DOI:10.7511/jslx20200228001

一种新型结构火炮身管膛线的计算分析

杨 峰, 张 健*, 郭策安

(沈阳理工大学 装备学院,沈阳 110159)

摘 要:针对传统的火炮身管内弹道结构形式,提出了一种新型结构形式的火炮身管膛线——渐变截面结构膛线。以大口径火炮身管膛线作为研究对象,计算分析传统等截面结构膛线和渐变截面结构膛线的弹丸弹带挤进阻力、导转侧向力、膛线截面面积和膛线摩擦力的变化情况。计算结果表明,新型渐变截面结构膛线有利于增强弹丸弹带的挤入能力,减少膛线根部应力集中,减少弹丸弹带对膛线的冲击和磨损,有效提升弹丸弹带的闭气性能,同时渐变结构膛线可有效减小弹丸在膛内运动时受到的扰动,使得弹丸在膛内运行平稳,减少炮口章动,在保证射击精度的同时,有利于提高身管的使用寿命。

关键词:火炮身管;身管膛线;渐变膛线;膛线受力分析

中图分类号:TJ33;O302 **文献标志码**:A **文章编号**:1007-4708(2020)06-0729-06

1 引 言

目前火炮研究朝着远射程、大威力、高机动性、精确打击、自动化、信息化和智能化方向发展,从世界各国目前研制和改进的炮兵压制武器装备分析可以看出,增大火炮射程和提高射击精度将成为各国增强炮兵火力的首要目标。为了能够使我国的火炮装备在未来处于世界领先地位,需在现有的型号产品的基础上不断挖潜和提高武器性能,研发性能更好的武器系统,积极进行技术升级与创新,提高我国火炮性能的先进性,以满足未来战场的军事需要[1-3]。分析研究目前影响火炮武器系统射击精度的主要因素,改进火炮身管本身,是提高火炮最大射程地面散布、提高火炮射击精度和提升身管使用寿命的根本途径,因此提出对火炮膛线内弹道的研究[4]。身管是提供火炮内弹道过程的基础部件,炮管膛线的作用在于当弹丸击发时膛线为弹丸提供导转侧力,驱动弹丸旋转,使弹丸在飞行过程中具有稳定的飞行姿态和可控精确的弹道轨迹,同时膛线还要能保证可靠地密闭火药燃气,减少弹丸膛内章动,承受极高的火药气体压力。弹丸发射过程中,弹丸与身管膛线发生相互挤压,弹带材料经历高瞬态大变形、摩擦等过程。弹丸在膛内运动是一个高度非线性问题。目前各种类型的火炮所用身管都是常规等截面膛线身管,膛线通过机械拉线方法制备,已经不能适应火炮对高精度、强装药、高寿命的要求[5]。本文提出新型火炮身管内弹道结构,渐变截面膛线结构形式,通过改变内弹道结构来提高火炮的火力性能,延长身管寿命,提高射击精度。

2 渐变截面膛线概念及内弹道基本参数结构模型

身管膛线根据缠角沿炮膛轴线变化规律的不同,可分为等齐膛线、渐速膛线和混合膛线三种;根据膛线深度和口径的比值不同,可将膛线分为浅膛线和深膛线两种;根据膛线截面形状的不同,可分为矩形膛线、梯形膛线、弧形膛线和多边形膛线等[6]。本文提出的渐变截面膛线是不同于现有膛线的结构形式,这种膛线结构在同一截面位置上,截面形状不发生变化,每条线槽在同一截面上尺寸形状一致,但在不同的截面位置,线槽形状和尺寸逐渐发生变化,沿着缠角每条线槽的尺寸从炮口向药室方向,深度逐渐加深,宽度逐渐加宽。这种结构的膛线能更有效地密闭火药燃气,提高弹丸初速,减少弹丸膛内章动和提高火炮的射击精度,减小膛线应力集中,并提升炮管寿命。

