水压爆破在破碎灰铸铁的应用

吴克仕（广西大学矿冶系）

关键词：水压爆破、破碎、灰铸铁。

1 原理

水压爆破破碎铸铁，就是将中空的铸铁注满水，药包在水中爆炸，利用爆炸产生的水压来破碎铸铁。

众所周知，水的压缩性很小，将水加压到1000个大气压时，密度仅增加5％左右，所以，通常视水为不可压缩的均质介质。当炸药在水中爆炸，水受到爆轰波和爆轰气体膨胀压力的冲击时，水本身消耗的变形能量极少，几乎把绝大部分的爆炸能量都均匀地传递到与药包中心等离距的铸铁内壁上，使铸铁产生变形位移，当变形达到铸铁的极限强度时，铸铁则产生断裂而破坏。因铸铁与药包中心等距离的各质点，荷载均等，因此，铸铁的破碎块度比较均匀，碎块的飞散性也较小。

2 工程概况

榨糖机、压滚甘蔗的滚筒，为铸铁铸成的柱状圆筒，视糖厂规模大小的不同，圆筒的尺寸也随之各异。一般说，圆筒内径为250mm左右，壁厚为100～200mm，长度为800～2000mm。它与一根大轴紧配合。每年榨糖季节过后，圆筒都已磨损不能继续使用，必须更换。更换下来的旧圆筒，又需回炉。旧圆筒回炉，常用人工锤打成块度小于200mm的碎块，才便于熔铸。人工破碎铸铁是一个非常繁重的体力劳动而且工效很低。若采用水压爆破破碎铸铁，则可大大地减轻体力劳动，提高工效，降低成本。

1989—04—20收稿

3 药量计算

根据一些试验的结果，炸药在水中爆炸时，水中冲击波波峰的峰值压力为：

$$P_m = K\left(\frac{Q^{1/3}}{R}\right)^{\alpha}$$

$$\therefore Q = \left[R\cdot\left(\frac{P_m}{K}\right)^{1/\alpha}\right]^3 \qquad (1)$$

式中：P_m——冲击波波峰的峰值压力（kg/cm^2）

Q——炸药量(kg)

R——空间点与药包之间的距离(M)

K、α——常数，在密度为$1.25g/cm^3$梯恩梯炸药的情况下，这两个常数分别为：

$$K = 533 \qquad \alpha = 1.13$$

当这个冲击波波峰的峰值压力P_m作用于铸铁圆筒内壁时，随着圆筒壁厚的不同，产生的应力状况也不同。现在分厚壁和薄壁两种情况来讨论。

（1）对于薄壁圆筒来说，筒内质点产生的应力，主要是切向拉应力σ_1，当这个拉应力σ_1大于或等于铸铁的极限抗拉强度σ_b时，铸铁即被拉断而破碎。一定的铸铁，其极限抗拉强度是一定的。根据内力的作用原理，冲击波波峰的峰值压力P_m与切向拉应力

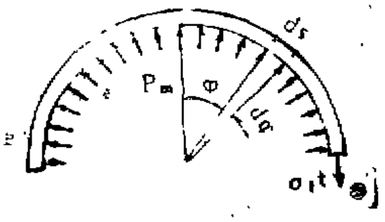

图1 薄壁圆筒的应力状况示意图

σ_1存在如下关系，如图1所示：

设作用于圆筒内壁的峰值压力为P_m，筒壁上质点产生的拉应力为σ_1，$\because ds=r_2 d\varphi$

$$\therefore \sigma_1 t=\int_0^{\pi/2} P_m \gamma_2 \cos\varphi d\varphi$$

$$=P_m\gamma_2\left[\sin\varphi\right]_0^{\pi/2}=P_m\gamma_2$$

式中：σ_1—圆筒壁上质点的拉应力（kg/cm²）

t——圆筒壁厚(cm)

γ_2——圆筒内半径(cm)

