

泡沫炸药的爆轰特性

陈维波 周一以 石成

(中国科学院力学研究所)

一、前言

我们研制成功的泡沫炸药是以太安·黑索今等高能炸药为主要成分与泡沫材料结合而成的新炸药。它具有密度小、爆压低及爆速可调等特性。这种炸药可直接用8#雷管起爆。将泡沫炸药制成6毫米厚，仍能爆轰。根据实际需要，其密度可以在0.06—0.3克/厘米³范围内变动。爆速从2800米/秒到1500米/秒左右。可弯曲成任意形状而不破裂，并可制成大面积板状炸药。

我们已应用这种炸药研究超薄金属的爆炸焊接实验，选用的复板最薄达到0.037毫米。

极低密度、低爆压炸药在国外已研制成功。苏联^[1]曾用密度为0.06克/厘米³，厚度为10毫米的长条药包覆盖在金属焊缝上，用它消除焊接引起的内应力。德国学者^[2]应用低密度低爆速炸药将非晶态金属与黄铜、不锈钢及铝等金属爆炸焊接在一起。日本、美国及加拿大等学者^[3-5]也相继发表文章与专利介绍低爆速低爆压炸药的特性及其在工程中的应用。

二、爆轰速度的测定

爆速是衡量炸药重要的参数之一，在工程中，了解并能控制炸药的爆速，才能获得预期的结果。我们在实验中采用电测法测量了泡沫炸药在不同密度及不同厚度下的爆速。对于低爆速炸药，采用电离探针法，很难得到满意的结果，实验中发现，若在电离探针的端部沾上极少量敏感炸药（约几毫克），能够得到极为理想的波形图。

波形存贮器是测定爆速较好的仪器，它可以同时测定多点爆速并直接读出测量数据。实验选用五组探针，测量爆轰波扫过时间，图1是用波形存贮器测量的典型波形。图2是不同密度泡沫炸药爆速曲线图，爆速随着密度增加，两头增长快，中间增长缓慢。这个实验现象与James实验结果^[7]很相似。

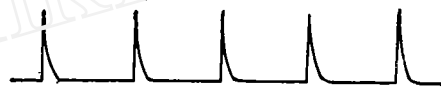


图1 爆速测量图

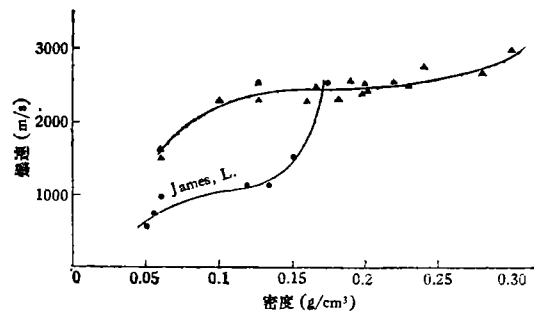


图2 密度与爆速的关系

表 1

实验号	炸药厚度 (毫米)	炸药密度 (克/厘米 ³)	高分子材料密度 (克/厘米 ³)	起爆方法	爆速 (米/秒)
025#	6	—	0.03	雷管起爆	2080
027#	10	0.22	0.03	雷管起爆	2200
024#	15	0.24	0.03	雷管起爆	2550
020#	20	0.21	0.03	雷管起爆	2450
018#	30	0.20	0.03	雷管起爆	2400

爆速与炸药厚度关系，在爆炸焊接中尤其

感兴趣。实验选用五种厚度泡沫炸药测量爆速，厚度在 10 毫米以上爆速达到稳定，说明它已超过极限厚度。实验结果见表 1。

三、炸药敏感度

炸药对外界作用敏感度，它是衡量炸药能否应用于生产与科研的重要指标，对于一种炸药，即使它的性能很好，但由于在制造与使用中不安全，也会失去应用价值。因此了解泡沫炸药对外界作用敏感度是十分重要的。泡沫炸药可以直接用雷管起爆，不需要附加传爆药柱，使操作简化，因此推断，它的爆轰感度较大，实验证明它的冲击感度比太安·黑索今小。

先将泡沫炸药裁成不同厚度的 3×3 厘米小方块，安放在钢板上，实验中选用 7.28 公斤钢球从空中自由落下，直接撞击被测炸药，吊高从 25 厘米增加到 100 厘米，表 2 是冲击后的爆轰结果。

