

条形空腔药包破坏范围和 抛掷堆积规律的研究

陶纪南

(西安冶金建筑学院)

摘要 本文讨论了条形空腔药包的破坏范围和抛掷、堆积规律,以及多层多排布药方案分段起爆时,后排药包临空面及最小抵抗线的确定方法。

关键词 条形空腔药包 破坏范围 抛掷堆积规律 后排药包临空面

1. 前言

一九八六年十月十四日在陕西汉江钢厂米箭沟成功地进行了一次装药量为81.87吨级的定向爆破筑尾矿坝工程。这次爆破的药量不大,但爆区的地形、地质和周围环境十分复杂,为了有效地控制爆破地震,飞石和冲击波等的危害,从设计上采取了十个方面的技术措施^[1],但其中最主要的一项是采用条形空腔分集药包。关于条形空腔分集药包的间断长度、空腔比计算及地震效应已在《条形空腔分集药包若干设计问题的研究》^[2]一文中进行了讨论,在这里着重研究它的破坏范围和抛掷、堆积规律。

在不少专著和教材中,介绍集中药包的破坏范围和爆落量计算时,大都推荐用图解法和截面法^[3],这些方法用起来很烦琐,而且和实际的差别还很大。根据我们的实践,所推荐的方法和爆后的测量结果比较接近。下面介绍所采用的方法,首先讨论集中药包,然后引出条形药包的计算公式。

2. 条形空腔药包的破坏范围和爆落量计算

(1) 等斜面集中药包破坏范围及爆落量计算

a. 单个集中药包破坏范围及爆落量计算

(a) 爆落量计算

在等斜面上,单个集中药包爆破漏斗如图1所示。根据图1按椭圆锥体可求得爆落量体积如下

$$V = \frac{\pi}{6} n^2 w^2 (1 + \sqrt{\beta}) (w + R_c) \quad (1)$$

式中 β 为破坏系数,与岩石性质及地形坡度有关,按下式计算

$$\beta = 1 + 0.04 \left(\frac{\theta}{10} \right)^3 \quad \text{适于土、松软岩石、次坚石}$$

$$\beta = 1 + 0.016 \left(\frac{\theta}{10} \right)^3 \quad \text{适于整体性好的坚硬岩石}$$

θ 为地形坡角,若 $\theta > 55^\circ$,则按 55° 代入计算。 R_c 为压缩半径, $R_c = 0.062(\mu Q/\rho)^{1/3}$ 。

1988年1月3日收到原稿,1989年5月20日收到修改稿。

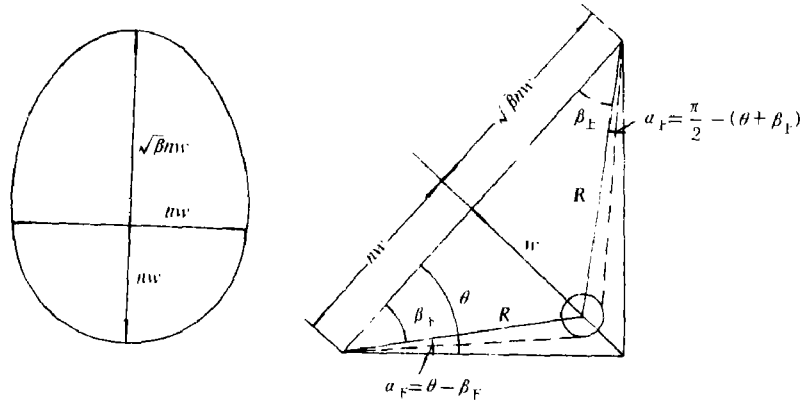


图1 单个集中药包爆破漏斗

Fig.1 Single charge explosion crater

式中 Q 为集中药包药量 (kg); ρ 为装药密度 (Mg/m^3); μ 为岩石压缩系数, 可查有关手册; w 为药包最小抵抗线; n 为装药作用指数。

(b) 爆破地形图上破坏范围的圈定

首先在爆破地形图上标出药包中心 O , 过药包中心平行等高线作直线, 参看图2。以药包中心为基准向左、向右各量取 nw 得1、2两点; 过药包中心垂直12作直线, 向下量取 $R\cos(\theta - \beta_f)$ 得3点, 式中 R 为下破裂半径, $\beta_f = \arctg(1/n)$ 。向上量取 $R' \cos(\theta + \beta_l)$ 得4点, 式中 R' 为上破裂半径, $\beta_l = \arctg(1/\sqrt{\beta} \cdot n)$ 。尔后, 以 $\overline{O2}$ 、 $\overline{O3}$ 为椭圆的两个半轴作图, 得药包中心以下的破坏范围; 以 $\overline{O2}$ 、 $\overline{O4}$ 为椭圆的两个半轴作弧, 得药包中心以上的破坏范围。

