

工业炸药作功能力的测试方法研究

王肇中¹, 汪旭光¹, 夏斌²

(1. 北京矿冶研究总院, 北京 100044; 2. 煤炭科学研究总院爆破技术研究所, 安徽 淮北 235039)

摘要:建立了一种测试工业炸药作功能力的新方法——弹道抛掷法,测试了现有工业炸药的作功能力,并与铅块法测试结果进行了对比;研究了弹道抛掷法的可靠性和准确度。实验结果表明,弹道抛掷法不仅具有测试药量大、试验装置可以反复使用等优点,而且具有广泛的适用性,不仅能够测试具有雷管感度的工业炸药,而且能够测定钝感铵油炸药、重铵油炸药、乳胶基质的作功能力,还能反映含铝工业炸药的作功能力,与铅块法测定值具有很好的相关性。该方法是一种简便、快速、准确、实用的测试工业炸药作功能力的方法。

关键词:爆炸力学;工业炸药;测试方法;作功能力;弹道抛掷法

中图分类号:TJ55;TD235.21

文献标志码:A

文章编号:1007-7812(2007)06-0024-03

Study on Power Test Method of Industrial Explosives

WANG Zhao-zhong¹, WANG Xu-guang¹, XIA Bin²

(1. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China;

2. Blasting Technology Research Institute, China Coal Research Institute, Huaibei Anhui 235039, China)

Abstract: A simple and new power test method-ballistic projectile method has been established for power test of industrial explosives. Power determination of industrial explosives is done by the ballistic projectile method. The ballistic projectile results and that of lead block test are compared. The reliability and accuracy of the ballistic projectile method are studied. The experimental results show that large dosage, equipment repetitious use, wide applicability are advantages of the method. Apart from being used for the determination of the power of cap sensitive industrial explosives, the ballistic projectile also proved very suitable for non-cap sensitive ones, such as ammonium nitrate-fuel oil (ANFO), heavy ANFO, emulsion explosive matrix. The ballistic projectile method can also be applied to the research for aluminized industrial explosives. There is a good linear correlation between the ballistic projectile results and lead block test ones. This method is simple, rapid, exactly and reliable, and has been applied with satisfaction to the power determination of industrial explosives.

Key words: explosion mechanics; industrial explosive; test method; power; ballistic projectile method

引言

炸药的作功能力是衡量工业炸药爆炸性能的一个重要指标^[1-3],它表征炸药爆炸所产生的冲击波和爆轰气体产物作用于介质,对介质产生压缩、破碎和抛移的能力。目前,我国测试工业炸药的作功能力普遍采用铅块法^[4-6],尽管该方法简单、直观、测试方便,但是由于铅块材料及浇注工艺条件的影响,铅块本身的物理性能差异较大,同时由于试样的药量小,从而造成检验结果的误差较大,因此建立一种简单、

可靠、准确的炸药作功能力测试方法很必要。本研究设计了一种弹道抛掷测试工业炸药作功能力的装置,并对现有工业炸药的作功能力的进行了测试。

1 实验部分

1.1 实验装置及测试原理

试验装置如图1所示,主要由钢筒、钢盖、底座和钢筋混凝土基础等4部分构成,所用材料为8号工业雷管、待测炸药、棉纱、毛刷等。

测试原理是将待测炸药试样放在一端封闭的

收稿日期:2007-08-23; 修回日期:2007-09-07

基金项目:民爆器材专项技术基础科研项目(科工爆[2006]291)

作者简介:王肇中(1970—),男,高级工程师,博士,从事工业炸药的生产 and 研究工作。

钢筒内,筒身固定在混凝土基座上,筒轴线与地平面成 45° 角,筒内中心位置放置炸药试样,钢筒上方盖有200 kg的钢盖,引爆炸药后,钢盖在爆炸气体的冲击下按弹道轨迹抛出,测量钢盖被抛出的水平距离,据此距离、抛射角和钢盖质量,即可衡量一定质量炸药的作功能力。

