

工业和信息化部“十二五”规划教材

精品力作

AMMUNITION



弹药系统工程

钱建平 编 著

跟踪现代弹药技术和系统工程理论与方法的发展方向；

介绍从整体上研究并解决弹药系统全局性、系统性问题的技术方法；

- 研讨弹药系统从概念构想转化为实体产品的综合分析与科学决策的工程方略。



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

工业和信息化部“十二五”规划教材

弹药系统工程

钱建平 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书共 8 章, 在给出弹药系统和弹药系统工程基本概念的基础上, 比较系统地介绍了弹药系统分析与评价、顶层设计、总体设计、可靠性设计与分析、试验设计与数据处理、型号研制项目管理等方面的知识。

本书侧重简明的应用归纳, 避开繁杂的过程推导, 尽量以实例应用讲解, 做到理论联系实际, 定性分析与定量分析相结合, 深入浅出, 通俗易懂, 便于理解和自学。

本书可通过不同章节内容的遴选, 作为武器类、航空航天类的弹药工程、武器系统工程、飞行器设计与制造工程等相关专业的本科生、研究生的教学参考用书, 也可供从事常规兵器研制与管理的科技工作者在学习和查阅时参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

弹药系统工程/钱建平编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.1

工业和信息化部“十二五”规划教材

ISBN 978-7-121-21836-1

I. ①弹… II. ①钱… III. ①弹药—系统工程学 IV. ①TJ41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 266760 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 刘 凡

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19.75 字数: 506 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 59.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

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+炸药”的传统概念和“圆柱体+锥体”的简单构造,成为名副其实的高新技术弹药系统。弹药系统的日趋复杂化,使弹药产品研制过程中其顶层规划与总体设计的地位显得越来越重要。要使弹药系统中各组成部分完整协调地工作,最大限度地发挥弹药系统的作战效能,就必须从弹药系统的论证和设计过程做起,将顶层规划、总体统筹、全局服务的系统工程理念与方法纳入弹药系统研制过程中,这是一项复杂的弹药系统工程。

弹药系统工程是一种从整体上研究并解决弹药系统具有全局性、系统性问题,对弹药系统寿命周期具有普遍意义的科学技术方法,既是研制复杂弹药系统的工程方略,也是实现复杂弹药系统创新目标与可持续发展的综合集成技术。

本书共 8 章。第 1 章概述,在介绍系统与系统工程基本概念的基础上,给出了弹药系统和弹药系统工程的基本概念;第 2 章系统工程方法和技术,集中介绍了系统工程方法论、系统分析方法、系统评价方法、系统预测方法和系统决策方法等内容;第 3 章弹药系统分析与评价,探讨了弹药系统的效能分析、可行性分析、研制风险分析和总体评价等弹药系统工程的有关内容;第 4 章弹药系统顶层设计,在介绍顶层设计基本概念的基础上,重点探讨了弹药系统概念设计、技术方案设计等涉及的方法或技术;第 5 章弹药系统总体设计,在介绍弹药系统总体设计基本概念的基础上,重点探讨了弹药系统总体方案选择及总体性能设计、总体外形及气动布局设计、总体结构设计等方面内容;第 6 章弹药系统可靠性设计与分析,重点讨论了可靠性计算模型、可靠性设计、可靠性预计、可靠性分配、可靠性评估、固有可靠性设计等内容在弹药系统设计方面的具体应用;第 7 章弹药系统试验设计与数据处理,在介绍试验设计基本概念的基础上,重点介绍了相似模型试验设计、正交试验设计、均匀试验设计及数据处理等方面内容;第 8 章弹药系统型号研制的项目管理,重点介绍了型号研制过程中技术状态管理、技术协调管理、质量管理、标准化管理等项目管理内容。

本书紧密跟踪、选择借鉴了大量相关书籍、论文等参考资料,侧重简明的应用归纳,避开繁杂的过程推导,尽量以实例应用说明,做到理论联系实际,定性分析与定量分析相结合,深入浅出,通俗易懂,便于理解和自学。

本书可通过不同章节内容的遴选,作为武器类、航空航天类的弹药工程、武器系统工程、飞行器设计与制造工程等相关专业的本科生、研究生的教学参考用书,也可供从事常规兵器研制与管理的科技工作者在学习和查阅时参考。



