

露天煤矿高台阶抛掷爆破参数分析

傅洪贤¹, 李克民²

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 中国矿业大学 能源与安全工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 针对国内大型露天煤矿要采用高台阶抛掷爆破技术, 根据国外的事例经验, 详细研究了高台阶抛掷爆破参数、预裂爆破参数、炸药类型和装药结构。最后给出了确定高台阶抛掷爆破参数和预裂爆破参数的方法, 并提出了减小煤损失的一些措施。

关键词: 高台阶; 抛掷爆破; 爆破参数; 有毒气体

中图分类号: TD824.2 **文献标识码:** A

Analysis of high bench castblasting parameters in surface coal mines

FU Hong-xian¹, LI Ke-min²

(1. School of Civil Engineering & Architectural, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Mining and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Considering cast blasting was to be carried in one internal coal surface mine, the cast blasting parameters, pre-splitting blast parameters, types of explosive and construction of charge were studied based on overseas examples. Finally, some methods calculating cast blasting parameters and pre-splitting blast parameters and some advices of minish losing coal were brought forward.

Key words: high bench; cast blasting; blasting parameters; orange smoke

高台阶抛掷爆破技术起源于20世纪60年代初期, 在美国的McCoy Coal矿进行了尝试, 该矿覆盖物厚度为18~24 m, 抛掷爆破能把40%的覆盖物抛到采空区^[1]。在一些年产10万t以下小型露天矿应用没有取得很好效果, 故没有进一步研究发展。20世纪80年代初期, 美国、澳大利亚等国家的许多露天矿面临剥采比增加, 剥离费用升高, 迫使矿山经营者采用各种方法来降低剥离费用。重新对该技术进行研究和完善, 形成了抛掷爆破-拉铲、抛掷爆破-推土机、抛掷爆破-电铲-卡车等多种剥离工艺, 台阶高度一般为40~50 m, 有时高达60~70 m。目前, 还有加拿大、印度、约旦等许多国家的露天矿都采用爆破剥离技术。采用该技术, 可利用炸药将30%~65%的覆盖物直接抛掷到采空区, 不再进行二次处理, 剥离费用降低30%以上^[2,3]。高台阶抛掷爆破能大幅度降低剥离费用, 但并不是所有露天矿都能采用该技术。采用该技术要求煤层是水平或缓倾斜, 覆盖物厚度必须大于10 m^[4], 覆盖岩石的裂隙、层理不发育, 否则, 将使爆轰气体泄漏, 极大地影响抛掷效果, 甚至不能采用抛掷爆破。

神华集团准格尔能源有限公司黑岱沟露天煤矿已通过有关部门批准, 准备采用该技术, 国内许多露天矿适合用该技术, 如东胜矿区的武家塔露天煤矿、北电胜利矿区的1号露天煤矿、平朔露天煤矿等。本文在国外经验的基础上, 利用爆破器材和爆破技术的最新成果, 结合我国矿山的具体情况, 对该方法的关键技术进行进一步研究。

1 预裂爆破

在露天煤矿高台阶抛掷爆破剥离过程中,必须采用预裂爆破,其作用^[2,3]:①排水作用.在潮湿地方,可先钻预裂炮孔,然后装药起爆,炸出的预裂缝具有疏干作用.在主炮孔装药时通常是干燥的,可利用便宜的铵油炸药.②预裂爆破可减小后冲,增加抛掷量.③预裂爆破能准确地界定抛掷爆破范围,使边坡整齐,增加边坡安全性.

露天煤矿中的预裂爆破不同于其它露天矿的预裂爆破.对于具有水平煤层和煤岩接触处有显著弱面的露天煤矿,只要在预裂炮孔底部装一个集中药包就可以取得较好的预裂结果^[1].经过多年实践,对于常用的250~310 mm炮孔,炮孔间距 $S=3\sim6$ m之间,岩石较软、节理较发育时一般取3 m.岩石较硬,例如,具有抗压强度82.7~103.4 MPa的砂岩,其合适的间距 $S=5\sim6$ m.用倾斜预裂炮孔,倾角为70°.

