文章编号：1000-5773(2013)05-0677-08

弹头侵彻明胶运动模型参数研究*

刘　坤[1,2]，吴志林[1]，徐万和[1]，莫根林[1]

(1.南京理工大学机械工程学院，江苏南京　210094；
2.南京造币有限公司，江苏南京　211100)

摘要：基于弹头侵彻明胶平面运动模型，建立了阻力系数 C_{D0}、升力系数 C_{L0}、翻滚力矩系数 C_{M0}、偏航阻尼力矩系数导数 C'_{ZZ} 等关于弹头外形结构参数的函数。以 56 式 7.62 mm 普通弹为基础，分别改变其弧形部半径、尾部收缩比和圆柱部长径比，设计 5 种规格杀伤元，根据龙格-库塔法对运动模型进行数值计算，并对各杀伤元进行侵彻明胶实验。结果表明，4 个系数能够准确合理地描述弹头外形结构对运动的影响，为弹药设计提供了理论指导。

关键词：弹头；侵彻明胶；运动模型；参数研究；外形结构
中图分类号：O357.1；TJ441.2　　**文献标识码**：A

1　引　言

明胶是一种与肌肉组织非常相似的粘弹性介质，均匀透明，能直接观察内部空腔变化，因此在创伤弹道研究中常被用来模拟肌肉组织，已成为轻武器杀伤效能评估和创伤弹道研究的标准介质之一[1-3]。近几十年来，一些学者已对弹头侵彻明胶的运动模型展开了研究。Janzon[4] 和 Sellier 等人[5] 提出了一种基于弹头质心一维运动且忽略弹头旋进的简化运动模型；Sellier 等人[5] 和 Kneubuehl 等人[6] 将弹头在明胶中的运动简化为质心水平运动和绕心运动，并且假定阻力系数和法向力系数为入射角的函数；Nestor[7] 认为弹头在高密度均匀介质中做平面运动，可将运动简化为质心的平动和绕质心的转动，且阻力系数和升力系数为攻角的函数。但以上模型均未将模型参数与弹头外形结构进行关联。我们前期就平面运动模型方面开展了大量工作[8]，结合明胶力学性质，考虑攻角和偏角的区别，引入阻力系数、升力系数、翻滚力矩系数和偏航阻尼力矩系数导数等 4 个参数。本研究在该运动模型的基础上，将上述各系数与弹头外形结构关联，分析运动模型中的敏感因素；基于 56 式 7.62 mm 普通弹，设计 5 种规格的杀伤元，进行各杀伤元侵彻明胶实验，对比分析实验与理论结果，力求为轻武器弹药设计提供理论指导。

2　理论模型

2.1　基本假设

如图 1 所示，弹头在侵彻明胶的过程中会发生失稳和翻滚，弹头的动能转化为明胶的变形能。根据现有研究可知[8]，弹头在明胶中的运动过程可分为以下两个阶段：(1)“颈部”形成阶段，即弹头翻滚角度小于 10°的运动阶段，弹头基本处于稳定飞行状态，明胶内形成颈形的窄伤道(Narrow Channel)；

* **收稿日期**：2012-11-01；**修回日期**：2012-11-23
基金项目：国家“973”计划研究项目(613104)；江苏省博士研究生科研创新培养基金(CXLX11_0273)；南京理工大学优秀博士论文培养基金
作者简介：刘　坤(1986—)，男，博士研究生，主要从事弹道理论模型研究. E-mail：liukun@njust.edu.cn
通讯作者：吴志林(1967—)，男，博士，教授，主要从事自动武器及其弹药的设计理论研究.
E-mail：wuruinan-1994@mail.njust.edu.cn



图 1 弹头在明胶中的运动过程

Fig. 1 Process of the bullet penetrating the gelatin

(2) 翻滚阶段,即弹头翻滚角度大于 10°的运动阶段,弹头偏角迅速增大。

采用龙格-库塔法,对弹头侵彻明胶的运动过程进行数值模拟。根据弹头在明胶中的运动特点,建模前引入如下假设[6-8]:(1) 弹头为刚体,忽略其变形与破碎;(2) 忽略弹头旋转,即不考虑陀螺效应;(3) 忽略弹头重力;(4) 忽略平面外的偏航,认为弹头在包含轨迹的垂直平面内运动;(5) 忽略科里奥利力对弹头运动的影响;(6) 明胶为不可压缩粘性流体。

