专 论

露天矿双并段台阶一次预裂控制爆破及设备配套

解殿春

(攀钢钢研院矿山分院,四川 攀枝花 617063)

摘 要:介绍了露天矿临近固定帮的控制内容,即有效地预裂爆破、有效地控制最大段药量和总药量、有效地控制固定帮坡体上爆破松动带厚度。认为台阶并段国内外矿山已普遍采用,双并段台阶坡面一次预裂爆破的形成工艺及设备配套是关键。并根据美国 CM695D 一次穿孔深 36 m 的专用边坡预裂孔钻机配套设备的条件,提出了相匹配的双台阶并段坡面一次形成工艺和穿爆参数的最优化设计。

关键词 露天矿 固定边坡 双台阶并段控制爆破 预裂孔配套设备 穿爆参数优化

中图分类号:TD164^{+}.2;TD235.371 **文献标识码**:B **文章编号**:1004-7638(2000)02-0055-05

PRIMARY PRESPLIT CONTROLLED BLASTING AND EQUIPMENT FOR DOUBLE-PARALLEL STEP BENCH OF OPEN-CUT MINE

XIE Dian-chun

(Pangang Mine Research Institute, Sichuan, Panzhihua 617063, China)

Abstract: The controlled blasting nearly to fixed boundary, i.e. effective presplit blasting, effective control of explosive charge at maximum step and total explosive charge and effective thickness control of blasting shock layer nearly close to fixed boundary, is discussed. It is considered that primary presplit blasting formed process of double-parallel bench slope and equipment are keys to parallel step bench, which is normally used at home and abroad. Primary formed process and drilling blasting parameter optimization of the double bench parallel-step slope are presented in accordance to the special slope presplit drilling hole equipment (US CM695D) with primary 36m deep pierce.

Key Words: open-cut mine; fixed slope; controlled blasting of double-parallel bench; pre-shear hole equipment; drilling and blasting parameter optimization

1 临近固定帮控制爆破的内容

露天矿固定帮控制爆破,是控制或减轻固定帮岩体的爆破危害程度的爆破。其内容有三个方面。

1.1 严格有效地预裂爆破

预裂爆破实质上是预先在固定帮阶段坡面上形成一条‘预裂缝’的爆破。方法是沿设计边坡境界线布置一排密集爆孔,爆孔倾向、倾角与阶段坡面倾向、倾角一致,即预裂孔布置在设计台阶坡面的斜面内。采用不藕合线性装药,超前于缓冲孔、主爆破孔首先起爆。由于预裂密集孔前方无自由面,孔与孔之间首先拉通,形成一条‘预裂缝’(破碎带),待边坡形成后,预裂孔残留在台阶坡面上呈半壁孔。一般而言,成功的预裂爆破半壁孔率应达到 80% ~ 95%。这条‘预裂缝’至少有以下几个作用。

(1)降低炸药爆轰时的初压能,保护边坡岩体。

预裂孔采用线性、不藕合装药，通常不藕合系数取 2.5～4.2，即炮孔直径是药卷直径的 2.5～4.2 倍。起爆的瞬间，炸药产生的高温、高压爆轰气体首先充满炮孔不藕合空间，大大降低了炸药爆轰的初压能，减轻了炸药爆能对孔壁岩体的冲击破坏。通常，低爆速、低猛度的炸药效果更好。其半孔率越高，则预裂效果越好。

(2)“预裂缝”对爆破地震应力的反射及吸收，保护了固定帮岩体，减轻了震害。预裂孔超前主爆破形成的预裂缝，将固定帮岩壁与前方待剥离的岩体隔开。当前方主爆破孔起爆时，爆破产生的地震应力波到达这条预裂缝，产生一波阻抗界面，发生应力波反射，可使爆破地震应力衰减 50％～80％，大大减轻固定帮的岩体震害。

