

火炮自动机设计

韩魁英 王梦林 朱素君 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍火炮自动机设计和计算的基本理论与方法。包括火炮自动机总体设计, 自动机运动微分方程的建立和求解, 主要部件的设计方法, 短后坐式自动机以及导气式自动机和浮动自动机的设计方法等。书中结合具体火炮举了许多实例。

本书是高等院校火炮专业的教材, 也可作为从事火炮设计、研究、生产、试验的科技人员的参考书。

火 炮 自 动 机 设 计

韩魁英 王梦林 朱薰君 编著

国防工业出版社出版

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787 × 1092 1/16 印张 18 1/2 427千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷 印数: 001— 500册

ISBN 7-118-00087-6/TJ18 定价: 3.10元

前 言

本书是根据火炮专业“火炮自动机设计”课程的教学大纲，在1976年国防工业出版社出版的《火炮自动机设计》一书的基础上重新编写的。

全书共分十二章。第一章概述火炮自动机的总体设计，使读者能对火炮自动机设计的总要求和全过程有一大致的了解，并可获得选择和评价火炮自动机的基础知识。在二至四章中，介绍了自动机运动分析的基本理论和方法，这是自动机各机构设计和计算的基础知识；同时给出了炮箱运动时多工作构件的自动机运动微分方程和撞击方程，这对研究浮动自动机的运动是必须的。第五章以制式高射自动炮的自动机为典型，给出了建立自动机运动微分方程的实例。第六章介绍了有反后坐装置时自动机运动微分方程的数值解法及运动诸元计算。七至九章论述了炮闩、开闩机构、供弹和输弹等自动机各主要机构的设计与计算。第八章给出了加速机构的动力设计法。第十章介绍了导气式自动机的分析解法和两种经验解法，以及导气装置的结构参数设计。第十一章对浮动自动机及浮动机设计作了较详细的介绍，并给出了设计计算程序的框图。第十二章给出了炮身短后坐式自动机设计计算的典型示例，综合应用了火炮设计的有关理论和计算。

本书第一、三、四、五章由韩魁英执笔，第六、七、八、九章由王梦林执笔，第二、十、十一、十二章由朱素君执笔。全书由韩魁英主编。

本书承太原机械学院申正寅主审。火炮和火箭发射架教材编审小组参加审稿的有华东工学院的张月林、戴成勋，太原机械学院的梁溥堉、李鹏程等。所有审稿的人员都对本书提出了许多宝贵意见，我们表示衷心感谢。

由于我们的水平所限，难免有遗漏和不妥的地方，殷切希望读者批评指正。

目 录

第一章 火炮自动机总体设计概述1	三 炮箱运动时的自动机运动微分方程 (自动机缓冲).....50
第一节 火炮自动机及其战术技术性能1	第二节 自动机常用机构的传速比56
第二节 自动炮设计的一般程序6	一 概述.....56
一 方案设计.....7	二 求机构传速比的解析式.....57
二 技术设计.....9	三 传速比的选择.....63
三 产品图设计.....10	第三节 自动机机构的效率及常用机构的力换算系数63
四 样品试制及试验.....10	一 概述.....63
第三节 自动机类型的选择10	二 简单凸轮机构的效率和力换算系数.....66
一 火炮自动机分类.....10	三 纵动式旋转闭锁式炮闩的力换算系数.....72
二 火炮自动机的循环图.....16	四 横动式楔式炮闩的力换算系数.....77
三 炮身短后坐式自动机循环图的分析.....17	五 凸轮式开闩机构的力换算系数.....79
第四节 动力相似法及其在自动机设计中的应用21	第四节 建立运动微分方程示例81
一 动力相似法的基本原理.....21	第四章 自动机构件间的撞击和作用力84
二 动力相似法的应用.....22	第一节 自动机构件间的撞击84
第二章 构件在弹簧作用下的运动26	一 概述.....84
第一节 构件在弹簧作用下的运动微分方程及其解26	二 正撞击.....85
第二节 弹簧的相当质量32	三 斜撞击.....89
第三节 考虑能量损失时运动微分方程的解33	四 多个构件的撞击.....92
第四节 构件在几根弹簧作用下的运动和计算示例35	五 炮箱运动时多个构件的撞击.....96
一 构件在几根弹簧作用下的运动.....35	第二节 自动机构件间作用力的确定102
二 计算示例.....36	一 自动机构件间约束反力的确定.....102
第三章 自动机运动分析38	二 作用在炮身(后坐部分)上的后坐阻力.....109
第一节 自动机运动微分方程38	三 作用在摇架(炮箱或炮架)上的合力.....111
一 概述.....38	第五章 建立自动机运动微分方程示例113
二 炮箱不动时的自动机运动微分方程.....39	第一节 59式57自动机运动微分方程的

