

工业炸药爆轰压力的简易测定

陆守香 张金城

(淮南矿业学院 安徽淮南市 232001)

摘要 介绍水箱电探针技术测定工业炸药爆轰压力的方法,实验分析了影响爆轰压力测量结果的因素。

关键词 工业炸药 爆轰 压力测量

工业炸药爆轰压力是工业炸药爆炸理论研究、新产品研制与应用等工作中的一项重要参数,精确测定工业炸药爆轰压力具有重要的理论意义和实际意义。密度较高(大于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$)的猛炸药爆压测量方法已有多种,如电磁法、自由表面速度法等。曾用于密度较低的工业炸药爆压测量的有水箱法^[1]和空气法^[2],它们都用光学方法(高速摄影)记录。本文采用以电子学原理记录的水箱技术——水箱电探针法测定炸药爆轰压力,该方法采用专门设计的防水电探针以及精密测时仪(误差 $\pm 1.0 \times 10^{-9}\text{s}$)测量沿炸药传播的爆轰波传入水中的初始冲击波速度 D_w ,由于工业炸药 $\rho_0 D$ 与水的 $\rho_{w0} D_w$ 很接近,声学近似成立,则可利用“阻抗失配方程”计算爆轰压力:

$$p_2 = p_w (\rho_0 D + \rho_{w0} D_w) / (2\rho_{w0} D_w) \quad (1)$$

式中: p_2 和 D 为炸药爆轰压力和爆轰速度; ρ_0 、 ρ_{w0} 分别为装药密度和水的初始密度; p_w 为水中初始冲击波压力, $p_w = \rho_{w0} D_w u_w$; u_w 为水中冲击波面质点速度。由水的 Hugoniot 关系确定:

$$u_w = 0.372 D_w + 0.0283 D_w^2 - 0.607^{[3]} \quad (2)$$

式中: u_w 和 D_w 的单位为 $\text{mm}/\mu\text{s}$ 。

1 实验方法

水箱电探针方法测定炸药爆轰压力的实验装置如图1。装药外壳用聚氯乙烯塑料管,其内径为 $23.5 \sim 33.0\text{mm}$,壁厚 $2.0 \sim 3.5\text{mm}$,装药长度不小于3.5倍装药直径。装药浸水端用 0.03mm 厚涤纶膜封闭,另一端起爆。测量爆速的电离探针布置在浸水端附近,测量冲击波速度的两个靶上的防水电探针对称布置于装药轴线两侧。记录均采用EE3570精密测时仪,它有两个信号输入接口,分别与第一、二靶探针连接。当爆轰波或冲击波先后到达第一、二靶探针而产生两个电脉冲信号相继输入精密测时仪时,便立即数字显示爆轰波或冲击波传过一、二靶探针的时间。利用已测得的两靶探针间距得到爆轰波和冲击波速度,最后由(1)、(2)式得到爆轰压力。

• 中国统配煤矿总公司煤炭科学基金资助项目。
1992年3月13日收到原稿,9月15日收到修改稿。

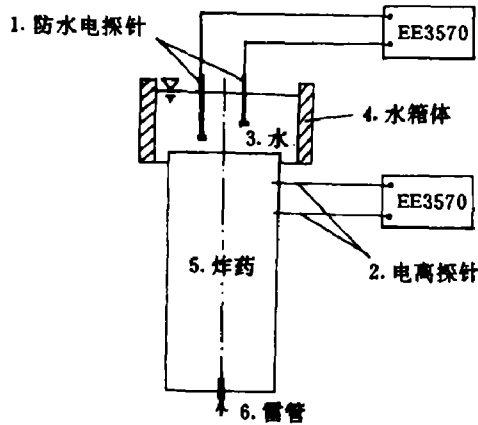


图1 实验装置

Fig. 1 Experimental arrangement

1. Waterproof electrical probes, 2. Ionizing probes,
3. Water, 4. Aquarium body,
5. Explosive, 6. Detonator

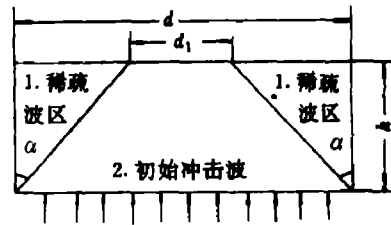


图2 边侧稀疏波影响区域

Fig. 2 Schematic diagram of the disturbed domain by rarefaction

1. Disturbed domain by rarefaction,
2. Initial shock wave

该方法技术关键之一是应有响应时间足够快的防水电探针监测水中冲击波传播速度。通过对水在冲击波作用下的导电性分析^[4],研制了盖帽式的防水同轴电探针,它是在同轴电探针的端面加一个厚0.03mm的铝箔盖帽构成,盖帽与外极相连,与内极之间由空气绝缘层隔开并注意防水。其技术参数如下:响应时间约6.0ns;容抗约6pf;交流阻抗, $C_0 \leq 20\text{pf}(1\text{MHz}), R_0 \geq 50\text{M}\Omega(100\text{KHz})$ 。