2.2 平面运动模型

2.2.1 “颈部”阶段运动模型

如图 2 所示,在“颈部”形成阶段,弹头的运动方向近似为水平(x 轴方向),速度为 v,弹头基本处于稳定状态,此时可忽略升力对弹头的影响,弹头受到阻力 D 和转矩 M 的作用,攻角 δ 为弹轴与速度之间的夹角。该阶段弹头的运动方程为

$$m\ddot{x} = -\left(\frac{\rho v^2}{2}C_{D0}A_0 + \frac{\rho v^2}{2}C_{D0}A_0C_1\sin^2\delta\right) \quad (1)$$

式中:m 为弹头质量;ρ 为明胶密度;C_{D0} 为阻力系数;C_1 为常数;A_0 为弹头特征面积,即最大横截面积。

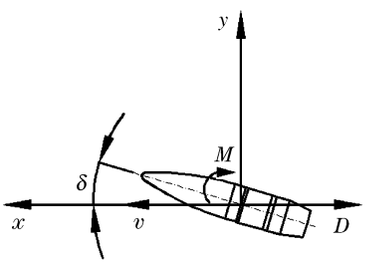


图 2 “颈部”阶段弹头受力情况

Fig. 2 Force on the bullet in “narrow channel” phase

2.2.2 翻滚阶段运动模型

若弹头偏角大于 10°,认为“颈部”阶段结束,弹头速度方向将发生变化,不再近似为水平,运动方程可表示为[8]

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -\left(\frac{1}{2}\rho A_0\right)v^2C_{L0}\cos^2\delta\cdot\sin(2\delta)\cdot\sin(\psi-\delta) - \left(\frac{1}{2}\rho A_0\right)v^2C_{D0}(1+C_1\sin^2\delta)\cos(\psi-\delta) \\ m\ddot{y} = \left(\frac{1}{2}\rho A_0\right)v^2C_{L0}\cos^2\delta\cdot\sin(2\delta)\cdot\cos(\psi-\delta) - \left(\frac{1}{2}\rho A_0\right)v^2C_{D0}(1+C_1\sin^2\delta)\sin(\psi-\delta) \\ I_b\ddot{\psi} = \left(\frac{1}{2}\rho v^2\right)A_0lC_{M0}\sin\delta - \left(\frac{1}{2}\rho v^2\right)A_0l\left(\frac{\mathrm{d}\dot{\psi}}{v}\right)C'_{ZZ} \end{cases} \quad (2)$$

式中:ψ 为偏角,即弹轴与 x 轴的夹角;I_b 为弹头赤道转动惯量;C_{L0} 为升力系数;C_{M0} 为翻滚力矩系数;C'_{ZZ} 为偏航阻尼力矩系数导数;l 为弹头长度;d 为弹头直径。

3 模型参数确定

3.1 阻力系数 C_{D0} 的确定

弹头头形是影响弹头侵彻性能的主要因素之一。头形种类很多,包括圆柱体、锥形体、相切尖拱(包括半球头)、相割尖拱、截头尖拱和平板尖拱[9]。枪弹头形多以相切尖拱、相割尖拱两种形式出现(如图 3所示)。本工作主要针对相切尖拱弹头展开研究。为描述这类头形,引入头部长径比

$$\lambda_s = h/d \quad (3)$$

式中:h 为弧形部高度。根据空气动力学原理[10],弹头越锐长,越有利减小阻力,即 λ_s 越小,弹头越钝,

C_{D0}越大。假设 C_{D0}为 λ_s 的函数,即

$$C_{D0} = a_1(\lambda_s^2 + a_2)^{-a_3} \tag{4}$$

式中:a_1、a_2、a_3 为常数。

3.2 升力系数 C_{L0}的确定

如图 4 所示,由于介质的相对运动,弹头周围压强不对称促使升力产生。升力系数 C_{L0}可表示为[10]

$$C_{L0} = C_{nl}\cos\delta - C_{al}\sin\delta \tag{5}$$

式中:C_{nl}为法向力系数;C_{al}为轴向力系数。

法向力系数 C_{nl}可表示为

$$C_{nl} = C_{nln} + C_{nlt} + C_{nlf} \tag{6}$$

式中:C_{nln}为头部法向力系数;C_{nlt}为尾部法向力系数;C_{nlf}为由粘性引起的附加法向力系数。C_{nln}不仅取决于 λ_s,而且与圆柱部长径比 λ_c 有关。根据空气外弹道学,C_{nln}随 λ_c/λ_s 的增大而增大,C_{nlf}随 λ_c 增大而增大。可见,λ_c 对 C_{nl}影响较大,是产生升力的主要诱因,若升力系数是 λ_c 的函数,则可表示为

