

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.10.024

急倾斜厚大矿体矿房阶段爆破技术

翟会超¹, 任凤玉¹, 南世卿²

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁沈阳 110819; 2. 河北钢铁集团矿山设计有限公司, 河北唐山 063000)

摘要: 针对司家营南区大规模落矿的安全性问题, 提出阶段凿岩侧向爆破方案. 该方案包括利用上向扇形炮孔爆破形成堑沟, 下向垂直深孔爆破侧向崩矿, 具有工程量小、机械化程度高、管理简单等优点. 利用FLAC^{3D}研究阶段爆破技术, 对塑性区、监测点振速和应力场的动态模拟计算验证了大规模爆破起爆顺序的合理性和减震性, 以及爆破对围岩或充填体的非破坏性. 同时, 研究VCR法开掘切割天井技术, 采取中心与交错正菱形布设炮孔, 孔间分5段起爆, 保证了阶段爆破自由空间的形成.

关键词: 急倾斜厚大矿体; 垂直深孔爆破; 数值模拟; FLAC^{3D}; VCR法

中图分类号: TD 327 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)10-1486-05

Stage Blasting Technology of Large and Thick Steeply Inclined Orebody

ZHAI Hui-chao¹, REN Feng-yu¹, NAN Shi-qing²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Hebei Iron Steel Group Mining Design Co., Ltd., Tangshan 063000, China. Corresponding author: ZHAI Hui-chao, E-mail: zhaihuihao@163.com)

Abstract: Aiming at the safety problem of Sijiaying southern district large-scale mining district, a lateral drilling blasting scheme including formed trench by the fan hole and lateral caving by the vertical deep hole was proposed, which has characteristics of a small amount of engineering, high degree of mechanization and simple management, etc. In addition, the rationality and shock absorption of large scale blasting initiation order and the non-destructive effect of blasting on rock and filling body were verified through dynamic simulation on the plastic zone, monitoring vibration velocity and stress field by FLAC^{3D}. Meanwhile, the construction technology of cutting patio using VCR method, adopting center and cross diamond pattern for designing the hole, and using 5 sections of initiation among holes were studied to ensure the formation of blasting free space.

Key words: large and thick steeply inclined orebody; vertical deep hole blasting; numerical simulation; FLAC^{3D}; VCR method

司家营南区属超大规模急倾斜厚大地下贫铁矿, 矿体倾角为 45° ~ 60°, 矿体厚度为 100 ~ 200 m, 走向长度约 10 km. 设计年产矿石量为 2 000 万 t, 采用地下阶段空场嗣后充填法开采^[1-2], 盘区沿矿体走向布置, 盘区内矿房垂直矿体走向布置, 矿房长度方向与矿体走向一致, 矿房长度为 52.5 m, 宽度为 18 ~ 20 m, 高度为 50 m. 为保证大阶段矿房爆破落矿的安全性和超大规模矿

体开采的可行性, 需采取科学、合理的方法进行大阶段爆破技术研究.

1 阶段爆破方案

根据司家营南区矿房结构参数, 兼顾安全、可靠、经济原则, 采用阶段凿岩侧向爆破方案进行落矿. 该方案矿房下部利用上向扇形炮孔爆破形成

收稿日期: 2016-03-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0801601).

作者简介: 翟会超(1981-), 男, 吉林四平人, 东北大学博士后研究人员; 任凤玉(1956-), 男, 内蒙古敖汉旗人, 东北大学教授, 博士生导师.

堑沟底部结构,上部矿房采用下向垂直深孔侧向爆破,上下部均以矿房端部切割槽为自由面.切割槽采用 VCR 法成切割井,再以切割井为自由面拉槽,具有采切工程量小,可使用大型机械化凿岩、装药设备,凿岩、装药效率高,落矿效果好,管理简单等优点.

图 1 中矿房上部为凿岩硐室,凿岩硐室被 1 条 2~3 m 宽连续矿柱分割,分割后的硐室宽 6~7 m,高 4.5 m,采取下向垂直深孔爆破,排面布置 8 个炮孔(孔径 150 mm),凿岩高度为 32 m,炮孔排距 1.8~2.2 m,每次爆 2 排炮孔,采取同次分