南京理工大学徐学华教授主审了本书编写大纲和全部书稿，提出了许多宝贵意见和建议，本书在编写过程中也得到了南京理工大学有关部门领导和同事的支持和帮助，在此一并表示感谢。同时，对本书引用文献的所有作者致以崇高的敬意和衷心的感谢。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，衷心希望读者批评指正。

编著者

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

Contents 目录

第 1 章 概 述

1.1 系统.....	1	1.3.2 发展历程.....	10
1.1.1 形成.....	2	1.3.3 主要特点.....	10
1.1.2 含义.....	2	1.3.4 基本特性.....	11
1.1.3 形态.....	3	1.3.5 与工程技术的关系.....	12
1.1.4 特性.....	4	1.3.6 经典范例.....	13
1.2 弹药系统.....	5	1.4 弹药系统工程.....	15
1.2.1 含义.....	5	1.4.1 基本含义.....	15
1.2.2 组成.....	5	1.4.2 基本思想.....	15
1.2.3 特性.....	7	1.4.3 寿命周期.....	15
1.3 系统工程.....	9	1.4.4 过程描述.....	18
1.3.1 内涵.....	9		

第 2 章 系统工程方法与技术

2.1 概述.....	19	2.4 系统评价方法.....	36
2.1.1 基础理论与工具.....	19	2.4.1 概述.....	36
2.1.2 方法和方法论.....	19	2.4.2 关联矩阵法.....	39
2.2 系统工程方法论.....	20	2.4.3 模糊综合评价法.....	41
2.2.1 霍尔硬系统方法论.....	20	2.4.4 灰色综合评价法.....	45
2.2.2 切克兰德软系统方法论.....	21	2.5 系统预测方法.....	50
2.2.3 钱学森综合集成方法论.....	22	2.5.1 概述.....	50
2.2.4 物理—事理—人理系统 方法论.....	22	2.5.2 特尔斐法.....	51
2.3 系统分析方法.....	23	2.5.3 时间序列分析预测.....	53
2.3.1 概述.....	23	2.5.4 回归预测法.....	54
2.3.2 层次分析法.....	24	2.6 系统决策方法.....	56
2.3.3 主成分分析法.....	28	2.6.1 概述.....	56
2.3.4 因子分析法.....	33	2.6.2 决策树法.....	58
		2.6.3 贝叶斯决策法.....	60

第 3 章 弹药系统分析与评价

3.1 概述.....	63	3.1.3 基本步骤.....	65
3.1.1 基本含义.....	63	3.2 弹药系统效能分析.....	66
3.1.2 基本原则.....	63	3.2.1 基本含义.....	66



3.2.2 主要步骤	67	3.4.3 风险识别	81
3.2.3 结构分析	67	3.4.4 风险估计	83
3.2.4 ADC 模型	70	3.4.5 风险评价	85
3.2.5 案例分析——末敏子弹效能 分析	71	3.4.6 风险缩减	87
3.3 弹药系统可行性分析	72	3.4.7 应用案例——弹药研制 风险分析	88
3.3.1 整体功能与战技指标分析	73	3.5 弹药系统总体评价	91
3.3.2 技术分解与关键技术分析	74	3.5.1 概述	91
3.3.3 技术方案可行性分析	75	3.5.2 综合评价方法	92
3.3.4 经济可行性分析	75	3.5.3 评价指标	93
3.4 弹药系统风险分析	77	3.5.4 评价模型	94
3.4.1 概述	78	3.5.5 应用案例	97
3.4.2 风险分析及其过程	81		

第 4 章 弹药系统顶层设计

4.1 概述	104	4.2.4 环境因素分析	115
4.1.1 基本内涵	104	4.2.5 组成要素分析	118
4.1.2 主要作用	105	4.2.6 要素筛选与集成	130
4.1.3 主要特性	105	4.3 弹药系统技术方案设计	137
4.1.4 飞行器设计理论与方法的 发展	106	4.3.1 概述	138
4.2 弹药系统概念设计	108	4.3.2 技术方案设计原则	138
4.2.1 概述	108	4.3.3 初步战术指标分解	141
4.2.2 目标分析	110	4.3.4 初步技术方案设计	142
4.2.3 功能设定与分析	114	4.3.5 技术可行性分析	151

