

# 基于弹道威力摆的传爆炸药对作功能力测试影响的试验研究

何 振

中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司 安徽 淮北 235000

**摘 要:** 利用弹道威力摆测试现场混装乳化炸药在不同种类传爆炸药起爆下的作功能力, 并采用数理统计法进行差异性分析。结果表明: 弹道威力摆测试现场混装乳化炸药作功能力, 其结果可靠、重复性好, 基本不受传爆炸药作功能力影响。

**关键词:** 弹道威力摆; 现场混装乳化炸药; 作功能力; 测试

## 引言

工业炸药的现场混装技术是一种将工业炸药原材料或半成品运送至爆破现场, 通过现场混装车制备出炸药, 并完成装药工作的作业方式。该技术具有装药效率高、爆破质量好、钻爆成本低、使用安全等优点; 是工业炸药技术发展至今, 本质安全性最高的一项炸药制备、现场装填和爆破一体化技术。现场混装炸药的生产模式也是炸药生产、爆破服务的发展方向<sup>[1]</sup>。

工业炸药作功能力和爆速是两个重要的爆轰参数, 也是在工程爆破方案设计时必不可少的参考依据。目前, 国内对现场混装炸药产品检测, 主要是外观、密度和爆速的指标, 这在实际工程爆破中, 对爆破能量控制以及工程质量控制都是不利的。因此, 准确测试现场混装炸药的作功能力具有重要实际意义。

由于现场混装炸药爆轰特征敏感度较低, 一般不具有雷管感度; 爆轰临界直径大, 成长区宽, 小药量或小直径条件下不能达到稳定爆轰。测试这类炸药爆轰性能必须使用传爆炸药进行起爆。本文主要以现场混装乳化炸药为试样, 开展起爆药装药条件对弹道威力摆法测试现场混装乳化炸药作功能力影响的试验研究。

## 1 试验装置与方法

弹道白炮法是测试军用炸药作功能力的一种方法 (GJB772A-97705.1)。在参照GJB测试原理基础上, 中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司依托爆破器材安全准入分析验证实验室建设平台, 经过设计、改进, 建立了弹道威力摆测试装置, 用于工业炸药作功能力的试验研究。

试验装置如图1所示。主要由支架结构件、摆杆结构件、白炮炮体、弹丸、支承轴承和摆角测试系统等部分组成, 装置固定在混凝土基座上。



图1 弹道威力摆试验装置

测试时, 将改装的试样放置在白炮爆炸室内, 装填弹丸至白炮底部, 保持白炮整体稳定后, 将角度测量仪置零。当试样在白炮爆炸室内引爆后, 爆炸产物膨胀作功将弹丸推出; 同时白炮炮体反向摆动一个角度, 记录下摆动周期内最大摆角。通过动量守恒定律和能量守恒定律计算出机械能, 并以此评价工业炸药作功能力<sup>[2]</sup>。

总机械能E的推导公式如下:

$$E = E_{k1} + E_{k2} \quad (1)$$

$$E = \left(1 + \frac{M}{m}\right) Mgl(1 - \cos\alpha) \quad (2)$$

$$C = \left(1 + \frac{M}{m}\right) Mgl \quad (3)$$

$$E = C(1 - \cos\alpha) \quad (4)$$

式中: E为总机械能, J;  $E_{k1}$ 为白炮炮体的动能, J;  $E_{k2}$ 为弹丸的动能, J。M为白炮炮体的质量, 490.0kg; m为弹丸的质量, 29.5kg; g为重力加速度, 取9.81m/s<sup>2</sup>; l为白炮炮体中心到悬挂支点的距离, m;  $\alpha$ 为白炮炮体摆动角度。

通过测得白炮炮体偏转周期内的最大角度 $\alpha$ , 即可按照式(4)计算出工业炸药的作功能力值。

## 2 试验部分

### 2.1 试验样品及制备

取不同厂家生产的现场混装乳化炸药作为试样, 分

别记作1#样、2#样；采用TNT、2号岩石乳化炸药作为传爆炸药。

试样改装参照GB12440-90《炸药猛度试验铅柱压缩法》，将牛皮纸裁成长150mm，宽65mm的长方形，粘成直径40mm圆筒后装药。传爆炸药改装，参照GB12436-90《炸药作功能力铅墙法》，将纸袋纸卷成直径24mm圆筒装药。装药质量控制，参照WJ/T9061-2008《工业炸药试验方法作功能力试验弹道抛掷法》，将起爆炸药与试样按照1：3的质量比进行制备，改装试样装药密度与其实

际密度一致。

2.2 结果与分析

2.2.1 不同传爆炸药装药条件下试验结果

称取45g现场混装乳化炸药样品，分别用TNT和2号岩石乳化炸药作为传爆炸药，传爆炸药质量均为15g。试验前，测试TNT和2号岩石乳化炸药的作功能力值，并将其扣除。每个传爆炸药条件下，平行测试6次；计算平均值、极差、标准差和总机械能。结果见表1。