在不降低火炮内弹道基本性能的前提下,对身管膛线进行截面渐变结构设计,形成阴线宽度和深度在身管内膛自膛线起始点至炮口方向逐渐变化,宽度由宽变窄(阳线宽度由窄变宽),深度由深变浅,阴线底部同两个侧壁相交的圆角向炮口方向逐渐变小,阴线两侧壁倾斜角度由大变小。这种膛线在炮膛起始处导转侧壁倾斜角度较大,至炮口处角

收稿日期:2020-02-28;**修改稿收到日期**:2020-05-24.
基金项目:国家装备预研领域基金(61406190105)资助项目.
作者简介:张 健*(1961-),男,教授,博士生导师
(E-mail:zhangjian6165@aliyun.com).

度逐渐减小到直角，阴线深度从炮膛至炮口逐渐减小，阴线宽度的变化与阴线深度和导转侧壁倾角匹配，实现膛线结构截面渐变。

这种膛线有利于弥补弹带磨损后形成的间隙，有利于减少膛线根部应力集中，减少弹丸弹带对膛线的冲击和磨损，增强铜弹带的挤入能力，提高火药燃烧气体的密封性能，有效提升弹带的闭气性能，减小膛线倒转侧壁所受的剪切力，形成渐紧式的效果，使得弹丸在膛内运行平稳，减少章动，在提高射击密集度、保证射击精度的同时，有利于身管寿命的提高。

从内弹道角度和膛内发射过程理论进行分析，本文重点针对大口径等截面与渐变截面膛线结构引起的远射程杀爆弹药情况下的弹带挤进阻力、弹丸导转侧向力、摩擦力和弹带闭气间隙等进行计算，比较分析渐变截面膛线结构相对等截面膛线结构在这四个方面的变化情况，进而说明其对身管寿命和射击精度的影响。

2.1　内弹道参数

某型大口径火炮身管发射远程杀爆弹药时弹底压力行程曲线如图1所示。本文研究的渐变截面膛线参数列入表1，弹底压力曲线为计算依据，如图1所示。

表1　计算参数

Tab.1　Calculation parameters

序号	参数名	标识
1	初速	V_0
2	膛压	P_m
3	弹丸质量	m_q
4	药室容积	W_0
5	装药量	M_ω
6	装填密度	Δ
7	药室长	L_{KM}
8	药室缩径比	l_0
9	药室扩大系数	χ
10	弹丸行程长	L_{dw}

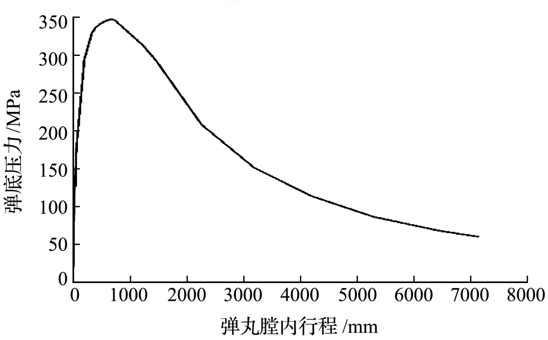

图1　弹底压力曲线

Fig.1　Pressure curve of projectile bottom

2.2　渐变截面膛线结构参数

火炮身管与药室结构分别如图2和图3所示。膛线内弹道截面如图4所示。线槽条数为 n，螺旋升角为 α，内径为 $D1$，沿螺旋升角方向保持不变，外径为 $D2$，沿螺旋升角方向变化至 $D2'$。

