

催泪弹延期时间定型试验方案设计与分析

单永海

王国华

(西安交通大学 陕西西安)

(白城兵器试验中心)

摘要：本文运用均匀设计方法对催泪弹延期时间定型试验方案进行了设计与分析，得到了理想的设计方案及相应的数学模型。

关键词：催泪弹；延期时间；试验方案；均匀设计；回归分析

1 前言

在现行催泪弹定型试验中，有许多方案均采用全面设计方案，耗弹量较多。例如，延期时间测试试验是在三种气压（10、8、6kPa）三种气温（45、20、-30）组合下做全面试验，即每次试验均需做9个试验点，每个试验点要消耗20至50枚弹药，耗费较大^[1]。

本文将运用均匀设计方法，对该产品该项定型试验方案重新进行优化设计，研究并建立相应的数学模型，进行相关数据分析，最终确定出科学合理的试验设计方案，建立可对试验范围内任一给定的试验点的试验结果进行预测且具有足够预报精度的数学模型。

2 试验设计与分析

为确定出具有代表性的试验设计方案，本文任选两种不同型号催泪弹加以研究。

2.1 ***催泪弹

其定型试验中的延期时间测试试验结果摘录如下表（见表2.1.1）。

在该项试验中，只有温度 X_1 （ ） 压力 X_2 （ $\times 10^4 p_a$ ）两个因素，每个因素各三个水平，其水平数编号分别如下：

表 2.1.1 定型试验数据

温度：1（-30） 2（20） 3（45）

压力：1（6） 2（8） 3（10）

从小子样考虑，首选三点设计方案。结果表明，无论采用线性回归还是二次回归、无论采用哪种变量筛选方法，

温度 \ 压力	-30	20	45
6	3.59	3.39	<u>3.29</u>
8	3.55	3.28	<u>3.15</u>
10	3.44	3.20	3.18

均得不到理想的数学模型，因素及方程均不显著，无意义。

显然，三点设计方案不能满足试验要求（分析过程略）。为此，进行六点设计尝试。根据均匀设计理论^[2]，经过优化并筛选后的六点设计方案共有如下两种。

2.1.1 方案一

2.1.1.1 试验设计

其试验点的分布情况见表 2.1.1.1。

表 2.1.1.1 试验点分布

$X_1 \backslash X_2$	-30	20	45
6			
8			
10			

表 2.1.1.2 方案设计及其试验结果

N_o	X_1	X_2	Y_0	N_o	X_1	X_2	Y_0
1	-30	8	3.55	4	20	8	3.28
2	-30	10	3.44	5	45	6	3.29
3	20	6	3.39	6	45	10	3.18

2.1.1.2 数据分析

按表 2.1.1.1 设计方案，将上述试验点的各因素的水平值及其试验结果列入表 2.1.1.2。

首先采用线性回归。

采用前进法、最优子集法、逐步回归法以及自选变量法进行变量筛选，均得到如下结果：

2.1.1.3 回归方程

项次	系数	F-值	显著性
C	3.6606800	2427.498	Y
X_1	-0.0039840	73.331	Y
X_2	-0.0324000	13.303	Y

2.1.1.4 回归结果

序号	拟合值	残差值	序号	拟合值	残差值
1	3.52100	0.02900	4	3.32180	-0.04180
2	3.45620	-0.01620	5	3.28700	0.00300
3	3.38660	0.00340	6	3.15740	0.02260

复相关系数 $R=0.9804$ ，残差标准差 $S=0.0336$ ， $F = 37.0645 > F_{\alpha}(0.05) = 9.55$ ，

显著，回归

程有意义。其数学模型为：

$$y = 3.6606800 - 0.0039840x_1 - 0.0324000x_2$$

为进一步检验该模型的预报精度，选另外三点进行结果预报（见表 2.1.1.5）。

综合表 2.1.1.4、2.1.1.5 预报结果，按该设计方案所得到的残差总平均值为 0.0248。

延期时间 Y 随温度 X_1 、压力 X_2 变化的曲线分别见图 2.1.1.1、2.1.1.2。拟合图见图 2.1.1.3。

表 2.1.1.5 预报结果

N_o	X_1	X_2	Y_u	残差
1	-30	6	3.58580	0.0042
2	20	10	3.25700	0.057
3	45	8	3.22220	0.072