$$C_{L0} = b_1 + b_2 e^{(\lambda_c - b_3)/b_4} \tag{7}$$

式中:b_1、b_2、b_3、b_4 为常数。

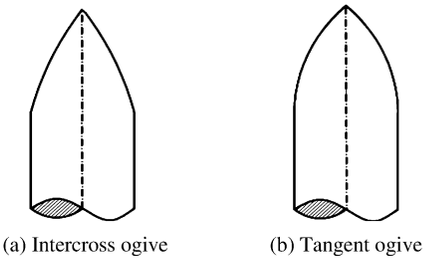


图 3 常见枪弹头形

Fig. 3 Commen bullet shapes

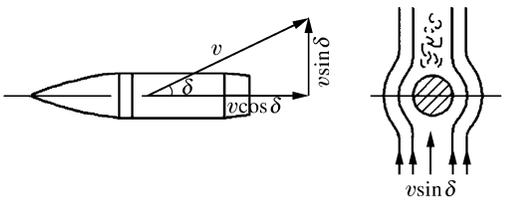


图 4 弹丸法向力形成示意图

Fig. 4 formation of normal force

3.3 翻滚力矩系数 C_{M0}的确定

弹头压心在质心之前,所受力矩为翻滚力矩,弹头翻滚速度主要由该力矩决定,同时也受弹头结构特征量的影响[11-12]。减小弹头赤道转动惯量 I_b,增大弹丸质阻心距均可使弹头偏角增大;增加弹头长度也可增大翻滚力矩。假设翻滚力矩系数 C_{M0}为弹头长度和赤道转动惯量的函数,则

$$C_{M0} = c_1\left(\frac{ml^2}{I_b}\right)^{c_2} + c_3 \tag{8}$$

式中:c_1、c_2、c_3 为常数。

3.4 偏航阻尼系数导数 C'_{ZZ}的确定

偏航阻尼力矩是由弹头绕赤道轴偏转引起的,作用是抑制偏转运动。现有步枪弹尾部大多为收缩形,使弹头压力中心前移,质阻心距增大,降低静稳定性。若弹头尾部为圆柱形,则尾部会受到稳定力矩的作用,如图 5 所示。

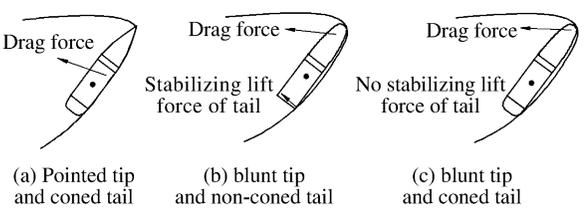


图 5 偏航弹头形成的空腔

Fig. 5 The cavity formed by the yaw bullet

钝头弹侵彻明胶时,明胶内会形成一个脱离弹头的空腔;若尾部为圆柱形,当它碰击空腔壁时将会受到升力的作用;若尾部为船尾形,则无稳定力作用,将出现由伯努利效应引起的扰动升力,使弹头尾部进一步陷入空腔壁中;在尖头弹情况下,尾部出现稳定力的可能性减小,空腔始终附着于弹头上[13]。可见,偏航阻尼力矩系数导数 C'_{ZZ}与弹头尾部的收缩比 S'有关,且收缩比越大,C'_{ZZ}也越大。弹头尾部收缩比可表示为[14]

$$S' = d_d^2/d^2 \tag{9}$$

式中:d_d 为弹头尾部直径。C'_{ZZ}可表示为

$$C'_{ZZ} = n_1 S'^2 - n_2 S' + n_3 \tag{10}$$

式中:n_1、n_2、n_3 为常数。

4 实验验证与结果分析

为了验证弹形对模型参数的影响，基于 56 式 7.62 mm 普通弹，设计 5 种规格杀伤元，如图 6 所示，5 种杀伤元采用不同的弧形部半径、尾部收缩比、圆柱部长径比。采用 7.62 mm 弹道枪作为发射平台，进行步枪弹侵彻明胶靶标实验，共射击 5 发，具体参数如表 1 所示。采用 4 ℃的 10%明胶作为靶标，尺寸为 300 mm×300 mm×300 mm。采用 3 台高速摄像机进行拍摄，水平方向放置 2 台，其中 1 台用于拍摄明胶空腔；竖直方向放置 1 台，用于与水平方向高速摄像机配合测量攻角。