建立	113	第八章 开闭机构的设计	162
第二节 65-1式37自动机运动微分方程的建立	119	第一节 对开闭机构的要求及其分类	162
第六章 有反后坐装置时自动机运动诸元的计算	128	第二节 杠杆-卡板式加速机构	164
第一节 自动炮后坐阻力计算的特点	128	一 概述	164
第二节 自动机运动诸元的计算	130	二 图解法	164
一 正面设计计算	130	三 解析法	166
二 反面分析计算	132	第三节 横动式炮门开闭机构	169
三 炮身短后坐式自动机连发综合计算程序概况	137	第四节 凸轮式加速机构设计特点	171
第七章 炮门设计	139	第五节 加速机构的动力设计	173
第一节 炮门的组成及其分类	139	一 机构动力设计的一般方法	173
第二节 药筒的正常工作条件	140	二 加速机构的动力设计	176
一 发射时药筒和药室的径向应力和应变	141	第九章 供弹和输弹机构设计	179
二 发射时药筒的轴向变形	142	第一节 供弹方式的选择、对供弹和输弹机构的要求及分类	179
三 抽筒时药筒强度的验算	144	一 供弹方式的选择	179
四 抽筒力的计算	145	二 对供弹和输弹机构的要求	180
第三节 闭锁机构	147	三 供弹和输弹机构的分类	180
一 对闭锁机构的要求	147	第二节 直接供弹机构	181
二 闭锁支承面的设计	148	一 单面约束的弹夹直接供弹机构	181
三 旋转闭锁式炮门开闭锁曲线槽的设计	150	二 双面约束的弹夹直接供弹机构	183
四 炮门强度的计算	150	第三节 双层供弹机构	186
五 闭锁齿均匀受力的条件	152	第四节 推式供弹机构	189
第四节 击发机构	154	第五节 按弹时弹带阻力的计算	190
一 对击发机构的要求及分类	154	一 弹带的简化模型	191
二 击发机构工作可靠性的分析	155	二 按等截面弹性带模型分析弹带运动	192
三 击针弹簧的计算	155	三 按多刚体模型分析弹带运动	196
第五节 抽筒和抛筒机构	156	第六节 输弹机构的设计	199
一 概述	156	第十章 导气式自动机	201
二 撞击作用杠杆式抽筒子的计算	157	第一节 概述	201
第六节 关门机构	159	第二节 气室压力的数值解法	204
一 纵动式炮门的关门机构	159	一 气室压力随时间变化的理论公式	204
二 横动式炮门(楔门)的关门机构	160	二 气室压力的数值解	206
		第三节 马蒙托夫经验法	209
		一 由导气装置结构参数求 η_k	210
		二 由内弹道条件求 I_0	212

三 由 l_{0c} 确定 $P_{\sigma}-t$ 曲线	213
四 求解自动机基础构件的运动诸元	215
第四节 布拉温经验法	217
一 求系数 B	218
二 求系数 a	219
三 求解自动机基础构件的运动诸元	220
第五节 导气装置结构参数设计	222
一 结构参数对气室压力的影响	222
二 导气装置结构参数设计	224

第十一章 浮动自动机和浮动机设计

第一节 浮动自动机及其分类	226
一 浮动原理及其在自动炮中的应用	226
二 浮动自动机的分类	227
第二节 浮动自动机的结构特点及浮动机的典型结构	231
一 浮动自动机的结构特点	231
二 浮动机的典型结构	233
第三节 浮动时后坐与复进运动的一般分析	240
一 理想浮动的复进与后坐运动	240
二 摩擦对浮动的复进与后坐运动的	

影响	242
三 自动机对浮动的复进与后坐运动的影响	243
第四节 弹簧-液压式浮动机的设计	243
一 弹簧-液压式浮动机设计的一般方法	243
二 设计中应注意的几个问题	249
第五节 浮动自动机的运动计算	250

第十二章 炮身短后坐式自动机计算举例

一 内弹道计算 (正装药)	252
二 自由后坐运动诸元计算	255
三 驻退后坐运动诸元计算	257
四 炮门计算	260
五 加速 (开闩) 机构计算	266
六 供弹计算	267
七 复进机和驻退机计算	275
八 复进运动计算	281
九 自动机循环图和理论射速	285
参考文献	288

第一章 火炮自动机总体设计概述

第一节 火炮自动机及其战术技术性能

根据火炮射击自动化的程度，可将火炮分为自动炮、半自动炮和非自动炮三类。

自动炮是指能自动完成重新装填和发射下发炮弹的全部动作的火炮。这些动作一般包括：击发、收回击针、开锁、开闩、抽筒、抛筒、供弹、输弹、关闩和闭锁。若上述动作一部分自动完成，另一部分由人工完成，则此种火炮称为半自动炮。若全部动作均由人工完成，则称为非自动炮。自动炮能进行连续自动射击，直至射手停止射击或弹夹（弹匣或弹带）内的炮弹耗尽（或剩一发）为止，而半自动炮和非自动炮则只能进行单发射击。

火炮自动机（以下简称自动机）是自动炮的一个组成部分，它是自动完成重新装填和发射下发炮弹实现连发射击的各机构的组合。通常，自动机从工作原理讲，应包括下述各机构（装置或构件）：

炮身：它包括身管、炮尾和炮口装置。与非自动炮一样，身管的作用是赋予弹丸一定的飞行方向和炮口速度，并使其具有一定的自转角速度。

炮闩：它包括闭锁、开闩、抽筒、关闩和击发等机构。与这些机构相对应，它将完成开锁和闭锁、开闩和关闩、抽筒、击发等动作。

供弹和输弹机构：它用来依次向自动机内供给炮弹，并把最前面的一发输入炮膛（下面，把这发炮弹称为当前炮弹）。

反后坐装置和缓冲装置：它用以吸收未被自动机工作所消耗的后坐动能，控制火炮的后坐与复进运动，并减小射击时作用于炮架的力。

发射机构：用以控制火炮的射击。

保险机构：用于保证各机构可靠地工作和正确地相互作用，以及保障勤务操作的安全。

除上述主要机构（装置或构件）外，自动机还有若干辅助机构。例如，为第一次装填、更换身管和分解结合自动机等所设置的机构。采用这些机构，可以减少操作和减轻炮手的体力消耗。