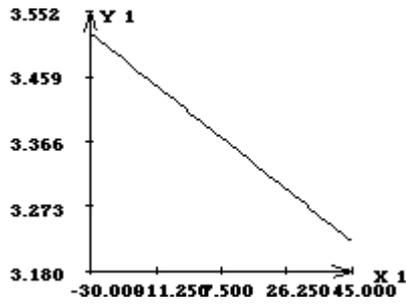


图 2.1.1.1

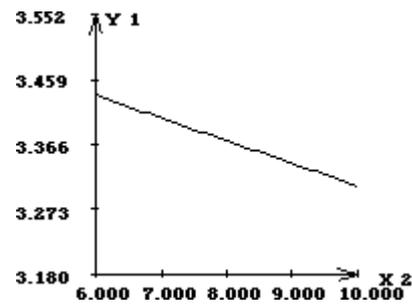


图 2.1.1.2

再选用二次回归。在求取数学模型过程中，无论采用何种变量筛选方法进行变量筛选，所得到的结果均不如采用线性回归结果理想（略）。

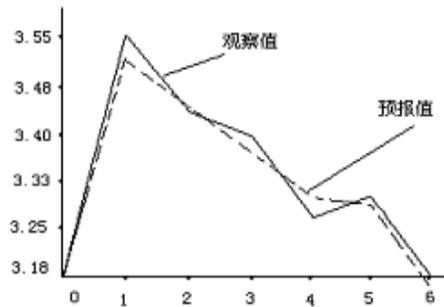


图 2.1.1.3

2.1.2 方案二

2.1.2.1 试验设计

其试验点的分布情况见表 2.1.2.1。

表 2.1.2.1 试验点分布

X_2	X_1		
	-30	20	45
6			
8			
10			

表 2.1.2.2 方案设计及其试验结果

N_o	X_1	X_2	Y_0	N_o	X_1	X_2	Y_0
1	-30	8	3.55	4	20	10	3.20
2	-30	10	3.44	5	45	6	3.29
3	20	6	3.39	6	45	8	3.15

2.1.2.2 数据分析

按表 2.1.2.1 设计方案，将上述试验点的各因素水平值及其试验结果列入表 2.1.2.2。

通过进行线性回归分析、采用前进法进行变量筛选，得到如下结果：

2.1.2.3 回归方程

项次	系数	F-值	显著性
C	3.8155059	9019.151	Y
X_1	-0.0050635	412.313	Y
X_2	-0.0524706	121.438	Y

2.1.2.4 回归结果

序号	拟合值	残差值	序号	拟合值	残差值
1	3.54765	0.00235	4	3.18953	0.01047
2	3.44271	-0.00271	5	3.27282	0.01718
3	3.39941	-0.00941	6	3.16788	-0.01788

