



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

薄玉成 王惠源 李强 韩晓明 等编著

自动机结构设计

ZIDONGJI
JIEGOUSHEJI

兵器工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

自动机结构设计

薄玉成 王惠源 李强 韩晓明 等编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书主要阐述自动机各组成机构(装置)的类型、结构原理、设计方法和分析计算等;对与自动机结构设计相关的内容,如自动武器的总体设计、总体布置、导气装置、膛口装置、缓冲装置、自动机常用弹簧等也做了必要的阐述。

本书是武器系统与发射工程专业本科生的主干教材,也是从事自动武器研究、设计、制造、试验人员和军事人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动机结构设计/薄玉成等编著. —北京:兵器工业出版社, 2009. 10

ISBN 978 - 7 - 80248 - 400 - 9

I. 自… II. 薄… III. 自动机—结构设计 IV. TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 160088 号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市登峰印刷厂

版 次:2009年10月第1版第1次印刷

印 数:1—500

责任编辑:张小洁

封面设计:李 晖

责任校对:郭 芳

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:25

字 数:620千字

定 价:40.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

自动机结构设计是武器系统与发射工程专业（火炮、自动武器）的主干课程，是培养合格的自动武器专业技术人才过程中不可缺少的重要环节之一。

本书共分12章，第1章“自动机总体结构设计”主要阐述对不同自动武器类型自动机设计的要求、总体布置的特点以及自动机结构设计在保证主要战术技术性能方面的一些技术措施。第2章“自动机工作原理及选择”主要阐述各种自动机的工作原理和特点，其中包括：枪机后坐式、身管后坐式、导气式、转管式、转膛式、链式、混合式和双管杠杆联动式等自动机，并增加了前冲式浮动自动机原理。第3章“身管设计”主要阐述内膛结构与强度设计，在身管外部结构设计中增加了“线膛与弹膛分离技术”。第4章“闭锁机构与加速机构设计”主要阐述闭锁机构的作用及类型和常用闭锁机构与加速机构的设计方法。第5章“供弹机构设计”较系统地介绍了弹匣用输弹簧的设计，新增加了双路供弹的结构类型和原理。第6章“退壳机构设计”新增了横动式和转管式自动机的退壳机构。第7章、第8章分别为“击发机构设计”和“发射机构设计”，新增电击发机构及变射频控制的内容。第9章为新增的“膛口装置设计”。第10章“缓冲装置设计”较系统地介绍了枪机（炮闩）缓冲和枪/炮身缓冲的内容。第11章为“导气装置设计”，除了阐述常规单管导气装置设计的理论和方法外，还补充了内能源转管武器导气装置的设计内容。第12章为“自动武器用弹簧设计”。

本教材由薄玉成主编，王惠源、李强为副主编。第1、2、4章由薄玉成编写，第3章由李强编写，第5、8章由王惠源编写，第6章由徐健编写，第7章由解志坚编写，第9、11章由韩晓明编写，第10章由郝秀平编写，第12章由张清编写，全书由薄玉成统稿。

本书由朵英贤院士主审，参加审阅本书的还有高跃飞教授、刘树华教授，他们为本书提出了许多宝贵的意见，付出了辛勤的劳动，谨向他们表示深切的谢意。同时也感谢兵器工业出版社教材编辑室的大力协助。

