

版权所有，转  
载请注明出处

文件号：HIFAR-FMGK-0098

# 毁伤效能评估与分析

作者：田金峰

## 目录

1	背景概述.....	3
2	侵彻爆破战斗部.....	4
2.1	侵彻爆破战斗部建模理论.....	4
2.2	侵彻爆破战斗部算法列表.....	7
2.3	侵彻爆破战斗部算法.....	7
3	杀爆战斗部.....	9
3.1	杀爆战斗部建模理论.....	9
3.2	算法列表.....	11
3.3	杀爆战斗部算法.....	13
4	聚能装药战斗部.....	14
4.1	聚能装药战斗部建模理论.....	14
4.2	聚能装药战斗部算法列表.....	16
4.3	聚能装药战斗部算法.....	17
5	杆式动能战斗部.....	20
5.1	杆式动能战斗部建模理论、.....	20
5.2	杆式动能弹侵彻算法列表.....	20
5.3	杆式动能战斗部.....	21
6	目标易损性分析.....	22
6.1	大型水面舰艇.....	22
6.2	地下工事.....	23
6.3	导弹阵地.....	25
6.4	装甲车辆.....	26

# 1 背景概述

武器系统的目的是对目标实行高效毁伤，能否有效毁伤目标是衡量武器完成打击任务的最终标志。战斗部作为导弹武器系统的有效载荷和最终执行毁伤目标任务的重要分系统，其毁伤效应和毁伤能力直接决定导弹武器系统的作战效能，甚至很大程度上影响战争的进程和结局。

近些年来随着高新武器装备的快速发展，高效毁伤战斗部设计技术和水平得到快速提高，研制了大量新型战斗部，战术性能也达到新的高度。但由于战斗部设计时对目标的毁伤效应分析不到位，不重视战斗部对目标的毁伤效能，同时缺乏对目标易损性、毁伤准则以及毁伤作用效应的深入研究，导致战斗部毁伤元设计具有一定的盲目性，战斗部实战毁伤性能不佳，这从部分军事演习和飞行靶试非预定环境下武器性能表现不佳的情况得以体现。因此，必须研究各类战斗波的毁伤效应，评估其目标毁伤能力，从而发挥其高效毁伤能力，提高作战规划水平，指导实际作战。

美国国防部认为，要评估一个国家在未来冲突中的态势，首先要能精确的评估各类目标的特征和各种武器的杀伤力，即战场目标在预定武器打击下的毁伤效应分析。美国借助杀伤力研究的不断深入，形成了大量研究成果，将其融入开发了多种先进的毁伤效应分析与评估系统，并不断完善其功能性能，战斗部毁伤效应分析与评估能力达到较高水平，为其武器装备的发展和作战应用提供了强有力的支撑，包括在武器装备规划、系统论证与总体设计、战斗部杀伤力方案选择与威力确定、武器作战使用与效能评估、武器性能试验与靶场验收，以及目标的防护设计与改进等方面发挥着极其重要的作用。

战斗部毁伤效能分析与评估研究及其相应的技术创新是制约战斗部及武器系统发展的关键问题。

我国战斗部研发除了缺乏类似国外的毁伤效应分析与评估手段之外，还缺乏动态毁伤试验验证数据以及支撑毁伤效应分析与评估的材料静动态力学性能数据库，目标特性数据库和战斗部数据库，且评估多以静态威力场为主，难以准确实现战斗部静爆威力数据与动态毁伤分析能力的转化与对接。要准确的评估战斗部的实战性能并能够给出科学合理的结论，还缺乏有效的手段和充分的数据支撑。

分析战斗部的毁伤效能，主要面临着以下三个方面的问题：

1. 毁伤效应测试方法与大数据欠缺规范和统一，急需深入发掘、整合和科学利用

各种战斗部研制和技术研究过程中，积累了大量战斗部威力试验数据和毁伤效应试验数据，但是数据较为零散，格式不统一，处理方法不规范，数据未能实现有效整合，导致数据未能得到充分利用。