2.3　弹丸参数

弹丸质量为 m_q，弹丸转动惯量为 J，弹丸弹带局部结构如图5所示。

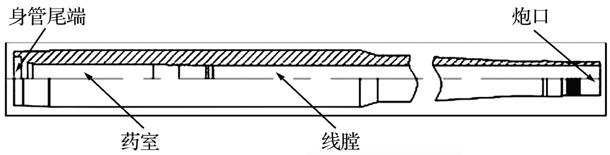

图2　火炮身管结构

Fig.2　Gun barrel structure

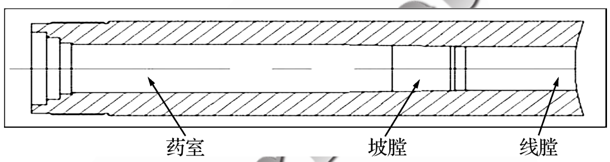

图3　火炮药室结构

Fig.3　Artillery chamber structure

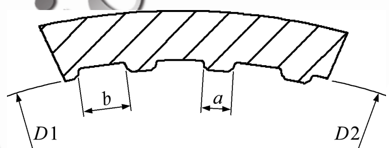

图4　膛线内弹道截面

Fig.4　Internal trajectory section of rifle

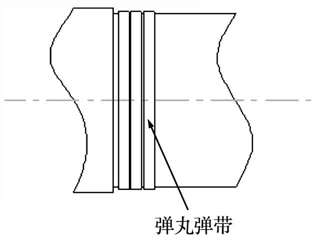

图5　弹丸弹带局部结构

Fig.5　Part structure of projectile belt

表2　内膛结构参数

Tab.2　Rifle structure parameters

名称	等截面结构膛线	渐变截面结构膛线
膛线数量	n	n
膛线缠度	t 倍口径	t 倍口径
缠角	θ，右旋，等齐	θ，右旋，等齐
膛线轴线方程	$y = k \times x$	$y = k \times x$ $y1 = k1 \times x + c1$ $y2 = k2 \times x - c2$
阳线直径	$D1$	$D1$
阴线直径	$D2$	身管口部阴线直径 $D2'$ 膛线起点阴线直径 $D2$
阳线宽度	a	炮口阳线宽度为 a' 膛线起点阳线宽度为 a
阴线宽度	b	炮口阴线宽度为 b' 膛线起点阴线宽度为 b

3　弹丸弹带挤进阻力计算对比分析

3.1　计算模型

为了精确求取挤进阻力，必须把挤进过程涉及的相关因素，包括弹带材料性能、弹丸-炮膛几何匹配关系等，都包含在挤进的数学描述之中[7,8]。令挤进(刻槽)过程从弹带与坡膛锥面接触开始，弹丸向前运动，弹带材料进入屈服流动状态，并随挤进行程增加，多余(过盈)材料推向后方，接触面逐渐增加[9]。在推导挤进阻力基本方程之前，先提出如下基本假定：

(1) 假定弹丸装填定位状态与弹带(凸台)直径 d_b、弹带前斜面倾角 α_2 及坡膛角 Φ 有关，α_2 即弹带前侧母线与弹丸轴线之间的夹角，为弹带前倾角。

(2) 假定弹带与坡膛接触面上的应力为常量，这个应力即为弹带材料流动应力 σ_f。

(3) 假定挤进中接触(压力)载荷是接触面积与表面应力的乘积，即 $W_n=\sigma_f A_c$。

(4) 此外，一些弹带结构过于复杂，需作适当简化。特作如下约定，以公称口径 d 为基础，对弹带上的沟槽、凸台和前后倾角因素进行修正，折算出弹带有效当量直径 d_b 和有效当量宽度 S_z。

(5) 对于双弹带，在对每条弹带作简化处理和确定出 d_b 和 S_z 基础上，要考虑前后弹带之间间隔距离[10,11]。

令几个特征长度分别为

$$l_1=\frac{d_b-d}{2}\left(\frac{1}{\tan\Phi}-\frac{1}{\tan\alpha_2}\right) \tag{1}$$

