

New Computation Method
for Gun Test
and Dynamics Design

火炮试验与动力学性能
设计计算新方法

张福三 姚志军 张培忠 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013066593

TJ306
05

火炮试验与动力学性能设计 计算新方法

张福三 姚志军 张培忠 编著



国防工业出版社

·北京·



北航

C1673407

TJ306
05

内 容 简 介

火炮试验与动力学性能设计计算新方法,主要包括:内弹道性能试验,外弹道性能试验,火炮发射动力学性能试验(含膛内时期、后效期以及后效期结束时动力学性能)及计算方法,炮口装置后效期能量效率计算新方法等。并提出采用火炮动力试验装置考核火炮总体(炮架)和反后坐装置强度及工作可靠性的设想与建议,对提高身管寿命途径提出分析与看法。

书中内容对科研设计部门、工厂、院校以及靶场试验等科技人员具有比较好的使用与参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

火炮试验与动力学性能设计计算新方法/张福三,姚志军,
张培忠编著. —北京:国防工业出版社,2013.4
ISBN 978-7-118-08657-7

I. ①火... II. ①张... ②姚... ③张... III. ①火
炮-性能试验 IV. ①TJ306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 099912 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 17 字数 365 千字

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

在总结多年火炮试验经验的过程中,我们发现某些传统的火炮设计理论与计算方法经不起工程实践的检验。本书给出了膛内时期火药气体压力作为系统内力具有的两个(变量和常量)显著特点,得出膛内时期的动量守恒不是后坐部分、弹丸和火药气体三者的动量之和等于0,而是膛内时期火药气体压力作为系统内力,内力冲量之和必等于0,这一结论得到普通物理学和大量火炮动力学性能试验结果的支撑;并给出后效期前喷火药气体对后坐部分的等效(实际等效)推力喷射速度的概念与计算方法;给出膛内时期、后效期后坐部分具有自由后坐动量的计算新方法;给出炮口装置后效期能量效率的定义与计算新方法,在炮口装置结构设计、选型、试验以及评价时,应采用该方法的计算结果;给出炮口装置结构特征量与火药气体冲量相对变化率的计算新方法,计算结果反映了这两个特征量与弹药(种)及装药温度条件无关的结论,同时也提出了炮口装置后效期能量效率在自动武器上的应用;给出具有倾向性影响时试验结果平均值的修正计算方法,对立靶密集度试验结果应进行综合评定,不能将射表载的密集度值作为战技指标合格界的边界值来使用。重新推导了无坐力炮不平衡冲量(动量)方程式,给出不是一半火药气体从尾喷管喷出,另一半火药气体从炮口喷出的计算结果,随着不同弹药(种)弹丸质量的增加,从尾喷管喷出的火药气体质量也要增加,反之亦然。在火炮总体(炮架)以及反后坐装置强度与可靠性试验中,建议采用火炮动力试验装置进行试验,可以节约人力和物力,缩短试验周期,对提高身管寿命途径提出看法等。

李光伟、刘景江、刘明锐、胡清华参加了第2章、第3章、第4章的撰写工作,高挺、张继华参加了第5章、第6章的撰写工作。

本书的编著与出版得到韩强、胡永生、左少平、姜鹏武等领导的大力关怀与支持,并亲自指导本书的编著工作。王小军、张帅、侯习平、郑丽华等同志

为本书的出版做了大量工作。初稿完成后,装甲兵工程学院王国辉教授、国营一二七厂吴成金研究员,对书稿进行了审校,并提出许多宝贵意见,在此一并表达深深谢意。

本书是作者多年从事火炮试验经验的总结,同时也汇集了多项试验理论研究成果。但是,由于我们的学术与技术水平有限,对有关问题的分析与看法,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