本书的错误和不当之处，敬请读者指正。

编 者
2009.2

常用符号表

<p>m 质量 kg</p> <p>m_d 弹丸质量 kg</p> <p>m_j 枪机质量 kg</p> <p>m_h 后坐部分的质量 kg</p> <p>m_s 活塞质量 kg</p> <p>m_g 身管质量 kg</p> <p>m'_a 枪机的转换质量 kg</p> <p>ω 装药量 kg</p> <p>v_0 初速 m/s</p> <p>v_a 机体撞击前的速度 m/s</p> <p>v_b 机头撞击前的速度 m/s</p> <p>v_{h1} 后坐终了时自动机运动速度 m/s</p> <p>v_{h0} 后坐开始时自动机运动速度 m/s</p> <p>S 面积 m^2</p> <p>S_s 活塞面积 m^2</p> <p>S_d 导气孔截面积 m^2</p> <p>β 后效系数</p> <p>p 膛内火药燃气压力 Pa</p> <p>p_d 弹丸至导气孔时膛内火药燃气的平均压力 Pa</p> <p>p_k 弹丸至膛口时膛内火药燃气的平均压力 Pa</p> <p>p_{dk} 弹壳内部膛压 Pa</p> <p>P_m 最大膛压 Pa</p> <p>p_d 弹底压力 Pa</p> <p>p_s 气室压力 Pa</p> <p>p_o 大气压力 Pa</p> <p>F_l 弹簧预压力 N</p> <p>F_p 膛底作用力 N</p> <p>F_f 复进簧力 N</p> <p>F_R 武器所受后坐力 N</p> <p>F_N 支撑力 N</p> <p>f 摩擦系数</p> <p>t_{dk} 弹丸自导气孔至膛口所经历的时间 s</p> <p>d 口径 mm</p> <p>d_1 弹壳底部最大内径 mm</p> <p>R 气体常数</p>	<p>η 传动效率</p> <p>λ 自动机工作总行程 m</p> <p>δ 弹壳壁厚 mm</p> <p>σ_b 弹壳材料的强度极限</p> <p>σ_e 弹壳材料的弹性极限</p> <p>α 膛线缠角</p> <p>Δ 闭锁间隙 mm</p> <p>I_c 弹丸的极转动惯量 $kg \cdot m^2$</p> <p>I_A 弹丸的赤道转动惯量 $kg \cdot m^2$</p> <p>E 弹性模量</p> <p>T_p 最大压力时的温度修正系数</p> <p>ε_r 和 ε_t 径向应变和切向应变</p> <p>n 膛线数, 枪机闭锁凸笋数</p> <p>η 膛线缠度</p> <p>N 射击频率 发/min</p> <p>K 弹簧刚度</p> <p>λ 行程 mm</p> <p>$[M]$ 质量矩阵</p> <p>$[C]$ 刚度矩阵</p> <p>i 传速比</p> <p>E_j 打燃底火所必须具有的击发能量 $N \cdot m$</p> <p>$[\tau]$ 剪切应力</p> <p>qm_{w0} 后效期内膛口处的气流流量 kg/s</p> <p>φ_b 速度损失系数</p> <p>β_r 带膛口制退器时后效作用系数</p> <p>ρ 液体密度 kg/m^3</p> <p>Δ 装填密度</p> <p>ξ_s 临界压力比</p> <p>V_s 气室容积 m^3</p> <p>V_{0s} 气室初始容积 m^3</p> <p>σ_s 活塞相对面积</p> <p>σ_Δ 间隙相对面积</p> <p>σ_m 活塞相对质量或单位面积质量 kg/cm^2</p> <p>σ_0 气室相对初始容积或气室换算长度 cm</p> <p>J 热功当量</p>
--	--

κ	等熵指数				
u_s	气室内气体的内能				
c_p	火药燃气的定压比热容				
i_0	压力全冲量				
c_v	火药气体的定容比热容				
G, G_q	导气孔和活塞间隙秒流量				
H_0	弹簧的自由高度 (长度)	mm			
			f_1	弹簧的预压量	mm
			C	旋绕比	
			D	弹簧中径	mm
			D_1	弹簧内径	mm
			D_2	弹簧外径	mm
			t	弹簧节距	mm

目 录

第 1 章 自动机总体结构设计	1
1.1 自动机分类	1
1.1.1 自动机按用途或装备平台分类	1
1.1.2 自动机根据自动方式分类	1
1.2 自动机设计要求	1
1.2.1 对自动机的一般要求	1
1.2.2 不同武器系统对自动机的特殊要求	2
1.3 自动机结构设计保证战术技术性能的技术措施	3
1.3.1 提高射速的技术措施	3
1.3.2 减小后坐阻力的技术措施	4
1.3.3 提高武器连发射击精度的技术措施	5
1.4 自动武器总体设计	6
1.4.1 方案设计	6
1.4.2 总体设计	7
1.4.3 自动机运动诸元估算	9
1.4.4 不同类型的武器自动机总体布置的特点	14
第 2 章 自动机工作原理及选择	17
2.1 枪机后坐式自动机工作原理	17
2.1.1 自由枪机式	17
2.1.2 半自由枪机式	21
2.2 身管后坐式自动机工作原理	22
2.2.1 身管短后坐自动机工作原理	22
2.2.2 身管短后坐自动机能量与结构分析	24
2.3 导气式自动机工作原理	24
2.3.1 工作原理	24
2.3.2 工作特点	24
2.4 身管短后坐—导气式混合式自动机工作原理	25
2.4.1 工作原理	25
2.4.2 工作特点	25
2.5 转管式自动机工作原理	25