自动机的这些机构，依靠炮箱（或摇架）组成一个整体，并安装在炮架上。

自动炮按其用途又可分为陆用高射自动炮、航空自动炮和舰艇自动炮等。虽然这些自动炮的自动机由于使用条件不同而有所差异，但在设计理论方面是基本一致的。

自动机应具有确定的战术技术性能。通常它包括以下几个方面：

弹道特征数（口径、弹丸质量、初速）；发射速度；射击时作用于炮架上的力（大小及其变化特性）；射击密集度；机构工作可靠性；操作简便性；外廓尺寸；质量特征数；结构经济性等。

下面分别加以讨论，并以高射自动炮为例。

弹道特征数、发射速度、射击精度是自动炮威力的主要特征数。

弹道特征数，是根据自动炮的任务提出并经内、外弹道设计计算确定的。对于高射炮来说，弹道特征数决定着自动炮的远射性能和高射性能。远射性能，即火炮能毁伤远距离目标的性能，是在标准射击条件下，以弹丸飞行的最大水平距离来表示。高射性能，可在标准射击条件下，用最大射角射击时弹丸飞行的最大高度来表示；也可用在标准射击条件下，高射炮能够射击空中目标的最大斜距离来表示。这个斜距离，对于小口径高射炮是由弹丸自炸时间决定的，对于中口径高射炮是由引信最大装定时间决定的。这些距离越大，火炮的高射性能越好。几种高射炮的远射和高射性能列于表1-1。

表1-1 高射炮的远射及高射性能表

炮种	性能	最大射程 (m)	最大射高 (m)	最大射角 (°)	自炸时间 (s)	最大斜距离 (m)
65式37		8500	6700	85	13	~4000
59式57		12000	8800	87	10	~6000
59式100		21000	14400	85	28.6	~12700

为了增大高射性能，应尽可能增大弹丸的炮口动能，选择合理的弹丸初速和弹丸质量的组合，再者还应使最大射角接近或达到90°。

发射速度（射速），概括地说是指火炮在单位时间内能够发射的弹数。具体地说，则分为理论射速（射击频率）、实际射速和极限射速。

理论射速，是指在不考虑外界条件的影响下，自动机在单位时间内可能发射的弹数（即自动机工作的循环次数）。可见，理论射速取决于自动机工作循环时间。在自动连续射击时，相继的两次击发（或其它动作）间的工作过程称为自动机的一个工作循环，其延续时间（即一个周期）称为自动机的循环时间。理论射速

$$n = \frac{60}{T} \quad (r/\min) \quad (1-1)$$

式中， n 为每分钟发射的发数； T 为自动机的循环时间，以秒表示。

理论射速是自动机的一个主要特征数。理论射速的大小主要取决于火炮的口径、炮弹的尺寸和质量。自动机及其各机构的作用原理和构造，对理论射速也有很大影响。为了提高理论射速，可以采用以下措施：缩短后坐部分和其它运动构件的行程；增大运动构件的速度；减少“死时间”（即各运动构件相互等待的时间），使各自动动作和各机构的工作过程在时间上重叠起来。

实际射速，是指把瞄准、修正瞄准、重新装填（更换弹夹、弹匣或弹带）以及更换或冷却身管所需时间考虑在内时，自动炮在单位时间内所能发射的弹数。由此可见，实际射速和理论射速不同，它是考虑到战斗使用时各种条件的特征数。为了提高实际射速，可采取以下措施：提高理论射速；采用连续供弹装置；采用良好的身管冷却装置；采用与改进追踪空中目标的随动系统；采用自动停射器等。

通常，把理论射速和实际射速统称为射速。几种高射炮的发射速度见表1-2。

表1-2 高射炮发射速度表

炮种	项目	循环时间 (s)	理论射速 (r/min)	实际射速 (r/min)
65式37		0.375~0.333	160~180	80~100
59式57		0.522~0.50	105~120	50~60
59式100		3.60~3.74	16~17	~15

极限发射速度(发射速度规定),就是在一定时间内持续射击,在不损害火炮技术性能条件下,所允许发射的最大弹数。高射炮的极限发射速度,一般是根据持续射击时炮身升温情况确定的。通常限制炮身的最高温度,对小口径高射炮为400~450°C,对大口径高射炮为350°C(一般测量身管口部外表面)。这样可以避免身管材料的机械性能降低太多,炮膛烧蚀和磨损太快。三种高射炮的极限发射速度见表1-3。

表1-3 极限发射速度表(一个身管的发数)

炮种	条件	射击持续时间						
		10 s	20 s	40 s	1 min	2 min	5 min	15 min
65式37	夏季	30	45	70	90	120	200	250
	冬季	30	45	70	90	120	200	300
59式57		18	30	40	50	60	75	
59式100	夏季	(风速 > 5 m/s)					7	18
	冬季	(风速 > 5 m/s)					8	20

现代空中目标的飞行速度不断提高,目标位置变化极快,使得每发弹丸的命中公算变得极小。为了捉住战机消灭目标,必须增加射击的火力密度,即增加单位时间内对目标的射弹数,亦即提高射速。射速越大,火力密度越大,命中公算也就越大。由此可见,从战术的观点出发,希望自动炮的射速越大越好。但是,射速的增大会受到技术条件的限制。