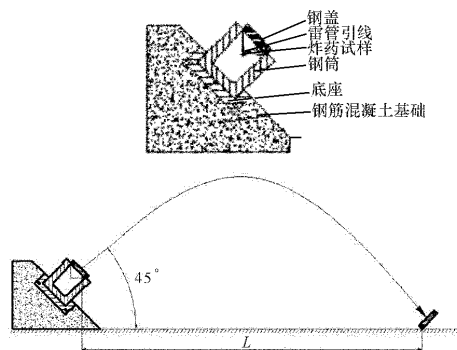


图1 弹道抛掷的实验装置和路径

Fig.1 Test setting and layout of the ballistic projectile

由于钢盖在抛掷过程中受到的空气阻力可以忽略不计,根据斜抛运动方程(式(1)),钢盖所获得的能量(E)、初始速度(v_0)和射程(L)三者之间的关系如式(2)所示:

$$L = v_0^2 \sin 2\alpha / g \quad (1)$$

$$E = mv_0^2 / 2 = mgL / 2 \quad (2)$$

式中: m 为钢盖的质量(200 kg); g 为重力加速度(9.81 m/s^2); L 为水平射程。

钢筒体积为130 L,材质选用硬度高、耐磨性好、抗接触载荷能力强的特殊合金钢,钢盖为螺钉形圆盖,伸入圆筒中的部分厚度为15 mm,直径为540 mm,合金钢,质量为200 kg,用钢筒的射程来表征炸药的作功能力。底座为固定在钢筋混凝土中的钢制支座。

1.2 试样制备与测试方法

1.2.1 试样制备

(1)称取300 g具有雷管感度的工业固体炸药,装入纸筒中,再在炸药上放一个带孔圆纸板,然后压药,制成密度为 1.00 g/cm^3 的药卷。(2)称取300 g具有雷管感度的膏状工业炸药,装入纸筒中,然后在炸药上放一个带孔圆纸板,用手轻压,密度达到使用密度(通常为 1.15 g/cm^3 左右)。(3)对于无雷管感度的工业炸药,据炸药状态,分别按前述方法装入300 g,然后再在其上加100 g密度为 1.00 g/cm^3 、药卷内径为50 mm的TNT药柱。

1.2.2 测试方法

将待测药卷固定于钢筒中央,插入8号雷管,引出雷管线,盖上钢盖,接通电源起爆,钢盖在炸药爆炸气体的作用下,沿抛物线轨迹飞出。用卷尺测量钢盖落地点与钢盖初始重心之间的水平距离 L 。按同样方法再做平行试样,计算两次所得 L 的算术平均值 \bar{L} ,将该值作为工业炸药的作功能力值。对于非雷管感度的工业炸药,其作功能力值应注明含100 g TNT药柱的能量。

2 结果与讨论

2.1 现有不同品种工业炸药的作功能力

表1给出现有不同品种工业炸药作功能力的测试结果。实验结果表明,300 g工业炸药能将200 kg的钢盖抛掷30 m左右,对于同一种炸药,两次作功能力的绝对误差小于1.00 m,对于性质相似不同等级的工业炸药,其作功能力相差1.00 m以上。在实验条件下,300 g药量是合理的,设备可以重复使用。

表1 不同品种工业炸药的作功能力

Table 1 Results of power for industrial explosives

炸药	L/m	\bar{L}/m
2号煤矿许用铵梯炸药	26.70, 26.70	26.70
3号煤矿许用铵梯炸药	23.94, 24.30	24.13
4号岩石抗水铵梯炸药	36.10, 36.39	36.24
岩石乳化炸药	31.70, 31.53	31.62
一级煤矿许用乳化炸药	29.95, 29.95	29.95
二级煤矿许用乳化炸药	26.40, 27.25	26.82
三级煤矿许用乳化炸药	22.63, 23.16	22.90
岩石膨化硝铵炸药	29.00, 29.00	29.00
一级煤矿许用膨化炸药	28.00, 27.60	27.80
二级煤矿许用膨化炸药	26.00, 26.37	26.18
岩石粉状乳化炸药	33.10, 33.38	33.24
二级煤矿许用粉状乳化炸药	31.30, 31.10	31.20
三级煤矿许用粉状乳化炸药	29.60, 30.30	29.95
TNT	30.40, 30.40	30.40
岩石水胶炸药	29.92, 29.92	29.92
二级水胶炸药	28.58, 28.82	28.70
三级水胶炸药	20.18, 19.84	20.01

2.2 含铝工业炸药的作功能力

表2给出部分含铝工业炸药作功能力的测试结果,即称取一定质量不同品种的炸药试样,分别外加一定量的铝粉,混匀后制成不同品种的含铝工业炸药,按上述试验方法测试含铝工业炸药的作功能力。

表 2 含铝工业炸药作功能力的测试结果

Table 2 Determined results of power for aluminized industrial explosives

炸药型号	$m(\text{炸药})/\text{g}$	$m(\text{铝粉})/\text{g}$	L/m
岩石型粉状乳化炸药	200	0	22.64
岩石型粉状乳化炸药	200	12	24.27
膨化硝酸铵炸药	200	0	22.00
膨化硝酸铵炸药	200	12	23.45

