

新旧子弹对比测试报告

大疆前阵子寄来了新子弹，新的东西当然要测试一下性能，于是我们对新旧子弹的一些性能进行了一波测试：

一、 基本参数

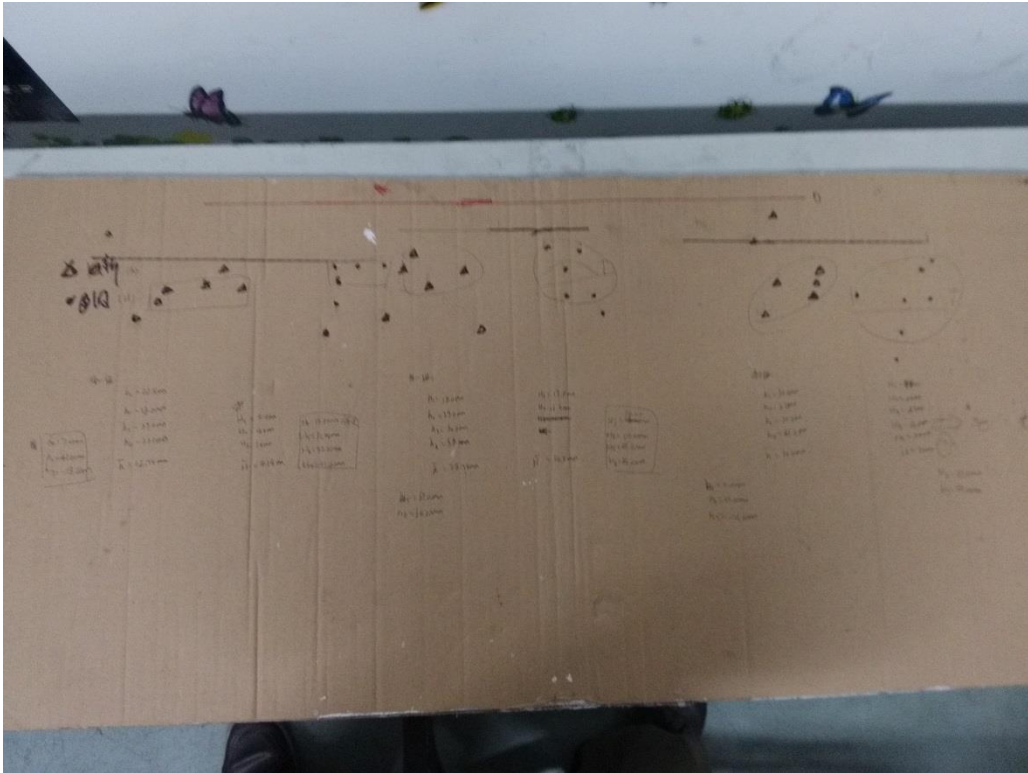
- (1) **外观：**较老式子弹而言，新子弹在表面涂有一层类似硅胶的外膜，使得其软化，弹性增加。老子弹没有外膜，硬度更大。
- (2) **重量：**新老子弹都是 2.5g/个
- (3) **外形：**新旧子弹都是 $\Phi 17$ ；

二、 撞击实验

实验思路：由于暂时没有设计光电测试的方案，短时间就利用子弹的弹道轨迹来判断其速度，进而总结出新旧子弹的冲击量，稳定性差异。

实验方案：用一张硬纸板（箱子旁边的耳朵）黏在墙上，通过同一距离同一角度的连续射击（场地不平，用水平仪校正位置），统计新旧子弹在竖直方向的位移，对比新旧子弹的速度，冲击量，稳定性；计划新旧子弹各做三组实验，每组 6 枚子弹。

实验结果：情况如图：（三角形—新子弹 h；圆形—旧子弹 H）



数据显示：（枪口摩擦轮与纸板直线距离 197mm）

（1）第一组： h1=18.00mm; H1=13.00mm;

h2=29.00mm; H2=16.00mm;

h3=30.00mm; H3=30.00mm;

h4=38.00mm; H4=50.00mm;

h5=69.00mm; H5=49.00mm;

h6=64.00mm; H6=64.00mm;

（2）第二组： h1=29.50mm; H1=12.00mm;

h2=25.00mm; H2=11.00mm;

h3=34.00mm; H3=10.50mm;

h4=27.00mm; H4=22.00mm;

h5=14.00mm; H5=38.00mm;

h6=50.00mm; H6=60.00mm;

	h7=-11.00mm;	H7=48.00mm;
(3) 第三组:	h1=30.00mm;	H1=40.00mm;
	h2=21.00mm;	H2=44.00mm;
	h3=30.00mm;	H3=42.00mm;
	h4=41.00mm;	H4=14.00mm;
	h5=21.00mm;	H5=20.00mm;
	h6=55.00mm;	H6=69.00mm;
	h7=-21.00mm;	H7=88.00mm;

