

# 計算裝藥量的新理論及其公式介紹

江 靖

坑道掘進中計算裝藥量的公式，直到現在還是採用按爆破岩石的體積來計算裝藥量。這一類的公式雖然具有不同的形式，但是基本論點都是一樣，僅是有些校正系數不同而已。

近幾年來，蘇聯學者們通過試驗和理論研究，獲得了裝藥量計算的新理論，指出了在爆破時，不僅要克服破碎岩石的重力（即舊理論所指的岩石體積），同時還要克服岩石破裂面上的粘結力，換言之，克服炸裂的岩石與岩體之間的剪切力。隨着裝藥深度的增減，裝藥量與裝藥深度（最小抵抗線）構成立方和平方的關係。如果裝藥深度增加，裝藥量與裝藥深度趨於立方的關係，即說明岩石重力起主要作用；如果裝藥深度減小，則裝藥量與裝藥深度又是平方的關係，即說明岩石破裂面上的剪切力起主要作用。下面我們就來研究上述現象的原理，也就是新公式的理論基礎。

設在均一的介質中放一個球形的藥包，在爆炸極短的瞬間，爆炸氣體的衝擊波強烈地壓縮包圍藥包的圍岩，這樣就使圍岩產生彈性變形和殘留變形。但是由於被壓縮的岩石只是無限大的岩體的一部分，所以殘留變形是極微小的。在這種情況下，爆炸氣體所產生的機械功都轉變為彈性變形的能量。在爆炸的瞬間，岩石並不能立刻破碎，祇有當爆炸波逸出自由面，使自由面附近的岩石受到拉力和剪力的作用而引起破裂。然後藥室（或炮眼）中的壓力急速下降，因而彈性變形恢復而放出能量，在彈性變形恢復的過程中，所產生的彈性力與被壓縮的岩石的慣性力相互作用，產生拉力和剪力，破壞了岩石分子間的粘結力，

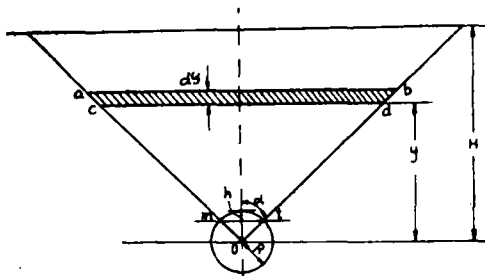


圖 1

最後引起部分岩石與岩體分離。

藥包爆炸時，要使部分岩石與岩體分離，除克服岩石破裂面的粘結力外，還必須克服破碎岩石的重力。如圖 1 所示，在自由面深 H 的距離內，放一個球形藥包，取距藥包中心 y 處，厚為 dy 的微量 abcd。在 H 全深內，爆破漏斗的重力和側面的粘結力為：

$$P = \int_0^H \frac{2\pi y dy \gamma a}{\cos \alpha} \delta + \int_0^H \pi y^2 dy \gamma \sin^2 \alpha$$

$$= \frac{\pi H^2 \gamma a}{\cos \alpha} \delta + \frac{\pi H^3 \gamma^2 a}{3} \sin^2 \alpha$$

式中：α — 爆破漏斗的切開角；

δ — 爆破漏斗側面上的單位剪切力；

γ — 岩石的容重。

上述的力 P，全由藥包曲面 mt 所承擔，此曲面的水平投影（以 R sin α 為半徑的圓）的壓力為：

$$\pi R^2 \sin^2 \alpha p$$

式中：R — 球形藥包的半徑；

p — 藥包單位面積上的壓力。

此壓力應等於：

$$\pi R^2 \sin^2 \alpha p = \frac{\pi H^2 \gamma a}{\cos \alpha} \delta + \frac{\pi H^3 \gamma^2 a}{3} \sin^2 \alpha$$

所以

$$R^2 = \frac{H^2 \gamma a}{\gamma \cos \alpha \sin^2 \alpha} \delta + \frac{H^3 \gamma^2 a}{3 \gamma \sin^2 \alpha} \sin^2 \alpha \quad (1)$$

R 值可由藥包重量決定：

$$Q = \frac{4}{3} \pi R^3 \gamma_{BB}$$

$$R = Q^{\frac{1}{3}} \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\gamma_{BB}}} = Q^{\frac{1}{3}} X \quad (2)$$

