

炸药装药的发射起爆概率与质量限定条件初探

丁雁生¹, 陈力¹, 刘宝光²

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080;

2. 北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 讨论火炮发射时炮弹炸药装药的发射起爆概率, 寻找制订炮弹炸药装药质量限定条件的方法

关键词: 炸药; 膛炸; 概率; 质量限定条件

1 膛炸概率的分解

中大口径后膛炮的膛炸是偶然事故。由于膛炸发生机会很小, 其统计近于普查, 即把许多生产批的数以十万、百万计的炮弹在使用中打尽, 才能积累获得某种炮弹的膛炸概率。这使膛炸研究长期陷于困境。另外, 由损毁决定的观察试验的不可重复性, 更增加了膛炸研究的难度。

现代概率论把概率定义为一种集函数, 侧重于事件集合的概率运算。这种定义指出了研究膛炸的另一途径——膛炸事件的分解。

膛炸, 不仅与炮弹的炸药装药有关, 还与发射药、引信、弹体、火炮有关。这五个因素, 或单独作用, 或互相影响, 使膛炸情况变化多端, 错综复杂。本文中只从炸药装药发射安全性评估角度对膛炸事件的分解和膛炸概率的运算作一初步描述。

设炮弹膛炸记作随机事件 A , 其概率为 $P(A)$ 。炮弹膛炸只能源于炮弹发射时能爆炸的物质。于是, 事件 A 的发生只有三类情况: (1) 炮弹的炸药装药爆炸, 记作随机事件 B_1 ; (2) 炮弹引信的传爆系列爆炸, 记作随机事件 B_2 ; (3) 发射炮弹的火药爆炸, 记作随机事件 B_3 。

随机事件 B_1, B_2, B_3 中任一件发生, 均意味发生膛炸, 即有 $A = B_1 \cup B_2 \cup B_3 = \bigcup_{i=1}^3 B_i$ 。于是, 膛炸概率为 $P(A) = \sum_{i=1}^3 P(B_i) - P(B_1 \cap B_2) - P(B_2 \cap B_3) - P(B_3 \cap B_1) + P(B_1 \cap B_2 \cap B_3)$ 。

就炸药装药发射安全性而言, 需对随机事件 B_1 进一步分解。它有两种情况: (1) 发射惯性力作用于炸药装药导致爆炸, 记作随机事件 C ; (2) 不是因为发射惯性力, 而是由于其他的作用导致炸药装药爆炸, 记作随机事件 \bar{C} 。例如, 发射时弹体开裂, 炙热的火药气体侵入弹内, 导致炸药装药爆炸。于是, $P(B_1) = P(C) + P(\bar{C})$, 称 $P(C)$ 为炸药装药发射起爆概率。

2 炸药装药发射起爆的条件概率问题

60 年代初, Campbell^[1] 指出, 凝聚炸药中存在的缺陷是导致爆炸的主要条件。先是美国的, 然后是其西方国家和前苏联的研究者, 都顺着这条线索大体解决了炸药装药发射安全性评估问题。

本文中从概率论角度分析他们的做法。记炸药装药出现缺陷为随机事件 D ; 炸药装药受到冲击载荷作用为随机事件 E 。事件 D, E 的同时出现是事件 C 得以发生的条件。 D, E 彼此独立, 于是

$$P(C) = P(D)P(E)P(C | (D \cap E))$$

式中: $P(C | (D \cap E))$ 为炸药装药的条件起爆概率。可见, 发射起爆概率 $P(C)$ 虽然特别小, 但是, 概率 $P(D), P(E)$ 以及 $P(C | (D \cap E))$ 却可以比较大, 因此有可能用实验方法研究炸药装药的条件起爆概率。这一思路, 是关于炸药装药发射安全性的研究方法的一个重要基础。

炸药装药可能有多个缺陷。如果只计作用概率最大的一个缺陷 D^* , 则有

$$P(C) = P(D^*)P(E)P(C | (D^* \cap E))$$

现在能做的是, 用模拟实验测定 $P(C | (D^* \cap E))$, 从而找到 D^* 的取值——炸药装药质量限定条件。

3 炸药装药的条件起爆概率统计和质量限定条件预测

获得含气隙装药发射起爆概率和产品质量限定条件,是个数理统计课题,包含三个环节:(1)统计模型;(2)统计试验;(3)统计预测。

3.1 统计模型

研究含气隙装药发射起爆和撞击起爆间的相似性质,找到相似条件^[2]。假定总体——装药的发射起爆和撞击起爆——的分布是正态的。

3.2 统计试验

用大型落锤撞击起爆模拟发射起爆。给定气隙厚度和落锤质量,调节落锤高度,做了大量试验。然后,在满足装药发射起爆和撞击起爆间相似的前提下,利用试验数据,在相似准数对数正态假设下,按最大似然法^[3]估计炸药装药条件起爆概率 $P(C|(D^* \cap E))$ 的分布参数^[4]。

3.3 统计预测

考查 $P(C|(D^* \cap E))=50\%$ 时的撞击载荷峰值 p_m 和底隙厚度 D_m ,发现 D^* 的取值 D_m 足够小时, E 峰值 p_m 非常大,以至于实际发射时这样大的撞击载荷已经不可能出现,即 $P(E) \rightarrow 0$ 。于是,炸药装药发射起爆概率的估计值趋于零。

使 $P(E) \rightarrow 0$ 的 D_m 值,就是最危险缺陷 D^* 的上界。可据此制订炸药装药的质量限定条件。

4 结 论

(1) 炮弹膛炸是特小概率事件,与炮弹的炸药装药有关,还与发射药、引信、弹体、火炮有关。分解随机事件,将炸药装药发射起爆概率 $P(C)$ 表述为,缺陷存在概率 $P(D)$ 、载荷发生概率 $P(E)$ 、给定缺陷和载荷时炸药装药起爆的条件概率 $P(C|(D \cap E))$ 的乘积,从而把寻找特小概率 $P(C)$ 转换为寻找较大概率 $P(C|(D \cap E))$ 。这是用模拟实验研究炸药装药发射安全性的一个重要理论基础。

(2) 确定最危险的炸药装药缺陷,实验测定炸药装药撞击起爆概率,并用相似律分析实验数据。在撞击载荷峰值-底隙尺度平面上考查 $P(C|(D^* \cap E))=50\%$ 的变化规律,针对最危险的缺陷,在正态假设下,可以对炸药装药质量限定条件作出合理判断。

参考文献:

- [1] Campbell A W, et al. Shock initiation of solid explosives[J]. Physics Fluids, 1961, 4: 511.
- [2] 丁雁生, 陈力. 炮弹炸药装药发射起爆相似律[R]. 北京: 中国科学院力学研究所, 2000.
- [3] 刘宝光. 敏感性数据分析与可靠性评定[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [4] 陈力, 丁雁生. 用相似准数统计方法处理炸药装药撞击起爆模拟实验数据[R]. 北京: 中国科学院力学研究所, 2000.