

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-

goniot关系,产物状态方程等已成为爆轰学研究的一项重要内容。

Ramsay和Popolato⁽¹⁾研究Comp B、TNT等炸药在持续冲击波作用下引爆性能时发现:进入炸药内初始冲击波压力 P 的对数与炸药内出现爆轰的延迟引爆距离 X_i (或延迟引爆时间 t_i)的对数近似成线性关系。后来其它研究人员也获得了类似结果⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

对于炸药Hugoniot关系的测量结果,如何来判断它是属于反应炸药还是属于未反应炸药的Hugoniot关系一直是一个有争论的问题。

Ramsay⁽¹⁾等人认为,从固体炸药冲击波数据来推断未反应炸药的冲击波特性数据是不可能的,实验测定的是部分化学反应的炸药特性。在无相变时,连结体声速 C_0 到峰压值的直线即能确定炸药的未反应Hugoniot关系。而在文献〔3〕、〔4〕、〔6〕-〔9〕中,他们利用楔形样品和圆柱样品的实验技术以及压力对比法等手段,测量了多种炸药的冲击波参数,他们认为,由冲击波数据拟合的直线是该种炸药的未反应Hugoniot关系,而不是部分反应Hugoniot关系。

文献〔2〕中指出:单一曲线增长的假设仅适用于冲击波压力较低的部分。本文就是进一步研究这个问题,同时对炸药“Pop”图的测量,炸药的Hugoniot关系和炸药反应Hugoniot关系的确定进行一些探讨。

二、实验装置和测试技术

本文利用图1所示的实验装置测量了铸装TNT/RDX = 35/65 ($\rho_0 = 1.70 \text{ g/cm}^3$)炸药的冲击引爆特性。楔形炸药尖角为 30° ,炸药表面的反射镜面是用镀铝塑料薄膜粘贴而成。当冲击波(或爆轰波)到达镜面时,就得到一条清晰的截止光轨迹,其典型照片见图2。

为了能够同时获得冲击引爆过程的压力值,我们在冲击波进入炸药的不同Lagrangian距离处($\delta = 0, 3$ 或 10 mm)同时安装了二个锰铜压力计。用示波器同时测量这二个不同Lagrangian距离处的压力剖面,其典型结果见图3。上一条扫描线为初始冲击波的压力剖面,下一条扫描线为冲击波传播 3 mm 后的压

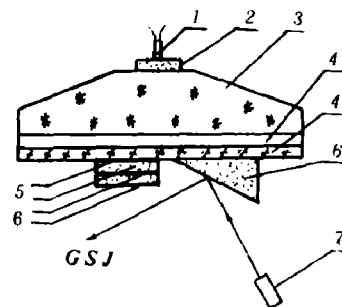


图1 实验装置示意图

1. 雷管
2. $\phi 32 \times 11$ 传爆药柱
3. $\phi 200$ 平面波透镜
4. 衰减层
5. Mn-Cu压力计
6. 炸药样品
7. 外光源



图2 楔形实验的典型结果
衰减层 8 mm 空气、 10 mm 有机玻璃。

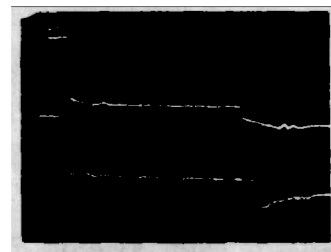


图3 用 10 mm 有机玻璃衰减层,进入炸药的初始冲击波及其传播 3 mm 后的压力剖面。

力剖面。这二个剖面的时间差就能和楔形实验结果比较,以便互相检验。压力计为H型阻值约为 0.1Ω 、作用区的尺寸为 $1\times 3\text{ mm}$;利用恒流线路进行测量。测试盒每个支路的电流强度为 15 A 。压力计绝缘层为聚四氟乙烯,每边的厚度为 0.15 mm 。