于中国白城兵器试验中心

2012年10月

本书主要符号表

名称	符号	单位
1. 装药量	ω	kg
2. 弹丸质量	m	kg
3. 弹丸初速	v_0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
4. 弹丸炮口速度	v_g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
5. 弹丸飞出炮口临界断面时的炮口气流的声速 (声速平均值)	$c_0(\bar{c}_0)$	$\text{dm} \cdot \text{s}^{-1}$
6. 炮膛横断面面积	S	dm^2
7. 弹丸行程长	l_g	dm
8. 火药气体等效推力喷射速度	A	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
9. 滑膛炮火药气体实际等效推力喷射速度	A	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
10. 线膛炮火药气体实际等效推力喷射速度	A^*	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
11. 滑膛与线膛混合型火炮火药气体实际等效推 力喷射速度	A^{**}	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
12. 膛内时期后坐部分自由后坐速度	W	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
13. 不带炮口装置膛内时期结束后坐部分具有的 自由后坐速度	W_g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
14. 带炮口装置膛内时期结束后坐部分具有的自 由后坐速度	W_{gT}	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
15. 不带炮口装置后效期结束后坐部分具有的 最大自由后坐速度	$W_{K, \max}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
16. 带炮口装置后效期结束后坐部分具有的自 由后坐速度	W_{KT}	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
17. 不带炮口装置后坐部分质量	M_h	kg
18. 带炮口装置后坐部分质量	M_{hT}	kg

19. 炮架质量	M_J	kg
20. 自动机质量	M_Z	kg
21. 火炮战斗状态全炮质量	M_Q	kg
22. 膛内时期火药气体具有的对弹底压力	$P_d(t)$	MPa
23. 膛内时期火药气体具有的对膛底压力	$P_t(t)$	MPa
24. 膛内时期弹丸对后坐部分的轴向阻力	$F_{md}(t)$	N
25. 膛内时期后坐部分对弹丸的轴向阻力	$F_{mh}(t)$	N
26. 不带炮口装置膛内时期结束时后坐部分具有的自由后坐动量	I_g	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
27. 带炮口装置膛内时期结束时后坐部分具有的自由后坐动量	I_{gT}	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
28. 不带炮口装置弹丸飞出炮口临界断面时具有的炮口动量	I_q	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
29. 带炮口装置弹丸飞出炮口临界断面时具有的炮口动量	I_{qT}	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
30. 不带炮口装置后效期火药气体等效推力冲量	$I_{T,\max}(\omega A)$	$\text{N} \cdot \text{s}$
31. 不带炮口装置滑膛炮后效期火药气体实际等效推力冲量	$I_{T,\max}(\omega A)$	$\text{N} \cdot \text{s}$
32. 不带炮口装置线膛炮后效期火药气体实际等效推力冲量	$I_{T,\max}(\omega A^*)$	$\text{N} \cdot \text{s}$
33. 不带炮口装置滑膛与线膛混合型火炮后效期火药气体实际等效推力冲量	$I_{T,\max}(\omega A^{**})$	$\text{N} \cdot \text{s}$
34. 不带炮口装置后效期结束时后坐部分具有的最大自由后坐动量	$I_{K,\max}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
35. 带炮口装置后效期结束时后坐部分具有的自由后坐动量	I_{KT}	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
36. 带与不带炮口装置后效期火药气体冲量相对变化率	σ	%
37. 带与不带炮口装置后坐动量变化率	λ	%
38. 火炮总体、炮架和后坐部分后坐动量金属利用系数	$\eta_{H(M_Q, (M_J, M_Z))}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}/\text{kg}$