(3)降低爆破松动带厚度。通常的工程爆破认为，药包对被爆破介质的作用，是由药包中心向外依次形成压缩圈、抛掷圈、破裂圈、松动圈、震动圈。其中，破裂圈外面的岩体被松动后无位移，其抗剪强度大大降低。在无预裂爆破的情况下，固定帮坡面是靠爆破炮孔后冲形成的，往往难于控制爆破药包上的破裂线，也就更难控制破裂圈外的松动圈，因此，厚度通常很大。而预裂爆破形成的预裂缝是前方主爆破孔爆破破裂圈的边界界面，可使爆破松动带厚度减小。

(4)减少固定帮岩体超挖或欠挖，减少人工清坡量，具有明显的经济效益。

1.2 严格有效地控制爆破松动带厚度

如前所述，爆破对露天矿固定边坡的危害之一是在固定帮岩体内产生了一个爆破松动带，导致岩体强度的降低。可从以下两方面来控制松动带厚度。

(1)缩小预裂孔孔径

爆破松动带厚度 B 值是药包半径的 100～150 倍。当预裂孔直径 $D = 200$ mm 时，则 $B = 10 \sim 15$ m；当 $D = 100$ mm 时，$B = 5 \sim 7.5$ m。可见，有效降低 B 值的关键是使用小孔径预裂孔钻机。使用小孔径钻机有以下好处：① 孔径小，钻孔速度快，能快速形成密集孔区；② 消耗的凿岩功小，能耗低，成本低；③ 设备小、重量轻，生产中备件消耗低。通常，Ø200 mm 孔径的钻孔成本 40 元／m；Ø300 mm 孔径的炮孔则为 70 元／m；而 Ø100 mm 孔径的炮孔则为 20 元／m。

(2) 预裂孔与部分缓冲孔不超深

靠帮预裂爆破的预裂孔与缓冲孔直至部分主爆破孔的孔底都落在下一台阶固定平台标高平面内而不超深，是控制爆破松动带厚度最有效的措施。

1.3 严格控制最大段药量与总药量

如前所述，爆破地震在边帮岩体的质点震动速度（$v = K\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^{\alpha}$）与单段药量 $Q^{\frac{\alpha}{3}}$ 成正比，与爆心距 R^{α} 成反比。但在被保护的台阶坡体工程地质条件、爆心距一定、允许一定震动速度的情况下，v 只能通过降低单段药量 Q 来实现。目前，毫秒微差雷管已达到 20 段，为降低单段药量提供了条件。实际生产中还应控制一次靠帮爆破的总药量，一般不超过最大段药量的 7 倍，以防止在爆区很大、段数较多时出现震动应力波迭加。

对于靠帮爆破的药量控制，在实爆操作中应注意以下几个问题。

(1) 严格按限制药量施工。因最大段药量 Q_{max} 是变量，在允许的震动速度一定，通过爆破测震试验回归出 K、α 值后，Q_{max} 是爆心距 R 的函数，即不同的药包简化中心（重心）至被保护边坡坡脚点的距离 R 对应不同的 Q_{max}，实爆中不同分段的药量应按 R 的不同计算，不能用一个定值。

(2) 边坡工程地质、水文地质条件不同，爆心距即使相同，最大段药量 Q_{max} 也不同。在边坡岩体单一、稳固性好，没有顺坡向软弱结构面的地段，允许的震动速度可以在 55 cm／s 以上；在弱面、断层、破碎带存在地段，允许的震动速度为 22 ～ 25 cm／s；在饱水的粘土构成的边坡地段，允许的震动速度 ≤ 5 cm／s，此时爆破动力对稳定性系数的影响高达 30％ ～ 50％，会出现类似震动液化的问题，应特别慎重。因为此时的岩土性质、地质条件影响系数 K 值与衰减指数 α 的值不同。爆破工作者应依据不同的边坡工程地质、水文地质条件，经计算取不同的 Q_{max}。

