

DAN YAO XI TONG
GONG CHENG JI CHU

徐学华 徐翔 编著

弹药系统工程基础

兵器工业出版社

弹药系统工程基础

徐学华 徐翔 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书以系统的观点和方法,讲述了弹药工程的基本知识,重点探讨了弹药系统设计和弹药系统分析,介绍了弹药系统常用试验。

全书共分五章,第一章讲述了弹药系统工程的基本知识;第二章介绍了弹药系统研制的一般程序;第三章探讨了弹药系统设计的概念、步骤和方法;第四章在介绍系统分析的一般方法的基础上,重点探讨了弹药系统的效能分析、弹药系统的可行性分析、弹药系统的风险分析和弹药系统的评估;第五章介绍了弹药系统的常用试验,并重点介绍了弹药几何相似模拟试验和正交设计试验。

本书内容丰富、系统,理论分析与案例分析相结合,定性分析与定量分析相结合,通俗易懂,可作为弹药工程专业的教材和参考书;可供从事弹药研制的科技人员和弹药项目管理师参考;更适合弹药系统总设计师和主任设计师参考。

图书在版编目(CIP)数据

弹药系统工程基础/徐学华,徐翔编著. —北京:兵器工业出版社, 2006.5

ISBN 7-80172-646-4

I. 弹... II. ①徐... ②徐... III. 弹药—系统工程学 IV. TJ41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 025706 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:北京后沙峪印刷厂

版 次:2006年5月第1版第1次印刷

印 数:1—1000

责任编辑:刘 立

封面设计:底晓娟

责任校对:全 静

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:13.75

字 数:344千字

定 价:30.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

随着高新技术的发展及其在弹药上的应用,现代弹药的技术含量越来越高,组件越来越多,结构也越来越复杂,早已突破了“钢铁加炸药”的概念和圆柱体加锥体结构,已成为名副其实的高新技术弹药系统。传统的“画、加、打”研制方法早已过时,急需一种现代弹药设计方法。

系统工程是以系统为研究对象,研究复杂系统的设计、制造、试验和使用的一种科学方法。本书讨论了弹药系统和弹药系统工程的基本概念,提出了现代弹药研制的系统工程方法,理论与实例结合,内容丰富、观点新颖、深入浅出、通俗易懂,是从事弹药研制和管理的科技人员的重要参考用书。

本书共分五章,第一章弹药系统工程概述;第二章弹药研制程序;第三章弹药系统设计;第四章弹药系统分析;第五章弹药系统试验。全书由徐学华教授主编,并负责第二章、第三章和第五章的编写,第一章和第四章由徐翔硕士编写。

本书在编写过程中得到了原科工委一局隋文海总工程师的支持和帮助,得到了总装备部科技委马殿荣委员的鼓励和指点,对此深表感谢!

本书初稿曾在兵工学会弹药专委会的年会上作了专题介绍,受到了与会专家的首肯和帮助,对此表示感谢!

本书涉及的知识领域较宽,由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,望读者批评指正。

编 者

2005 年 10 月

目 录

第一章 弹药系统工程概述	(1)
第一节 系统概念	(1)
一、一般系统概念	(1)
二、弹药系统基本概念	(5)
第二节 系统工程概念	(11)
一、一般系统工程概念	(11)
二、弹药系统工程概念	(13)
第三节 系统工程方法	(14)
一、一般系统工程方法——霍尔三维结构法	(14)
二、弹药系统工程方法	(17)
三、系统工程方法的基本特点	(18)
第二章 弹药研制程序	(20)
第一节 预先研究	(20)
一、应用基础研究	(21)
二、应用研究	(21)
三、先期技术开发	(22)
第二节 弹药型号研制	(22)
一、论证阶段	(22)
二、方案阶段	(23)
三、工程研制阶段	(24)
四、设计定型阶段	(24)
第三章 弹药系统设计	(25)
第一节 弹药系统概念设计	(25)
一、目标分析	(25)
二、弹药系统功能分析	(28)
三、环境因素分析	(30)
四、弹药系统的组成要素分析	(33)
五、要素筛选与集成	(58)
第二节 技术方案设计	(66)

一、技术方案设计原则	(66)
二、弹药系统初步战术指标分解	(69)
三、初步技术方案设计	(72)
四、技术方案可行性分析	(79)
第三节 总体设计	(83)
一、总体结构设计	(84)
二、总体外形设计	(87)
三、可靠性设计	(89)
四、研制工作网络图设计	(104)
第四节 部件设计	(116)
一、部件设计的基本原则	(117)
二、部件设计过程及主要内容	(118)
第四章 弹药系统分析	(121)
第一节 系统分析的基本知识	(121)
一、系统分析的一般概念	(121)
二、系统分析的基本原则	(121)
三、系统分析的基本步骤	(123)
第二节 系统分析方法	(125)
一、预测分析法	(125)
二、故障树分析法	(133)
三、层次分析法	(136)
第三节 弹药系统效能分析	(144)
一、概述	(144)
二、弹药系统效能分析模型	(145)
三、末敏子弹效能分析	(149)
第四节 弹药系统可行性分析	(151)
一、技术方案可行性分析	(151)
二、经济可行性分析	(154)
第五节 弹药系统风险分析	(157)
一、风险分析的一般概念	(157)
二、风险识别	(160)
三、风险估计	(162)
四、风险评价	(165)
五、弹药研制风险分析	(169)
第六节 弹药系统评价	(176)
一、概述	(176)
二、系统评价指标与评价模型	(176)
三、弹药系统评价模型应用案例	(180)