实验结果表明,弹道抛掷法能反映含铝工业炸药的作功能力,加入铝粉可增加炸药作功能力,随着铝粉含量的增加,炸药的作功能力增大。作功能力取决于炸药的爆热和比容。在爆炸反应过程中,铝粉与炸药的爆炸产物发生二次反应,放出大量热,使爆热增加,因此提高了作功能力。

2.3 钝感工业炸药作功能力的测试

取 300 g 钝感炸药(铵油、重铵油、乳胶基质等),用 $\Phi 50\text{mm}$ 纸筒装药,然后再加上 100 g TNT 做起爆药,按上述实验方法进行实验,扣除 100 g TNT 的作功能力值,即可测出 300 g 钝感炸药的作功能力,但扣除 100 g TNT 能量,又增加了一次试验误差。为增强试验的可操作性,在测试钝感炸药时,可不扣除 100 g TNT 能量值,在结果中注明含有 100 g TNT 药柱的能量即可。为了考察爆轰情况,对每个炸药试样进行 6 次平行实验,求其平均值,结果见表 3。试验发现,测试同一炸药作功能力数据重现性好,绝对误差均小于 1.00 m,未发现拒爆、半爆现象。试验结果表明,100 g TNT 起爆药柱能使被测炸药爆轰完全。因此,弹道抛掷法可用于钝感炸药的测试。

表 3 钝感工业炸药的作功能力

Table 3 Power of non-cap sensitive industrial explosives

炸药型号	$m(\text{钝感炸药})/\text{g}$	$m(\text{TNT})/\text{g}$	L/m
铵油	300	100 g	33.00
重铵油	300	100 g	30.74
乳胶基质	300	100 g	35.11

注: L 为含外加 100 g TNT 起爆药柱的作功能力。

2.4 试验方法的可靠性和精密度

图 2 给出弹道抛掷法作功能力测试值(L)与铅块法作功能力测试值(V)的对应关系。为了检测弹道抛掷法试验数值与铅块法试验数值之间是否存在一定关系,使用同期内同一批炸药进行试验,所有用于试验的铅块出自同一炉。铅块法试验是按照标准方法进行。为了提高试验的可靠性和减小各次试验的偏差,每种炸药的弹道抛掷法试验和铅块法试验都取两次试验的平均值。

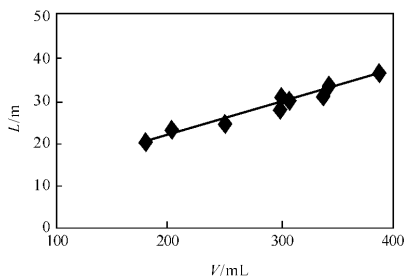


图 2 弹道抛掷法测试值与铅块法测试值的对应关系

Fig. 2 Correlation of test results obtained from ballistic projectile and lead block

采用最小二乘方曲线近似法分析,结果表明弹道抛掷法试验结果与铅块法试验结果之间有很好的线性对应关系,其能量相关系数为 0.97。这说明对于具有雷管感度的工业炸药作功能力的测试,弹道抛掷法是一种可靠的检测方法。

为了考察弹道抛掷法的测试精密度,对不同生产厂的两种不同品种工业炸药试样进行了 6 次重复测试,统计计算了射程测定的平均值(L)和标准偏差(δ),结果见表 4。

表 4 弹道抛掷法的精密度实验结果

Table 4 Precision experiment results of ballistic projectile method

试样	L/m	\bar{L}/m	δ/m
试样 1	34.00, 33.25, 33.80	33.75	0.40
	33.70, 34.35, 33.40		
试样 2	29.87, 29.40, 29.62	29.82	0.28
	29.82, 30.05, 30.17		

由表 4 可以看出,用该方法对试样进行测定,所得的标准偏差分别为 0.40 m 和 0.28 m,结果表明,该方法的测试结果具有较好的精密度。

3 结 论

(1) 弹道抛掷法与铅块法具有很好的相关性。

(2) 弹道抛掷法不仅具有测试药量大,装置可以反复使用等优点,而且具有广泛的适用性,不仅能够测试具有雷管感度的工业炸药,而且能够测定钝感的铵油炸药、重铵油炸药、乳胶基质以及含铝工业炸药的作功能力。

(3) 弹道抛掷法是一种简便、快速、准确、实用的测试工业炸药作功能力的新方法。

(下转第 30 页)

配合物的分子式应为 $[\text{Cu}(\text{DNI})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 空间构型为四配体的平面构型。