2.6	链式自动机工作原理	29
2.6.1	工作原理	29
2.6.2	工作特点	31
2.7	转膛式自动机工作原理	32
2.7.1	工作原理	32
2.7.2	工作特点	33
2.8	双管杠杆联动式自动机工作原理	33
2.8.1	工作原理	33
2.8.2	工作特点	34
2.9	前冲式浮动自动机工作原理	34
2.9.1	浮动机的工作原理	35
2.9.2	浮动机的种类	35
第3章	身管设计	37
3.1	身管的工作条件、结构要求及受力分析	37
3.1.1	工作条件	37
3.1.2	结构要求	37
3.1.3	受力分析	38
3.2	身管外部结构	39
3.2.1	身管的外形	39
3.2.2	身管口部与尾端形状	39
3.2.3	身管与机匣(节套)的联接	40
3.2.4	线膛与弹膛分离技术	40
3.3	身管内膛结构设计	41
3.3.1	弹膛设计	41
3.3.2	坡膛设计	46
3.3.3	线膛设计	49
3.4	身管强度设计	56
3.4.1	设计压力曲线	56
3.4.2	身管的应力与应变模型	59
3.4.3	身管弹性强度极限	61
3.4.4	身管强度设计一般程序	67
3.5	身管的寿命	69
3.5.1	身管发热与冷却	69
3.5.2	身管内膛的疲劳强度分析	73
3.5.3	身管寿命的评价指标	78
3.5.4	提高身管寿命的措施与途径	79
第4章	闭锁机构与加速机构设计	82
4.1	闭锁机构的作用及类型特点	82

4.1.1	闭锁机构的作用	82
4.1.2	闭锁机构的类型及特点	82
4.2	对闭锁机构的设计要求	91
4.2.1	对惯性闭锁机构的设计要求	91
4.2.2	对刚性闭锁机构的设计要求	91
4.3	闭锁间隙及其分析计算	92
4.4	壳膛压力与弹壳的极限伸长量	96
4.4.1	壳膛压力	96
4.4.2	弹壳的轴向力与轴向变形	99
4.5	闭锁机构的结构设计	102
4.5.1	回转式闭锁机构的结构设计	102
4.5.2	偏转式闭锁机构的结构设计	108
4.5.3	滚柱式闭锁支撑部分的接触强度与接触疲劳寿命	110
4.6	自由行程与防反跳自开锁措施	113
4.6.1	自由行程	113
4.6.2	防反跳自开锁措施	114
4.7	楔紧现象与消除楔紧的措施	115
4.7.1	楔紧现象分析	115
4.7.2	消除楔紧的措施	118
4.8	加速机构设计	120
4.8.1	加速机构的作用	120
4.8.2	加速机构的结构分析与选择	120
4.8.3	加速机构的结构与强度设计	123
第5章	供弹机构设计	127
5.1	弹仓供弹机构结构设计	127
5.1.1	对弹仓供弹机构的要求	127
5.1.2	弹匣供弹机构结构设计	129
5.1.3	弹鼓无链供弹系统的结构原理	149
5.2	弹链供弹机构结构设计	167
5.2.1	弹链设计	167
5.2.2	弹链输弹机构设计	175
5.2.3	弹链进弹机构设计	191
5.3	双路供弹机构类型及原理	196
第6章	退壳机构设计	202
6.1	退壳机构的作用及设计要求	202
6.1.1	退壳机构的作用	202
6.1.2	退壳机构的设计要求	202