为了使进入楔形样品的初始冲击波和炸药内压力剖面测量的初始冲击波有相同的幅值,我们在楔形炸药和有机玻璃(PMMA)衰减层之间也放置 0.3 mm 的聚四氟乙烯膜。

我们选用了以下七组装置: $3、8、10、13、15\text{ mm}$ 的空气隙加 10 mm 有机玻璃; 10 mm 有机玻璃; 5 mm 黄铜加 10 mm 有机玻璃作为衰减层。每种装置进行4发实验。

三、炸药的“Pop”关系

文献〔1〕〔3〕〔4〕采用楔形炸药样品,测量炸药内出现爆轰的距离和时间,然后根据“丝阴影”技术确定出与炸药样品紧贴的衰减层的自由面速度,按阻抗匹配法就能算得衰减层与炸药界面的压力。为了避免有机玻璃与炸药的冲击阻抗不同给压力换算带来误差,我们采用锰铜压力计直接测量衰减层与炸药界面的压力剖面。图4和图5中分别列出了TNT/RDX

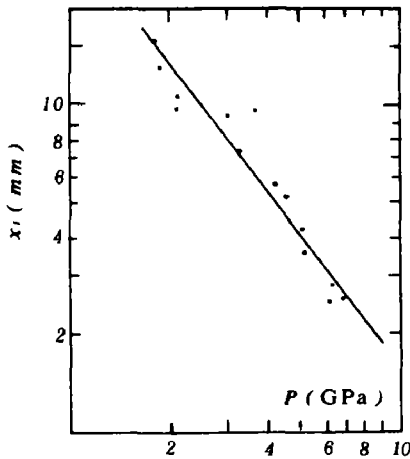


图4 TNT/RDX = 35/65 炸药延迟引爆距离 X_i 与初始冲击波压力 P 的关系。

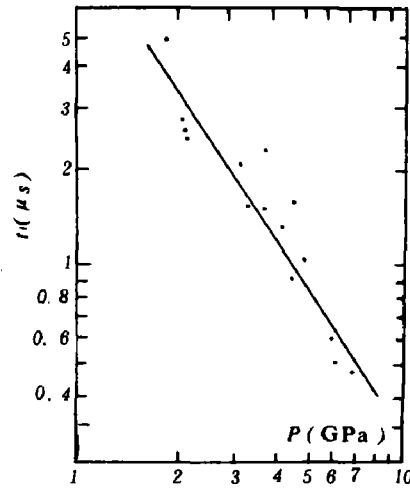


图5 TNT/RDX = 35/65 炸药延迟引爆时间 t_i 与初始冲击波压力 P 的关系

= 35/65炸药在持续冲击波作用下延迟引爆距离 X_i (或延迟引爆时间 t_i) 和进入炸药的初始冲击波压力 P 的实验结果。 X_i 的对数和 P 的对数近似成线性关系,它们能拟合成:

$$\lg X_i = 1.4997 - 1.2634 \lg P \quad (1)$$

$$\lg t_i = 1.0164 - 1.5306 \lg P \quad (2)$$

图中的点为实验点,直线为拟合结果。

四、炸药的反应 Hugoniot 关系和未反应 Hugoniot 关系

对于炸药的 Hugoniot 实测数据所表示的含义常有不同的解释,为了对实测数据有一个

较全面的了解,我们在测量炸药“Pop”关系时,分别在初始冲击波进入处和离交界面 3 mm 或 (10 mm) 处放置了Lagrangian压力计,这样我们就能得到 PMMA 衰减层与炸药样品界面的压力和冲击波在炸药内传播一定距离后的压力值,再由楔形炸药样品测得的 $x-t$ 拟合线微分求出相应的冲击波速度 (D),则根据动量守恒关系可求出对应的粒子速度 (u),图6列出了七种衰减层的上述两个位置处测得的 $D-u$ 数据线,图示表明衰减层与样品界面的 $D-u$ 线低于冲击波在炸药内传播一定距离(即反应冲击波)后的 $D-u$ 线。我们知道,反应冲击波数据应朝着爆轰点会聚。因此,我们测得的反应冲击波的数据就是这种炸药反应的 Hugoniot 关系。把这些数据拟合成直线并外推到爆速值求得的爆轰压力是 22.85 GPa ,它和锰铜压力计在到爆轰距离处测得的 C-J 压力值 ($\sim 19\text{ GPa}$) 接近。而由衰减层与炸药样品交界面处的初始冲击波压力和速度值确定的数据,拟合成直线外推到爆速值求得的压力是 29.5 GPa 。

