

文章编号: 1006-9941(2006)03-0231-05

# 应用数值模拟和灰色理论计算分析聚能装药参数 对聚能侵彻体成型性的影响

赵慧英<sup>1</sup>, 沈兆武<sup>1</sup>, 王晓海<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学 力学与机械工程系, 安徽 合肥 230027;  
2. 蚌埠坦克学院战术教研室, 安徽 蚌埠 233013)

**摘要:** 通过数值模拟研究了药型罩及装药参数对聚能射流成型性能的影响, 在此基础上, 运用灰关联理论对影响侵彻体性能各个参数的灰关联度进行了分析。结果表明, 药型罩高度、壁厚、锥角、装药高度是影响侵彻体成型性能的主要因素, 改变药型罩高度可以实现对侵彻体成型性的控制, 药型罩壁厚对侵彻体最后成型产生较大影响, 药型罩锥角可以有效控制侵彻体头部和尾部速度差, 灰关联分析结果可以作为药型罩设计中优先考虑的重要参数。

**关键词:** 工程数学; 药形罩; 数值模拟; 灰色理论

**中图分类号:** TJ55; TD235.3

**文献标识码:** A

## 1 引言

聚能装药是成熟的反坚固目标技术, 在反坦克、反舰、钻地战斗中得到了广泛的应用, 为了对付不同的目标, 出现了各种形状的药型罩, 常见的有锥形罩、喇叭罩、郁金香罩、半球罩等<sup>[1]</sup>。早期药型罩的研究工作主要是利用试验的方法来完成, 自从1970年爆炸流体动力学程序成功模拟了药型罩的变形过程后, 模拟的方法得到了广泛重视<sup>[2]</sup>。文献[3]认为, 在锥形药型罩中, 随着罩锥角度的增加, 射流质量将增加, 速度则降低, 而杆体速度提高; 文献[1]认为, 小锥角药型罩在装药爆轰驱动下形成杆体和射流, 前者质量大, 速度低于  $1 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , 基本无侵彻能力; 后者质量小, 一般只占药型罩质量的百分之十几, 侵彻孔径小, 而大锥角药形罩转换为头部速度相对较低, 速度梯度小直径大的射流, 侵彻孔径大; 文献[4]提出降低药型罩的高度可以降低杆体的质量, 提高射流头部速度。

本文对顶部为球缺形, 底部为锥形, 锥角在  $50^\circ \sim 100^\circ$  之间, 直径在  $40 \sim 80 \text{ mm}$  之间的药型罩装药进行了数值模拟, 在数值模拟计算结果的基础上运用灰关联理论<sup>[5]</sup>, 对影响侵彻体性能各个因素进行了分析。结果表明, 药型罩高度是影响聚能侵彻体成型性能的主要因素, 这不仅为聚能侵彻体的药型罩及装药结构优化设计提供了依据, 而且也证明灰色理论在药

型罩装药设计方面的应用价值。

## 2 数值模拟研究

### 2.1 算法简介

Lagrangian 方法描述的是网格的节点固定在相应的物质上, 物质的变形引起网格的变形, 而聚能侵彻体的成型过程具有高应变率、高过载的特点, 在数值模拟计算中若使用 Lagrangian 方法, 会造成单元严重畸变, 导致计算大量出错。任意拉格朗日-欧拉 (Arbitrary Lagrangian-Eulerian, ALE) 算法是指网格独立于物质坐标和空间坐标, 即网格节点可随物质运动而运动。同时, 网格点与物质点可以分离, 节点的位置因算法而定, 其综合特点是网格可以运动, 物质在网格中输运。Lagrangian 和 Eulerian 只是 ALE 积分中的特殊情况, 在 Lagrangian 步网格虽无质点运动而运动, 在 Eulerian 步自动优化网格形态, 因此 ALE 算法是解决聚能侵彻体成型问题的有效方法<sup>[6]</sup>。

### 2.2 材料模型及参数

药型罩材料均采用 C2200 铜, 材料模型为 Steinberg, 状态方程为 Gruneisen 方程。炸药材料采用 B 炸药, 材料模型为 High-Explosive-Burn, 状态方程为 JWL 方程。铜及 B 炸药的材料参数如下<sup>[7]</sup>: Cu 密度为  $8.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 杨氏模量为  $115 \text{ GPa}$ , 动态屈服应力为  $206.8 \text{ MPa}$ , 泊松比为  $0.307$ ; B 炸药密度为  $1.61 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 爆速为  $7800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 爆压为  $26.8 \text{ GPa}$ 。

