

文章编号: 1003-1480 (2009) 05-0025-02

# 弹药侵彻混凝土的火工品环境力分析

张静伟

(兵器科学研究院, 北京, 100089)

**摘要:** 为了研究弹药侵彻过程中的火工品受力环境, 通过文献和实弹试验结果, 分析了弹药侵彻单层混凝土目标时火工品承受的过载加速度值、过载持续时间和过载波形特性。37~100mm 口径弹药以 300~450m/s 侵彻目标时, 加速度峰值在 15 000g~50 000g, 过载持续时间集中在 4~5ms。侵彻混凝土和钢筋混凝土 (2% 钢筋率) 目标时过载特性和过载值基本相同。火工品在弹药侵彻过程中将承受交替的压缩和拉伸的应力波作用, 同时也承受低频减速过载作用。

**关键词:** 火工品; 弹药; 侵彻; 混凝土; 加速度

中图分类号: TJ450 文献标识码: A

## Environment Analysis of Initiating Explosive Device in Projectile Penetrating into Concrete

ZHANG Jing-wei

(Ordnance Science and Research Academy of China, Beijing, 100089)

**Abstract:** Acceleration, loading time and profile characteristics of acceleration were analyzed to research shock environment of initiating explosive device in the process of projectile penetrating into concrete. Results showed that acceleration peak and loading time are 15 000g~50 000g and 4~5ms respectively in 37~100mm cargo projectiles with 300~450m/s penetrating velocity. The acceleration characteristics and strength of penetration are similar between concrete and armored concrete. Initiating explosive device will endure high frequency stress wave induced by structure of projectile and low frequency deceleration.

**Key words:** Initiating explosive device; Ammunition; Penetration; Concrete; Acceleration

目前对火工品力学环境的研究主要是通过搭载数据采集装置的弹药进行实弹射击<sup>[1-2]</sup>、通过对弹药的侵彻过程数值模拟<sup>[3-4]</sup>和空气炮模拟试验<sup>[5]</sup>等方式获得。实弹射击最能够反映实际情况, 但是成本高昂; 数值模拟计算可以详细知道各点的过载信息, 但准确性较低; 空气炮是介乎实弹射击和数值模拟之间的方法。

为了获得弹药侵彻过程中的过载特性, 本文将在文献分析的基础上, 结合部分实弹射击试验结果获得弹丸侵彻混凝土靶板时火工品的过载环境的数据和过载特性, 为耐高过载火工品模拟试验方法的建立提

供依据。

## 1 火工品的过载特性分析

采用火炮发射和弹载数据采集技术获得了弹丸侵彻混凝土靶板和钢筋混凝土靶板的加速度过载数据, 见表 1。从表 1 中的数据得出以下结论: 侵彻速度在 300~450m/s 时, 过载加速度峰值在 13 000g~54 000g 之间, 过载时间集中在 4~5ms 之间, 采用滤波后的过载值为 13 000g~20 000g。实测的 100mm 口径

收稿日期: 2009-09-02

作者简介: 张静伟 (1977-), 男, 工程师, 主要从事火工品的型号和预研项目的技术管理工作。

炮射弹丸对典型侵彻混凝土和钢筋混凝土的侵彻过

载加速度波形如图 1 所示。

表 1 弹药侵彻混凝土靶板的过载加速度峰值

靶板结构参数	弹丸口径/重量 /(mm·kg <sup>-1</sup> )	侵彻速度 /(m·s <sup>-1</sup> )	加速度峰值 ×g	过载时间 /ms	备注
无限靶板(机场跑道)	76.2/13	139	6 000	3.9	文献[2]
无限靶板(机场跑道)	76.2/13	314	16 000	4.0	文献[2]
无限靶板(机场跑道)	76.2/13	313	13 000	4.2	文献[2]
无限靶板(机场跑道)	76.2/13	449	17 000	5.0	文献[2]
3m×3m×3m	100/25	455	20 000	4.5	文献[6]
2m×2m×2m(钢筋率 2%)	100/--	452	15 000	5.0	文献[1]
3m×3m×3m	100/25	454	54 000	4.0	实测
3m×3m×3m(钢筋率 2%)	100/25	447	41 000	5.0	实测