我们测得反应 Hugoniot 关系为

$$D = 1.732(\pm 0.102) + 3.539(\pm 0.140)u \quad (0.4 < u < 1.3\text{ mm}/\mu\text{s}) \quad (3)$$

未反应的 Hugoniot 关系为

$$D = 1.672(\pm 0.102) + 2.880(\pm 0.122)u \quad (0.35 < u < 1.4\text{ mm}/\mu\text{s}) \quad (4)$$

式中 D 为冲击波速度、 u 为粒子速度。

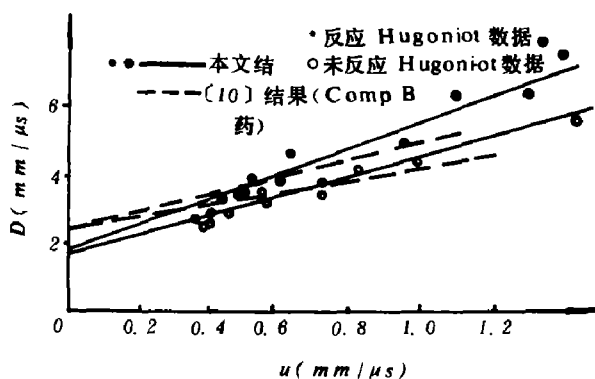


图6 TNT/RDX = 35/65 炸药的反应 Hugoniot 关系(每一组的上一条直线),未反应 Hugoniot 关系(每一组的下一条直线)。

从我们的测量结果可以看出:未反应 Hugoniot 关系和反应 Hugoniot 关系在冲击波速度坐标轴上截距的差别是比较小的。并且在低压段 ($u < 0.6\text{ mm}/\mu\text{s}$) 这两条直线比较接近;当测量误差比较大时,这两组数据可能交错在一起。

因此,炸药的反应 Hugoniot 关系要通过测定反应冲击波的方法来确定,它必定朝着爆轰点会聚。但是爆轰点的压力值是和大药量(指爆轰波传播一定距离)测量结果是有一定差别的。

五、不均匀炸药的冲击波增长的单一曲线

我们以楔形炸药样品中测定的达到爆轰的时间为横坐标,以压力为纵坐标画出了锰铜压力计测得的部分压力剖面(见图8),依此来表达炸药内冲击波演变过程的压力场^[11]。Kennedy^[11]在每个实验中测得了炸药撞击面和顺流面的压力随时间的变化过程,然后在上述平面中画出

这些压力剖面。根据这个实验他提出了：在冲击阵面上的压力随着传播距离而增长，沿着冲击阵面曲线的轨迹任一点处进入炸药的冲击波将随着相应于这个轨迹点的距离和时间而变化。他的假设基本上也是基于Lindstrom所提出的单一曲线增长的假设。在我们的实验中⁽²⁾⁽³⁾已发现，在低压区近似以单一曲线增长；但在高压区，尤其是爆轰快出现时的化学反应过程更复杂，故偏离比较大。图7的实验结果也说明了这一点。而在低压区能近似以一条曲线来描述也有一定起伏的。上、下波动可达1 GPa。

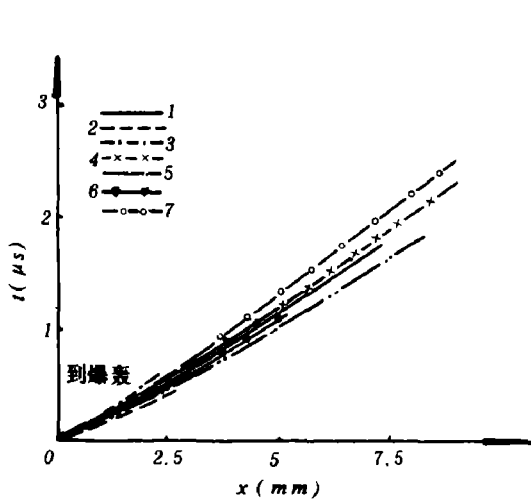


图7 经过不同衰减层后冲击波在 TNT/RDX = 35/65 炸药内传播的 $x-t$ 关系图
 标 号 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
 衰减层: 有机玻璃 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10
 (mm); 空 气 0, 3, 8, 10, 13, 15, 5*