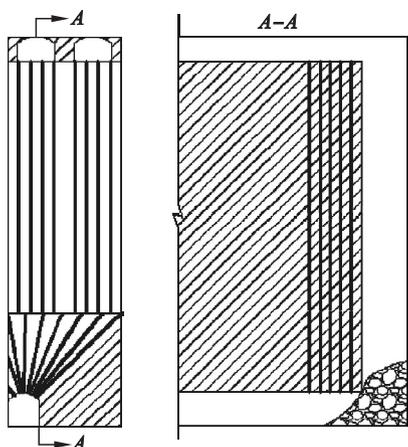


图 1 矿房阶段爆破示意图

Fig. 1 Schematic diagram of stope blasting stage

段微差爆破,分 4 段起爆,微差间隔 50 ms. 矿房下部集矿堑沟用 Simba1354 型液压凿岩台车凿上向扇形中深孔,炮孔直径 76 mm,炮孔排距 1.5~2 m,孔底距 3~4 m,每次爆破 1~2 排炮孔,堑沟凿岩巷道 4 m×4 m. 考虑到爆破震动的影响,先形成集矿堑沟后,再实施下向垂直深孔凿岩爆破.

矿房所用炸药根据井下环境选用防水乳化炸药或水胶炸药.

2 阶段爆破动态分析

阶段侧向爆破具有爆能高、冲击波强、围岩破坏性大等特点^[3-4],对于大结构参数下的分步充填矿房,要研究爆破的可行性和炮震对围岩和充填体的破坏性,以及阶段侧向爆破微差起爆顺序.

2.1 模型参数

图 2 中模型 X 向为 0~54 m, Y 向为 -25~25 m, Z 向为 -10~100 m,模型尺寸为 54 m×50 m×110 m. 模拟实际开采水平 -450~-400 m 水平矿房的回采,模型中堑沟高度 18 m,垂直深孔 32 m. 模型为均质各向同性材料,力学模型为摩尔库伦模型,材料参数见表 1.

模型中炮孔共 2 排 16 个,排间距为 2 m,模型坐标 Y=6,8 m. 切割槽 Y 向范围为 0~4 m.

表 1 岩体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rock mass

岩体弹性模量	岩体抗拉强度	岩体黏聚力	岩体内摩擦角	泊松比	岩石密度
GPa	MPa	kPa	(°)		t·m ⁻³
26.00	0.201	2 480.85	52.8	0.24	3.3

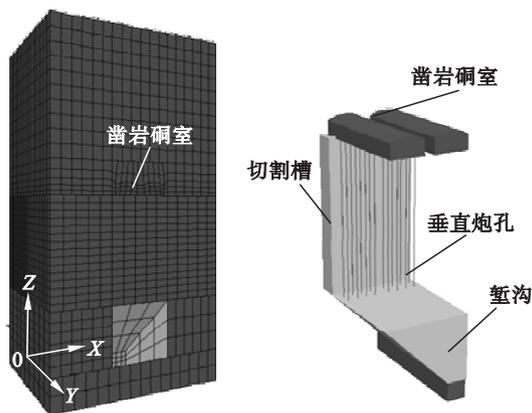


图 2 数值模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of numerical model

2.2 动态模拟计算

通过对矿房内垂直深孔孔壁加载动力载荷,分析凿岩硐室、硐室间柱及矿房两侧围岩的振动

响应. 采取三角波形方式加载,加载 10 ms 使应力达到峰值,再卸载 90 ms 使应力为零. 为研究质点振速峰值,对模型中的相应位置布设监测点,见图 3.

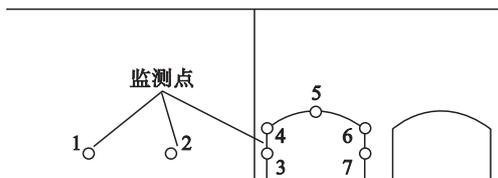


图 3 监测点布置形式

Fig. 3 Layout of monitoring points

按照图 3 监测点布置形式在模型 Y 向距离爆破排面 6 m 和 12 m 处的两个剖面上,共布设 14 个监测点. 阶段爆破双排起爆,分 4 段同次爆破,见图 4.

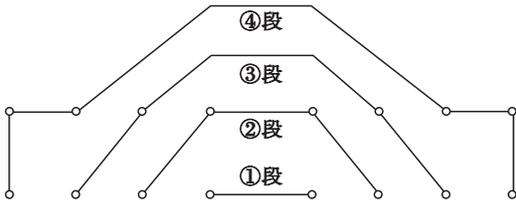


图 4 起爆顺序示意图

Fig. 4 Blasting sequence sketch map

对研究的起爆顺序进行跟踪观测,主要包括塑性破坏区、监测点振速峰值和应力场^[5-6].