复相关系数 $R=0.9964$ ，残差标准差 $S=0.0166$ ， $F = 206.8832 > F_{\alpha}(0.05) = 9.55$ ，显

著，回归方程有意义。其数学模型为：

$$y = 3.8155059 - 0.0050635x_1 - 0.0524706x_2$$

为进一步检验该模型的预报精度，选另外三点进行结果预报（见表 2.1.2.5）。

综合表 2.1.2.4、2.1.2.5 预报结果，按该设计方案所得到的残差总平均值为 0.0241。

延期时间 Y 随温度 X_1 、压力 X_2 变化的曲线图分别见图 2.1.2.1、2.1.2.2。拟合图见图 2.1.2.3。

表 2.1.2.5 结果预报表

N_o	X_1	X_2	Y_u
1	-30	6	3.65259
2	20	8	3.29447
3	45	10	3.06294

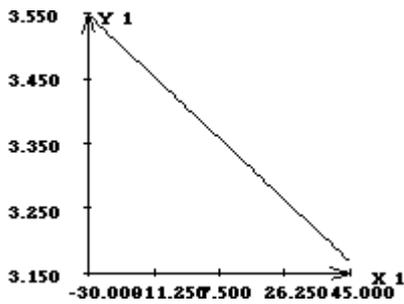


图 2.1.2.1

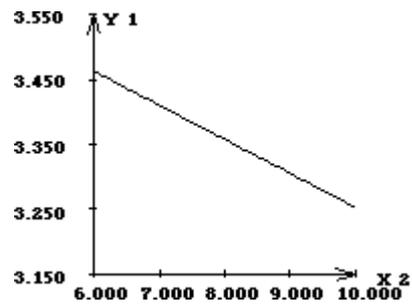


图 2.1.2.2

再采用线性回归中的其它变量筛选方法以及选用二次回归分析方法，所得到的结果均不如采用线性回归、前进法所得到的结果理想（略）。

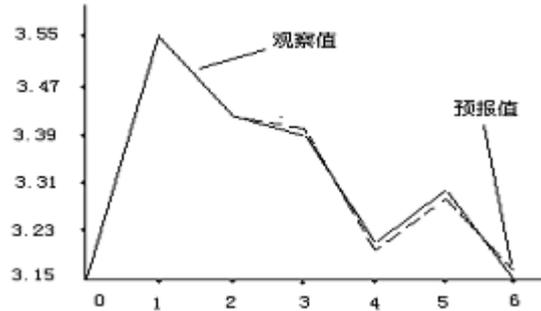


图 2.1.2.3

从上述预报及拟合结果均可看出，方案二的设计结果较为理想。

2.2 ###催泪弹

其定型试验数据如表 2.2.1 所示。

表 2.2.1 定型试验数据

温度 \ 压力	-30	20	45
6	3.59	3.39	<u>3.29</u>
8	3.55	3.28	<u>3.15</u>
10	3.44	3.20	3.18

表 2.2.2 方案设计及其试验结果

N_o	X_1	X_2	Y_0	N_o	X_1	X_2	Y_0
1	-30	8	3.55	4	20	8	3.47
2	-30	10	3.51	5	45	6	3.55
3	20	6	3.59	6	45	10	3.33

其因素、水平及其编号同 2.1 条。

从小子样考虑，首选三点设计方案。但通过几种三点方案的设计分析结果表明，三点方案均达不到试验要求，此处不再赘述。而直接进行六点方案设计与分析。

2.2.1 方案一

该方案即如表 2.1.1.1 所示方案。将试验设计点的因素水平值及其试验值代入表 2.2.2。

在此基础上进行数据分析。

其主要分析结果如下：

2.2.1.1 回归方程

项次	系数	F-值	显著性
C	3.8205200	6028.906	Y
X_1	0.0018240	1.732	N
X_2	-0.0387000	46.708	Y
X_1X_2	-0.0004200	7.289	N

2.2.1.2 回归结果

序号	拟合值	残差值
1	3.55700	-0.00700
2	3.50480	0.00520
3	3.57440	0.01560
4	3.48020	-0.01020
5	3.55700	-0.00700
6	3.32660	0.00340

复相关系数 $R=0.9944$ ，残差标准差 $S=0.0156$ ， $F = 58.5620 > F_{\alpha}(0.05) = 19.1600$ ，

显著，回归方程有意义。其数学模型为：

$$y = 3.8205200 + 0.0018240x_1 - 0.0387000x_2 - 0.0004200x_1x_2$$

为进一步检验该模型的预报精度，仍选上述三点进行结果预报（见表 2.2.1.3）：

综合表 2.2.1.2、2.2.1.3 预报结果，按该设计方案所得到的残差总平均值为 0.0606。

延期时间 Y 随温度 X_1 、压力 X_2 变化的曲线图分别见图 2.2.1.1、2.2.1.2。

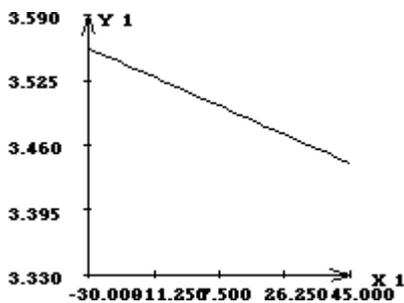


图 2.2.1.1

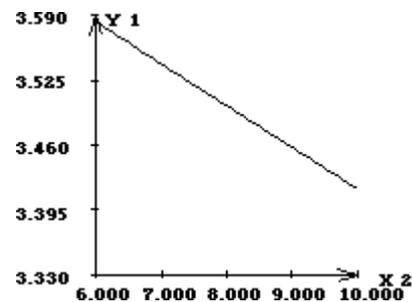


图 2.2.1.2

拟合图见图 2.2.1.3。

表 2.2.1.3 结果预报表

N_o	X_1	X_2	Y_u	残差
1	-30	6	3.60920	0.0192
2	20	10	3.38600	0.1860
3	45	8	3.44180	0.2918

