

· 采选工程 ·

浅析矿山开采中爆破参数优化与灾害控制

吴 亮 张发勇
(武汉科技大学理学院) (贵州乌江沙沱电站建设公司)

摘 要:在分析了影响爆破效果因素的基础上,探讨了爆破块度分布预测模型、爆破参数优化经济模型以及爆破振动灾害的研究现状,以矿山深孔爆破机理、矿岩破坏能量分配和爆炸能量利用率以及爆破效果与灾害控制评价为基础,建立数学经济模型,充分结合系统科学研究方法,优化爆破参数。

关键词:爆破参数优化;矿山开采;灾害控制

中图分类号:TD235.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-6082(2009)08-0019-03

Preliminary Analysis of Blasting Parameter Optimization and Hazard Control in Mining

Wu Liang¹ Zhang Fayong²

(1. Hubei Province Key Laboratory of Systems Science in Metallurgical Process; 2. College of Science, Wuhan University of Science and Technology; 3. Guizhou Wujiang Shatuo Hydropower Station Construction Company)

Abstract: The optimization of blasting parameters and hazard control was a complex non-linear programming problem in mining. Based on analyzing factors affecting the blasting effects, the research status of prediction model of blasting fragmentation distribution, economic model of blasting parameters optimization, and blasting vibration disaster were discussed. And according to basic issues such as the mechanism of mine deep-hole blasting, energy distribution of rock damage and explosion energy utilization ratio, a mathematic economic model was built on the basis of blasting effect and disaster control evaluation. The model fully employed scientific research methods of system to optimize blasting parameters.

Keywords: Optimization of blasting parameter; Mine mining; Hazard control

1 引 言

爆破作业是矿山生产的主要环节,提高爆破质量不仅是技术上的要求,对提高矿山经济效益也至关重要,影响爆破效果的因素很多,主要因素有钻孔直径、梯段高度、装药结构、炸药单耗、孔网参数等。爆破质量直接影响矿山生产过程中铲装、运输、破碎等后续工序的效率和总成本的降低。因此,必须确定合理的爆破参数,建立优化经济数学模型。以装药结构优化为例,本钢南芬露天铁矿于2000年末开始使用底部空气间隔装药技术,不仅降低了炸药单耗和岩石大块率,而且提高了铲装效率,当年创经济效益145万元^[1]。本钢歪头山铁矿于2002年采用空气间隔装药技术,降低了采矿综合成本,截至

2003年4月,经济效益超过100万元^[2]。

2 影响爆破效果因素

(1)炸药与岩石的匹配。炸药与岩体的相互匹配分为波阻抗匹配、全过程匹配和能量匹配三种。除了反映岩石爆破性的波阻抗外,影响岩石爆破性的物理力学性质还包括密度、孔隙度、岩石纵波速度、抗拉强度、抗压强度、弹性模量和泊松比等。

(2)炮孔参数与孔网设计必须满足单孔炸药单耗达到合理的选定值,尽量使各孔爆炸能量在整个爆区均匀分布,从而使得岩石的爆破块度均匀。这里涉及确定合理的底盘抵抗线、炮孔直径、堵塞长度、超深、孔距与排距等参数。另外,要充分利用自由面以提高炮眼的利用率。露天深孔梯段微差爆破采取V形起爆、对角式起爆、波浪式起爆和径向式起爆等都是为了扩大自由面,提高爆炸能量利用率,

吴 亮(1980-),男,博士,主要从事工程爆破与岩石动力学、工程力学的教学与科研工作,430081 湖北省武汉市。

改善爆破效果。而排间微差时间的选择需满足两排炮孔间介质的垂直运动和水平运动的关系,达到碰撞的目的,以避免堵塞段出现大块,同时也要满足后排爆破创造自由面所需时间。

(3)起爆方式的影响。反向起爆较正向起爆的爆炸能量利用率高,爆炸在岩石中产生的冲击波和从自由面反射回介质的拉伸波的强度大,爆轰气体对岩石的静态作用强度高和时间长,有利于克服孔底岩石所受的夹制力而不致产生根底。反向起爆,入射波与反射波叠加后,岩石的质点运动速度高于正向起爆,质点的运动方向和裂纹的扩展方向有利于岩石的破碎,并且爆炸波产生的裂纹方向有利于爆轰产物的气楔作用^[3]。