- | | | |
|--|---------------------|---|
| 39. 不带炮口装置后效期前喷火药气体施加给后坐部分的推力冲量(在量值上等于后坐部分获得的动量增量) | I_0 | $\text{N} \cdot \text{s}(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ |
| 40. 后效期火药气体作用于炮口装置上的推力冲量(在量值上等于后效期后坐部分获得的动量增量的改变量) | I_T | $\text{N} \cdot \text{s}(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ |
| 41. 带炮口装置后效期火药气体使后坐部分获得的推力冲量(在量值上与在后效期后坐部分具有的动量增量相等) | I_{TT} | $\text{N} \cdot \text{s}(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ |
| 42. 不带炮口装置后效期前喷火药气体使后坐部分获得的自由后坐速度增量 | ΔW_0 | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| 43. 后效期作用于炮口装置上的火药气体使后坐部分获得的自由后坐速度增量 | ΔW_T | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| 44. 带炮口装置后效期火药气体使后坐部分获得的自由后坐速度增量 | ΔW_{TT} | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| 45. 后坐动量变化率(带与不带炮口装置后效期结束时后坐部分获得的自由后坐动量的改变程度) | λ | % |
| 46. 后效期后坐动量效率(带与不带炮口装置后效期后坐部分获得的自由后坐动量的改变程度) | $\eta_{ld}(\sigma)$ | % |
| 47. 不带炮口装置后效期结束时后坐部分获得的自由后坐动能 | E_0 | J |
| 48. 带炮口装置后效期结束时后坐部分获得的自由后坐动能 | E_T | J |
| 49. 不带炮口装置在后效期后坐部分获得的自由后坐动能 | E_{H0} | J |
| 50. 带炮口装置在后效期后坐部分获得的自由后坐动能 | E_{HT} | J |
| 51. 炮口动能金属利用系数 | η_{E_g} | $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| 52. 炮口装置能量效率 | η_E | % |
| 53. 炮口装置后效期能量效率 | η_{nx} | % |

目 录

第1章 概论	1
第2章 内弹道性能试验	13
2.1 概述	13
2.2 关于膛内时期火药气体压力	13
2.2.1 膛内时期火药气体压力与其质量密度和温度的关系	13
2.2.2 膛内时期火药气体压力时间曲线变化规律	15
2.3 实际测试得到的弹底与膛底压力的关系	18
2.3.1 火药气体本身具有的压力	18
2.3.2 实际测试时得到的火药气体压力	19
2.4 采用微波干涉仪测量弹底与膛底火药气体压力的新方法	29
2.4.1 微波干涉仪测量弹底与膛底火药气体压力的分析	29
2.4.2 微波干涉仪测得的弹底与膛底火药气体压力一致性 检验	32
2.5 火炮弹丸初速测量误差	34
2.5.1 减小测量误差的意义	34
2.5.2 对火炮弹丸初速测量误差的分析	35
2.6 后坐动量大小在强装药中的应用	38
2.6.1 强装药及其使用的要求	38
2.6.2 选配与使用强装药的原则	40
2.7 火炮系统内弹道性能设计指标给出原则	43
2.7.1 某坦克炮内弹道性能规定值和实际试验结果的分析	44
2.7.2 改变初速对后效期结束后坐部分具有的最大自由后坐 动能的影响	49
2.8 加药法强装药对火炮受力影响的分析	52
2.8.1 加药法与保温法获得强装药对火炮受力的影响	52
2.8.2 在火炮身管寿命中期使用加药法强装药对火炮受力的	

影响.....	59
2.8.3 在火炮身管寿命中期使用加药法强装药可以适当减小 弹丸初速.....	61
本章参考文献	63
第3章 外弹道性能试验	64
3.1 概述	64
3.2 具有倾向性影响时试验结果平均值计算方法	64
3.2.1 具有倾向性影响时试验结果平均值应进行修正计算.....	64
3.2.2 修正计算方法.....	65
3.2.3 不同计算方法对试验结果的影响.....	67
3.2.4 计算方法的应用.....	68
3.2.5 考虑倾向性影响时单发命中率的计算方法.....	72
3.2.6 对部队作战使用的影响	74
3.3 对火炮弹丸立靶密集度进行综合评定的分析	77
3.3.1 立靶密集度的综合评定.....	77
3.3.2 综合评定的原因与原则.....	77
3.3.3 综合评定的应用.....	82
3.3.4 在评定时要区分射表值和战技指标值的关系.....	84
3.4 对火炮校正射击试验方法的分析	85
3.4.1 校正射击的目的.....	85
3.4.2 校正界限值的确定.....	86
3.4.3 射弹发数与界限值 L 的关系.....	88
3.4.4 反常值的确定.....	90
3.4.5 试射靶上立靶密集度值的选取	92
3.4.6 试射靶制作时弹道下降量的计算	93
3.4.7 校正射击时必须收集和计算的数据.....	94
本章参考文献	95
第4章 火炮动力学性能试验	97
4.1 概述	97
4.2 两个小球发生碰撞时的动量守恒问题	97
4.3 火炮发射时的动量守恒问题	99
4.3.1 膛内时期火药气体具有的压力是系统内力.....	99