(3) 注意实爆效果的观测，及时调整最大段控制药量。根据爆破震动测试获得 K、α 值，计算出不同爆心距对应的 Q_{max} 用于实爆，最终还应通过实爆效果检验计算出的 Q_{max} 值是否切合实际，依据实际再调整 Q_{max} 值，达到边坡稳定的目的。

2 一次预裂双并段台阶形成工艺及设备

2.1 工艺与设备配套的必要性

20 世纪八九十年代,国内外露天矿边坡工程技术发展趋势之一是广泛应用固定帮台阶并段技术,以达到多采矿、少剥岩、提高经济效益的目的。

台阶并段使传统的露天矿边坡构成结构参数发生了变化,因此,要求形成并段台阶的工艺相应要发生改变,保证工艺的设备相应也要配套,工艺与设备配套下的生产控制操作参数也要相应改变。因而固定帮双并段台阶一次预裂控制爆破及设备配套与相应的参数优化设计问题就被提到重要的日程。

2.2　双并段台阶形成工艺

并段台阶形成工艺是一个综合工艺过程,通过这个可靠而科学的工艺过程,直接实现并段台阶的几何参数,并达到作业成本最低。

2.2.1　靠帮穿孔布置及控制爆破

理想的预裂爆破是在设计坡面所在的斜面内所有预裂孔都残留半壁孔。这样,电铲沿逐个台阶靠帮挖掘后,即形成两个台阶垂高 30 m 的双台阶连续坡面,其工程量最节省。应用 CM695D 专用边坡预裂孔钻机的穿孔布置与爆破参数见图 1。由于边坡角较陡,固定帮平台宽度较窄,一般为 4 ～ 10 m,若用 Ø200 潜孔钻不可能完成沿斜坡面穿凿倾斜的预裂孔,而用 CM695D 钻机则可顺利实现。

