

文章编号:1674-2869(2011)09-0088-05

蒙库露天铁矿爆破漏斗试验及其应用研究

肖胜祥¹, 陈清运^{2*}, 罗学东³, 钟 健²

(1. 新疆和合矿业有限责任公司, 新疆 和静 813200; 2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074; 3 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:基于在蒙库露天铁矿开采平台和剥离平台上进行的一系列爆破漏斗试验(单孔集中药包爆破漏斗、变孔距同段爆破漏斗和连续柱状炸药斜面台阶爆破漏斗)结果, 得到最佳深度比、炸药单耗、孔间距、孔排距. 依据利文斯顿弹性应变方程, 求出矿岩中深孔生产爆破参数及靠帮光面爆破参数. 爆破参数工业试验表明, 矿岩中深孔生产爆破质量明显得到改善, 靠帮光面爆破在控制边坡外形和降低岩体损伤方面符合规定质量要求.

关键词:爆破漏斗试验; 中深孔爆破参数; 光面爆破

中图分类号:TD854.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.09.022

0 引 言

近年来, 建立在利文斯顿爆破漏斗理论基础上的现场爆破漏斗试验技术, 在矿山爆破设计中得到广泛的应用, 如, 选择与矿岩匹配的炸药、核定炸药单耗、评判矿岩可爆性、确定爆破参数等^[1-3]. 新疆富蕴蒙库露天铁矿, 矿岩条件比较复杂, 为了确定合理的靠帮控制爆破参数和生产爆破参数, 减少爆破对边坡岩体的损伤和破坏, 降低爆破成本, 改善爆破质量, 从而开展了爆破漏斗试验研究.

1 工程地质概况

蒙库铁矿是目前新疆地区最大的露天矿, 隶属于宝钢集团新疆八一钢铁公司, 为其主要矿石原料基地之一. 矿床东西长 3 400 m, 宽 650 m, 面积约 2.0 km². 1# 矿体是最主要的工业矿体, 走向长度 1 560 m, 最大厚度 103.18 m, 一般 15~40 m, 平均 41.26 m, 其储量占蒙库铁矿床西段储量的 76.86%. 6-1# 矿体走向长度 763 m, 厚度最大 35.53 m, 一般 5~10 m, 平均 12.99 m. 铁矿石力学强度高、坚硬抗风化能力较强.

依据现场工程地质调查结果, 将蒙库露天铁矿分为 I~Ⅶ采区, I 采区为北帮, Ⅶ采区为东帮, 台阶高度 10 m. I 采区(北区)岩性主要为变粒

岩、层理状变粒岩、条带状角闪变粒岩及其互层. 产状 175°~210°∠85°, 主要发育两组节理, 产状分别为 300°∠39°、55°∠75°. 该区岩体结构为块状~碎裂状, 整体上分布均匀. 局部有软弱夹层、地下水浸染软弱带、构造破碎带, 夹层中有膨胀性矿物质. Ⅶ采区(东区)表层风化较严重, 岩体较破碎; 但在风化层以下, 岩体较完整, 岩体质量较好. 岩性主要为角闪变粒岩、条带状角闪变粒岩和部分磁铁矿.

2 爆破漏斗试验理论依据

利文斯顿爆破漏斗理论表明, 与最大岩石破碎量有关的最佳药包埋深可依公式(1)确定.

$$L_j = \Delta_j E_b Q_j^{1/3} \quad (1)$$

式(1)中: L_j 为最佳埋深, m; Δ_j 为最佳深度比, $\Delta_j = L_j / L_c$, L_c 指临界埋深, m; E_b 为弹性变形系数; Q_j 为最佳药量, kg.

利文斯顿弹性应变方程表明, 在同一矿岩体中采用同一种炸药爆破时, 小型爆破漏斗试验和大直径深孔爆破(单孔)两者的爆破漏斗参数满足公式(2).

$$\frac{L_{j1}}{L_{j0}} = \left(\frac{Q_1}{Q_0} \right)^{1/3}; \frac{r_{j1}}{r_{j0}} = \left(\frac{Q_1}{Q_0} \right)^{1/3}; \frac{V_{j1}}{V_{j0}} = \frac{Q_1}{Q_0} \quad (2)$$

式(2)中: Q_0 、 Q_1 为小型爆破漏斗试验和大直径深孔爆破时所用的药包重量, kg; L_0 、 L_1 为小型爆破

收稿日期:2011-09-14

基金项目:国家自然科学基金项目 50974031

作者简介:肖胜祥(1968-), 男, 湖北武汉人, 新疆和合矿业有限责任公司高级工程师. 研究方向:矿山工程地质和采矿工程管理.