4.3.2	膛内时期系统总动量以及后坐部分和弹丸具有动量 计算方法	100
4.3.3	后效期火药气体使后坐部分获得的动量增量	102
4.3.4	后效期结束后坐部分具有的自由后坐动量	103
4.3.5	膛内时期后坐部分和弹丸具有动量的大小	103
4.3.6	膛内时期后坐部分获得自由后坐动量两种计算方法的 比较	104
4.3.7	后效期后坐部分获得自由后坐动量两种计算方法的 比较	105
4.4	两种火药气体冲量相对变化率计算方法	108
4.4.1	传统计算方法	108
4.4.2	本书使用的计算方法	109
4.4.3	两种方法计算结果与实测值的比较	111
4.5	两种方法计算自由后坐动量与实测值的比较	112
4.5.1	两种方法计算滑膛炮自由后坐动量结果与实测值的 比较	112
4.5.2	两种方法计算线膛炮不带炮口装置自由后坐动量结果与 实测值的比较	114
4.5.3	两种方法计算线膛炮带炮口装置自由后坐动量结果与 实测值的比较	117
4.6	自由后坐诸元与运动动能的计算方法	119
4.6.1	后坐部分自由后坐诸元的计算新方法	119
4.6.2	膛内时期后坐部分自由后坐行程长的计算方法	120
4.6.3	后效期后坐部分自由后坐诸元的计算方法	121
4.6.4	后坐部分运动动能的计算方法	122
4.7	炮口动能与后坐动量对火炮受力影响的分析	125
4.7.1	炮口动能大小对火炮总体(炮架)受力的分析	125
4.7.2	刚性炮架火炮受力的分析	126
4.7.3	火炮总体(炮架)强度试验弹种条件的选择	127
4.7.4	炮口动能与后坐动能对火炮受力的比较	128
4.7.5	采用后坐动量金属利用系数评价火炮动力学特性方法 ..	132
4.7.6	结论与看法	133

4.8	无坐力炮原理应用于一般火炮设计时的探讨	134
4.8.1	关于减轻火炮设计质量问题	134
4.8.2	一般火炮后坐动量(动能)计算方法	135
4.8.3	火炮无后坐条件	137
4.8.4	75mm 无坐力炮无后坐条件的分析	142
4.8.5	某 100mm 火炮动力学性能试验结果的分析	145
4.8.6	膨胀波火炮设计原理的分析	150
4.8.7	结论与看法	153
4.9	后效期火药气体动力学性能的分析	153
4.9.1	火药气体喷出炮口临界断面时声速的统计分析	154
4.9.2	火药气体从炮口临界断面喷出现象的分析	156
4.9.3	滑膛与线膛混合型火炮等效推力喷射速度的计算	157
4.10	等效推力喷射速度 A 的统计结果	159
4.10.1	火炮发射时火药气体动力学性能的统计分析	159
4.10.2	后效期火药气体等效推力喷射速度的统计计算	160
4.10.3	线膛炮和滑膛炮等效推力喷射速度 A 方差一致性 检验	164
4.10.4	线膛炮和滑膛炮等效推力喷射速度 A 平均值一致性 检验	165
4.10.5	炮口声速的统计与计算	167
4.11	带炮口制退器对弹丸初速的影响	167
4.11.1	炮口制退器质量的影响	167
4.11.2	炮口制退器结构特征对 v_0 值的影响	168
4.12	自由后坐车车轮转动对自由后坐性能数据的修正计算方法	169
4.12.1	车轮转动对自由后坐参数的影响	169
4.12.2	车轮转动对后坐体的平动试验数据的影响	170
4.12.3	对几种火炮考虑与不考虑转轮转动影响时计算结果的 比较	174
4.13	对 GHN-155mm 榴弹炮弹道自由后坐试验结果的分析	175
4.13.1	问题的提出	175
4.13.2	不考虑后坐车车轮转动时自由后坐参数的 试验结果	175