增大自动炮的口径和弹丸质量也就增大了威力,但其理论射速将显著降低。如不能解决身管的快速冷却和连续供弹问题,便不能提高自动炮的实际射速。理论射速提高后,射击时作用于炮架的力也将相应提高。

射击时作用于炮架的力(习惯上称后坐力)增加,将导致增大全炮的质量和降低全炮的机动性;或导致降低火炮射击的稳定性和精度。后坐力越小,说明自动机结构越完善,设计越合理。为了判明自动机结构是否完善,设计是否合理,引入了后坐力系数 η_r ,它是炮口功率 P 与后坐力最大值 R_{max} 的比值,即

$$\eta_r = \frac{P(1-\eta_T)}{R_{max}} = \frac{n}{60} \cdot \frac{E_v(1-\eta_T)}{R_{max}} \quad (W/N) \quad (1-2)$$

式中 $P = \frac{nE_v}{60}$, W;

n ——理论射速, r/min;

E_0 ——弹丸炮口动能, J;

η_r ——炮口制退器效率。

显然, η_r 越大, 自动机结构越完善, 设计越合理。为了减小后坐力的最大值, 可以采取以下措施: 增大后坐部分质量; 增大后坐部分行程长; 采用高效率炮口制退器; 采用浮动自动机。这些措施互相配合起来, 效果较为显著。但应指出, 采取减小后坐力的措施, 往往会有碍于提高理论射速。

射击时后坐力的变化特性和规律, 对火炮射击密集度和某些零件的寿命有很大影响。我们希望得到不变的或均匀变化的后坐力。但是, 自动机后坐力变化曲线往往会出现波峰。这说明自动机工作是不平稳的。其结果将是加剧自动炮的振动, 增大弹丸散布和加大射击时追随目标的负荷。在理论射速较大而后坐力急剧变化的情况下, 为了计算自动机和全炮的强度和射击稳定性, 不能根据平均后坐力而应根据射击循环过程中后坐力的最大值进行计算。

为了确定后坐力的平稳性, 引入后坐力特性系数 η_s , 它是后坐力曲线相对于平均后坐力 (计算值) 曲线每个波峰 (或波谷) 的冲量的绝对值之和, 与平均后坐力的冲量之比, 即

$$\eta_s = \frac{\sum I_b}{I} \quad (1-3)$$

式中 I_b ——后坐力曲线相对于平均后坐力曲线的每个波峰 (或波谷) 的冲量的绝对值;
 I ——平均后坐力的冲量。

显然, 系数 η_s 越小后坐力变化越平稳。

火炮的射击密集度, 就是火炮使弹着点密集在平均弹着点 (散布中心) 附近的性能。它可以用散布椭圆的面积来表示。通常用中间偏差 (公算偏差) 与射击斜距离之比来表示火炮的射击密集度。高射炮主要考虑立靶密集度, 通常用 B_y/D 和 B_x/D 来计算; 对中心口径高射炮, 由于是空炸射击, 还要加 B_x/D 。其中: B_y 为高低中间偏差; B_x 为方向中间偏差; B_z 为距离中间偏差; D 为射击斜距离。

为了比较立靶平面上的密集度, 还可以用一定斜距离上的 $B_y \times B_x$ 来计算。这些数值越小, 高射炮的密集度就越好。几种高射炮的密集度数据列在表 1-4 中。

表 1-4 高射炮立靶密集度表

炮种	65式37		59式57		59式100	
靶距	200 (m)		1000 (m)		1000 (m)	
密集度 (密位)	B_y/D	B_x/D	B_y/D	B_x/D	B_y/D	B_x/D
		0-018	0-018	0-006	0-004	0-003

为了提高火炮的射击密集度, 应该注意到: 尽可能地提高自动机的射击密集度; 采用合理的炮架结构和适当的刚度以及减小各部间隙; 把后坐力的最大峰值减小到最低限度; 提高弹药的产品质量, 尽可能地减小装填条件的变化。

射击精度, 就是火炮系统能使平均弹着点接近目标的性能。高射自动炮是对空中快

速目标射击,因此决定目标运动诸元、计算提前量以及瞄准目标的精确度就受到许多条件的限制。射击试验表明,由于上述因素而产生的散布比火炮的弹道散布大得多。现代高射自动炮广泛采用自动计算命中问题的指挥仪和动力传动装置,使火炮自动瞄准以提高射击精度,同时还与搜索和跟踪目标的炮瞄雷达相配合,以提高测距精度和高射自动炮系统的全天候作战能力。

由上可见,为了提高高射自动炮的射击精度,需要精确地测定目标的坐标和运动诸元;精确地进行射击条件偏差的修正,即根据标准射击条件精确地修正气温、气压、弹道风、装药、弹丸质量、装填条件和初速等偏差;精确地计算对活动目标射击的提前量;精确地赋予火炮以计算所得的方位角和射角以及精确地装定引信分划;缩短弹丸飞行时间。由上可见,提高射击精度,需要整个高射自动炮系统的各个组成部分(包括雷达、指挥仪、测距机、带动力传动装置的火炮和弹药等)都提高精度,并能相互很好地配合才能达到。