* 通讯联系人:陈清运

漏斗试验药和大直径深孔爆破时的最佳埋深, m ; r_0 、 r_1 为小型爆破漏斗试验和大直径深孔爆破时最佳漏斗半径, m ; V_0 、 V_1 为小型爆破漏斗试验和大直径深孔爆破时的爆破漏斗体积, m^3 。

爆破体积与装药量成正比关系,在柱状连续均匀装药时,非耦合与耦合装药时爆破抵抗线与单位长度炮孔装药量满足公式(3)。

$$W_1/W_2=(q_1/q_2)^{1/3}$$

(3)

式(3)中: W_1 、 W_2 为非耦合与耦合装药时的爆破抵抗线, m ; q_1 、 q_2 为非耦合与耦合装药时单位长度炮孔装药量, kg/m 。

依据上述理论,试验研究是通过单孔爆破漏斗试验,绘出爆破漏斗的特征曲线,求得试验条件下的临界埋深、最佳爆破漏斗深度、应变能系数、炸药单耗等参数;之后,以最佳爆破漏斗深度为装药深度,进行变孔距多孔同段爆破漏斗试验,以确定深孔爆破的孔间距;最后,采用连续柱状炸药斜面台阶爆破试验方法,确定深孔爆破的最大抵抗线。

3 爆破漏斗试验

3.1 集中药包爆破漏斗试验

3.1.1 试验方案 集中药包爆破漏斗试验地点选择在 7[#] 采区采矿台阶和 1[#] 采区剥离台阶上。为使各炮孔爆破后形成的漏斗互不干扰,根据经验相邻炮孔间距宜大于 2.5 m,孔深 0.4~1.2 m,深孔和浅孔交替布置。装药前,对个别较深的炮孔用炮泥调整到设计装药深度,集中药包装药(膨化硝酸铵炸药,两卷炸药,每卷 150 g,药卷直径 40 mm),每孔装 1 只非电毫秒雷管,用炮泥堵塞孔口,同段齐发起爆。

以垂直炮孔轴线的平面作为基准面(见图 1),在爆破前后,分别按 20 cm×20 cm 的网度测量地表水平面和漏斗轮廓线距基准面的距离,求出各测点的爆破深度,按抛物线法(即辛卜生法)计算出漏斗各断面的面积。

$$S_i=\frac{B}{3}[(Y_0+Y_n)+2(Y_2+Y_4+\cdots Y_{2i}\cdots)+4(Y_1+Y_3+\cdots Y_{2i+1}\cdots)]$$

(4)

式(4)中: S_i 为漏斗某断面面积, m^2 ($i=1,2,\cdots$); B 为测点间距, m ; Y_i 为第 i 点爆破深度, m 。

按棱台体求得漏斗体积 V 。

$$V=\frac{B}{3}\left[\sum_{i=1}^n\sqrt{S_i\cdot S_{i+1}}+(S_1+S_n)+2(S_1+S_2+\cdots S_i\cdots)\right]$$

(5)