式中：γ<sub>BB</sub> — 炸藥的密度；

$$X = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\gamma_{BB}}}$$

以 R 值代入 (1) 式則：

$$Q^{\frac{2}{3}} = \frac{H^2 \gamma a}{\gamma \cdot X^2 \cos \alpha \sin^2 \alpha} \delta + \frac{H^3 \gamma^2 a}{3 \cdot X^2 \sin^2 \alpha} \gamma$$

Q<sup>1/3</sup> 的藥包半徑為：

$$Q^{\frac{2}{3}} = \frac{4}{3} \pi R^3 \gamma_{BB}$$

所以  $R_1 = Q^{\frac{2}{9}} X$ , (3)

式中:  $R_1$ — $Q^{\frac{2}{9}}$ 藥包的半徑;

$$X = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi\gamma_{BB}}}$$

由(2)式和(3)式得知, 半徑 $R_1$ 比 $R$ 小,

即  $\frac{R}{R_1} = \frac{Q^{\frac{1}{3}} X}{Q^{\frac{2}{9}} X} = Q^{\frac{1}{9}}$  倍

所以  $R_1 = \frac{R}{Q^{\frac{1}{9}}}$

將(1)式和(2)式代入上式的 $R$ 和 $Q^{\frac{1}{9}}$ 則:

$$R_1 = \frac{\sqrt{\frac{H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{H^3 \text{tg}^2 a}{3\rho \sin^2 a} \gamma}}{\left(\frac{R}{X}\right)^{\frac{1}{9}}}$$

$$= \frac{\left(\frac{H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{H^3 \text{tg}^2 a}{3\rho \sin^2 a} \gamma\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{H^3 \text{tg}^2 a}{3\rho \sin^2 a} \gamma\right)^{\frac{1}{18}} X^{\frac{1}{9}}}$$

$$= X^{\frac{1}{9}} \left(\frac{H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{H^3 \text{tg}^2 a}{3\rho \sin^2 a} \gamma\right)^{0.33}$$

將 $R_1$ 代入(3)式則:

$$Q^{\frac{2}{3}} = \frac{4}{3} \pi R_1^3 \gamma_{BB}$$

$$= \frac{4\pi}{3} \left[ X^{\frac{1}{9}} \left(\frac{H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{H^3 \text{tg}^2 a}{3\rho \sin^2 a} \gamma\right)^{0.33} \right]^3 \gamma_{BB}$$

$$= \frac{4\gamma_{BB} X H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{1.33 \gamma_{BB} X H^3 \text{tg}^2 a}{\rho \sin^2 a} \gamma \quad (4)$$

在爆炸瞬間, 僅藥包曲面  $mt$  一部分產生有益功。整個藥包量為:

$$Q = \frac{4}{3} \pi R^3 \gamma_{BB}$$

扇形曲面  $mt$  的藥包量為:

$$Q^{\frac{2}{3}} = \frac{2}{3} \pi R^2 h \gamma_{BB} = \frac{2}{3} \pi R^2 (R - R \cos a) \gamma_{BB}$$

式中:  $h$ —扇形圓的高(參看圖1)。

藥包量 $Q$ 比 $Q^{\frac{2}{3}}$ 重:

$$\frac{Q}{Q^{\frac{2}{3}}} = \frac{\frac{4}{3} \pi R^3 \gamma_{BB}}{\frac{2}{3} \pi R^2 (R - R \cos a) \gamma_{BB}} = \frac{2}{1 - \cos a}$$

由(4)式, 整個藥包量應為:

$$Q = \frac{2}{1 - \cos a} Q^{\frac{2}{3}} = \frac{2}{1 - \cos a} \left( \frac{4\gamma_{BB} X H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a} \delta + \frac{1.33 \gamma_{BB} X H^3 \text{tg}^2 a}{\rho \sin^2 a} \gamma \right)$$

$$= \frac{5\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}} H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a (1 - \cos a)} \delta + \frac{1.7\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}} H^3 \text{tg}^2 a}{\rho \sin^2 a (1 - \cos a)} \gamma \quad (5)$$

由(5)式得知, 藥包量決定於: 裝藥深度 $H$ ; 岩石強度 $\delta$ ; 岩石容重 $\gamma$ ; 爆破漏斗切開角 $a$ ; 炸藥的威力 $\rho$ 。

炸藥單位消耗量為:

$$q = \frac{Q}{V} = \left[ \frac{5\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}} H^2 \text{tg} a}{\rho \cos a \sin^2 a (1 - \cos a)} \delta + \frac{1.7\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}} H^3 \text{tg}^2 a}{\rho \sin^2 a (1 - \cos a)} \gamma \right] / \frac{\pi H^3 \text{tg}^2 a}{3}$$

$$= \frac{5\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho H \sin^2 a (1 - \cos a)} \delta + \frac{1.7\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho (1 - \cos a) \sin^2 a} \gamma$$