$$l_2=S_2+l_1-S_1 \tag{2}$$

$$l_3=S_2+l_1 \tag{3}$$

$$l_4=l_3+\Delta S_3 \tag{4}$$

相应不同阶段阻力表达式为

$$\begin{cases}F_{x_1}=\sigma_f\pi(\mu_n\cos\Phi+\sin\Phi)\left[d+\dfrac{S_1}{l_1}\tan\Phi\cdot x\right]\dfrac{S_1}{l_1\cos\Phi}\cdot x & (0\leqslant x\leqslant l_1)\\ F_{x_2}=\dfrac{\sigma_f\cdot c\cdot\mu_n}{\cos\theta-\mu_n\sin\theta}(x-l_1)+\sigma_f(\mu_n\cos\Phi+\sin\Phi)\cdot\pi\cdot\left[d+\dfrac{S_1}{\cos\Phi}\cdot\sin\Phi\right]\cdot\dfrac{S_1}{\cos\Phi} & (l_1\leqslant x\leqslant l_2)\\ F_{x_3}=F_{x_2}(l_2\leqslant x\leqslant l_3) & \\ F_{x_4}=\sigma_f\cdot\pi(\mu_n\cos\Phi+\sin\Phi)\left[d+\dfrac{l_4-x}{\Delta S_3}\cdot S_1\tan\Phi\right]\dfrac{l_4-x}{\Delta S_3\cos\Phi}\cdot S_1+\dfrac{\sigma_f\cdot c\cdot\mu_n}{\cos\theta-\mu_n\sin\theta}(x-l_1) & (l_3\leqslant x\leqslant l_4)\\ F_{x_5}=\dfrac{\sigma_f\cdot c\cdot\mu_n}{\cos\theta-\mu_n\sin\theta}(S_2+\Delta S_3) & (x>l_4)\end{cases} \tag{5}$$

式中 ΔS_3 为弹带材料挤压延伸长度，c 为圆周接触长度，θ 为缠角。

$$\Delta S_3=\frac{d_b^2-d^2a/(a+b)-d'^2b/(a+b)}{[a/(a+b)]d^2+[b/(a+b)]d'^2-d_p^2} \tag{6}$$

$$c=\left(\frac{a}{a+b}d+\frac{b}{a+b}d'\right)\pi \tag{7}$$

式中 d_p 为弹带后部弹丸(沟槽)外径。

3.2　挤进阻力计算结果

图6为等截面膛线和渐变截面膛线弹丸弹带挤进过程阻力的变化情况。挤进阻力的计算只与材料的性质、膛线数目、阳线直径和阴线直径有关，对于新型渐变截面结构，膛线可以使得挤进阻力减小约16%，改变膛线截面结构有利于减小弹丸挤进过程中引起的磨损。

通过计算分析可知，在弹丸弹带挤进的过程中，渐变截面膛线相比于等截面膛线，弹丸弹带挤进阻力变化趋势一致，在弹带挤进初期，渐变膛线变化程度越大，弹带所受挤入阻力越小，随着弹带完全挤入膛线，弹丸弹带挤入阻力趋于稳定，渐变膛线变化对弹丸弹带影响较小。总体来说，渐变截面膛线弹丸弹带所受挤进阻力相对变小，有利于弹丸弹带流变挤进膛线，有利于弥补弹带磨损后形成的间隙，有利于减少膛线根部应力集中，减少弹丸弹带对膛线的冲击和磨损，增强铜弹带的挤入能力，提高火药燃烧气体的密封性能，有效提升弹带的闭气性能。

