

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2021.02.015

大型空间受限盲采空区深孔爆破处理技术

牛小明, 潘懿

(长沙矿山研究院有限责任公司, 长沙 410012)

摘要: 为合理处理体积大、顶板厚度大、空间受限的盲采空区,以大宝山矿露天采场49线590大型采空区为工程实例,通过三维激光扫描系统C-ALS及三维实体建模技术以获取采空区参数,应用传统力学计算方法、极限分析法及弹性小变形薄板理论方法计算采空区最小安全顶板厚度以确定采空区处理的最佳时机。综合采空区探测参数及最小安全顶板厚度计算数据,采取合理的采空区爆破崩落方案,在顶板最薄的地方设置掏槽区域并提高局部炸药单耗,同时在掏槽区设计底部装药钻孔以获取爆破补偿空间,从而有效的爆破崩落采空区。通过体积平衡法对采空区爆破处理效果进行评判,采空区顶板塌陷完全,达到预期效果。

关键词: 地下采空区; 三维激光扫描; 安全顶板厚度; 掏槽区; 底部装药钻孔; 体积平衡法

中图分类号: TD235.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2021)02-0100-05

Deep Hole Blasting Disposal Technology for Restricted Blind Goaf with Large Space

NIU Xiao-ming, PAN Yi

(Changsha Institute of Mining Research Co Ltd, Changsha 410012, China)

Abstract: In order to study a deep hole blasting dispose technology for blind goaf with large volume, large roof thickness and limited space, the 49-590 large-scale goaf in Dabaoshan open-pit mine was taken as an engineering example in this research. The goaf parameters were obtained by a 3D laser scanning system C-ALS and 3D solid modeling technology. The minimum safety thickness the roof was calculated to determine the best time for goaf treatment by using traditional mechanical method, limit analysis method and theory of elastic thin sheet with small deformation. By integrating the detection parameters of the goaf and the calculation results of the minimum safety thickness the roof, a reasonable blasting caving scheme for the goaf was adopted. The cut area was set in the thinnest part of the roof and the local powder factor was increased. Meanwhile, the bottom-charging hole was designed in the cut area to obtain the blasting compensation space. Thus, the goaf was effectively blasted. Using the volume balance method to evaluate the blasting effect, the roof was completely collapsed, and an expected effect was achieved.

Key words: blind goaf; 3D laser scanning; safety thickness the roof; cutting area; bottom charging drilling; volume balance method

近年来,由于露天开采所具备的大型机械化以及高效资源回收率等诸多优点,许多金属矿山都利用地采转露采的开采方法对隐患资源进行回收复

采^[1]。同时,原来地采所遗留采空区便成了巨大隐患,尤其是有过民采、偷采现象以及整合多家小矿山的大型露天矿山,由于之前没有统一的开采规划设计,也没有详细的地下采空区资料,造成了露天开采境界下有大量盲采空区^[1]。由于这些采空区空间及形态的复杂性,使得处理采空区成了保证矿山安全生产的难题。目前,采空区处理方法主要有爆破

收稿日期:2021-01-20

作者简介:牛小明(1988-),男,工程师、硕士研究生,主要从事岩石力学及露天采矿学等相关领域研究,(E-mail)383029425@qq.com。

崩落法、充填法和封闭法。由于大多数需要处理的采空区均在露天开采设计范围之内,必须对其进行处理,而充填法则存在二次装运等问题,因此往往只能采用爆破崩落法^[2]。

1 采空区概况

广东省大宝山矿是大型多金属矿,由于开采方式的转变(地下开采转为露天开采),民采、偷采猖獗等问题形成众多采空区。其中露天采场 49 线 590 采空区是其中典型的大型复杂采空区,该采空区的爆破处理也是大宝山矿历来处理过的最大单一

采空区,49 线 590 采空区主要特点是:平面面积和体积大,顶板厚度大,四周无可利用的爆破自由面,空间任何方向上爆破夹制性都很大。

1.1 采空区探测

为了清楚掌握 49 线 590 采空区位置、形态和三维尺寸,给合理处理采空区提供可靠数据,利用了先进的三维激光扫描仪 C-ALS 分别于不同位置对其进行了四次扫描^[3],并将四次扫描结果进行复合,得到了该采空区较为准确的参数及三维实体模型^[4],见表 1、图 1。