當 $a=45^\circ$ 時, 則:

$$q = \frac{50\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho H} \delta + \frac{11.6\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho} \gamma$$

$$= q_1' + q_2 \quad (6)$$

式中:  $q_1' = \frac{50\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho} \delta$ —當裝藥深度 $H=1$ 時

爆破1立方米岩石, 克服岩石破裂面上的粘結力的炸藥單位消耗量公斤/立方米;

$q_2 = \frac{11.6\gamma_{BB}^{\frac{2}{3}}}{\rho} \gamma$ —克服岩石重力上的炸藥單位消耗量公斤/立方米。

$q_1'$ 和 $q_2$ 值按試驗和計算列於表1。

由(5)式和(6)式看出, 標準松動藥包量與裝藥深度並非單純的立方關係, 而是立方和平方的關係。當裝藥深度 $H$ 增加, 岩石重力具有重大意義, 即偏於立方關係; 反之深度 $H$ 減小, 岩石粘結力具有重大意義。

义, 即偏于平方关系。由 (6) 式更说明, 炸药单位消耗量 ( $q_1'$ ) 与装药深度成反比, 即装药深度  $H$  增加, 炸开单位岩石的侧面积将减小, 例如  $H=0.1$  和 1 米, 则侧面积相应为 43 和 4.3 平方米,

$$(S/V = \frac{\pi H^2 \operatorname{tg} a}{\cos a} / \frac{\pi H^3 \operatorname{tg}^2 a}{3 \sin a H} = \frac{3}{\sin a H}, \text{ 式中}$$

$S$ —爆破漏斗的侧面积;  $V$ —爆破漏斗的体积;  $a=45^\circ$ 。

同样, 药包同时起爆和顺序起爆时, 消耗在克服岩石粘聚力上的炸药消耗量有所不同, 前者比后者少。因为同时起爆, 单位体积岩石的侧面积比顺序起爆小。

按岩石爆破性的分类表

表 1

岩石等级	岩石类别	岩石名称	爆破 1 立方米岩石的炸药单位消耗量 (在 $\operatorname{tg} a = 1$ 时), 公斤/立方米			克服 1 立方米岩石的重力的炸药单位消耗量 $q_2$ , 公斤/立方米	克服岩石粘结力的炸药单位消耗量 (在 $H = 1$ 和 $\operatorname{tg} a = 1$ 时)	
			$H = 1$ 米	$H = 0.35$ 米	$H = 10$ 米		对于 1 平方米面积上的炸药单位消耗量 $q_1$ , 公斤/立方米	对于 1 立方米岩石的炸药单位消耗量 $q_1'$ , 公斤/立方米
I	1	无硫化物最致密石英岩、致密碧玉、微晶石英岩、橄欖玄武岩、极致密的角岩。	3.00	8.5	0.68	0.42	0.61	2.58
	2	极致密石英岩、含铁角岩、玄武岩、辉绿岩、玢岩、角斑岩、无硫化物致密石英岩。	2.50	7.0	0.65	0.41	0.49	2.09
	3	很致密和具有韧性的石英岩、含铁角岩、玄武岩、磁铁矿、安山岩、辉绿岩、正长岩、很致密的石灰岩、原生微晶花岗岩。	2.10	5.8	0.57	0.40	0.40	1.70
II	4	致密石英岩、含铁角岩、安山岩、玄武岩和辉绿岩伟晶花岗岩、很致密微粒闪长岩、花岗岩、正长岩和石榴辉石、矿化 (钨 钼 等) 的石灰岩。	1.70	4.5	0.51	0.38	0.30	1.27
	5	石英玢岩、极致密的微粒磁铁矿玢岩、致密安山岩、玄武岩和辉绿岩、花岗岩麻岩、致密含硫化物的石英脉、极致密的微粒石英砂岩、致密片麻岩和粗面岩、中粒花岗岩和正长岩、原生含铂橄欖岩、含方解石及其他矿物的石榴辉石石灰岩。	1.45	3.8	0.46	0.36	0.25	1.04
	6	极致密的磁铁矿赤铁矿、石英岩、致密砂质石灰岩、砂化铁矿、粗面岩、正长岩、安山玄武岩、玢岩、辉绿岩、角闪辉绿岩、粗粒片麻岩、花岗岩闪长岩、闪长岩、橄欖岩、石英电气石、石英斑岩、角斑岩、辉长岩、辉石岩、致密铜镍矿、韧性磁铁矿赤铁矿。	1.15	3.0	0.43	0.35	0.19	0.79
III	7	花岗岩类、致密粗粒磁铁矿赤铁矿、致密石英砂岩、含铁镍硫化物、磁黄铁矿的铜镍矿、含硫化物的绿泥片岩、致密蛇纹岩、斑铜矿、硫化铍铜矿、含镍蛇纹石、微斯卡隆和白云岩化的石灰岩、石灰质的火成角砾岩、密砂化片岩、绿泥绢云母、云母片岩等、致密大理岩、韧性花岗岩、致密裂缝少的石英岩。	0.95	2.4	0.40	0.34	0.15	0.61