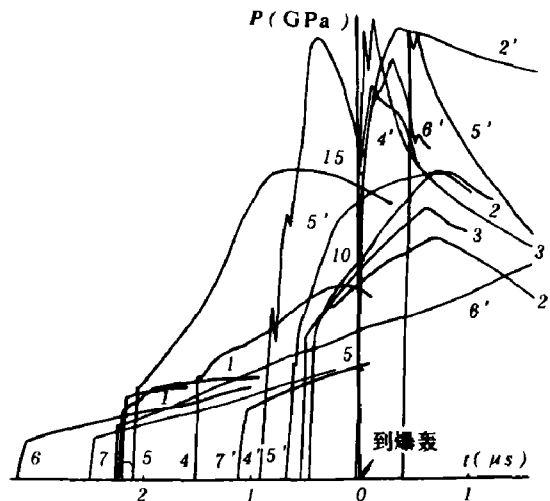


图8 冲击波在 TNT/RDX = 35/65 炸药内的压力场
 (图中数字为图7中所示装置型号, 右上角带“,”为炸药内数据, 不带“,”为界面上数据

*黄铜

为了能进一步了解冲击波在炸药内的发展过程，我们以达到爆轰的点为原点把楔形炸药中测得的 $x-t$ 光测结果 (x, t 分别为冲击波或爆轰波在炸药内传播的距离、时间) 列于图7，如果冲击波增长是沿着单一曲线，那么这些曲线基本上是重合的。但是，图8的结果表明：不同初始冲击波压力的增长是不同的，它们的轨迹偏离比较大，而增长到爆轰后爆轰波速度几乎是不变的， $D = 8.0 \pm 0.20 \text{ mm}/\mu\text{s}$ 。

我们知道，把单一曲线增长的假设应用到炸药延迟引爆距离 (或时间) 与冲击波初始压力之间的关系就是炸药“Pop”关系。从国内外爆轰研究人员的大量测量结果表明，以线性拟合或以其它函数来拟合总是有一定偏差，有一部分点的偏离比较大，甚至个别点会出现反常情况 (见文献 [4][5] 的测量结果)，并且延迟引爆距离越小，相对偏离就越大。初始冲击波压力接近于爆压值时，延迟引爆距离应该是接近零。但是，实验结果表明：初始冲击波压力远小于爆压值 (一般炸药约为爆压值的0.3~0.5)，炸药就瞬时起爆。

如果把单一曲线增长的假设应用到炸药反应 Hugoniot 曲线，也必定能以一条曲线较好地拟合这些数据。但是本文的实验结果说明，它们在低压段的偏离比较小，而在高压段偏离就比较大，尤其是快接近爆轰位置时，它们的偏离就更大。因此，反应 Hugoniot 关系实质

上是一个比较粗糙的近似, 它的适用范围是很有限的。

因此我们认为, 不均匀炸药内冲击波增长沿着单一曲线的假设是爆轰数值模拟的一种处理方法, 它和炸药引爆的实际过程是有一段差距的。因为不均匀炸药的冲击引爆主要是炸药内局部小区域产生高温, 即形成热点。而单一曲线增长的实质就是认为: 炸药引爆是由于入射冲击波阵面附近(或冲击阵面上)产生化学反应使得冲击阵面的压力不断加强, 直至产生爆轰为止。事实上, 在入射冲击波的初始压力比较低的情况下, 冲击阵面后产生大量的化学反应, 反应冲击波(即所谓第二冲击波)将追赶初始冲击波, 对于这样一个很复杂的化学反应动力学过程, 想用一个简单、统一的说法描述它是比较困难的, 在低压段符合得比较好也只不过是较低的初始冲击波压力只能使少量的炸药产生化学反应, 对炸药内冲击波增长贡献不大所致。