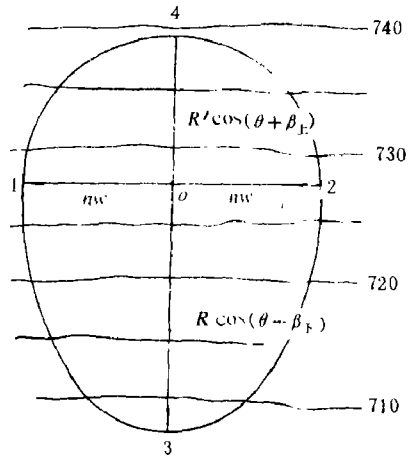


图2 单个集中药包破坏范围

Fig.2 Single charge failure zone

b. 等量对称药包的破坏范围和爆落量的计算

(a) 等量对称双药包的破坏范围

作图方法和单药包基本类似。首先在爆破地形图上标出两个药包的中心 O_1 和 O_2 , 延长 $\overline{O_1O_2}$ 并分别截取 nw 得1、2两点, 过 O_1 、 O_2 分别作垂线, 向下截取 $R\cos(\theta - \beta_f)$, 向上截取 $R' \cos(\theta + \beta_l)$ 得3、4、5、6四点, 以椭圆弧段连接31和15以及42和26, 再以直线连接34和56, 如图3所示, 即等量对称双药包的破坏范围。

(b) 等量对称双药包爆落量计算

等量对称双药包的爆落体积大体可分为三部分, 如图3所示。其中

$$V_1 = \frac{\pi}{6} n^2 w^2 (1 + \sqrt{\beta}) (w + R_c)$$

$$V_2 = (1 + \sqrt{\beta}) (w + R_c) n a w / 2$$

故总爆落体积为

$$V = V_1 + V_2 = \frac{n}{2} w (1 + \sqrt{\beta}) (w + R_c) (a + \frac{n\pi w}{3}) \quad (2)$$

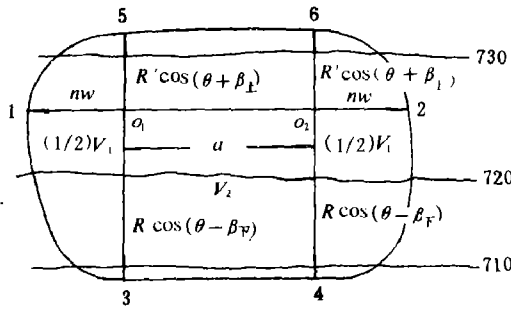


图 3 等量对称双药包破坏范围

Fig.3 Failure zone produced by two equal charges with symmetrical spread

式中 a 为等量对称双药包的间距。

(2) 等斜面上条形药包破坏范围及爆落量计算

a. 条形药包的破坏范围

条形药包破坏范围的作图方法和等量对称双药包的情况十分类似, 不同的有以下几点

(a) 以条形药包的药包长度 L 取代药包间距 a ;

(b) 以 $nw'/2$ 取代半轴长 nw , 其中 w'

根据条形药包的端部效应按 $1.15 [n^3 d w^2 / (1+n)]^{1/3}$ 计算^[2], 式中 d 为条形药包直

径。因此, 其破坏范围平面图的画法和图 3 十分相似, 不再重复。

b. 条形药包爆落量计算

条形药包爆落量的计算公式和等量对称双药包的计算公式类似, 亦为三部分组成, 其中

$$V_1 = \frac{\pi}{12} n^2 w w (1 + \sqrt{\beta}) (w + R'_c)$$

$$V_2 = (1 + \sqrt{\beta}) (w + R'_c) n L w / 2$$

故总爆落体积为

$$V = V_1 + V_2 = \frac{nw}{2} (1 + \sqrt{\beta}) (w + R'_c) (L + \frac{n\pi w'}{6}) \quad (3)$$

式中 w' 按文献[2]计算, R'_c 为条形药包压缩半径, $R'_c = 0.56 (q\mu/\rho)^{1/2}$ (m), q 为条形药包的线装药量 (kg/m), ρ 为装药密度 (kg/m³), μ 为岩石爆破压缩系数。

