

# 水压控制爆破合理参数的确定

金淳圭

(鞍钢矿山研究所 辽宁省鞍山市 114001)

**摘 要** 本文根据“爆炸相似律”、“能量准则”、“能量守恒”等理论和水压控制爆破成败经验,建立合理、通用、方便的参数计算公式。

**关键词** 水压控制爆破 容器状构筑物 药包

## 1. 前 言

水压控制爆破是在容器状构筑物中,合理地布置炸药包并注满水介质起爆,利用水的冲击压力使该构筑物破碎,解体的一种控制爆破技术。近年来,我国许多城市在拆除容器状构筑物工程中广泛应用水压控制爆破技术,在经济和安全方面取得了明显效果。但是,目前国内水压控制爆破方面采用的诸多计算公式都存在一定的局限性,或者有些参数选择范围很大,对初用者带来许多不便。本文试图利用能量准则理论和实际试验、应用统计的分析结果来建立一种无论在单、群药包或多层药包,还是在薄、厚壁以及不同容积的水压控制爆破中均可通用的计算公式,为设计水压控制爆破提供方便条件。

## 2. 水压控制爆破药量

水是在98MPa压力下其密度仅增加5%左右的一种可缩性很小的流体,故炸药包在水中爆炸时具有冲击能量传递效率很高的优点。如果在待拆除的容器状结构中,注满水后在适当位置上引爆适量的炸药包,则结构物四周受到几十兆帕的冲击压力,当结构物周壁的变形速度超过其临界断裂速度时,该结构物被破碎而解体。

根据“爆炸相似律”<sup>[1]</sup>,当集中药包水下爆炸时,其冲击波峰压及比冲量的经验计算公式分别为

$$p_m = A(Q^{1/3}/R)^{\alpha} \quad (1)$$

$$I = BQ^{1/3}(Q^{1/3}/R)^{\beta} \quad (2)$$

式中: $p_m$ 为冲击波峰压值(N/m<sup>2</sup>); $I$ 为波阵面上单位面积冲量(N·S/m<sup>2</sup>); $Q$ 为炸药重量(kg); $R$ 为离药包中心距离(m); $A$ 、 $B$ 为待试验确定的常系数。

TNT在 $0.95 > Q^{1/3}/R > 0.078$ 范围内的 $A = 5.227 \times 10^7$ , $B = 5766$ ; $\alpha$ 、 $\beta$ 为待试验确定的衰减指数。TNT在 $0.95 > Q^{1/3}/R > 0.078$ 范围内的 $\alpha = 1.13$ , $\beta = 0.89$ 。

上述 $A$ 、 $B$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 值在水压爆炸范围内适用。由于水压控制爆破冲击压力作用起始时间为 $t \geq R/c_0$ ,故水压控制爆破冲击波正压变化为

$$p = p_m \cdot e^{-\frac{1}{\theta}(t-R/c_0)} \quad (3)$$

式中:  $p$  为距药包中心  $R$  处, 经时间  $t$  的压力 ( $\text{N}/\text{m}^2$ );  $e$  为自然对数的底数;  $c_0$  为未扰动的水中声速 ( $\text{m}/\text{s}$ );  $\theta$  为压力从  $p_m$  降至  $p_m/e$  所需时间简称衰减时间常数。此时比冲量由下式计算

$$I = \int_{R/c_0}^{t_0} p dt = \int_{R/c_0}^{t_0} p_m e^{-\frac{1}{\theta}(t-R/c_0)} dt = p_m \cdot \theta [1 - e^{-\frac{1}{\theta}(t-R/c_0)}] \quad (4)$$

当  $t \rightarrow \infty$  时, 可得

$$I = p_m \cdot \theta \quad (5)$$

因此, 由(1)~(5)式可得 TNT 炸药在水下爆炸衰减时间常数计算公式如下

$$\theta = I/p_m = B/A \cdot Q^{\frac{1}{3}} (Q^{\frac{1}{3}}/R)^{-0.2} \approx Q^{\frac{1}{3}} (Q^{\frac{1}{3}}/R)^{-0.24} \times 10^{-4} \quad (6)$$