### 2.3 有限元模型及计算结果

模型的几何参数所代表的意义如图1所示。不同

收稿日期: 2005-12-31; 修回日期: 2006-03-06

作者简介: 赵慧英(1979-), 女, 在读博士, 主要从事现代爆炸技术与安全工程方面的研究。

的有限元模型及起爆 50  $\mu\text{s}$  后侵彻体的模拟结果如表 1 所示。为了保证数值模拟的计算精度,在材料模型及参数可靠的情况下,有限元网格应在计算能力范围内足够细小才能减小计算中的能量耗散。本文所建模型的网格尺寸为 0.039 cm。在整个运算过程中对炸药和药型罩采用单点 ALE 多物质运算和运动网格法。文献[8]用多物质 ALE 方法进行了聚能侵彻体成型性的模拟,本文所选用的药型罩和装药的参数与文献[8]一致。

由表 1 的结果可以看出装药高度、装药直径、药型罩壁厚、罩高度、罩锥角是影响侵彻体速度差及长度的因素,但是很难总结出其中哪个因素起主要作用。为了得到各个因素之间的相互关系,需利用灰色理论的分析方法将隐含的信息明确化。

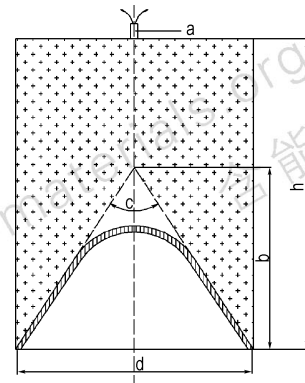


图 1 药型罩及装药结构示意图

a—起爆点, b—罩高, c—罩顶角, d—装药直径, h—装药高度  
Fig. 1 Scheme of the liner and the shaped charge  
a—detonation point, b—altitude of liner, c—Apex angle of liner, d—diameter of the shaped charge, h—altitude of shaped charge

表 1 不同方案的模型数值计算结果

Table 1 Simulation results of different schemes

No.	altitude of shaped charge/mm	diameter of the liner/mm	thickness of the liner wall/mm	altitude of liner/mm	Apex angle of liner/ $^{\circ}$	tip velocity of jet/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	tail velocity of jet/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	jet length/mm
A	32	40	2.5	18	90	2741.0	1068.6	95.7
B	62	80	2	30	50	3118.3	1086.6	108.5
C	82	80	2.5	50	70	4652.2	1207.6	170.0
D	77	80	2.5	30	100	4946.5	1091.0	138.0
E	30	40	1.4	14	99	6622.9	2095.0	196.3
F	72	40	2	20	90	3638.6	1397.5	134.0
G	67.5	80	3.5	30	94 (outside) 99 (inside)	4666.8	1368.9	215.4
H	67	80	3	30	94 (outside) 99 (inside)	4594.9	1654.4	109.4
I	48	40	2	18	90	2698.0	1079.0	116.2
J	72	80	2	40	60	3689.8	1441.9	131.2
K	92	80	3	60	50	5523.1	1518.4	194.4
L	62	80	2	30	70	3453.5	1370.5	120.6
M	52	80	2	20	98	2600.0	1356.0	82.9

### 3 灰关联分析法在聚能侵彻体数值模拟结果中的应用

#### 3.1 灰关联方法

灰色系统理论是借助颜色表示研究者对系统内部信息和系统本身的了解和认知程度<sup>[5,9]</sup>;灰色系统与白色系统和黑色系统区别的重要标志是有关系系统各因素的信息的明确程度,白色系统中各因素之间的信息完全明确,在黑色系统中完全缺乏各因素之间的信息,而灰色系统是介于白色和黑色系统之间。在系统分析中分析各种因素、弄清因素间的关系,分析中通常需要大量样本、并具有典型的概率分布,这在实践中往往是

难以进行的。灰色系统理论提出的灰色关联分析方法则可以在不完全的信息中,对所要分析的各因素,通过一定的数据处理,在随机因素的序列中,找出因素之间的关联性,发现主要矛盾,找出主要影响因素<sup>[10]</sup>。这种方法对样本数量的多少没有过分要求,也不需要典型分布规律,计算量小,且不致出现关联度的量化结果与定性分析不一致的情况<sup>[11]</sup>。