續表 1

III	8	致密石英岩、砂岩、白云岩、含銅或磷黃鐵礦、半花崗岩、磁鐵及假象赤鐵礦、微風化的閃長岩、花崗岩、輝長岩、正長岩、輝綠岩、角閃輝綠岩、安山岩、石英粗面岩、石英斑岩。	0.80	2.0	0.38	0.33	0.11	0.47
IV	9	砂岩、石灰岩、假象赤鐵礦、風化花崗岩、片麻岩、正長岩、輝長岩、閃長岩、石英电气石岩、強風化的輝綠岩、安山岩、角閃輝綠岩、角閃岩、粗面岩、石英斑岩、蛇紋石中的磁鐵礦、含硫石英脈，石英硫酸鹽類：菱鐵礦、菱苦土礦、滑石化蛇紋石、致密含金重晶石。	0.65	1.7	0.35	0.32	0.08	0.33
	10	微風化的半花崗岩、鏡石、磷灰石礦、致密鐵鋁氧石、无石英的綠泥滑石片岩、滑石蛇紋石片岩、綠泥斜紋石片岩、其他片岩。	0.55	1.2	0.33	0.30	0.06	0.25
V	11	石灰岩、石灰質砂岩、風化黃鐵礦、鋁土礦、片狀砂岩、粗粒硫化鉛鋅礦、純橄欖岩、綠橄欖岩、蛇紋岩、多孔赤鐵礦、砂質和石灰質水成角礫岩。	0.45	0.8	0.30	0.28	0.04	0.17
	12	強風化的原生岩：閃長岩、花崗岩、正長岩、斑岩、輝長岩、半花崗岩、硫化石英脈。風化片岩：云母、綠泥片岩、絹云母岩、鐵帽、含黃鐵礦的粘結性无烟煤。風化多裂縫的礦化石英岩、泥質頁岩、石鹽。	0.40	0.7	0.28	0.26	0.03	0.14
VI	13	軟頁岩、白堊、普通泥灰岩，強風化的礦化石英岩、石灰質礫石及碎石、含石土壤、全風化的原生岩：花崗岩、正長岩、閃長岩、玢岩、粘土質粗粒砂岩、風化多孔石灰岩、膠結无烟煤。砂質粘土。	0.35	0.6	0.25	0.24	0.03	0.11
	14	含碎石土壤、全風化的片岩：煤質頁岩、滑石、綠泥片岩、云母片岩。白鉛礦、風化后高嶺土化的產物、砂粒狀磷灰石礦、流失黃鐵礦、无烟煤黃鐵礦砂、石灰粘土質水成角礫岩。	0.30	0.4	0.23	0.22	0.02	0.08
VII	15	石膏、粘土質軟水成角礫岩、凍結粗砂、致密礦水污泥、节理明显的煤、无节理的褐煤。	0.25	0.3	0.21	0.20	0.01	0.05
	16	浮石、砂藻土、凝灰岩及軟白堊岩、鐵礦(藍土礦)、完全風化的磷質岩石，風化的褐煤。	0.20	0.2	0.20	0.18	0.01	0.02

表 1 中的炸藥單位消耗量是指一个自由面和爆破作用指数  $n=1$  而言；炸藥是以硝酸 6 号为准。若采用其他炸藥，則可由表 2 校正。

若是延長藥包(地下坑道掘进时)，則裝藥深度

$H$  (最小抵抗線)，應理解為各炮眼間的平均距離。在坑道掘进时，通常使岩石破碎到一定的块度，這就須要附加一些炸藥量，但表中的炸藥消耗量是以  $n=1$  和一个自由面為準，所以炸藥量 (下轉第 16 頁)