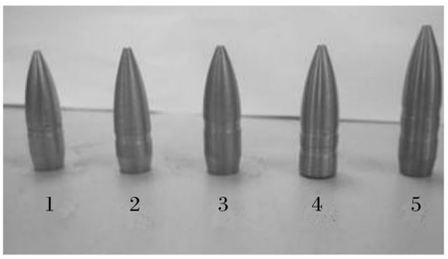


图 6 5 种规格的杀伤元

Fig. 6 Five kinds of specifications of bullets

表 1 弹丸参数

Table 1 Parameters of bullets

Bullet No.	m/(g)	d/(mm)	l/(mm)	I_b/(kg·cm^2)	λ_s	λ_c	S'
1	8.150	7.92	26.8	3.546	2.01	0.90	0.73
2	8.380	7.92	26.8	3.682	1.88	1.04	0.73
3	7.830	7.92	26.8	3.325	2.26	0.66	0.73
4	8.285	7.92	26.8	3.692	2.01	1.20	1.00
5	8.083	7.92	30.8	4.353	2.01	1.40	0.73

图 7 给出了实验原理和场景布置。天幕靶置于距离靶标 2 m 处，用于测量入靶速度；靶标沿弹道方向置于综合靶架上；光幕和气体灯置于距离明胶一侧 1 m 处，气体灯置于光幕后；高速摄影相机置于距离明胶另一侧1.5 m 处，确保高速摄影相机镜头轴线与弹道在同一平面内，且与弹道方向垂直。