如被拆除容器视为刚体, 则水中爆炸冲击波在壁面入射波峰压  $p_m$  接近 49MPa 时, 可做声波近似计算。其反射峰压  $p_n$  为入射峰压的两倍<sup>[1,2]</sup>, 即

$$p_n = 2p_m \quad (7)$$

故由(5), (7)式可得反射比冲量同样是入射比冲量两倍的结果, 即

$$I_n = 2I \quad (8)$$

设离炸药包最近壁点上反射比冲量引起初始最大速度为  $v_{\max}$ , 则得

$$v_{\max} = I_n / \rho_p \delta \quad (9)$$

式中:  $\rho_p$  为容器壁厚密度 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ), 一般钢筋混凝土为  $\rho_m = 240$ <sup>[2]</sup>;  $\delta$  为容器壁厚 ( $\text{m}$ )。将(2)、(8)式代入(9)式可得

$$v_{\max} = 2BQ^{\frac{1}{3}} / \rho_p \delta R^{\beta} \quad (10)$$

此时, 容器壁上单位质量获得的动能值为  $(1/2)v_{\max}^2$ 。如果容器四周被冲击压力作用而破坏, 则破坏纯是拉伸断裂, 相应其单位质量的拉伸应变能为  $(1/2)(\sigma_t / \rho_p c_p)^2$ 。其中  $\sigma_t$  为壁的抗拉强度 (混凝土的  $\sigma_t = 1.96 \times 10^6 \text{N}/\text{m}^2$ ),  $c_p$  为壁中声速 (混凝土的  $c_p = 3 \times 10^3 \text{m}/\text{s}$ )。显然, 壁体获得的动能  $(1/2)v_{\max}^2$  与其断裂破坏所需的拉伸应变能  $(1/2)(\sigma_t / \rho_p c_p)^2$  比值越大, 破坏程度也大, 出现的裂隙密度也大。对于水压控制爆破, 其能量准则可以写为<sup>[2]</sup>

$$\frac{v_{\max}}{\sigma_t / \rho_p c_p} = c_0 \quad (11)$$

式中:  $c_0$  为单位质量获得的动能与断裂破坏拉伸应变能之比例系数。

设容器壁被冲击波破坏产生的裂隙密度为  $N$ , 则得到如下破坏能量的判断关系

$$N = G(C_0) \quad (12)$$

令  $\sigma_t / \rho_p c_p = v_{\text{ck}}$  称为临界断裂速度, 根据(11)、(12)式可得

$$v_{\max} = v_{\text{ck}} \cdot g(N) \quad (13)$$

因此, 由(10)、(13)式得到如下关系式

$$Q = \left[ \frac{\rho_p \cdot v_{\text{ck}} \cdot g(N)}{2B} \right]^{\frac{3}{1+\beta}} \cdot \delta^{\frac{3}{1+\beta}} \cdot R^{\frac{3\beta}{1+\beta}} \quad (14)$$

如选用 TNT 炸药, 则得

$$Q = \left[ \frac{\rho_p \cdot v_{ck} \cdot g(N)}{2 \times 5766} \right]^{1.587} \cdot \delta^{1.587} \cdot R^{1.413} \quad (15)$$

令  $K_p = \left[ \frac{\rho_p \cdot v_{ck} \cdot g(N)}{2 \times 5766} \right]^{1.587}$ , 则得

$$Q = K_p \cdot \delta^{1.587} \cdot R^{1.413} \quad (16)$$

式中:  $K_p$  为破碎程度系数。

一般水压控制爆破取  $K_p = 2.5 \sim 13$ , 初用者很难正确选择。试验表明  $K_p$  与结构物的强度有关, 壁厚有关, 并与配筋状况和内径有关。如何准确地选择  $K_p$  值, 是水压控制爆破成功的关键问题之一。