第 5 章 弹药系统总体设计

5.1 概述	156	5.3 总体外形及气动布局设计	165
5.1.1 基本含义	156	5.3.1 概述	165
5.1.2 依据与标准	156	5.3.2 总体外形选择	166
5.1.3 设计原则	156	5.3.3 总体外形设计	166
5.1.4 技术准备	157	5.3.4 气动布局设计	170
5.1.5 设计特点	157	5.3.5 末制导炮弹的典型气动布局	174
5.1.6 设计内容	161	5.4 总体结构设计	177
5.2 总体方案选择	162	5.4.1 总体结构确定	177
5.2.1 弹种的选择	162	5.4.2 结构模块化设计	178
5.2.2 稳定方式的选择	163	5.4.3 总体结构布局	181
5.2.3 弹重的选择	164	5.4.4 总体结构参数设计	182
5.2.4 引信与装填物的选择	164	5.4.5 总体结构参数分解	184
		5.4.6 总体结构参数优化	184



第 6 章 弹药系统可靠性设计与分析

6.1 概述	188	6.4.3 应用案例分析	203
6.1.1 主要特征量	188	6.5 可靠性分配	204
6.1.2 弹药可靠性的特殊性	190	6.5.1 概述	204
6.1.3 制定弹药可靠性指标的原则	191	6.5.2 常用方法	204
6.2 可靠性计算模型	191	6.5.3 应用案例分析	207
6.2.1 概述	191	6.6 可靠性评估	208
6.2.2 串联系统模型	192	6.6.1 概述	208
6.2.3 并联系统模型	193	6.6.2 威力可靠性评估	209
6.2.4 n 取 r 系统模型	193	6.6.3 射程可靠性评估	209
6.2.5 表决系统模型	194	6.6.4 密集度可靠性评估	210
6.2.6 组合系统模型	195	6.6.5 综合作用可靠度评估	211
6.3 可靠性设计	196	6.6.6 安全性评估	213
6.3.1 基本原则	196	6.7 固有可靠性设计技术	216
6.3.2 设计准则的建立	197	6.7.1 简化设计	216
6.3.3 主要步骤	198	6.7.2 冗余设计	217
6.3.4 指标分解方法	198	6.7.3 防错、容错设计	218
6.3.5 应用案例分析	199	6.7.4 防护设计	218
6.4 可靠性预计	200	6.7.5 参数漂移和容差分析	220
6.4.1 概述	200	6.7.6 潜在通道和兼容性分析	221
6.4.2 常用方法	201	6.7.7 降额设计	221

第 7 章 弹药系统试验设计与数据处理

7.1 弹药试验概述	223	7.4 正交试验设计	245
7.1.1 参量间规律的研究方法	223	7.4.1 基本思想	245
7.1.2 主要作用	223	7.4.2 正交表构造及其特性	246
7.1.3 指导原则	224	7.4.3 试验设计基本步骤	249
7.1.4 基本分类	227	7.4.4 试验结果极差分析	251
7.1.5 任务与准则	230	7.4.5 试验结果方差分析	253
7.2 试验设计基础	230	7.4.6 应用案例	255
7.2.1 基本概念	230	7.5 均匀试验设计	258
7.2.2 误差控制	232	7.5.1 概述	258
7.2.3 三大原则	233	7.5.2 均匀设计表	259
7.3 相似模型试验设计	233	7.5.3 基本步骤与注意事项	262
7.3.1 相似与相似原理	234	7.5.4 均匀试验方案设计	262
7.3.2 量纲分析法	237	7.5.5 试验结果的回归分析	264
7.3.3 相似模型设计步骤	239	7.5.6 应用实例	267
7.3.4 几何相似模型试验的原则	239	7.6 数据处理	269
7.3.5 应用案例	240	7.6.1 概述	269