2. 战斗部动毁伤效应分析与评估的理论模型、试验依据和测试方法不足

当前，毁伤效应评估主要使用国外软件，国外软件的算法和基础理论缺乏深入了解，所使用工程算法的精度缺乏分析和比较，未能实现多种毁伤元的耦合计算和试验验证，导致目前毁伤分析与快速预估的准确性缺乏依据。

试验手段和测试方法不能满足有效、可靠测试战斗部动爆条件下动态多效应毁伤元的时空分布参数的要求，如针对动爆超压测试时超压场分布不均、方向性强、爆点位置不确定、伴随有高速破片等特点，现有测试手段无法满足动态冲击波超压空间分布测试的要求；此外大量破片群的空间参数仍难以有效测试。

3. 缺乏高精度和实用化的毁伤效应分析与评估软件

国内毁伤数据库、毁伤效应计算软件、试验验证相互独立，未实现毁伤数据及算法的有效集成，毁伤评估未充分考虑弹目交会的影响，导致评估结果存在较大差距。

那么，我们怎么解决这些问题呢？接下来的内容，为大家慢慢揭开。

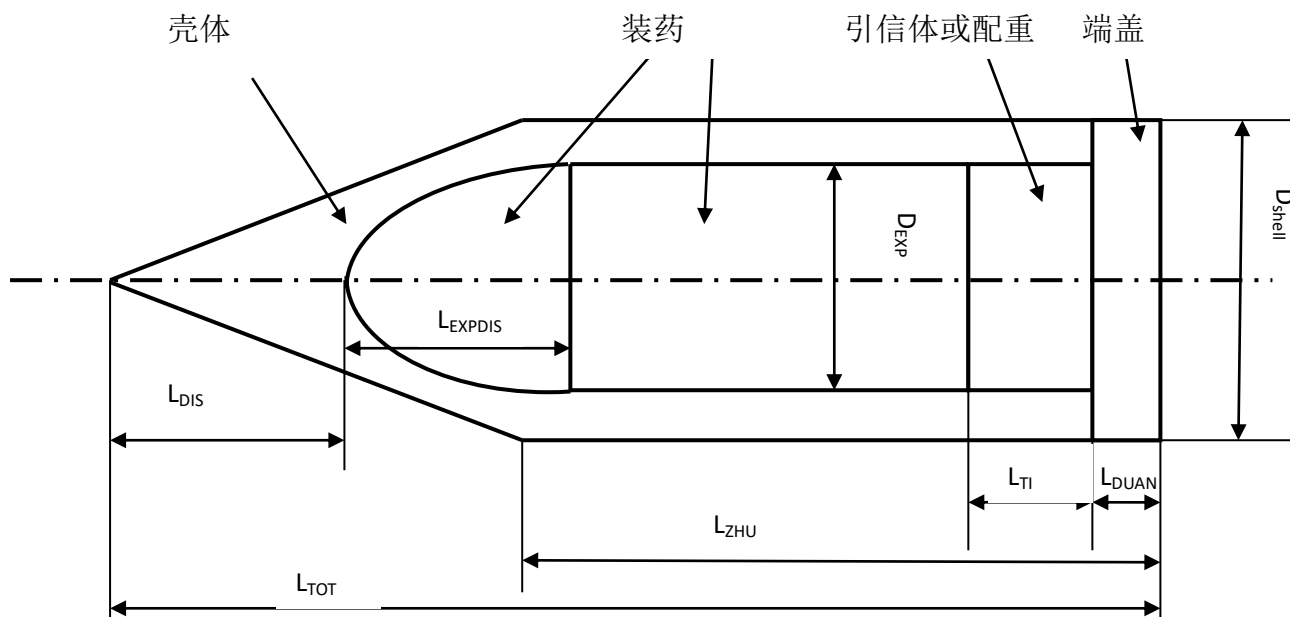
## 2 侵彻爆破战斗部

该部分描述了侵彻爆破战斗部的参数化建模，是毁伤分析与评估系统的理论基础，通过这个文档，读者可以了解毁伤分析与评估系统的理论架构。

### 2.1 侵彻爆破战斗部建模理论

弹体采用简化结构，主要包含卵形、截卵形、锥形和截锥形四种。

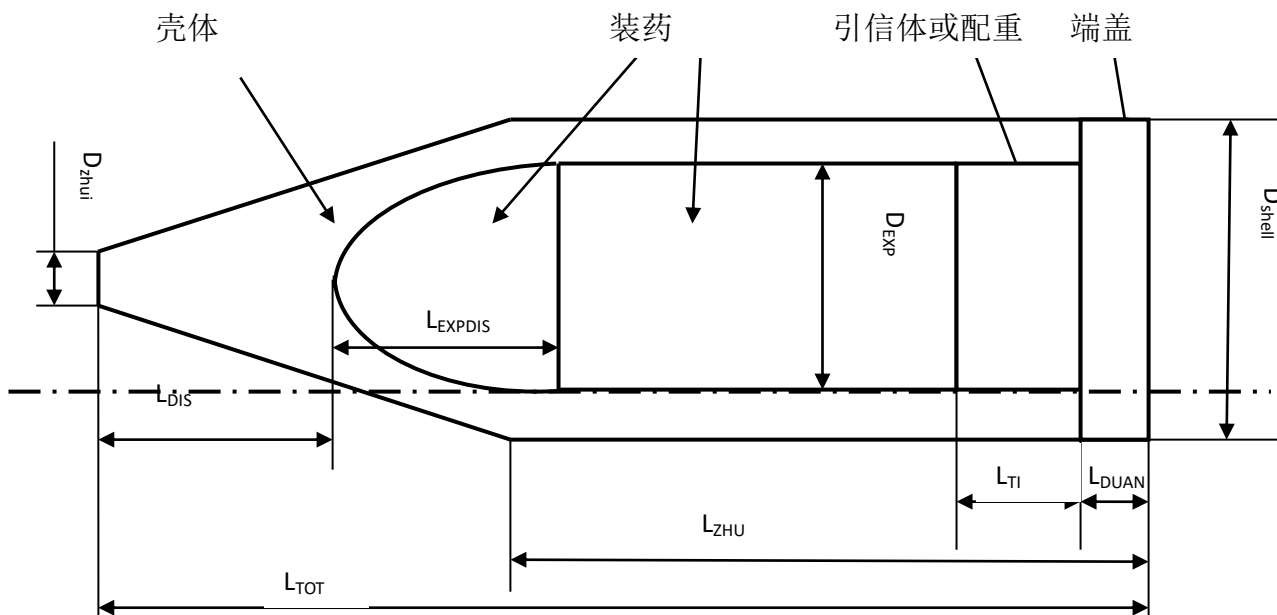
具体结构示意图如下：



锥形弹体结构尺寸图解

这里面，装药的直径给出后，壳体的厚度可以由壳体直径减去装药直径除以 2 得到。同样，可以计算出装药长度等数据。

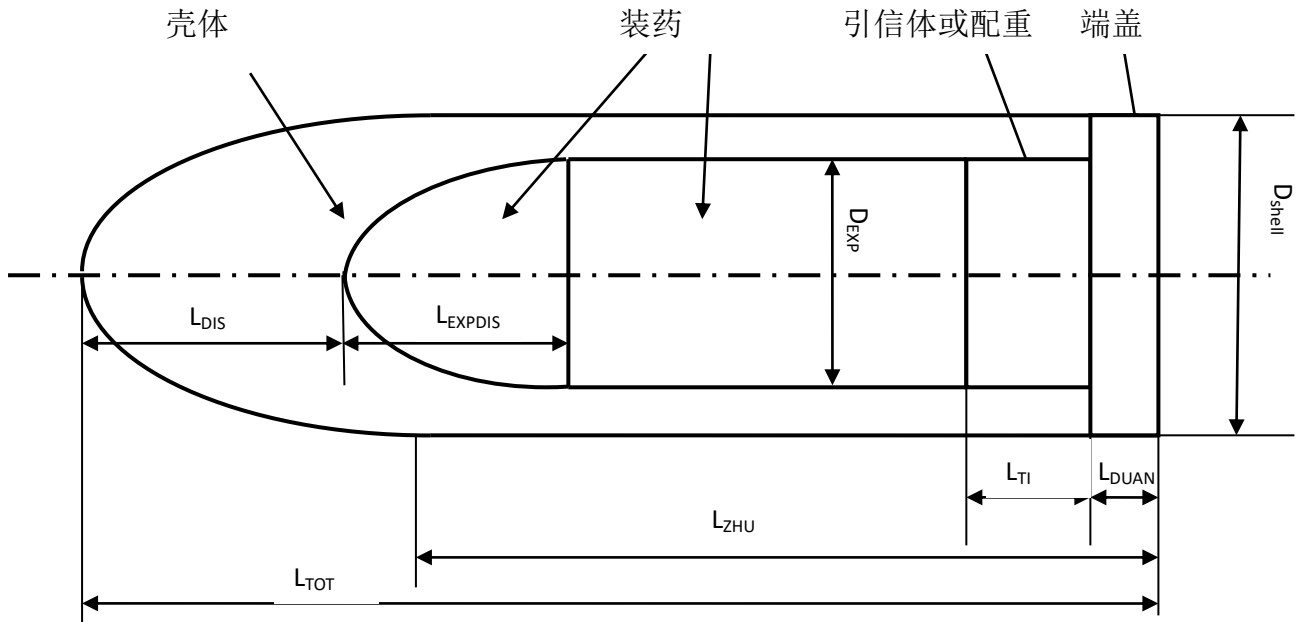
实际设计中，装药和壳体之间有一薄层隔热层，这里不予考虑。装药中间的隔板也不考虑。



