

# 关于两个爆破设计公式的思考与改进

丁汉堃, 石磊, 西子阳

(北京中科力爆炸技术工程有限公司, 北京 101318)

**摘要:**根据爆破实际经验, 对两面临空条件下, 集中药包爆破设计公式  $W_1^3 \cdot f(n_1) = W_2^3 \cdot f(n_2)$  和露天爆破设计公式  $Q=qabH$  进行了解析, 指出了其中的不足, 同时提出实用的两面临空集中药包爆破设计公式和合理的露天爆破设计程序, 弥补了原公式的不足, 利用科学合理的爆破设计公式, 计算得到的爆破参数精准贴切实际。

**关键词:**爆破设计; 集中药包; 两面临空; 公式优化; 装药结构

根据长期从事爆破设计与施工的经验, 有意识地体验参数与现场的差距, 预估与现实爆破效果的差距, 思考问题根源, 其中设计所选用公式是否合理是产生问题的原因之一。因此, 结合爆破理论、爆破设计公式进行了分析研究, 认为存在不足。一是公式建立的理论基础不合理, 二是应用结果与实际有较大差距。鉴于以上情况, 作者对爆破设计公式进行解析, 指出其中的不足, 并提出改进意见。

## 1 两面临空爆破设计公式分析

### 1.1 理论分析

集中药包处在两面临空状态时, 文献[1]提供的设计公式为:

$$W_1^3 \cdot f(n_1) = W_2^3 \cdot f(n_2) \quad (1)$$

式中,  $W_1, W_2$  为两侧最小抵抗线, m;  $n_1, n_2$  为两侧的爆破作用指数。

将式(1)乘  $k_0$  (标准单耗) 得到:

$$k_0 \cdot W_1^3 \cdot f(n_1) = k_0 \cdot W_2^3 \cdot f(n_2)$$

得:

$$Q_1 = Q_2 \quad (2)$$

式中,  $Q_1, Q_2$  为两侧等效子药包药量, kg。

上述推导结果说明, 当子药包药量相等时, 公式(1)才能成立, 也可以说, 无论两侧的  $W$  值、 $n$  值如何变化, 集中药包的子药包的药量永远是平均分配的。这种假设推导出的公式(1)是值得商榷的。两面临空岩体两侧呈现不同的运动状态, 不是由子药包药量相等决定的, 而是由两侧岩体所获动量相等决定的, 即由不同大小的岩体所获不同的

速度决定的。大多数为  $Q_1 \neq Q_2$ , 而  $Q_1 = Q_2$  只是其中特例。

式(1)中  $f(n)$  没有指出具体函数式, 在利用  $f(n) = 0.4 + 0.6n^3$  计算时,  $n$  值会出现负值, 是无意义的情况。因此, 式(1)不适合爆破设计应用, 应考虑重新建立新的公式。

文献[2]指出, 炮孔内爆炸气体对抛体做功, 根据动量守恒定理, 气体作用于药室气腔内壁的冲量等于抛体获得的动量, 进而推出公式:

$$W_1^3 \cdot V_1 = W_2^3 \cdot V_2 \quad (3)$$

根据能量守恒定理:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (4)$$

式中,  $Q$  为集中药包药量, kg。

抛体速度:

$$V = k \left( \frac{Q^{1/3}}{W} \right)^2 \quad (5)$$

则有:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left( \frac{Q_1^{1/3}}{Q_2^{1/3}} \right)^2 \cdot \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^2 \quad (6)$$

式中,  $W_1, W_2$  为两侧子药包抵抗线, m;  $V_1, V_2$  为两侧子药包抛体速度, m/s。

将式(3)、(4)、(6)联立方程得:

$$Q_1 = Q / [1 + (W_1 / W_2)^{3/2}] \quad (7)$$

$$Q_2 = Q / [1 + (W_2 / W_1)^{3/2}] \quad (8)$$

$$Q_1 / Q_2 = (W_2 / W_1)^{3/2} \quad (9)$$

式(7)~式(9)说明, 推导出的子药包药量

与抵抗线关系式正符合爆破能量分配规律, 即抵抗线小获得能量大, 进而抛体的速度大、位移大, 产生抛掷的爆破效果。反之, 抵抗线大, 获得能量就小, 进而抛体速度小、位移小, 自然就产生松动的爆破效果。只有  $W_1=W_2$  时,  $Q_1=Q_2$  才能成立, 是公式的一个特例。