六、讨 论

综上所述, 我们能够得出以下几点看法:

1. 利用本文所述的方法, 用楔形炸药样品技术、锰铜压力计技术能在同一组实验中获得炸药的“Pop”图, 炸药反应 Hugoniot 关系和未反应的 Hugoniot 关系。它为研究炸药内冲击波发展过程提供了一个较好的方法。

2. 炸药内延迟引爆距离(或延迟引爆时间)和进入炸药内初始冲击波压力近似满足“Pop”关系。本文采用锰铜压力计方法测量的优点是减少了换算带来的误差。

3. 利用进入炸药冲击波的初始幅值确定冲击波数据能求得未反应的 Hugoniot 关系。

4. 利用冲击波在炸药内传播一段距离后的实验值所确定的是反应 Hugoniot 关系。朝爆轰点会聚的冲击 Hugoniot 关系是反应 Hugoniot 关系。到爆轰时的爆压明显小于用自由面速度法、X 光技术测量的大药量值。

5. 不均匀炸药内冲击波单一曲线增长, 不完全是冲击波在炸药内发展过程的描述。它只是数值模拟中有一定使用范围的一种处理方法。对某些炸药来说, 这个假设在低压段符合得比较好些。

参加过本文实验工作的有: 朱子标、苏玉芬、杨琼松、罗小林等人。

参 考 文 献

- (1) Ramsay, J. B., Popolato, A., LA-DC-6992. (1966)
- (2) 吴国栋“铸装 TNT 炸药冲击引爆的研究”第二届全国爆轰学术会议论文 (1983).
- (3) Dobratz, B. M., et al, UCRL-5139, (1974).
- (4) Gibbs, T. R., Popolato, et al, "LASL Explosive Property Data", (1980).
- (5) 吴国栋“炸药“Pop”图的测量”私人通讯, (1983).
- (6) Cambell, A. W., et al, *Phys. Fluids*, 4(1961), 511.
- (7) Liddiavd, T. P., "The Unreacted Shock Hugoniot for TNT and Composition B-3" *International Conference on Sensitivity and hazards of Explosives*, London, (1963).
- (8) 吴国栋、张振宇“测量炸药 Hugoniot 关系的一种方法”全国第二届高压学术讨论会论文 (1983).

- [9] 池家春“利用压力对比法测量不均匀炸药的未反应 Hugoniot”全国第二届爆轰学术会议论文(1983).
[10] Mader, C. L., "Numerical Modeling of Detonation"(1981).
[11] Kennedy, J. E., 14 th Symp (Inter) on Comb (1973).

DETERMINATION OF THE REACTIVE HUGONIOT CURVE, "Pop"RELATION OF AN EXPLOSIVE AND SOME DISCUSSIONS ON THE HYPOTHESIS OF SINGLE CURVE BUILD UP

Hu Dong Feng Minxian Gui Zhizhen

Abstract

In this paper, the propagation process of shock waves with various initial pressures in an explosive is measured experimentally by means of manganin stress gauge combined with the wedge explosive technique. The results show that the so called "Pop" relation may be represented by a straight line approximately. The non-reactive Hugoniot curve may be obtained by the initial shock wave parameters as usual. The reactive Hugoniot curve must measure the shock parameters in the build up process. The measured $x-t$ relation of the shock wave by wedge test and different Lagrangian pressure profiles show that the build up of shock waves in the explosive only partially fulfills the hypothesis of the single curve build up.

城市建设中的控制爆破实践

周浩然

(1985年1月16日收到)

本文对城市建设中的三次小型控制爆破进行了介绍和分析。这三次爆破目标是重达几十吨的废铁轮、钢筋混凝土梁、柱和边墙，其作业条件苛刻。在保证安全的前提下，成功地进行了爆破。

随着城区建设的迅速发展，城区内需要进行爆破拆除的工程愈来愈多。如何在保证爆破