用相似准数统计方法处理装药撞击起爆模拟实验数据*

陈　力，丁雁生
（中国科学院力学研究所，北京 100080）

摘要：用相似准数构造刺激量，根据不同撞击条件起爆的实验结果，用最大似然法在正态假设下估计刺激量的期望和方差，并对处理结果进行讨论。把炸药装药撞击起爆实验数据视同刺激量不重复的感度试验数据，用最大似然法处理炸药实验数据。结果表明炸药装药撞击起爆模拟实验相似律存在；用相似准数统计方法可以处理实验数据。

关键词：相似准数；撞击起爆；统计方法

1 引　言

大口径后膛炮的膛炸，是困扰我国兵器工业多年的老大难问题。为此，我国对含气隙炸药装药的撞击起爆进行了大量实验研究。

炸药是在外界的作用下才点火起爆的，刺激量是引起炸药点火起爆作用量的一种度量。本文中根据不同撞击条件起爆的实验结果，用相似准数构造刺激量，用最大似然法在正态假设下估计刺激量的期望和方差，并对处理结果进行讨论，验证含气隙炸药装药在撞击下起爆的相似律。

2 实验简介

该实验主要是大质量落锤从一定的高度自由落体后撞击在两传力柱上，在传力柱上可以测量撞击压力；在两传力柱间有含有一定厚度气隙的炸药，传力柱和炸药均装入钢制套筒内。下传力柱顶在与大地相连的大质量砧座上。

由于重锤质量远远超过其它各部件的质量，所以把所有的质量概括为重锤的质量，并视为刚体，把各种材料的弹性概括为一个弹簧，这样形成一个弹簧振子系统，可以得到炸药弹性体最大应力和系统周期。

3 刺激量不重复感度数据的最大似然法处理

把炸药装药撞击起爆实验数据视同刺激量不重复的感度试验数据，用最大似然法估计其分布参数的期望，并给出估计分布参数的方差。这里，基本假设是各次试验独立且同分布。

按照按文献[1]的分析结果，在$\frac{p_m}{p_a}\sim\frac{p_a\delta^2}{k_e T_c t_m}$无量纲平面上应存在着炸药装药“响”与“不响”的等概率分界线，其物理意义是炸药表面的最高温度的等值线。这里 p_m 为载荷特征峰值，t_m 为载荷特征时间，p_a 为实验前气隙的压力，δ 为气隙厚度，k_e 为实验前气隙的热传导系数，T_c 为炸药的临界起爆温度。

定义刺激量 $X=\ln P+\lambda\ln\Delta$，其中 $P=\sqrt{\frac{MH}{LD^2}}$，$\Delta=\frac{\delta^2 D}{\sqrt{ML}}$，式中 D 为炸药试样的直径，L 为炸药试样的长度，M 为落锤的质量，H 为落锤的落高。这个刺激量的物理意义是$\frac{p_m}{p_a}\sim\frac{p_a\delta^2}{k_e T_c t_m}$无量纲平面上炸药表面的最高温度等值线对数的经验公式。

假设在该刺激量作用下，试样“响”与“不响”为正态分布。令 $u=\frac{X-\mu}{\sigma}$，则利用误差函数 $\mathrm{erf}(x)=$

---

* 作者简介：陈　力（1964—　），男，副研究员。

$\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\tilde{\sigma}} e^{-t^2}\,dt$，可得“响”与“不响”的概率

$$p=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{y^2}{2}}\,dy=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\mathrm{erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right)$$

$$q=1-\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{u} e^{-\frac{y^2}{2}}\,dy=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\mathrm{erf}\left(\frac{u}{\sqrt{2}}\right)$$

用最大似然法求出参数 λ、μ、σ 的估计值 $\hat{\lambda}$、$\hat{\mu}$、$\hat{\sigma}$，即求出的参数估计值 $\hat{\lambda}$、$\hat{\mu}$、$\hat{\sigma}$ 应使目标函数 $\Phi=C+\sum_{i=1}^{k}(n_i\ln p_i+m_i\ln q_i)$ 最大，$n_i+m_i=1$。

4 与实验数据对比

从数据处理结果看，文献[1]的模型与实验大致相符；实验中试样“响”与“不响”本身的数据散布还是比较大的，其主要原因可能是“漏气”和试样装配“松紧”不一致。

5 结 论

把炸药装药撞击起爆实验数据视同刺激量不重复的感度试验数据，设刺激量为 $X=\ln P+\lambda\ln\Delta$，用最大似然法处理实验数据。结果表明炸药装药撞击起爆模拟实验相似律存在；用相似准数统计方法可以处理实验数据。

参考文献：

[1] 陈力，丁雁生. 含气体间隙装药撞击实验起爆模型[R]. 北京：中国科学院力学研究所研究报告，2001.