其中，蓝色标识的是抖动影响严重的数据。

(由于手抖，第二三组多了一个子弹= =)

下面以稳定性，冲击量，速度来处理新旧子弹的测试结果：

(1) 速度：我们看到子弹的每组数据差异性很大，故我们取稳定区间的几组数据进行分析（非蓝色区域）；得到三组平均值：

第一组：h=28.75mm； H=19.67mm；

第二组：h=29.375mm； H=13.875mm；

第三组：h=28.6mm； H=17.0mm；

三组数据平均值也存在差异，由于对初射角度时存在误差以及连续射击时的抖动造成数据的误差较大，像第一组的老子弹数据，为了更好地分析，我们把三组进行加权，得：

$$h1=28.9163mm; \quad H1=16.7073mm;$$

由此可见，H1 大概是 h1 的 1/2 倍，说明新子弹在速度方面逊于老子弹。

如果忽略表面材料不同的影响以及重力落弹的初速度相同，摩擦轮给的两种子弹的初速度应该是相同的，而存在的误差让我不是很理解。后来经过询问一位学过空气动力学的同学知道，子弹的自旋量在子弹周围产生的湍流对子弹的速度影响很大，这就跟第三部分稳定性有很大关系，越不稳定的射击速度损失也就越大。

关于速度的准确计算，本来算了一个计空阻系数的 S_x, S_y 的计算公式，但是没有考虑湍流的影响，也算劳动成果我就贴出来了(==):

$$F_{阻} = \frac{1}{2} C_{\rho} S v^2 = k v^2$$

其中空气阻力系数: $C_{球} = 0.5$; $\rho_{球} = 1.29 \text{kg/m}^3$; $S = 2\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$;

$D = 17\text{mm}$; $g = 9.81 \text{kg/s}^2$

故:

$$k = 2.9280 \times 10^{-4}$$

由 $F = ma$, 得:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv^2$$

求该微分方程:

$$\int \frac{dv}{mg - kv^2} = \int \frac{dt}{m}$$

初始条件: $v_{t=0} = 0 \text{m/s}$, 故 $C_1 = 0$

特解为:

$$t = \frac{1}{2g} \sqrt{\frac{k}{mg}} \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{k}{mg}} v}{1 - \sqrt{\frac{k}{mg}} v}$$

令 $a = \sqrt{\frac{k}{mg}} = 0.1093$, 即:

$$v = \frac{e^{\frac{2g}{a}t} - 1}{a(e^{\frac{2g}{a}t} + 1)} = \frac{ds}{dt}$$

积分有:

$$s = \int ds = \int v dt = \int \frac{e^{\frac{2g}{a}t} - 1}{a(e^{\frac{2g}{a}t} + 1)} dt = \frac{1}{g} [\ln(e^{\frac{2g}{a}t} + 1) - \frac{g}{a}t] + C_2$$

初始条件为: $s_{t=0} = 0m$, 故 $C_2 = -\frac{1}{g} \ln 2$; 即:

$$s_y = \frac{1}{g} [\ln(e^{\frac{2g}{a}t} + 1) - \frac{g}{a}t - \ln 2]$$

同理 x 轴方向满足:

$$m \frac{dv}{dt} = -kv^2$$

初始条件: $v_{t=0} = v_0$, 故

$$\int \frac{dv}{v^2} = - \int \frac{k}{m} dt$$

得: $C_3 = -\frac{1}{v_0}$

$$\frac{1}{v} = \frac{\frac{k}{m} v_0 t + 1}{v_0}$$

而

$$\frac{ds}{dt} = v = \frac{v_0}{\frac{k}{m} v_0 t + 1}$$

令 $b = \frac{k}{m} = 0.11712$, 则:

$$s = \int ds = \int \frac{1}{bt + \frac{1}{v_0}} dt = \frac{1}{b} \ln(bv_0t + 1)$$

即：

$$s_x = \frac{1}{b} \ln(bv_0t + 1)$$

$$s_y = \frac{1}{g} \left[\ln \left(e^{\frac{2g}{a}t} + 1 \right) - \frac{g}{a}t - \ln 2 \right]$$

测试结果显示： $s_x = 197\text{mm}$ 时， $s_{yh} = 28.9163\text{mm}$ ， $s_{yH} = 16.7073\text{mm}$

代入数据后，计算结果为： $t_h = 0.0396\text{s}$ ， $t_H = 0.0259\text{s}$

$$v_h = 5.1\text{m/s}$$
， $v_H = 7.7\text{m/s}$

这个速度是出弹口的速度，之前的速度在腔内损失了。

(2) 冲击量：从速度的结论来说，以及直观地观察弹坑深浅，可以知道新子弹的杀伤力弱于旧子弹。但不清楚主要影响其杀伤力的是速度差异还是硬度差异；

(3) 稳定性：我们看到子弹的每组数据差异性很大，我们采用需要计算它们的相关性来判断他们的稳定情况；

运用 `stata11` 对新旧子弹的所有数据进行 F 分析，如下：

新子弹：

. reg var1 var3

Source	SS	df	MS			
Model	687.69032	1	687.69032	Number of obs =	20	
Residual	8092.44718	18	449.580399	F(1, 18) =	1.53	
Total	8780.1375	19	462.1125	Prob > F =	0.2321	
				R-squared =	0.0783	
				Adj R-squared =	0.0271	
				Root MSE =	21.203	

var1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
var3	-1.016917	.8222291	-1.24	0.232	-2.744357	.710522
_cons	40.35263	9.849605	4.10	0.001	19.65938	61.04588

