

工业炸药实验室殉爆距离测试 方法改进的建议

倪欧琪 丁 云

(南京理工大学化工学院 南京 210094)

摘要 从理论上计算了同一强度的入射冲击波在不同材料界面上产生的反射冲击波强度。指出了现行工业炸药殉爆距离测试方法存在的缺陷,并建议采用较合理的悬吊法代替现行的测试方法。

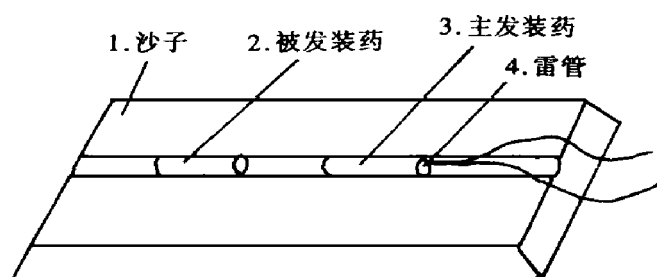
关键词 殉爆距离试验 工业炸药 冲击波强度

中图法分类号 TD 235 12

殉爆距离的大小反映了炸药在冲击波作用下发生爆轰的难易程度。炸药殉爆能力的测定对于炸药的生产、储存及使用安全和弹药、引信和火工技术的发展具有重要意义。

通常认为引起炸药殉爆的原因有三个方面:第一是主发装药爆轰产物对被发装药的冲击。第二是主发装药爆轰时抛射出的物体对被发装药的冲击。第三是主发装药爆轰时,在惰性介质中形成的冲击波对被发装药的作用。

基于以上原因,影响殉爆距离大小主要有下列因素:主发装药的药量、爆热和爆速;主发装药的约束条件;主发装药与被发装药间的连接方式;被发装药的爆轰感度及装药间介质的性质。



1 Sand 2 Sympathetic charge
3 Initiating charge 4 Detonator

图1 工业炸药殉爆距离测试方法示意图

Fig. 1 Sketch of testing method of gap distance
on industrial explosives

以上这些因素对于殉爆距离的检测都将产生影响,因此在检测中必须固定那些不反映炸药本身性质的因素才能准确地对炸药殉爆距离进行相对比较。

现行工业炸药殉爆距离的测试是按以下程序进行的。在一平面上铺一层 50cm 厚的沙子,用与药卷直径相同的圆棒在沙面上压一半圆槽。按图 1 的方式进行安装,然后起爆。观察爆炸后是否有剩余药头或残药来判断是否完全殉爆。其中雷管插在主发装药的手捏端,被发装药的手捏端与主发装药的机压端相对。这样的测试方法固定了某些影响殉爆距离的因素,如药卷的外壳、药量及药卷间的介

质等。但这样的测试条件仍不能准确地反映炸药的殉爆能力, 因为该方法没有严格规定支承装药的物质的性质, 也就是没有严格规定沙子的性质, 如堆积密度、干湿度和沙层下平面的性质等。这样, 各单位的测试条件差异很大。有的在钢板上进行测试, 有的在水泥地上进行测试, 也有的在不同的土地上进行测试, 使用的沙子也各式各样。而这些条件的变化势必对殉爆距离的测试带来影响。

首先, 用不同的沙子堆积起来的沙层的密实程度对殉爆距离有影响。沙层的密实程度不同, 压成的半圆槽对爆轰产物及主发装药外壳破片飞散方向的约束程度就不同。沙层越密实, 爆轰产物和破片就能较集中地沿半圆槽的方向运动, 从而增强主发装药的起爆能力。

其次, 沙层及沙层下平面材料的物理性质对殉爆距离有影响。材料的物理性质如密度、声速不同, 同一入射冲击波在界面上产生的反射冲击波的强度也就不同。本文在固定了入射冲击波强度的条件下, 用迭代法计算了该入射波在不同材料表面产生的反射冲击波的强度。图2描述了爆轰波在界面上的作用情况。