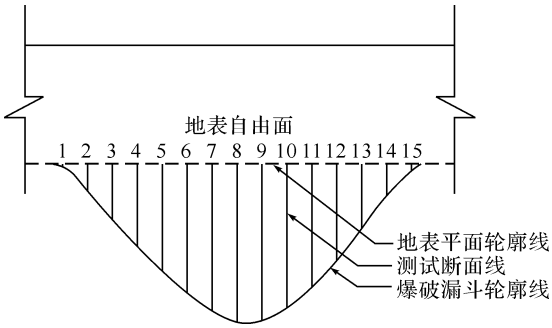


图 1 爆破漏斗体积测算示意图

Fig. 1 Schematic diagram of blasting crater volume estimates

炮孔爆破后,以炮孔为中心,间隔 45°直接量取八个不同方位的漏斗半径 r_i ,取其算术平均值作为漏斗半径。

3.1.2 7[#] 采区矿体试验结果 在 7[#] 采区矿体上实施集中药包爆破漏斗试验,试验结果如表 1 所示。

表 1 7[#] 采区矿体集中药包爆破漏斗试验结果

Table 1 7[#] Mining area focus kits blasting crater test results

炮孔 编号	药包中心 埋深 L/m	漏斗深度 D/m	漏斗半径 r/m	漏斗体积 V/m^3	深度比 Δ	单位炸药爆破体积	
						$\frac{V}{Q}/m^3\cdot kg^{-1}$	块度评价
1	0.25	0.30	0.32	0.065	0.24	0.217	无大块
2	0.35	0.35	0.38	0.083	0.33	0.277	无大块
3	0.45	0.42	0.45	0.091	0.43	0.303	大块少
4	0.55	0.50	0.56	0.172	0.52	0.573	大块多
5	0.65	0.69	0.66	0.277	0.61	0.926	大块多
6	0.75	0.55	0.50	0.170	0.71	0.567	大块多
7	0.85	0.45	0.40	0.070	0.81	0.233	大块少
8	0.95	0.25	0.20	0.020	0.90	0.067	大块少
9	1.05	0.00	0.00	0.000	1.00	0.000	无大块

依据表 1,7[#] 采区矿体集中药包爆破漏斗试验 $\frac{V}{Q}\sim\Delta$ 特征曲线如图 2 所示。

由表 1 和图 2,可以得到矿体集中药包爆破漏

斗试验的特征值,如表 2 所示。

3.1.2 1[#] 采区岩体试验 在 1[#] 采区岩体上实施集中药包爆破漏斗试验,试验结果如表 3 所示。

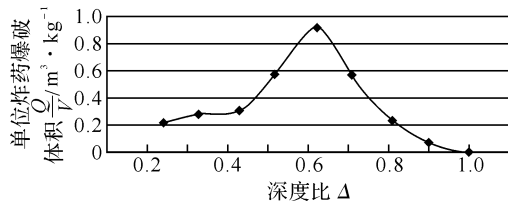


图 2 7# 采区矿体集中药包爆破漏斗试验特征曲线

Fig. 2 7# Mining area focus kits blasting crater test characteristic curve

表 2 7# 采区矿体及 1# 采区岩体爆破漏斗试验特征值

Table 2 Mining area and Stripping area Blasting crater test features

岩性	临界深度 L_c/m	弹性变形系数 E_b	最佳深度 L_j/m	最佳深度比 Δ_j	最佳爆破漏斗 体积 V_j/m^3	单位炸药消耗 $q_b/kg \cdot m^{-3}$
矿体	1.05	1.568	0.65	0.620	0.278	1.080
矿体	1.05	1.568	0.55	0.524	0.359	1.197

表 3 1# 采区岩体集中药包爆破漏斗试验结果

Table 3 1# Rock mining area focus kits blasting crater test results

炮孔编号	药包中心 埋深 L/m	漏斗深度 D/m	漏斗半径 r/m	漏斗体积 V/m^3	深度比 Δ	单位炸药爆破体积 $\frac{V}{Q}/m^3 \cdot kg^{-1}$	块度评价
1	0.25	0.24	0.38	0.075	0.24	0.250	无大块
2	0.35	0.34	0.43	0.097	0.32	0.326	无大块
3	0.45	0.44	0.48	0.211	0.42	0.706	大块少
4	0.55	0.69	0.71	0.358	0.52	1.197	大块多
5	0.65	0.70	0.65	0.246	0.62	0.820	大块多
6	0.75	0.55	0.50	0.137	0.71	0.457	大块多
7	0.85	0.30	0.35	0.083	0.80	0.279	大块多
8	0.95	0.22	0.17	0.016	0.89	0.056	大块少
9	1.05	0.00	0.00	0.000	1.00	0.000	无大块

依据表 3,1# 采区岩体集中药包爆破漏斗试

同段齐发,爆破后轮廓如图 4 和图 5 所示.