(4)装药结构的影响。传统的连续柱状装药存在单耗大、爆轰初压过高、岩石过度粉碎、爆生气体作用时间短等缺点,易产生大块和根底,带来爆破振动危害,铲装和运输效率低下等诸多问题。许多模型实验和矿山实践都证明,改连续柱状装药为轴向空气间隔装药可以有效地克服连续装药爆破带来的诸多弊端,并能取得理想的爆破效果,不仅提高了炸药能量的有效利用率,而且控制了爆破危害,并降低了爆破成本^[4]。

可见,合理优化爆破参数需对矿山深孔爆破技术机理、矿岩破坏能量分配和爆炸能量利用率等基础问题进行更深入的研究。

3 爆破块度分布预测模型

矿山生产爆破作业中,爆破效果(大块率、块度分布及爆堆形态等)直接影响着铲装、运输、破碎等后续工序和采矿总成本。其中,爆破块度分布是影响采矿作业成本的主要因素^[5],因此需对矿山深孔爆破技术机理和矿岩破坏能量分配进行更深入的研究,并在此基础上,对矿山原有爆破参数进行优化。选择合理的爆破块度分布预测模型对于采矿成本的控制具有重要的意义。目前,通常采用的块度方程是 KUZ-RAM 模型。南非 C. Cunningham^[6]指出:KUZ-RAM 模型是库兹涅佐夫(Kuznetsov)方程和罗森拉姆(Rosin-Rammler)分布函数二者的结合。前者研究的是爆破的平均块度,后者则研究块度的分布特征。澳大利亚的哈里斯(Harries)、加拿大的布拉斯帕(Blaspa)等理论模型。由于爆破过程的复杂性和瞬时性以及岩体条件的多变性,这些理论模型一般是将动态问题静态化,将非均质的岩体视为弹性介质,因而建立的模型过于理想化,与岩体的实际情况不符,其预测结果与实际也就有较大的差异。

而经验模型是根据某一特定岩石条件下的爆破试验数据,经过数理统计分析建立的,往往存在局限性,不具有通用性^[7]。尽管影响爆破块度的因素多达数十个,然而起决定性作用的是岩体内的原生宏观弱面分布,以及爆破过程中这些弱面的破裂概率和岩石破裂面的数目。张继春^[8]在爆破碎块的随机分形构造模型基础上,应用损伤力学的处理方法,分析了岩体爆破的节理破裂机制,通过“岩体破裂比率”这个新概念将节理岩体爆破机理同爆破块度相联系,建立起岩体爆破块度的损伤力学模型(BDM)。

在系统科学研究方面,朱红兵^[9]等首先采用灰色关联法找出影响爆破块度的关键因素,再运用人工神经网络预测矿山爆破块度分布,取得良好效果。祝文化^[10]等基于工程实例,建立了堆石坝料开采爆破块度预测的神经网络 BP 模型,并将网络预测值与 R-R、G-G-S 分布模型拟合值进行了比较。姚金阶^[11]等应用神经网络系统,建立了岩石爆破块度级配要求及岩性等参数与爆破设计参数之间的神经网络模型,根据开采块度级配要求确定爆破施工参数。可见,系统方法的应用避免了复杂的理论模型研究,既可以对岩石爆破块度进行预测与评价,又能方便地运用于工程实际。

4 爆破参数优化经济模型

爆破参数优化数学经济模型的建立应以爆破效果评价为基础。目的在于降低炸药单耗、减小爆破块度、实现采选总成本的降低。矿山爆破参数优化通常是以采矿总成本为目标函数,通过调整某范围内的各爆破参数,以达到目标函数值最小的目的。目前,各类矿山爆破参数优化实用模型都是在加拿大钟汉荣爆破参数优化数学模型的基础上发展起来的。祝文化^[12]等探讨了人工神经网络 BP 模型用于爆破参数优化的方法,结合最优目标函数,实现对堆石坝料开采爆破参数的优化。马建军^[13]利用统计规律建立矿山现场的爆破优化数学模型。为了全面、客观地评价各影响因素之间的关系,张艳^[14]等采用层次分析决策法对影响爆破效果的主要因素进行分析。