截锥形弹体结构尺寸图解

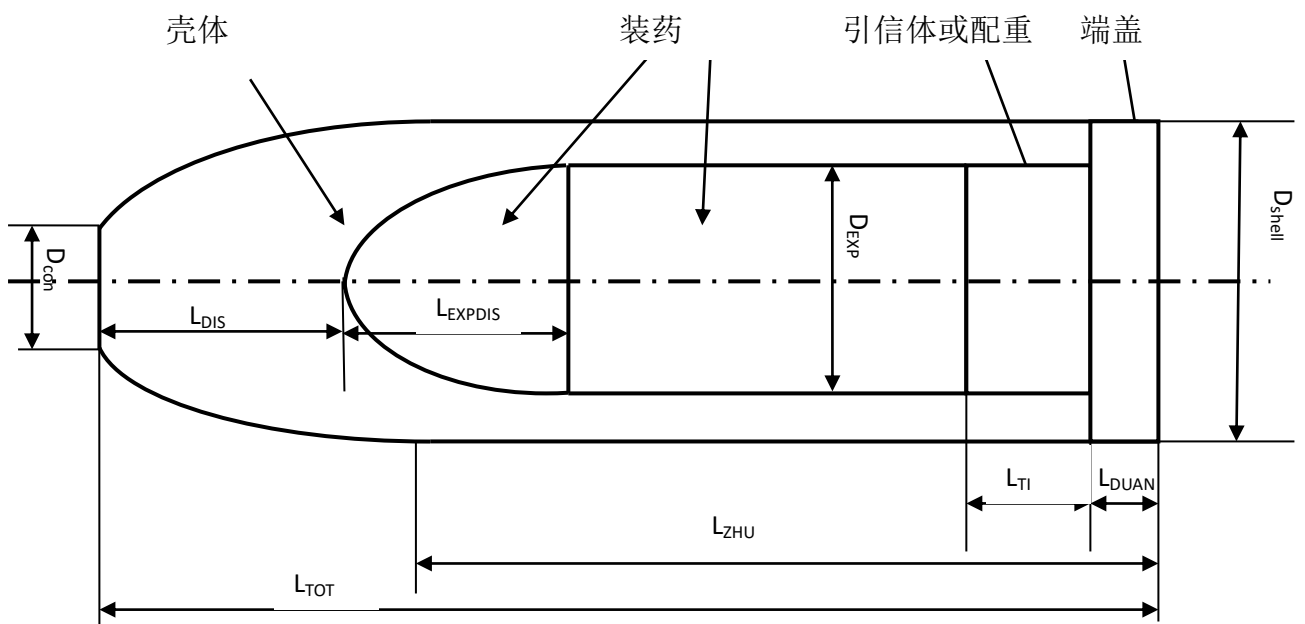
相比于锥形弹体，截锥形弹体头部被截取，因此多了一个截锥的头部直径

参数。



卵形弹体结构尺寸图解

这里面，壳体头部的圆弧半径是直接和壳体空心圆柱体部分相切的，壳体头部的圆弧半径与弹体直径的比值又称之为 CRH，这个值一般在  $2\sim 3.5$  之间。



## 2.2 侵彻爆破战斗部算法列表

序号	技术协议中的需求	理论文档	算法
1	脆性介质（主要是混凝土和钢筋混凝土）正侵彻极限穿深、极限穿透速度	《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》	杨氏公式
		《混凝土介质极限贯穿厚度公式》	靶板厚度与穿深经验公式
2	混凝土靶非正侵彻极限穿深、极限穿透速度	《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》	杨氏公式
		《攻倾角侵彻概念和修正公式》	倾角修正经验方程
3	单一均质钢板靶极限穿深、极限穿透速度、战斗部姿态	《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》	贝尔金公式
4	多层大间隔钢板靶极限穿深、极限穿透速度、战斗部姿态	《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》	缺少贯穿靶板后的弹体姿态角和弹体姿态算法

## 2.3 侵彻爆破战斗部算法

### 1. 混凝土靶极限穿深

Young 公式是用于混凝土、岩石和非冻土的侵彻公式，该公式形式为：

$$X = 0.3SN(W/A)^{0.7} \ln(1 + 2 \times 10^{-5} V^2) \quad V < 200 \text{ ft/s} \quad (8)$$

$$X = 0.00178SN(W/A)^{0.7} (V - 100) \quad V \geq 200 \text{ ft/s} \quad (9)$$