P_m——作用于圆筒内壁的冲击波波峰的峰值压力　(kg/cm²)

当达到强度极限时，即：

$$\sigma_1=\sigma_s$$

$$\therefore P_m=\frac{\sigma_s t}{\gamma_2} \qquad (2)$$

②式代入①式，得：

$$Q=\left[R\left(\frac{P_m}{K}\right)^{1/2}\right]^3$$

$$=\left[R\left(\frac{\sigma_s t}{\gamma_2 K}\right)^{1/2}\right]^3 \qquad (3)$$

（2）对于厚壁圆筒来说，筒内质点产生的应力有σ_1、σ_2、σ_3、其中：σ_1是切向拉应力，σ_3是径向压应力，σ_2是垂直横截面的压应力，如图2所示，这三个应力σ_1、σ_2、σ_3、与波峰压力P_m的关系：

$$\sigma_1=\frac{P_m\gamma_1^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\left(1+\frac{\gamma_1^2}{\gamma^2}\right)$$

$$\sigma_2=0$$

$$\sigma_3=\frac{P_m\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\left(1-\frac{\gamma_1^2}{\gamma}\right)$$

危险点在圆筒的内壁，即在$\gamma=\gamma_2$处，于是：

$$\sigma_1=\frac{P_m\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\left(1+\frac{\gamma_1^2}{\gamma_2^2}\right)$$

$$=P_m\frac{\gamma_1^2+\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}$$

$$\sigma_2=0$$

$$\sigma_3=\frac{P_m\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\left(1-\frac{\gamma_1^2}{\gamma_2^2}\right)=-P_m$$

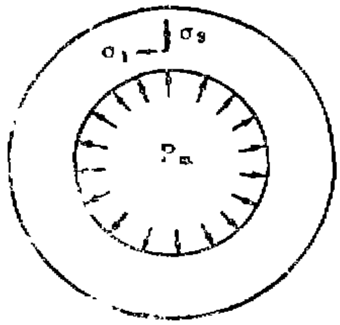

图2　厚壁圆筒应力状况示意图

式中：γ_1——圆筒外半径(cm)

γ_2——圆筒内半径(cm)

1）根据第三强度理论，当：

$[\sigma]\leqslant\sigma_1-\sigma_3$时，圆筒即被破坏。

式中：$[\sigma]$——圆筒的极限强度

$$\therefore [\sigma]\leqslant\sigma_1-\sigma_3$$

$$=P_m\frac{\gamma_1^2+\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}+P_m$$

$$=P_m\frac{2\gamma_1^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}$$

$$\therefore P_m=\frac{[\sigma]\left(\gamma_1^2-\gamma_2^2\right)}{2\gamma_1^2} \qquad (4)$$

（4）式代入（1）式：

$$Q=R^3\left[\frac{P_m}{K}\right]^{3/2}$$

$$=R^3\left[\frac{[\sigma]\left(\gamma_1^2-\gamma_2^2\right)}{2\gamma_1^2 K}\right]^{3/2} \qquad (5)$$

2）根据第四强度理论，当：

$[\sigma]\leqslant\{1/2[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2]\}^{\frac{1}{2}}$时，

圆筒即被破坏。

$$\because \sigma_2=0$$

$$\therefore [\sigma]\leqslant\{\sigma_1^2+\sigma_3^2-\sigma_1\sigma_3\}^{\frac{1}{2}}$$

$$=\left[P_m^2\left(\frac{\gamma_1^2+\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\right)^2+P_m^2\right.$$

$$\left.+P_m^2\frac{\gamma_1^2+\gamma_2^2}{\gamma_1^2-\gamma_2^2}\right]^{\frac{1}{2}}=P_m\frac{\sqrt{3\gamma_1^4+\gamma_2^4}}{(\gamma_1^2-\gamma_2^2)}$$

$$\therefore P_m\geq\frac{[\sigma](\gamma_1^2-\gamma_2^2)}{\sqrt{3\gamma_1^4+\gamma_2^4}}\qquad(6)$$