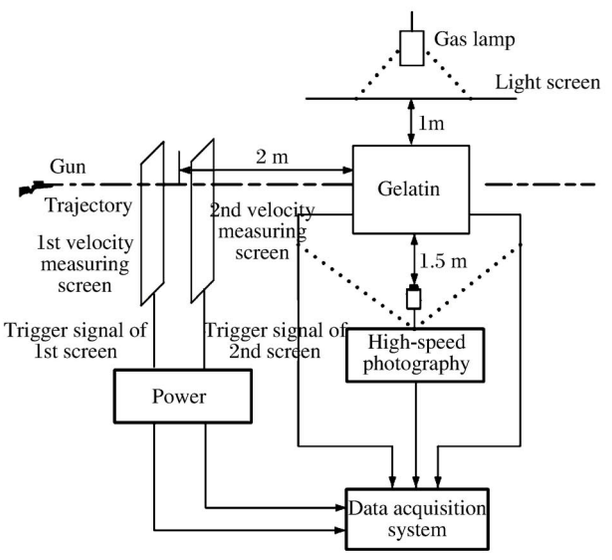


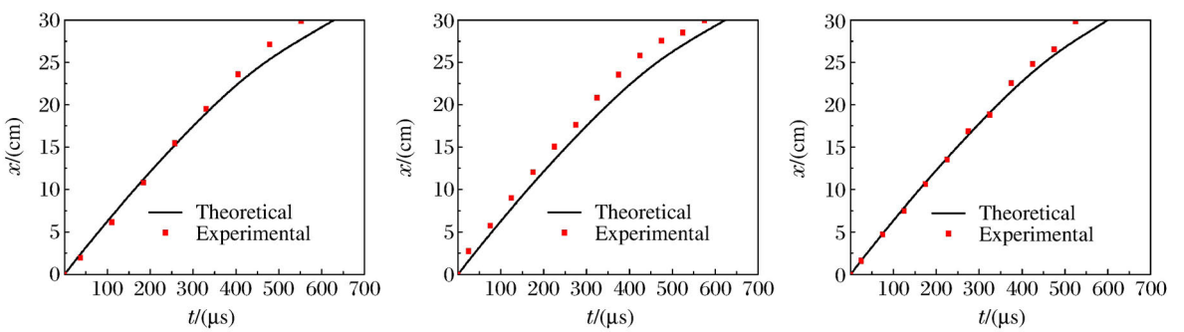


图 7 实验原理及场景

Fig. 7 Principle and arrangement of the experiment

4.1　弧形部半径改变

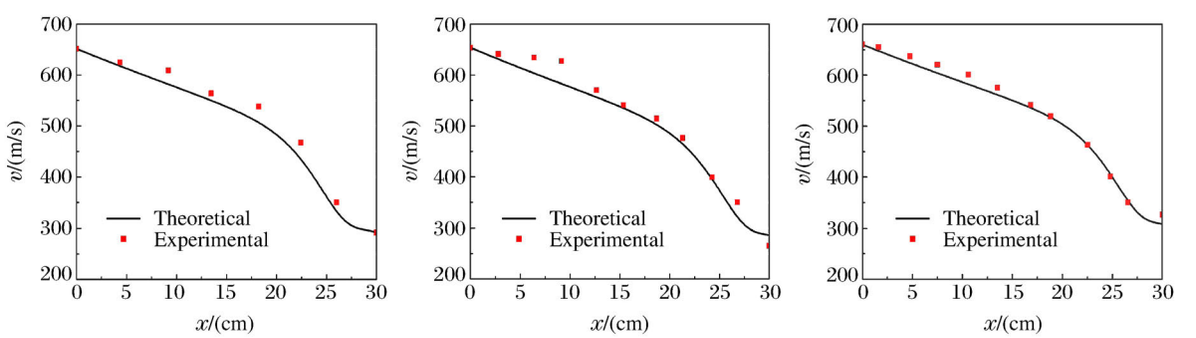
选取1 号、2 号、3 号弹为杀伤元进行实验,以弹头入靶时刻为计时起点,出靶时刻为计时终点。实验测得,1 号弹入靶速度为 651.3 m/s,初始攻角和初始偏角均为 1.5°;2 号弹入靶速度为 653.6 m/s,初始攻角和初始偏角均为 1.5°;3 号弹入靶速度为 660 m/s,初始攻角和初始偏角均为 1°。将以上数据作为初始条件进行理论模拟,将模拟结果与实验结果进行对比。图 8 给出了 3 种规格杀伤元侵彻深度随时间的变化关系,可以看出,3 种规格杀伤元在靶标中运动时间的理论值分别为 625、629 和 601 μs,实测值分别为 552、575 和 525 μs。图 9 给出了 3 种规格杀伤元速度随侵彻深度的变化关系,可以看出,1 号弹"颈部"阶段结束时速度理论值为 552.43 m/s,实测值为 505.8 m/s,且"颈部"阶段速度衰减较慢,出靶速度理论值为 291.50 m/s,实测值为 282.0 m/s,误差为 9.50 m/s;2 号弹"颈部"阶段结束时速度理论值为 549.44 m/s,实测值为 491.0 m/s,出靶速度理论值为 285.77 m/s,实测值为 265.0 m/s,误差为 20.77 m/s;3 号弹"颈部"阶段结束时速度理论值为 553.44 m/s,实测值为 513.0 m/s;出靶速度理论值为 308.09 m/s,实测值为 326.6 m/s,误差为 18.1 m/s。图 10 给出了 3 种规格杀伤元偏角随侵彻深度的变化关系。由图 10(a)可以看出,1 号弹"颈部"阶段结束时,侵彻深度的理论值为 131 mm,实测值为 201 mm,出靶偏角的理论值为 209.63°,实测值为 210.24°;由图 10(b)可知,2 号弹"颈部"阶段结束时,侵彻深度的理论值为 135 mm,实测值为 181 mm;出靶偏角的理论值为 191.63°,实测值为 176.29°;由图 10(c)可知,3 号弹"颈部"阶段结束时,侵彻深度的理论值为 146 mm,实测值为 203 mm,出靶偏角的理论值为 189.25°,实测值为 150.64°。3 种规格杀伤元"颈部"阶段的加速度(a)随侵彻深度的变化曲线如图 11 所示。可以看出,3 种规格杀伤元弹头在"颈部"阶段结束时加速度分别为−438、−444和−424 km/s^2。



(a) Penetration depth-time relation of bullet 1　(b) Penetration depth-time relation of bullet 2　(c) Penetration depth-time relation of bullet 3