澳大利亚ICI炸药技术研究中心的G. f. 布伦特等通过现场工业应用试验^[5],得出两种大孔径预裂爆破新方法:采用超低密度炸药;大孔径径向不耦合装药.采用超低密度炸药的优点:可以降低爆速,降低爆轰压力对孔壁的冲击;在装药量一定时,能够延长装药长度.在澳大利亚的一大型露天煤矿进行工业试验,炸药密度为0.2 g/cm³,爆速为2 200 m/s,孔径为311 mm,孔深为45 m,垂直孔,与常用常规炸药相比,预裂面半壁孔率由32%提高到62%.大孔径径向不耦合装药技术,在小孔径(<130 mm)条件下应用相当普遍,但在大孔径中,采用此技术的事例很少.该技术在孔壁与药柱之间的不耦合为爆轰产物的膨胀提供了一个环形空间,从而降低作用于孔壁的压力;另一效应则为炸药实际上是在无约束状态下爆轰,不利于理想爆轰波的形成,导致爆速和爆轰压力的下降.在澳大利亚的另一大型露天煤矿进行工业试验,孔径为270 mm,孔深为70 m,倾斜孔,与垂直方向夹角为20°,孔内水深最大为60 m.在装药量不变的情况下,把药包直径缩小到150 mm,所形成的边坡平整度明显提高.

2 倾斜炮孔^[6,7]

为了把炮弹打得远些,大炮必须向上倾斜.这道理同样适合露天矿抛掷爆破.利用倾斜炮孔,可提高抛掷量和抛掷距离,并能使边坡更加安全.其优点是:①因为炸药能量的有效利用,台阶底部岩石阻力的缩小和上部堵塞部位周围岩石体积的缩小,提高了破碎效果;②使台阶边坡更加稳定,增加了采场工人和运煤工人的安全性;③利用倾斜炮孔,可使台阶高些,取得较好抛掷效果;④钻孔费用可减少.由于炮孔长度的增加,可装较多炸药,在炸药单耗不变的情况下,可增加孔距和排距;⑤抛掷距离可增大,从而增大不需拉斗铲倒堆的有效抛掷率.

钻孔倾角多为70°,如果夹角再减小,装药就会发生困难,尤其在潮湿炮孔,炸药不易到达孔底.

3 爆破参数的确定

3.1 最小抵抗线 W

确定最小抵抗线(单位为m)有许多公式,最简单通用的为

$$W = KD/1\ 000, \quad (1)$$

式中, K 为系数, $K=30\sim40$; D 为炮孔直径,mm.

3.2 孔距 a 、排距 b 、炸药单耗 q

在D'Appolonia咨询工程师建立的“图解法”模型基础上^[8,9],根据矿山岩石情况、钻孔设备参数、炸药参数、台阶高度和抛掷距离确定孔距、排距、炸药单耗.使用的具体参数如下: D 为炮孔直径,mm; F_E 为岩石应变能量系数,D'Appolonia咨询工程师建立了一些岩石的应变能量系数(表1).

$$C_1 = \frac{27\rho_D}{qk_2}, C_2 = \frac{k_1 C_1}{H}, \quad (2)$$

表 1 岩石类型与应变能量系数的关系

Table 1 Relation between types of rock and strain energy factor

岩石类型	岩石分类	岩石抗压强度/MPa	应变能量系数 F_E	可燃性系数 F_{E0}
第三纪岩石	I	27	2.9	2.5
	II	30	2.9	2.5
	III	66	3.3	2.8
白垩纪岩石	II	21	2.8	2.8
	III	49	3.1	2.7
	VI	87	3.5	2.6
宾夕法尼	VII	122	3.9	2.4
亚纪岩石	VIII	108	3.7	2.5

$$a = k_1 b, S_t = k_2 b, \quad (3)$$

$$H_L = H - k_1 b, \quad (4)$$

式中, ρ_D 为线装药密度, kg/m ; q 为炸药单耗, kg/m^3 ; k_1, k_2 为系数; S_t 为堵塞长度, m ; H_L 为装药长度, m ; H 为台阶高度, m .

