

晋宁磷矿杨梅山区域高台阶深孔爆破设计及应用

唐俊瑞

(云南磷化集团有限公司晋宁磷矿,云南 昆明 650607)

摘 要:针对晋宁磷矿目前所采用的中深孔爆破设计方法存在钻机效率发挥不足,单方岩石钻机柴油消耗达不到要求的问题,以及考虑对矿体围岩爆破成本进行有效控制,提出一种新的穿孔爆破技术设计方法,以提高钻机效率,降低单方岩石钻机柴油消耗和穿爆破成本为目的.在岩石性质、地质条件、铲装设备及爆破技术条件满足的前提下,采取延长炮孔钻凿深度,增大爆破台阶高度,然后根据孔径、台阶坡面角计算确定炮孔孔网参数,再结合岩石性质调整单孔装药量,在确保安全的基础上提出了 15 m 深孔爆破技术设计方案.研究数据表明:与原爆破技术比较,钻机效率提高了 50.74%,单方岩石钻机柴油消耗从 0.053 kg/m³ 下降到 0.033 kg/m³,柴油消耗控制在 0.035 kg/m³ 以内.

关键词:高台阶深孔爆破;网络管微差爆破;爆破参数

中图分类号:TU459.3

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.12.016

0 引 言

近年来,随着露天矿开采向深部的推进,矿体顶板出露岩石量急剧增大,且风化较低,硬度较大,主要为石英砂岩及含砾石英砂岩、白云岩、夹泥质白云岩、泥质岩等, $f=5\sim 8$.由于产能要求和工作面条件影响因素,采用小孔径、小孔网参数、低台阶爆破技术,从爆破进度、爆破效果、成本控制上不能充分满足生产的需求.为能提高穿爆施工进度,改善爆破效果,有效控制爆破成本,在岩石性质、地质条件、周边环境、铲装设备及采用爆破技术条件满足的情况下,采用增加炮孔钻凿深度(台阶高度),合理调增孔网参数,在安全允许的条件下,相应加大单孔装药量,达到增大一次爆破岩石量、改善爆破效果、提高钻机穿孔效率、降低钻机油耗,减少成本具有重要意义^[1-4].

1 高台阶深孔爆破设计及钻凿设备选型

高台阶深孔的钻孔深度为 15 m.

1.1 钻孔形式选取

露天深孔爆破的钻孔形式一般分为垂直孔和倾斜深孔,单一从爆破效果来看,斜孔优于垂直孔,主要是斜孔的抵抗线均一;但钻凿斜孔的技术操作比较复杂,孔的长度相应比垂直孔长,而且装药过程中易发生堵孔.为方便钻机操作,提高钻孔

速度,因此,采用垂直布孔.

1.2 布孔方式

布孔方式有单排布孔和多排布孔两种.多排布孔又分为方形、矩形、三角形(梅花形)三种.布孔方式的合理选择,可为爆破创造良好的条件,爆破效果好,大块率较低;反之,则爆破条件相对较差.根据对比,采用三角形交错布置炮孔可以使炸药能量分布均匀,减少根底大块,还能更好地调整爆破实际密集系数;因此,采用三角形(梅花形).

1.3 钻机选型

采用柱齿类潜孔钻,山特维克(DI500)钻机,孔径 152 mm,单根钻杆长度 $L=5$ m.其主要特点为:

① 冲击的凿入能量不经钻杆而直接传递到钻头,能量损伤小.

② 冲击器工作中以强吹高压气体方式,排出孔底的岩渣,效果显著,有利于提高凿岩速度;

③ 冲击器置于孔底,方向定位好,一般不会出现斜孔或弯孔现象;

④ 可在节理、破碎岩体中作业,适用范围广,可打直孔,也可打倾斜孔.

2 爆破参数

2.1 炮孔直径 d

爆破的孔径大小主要取决于钻机类型、台阶高度和岩石性质.晋宁磷矿主要使用潜孔机,钻机

收稿日期:2012-09-18

作者简介:唐俊瑞(1980-),男,云南昆明人,工程师.研究方向:采矿技术.

孔径大小为 $\phi 152$ mm, $\phi 140$ mm, $\phi 110$ mm, $\phi 102$ mm 几种. 根据现有钻机型号情况, 同时考虑到孔径越大, 越有利于炸药的稳定传爆和达到理想爆轰, 利于充分释放炸药能量从而提高延米爆破量. 因此, 此次深孔台阶爆破实验采用山特维克 D1500 潜孔钻机, 孔径 $\phi 152$ mm.

