

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.04.010

## 老龙山石灰岩矿深孔爆破参数优化试验

王建超,梁卫龙

(河南德之润投资有限公司,郑州 450018)

**摘要:** 在露天开采过程中,深孔爆破参数直接影响爆破效果(大块率和根底)及爆破工序成本,且爆破工序成本占矿山露天开采综合成本比重较大。为了规范矿山穿孔爆破工序,提高矿山的实际生产效率和经济效益,老龙山石灰岩矿实施了深孔爆破参数优化试验:第一阶段在孔径保持90 mm不变情况下选定区域按照选定4.0 m×3.8 m、4.0 m×4.0 m、4.2 m×4.0 m、4.5 m×4.0 m四种测试孔排距参数进行爆破;第二阶段将钻孔孔径调整至110 mm,爆破孔排距增大至5.0 m×4.8 m、5.2 m×5.0 m。使用破碎锤对爆破后大块矿石进行二次破碎以满足生产矿石块度要求,以爆破设计参数达到的爆破效果和破碎锤二次破碎成本总和最低为要求最终测试出最合理爆破孔排距参数。通过试验过程中所实施的精细管控措施,实施前后爆破工序成本变化对比,摸索出90 mm、110 mm孔径下适合老龙山石灰岩矿深孔孔排距分别为4.0 m×3.8 m、5.0 m×4.8 m,为矿山下一步试验及其他矿山露天开采深孔爆破参数优化试验提供一些参考。

**关键词:** 露天开采;爆破工序;精细管控;老龙山石灰岩矿

**中图分类号:** TD872; TD235.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)04-0080-05

## Optimization Experiment of Deep Hole Blasting Parameters in Laolongshan Limestone Mine

WANG Jian-chao, LIANG Wei-long

(Henan Dezhirun Investment Company Limited, Zhengzhou 450018, China)

**Abstract:** In the process of open pit mining, deep hole blasting parameters directly affect the blasting effects (boulder yield and bottom toe) and the blast cost which accounts for a large proportion of the overall cost of open-pit mining. In order to standardize the process of drilling and blasting and to improve the actual production efficiency and economic benefit, optimization tests of deep hole blasting parameters were carried out in Laolongshan limestone mine. In the first stage, blasts were conducted with hole diameter of 90 mm and four different blast hole layout patterns (hole spacing burden) of 4.0 m×3.8 m, 4.0 m×4.4 m, 4.2 m×4.4 m and 4.5 m×4.4 m. In the second stage, the hole diameter was adjusted to 110 mm, and the hole spacing and burden were increased to 5.0 m×4.8 m and 5.2 m×5.5 m. The crushing hammer is used for secondary crushing of boulders after blasting to meet the requirements of fragmentation. Finally, the most reasonable values of blasting hole spacing and burden were tested according to minimum overall cost of blasting and secondary crushing. By comparing the costs before and after the blast experiments, the optimum hole spacing and burden are 4.0 m and 3.8 m for hole diameter of 90 mm and 5.0 m and 4.8 m for hole diameter of 110 mm.

**Key words:** open pit mines; blasting process; detailed control measures; Laolongshan limestone mine

收稿日期:2022-06-30

作者简介:王建超(1988-),男,地质工程师、爆破员、学士,2013年毕业于福州大学资源勘查工程专业,从事地质矿产勘查及金属非金属矿山一线生产管理工作,(E-mail) eibsmile@163.com。

老龙山石灰岩矿在原有整合4个私营小型矿山基础上扩大矿区范围而成,矿山位于驻马店市确山县西南约12 km任店镇张冲村,矿区面积0.5338 km<sup>2</sup>,开采方式为露天开采,开采深度由+225 m至+70 m标高。建筑石料用灰岩矿主要赋存于寒武系地层之中,其中矿体主要是寒武系下统辛集组中上段灰白色厚层灰岩及白云岩、少量泥质条带灰岩矿。矿体呈较稳定的矿层,矿体厚度较大,50 m到350 m不等。倾向北东65°~80°,倾角30°左右,矿区范围内赋存标高为+70 m~+225 m。

