

STUDIES ON THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF SOME HIGH-VOLTAGE ELECTRIC DETONATORS

Chi Jiachu

Abstract

We present a criterion, which characterizes the output performance of some kinds of detonators by means of the integrated energy flux, a shock wave parameter controlling shock-initiation process of explosives, and propose an experimental technique used for measuring stress profiles in non-planar flow field and high-frequency electromagnetic field. It is a new method for quantitative evaluation of the output performance of the detonator and connected closely the output performance of the detonators with their capability of shock-initiation. We also analysed and compared the results obtained for five kinds of high-voltage electric detonators.

不耦合装药孔壁变形的研究

张奇

(1985年1月23日收到)

本文通过水泥砂浆试件孔壁变形的X线摄影研究,分析了在不耦合装药条件下的孔壁质点位移、孔壁应变率以及试件变形与破坏过程。

一、前言

随着光面爆破应用的日益广泛,迫切需要对光面爆破机理进行深入的探讨,由于光面爆破周边孔采用不耦合装药,因此要完善光爆参数的理论计算,选择合理的爆破参数,就必须首先确定不耦合装药条件下爆炸应力场的分布以及孔壁周围的变形、破坏和飞散。但是,由于不耦合装药爆炸气体膨胀的复杂性,使得理论上确定孔壁变形与破坏十分困难。它不仅与装药的爆轰特性有关,而且也与不耦合系数的大小和介质的动态响应有关。

许多学者曾提出过多种孔壁质点速度的计算模型⁽¹⁾,但无论哪种模型,其中都有一个或几个常数需要实验确定,因此孔壁质点速度的实验研究变得更为重要。但是,由于孔壁的应变率很高,即便是工程爆破,其孔壁处的应变率也往往在 10^4 (1/s)以上。如果采用电测,则要求测试系统具有相当高的频率响应。闪光X射线仪具有很强的穿透能力,这就为孔壁变形的摄影研究提供了可能性。

作者采用闪光X射线仪,在不耦合装药条件下研究圆柱形水泥砂浆试件的孔壁变形情况。试件外直径 Φ 为40 mm,高为200 mm,装药孔沿其轴线,直径为16 mm,孔深为100 mm,装药为8号电雷管,试件砂浆比为2:1,静态单向抗压强度 $\sigma_{\text{R}} = 320 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 。

二、孔壁位移

采用闪光X射线仪测孔壁变形过程,其试件装配如图1所示。

在孔壁处放置铜箔可以减少图象的模糊度。图1中的压力靶是由大小不同的两个铜箔构成的,小铜箔宽为2 mm,长为5 mm,大铜箔靠孔壁,两者的一端绝缘地固定在一起,另一端以空气绝缘,相隔零点几mm。雷管爆炸后,空气冲击波到达孔壁时,“压力靶”受压而迅速导通。并通过触发电路产生一电脉冲,使闪光X射线仪开始拍摄。由于闪光X射线仪的两个管子具有一定角度,因此雷管保持在孔中心线上是很重要的。否则,将对测量精度产生较

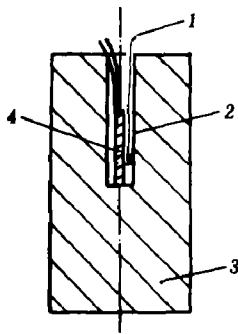
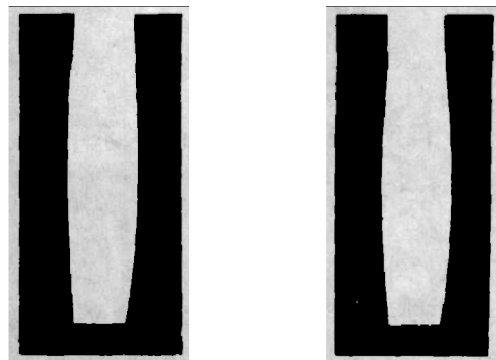


图1 试件装配示意图

1. 压力靶; 2. 薄铜箔;
3. 水泥砂浆试件; 4. 8号电雷管。



a $t = 17.2 \mu\text{s}$

b $t = 26.6 \mu\text{s}$

图2 闪光X射线仪拍摄水泥砂浆试件,8号电雷管爆炸时,不同时刻的孔壁变形。

大影响。

闪光X射线仪每次试验记录两个不同时刻的位移值,其拍摄的照片如图2所示。通过测量孔壁质点的位移量和时间差,即可测得孔壁质点速度与时间的对应关系。闪光X射线仪从触发到拍摄的最短时间为 $11.3 \mu\text{s}$,因此实测数据是从触发后 $11.3 \mu\text{s}$ 开始的。实验数据如表1。

