

doi: 10.7690/bgzd.2022.07.017

基于有限元仿真的引信末弹道适应性研究

姚江涛¹, 张侃²

(1. 中国人民解放军 91550 部队, 辽宁 大连 116023;

2. 湖北三江航天红林探控有限公司第一设计室, 湖北 孝感 432000)

摘要: 针对引信弹道适应性问题, 以美军“战斧”对地攻击巡航导弹为例, 采用有限元仿真和数值计算相结合的方式, 研究导弹末端弹道意外触地、落水 2 种极限工况下引信的弹道适应性问题。研究结果表明: 意外触地条件下, 引信感受到的过载较大, 能可靠起爆战斗部; 意外落水条件下, 引信感受到的过载较小, 存在不能起爆战斗部的可能; 该研究方法可供引信设计和生产单位借鉴。

关键词: 数值仿真; 引信; 战斗部; 弹道适应性

中图分类号: TJ761.6 **文献标志码:** A

Research on Fuse Terminal Trajectory Adaptability Based on Finite Element Simulation

Yao Jiangtao¹, Zhang Kan²

(1. No. 91550 Unit of PLA, Dalian 116023, China;

2. No. 1 Designing Office of Hubei Sanjiang Aerospace Honglin Exploration and Control Co., Ltd., Xiaogan 432000, China)

Abstract: Aiming at the problem of fuse trajectory adaptability, taking the “Tomahawk” ground-attack cruise missile as an example, the finite element simulation and numerical calculation were used to study the fuse trajectory adaptability under the 2 extreme conditions of missile terminal trajectory accidental touchdown and falling into the water. The results show that under the condition of accidental touchdown, the overload felt by the fuse is larger, and the warhead can be detonated reliably; under the condition of accidental falling, the overload felt by the fuse is smaller, and the warhead can not be detonated; the research method can be used for reference by fuse design and production units.

Keywords: numerical simulation; fuse; warhead; ballistic adaptability

0 引言

引战系统是导弹的有效载荷。战斗部通过爆炸产生的冲击波超压、高速破片、结构振动等毁伤元达到有效毁伤目标的作战目的^[1]。引信通过设置合理的过载阈值, 用于确保导弹勤务处理过程中的安全性, 以及末端弹道起爆战斗部的适时性和可靠性。引信弹道适应性是引信研制、生产以及使用全寿命过程中必须重视的问题^[2]。笔者以美军“战斧”对陆攻击巡航导弹为例, 从末端弹道环境入手进行分析, 采用有限元仿真与数值计算相结合的方法研究导弹意外触地、落入水体 2 种工况下引信的弹道适应性问题。

1 引信末端弹道仿真计算

1.1 导弹末端弹道环境

简化后的“战斧”巡航导弹由制导舱、战斗部舱、推进装置舱、尾舱等部分组成^[3]。战斗部舱由

钝感炸药高效战斗部、引信室、硬目标机动型引信和压螺等组成^[4]。导弹按照简化模型设置配重, 其中战斗部按照中心对称简化, 引信简化为一个多极圆柱实体。导弹简化后的几何模型如图 1 所示。

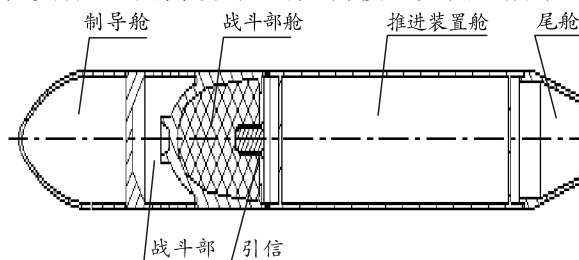


图 1 导弹的简化模型

依据文献[4], 处于末端弹道时“战斧”导弹的攻击速度约为 0.68 Ma (232.1 m/s)。设定导弹以与水平面夹角 5°、攻角 4°的方向入射, 按照导弹意外触碰山体坡面和意外落水 2 种工况研究引信的末端弹道适应性问题。设定山体坡度 30°, 目标简化为 2 m 厚的压实岩土, 强度 20 MPa。由此, 导弹意外