关联系数的求法首先指出参考数列和比较数列,然后计算关联系数,即比较曲线和参考曲线在各个点上差值。对于一个参考数列  $y_0$ ,有几个比较数列  $(x_0, x_1, x_2, x_3)$  的情况可以采用式(1)来表示比较曲线和参考曲线在各点的差。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_k |y_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_k |y_0(k) - x_i(k)|}{|y_0(k) - x_i(k)| + 0.5 \max_k |y_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中,  $\xi_i(k)$  是第  $k$  个时刻比较曲线  $x_i$  与参考曲线  $y_0$  的相对差值, 这种形式的相对差值称为  $x_i$  对  $y_0$  在  $k$  时刻的关联系数。对于有几个参数列的情况可以根据上式分别作对应的计算。

### 3.2 模拟数据分析

将射流头部速度, 尾部速度和射流长度取为参考数列, 分别记作:  $y_0, y_1$  和  $y_2$ 。装药高度, 装药直径, 药型罩壁厚, 药型罩顶角取为比较数列, 分别记作:  $x_0, x_1, x_2, x_3$  和  $x_4$ 。即参考数列  $Y$  和比较数列  $X$  表达式为:  $Y = (y_0, y_1, y_2), X = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4)$ 。对参考数列和比较数列进行无量纲化处理得到表 2 所示的数据。

假设  $\Delta_j^i = |y_j(k) - x_i(k)| (j=1, 2, 3, i=1, 2, 3, 4, 5)$

$$\Delta_{\min}^0 = \min_k |y_0(k) - x_i(k)|, \Delta_{\max}^0 = \max_k |y_0(k) - x_i(k)|,$$

$$\Delta_{\min}^1 = \min_k |y_1(k) - x_i(k)|, \Delta_{\max}^1 = \max_k |y_1(k) - x_i(k)|,$$

$$\Delta_{\min}^2 = \min_k |y_2(k) - x_i(k)|, \Delta_{\max}^2 = \max_k |y_2(k) - x_i(k)|,$$

计算每时刻点参考序列与比较序列差值的绝对值得到表 3 所示的数据。

因此得到:  $\Delta_{\min}^0 = 0, \Delta_{\max}^0 = 1.86, \Delta_{\min}^1 = 0, \Delta_{\max}^1 = 2.51, \Delta_{\min}^2 = 0, \Delta_{\max}^2 = 1.49,$

根据式(1)和表 3 的数据得到表 4 所示的数据。

### 3.3 求解关联度

关联系数的信息过于分散, 不便于比较, 因此本文将各个时刻的关联系数集中为一个值, 将信息作集中处理, 以关联度示之。关联度的表达式一般为

$$r_j^i = \frac{1}{N} \sum_k \xi_i^j(k), (j=0, 1, 2) \quad (2)$$

通过以上对原始数据的预处理, 计算各时刻点参考序列与比较序列的关联系数, 最后得到参考序列与比较序列的关联度矩阵, 如表 5 所示。

分析表 5 所列的关联度矩阵, 优势数列为药型罩高度数列  $x_3(0.715, 0.676, 0.635)$ 。对侵彻体头部速度  $y_0$  的比较数列关联度大小排序是:  $x_3 > x_0 > x_1 > x_2 > x_4$ , 可以判断, 药型罩高度对射流头部速度影响程度较大, 其次是装药高度。参考侵彻体尾部速度  $y_1$  的比较数列关联度由大到小排序是  $x_3 > x_2 > x_4 > x_0 > x_1$ , 彻体长度  $y_2$  的比较数列的关联度由大到小排序是  $x_3 > x_2 > x_4 > x_1 > x_0$ , 装药高度对侵彻体参数列的关联度较小, 在后续分析中可以剔除, 在装药口径一定情况下, 药型罩壁厚对侵彻体参数列的关联度大于药型罩顶角, 这与文献[12, 13]所得出的结论一致。

表 2 无量纲化的参考数列和比较数列

Table 2 Number sequences of dimensionless reference parameters and comparison parameters