表 1 49 线 590 采空区参数表
Table 1 Parameters of the 49-590 goaf

名称	顶板 标高/m	底板 标高/m	最小顶板 厚度/m	最大 跨度/m	最大 高度/m	面积/m ²	体积/m ³
49-590	620	586	29	50	34	2615	78 450

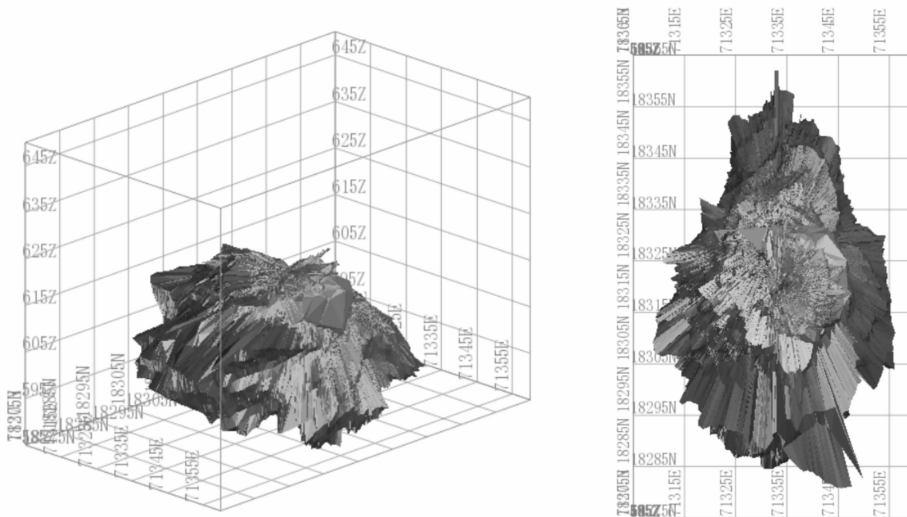


图 1 49 线 590 采空区三维实体模型

Fig. 1 The 3D solid model of the 49-590 goaf

1.2 采空区顶板稳定性计算

保证采空区稳定的前提条件是其实顶板厚度大于理论计算的最小安全顶板厚度。因此,确定采空区最小安全顶板厚度具有重大意义^[5]。目前用于采空区顶板厚度的理论计算方法有很多种,主要有传统采空区顶板厚度分析方法^[6]、极限分析法及弹性小变形薄板理论方法,其中传统方法又包括厚跨比法、荷载传递线交汇法、破裂拱理论估算法、空场长宽比梁板理论计算法等^[7]。

根据现场实际调查,49 线 590 采空区顶板为灰岩,采用以上各方法计算,得出不同采空区跨度相对应的采空区最小安全顶板厚度,计算结果见表 2 所示。

对以上采空区最小安全顶板厚度与采空区跨度相互关系计算结果进行统计得到以下结果如图 2 所示。

根据以上统计结果,拟合出采空区最小安全顶板厚度与采空区跨度关系计算公式

$$h = 0.71b - 1.02 \tag{1}$$

式中: h 为采空区顶板安全厚度, m ; B 为采空区跨度, m 。

结合 49 线 590 采空区探测所得参数,根据上式计算得采空区顶板安全厚度 $h = 34.48 m$ 。根据采空区扫描参数及顶板厚度理论计算,在 649 m 平台处理该采空区最为合适。

表 2 采空区最小安全顶板厚度计算结果

Table 2 Calculation results of minimum safe roof thickness

理论计算方法	采空区跨度/m								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
荷载传递线交汇法	7.1	10.7	14.3	17.9	21.4	25.0	28.6	32.1	35.7
厚跨比法	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
梁板受力情况估算法	3.4	5.5	7.9	10.6	13.6	17.0	20.7	24.8	29.3
按破裂拱概念估算法	12.2	14.2	16.2	18.2	20.2	22.2	24.2	26.2	28.2
K. B. 鲁别涅依他估算法	3.2	6.5	10.9	16.5	23.2	31.1	40.0	50.2	61.5
极限分析法	7.0	10.2	13.3	16.1	18.8	21.3	23.7	25.9	28.0
弹性小变形薄板理论	2.9	4.5	6.3	8.3	10.5	13.0	15.7	18.6	21.6
平均厚度	5.8	8.4	11.3	14.3	17.5	21.0	24.7	28.6	32.8