7.6.2 回归法.....	271	7.6.4 量纲分析法.....	273
7.6.3 幂级数法.....	272		

第 8 章 弹药型号研制的项目管理

8.1 组织管理体系.....	275	8.4 质量管理.....	290
8.1.1 体系构成.....	275	8.4.1 质量师系统.....	290
8.1.2 设计师系统.....	275	8.4.2 质量监督机制.....	292
8.1.3 行政指挥系统.....	277	8.4.3 承制单位质量体系有效 运转的标志.....	292
8.2 技术状态管理.....	278	8.4.4 承制单位主管部门的质量 监督.....	292
8.2.1 概述.....	278	8.4.5 使用方军代表的质量监督.....	293
8.2.2 技术状态控制组.....	278	8.5 标准化管理.....	294
8.2.3 技术状态标志.....	279	8.5.1 基本概念.....	294
8.2.4 技术状态控制.....	281	8.5.2 通用化、系列化、组合化.....	294
8.2.5 技术状态审核.....	286	8.5.3 标准化工作系统.....	294
8.2.6 技术状态纪实.....	287	8.5.4 各阶段的标准化工作.....	295
8.3 技术协调管理.....	287	8.5.5 型号标准化文件体系.....	296
8.3.1 内涵与意义.....	287	8.5.6 标准的实施与监督.....	297
8.3.2 内容形式与结果.....	288		
8.3.3 管理要求与职责.....	289		
8.3.4 监督控制.....	290		

附录 A 常用正交表、交互作用及其表头设计

附录 B 常用均匀设计表及其使用表

参考文献

第 1 章 概 述

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+炸药”的传统概念和“圆柱体+锥体”的简单构造，成为名副其实的高新技术弹药系统。弹药系统的日趋复杂化，使弹药产品研制过程中其顶层规划与总体设计的地位显得越来越重要，“画（画图设计）、加（加工制造）、打（外场试验）”的传统研制方法已不能适应复杂的弹药系统的工程研制。要使弹药系统中各组成部分完整协调地工作，最大限度地发挥弹药系统的作战效能，就必须从弹药系统的论证和设计过程做起，将顶层规划、总体统筹、全局服务的系统工程理念与方法纳入到弹药系统研制过程中，这是一项复杂的弹药系统工程。

本章将分别简要介绍有关系统、系统工程、弹药系统、弹药系统工程等基本概念。

1.1 系统

人类在认识和改造客观世界过程中很早就有了朴素的“系统”思想。

早在 2200 多年前的战国时期，秦国的蜀郡太守李冰率领四川民众修建的都江堰水利工程，是全世界迄今为止，年代最久、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程，堪称古代人类应用系统思想的典范。

都江堰水利工程主要由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大主体工程和百丈堤、人字堤等 120 多个渠堰附属工程构成，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，如图 1.1 所示。这项工程科学地解决了江水自动分流（鱼嘴分水堤四六分水）、自动排沙（鱼嘴分水堤二八分沙）、控制进水流量（宝瓶口与飞沙堰）等问题，分导了汹涌澎湃的岷江激流，消除了水患，灌溉了 500 多万亩农田，使川西平原成为“水旱从人”的“天府之国”。

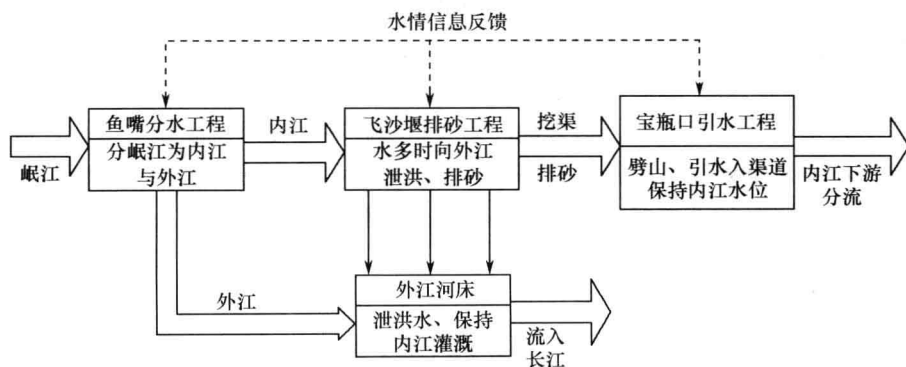


图 1.1 都江堰水利工程概况

“丁谓建宫”是我国一个著名的历史典故。宋真宗祥符年间，命臣相丁谓主持重建失火焚毁的开封皇宫。要完成这项原址重建的重大建筑工程，需要解决三大难题：①烧砖用土的



取土问题,若要到郊区去取土,路途太远;②与此相关的物资运输问题,不仅要大量运土,还要运输大量的其他建材和辅材;③大量废墟垃圾和建筑垃圾的处理问题。丁谓运筹规划,采用系统思想制定了一个“一举三得”的施工方案:挖沟(取土)→引水入沟(水道运输)→填沟(处理垃圾),如图 1.2 所示。即从大街就地取土,没几天就成了大渠。挖通汴河水进入渠中,各地水运的资材都通过汴河和大渠运至宫门口。重建工作完成后,用工程废弃的瓦砾回填入渠中,水渠又变成了街道。按照这个施工方案,不仅节约了许多时间和数以亿万计的费用,而且使工地秩序井然,使城内的交通和生活秩序不受施工太大的影响。