No.	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y_0$	$y_1$	$y_2$
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.94	2.00	0.80	1.67	0.56	1.14	1.02	1.13
C	2.56	2.00	0.80	2.78	0.78	1.70	1.13	1.78
D	2.41	2.00	0.80	1.67	1.11	1.80	1.02	1.44
E	0.94	1.00	0.56	0.78	1.10	2.42	1.96	2.05
F	2.25	1.00	0.80	1.11	1.00	1.33	1.31	1.40
G	2.11	2.00	1.40	1.67	1.04	1.70	1.28	2.25
H	2.09	2.00	1.20	1.67	1.04	1.31	1.55	1.14
I	1.5	1.00	0.80	1.00	1.00	0.98	1.00	1.21
J	2.25	2.00	0.80	2.22	0.67	1.35	1.38	1.37
K	2.88	2.00	1.20	3.33	0.56	2.01	1.48	2.03
L	1.94	2.00	0.80	1.67	0.78	1.26	1.28	1.26
M	1.63	2.00	0.80	1.11	1.09	0.95	1.27	0.87

表 3 参考数列与比较数列差值的绝对值

Table 3 The absolute differences of the reference number sequence and the comparison number sequence

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
$\Delta_0^0$	0	0.8	1.6	0.61	1.48	0.87	0.41	0.78	1.19	0.9	0.87	1.77	1.05
$\Delta_1^0$	0	0.86	0.3	0.2	1.42	0.33	0.3	0.69	0.02	0.65	0.01	0.74	1.05
$\Delta_2^0$	0	0.34	0.9	1.6	1.86	0.53	0.3	0.11	0.18	0.55	0.81	0.46	0.15
$\Delta_3^0$	0	0.53	1.08	0.13	1.64	0.22	0.03	0.36	0.02	0.87	1.32	0.41	0.16
$\Delta_4^0$	0	0.58	0.92	0.69	1.32	0.33	0.66	0.27	0.02	0.68	1.45	0.48	0.41
$\Delta_0^1$	0	0.92	1.43	1.39	1.02	0.94	0.83	0.54	0.50	0.87	1.40	0.66	0.36
$\Delta_1^1$	0	0.98	0.87	0.98	0.96	0.31	0.72	0.45	0	0.62	0.52	0.72	0.73
$\Delta_2^1$	0	0.22	0.33	0.22	1.40	0.51	0.12	0.35	0.20	0.58	0.28	0.48	0.47
$\Delta_3^1$	0	0.65	1.65	0.65	1.18	0.20	0.39	0.12	0	0.84	1.85	0.39	0.16
$\Delta_4^1$	0	0.46	0.35	0.09	0.86	0.31	0.24	0.51	0	0.71	0.92	0.50	0.18
$\Delta_0^2$	0	0.81	0.78	0.97	1.11	0.85	0.14	0.95	0.29	0.88	0.85	0.68	0.76
$\Delta_1^2$	0	0.87	0.22	0.56	1.05	0.4	0.25	0.86	0.21	0.63	0.03	0.74	1.13
$\Delta_2^2$	0	0.33	0.98	0.64	1.49	0.6	0.85	0.06	0.41	0.57	0.83	0.46	0.07
$\Delta_3^2$	0	0.54	1	0.23	1.27	0.29	0.58	0.53	0.21	0.85	1.3	0.41	0.24
$\Delta_4^2$	0	0.57	1	0.33	0.95	0.4	1.21	0.1	0.21	0.7	1.47	0.48	0.22

表 4 参考序列与比较序列的关联系数

Table 4 Grey relational coefficients of the reference and the comparison number sequences

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
$\xi_0^0(k)$	1	2.78	0.37	0.60	0.39	0.52	0.69	0.54	0.43	0.51	0.57	0.34	0.47
$\xi_1^0(k)$	1	0.52	0.76	0.82	0.40	0.74	0.76	0.57	0.98	0.59	0.99	0.56	0.47
$\xi_2^0(k)$	1	0.73	0.51	0.37	0.33	0.64	0.76	0.89	0.63	0.53	0.67	0.86	0.86
$\xi_3^0(k)$	1	0.64	0.46	0.88	0.36	0.81	0.97	0.72	0.98	0.52	0.41	0.69	0.85
$\xi_4^0(k)$	1	0.62	0.50	0.57	0.41	0.73	0.59	0.78	0.98	0.58	0.39	0.66	0.69
$\xi_5^0(k)$	1	0.44	0.33	0.34	0.66	0.41	0.43	0.46	0.57	0.59	0.45	0.52	0.67
$\xi_1^1(k)$	1	0.33	0.36	0.34	0.61	0.40	0.52	1	0.44	0.49	0.49	0.40	0.40
$\xi_2^1(k)$	1	0.76	0.68	0.76	0.33	0.58	0.85	0.67	0.78	0.45	0.71	0.58	0.60
$\xi_3^1(k)$	1	0.59	0.36	0.59	0.44	0.82	0.70	0.89	1	0.52	0.33	0.70	0.85
$\xi_4^1(k)$	1	0.50	0.57	0.84	0.35	0.60	0.66	0.47	1	0.39	0.33	0.48	0.72
$\xi_5^1(k)$	1	0.48	0.49	0.43	0.40	0.47	0.84	0.44	0.72	0.46	0.47	0.52	0.50
$\xi_1^2(k)$	1	0.46	0.77	0.57	0.42	0.65	0.75	0.46	0.78	0.54	0.96	0.50	0.40
$\xi_2^2(k)$	1	0.69	0.43	0.54	0.33	0.55	0.47	0.93	0.65	0.57	0.47	0.62	0.91
$\xi_3^2(k)$	1	0.58	0.43	0.76	0.37	0.82	0.66	0.58	0.78	0.77	0.36	0.65	0.76
$\xi_4^2(k)$	1	0.57	0.43	0.69	0.44	0.65	0.38	0.88	0.78	0.52	0.34	0.61	0.77