相关系数: R1=0.0783; F1=1.53

旧子弹:

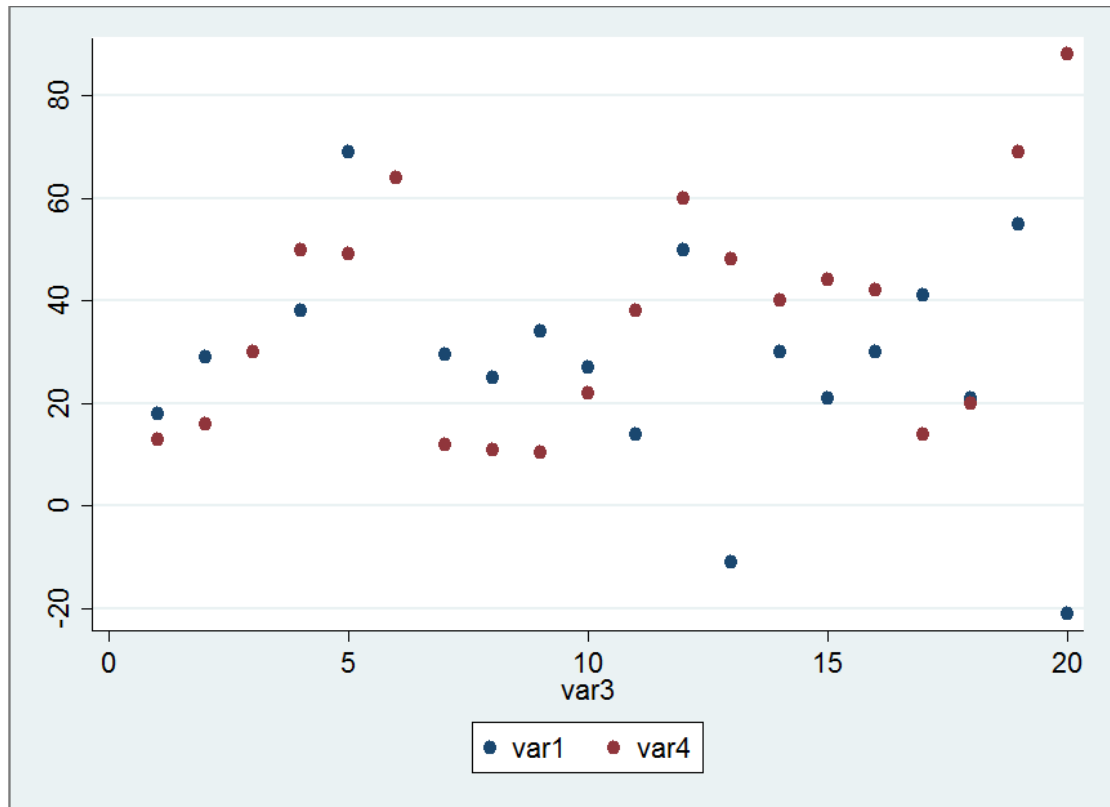
. reg var4 var3

Source	SS	df	MS			
Model	1498.50085	1	1498.50085	Number of obs =	20	
Residual	8014.73665	18	445.263147	F(1, 18) =	3.37	
Total	9513.2375	19	500.696711	Prob > F =	0.0832	
				R-squared =	0.1575	
				Adj R-squared =	0.1107	
				Root MSE =	21.101	

var4	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
var3	1.501128	.8182717	1.83	0.083	-.2179973	3.220253
_cons	21.26316	9.802199	2.17	0.044	.6695025	41.85681

相关系数: R2=0.1575; F2=3.37;

由于相关系数旧子弹大于新子弹, F 值看也是, 所以新子弹的稳定性
 低于旧子弹, 散点图如下:



Var1—新子弹； Var4—旧子弹；

三、 结论

实验表明，新子弹与旧子弹相比，出枪之后的速度小于旧子弹，所以杀伤力有所减小，速度之所以有差别，有可能是因为材料，不过因为实验忽略了材料，所以这里的原因应该是稳定性低，在枪管内自旋厉害也就加大了自振动频率，导致速度损失厉害。

但是由于新子弹的硬度变小，子弹的卡弹现象有所缓解，原先老子弹 6 发以内会卡弹，新子弹大概可以坚持到 7-9 发才有一次卡弹，且出现不多。