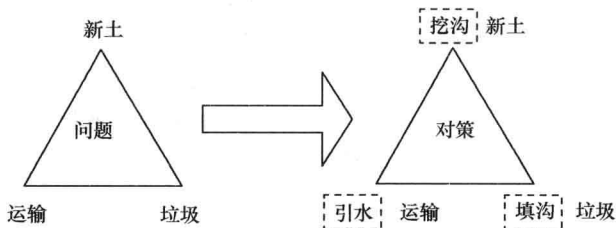


图 1.2 “丁谓建宫”方案

以上例子说明,人类在认识系统工程之前,在社会实践活动中就已进行辩证的系统思维,并应用朴素的系统思想改造自然与社会。

1.1.1 形成

系统思想形成过程是人类认识客观世界的一个否定之否定的发展过程。系统思想从经验到哲学到科学,从思维到定性到定量的发展过程,大致可分为如下四个阶段。

第一阶段——古代农事、医药、天文方面的实践成就,以及建立在这些成就之上的古代中国和古希腊朴素的唯物主义自然观(以抽象的思辨原则来代替自然现象的客观联系)。

第二阶段——近代自然科学的兴起,以及由此产生的近代形而上学自然观(把自然界看做彼此不相依赖的各个事物或各个现象的偶然堆积)。

第三阶段——19 世纪自然科学的伟大成就,以及建立在这些成就基础之上的辩证唯物主义自然观(以实验材料来说明自然界是有内部联系的统一整体,其中各个事物、现象是有机地相互联系、相互依赖、相互制约着的)。

第四阶段——20 世纪中期现代科学技术的成就,为系统思想提供了定量方法和计算工具。现代科学技术对于系统思想方法来说,第一个贡献在于使系统思想定量化,成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法;第二个贡献在于为定量化系统思想的实际应用提供了强有力的计算工具——计算机。

1.1.2 含义

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。系统的观念也在不断增强,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,系统一词的含义也有所区别。

按国内外较通行的解释,“系统”一词的含义可以描述为:一个为了实现某项目的,由多个要素遵循某种法则所组成的整体。

由上述系统的含义,可以看出构成系统必须具备三个条件:①至少由两个或两个以上要素组成;②各要素之间相互联系、相互作用,按一定的方式形成一个整体;③这个整体具有的结构和功能是诸要素的功能中所没有的。

1.1.3 形态

在自然界和人类社会中,系统无处不在。系统的形态很多,按划分方式和解决的问题不同,系统存在的形态也不同。系统的一般形态可分为如下几种。

1. 自然系统与人造系统

自然系统是指由自然物质组成的系统,如生物系统、植物系统、生态系统、宇宙系统等。

人造系统是指人类为达到某种目的,由人工制造的各种要素所组成的系统,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。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

实体系统是指由物质、机械、生物、仪表、动力和人等有形事物组成的系统,如机械、能源、矿物、生物等,其实体是可见的。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、原则、政策、方法、制度等观念性的非物质实体所构成的系统。

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

开放系统是指与周围环境之间有能量、物质和信息等形式交换的系统。封闭系统是指与周围环境之间没有能量、物质和信息等形式交换的系统。大多数系统都是开放系统,而封闭系统是相对开放系统而言的。

例如,独立的一台自动化洗衣机可视为一个需要与水、电进行交换的开放系统,但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),洗衣服的全过程是一个封闭的过程,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統。动态系统是指系统状态参量随时间改变而变化的系统。动是绝对的,静是相对的,在实际生活和工作中要以考虑和分析动态系统为主要目的。

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。

行为系统是指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作用, 这种作用能对外部环境产生某些价值和效用。例如, 社会系统、经济系统都可看做行为系统。