验 $\frac{V}{Q} \sim \Delta$ 特征曲线如图 3 所示.

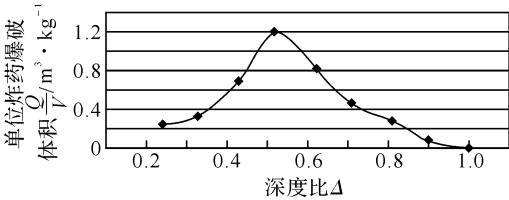


图 3 1# 采区岩体集中药包爆破漏斗试验特征曲线

Fig. 3 1# Mining area focus kits blasting crater test characteristic curve

由表 3 和图 3 可以得到集中药包爆破漏斗试验的特征值,如表 2 所示.

3.2 变孔距多孔同段爆破漏斗试验

3.2.1 试验方案 参考集中药包爆破漏斗试验的最佳爆破漏斗深度,在 7# 采区矿体和 1# 采区岩体上各钻凿 5 个孔,孔间距分布见图 4、5.以最佳炮孔埋深为药包装药深度,7# 采区矿体爆破漏斗试验采用药包中心埋深 0.64 m,1# 采区岩体爆破漏斗试验采用药包中心埋深 0.577 5 m.使用膨化硝铵炸药,每孔两卷炸药,每卷 150 g,药卷直径 40 mm.每孔装 1 只非电毫秒雷管,用炮泥堵塞孔口,5 个炮孔

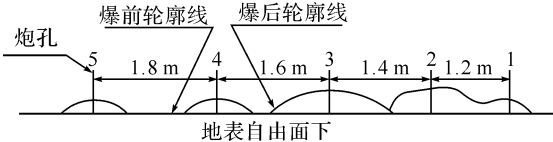


图 4 7# 采区矿体变孔距多孔同段爆破图

Fig. 4 7# Variable pitch porous ore mining area with blasting chart

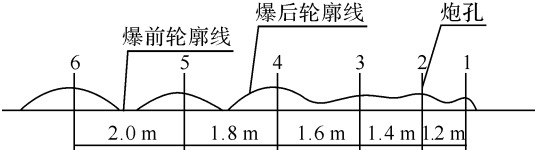


图 5 1# 采区岩体变孔距多孔同段爆破图

Fig. 5 1# Variable pitch porous rock mining area with blasting chart

3.2.2 矿岩体试验结果 7# 采区矿体变孔距同段爆破漏斗试验结果表明,孔间距为 1.2 m 的 1,2 两炮孔沿其中心线连通,形成沟槽,受自由面形状的作用,孔间留有脊柱,大块较多;孔间距为 1.4 m 的 2,3 两孔刚好未形成连通,未能形成沟槽,但可见爆破作用使两漏斗形成联通,但由节理裂隙控制,形成大块较多;与相邻炮孔孔间距为

1.6 m、1.8 m 的 4,5 两孔都未连通成槽,基本上形成各自独立的爆破漏斗.孔间距等于或小于 1.2~1.4 m 时,相邻炮孔爆破漏斗叠合较好,孔底矿石得到有效破碎.因此,确定孔间距参数在 1.3 m 为宜.

1[#] 采区岩体变孔距同段爆破漏斗试验结果表明,由试验结果可以看出孔间距为 1.6 m 的 3,4 两孔沿炮孔中心线连通,形成沟槽,孔间留有脊柱,大块较多;孔间距为 1.8 m 的 4,5 两孔刚好形成连通,但未能形成沟槽;孔间距为 2.0 m 的 5,6 两孔未连通成槽,基本上形成各自独立的爆破漏斗.孔间距等于或小于 1.6 m 和 1.8 m 时,相邻炮孔爆破漏斗叠合较好,孔底矿石得到有效破碎.因此,确定孔间距参数在 1.6~1.8 m 范围为宜.

根据利文斯顿爆破漏斗理论,中深孔台阶爆破由公式(6)进行计算,矿体和岩石中中深孔孔间距如表 4 所示.

$$A=\frac{a}{(Q_1/Q_2)^{1/3}}\tag{6}$$

式(6)中: a 为变孔距多孔同段爆破漏斗试验炮孔间距; A 为中深孔孔距; Q_1 为斜面台阶法爆破试验单位长度炮孔装药量; Q_2 为中深孔爆破单位长度炮孔装药量.