式中，X 以 ft 为单位。当弹体为锥形体时，横截面积 A 按平均直径计算。当采用尾部扩大的弹体时，只在扩大部分与目标接触期间的侵彻部分，按平均直径计算 A 值。

算法详细描述参见文档：《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》

### 2. 钢板靶极限穿透速度

贝尔金公式将靶板和弹丸材料的机械性能反映在穿甲公式中。它的形式为

$$v_b = 6060 \sqrt{K_2 \sigma_s (1 + \varphi)} \frac{d^{0.75} \cdot h_0^{0.7}}{q^{0.5} \cos \theta_c} \quad (10)$$

式中  $c_b$ ,  $c_q$  为靶板厚度和弹重的特征数

$\sigma_s$  — 钢甲金属的屈服强度 (MPa);

$K_2$  — 考虑弹丸结构特点和钢甲受力状态的效力系数;

$$\varphi = 6160 \frac{c_q}{c_b} \quad (11)$$

效力系数  $K_2$  可以用下列公式计算:

(1) 对于尖头穿甲弹

$$K_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3} c_b^{0.5} \left( \frac{2.6i}{1+\varphi} + 0.333 \right)$$

(2) 对于钝头穿甲弹

$$K_2 = \frac{2\sqrt{2}}{3} c_b^{0.5} \left( \frac{2.2i}{1+\varphi} + 0.333 \right)$$

上式中的  $i$  是取决于弹丸头部形状的弹形系数, 可以用下式求得,

尖头弹时,

$$i = \frac{8}{n_1} \sqrt{2n_1 - 1}$$

钝头弹时,

$$i = \frac{8 - 5n_2}{15n_1} \sqrt{(1 - n_2)(2n_1 - n_2 - 1) + n_2^2}$$

式中  $n_1$  — 弹头部曲率半径和弹丸直径之比;