4.13.3	考虑后坐车车轮转动影响时自由后坐参数的 试验结果	176
4.13.4	考虑与不考虑后坐车车轮转动时自由后坐参数试验 结果的比较	177
本章参考文献		177
第5章 火炮强度与身管寿命试验		179
5.1	概述	179
5.2	火炮动力试验装置考核火炮强度的可行性分析	180
5.2.1	有关采用火炮动力试验装置考核火炮强度	180
5.2.2	对反后坐装置的受力分析	181
5.2.3	对研制火炮动力试验装置的分析	183
5.2.4	我国自行研制的第一台火炮动力试验装置概况	184
5.2.5	我国自行研制的火炮动态后坐模拟试验装置	186
5.3	提高火炮身管寿命的分析	189
5.3.1	火炮身管寿命状况及内弹道特征量的统计与分析	190
5.3.2	航空炮身管寿命的特殊情况	193
5.3.3	对火炮身管内膛磨损特征的分析	194
5.3.4	应开展身管弹道使用寿命和作战使用寿命研究	196
本章参考文献		206
第6章 炮口装置性能试验		207
6.1	概述	207
6.2	目前国内外使用的炮口装置性能计算方法	211
6.2.1	炮口装置结构特征与工作原理	212
6.2.2	自由后坐时炮口装置能量效率计算方法	215
6.2.3	在炮架上射击时炮口装置能量效率计算方法	216
6.3	现行炮口装置性能计算方法应用的局限性	218
6.3.1	不能准确反映炮口装置本身在后效期具有的 动力学性能	218
6.3.2	不能在不同弹药(种)上通用	219
6.4	炮口装置本身具有的动力学性能的测试与计算方法	219
6.4.1	后效期炮口装置冲量特性的测试与计算方法	219
6.4.2	炮口装置后效期能量效率的测试与计算方法	221

6.5	现行方法与本章给出方法计算结果的比较	224
6.5.1	同一种火炮发射不同弹药(种)时计算结果的比较	224
6.5.2	采用两种不同方法计算不同火炮炮口装置性能结果的比较	230
6.6	在炮架上射击时炮口装置动力学性能的测试与计算方法	232
6.6.1	带与不带炮口装置火药气体冲量相对变化率计算方法	232
6.6.2	后效期炮口装置动力学性能计算方法	237
6.6.3	59 式 130mm 加农炮后效期炮口装置动力学性能计算结果	242
6.7	炮口装置能量效率与后坐动量变化率和后效期动量效率的关系	243
6.7.1	后效期火药气体推力冲量特征量	243
6.7.2	后坐动量变化率 λ 的定义式 (不考虑炮口装置质量影响时)	243
6.7.3	火药气体冲量相对变化率的定义式	244
6.7.4	炮口装置能量效率的定义式	245
6.7.5	炮口装置三个性能特征量(η_E 、 σ 、 λ)之间的关系	246
6.7.6	火炮后坐动量相对变化率 λ 的计算方法	248
6.7.7	炮口装置能量效率计算的另一种方法	249
6.8	枪口制退器在后效期具有的动力学性能计算方法	250
6.8.1	12.7mm 高射机枪枪口制退器效率试验结果	250
6.8.2	枪口制退器动力学性能计算方法比较	251
6.8.3	枪口制退器后效期能量效率计算结果	252
6.9	炮口装置后效期动力学性能综述	253
	本章参考文献	256