收稿日期: 2022-03-11; 修回日期: 2022-04-18

作者简介: 姚江涛(1979—), 男, 山西人, 硕士, 工程师, 从事反舰导弹、对陆攻击导弹引战系统试验鉴定与毁伤评估研究。

E-mail: yjt19790422@163.com。

触地时的着角为 60°，意外击水时的着角为 85°。

1.2 触地过程仿真计算

采用 LS-DYNA 软件建立导弹意外触地的数值模型，计算采用 cm-g- μ s 单位制。采用 contact_eroding_surface_to_surface 算法^[5]，计算了导弹触地 30 ms 的侵彻过程。导弹触地的侵彻过程如图 2 所示。

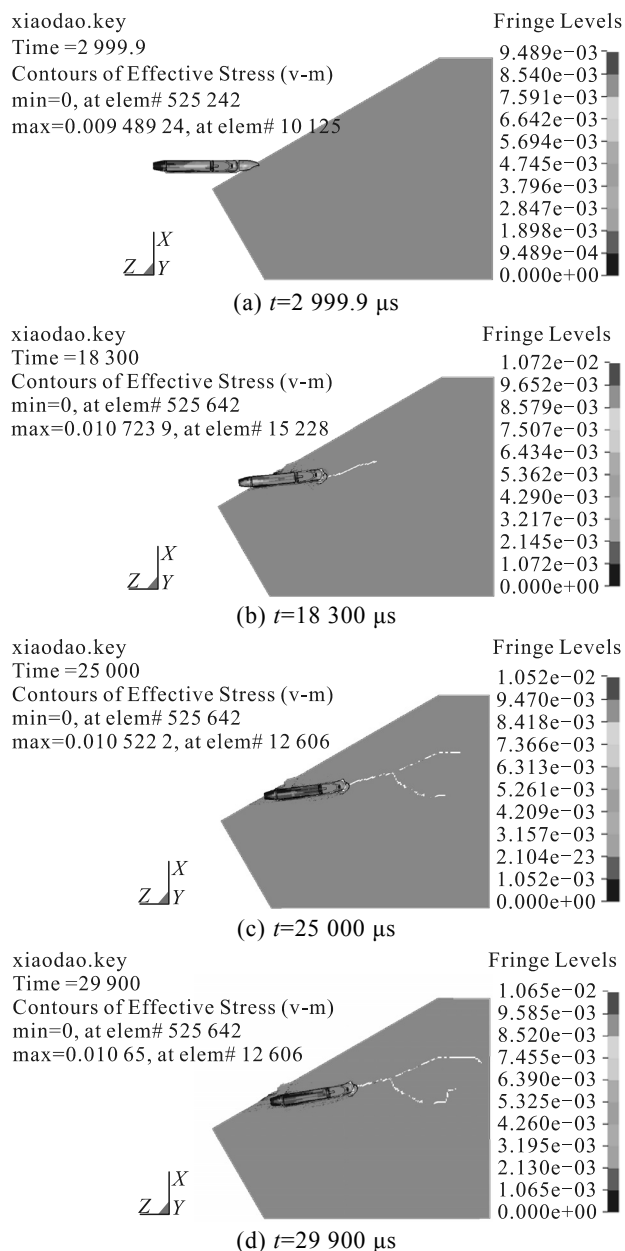


图 2 导弹触地的侵彻过程

采用 LS-DYNA 专用后处理软件 LS-PREPOST 读入仿真计算产生的 d3plot、d3thdt 等历程文件，处理后得到触地 30 ms 后，导弹水平位移约为 5.2 m，剩余速度约为 92 m/s，战斗部承受的峰值过载 4 200 g、稳定过载 1 820 g，引信峰值过载 11 300 g、

稳定过载 4 780 g。

1.3 落水过程仿真计算

采用 LS-DYNA 软件建立导弹落入水体的数值模型，计算采用 cm-g- μ s 单位制。采用流固耦合算法^[6]，空气、水体采用欧拉网格、导弹采用拉格朗日网格^[7]，计算了导弹落入水体 60 ms 的运动过程，如图 3 所示。