$n_2$  — 弹头部钝化直径和弹丸直径之比。

算法详细描述参见文档:《侵彻贯穿能力评估软件基础算法 1》



### 3 杀爆战斗部

#### 3.1 杀爆战斗部建模理论

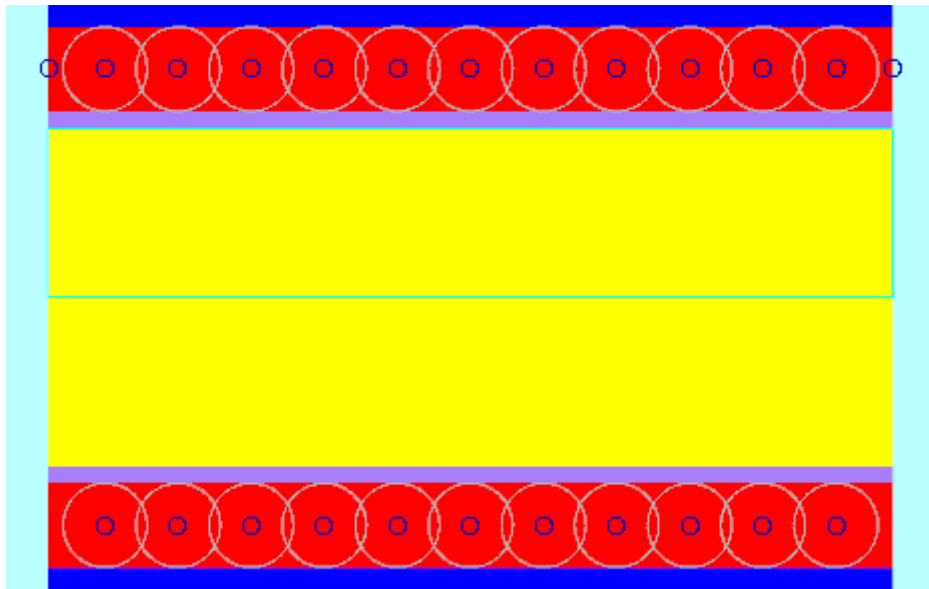
杀爆战斗部基本形状分为：柱型、锥型、鼓型和聚焦型。

杀爆战斗部组成部件：炸药、内壳、破片、外壳、左端盖和右端盖。

破片形状分为：球形、圆柱形和长方体。

##### 1) 柱型战斗部

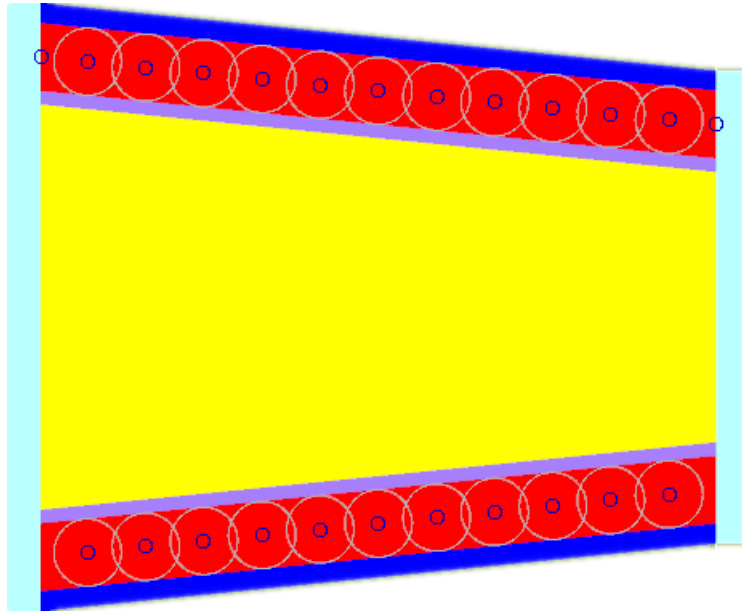
建模参数：装药长度、装药半径、内壳厚度、破片形状及尺寸、外壳厚度、左端盖厚度和右端盖厚度。