2.2 钻孔深度 L 与超深 Δh

钻孔深度由台阶高度和超深确定. 台阶高度一般采用 10~12 m 台阶, 也有采用 15~20 m 高台阶, 台阶高度的取值大小主要考虑为钻孔、爆破和铲装创造安全和高效率的作业条件, 主要取决于铲装设备选型和矿岩开挖技术条件. 根据我矿现有铲装设备型号和开挖技术, 同时考虑充分发挥钻机效率, 增大一次爆破岩石量, 加快爆破作业进度, 改善爆破效果, 确定开挖台阶高度为 14 m. 超深是指钻孔超出台阶底盘标高的那一段孔深, 其作用是用来克服台阶底盘岩石的夹制作用, 使爆破后不留残根, 而形成平整的底盘. 超深选取过大, 将造成钻孔和炸药的浪费, 增大对下一个台阶顶盘的破坏, 使下台阶钻机穿孔时易塌孔; 并且会增大爆破地震波的强度; 超深不足将产生根底或抬高底盘的标高, 而影响装运工作^[5]. 超深值与岩石坚硬程度、炮孔直径、底盘抵抗线有关^[6], 其值可按式确定:

$$\Delta h = (10 \sim 15)d$$

$$\Delta h = (0.11 \sim 0.35)W_d$$

经计算 $\Delta h = 1.52 \sim 2.28$ m 或者 $\Delta h = 0.99 \sim 3.15$ m.

在坚硬岩石中爆破, 系数取大值; 相反在硬度较小岩石中爆破, 系数取小值. 根据实践经验, 确定超深为 1 m.

钻孔深度 L 、台阶高度 H 、超深 Δh 满足下列关系式:

$$L = H + \Delta h$$

式中, L 为炮孔深度, m; H 为台阶高度, m; Δh 为超深, m.

综合确定钻孔深度 $L = 15$ m.

2.3 底盘抵抗线 W_1

底盘抵抗线是指从台阶坡底线到第一排孔中心轴线的水平距离. 它是一个重要的爆破参数, 过大的底盘抵抗线会造成根底多、大块率高、后冲作用大; 过小则不仅浪费炸药、增大钻孔工作量, 而且易产生飞石危害. 底盘抵抗线的大小与炸药威力、岩石可爆性、岩石破碎块度要求以及钻孔直径、台阶高度和坡面角等因素有关. 为了克服爆破时的最大阻力, 避免台阶底部出现“根底”, 一般都

采用底盘抵抗线作为爆破参数设计的依据. 按照深孔钻机安全作业的要求, 底盘抵抗线 W_1 应满足下列关系:

$$W_1 \geq H \tan \alpha + B$$

式中, W_1 为底盘抵抗线, m; α 为台阶坡面角, ($^\circ$), $\alpha = 65^\circ$; H 为台阶高度, m; $H = 14$ m; B 为钻孔中心至台阶坡面顶边的安全距离 $B = 2.5$ m.)

代入取值, 可得 $W_1 = 9.03$ m.

根据爆破实践经验, 底盘抵抗线与台阶高度 H 之间存在如下关系, $W_1 = (0.6 \sim 0.9)H$ 或 $W_1 = 8.4 \sim 12.6$ m 且满足, 岩石坚硬, 台阶高度小, 系数取小值; 反之, 系数取大值. 综合上述计算, 确定底盘抵抗线 W_1 为 9.0 m.

2.4 孔距 a 和排距 b 的取值

孔距(a)是指同一排深孔中相邻两钻孔中心线间的距离. 对于孔距 a 值, 一般都按下式确定. $a = M W_d$ (式中: a 为孔间距, m; M 为炮孔邻近系数,) 为了获得良好的爆破条件, 可取 $M = 0.7 \sim 0.85$; 经计算 $a = 6.3 \sim 7.65$ m; 根据实践经验取 $a = 7$ m. 由于在布置钻孔时, 通常使所有钻孔的间距都是相等的, 因此不难列出孔排距 b 的计算公式为

$$b = a \sin 60^\circ = 0.87a = 6.09 \text{ m}$$

为了获得良好的爆破效果, 国内外普遍采用大孔间距、小排距的方式, 再考虑到每孔装药量, 经现场测定为 16.5 kg/m 及保证填塞高度 L' , 最终确定孔排距 $b = 5.5$ m.

2.5 填塞长度 L'

填塞高度是一个重要的爆破参数, 堵塞长度关系到堵塞工作量的大小、炸药能量利用率和空气冲击波的危害程度. 合理的堵塞长度应能防止爆炸气体产物过早地冲出孔外, 同时又使台阶上部岩石能得到充分破碎. 根据经验, 按底盘抵抗线 W_d 的大小, 填塞高度满足:

$$L' = (0.5 \sim 0.75)W_d \text{ 或 } L' = 4.5 \sim 6.75 \text{ m}$$

再按照《爆破安全规程》的规定, 填塞高度不小于孔深的 $\frac{1}{3}$, 因此 L' 取 ≥ 5 m.