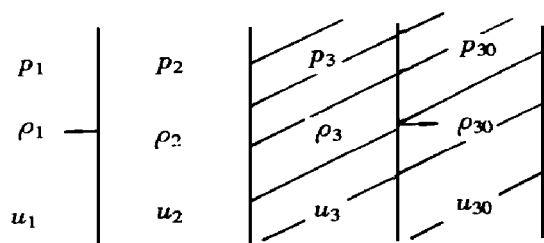


图2 爆轰波在界面上的作用情况

Fig 2 The action of the detonation wave on the boundary

图2中: p_1 , ρ_1 , u_1 是爆轰波后的压力、密度和质点速度; p_2 , ρ_2 , u_2 是反射波波后的参数; p_3 , ρ_3 , u_3 是透射波的波后参数; p_{30} , ρ_{30} , u_{30} 是介质的初始参数。

透射波波后的压力 p_3 可假设冲击波速度与粒子速度保持线性关系及根据界面上压力相等的条件求得, 即

$$p_3 = \rho_{30}(c_{30} + \lambda u_3)u_3 \quad (1)$$

根据界面上压力相等、质点速度相等的连续

方程可求得 $p_3 = p_2$, $u_3 = u_2$ 则

$$p_2 = \rho_{30}(c_{30} + \lambda u_2)u_2 \quad (2)$$

又对于凝聚炸药有

$$p_1 = (\rho_1 c_1^2) V \quad (3)$$

由 (2)、(3) 式可求得

$$\frac{p_2}{p_1} = V \frac{\rho_{30}}{\rho_1} \left(\frac{c_{30}}{c_1} + \lambda \frac{u_2}{c_1} \right) \frac{u_2}{c_1} \quad (4)$$

因为

$$\frac{u_2}{c_1} = \frac{2}{V_+ - 1} \left(M - \frac{1}{M} \right) + \frac{u_1}{c_1} \quad (5)$$

式中: M 为马赫数。

$$M^2 = \left(\frac{p_2}{p_1} + \frac{V_+ - 1}{V_+} \right) \frac{V_+ - 1}{2V} \quad (6)$$

对于反射冲击波, 马赫数取负值, 即

$$M = - \left[\left(\frac{p_2}{p_1} + \frac{V_+ - 1}{V_+} \right) \frac{V_+ - 1}{2V} \right]^{1/2} \quad (7)$$

将 (7)、(5) 式代入 (4) 式求得

$$\frac{p_2}{p_1} = V \frac{d_{30}}{c_1} A \left(\frac{c_{30}}{c_1} + \lambda A \right) \tag{8}$$

式中: $A = \frac{2}{\sqrt{V}-1} \left[\frac{1}{\left[\left(\frac{p_2}{p_1} + \frac{\sqrt{V}-1}{\sqrt{V}} \right) \frac{\sqrt{V}-1}{2V} \right]^{1/2}} - \left[\left(\frac{p_2}{p_1} + \frac{\sqrt{V}-1}{\sqrt{V}} \right) \frac{\sqrt{V}-1}{2V} \right]^{1/2} \right] + \frac{u_1}{c_1}$; V 为等熵指数; c_{30} 为

材料声速; c_1 为炸药的爆轰波速度; λ 为常数。

对于某种介质, 其中 d_{30} 、 c_{30} 、 λ 是已知的, 唯一的变量为 p_2/p_1 , 这样只要设定一个 p_2/p_1 的值, 代入 (8) 式左边, 进行计算, 将结果与所设定值进行比较后重新设定一个 p_2/p_1 值, 再进行计算, 如此迭代直至设定值与计算值相符, 该设定值即为所求结果。因为 p_1 已知, 马上可求得 p_2 。本计算中, 炸药的爆轰参数取 $d_1 = 2.13 \text{ g/cm}^3$, $c_1 = 5.25 \text{ km/s}$, $p_1 = 20.27 \text{ GPa}$, $u_1 = 1.81 \text{ km/s}$, 等熵指数 $V = 3$ 。计算结果列在表 1 中。

表 1 同样的入射冲击波在不同材料界面上产生的反射冲击波的压力

Table 1 The pressure of the reflected shock wave produced on the boundary of different materials for the same incident shock wave