对素混凝土或者只在内壁面配单层钢筋(此时配筋率一般为  $\mu = 0.002 \sim 0.004$ ) 的结构物,  $K_p$  中的  $v_{ck}$  应满足下面条件可达到破碎目的。素混凝土时断裂速度取

$$v_{ck} = \frac{2\sigma_t}{\rho_p \cdot c_p} \quad (17)$$

只内壁单层钢筋网时, 设钢筋抗拉强度为  $\sigma_{tg}$  (一般  $\sigma_{tg} = 490\text{MP}$ ), 则由能量守恒定律得到如下关系<sup>[2]</sup>

$$\frac{1}{2} v_{ck}^2 = \frac{\mu \cdot \sigma_{tg} \cdot \epsilon_p}{\rho_p} \quad (18)$$

式中:  $\mu$  为配筋率;  $\epsilon_p$  为钢筋极限弹性应变量, 取  $\epsilon_p \geq 0.002$ 。故其临界断裂速度为

$$v_{ck} = (2\mu \cdot \sigma_{tg} \cdot \epsilon_p / \rho_p)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

由于  $2\sigma_t / \rho_p c_p \approx (2\mu \cdot \sigma_{tg} \cdot \epsilon_p / \rho_p)^{\frac{1}{2}}$ , 所以素混凝土和只内壁面配单层钢筋网结构物的破碎断裂速度取  $v_{ck} = 2\sigma_t / \rho_p c_p$ 。

$K_p$  中的另一个因素  $g(N)$  与破碎程度有密切关系, 试验表明  $g(N)$  取  $19 + R/\delta$  值时对拆除有利。如  $g(N)$  值取值小裂隙少, 取值大, 飞石距离远。综上所述, 素混凝土或只内壁面配单层钢筋网结构物的合理药量计算公式可归纳如下

$$Q = [0.113(19 + R/\delta)]^{1.587} \cdot \delta^{1.587} \cdot R^{1.413} \quad (20)$$

对于多层配筋结构物, 确定  $K_p$  值较复杂。多层配筋结构物的破碎条件, 关键在最外层钢筋网的应变  $\epsilon'$  能否达到  $\epsilon_p$  值。由于内壁面钢筋应变  $\epsilon$  与最外层钢筋应变  $\epsilon'$  有如下关系:

$$\epsilon = \epsilon' (1 + \delta' / R) \quad (21)$$

式中:  $\delta'$  为内壁面至最外层钢筋网的距离(m)。令多层配筋结构物最外层钢筋应变  $\epsilon' = \epsilon_p$  的断裂速度为  $v_{ck}$ , 则由(19)、(21)式得到如下关系

$$v_{ck} = (1 + \delta' / R)^{\frac{1}{2}} \cdot v_{ck} \quad (22)$$

故多层钢筋混凝土水压控制爆破合理的药量计算公式为

$$Q = [0.113(1 + \delta' / R)^{\frac{1}{2}} \cdot (19 + R/\delta)]^{1.587} \cdot \delta^{1.587} \cdot R^{1.413} \quad (23)$$

上式, 当  $\delta' = 0$  则与素混凝土或只内壁面配单层钢筋网结构物药量计算公式完全一致。

当结构物是非圆筒形状, 并只布置单药包或者单轴群药包, 则按下列公式计算等效壁厚  $\delta$  和等效半径  $\hat{R}$  取代(23)式中的  $\delta$  和  $R$  计算即可<sup>[3]</sup>

$$\hat{R} = (S_R / \pi)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$\delta = \hat{R}[(1 + S_0/S_R)^{\frac{1}{2}} - 1] \quad (25)$$

式中:  $S_R$  为容器内空间的药水平截面积( $m^2$ );  $S_0$  为药包水平的容器壁截面积( $m^2$ )。

为了验证上述公式的准确性,在  $\delta' = 0.039 \sim 1.7m$ 、 $\delta(\delta) = 0.078 \sim 1.75m$ 、 $R(\hat{R}) = 0.85 \sim 5.0m$ 、 $R/\delta = 0.59 \sim 25$ 、 $g(N) = 20 \sim 44$ 、配筋为 1~10 层范围,国内成功或者失败的水压控制爆破<sup>[2,3]</sup>和试验水压爆破实际装药量及其爆后效果列成表 1 进行对比。从表 1 可知,(23)式计算的药量比较合理。