第1章 概 论

在总结火炮试验经验的过程中,我们发现某些传统的火炮设计理论经不起工程实践的检验。某些试验结果不支持现在使用的有关动力学性能设计理论与计算方法,有的试验结果不支持使用理论的假设条件。本书给出了火炮动力学性能设计计算新方法,包括内弹道与内弹道动力学性能,后效期火药气体动力学性能以及炮口装置后效期能量效率计算方法等;重新推导了无坐力炮不平衡冲量(动量)方程式,给出与现行教科书中一半火药气体从尾喷管喷出,另一半火药气体从炮口喷出的不同计算结果,两个相反方向喷出的火药气体质量是不相等的,并且随着不同弹药(种)弹丸质量的增加,从尾喷管喷出的火药气体质量也增加,反之亦然;在火炮外弹道性能试验时,当试验条件对射弹散布产生倾向性影响时,给出对具有倾向性影响试验结果平均值的修正计算方法,以及具有倾向性影响时对射弹命中率的影响,并提出对高低和方向立靶密集度进行综合评定的建议等;在炮口装置性能计算方法上,给出炮口装置后效期能量效率的定义与计算方法,以及炮口装置结构特征量和火药气体冲量相对变化率的计算新方法等;在火炮总体(炮架)强度试验中,建议部分采用火炮动力试验装置进行试验,以充分暴露火炮总体(炮架)和火炮反后坐装置强度与可靠性存在的问题,节约人力和物力,缩短试验周期;对提高身管寿命途径提出分析与看法。

本书主要内容如下:

(1) 传统内弹道理论认为在膛内时期火药气体对弹底与膛底的压力是不相等的。实际上,膛内时期火药气体对弹底和膛底的压力具有两个显著特点:一是,火药气体对弹底与膛底的压力随着弹丸运动时间的变化而变化,也就是随着弹丸行程的变化而变化;二是,膛内时期火药气体在每一瞬态时刻对弹底与膛底的压力又是相等的。如果这一特征不成立,将膛内时期火药气体压力作为系统内力的设定将是不妥的。

传统的内弹道假设中,将火药气体的膨胀速度设定为膛底为0,在炮口点等于弹丸的炮口点速度。实际上,火药气体的膨胀速度不是按照直线运动规律变化,如果是按直线规律变化,对速度时间函数进行求导,将得到加速度时间函数按常数(即按直线)规律变化。很明显,这种假设是欠妥的,本书给出了新的火药气体膨胀速度时间变化曲线。

(2) 关于后效期火药气体动力学性能,传统使用的火炮发射不带炮口装置后效期结束时的后坐动量方程式为

$$M_h W_{K, \max} = mv_0 + \beta \omega v_0$$

对一般线膛炮发射时,采用式 $\beta = A/v_0$ 计算 β 值(并建议取 $A = 1300$),因此上式又可以写成

$$M_h W_{K, \max} = mv_0 + 1300\omega$$

由该式看出:不带炮口装置后效期结束时火炮后坐部分获得的自由后坐动量,它等于弹丸炮口动量和 1300ω 动量值之和,很明显 1300 的计量单位是 $m \cdot s^{-1}$ 。为什么一般线膛炮火药气体的动力学性能具有如此的相同规律?通过与滑膛炮的对比分析,找出了膛线是产生差异的核心因素。在有膛线情况下,弹丸飞出炮口的高速旋转运动,消耗掉膛内时期相当一部分火药气体压力冲量。通过对试验数据的统计分析,找出了滑膛炮在后效期单位质量的火药气体施加给后坐部分的推力冲量为 $1700N \cdot s$,也就是单位质量的火药气体使后坐部分获得 $1700kg \cdot m \cdot s^{-1}$ 的动量。