使用“图解法”模型的步骤:

(1) 在图 1 上, 在抛掷距离 R 和岩石应变能量系数 F_E 之间画一条线, 来确定炸药单耗 q . 如果没有岩石应变能量系数 F_E , 取 $F_E = 3.0$, 这样就选择了一个实用的起始点.

(2) 根据孔径 D 和炸药密度 ρ 计算线装药密度

ρ_D .

(3) 初步取 $k_1, k_2 = 1$, 由式 (2) 确定 C_1, C_2 . $k_1, k_2 = 1$, 表明孔距、堵塞长度均等于排距.

(4) 在图 2 中, 利用 C_1, C_2 确定 C_3 .

(5) 让 $C_3' = C_3, C_2' = C_2$. 在图 2 右边的 C_3', C_2' 之间画一条直线确定排距 b .

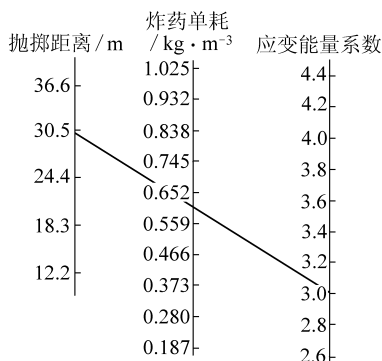


图 1 炸药单耗的确定

Fig. 1 Calculating powder factor

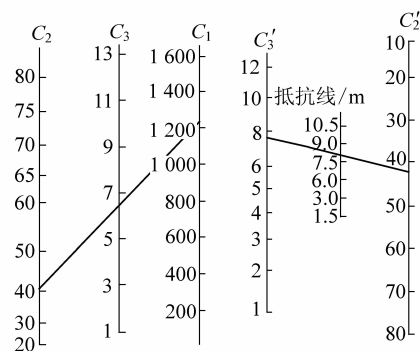


图 2 孔排距的确定

Fig. 2 Calculating burden

(6) 将 b 值代入式 (4), 计算 H_L 及每孔装药量.

(7) 在图 3 中, 根据表 2, 由 F_E 值确定岩石可燃性系数 F_{E0} , 然后在可燃性系数 F_{E0} 和每孔装药量 Q 之间画一直线, 确定最佳排距 b' .

(8) 比较 b 和 b' , 如果两值大致相等, 那么抛掷爆破的参数就可确定出来. 孔距、堵塞长度通过式 (3) 来确定.

(9) 如果 b 和 b' 相差太远, 那么 k_1, k_2 应该减小. D'Appolonia 应用经验公式 $k_2 = k_1^3$. 例如 $k_1 = 0.8$, 则 $k_2 = 0.51$. 将式 (3) 代入式 (2) 得到新的 C_1, C_2 . 重复步骤 (1) ~ (8), 直到 b, b' 基本相等.

3.3 排间延时间隔 t_p 和孔间延时间隔 t_k

通过大量现场试验, 可发现排间延时间隔 $t_p = (6 \sim 10) b \text{ ms}^{[10]}$. 近年来, 在实施大规模抛掷爆破后发现, 爆破后形成大量红或橘黄色烟雾, 严重影响附近的环境, 引起附近居民的投诉. Charles R. Barnhart 在 Arch Black Thunder 矿和 Triton North Rochelle 矿通过多次现场试验和测试发现^[11], 产生红或橘黄色