6.2	退壳机构的类型及选择	202
6.2.1	退壳机构的类型	202
6.2.2	各类退壳机构的特点分析	203
6.2.3	退壳机构的选择	212
6.3	抽壳阻力分析	212
6.3.1	抽壳阻力的产生	212
6.3.2	抽壳阻力的计算	213
6.3.3	影响抽壳阻力的因素	214
6.3.4	减小抽壳阻力的措施	215
6.4	退壳机构设计	216
6.4.1	抽壳机构的尺寸关联受力分析	216
6.4.2	抽壳机构的设计	218
6.4.3	抛壳机构的设计	221
6.4.4	退壳机构的强度设计	222
第7章	击发机构设计	224
7.1	击发机构的作用、类型和要求	224
7.1.1	机械击发机构的工作原理、构造和设计要求	224
7.1.2	机械击发机构的类型与结构特点	225
7.1.3	电击发机构	229
7.2	机械击发机构击发可靠性分析	229
7.2.1	打燃枪(炮)弹底火所需要的能量分析	229
7.2.2	击针的结构参数对发火率的影响	230
7.3	击发机构的结构设计	231
7.3.1	击针的设计	231
7.3.2	击针孔的设计	234
7.3.3	击针突出量	235
7.4	击发能量的计算	237
7.4.1	击发簧类型的选择	237
7.4.2	击发簧能量储备的确定	238
7.5	保证击发安全的措施	241
第8章	发射机构设计	243
8.1	发射机构的作用、类型和要求	243
8.1.1	发射机构的作用、一般构造和设计要求	243
8.1.2	发射机构的类型与结构特点	244
8.2	发射机构动作的几何分析	262
8.2.1	几何分析的目的	262
8.2.2	几何分析的方法	262

8.3	发射机构主要零件的强度	265
8.3.1	阻铁的受力分析	265
8.3.2	发射机构零件强度的保证	267
8.4	扳机力的计算	271
8.4.1	决定扳机力大小的因素	271
8.4.2	扳机力的计算	272
8.5	变射频控制技术	276
8.5.1	变射频的设计指导思想	276
8.5.2	变射频控制的工作原理	277
8.5.3	低射频自动炮	280
8.5.4	点射长度控制	280
8.6	机电组合式变射频控制的设计	281
8.6.1	总体设计	281
8.6.2	电扣机设计	281
8.6.3	控制电路的设计要求	285
第9章	膛口装置设计	287
9.1	膛口装置的类型	287
9.2	膛口制退器	287
9.2.1	膛口制退器的类型及工作原理	287
9.2.2	膛口制退器的特征量及影响因素	290
9.2.3	膛口制退器的设计	292
9.3	膛口助退器与防跳器	293
9.3.1	助退器结构参数对工作性能的影响	293
9.3.2	有助退器时后坐体速度的确定	294
9.3.3	防跳器	294
9.4	膛口消焰器	295
9.4.1	武器射击时膛口产生火焰的原因	295
9.4.2	消焰器的工作原理与结构类型	297
9.4.3	常用消焰器设计	299
9.5	膛口消声器	301
9.5.1	降低膛口声源能量的技术措施	301
9.5.2	膛口消声器的消声量评价	302
9.5.3	典型膛口消声器	302
第10章	缓冲装置设计	304
10.1	枪机(炮闩)缓冲装置	304
10.1.1	枪机(炮闩)缓冲装置的结构类型	304
10.1.2	缓冲装置的设计要求	311