(6)式代入(1)式得：

$$Q=R^3\left(\frac{P_m}{K}\right)^{3/2}=R^3\left[\frac{[\sigma](\gamma_1^2-\gamma_2^2)}{K\sqrt{3\gamma_1^4+\gamma_2^4}}\right]^{3/2}\qquad(7)$$

4 实例

某糖厂榨糖机，压滚甘蔗的滚筒为灰铸铁铸成的柱状圆筒，其规格，内径为250mm，外径450mm，长度800mm。灰铸铁的抗拉极限强度$\sigma_B=700kg/cm^2$，抗压极限强度：$[\sigma]=1500kg/cm^2$。

(1)按薄壁圆筒理论导出的公式(3)计算药量

$$Q_1=\left[R\left(\frac{\sigma_B\gamma}{\gamma_2 K}\right)^{1/2}\right]^3$$

$$=\left[0.175\left(\frac{700\times10}{12.5\times533}\right)^{1/1.13}\right]^3$$

$$=0.006(kg)$$

式中：R——平均直径(M)

该药量仅仅是每厘米圆筒长度所需的梯恩梯药量，采用2*岩石硝铵炸药，总药量应该是：

$$Q=80Q_1e=80\times0.006\times1.2$$
$$=0.576(kg)$$

式中：80——圆筒长度(cm)

e——炸药换算系数

(2)按厚壁圆筒第三强度理论导出的公式计算药量：

$$Q_2=R^3\left[\frac{[\sigma](\gamma_1^2-\gamma_2^2)}{2\gamma_1^2K}\right]^{3/2}$$

$$=0.175^3\left[\frac{1500(22.5^2-12.5^2)}{2\times22.5^2\times533}\right]^{3/1.13}$$

$$=0.005(kg)$$

总药量：$Q=80Q_2e=80\times0.005\times1.2=0.48(kg)$

3．按厚壁圆筒第四强度理论的公式(7)计算药量：

$$Q_3=R^3\left[K\sqrt{\frac{[\sigma](\gamma_1^2-\gamma_2^2)}{3\gamma_1^4+\gamma_2^4}}\right]^{3/2}$$

$$=0.175^3\left[\frac{1500(22.5^2-12.5^2)}{533\sqrt{3\times22.5^4+12.5^4}}\right]^{3/1.13}$$

$$=0.007(kg)$$

总药量：$Q=80Q_3e=80\times0.007\times1.2=0.672(kg)$

上面计算的第三个药量中，经过试验，这种规格的灰铸铁圆筒只需要0.5kg 2*岩石硝铵炸药就可达到破碎的目的。所需的药量接近于第三强度理论计算出来的药量。将炸药做成长度为500mm的条形药包，起爆雷管放在药包中间，注意防水。药包固定在圆筒的轴线上，如图3所示，然后注满水即刻起爆，爆破结果，破碎均匀，块度符合要求。

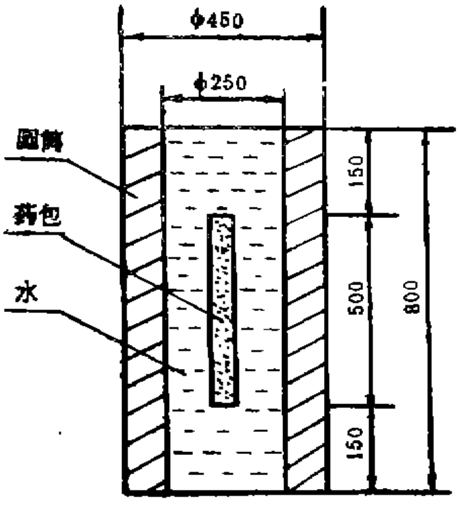

图3 水压爆破装药示意图