该矿山为整合矿山,前期开采在原有四个小型矿山开采现状上进行,矿山台阶不成型,开采不规范,原设计开采孔排距4.0 m×3.5 m。由于没有对初始爆破参数及时调整优化造成爆破成本较高的同时影响实际生产效率。当前研究者大多借助理论研究、数值模拟、半经验法、少数现场工程试验等手段研究露天深孔爆破参数<sup>[1-3]</sup>。别矿台阶深孔爆破优化孔排距<sup>[4]</sup>,某石灰岩矿中深孔爆破参数优化研究<sup>[5]</sup>,黄麦岭露天矿台阶爆破探索最优孔排距<sup>[6]</sup>,狮子山铜矿优化中深孔爆破参数等一系列矿山都通过试验确定了适合其矿山的最佳爆破参数<sup>[7]</sup>,但其研究结果往往不能通用于某一具体矿山。通过2020年7月开始实施的深孔爆破参数优化试验的第一阶段对矿山深孔爆破参数进行优化试验,2021年2月起实施该试验项目的第二阶段:通过调整钻孔孔径,孔径从90 mm调整到110 mm,进而扩大孔排距,优化爆破设计,继续降低炸药单耗。对老龙山石灰岩矿实施深孔爆破参数优化近一年的生产试验过程中所实施的精细管控措施,实施前后爆破工序成本变化对比,为矿山确定出最优的爆破参数并为下一步试验及其他矿山露天开采深孔爆破参数优化试验提供一些参考。

## 1 开采技术条件

矿床为碳酸盐岩沉积矿床,矿体严格受地层层位控制,矿体构造简单,产状较缓,矿层厚度稳定。矿体在矿区大面积分布,裸露于地表,存在一定覆盖层,植被较发育,根据矿山开采统计和现有采坑调查显示,主要为泥质灰岩或泥岩,部分有一薄层残坡积物覆盖,覆盖层厚度平均为5 m。矿区水文地质为条件中等的矿床,区内矿体部分位于最低侵蚀基准面之下;地形有利于自然排水;大气降水是矿床的主要补给来源,地表水体不构成矿床的主要充水因素。矿石致密坚硬,未受构造破坏,属坚硬级类矿石,工程地质稳固性好;顶板岩石的稳固性较好;区内所见矿体一般裸露地表,但覆盖较厚。矿区工程地质属于简单类型。

深孔爆破参数优化试验采场位于矿区145 m阶段以下,台阶高度为15 m。矿石为石灰岩及炭质灰岩夹层,矿石致密坚硬,工程地质稳固性好。利用矿山现有的4台开山牌KT7C型整体式高压露天潜孔钻车和2台志高牌ZEGA D545 III型整体式履带式露天钻机进行穿孔。采用2号岩石粉状炸药及岩石乳化炸药、8号工业数码电子雷管起爆的深孔爆破作业。大块矿石用液压挖掘机配置的液压破碎锤在工作面进行2次破碎。

## 2 深孔爆破优化试验项目主要内容

深孔爆破参数直接影响爆破效果(大块率和根底)及爆破工序成本,矿山在用穿孔爆破孔排距为4 m×3.5 m,本次项目第一阶段在原有孔径(90 mm)基础上主要通过扩大孔排距,前期通过测试测试出需调整到的孔排距,以4.0 m×3.8 m、4.0 m×4.0 m、4.2 m×4.0 m、4.5 m×4.0 m来测试,确定适合矿山的孔排距,辅以爆破区域自由面清理,并严格控制每个孔超深及封孔长度,优化爆破设计及用炮锤二次破碎来弥补爆破大块率和根底,降低炸药单耗,使爆破工序总成本降低。第二阶段保持现有的炸药单耗保持不变的情况下,通过将钻孔孔径调整至110 mm,爆破孔排距增大至5.0 m×4.8 m、5.2 m×5.0 m,提升每米爆破量,增加单次爆破矿量,减少穿孔爆破次数,提升爆破效率,进一步节省炸药用量,降低矿山爆破工序生产成本。