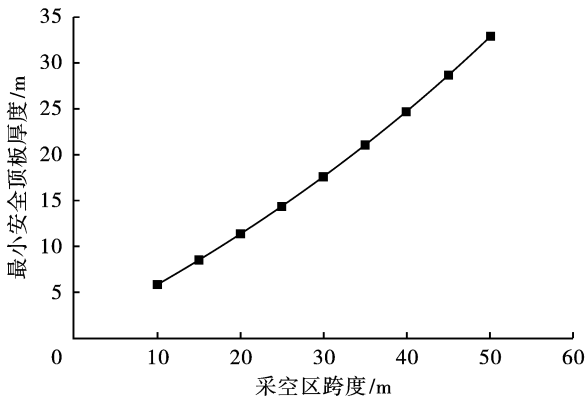


图 2 采空区最小安全顶板厚度与跨度关系统计
Fig. 2 Statistics of the relationship between minimum safe roof thickness and width

2 采空区处理

2.1 爆破方案

爆破采用孔外微差分段延时爆破。

采空区处理设计在 +649 m 平台进行垂直穿孔,由于采空区四周无可利用自由面,采空区顶板较厚,空间范围内夹制性均很大,根据采空区三维激光扫描探测资料,在采空区顶板最薄的位置布置加强孔掏槽以求形成补偿空间,并在加强孔区域内设计三个底部装药钻孔,如图 3 所示。

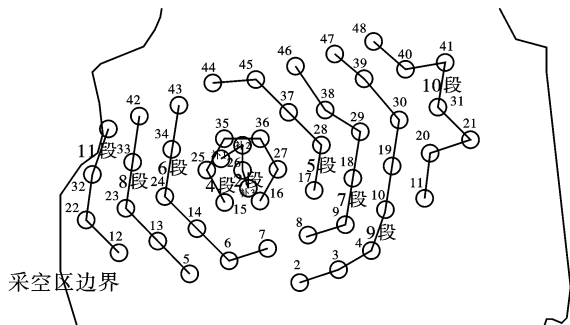


图 3 采空区平面位置及雷管分段图

Fig. 3 The plan position and blasting network of the goaf

1) 爆破时先爆底部装药的三个钻孔,目的是向下拉开一定空间,使采空区顶板失稳、变薄,同时由于只有底部装药也可以为邻近炮孔提供补偿空间。

2) 然后再爆掏槽区域内的其它炮孔,此时各炮孔横向和纵向均有一定活动空间可以形成较好的掏槽效果。

3) 最后依次分段延时爆破其它炮孔。

2.2 爆破参数

1) 布孔。根据采空区所在区域的岩体条件及长时间实践经验,爆破采用的炸药单耗为 0.5 kg/m^3 ,炮孔直径 140 mm ,单位长度炸药量约 14 kg/m ,爆破孔网参数采用 $4.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ 。中部掏槽区域加密孔距提高炸药单耗以确保掏槽效果,该区域钻孔布在直径为 3.5 m 的圆形范围之内,炸药单耗为 0.69 kg/m^3 。

2) 装药结构。为了准确统计孔深以防止炮孔底部因抵抗线过小而引起炸药能量的损失,所有钻孔均需要穿透采空区后再进行吊孔填塞,这样也可利于钻孔排水,方便装药。爆破采用两种装药结构,装药结构如图 4。

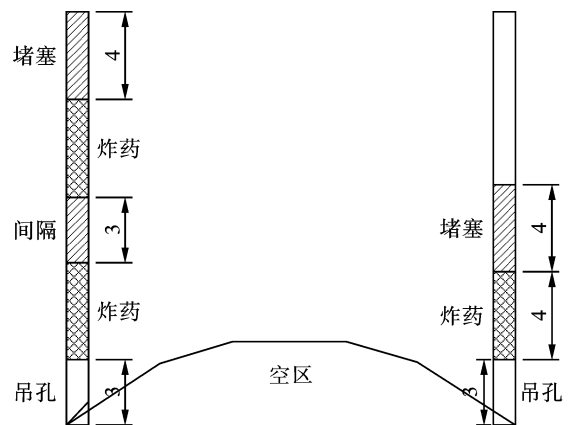


图 4 装药结构图(单位:m)