2.6 炸药单耗 q

影响单位炸药消耗量的主要因素有岩石的可爆性、炸药特性、自由面条件、起爆方式和块度要求. 因此, 选取合理的单位炸药消耗量, 一般需要通过多次试验或经过长期生产实践来验证. 采用下列公式

$$q = 0.083 \sqrt{r \cdot f} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

式中: r 为岩石容重; f 为普氏系数.

结合我矿生产实践,经过多次试验,综合确定 $q=0.33 \text{ kg/m}^3$ (可视现场实际情况进行调整)。

3 典型爆破分析

此次爆破位于东二采 118~119 勘探线, 2 310 m 水平(东采区东扩区域, 杨梅山地带), 总设计孔数 99 个, 爆破点距民房 650 m, 采用网络管微差爆破。

3.1 穿孔设备选型

主爆区炮孔采用山特维克 DI500 钻机穿凿, 孔径 152 mm。

3.2 台阶爆破参数

①炮孔深度和超深: 炮孔深度 $L=15 \text{ m}$

超深 $\Delta h=1 \text{ m}$

②底盘抵抗线: $W_1=9 \text{ m}$

③孔距和排距: 孔间距 $a=7 \text{ m}$

排间距 $b=5.5 \text{ m}$

④填塞长度: L' 取 $\geq 5 \text{ m}$

⑤炸药单耗 $q=0.33 \text{ kg/m}^3$, 平均单孔装药量 189 kg, 总炸药量 18 711 kg。

3.3 装药结构

主爆区采用连续集中装药, 为保证每孔炸药可响性, 采用双管连线, 先往炮孔(经检查为干孔)内装入蓬化炸药, 装到一定高度的时候, 将起炮雷管反向插入直径为 70 mm 的岩石乳化炸药卷内, 然后将网络管缠绕在药卷柱壁上, 放入炮孔内, 再放入蓬化药, 然后再将起炮雷管正向插入直径为 70 mm 的岩石乳化炸药卷内, 将其缠绕在药卷柱壁上放入孔内, 再装药(见图 1)。

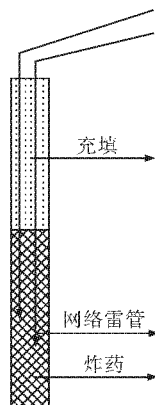


图 1 装药结构示意图

Fig. 1 Charge structure schematic diagram

3.4 起爆网路

采用网络导爆管连接逐孔爆破技术, 地表孔内延时 65 ms, 排间延时为:

1 排与 2 排, 微差: 17 ms; 2 排与 3 排, 微差: (17+65)ms; 3 排与 4 排, 微差: (17+65+65)ms;

4 排与 n 排, 微差: $[17+65+65+(n-2)65]$ ms; 孔内延时 500 ms; 如图 2 所示。

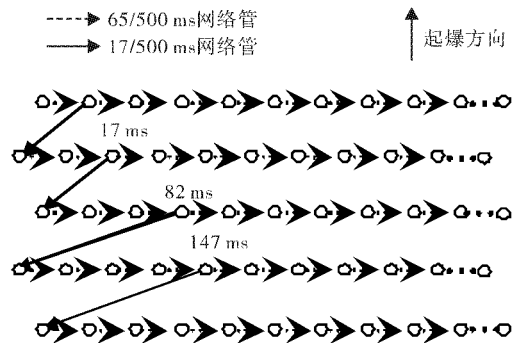


图 2 爆破设计网络示意图

Fig. 2 Blasting design network diagram

3.5 爆破振动速度的验证

根据大量实测资料证实, 质点振动速度与一次爆破的装药量大小, 测点至爆源的距离、地质地形条件和爆破方法因素有关^[7]。根据现场对主爆区周边地质地形条件进行察看, 资料收集分析, 地质条件属坚硬岩石, K 取 150, 衰减指数 a 取 1.5。计算对采区周边最近村庄震速(最大响药量, 由于采用逐孔爆破技术, $Q=189 \text{ kg}$)为:

$$V=K\left(\frac{Q}{R}\right)^{\frac{1}{3}}a$$

$$V=150\left(\frac{189}{650}\right)^{\frac{1}{3}}1.5$$

$$V=0.11 \text{ cm/s} < 1.0 \text{ cm/s}$$

通过验算得出结论: 单孔装药量增至 189 kg, 地震波到达爆源距最近村庄的质点振动速度为 0.11 cm/s, 小于土坯房、毛坯房质点振动安全允许速度, 不会对采区周边民房造成影响。