4　膛线导转侧向力和摩擦力计算对比分析

4.1　计算模型

膛线导转侧垂直压力 N 的计算方法：

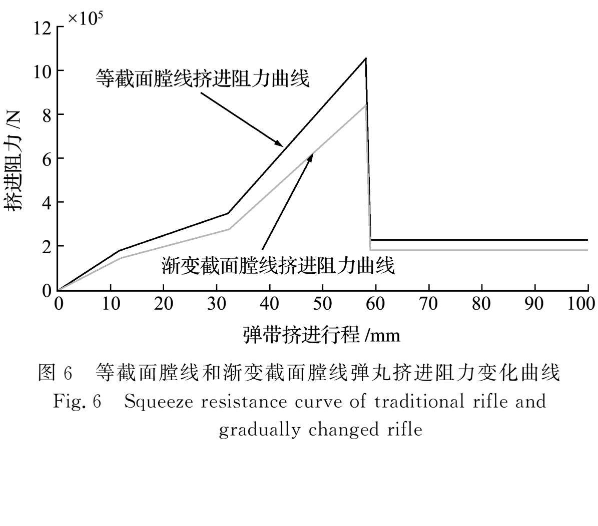

图6　等截面膛线和渐变截面膛线弹丸挤进阻力变化曲线

Fig. 6　Squeeze resistance curve of traditional rifle and gradually changed rifle

$$N=\frac{1}{n}\left(\frac{2\rho}{d}\right)^{2} P_{d}\cdot S\cdot \tan\alpha \tag{8}$$

式中 n 为膛线条数，θ 为膛线缠角，S 为炮膛横截面积，P_d 为弹底压力，ρ 为弹丸的惯性半径，d 为弹丸作用直径[12-15]。

炮膛横截面积 S 的准确计算公式为

$$S=\frac{\pi}{4}\left(\frac{a}{a+b}d^{2}+\frac{b}{a+b}d'^{2}\right)= d^{2}\cdot\frac{\pi}{4}\left(\frac{a+b(d'/d)^{2}}{a+b}\right) \tag{9}$$

弹丸运动时沿炮膛轴线方向的摩擦力为

$$F_{l}=n(\mu N)_{x}=n\mu N\cos\alpha \tag{10}$$

4.2　计算结果

分别计算了等截面膛线结构和渐变截面膛线炮膛横截面积变化、膛线导转侧向受力和弹带与膛线摩擦受力的情况。渐变截面膛线与等截面膛线的炮膛横截面积的变化如图 7 所示，可以看出，等截面膛线横截面积在膛内不发生变化，渐变截面膛线横截面积自药室膛线起点至炮口逐渐减小。

根据截面面积变化曲线可知，对于等截面膛线结构，阴线直径、膛线深度、阳线宽度和阴线宽度等尺寸不发生改变，膛线截面面积曲线为直线；而对于渐变截面膛线结构，阴线直径由膛线起点处向身管口部方向逐渐减小，即膛线深度由膛线起点处向身管口部方向逐渐减小，阴线宽度由膛线起点处向身管口部方向逐渐变窄，膛线截面面积逐渐减小，渐变截面膛线面积变化曲线为斜线。通过截面面积变化曲线可以推断，渐变膛线随着弹丸的运动，由于弹丸与膛线之间的接触存在一个渐变的过程，形成渐紧式的效果，则弹丸的闭气性比等截面膛线更好，提高火药燃烧气体的密封性能，有效提升弹带的闭气性能，且膛内运动受到的扰动相对会减小，使得弹丸在膛内运行平稳，减少章动，具有减小弹丸炮口扰动的作用，在提高射击密集度、保证射击精度的同时，有利于身管寿命的提高。

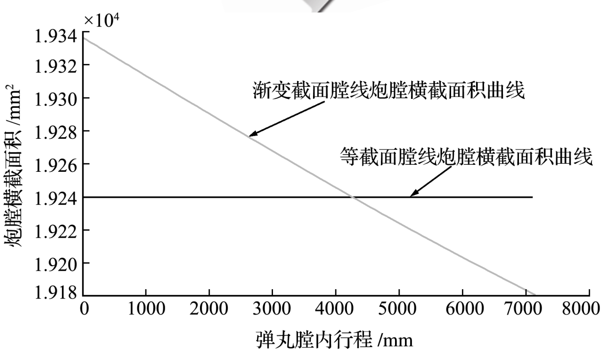

图 7　等截面膛线和渐变截面膛线横截面积变化曲线
Fig. 7　Grooves cross-sectional area curve of traditional rifle and gradually changed rifle

图 8 为等截面膛线导转侧向力与渐变截面膛线炮膛的弹带导转侧向力计算结果曲线，最大受力出现在最大弹底压力的地方，通过对比导转侧向力的计算结果可以看出，渐变截面膛线相对等截面膛线结构，炮膛导转侧向力减小，最大导转侧向力减小约 9.98%，炮口处导转侧向力差异较小，约为 1%。