表1 试样在不同传爆炸药条件下的测试结果

试样	编号	起爆炸药柱	摆角/°						平均值 /°	极差/°	标准差 /°	总机械能 J/g
现场混装 乳化炸药	1#	TNT	9.63	9.56	9.49	9.66	9.67	9.52	9.59	0.18	0.076	87.2
		2号岩石乳化炸药	9.61	9.48	9.56	9.54	9.56	9.43	9.53	0.18	0.064	86.1
	2#	TNT	10.09	10.11	10.17	10.21	10.15	10.23	10.16	0.14	0.055	97.8
		2号岩石乳化炸药	10.17	10.19	10.06	10.07	10.11	10.12	10.12	0.13	0.052	97.1

为分析传爆炸药是否对测试结果有影响，利用数理统计的方法对表1中测试结果进行差异性分析，以验证弹道威力摆试验采用传爆炸药起爆现场混装乳化炸药测试其作功能力的可靠性。当两组数据总体方差未知时，可用F检验比较两组数据的方差<sup>[3]</sup>。

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (5)$$

式中：F为两个方差的比值；s为标准差，令s<sub>1</sub>为较大值，s<sub>2</sub>为较小值。

计算统计量F值，与F分布表中的临界值F<sub>0.05</sub>作比较：

若F > F<sub>0.05</sub>，表示两个标准差有显著差别，否则表示无显著差别。若无差别，再进行t检验。

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\bar{s}} \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (6)$$

式中：t为统计量；x̄<sub>1</sub>为第一组数据平均值；x̄<sub>2</sub>为第二组数据平均值；s̄为合并标准差，s̄ = √(s<sub>1</sub><sup>2</sup>+s<sub>2</sub><sup>2</sup>)/2；n为每组数据自由度（即数据个数）。将式（6）计算的t和t分布表中的t<sub>0.05</sub>值比较，若|t| ≤ t<sub>0.05</sub>，则表示两组数据没有显著差异；否则有显著差异。将表1数据带入式（5）、（6）计算，结果见表2。

表2 测试结果的差异性数理分析

试样	编号	起爆炸药	$\bar{x}$	s	F	F <sub>0.05</sub>	t	t <sub>0.05</sub>	有无显著差异
现场混装 乳化炸药	1#	TNT	9.59	0.076	1.03	4.28	1.48	1.94	无
		2号岩石乳化炸药	9.53	0.064					
	2#	TNT	10.16	0.055	1.18	4.28	1.28	1.94	无
		2号岩石乳化炸药	10.12	0.052					

由表2分析可知，两种现场混装乳化炸药在不同传爆炸药的起爆下，测试结果均没有显著差异。可见，弹道威力摆法测试现场混装乳化炸药作功能力时，在保证完全爆轰前提下基本不受传爆炸药作功能力的影响。从测试结果还可以看出，数据离散性小，测试精度较高，重复性好。试验证明，弹道威力摆测试现场混装乳化炸药的作功能力是可行的，能够反应不同工艺条件下现场混装乳化炸药的作功能力水平。

2.2.2 不同装药质量条件下测试结果的相关性

选取1#现场混装乳化炸药为试样。称取不同质量试

样，采用15g的2号岩石乳化炸药做为起爆炸药进行弹道威力摆法测试，利用最小二乘法分析装药质量与摆角的关系。结果见图2。

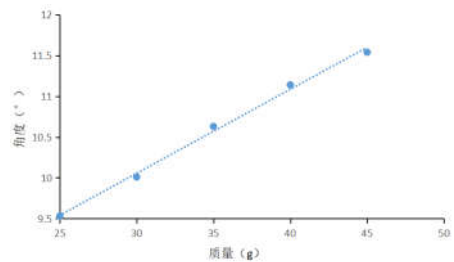


图2 装药质量与摆角的关系

从图2中装药质量与摆角的关系曲线可看出,摆角随装药质量增加而增大,利用最小二乘法做线性分析,结果见表3。

表3 一元线性回归分析结果

项目	一元线性回归方程	相关性系数
装药质量与摆角	$y = 0.103x + 6.965$	0.9954

由图2和表3可看出,在试验药量范围内,弹道威力摆法测试的装药质量与摆角之间,呈现良好的线性关系;其相关性系数  $> 0.99$ 。表明该线性回归方程的精度较高,测试结果与线性回归线符合性较好。

试验证明:弹道威力摆法测试现场混装乳化炸药的装药质量与摆角之间具有良好的线性相关性,测试结果精度较高,可靠性好<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

综上所述,利用弹道威力摆法测试现场混装乳化炸药的作功能力是可行的。该法测试药量较大,采用起爆

炸药起爆试样,起爆炸药作功能力几乎不影响测试结果;弹道威力摆法试验测试精度高,重复性好,结果可靠;其测试炸药爆炸气体产物对其作用介质的作功能力,作功方式与爆破实际作用方式基本一致,较符合爆破实际;弹道威力摆法测试结果可用单位质量炸药作功能量值定量表示,有利于不同类型炸药之间的比较。

#### 参考文献

- [1]汪旭光.乳化炸药(第2版)[M].北京:冶金工业出版社,2008.
- [2]邱卫东.工业炸药现场混装技术的发展现状与新进展[J].科技新导报,2013(10):96
- [3]郑思友.现场混装炸药做功能力试验方法研究[J].爆破,2015(3):121~125
- [4]何振.弹道威力摆法试验装置测试可靠性的试验研究[J].煤矿爆破,2021(2):1~3.