井底含了

原品位，并重新计算其平均品位。

这里应当指出，如经过检查并未发现采样不合理，就不考虑高品位样品，而只在计算过程中除去的做法是不够合适的。

### 三、对某钼矿高品位样品处理的意见

笔者曾在某钼矿区工作一个时期，并参加了矿区的储量计算，该区在计算储量时，对高品位的确定和处理方法是在计算穿脉（或钻孔）平均品位时，如发现某样品品位很高，则在求出单项工程的平均品位以后，如果是坑道部份，则再与相邻两个穿脉的平均品位用算术平均法求出三个穿脉的平均品位（钻孔即以其本身的平均品位衡量）C，然后再考虑参与计算的样品个数。如样品个数为10个以下，则确定高品位限度为C的3倍，如为10~20个，则为4C，20个以上为5C。高品位限度确定后，就以这个品位代替原品位，然后再计算其平均品位。

致于确定为3、4、5倍的理论基础就是把高品位影响系数M确定为20%，而M=20%是属于组份含量变化系数=40%的矿床。但该区一中段所采的试样经过计算其组份变化系数V=141%，二中段为184%，

三中段为90%，地表至三中段垂直变化为178%，全区平均为148%（根据1979年6个试样计算的）。从这些数字可以看出，该矿床的品位变化是很大的。因此对高品位的限度就应当适当的放宽。如参照B. H. 斯米尔诺夫所著的“矿物原料与储量计算”一书所指出的高品位限度大致方向，对这类矿床的高品位限度应该为矿区（矿体）平均品位的12~15倍。而该区事先并未从组份含量变化情况考虑（据我知道当时仅考虑该矿床应属于第二类型），就确定为3、4、5倍，这显然是不够恰当的，把不应当处理的样品而加以处理了，这就自然而然的减少了储量数字。如果以矿区（或矿体）平均品位12~15倍为高品位限度的话，则在1979年6个样品中仅有9个超过这个限度，而真正需要处理的只有4个样品。但矿区在历次储量计算过程中，把很多的样品都当做高品位处理了，是否合适值得考虑。

最后，笔者认为对高品位的处理上，起主要作用的是矿床（或矿体）的组份含量变化，而不应笼统的考虑矿床（矿体）的勘探类型。因为矿床（或矿体）的勘探类型有时不一定和组份含量变化完全一致，这是应予注意的。

（上接第26页）

所需的附加炸药量。从另一方面来看，爆破时通常先行掏槽，形成两个自由面，以利于其他炮眼的爆破。但由上述得知，顺序爆破将使消耗在克服岩石粘聚力上的炸药单位消耗量（ $q_1'$ ）增加，这样就使造成第二自由面的炸药减少量与此增加量相抵消。由此可知，表1中的炸药消耗量，对于地下坑道掘进时，虽先行掏槽，但也是适合的。

例如：设在Ⅷ级8等（ $f=8$ ）的致密砂岩、石灰岩、大理岩、含铜黄铁矿、赤铁矿中，掘进断面 $S=4$ 平方米的水平坑道，炮眼深 $l=1.5$ 米，炮眼的平均距离0.3米，使用粉状硝酸铵6号炸药，求炸药单位消耗量 $q$ 和总消耗量 $Q$ 。

$$\begin{aligned} \text{解: } q &= \frac{q_1'}{H} + q_2 = \frac{0.47}{0.3} + 0.33 \\ &= 1.9 \text{ 公斤/立方米,} \\ Q &= q \cdot S = 1.9 \times 1.5 \times 4 = 11.4 \text{ 公斤.} \end{aligned}$$

国产炸药的换算系数\* 表2

炸 药 名 称	爆力立方公分	换算系数
62%易冻胶质炸药	400	0.90
62%耐冻胶质炸药	380	0.95
60%易冻胶质炸药	380	0.95
35%耐冻胶质炸药	340	1.06
一号铵锑露天炸药	280	1.29
二号铵锑露天炸药	280	1.29
一号铵锑岩石炸药	350	1.03
二号铵锑岩石炸药	320	1.12
岩石硝铵炸药	240	1.50
一号铵锑安全炸药	290	1.24
二号铵锑安全炸药	250	1.44
三号铵锑安全炸药	240	1.50
黑火药	约192	1.87

\* 换算系数值是以苏联6号阿莫尼特（爆力360立方公分）为准。