计算结果表明渐变截面膛线和等截面膛线最大导转侧力处于同一位置，与弹底压力最大处一致，位于膛线初始处。由比较结果可知，渐变截面膛线的最大导转侧力小于等截面膛线，渐变截面膛线所受的剪切力小于等截面膛线，改善了膛线初始位置的受力情况，延长了膛线起点的使用寿命。由导转侧力变化曲线可知，随着弹丸在膛内运行，弹丸导转侧力逐渐趋于一致，说明渐变截面膛线比等截面结构膛线可有效改善膛内膛线所受弹带导转侧力情况，并且不影响弹丸炮口初速。

等截面膛线弹带-膛线之间的摩擦力和渐变截面膛线弹带-膛线之间的摩擦力变化情况如图 9 所示。由计算结果可知，渐变截面膛线结构有助于减小弹带-膛线之间的摩擦力。

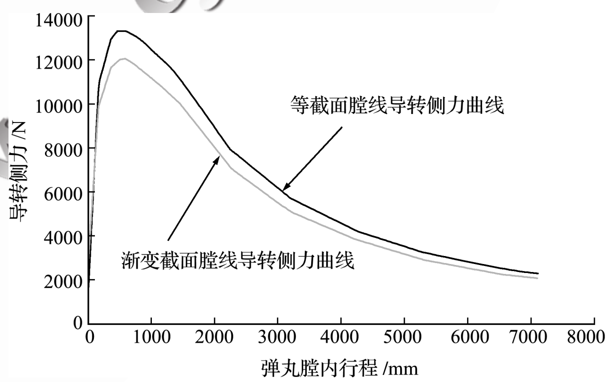

图 8　等截面膛线与渐变截面膛线导转侧力变化曲线
Fig. 8　Reverse side force curve of traditional rifle and gradually changed rifle

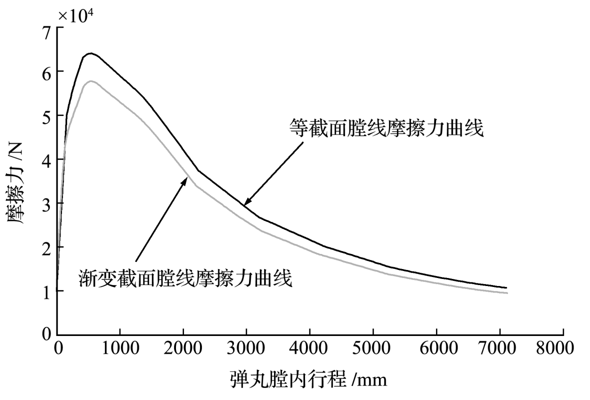

图 9　等截面膛线与渐变截面膛线摩擦力变化曲线
Fig. 9　Frictional resistance curve of traditional rifle and gradually changed rifle

通过比较摩擦力计算曲线可知，等截面膛线结构和渐变截面膛线弹带摩擦力最大处为同一位置，位于弹底压力最大处，渐变结构膛线产生的弹带最大摩擦力比等截面结构膛线减小约10%，由比较结果可以看出，渐变膛线产生的弹丸弹带摩擦力整体小于等截面结构膛线。这种情况表明，渐变结构膛线有利于减少弹丸在膛内运动时所产生的无用功，相同射击条件下，提升弹丸出炮口威力。同时渐变结构膛线所产生的弹带摩擦力减小，使膛线所受弹带摩擦热减小，增强内膛抗烧蚀寿命，有利于提升身管使用寿命。