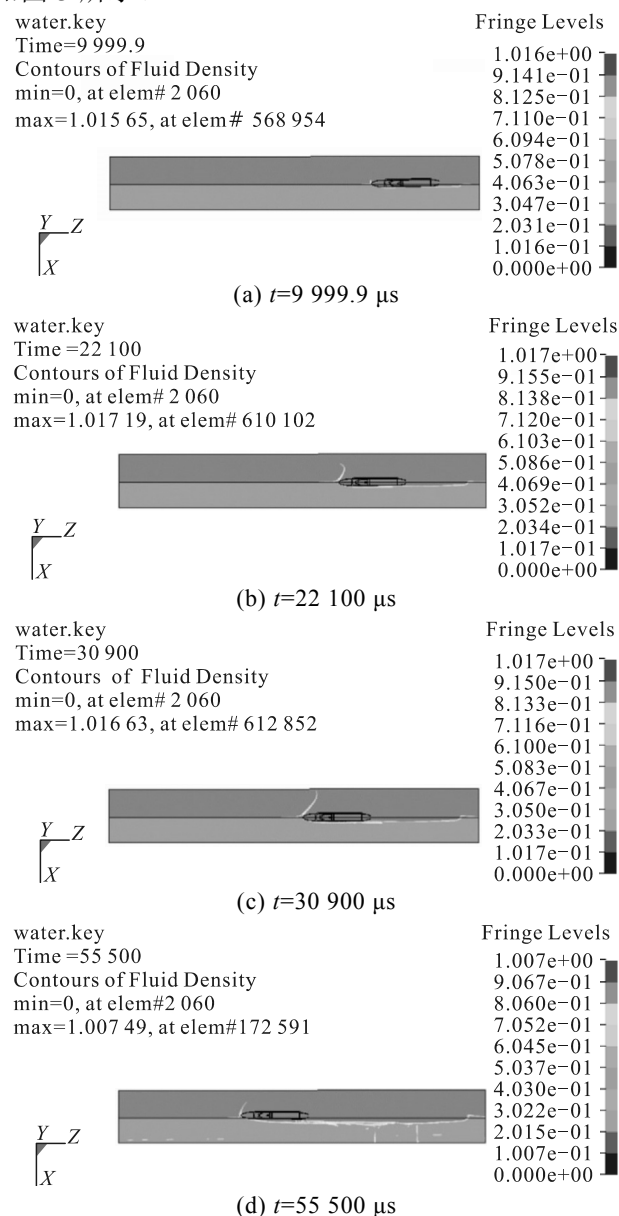


图 3 导弹落水的运动过程

采用 LS-DYNA 专用后处理软件 LS-PREPOST 读入仿真计算产生的 d3plot、d3thdt 等历程文件，处理后得到落水 60 ms 后，导弹水平位移约为 11.2 m，剩余速度约为 161 m/s，战斗部承受的峰值过载 420 g、稳定过载 127 g，引信峰值过载 339 g、稳定过载 125 g。

2 引信惯性开关响应分析

2.1 引信惯性开关响应特性

硬目标机动型引信通过惯性闭合器感受导弹撞击目标的终点弹道环境，任意方向感受到的平均过载大于设计值时，则启动发火控制电路，通过传爆序列放大后起爆战斗部^[8]。惯性闭合器采用双浮动和双弹簧匹配设计，具有万向触发功能，如图 4 所示。惯性闭合器开关闭合时，惯性体运动位移不小于 1.5 mm，此时引信起爆战斗部。

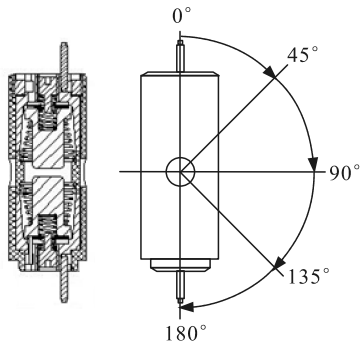


图 4 惯性闭合器结构及作用方向

根据惯性闭合器工作原理，双浮动惯性体受力运动方程为：

$$M(d^2/dt^2)x(t) = M.a(t) - K.x \quad (1)$$

式中： M 为惯性筒质量； $a(t)$ 为导弹侵彻山体或落入水体过程中引信受到的过载； K 为弹簧刚度系数； x 为惯性体运动位移； t 为运动时间。

将惯性筒质量、弹簧刚度系数和导弹触地、落水过程中引信受到的过载代入惯性体受力运动方程。采用龙格库塔数值法求解微分方程^[9]，得到惯性闭合器内部惯性体的位移曲线。

