要的是选择有关的特征量进行比较。岩体的拉伸强度相对较低,拉应力导致大部分岩体工程(尤其是采场顶板)的破坏^[10]。数值模拟计算结果表明,采用点柱上向水平分层充填的方法开采时,采场的顶板所承受的拉应力相对较大,一般在两个点柱之间的中央位置为最大的拉应力值。为了比较各个方案的优劣故选取采场顶板最大拉应力值作为特征量,各方案的计算结果及极差分析情况见表 5。

采场的稳定性随着顶板最大拉应力数值的增大而降低,从表 5 中的极差数据可以看出对采场稳定性影响最大的因素为点柱的纵向间距,其次是宽度,最后是横向间距。因此,在设计采场的时候应该注意对纵

向间距和宽度的控制,最大限度将控制爆破技术应用于回采上以便使矿柱的稳定性提高.

表 5 各方案的最大拉应力值与极差分析

计算方案	点柱宽度/m	点柱纵向间距/m	点柱横向间距/m	最大拉应力值/MPa
1	4	12	10	0.324
2	4	15	12	0.573
3	4	18	14	0.756
4	5	12	12	0.230
5	5	15	14	0.456
6	5	18	10	0.521
7	6	12	14	0.166
8	6	15	10	0.210
9	6	18	12	0.452
K1	0.551	0.240	0.352	
K2	0.402	0.413	0.418	
K3	0.276	0.576	0.459	
极差 R	0.275	0.336	0.107	
因素主次 点柱纵向间距 > 点柱宽度 > 点柱横向间距				

各影响因素与采场顶板最大拉应力值间的关系曲线见图 3 ~ 图 5. 图 6 ~ 图 14 为有限元计算输出的有关应力状况成果(剖面位置 $z=242\text{ m}$),拉应力为正,压应力为负. 图 3 ~ 图 5 清楚的反映出了不同因素的取值大小与最大拉应力之间的关系,Ⅱ号矿体的抗拉强度为 0.41 MPa ,以此值进行插值计算,通过比较岩体抗拉强度值得到有关采场结构参数点柱宽度、纵向间距和横向间距的临界值分别为 $4.95, 14.95, 11.76\text{ m}$. 此即合理的采场结构参数值.

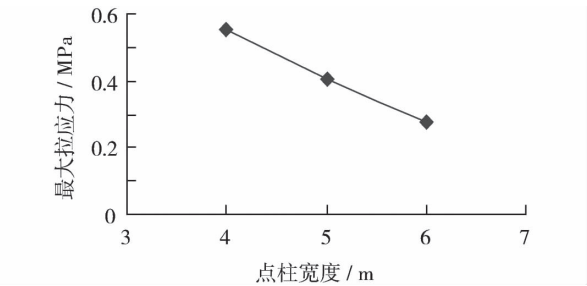


图 3 点柱宽度与采场顶板最大拉应力值的关系曲线

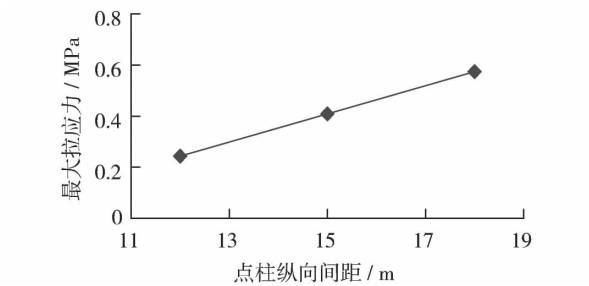


图 4 点柱纵向间距与顶板最大拉应力值的关系曲线

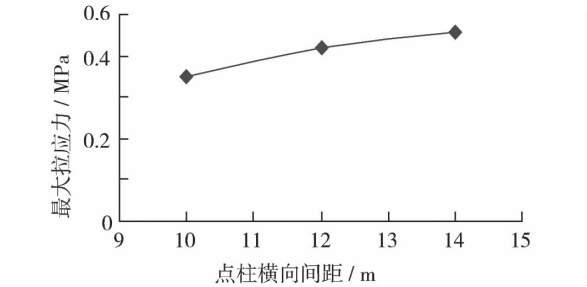


图 5 点柱横向间距与顶板最大拉应力值的关系曲线

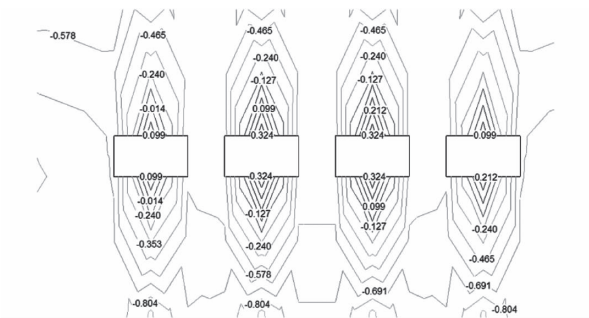


图 6 方案 1(柱宽 4 m 纵向 12 m 横向 10 m)
第一主应力 σ_1 等值线图

件,若再对试验结果做进一步的统计分析,还可以更全面、更系统地掌握试验结果,从而做出正确判断。

2) 由于岩体的不均质性,其强度随岩体结构和地域而有所变化,必须灵活取用上述参数。

当岩体的完整性较好,强度较高时,可适当减少点柱宽度尺寸、增大点柱纵向间距和横向间距;反之,当岩体较破碎,强度较低时,则适当增大点柱宽度尺寸、减少点柱间距。

3) 点柱上向水平分层充填采矿法经过该数值模拟优化后已在该矿山进行了采矿方法工业实验,表明此次优化的采矿方法参数最优,取得了良好的经济效益。该方法也可应用于其他采矿方法的优化,以得到最优的采场结构参数。

参考文献:

- [1] 胡海波. 水体下安全开采采矿方法选择及其参数优化[D]. 长沙:长沙矿山研究院,2011.
- [2] 胡海波,宋嘉栋. 矾山磷矿安全采矿方法优化[J]. 采矿技术,2011,11(1):15-17.
- [3] 张小刚,刘超,彭康,等. 点柱式分层充填采矿法在海底矿床开采中的应用[J]. 采矿技术,2010,10(1):13-14,35.
- [4] 陈海远,马继业. 点柱式上向水平分层充填法在马家庄铁矿的应用[J]. 有色金属,2012,64(4):23-25.
- [5] 张精明. 盘区点柱式分层回采尾砂充填法在我矿的应用[J]. 有色金属(矿山部分),2003,55(3):2-3.
- [6] 樊明玉,闫顺玲,张精明,等. 盘区点柱式分层尾砂充填法的构想[J]. 采矿技术,2002,2(3):33-34.
- [7] 于润沧. 采矿工程师手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [8] 王世辉. 夜长坪钼矿自然崩落法初始拉底面积的优化[J]. 矿业研究与开发,2010,30(3):12-13.
- [9] 王贻明,姚高辉,夏红春,等. 缓倾斜破碎薄矿体采矿方法选择与采场参数优化[J]. 现代矿业,2010(5):15-17.
- [10] 赵奎,蔡美峰,饶运章,等. 某金矿残留矿柱回采的稳定性研究[J]. 有色金属,2003,55(2):82-84.