Fig. 4 The charge structure of holes(unit:m)

① 吊孔填塞,采空区内钻孔均须穿透采空区顶板,装药前采用空气间隔器进行吊孔,并在间隔器上回填 3 m 岩粉。

② 间隔装药,其中吊孔 3 m,上部填塞 4 m,中间间隔 3 m,在钻孔上下部分装药段各放一个起爆药包,每个起爆药包双发雷管,即每孔 4 发。

③ 底部装药,其中吊孔 3 m,中间连续装药 4 m,上部填塞 4 m,双发雷管起爆。

2.3 爆破网路

非电毫秒延期起爆网路,孔外微差,共采用 10 个段别,即 2 段 ~ 11 段,其中底部装药孔与其他钻孔间隔一段。从掏槽区域向外围依次起爆,如图 3 所示。底部装药孔先于其它炮孔 50 ms 起爆,以保证采空区顶板充分崩落。

2.4 爆破安全

由于距爆区 166 m 处有一正在施工的钨选厂,爆破必须考虑爆破震动对该厂房的影响,为保证安全,需控制单段最大爆破药量,根据萨道夫斯基经验公式对其进行计算^[8]

$$Q = R^3 \left(\frac{V}{K} \right)^\alpha \quad (2)$$

式中: V 为质点最大允许速度, cm/s; R 为测点到爆源中心距离, m; Q 为装药量, 即最大一段装药量, kg; K 为与炸药性质、爆破方式、地形地质条件有关的系数; α 为衰减系数。

根据《爆破安全规程》及现场实际情况^[9], 取 $K = 150, \alpha = 1.5$, 由于钨选厂为在建厂房, 规定不同混凝土龄期取不同质点震动速度, 最大允许质点震动速度与单段最大药量关系见表 3。

表 3 不同混凝土龄期质点震动速度与单段最大药量

Table 3 The relationship of particle velocity of blasting seismic in different age and maximum charge quantity

混凝土龄期/d	质点震动速度 $V/(cm \cdot s^{-1})$	距离 R/m	K	α	最大单段药量/kg
初凝 ~ 3	1.5 ~ 2.0	166	150	1.5	457.4 ~ 813.2
3 ~ 7	3.0 ~ 4.0	166	150	1.5	1829.7 ~ 3252.8
7 ~ 28	7.0 ~ 8.0	166	150	1.5	9962 ~ 13 011

由于本次爆破的单段最大药量为 1591.8 kg, 根据上表计算, 须在爆破前确认在建钨选厂混凝土浇筑龄期大于 3 d。

3 爆破效果

采空区爆破后如果采空区顶板完全垮塌并充满采空区则爆破效果较好能够达到预期目标, 因此利用体积平衡原理来评估采空区处理效果^[10], 即爆破前采空区顶板体积与采空区体积总和理论上应该等于爆破后爆堆体积与塌陷坑体积之和, 如式(3)所示

$$v_d k + v_i = v_d + v_k \quad (3)$$

式中: v_d 为采空区顶板体积, m^3 ; k 为松散系数; v_k 为采空区体积, m^3 ; v_i 为爆破后形成的塌陷坑体积, m^3 。

根据采空区三维实体模型和爆破前、后现场测量数据得到计算参数, 岩石松散系数由以往经验取 1.5, 计算结果见表 4。

爆破后采空区范围内地表出现明显的塌陷, 根据 GPS 测量结果塌陷坑深度约 15 m, 塌陷范围接近 2700 m^2 , 结果与表 4 理论计算结果相近, 同时存在一定误差是由于松散系数取值以及采空区探测存在

误差等原因导致, 但是此误差在容许范围之内。由此说明该采空区顶板已经完全塌陷, 爆破处理后的填充效果达到预期, 爆破前后对比如图 5 所示。

表 4 采空区体积平衡计算

Table 4 Volume balance calculation of the goaf

名称	采空区体积/ m^3	顶板体积/ m^3	
		爆前	爆后(爆前体积 $\times 1.5$)
49 线 590 采空区	78 450	81 065	121 598
实际测量爆后岩体体积/ m^3			121 026