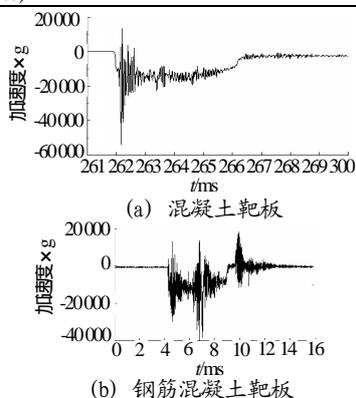


图 1 弹丸侵彻混凝土及钢筋混凝土靶板的过载加速度——时间曲线

Fig.1 Acceleration—time history of 100mm projectile penetrating into armored concrete and concrete

加速度——时间曲线由高频波和低频波两个部分组成。高频加速度波主要由弹体结构所致，侵彻过程中冲击形成的应力波在弹丸中传播和反射，形成若干压缩波和拉伸波<sup>[5]</sup>，这种高频波叠加有可能导致包括火工品在内的引信失效<sup>[7]</sup>。侵彻混凝土和钢筋混凝土靶板的过载加速度波形在高频部分差异较大，但是低频部分十分相似，其中低频部分反映出弹丸在侵彻过程中的减速度特性。过滤因为弹体结构导致的高频波成分后加速度峰值有所降低，真实地反映了侵彻减速度特性，见图 2<sup>[4]</sup>。

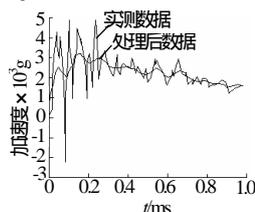


图 2 原始和高频滤波后的侵彻过载加速度——时间特性比较

Fig.2 Acceleration—time history of real and filter data by high frequency

## 2 讨论和结论

在弹药侵彻混凝土和含 2% 钢筋率的混凝土的目标过程中将产生由弹药结构导致的高频过载加速度波和由弹药减速形成的低频过载加速度波。在动态过载下，火工品将不仅承受惯性减速的应力作用，而且还要承受冲击应力波的作用。

中大口径弹药以 300~450m/s 的速度侵彻混凝土和钢筋混凝土的过程中形成的过载加速度峰值在 13 000g~54 000g，脉冲持续时间在 4~5ms 之间。如果不考虑弹体结构对应力环境的影响，火工品将承受 13 000g~20 000g 的过载。这一过载强度远低于行业普遍认为的 100 000g。

钢筋混凝土中的钢筋能够加强目标的力学强度，但是在弹药侵彻研究结果发现钢筋混凝土和混凝土导致的过载特性和强度基本相同。这一结果也说明了动态侵彻作用下钢筋混凝土和混凝土导致的火工品力学环境相似。

### 参考文献：

- [1] 周宁,任辉启,沈兆武,等. 侵彻钢筋混凝土过程中弹丸过载特性的实验研究[J]. 实验力学,2006,21(5):572-578.
- [2] Forrestal M J, Frew D J. Penetration of concrete targets with deceleration-time measurements[J]. Int J Impact Engng, 2003,28(6):479-497.
- [3] 韩丽,高世桥,李明辉,刘海鹏. 弹丸垂直贯穿混凝土靶的数值研究[J]. 北京理工大学,2006,26(11):953-956.
- [4] 纪冲,龙源,万文乾. 弹丸侵彻钢纤维混凝土数值模拟[J]. 解放军理工大学学报 自然科学版,2005,6(5):459.
- [5] 刘小虎,刘吉,王乘,党瑞荣. 弹丸低速垂直侵彻无钢筋混凝土的试验研究[J]. 爆炸与冲击,1999,19(4):323-328.
- [6] 任辉启,何翔,刘瑞朝. 弹体侵彻混凝土过载特性研究[J]. 土木工程学报,2005,38(1):110-116.
- [7] Christopher M A, Edwards T S. Projectile load duds fuse[C]// NDIA 48th Annual Fuze Conference.Charlotte, N.C.:NDIA, 2004.