3.6 爆破效果

此爆区爆破后, 靠近边坡边沿, 设置了保护孔, 拉缝明显, 没有对东边坡造成影响。爆堆隆起 1.2~2.0 m, 岩石块度破碎较均匀, 大块率控制在 3%~5% 以内, 岩石破碎块度及深度满足铲装要求, 爆破效果比较理想, 达到了预期效果^[6]。

4 原爆破技术相关技术参数

炮孔深度和超深: 炮孔深度 $L=10 \text{ m}$

超深 $\Delta h=0.8 \text{ m}$

底盘抵抗线: $W_d=5.0 \text{ m}$

工作台阶高度(H): 9.2 m

孔距和排距: 孔间距 $a=5 \text{ m}$, 排间距 $b=4.5 \text{ m}$

布孔方式: 三角形(梅花形)

布孔角度: 90° (垂直孔)

填塞长度: L' 取 $\geq 3.4 \text{ m}$

炸药单耗 $q=0.33 \text{ kg/m}^3$ 。

5 新旧技术比较

5.1 钻机柴油消耗

根据实际应用过程中,对一定时期内生产过程中钻机油耗及钻机进尺量进行统计、分析、计算得出:钻凿 15 m 孔钻机柴油消耗量为 1.2 kg/m;钻凿 10 m 孔钻机柴油消耗量为 1.09 kg/m,仅从每米进尺油耗来看,15 m 孔单米进尺油耗偏高.但在钻凿总方量一定的情况下,由于钻孔深度的加深,延米爆破量(孔网参数)的增大,钻机移动时间的减少,降低了岩石爆破单方柴油消耗量.经大量数据统计、整理、分析计算得出,15 m 深孔爆破技术岩石爆破穿孔单方柴油消耗为 0.033 kg/m³,原 10 m 深孔爆破技术岩石爆破穿孔单方柴油消耗为 0.053 kg/m³,岩石爆破穿孔单方柴油消耗降低了 0.02 kg/m³.钻机柴油消耗总成本明显降低,据统计柴油消耗成本可降低 37.5%,有效节约了爆破穿孔成本.

5.2 钻机效率

经现场进行监测、分析得出,在作业平台条件同等的情况下,钻机钻凿 15 m 深孔(延米爆破量为 35.93 m³/m),钻机效率为 33 m/h;小时形成穿爆方量 1 185.69 m³;钻凿 10 m 孔(延米爆破量为 20.7 m³/m),钻机效率为 38 m/h,小时形成穿爆量 786.6 m³,每小时可多形成爆破量 399.1 m³.由于延米量的增大,从形成爆破方量(千米进尺量)上,大大提高了钻机生产效率,加快了穿孔作业进度.

5.3 警戒工作

晋宁磷矿采区周边,耕地较多,大多数在爆破警戒范围内,经常有附近村民农作,若放炮过于频繁,会给现场清理、警戒工作带来困难.每次清理现场需 $\frac{1}{2} \sim 1$ h,严重影响施工进度.该项目的实施,降低了爆破频繁带来的警戒困难,同时降低爆破对周边村民的影响,提高了施工进度.

5.4 爆破成本

采用 15 m 深孔爆破技术,炮孔深度(台阶高度)增大,底盘抗线 W_d 增大,相应孔、排间距也随之增大;在总爆破量一定的情况下,在增大一次爆破岩量的同时,钻凿孔数明显减少,网络导爆管使用数量也随之明显减少,经一定生产时期的统计、分析、计算,新技术的应用,网络管使用数量可减少 62%,每立方爆破量减少网络管使用费 0.135 元,有效降低了爆破器材使用成本^[8].

5.5 对各生产工序的影响

穿孔爆破主要是对矿体围岩进行松动、破碎,使其满足采装的要求.穿爆工作的超前进行,是采剥生产作业的必要条件,但较为频繁的爆破施工又会对采剥作业的正常进行造成一定影响.该技术方案的应用,可避免由于频繁爆破对采装、运输、调度工序造成影响,减少采装、运输、调度等工序的停顿次数,提高采剥作业效率^[9].

6 综合分析

在同种岩石性质、地质条件下,两种爆破技术设计方案,测试结果如表 1 所示.