目前,许多模型没有考虑爆破危害引起的经济损失。同时,当开挖进度和场地发生改变时,相应的爆破参数也没有进行调整。例如对于靠界区域、高磁区及特殊部位难爆区域,宜采用逐孔起爆方式,而对于正常台阶爆破则采用排间微差起爆。

5 爆破危害预测与控制

在高陡边坡条件下为开挖或开采而进行的爆破,引起的爆破振动会对边坡的稳定产生较大的影响。如攀钢巴关河石灰石矿1980年11月18日在1388m水平进行药量3t的10孔齐发爆破,当晚发生 2.6万 m^3 的滑坡,随后1981年6月16日在采石场中偏西部采用硐室爆破,当晚发生 3416万 m^3 的大滑坡;白银公司露天矿1983年7月9日和20日发生的滑坡,滑坡总方量为 100万 m^3 。矿山生产爆破存在于矿山的整个服务期限,因此露天矿边坡岩体将受到采矿爆破的长期反复的频繁作用。爆炸波在远区虽已衰减为一种低频弹性波,但它对边坡岩体的长期反复作用,形成了一种疲劳破坏力,会使岩体性能逐渐劣化、强度逐渐降低。生产爆破对保留边坡的破坏主要是受爆破振动的影响,且岩体的完整性越差,受影响程度越大^[15]。在生产组织与爆破设计中,必须采用严格的控制爆破方法以降低爆破振动效应。因此,爆破振动规律研究与爆破振动速度峰值预测是解决边坡失稳的前提。

爆破振动的预测问题是一个及其复杂的课题,与地质结构、岩石条件等因素有关,也与爆破性质、爆破条件及爆破技术有关,仅用一个经验公式不能真实的反应其规律。描述爆破振动效应的参数较多,如振动速度、加速度、位移以及频率等。采用何种参数作为评判爆破振动安全的标准,意见各不相同。当前,国外评判标准的趋势已发展到不只以单一参数作为判据,如瑞典的评判标准综合考虑了振动速度、频率、位移和加速度等多项指标,美国矿务局、德国和芬兰的判据引入振动速度和频率两个指标。目前,国内已有学者开展这方面的研究^[16~22],徐全军^[23]在分析某核电站一期地面爆破振动监测结果的基础上,利用神经网络理论建立了爆破振动加速度峰值的预报模型,提出了神经网络模型预报加速度峰值的方法。柴建设^[24]将复杂的爆破动力简化成等效静载荷,计算出爆破动力影响程度,与其他参数综合考虑,利用边坡稳定分析神经网络专家系统对该边坡稳定性作出了准确的评价。

目前,需进一步研究爆破振动传播规律,并建立爆破振动速度峰值预测模型。在充分考虑岩石非连续性特征的基础上,建立不同爆源条件对爆炸能量转化为地震波能量的比例,确定爆破参数与地震波作用特征参量之间的定量关系,以揭示爆破地震波形成过程中的复杂力学行为及其变化规律,为控制爆破地震波对边坡危害提供科学依据。

6 结 论

爆破参数优化是一个复杂的非线性规划问题,由于该优化问题具有多个决策变量,且各决策变量之间相互联系,相互制约,不能用简单的线性关系加以描述。另外需从合理性、安全性和经济性三个方面来综合评判爆破参数体系的优劣。

矿山开采中爆破参数优化与灾害控制问题的分析,需对矿山深孔爆破技术机理、矿岩破坏能量分配和爆炸能量利用率等基础问题进行更深入的研究,并结合系统科学研究方法,建立合理有效的爆破块度预测模型。在爆破参数优化的基础上,以爆破效果与灾害控制评价建立数学经济模型,寻求最优爆破参数,使目标函数值最小。