6. 确定性系统与不确定性系统

确定性系统是指行为和输入具有一一对应关系的系统。

不确定性系统是指行为和输入的因果关系不是一一对应, 而是带有极大不确定性的系统。

7. 硬件系统与软件系统

硬件系统是指由有形物质、机械设备、仪器仪表等组成的系统。

软件系统是指由计算机的编译系统、操作系统、高级程序语言编制的程序等组成的系统。

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, 可相互组合形成其他的新系统。

1.1.4 特性

系统通常具有整体性、相关性、层次性、目的性、动态性、环境适应性等特性。系统各特性的关系如图 1.3 所示。

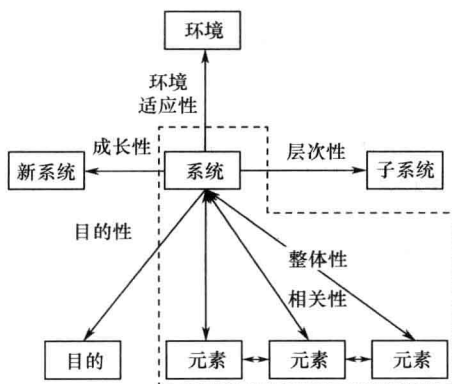


图 1.3 系统各特性的关系

(1) 整体性——系统不是各要素的简单集合, 系统具有其各要素原先并不具备, 而由系统结构和关系所决定的整体性。系统整体性体现出来的整体功能是各组成要素所没有的新功能。

(2) 相关性——系统各要素之间是互相依赖、互相依存、有机联系的。系统各要素之间的相关性的总和体现为系统结构; 系统结构表示在系统的发展和运动过程中, 系统诸要素在时间和空间上的有序性和协调性。

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。

(3) 层次性——系统内部结构是有层次的, 各要素分别位于不同的层次上。系统正是通过这种层次结构, 使各要素有序和协调地工作, 完成指定的功能。

(4) 目的性——所有系统都有目的性, 系统的目的(目标)决定了系统的功能要求, 通过设计特定的系统结构可以实现系统必须具备的功能。系统结构分析、系统方案开发及系统的研制都取决于系统的目的(目标)。

(5) 动态性(成长性)——系统状态随着时间的推移不断发生变化, 使得系统时刻处于发生、发展、衰落直至消亡的发展过程中, 这就是系统的动态性(成长性)。

(6) 环境适应性——系统的动态过程是一个与外部环境之间的物质、能量和信息的交换过程, 系统必须在一种特定的外部环境中存在和发展。系统对于环境的适应性或系统与外部环境的相容性, 是系统存在和发展的前提条件。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。

系统的观点就是“全局”观点、整体观点。在分析事物时，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，再进入其细部做具体的考察。如果把系统概念用于设计中，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，选择最合适要素和子系统，使“整体大于部分简单之和”。

1.2 弹药系统

弹药是武器系统中直接完成毁伤或干扰敌方有生力量或军事设施的主体，也是武器火力系统的核心部分。

1.2.1 含义

弹药一般由投射部、战斗部、稳定部和导引部等要素组成，是诸要素有目的（完成某种战斗任务）地组合成的一个有机整体。

弹药本身既是一个系统，又是武器系统的一个子系统，而且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。例如，末敏子弹药是末敏弹的一个子系统，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。末敏子弹药比一般的破甲子弹、杀爆子弹的结构复杂得多，所涉及的技术领域也宽得多，不但涉及火炸药学、爆炸力学、侵彻力学、空气动力学，还涉及光电、电子科学、计算机和控制理论等。

1.2.2 组成

弹药系统主要由战斗部、投射部、稳定部和导引部这四大子系统组成，如图 1.4 所示。

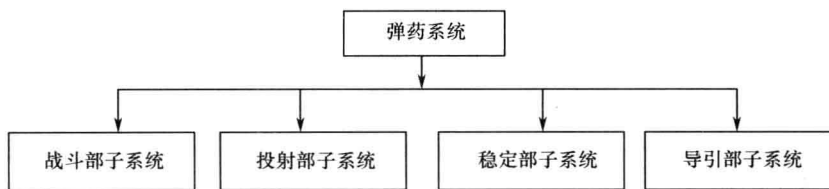


图 1.4 弹药系统示意图

1. 战斗部子系统

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，一般由壳体（弹体）、装填物（炸药或其他装填物）和引信装置（包括引信和传爆序列）等组成。