表 5 灰色关联分析结果关联度矩阵

Table 5 Grey relational matrix, the results of the grey relational analysis

reference number sequence	comparison number sequence				
	altitude of shaped charge	diameter of the liner	thickness of the liner wall	altitude of liner	Apex angle of liner
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
tip velocity of jet $y_0$	0.708	0.705	0.674	0.715	0.654
tail velocity of jet $y_1$	0.528	0.522	0.673	0.676	0.608
jet length $y_2$	0.555	0.617	0.628	0.635	0.620

#### 4 灰关联分析结果在聚能装药设计中的应用

根据以上分析所得出的结果,在药型罩锥角和装药口径不变的情况下,改变药型罩壁厚、锥角和高度设计聚能装药,设计方案如表 6 所示,每种方案的装药高度均为药型罩口径的 0.8 倍,装药口径均为 80 mm。

表 6 装药方案设计及模拟计算结果

Table 6 Design scheme of the shaped charge and the simulation results

scheme No.	thickness of the liner wall /mm	altitude of liner /mm	Apex angle of liner /( $^{\circ}$ )	tip velocity of jet / $m \cdot s^{-1}$	tail velocity of jet / $m \cdot s^{-1}$	jet length /mm
1	3.5	50	65	4468.1	1214.5	172.7
2	3	40	65	4176.6	1189.4	141.5
3	2.5	30	65	2998.6	1025.4	101.1
4	3	30	100	3479.6	1394.1	114.8
5	2	40	65	5578.4	1504.2	176.7

由表 6 所列的模拟结果可知,方案 1、2、3 通过改变药型罩总高度得到了差异较大的聚能侵彻体,表明在聚能侵彻体设计中改变药型罩高度可以实现对侵彻体成型性的控制。方案 5 和方案 2 的计算结果表明药型罩壁厚对侵彻体最后成型产生较大的影响。方案 4 表明药型罩锥角可以有效控制侵彻体头部和尾部速度差。

#### 5 结 论

(1) 数值模拟结果表明影响聚能侵彻体的成型性能的主要因素有药型罩高度、壁厚、锥角、装药高度。

(2) 应用灰色关联的方法分析模拟数据可以得出影响聚能侵彻体成型性参数的关联度。其中,对侵彻体头部速度  $y_0$  的比较数列关联度大小排序是  $x_3 > x_0 > x_1 > x_2 > x_4$ ,参考侵彻体尾部速度  $y_1$  的比较数列关联度大小排序是  $x_3 > x_2 > x_4 > x_0 > x_1$ ,侵彻体长度  $y_2$  的比较数列的关联度大小排序是  $x_3 > x_2 > x_4 > x_1 > x_0$ 。

(3) 灰关联分析得出的结果可作为药型罩设计中优先考虑的重要参数。

(4) 将数值计算结果作为样本用灰关联方法进行分析,在较少样本前提下进行设计参数的关联度分析计算,对聚能侵彻体药型罩的设计具有指导意义。

#### 参考文献:

[1] 谭多望,孙承伟,赵继波,等. 大锥角聚能射流实验研究[J]. 高压物理学报,2003,17(3): 204-208.  
 TAN Duo-wang, SUN Cheng-wei, ZHAO Ji-bo, et al. The experimental investigation on the shaped charge with large cone angle[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2003, 17 (13): 204-208.  
 [2] Molinari J F. Finite element simulation of shaped charge[J]. Finite

