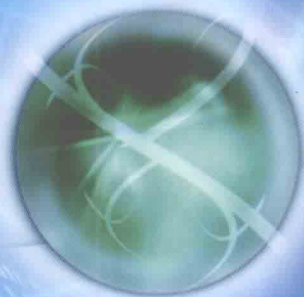




国防特色教材·兵器科学与技术



武器系统设计理论

溥玉成 王编

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

全书共分 5 章。内容包括武器系统设计基础理论、误差分析理论、射击效率理论、可靠性设计理论和武器系统的评价。本书可作为火炮、自动武器与弹药工程、兵器发射理论与技术、机动武器系统工程、武器系统信息与控制工程、弹箭飞行与控制工程等相关专业的研究生教材,也可作为各级管理人员、武器论证及效能分析人员、工程技术人员和企业领导干部的培训教材和自学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

武器系统设计理论/薄玉成主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010.5

国防特色教材·兵器科学与技术

ISBN 978-7-5640-3096-4

I. ①武… II. ①薄… III. ①武器装备-系统设计-研究生-教材 IV. ①TJ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 045119 号

武器系统设计理论

薄玉成 主编

责任编辑 唐 爽 王玲玲

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号 (100081) 发行部电话: 010-68944990 传真: 010-68944450

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

北京圣瑞伦印刷厂 全国各地新华书店经销

*

开本: 787 毫米×960 毫米 1/16 印张: 17.5 字数: 360 千字

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷 印数: 1—3000 册

ISBN 978-7-5640-3096-4 定价: 48.00 元

前 言

武器系统设计理论是火炮、自动武器与弹药工程、兵器发射理论与技术、机动武器系统工程、武器系统信息与控制工程以及弹箭飞行与控制工程专业研究生的必修课程，是培养武器系统设计人员的主要环节。

武器系统研制所涵盖的内容很广泛，是一项非常复杂的系统工程。因此，武器系统设计理论应建立在系统工程理论的基础之上。武器系统设计除了必须保证武器系统有较高的射击效率、射击精度，还要保证其可靠性；而射击效率、射击精度又与武器系统本身的系统误差、随机误差有关，也与武器系统的可靠性密切相关。所以本书围绕武器系统设计，在介绍系统工程原理和方法的基础上，介绍了相关的误差分析理论、射击效率理论和可靠性设计理论。鉴于在武器系统研制的各个阶段常需做一些决策性的评价工作，如设计方案的决策、对试制样品性能的综合评价、同类武器效能评价等，所以本书对武器系统评价的相关理论和方法也作了一些介绍。

全书共分5章。其中，第1章、第4章由薄玉成编写，第2章由张清编写，第3章由王惠源编写，第5章由解志坚编写。全书由薄玉成统稿，李强、景银萍也为本书做了部分工作。本书由南京理工大学的徐万和教授、北京理工大学的王建中教授审阅，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第 1 章 武器系统设计基础理论	3
1.1 系统概念	3
1.1.1 系统的定义	3
1.1.2 系统的特性	3
1.1.3 系统的分类	7
1.2 系统工程	8
1.2.1 系统工程的定义及地位	8
1.2.2 系统工程的观念	9
1.3 武器系统的分类及研制程序	12
1.3.1 武器的分类	12
1.3.2 武器系统的研制程序	13
1.4 武器系统改型设计的基本规律和基本特点	15
1.5 武器系统分析	18
1.5.1 系统分析的意义	18
1.5.2 系统分析的原则和方法	19
1.6 武器系统建模与仿真	21
1.6.1 武器系统建模	21
1.6.2 武器系统仿真	22
1.6.3 武器系统仿真举例	23
1.7 武器系统传统研究方法与时系统工程方法的区别	23
1.8 武器装备发展面对的时代特征	25
1.8.1 武器装备建设面对的时代特征	25
1.8.2 现代武器系统发展的一些特点	25
1.9 武器系统设计应考虑若干问题	27
1.9.1 武器系统研制所面临的形势	27
1.9.2 武器系统研制中的驱动理论	28
1.9.3 设计过程及方法	29

1.9.4 设计活动中的知识流动	32
1.9.5 多方利益协调理论	33
第2章 武器系统误差分析理论	34
2.1 误差的基本概念	34
2.2 误差的基本性质和处理	39
2.2.1 传感器误差	40
2.2.2 系统误差	44
2.2.3 随机误差	50
2.2.4 粗大误差	62
2.2.5 误差处理的步骤与表示	66
2.3 函数误差	68
2.3.1 协方差法	69
2.3.2 蒙特卡洛法	77
2.4 误差的合成	92
2.4.1 随机误差的合成	93
2.4.2 系统误差的合成	95
2.4.3 不同性质误差的合成	96
2.5 航空武器系统的误差控制	97
2.5.1 误差分配与误差综合	97
2.5.2 误差控制	98
第3章 射击效率理论	102
3.1 射击效率的概念	102
3.1.1 射击效率指标	102
3.1.2 射击效率理论的用途	105
3.2 射击误差	105
3.2.1 射击误差的概念	105
3.2.2 圆概率误差与概率误差	109
3.2.3 射击的相关性与误差分组	110
3.3 对目标的毁伤律	113
3.3.1 毁伤律的基本概念	113
3.3.2 毁伤律的基本类型	115
3.4 单发命中概率	123