自动机的工作可靠性,取决于各机构的工作连续性、各个零件的工作寿命、战斗中不易损坏和使用时保证安全。自动机各机构的工作连续性,取决于在各种战斗使用条件下射击的故障率。对于高射自动炮,通常要求故障率不超过射击发数的0.5%。各种战斗使用条件,是指温度变化范围在 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$,火炮行军后不除尘及淋雨等。自动机发生故障的主要原因有:磨损或腐蚀,破坏了零件的结构形状;磨损、温度变化、润滑油凝结或落入沙土硬粒等,改变了运动构件的配合间隙量;部分构件或机构损坏。

保证自动机各工作构件保持强制性移动,以及尽量消除撞击,可以使故障率降低到最小限度。射击故障大多数发生在供弹、输弹、抽筒和抛筒机构中。所以,装填炮弹时,在炮弹的整个运动过程中,应尽量使其保持强制的、无跳动和无撞击的移动;抽筒和抛筒时,射击后的药筒的运动也应尽量采用强制性的。炮弹(或药筒)依靠惯性运动,往往是不可靠的,为了使其在各种条件下能可靠地运动,应使其具有比较富裕的动能,因此在其运动的末段将产生撞击或极大的惯性力。

减小构件间的撞击,保证各机构平稳地工作,可以大大提高各零件的寿命。

为了保证在不良气候条件下(雨、雪、阴湿)顺利地射击,以及为了防尘、防污垢,应采用各种式样的密封盖和密封性能良好的外部结构。

为了保证自动机在战斗中不易为枪弹和炮弹破片所损伤,应提高其外廓的结构强度。在没有为钢甲全部屏蔽的情况下,应为外露的机构和脆弱部分设置护板。尽可能地减小自动机和全炮的轮廓尺寸,可改善伪装条件,且不易为枪弹或弹片击中。

应该特别指出,自动机的结构对其工作可靠性有很大影响。采用结构紧凑的机构和外形简单的零件,往往可以提高自动机工作的可靠性。合理的结构还可以保证火炮在射击、维护和修理时操作安全。

我们希望尽量简化自动机的结构,因为这有很大的经济意义。但是,与自动机的其它要求相比,它往往处于从属地位。有时,为了保证各机构工作的平稳性和各构件运动的强制性,就不得不采用较复杂的结构。自动机结构过分简化,会急剧地降低各机构的寿命和工作连续性。

自动机的操作简便性,就是在射击准备时和战斗中便于操作。这就要求设置专门的辅助机构,以保证操作时,动作少、简单、且不费力。简化射击准备动作,可以缩短勤

务人员的训练时间，并减小因自动机准备不及时而失去战机的可能性。

自动机轮廓尺寸的大小，说明其结构的紧凑程度。自动机结构的紧凑程度，可用炮箱相对长和自动机的密度来描述。

对于现有自动机，炮箱相对长 η_a 在一定的范围内变化，即

$$\eta_a = \frac{L_a}{l_p} = 3 \sim 4 \quad (1-4)$$

式中 L_a ——炮箱的长度；

l_p ——炮弹的长度。

描述自动机结构紧凑程度的另一个特征数，是自动机的密度 η_k 。假设把炮箱简化为长方体，并以 A 、 B 表示其横向尺寸，则炮箱的体积为

$$W_k = L_a \cdot A \cdot B$$

包括炮身、炮箱在内的自动机质量 m_A 与炮箱体积 W_k 之比，就是自动机的密度，即

$$\eta_k = \frac{m_A}{W_k} \quad (1-5)$$

显然， η_k 越大自动机结构越紧凑。

为了评价自动机的结构，引入自动机比功率（或称自动机金属利用系数）的概念，即

$$\eta_{bn} = \frac{n}{60} \cdot \frac{E_0}{m_A} \quad \left(\frac{W \times 10^8}{kg} \right) \quad (1-6)$$

式中 η_{bn} ——自动机比功率；

n ——理论射速，r/min；

E_0 ——弹丸炮口动能，J；

m_A ——自动机质量，kg。

比功率 η_{bn} 越大，自动机的结构越合理。

自动机结构的经济性，要求采用廉价的金属、标准化的零件、标准化的配合、低的加工精度和高的互换性。还要求，一种自动机配上不同的炮架，能组成不同用途的自动炮。

综上所述可以看出，对自动机的战术技术性能的要求之间，往往相互矛盾。例如，提高理论射速往往使后坐力增大，使工作可靠性降低，以及造成由此而引起的一系列不良后果。由此可见，设计者的任务就是要解决这些矛盾，使这些性能互相协调。因此要求设计者既要考虑战术的需要，又要考虑当前技术上实现的可能性。

为了正确地确定对新型自动机战术技术性能的要求，就必须研究现有自动炮的使用经验和现代战争中自动炮的作用、地位和使用条件。为了设计出性能良好的新型自动机，还必须研究已有的各式自动机，吸取前人的经验；此外还应掌握自动机设计研究的方法。

第二节 自动炮设计的一般程序

自动炮虽然类型很多，但其设计的一般程序大致相同。今以高射自动炮为典型说明这些程序。

高射自动炮设计可分为设计和试制二大过程。

设计过程的最终任务是提供生产所需的技术资料，包括产品图纸、设计计算书，技

术条件等。设计过程又可分为方案设计、技术设计和产品图设计三个阶段。

试制过程的主要任务是通过试制和试验，鉴定火炮各方面的技术性能是否满足预定要求，发现设计中的问题。试制过程又可分为样品试制和工厂试验，小批试制、靶场试验、部队试验及国家设计定型等阶段。