参 考 文 献:

- [1] 刘振东,高毓山,谭永后.底部间隔装药结构在南芬露天矿的试验研究[J].矿业快报,2002,385(7):13~15.
- [2] 李彬.气囊间隔技术在歪头山铁矿爆破生产中的应用[J].金属矿山,2003,326(8):59~60.
- [3] 段卫东,马建军.反向起爆破碎效果优于正向起爆的机理探讨[J].武汉冶金科技大学学报,1998,21(1):10~13.
- [4] 吴亮,朱红兵,卢文波.空气间隔装药爆破研究现状与探讨[J].工程爆破,2009,15(1):49~52.
- [5] 许红涛,卢文波.遗传算法在工程爆破参数优化中的应用[J].中国工程科学,2005,7(1):76~80.
- [6] C. Cunningham. 预估爆破破碎的 KUZ-RAM 模型[C]. 第一届爆破破岩国际会议论文集,长沙:长沙岩石力学工程技术咨询公司,1985.251~257.
- [7] 谭臻,李广悦,李长山.爆破参数对爆破块度效果影响的灰色关联分析[J].矿业工程,2003,1(6):41~43.
- [8] 张继春.节理岩体爆破的损伤机理及其块度模型[J].中国有色金属学报,1999,9(3):667~670.
- [9] ZHU Hong-bing, WU Liang. Application of Gray Correlation Analysis and Artificial Neural Network in Rock Mass Blasting. Journal of Coal Science & Engineering. Vol. 11, No. 1, June 2005.
- [10] 祝文化,朱瑞麟,夏元友.爆破块度预测的神经网络方法研究[J].武汉理工大学学报,2001,23(1):60~62.
- [11] 姚金阶,朱以文.岩体爆破参数设计的神经网络模型[J].爆破,2005,22(2):34~36.
- [12] 祝文化,朱瑞麟,夏元友.堆石坝料开采爆破参数优化的神经网络法研究[J].工程爆破,2001,7(1):20~23.
- [13] 马建军,陈付生,颜钦武.基于统计规律的爆破优化实用模型[J].黄金,2003,24(2):23~26.
- [14] 张艳,邓小英,唐书.龙滩大法坪石料场开采爆破参数试验优化[J].工程爆破,2006,12(1):75~78.
- [15] 蔡路军,马建军.高陡边坡爆破振动安全研究[J].露天采矿技术,2006(2):12~14.
- [16] 马建军,蔡路军.遗传算法在爆破优化中的应用[J].矿业研究与开发,2001,21(3):40~42.
- [17] 张艺峰,姚道平,谢志招.基于BP神经网络的爆破振动峰值及主频预测[J].工程地球物理学报,(下转第34页)

表 7 矿浆浓度对浮选精矿的影响 (%)

产品名称	产率	品位		回收率		矿浆浓度 /%
		Fe	S	Fe	S	
精矿	99.42	65.87	0.21	99.97	40.94	20
尾矿	0.58	3.39	0.52	0.03	59.06	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.20	65.96	0.18	99.88	35.01	31
尾矿	0.80	9.83	0.41	0.12	64.99	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.31	65.95	0.17	99.98	33.10	37
尾矿	0.69	1.90	0.49	0.02	66.90	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	

2.6 浮选时间试验

在最佳矿浆浓度的基础上,进行了最佳浮选时间探索试验,试验结果见表 8。

表 8 浮选时间对浮选精矿的影响

产品名称	产率 /%	品位/%		回收率/%		浮选时间 /min
		Fe	S	Fe	S	
精矿	99.63	65.71	0.26	99.93	50.79	1
尾矿	0.37	12.39	0.68	0.07	49.21	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.40	65.89	0.20	99.98	38.98	3
尾矿	0.60	2.18	0.52	0.02	61.02	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.40	65.89	0.20	99.98	38.98	4
尾矿	0.60	2.18	0.52	0.02	61.02	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.20	65.96	0.18	99.88	35.01	5
尾矿	0.80	9.83	0.41	0.12	64.99	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.39	65.90	0.19	99.98	37.03	6
尾矿	0.61	2.15	0.53	0.02	62.97	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	