表 1 不同爆破技术设计方案指标测试情况

Table 1 Different blasting technology design index tests

| 设计 方案 | 钻机效率 | | 每米进尺柴油消 耗量/kg · m ⁻³ | 单方岩石柴油消 耗量/kg · m ⁻³ | 网络管使用成 本/元 · m ⁻³ |
|----------|-----------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | 小时钻孔进尺量/m · h ⁻¹ | 小时穿孔方量/m ³ · h ⁻¹ | | | |
| 15 m 孔 | 33 | 1 185.7 | 1.2 | 0.033 | 0.098 |
| 10 m 孔 | 38 | 786.6 | 1.09 | 0.053 | 0.23 |

由表 1 可以看出,两种爆破技术方案相比较,15 m 深孔爆破技术与 10 m 深孔爆破技术比较,钻机小时钻孔进尺量略低,但由于延米爆破量的增大,从形成爆破方量上来看,小时穿孔形成爆破实施方量远远大于 10 m 深孔爆破技术,钻机效率得到了充分发挥.通过数据结果可以看出,这两种技术方案 15 m 深孔爆破技术钻机每米钻孔进尺柴油消耗虽然较高,但在总爆破方量一定的情况下,单方岩石钻机柴油消耗较低,钻机柴油消耗总

量减少;数据结果还表明,15 m 深孔爆破技术网络管使用投入成本明显降低,单方岩石爆破网络管使用成本远远低于 10 m 深孔爆破技术.通过上述分析,15 m 深孔爆破技术的应用,有利于提高穿爆作业效率,降低岩石穿孔钻机柴油消耗及爆破成本.

7 结 语

该爆破技术的推广应用,着重解决爆破施工

进度、爆破影响、钻机穿孔使用成本、钻机效率,爆破成本等问题,潜在经济效益大.与原有爆破技术相比较,具有很大的低成本优势和实施效应优势.但该技术主要适用于多排孔自由面比较好的区域台阶爆破,布孔方式采用三角形布孔,起爆顺序从邻近工作台阶坡顶线第一排孔开始起爆,爆破效果较好.爆破围岩如果只有一个临空面,两边岩石夹制作用较大,且排数比较少时,爆破效果则达不到预期开挖深度和破碎质量.

参考文献:

- [1] 汪旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京:冶金工业出版社, 2011.
- [2] 刘本龙. 露天矿超深空大爆破设计[J]. 露天采矿技术, 2012(B8): 133-137.
- [3] 董淑斌,邓有燃,刘如成,等. 深孔分段爆破在安家岭露天矿中的应用[J]. 露天采矿技术, 2012(B7): 115-116.
- [4] 孙之光,马宁,刘国庆. 中深孔爆破施工技术的应用研究[J]. 山西建筑, 2012, 19(38):106-107.
- [5] 王根涛,牛庆,沈国强. 东露天矿基建剥离软岩爆破最优爆破参数确定[J]. 露天采矿技术, 2012(B7): 108-109.
- [6] 潘东. 露天矿山中深孔爆破边坡稳定性影响研究[J]. 山西建筑, 2012, 20(38):72-74.
- [7] 金波,张电吉. 岩体可燃性分析及测试[J]. 武汉工程大学学报, 2009, 31(3):46-48.
- [8] 林岳棒. 单体爆破成本的途径与实践[J]. 有色金属: 矿山部分, 2005, 6(27):32-34.
- [9] 张世磊. 改善露天矿深孔爆破质量的有效方法[J]. 中国科技博览, 2012(20):355-356.

Design and application in deep hole blasting of high step in Yangmei mountain of Jinning Phosphate rock

TANG Ju-rui

(Jinning Phosphate rock, Yunnan Phosphate Chemical Group co., LTD, Kunming 650607, China)

Abstract: The design of medium-length hole blasting method used in Jinning phosphate rock has insufficient drilling efficiency, and a cubic rock drilling rig diesel consumption does not meet the requirements. To control effectively the surrounding rock blasting cost, a new blasting technology was put forward to improve the efficiency of drilling rig, reduce the consumption of the diesel rock drill blasting costs and wear. Under the conditions of rock properties, geological conditions, shovel loading equipment and blasting technology meeting the requirements, the depth of hole drilling was extended, the height blasting bench was increased, and then the hole pattern parameters were determined according to the calculated the aperture, slope angle; each hole explosive quantity was adjusted combined with rock properties, and the 15 m deep hole blasting technology design was put forward on the basis of safety. Research data indicate that compared with the original blasting technology, rig efficiency is increased by 50.74%, the drill diesel consumption is reduced from 0.053 kg/m³ to 0.033 kg/m³, the diesel consumption control is in 0.035 kg/m³.

Key words: deep hole blasting of high step ; the network of millisecond blasting; blasting parameters

本文编辑:陈小平