设计和试制的各阶段是互相交叉进行的。设计的新火炮，要通过样品试制和试验的实践来检验，发现问题后要修改设计，然后再试制，再试验，经过多次反复才能使新火炮达到战术技术要求，达到设计基本定型。然后要进行小批生产，提交靶场试验和部队试验，全面广泛地考验火炮各项战术技术性能指标，发现问题，则再改进设计，并进行一些补充试验。最后，由国家定型委员会对新火炮各项性能指标及工厂大批生产的各项准备工作进行严格的检查，认为合格后正式批准新火炮国家定型。这样，新火炮就可大批生产装备部队。下面仅介绍几个主要阶段。

一 方案设计

方案设计又称草图设计，是设计过程的第一阶段。方案设计阶段的依据，是已经批准的战术技术要求及对现有高射自动炮设计和生产的各种统计资料。它的任务是在给定的高射炮火控系统类型的条件下，寻求一个最合理的高射炮总体方案。

这一阶段的工作主要是正确处理各项有关自动炮全局性的问题，因此，对于整个设计质量有着决定性的意义，必须予以足够的重视。

方案设计阶段的工作程序大致如下：

(一) **研究与分析设计任务** 要仔细分析新火炮的各项战术技术指标，进行必要的调查研究，了解可能采用的新技术、新结构、新材料、新工艺等情况。对新火炮设计中的主要技术关键问题要进行必要的专题研究，以确定实现各项主要战术技术指标的技术措施。

(二) **弹道设计** 包括外弹道设计和内弹道设计。外弹道设计的主要任务，是根据给定的火炮战斗状态质量，确定合理的炮口动能，并在给定的最大斜距离处，根据弹丸飞行时间最短的原则，确定弹丸的质量和初速。通常这个任务在拟定战术技术要求时就完成了。内弹道设计的任务是根据给定的口径、弹丸质量和初速寻求最有利的装填条件和炮膛结构诸元，包括：火药特性、药形、装药质量、装填密度、药室容积、最大压强(铜柱)及弹丸膛内行程长等。并作出 $p-l$ 、 $v-l$ 、 $p-t$ 、 $v-t$ 的关系表及曲线图。

(三) **炮弹设计** 根据弹道设计的结果就可确定炮弹(包括弹丸装药、药筒等)的质量及外形尺寸，以作为设计炮弹各组成部分的依据。确定炮弹的质量、外形尺寸和火炮自动机设计有密切关系，它影响自动机的理论射速和基本尺寸，影响炮门和供弹机构的型式和基本尺寸，所以必须全面考虑、统筹安排。有了弹道设计和炮弹设计的初步方案以后，必须用实验的方法来检验设计的正确性。这就要制造专门的弹道炮，测定膛压和初速，在试验中通过选择火药牌号，调整装药质量等，把弹道方案确定下来。

(四) **自动机方案设计** 主要内容是选择自动机工作原理和各机构的相互作用方案，确定主要机构的型式，确定炮身后坐长度和主要机构的工作行程和基本尺寸，并进行自动机各机构的总布置，绘制自动机总体布置草图。大致可按以下程序进行：

1 研究设计任务，选择自动机的工作原理和各机构的相互作用方案，并概略地确

定各机构的动作循环图和各机构工作时间的概略值。循环图的循环时间 T 应满足技术指标中关于理论射速的要求，各机构的工作时间可以参考已有自动机的情况和准备采取的技术措施概略确定。

2 根据内弹道设计计算结果和炮弹尺寸，设计身管的最小外形尺寸和炮膛尺寸，身管的实际外形尺寸可暂不确定，因为它取决于自动炮的总体布置和总体结构方案。

3 确定炮闩的型式和基本尺寸，并概略计算炮闩的各组成部分，其中包括：闭锁机构、关闩（炮闩复进）机构、开闩机构、抽筒机构和击发机构。对这些机构进行必要的分析与计算后，便可选择炮尾的结构，并确定其与身管的联接方式，以及炮身后坐时的导向方法。

4 确定反后坐装置的型式和结构方案，其中包括：驻退机、复进节制器、复进机、复进缓冲器的型式和结构及其基本尺寸；确定反后坐装置的安装位置及其后坐部分与炮身联接的方法。确定是否采用炮口装置。

5 确定供弹机构的型式和结构方案及其基本尺寸，其中包括：供弹方式（弹夹供弹、弹鼓供弹、弹带供弹）；一个弹夹（弹鼓或弹带）所装的炮弹数；供弹方向（垂直供弹或沿着水平的或倾斜的供弹台侧向供弹）；供弹时炮弹运动的特点（直接供弹、阶层供弹）；供弹机构工作的能源（炮身或炮闩在后坐复进时的机械作用，压缩弹簧或气体所储备的能量）；受供弹机构作用而移动的炮弹数；炮弹向进弹口运动时的导向方法；炮弹节距、拨弹节距或压弹节距的大小和拨弹板或压弹板行程的大小；炮弹在进弹口和输弹出发位置的定位方法以及对后续炮弹的阻截装置；供弹机构和输弹机构的相互作用和联系；第一次装填时供弹机构的工作方法；供弹机构的基本尺寸等。

6 确定输弹机构的型式和结构方案及其基本尺寸，其中包括：输弹的性质（强制输弹或惯性输弹）；输弹的能源（被压缩的弹簧或气体，运动的炮身或炮闩的机械作用等）；输弹行程和输弹构件的行程；输弹时炮弹的导向（直的或倾斜的导引）；炮弹与输弹构件联接的性质（单面约束或双面约束）；第一次装填时输弹机构的工作方法；输弹机构的基本尺寸等。