表 2

序号	炸药品种	炸药厚度 (毫米)	炸药密度 (克/厘米 ³)	钢球重量 (克)	吊高 (厘米)	爆炸百分数 (%)
1	泡沫炸药	6	0.36	7280	100	100
2	泡沫炸药	6	0.36	7280	50	100
3	泡沫炸药	6	0.36	7280	25	25

四、爆轰产物有效多方指数

在爆轰过程中，多方指数可以通过近似模型所建立的经验与半经验公式计算，但是对于混合炸药很难从计算中得到确切的结果。

用实验方法测定爆轰波头后产物的多方指数 γ 值时，通常采用阻抗匹配的方法，一般能得到较可靠的数据，但是这类方法测定的是爆轰波头上的 γ_H 值。

在爆炸复合的滑移爆轰过程中，作用在复板上的的是从爆轰波压力 p_H 一直衰减到几百个大气压量级的压力。它所对应的是有效 γ_0 ，因此有效 γ_0 的提出和确定具有实际意义，关于 γ_0 的确定已有专题论述^[6]，这里只做简要说明。图 3 是爆炸复合示意图。

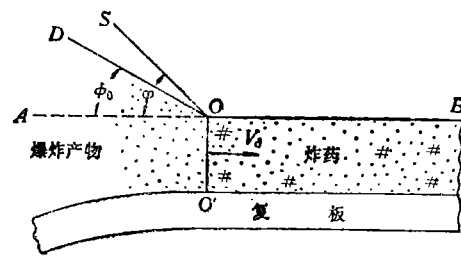


图 3

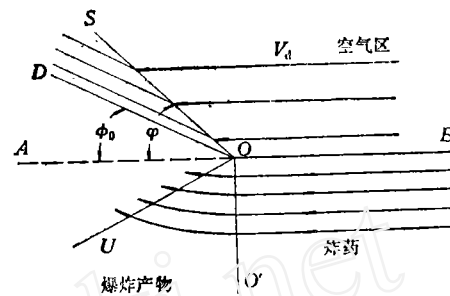


图 4 Prandtl-meyer 流动模型

当爆轰波由左向右推进时，令 $o-o'$ 表示爆轰波阵面，设炸药足够宽，且远离起爆端，则过程可认为是二维定常问题。

当炸药在空气中爆炸时，在炸药上侧出现斜击波 $o-s$ ，它与水平夹角用 φ 表示。它的右侧为常压下空气，左侧为冲击波压缩后的空气。 $o-D$ 为爆炸产物与空气界面，我们用 $*$ 表示界面上的参数。可以分别求得界面 $o-D$ 两侧的压力 p 和飞散角 ϕ_0 之间的关系式。并利用分界面压力相等条件，求出 ϕ_0 与 γ_0 之间的对应关系。

因此当测定 ϕ_0 角后， γ_0 也相应定了。实验中选用五种炸药，对于梯恩梯与塑料板状炸药，由于它们是高爆速炸药，可以直接拍摄到爆炸

表 3

炸药品种	密度 (克/厘米 ³)	爆速 (米/秒)	飞散角 ϕ_0 (度)	γ_0	备注
泡沫炸药	0.2	2400	39°	2.45	药厚 30 毫米
梯恩梯	1.64	6950	37.3°	2.4	药厚 30 毫米
20/80 塑性炸药	1.47	6500	39.8°	2.28	药厚 ≥ 3 毫米
6% 铵油炸药	0.62	~2000	44°	~1.87	药厚 30 毫米
2# 岩石炸药	0.7	~2700	42.5°	~1.94	