至于多层多排的情况可以依此类推, 不再赘述。

(3) 条形空腔药包的爆落量计算

上面讨论的爆落量计算是耦合装药的情况, 对于空腔药包, 只要空腔比选取适当, 爆落量有所增加。表 1 是两种药包 (空腔药包与耦合装药) 的对比试验数据^[4]。

根据试验数据可建立如下经验公式

$$\frac{V_d}{V} = 1.14 - \frac{0.14}{9} (M - 4)^2 \quad (4)$$

公式 (4) 的计算误差与试验结果相比一般不超过 2%, 如果令 $\eta(M) = 1.14 - (0.14/9) \cdot$

$(M - 4)^2$ 称空腔比对爆落量的影响系数, 则根据 (3) 式求得的条形药包爆落量还要乘以系数 $\eta(M)$ 。

表1 条形空腔药包爆落量试验结果

Table 1 The experimental results of blasting quantity by column divided charge with air spaces

空腔比 (M)		1	2	3	4	5	6	7
爆落量 比值 V_d/V	实验数据	1	1.05	1.10	1.14	1.12	1.065	1
	按(4)式 计算数据	1	1.08	1.12	1.14	1.12	1.077	1

注: 表中 V_d 为空腔药包爆落量, V 为耦合装药爆落量。

(4) 条形空腔药包的质心抛距*

如果空腔比选择适当, 条形空腔药包的质心抛距一般较耦合装药有所增加, 表2是耦合药包与空腔药包的对比试验结果^[4]。

表2 条形空腔药包质心抛距试验结果

Table 2 The experimental result of throw distance of mass center by column divided charge with air spaces

空腔比 (M)		1	2	2	3.4	4	5	5.5
质心抛 距比 S_d/S	试验值	1	1.158	1.24	1.25	1.217	1.075	1.041
	按(5)式 的计算值	0.9999	1.159	1.24	1.25	1.233	1.136	1.056

注: 表中 S_d 为条形空腔药包的质心抛距, S 为耦合装药的质心抛距。

根据表2试验数据可拟合如下计算公式

$$S_d/S = 1.25 \exp \left[- \left(\frac{M-3.4}{5.08} \right)^2 \right]$$

若令上式为

$$\xi(M) = 1.25 \exp \left[- \left(\frac{M-3.4}{5.08} \right)^2 \right] \quad (5)$$

则条形空腔药包的质心抛距, 可参照集中药包的计算公式计算后, 再乘以 $\xi(M)$ 修正系数, 计算时应注意将集中药包的作用指数函数代之以条形药包的作用指数函数。

上述条形空腔药包爆落量及质心抛距的修正公式虽然是在混凝土的模型试验中得到的^[4], 但在裂隙较发育的致密石灰岩的爆破实践也证明, 上式的计算结果基本正确, 这从爆后的爆堆测量和平均坝高与预计值相当接近^[1]得到证实。因此, 在没有获得更系统、更周密的试验数据以前, 这些修正公式仍有重要参考价值。

3. 多层多排布药方案分段起爆, 后排药包临空面及最小抵抗线的确定

在多层多排药包布置中, 后排药包临空面的确定影响到整个布药方案, 是定向爆破设计中一个十分重要的问题。在使用秒差雷管时, 爆破工作者的意见比较一致, 一般都以前排药包的上破裂面 R' 作为后排药包的临空面, 并以此确定后排药包的最小抵抗线 w_2 , 正如图4

* 若将抛散分布近似视为任意三角形, 则将三角形的重心定义为质心抛距。

所示。

自从使用毫秒雷管后,一些人主张以前排药包的下破裂半径 R_1 作为后排药包的临空面,如图5所示。这样设置的理由是:两排药包的起爆时差通常约为100~200ms,由于时差很短,上破裂面的坍落尚未形成(从录像带上看出,坍落开始约需1~1.5秒),因此,只能以

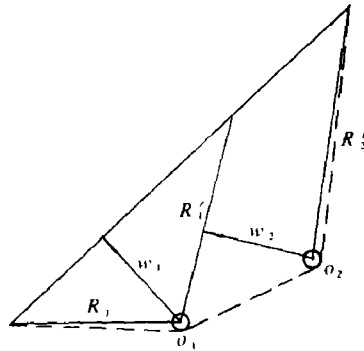


图4 以上破裂面作为临空面

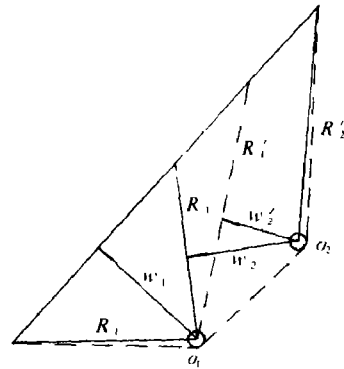


图5 以下破裂面作为临空面

Fig.4 Top failure surface used as free surface Fig.5 Bottom failure surface used as free surface