表 1 计算药量与实际药量对比表

Table 1 Result of comparison between the calculated explosive charge and the actual explosive charge

名称	计量类别	$\delta$ /(m)	$\delta'$ /(m)	$R$ /(m)	$Q_{\text{计}}$ /(kg)	$k_{\text{计}}$	$K_{\text{计}}$	$Q_{\text{实}}$ /(kg)	效果	备注
军事工事	单药包	1.1	1.0	1.3	10.0	5.93	5.74	9.67	好	
	总药量	1.1	1.0	3.36	42.0	6.51	6.67	43	好	$\hat{R}$ 取代 $R$
弹药库	单药包	1.6	0.10	0.95	11.0	5.6	3.95	7.74	偏大	飞石较远
涵管	单药包	0.078	0.039	0.497	0.05	7.70	8.16	0.053	好	
煤气罐	总药量	0.20	0.1	5.0	9.5	12.57	12.95	9.79	较好	圆筒 $\hat{R}=R$
	单药包	0.20	0.1	2.0	0.86	4.15	6.84	1.42	偏低	
水井	单药包	0.23	0.12	1.25	0.70	5.24	5.24	0.70	好	
军事工事	单药包	1.00	0.90	1.0	2.0	2.0	6.0	6.0	过少	
	单药包	0.50	0.45	0.85	0.8	3.0	5.52	1.46	过少	
碉堡	单药包	1.75	1.70	1.7	10	1.94	6.32	32.5	过少(裂纹)	
	单药包	1.20	1.1	2.5	10	2.05	5.26	25.6	过少(裂纹)	
军事工事	总药量	1.1	1.0	2.88	28	5.40	6.67	34.6	偏低	取 $\hat{R}$ 计算
军事工事	总药量	1.1	1.0	2.88	54	10.41	6.67	34.6	过大	飞石距离远
指挥所	单药包	0.5	0.10	1.3	6	12.4	4.5	2.17	过大	

### 3. 水压控制爆破药包布置参数

水压控制爆破的成败与药包布置方法有密切关系。水压控制爆破,根据结构物的形状、尺寸以及容水深度不同,可设计出单药包或群药包的形式,甚至还可设计多层的单轴或多轴群药包形式。

#### 1. 圆筒形或正方筒形结构物

这种形状可布置单轴药包。此时药包布置在水平断面几何中心处,药包距壁面最小距离  $R_w = R(\hat{R})$ 。如果结构物上部开口,则药包水头高度  $H_0 \geq R_w$ ,并以下式来验算是否合理

$$H_{0\min} \geq Q^{\frac{1}{3}}$$

式中:  $H_{0\min}$  为最小水头高度(m),当计算值小于 0.4m 时,应取 0.4m;  $Q$  为药量(kg)。

当结构物充水深度  $H_c > 2.7R_w$  时可布置多层单轴药包,  $H_c = 2.0 \sim 2.7R_w$  时可布置单药包,  $H_c < 2.0R_w$  时必须布置单层群药包。

多层药包的层距  $b$  应满足上下药包间的破碎要求。根据比冲量与断裂速度成正比的原理,由图 1 所示的关系可确定合理的  $b$  值。从图 1 可知两个层距为  $b$  的药包垂直平分线

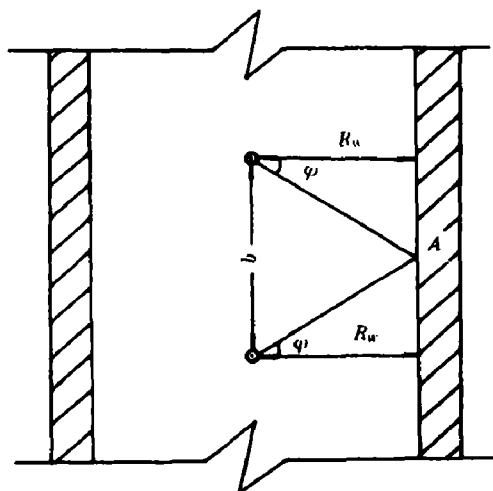


图1. 多层药包作用示意图  
Fig. 1 The action of multi-layer explosive cartridge

与壁相交点 \$A\$ 处合入射比冲量 \$I\_{An}\$ 为

$$I_{An} = 4BQ^{1/3}(Q^{1/3} \cdot \cos\varphi/R_w)^\gamma \cdot \cos\varphi \\ = 4BQ^{1/3}(Q^{1/3}/R_w)^\gamma \cos^{1+\gamma}\varphi \quad (27)$$