- Elements in Analysis and Design*, 2002, 38: 927 - 936.
- [3] Held M. The projectile forming charges[A]. 3rd International Symposium On Ballistic[C], Karlsruhe. Germany: [s. n.]. 1977, 23 - 25.
- [4] Summers R L, Walters W P. The behavior of shaped charges with open-poled hemispherical liners [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1991, 16(3): 140 - 144.
- [5] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [6] Radovitzky R, Ortiz M. Error estimation and adaptive meshing in strongly nonlinear dynamic problems[J]. *Comput Methods Appl Mech Eng*, 1999, 172: 203 - 240.
- [7] ASM International, (Ed.), *Metals Handbook*, Vol. 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1990.
- [8] James S Peery, Daniel E Carroll. Multi-material ALE method in unstructured grids[J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2000, 187: 591 - 619.
- [9] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [10] 张先锋, 陈惠武, 赵有守, 等. 聚能装药性能参数灰关联分析[J]. 兵工学报, 2004, 25(5): 525 - 528.  
ZHANG Xian-feng, CHEN Hui-wu, ZHAO You-shou, et al. Gray relation analysis on the performance of shaped charges [J]. *Acta Armamentarii*, 2004, 25 (5): 525 - 528.
- [11] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [12] Huerta M, Vigil M G. Design, analyses, and field test a 0.7 m conical shaped charge [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2006, 32(8): 1201 - 1213.
- [13] 隋树山, 王树山. 终点弹道效应[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.

## Computational Analysis on Parameters of Shaped Charge Affecting Formation of Jetting Projectile by Numerical Simulation and Grey Relation Theory

ZHAO Hui-ying<sup>1</sup>, SHEN Zhao-wu<sup>1</sup>, WANG Xiao-hai<sup>2</sup>

(1. Department of Modern Mechanics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. Tactics Staff Room, Bangbu Tank Technique College, Bangbu 233013, China)

**Abstract:** This paper analyzes the factors that affect jetting projectile formation of shaped charge through numerical simulation. Grey relational degree of each factor is obtained from grey relation theory. It is suggested that altitude, thickness of the liner wall and Apex angle of liner, as well as altitude of shaped charge are the main factors affecting formation performance of jetting projectile. Jetting projectile formation is controlled by thickness of the liner wall seriously; and the tip and tail velocity difference of jetting projectile is affected by Apex angle of liner. The analysis indicates that the grey theory is a useful way to determine line parameters in liner design.

**Key words:** engineering mathematics; shaped charge; numerical simulation; grey relation theory

读者·作者·编者

### 会议信息 (一)

- ❖ 中国兵工学会第十三届测试技术研讨会将于 2006 年 8 月在乌鲁木齐召开, 联系人: 杨玉华 0351 - 3923640
- ❖ 中国兵工学会第十二届火箭导弹学术年会将于 2006 年 8 月在青海召开, 联系人: 尚雅娟 029 - 88293025
- ❖ 中国兵工学会空军弹药技术研讨会将于 2006 年 8 月召开, 地点待定, 联系人: 黄正祥 025 - 84315454
- ❖ 中国兵工学会兵器控制学术研讨会将于 2006 年 8 月在连云港召开, 联系人: 钱龙军 025 - 84315309
- ❖ 中国兵工学会第二届国际民爆器材学术研讨会将于 2006 年 10 月在南京召开, 联系人: 宋敬埔 025 - 84315530
- ❖ 中国兵工学会第九届全国爆炸与安全技术学术交流会将于 2006 年 10 月召开, 地点待定, 联系人: 陈鹏万 010 - 68912858
- ❖ 中国兵工学会火炸药技术学术研讨会将于 2006 年 10 月在深圳召开, 联系人: 任芊 010 - 68914662
- ❖ 中国宇航学会固体火箭推进专业委员会第 23 届年会将于 2006 年 8 月在呼和浩特召开, 由航天科工集团四院 41 所和 46 所共同承办。
- ❖ 第七届全国爆轰学术会议将于 2006 年 7 月在贵州省贵阳市召开, 中国力学学会爆炸力学专业委员会主办, 北京理工大学承办, 联系人: 陈利、刘彦: 010 - 68915607; E-mail: liuyan@bit.edu.cn