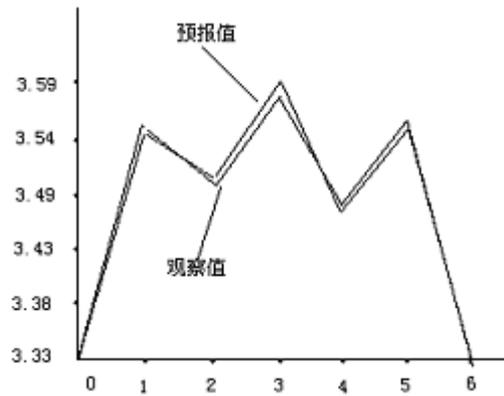


图 2.2.1.3

2.2.2 方案二

该方案即如表 2.1.2.1 所示方案。将试验设计点的因素水平值及其试验值代入表 2.2.2.1。

表 2.2.2.1 方案设计及其试验结果

N_o	X_1	X_2	Y_0	N_o	X_1	X_2	Y_0
1	-30	8	3.55	4	20	10	3.42
2	-30	10	3.51	5	45	6	3.55
3	20	6	3.59	6	45	8	3.43

其回归分析结果如下：

表 2.2.2.2 回归方程

项次	系数	F-值	显著性
C	4.2373437	1188372.976	Y
X_2	-0.1426790	19144.244	Y
X_1^2	-0.000072	1244.449	Y
X_1X_2	-0.0001868	126311.159	Y
X_2^2	0.0064981	10100.338	Y

表 2.2.2.3 回归结果

序号	拟合值	残差值
1	3.55011	-0.00011
2	3.50990	0.00010
3	3.58989	0.00011
4	3.42010	-0.00010
5	3.55011	-0.00011
6	3.42998	0.00011

复相关系数 $R=1.0000$ ，残差标准差 $S=0.0003$ ，
 $F = 83026.2984 > F_{\alpha}(0.05) = 225.0000$ ，显著，回归方程有意义。其数学模型为：

表 2.2.2.4 结果预报表

N_o	X_1	X_2	Y_u	残差
1	-30	6	3.64232	0.05232
2	20	8	3.47900	0.1990
3	45	10	3.36164	0.18164

$$y = 4.2373437 - 0.1426790x_2 - 0.000072x_1^2 - 0.0001868x_1x_2 + 0.0064981x_2^2$$

为进一步检验该模型的预报精度，仍选上述三点进行结果预报（见下表）：

综合表 2.2.2.3、2.2.2.4 预报结果，按该设计方案所得到的残差总平均值为 0.0482。

延期时间 Y 随温度 X_1 、压力 X_2 变化的曲线图分别见图 2.2.2.1、2.2.2.2。

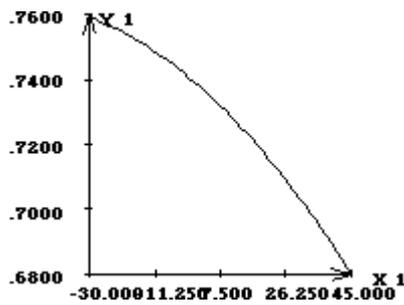


图 2.2.2.1

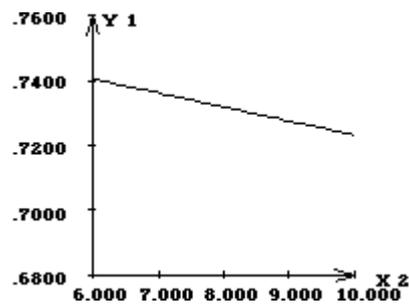


图 2.2.2.2

拟合图见图 2.2.2.3。

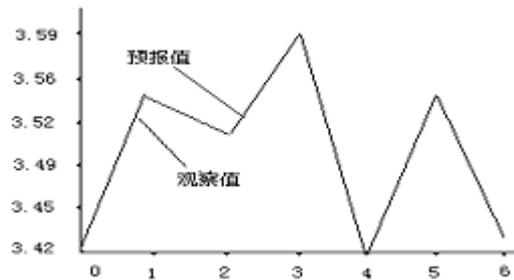


图 2.2.2.3

从图 2.2.2.3 看出，预报值与观察值吻合得非常理想。

从上述预报及拟合结果均可看出，方案二的设计结果较为理想。

通过以上两种型号催泪弹的方案设计与分析，不难看出，按第二方案进行设计是比较科学合理的，所得到的模型对任选试验点的预报结果比较稳定且误差较小，且能够满足试验要求。

3 结论

本文通过试验设计及分析，得到了进行该产品定型试验的最佳设计方案及相应的数学模型。由此可见，只要方案设计合理，就能得到理想的设计结果；通过数据分析，能够建立起满足试验要求的且具有足够精度的数学模型，从而达到减少试验消耗、缩短试验周期、满足试验质量的目的。

参考文献

- 1 张义长. GJB349. 3—87. 白城：国防科工委军标出版社发行部，1987.
- 2 方开泰. 均匀设计与均匀设计表. 北京：科学出版社，1994.