2.2 触地过程引信响应分析

根据导弹触地过程的仿真计算结果，将触地过程中引信受到的过载作为输入激励，代入式(1)计算得到惯性体运动行程曲线，如图 5 所示。

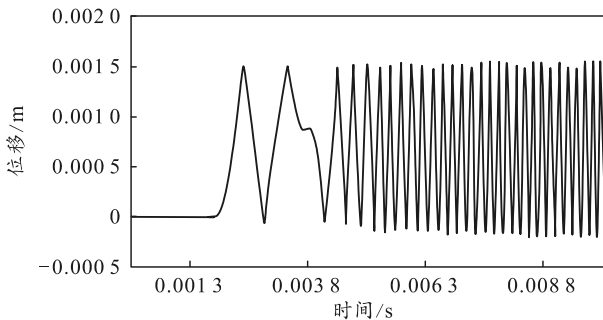


图 5 触地过程引信惯性体运动行程曲线

根据惯性体运动行程曲线分析，从导弹头部触

碰山坡开始到惯性闭合器惯性体运动行程达到 1.5 mm，引信响应时间约为 3 ms。3 ms 之后，惯性体在初始位置和闭合位置之间连续多次碰撞，表示惯性开关能够可靠闭合。因此，当导弹以 0.68 Ma (232.1 m/s)、速度方向与水平面夹角 5°、攻角 4°、触碰约为 30° 的山坡时，引信感受到的惯性过载能够满足触发条件，可以正常起爆战斗部。

2.3 落入过程引信响应分析

根据导弹落水过程的仿真计算结果，将落水过程中引信受到的过载作为输入激励，代入惯性体受力运动方程，计算得到惯性体运动行程曲线，如图 6 所示。

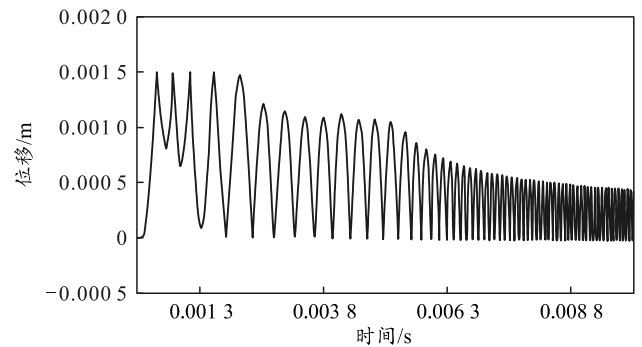


图 6 落水过程引信惯性体位移响应曲线

根据惯性体运动行程曲线分析，从导弹头部击水开始到惯性闭合器惯性体运动位移达到 1.5 mm，引信响应时间约为 5 ms。5 ms 之后，惯性体在初始位置和闭合位置之间只有几次碰撞，表示惯性开关能够闭合，但已经处于闭合的极限条件，闭合的裕度有限。当导弹以 0.68 Ma (232.1 m/s)、速度方向与水平面夹角 5°、攻角 4° 击水时，引信感受到的惯性过载较小。如导弹的落水姿态、速度相比设定的末端弹道环境发生变化，则引信惯性闭合器存在无法闭合，不能正常起爆战斗部的可能。

3 结论

研究表明：导弹飞行弹道末端如出现飞控故障，可能会触地或落水。导弹触地过程中引信感受到的侵彻过载较大，惯性体运动位移可确保惯性闭合器闭合，引信能够可靠起爆战斗部；导弹落水过程中引信感受到的侵彻过载较小，惯性体运动位移与惯性闭合器闭合阈值接近，引信的作用裕度不大，存在引信惯性闭合器不能可靠闭合，无法正常起爆战斗部的可能。该方法可供引信论证、设计和生产单位借鉴。