表 4 变孔距多孔同段爆破漏斗试验结果

岩性	炮孔间距 a/m	爆破单位长度炮孔装药量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$		中深孔间距 A/m
		试验炮孔 Q_1	中深孔 Q_2	
矿体	1.2~1.4	0.53	6.86~7.14	2.8~3.3
岩体	1.6~1.8	0.53	6.86~7.14	3.78~4.26

3.3 斜面台阶爆破漏斗试验结果

3.3.1 试验方案 采用连续柱状装药斜面台阶爆破试验方法,利用斜面台阶爆破抵抗线连续变化的性质,进行单孔斜面台阶爆破,测量爆破的最大的最小抵抗线.试验炮孔孔深 2.0 m,孔径为 40 mm(见图 6),膨化硝铵炸药连续耦合装药,装药密度是 0.53 kg/m.斜面台阶爆破漏斗试验炮孔布置如图 7 所示.

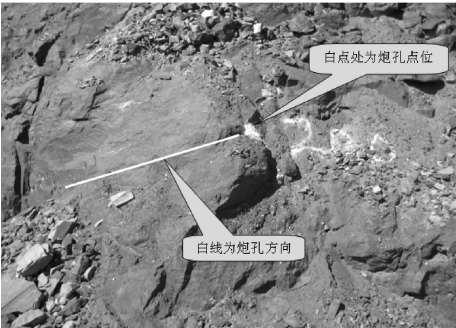


图 6 7[#] 矿斜面台阶爆破漏斗试验炮孔位置
Fig. 6 7[#] Incline bench blasting
minefunnel test hole locations

3.3.2 矿岩体试验 试验炮孔如图 7 所示,矿体和岩体斜面台阶法最小抵抗线试验结果如表 5 所示.

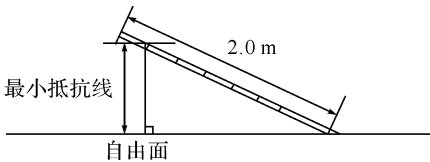


图 7 斜面台阶爆破漏斗试验炮孔布置示意图
Fig. 7 Incline bench blasting funnel test hole
layout diagram

表 5 斜面台阶法最小抵抗线试验数据

Table 5 Step method slope line of least resistance test data					
岩性	炮孔深度/m	装药长度/m	孔底抵抗线/m	实际爆破最大抵抗线/m	备注
矿体	2.0	1.23	1.54	1.12	矿石破碎块度较均匀
岩体	2.0	1.24	1.54	1.11	岩石破碎块度较均匀

根据利文斯顿爆破漏斗理论:

$$W=\frac{w}{(Q_1/Q_2)^{1/3}}\tag{7}$$

式(7)中: w 为斜面台阶法爆破试验的最小抵抗线; W 为中深孔炮孔排距,m; Q_1 为斜面台阶法爆破试验单位长度炮孔装药量,kg; Q_2 为中深孔爆破单位长度炮孔装药量,kg.

依据表 5 数据,由式(7)计算出矿岩体中深孔的炮孔排距见如表 6 所示.

表 6 斜面台阶爆破漏斗试验结果

岩性	最小抵抗线 w/m	爆破单位长度炮孔装药量/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$		中深孔排距 W/m
		试验炮孔 Q_1	中深孔 Q_2	
矿体	1.25~1.35	0.53	6.32~7.14	2.85~3.21
岩体	1.2~1.3	0.53	6.86~7.14	2.83~3.07

4 露天矿中深孔爆破参数及爆破效果

4.1 爆破参数确定

根据现场系列爆破漏斗试验结果,7[#] 采区矿体中深孔生产爆破的主要参数为:排距为 2.85~3.21 m,孔距为 2.8~3.31 m. 1[#] 采区岩体中深孔生产爆破的主要参数为:排距为 2.83~3.07 m;孔距为 3.78~4.26 m;依据试验结果及相关理论,边坡岩体靠帮爆破光面爆破参数为:穿孔直径 115 mm,孔距 1.8~2.1 m,最小抵抗线 2.6~3.0 m^[4].