而每一个药包作用下其最近处壁的入射比冲量为

$$I_n = 2BQ^{1/3}(Q^{1/3}/R_w)^\gamma \quad (28)$$

故得

$$I_{An}/I_n = 2\cos^{1+\gamma}\varphi \quad (29)$$

试验结果表明 \$I\_{An}/I\_n=1.5\$ 时的层距, 其破碎效果为佳, 即 \$\cos^{1+\gamma}\varphi=0.75\$ 为合理值。如果使用 TNT 炸药, 则以下式计算确定层距 \$b\$ 合理。

$$b = \text{tg}[\cos^{-1}(0.75)^{\frac{1}{1+\gamma}}] \cdot R_w \\ = 1.2R_w \quad (30)$$

最下层药包距容器底板距离 \$H\_d\$, 试验统计表明取 \$H\_d=(0.4\sim 0.6)R\_w\$, 为宜。

布置多层药包时层数 \$n\$ 如下式计算确定

$$n = 1 + \frac{H_d - 1.5R_w}{1.2R_w} \quad (31)$$

## 2. 浅筒形或长方筒形结构物

容水深度 \$H\_s < 2R(\hat{R})\$ 的圆筒形及正方筒形或者长边与短边比值大于 1.4 的结构物, 要设计多轴群药包。这种情况, 根据水深、壁厚、长短边比例先确定合理的 \$R\_w\$, 再计算药包间距 \$a\$。药包间距 \$a\$ 应满足周向破碎要求。试验发现当 \$I\_{An}/I\_n=1\sim 1.5\$ 时破碎效果好, 故得如下合理范围

$$\cos^{1+\gamma}\varphi = 0.5 \sim 0.75$$

当使用 TNT 炸药, 则如下计算确定合理药包间距

$$a = \text{tg}[\cos^{-1}(0.5)^{\frac{1}{1+\gamma}} \sim 0.75^{\frac{1}{1+\gamma}}] \cdot R_w = (1.2 \sim 2)R_w \quad (32)$$

## 4. 水压控制爆破飞石距离的估算

炸药在水下爆炸时, 冲击波的水流能量密度经验计算公式为<sup>[1]</sup>

$$E = C \cdot Q^{1/3}(Q^{1/3}/R)^\gamma \quad (33)$$

式中, \$E\$ 为水流能量密度 (\$N \cdot m/m^2\$);

\$C\$ 为试验待定常数, TNT 在 \$0.95 > Q^{1/3}/R > 0.78\$ 时 \$C=8.14 \times 10^4\$;

\$\gamma\$ 为试验待定衰减指数, TNT 在 \$0.95 > Q^{1/3}/R > 0.078\$ 时 \$\gamma=2.05\$。

上述 \$C, \gamma\$ 值在水压爆破中适用, 其 \$\gamma\$ 值在工程计算中可近似取 2, 故得到

$$E = CQ/R^2 \quad (34)$$

而炸药爆炸总能量一般表示如下

$$W_B = UQ \quad (35)$$

式中, \$U\$ 为单位重量炸药能量系数, TNT 的 \$U=3.9 \times 10^6 N \cdot m/kg\$。故药量为 \$Q\$ 的集中药包

在水中爆炸后,作用于  $R_w$  距离的容器壁上效率  $\eta$  为

$$\eta = \frac{4\pi R_w^2 \cdot E}{U \cdot Q} \quad (36)$$

将 TNT 炸药参数代入(36)式得到

$$\eta = 4\pi C/U \approx 26.2\% \quad (37)$$

设破碎单位质量的能耗为  $W_p$ ,则由能量守恒定律得到如下关系

$$v_i^2 = \frac{\eta \cdot U \cdot Q - W_p}{2\pi\rho_p \cdot \delta \cdot R_w^2} \quad (38)$$