第五章 弹药系统试验	(182)
第一节 试验分类	(182)
一、按弹药系统工程阶段划分	(182)
二、按试验目的划分	(183)
三、按试验内容划分	(184)
四、按试验环境划分	(184)
五、按试验状态划分	(185)
六、按用途划分	(185)
第二节 几何相似模拟试验	(186)
一、几何相似模拟试验的原则	(186)
二、相似模型的设计	(186)
第三节 正交设计试验	(194)
一、正交表与常用术语	(195)
二、正交设计试验的基本步骤	(197)
三、试验结果分析	(199)
第四节 试验数据处理	(200)
一、回归法	(200)
二、幂级数表示法	(201)
三、量纲分析法	(201)
附 表	(205)
参考文献	(209)

第一章 弹药系统工程概述

第一节 系统概念

一、一般系统概念

(一) 系统定义

系统一词，是人类在认识和改造客观世界中形成的，人类很早以前就有了系统这种思想。公元前5世纪的春秋末期，我国著名军事家孙武，在他的《孙子兵法》中，对战争的各个层次、各个方面以及它们的内在联系都进行了全面的分析论述，在整体上构成了对战争的规律性的认识，充分体现了朴素的系统思想。古希腊人德谟克利特（公元前467~370年），在物质构造的原子论基础上，认为世界是由原子和虚空组成的，原子组成万物，形成不同系统层次的世界，它是一个小世界，宇宙中有无数世界，这些世界不断产生、发展和消灭，这充分体现了系统概念。辩证唯物主义认为，物质是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程形成的统一体，体现了物质世界普遍联系及其整体性的思想，这就是系统的哲学思想。

古代人类按系统的思想去认识客观世界，改造客观世界。早在公元前250年战国时期，秦国李冰任蜀郡太守后，率领四川民众修建的都江堰水利工程，包括“鱼嘴”岷江分水工程，“飞沙堰”分洪排沙工程，“宝瓶口”引水工程等三大主体工程 and 120个附属渠堰工程。工程之间互相连接、紧密结合，形成一个协调运转的总体工程，既分导了汹涌澎湃的岷江激流，又灌溉了500多万亩农田。它的设计是古代人类应用系统思想的典范。时至今日，它仍然是世界著名的水利工程。

随着科学技术的发展，系统的内涵越来越丰富，系统也越来越复杂，人们对系统观念的认识也在不断增强，系统概念越来越受到重视。依照不同的学科、使用不同的方法、解决不同的问题，系统一词的含义亦有所区别。按国内外通用的解释，系统是为了实现某目的，由多要素遵循某种法则所组成的一个整体。系统的含义解释如下：

① 系统是由两个以上要素组成的整体。这些要素可以是单个事物，也可是一群事物组成的小系统（或称子系统）。

② 各要素之间遵循某种法则，相互联系、相互依存、相互约束，从而在系统的内部和外部形成一定的结构和程序，而这个系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

③ 任何一个系统都有它特定的功能。这种特定的功能是由组成系统的诸要素的有机联系和结构所决定的。

系统是诸要素有目的的组合。为了达到这一目的，系统应具备某种功能，为了实现这种功能，就要遵循某种法则，把各要素组合起来。这样一来，系统的范围也就定了。决定系统范围的事物就是境界，境界以内称为系统，境界以外称为环境。在物质世界中，一个系统中的任何部分可以被看成一个系统，而每一个系统又是构成规模系统中的一部分。研究的对象不同，系统的范围和复杂程度也不同。如果一个系统很大，可以把它分成几个分系统。例如：汽车是由发动机（引擎）、电气系统、燃料系统、操纵装置、车体和安全装置等分系统组成的。又如：机床是由电动机、调速箱、床身等分系统组成的。

系统的观点就是“全局”观点、整体观点。系统概念就是在分析事物的时候，首先着重于事物的整个意图广泛深入地进行分析，在明确事物整个范围的基础上，再进入其细部作具体的考察。也就是说要具有整体观点、全局观点。如果把系统概念用于设计中，就应首先确定系统的目的，其次在明确系统境界的基础上，寻求最佳的系统功能，选择最合适的要素和子系统，使“整体大于部分简单之和”。

（二）系统类型

根据系统的性质、目的、构成要素和构成方法的不同，系统的分类亦不同。

按系统性质分类，可将其分为硬系统和软系统两大类。所谓硬系统，是指由物质组成，其实体是可见的系统，如机械系统或者由人和机构组合在一起的系统。所谓软系统，是指由文字和数字组成，其实是无法看到的系统，如制度、方式、法则、法律、方法、程序设计等。有的软系统由于其内容可用文字、数学式子、图表等表达出来，因此也开始成为可见的系统。硬、软系统的例子如表 1-1 所示。