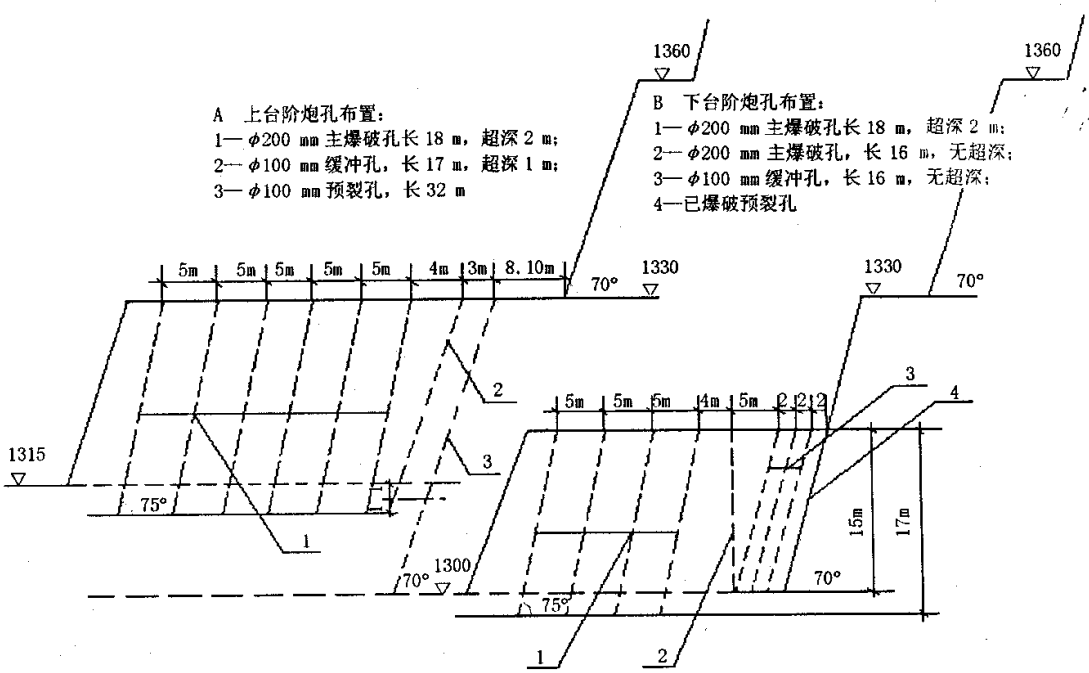

图 1　并段台阶靠帮预裂爆破炮孔布置

2.2.2　电铲挖掘形成并段坡面

按图 1 的一次预裂爆破后,预裂爆破是双台阶一次完成,缓冲孔与主爆破孔的穿孔爆破是每个台阶分别完成,双并段的上台阶靠帮爆破时已将下一台阶预裂爆破完成。电铲在靠帮采挖中,爆堆沿预裂缝自行滑落,直接形成并段台阶坡面,如有可能配合二次爆破处理。

2.2.3　人工清坡

双并段台阶形成电铲采挖中,人工配合清坡。一是将坡顶安全平台上的浮碴清扫至下一台阶,由电铲装载运出 ;二是将坡面上部坡顶线附近可能出现的危石撬除,一次性处理好坡面,保证作业安全。

2.3　设备配套

由上述分析,可以看出,双并段台阶形成工艺的关键是双台阶一次预裂爆破,而一次完成该预裂孔的关键又是穿孔的配套设备。按照工艺决定设备,设备保证工艺的要求,双并段台阶一次预裂孔对设备的技术要求主要有以下几个方面。

(1)穿凿炮孔直径 Ø = 100 ～ 150 mm ;为降低爆破松动带厚度,装药不藕合系数应在 3 ～ 4 的范围内。

(2)一次穿孔长度 $L \geqslant 36$ m,可满足段高 30 m 时不同角度的预裂穿孔。

(3)在平台宽 4 ～ 10 m 的条件下穿凿的炮孔倾

角(与水平面的夹角)为 45°～80°,方能保证在较窄的固定帮平台上完成斜孔预裂。

(4)设备的体积尺寸小,穿凿速度快,钻头、冲击器寿命长,能达到快速、低成本地完成预裂孔靠帮爆区。

按照上述主要技术要求,经较长时间的调研,首选美国英格索兰公司的 CM695D 全液压潜孔钻机。该设备性能参数见表 1。

表 1 CM695D 边坡钻机性能参数

项目内容	规格、性能指标	备 注
钻机履带宽度	2.505 m	满足在 4～5 m 宽平台上打斜孔
自重	18.8 t	
适应孔径范围	Ø102～165 mm	不藕合装药系数在 3～4 范围内
一次穿孔深度	≥28～36 m	满足双台阶一次预裂
主钻臂摆角左／右	20°／45°	满足台阶阶坡面角 20°～90°
俯视角度	50°／20°	预裂孔穿凿角度
推进架左右摆角	90°／22°	保证一次性形成双台阶斜面
前后仰俯角	90°／20°	
穿孔速度	石灰岩 73 m／h 花岗岩 45 m／h	快速形成爆区
提升能力	44.5 kN	便于处理卡钻
给进与调速	液压自感系统	随地质条件变化,液压自感系统自动调节风压、风量、钻进速度,减少卡钻
钻头寿命	1 400～1 600 m／个	
冲击器寿命	1.5～2.5 万 m／台	降低作业成本

2.4 穿孔爆破优化设计

2.4.1 双并段一次预裂孔网参数优选

按双并段台阶形成工艺与配套专用预裂孔钻机 CM695D 的设备性能,一次预裂两个台阶的靠帮控制爆破穿孔孔网参数见图 1。按图 1 布置,能实现两个并段台阶一次预裂爆破,并段的下一个台阶采装完毕后即一次形成垂高 30 m、倾角 70°、斜坡面真倾斜斜长 32 m 的斜坡面上 Ø100 mm 预裂孔残留的半壁孔率 90％的台阶坡面。