由于装药直径有限,爆轰波在水中激起的初始冲击波在传播过程中将发生侧向膨胀,如果测量水中冲击波速度的防水电探针布置到稀疏波干扰区,则实验结果不正确。图2为边侧稀疏波影响区域示意图,如果装药直径为 d ,探针轴线间距离为 d_1 ,则可布置探针的水层厚度 h 为:

$$h \leq \frac{1}{2}(d - d_1)\text{ctg}\alpha \quad (3)$$

式中: α 为冲击波在水中的卸载角, α 随冲击波压力增大而增大并趋于 44° ,实际装药设计时可保守地取 $\alpha=45^\circ$ 。本文最小装药直径为23.5mm, $d_1=9.0\text{mm}$,则对应的 $h \leq 7.2\text{mm}$ 。

2 实验结果与讨论

2.1 实验值与文献值的对比

表1列出上述方法测得的RDX、TNT、2号岩石铵梯炸药的爆压值和文献[1,2]提供的爆压实测值。为了比较,将本文实测爆压值 p_2 换算到与文献值相应密度时的爆压值 p_2' ,换算方法见文献[5]。可以看出,水箱电探针法测得的爆压值比水箱法(高速摄影)或空气法测得的爆压值高。其原因分析如下,按照爆轰波ZND模型,爆轰反应区内压力迅速变

表1 爆轰压力实测值与文献值的对比

Table 1 Comparison between measured and reported p_2

炸药	直径 (mm)	密度 (g/cm ³)	爆速 (mm/ μ s)	p_2 (GPa)	\bar{p}_2 (GPa)	实验方法	方法偏差 (%)
RDX	25.0	1.16	6.49	14.0 \pm 0.3	15.2	本文	7.8
	25.3	1.21	6.61	14.1	14.1	水箱法 ^[1]	
TNT	25.0	1.00	4.38	6.1 \pm 0.5	4.6	本文	2.2
	25.3	0.87	3.87	4.5	4.5	水箱法 ^[1]	
2号岩石 梯梯炸药	33.0	0.96	3.51	3.65 \pm 0.12	4.0	本文	11.1
	32.0	1.00	3.52	3.6	3.6	空气法 ^[2]	

化,CJ 面后压力变化平缓。爆轰波垂直传入惰性介质时产生了初始冲击波,其压力衰减剖面与爆轰波剖面呈镜像反演^[7]。也就是说,初始冲击波压力衰减剖面存在一个类似于 CJ 点的折点,冲击波在折点前衰减很快,折点后衰减较慢,测量爆轰压力应以折点处对应的冲击波参数进行计算。在采用自由表面速度法时,金属板中的这种折点是比较明显的,而在采用水箱法时,水中初始冲击波的高速摄影记录在高压区很模糊,高压区的速度通常是得不到的,即使能取得上述的折点,其任意性也较大^[4]。因此,水箱法是利用初始冲击波压力衰减到变化平缓段(高速摄影记录基本为直线)时的参数来计算爆轰压力的,空气法也是这样。可以认为,此时的参数不大于折点处的参数。在本文方法中,第一靶防水探针接近装药端面,它能深入到初始冲击波的高压区段(可近似计算折点位置^[7]),这样测得的冲击波速度是折点两侧附近的平均速度。它部分地包括了高压区段的冲击波速度,因此,由其得到的爆轰压力将略高于水箱法或空气法的测量结果。

2.2 对防水电探针布置范围的讨论

防水电探针测量端面与装药端面的距离变化时爆压测量结果如表 2,其中 \bar{p}_2 是将实

表2 不同测量距离时的 RDX 爆压实测值

Table 2 The experimental results of RDX in different distances

装药密度/(g/cm ³)	爆速/(mm/ μ s)	S_1 /(mm)	S_2 /(mm)	p_2 /(GPa)	\bar{p}_2 /(GPa)
1.20	6.80	0.31	2.50	15.0	15.0
1.19	6.76	0.54	2.60	14.7	15.0
1.21	6.83	0.65	2.89	15.0	14.8
1.22	6.86	0.67	3.70	15.8	15.4
1.16	6.44	0.76	4.16	13.6	14.5
1.17	6.51	0.79	4.61	14.6	15.4
1.16	6.50	0.81	3.94	14.1	14.9
平均值					15.0 \pm 0.2