式中: $v_i$  为破碎后飞石的最大初速度(m/s)。将(16)式代入(38)式得到

$$v_i^2 = \frac{\eta \cdot U \cdot K_p}{2\pi\rho_p} (\delta/R_w)^{0.587} - \frac{W_p}{2\pi\rho_p \cdot \delta \cdot R_w^2} \quad (39)$$

根据弹道学原理,最大飞行距离为

$$S_t \leq \frac{v_i^2}{g} \quad (40)$$

式中: $S_t$  为飞石最大飞行距离(m), $g$  为重力加速度( $g=9.8\text{m/s}^2$ )。由(39)、(40)式得

$$S_t \leq \frac{\eta \cdot U}{2\pi\rho_p \cdot g} (\delta/R_w)^{0.587} \cdot K_p - \frac{W_p}{2\pi\rho_p \cdot \delta \cdot R_w^2 \cdot g} \quad (41)$$

表 2 水压爆破计算飞石距离与实测飞石距离对比表

Table 2 Comparison between the calculated flying rock distance and the actual flying rock distance as well as the actual flying rock distance in water pressure blasting

名称	配筋情况	$\delta$ /(m)	$R$ /(m)	$Q$ /(kg)	$K_p$	$S_{\text{算}}$ /(m)	$7.1(\frac{\delta}{R})^{0.587} \cdot K_p$ /(m)	$C_1$ /(m)	$S_{\text{实}}$ /(m)
弹药库	单层贴内壁 $\delta = 0.1\text{m}$ $\varnothing 16(50) \times \varnothing 12(40)$	1.0	1.2	12	9.27	32.1	59.1	27	48.1
弹药库	单层贴内壁 $\delta = 0.1\text{m}$ $\varnothing 16(50) \times \varnothing 12(40)$	1.0	0.7	4.5	7.4	39.8	64.8	25.3	53.8
		1.6	0.95	11.0	5.6	31.8	53.9	22.1	52.9
		1.0	1.2	9.0	6.74	22.5	43.0	20.5	32.0
		1.41	1.7	9.0	2.49	4.3	15.8	11.5	4.8
		1.0	0.7	3.0	5.28	25.0	46.2	21.2	35.2
指挥所	单层贴内壁 $\delta = 0.1\text{m}$ $\varnothing 16(50) \times \varnothing 12(40)$	1.41	0.99	3.0	1.76	3.5	15.3	11.8	4.3
		0.5	1.3	6.0	12.4	27.2	50.2	23.0	39.2
		0.5	1.3	6.0	12.4	27.0	50.2	23.2	39.2
指挥所	单层贴内壁 $\delta = 0.1\text{m}$ $\varnothing 16(50) \times \varnothing 12(40)$	0.5	1.2	5.0	11.6	27.5	49.3	21.8	38.3
		0.5	1.2	5.0	11.6	28.0	49.3	21.3	38.3
		0.5	1.2	5.0	11.6	28.0	49.3	21.3	38.3
涵管	单层、布置在中间 $\varnothing 6(8) \times \varnothing 4(30)$	0.078	0.497	0.05	7.70	3.5	18.4	14.9	7.4
杯口基础	单层、不祥	0.35	0.41	0.45	8.39	35.0	54.3	19.3	43.3
涵管	单层、不祥	0.10	0.50	0.12	12.3	15.0	34.1	19.1	23.1
煤气罐	单层、中间布置	0.2	5.0	9.5	12.57		13.4	2.4	
煤气罐	单层、中间布置	0.2	2.0	0.86	4.15	0	7.6		0