下破裂面作为临空面。但是,一些工程的实践表明,如陕西金堆城铅矿1986年的爆破设计,后排药包的临空面就是按前排药包的上破裂面选取的,而两排药包的时差间隔仍定为100~200ms,爆破效果很好,没有发现梗阻情况。我们认为这不是偶然现象,因为装药爆轰时,裂缝的发展速度十分迅速。理论计算表明,裂缝的延伸速度大约为岩体声速的0.38倍。一般岩体声速约为1500~3000m/s,因此,裂缝的扩展速度约为550~1200m/s。对于中等坚硬岩石,当最小抵抗线在30m以内的情况下,上破裂半径一般约100m左右(地形坡度按70°计)。因此,裂缝贯通只需80~180ms,此时,尽管上破裂面的岩体尚未来得及坍落,但贯通裂缝已经形成。实际上,后排药包的临空面已为上破裂面创立。因此,即使在采用毫秒雷管的情况下,对于中等及其以下规模抵抗线的药包,后排药包仍可能以前排药包的上破裂面作为临空面,尤其是采用空腔药包的情况下。由于鼓包破裂的时间延长,从摄像记录看出,从鼓包开始隆起到鼓包破裂大约需要500~700ms。因此,空腔药包各段的时差宜选用500ms以上^[1]。这样,对于空腔药包,就更宜以前排药包的上破裂面作为后排药包的设计临空面。我们认为,在实际工程中可按(6)式进行估算。当所选段差满足式(6)时,后排药包以上破裂面为临空面。否则,以下破裂面为临空面。亦即要求

$$T \geq k \left(\frac{R'_1 - w_d}{0.38 u_p} \right) \quad (6)$$

式中 T 为相邻两排药包的雷管段差, u_p 为岩体纵波波速, w_d 为后排药包的最小抵抗线, R'_1 为前排药包上破裂半径, k 为安全系数,取1.5~2.0。因为式中 $0.38 u_p$ 为裂纹极限扩展速度,而实际测得的扩展速度约为 $1/3 \sim 1/2$ 。对完整性较好的岩体取下限,破碎岩体取上限。

总之,雷管段差的选取要兼顾爆破效果和削弱地震波危害两个方面。既要使前排药包的鼓包尚未破裂回落(因此段差不能太大),又要为后排药包最大限度地开到临空面提高药能利

用和避免地震波的迭加(因此段差不能太小),以取得最佳的爆破效果。

4. 结论

本文所推荐的条形空腔药包的破坏范围和爆落量计算公式及抛掷、堆积规律,是在中等及其以下规模抵抗线爆破实践基础上的总结。显然,文中所涉及的问题并不完善,还有不少问题,如空腔比与压缩半径、空腔比与上下破裂面的关系、空腔比对其它设计计算参数的影响等均有待深入研究。鉴于条形空腔药包是一种十分灵活、可控性很高、很有发展前途的装药结构形式,希望能得到有关部门的支持,开展系统的试验研究。

参 考 文 献

- [1] 陶纪南等,在复杂条件下定向爆破筑坝的经验,西安冶金建筑学院学报,2(1987)。
- [2] 陶纪南,爆炸与冲击,8(2)(1988),167。
- [3] 桂中岳等,农田基本建设中的定向爆炸,水利电力出版社(1978)。
- [4] 赵式本等,条形空腔药包爆破试验研究,爆破,2(1986)。

RESEARCHES ON THE FAILURE ZONE AND EJECTA CREST PRODUCED BY SPACED-CHARGES EXPLOSION IN LONG CAVITY COLUMN

Tao Jinan

(Xian Institute of Metallurgy and Construction Engineering)

ABSTRACT The failure zone and ejecta crest produced by space-charges explosion in long cavity column are discussed in this paper. The methods for determining the free surface of the rear-row spaced-charges and the least-resistance line, under the condition of multi-layer and-row spaced-charges scheme with progressively discrete explosion, are also given.

KEY WORDS spaced-charges in cavity column, failure zone, ejecta crest, free surface of the rear-row charges.