4.2 现场试验效果

将上述爆破参数应用到矿体生产台阶中深孔爆破中,爆堆形状和根底都得到改善,大块率、单

位炸药消耗量都控制在允许范围内。

为了保证靠帮预裂爆破和光面爆破对最终边坡的损伤与破坏达到最小,同时保证最终边坡较好的平整度和良好的形态,结合蒙库铁矿边坡岩体特点,采取在靠帮前几排爆破时,采用预裂爆破,在靠帮爆破时采用光面爆破的减震方案。

在南帮 1 080 m 水平实施光面爆破,现场效果如图 8 所示,半壁孔率 64% > 60%、坡面平整度 $\pm 146\text{ mm} < \pm 150\text{ mm}$ 、边坡坡率 $\pm 2.1^\circ$,总体说来,实施光面爆破后,边坡外观质量达到合格要求。而临近区域采用普通爆破时,边坡面参差不齐,岩面破碎,边坡岩体受爆破损伤严重。



图 8 蒙库铁矿 1 080 m 水平光面爆破效果对比图
Fig. 8 Mengku iron smooth blasting effect of 1 080 m level comparison chart

通过爆破震动监测,实施光爆后,在台阶段坡顶监测的结果为:距爆源水平距离 $D=16\text{ m}$,与爆源

高差 $h=10\text{ m}$ 时,测得坡顶爆破震动速度 $v=34.17\text{ m/s}$;距爆源水平距离 $D=29\text{ m}$,与爆源高差 $h=20\text{ m}$ 时,测得的坡顶爆破震动速度 $v=25.82\text{ m/s}$ 。我国矿冶系统根据统计资料提出的爆破震动速度安全控制标准:较稳定边坡地段,允许震速 $28\sim 35\text{ cm/s}$ 。试验地段为较稳定边坡地段,因此,靠边控制爆破对边坡的爆破震动影响在安全范围内。

5 结 语

a. 通过统计分析,分别得出了膨化硝铵炸药在矿体和岩体中的爆破漏斗特性曲线,得到爆破漏斗最佳状态下的基本参数:7# 采区矿体:理论最佳深度 0.65 m ,体积 0.278 m^3 ;1# 采区岩体:理论最佳深度 0.55 m ,体积 0.358 m^3 。

b. 根据现场系列爆破漏斗试验结果,推荐了中深孔生产爆破和靠帮光面爆破的主要参数。

参考文献:

[1] 周传波,罗学东,何晓光. 爆破漏斗试验在一次爆破成井中的应用研究[J]. 金属矿山, 2005(5):20-23.
[2] 刘能国,万兵. 系列爆破漏斗试验法在中深孔采矿中的应用研究[J]. 冶金矿山设计与建设, 2000,32(9):3-5.
[3] 蒋复量,周科平,邓红卫,等. 地下矿山深孔崩矿爆破漏斗试验研究[J]. 矿冶工程, 2010,30(2):10-13.
[4] 汪旭光. 爆破手册[M]. 北京:冶金出版社, 2010:31-35.

Mengku open iron ore blasting crater test and its application

XIAO Sheng - qiang¹, CHEN Qing - yun², LUO Xue - dong³, ZHONG jian²

(1. Xinjiang Hehuo Mineral &. Company, Ltd. WISCO, Hejing 813200, China;
2. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;
3. The Engineering School of China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on a series of blasting crater test results on Mengku iron ore mining platform and stripping platform(single hole blasting crater concentrake kits, variable pitch with blasting explosives funnel and continuous incline bence blasting cylindrical funnel), the optimal depth ratio, explosive consumption, hole spacting and hole rows are obtained. According to the livingston elastic strain equation, the deep-hole of ore blasting parameters and rock of siding-slope smooth blasting parameters are sloved. Industrial tests on the blasting parameters show that the deep hole blasting qulity is significantly improved; smoth blasting in controlling the apperance of rock slope and reducing damage of rock is fitted with the quality requirements.

Key words: blasting crater test; deep and medium hole blasting parameters; smooth blasting

本文编辑:陈小平