



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 火炮自动机设计

张相炎 编著



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 火炮自动机设计

张相炎 编著

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书在继承传统火炮自动机设计理论和方法的基础上,根据现代火炮自动机的特点和发展趋势,结合近年来取得的科研成果,融合现代设计的理论和方法,全面系统地介绍火炮自动机设计基本理论和方法,主要包括自动机的工作原理、典型结构分析、总体设计技术、主要机构设计方法、动力学仿真技术等。

本书具有一定的通用性和适应范围,适合作为火炮专业本科教材,也可作为研究生及科研工作者的参考资料。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

火炮自动机设计/张相炎编著. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 1  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978 - 7 - 5640 - 2941 - 8

I. 火… II. 张… III. 火炮 - 自动机 - 设计 - 高等学校 - 教材  
IV. TJ302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 218764 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 21.5

字 数 / 507 千字

版 次 / 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

定 价 / 53.00 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 边心超

---

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 前 言

空袭与反空袭是未来战争的主要特征之一。自动炮是进行中低空和超低空防空反导的重要工具和手段，加强中低空和超低空区域的防空反导作战能力是自动炮发展的趋势。为适应未来战争对自动炮的要求，作为自动炮核心的火炮自动机，其相关技术的发展非常迅速。

“火炮自动机设计”是火炮专业的主要专业课，已经多年无教材可用，代用教材是20多年前编写的。火炮自动机新技术、新成果、新方法等方面的内容，仅依赖任课教师凭经验进行必要的补充，缺乏系统性和规范性。

本书作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，根据火炮专业“火炮自动机设计”的教学需要，按约64学时的教学内容编写，对教学时数少于64学时的教学计划，主讲教师可以根据实际需求做适当裁剪。

本书共分5章。第1章主要介绍火炮自动机的基本概念及其组成、特点、发展和火炮自动机设计理论及其研究内容与方法。第2章主要介绍火炮自动机的工作原理和典型结构分析。第3章主要介绍火炮自动机动力学分析、建模与仿真技术。第4章主要介绍火炮自动机主要机构的结构设计，包括闭锁机构设计、开/关门机构设计、供/输弹机构设计、浮动机设计，其他机构设计等。第5章主要介绍有关火炮自动机总体设计方面的主要方法和技术。

本书是编者总结多年教学经验、体会，在继承传统火炮自动机设计理论与方法的基础上，力图根据未来战争的特点及其对现代火炮自动机的要求、特点和发展趋势，结合近年来国内外取得的科研成果，站在火炮自动机技术发展的前沿，对现代火炮自动机设计的基本概念、工作原理、结构特点、关键技术、发展趋势等进行了系统的介绍，使本书具有明显的系统性和时代特色。本书将传统火炮自动机设计理论与现代设计理论和方法相融合，介绍现代设计理论和方法在火炮自动机设计中的应用原理和方法，具有一定的通用性和适应范围，并且以介绍如何应用原理和方法为主，具有较强的实用性，不仅可供高等院校本科以及研究生教学用，还可以作为从事火炮自动机科技人员的参考书。

本书由戴成勳教授和朱素君教授担任主审专家，两位主审专家对本书付出了辛勤劳动，提出了许多宝贵的意见及建议。在编写过程中与戴劲松教授、杨军荣副教授进行过多方面的有益交流和探讨，刘宁、高永峰、杨磊提供了算例，阎舜、傅朝斌、郑鹏、郑建兴等在文字和图表等方面提供了大力协助，编者所在单位的许多教授专家对本书初稿

提出了许多有益的修改意见。本书在编写中参考了许多专著和论文。在此对以上为本书的出版付出了心血的主审专家和所有同仁一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有遗误和不妥的地方，恳请读者批评指正。

**张相炎**

# 目 录

<b>第1章 绪论</b> .....	(1)
1.1 火炮自动机概述 .....	(1)
1.2 火炮自动机设计的主要内容与方法 .....	(11)
<b>第2章 火炮自动机结构分析</b> .....	(16)
2.1 火炮自动机结构分析概述 .....	(16)
2.2 火炮自动机的工作原理及循环图 .....	(18)
2.3 火炮自动机的典型结构分析 .....	(26)
<b>第3章 火炮自动机动力学仿真</b> .....	(86)
3.1 概述 .....	(86)
3.2 火炮自动机动力学仿真模型 .....	(95)
3.3 火炮自动机动力学仿真技术 .....	(139)
<b>第4章 火炮自动机结构设计</b> .....	(157)
4.1 概述 .....	(157)
4.2 闭锁机构设计 .....	(166)
4.3 开/关门机构设计 .....	(188)
4.4 供/输弹机构设计 .....	(202)
4.5 浮动机设计 .....	(222)
4.6 其他机构设计 .....	(247)
<b>第5章 火炮自动机总体设计</b> .....	(262)
5.1 概述 .....	(262)
5.2 火炮自动机总体结构设计 .....	(277)
5.3 火炮自动机可靠性设计 .....	(291)
<b>参考文献</b> .....	(335)

### 1.1 火炮自动机概述

#### 1.1.1 火炮自动机的基本概念及其组成

人类在工农业生产以及日常生活中，发明和创造了各式各样的机器（机械），用于代替人力完成各种各样的生产劳动，这就使得人类与机器组成了一个“人-机”系统。“人-机”系统所完成生产任务的工作过程，实际上可以分解为一系列基本动作，这些基本动作是按一定的动作流程进行的。

在“人-机”系统完成生产任务的工作过程中，有些动作需要“人”来完成，有些动作需要“机器”来完成。“人”尽可能少地参与是人类设计机器所追求的目标。当一部机器在工作过程中几乎没有“人”参与，显然这样的机器就实现了“自动化”。因此，在没有操作人员直接参与下，组成机器的各个机构（装置）能自动实现协调动作，在规定的时间内完成规定的动作循环，这样的机器就可称为自动机械。自动机械是一个相对概念，在“人-机”系统中，如果“人”参与的程度高，则机器的自动化程度低；反之，则机器的自动化程度就高。