注: S_1 、 S_2 分别为第一、第二靶防水电探针测量面离装药端面的距离;装药直径为 23.5mm。

测值 p_2 换算到密度为 1.20g/cm^3 时的爆压值。探针测量端面布置在离装药端面 $0.31\sim 4.61\text{mm}$ 的水域内,满足(3)式要求,该区域没有受到稀疏波干扰,爆压测量误差小于 1.4% 。因此,只要保证(3)式成立,如探针布置在离装药端面 $0.5\sim 4.5\text{mm}$ 的水域内,便可测得较可靠的爆轰压力值。

2.3 爆压测量误差估计

实测爆压 p_2 的误差取决于 ρ_0 、 D 和 D_w 的测量误差,根据单次测量误差估计方法,爆压测量最大误差由(4)式确定。

$$\left| \frac{\Delta p_2}{p_2} \right| = \frac{1}{2} \left(\left| \frac{\Delta \rho_0}{\rho_0} \right| + \left| \frac{\Delta D}{D} \right| \right) + F(D_w) \left| \frac{\Delta D_w}{D_w} \right| \quad (4)$$

式中:

$$F(D_w) = \frac{1}{2} + \frac{2aD_w^2 + bD_w}{aD_w^2 + bD_w + c} \quad (5)$$

(5)式中的 a 、 b 、 c 为水的 Hugoniot 关系式(2)中相应项的系数。由数学分析知, $F(D_w)$ 在 $D_w \in [1.468, 8.919]$ 上单调递减, $D_w = 8.919$ 时 $F(D_w)$ 取极小值 2.076 , $D_w = 3.000$ 时 $F(D_w) = 2.628$, $D_w < 3.000$ 时 $F(D_w)$ 随 D_w 迅速变化。为估算方便,当 $D_w \geq 3.000$ 时, $F(D_w)$ 可取 $2.5\sim 2.6$; D_w 在 $1.468\sim 3.000$ 之间时, $F(D_w)$ 应根据(5)式计算。

由(4)式可见,装药密度和爆速的测量误差传递到爆轰压力只有二分之一,而水中冲击波速度的测量误差传递给爆轰压力的系数 $F(D_w)$ 大于 2 ,即水中冲击波速度 D_w 的测量误差对爆轰压力测量误差的影响比装药密度 ρ_0 和爆速 D 的测量误差产生的影响至少大 4 倍,所以,降低水中冲击波速度测量误差是提高爆轰压力测量精度的关键。

3 结 论

1 本文方法测得的爆轰压力值比水箱法(高速摄影)或空气法的实测值略高,原因在于本文方法测得的水中初始冲击波平均速度部分地包括了冲击波高压区段的贡献。对于低密度的工业炸药,其爆轰反应区较长,爆轰波产生的初始冲击波高压区段也相对长一些,这时,第一靶防水探针应适当地远离装药端面(可通过估算出折点位置再适当选取)。本文方法对一般的工业炸药爆轰压力测量是简单易行的。当要求爆轰压力测量准确度较高时,则此方法在缺少被测炸药爆轰反应区长度数据时显得更粗造,这时,若采用连续测速探针测出冲击波的衰减剖面便可克服上述不足之处,这正是本项目进一步研究的。

2 在本文方法中,影响工业炸药爆轰压力测量精度的主要因素是水中冲击波速度的测量误差,它对爆轰压力测量误差的影响至少是装药密度和爆速测量误差的 4 倍。

参加本项目研究的还有汪大立、张立、黄寅生等同志。

参 考 文 献

- 1 Cook M A, et al. Third Symp on Detonation (Preprints). ONR, Springfield, 1960, 357
- 2 富治棠, 陈勇富. 工业炸药爆轰压力的测量研究. 工业炸药基础理论和测试技术首届学术交流会论文集. 中国民爆学会, 长沙. 1982.

- 3 Rigdon J K, Akst I B. Proc 5th Symp (Inter) on Detonation. ONR, Department of Navy, Aug. 1970, White Oak, Silver Spring, 59
- 4 陆守香. 水箱电探针法测定工业炸药爆轰压力的研究, [硕士论文]. 淮南: 淮南矿业学院, 1989.
- 5 徐 康, 于德洋, 许云祥, 曹雄飞. 爆炸与冲击, 1981, 1(2), 89~95
- 6 刘家聪. 爆炸与冲击, 1984, 4(3), 31~39
- 7 经福谦, 等. 实验物态方程导引. 北京: 科学出版社, 1986, 209~212

A SIMPLE METHOD FOR DETERMINING THE DETONATION PRESSURE IN INDUSTRIAL EXPLOSIVES

Lu Shouxiang Zhang Jincheng

(Huainan Institute of Mining, Anhui Huainan, 232001)

ABSTRACT This paper describes a method, the aquarium electrical probe technique, for determining the detonation pressure in industrial explosives and analyses the factors effecting on the precision of measured detonation pressure in the experiment.

KEY WORDS industrial explosive, detonation, pressure measuring