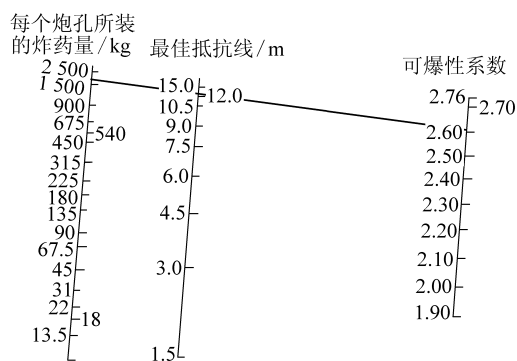


图 3 验证爆破参数

Fig. 3 Revising blast parameters

烟雾的原因主要是排间延时间隔大于或等于 300 ms 造成的。排间延时间隔过大,前排孔爆破产生的应力破坏了后排炮孔,使后排孔内的药柱不连续,造成不能连续爆轰或引起炸药的爆燃,这样就会产生大量没有反应完全的红或橘黄色的 NO_x 烟雾;排间延时间隔过小,就会产生严重的后裂对边坡造成破坏。排间合理的延时间隔 $t_p = 150 \sim 200$ ms。高台阶爆破,炮孔深度一般为 40 ~ 50 m,有时达 60 ~ 70 m,每孔装药量一般在 2 000 ~ 3 000 kg,如果同时起爆几个炮孔,将产生巨大震动,对边坡和附近建筑物产生破坏,经过现场试验^[11],炮孔间实行微差爆破,可以大大减小震动,但是,孔间延时间隔也不能太大,以避免产生大量有毒气体,孔间延时间隔 $t_k = 10 \sim 25$ ms 比较合理。

表2 岩石应变能和可爆性的关系

Table 2 Relation between strain energy factor and blastability factor

F_E	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4
F_{E0}	1.90	2.04	2.18	2.32	2.46	2.60	2.73	2.70	2.57	2.43	2.30	2.17	2.03

3.4 欠深

为了减少煤的损失,在实施抛掷爆破时,前几排炮孔在钻到煤顶板后必须再回填^[12~14],回填深度一般为 1 ~ 3 m。

4 结 论

(1) 在采用预裂爆破时,如果现场没有超低密度炸药,可利用常用的炸药,通过径向不耦合装药技术,也可以取得较好的预裂爆破效果。

(2) 在开始高台阶抛掷爆破试验前,可以利用“图解法”模型,确定最初的爆破参数。

(3) 为了减少有毒气体的产生和保证高台阶坡面的稳定,建议排间延时间隔在 150 ~ 200 ms 之间。

(4) 为了减小煤的损失,抛掷爆破的前几排必须有 1 ~ 3 m 的欠深。

参考文献:

- [1] Editors. Efficient stripping, new washer, build markets [J]. Coal Age, 1962, 67 (5): 64 ~ 67.
- [2] 傅洪贤,张幼蒂. 露天矿中的爆破剥离技术 [J]. 中国矿业, 2001, 10 (2): 38 ~ 40.
- [3] 张幼蒂,傅洪贤,王启瑞,等. 抛掷爆破与剥离台阶开采参数分析——露天矿倒堆剥离开采方法系列论文之四 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (1): 27 ~ 30.
- [4] Ludwiczak J T. Blast casting, don't let it carry you away [J]. J. Expl. Eng., 1985, 3 (1): 20 ~ 22.
- [5] G F 布伦特, L W 阿姆斯特郎. 两种大孔径预裂爆破新技术 [J]. 国外金属矿山, 1999 (6): 47 ~ 51.
- [6] Chironis N P. Angled drilling aids casting [J]. Coal Age, 1984, 89 (1): 64 ~ 67.
- [7] Tracy J M. Increased production through castblasting in surface coal mins [J]. J. Expl. Eng., 1985, 3 (3): 16 ~ 23.
- [8] Chironis N P. Casting overburden by blasting [J]. Coal Age, 1980, 85 (5): 172 ~ 180.
- [9] Editors. Cast overburden: an explosive idea [J]. Coal Age, 1982, 87 (6): 72 ~ 75.
- [10] Grippo A P. How to get more cast per blast [J]. Coal Age, 1984, 89 (12): 63 ~ 69.
- [11] Charles R Bartnhart. Analytical measurements in cast blasting to identify the cause and cure for orange smoke formation [A]. Proceeding of the Thirtieth Annual Conference on Explosive and Blasting Technology [C]. New Orleans, Louisiana USA, 2004. 1 ~ 4, 229 ~ 343.
- [12] Chironis N P. Blast casting pays off at avery [J]. Coal Age, 1982, 87 (11): 40 ~ 43.
- [13] Chironis N P. Blast casting succeeds at multi-seam western mine [J]. Coal Age, 1985, 90 (11): 55 ~ 58.
- [14] Chironis N P. Spoil-side dip-line stripping works well with cast blasting [J]. Coal Age, 1986, 91 (8): 40 ~ 45.