分子中与中心铜原子配位的两个 DNI 所处平面的平面方程为:

$$\text{C}(1)\text{C}(2)\text{C}(3)\text{N}(2)\text{N}(4)\text{N}(3)\text{O}(2)\text{O}(3)\text{N}(1)\text{O}(2)\text{O}(1)\text{Cu}(1);$$

$$6.5420x + 6.2194y + 1.0163z = 5.4741 \quad (\text{I})$$

$$\text{C}(4)\text{C}(5)\text{C}(6)\text{N}(5)\text{N}(7)\text{N}(6)\text{O}(5)\text{O}(6)\text{N}(8)\text{O}(7)\text{O}(8)\text{Cu}(1);$$

$$6.5423x + 0.2986y + 1.0112z = 4.8456 \quad (\text{II})$$

由晶体结构分析程序 SHELX-97 计算得到平面

I 与平面 II 之间的夹角为 51.06° 。

3 结 论

(1) 通过 2,4-二硝基咪唑(2,4-DNI)的钠盐水溶液与硫酸铜的水溶液反应,制备了 2,4-二硝基咪唑铜配合物。

(2) 采用自然挥发法培养出适于 X 光结构测定的单晶;X 光衍射测定结果表明,该晶体属三斜晶系,空间群为 P-1。

(3) 根据红外光谱、元素分析和 X 射线衍射分析结果,确定了 2,4-二硝基咪唑铜(II)配合物的化学组成为 $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{CuN}_8\text{O}_{13}$, 分子式为 $[\text{Cu}(\text{DNI})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 空间构型为四配体的平面构型。

(4) 确定了 $[\text{Cu}(\text{DNI})_2(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 分子中与中心铜原子配位的两个 DNI 环所处的平面夹

角为 51.06° 。

参考文献:

- [1] Damavarapu R, Jayasuriya K, Vladimiroff J. 2,4-Dinitroimidazole—a less sensitive explosive and propellant made by thermal rearrangement of molten 1,4-dinitroimidazole; US,5387297[P]. 1995.
- [2] Doherty R M, Simpson R L. A comparative evaluation of several insensitive high explosives. Combustion and Detonation[C]// 28th International Annual Conference of ICT. Karlsruhe; ICT, 1997: 17-19.
- [3] Epishina L V, Slovetskii V I, Osipov V G, et al. Infrared spectra and structure of salts of nitroimidzoles [J]. Khim Geterotsikl Soedin, 1967 (4):716-723.
- [4] Barabanov V P, Tret Y A Y, Sharnin G P, et al. Lithium salt, potassium salt, rubidium salt, silver (I) salt, sodium salt studies of nitroimidzoles. IV Electric conductivity of metallic salts of nitro and halonito derivatives of imidazole in dimethylformamide [J]. Zh Obshch Khim, 1980, 50 (10):2318-2322.
- [5] 郑晓东,崔荣,李洪丽,等. 2,4-二硝基咪唑铅盐的合成及性能[J]. 火炸药学报, 2006, 29(6):23-26. ZHENG Xiao-dong, CUI Rong, LI Hong-li, et al. Synthesis and properties of 2,4-dinitroimidazole lead salt [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2006, 29(6):23-26.

(上接第 26 页)

参考文献:

- [1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京:冶金工业出版社, 1993. WANG Xu-guang. Emulsion Explosives[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993.
- [2] Cook M A. 工业炸药学[M]. 陈正衡,孙皎花,译. 北京:煤炭工业出版社, 1987:152-193. Cook M A. The Science of Industrial Explosives[M]. Translated by Chen Zheng-heng, Sun Jiao-hua. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1987: 152-193.
- [3] 曹欣茂. 世界爆破器材手册[M]. 北京:兵器工业出版社, 1999:1110-1112. CAO Xin-mao. World Explosive Materials Manual [M]. Beijing: Ordnance Industry Publishing House, 1999:1110-1112.
- [4] 郑孟菊,俞统昌,张银亮. 炸药的性能及测试技术[M]. 北京:兵器工业出版社, 1990: 237-257. ZHENG Meng-ju, YU Tong-chang, ZHANG Yin-liang. Property and Test Technology of Explosives [M]. Beijing: Ordnance Industry Publishing House, 1990:237-257.
- [5] Muhamed S. Test Methods for Explosives[M]. New York: Springer, 1995:168-170.
- [6] 炸药作功能力试验方法. GB12436-1990[S]. 1990. Explosive Test Method-Power Determination-Lead Block Method. GB12436-90[S]. 1990.