图 8　侵彻深度随时间的变化关系

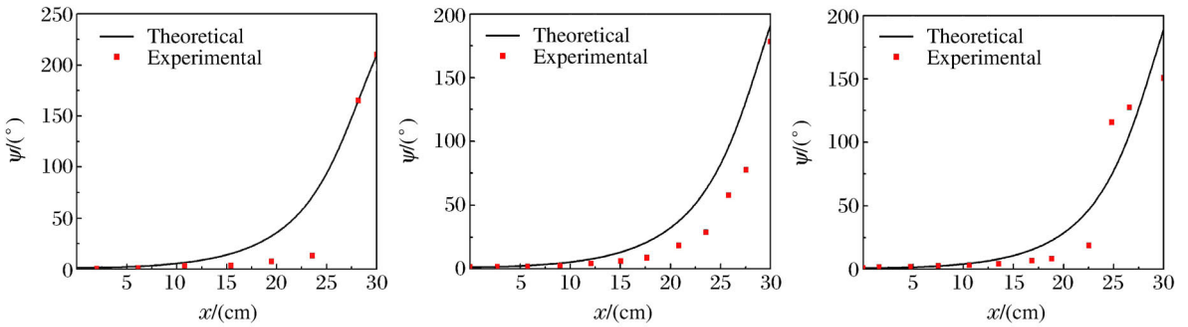
Fig. 8　Relation between penetration depth and time



(a) Velocity-penetration depth relation of bullet 1　(b) Velocity-penetration depth relation of bullet 2　(c) Velocity-penetration depth relation of bullet 3

图 9　速度随侵彻深度的变化关系

Fig. 9　Relation betrween velocity and penetration depth



(a) Yaw angle-penetration depth relation of bullet 1　(b) Yaw angle-penetration depth relation of bullet 2　(c) Yaw angle-penetration depth relation of bullet 3

图 10　偏角随侵彻深度的变化关系

Fig. 10　Relation between yaw angle and penetration depth

4.2　尾部收缩比改变

选取 4 号弹为杀伤元，测得其入靶速度为 668.2 m/s，初始攻角和初始偏角均为 3°。图 12 给出了理论计算和实验结果。由图 12(a)可知，弹头在靶标中运动时间的理论值为 627 μs，实测值为 605 μs。由图 12(b)可知，“颈部”阶段结束时速度理论值为 584.9 m/s，实测值为 573.3 m/s，且“颈部”阶段速度衰减较慢；出靶速度理论值为 276.0 m/s，实测值为 313.7 m/s，速度误差为 37.7 m/s。由图 12(c)可知，“颈部”阶段结束时，侵彻深度的理论值为106.3 mm，实测值为 174.1 mm；出靶偏角的理论值为179.68°，实测值为 183.12°。

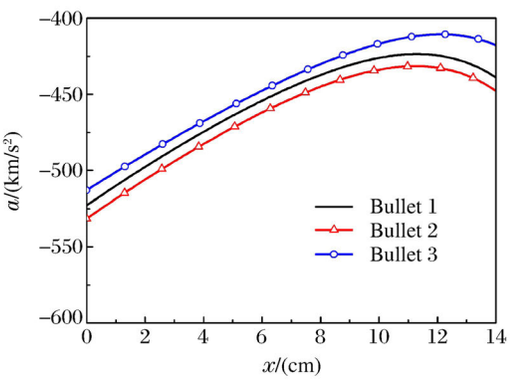
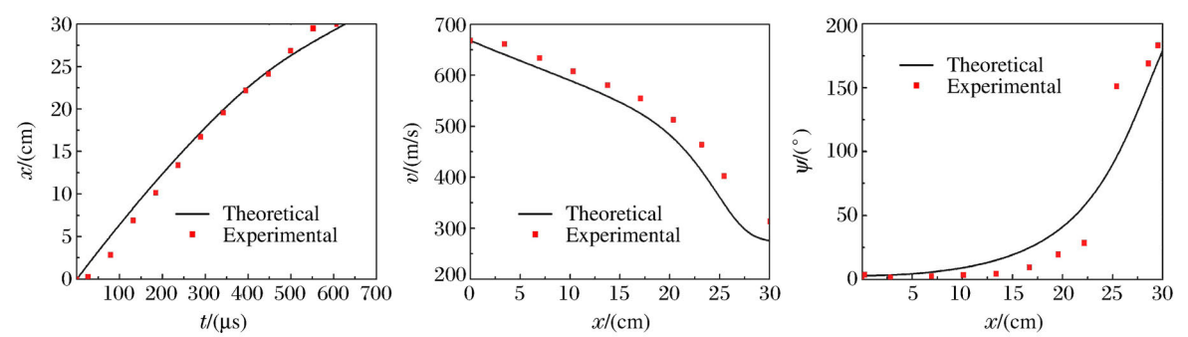