集中药包爆后, 爆坑呈锥形, 其体积  $V=\pi/3 \cdot n^2 \cdot W^3$ , 药量公式:  $Q=k_0 \cdot W^3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot n^2$ , 函数  $Q=k_0 \cdot W^3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot n^2$ , 根据函数  $f(n)=0.4+0.6n^3$  和  $f(n)=\frac{\pi}{3} \cdot n^2$  后转变成  $Q=k_0 \cdot W^3 \cdot (0.6+0.4n^3)$ 。将两个函数进行比较, 见表 1, 由表 1 说明在  $n=0.75 \sim 1.7$  范围内, 二者数值相近, 相差在 10% 以内, 在抛掷爆破时,  $n$  取值范围内, 二者函数值更为接近。因此, 在一定范围内二次函数可以互换运算, 避免了函数  $f(n)=0.4+0.6n^3$  中  $n$  为负值的结果。

将式  $Q=k_0 \cdot W^3 f(n)$  代入式 (9) 得:

$$\frac{f(n_1)}{f(n_2)} = \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{9/2} \quad (10)$$

当  $f(n)=\frac{\pi}{3} \cdot n^2$  时, 得:

$$\frac{n_1}{n_2} = \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{9/4} \quad (11)$$

当  $f(n)=0.4+0.6n^3$  时, 得:

$$\frac{0.4+0.6n_1^3}{0.4+0.6n_2^3} = \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{9/2} \quad (12)$$

表 1  $n-f(n)$  关系

$n$	$f(n)$		差/%
	$\pi/3 \cdot n^3$	$0.4+0.6n^3$	
0.5	0.26	0.48	46
0.6	0.38	0.53	28
0.7	0.51	0.61	16
0.75	0.59	0.65	9
0.8	0.67	0.71	5.6
1.0	1.05	1.0	4.7
1.1	1.27	1.20	5.5
1.2	1.51	1.44	4.6
1.5	2.36	2.43	2.9
1.7	3.03	3.35	9.6
1.8	3.40	3.90	12.8
2.0	4.20	5.20	19.2

## 1.2 工程实例

两面临空地地形洞室爆破, 一侧要求抛掷爆破,

另一侧为松动爆破。

基本参数:

子药包 1:

$W_1=10 \text{ m}$ ,  $n_1=1.2$ ,  $k_0=1.5 \text{ kg/m}^3$ ,  $Q_1$  未知。

子药包 2:

$W_2=15 \text{ m}$ ,  $n_2$  未知,  $k_0=1.5 \text{ kg/m}^3$ ,  $Q_2$  未知。

药包:  $Q$  未知。

1.2.1 采用  $f(n)=\frac{\pi}{3} \cdot n^2$  思路设计

$$Q_1 = k_0 \cdot W_1^3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot n_1^2 = 2268 \text{ kg}$$

由式 (11) 可知  $n_2=0.48$ 。

由  $Q_2 = k_0 \cdot W_2^3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot n_2^2 = 1225 \text{ kg}$ ,  $Q=Q_1+Q_2=3493 \text{ kg}$ 。 $Q$  值也可用式 (7) 求出。

1.2.2 采用  $f(n)=0.4+0.6n^2$  思路设计

$$Q_1 = k_0 \cdot W_1^3 (0.4 + 0.6n_1^3) = 2155 \text{ kg}$$

由式 (12) 可得  $n_2=-0.65$ 。 $n$  为负值无意义, 以下参数无法计算。

## 2.1 露天爆破设计公式分析

### 2.1.1 理论分析

露天爆破在设计施工中广泛使用的公式是  $Q=qabH$ 。实践证明, 用此公式计算结果与实际施工存在较大差距, 有必要指出此公式不足之处, 分析原因, 提出改进意见。

$$Q_0=q_0abH \quad (13)$$

式中,  $Q$  为单孔药量,  $\text{kg}$ ;  $q_0$  为单耗,  $\text{kg/m}^3$ ;  $a$  为孔间距,  $\text{m}$ ;  $b$  为孔排距,  $\text{m}$ ;  $H$  为台阶高度,  $\text{m}$ 。