按战斗部作用原理或毁伤机理分类，战斗部子系统有以下几种典型类型。

- (1) 爆破型——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) 杀伤型——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) 穿甲型——凭借自身的动能击穿各类装甲目标。



(4) 破甲型——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) 子母弹型——靠母弹体内装的子弹毁伤敌方目标。

(6) 复合作用型——具有两种以上毁伤作用的战斗部, 如杀-爆、穿-爆、穿-爆-燃复合等。

(7) 多用途型——具有多种功能, 即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) 多模型——能根据敌方不同目标形成不同的毁伤模式, 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(EFP)击毁装甲目标; 还可形成破片杀伤敌方有生力量。

(9) 特种型——能完成特种战斗任务, 如燃烧、照明、发烟、宣传等。

(10) 新概念型——随着新目标的出现, 新概念战斗部也不断涌现, 如电磁脉冲、碳纤维、电视侦察、战场评估、非致命毁伤和失能等新概念战斗部。

2. 投射部子系统

投射部子系统是提供弹药飞行动力和飞行方向的装置, 赋予弹药一定的动能和方向飞向预定目标。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)。

3. 稳定部子系统

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。

稳定方式一般有高速旋转稳定和尾翼稳定两种。

4. 导引部子系统

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。

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。

例如, 普通炮弹一般由弹丸、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, 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, 如图 1.5 所示。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。

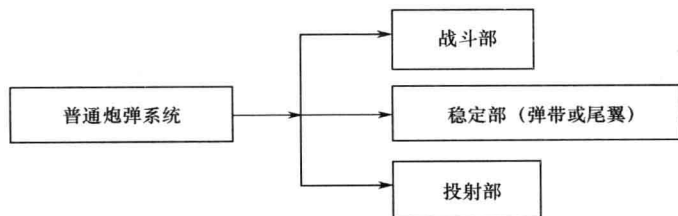


图 1.5 普通炮弹系统框图

又如, 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, 如图 1.6 所示。

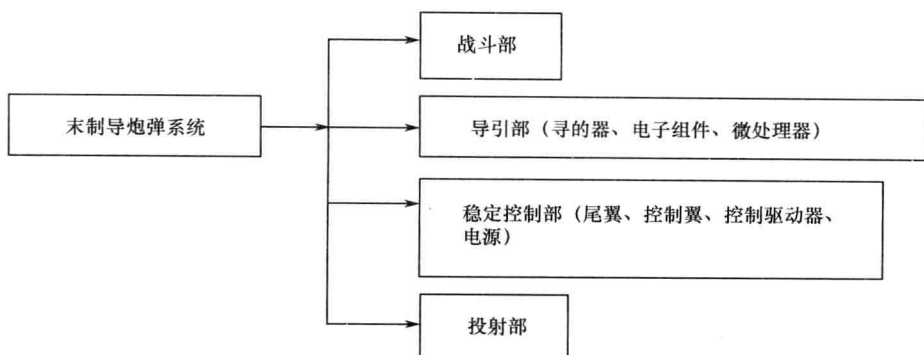


图 1.6 末制导炮弹系统框图

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转递给稳定部。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。

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。

1.2.3 特性

弹药系统是一个特殊的人造实体系统，也具有一般系统的主要特性。

1. 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。

例如，破甲弹系统由投射子系统、稳定装置子系统、战斗部子系统等有序组成，投射部赋予破甲弹飞向目标的动能和方向；稳定部保证破甲弹在空中飞行稳定，并能命中目标；战斗部在破甲弹接触（在一定炸高下）装甲目标爆炸时，击毁装甲目标。而破甲弹系统的整体功能表现为破甲弹击毁一定距离上的敌方装甲目标，该整体功能是投射部、稳定部和战斗部等子系统均不可能有的新功能。

又如，俄罗斯“红土地”152毫米激光半主动寻的末制导炮弹系统，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。投射部子系统的功能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；稳定部子系统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；战斗部子系统的功能是毁伤敌方目标。而“红土地”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，并准确地命中并击毁敌方点（装甲）目标，该整体功能是组成末制导炮弹的各子系统都不具备的新功能。

2. 相关性

弹药系统相关性是指系统内的组成要素（子系统）之间是相互制约而又相互联系的。