图 11　“颈部”阶段加速度随侵彻深度的变化曲线

Fig. 11　Acceleration-penetration depth curve in the “narrow channel” phase

1 号弹和 4 号弹翻滚角速度(ω)随侵彻深度变化的曲线如图 13 所示。可以看出，1 号弹在侵彻深度为 277.4 mm 时，翻滚角速度达到最大值(1.33×10^4 rad/s)，出靶时翻滚角速度为1.18×10^4 rad/s；4 号弹在侵彻深度为 275.2 mm 时，翻滚角速度达到最大值(9.79×10^3 rad/s)，出靶时翻滚角速度为8.71×10^3 rad/s。



(a) Penetration depth-time relation of bullet 4　(b) Velocity-penetration depth relation of bullet 4　(c) Yaw angle-penetration depth relation of bullet 4

图 12　4 号弹实验与理论结果对比

Fig. 12　Theoretical and experimental results comparison of bullet 4

4.3　圆柱部长径比改变

选取 5 号弹为杀伤元,其运动参数理论值与实测值如表 2 所示,其中 v_{in} 为入靶速度,v_{out} 为出靶速度,y_{out} 为出靶时的 y 方向偏移量,δ_{in} 为入靶攻角,ψ_{in} 为入靶偏角,t_T 为在杀伤元在靶标中的运动时间。各时刻侵彻深度(x)、速度(v)、y 方向偏移量(y)的理论值与实验值如表 3 所示。

由表 2 和表 3 可知,5 号弹在出靶时,y 方向偏移量的理论值为 9.7 mm,实测值为 14.0 mm,高于 1 号弹的 y 方向偏移量(理论值为 8.4 mm,实验值为7.8 mm)。

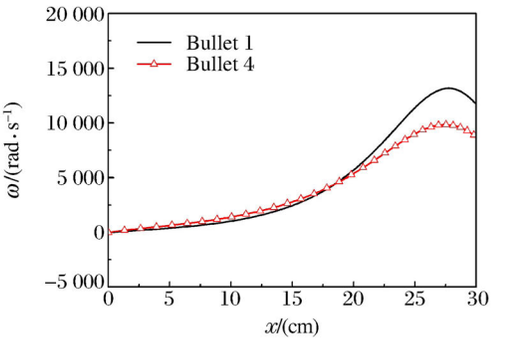


图 13　翻滚角速度-侵彻深度曲线

Fig. 13　Angualr velocity-penetration depth curve

表 2　5 号弹运动参数理论值与实测值

Table 2　Theoretical and experimental motion parameters of bullet 5

Method	v_{in}/(m/s)	v_{out}/(m/s)	y_{out}/(mm)	δ_{in}/(°)	ψ_{in}/(°)	t_T/(μm)
Theory	650.8	358.4	9.7	0.5	0.5	573
Experiment	650.8	382.3	14.0	0.5	0.5	556

表 3　5 号弹各时刻理论数据与实测数据

Table 3　Theoretical and experimental results of bullet 5 at different time

t/(μs)	v/(m/s)		x/(mm)		y/(mm)	
	Theoretical	Measured	Theoretical	Measured	Theoretical	Measured
0	650.8	650.8	0.0	0.0	0.0	0.0
344	507.4	529.6	197.6	199.7	1.6	1.1
450	460.7	440.7	249.1	261.6	4.3	5.1
556	376.2	382.3	293.6	300.0	8.9	14.0

5　结　论

基于弹头侵彻明胶的平面运动模型,建立了阻力系数、升力系数、翻滚力矩系数、偏航阻尼力矩系数导数等关于弹头外形结构参数的函数。以 56 式 7.62 mm 普通弹为基础,分别改变其弧形部半径、尾部收缩比和圆柱部长径比,设计 5 种规格杀伤元。根据龙格-库塔法对运动模型进行数值计算,并进行各杀伤元侵彻明胶实验,得出 5 种规格杀伤元侵彻深度、速度、偏角、“颈部”阶段加速度、y 方向偏移和角速度的变化规律及其与弹头外形的关系,结果显示:(1) 弹头弧形部阻力系数的影响较大,头部长径比越大,阻力系数越小;(2) 弹头长度、赤道转动惯量对弹头翻滚速度有一定的影响,弹头越长,赤道转动惯量越小,弹头在明胶中翻滚越快;(3) 尾锥部形状主要影响偏航阻尼力矩,尾部收缩比越大,偏航阻尼力矩系数越大;(4) 圆柱部形状是影响升力的主要因素,圆柱部长径比越大,升力系数越大。对比分析运动模型的理论值与实测值得到:理论值与实测值一致性较好,4 个系数能够准确描述弹头外形结构对运动的影响,为弹药设计提供理论指导。

感谢中国兵器工业 208 研究所的高级工程师覃彬和工程师魏伟在实验上的帮助。

References:

[1]　Liu Y Q, Wang Z G, Ma Y Y. Wound Ballistic [M]. Beijing: People's Military Medical Press, 1991: 76-77. (in Chinese)
刘荫秋,王正国,马玉媛. 创伤弹道学 [M]. 北京:人民军医出版社,1991:76-77.