表1 孔壁质点位移实测值

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
时间(μs)	11.3	12.6	13.5	17.2	18.4	26.6	31.5	39.8	42.1	48.5
位移(mm)	1.1	1.7	1.9	2.2	2.6	3.9	4.8	5.9	8.2	9.0

上表相应各值的对应关系可以近似用立方抛物线来代替。设位移 $s(mm)$ 和时间 $t(\mu s)$ 的关系为

$$s = a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

其中 a_1, a_2, a_3 均为待定常数, 按下式确定

$$a_1 \sum_{i=1}^{10} t_i + a_2 \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + a_3 \sum_{i=1}^{10} t_i^3 = \sum_{i=1}^{10} s_i t_i$$

$$a_1 \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^{10} t_i^3 + a_3 \sum_{i=1}^{10} t_i^4 = \sum_{i=1}^{10} s_i t_i^2$$

$$a_1 \sum_{i=1}^{10} t_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^{10} t_i^4 + a_3 \sum_{i=1}^{10} t_i^5 = \sum_{i=1}^{10} s_i t_i^3$$

经计算 $a_1 = 0.117$, $a_2 = 5.08 \times 10^{-4}$, $a_3 = 2.01 \times 10^{-5}$
最后得到拟合立方抛物线 (见图 3)

$$s = 0.117 t + 5.08 \times 10^{-4} t^2 + 2.01 \times 10^{-5} t^3$$

将上式微分, 得到质点速度与时间的关系。

$$u = 0.117 + 1.02 \times 10^{-3} t + 6.03 \times 10^{-5} t^2$$

圆柱形试件外直径为 $40 mm$, 装药孔直径为 $16 mm$, 其壁厚只有 $12 mm$, 如果水泥砂浆试件的纵波波速按 $1.8 mm/\mu s$ 计算, 则仪器触发后, 孔壁在 $13 \mu s$ 时间之内只有由孔壁透射的应力波作用, 这一时间内应力波在圆柱形外表面产生的反射波尚未到达。因此, 如果研究无限介质中炮孔孔壁的变形情况, 在 $0 < t < 13 \mu s$ 范围内, 位移和时间的关系与本文所得结果应该一致。从图 3 可以看出, 位移 s 是时间 t 的单调增函数。不难想象, 在不耦合装药情况下, 处于无限介质中的炮孔, 其孔壁质点位移应该增加到一定程度后不再增加。由于实验中, 试件较小, 孔壁变形受反射波影响, 因而实测曲线并未体现出这一特征。如果能将试件加大, 就可以排除反射波的干扰, 实验结果会更理想一些。但是, 由于闪光 X 射线的穿透能力所限, 试件太大, 底片上难以得到比较清晰的图象。实验曾采用 $70 \times 70 \times 70 mm^3$ 的水泥砂浆试件, 沿其中心线布置装药孔, 孔直径为 $16 mm$, 同样用 8 号雷管作为装药, 结果由于试件尺寸较大, 没有照出孔壁质点的位移情况。

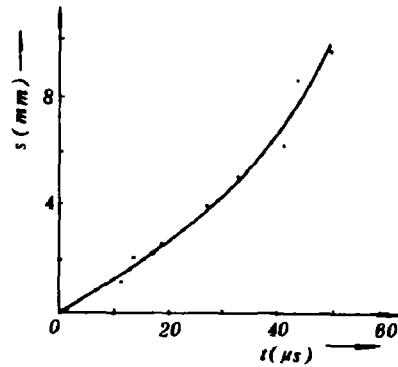


图 3 孔壁质点位移与时间的曲线关系

三、试件的变形与破坏

1. 孔壁应变率

在 $0 < t < 13 \mu s$ 范围内, 试件的孔壁质点平均速度 $\bar{u} \approx 0.15 mm/\mu s$, 由此可以求出孔壁处的应变率 ϵ

在轴对称问题中有

$$\epsilon_\theta = \frac{s}{r} \quad (1)$$

式中 ϵ_θ 为环向应变, s 为径向质点位移, r 为该点距炮孔中心线的距离, 如果考虑孔壁的应变率, 则 r 为孔半径。将(1)式两边对 t 微分, 有

$$\dot{\epsilon}_\theta = \frac{\dot{u}}{r} \quad (2)$$

将 $u = 0.15 \text{ mm}/\mu\text{s}$, $r = 8 \text{ mm}$ 代入(2)式, 得到孔壁处的应变率

$$\dot{\epsilon}_\theta = \frac{0.15}{8} (1/\mu\text{s}) = 1.9 \times 10^4 (1/\text{s})$$