\* 6m 高的壁倒塌。

令  $C_1 = \frac{W_p}{2\pi\rho_p \cdot \delta \cdot R_w^2 \cdot g}$ , 将 TNT 炸药参数和混凝土参数代入(41)式可得到

$$S_f \leq 7.1(\delta/R_w)^{0.587} \cdot K_p - C_1 \quad (42)$$

式中:  $C_1$  为待试验确定的常量(m)。

为了确定  $C_1$  值, 在  $\delta=0.1\sim 1.6\text{m}$ ,  $R_w=0.41\sim 1.7\text{m}$ ,  $\delta/R_w=0.17\sim 1.68$ ,  $Q=0.05\sim 11.0\text{kg}$ ,  $K_p=1.76\sim 12.4$  范围统计的飞石距离列于表 2 分析。从表 2 发现  $C_1$  值趋近于 11m。因此, 设计水压控制爆破时, 飞石距离可按下式进行估算并加以设防。

$$S_f \approx 7.1(\delta/R_w)^{0.587} \cdot K_p - 11 \quad (43)$$

### 5. 结束语

1. 水压控制爆破主要参数确定方法如下: 首先根据结构物的几何尺寸, 用药包布置原则计算选择  $R_w, H_0, a, b, n, H_d$  等参数。再根据周围环境确定允许飞石距离  $S_f$ , 并用下式计算安全破碎系数  $K_p'$

$$K_p' = \frac{S_f + C_1}{7.1(\delta/R_w)^{0.587}} \quad (44)$$

同时, 又用下式计算破碎所需的  $K_p$  值

$$K_p = [0.113(1 + \delta/R_w)^{1/2} \cdot (19 + R_w/\delta)]^{1.587} \quad (45)$$

计算结果, 如  $K_p \gg K_p'$  时不易采用水压控制爆破。当  $K_p$  略大于  $K_p'$  时采用  $K_p$  值计算药量, 并采取严格的飞石防护措施。如果  $K_p' \gg K_p$  时, 则尽可能加大  $K_p$  值, 为爆后拆除创造良好条件。

当需要布置群药包时, 先用下式计算每个单药包的药量

$$Q_i = K_p \cdot \delta^{1.587} \cdot R_w^{1.413} \quad (46)$$

同时用下式计算总药量

$$Q_{\Sigma} = K_p(\hat{R}) \cdot \hat{\delta}^{1.587} \cdot \hat{R}^{1.413} \quad (47)$$

式中:  $Q_{\Sigma}$  为水压控制爆破总药量(kg);  $K_p(\hat{R}) - R_w = \hat{R}$  时的安全破碎系数;  $\hat{\delta}, \hat{R}$  为等效壁厚和等效半径。计算结果  $\sum_{i=1}^n Q_i$  趋近于  $Q_{\Sigma}$ , 则可认为  $Q_i$  是合理的药量。否则, 通过调整  $a, b, R_w$  的值, 重新布置分药包, 直致  $\sum_{i=1}^n Q_i \approx Q_{\Sigma}$  为止, 才算准确地确定了各种参数。

2. 本文提出的合理参数确定方法应用于鞍钢氧气厂的三座大型球罐底座拆除爆破工程和鞍钢防空指挥部通风井筒拆除爆破工程中均得到了理想效果, 即准确地控制了飞石距离同时又保证了破碎质量。

### 参 考 文 献

- [1] 北京工业学院编写. 爆炸及其作用(下册). 北京: 国防工业出版社, 1979, 313~315
- [2] 杨人光. 水压爆破拆除原理及设计, 爆破工程学论文(选集). 北京: 中国科技咨询服务中心爆破新技术开发公司, 133~138
- [3] 朱忠节, 何广沂. 采用水压爆破拆除工事, 爆破, 1984, (2)

---

## DETERMINATION OF PROPER PARAMETERS OF WATER PRESSURE CONTROL BLASTING

Jin Chungui

(*Anshan Mining Institute, Anshan 114001*)

**ABSTRACT** The paper presents a suitable, general purpose and convenient parameter calculating formula based on the theory of "energy criterion", "conservation of energy" and the successful and failed experiences of the water pressure control blasting.

**KEY WORDS** water pressure control blasting, container-like structure, explosive cartridge