自动机械的最大特点是自动化程度高、操作人员的劳动强度低、生产效率高。但是，自动机械所完成的工序动作一般比较多，因此自动机械往往由多个工序执行机构组成，结构也就相对复杂。

火炮作为一种特殊机械，自问世以来，经过长期的发展，逐渐形成了多种具有不同特点和不同用途的火炮体系，成为战争中火力作战的重要手段，大量地装备于世界各国陆、海、空三军。在现代立体化战争中，火力仍然是战斗力的核心。火炮一直是战场上的火力骨干，以其火力强、灵活可靠、经济性和通用性好等优点，已成为战斗行动的主要内容和左右战场形势的重要因素。

根据火炮自动化程度不同，可以将火炮分为自动炮、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一发炮弹的全部动作的火炮。若重新装填和发射下一发炮弹的全部动作中，部分动作自动完成，部分动作人工完成，则此类火炮称为半自动炮。若全部动作都由人工完成，则此类火炮称为非自动炮。自动炮能进行连续自动射击（连发射击，简称连发），而半自动炮和非自动炮则只能进行单发射击。自动炮已大量地装

备于世界各国陆、海、空三军。美国 6 管 20 mm 自动炮就分别装备于陆、海、空三军，如图 1.1 ~ 图 1.4 所示。

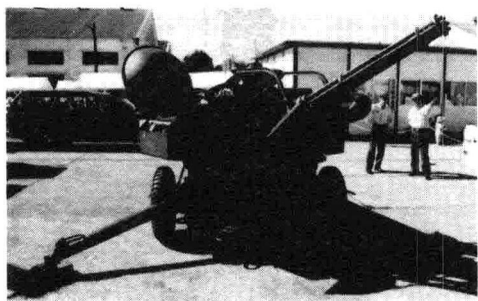


图 1.1 美国火神 M167 式 6 管 20 mm 牵引高炮

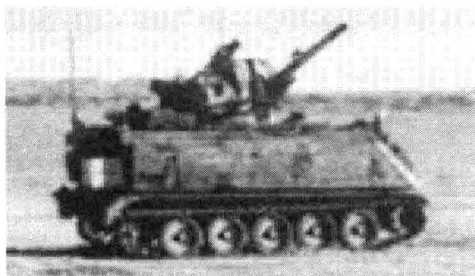


图 1.2 美国火神 M163 式 6 管 20 mm 自行高炮

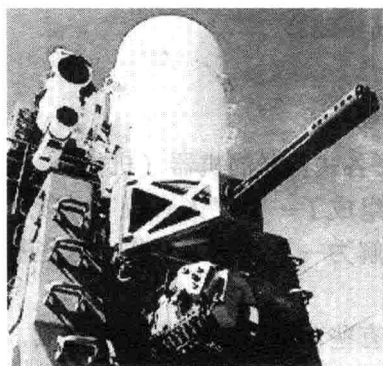


图 1.3 美国火神 MK15 式 6 管 20 mm 舰炮

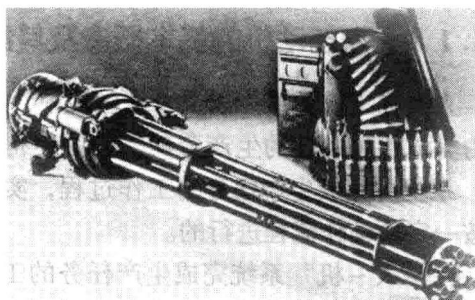


图 1.4 美国火神 M61 式 6 管 20 mm 航炮

自动炮按其用途又可分为地面自动炮（一般指高射自动炮，简称高炮）、机载自动炮（航空自动炮，简称航炮）和舰载自动炮（简称舰炮）三类。虽然这三类自动炮的自动机，由于使用条件不同而有所差异，但是在设计理论方面却是基本一致的。

火炮自动机（简称自动机）是自动炮的一个独立组成部分，是自动炮射击时，利用火药燃气或外部能源，自动完成重新装填和发射下一发炮弹的全部动作，实现自动连续射击的各机构的总称。

从击发已装填入膛的炮弹开始至次一发炮弹装填入膛等待击发为止，把这一过程称作射击循环。除了首发需要有人参与之外，其余所有动作均自动完成，称作自动循环。一般情况下，在每一自动循环中，自动机应能自动完成击发、击发机构复位、开锁、开闩、抽筒、抛筒、供弹、输弹、关闩和闭锁等动作。

(1) 击发，通过机械的、电的、光学的方式引燃点火药，从而使发射药燃烧的过程。

(2) 击发机构复位，击发机构恢复到击发前位置的过程。击发机构复位以便下次击发。

(3) 开锁，解除炮闩与炮尾的临时刚性连接的过程。开锁使炮闩可以相对炮尾产生运动。

(4) 开闩，当炮膛内火药气体压力下降到安全压力后，将炮闩由关闩位置相对炮尾移动一定距离，以便装填炮弹的过程。开闩是为下一发弹药的装填做好准备。

(5) 抽筒，将发射后的药筒从炮膛内抽出的过程。



(6) 抛筒, 将从炮膛内抽出的药筒抛出自动机之外的过程。

(7) 供弹, 射击时依次将一发炮弹从存储位置转移到输弹出发位置的过程。

(8) 输弹, 射击时依次将处于输弹出发位置的炮弹沿输弹线输入炮膛, 使之处于待发位置的过程。

(9) 关闩, 将炮闩由开闩位置移动到封闭炮膛位置的过程。

(10) 闭锁, 在关闩的同时或关闩到位之后, 使炮闩与炮尾及身管成为暂时刚性连接的过程。

当然, 上述各项自动动作并非完全为所有火炮自动机所必备。对某些火炮自动机, 有些动作可能合并在一起, 例如俄罗斯 C-60 式 57 mm 高炮自动机, 开闩过程就是抽筒过程, 供弹过程就是抛筒过程, 输弹过程就是关闩过程等。对某些火炮自动机, 有些动作可能根本就不存在, 例如当采用全可燃药筒时, 则根本就没有抽筒过程和抛筒过程; 当采用开膛原理时, 则根本就不存在输弹过程、抽筒过程等。

自动循环的各自动动作, 由相应机构完成。但是, 并非对应每一个自动动作都有专门机构。一个机构甚至一个构件可能完成几个自动动作。例如俄罗斯 C-60 式 57 mm 高炮自动机和 HP-23 航炮自动机, 在开闩过程中完成抽筒动作; 在压弹的同时, 利用当前炮弹将发射后的药筒挤出自动机, 完成抛筒动作; 在关闩过程中完成输弹动作等。

通常, 从工作原理讲, 自动机应包括炮身、供弹和输弹机构、反后坐装置及缓冲装置、发射机构、保险机构等机构或装置。

(1) 炮身包括身管、炮尾、炮闩和炮口装置。身管的作用与其他火炮一样, 是直接承受火药燃气压力并赋予弹丸一定的飞行方向和炮口速度 (包括自旋转角速度)。炮闩包括闭锁、开闩、抽筒、抛筒、关闩和击发等机构。它的主要作用是密闭炮膛, 承受火药燃气压力, 并完成开锁和闭锁、开闩和关闩、抽筒和抛筒、击发等动作。

(2) 供弹和输弹机构用来依次向自动机内供给炮弹, 并把最前面一发炮弹输入炮膛。

(3) 反后坐装置及缓冲装置用来控制火炮的后坐与复进运动, 并减少射击时作用于炮架的力, 吸收未被自动机工作所消耗的后坐动能。

(4) 发射机构用以控制火炮的射击。

(5) 保险机构用于保证各机构可靠工作和正确地相互作用, 以及保障勤务操作的安全。

除上述主要机构或装置外, 根据不同的作用和结构要求, 有些火炮自动机中还设有一些具有特殊性能的机构, 如首发装填机构、自动停射器、射速控制装置、单-连发转换器, 以及更换身管和分解结合自动机专用机构等。

自动机的这些机构, 依靠炮箱 (或摇架) 组成一个整体, 安装在炮架上。

### 1.1.2 火炮自动机的特点

火炮自动机是闭锁机构、开闩机构、抽筒机构、供弹机构、输弹机构、关闩机构和击发机构等许多机构的有机组合, 从结构本质上说, 火炮自动机是一个复杂机械。

自动炮在发射一发炮弹的过程与其他火炮实质上是相同的, 主要差别在于能迅速和自动地连续发射多发炮弹, 而仅在启动或停止射击时需要由外部实施控制, 此外停止射击还会发生于炮弹消耗完毕时。火炮自动机作为自动炮的核心部分, 也具有自动和高速的特点。

火炮自动机的工作过程是一个自动循环过程, 对整个射击过程来说, 火炮自动机具有周

期性的特点。由于自动炮射速非常高，一般射速都在1 000发/分以上，例如美国火神M61A1式6管20 mm航炮的理论射速高达7 200发/分，现在研制的超高射速自动炮的射速甚至可高达10 000发/分以上，因此火炮自动机是一个以高频率周期性工作的复杂机械。

在火炮自动机的每一个自动循环过程中，完成各自动动作的各机构并不是同时参与工作的。火炮自动机的各机构是按照给定的顺序参与工作，并且参与工作的时间仅占整个工作循环时间的一部分，即自动机各机构的工作具有顺序性和间歇性的特点。

由于自动炮射速非常高，火炮自动机的每一个自动循环时间很短，完成各自动动作的各机构参与工作的时间更短，例如射速为6 000发/分，则自动机的循环时间为10 ms，平均每个自动动作占用的工作时间约1 ms，在如此短暂时间内，各机构及其构件经历从静止状态，加速到最大速度，再减速，回到静止状态，各机构及其构件的运动速度极高，加速度巨大，即自动机各机构的工作具有很强的动态特性。此外，各机构在参与工作和退出工作时，往往伴随着撞击，自动机各机构的运动还具有显著的不均匀性。

武器装备直接服务于战场，武器装备的可靠与否直接影响战争的胜负。自动炮的作用与性能决定了其可靠性具有特殊的重要意义。作为自动炮的核心部分，火炮自动机具有高工作可靠性的特点。火炮自动机的工作可靠性主要包括运动协调性和寿命等。

### 1.1.3 火炮自动机的发展

火炮的发展受到社会经济能力和科学技术水平的制约，同时也受到军事战略和战术思想的支配。第二次世界大战以来，科学技术的飞快进步，特别是微电子、计算机、光电子和新材料等技术的发展，使火炮在设计、制造和使用方面有一系列变化，大大加快了火炮更新换代的步伐。现代火炮早已不是单纯的机械装置，而是与先进的侦察、指挥、控制、通信、运载手段以及高性能弹药结合在一起的完整的武器系统。因此，从不断发展的战略、战术思想出发，在新技术推动下，逐步提高包括精度、威力、反应速度和机动能力在内的综合性能，是火炮系统发展的必然趋势。近年来，高新科学技术在兵器领域中的应用，引起火炮技术的重大变革。

自动炮的发展，除其他技术之外，主要依赖火炮自动机的发展。从自动炮的发展过程可以看出火炮自动机的发展过程。

#### 1. 高炮的发展

高炮作为地面防空武器，自第二次世界大战以来在技术上得到了不断的发展和改进，但因飞机的发展以及导弹的应用，它也经历了一个曲折的变化过程。第二次世界大战期间，高炮是唯一有效的对空作战武器。20世纪50年代防空导弹出现，一些西方国家，尤其是美国倾向于“防空武器导弹化”，高炮一度受到冷落。20世纪60年代以来实战经验证明，尽管导弹已成为防空的主力，但对近距离防低空来说，小口径高炮仍能发挥重要作用。因此，高炮和防空导弹都是地面防空所不可缺少的武器这一战略思想逐渐受到重视。目前，由于火炮技术发展成熟以及弹炮结合一体化，高炮日趋完善，而且在防空武器中的地位也得到了加强。在现代防空作战中，高炮特别是小口径的高炮，仍然是必备的基本防空武器之一。

高炮的发展，首先应追溯到1870年7月普法战争中普鲁士军队为了击毁巴黎气球而专门制造的37 mm火炮，又名“气球炮”。20世纪初，飞艇和飞机相继出现。为了对付这些

空中目标,德国1906年在原“气球炮”的基础上,又制成了炮管长约1.5 m的50 mm口径火炮,发射榴弹初速为572 m/s,最大射高为4 200 m,这可算是世界上第一门高炮。1914年,德国制造的具有代表性的77 mm高炮,系最早采用四轮炮架、结构比较完整的牵引式高炮。在此期间,俄国、法国、意大利等国家也先后出现了各种口径的牵引式高炮。特别是第一次世界大战时期,由于飞机的威胁较为突出,德国又相继研制和使用了80 mm、88 mm以及口径更大的90 mm、105 mm高炮,射高增大到7 350 m。另外还研制成了对付低空攻击飞机的小口径高炮(射高2 000 m),这是最早出现的一种能连续射击的高炮。自第一次世界大战结束直至20世纪30年代初期,由于飞机没有很大变化,高炮的发展也比较缓慢,在结构和性能上都没有明显改变和提高。第二次世界大战促进了飞机飞行高度和速度等作战性能的提高,高炮也得到迅速的发展。小口径高炮的初速达到1 000 m/s左右,中口径高炮的射高可达10 000 m以上。高炮用上指挥仪、测距机等观测和指挥设备后,其作战能力明显增强,成为当时唯一有效的地面防空武器。20世纪40年代中期以后,高炮和飞机两者的发展几乎并驾齐驱。为了适应飞机飞行速度和飞行高度的提高,高炮大都有了由电子设备和计算机组成的火控系统,成为完整的防空武器系统。20世纪50年代中期,飞机普遍采用喷气发动机,飞行高度达到12 000 m以上,速度达到音速。因此高炮难以适应要求,防空导弹应运而生。不少西方国家,特别是美国开始从编制中撤销高炮装备,停止高炮的研制工作,集中力量发展防空导弹。尽管如此,苏联、瑞士、瑞典等传统高炮生产国家并未放松高炮研制工作。进入20世纪60年代后,防空导弹达到一定的技术和战术水平,能够有效地防御中、高空飞机,作战飞机不得不转入低空突防式攻击。小口径高炮反应快,命中率高,能迅速对付低空、超低空飞机,它在防低空作战中的特殊重要作用是防空导弹所不能替代的。因此,国外普遍认为防空导弹和小口径高炮各有所长,可搭配使用,中、高空远程防御依靠防空导弹,低空近程防御依靠高炮和防低空导弹。高炮,主要是小口径高射炮重新受到重视,恢复了应有的地位。近20多年来,虽然高炮的发展大都集中在小口径上,但在技术上有了很大突破,出现了具有全天候作战能力的先进的牵引高炮和自行高炮,火炮的自动化程度提高,反应迅速,而且配用弹种增加,弹丸威力提高。

随着科学技术的迅猛发展,高新技术不断涌现,并在军事领域得到广泛的应用,现代战争演变成了在陆、海、空、天、电磁五维战场空间中的综合较量。在这场新的军事革命中,空袭与反空袭作战的重要性逐步超过了传统的地面或海上交战。由于空袭兵器的飞行性能不断改进,电子战和信息战能力不断增强,以及机载武器的杀伤威力、攻击距离和命中精度不断提高,陆军若无有效的对空掩护保障,就无法正常遂行作战行动。因此可以认为,空袭与反空袭作战已经上升为首当其冲、贯穿始终并在很大程度上影响和决定着战争进程与结局的最重要的战争方式。空袭与反空袭作战是体系与体系的对抗。现代空袭兵器的种类和防空作战对象较过去明显增多,不仅有各种各样的战略或战术轰炸机、歼击机、强击机、侦察机、预警机、电子对抗机和空中加油机等固定翼飞机(含隐形飞机),武装直升机与人员装备输送直升机,还有巡航导弹、反辐射导弹、反坦克导弹等各种空地导弹,以及侦察、校射、通信和攻击型无人机等。这些防空作战对象的空袭战术与作战飞行规律各不相同,因此试图发展一直能抗击上述所有目标的防空武器是不切实际的,应该发展若干种在某些方面具有特长的防空武器系统。虽然各种防空武器系统都不是十全十美的,但是这些防空武器系统有机组合,就能构成一个较为完善的防空体系。虽然,在掌握一定制信息权和制电磁权的前提下,

防空导弹可以有较大的防御空域和很高的毁歼概率，但是现代防空高炮具有火力猛、持续作战能力强、反应速度快、可靠性高、成本低廉、抗干扰性能好等优点，尤其是在近程反导和拦截各种无人机等成本低廉的小型空中目标、抗击突然临空的空袭目标、对付地面零散目标等方面，防空高炮较防空导弹更具有优势，因此，高炮在未来战争中仍具有不可替代的地位和作用。未来的地面防空体系是：超低空以防空高炮为主，低空以防空高炮为主防空导弹为辅，中空以防空导弹为主防空高炮为辅，高空以防空导弹为主，各种防空武器装备合理搭配，作战空域合理衔接，有效地覆盖高、中、低空和远、中、近程全空域。

目前，各类空中攻击和侦察用空袭武器不仅飞行速度快、机动性好，还能实施电子战和在全天候条件下使用多种机载武器，特别是制导武器实施进攻，使防空作战变得复杂化。为此，高炮必须具有初速、射速、瞄准速度快，全天候作战和电子对抗能力强，自动化操作反应时间短，机动性好的特点。

现装备的高炮大都是 60 mm 以下口径的高射炮，主要有 20 mm、23 mm、25 mm、30 mm、37 mm、40 mm 和 57 mm 等，其中尤以 20 ~ 40 mm 口径占多数。在众多口径的高炮中大多为双管联装，而且以自行式为多。美国现装备的高炮主要是火神 M167 式 20 mm 牵引高炮，火神 M163 式 20 mm 自行高炮，M42 式 40 mm 双管自行高炮。俄罗斯现装备的各种型号的高炮主要有 3CY-23-2 式 23 mm 双管高炮，3CY-23-4 式 23 mm 4 管自行高炮，C-60 式 57 mm 高炮，3CY-57-2 式 57 mm 双管自行高炮，M1939 式 37 mm 高炮，M1939 式 85 mm 高炮，KC-19M2 式 100 mm 高炮和 KC-30 式 130 mm 高炮等，以及 2C6 式弹炮结合防空武器系统等。英国是西方国家中高炮装备数量比较少的国家，现装备有瑞士的 GDF-002 式 35 mm 双管高炮。法国主要装备有塞贝尔 20 mm 高炮，塔拉斯克 53T2 式 20 mm 高炮，AMX-13DCA 式 30 mm 双管自行高炮，以及博福斯 L/70 式 40 mm 高炮等。日本现装备的高炮种类较多，除仿制的瑞士厄利空 GDF-001 式 35 mm 双管高炮和 87 式 35 mm 自行高炮外，其他多是美制装备，如 M1 式 40 mm 双管自行高炮、M42 式 40 mm 双管自行高炮、M51 式 75 mm 高炮和 90 mm 高炮等。

直升机特别是武装直升机的大量使用使之成为陆军的重要空中力量。面对空中威胁这一变化，要求高炮具有更远的射程和更高的命中概率及毁伤概率。高炮口径可能向稍大的方向发展。

在战场上空地导弹，尤其是巡航导弹的大量使用，再加上目标的多样性和小型化，大力发展新型弹一体化防空武器系统成为必然的发展趋势。多联装的防低空导弹、小口径高射炮、搜索雷达和光电控系统相结合，利用同一车体组成一体化的防空武器。这类混合武器兼有防空导弹和小口径高射炮的优点，又能协调一致有效和及时地对付不同的空中目标。这种防空武器作战范围较大，从导弹的最大射程和射高直至火炮的最小射程和射高，最大射程为 7 ~ 8 km，射高由接近地面高度至 4 ~ 5 km。因此，这种武器既能对付从低空和超低空突然临空的目标，又能攻击远距离目标，火力猛，具有一定的抗饱和和攻击能力。

## 2. 舰炮的发展

舰炮是舰艇最基本的武器之一。自从舰炮作为主要舰载武器使用以来，至今已有 400 多年的历史了。在火炮技术不断发展的进程中，舰炮技术也在不断地进步和完善。直至第二次世界大战结束，舰炮一直起着舰上主要火力的作用，是水面舰艇的一种攻、防兼备的重要武

器。随着飞机，特别是导弹在海战中的出现和应用，舰炮的作用和地位也有所影响。尤其是20世纪60年代，不少国家以导弹取代舰炮，一些巡洋舰也只配备导弹，舰炮似乎有被淘汰的趋势。但是，战争的经验教训又促使各国海军重新评价舰炮在现代海战中的作用，特别是舰炮在对空、对海和对岸轰击作战中的重要性。因此，舰炮仍是今后舰艇所不可缺少的主要作战武器。

16世纪末期，由于管形武器发展，臼炮和榴弹炮广泛使用爆炸性燃烧弹药，舰船上也开始安装甲板，设置火炮。火炮不再是一种海战辅助武器，而是能够独立作战的舰炮。这种初级的舰炮威力虽有增强，但缺少瞄准装置，命中率低，射程近。19世纪中叶，舰炮口径增大，爆炸弹威力提高，同时也使用了线膛舰炮。线膛舰炮可发射长圆形弹丸，能有效击穿舰船装甲，为舰炮发展开辟了新的道路。随着舰船装甲厚度的增加，舰炮逐渐发展到发射被帽穿甲弹，并能击穿厚度与弹丸直径相同的装甲。这使舰炮有了能攻击敌舰装甲的能力。1873年，出现了47 mm和57 mm口径的反鱼雷速射舰炮。后来，这种炮又发展成120 mm速射舰炮，并演变为能对空、对海射击的高平两用舰炮，从而奠定了中口径舰炮的基础。第一次世界大战时，舰船开始装备高炮，以对付空中目标。1915年俄国的76 mm火炮就是当时较先进的舰用高炮。此后直至20世纪40年代初期，各国海军装备的舰炮口径品种较多。在第二次世界大战期间，舰炮，特别是大口径舰炮是衡量舰艇火力强弱的主要依据。这也说明了舰炮在海战中的重要作用。后来由于飞机广泛用于海战。舰上的主炮作用减小。一般看来，此时期的大、中、小口径舰炮都有发展和提高。第二次世界大战后及20世纪50年代，由于导弹的问世，不仅大口径舰炮被导弹取代，中、小口径舰炮也受到导弹的排挤，因而也影响了舰炮技术的进步。20世纪60年代以来实战经验证明，舰炮不能由导弹完全取代，它可与导弹配合，攻击空中、海上和岸上目标。从此，舰炮逐渐得到“新生”。在近20年的时间里，新一代中口径舰炮相继研制和改进成功，如美国的MK45式127 mm舰炮、英国的MK8式114 mm舰炮、法国的紧凑式100 mm舰炮、意大利的奥托超速76 mm舰炮等。大口径舰炮也恢复装备。至于新型小口径舰炮，比如美国的海火神-20式、荷兰的“守门员”、瑞典的“海特里尼蒂”、英国的“海龙”、西班牙的“梅罗卡”等舰炮犹如雨后春笋般涌现。

现代舰炮基本上都是自动炮，射速高，火力猛。小口径舰炮采用多管联装或转管结构，如瑞士的GBM-B1Z式25 mm舰炮为4管联装，射速高达3 400发/分，美国的海火神-30式30 mm转管舰炮甚至达到4 200发/分，这对攻击反舰导弹来说是极为有利的。一些口径较大的舰炮采用动力操作，自动装弹、扬弹、供弹和输弹，如法国的紧凑式100 mm舰炮最大射速可达90发/分。

目前装备的舰炮口径范围较广，有20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、37 mm、40 mm、57 mm、76 mm、100 mm、102 mm、114 mm、127 mm、130 mm、152 mm、203 mm、406 mm等多种。大口径舰炮数量较少，中、小口径舰炮居多，76~130 mm口径舰炮约占56%，20~57 mm口径舰炮占40%以上。美国是世界上装备舰炮品种最多的国家，从20~406 mm口径的都有，如密集阵MK15式20 mm舰炮，海火神-25式弹炮结合舰载武器系统，MK33式、MK34式76 mm舰炮，MK32、MK38、MK39、MK42、MK45式127 mm舰炮等。俄罗斯现役舰炮口径有25 mm、30 mm、37 mm、57 mm、76 mm、100 mm、130 mm、152 mm 8种。较新的舰炮只有AKM-630式30 mm、76 mm和新型130 mm舰炮等。英国现装备有A-32式和DS30B式30 mm舰炮，MK7式40 mm舰炮，MK6式76 mm舰炮，MK19

式 102 mm 舰炮, MK6 和 MK8 式 114 mm 舰炮等。1972 年开始装备的 MK8 式 114 mm 全自动化舰炮已成为英国海军制式舰炮, 除英国外, 阿根廷、泰国、巴西、利比亚、伊朗海军也有装备。A-32 式和 DS30B 式 30 mm 舰炮主要装在小型舰艇上使用。法国舰炮受导弹“冲击”较小, 基本变化不大。现装备的舰炮主要有 A 式 20 mm、57 mm、1967-II 式和紧凑型 100 mm 舰炮。其中多数是 100 mm 口径舰炮。

由于舰艇、飞机和导性能的提高, 海军战术相应改变, 随之对舰炮发展提出了新的要求。新技术、新材料、新工艺的出现和应用为舰炮的发展提供了条件。反舰导弹已成为舰艇的重要威胁。多管联装、射速快、火力猛、反应灵活的小口径舰炮被认为是近距离拦击反舰导弹的理想武器。近年来出现的这类反导武器有很多, 如美国方阵 MK15 式 20 mm 舰炮、荷兰守门员 30 mm 舰炮、法国的撒旦 30 mm 舰炮、瑞士的海上卫士 25 mm 舰炮、意大利的米利雅得 25 mm 舰炮和西班牙梅罗卡 20 mm 舰炮等。以荷兰守门员 30 mm 舰炮为例, 射速为 4 200 发/分, 配用脱壳穿甲弹, 全炮系统对掠海飞行导弹的反应时间为 5.5 s, 可作为舰艇最后防线的反导武器使用。

随着反舰导弹对舰艇威胁的增加, 必须加强对反舰导弹的多层次、多方位的防御。这是一个新课题。电磁炮、电热炮、液体发射药火炮、激光炮是当今世界探索研究的新原理火炮, 美、俄等一些国家正在研究这类火炮技术在舰艇上使用的可能性。美国海军拟研制初速为 5 000 m/s、发射 240 g 重的炮弹的电磁炮, 以期在 5 000 ~ 10 000 m 距离内击毁反舰导弹和其他空中目标。毫无疑问, 新技术的发展会给舰炮带来深远的影响。

### 3. 航炮的发展

航炮是作战飞机上配备的专用火炮, 既用于空中格斗作战, 也用于对地面目标的攻击。因此, 它的发展及战术应用受到各国的重视。至今航炮虽只有不足百年的历史, 但和高炮、舰炮一样, 也有一段曲折的经历, 即在导弹出现时, 航炮的作用和地位曾被大大削弱。这种情况直至 20 世纪 60 年代后期, 逐渐得到改变。目前, 航炮作为飞机空战和攻击地面目标的重要武器在现代战争中仍发挥着应有的作用, 是各种作战飞机必不可少的武器装备之一。

20 世纪初期, 飞机刚刚问世, 机上没有武器装备。1911 年在墨西哥革命战争中, 政府军与革命军的飞机在空中遭遇时, 飞行员相互用手枪射击, 开创了飞机上使用射击武器进行空战的先例。1912 年 6 月 2 日, 美国陆军在马里兰州用刘易斯机枪在赖特 B 型双座双翼飞机上进行的空中射击, 是首次将陆军自动武器搬上飞机使用。

第一次世界大战爆发后, 由于作战的需要, 将地面用机枪搬上了飞机。随后, 又将单发装填的短管火炮装上了飞机, 以满足增大威力的需要。显然, 这些机枪和火炮不能很好适应飞机作战的要求, 以后便很快发展了专用的航空机枪和航炮。第一次世界大战后至第二次世界大战前是航炮的初期发展阶段。在美、苏、日发展 12.7 mm 航空机枪的同时, 大多数欧洲国家却开始研究航炮发射爆破弹的可能性, 认为 20 mm 是能装有效能量炸药和引信的最小口径。最早于 20 世纪 30 年代出现的几种航炮是瑞士的 Hispano 20 mm 航炮和厄利空的 MGFF 20 mm 航炮、德国的 MG151/20 式 20 mm 航炮和莱茵金属公司的 MK-101、MK-103、MK-108 式 30 mm 航炮等。航炮质量较轻, 多为炮身后坐式和导气式。第二次世界大战中, 由于飞机航速的提高和机动性能的增强, 加上攻击地面装甲目标的战斗任务, 航炮成为飞机作战的重要武器, 得到迅速发展。第二次世界大战后期至 20 世纪 50 年代可谓航炮发

展的黄金时代，出现了转膛结构和转管结构的航炮。最早的转膛炮有德国的 MG213A 式 20 mm、MG213C 式 20 mm 和 30 mm 航炮；美国的火神 M61 式 20 mm 航炮则是转管炮。20 世纪 50 年代后期，空对空和空对地导弹出现，并很快成为作战飞机的主要武器。此时，航炮大有被替代和取消的势头。在“要导弹、不要航炮”的指导思想上，1957 年后美国甚至取消了航炮研制计划。当时只有西欧一些国家仍保留着航炮装备。20 世纪 60 年代，越南和 中东战争的空战证明，制导武器虽有其特殊的长处，而航炮的不受电子干扰、可持续射击、价格便宜等优点是导弹所不及的。因此，无论是近距离空战，还是对地面攻击，航炮仍是不可缺少的有效武器。自 20 世纪 70 年代起，航炮再度受到重视，并在技术结构和性能上得到进一步发展。

由于飞机上安装条件的关系，航炮受到尺寸、质量、后坐力等方面的限制，因而口径比较小，种类也不多，口径只有 20 mm、23 mm、25 mm、27 mm、30 mm 等。航炮可安装在不同机种上，如战斗机、攻击机、截击机、直升机等，可以吊舱方式安装，也能用炮架装在飞机内。

飞机的飞行速度快，跟踪瞄准时间短，只有高射速的航炮才能满足作战要求。但为了适应不同的作战需要，避免不必要的弹药消耗，又要求航空炮的射速快慢可调。为此，采取控制电机或液电机转速等措施来调节火炮射速。美国 GAU-8/A 式 30 mm 航炮最大射速为 4 200 发/分，调整后射速可降到 2 100 发/分。由于航炮受安装条件的限制，一般后坐力小，只用简易的缓冲装置，不需要复杂的反后坐装置，因此体积小、质量轻。通常航空炮质量只有 100 kg 左右。在飞机上作战，要求航炮故障率低，作用可靠，使用寿命长。一般，航炮两次故障之间平均射弹数达到数千发乃至上万发。美国 30 mm 链式航炮平均无故障发弹数达到 15 000 发，身管寿命为 10 000 发。

目前，20~30 mm 航炮已广泛装备于各种现代作战飞机，使用最普遍的是转管炮和转膛炮。美国现装备的航炮口径系列为 20 mm、25 mm、30 mm 等，型号有火神 M61A1 式 20 mm、M197 式 20 mm、MK11-5 式 20 mm、平衡者 GAU-12/U 式 25 mm、GAU-8/A 式 30 mm、GAU-13/A 式 30 mm、M230A1 式 30 mm 航炮等。其中，火神 M61A1 式 20 mm 转管炮是世界上生产最多、装备量最大的航炮，已装备美国多种作战飞机，如 F-104、F-105、F-106、F-111、F-10、F-14、F-15、F-16、F-18 和 A-7 飞机等。M230A1 式 30 mm 链式航炮适于装在直升机上。俄罗斯现装备 23 mm 和 30 mm 两种口径的航炮，主要型号有 AM-23 式 23 mm、HP-23 式 23 mm、ГШ-23 式 23 mm、转管式 6 管 23 mm、HP-30 式 30 mm、ГШ301 式 30 mm、转管式 6 管 30 mm 航炮等。英国现只装备阿登 30 mm 系列航炮。在阿登 30 mm 航炮系列中装备最多的是 MK4 式和 MK5 式，大多配用于闪电 F53、猎人、美洲虎、鹞式战斗机、隼式教练机等。阿登 25 mm 航空炮是即将装备的新型航炮。法国现装备有 20 mm 和 30 mm 两种口径的航炮，即 M621 式 20 mm 航炮和德发 552 A、553、554 式 30 mm 航炮。最新的德发 554 式已装备幻影 2000 战斗机。M621 式 20 mm 航炮只配装在直升机上。

为了适应未来作战的需要，各国仍在不断发展和改进航炮技术。对未来的空对空和空对地战斗来说，20 mm 口径火炮的威力明显不足。另外，30 mm 口径炮击落一架战斗机的耗弹量只有 20 mm 口径炮的 1/3。因此，美国早已计划 20 世纪 90 年代用新的 25~30 mm 口径航炮装备新型战斗机。近年来，美、英、法等国新研制的航炮口径都在 25 mm 以上，如美

国 GE225 式 25 mm 轻型航炮、英国阿登 25 mm 航炮、法国 M781 式 30 mm 航炮等。随着航炮威力的提高,初速和射速不断增大,减小后坐力成了航炮的重要问题。传统的缓冲装置已不能满足要求,现多采用浮动原理以及特殊的新型缓冲装置,如高吸能缓冲器、液压后坐控制器等,可使航炮的后坐力减到最小。为解决身管烧蚀和磨损的问题,在航炮及其炮弹上采取了多种技术措施,比如身管采用内膛镀铬,弹带改用耐高温的塑料弹带,炮弹采用低烧蚀火药(如英国的阿登 25 mm 炮弹)。另外,还在研究陶瓷内衬及复合材料身管。为减轻质量,一些国家研究采用复合材料的航炮。法国用轻型复合材料制造 791B 式 30 mm 航炮的摇架和输弹机,质量只有金属件的 1/3 左右。为适应未来需要,世界各国都在研究新结构和新原理的高性能航炮,除美国已开始装备新结构的 M230A1 式 30 mm 链式航炮外,现在研究和试验的新原理炮有开膛结构航炮、液体发射药航炮及激光炮等。美国研制的 25 mm 液体发射药试验炮采用电点火,初速比一般火炮高 20%,对目标的毁伤概率比火神 M61 式航炮高 2~3 倍。激光炮是利用激光束攻击目标,德国研制的机载激光武器可破坏 20 km 远的军用探测器和 10 km 处的直升机、作战飞机和导弹。

#### 4. 火炮自动机的发展趋势

高炮、舰炮和航炮大多是自动炮。从高炮、舰炮和航炮的发展可以看出火炮自动机的发展。

火炮自动机的发展,始终是围绕着提高射速、机动性(包括减轻质量、减小后坐力等)和可靠性进行。

目标的小型化和快速化,使得每发炮弹命中目标的概率变得极小。为了有利捕捉战机,消灭敌人,主要技术途径之一就是提高射击时的火力密度,即增加单位时间内对目标的射弹数,也就是提高射速,以密集的射弹形成“弹幕”拦截目标。对付空中快速机动目标,无论是从提高毁歼概率、提高武器系统威力的角度出发,还是从提高武器系统作战能力,以及提高自身生存能力的角度出发,提高火炮自动机射速都具有重要意义。因此,提高火炮自动机射速是火炮自动机技术发展的永恒主题之一。

武器系统威力的提高,往往伴随着后坐力的大幅度增大,带来使武器系统的机动性能下降,使武器系统的射击稳定性下降,使武器系统的射击精度下降,使武器系统的可靠性下降等不利后果。在提高武器系统威力的同时,减小后坐力就成为火炮自动机技术发展的又一个永恒主题。

使用武器的目的就是消灭敌人,保存自己。武器系统的可靠性不好,不但不能消灭敌人,还可能伤害自己。火炮自动机可靠性的好坏,直接影响武器系统可靠性的好坏。火炮自动机的工作特点要求火炮自动机具有高可靠性。提高火炮自动机的可靠性具有重要意义。在火炮自动机的研制过程中,已经将提高可靠性作为一项重要内容。

火炮自动机技术的主要发展方向包括以下几点。

(1) 通用化。同一口径、同一结构的火炮自动机具有多种用途,可在海、陆、空三军通用,即一机多用,形成自动机通用化。相同或相似结构,应用于不同用途或不同口径的自动机,形成结构通用化。同一口径火炮自动机,弹药通用,形成弹药通用化。

(2) 序列化。序列化是指火炮自动机口径的序列化。同一口径火炮自动机,通过对基本型号的逐步改进,发展为不同用途、不同型号的序列化产品。相同或相似结构,应用于不



同用途或不同口径的自动机，发展为不同用途、不同口径的序列化产品。

(3) 标准化。标准化是指火炮自动机的设计标准化、制造标准化、试验标准化。

(4) 多样化。多样化是指火炮自动机工作原理的多样化。现有工作原理的综合运用，以及新原理、新结构的发明，共同发展特殊用途的火炮自动机。

(5) 新概念。火炮自动机的观念更新、概念创新、内涵突破、外延拓展等，往往会带来火炮自动机的更新换代，如“金属风暴”、“并行发射”等。新概念火炮自动机的构想以及关键技术的突破，将给火炮自动机性能带来突破性的提高。

## 1.2 火炮自动机设计的主要内容与方法

### 1.2.1 火炮自动机设计的主要内容

火炮自动机是自动炮的核心组成部分，是自动完成重新装填和发射下一发炮弹的全部自动动作，实现自动连续射击的各机构的有机组合，是一个复杂的机械系统。

早期的火炮自动机设计是以经验设计为主，即产品的设计是以经验数据为依据，运用一些附有经验常数的经验公式进行设计计算的一种传统的设计方法，这样的设计没有建立在严密的理论基础上，缺乏精确的设计数据和科学的计算公式。为了强调零件的可靠性，往往在设计中取偏大的安全系数，结果虽然安全，却增加了所设计零件的质量。一种新型火炮自动机的开发往往要经过“设计—试制—试验—改进设计—试制—试验”等多次循环，反复修改图纸，完善设计后才能定型，研制周期长、质量差、成本高。传统火炮自动机的开发流程如图 1.5 所示。

随着科学技术的发展，新的设计方法和手段也不断涌现，为传统的结构设计、强度分析、性能分析、试验等带来了新的变化。产品的设计由静态设计向安全寿命设计的动态设计方法过渡，由校验型设计向预测型设计过渡，现代设计理论和方法已成为火炮自动机提高性能的前提条件，也是由粗放型设计向精细化设计转变的重要环节。利用现代设计理论和方法，逐步建立各类数据库、专家知识库、设计规范、设计方法、设计准则、试验规范和工艺规范，形成规范的现代设计体系和虚拟试验体系，实现由“经验设计”向“预测和创新设计”转变。现代火炮自动机的开发流程如图 1.6 所示。

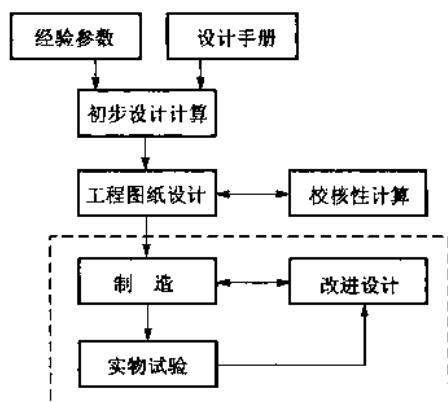


图 1.5 传统火炮自动机的开发流程

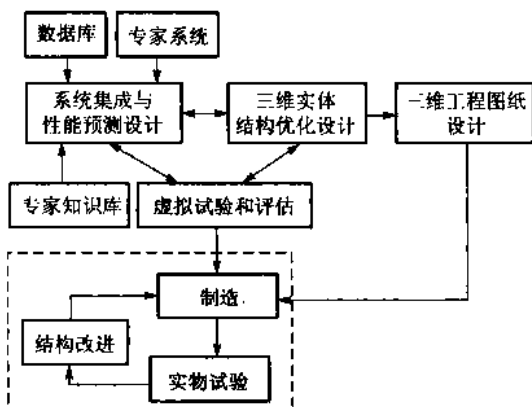


图 1.6 现代火炮自动机的开发流程