材料名称	材料声速 $c_{30}/(\text{km/s})$	λ	材料密度 $d_{30}/(\text{g/cm}^3)$	反射冲击波压力 $p_2/(\text{GPa})$
大理石	3.50	1.95	2.70	24.53
铁	3.07	1.92	7.86	33.45
砂子	1.30	1.35	1.65	16.01
不锈钢	4.57	1.49	7.90	34.46
花岗石	2.10	1.63	2.63	22.30
有机玻璃	2.57	1.52	1.18	16.01

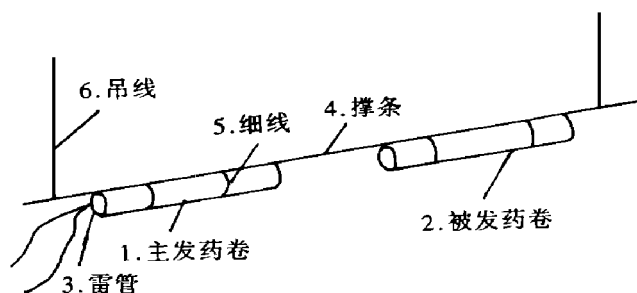
从表 1 可见, 由于材料不同, 同样的入射冲击波在其界面上产生的反射冲击波的强度差别很大。这样, 当主发装药产生的冲击波经过被发装药而未能引爆被发装药时, 反射冲击波的强度变化将直接影响炸药的殉爆距离。

通过以上的计算和分析可以看出, 现行的殉爆距离测试方法对支承介质的规定是不严密的, 因此试验求得的炸药殉爆距离其误差可能较大。但是, 若对沙层及沙层下的介质进行严格的规定, 则实行起来又非常困难。操作人员很难保证每次测试时沙层及沙层下介质的性质一致。

基于以上考虑, 有必要对现行的测试方法进行改进, 采用悬吊法进行殉爆距离的测试。国际性的工业炸药科学工作者的学术组织, 即国际炸药测试方法标准化委员会 (EX-TEST) 制定的殉爆测试方法标准采用的就是悬吊法。其装置如图 3

由于硬杆材料性能的控制是很容易实现的, 这就从根本上消除了现行方法的不足。当然该装置也有值得改进的地方, 因为它有可能产生两个装药不在同一轴线上的情况, 所以建议采用半圆槽代替硬杆。装置如图 4 所示。

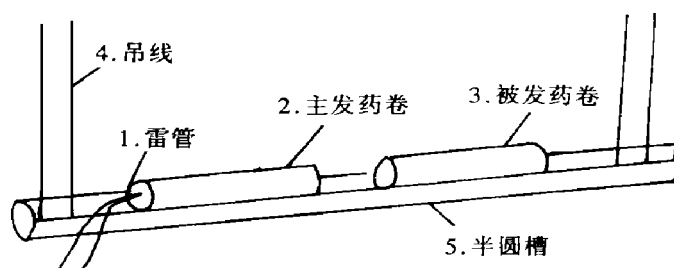
这样只要将装药往半圆槽中一放, 它们势必在同一轴心上。这种方法不仅能克服现行殉爆测试方法的缺点, 也能比较准确地对炸药的殉爆能力进行相对比较。



1 Initiating charge, 2 Sympathetic charge, 3 Detonator, 4 Bar, 5 Thread, 6 Hanging thread

图 3 悬吊法测定殉爆距离的装置

Fig 3 The device of hanging method to test gap distance



1 Detonator, 2 Initiating charge, 3 Sympathetic charge, 4 Hanging thread, 5 Semi circle flute

图 4 改进的悬吊法测定殉爆距离装置

Fig 4 The device of improved hanging method to test gap distance

SUGGESTIONS FOR THE IMPROVEMENT OF LABORATORY TESTING METHOD OF GAP DISTANCE ON INDUSTRIAL EXPLOSIVES

N i O u q i D i n g Y u n

(Department of Chemical Engineering, Nanjing University
of Science and Technology, Nanjing, 210094)

ABSTRACT For an incident shock wave, the strength of reflected shock waves from the boundary of different materials are calculated theoretically. The defects now existed in the laboratory testing method of gap distance of industrial explosives are pointed out, and a rational hanging method is suggested in this paper.

KEY WORDS gap distance test, industrial explosive, shock strength