柱型战斗部

##### 2) 锥型战斗部

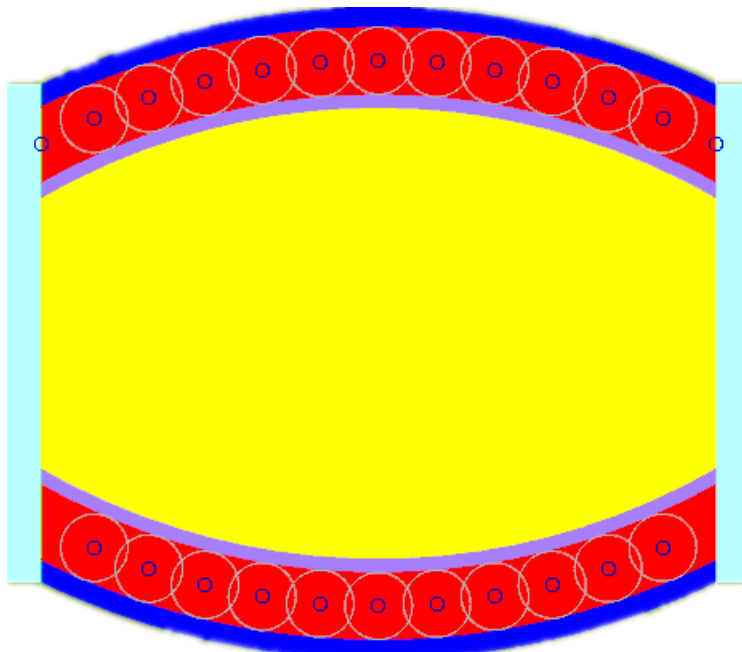
建模参数：装药长度、装药左半径、装药右半径、内壳厚度、破片形状及尺寸、外壳厚度、左端盖厚度和右端盖厚度。



锥型战斗部

3) 鼓型战斗部

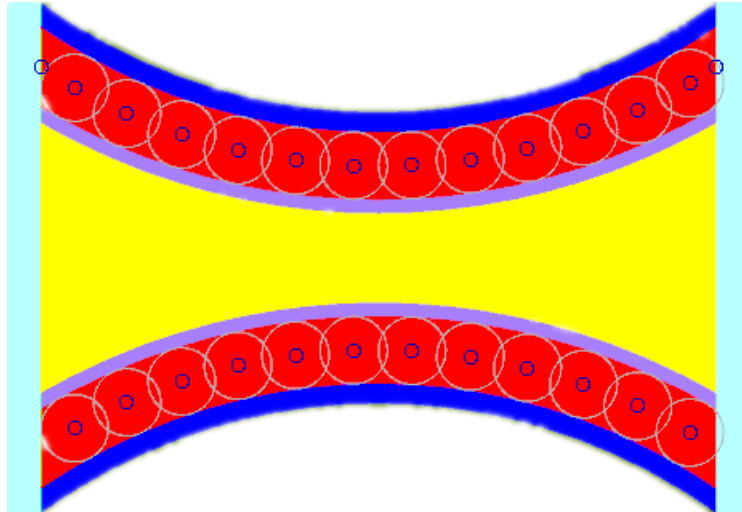
建模参数：装药长度、装药左半径、装药右半径、圆弧半径、内壳厚度、破片形状及尺寸、外壳厚度、左端盖厚度和右端盖厚度。