图 5 爆破前后对比图

Fig. 5 The comparison between before and after blasting

4 结论

(1)通过三维激光扫描及三维实体建模技术准确、高效的获取采空区参数,可以为采空区顶板稳定性计算及采空区处理方案提供可靠依据。

(2)确定采空区最小安全顶板厚度具有重大意义,能够及时、准确的掌握处理采空区的最佳时机。

(3)对于四周无自由面可用,采空区顶板较厚,空间范围内夹制性很大的采空区可以在采空区顶板最薄的地方设置掏槽区,并通过改变该区域内的孔网参数以提高局部爆破单耗,同时在该区域内合适的位置设计底部装药钻孔并使其先于其它钻孔至少50 ms起爆以提供一定的补偿空间。

(4)利用体积平衡法可以比较准确的判断采空区顶板塌陷程度和充填效果,从而有效的评价采空区处理结果。

参考文献 (References)

- [1] 林卫星,程建勇. 地下多层复杂空区处理的工程实践[J]. 爆破,2009,26(2):31-34.
- [1] LIN Wei-xing, CHENG Jian-yong. Engineering practice of underground multilayer complex goaf treatment[J]. Blasting,2009,26(2):31-34. (in Chinese)
- [2] 林谋金,黄胜贤. 局部爆破法强制崩落采空区应用实践[J]. 爆破,2016,33(1):89-92,123.
- [2] LIN Mou-jin, HUANG Sheng-xian. Application of small area blasting for caving goaf[J]. Blasting,2016,33(1):89-92,123. (in Chinese)
- [3] 东龙兵,王少泉,蔺帅宇,等. 基于C-ALS的三维激光扫描技术在采空区探测中的应用[J]. 有色金属(矿山部分),2019,71(2):1-4.
- [3] DONG Long-bin, WANG Shao-quan, LIN Shuai-yu, et al. Application of 3D laser scanning technology based on C-ALS in goaf detection[J]. Nonferrous Metals(Mine Section),2019,71(2):1-4. (in Chinese)
- [4] 秦亚光,罗周全,汪伟,等. 采空区三维激光扫描点云数据处理技术[J]. 东北大学学报(自然科学版),2016,37(11):1635-1639.
- [4] QIN Ya-guang, LUO Zhou-quan, WANG Wei, et al. Cavity three-dimensional laser scanning point cloud data processing technology[J]. Journal of Northeastern University(Natural Science),2016,37(11):1635-1639. (in Chinese)
- [5] 白俊,王彦飞. 大型叠层分布采空区爆破处理技术[J]. 金属矿山,2015(8):1-4.
- [5] BAI Jun, WANG Yan-fei. Blasting disposal technology in large layer-distributed mined-out area[J]. Metal Mine,2015(8):1-4. (in Chinese)
- [6] 牛小明. 露天开采境界下覆采空区顶板稳定性研究[D]. 长沙:长沙矿山研究院,2013.
- [6] NIU Xiao-ming. Study on roofs' stability of cavities under open-pit mine[D]. Changsha:Changsha Institute of Mining Research,2013. (in Chinese)
- [7] 邱海涛,潘懿. 露天开采地下采空区顶板保安层厚度的计算分析[J]. 采矿技术,2012,12(3):47-49.
- [7] QIU Hai-tao, PAN Yi. Calculation and analysis of security roof layer thickness for mining goaf[J]. Mining Technology,2012,12(3):47-49. (in Chinese)
- [8] 郑晋溪. 萨道夫斯基公式在隧道中夹岩爆破振速分析中的适用性研究[J]. 福建建设科技,2011(5):68-70.
- [8] ZHENG Jin-xi. Applicability research of sadov's vibration formula in analyzing of tunnel blasting vibration velocity[J]. Fujian Construction and Technology,2011(5):68-70. (in Chinese)
- [9] GB6722—2014 爆破安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [9] GB6722—2014 Safety Regulations for Blasting[S]. Beijing:China Standardization Press,2014. (in Chinese)
- [10] 崔晓荣,林谋金,郑炳旭,等. 矿山采空区崩落爆破评估验收方法[J]. 金属矿山,2015(9):11-15.
- [10] CUI Xiao-rong, LIN Mou-jin, ZHENG Bing-xu, et al. Inspection and assessment of caving and blasting effect in underground goafs[J]. Metal Mine,2015(9):11-15. (in Chinese)