5　结　论

通过对等截面结构膛线与渐变截面结构膛线的对比计算分析发现，采用渐变截面膛线可使弹丸弹带挤进阻力减小16%；渐变截面膛线相对等截面膛线结构炮膛导转侧向力减小，最大导转侧向力减小约9.98%，炮口处导转侧向力差异较小；渐变结构膛线产生的弹带最大摩擦力比等截面结构膛线减小约10%，渐变膛线产生的弹丸弹带摩擦力整体小于等截面结构膛线。渐变截面结构膛线有利于膛线起始处弹丸弹带材料的流变挤进，有利于弥补弹带磨损后形成的间隙，有利于减少膛线根部应力集中，减少弹丸弹带对膛线的冲击和磨损，增强弹丸弹带的挤入能力；随着弹丸在膛内的高速运动，渐变膛线的结构形成了渐紧式的效果，有效提高火药燃烧气体的密封性能，提升弹带的闭气性能；同时渐变结构膛线所产生的弹带摩擦力减小，弹丸膛内运动受到的扰动相对减小，使得弹丸在膛内运行平稳，减少炮口章动，保证了射击密集度，同时膛线受到的弹带摩擦生热大量减少，增强了身管内膛的抗烧蚀寿命，在保证了射击精度的同时，有利于身管寿命的提高。

渐变截面膛线的设计是在炮、弹和药一体化设计的基础上提出的，是对现有制式火炮装备身管内弹道结构的丰富和补充，因此满足现有制式弹药的发射使用要求。随着火炮技术的不断发展，身管内弹道设计需要深入研究，在实现渐变截面的基础上进一步优化，探寻截面变化范围及变化程度，得到渐变截面膛线的最优解，满足不断提升的武器装备的火力性能需求。

参考文献（References）：

[1] 张喜发，卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京：国防工业出版社，2001.（ZHANG Xi-fa，LU Xing-hua. *Interior Ballistics of Erosion Guns*[M]. Beijing：National Defense Industry Press，2001.（in Chinese））

[2] 邹利波，于存贵，郭昭蔚，等. 线膛身管有限元网格参数化建模方法[J]. 国防科技大学学报，2019，**41**(3)：77-82.（ZOU Li-bo，YU Cun-gui，GUO Zhao-wei，et al. Parametric modeling method of finite element grid for rifling barrel [J]. *Journal of National University of Defense Technology*，2019，**41**(3)：77-82.（in Chinese））

[3] 张相炎，郑建国，袁人枢. 火炮设计理论[M]. 北京理工大学出版社，2014.（ZHANG Xiang-yan，ZHENG Jian-guo，YUAN Ren-shu. *Theory of Artillery Gun Design*[M]. Beijing：Beijing University of Technology Press，2014.（in Chinese））

[4] 杜中华. 某型火炮膛线优化研究[J]. 机械工程师，2018(3)：24-27.（DU Zhong-hua. Study on optimization of certain gun rifling[J]. *Mechanical Engineer*，2018(3)：24-27.（in Chinese））

[5] 赵　萌，温　波，王在森，等. 一种火炮身管的模板化设计方法[J]. 火炮发射与控制学报，2013，**34**(2)：46-50.（ZHAO Meng，WEN Bo，WANG Zai-sen，et al. A kind of template design method of gun barrel[J]. *Journal of Gun Launch & Control*，2013，**34**(2)：46-50.（in Chinese））

[6] 张小兵. 枪炮内弹道学[M]. 北京：北京理工大学出版社，2014.（ZHANG Xiao-bing. *Guns Internal Ballistics*[M]. Beijing：Beijing Insititute of Technology Press，2014.（in Chinese））

[7] 孙全兆. 大口径榴弹炮弹带挤进动力学研究[D]. 南京理工大学，2015.（SUN Quan-zhao. Study on Dynamics of Rotating band Engraving for Large Caliber Howitzers[D]. Nanjing University of Science and Technology，2015.（in Chinese））

[8] 李　淼，钱林方，孙河洋. 某大口径火炮弹带热力耦合挤进动力学数值模拟研究[J]. 兵工学报，2016，**37**(10)：1803-1811.（LI Miao，QIAN Lin-fang，SUN He-yang. Research on coupled thermo-mechanical model during rotating band engraving process[J]. *Acta Armamentarii*，2016，**37**(10)：1803-1811.（in Chinese））