鼓型战斗部

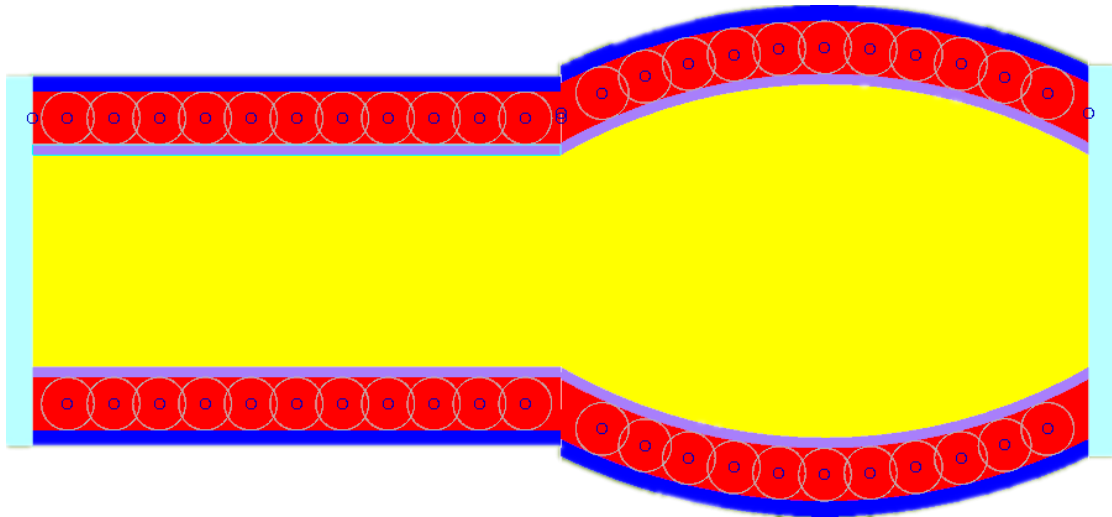
4) 聚焦型战斗部

建模参数：装药长度、装药左半径、装药右半径、圆弧半径、内壳厚度、破片形状及尺寸、外壳厚度、左端盖厚度和右端盖厚度。



聚焦型战斗部

组和形状为任意基本形状中的任意组和。



柱型鼓型组和结构

### 3.2 算法列表

序号	需求	理论文档	算法
1	自然型破片分布情况：破片矢量速度	《初始速度计算方法详细说明》	SPLITX 中的修正公式
		《关于破片飞散方向的计算方法》	Shapiro 公式
	自然型破片分布情况：破片质量和破片	《随机破片分布质量计算公式》	Mott 分布公式和 Weibull 分布公式

	数量		
2	自然型破片密集杀伤半径、超压分布规律	超压同侵彻爆破和预制破片、杀伤范围大致用 Shapiro 公式计算	只能给出大致破片分布、存在随机性
3	自然型破片在一定弹目交汇条件下，击中目标的破片数量，以及击中破片的剩余侵彻速度或极限穿深	有了破片初始质量和速度分布，其余算法同预制破片	
4	预制型破片矢量速度、密集杀伤半径、超压分布规律	《破片排布算法》《破片初始速度算法》《环境下冲击波威力场算法》《关于破片飞散方向的计算方法》《聚焦装药战斗部破片速度大小和方向算法》	SPLITX 中的修正公式、冯双山公式和 Shapiro 公式等
5	预制型破片在一定弹目交汇条件下，击中目标的破片数量，以及击中破片的剩余侵彻速度或极限穿深	《弹靶作用》《基于射击线理论的破片与目标交会点算法》	破片极限极限穿透速度公式、等值线绘制方法、射击线理论、弹目交会方程
6	破片随速度衰减规律	《威力场分析软件基础算法》	破片的运动方程
		《关于速度衰减的计算算法》	速度随距离衰减公式
7	战斗部在一定着角、着速、不同炸高条件下对典型目标的有效毁伤范围以及其杀伤概率的分布云图	《动态速度合成以及与目标的交汇》《基于射击线理论的破片与目标交会点算法》	破片极限极限穿透速度公式、坐标转换方法、等值线绘制方法、射击线理论、弹目交会方程

8	以地面为目标给出满足一定毁伤准则的杀伤威力等值线云图	《等破片密度分布图绘制算法初步》	等值线绘制方法、
---	----------------------------	------------------	----------

### 3.3 杀爆战斗部算法

#### 1. 破片初速度大小算法

圆柱形弹格尼公式：

$$v_{f0} = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m_e / m_s}{1 + 0.5(m_e / m_s)}} \quad (1)$$

该式被称为哥耐公式，适用于。球形弹的哥耐公式为：

$$v_{f0} = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m_e / m_s}{1 + 0.6(m_e / m_s)}} \quad (2)$$

式中

$v_{f0}$ ——破片初速 ( $m/s$ )

$\sqrt{2E}$ ——哥耐常数 ( $m/s$ )

$m_e$ ——炸药装药质量 (kg)

$m_s$ 弹体金属质量 (kg)

算法详细描述参见文档：《初始速度计算方法详细说明》

#### 2. 计算破片飞散方向角算法

夏皮洛公式计算战斗部杀伤元素的飞散偏转角：

$$\tan \theta_s = \frac{v_{0x}}{2D_e} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \phi_1 + \phi_2 \right) \quad (3)$$

其中， $v_{0x}$ 为破片初速， $D_e$ 为炸药爆速。破片飞散方向角为 $\phi_s$ 为：

$$\phi_s = \phi_1 - \theta_s \quad (4)$$

破片飞散方向角公式为

$$\phi_s = \phi_1 - \arctan \left( \frac{v_{0x}}{2D_e} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \phi_1 + \phi_2 \right) \right) \quad (5)$$

通常定义在战斗部轴线平面内，以中心为顶点所作的包含有效破片为 90%的

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/488047121134006055>