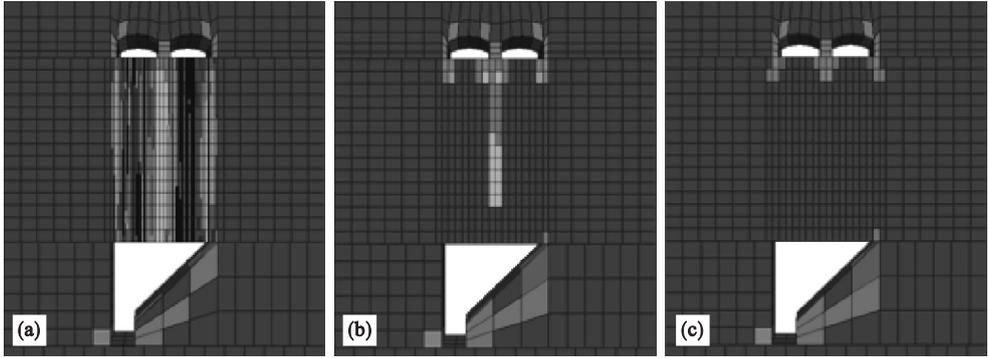


图 5 塑性区分布图

Fig. 5 Plastic zone distribution

(a)— $Y=8\text{ m}$; (b)— $Y=10\text{ m}$; (c)— $Y=12\text{ m}$.

表 2 剖面监测点振速峰值

Table 2 Peak values of vibration speed of monitoring points $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

Y/m	1	2	3	4	5	6	7
12	0.71	0.81	0.74	0.68	1.26	2.11	2.13
18	0.64	0.61	0.57	0.55	0.62	0.71	0.74

由表 2 可知:质点距震源越远振速峰值越低,受震动影响越小;矿房阶段爆破对邻近矿房上部质点震动影响较小;矿房凿岩硐室围岩监测点振速峰值由高到低排列顺序为右帮腰点 > 顶板右脚点 > 顶板中点 > 左帮腰点 > 顶板左脚点.同时,参

2.2.1 塑性区分析

塑性区分布如图 5 所示.可知,爆破的破坏作用在起爆炮孔 4 m 之外迅速消失,表明爆破能量向切割槽自由空间扩散.另外,塑性区以起爆排面 8 m 处由近及远先是消失两侧,后是中间,说明爆能按照起爆顺序由两侧向中央扩散.

2.2.2 质点振速

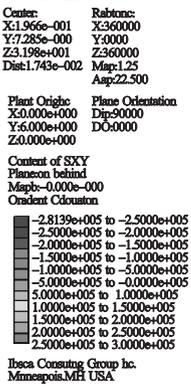
对前述监测点进行振速峰值跟踪计算,结果见表 2.

照损伤特征与 BDI 值之间的关系^[7-8],得出凿岩硐室顶板及硐室间隔矿柱损伤凸出,将失稳冒落、垮塌.应对凿岩硐室围岩进行加固支护,增加其整体承载能力.

2.2.3 应力分析

计算阶段侧向爆破崩矿时相邻矿房的剪切应力场、水平应力场^[9],如图 6 所示.结果表明在第四段炮孔起爆达到爆破应力峰值时(0.15 s),对邻近矿房几乎无影响,不会对相邻矿房或充填体矿柱造成破坏.

0.15 s 剪切应力云图



0.15 s 水平应力云图

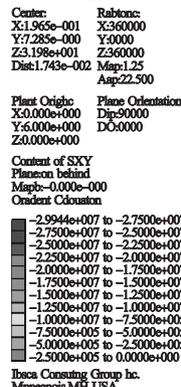


图 6 0.15 s 应力云图

Fig. 6 Stress nephogram at 0.15 s

综上所述,按照设计的起爆顺序采用分段微差爆破,可有效降低炮震影响.爆破冲击波向切割槽方向扩散,爆破排面后方迅速衰减消失,排面爆能由两侧向中央扩散,不会造成相邻矿房或充填体的破坏,垂直深孔侧向爆破技术可行,阶段爆破方案可靠.

3 VCR 法开掘切割天井技术

采取 VCR 法开掘矿房切割天井,选用防水乳化炸药(包)进行爆破,直径 150 mm 炮孔装药密度不应小于 $1\ 002.6\ \text{kg}/\text{m}^3$.药包长 450 mm,直径 120 mm,密度为 $1\ 007\ \text{kg}/\text{m}^3$ (或采用装药台车装药形式).为保证切割天井成型尺寸(4 m × 4 m),应用中心与 3 层重叠四边形布孔方案(见图 7),即中心布设 1 个炮孔,再向外延伸 1, 1.41, 2 m 分别布设一正菱形,在菱形角点布设炮孔,共计 13 个炮孔.孔间实施 50 ms 微差、单分层 4 个段别爆破.起爆顺序为 1 段 1#孔,3 段 2#~5#孔,5 段 6#~9#孔,7 段 10#~13#孔.由中心向四周起爆,中心首段炮孔以空区为自由面,其余炮孔以空区和中心为自由面.能够达到爆破扰动小、成井快的效果.