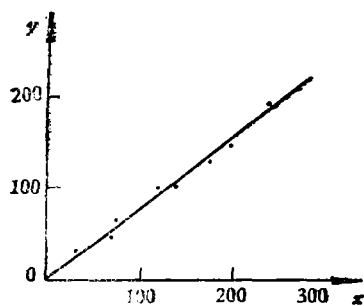


图5 爆炸产物飞散角

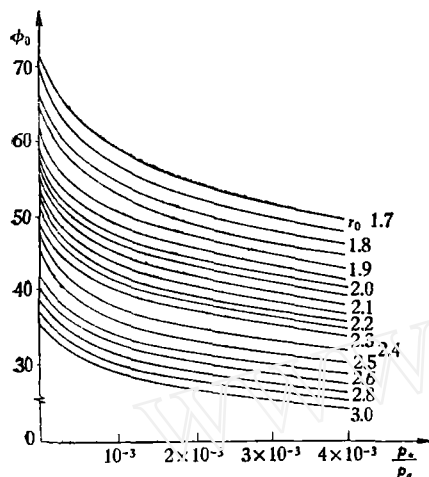


图6 产物与空气界面上的 p^* 与 ϕ_0 的关系

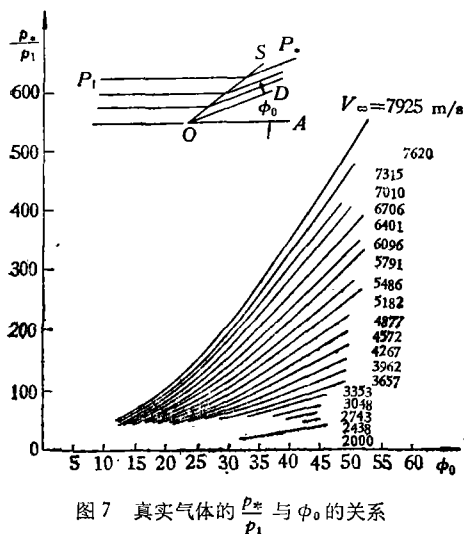


图7 真实气体的 $\frac{p^*}{p_1}$ 与 ϕ_0 的关系

产物的飞散角 ϕ_0 。后三种炸药为低爆速，需要在炸药上部覆盖一层极薄金属箔，才能更好地拍摄下爆炸产物飞散角。实测结果列于表3。

测定炸药飞散角之后我们可以应用公式

(1)、(2)、(3)、(4)及图(5)、(6)、(7)便可求出有效多方指数 γ_0 。

$$\phi_0 = \sqrt{\frac{\gamma_0 + 1}{\gamma_0 - 1}} \sin^{-1} \left[\frac{\sqrt{\gamma_0^2 - 1} U_*}{\gamma_0 V_d} \right] - \frac{\pi}{2} \quad (1)$$

$$\frac{p^*}{p_H} = \left[1 - \frac{\gamma_0^2 - 1}{\gamma_0^2} \left(\frac{U_*}{V_d} \right)^2 \right]^{\frac{\gamma_0}{\gamma_0 - 1}} \quad (2)$$

$$\frac{p^*}{p_1} = \frac{2\gamma_a}{\gamma_a + 1} M^2 \sin^2 \varphi - \frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a + 1} \quad (3)$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{2}{\gamma_a - 1} (M^2 \sin^2 \varphi + 1) c_0 + \varphi}{\frac{2}{\gamma_a - 1} + M^2 \sin^2 \varphi \left(1 + \frac{\gamma_a + 1}{\gamma_a - 1} \right) \cot \varphi} \right] \quad (4)$$

式中: p_1 ——大气压力, γ_a ——空气多方指数,

V_d ——炸药爆速, $M_1 = \frac{V_d}{c_0}$, c_0 ——声速。

五、结 语

泡沫炸药具有密度小, 压力低及爆速可调等特性, 特别适合超薄金属的爆炸焊接, 消除焊缝内应力及特殊爆破工程等领域中应用。

制备泡沫炸药不需要复杂设备, 工艺操作简单, 适应我国爆炸场现状, 可以就地配制就地使用。

我们研制的这种泡沫炸药目前尚处于实验室研究及少量应用阶段, 在扩大生产中可能遇到的问题, 还需在实践中研究解决。

参 考 文 献

- [1] Kudinov, V. M., Mechanism of residual stresses relieving by explosion treatment (1981).
- [2] Prümmer, R., Explosive coelding of metallic glasses on to metals, 1 (1982).
- [3] Archibold, P. B., A low-density, low-pressure Solid explosive, LCRL-1486.
- [4] Allen, J. Tulis, On the formulation and Characteristic of very low density explosive composition, Symposium on processing propellants, explosives and ingredients (1977).
- [5] 特许公报, 昭和 38—20395.
- [6] 邵丙璜、陈维波等, 滑移爆轰过程中爆炸产物的有效多方指数 ν_0 的确定, 爆炸与冲击, 2 (1981), 30—36.
- [7] James, L., Symposium on detonation (5th) (1970), 18—21.

(本文于1982年8月25日收到)