上式说明, 即使在不耦合装药条件下, 孔壁处的应变率仍然很高。这就为采用电测系统研究孔壁变形, 选择仪器的频率响应提供了参考的依据。而且为研究孔壁近处应变率对破坏的影响奠定了基础。

2. 试件的破坏过程

水泥砂浆虽属于脆性材料, 但通过闪光X射线摄影, 发现试件在爆炸载荷作用下并非立即破坏。从摄影的底片上可以观察到, 实验中所采用的不耦合装药爆炸后, 当不耦合空间中的空气冲击波到达孔壁 $17.2\mu\text{s}$ 时, 试件装药处发生很大的变形, 但并没有破坏。当不耦合装药爆炸后, 在不耦合空间中所产生的空气冲击波到达孔壁 $42.1\mu\text{s}$ 时, 试件已发生很大变形, 其孔径几乎增加1倍。但试件仍未粉碎和飞散; 直至 $52.3\mu\text{s}$, 试件尚未粉碎抛掷 (见图2)。实验中虽然发现试件粉碎前产生径向与横向裂纹, 但并未发现试件的外表层裂。

水泥砂浆试件的变形与破坏过程说明, 脆性材料在爆炸载荷作用下, 其破坏仍需要一定时间, 而且在破坏之前可以产生较大的变形。因此, 岩石等脆性材料在应力波的作用下, 其破坏不仅与应力波波峰 (即应力波的最大值) 有关, 而且与应力波的作用时间有关。这是根据不同的爆破目的, 采用不同的炸药和不同装药结构来调整应力波峰值和波的作用时间, 从而达到预期效果的根本原因之一。同时, 也说明在研究矿岩介质受爆炸载荷作用的破坏准则时, 应该考虑时间这一因素。

五、结 语

本文采用闪光X射线仪测定水泥砂浆试件, 在不耦合装药条件下的变形及破坏情况, 并对有关问题进行了初步探讨。从而提出如下几点看法

1. 水泥砂浆试件, 8号电雷管在不耦合系数为2.56时, 其孔壁处的应变率为 $1.9 \times 10^4 (1/\text{s})$;
2. 圆柱形水泥砂浆试件在爆炸载荷作用下, 其破坏之前可发生较大变形;
3. 如果要测得更切合实际、更精确的孔壁位移—时间曲线, 应设法缩短仪器的触发到拍照的时间间隔或者提高闪光X射线仪的穿透能力, 加大试件尺寸。

本文得到王廷武副教授的指导, 实验中得到王野平老师和兵器部204所的帮助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- (1) Henrych, J., The Dynamics of Explosion and Its Use, Elsevier Scientific Publishing Company, New York (1979) 74, 366.

STUDY OF DRILLING WALL DEFORMATION UNDER CONDITION OF DECOUPLING CHARGE

Zhang Qi

Abstract

The particle displacement of the drilling wall, its strain speed, the deformation and breaking process of the samples under the condition of decoupling charge are analysed in this paper through investigating the X-ray photograph of the cement mortar samples.

炸药“Pop”关系和反应 Hugoniot 曲线的确定、对单一曲线增长讨论

胡 栋 冯民贤 桂质蓁

(1984年4月20日收到)

本文利用锰铜压力计和楔形炸药样品,同时测定了不同初始冲击波幅值下,冲击波在炸药内的发展过程及炸药内的压力场。得到炸药内延迟引爆距离(或延迟引爆时间)的对数与初始冲击波压力的对数成线性关系(即称为炸药的“Pop”图),利用初始冲击波幅值确定的炸药冲击波数据可求得未反应炸药的反应 Hugoniot 关系,而利用冲击波在炸药内增长过程中测得的参数所确定的是反应炸药的 Hugoniot 关系。本文用楔形炸药样品测得冲击波在炸药内的 $x-t$ 关系以及不同 Lagrangian 压力剖面说明:冲击波在炸药内的增长并不完全满足单一曲线增长的假设。

一、前 言

对于不均匀炸药冲击引爆的机理,较为一致的解释是:当冲击波和密度间断相互作用时,将形成很多局部的热点,这些热点导致炸药发生分解,并把炸药化学反应释放的能量增强冲击波,而产生新的热点,释放更多的能量。但要完全模拟这个微观的化学反应动力学过程是很困难的。目前,只能模拟这种炸药的总体特性。为了使这种模拟更接近于真实情况,需要一些实验参数来调整模型的特征参数。为此,测量炸药的爆轰参数、“Pop”图、炸药的 Hu-