CM695D 是高效耐用设备,为充分发挥其效率,斜长 32 m 预裂孔可以单独在临近固定帮靠帮平台沿设计边坡线穿孔、爆破,一次性超前完成双并段台阶的预裂爆破,一次性形成预裂缝;上台阶和下台阶分别随靠帮滞后完成主爆破孔和缓冲孔的靠帮爆破。也可以在并段上台阶一次穿凿 32 m 的预裂孔、17 m 的缓冲孔、18 m 的主爆破孔,预裂孔先爆,再爆主爆破孔,最后起爆缓冲孔。并段的下一台阶则只穿爆主爆破孔和缓冲孔。

2.4.2 爆破施工与药量控制

靠帮控制爆破按图 1 的穿孔孔网布置,其爆破参数经反复优化研究,总结出适合不同边坡段工程地质条件、实爆效果最佳的操作控制参数。

(1)预裂孔采取不藕合、线装药结构药量计算方法。常规用线装药密度取 0.5 kg／m,并按美国工程用的最新方法,引入一个“装药比”或“剪切比”的概念(指处理每平方米预裂面积所用的炸药,通常取值范围为 0.34～0.68 kg／m^2)。按上述两种方法计算的双并段预裂孔在辉长岩 $f=12～16$ 条件下,单孔装药量为 15 kg／孔和 15.36 kg／孔。采用 Ø33 mm 药卷,特制成连续的线装药结构,便于施工。

(2)起爆顺序。单独穿凿预裂孔时,形成一个爆区即进行预裂爆破,此后双并段上、下两个台阶靠帮爆区主爆破孔先爆,缓冲最后起爆。双并段上台阶单独穿凿预裂孔时,预裂孔先爆,主爆孔次之,缓冲孔最后起爆。

(3)药量控制。如前所述,由边坡允许的震动速度求得允许的最大段药量。而固定帮台阶允许的震动速度与边坡工程地质构造、计算的稳定性系统、实际稳定状况有关。通常,当边坡稳定性状况较差时,节理发育,有软弱结构面,稳定性系统小于 1.1,允许的震动速度≤22～25 cm／s,此时的药量控制按不同爆心距对应值(表 2)。

表 2　离边坡脚不同爆心距的允许药量

爆心距／m	允许振动速度／cm·s^{-1}	Q_{max}／kg
10	25	150
15	25	500
20	25	1 200
40	25	10 000
60	25	32 000
100	25	150 000

3　效果与效益

3.1　工程效果

按图 1 的靠帮控制爆破和表 2 的药量控制,获得的有效预裂效果为:爆破地震应力衰减 50% ～ 80%,爆破松动带厚度由 10～15 m 缩小到 5～7.5 m,最大段药量控制适宜,保证了边坡稳定不受损坏。特别是一次预裂双并段台阶,使之形成 32 m 斜长的预裂缝,对并段下一个台阶的主爆破地震应力的阻尼作用更好,更有利于边坡保护。此工艺与设备保证了双并段台阶一次形成坡面的技术要求。

3.2　经济效益

(1)双并段一次预裂爆破,实现了两个台阶连续的斜坡面,实现了岩石地段内并段,矿石地段外并段。按固定平台宽 8 m 计算,每米长边坡并段节省剥岩量 366 t,每公里节省 36.6 万 t,兰、尖、朱三采场中深部周边长为 10 km,每并段两个台阶则节省剥岩量 366 万 t,按剥离单价 7 元／t 计算,节省 2 562万元,可购买 6 台钻机。

(2)该工艺与设备配套,可使边坡超欠挖减少或避免,减少清坡维护费用至少 20 万元／a。

3.3　社会效益

露天矿边坡稳定与生产安全是矿山安全环保的重要内容。采用双并段一次预裂控制爆破是边坡稳定的关键,是提高效益的重要措施。建议矿区应配齐边坡专用预裂孔钻机,以适应双并段台阶形成工艺的要求。

编辑　雷念慈
收稿日期:2000－03－03