[9] 孙全兆，杨国来，王　鹏，等. 某大口径榴弹炮弹带挤进过程数值模拟研究[J]. 兵工学报，2015，**36**(2)：206-213.（SUN Quan-zhao，YANG Guo-lai，WANG

Peng, et al. Numerical research on rotating band engraving process of a large-caliber howitzer[J]. *Acta Armamentarii*, 2015, **36**(2): 206-213. (in Chinese))

[10] 丁传俊,张相炎.基于热力耦合有限元模型的弹带挤进过程及内弹道过程的仿真研究[J].兵工学报, 2015, **36**(12): 2254-2261. (DING Chuan-jun, ZHANG Xiang-yan. Simulation study of bearing band engraving pro-cess and interior ballistic process based on thermo-mechanical coupling FEA model[J]. *Acta Armamentarii*, 2015, **36**(12): 2254-2261. (in Chinese))

[11] 丘尔巴诺夫.挤进时期内弹道学与挤进压力计算[M].杨敬荣,译.北京:国防工业出版社, 1997. (Qierbarov E B. *Interior Ballistics and Engraving Force Calculation During Engraving of Projectile*[M]. YANG Jing-rong, translated. Beijing: National Defense Industry Press, 1997. (in Chinese))

[12] 刘 雷,陈运生,杨国来.基于接触模型的弹炮耦合问题研究[J].兵工学报, 2006, **27**(6): 984-987. (LIU Lei, CHEN Yun-sheng, YANG Guo-lai. A study on the projectile-barrel coupling based on contact model [J]. *Acta Armamentarii*, 2006, **27**(6): 984-987. (in Chinese))

[13] Johnson G R, Cook W H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures[J]. *Engineering Fracture Mechanics*, 1985, **21**(1): 31-48.

[14] 丁传俊,张相炎,刘 宁.身管内膛参数化模型及其磨损有限元模型的生成方法[J].兵工学报, 2016, **37**(12): 2212-2219. (DING Chuan-jun, ZHANG Xiang-yan, LIU Ning. A parametric modeling method for gun barrel and a meshing generation strategy for worn barrel[J]. *Acta Armamentarii*, 2016, **37**(12): 2212-2219. (in Chinese))

[15] 吴会民,牛长根.弹丸膛内运动分析[J].火炮发射与控制学报, 2011, **32**(4): 62-65. (WU Hui-min, NIU Chang-gen. Analysis on moving characteristics of projectile in bore [J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2011, **32**(4): 62-65. (in Chinese))

Force calculation and analysis of a new gun barrel rifle

YANG Feng, ZHANG Jian*, GUO Ce-an

(School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: Aiming at the traditional internal trajectory structure of gun barrel, a new structure a gun barrel rifling with gradual cross-section structure is proposed. Taking the rifling of a large caliber gun barrel as the research object, the paper calculates and analyzes the force change of the traditional rifle and the gradually changed rifle, include the squeeze resistance of projectile belt, the reverse side force of rifle, the frictional resistance of rifle and the section area of rifling grooves. The calculation results show that the gradually changed rifle is beneficial to enhance the ability of projectile belt to squeeze in, reduce the stress concentration at the root of the rifle, decrease the rifling impact and wear of projectile belt, improve the airtightness of projectile belt effectively. Meantime, the gradually changed rifle can effectively reduce the disturbance of projectile when it moves in the bore, so as to make the projectile run smoothly in the bore and reduce the movement of the muzzle. The gradually changed rifle not only ensures the shooting accuracy, but also improves the service life of the barrel.

Key words: gun barrel; rifling; gradually change rifle; force analysis of rifle

引用本文/Cite this paper:

杨 峰,张 健,郭策安.一种新型结构火炮身管膛线的计算分析[J].计算力学学报, 2020, **37**(6): 729-734.

YANG Feng, ZHANG Jian, GUO Ce-an. Force calculation and analysis of a new gun barrel rifle[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 2020, **37**(6): 729-734.