表 1-1 硬、软系统的例子

软系统	硬系统
使用说明书	机械工具
程序设计	电子计算机
运行规范	电车
制度、经营法	工厂
教育制度	教育机关
电话交换方式	交换设备
宪法	
城市规划	
城市管理	城市设施

从表 1-1 的例子中可以清楚地看到，有些软系统可单独存在，但是，硬系统却把从属于它的软系统作为存在的必要条件。也就是说，只有软系统充分完备，硬系统才能充分发挥其功能。

（三）系统形态

系统的形态很多，按划分方式和解决的问题不同，系统存在的形态亦不同。系统的一般形态分述如下：

1. 自然系统与人造系统

所谓自然系统是指由自然物质,如矿物、植物、动物、海洋等所组成,是自然形成的系统。这类系统有生物系统、植物系统、生态系统、宇宙系统等。

所谓人造系统是指人类为达到某种目的,由人所建立起来的系统,例如生产、交通、经营管理、经济和运输等系统。人造系统一般有三种类型:(1)由人将零部件装配成的工具、仪器、设备以及它们所组成的工程技术系统;(2)由一定的制度、组织、程序等所组成的管理系统和社会系统;(3)随着人类对自然现象和社会现象的认识不断深化而建立的科学技术系统。

实际上,大多数系统都是自然系统与人造系统相结合的复合系统,这是因为人类不断地运用科学知识,认识、改造自然系统。从人类发展的需要来看,必然是不断地发展和创造更新的人造系统,因此了解自然系统的组成、特性及其规律是建立人造系统的基础。

2. 实体系统与概念系统

实体系统是由物质实体,如机械、能源、矿物、生物等组成,其实体是可见的系统。例如机械系统或者由人和机械组合在一起的系统。

概念系统是由概念、原理、原则、制度等概念性非物质所组成的系统。

在实际生活中,实体系统和概念系统是不可分割的,它们是相互依存的,概念系统为实体系统提供指导和服务,而实体系统是概念系统的服务对象。

3. 开放系统与封闭系统

开放系统是指系统内部与外界环境有交换的系统。当某一系统与环境无任何形式的交换时,称此系统为封闭系统。大多数系统都是开放系统,如一个国家是一个系统,它的边境以外的其他国家便是环境,每个国家都要与其他国家进行物质的、经济的、信息的和人际的交往,很显然国家是一个开放系统。封闭系统是相对开放系统而言的,例如,一台自动化洗衣机,当它与水源和电源构成一个系统时,一旦输入负载(脏衣服)和启动信号后,便自动完成洗衣的全过程(甚至包括烘干),洗衣服的全过程是个封闭的过程,此时的系统就是一个封闭系统。

4. 静态系统与动态系统

静态系统是指系统状态参数不随时间改变的系统。动态系统是指系统状态参量随时间改变而变化的系统。如把一个国家看作一个系统,那么这个系统便是动态系统,因为描述系统的状态参量如经济、文化、政治、建设和外交等都是在不断发展的。动是绝对的,静是相对的,在实际生活和工作中的要以发展的眼光看待和分析动态系统。

5. 控制系统与行为系统

控制系统是指具有控制功能和手段的系统。控制就是为了达到某个目的,给对象系统所施加的必要动作。如旧式的双缸洗衣机就是一个控制系统,为了达到洗衣的目的,就得给洗衣桶加水和洗衣粉,当洗了一定时间后,还得将洗过的衣服从洗衣桶里取出来放入甩干机,这样重复多次,便可达到把脏衣服洗干净的目的。当控制系统由控制装置自动进行时,则称之为自动系统。如全自动洗衣机,只要接上电源和水源,事先把程序编好,一按启动电钮,整个洗衣过程就会自动完成。

行为系统是以完成目的行为作为组成要素而形成的系统。所谓行为是为了达到某一确定的目的,而去执行某特定功能的一种活动,这种活动能对外部环境产生某些价值和效用。如

社会系统、经济系统都可看作是行为系统。

具体系统形态多种多样，上述系统形态是最基本的系统形态，它们之间往往是互相交叉和相互渗透的，可相互组合而形成其他的新系统。

(四) 系统特性

由系统的含义可知，任何系统都应具备以下四个特性。

1. 系统的整体性

系统的整体性主要表现在它是由不同属性的多要素（或子系统），遵循某种法则，为达到共同目的而组成的有机整体。它具有整体功能，系统的整体功能不是由各组成要素功能的简单叠加，或简单拼凑，而是要表现出各组成要素所不具有的新功能。古希腊人亚里士多德就提出“整体大于部分简单之和”的论点。用符号语言可将它表示为 $1 + 1 > 2$ 。

若系统各要素之间协调不当，相互之间没有很好的配合，则系统整体功能有可能小于各要素功能之和，即 $1 + 1 < 2$ 。如系统各要素之间相互配合，非常协调，则系统整体功能就有可能大于各要素功能之和，即 $1 + 1 > 2$ ，这就是广大系统工作者追求的目标。

例如，把机床的各零部件组装成一台车床，就可发挥出各零部件所不能发挥的功能，这就表明了车床整体功能大于各个组成零部件功能的总和。

2. 相关性

系统的相关性是指组成系统的不同属性的各要素之间是相互作用、相互联系的。整体性确定了系统的组成要素，相关性则说明组成系统各要素之间的关系。系统中任一要素与其他要素是相互关联又是相互制约的，当其中一个要素发生变化时，与该要素相关联的其他要素也要相应地改变或调整，以保持系统整体的最佳状态。

任何一个复杂系统都是由许多相互依赖、相互制约的不同属性的要素组成的，同时还受到系统外部环境的影响。

3. 目的性

由系统的含义可知，系统都具有一定的目的性，如人造系统是具有目的性的，而且通常不是单一的目的性。例如：某企业的经营管理系统，在限定的资源和现行的职能机构配合下，它的目的可能是既要保质保量完成和超额完成任务，又要达到产品的成本利润指标等。

一个复杂系统往往具有多目标和多方案，规划这种错综复杂的大系统时，通常采用图解方式来描述目的与目的之间的相互关系，这种图解方式称为目的树，如图 1-1 所示。

从图 1-1 中可以看到，从目的 1 到目的 16 共分 4 个层次，达到目的 1 必须完成目的 2 和目的 3，要达到目的 2 必须完成目的 4、目的 5 和目的 6。以此类推，只有各层目的达到了，才能实现总目的。图 1-1 表明，一个复杂系统包括多层目的，各层目的相对独立，层与层之间的目的相互联系、相互影响、相互制约。由此可见，目的树可清楚地表示出复杂系统各目的之间的相互关系，有助于对目的树各个项目的目的进行分析、探讨、协调和统一规划。

4. 环境适应性

环境是指存在于系统外的事物（包括物质、能量和信息等）的总称，或者说系统外的所有事物都是环境。所以，系统是处在环境之中的。例如，地球就处在整个宇宙这个大环境之中。由于研究的问题不同，对系统与环境的划分亦不同。若以某一企业及某活动作为一个

经济系统，系统主要包括的是人力、资金、厂房、原材料和设备等；环境主要包括的是客户、竞争者或协作者、政府的政策、市场信誉、污染以及技术发展水平等。如将污染纳入企业的活动，那么污染就应划为系统。

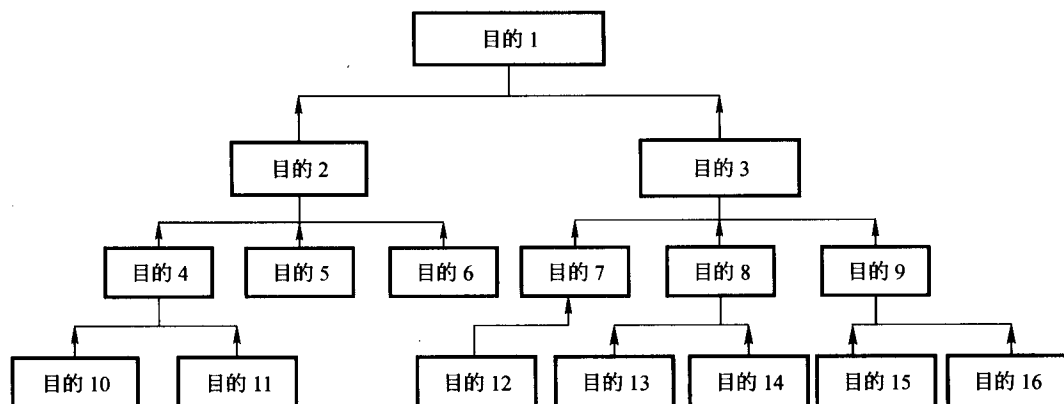


图 1-1 目的树示意图

系统与环境是相互依存的，系统要与外部环境进行物质的、能量的和信息的交换，环境的变化对系统有很大的影响。因此，系统必须适应外部环境的变化，能适应外部环境变化的系统，才是一个理想的系统。以某个企业为例（把企业看作一个系统），这个企业只有根据市场（包括外贸）需求、客户要求、政府法令、技术水平的发展以及竞争者的状况，及时调整经营方针和产品结构，才能发展壮大，才是一个好企业。

二、弹药系统基本概念

（一）弹药系统含义

《中国军事百科全书》1997 年版，军事技术一册中指出，“弹药一般指有壳体、装有火药、炸药或其他装填物，能对目标起毁伤作用或完成其他任务的军械物品”。弹药是由投射部、战斗部、稳定部和导引部等组成。由此可见，弹药是诸要素（壳体、火药、炸药或其他装填物）有目的（完成某种战斗任务）的组合成的有机整体。它本身既是一个系统，又是武器系统的一个子系统。弹药是在同目标的斗争中发展起来的，是为了有效地对付敌方目标而研制的，它又是一个人造实物系统。随着科学技术的迅猛发展及其在弹药中的应用，现代弹药的概念早就突破了传统弹药“钢铁+炸药”的概念，弹药的组成部件越来越多，结构越来越复杂，涉及的技术领域越来越宽，弹药系统也越来越庞大。如末端敏感（简称末敏）子弹药，它是母弹的一个子系统，它由目标探测器、稳态扫描装置、中心处理控制器和爆炸成形弹丸战斗部等要素组成。它比一般的破甲子弹、杀爆子弹的结构复杂得多，所涉及到的技术领域也宽得多，不但涉及火炸药、爆炸力学、侵彻力学、空气动力学，还涉及到光电与电子科学、计算机和控制理论等。

弹药系统是武器系统中直接完成杀伤敌方有生力量或破坏敌方作战设施的部分，也是武器火力系统的核心部分。弹药系统的组成如图 1-2 所示。

战斗部子系统是弹药系统毁伤目标或完成其他战斗任务的部分。典型的战斗部子系统一般由壳体（弹体）、装填物（炸药或其他装填物）和引信装置（包括引信和传爆系列）等组成。

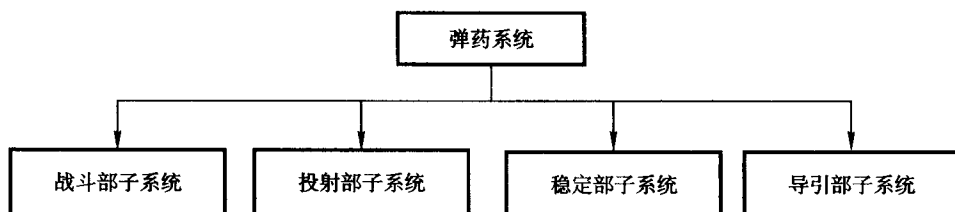


图 1-2 弹药系统示意图

投射部子系统是提供弹药飞行动力和飞行方向的装置，它赋予弹药一定的动能和方向使其飞向预定目标。常用的投射方式有发射式（如身管枪炮）、自推式（如火箭发动机）、抛射式（如空投航弹）和复合式（如发射与自推复合，抛投与自推复合等）。

稳定部子系统是保证弹药在空中能稳定飞行，并以正确姿态飞向目标的部分。稳定的方式一般有高速旋转稳定和尾翼稳定两种。

导引部子系统是引导和控制弹药的飞行轨迹和姿态，并将弹药高精度地导向预定目标的装置。有些弹药的导引部子系统还具有跟踪目标的功能。

按系统的分类原则，弹药系统属人造系统，是为了完成一定的战斗任务，由研制者将战斗部、稳定部、投射部和导引部等要素，遵循某种法制，有序组合成的有机整体。它又是一个由物质组成的实体系统。弹药是为了毁伤敌方目标而研制的，战场目标的多样化，决定了弹药的品种繁多，主要包括枪弹、榴弹、手榴弹、炮弹、火箭弹、导弹、航空炸弹、巡飞弹、深水炸弹、鱼雷、水雷和地雷等。弹药的分类方法也很多，常用的分类方法有五种，如图 1-3 所示。

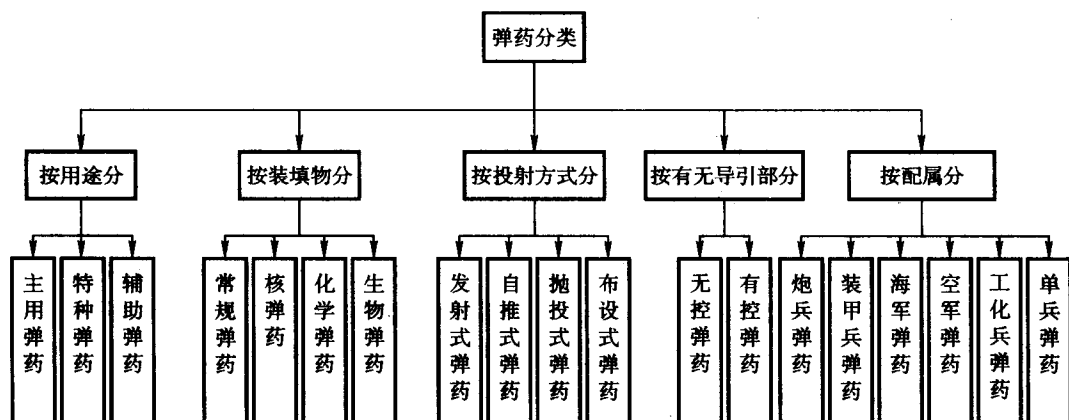


图 1-3 弹药分类框图

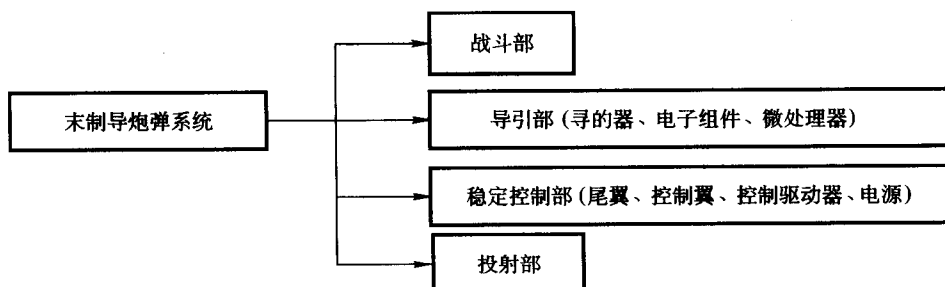
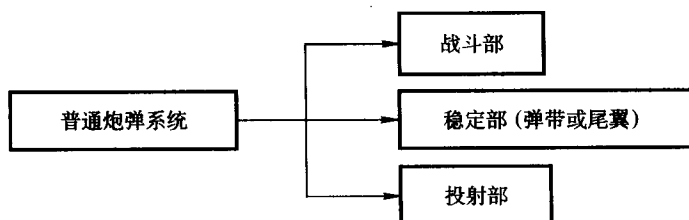
主用弹药是指用于毁伤敌方各类目标的弹药。对付不同目标,需用不同的弹药,随着新目标的出现,弹药也不断更新换代。对付敌坦克和装甲车辆常用穿甲弹、破甲弹、反坦克导弹和反坦克雷等。对付空中各种飞机常用地空导弹、空空导弹、舰空导弹、高射炮弹和航炮发射的榴弹等。对付混凝土工事和飞机跑道常用半穿甲弹、穿甲—爆破弹等。对付地下深层工事常用高速动能半穿甲弹或大型重磅炸弹。对付来袭导弹常用反导导弹、高射速高初速炮弹、弹道修正弹、定向破片弹、红外诱饵弹、箔条弹、多功能烟雾弹等。对付敌军舰常用舰舰导弹、空舰导弹、地舰导弹、航空炸弹、水雷、鱼雷、深水炸弹、舰载火箭弹和炮弹等。对付敌方有生力量常用杀伤弹或杀爆弹。

弹药对目标的毁伤效果取决于战斗部类型及毁伤能力,对付不同目标,需用不同战斗部,同一种战斗部对付不同目标的毁伤效果不一样。因此,出现了一个平台配有多种弹药,一代平台配有几代弹药;一种弹药可用于多种平台的形式。按其作用原理或毁伤机理,典型的战斗部有:① 爆破战斗部,主要靠炸药爆炸的直接作用或爆炸产生的空气冲击波毁伤目标。② 杀伤战斗部,是靠炸药爆炸时弹体形成的高速破片或预控、预制破片杀伤敌方有生力量和毁坏武器装备。③ 穿甲战斗部,是凭借自身的动能击穿各类装甲目标。④ 破甲战斗部,是靠聚能装药爆炸时金属药型罩形成的高速金属射流击穿各类装甲目标。⑤ 子母弹战斗部,是靠母弹体内装的子弹毁伤敌方目标。⑥ 复合作用战斗部,即具有两种以上毁伤作用的战斗部,如杀—爆复合、穿—爆、穿—爆—燃复合等。⑦ 多用途战斗部,具有多种功能,能毁伤两种以上的目标或完成其他战斗任务,如既能杀伤敌方有生力量,又能毁伤敌轻型装甲目标。⑧ 多模战斗部,即能根据敌方不同目标形成不同毁伤模式的战斗部,如碰到敌方坦克便形成长杆射流击毁坦克;碰到敌方轻型装甲车可形成多枚爆炸成形弹丸击毁装甲目标;还可形成破片杀伤敌方有生力量。⑨ 特种战斗部,它能完成特种战斗任务,如燃烧、照明、发烟、宣传等。⑩ 新概念战斗部,随着新目标的出现,新概念战斗部也不断涌现,如电磁脉冲战斗部、碳纤维战斗部、侦察战斗部、战场评估战斗部、非致命毁伤战斗部和失能战斗部等。

一种弹药就是一个系统,不同用途的弹药,其系统的功能不同,组成该弹药系统要素的多少不同,系统复杂程度也不同。如炮弹,是指口径不小于 20 mm,由火炮发射的弹药。炮弹一般由弹丸、装药及药筒两大子系统组成。弹丸子系统一般由战斗部和稳定部组成。对于线膛炮发射的弹丸,稳定部是弹体上的弹带;对于滑膛炮发射的弹丸,稳定部则是弹体上的尾翼。装药及药筒子系统一般由发射药、药筒、底火及其他辅助元件组成。末制导炮弹是由身管火炮发射的弹药,一般由战斗部、导引部、稳定控制部和投射部(装药及药筒)等组成。导引部由寻的器、电子组件和微处理器等组成,其作用是获取目标信息、处理信息并形成控制量再传递给稳定部。稳定控制部由控制驱动器、电源、控制翼和尾翼等组成,其作用是接到导引部送来的控制量后,由电驱动器带动控制翼,修正弹道,使弹药能命中目标。很显然,组成末制导炮弹系统的要素要比组成普通炮弹系统的要素多一些,并且末制导炮弹系统也比普通炮弹系统复杂得多,详见图 1-4 和图 1-5。

(二) 弹药系统的特性

前面已讨论了弹药系统既是一个特殊的人造系统,又是一个实体系统。因此,它也具有一般系统的主要特性。



1. 弹药系统的整体性

弹药系统的整体性，主要表现为弹药系统的整体功能。弹药系统的整体功能绝不是各组成子系统（要素）功能的简单叠加或拼凑，而是有机的组合，并呈现出各组成子系统所没有的新功能。如聚能装药破甲弹系统，它是由投射子系统、稳定装置子系统、战斗部子系统等有序组成。它的整体功能表现在破甲弹从射手的位置射向一定距离上的敌方装甲目标，并击毁装甲目标。这一整体功能是投射部、稳定部和战斗部等子系统均不可能有的新功能。投射部只是赋予破甲弹飞到目标的动能和方向；稳定部只是保证破甲弹在空中飞行稳定，并能命中目标；战斗部只是在破甲弹接触（在一定炸高下）装甲目标爆炸时，才能击毁装甲目标。所以，要击毁离射手一定距离上的装甲目标，绝不是投射部、稳定部和战斗部等三者的拼凑或堆积，而是这三者之间的有机融合。

又如俄罗斯 2R25 式 152 mm 激光半主动寻的末制导炮弹系统，它是由杀爆战斗部子系统、导引部（激光导引头）子系统、稳定部（控制驱动器、电源）子系统、投射部（含火箭助推发动机）子系统等组成。投射部系统的功能是赋予末制导炮弹一定初速和射向；激光导引头子系统的功能是接收从目标反射的激光信号，并测出偏移量（炮弹与目标的偏移量），送给信号处理装置，而信号处理装置则按一定的制导规律，再将偏移量转换成指令，并传递给稳定部；稳定部的功能是接到导引部送来的控制指令后，由控制驱动器带动执行机构，操纵控制翼，控制炮弹飞行姿态并修正弹道，使弹药能准确地命中目标；战斗部的功能是毁伤敌方目标。激光半主动寻的末制导炮弹系统的整体功能是将末制导炮弹从己方发射阵地送到敌方，并准确地命中和击毁敌方点（装甲）目标。这一整体功能是组成末制导炮弹

各子系统都不具有的新功能。

2. 相关性

弹药系统相关性是指系统内的组成要素（子系统）之间既相互制约又相互联系。如果其中一个要素发生变化时，其他相关联的要素也要相应地改变和调整，以保持系统整体的最优状态。如末端敏感子弹系统（简称末敏子弹系统），末敏子弹属抛投式弹药，它由目标探测器、稳态扫描装置、中心处理控制器和聚能装药战斗部等要素组成。对于旋转稳定高速炮弹，末敏子弹还装有减速减旋装置。由末敏子弹的作用过程可知，当装有末敏子弹的母弹飞至目标区上空一定高度时，母弹开仓抛出末敏子弹，末敏子弹上的减速减旋伞打开，使末敏子弹的下落速度和旋转速度不断减小，当末敏子弹的下降速度接近稳态扫描速度且旋转速度接近零时，稳态扫描装置开始工作，减速减旋伞被抛掉；子弹在稳态扫描装置（一般为涡旋伞）的控制下，一边以一定的速度下落，一边以一定的转速绕铅垂轴成 30° 夹角旋转。当末敏子弹离地高度达到了探测器的探测高度时，探测器开始搜索目标，并将获取的信息送到中心处理控制器。探测器一旦捕获到目标，中心处理控制器立即发出指令，引爆聚能装药，炸药爆炸时药型罩在爆轰产物作用下形成爆炸成形弹丸，并以 $2\,000\text{ m/s}$ 左右的速度命中并击毁目标。从末敏子弹作用的全过程可以清楚地看到，组成末敏子弹的各要素既是相互联系的，又是相互制约的。如果它们之间的关系处理不当，就会影响末敏子弹的整体功能。例如探测器与聚能装药战斗部这两个要素既相互联系，又相互制约。当探测器捕获到目标时，聚能装药才能爆炸，药型罩才能形成爆炸成形弹丸。探测器捕获目标的最大距离应与爆炸成形弹丸击毁目标的最大距离相匹配。如果爆炸成形弹丸击毁目标的距离远大于探测器捕获目标的距离，这就会使聚能装药口径增大或装药量增多，这对整个末敏子弹系统不利。反之，如果探测器捕获目标的距离远大于爆炸成形弹丸击毁目标的距离，就会丢失击毁目标的机会。因此，最佳匹配是爆炸成形弹丸击毁目标的最大距离，稍大于探测器捕获目标的最大距离。

三级串联聚能装药破甲战斗部（如图 1-7 所示），其作用过程是：首先是引爆第一级装药，一级装药爆炸时，金属药型罩被压垮闭合形成高速射流，刺爆挂在主装甲上面的爆炸反应装甲；然后是第三级装药爆炸，药型罩形成的金属射流经过二级装药的中心孔，再侵彻主装甲；最后是第二级装药爆炸，药型罩形成的金属射流紧随第三级装药的金属射流后面继续侵彻主装甲。由破甲理论可知，为了充分发挥各级聚能装药射流的侵彻能力，每级聚能装药都应有一合理的炸高，而采用多级聚能装药的目的是为了提高破甲威力，如匹配不当，二级和三级聚能装药的射流就会相互干扰，严重地影响破甲效果，甚至比二级串联聚能装药的破甲效果还差。

由图 1-7 三级串联聚能装药示意图可见，第三级聚能装药的有利炸高（ F_3 ）主要与二级装药高度（ H_2 ），三级与二级聚能装药之间隔爆距离（ ΔH ）和三级聚能装药爆炸时，第二级串联聚能装药口部离主装甲的距离（ H_0 ）有关，（ H_0 ）主要取决于三级串联聚能破甲弹的着靶速度（ v_c ）、一级装药爆炸时头部离主装甲的距离和爆炸式反应装甲爆炸后的干扰时间（ t ）。而第二级聚能装药的有利炸高（ F_2 ）等于第三级聚能装药的有利炸高（ F_3 ）减去二级聚能装药高度（ H_2 ）和隔爆间距（ ΔH ），再加上第三级聚能装药射流侵彻主装甲的深度（ L_3 ）。由金属射流形成理论可知，射流头部速度（ v_{j0} ）高，尾部速度（ v_{jw} ）低，为了提高破甲威力，第二级聚能装药射流的头部速度必须大于第三级聚能装药射流的尾部速度，为了避免第二级和第三级聚能装药射流互相干扰，必须保证，当第三级聚能装药射流尾部到

达主装甲时，第二级聚能装药射流的头部也刚好到达主装甲。由此可见，三级串联装药破甲弹各级装药之间的相关性是非常紧密的，既互相依赖，又互相制约。

3. 目的性

弹药系统属人造系统，每一个弹药系统都有明确的目的，而且通常不是单一的目的。如多用途弹药系统，既能有效地击毁轻型装甲车辆（步兵战车或自行火炮），又可用于杀伤敌方有生力量。又如红外照明干扰弹系统，它既有照明作用，又对敌方红外探测器具有干扰作用。随着高新技术的发展及其在弹药上的应用，弹药系统的高新技术含量越来越多，系统也越来越复杂，对于复杂的弹药系统通常采用图解方式来描述目的与目的之间的关系。如前面讲的末敏子弹系统，各要素的目的与总目的之间的关系如图1-6所示。

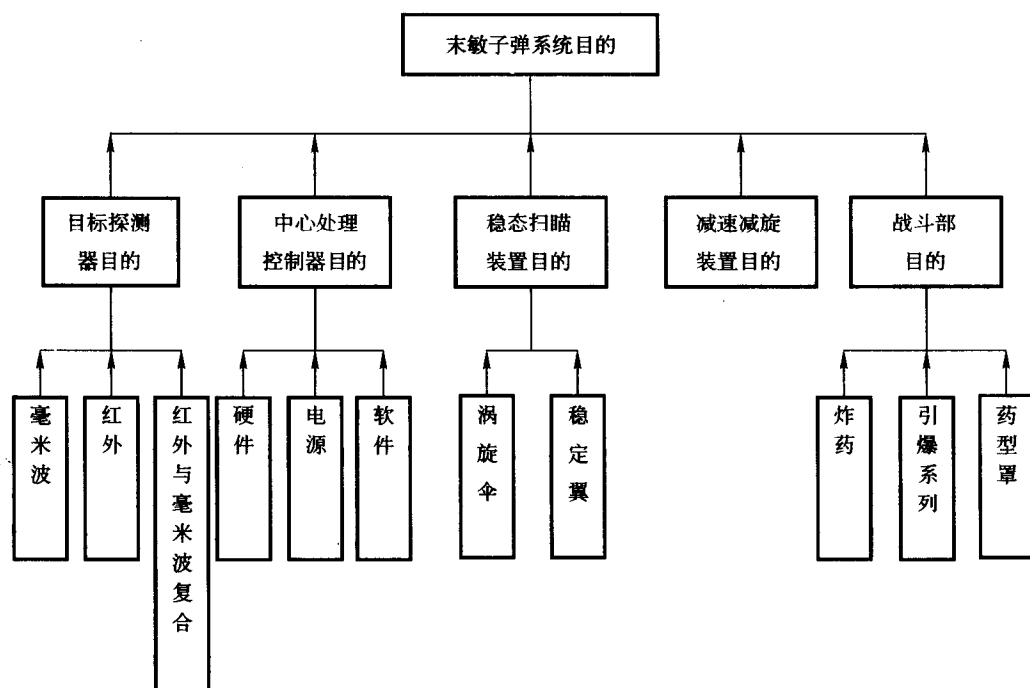


图1-6 末敏子弹系统目的框图

由图1-6可清楚地看到末敏子弹系统的目的分为三层，各层的目的互相联系的，第三层的目的达到了，第二层的目的才能达到；第二层的目的达到了，第一层的目的才能达到。图1-6所示又可称为目的树。

4. 环境适应性

环境是指弹药系统以外的所有的事物（包括物质、能量和信息等）的总称。弹药本身就是武器系统中的一个子系统，它是处在武器系统的其他子系统之中。弹药的环境应包括以下几方面。

(1) 武器系统环境

武器系统环境是指弹药处在武器系统的其他子系统之中。随着高新技术在武器上的应