7 确定发射机构的工作原理，首先要确定发射机构应控制那个机构（击发机构、输弹机构或炮闩）即确定松开发射机构、停止射击时，各机构将处于什么位置（停止射击时，当前的一发炮弹可以位于输弹机构内，也可以令其位于被炮闩闭锁的炮膛药室内，在后一种情况下，不利于炮身的冷却，且炮弹长时接触高温的身管壁有可能发生自燃）。

关于保险机构、辅助机构及其与炮架的联接问题可以留待以后解决。

8 估算运动诸元并求出理论射速。

9 绘制自动机总体布置草图。

（五）自动炮方案设计 在选择和确定炮架各机构、瞄准具和动力随动装置等的方案之后，拟定全炮的总体布置方案。此时应着重考虑在战斗条件下，各炮手的工作状态及全炮各机构的动作协调情况，发现问题及时修改自动机及其它部件的初步方案，以便取得合理的全炮方案。

方案设计初步完成后，需要广泛征求有关部门和使用部门的意见，以便修改方案。一般情况下，方案设计要经过主管领导机关的同意或批准，方可进行下一阶段的工作。

二 技术设计

总体方案批准后,就可以此为基础并考虑各方面对方案的意见进行技术设计。在这一阶段应该进一步调整火炮的各项战术技术性能,检验所有主要参数及基本尺寸,改进各部件的结构,进行详细的强度和刚度的计算,以及必要的试验工作,把各部件的性能和主要参数肯定下来,并进一步调整总体布置。通常还要制造具有真实尺寸的铁木模型,以便详细检查各部件的协调情况、操作及维护保养的方便性等。这一阶段还应充分注意材料选择和制造方面的问题,以便使新火炮满足经济方面的要求。

下面对自动机技术设计阶段的工作作一介绍:

(一) **自动机各机构(部件)的设计** 在设计过程中,必须保证得到预计的后坐部分质量 m_0 值。因此,参与后坐的主要构件应先行计算,即先行确定身管的外形,计算门体和炮尾的强度,设计关门机构、开锁和闭锁机构及抽筒机构等,以便根据炮身、炮门等的质量确定后坐部分质量 m_0 值。

其次,应设计由后坐部分带动的各机构,包括开门机构,供弹机构和输弹机构。此时须确定其转速比、效率、相当质量和相当力的数值及其变化规律,以备以后计算自动机运动诸元时应用。

各机构的设计中,其运动时间应符合循环图上预定的概略值,以期得到预定的理论射速。

(二) **自动机运动诸元计算** 自动机准确的循环图确定后,应根据循环图划分运动特征段,并以后坐部分为基础构件计算相当质量和相当力,把这些数据按循环图上的特征段作成曲线或列成表。首先,根据后坐稳定条件求出或给定后坐阻力 R 及其变化规律,并解后坐运动的正面问题。其次,考虑到自动机各机构参加工作时对后坐运动的影响求出驻退机调整零件(例如节制杆)的外形轮廓尺寸,并对这些尺寸进行工艺上的调整。第三,考虑到自动机各机构工作的影响,解后坐的反面问题,由此求出自动机基础构件的位移随时间变化的关系及后坐速度、后坐阻力随时间及位移变化的关系。第四,根据复进稳定性求出复进合力 r ,并解复进运动的正面问题。第五,考虑到自动机各机构参加工作对复进运动的影响,求出复进节制器调整零件的外形轮廓尺寸,并对其进行工艺调整。第六,考虑到自动机各机构工作的影响解复进的反面问题,并求出自动机基础构件的位移随时间变化的关系及复进速度、复进合力随时间及位移变化的关系。

最后,计算出自动机循环时间和理论射速,并绘出准确的自动机位移、时间循环图。此外,还应作出后坐速度、后坐力、复进速度、复进合力随时间及随位移的变化曲线。

为了研究自动机工作的可靠性,一般要取下列极限情况进行分析计算:

- 1 最大射角,强装药及驻退液发热到极限温度(一般取 100°C)的情况(夏季紧张射击情况);
- 2 最小射角, -40°C 低气温的情况(冬季首发射击情况);
- 3 最小射角, -40°C 低气温及弹丸初速降低 $6\sim 10\%$ 的情况(炮身寿命接近终了时,火炮在冬季首发射击的情况)。

对于每一种情况,都应计算理论射速,并作出后坐速度和后坐力随时间和随位移的变化曲线,以便确定理论射速的变化范围及自动机工作的可靠性,并作为炮架动力设计

的原始资料。

自动机的运动计算到此告一段落。计算完毕后，可能出现理论射速没有达到预定指标，或后坐力和复进合力超过了稳定极限值，这时，就必须适当改变自动机的循环图，或者在可能条件下适当改变自动机各机构的相互作用方案。这种改变必然会引起自动机总体结构图和循环图的局部改变。在改变时，必须进行必要的运动分析，以防改变循环图后影响自动机某些机构的正常工作。

自动机运动计算是很复杂、繁琐的工作，在实际设计中，根据具体情况应作适当简化，并利用计算机进行此项工作。

三 产品图设计

主要是绘制完整的产品图，包括：零件图、组合件装配图、部件装配图、总装配图以及编写各种技术文件等。在绘制过程中应进一步考虑工艺性，并可对局部结构和参数进行合理的调整。