钻孔设备使用凿岩设备 Simba364,要确保钻孔偏心率小于 1%.

掘进炮孔单次装药长 1.5~2 m,埋深 1.2~1.5 m,爆破段高 2~3 m.在距离空区顶板仅剩 8 m 左右岩层时一次起爆,装药长度限制为 6 m,孔底填砂 500~700 mm,孔口填砂 1.5~2 m,并拉好安全警报距离.

VCR 法工艺^[10]:测量孔深,吊放水泥坨,填砂,测量孔深,装入炸药,测量孔深,再次填砂,测量孔深,连线,实施爆破.

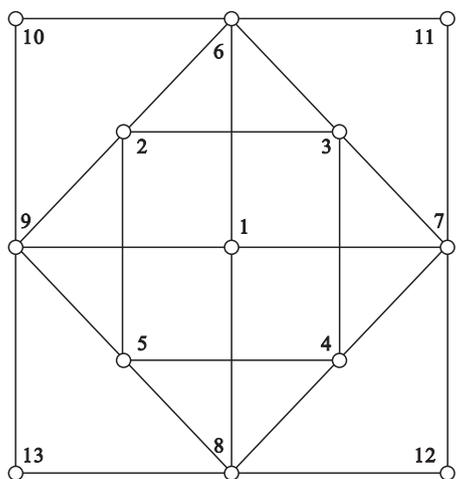


图 7 炮孔平面布置图

Fig. 7 Layout scheme of blast holes

上述研究结论可保证大阶段矿房爆破对围岩及充填体的稳定性和大规模落矿的可行性.目前,司家营南区已经开展了试验首采矿块的采切工程,为矿山生产建设的持续发展奠定基础.

4 结 论

1) 针对司家营南区矿体赋存条件,采用阶段空场嗣后充填法开采,盘区内矿房垂直矿体走向布置,矿房长度 52.5 m,宽度 18~20 m,高度 50 m.

2) 采用阶段凿岩侧向爆破方案进行落矿:矿房下部利用上向扇形炮孔爆破形成堑沟,上部采用下向垂直深孔侧向爆破,具有工程量小、机械化程度高、管理简单等优点.

3) 下向垂直深孔爆破,排面 8 个炮孔,孔径 150 mm,排距 1.8~2.2 m,每次爆 2 排炮孔,同次分段微差爆破,4 段起爆,微差间隔 50 ms.

4) 利用 FLAC^{3D}对阶段爆破进行动态分析,结果表明:起爆顺序设计合理,可有效降低炮震,爆能向切割槽及排面中央扩散,爆破排面后侧迅速衰减,不会造成相邻矿房或充填体的破坏,垂直深孔侧向爆破技术可行,阶段爆破方案可靠.

5) 利用 VCR 法开掘切割天井技术,采取中心与交错正菱形布设炮孔,孔间分 5 段起爆,可有效保证切割天井及切割槽的形成.

参考文献:

- [1] Nan S Q, Gao Q, Liu Z H. Numerical simulation of fluid-solid coupling in surrounding rock and parameter optimization for filling mining [J]. *Procedia Engineering*, 2011, 26: 1639-1647.
- [2] 于清军,胡忠强,李元辉.急倾斜厚大矿体阶段深孔空场崩落联合采切法[J].*金属矿山*,2015(3):14-18.
(Yu Qing-jun, Hu Zhong-qiang, Li Yuan-hui. Stage deep hole open-stope and caving combined mining method for steeply inclined thick ore-body[J]. *Metal Mine*, 2015(3): 14-18.)
- [3] Lu W B, Yang J H, Chen M, et al. An equivalent method for blasting vibration simulation [J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2011, 19(9): 2050-2062.
- [4] Zheng Z T, Xu Y, Dong J H, et al. Hard rock deep hole cutting blasting technology in vertical shaft freezing bedrock section construction [J]. *Journal of Vibroengineering*, 2015, 17(3): 1105-1119.
- [5] Yu T R. New blast damage criteria for underground blasting [J]. *CIM Bulletin*, 1996, 89(3): 139-145.
- [6] Itasca Consulting Group Inc. FLAC^{3D} (fast lagrangian analysis of continua in 3 dimensions) [M]. Minneapolis:

