



火炮自动装填

侯保林 樵军谋 刘琮敏 著

HUOPAO ZIDONG ZHUANGTIAN



兵器工业出版社

火炮现代设计理论与方法丛书

火炮自动装填

侯保林 樵军谋 刘琮敏 著

兵器工业出版社

内 容 简 介

弹药自动装填系统是自行榴弹炮和坦克火炮武器系统的关键技术子系统之一。本书从武器和机械两个不同侧面,阐述了弹药自动装填系统的基本工作原理以及动力学建模和分析的基本理论。内容包括弹药自动装填系统的系统构成以及各子系统分类及其功能;某典型弹药装填系统的结构和设计;阐述了弹药自动装填控制子系统的基本设计原则,介绍了典型控制实例;叙述了弹药自动装填系统中电机驱动部件的动力学及控制的基本理论,以及液压传动动力学建模的基本理论;阐述了协调器和闭环链式自动化弹仓的动力学与控制问题;对坦克火炮自动装弹机的结构方案进行了介绍,并对某型自动装弹机作了比较详细的分析。本书可供相关科研人员和在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

火炮自动装填/侯保林,樵军谋,刘琮敏著.--北京:
兵器工业出版社,2010.7

(火炮现代设计理论与方法丛书)

ISBN 978-7-80248-472-6

I. ①火… II. ①侯… ②樵… ③刘… III. ①火炮—
自动装填机构②坦克炮—自动装填机构 IV. ①TJ303

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第092996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:北京市银祥福利印刷厂

版 次:2010年7月第1版第1次印刷

责任编辑:周宜今

封面设计:李尘工作室

责任校对:郭芳

责任印制:王京华

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.25

字 数:485千字

定 价:48.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

序

我国的火炮设计理论教材经历了从无到有、从翻译到自编的漫长道路，目前已经形成了具有自主设计理论和方法的教材编撰体系，为火炮行业的发展提供了丰富的理论基础。随着科学技术的发展，火炮的技术内涵拓展成为集机械、电气、信息、控制等技术于一体的复杂系统。为了适应火炮技术的快速发展，满足火炮专业人才培养要求和从事火炮研究、开发、设计、管理的广大一线人员对火炮新结构、新原理、新方法的迫切需求，亟需出版一套火炮现代设计理论与方法丛书。

为此，中国兵器科学研究院火炮系统处组织国内部分高校、研究所和企业的火炮专家、学者，对火炮现代设计理论与方法丛书的编写内容和指导思想进行了研讨。为保证火炮现代设计理论与方法丛书的编写质量，聘请了一批学术造诣深、德高望重的火炮专家、学者担任设计丛书主审。

本套丛书构成一个整体，适于配套使用，又有各自的独立性；既是火炮专业教材，又可供火炮科研、设计和管理人员参考使用。本套丛书具有以下特色：

1. 全面更新和充实了火炮设计理论和方法，体现了当代火炮设计的水平。编著者深入到研究所、企业，与工程技术人员一起参加火炮的技术革新和攻关活动，广泛地收集资料，把国内外新火炮和主要部件的新原理、新结构和新设计理论与方法融入丛书。

2. 将火炮设计的理论水平推上一个新的高度。编著者把虚拟样机技术、多柔体系统动力学、非线性有限元分析、遗传优化、模糊控制、动态可靠性、现代传感技术等引入火炮研制，将传统的静态设计或类比设计改为基于火炮物理场精确建模分析的虚拟样机设计，有效地提高了火炮设计水平。

3. 火炮设计对象与时俱进。针对我国近几年火炮型号以履带式、轮式、车载式自行火炮为主的特点，重点介绍自行火炮设计的理论与方法，集理论的系统性、体系的科学性和工程的实用性于一体，进一步增强了设计丛书的时代感和先进性。

本套丛书将于2010年陆续出版。我们相信，本套丛书的出版将对我国火炮专业教学质量及火炮设计理论水平的提高产生积极作用，为我国火炮专门人才的培养和火炮武器装备的发展做出贡献。

也是感言（序）

火药是中国古代的四大发明之一，也是中华民族对世界的杰出贡献。实际上火炮也是中国人的发明，但长期以来由于封建制度的腐败与落后，中国的火炮技术在18世纪与19世纪与西方相比较出现了较大的落差。新中国成立以来我国的火炮技术几乎从零点起步。火炮的设计理论、火炮的研制方法、地炮高炮坦克炮等几种典型火炮的开发几乎都是借助于外来的力量，或引进全套制造技术，或引进样机。但是独立自主、独立于世界民族之林、找回祖先创造的辉煌一直就是从事火炮人的追求。60年来，老一代科研人员、资深教授走过了艰难、走过了屈辱，在那个年代留下的是遗恨和泪水，但同时也给后人留下了坚忍不拔的追求毅力和孜孜不倦的进取精神。正是这种毅力、这种精神鼓舞着当今一代科研工作者在自主创新的路上大踏步挺进。改革开放以来，从事火炮教学与科研的工作人员通过引进、消化、创新等过程，在火炮学科上创造了许多领先于世界的科研成果，使我国火炮设计理论与火炮研制水平都进入了一个崭新的阶段。总结当代、承上启下、激励后人，为新中国的火炮技术的发展构建宏伟蓝图，这是中国兵器科学研究院组织火炮设计理论丛书的重要意义之一，也是广大从事火炮技术的科研教学人员义不容辞的职责。

大口径火炮与坦克炮自动装填专著书籍在我国还是空白。尽管改革开放以来我们自行研制了三代坦克、155mm自行榴弹炮等多种系列装备，在自动装填结构与研制经验上有了重要的积累。但是上升为理论却还是一个艰苦的创新过程。在此我向大家推荐侯保林、樵军谋、刘琮敏三位年轻同志。当年在开发新155mm火炮武器装备和相关预研课题的过程中他们都是年轻的工程技术人员或参与项目的教学人员，在科研中还属于小字辈，但那时候他们就表现出了积极的创新精神与热切的求知欲望和他们对工作的满腔热忱，因而崭露头角，为老一辈科研人员所赞许。回首这些历历在目的事实，也佐证着他们今天的科研硕果的必然性。正是他们凭着对事业的执著和热爱，也凭着他们参与武器装备科研的丰厚积累，呕心沥血、刻意追求，用了三年多的时间几易其稿，为我们奉献了这部精品专著。

创新是民族的灵魂，但是没有系统总结难以有创新，没有汗水的浇灌难以有创新成果。在我国火炮技术发展的过程中特别需要的就是这种默默的奉献和积极创新的精神。这本书在选材上具有创新和奠基意义，所以这本书本身就启示我们开拓进

取，走前人没有走过的路。生命有限，对人类与社会发展的贡献却是无止境的。当我们瞻仰前贤的伟绩热血沸腾的时候，不能忘记自己脚下的路，不能忘记我们应该给后人留下点什么。让生命在平凡的岗位上焕发出异样光彩，让平凡的学科跟上时代步伐创造历史的奇迹，这是每一个科研工作者应有的工作态度。相信这部专著对我国大口径火炮与坦克炮的自动装填、为我国自动武器开发与发展、为我国陆军武器的现代化都具有重要的指导意义。对科研人员、在校学生和教职人员都有参考价值。

于子平

2009年11月

谢 辞

是中国兵器工业集团 202 所的崔万善总师将本人引入了火炮弹药自动装填技术的殿堂，十二年前在崔总的安排下本人能够有幸参加某弹药装填系统型号的分析计算工作，做了一点微薄的事情。后来，在兵科院于子平总工和张启刚助理的领导下，我们又有幸参加了弹药自动装填技术的“十五”和“十一五”的研究工作，这些研究工作锻炼和培养了我们，丰富了我们的知识，使我们的学术思想能够逐渐形成一个初步的体系。在弹药自动装填技术的研究过程中，南京理工大学的钱林方教授还给予了很多支持和指导，这些支持中还包含着领导、师长般的关怀。

感谢中国兵器工业集团 202 所的相关领导，他们的名字在此就不一一提及，他们对弹药自动装填技术的重视和支持一直激励我们刻苦钻研、努力进取。

感谢中国兵器工业集团 202 所陈顺德总师和陈玉成总师，他们二位是火炮界德高望重的前辈，他们认真审阅了书稿，并提出了宝贵的修改意见。

在同一个项目中进行研究的中国兵器工业集团 202 所的同事们相互团结、共同探讨、彼此启发、互相鼓励，在共同的事业中结下了深刻的战斗友谊，这些同事包括中国兵器工业集团 202 所樵军谋处长、韩宏潮高工、刘琮敏高工、郭晓丽高工、潘江峰高工等。需要指出的是，樵处长既是弹药自动装填技术的开拓者和技术专家，又是项目的管理者，对本书的撰写给予了大力的支持。

也要感谢我们的亲人，无以言表的亲情也是我们奋斗于事业的不竭动力。

侯保林 樵军谋 刘琮敏

2009 年 8 月

前 言

弹药自动装填技术无疑已经成为现代火炮技术的一个重要分支。

大口径火炮的弹药自动装填系统的发展是军事需求的必然结果。随着目标探测技术的发展，诸如目标定位雷达、移动目标探测雷达、热成像仪、卫星探测系统，使敌人有迅速反击的优势。在未来的战场上，如果我军火炮没能一次性击垮目标而迅速转移到新的位置，就很有可能被探测到并遭到毁灭性的反击。因此火炮必须能在短时间内迅速发射大量炮弹，对敌人目标进行“多发同时弹着”打击，然后迅速转移，以实现“打了就跑”的战术。为了适应这一军事需求，我国的主战榴弹炮应当是高科技榴弹炮，具有现代化的火控系统、全自动的弹药装填系统、自动导航系统、车载弹道计算机等，大大提高其射速和命中概率，例如，一门先进的榴弹炮利用其高的发射速度，足以担负起一个传统炮兵连（6~8门火炮）的使命。

弹药自动装填系统在火炮武器中负责弹丸、装药的自动贮存、记忆、识别、补给，能够根据中央计算机的指令，自动选择弹丸类型、装药种类及模块数（模块化装药），自动装定引信和进行底火自动装填，为制导弹药传递数据，实现任意射角下的弹丸和装药的自动装填和发射，乃至具有遥控供输弹药和实现多发同时弹着打击的能力。

弹药自动装填系统不仅提高了火炮武器系统的射击速度，增加了火炮武器的威力，还改变了传统火炮的结构和作战模式。弹药自动装填系统的不同布置方式影响到整个火炮武器系统的总体结构布局，影响到火炮武器系统的人机界面，影响到整个武器系统的可靠性水平，影响到武器系统的总体尺寸和重量，影响到武器系统的信息化和数字化水平，影响到武器系统所携带的弹药基数，影响到武器系统的爆发射速、最大射速和持续射速，影响到武器系统的弹药再补给能力，影响到武器系统的发射模式（如多发同时弹着打击），影响到武器系统的能量消耗，等等。可以说，弹药自动装填系统构成了火炮武器系统威力的重要组成部分，直接影响着整个武器系统的战术与技术性能。

大口径自行火炮的弹药装填系统，从武器装备的观点来看，是自行火炮大系统的一个子系统，与自行火炮的其他子系统有着复杂的相互关系，它与炮尾、闩体、开关闩机构、击发机构、反后坐装置、火炮药室结构、底盘以及火炮操瞄、火控系

统等关系密切，对火炮武器系统的效能、发射模式、能量消耗、结构布局、可靠性等方面有至关重要的影响；大口径火炮的弹药自动装填系统，从一般机械产品的观点来看，它是一个集机械、液压、自动控制与检测于一体、在冲击振动环境下工作、变负载的高速机电液一体化机械系统。该系统涉及机构、控制、液压、气动、电气、结构、传感、信息技术、计算机通信等学科专业的分系统设计。

阐述弹药自动装填系统的一般原理和一般理论，是作者多年的愿望，因此平时就注意收集和整理相关资料。适逢中国兵器科学研究院出版这套火炮丛书，并将本书列为其中一本，作者甚感振奋。本书是在阅读大量国外资料以及整理某型号弹药自动装填系统研制工作和“十五”、“十一五”预研工作的基础上完成的，本书阐述了大口径自行榴弹炮和坦克火炮弹药自动装填系统的基本结构、工作原理、机电系统动力学建模以及液压传动动力学建模的基本理论和方法。

全书共分9章。第1章绪论介绍了弹药自动装填系统在火炮中的作用以及国外的研究情况；第2章阐述了自行榴弹炮弹药自动装填系统的基本结构；第3章介绍了一种典型弹药自动装填系统及其主要参数的确定；第4章阐述了弹药自动装填系统的控制子系统；第5章介绍了弹药自动装填系统中机电系统动力学建模的基本理论；第6章叙述了弹药自动装填系统中的液压传动动力学建模的基本理论，并给出了若干算例；第7章阐述了协调器的动力学与控制问题；第8章阐述了闭环链式自动化弹仓的动力学与控制问题；第9章对坦克火炮的自动装弹机进行了介绍。

全书写作分工如下：第1章、第2章、第5章、第6章、第7章、第8章、第9章由南京理工大学侯保林撰写，第3章和第4.5节由中国兵器工业集团202所樵军谋撰写，第2.7节由侯保林和樵军谋共同撰写，第4章的其余部分由中国兵器工业集团202所刘琮敏撰写。

本书是国内第一本关于大口径火炮与坦克炮自动装填的专门著作，由于所研究的技术系统的复杂性、所涉及科学过程及其机理的广度，有些研究工作做得还不够深入，再加上作者学术水平的局限性及编写过程有些仓促，使得本书的阐述不够全面，难免存在一些疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

侯保林 樵军谋 刘琮敏

2009年8月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
第 2 章 自行榴弹炮弹药自动装填系统的基本结构	(5)
2.1 自行榴弹炮的弹药简介	(5)
2.2 自行榴弹炮弹药自动装填系统的基本设计要求	(11)
2.3 弹药自动装填系统的构成和各子系统的功能	(11)
2.4 自动弹(药)仓	(15)
2.5 弹药自动装填系统的协调器	(36)
2.6 弹药自动装填系统的输弹(药)机	(38)
2.7 大口径自行火炮弹药自动装填系统总体设计应注意的问题	(44)
第 3 章 典型弹药装填系统	(54)
3.1 系统构成与工作流程	(54)
3.2 系统技术性能及工作模式	(57)
3.3 自动化弹仓的结构及主要参数的确定	(57)
3.4 药仓结构	(61)
3.5 协调器结构及主要参数的确定	(62)
3.6 输弹机	(69)
3.7 液压传动系统及主要参数的确定	(70)
3.8 弹药装填系统的使用程序	(77)
3.9 弹药装填系统的时序	(78)
第 4 章 弹药自动装填系统的控制子系统	(80)
4.1 弹药自动装填系统控制子系统的功能及基本设计要求	(80)
4.2 自动控制子系统的主要构成和基本设计原则	(81)
4.3 弹药自动装填系统中常用的检测开关与传感器	(84)
4.4 弹药自动装填系统中常用的执行电机	(90)
4.5 某链式回转弹仓的控制器设计	(93)
4.6 弹药自动装填系统的多路数字控制	(107)

第5章 弹药自动装填系统中机电系统动力学建模的基本理论	(122)
5.1 电机驱动的基本概念	(122)
5.2 直流伺服电机的数学模型	(126)
5.3 直流电机的控制	(129)
5.4 具有弹性传动的电机和负载	(131)
第6章 弹药自动装填系统中液压传动动力学	(137)
6.1 阀	(137)
6.2 马达模型	(142)
6.3 传递函数模型	(147)
6.4 液压管路	(155)
6.5 弹药自动装填系统中液压传动若干算例	(159)
第7章 协调器的动力学与控制	(175)
7.1 电机驱动协调器的刚体动力学	(175)
7.2 电机驱动协调器的弹性动力学	(179)
7.3 协调器的结构与控制同时设计	(185)
7.4 考虑传动装置柔性的协调器机械控制集成设计准则	(194)
7.5 协调器的有限元运动弹性静力计算	(199)
第8章 自动化弹仓的动力学与控制	(217)
8.1 自动化弹仓的刚体动力学计算	(217)
8.2 考虑传动和弹筒联结柔性的自动化弹仓动力学及其自振特性	(223)
8.3 自动化弹仓的速度稳定性	(233)
8.4 位置控制器设计	(238)
8.5 自动化弹仓的受控动力学计算	(243)
8.6 自动化弹仓的保性能控制	(258)
第9章 坦克火炮的自动装弹机	(263)
9.1 坦克火炮自动装弹机的效用	(263)
9.2 坦克火炮自动装弹机的基本设计要求	(265)
9.3 坦克火炮自动装弹机的结构方案	(266)
9.4 典型坦克火炮自动装弹机分析	(275)
参考文献	(289)

第1章 绪 论

现代信息技术的发展，例如空中多元导航定位系统、以 C⁴ISR 为基础的自动化指挥系统以及多型谱火炮武器平台指控系统的发展，赋予了战时网络新的作战功能。通过战时网络的实时指挥与控制，可实现战场情报信息的共享，以及全战场兵力的指挥与控制。现时局部战场诸兵种的协同作战，可发展为网络通信与指挥可及的大地域范围内各种兵力的联合作战。

网络环境下新的作战样式的多样性，提出了火炮武器装备自动化、精确化、轻型化、智能化与信息化的发展要求，为各种火炮武器作战平台的发展提出了新的发展思路。火炮武器平台信息化的实现，不仅要求进行“外部”的信息化，而且要求“内部”的信息化。“外部”的信息化，要求在火控系统与指挥系统综合集成的基础上，还包括网络通信与网络指挥功能系统，以适应未来数字化战争的需要。火炮武器平台“内部”的信息化，则要求武器内部的机械系统向自动化和信息化的方向发展，机械系统应该能在中央计算机的管理下，根据所面临的战斗任务、战场环境、目标特征，实现自动瞄准、自动选择弹药类型和数目、自动弹药装填入膛和发射、弹药自动补给、工作状态可视化、故障自我诊断与容错控制，最终实现对目标的快速反应和精确打击。

弹药自动装填系统是未来数字化火炮武器平台机械系统的核心部分和技术关键。弹药自动装填系统负责弹丸、装药的自动贮存、记忆、识别、补给，能够根据中央计算机的指令，自动选择弹丸类型、装药种类及模块数（模块化装药），自动装定引信和进行底火自动装填，为制导弹药传递数据，实现任意射角下的弹丸和装药的自动装填和发射，乃至具有遥控供输弹药和实现多发同时弹着打击的能力。

配备弹药自动装填系统是现代大口径压制火炮发展的必然需求。在未来的信息技术高度发达的数字化战场中，火炮必须为我方部队提供迅速、猛烈的火力支援，同时为了提高火炮的生存能力，必须频繁地变换发射阵地，这就要求火炮要在尽可能短的时间内，快速发射大量的炮弹，对敌人目标进行“多发同时弹着”打击，然后迅速转移，以实现“打了就跑”的战术。

弹药自动装填系统也是我国新型坦克和轻型装甲战车的迫切需求。在新军事变

革背景下，“更加轻便、更加机动、更加灵活”是我国陆军建设的主流思想，要求安装火炮武器的坦克和装甲战车火力更猛、重量更轻，配备自动化弹药装填系统是必然要求。在坦克和装甲战车中应用弹药自动装填系统，可以降低车高、缩小坦克外廓尺寸，减少装甲包容的体积，便于实现隔舱化，提高坦克和装甲战车的生存能力，提高发射速度，减少乘员人数。弹药自动装填系统还为改变主战坦克和装甲战车的常规结构形式创造了条件，顶置式或外置式坦克和装甲战车火炮必须采用弹药自动装填系统。

弹药自动装填系统对火炮总体设计和总体性能具有举足轻重的影响。弹药自动装填系统虽然只是火炮武器系统的一个分系统，但其设计好坏牵涉到火炮的总体结构和总体性能。它与炮尾、闩体、开关闩机构、击发机构、反后坐装置、火炮药室结构、底盘以及火炮操瞄、火控系统 etc 关系密切，对火炮武器系统的效能、发射模式、能量消耗、结构布局、可靠性等方面有至关重要的影响。

提高大口徑压制火炮武器的射击速度，一直是世界主要武器生产国的多年努力目标，无论是已装备的火炮武器还是正在研发的火炮武器，都非常重视提高射速，把爆发射速和持续射速作为火炮的重要战术技术指标。笔者没有仔细调研大口徑火炮弹药自动装填系统的发展史，但从所阅读的资料来看，国外武器大国对研制弹药自动装填系统的努力由来已久。弹药自动装填系统早期发展动机除为了提高发射速度外，还在于增加武器的弹药基数，减少乘员人数，缩小武器的外廓尺寸。在 20 世纪 50 年代苏联出版的《坦克火炮和自行火炮设计》著作中就曾提到过弹药自动装填系统的设想，从苏联后来装备的 2S19 152mm 自行榴弹炮的弹药装填系统可以发现这些构想的影子。在美国，从 20 世纪 70 年代中期开始，有关弹药自动装填系统的专利文献逐年递增，在 20 世纪 90 年代和 21 世纪开始更加集中。尽管有关弹药自动装填系统的思想很多，但拿来付诸实践的并不是很多，这可能是研发弹药自动装填系统存在比较大的技术风险的缘故。从作者所查阅的资料来看，第一种现代意义的弹药自动装填系统应该是法国地面武器工业集团公司（GIAT）于 1969 年着手研制、1980 年装备法国陆军的 GCT 式 155mm 自行榴弹炮，该火炮配有液压式自动装填系统，可保证火炮在 $-4^{\circ} \sim 66^{\circ}$ 射角范围内进行弹药装填，携弹量 42 发，采用全可燃药筒。苏联在 1989 年正式装备了 2S19 152mm 自行榴弹炮，该火炮武器的弹药装填系统除了人工取药外，弹丸从弹种选择到入膛发射均采用自动化的方式实现，输药入膛亦采用自动化的方式。该装填系统的 360° 回转链式弹仓，电液混合作动的协调器，液压驱动的刚性链杆式输弹机，成为了大口徑自行榴弹炮弹药自动装填系统的典型范例。作为亚洲国家的韩国，在 155mm 自行火炮的研制上表现不俗，K9 式 155mm 自行榴弹炮于 1999 年装备韩国陆军。K9 所采用的弹药装填系统在总体布局上有点类似于苏联的 2S19，可以实现弹丸的全自动装填，但自动弹仓、协调器以

及输弹机的形式两者区别很大。K9 协调器的动作原理与 2S19 相似，但采用的是液压驱动；K9 的输弹机是一种全新的液压弹射式输弹机，减小了弹丸入膛时间；K9 的自动弹仓结构不详。值得一提的是与 K9 配套使用的 K10 自动弹药补给车，与美国“十字军战士”的 XM2002 弹药补给车具有相似的弹药补给能力，体现了韩国火炮武器的高技术水平。德国 1996 年开始装备其陆军的 PzH2000 式 155mm 自行榴弹炮为我们展示了弹药自动装填在大口径压制火炮武器中应用的重要作用和光明前景，树立了自动弹仓在底盘上布置的成功样板。该弹药装填系统携带有 60 发弹丸，这些弹仓布置于底盘中央。采用了模块装药方案，模块药由手工装入炮膛。具有底火自动装填机。采用全电操作（输弹机为气动式），无液压设备，展示了复杂机电系统在弹药装填系统中的成功应用。PzH2000 式 155mm 自行榴弹炮的爆发射速为 3 发/10s，最大射速据报道可达 12 发/min。美国在 2000 年推出的“十字军战士”XM2001 式 155mm 自行榴弹炮样机和 XM2002 弹药补给车样机将弹药自动装填系统的技术水平推向了一个新的高度。在自行火炮的发展史上，第一次在炮塔内不安排乘员，也没有乘员同弹药发生直接的接触。弹药自动装填系统是“十字军战士”火炮系统的一大创新，弹丸垂直放置在位于车体两侧的弹架上，而模块装药则容纳在位于炮塔上后部水平布置的药仓中，采用全电操作，无液压设备。在弹药补给车 XM2002 上亦采用类似的布置，只不过弹仓和药仓更大。弹丸和模块装药有各自的传送装置，将弹药分别送入炮膛。自动装填系统可以实现 10 发/min 的射速，也可实现“多发同时弹着”的发射程序，具有 XM231 和 XM232 两种模块装药，可组成 6 种不同装药。XM2002 装甲供弹车与 XM2001 炮车具有相同的底盘，两者可协同作战。由计算机控制的供弹臂能和自行炮打开的舱门对接，像空中加油机那样，自动地向炮车补充弹药。尽管“十字军战士”自行火炮武器系统并没有装备美国陆军，但该炮的弹药自动装填技术已转移至未来作战系统的 NLOS - C 轻型 155mm 自行榴弹炮上。表 1-1 列出了若干装备有全自动或半自动弹药装填系统的火炮武器的射速。

表 1-1 世界典型火炮武器系统的射速

武器名称与国别	装药形式	携弹量（发）	爆发射速	最大射速	持续射速
法国 AUF1 155mm 自行榴弹炮	可燃药筒	42	6 发/45s	8 发/min	72 发/h
英国 AS90 155mm 自行榴弹炮	药包	48	3 发/10s	6 发/min	2 发/min
英国 AS90 革新计划	模块药	60	3 发/8.4s	18 发/2min	120 发/h
德国 PzH2000 式 155mm 自行榴弹炮	模块药	60	3 发/10s	12 发/min	20 发/1min 47s 或 8 发/min
美国“十字军战士”155mm 自行榴弹炮	模块药	48	—	10 发/min	3~6 发/min
美国 105mm Stryker 机动火炮系统	整装	18	—	12 发/min	—

续表

武器名称与国别	装药形式	携弹量 (发)	爆发射速	最大射速	持续射速
美国 M8 155mm 装甲火炮系统	整装	30	—	12 发/min	—
美国 NLOS - C 155mm 自行榴弹炮	模块药	24	—	10 发/min	6 发/min
韩国 K9 155mm 自行榴弹炮	药包或模块	48	3 发/15s	8 发/min	2 ~ 3 发/min
瑞典 Archer FH77 155mm 自行榴弹炮	模块药	20 + 20	3 发/15s	20 发/2.5min	75 发/h
俄罗斯 2S19 152mm 自行榴弹炮	药筒	50 发	—	8 发/min	2 发/min

纵观世界各国弹药自动装填系统的发展,对于大口径压制火炮来说,一个明显的趋向是采用模块装药技术。这是因为采用模块装药除了可以避免药筒的材料耗费外,可以克服废时的抽筒及可能发生的抽筒故障,通过选择一个或几个模块药,容易实现不同的射击范围,还是提高火炮射速的重要措施;弹药装填不受火炮射角的影响,可以进行任意高低射角装填,先进火炮还可以实现 360° 范围内任意方位角的装填;火炮既可发射车内弹又可发射车外弹,发射车外弹时不会发生射速的大幅降低。从实现弹药自动装填的技术角度来看,随着小型电机和机电控制技术的发展,发达国家的弹药自动装填系统倾向于全电式,使得计算机控制的全自动弹药装填系统得以实现。可以预见,未来的火炮弹药装填系统与当前弹药装填系统相比,将向自动化、信息化和智能化方向发展。弹药装填系统向自动化方向发展,就是要实现任意射角、任意方位角下的全自动弹药装填,实现工作状态的自动监测和故障诊断,乃至实现网络作战环境下的遥控弹药供输和发射;向信息化方向发展,要求通过数据总线信息共享和功能综合的技术途径,将供输弹系统的传感信息与整个武器系统内部的信息系统融为一体,接收上位(火控)计算机发出的指令,并反馈给上位计算机供输弹药动作的完成情况,实现弹丸和装药的数目、种类、位置以及系统工作状态的可视化;向智能化方向发展,就是要实现结构的模块化可重构功能,以适应不同尺寸弹药自动供输的需要,提高弹药自动装填系统可纵向发展和横向移植的柔性,具有容错控制能力,在某些部件发生故障的情况下,系统仍能按原定性能指标或性能指标略有降低(但可接受)时,成功地完成供输弹药的全部动作。

第2章 自行榴弹炮弹药自动装填系统的基本结构

弹药自动装填系统在工作过程中对弹药进行操作的所有动作都是靠机械结构完成的。弹药自动装填系统的机械结构要实现弹药的贮存，完成弹药的装载和卸载，把弹药可靠地从贮存位置传送到火炮炮膛，还要实现火炮在行军状态和发射状态下的弹药保护。弹药自动装填系统的机械结构包括机构和结构两部分。大部分弹药自动装填系统所用机构系统在民用机械中是见不到的，这是因为，与民用机械相比，弹药自动装填系统用机构要满足更加严格的设计约束条件，例如，要求结构紧凑，要完成复杂的动作，机构运动要相互连锁，高的弹药装载密度，重量轻，要具有较高的强度并承受较大的冲击振动，要具有高可靠性等。纵观世界各国的弹药自动装填系统，它们要实现的功能是相同的，但具体采用的机械结构形式五花八门。本章结合世界各国弹药自动装填系统的具体机械结构形式，阐述了弹药自动装填系统的系统构成以及各子系统的功能；根据弹药自动装填系统在火炮中安装的形式，将自动化弹仓、自动化药仓、弹药协调器、输弹机、输药机进行分类描述；本章的最后，还阐述了弹药自动装填系统总体设计时要注意的若干问题。

2.1 自行榴弹炮的弹药简介

大口径火炮的弹丸和发射药是弹药自动装填系统“处理”的对象，因此，我们首先有必要对大口径自行火炮的弹丸和发射药有所了解。

2.1.1 自行榴弹炮所发射的弹丸

大口径自行榴弹炮常用的是榴弹。

一般线膛火炮配用的榴弹采用旋转稳定方式，对于滑膛火炮榴弹则采用尾翼稳定方式。

榴弹的外形为回转体，由弹头部、圆柱部和弹尾部三部分组成，如图 2 - 1

所示。

远程榴弹是大口径自行榴弹炮的主要弹种，远程榴弹包括底凹榴弹、枣核形榴弹以及底排弹。

底凹结构呈圆柱形，底凹与弹体为一个整体时即为整体式底凹弹，与弹体螺接时即为螺接式底凹弹。凹窝的深度若取 $0.2 \sim 0.4$ 倍弹径，即为浅底凹榴弹，如图 2-2 所示。凹窝的深度若取 $0.9 \sim 1.0$ 倍弹径，即为深底凹榴弹，如图 2-3 所示。

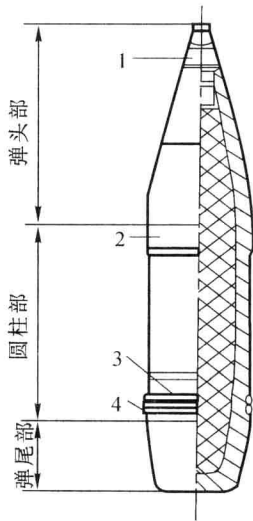


图 2-1 榴弹的外形结构图

1—引信；2—上定心部；3—下定心部；4—弹带

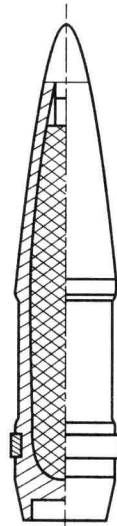


图 2-2 浅底凹榴弹

枣核弹是一种低阻远程榴弹，加拿大 20 世纪 70 年代研制成功的 155mm 全口径枣核弹如图 2-4 所示。枣核弹结构设计的最大特点是取消了圆柱部，整个弹体由约为 $4.8d$ 长的弧形部和约为 $1.4d$ 长的船尾部组成；枣核弹利用弹丸弧形部上安装的 4 片定心块和位于弹丸最大直径处的弹带来解决全口径枣核弹在膛内发射时的定心问题；在结构设计上枣核弹一般均同时采用底凹结构。

底排榴弹都是旋转稳定弹丸，在外形设计上主要有圆柱形和枣核形两种。图 2-5 和图 2-6 分别给出了圆柱和枣核两种形式的底排榴弹结构示意图。圆柱形底排弹由卵形头部、圆柱部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。枣核形底排弹由卵形头部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。