四 样品试制及试验

首先是自动机的样品试制和试验。当试制出第一批样品后，一项重要的工作是，调整试验自动机。在射击试验过程中，必须着重试验自动机的工作可靠性和主要零件的寿命。为此，必须测量和记录运动部分的位移、速度、后坐和复进阻力随时间变化的规律，以及主要零件受力最大部位变形的大小和方向。为了考验自动机的工作寿命，可对易损零件进行寿命试验。根据调整试验的结果，应对自动机某些机构或某些零件进行修改，再次进行样品试制。这样的反复修改设计、试制与试验，直到自动机样品满足战术技术性能指标为止。应该指出，在调试自动机的过程中，要进行特殊环境下的射击试验，即高温和低温试验，扬尘和淋雨试验等。

下一阶段是试制炮架及把调试合格的自动机放在炮架上进行射击试验。试验的重点应是：自动机的工作可靠性；炮架主要零件的受力及强度；火炮的射击稳定性及射击密集度等。之后，是牵引试验和寿命试验等。总之，一门新火炮的设计，总是要经过多次反复修改设计及多次试制与试验，才能完成。

第三节 自动机类型的选择

在进行自动机方案设计时，首先遇到的问题，是如何选择和确定自动机的工作原理和各机构的相互作用方案，也就是如何选择和确定新自动机的类型。为了解决好这个问题，应该根据新火炮的战术技术要求，进行认真的调查研究，详细地占有有关自动机的各种资料，从分析和研究这些实际情况中引出规律，作为设计新自动机的向导。下面，研究各类自动机的特点及其结构。

一 火炮自动机分类

随着科学技术和战术的不断发展，为了适应不同条件下作战的需要，产生了各种型式的花炮自动机。为了科学地分析和综合地研究各种自动机，需要根据其特点进行分类。根据自动机利用能量的不同和结构的特点，把火炮自动机分成以下几类：

第一类 后坐式自动机——利用后坐能量的自动机；

第二类 导气式自动机——利用从炮膛中导出火药气体能量的自动机；

第三类 转膛式自动机——利用后坐或从炮膛中导出的火药气体能量使几个药室转动的自动机；

第四类 转管式自动机——利用外部能源使几个身管转动的自动机。

下面，分别对各类自动机进行一些分析、研究，以便掌握其特点和优缺点，为设计时正确地选择和确定新自动机的类型及总体结构创造条件。

(一) 后坐式自动机类

这类自动机的共同作用原理是利用后坐动能使自动机各机构工作。根据利用后坐动能的不同方法，可将此类自动机划分为三个组：

第一组 炮闩后坐式自动机——炮身不动，或只作很小的缓冲运动，主要利用炮闩后坐动能进行工作的自动机；

第二组 炮身短后坐式自动机——炮身后坐长小于炮弹长，利用炮身和炮闩后坐动能进行工作的自动机；

第三组 炮身長后坐式自动机——炮身后坐长大于炮弹长，利用炮身和炮闩后坐动能进行工作的自动机。

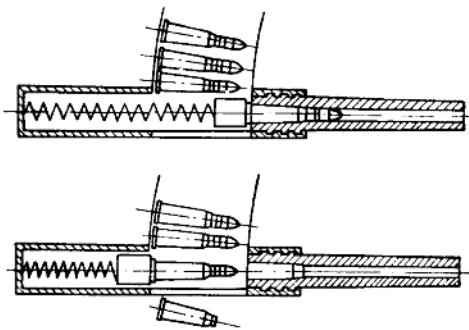


图1-1 炮闩后坐式自动机

1 炮闩后坐式自动机(图 1-1)

这组自动机的炮身与炮箱为刚性联接，炮闩在炮箱中后坐和复进，并为带动各机构工作的基础构件。发射时，作用于药筒底的火药气体压力推动炮闩后坐，抽出药筒，并压缩炮闩

复进簧以贮存能量。炮闩在其复进簧作用下作复进运动的同时，把炮弹推送入膛。这种自动机的供弹机构的工作，通常利用外界能源，例如，弹匣或弹鼓中的弹簧能量，当然也可利用炮闩的能量。

炮闩后坐式自动机根据炮闩运动的特点还可分为自由炮闩式自动机和半自由炮闩式自动机。自由炮闩式自动机具有自由的炮闩，发射时，炮闩不与身管相联锁，它主要依靠本身的惯性起封闭炮膛的作用。击发后，当火药气体推药筒向后的力上升到大于药筒与药室间的摩擦力和附加在炮闩上的阻力后，炮闩就开始后坐并抽筒，因此这种自动机抽筒时膛内压力较大，容易发生拉断药筒的故障。为了减小炮闩在后坐起始段的运动速度，就得加大炮闩的质量。可见，具有笨重的炮闩是自由炮闩式自动机的特点。

自由炮闩式自动机的优点是结构简单，理论射速高。缺点是抽筒条件差、故障多、炮闩重。这种原理过去曾应用于小威力的火炮自动机。例如，瑞士欧力根-20高射炮的自动机（以后，为了叙述简便，简称欧力根-20自动机，其它火炮的自动机也用简称）。自由炮闩式自动机原理在现代火炮自动机中很少采用。

采取某种机构来阻滞炮闩在后坐起始段运动的自动机称为半自由炮闩式自动机，这种原理在火炮自动机中也很少采用。