## 3 试验项目关键技术

### 3.1 90 mm 孔径下深孔爆破参数优化试验

爆破设计参数达到的爆破效果和炮锤二次爆破成本总和最低。

1) 优化爆破设计包含:爆破自由面根据岩层走向选择;爆破自由面物料清理;爆破排数选择;起爆连线方式设计等。

2) 前期通过测试测试出需调整到的孔排距,以4.0 m×3.8 m、4.0 m×4.0 m、4.2 m×4.0 m、4.5 m×4.0 m来测试。

3) 测试时安排挖掘机及汽车进行单独出料方便单独统计核算。

4) 安排专门破碎锤进行二次破碎以核算具体成本。

### 3.2 110 mm 孔径下深孔爆破参数优化试验

1) 优化爆破设计包含:爆破自由面根据岩层走向选择;爆破自由面物料清理;爆破排数选择;起爆连线方式设计等。

2) 前期通过现有炸药单耗及孔径、孔排距推算出110 mm孔径需调整的孔排距,孔排距暂定为

5.0 m×4.8 m、5.2 m×5.0 m 来进行现场钻爆及出矿量跟踪实验。

3) 测试时安排挖掘机及汽车进行单独出料方便单独统计核算。

4) 安排专门破碎锤进行二次破碎以核算具体成本。

## 4 爆破网路设计

### 4.1 起爆顺序

采用孔、排毫秒延期逐孔逐排起爆<sup>[8]</sup>, 为保证百分之百起爆单孔上下各填装一枚8号工业数码电子雷管同时起爆。

### 4.2 爆破网路

矿山深孔爆破采用2号岩石粉状或乳化药卷, 其密度为0.95~1.25 g/m<sup>3</sup>, 装药结构采用耦合装药, 爆速为大于3200 m/s, 殉爆距离大于3 cm。孔与孔延期45 ms, 排与排延期110 ms, 孔与孔、排与排均采用串联方式连接至起爆器。

### 4.3 炮孔堵塞

炮孔堵塞采用粘土、黄沙混合物。粗沙:粘土=1:1.5(粗沙粒经最大不超过2 cm), 各孔堵塞长度应根据各孔前排孔边距及孔口风化带的影响而定。填塞长度取3.5~4 m。靠近临空面的第一排炮孔填塞长度为4.0 m, 第二排填塞长度为3.8 m, 第三排填塞长度为3.5 m。

### 4.4 网路联接

爆破网络联接由爆破专业设计人员负责, 并做好网路的保护工作。如果用大把抓的方式连接, 雷管均用胶布捆绑5层, 采用反向联接。联接完成后由专业技术人员进行复查确认无误后, 方可以进行堵塞工作。

## 5 深孔爆破参数优化试验项目实施进展概况及爆破效果

2020年7月14日开始实施, 按照4.0 m×

3.8 m、4.0 m×4.0 m、4.2 m×4.0 m、4.5 m×4.0 m 四种孔排距有序测试。7月17日完成4.0 m×3.8 m孔排距爆破测试, 爆破前后情况如图1所示: 爆破前自由面处理干净, 未留未出余矿及根底。爆破后整体沉降效果明显, 炮区岩石向临空面抛掷效果显著, 矿石块度满足破碎生产要求, 大块率3%, 随着出矿的深入底部较小, 较按孔排距4.0 m×3.5 m进行爆破后一台破碎锤增加2小时工作量处理根底。7月21日完成4.0 m×4.0 m孔排距爆破测试, 爆破前后情况如图2所示: 爆破前自由面处理干净, 未留未出余矿及根底。爆破后整体沉降效果较好, 大块率5%, 整体满足破碎生产需求, 出矿后根底较大2~3 m宽、3 m高, 出料后需2台破碎锤作业4 h处理根底以免影响下次爆破。7月24日完成4.5 m×4.0 m孔排距爆破测试, 爆破效果如图3所示: 爆破前自由面处理干净, 未留未出余矿及根底。抛掷效果较差, 第三排岩石未抛出, 大块率较高达到10%, 爆破后需2台破碎锤作业4小时对大块进行二次破碎, 出矿过程中需一台破碎锤一直配合作业对挖掘机剔出的大块进行破碎, 生产效率极大降低, 出矿后留根底较大处理难度大危险度高。8、9、10月份按照4.2 m×4.0 m孔排距在矿区中部115~130 m阶段及矿区西北部130~145 m阶段进行穿孔爆破, 爆破效果如图4所示: 爆破前自由面处理干净, 未留未出余矿及根底。爆破效果一般, 爆破后前排抛出效果较好, 后排抛出效果较差, 大块率达6%, 且出矿过程中随时可能需要破碎锤进行配合对踢出大块堆进行二次破碎, 出矿后遗留根底较大3~4 m宽、3 m高, 整体配合破碎锤进行二次破碎及处理根底未影响全月生产。11、12月由于产量较大加上前几个月按照4.0 m×4.2 m孔排距进行爆破时底部根底较大影响生产遂调整孔排距为4.0 m×3.8 m在主采区(115~130 m阶段)进行穿孔爆破。其他外围区域由于自然条件限制未完全按照4.0 m×3.8 m孔排距进行穿孔爆破。