式 (13) 可以变换成 (装药结构详见图 1):

$$Q=ab(l-l_2) \cdot q_0 \quad (14)$$

或

$$Q=ab(l_1+l_3) \cdot q_0 \quad (15)$$

式中,  $l$  为孔深,  $\text{m}$ ;  $l_1$  为堵塞长度,  $\text{m}$ ;  $l_2$  为超深,  $\text{m}$ ;  $l_3$  为超深以上装药长度,  $\text{m}$ 。

分析式 (14)、(15) 存在以下问题。

(1) 超深部位的药量没有计算在内。应该装药的位置没有装药。

(2) 堵塞部位计算了药量。不该装药的位置却装了炸药。

(3) 式 (13) 中的线装药密度  $L_p=abq$  与炮孔固有的线装药密度  $L_p = \frac{\pi}{4} \cdot \varphi^2 \cdot \Delta$ , 有时不符。

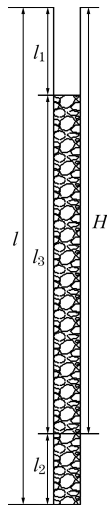


图1 装药结构

由于存在以上问题，用式(13)计算出的药量或多或少以致堵塞长度或短或长，造成炮孔装药结构不合理，给现场作业造成困扰，见表2。

表2 运用  $Q=q_0abH$  计算参考值

H/m	$l_2$ /m	Q/kg	$l'$ /m	$l_1$ /m
8	1	24	3.8	5.2
10	1	30	4.7	6.3
12	1	36	5.6	7.4
15	1	45	7.0	9
20	1	60	9.4	11.6

条件： $\phi = 90 \text{ mm}$ ， $a=3 \text{ m}$ ， $b=2.5 \text{ m}$ ， $q_0=0.4 \text{ kg/m}^3$ ， $L_p=6.5 \text{ kg/m}$ 。

注： $l'$  为装药长度，m。

笔者认为式(13)中的单耗  $q_0$  为综合单耗。在工程预算、工程投标、工程成本核算等项目中，式(13)中的单耗  $q_0$  是可以应用的。

在以式(13)为基础的常规设计中，常以单耗  $q_0$  为不变量求出药量，但实际上单耗  $q_0$  是随孔深变化的。笔者认为钻孔爆破不变量是炮孔线装药密度  $L_p$ ，见图2、图3。

式(13)是以岩体爆破后形成矩形柱体而推导出来的，而实际上岩体爆炸后形成的是三角形柱体，由此而推导出来的公式是  $L_p=q_1W^2$ ，强调在线装药密度  $L_p$  一定的前提下，抵抗线  $W$  与条形药包单耗  $q_1$  的关系，其中  $q_1$  是直接决定岩体运动状态以及影响爆破质量的重要参数，也可称为设计单耗。

为了改变式(13)计算药量与现场装药量差距较大的情况，在上述分析的基础上，调整爆破设计程序使得各参数符合实际，以提高药量计算的准确性。

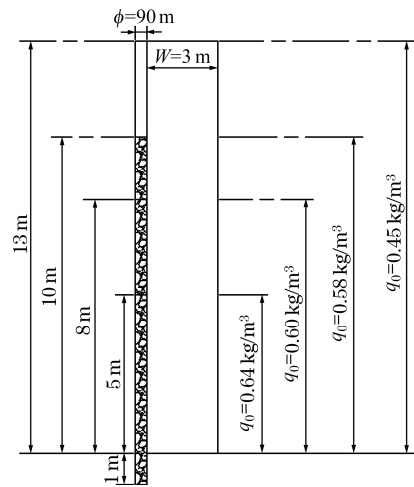


图2 公式  $Q=q_0abH$  中  $l \sim q_0$  关系

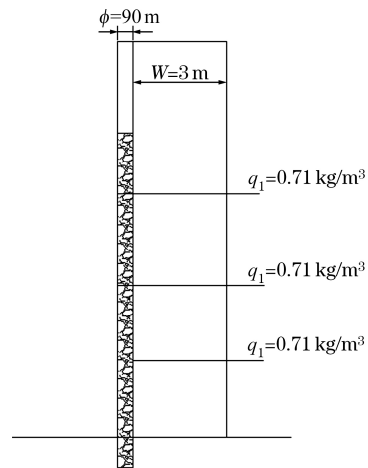


图3 公式  $L_p=q_1W^2$  中  $l \sim q_1$  关系

设计程序以线装药密度为基础，优先确定炮孔装药结构，推导其他参数，最后计算综合单耗。

以温岭山体爆破工程为例，设计参数见表3~表6。

表3 基础参数

编号	设计项目	工程实例
1	台阶高度H	H=12 m
2	孔径 $\phi$	$\phi=90 \text{ mm}$
3	炸药种类	乳化炸药
4	线装药密度 $L_p = \frac{\pi}{4} \cdot \phi^2 \cdot \Delta$	$L_p=6.4 \text{ kg/m}$