10.1.3	设计任务与设计流程	311
10.1.4	设计举例	311
10.2	枪(炮)身缓冲装置	312
10.2.1	自动武器常用的枪(炮)身缓冲装置类型	312
10.2.2	枪(炮)身缓冲装置的设计要求	317
10.2.3	弹簧缓冲装置	318
10.2.4	液压缓冲装置	324
10.2.5	设计举例	325
第11章	导气装置设计	330
11.1	导气装置的工作原理及分类	330
11.1.1	导气装置的作用及工作原理	330
11.1.2	导气装置的分类及特点	330
11.1.3	导气装置中的气流分析	333
11.2	导气装置的分析计算方法	335
11.2.1	气室压力计算经验方法	335
11.2.2	导气装置的理论计算方法	343
11.3	导气装置的结构设计	346
11.3.1	导气装置的主要结构分析	346
11.3.2	导气装置的设计	350
11.4	内能源转管武器导气装置的结构原理	351
11.4.1	内能源转管武器的工作原理	351
11.4.2	内能源转管武器气室压力微分方程的建立方法	352
11.4.3	内能源转管武器导气装置的优化设计	355
第12章	自动武器用弹簧设计	359
12.1	螺旋压缩弹簧	359
12.1.1	圆柱螺旋压缩弹簧	359
12.1.2	矩形和方形截面圆柱螺旋压缩弹簧	364
12.1.3	多股圆柱螺旋压缩弹簧	368
12.1.4	棱柱螺旋压缩弹簧	371
12.1.5	圆柱螺旋压缩弹簧的优化设计	372
12.2	圆柱螺旋扭转弹簧	373
12.2.1	圆柱螺旋扭转弹簧结构特点与特性曲线	373
12.2.2	圆柱螺旋扭转弹簧的设计	374
12.3	平面涡卷弹簧	377
12.4	片弹簧	377
12.5	碟形弹簧	378
12.5.1	碟形弹簧的结构和工作特点	378

12.5.2	碟形弹簧的计算公式	379
12.5.3	碟形弹簧的设计	381
12.6	环形弹簧	382
12.6.1	环形弹簧的结构及工作特性	382
12.6.2	环形弹簧主要参量的计算公式	383
12.6.3	环形弹簧的设计	384

第1章 自动机总体结构设计

自动机是自动武器（枪炮）的一个独立组成部分，它是自动完成重新装弹和发射下一发弹的全部动作，实现连发发射的各机构的组合。通常自动机包括下述各机构（装置或构件）：身管及膛口装置；闭锁机构；供弹机构；退壳机构；击发机构；发射机构；保险机构；复进装置和缓冲装置等。

1.1 自动机分类

自动机在自动武器中占有重要位置，它是自动武器的核心组成部分，决定着自动武器的火力性能以及主要战术技术指标。

1.1.1 自动机按用途或装备平台分类

机载武器自动机：装在飞机上，符合空中作战要求的自动机。

高射武器自动机：主要用于从地面（海面）对空中目标射击的自动机，所谓空中目标主要指飞机、导弹。

舰载武器自动机：装在舰艇上，符合海上作战要求的自动机。

车载武器自动机：装在装甲车辆上的连发武器的自动机。

步兵武器自动机：符合步兵作战要求的自动机，包括单兵使用和班组使用武器的自动机，如手枪、步枪、冲锋枪和各种机枪（含榴弹机枪）。

1.1.2 自动机根据自动方式分类

枪机后坐式、身管后坐式、导气式、混合式、转管式、转膛式、链式和双管杠杆联动式自动机、前冲式浮动自动机等。

1.2 自动机设计要求

1.2.1 对自动机的一般要求

- (1) 初速高，弹丸有效飞行时间短；
- (2) 射速，对付机动性高的目标，要求射速要高，对付地面目标，则不要求高的射速；
- (3) 后坐阻力小；
- (4) 射击密集度好，以提高命中概率及毁伤概率；
- (5) 重量轻，以提高武器的机动性；

- (6) 寿命长;
- (7) 射击可靠性高, 故障率低;
- (8) 自动机分解结合方便;
- (9) 主要零部件具有互换性, 标准化程度高;
- (10) 同一口径的自动机弹药要系列化;
- (11) 结构简单, 维修方便;
- (12) 经济性好, 成本低。

1.2.2 不同武器系统对自动机的特殊要求

1. 自行高炮系统对自动机的要求

用于机动作战的自行高炮, 具有独立作战能力和较好的机动能力; 具备在全天候条件下的高作战效率。它的主要战斗任务是: 为步兵和装甲战斗部队提供空中保护, 攻击敌人的飞机、导弹。

自行高炮对自动机设计的重点要求:

- (1) 初速高;
- (2) 射速高;
- (3) 载弹量多, 补弹方便、时间短;
- (4) 装填自动化 (含首发);
- (5) 能电控击发, 长连射。

2. 步兵战车武器系统对自动机的要求

步兵战车是步兵进行机动作战的战斗车辆。步兵可乘车战斗, 也可下车战斗。它的主要作战任务是伴随坦克作战, 以对付地面轻型装甲目标为主。

步兵战车对自动机设计的重点要求:

- (1) 首发命中率高;
- (2) 射弹散布在 1000m 距离上, 散布应小于 $1.0\text{mil} \times 1.0\text{mil}$;
- (3) 能双路供弹, 既能供榴弹, 又能供穿甲弹, 弹种转换时间短;
- (4) 能实现变射频射击和点射长度控制。

3. 机载武器系统对自动机的要求

现代飞机装载的自动武器往往不置于飞机内部, 而是通过吊舱置于机身外部, 吊舱内装有自动武器 (枪、炮) 及其弹药、供弹机构、缓冲装置和驱动机构等。既节省了飞机内部空间, 减少了射击时的冲击振动及对设备的影响, 又便于使用维护和故障排除。

吊舱对自动机设计的重点要求:

- (1) 口径在 30mm 以下;
- (2) 射速高;
- (3) 体积紧凑, 质量轻;
- (4) 能适应弹链供弹或无链供弹, 载弹量大;
- (5) 后坐阻力小;

(6) 武装直升机打坦克可发射导弹, 也可通过机载自动武器在近射程上发射穿甲弹, 攻击坦克的顶装甲。

4. 舰载武器系统对自动机的要求

舰载武器系统主要对付掠海飞行的反舰导弹。反舰导弹的特点是飞行速度快（目前已达 $Ma2.5$ ，正在研制的可达 $Ma5$ ），无规则掠海飞行（海面飞行高度只有几米），要害部位有装甲防护，致使现有探测手段不易早期发现，因此对舰艇攻击有很大的突然性。

舰载火炮对自动机设计的重点要求：

- (1) 最大限度地提高射速，靠密集的火力拦截在弹道上的导弹；
- (2) 载弹量要多（AK630 舰炮为 2000 发）；
- (3) 如果采用无链供弹，则要求补弹时间短。

5. 弹炮结合的防空武器系统对自动机的要求

火炮口径一般在 20 ~ 35mm，要求初速高，射速高、能对付 3000m 以下高度的目标，对防空导弹要求射程远、精度高，能对付 3000 ~ 4000m 高度的目标。弹炮结合的防空武器系统，较火炮扩大了作战空域，可充分发挥自动炮和导弹的各自优势和特长，使目标（飞机和导弹）在较长时间内处于武器系统的有效作战区域，提高了作战效能。几种弹炮结合武器系统的自动机主要性能如表 1-1 所示。

表 1-1 几种弹炮结合武器系统的主要性能

	戈什坦	通古斯卡	运动衫
国 别	俄罗斯 AK630	俄罗斯 2A38M	美国 GAU-13/A
火炮口径/mm	30	30	30
初速/(m/s)	970	970 ~ 1000	1021 ~ 1155
射速/(发/min)	$2 \times 5000 = 10000$	2×2500	2400

6. 步兵武器系统对自动机的设计要求

- (1) 口径小：除对有对抗空中目标任务的大口径机枪外，一般希望步兵武器的口径小，目前有俄罗斯的 5.45mm、美国的 5.56mm、中国的 5.8mm 等；
- (2) 重量要轻；
- (3) 射速低，主要对付地面有生目标，为减小弹药的消耗量连发时不要求射速高，通常小于 600 发/min；
- (4) 能单、连发射击及高频点射以提高射击精度。