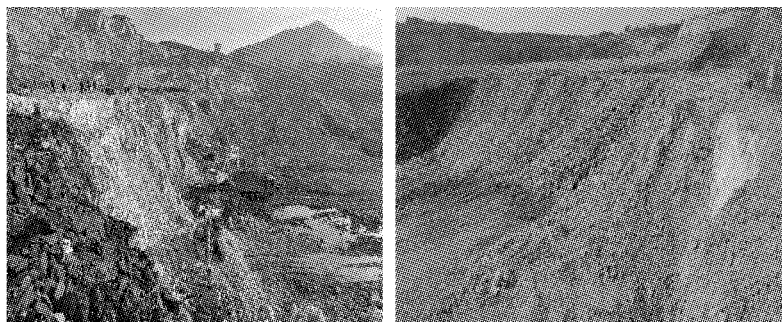


图1 +145平台4.0 m×3.8 m孔排距爆破前后现场图

Fig. 1 Scene before and after blasting of +145 bench with hole spacing and burden of 4.0 m×3.8 m

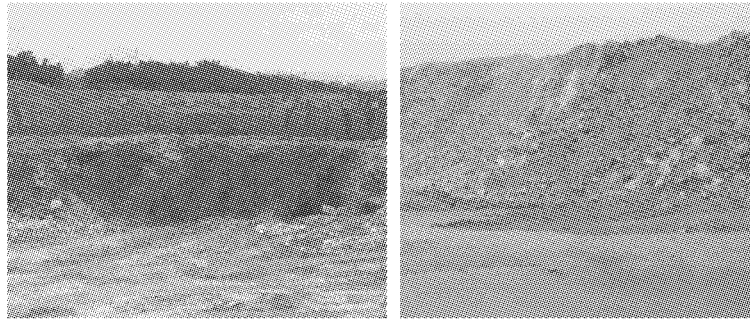


图2 +145平台4.0 m×4.0 m孔排距爆破前后现场图

Fig. 2 Scene before and after blasting of +145 bench with hole spacing and burden of 4.0 m×4.0 m



图3 +145平台4.5 m×4.0 m孔排距爆破前后现场图

Fig. 3 Scene before and after blasting of +145 bench with hole spacing and burden of 4.5 m×4.0 m

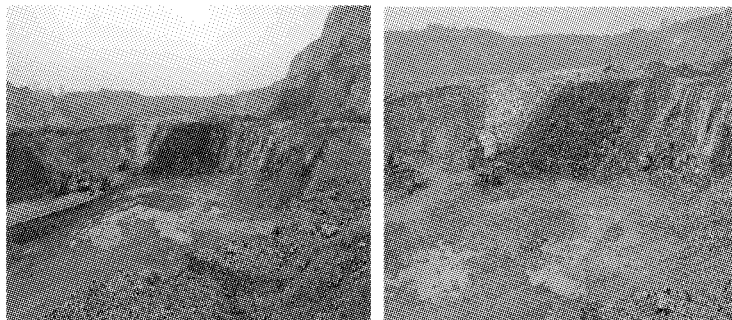


图4 +130平台4.2 m×4.0 m孔排距爆破前后现场图

Fig. 4 Scene before and after blasting of +130 bench with hole spacing and burden of 4.2 m×4.0 m

2021年进行爆破优化项目的第二阶段:通过调整钻孔孔径,孔径从90 mm调整到110 mm,进而扩大孔排距,优化爆破设计,继续降低炸药单耗,同时增加单次爆破矿石量。2、4、5、6月各进行一次110 mm孔径爆破试验,110 mm孔径下试验孔排距5.0 m×4.8 m,爆破前后情况如图5所示:爆破前自由面处理干净,未留未出余矿及根底。爆破后整体沉降效果明显,炮区岩石向临空面抛掷效果显著,矿石块度满足破碎生产要求,大块率5%,由于该孔径下5.0 m×4.8 m孔排距爆破试验后底部根底出现变大趋势,为保证正常生产效率及经济效益未再进行5.2 m×5.0 m孔排距试验。