其中：抵抗线按经验公式确定：

$$W = k \cdot \phi, \quad k=20 \sim 40,$$

$$W = (l_p / Q_1)^{1/2}, \quad W = \left[ \frac{l_p(l-l_1)}{mq(l-l_2)} \right]^{1/2}$$

式中， $q_1$  为条形药包单耗， $\text{kg/m}^3$ ； $q_1=[(l-l_0)/(l-l_1)] \cdot m$ 。

$q_0$ ;  $m$  为炮孔密集系数。

表4 装药结构参数

编号	设计项目	工程实例
5	超深 $l_2$	$l_2=1$ m
6	孔深 $l=H+l_2$	$l=13$ m
7	堵塞长度 $l_1=(0.8-1.2)W$	$l_1=3$ m
8	装药长度 $l=l-l_1$	$l=10$ m

表5 孔网参数

编号	设计项目	工程实例
9	抵抗线 $W$	$W=3$ m
10	孔排距 $b=W$	$b=3$ m
11	孔间距 $a=m \cdot b$	$a=4$ m

表6 综合参数

编号	设计项目	工程实例
12	单孔药量 $Q_1=l_p \cdot l$	$Q_1=64$ kg
13	总药量 $Q=n \cdot Q_1$	$Q=n \cdot 64$ kg
14	设计单耗 $q_1=l_p/W^2$	$q_1=0.71$ kg/m <sup>3</sup>
15	综合单耗 $q_0=Q_1/(a \cdot b \cdot l)$	$q_0=0.41$ kg/m <sup>3</sup>

## 2.2 实施效果

上述工程实例数值仅为多项爆破工程中的一项目。在采用  $Q=q_0abH$  公式设计施工时,计算出的药量或多或少致使施工时常发生退药或缺药的情况,给装药作业、库房管理造成很大影响。有时也发生装药不到位或堵塞过长的情况,影响了爆破效果。以线装药密度为固定值改进设计方法后,现场爆破施工主要表现在设计参数贴合实际,依据趋于科学,现场装药结构合理。依据公式  $Q=(L-n_1 \cdot l_1)L_p$  ( $L$

为炮孔总长度)计算爆破作业总用量更为准确,有效减少了以前存在的不良现象。

## 3 结语

根据爆破工程实际的体验,对两个常用的爆破设计公式进行详细的解析,指出了其中的不足并提出了改进意见,其中集中药包在两面临空条件下,等效子药包的药量分配公式填补了设计公式的缺憾,改进了钻孔爆破的设计程序,使爆破设计更加合理,工艺参数更加实用,可对相关爆破工程设计施工提供参考指导作用。

### 参考文献:

- [1] 汪旭光.爆破设计与施工[M].冶金工业出版社,2012.
- [2] 林睦盘.多面临空地爆破理论与设计[R].中国科技咨询服务中心爆破新技术公司,1984.
- [3] 丁汉堃,西子阳,王彦军.露天浅孔爆破抵抗线计算方法的探讨及其应用[J].采矿技术,2020,20(5).
- [4] 熊炎飞,董正才,王辛.爆破飞石飞散距离计算公式浅析[J].工程爆破,2009:9.
- [5] 杨年华.新建铁路复杂环境下石方爆破开挖安全技术研究[O].
- [6] 丁汉堃,张阳,西子阳.基于能量分布的深孔预裂参数优化研究[J].采矿技术,2017,17(5).
- [7] 陕西省水土保持局,西安冶金建筑学院.农田基本建设中的定向爆破[M].水利电力出版社,1978.5.
- [8] 周家汉.爆破及其振动分析[M].北京:科学出版社,2021.

(收稿日期: 2021-10-15)

作者简介:丁汉堃(1946—),男,高级工程师,主要从事工程爆破技术与施工的应用研究,Email: 915311258@qq.com。  
通信作者:石磊(1993—),男,工程师,主要从事工程爆破技术与施工方面的研究,Email: 1915311258@qq.com。