试验结果表明,在一定时间内,随着浮选时间的延长,其精矿中的硫品位呈逐渐降低的趋势。当浮选时间为 5min 时,所得精矿指标相对较好;而当浮选时间延长至 6min 时,其精矿中的硫含量基本保持不变。

2.7 调整剂试验

矿浆的酸碱度直接影响着浮选药剂的效用,因此,分别进行了 H_2SO_4 和 Na_2CO_3 两种调整剂调浆试验。试验结果见表 9。

由表 9 可见,相对于矿浆 pH 值为 7.8 的试验

指标,随着 H_2SO_4 的加入,pH 值的降低,其精矿的硫含量略有升高,表明添加硫酸不能改善硫的浮选效果;而随着碳酸钠的加入,矿浆 pH 值的升高,精矿的硫含量略显降低,但效果并不明显。由此可见,浮选试验以中性为宜。

表 9 pH 值对浮选精矿的影响

产品名称	产率 /%	品位/%		回收率/%		pH 值
		Fe	S	Fe	S	
精矿	99.11	66.03	0.16	99.90	31.09	8.5
尾矿	0.89	7.36	0.39	0.10	68.91	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.13	66.02	0.16	99.90	31.10	8.1
尾矿	0.87	7.53	0.40	0.10	68.90	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.20	65.96	0.18	99.88	35.01	7.8
尾矿	0.80	9.83	0.41	0.12	64.99	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.32	65.91	0.18	99.93	35.05	7.0
尾矿	0.68	6.74	0.49	0.07	64.95	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	
精矿	99.55	65.79	0.20	99.98	39.04	6.5
尾矿	0.45	2.91	0.69	0.02	60.96	
原矿	100.00	65.51	0.51	100.00	100.00	

系列试验结果表明,反浮脱硫效果较明显,其精矿含硫明显低于优质铁精矿含硫不超过 0.3% 的要求,因此反浮选粗精矿可不进行精选作业。

3 结 论

(1) 程潮筛下铁精矿在乙黄药、丁黄药配比为 1:1,用量在 200g/t 时,所获铁精矿最低硫含量为 0.16%,降硫效果十分显著。

(2) 通过细磨和深选均难以获得显著的降硫效果。

(3) 所得铁精矿的硫主要是硫矿物以极细颗粒与磁铁矿紧密共生,所以,进一步降硫难度很大。

参 考 文 献:

- [1] 许时等. 矿石可选性研究[M]. 北京:冶金工业出版社,1979.
- [2] 胡为柏. 浮选[M]. 北京:冶金工业出版社,1983.
- [3] 张 强. 选矿概论[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.

(收稿日期 2009-02-25)

(上接第 21 页)2008,5(2):222~226.

- [18] Zhong Dongwang et. Study on the Forecast of Blast Vibration Peak Value Based on the Fuzzy Neural Network, Fragblast 7, 2002. 7: 263~266, Beijing, China.
- [19] 唐 海,石永强,李海波. 基于神经网络的爆破振动速度峰值预报[J]. 岩石力学与工程学报,2007,42(5):3533~3539.
- [20] 肖清华,张继春,夏真荣. 基于先验知识和 BP 网络的隧道爆破参数计算[J]. 西南交通大学学报,2007,26(S):537~541.

- [21] 单仁亮,汪学清,高文蛟等. 人工神经网络在巷道爆破中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报,2007,42(S1):3322~3328.
- [22] 夏梦会,董香山,张力民等. 神经网络模型在爆破振动强度预测中的应用研究[J]. 有色金属,2004,56(3):25~27.
- [23] 徐全军,刘 强,聂渝军. 爆破地震峰值预报神经网络研究[J]. 爆炸与冲击,1999,19(2):133~138.
- [24] 柴建设,张云鹏,甘德清. 棒磨山铁矿爆破振动对边坡稳定性影响的分析[J]. 有色矿山,2000,29(2):12~14.

(收稿日期 2009-05-10)