1.3 自动机结构设计保证战术技术性能的技术措施

总体设计工作的重点是确定自动机的结构类型，并进行总体布局。确定结构类型主要应考虑实现各项战术技术指标要求。从总体结构设计方面提高自动武器主要性能的技术措施如下。

1.3.1 提高射速的技术措施

高射速是机载武器、高射武器、舰载武器的主要战术性能指标之一。

- (1) 采用转膛自动机、双管杠杆联动式自动机、转管自动机，可以大幅度提高武器的射速。

(2) 导气式自动机提高射速，主要从导气装置上入手。如加大导气孔直径、向膛底后移导气孔位置、增大活塞面积、减小活塞与气室壁间隙等都可收到显著的效果。但是采用这些措施的同时，要考虑它们带来的其他问题，如导气孔的大小和位置对内弹道性能的影响，活塞面积的增大对武器横向尺寸的影响，后坐速度过高对机件寿命、强度和可靠性的影响，撞击的加剧对武器射击精度的影响等都应引起重视。

(3) 身管后坐式自动机主要靠加速机构把身管组的部分能量尽量多地传给闭锁机构，以提高枪机（炮闩）的后坐运动速度，也可通过膛口助退器增加后坐组件的动量。

(4) 提高基础构件的复进速度。一般自动机的基础构件复进速度比后坐速度慢得多，复进时间约为后坐时间的两倍，对自动循环时间影响较大，为了提高复进速度，一般可加大复进簧的刚度或将若干复进簧串联，使后坐初期复进簧力较小，后坐一段后各簧转为并联，例如德 MG-42 机枪的枪管复进簧，即采用这种结构来提高枪管复进的速度。

(5) 减小运动过程的能量损失：一是尽量减小撞击，传动要平稳；二是减小摩擦力，如以滚动摩擦代替滑动摩擦；主动件、从动件尽量不以斜面带动，避免和减小楔紧作用所带来的附加摩擦力；作用在运动件上的力尽量通过其质心，避免翻转力矩所带来的附加摩擦力等。

(6) 减小各构件运动工作行程。在基础构件工作行程中，很大一部分是为了装弹，即推弹入膛，故缩短这部分行程可以有效地提高射速，常用的办法是采用加速推弹机构（如 23-2、23-3 航炮）以大幅度缩短基础构件用于推弹的工作行程。为适应加速推弹机构的推弹运动，一般采用横动闭锁机构。例如 59 式 12.7 航空机枪，枪机是垂直运动的，靠推弹取壳器推弹入膛，枪弹长 147mm，枪机框行程只有 136mm，射速提高到 1000 发/min。

1.3.2 减小后坐阻力的技术措施

武器的后坐阻力是武器在射击过程中传递到炮架或支座的力。此力将引起架座的弹性变形和武器的振动，引起射击精度的变化。减小后坐阻力对减轻武器质量，提高射击精度是有利的。

武器的单发后坐阻力决定于弹丸的动量 ($m_d v_1$) 或武器后坐部分的能量 ($\frac{m_h v_2^2}{2}$)，弹丸的动量由弹丸质量和初速而定，这是武器的威力指标，不可轻易改变。武器后坐部分的能量只取决于后坐部分质量，由 $m_d v_1 = m_h v_2$ 可知，后坐部分质量愈大，后坐速度愈小。因此，从减小后坐阻力的观点出发，要求后坐部分的质量尽可能大些，并可再采用以下措施降低后坐阻力。

(1) 合理设计缓冲装置。缓冲装置的设计直接影响武器后坐阻力的大小。对于导气式武器，最常用的是弹簧缓冲器。为减小后坐阻力，应设计刚度小的缓冲簧。但是在后坐能量一定的条件下，缓冲簧的刚度愈小，缓冲行程愈大，为保证自动机和供弹的工作可靠，缓冲行程会受到一定限制，为减小缓冲行程，一般采用加大缓冲簧预压量的办法，或增加摩擦阻尼。对于高射速自动机的缓冲装置设计不但要考虑降低单发（或首发）后坐力，还要考虑到连发时后坐力的叠加问题。

缓冲装置也可采用弹簧液压式、摩擦高吸能缓冲器等。如法国国际振动工程公司成功地研制了这种高吸能缓冲器，并用于德发 30 型航炮上。它采用了耗能较大的铜丝弹性垫缓冲簧与摩擦装置，武器后坐时二者同时起作用，摩擦装置产生恒定的或由大变小的摩擦力。复进时摩擦力不起作用，靠缓冲簧使武器恢复原位。在这一往复过程中，武器发射产生的后坐