## 6 深孔爆破参数优化试验项目取得效果

2020年实施深孔爆破参数优化试验项目第一阶段以来整体爆破单耗控制在0.138 kg/t左右,炸药单耗由2019年全年平均0.164 kg/t,降低到2020年实施该项目后平均0.138 kg/t(扣除19年及20年外租破碎锤凿矿量,2020年租赁破碎锤凿矿量50万t。2019年租赁破碎锤凿矿80万t)。未扣除外租破碎锤凿矿量情况下2019年平均单耗为0.1457 kg/t,2020年全年平均为0.1332 kg/t,生产每吨矿石节省炸药0.0099 kg,全年节省炸药用量99.38 t,实施爆破参数优化试验后每月持续改进情况详见表1。2021年实施该优化试验项目第二阶段,共按照项目计划按照5.0 m×4.8 m孔排距

试验四次,炸药单耗控制在 0.114 kg/t。110 mm 孔径 下按照 5.0 m × 4.8 m 孔排距试验四次结果见表 2。

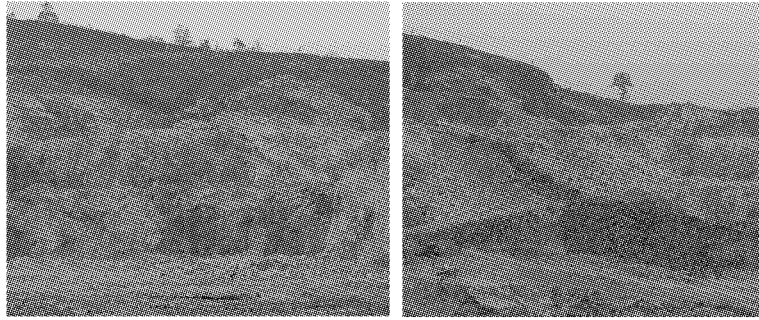


图 5 +145 平台 5.0 m × 4.8 m 孔排距爆破前后现场图

Fig. 5 Scene before and after blasting of +145 bench with hole spacing and burden of 5.0 m × 4.8 m

表 1 2020 年实施爆破参数优化试验后每月持续改进统计表

Table 1 Summary of monthly continuous improvement after optimization experiment of blasting parameters in 2020

月份	实际爆破 矿石量/t	炸药 用量/t	爆破每吨矿石 所需炸药量/kg	单耗吨数/(毛料 产量/炸药量)	相比上月节省 炸药量/t	相比上月节省 炸药费用/(万元)
6	900 577.36	135.170	0.15000	6662.55	—	—
7	641 055.42	89.710	0.14000	6662.55	6.880	8.530
8	795 796.86	110.960	0.13900	7145.86	0.960	1.190
9	1 065 074.26	146.760	0.13800	7257.25	1.110	1.380
10	870 231.90	118.950	0.13700	7315.95	1.030	1.280
11	1 109 564.24	151.100	0.13620	7343.24	1.010	1.250
12	812 746.64	110.796	0.13630	7336.76	-0.075	-0.093
合计(平均)			0.13775	7176.94	10.915	13.537

备注:实际爆破矿石量 = 本月底生产矿石量 + 本月底库存矿石量 - 本月初库存矿石量 - 外租破碎锤凿矿量(外租破碎锤凿矿量为按单价 7.5 元/t 租赁破碎锤凿矿量加上按月租赁破碎锤租赁费用折合凿矿量),炸药单价按 2020 年度均价 12427.86 元/t。

表 2 110 mm 孔径爆破参数优化试验结果统计汇总表

Table 2 Summary table of optimization experiment results of 110 mm aperture blasting parameters

爆破日期	2月25日	4月5日	5月30日	6月23日	合计
爆破位置	130 m 北	130 m 东南	115 m 东南	130 m 东南	
区域位置	三层北	三层南	四层南	四层南	
孔数/个	36	36	60	40	172
孔深详情	36 个 3 排 4 m × 16 m + 7 m × 13 m + 25 m × 15 m	36 个 2 排 36 m × 16 m	60 个 3 排 60 m × 16 m	40 个 3 排 40 m × 16 m	
米数/m	530	576	960	640	2706
孔网参数	5.0 m × 4.8 m	5.0 m × 4.8 m	5.0 m × 4.8 m	5.0 m × 4.8 m	
炸药量/t	3.369	3.552	3.960	2.760	13.641
雷管/发	70	60	120	70	320
预计爆破矿石量/t	28 828.8	27 799.2	47 049.6	33 196.8	136 874.4
实际出矿量/t	28 895.70	30 501.17	31 391.09	29 193.54	119 981.50
炸药单耗/(kg · t <sup>-1</sup> )	0.117	0.116	0.126	0.095	0.114

(下转第 99 页)