[2] Gao N T. Automatic Weapon and ammunition [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1990: 102-103. (in Chinese)
高乃同. 自动武器弹药学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1990: 102-103.
[3] Nicholas N C, Welsch J R. Ballistic gelatin [R]. Pennsylvania, USA: Institute for Non-Lethal Defense Technologies Applied Research Laboratory, 2004.
[4] Janzon B. Calculations of the Behaviour of Small Calibre, Spin Stabilized Projectiles Penetrating a Dense Medium [M]. Stockholm: Forsvarets Forskningsanstalt, 1975: 255-267.
[5] Sellier K, Kneubuehl B. Wound Ballistics and the Scientific Background [M]. Netherlands: Elsevier Science, 1994: 161-167.
[6] Kneubuehl B, Sellier K. Wound ballistics: A new understanding of the behavior of a bullet in a dense medium [C]// 13th International Symposium of Ballistics. Stockholm, 1992: 17-19.
[7] Nestor N. Theoretical study of the motion of a rigid gyro-stabilized projectile into homogeneous dense media [C]// 24th International Symposium of Ballistics. New Orleans, 2008: 1268-1275.
[8] Liu K, Wu Z L, Xu W H, et al. A investigation on the motion model of projectile penetrating gelatin [J]. Explosion and Shock Waves, 2012, 32(6): 616-622. (in Chinese)
刘 坤, 吴志林, 徐万和, 等. 弹头侵彻明胶的运动模型研究 [J]. 爆炸与冲击, 2012, 32(6): 616-622.
[9] Lu Z H, Qian L X. A nose performance coefficient for genral ogive-nose projectiles [J]. Journal of Ballistics, 2002, 14(3): 75-80. (in Chinese)
路中华, 钱立新. 尖拱类弹丸的头形系数 [J]. 弹道学报, 2002, 14(3): 75-80.
[10] Shen Z S, Liu Y F. Projectile Aerodynamics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1984: 205-207. (in Chinese)
沈仲书, 刘亚飞. 弹丸空气动力学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1984: 205-207.
[11] Wang Z Y, Zhou W P. Theory and Method of Mxterior Ballistic Design [M]. Beijing: Science Press, 2004: 7-16.
王中原, 周卫平. 外弹道设计理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 7-16.
[12] Pu F, Rui X T. External Ballistics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1980: 40-51. (in Chinese)
浦 发, 芮筱亭. 外弹道学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980: 40-51.
[13] Janzon B. High Energy Missile Trauma: A Study of the Mechanisms of Wounding of Muscle tissue [M]. Stockholm, Sweden: University of Göteborg, 1983.
[14] Zang G C, Li S C. Missiles Aerodynamics [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1989: 27-29. (in Chinese)
臧国才, 李树常. 弹箭空气动力学 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989: 27-29.

Research on Model Parameters of Bullet Penetrating Gelatin

LIU Kun[1,2], WU Zhi-Lin[1], XU Wan-He[1], MO Gen-Lin[1]

(1. *School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing* 210094, *China*;
2. *Nanjing Mint Company Limited, Nanjing* 211100, *China*)

Abstract: Based on the 2-D motion model of bullet penetrating gelatin, a function of the drag coefficient, the lift coefficient, the roll moment coefficient and the yaw damping torque coefficient derivative which is related to the bullet shape is established. Based on the 7.62 mm bullet, five kinds of bullets were designed for the penetrating experiment by changing the caliber of ogive, the ratio of tail contraction and the length-diameter ratio of cylinder. The model was calculated based on the Runge-Kutta method and the calculation is compared with the experiment. The result shows that these four coefficients can describe the effect of the bullet shape on the motion. It will provide theoretical bases for the ammunition design.

Key words: bullet; penetrating gelatin; motion model; parameter study; bullet shape