(3) 现在使用的火炮自由后坐系统总动量的分析与计算方法。

① 把后坐部分、装药和弹丸看成一个质点系,该系统在发射过程中沿水平方向所受外力之和为 0,而火药气体压力的作用对该系统是内力。根据质点系的动量守恒定律可知,若作用在质点系上所有外力在某坐标轴上的投影代数和恒为 0,则该质点系的动量保持不变。由于发射前后坐部分、装药和弹丸是静止的,系统总动量为 0,故发射后的任一瞬间系统仍保持总动量为 0,即

$$\sum_{i=1}^n m_i V_i = 0$$

取地面为参考系,以弹丸运动方向为正,则该系统总动量为 0,即

$$-M_h W + mv + K = 0$$

式中 M_h, m ——后坐部分及弹丸质量,kg;

W, v ——某瞬时后坐部分及弹丸的绝对速度, $m \cdot s^{-1}$;

K ——该瞬时火药气体的总动量, $kg \cdot m \cdot s^{-1}$ 。

② 我国现在使用的系统总动量守恒计算方法。

a. 膛内时期结束后坐部分具有的自由后坐动量计算方法。

当 $t = t_g$ 时,即弹丸飞出炮口瞬间,后坐部分具有自由后坐动量 $M_h W_g$ 为

$$M_h W_g = mv_0 + 0.5\omega v_0$$

式中 v_0 ——弹丸初速, $m \cdot s^{-1}$;

ω ——装药质量,kg。

b. 后效期火药气体使后坐部分获得动量增量的计算方法。

由质点的动量定理,在后效期结束时,后坐部分自由后坐动量的变化应等于后效期内炮膛合力 F_{pt} 的全冲量 I_h ,则有

$$I_h = \int_0^{\tau} F_{pt} dt = (\beta - 0.5) \omega v_0$$

式中后效期炮膛合力采用苏联海军少将工程师布拉温计算炮膛合力的方法进行计算,即

$$F_{pt} = SP_g e^{-\frac{t}{b}}$$

在符合该式中 b 值大小时,是采用式 $I_h = \int_0^{\tau} F_{pt} dt = (\beta - 0.5) \omega v_0$ 中的 β 值,来计算全冲量 I_h 值的。

c. 炮口装置冲量特征量(又称炮口装置结构特征量) χ 和火药气体冲量相对变化率 σ 的计算方法分别为

$$\chi = \frac{\beta_T - 0.5}{\beta - 0.5}$$

$$\sigma = \frac{\beta_0 - \beta_T}{\beta_0 - 0.5}$$

式中 β ——不带炮口装置时,火药气体后效作用系数;

β_T ——带炮口装置时,火药气体后效作用系数。

d. 不带与带炮口装置时,后效期结束时后坐部分具有自由后坐动量的计算方法分别为

$$M_h W_{K, \max} = m v_0 + \beta \omega v_0 \text{ (不带炮口装置)}$$

$$M_h W_{KT} = m v_0 + \beta_T \omega v_0 \text{ (带炮口装置)}$$

现在使用的后效作用系数 $\beta = A/v_0$ 的计算方法,当取 $A = 1300$ 时, $M_h W_{K, \max}$ 值的计算结果不能在滑膛炮上应用。对于 β_T 值的选取要靠试验来获取。工程实践表明:这两个公式仅适用于计算线膛炮后效期结束时后坐部分具有的自由后坐动量的大小,不能在滑膛炮上使用。

试验结果不支持现在使用的苏、美等国家的 a、b 和 c 的三种计算方法,也不支持基于系统总动量守恒的分析与计算方法。

(4) 膛内时期后坐动量的准确计算方法。本书给出与现在使用的不同计算方法,重新推证了火炮自由后坐时,后坐部分、弹丸和火药气体组成系统总动量守恒方程式,给出在膛内时期将后坐部分和弹丸分别作为独立研究对象,后坐部分与弹丸具有动量的关系及计算方法。

如果膛内时期火药气体压力具有的变量与常量特征代表不了系统内力的本