3.4.1 一般表达式	123
3.4.2 精确公式	127
3.4.3 近似方法	133
3.5 对单个目标的射击效率	135
3.5.1 独立发射（一组误差型）的毁伤概率	135
3.5.2 非独立发射（两组误差型）的射击效率	141
3.6 对集群目标的射击效率	144
3.6.1 射击效率指标	144
3.6.2 根据单位目标的毁伤概率进行计算	145
3.6.3 根据毁伤目标数的分布率来进行计算	149
3.7 对面积目标的射击效率	152
3.7.1 射击效率指标	152
3.7.2 对线目标的射击效率	153
3.7.3 对矩形目标的射击效率	154
3.7.4 对圆目标的射击效率	154
第4章 武器系统的可靠性设计	156
4.1 可靠性的基本概念	156
4.1.1 可靠性的定义	156
4.1.2 固有可靠性和使用可靠性	157
4.1.3 研究可靠性的意义	157
4.2 可靠性的数学描述	158
4.2.1 可靠性的特征量	158
4.2.2 系统可靠性模型	160
4.3 可靠性预测和可靠性分配	163
4.3.1 可靠性预测及预测方法	163
4.3.2 可靠性分配	165
4.4 故障树分析法	171
4.4.1 故障树分析法概述	171
4.4.2 故障树	172
4.4.3 故障树应用实例	175
4.4.4 故障树的定性分析	175
4.4.5 故障树的定量分析	185
4.5 可靠性设计	188

4.5.1	可靠性设计内容与要求	188
4.5.2	可靠性设计原则	189
4.5.3	可靠性技术设计	191
4.6	可靠性试验	200
4.6.1	可靠性试验的目的	200
4.6.2	定数截尾试验的点估计	201
4.6.3	定数截尾试验中的 $\bar{t}$ 区间估计	208
4.6.4	定时截尾试验中的参数估计	209
4.7	考虑武器系统可靠性时对武器系统射击效率的评定举例	212
第5章	武器系统的评价	217
5.1	武器评价概况	217
5.1.1	武器评价的原则	217
5.1.2	预测中的数学方法	218
5.1.3	方案的评价及决策	219
5.1.4	模糊数学法在评价中的应用	220
5.2	应用模糊数学评价系统的技术	222
5.2.1	基础知识	222
5.2.2	评价基点	223
5.2.3	评价技术	223
5.3	应用加权和法讨论步枪综合性能——火力突击性	228
5.3.1	步枪的火力突击性	228
5.3.2	步枪火力突击性的演变	231
5.3.3	班用枪族	232
5.3.4	从火力突击性看未来步枪	233
5.4	灰色系统理论在武器评价中的应用	234
5.4.1	灰色系统的概念	235
5.4.2	灰色系统理论的研究对象	236
5.4.3	“灰概念”与“灰性”	236
5.4.4	灰性的表现	236
5.4.5	灰色系统理论与概率论、模糊理论的对比	237
5.4.6	关联度的定义	238
5.4.7	应用公式应注意的问题	240
5.4.8	关联度分析法	241

5.4.9 用灰色系统理论评价武器系统	242
5.5 应用综合指标法评价航炮	247
5.5.1 航炮对目标的作用效能	247
5.5.2 航炮的使用效能	252
5.5.3 航炮的发射效能	254
5.5.4 航炮的非威力指标	254
5.6 高射炮系统的效费分析方法	257
5.6.1 系统效费分析的一般方法	257
5.6.2 高射炮系统综合效能模型及其计算方法	257
5.6.3 计算高射炮系统效能的实例	263
5.6.4 费用计算	266
5.6.5 效费分析实例结果	267
参考文献	270

绪 论

武器系统设计理论是一门以系统工程理论为基础,运用现代仿真手段以及高等数学知识对武器系统进行误差分析、射击效力计算、性能结构优化、可靠性设计和系统总体效能评估等一系列技术行为,并以这些行为所获得的数据信息为参考对武器系统进行正反设计指导,以期达到提高武器系统总体质量或效能目的的综合性课程。该课程是从事该专业的学者和工程技术人员应深入理解并掌握的一门课程,其涉及内容较广,要求读者具备扎实的基础理论知识和相关的武器专业知识。现代战争对武器系统的战术技术要求愈来愈高,高效能的武器系统花样翻新,新品种不断涌现。这就对武器系统设计人员的能力提出了更高的要求。本书正是以此为出发点,主要介绍系统工程理论基础、误差分析理论、射击效力分析、可靠性设计理论和武器系统评价理论等五个方面的内容。

1. 系统工程理论

系统工程理论是研究系统的理论,因而是武器系统研究的理论基础。“效能”的概念实际上就是在“系统工程理论”的基础上提出来的。效能体现了总体性的观念。我们设计武器系统时应以好的总体性为最终追求目标。局部好不等于总体性好,好的局部组合未必能达到总体性的最优化,而最优的总体性也未必要求每个局部的最优性。所以,我们应研究掌握这种总体性理论,即系统工程理论,以便为武器系统总体的最优性设计提供高效的专业化知识平台。系统工程理论知识包含了系统分析、系统建模与仿真的知识,包含了系统工程理论和实践基础上已形成的研制程序、逐渐积累形成的武器系统工程实践经验,如改型设计的规律和特点、传统研究工作方法与系统工程研究工作方法之差别,以及武器系统设计需要考虑的若干问题等。

2. 误差分析理论

误差分析理论是研究如何提高武器系统射击精度及其子系统精度的必要手段。掌握误差分析理论对武器系统设计人员提高设计水平,正确处理战术技术要求、生产制造水平以及武器系统的经济性之间的关系有着重要的现实意义。

3. 射击效率理论

任何新的武器都需经历研制和论证阶段。为了更好地确定该阶段武器系统的战术技术指标,包括结构方案及射击方式、相应的试验计划和弹药配备等,就需要对现有武器系统的射击效率做出评价、研究技术性能对射击效率的影响。这些工作的顺利进行离不开射击效率理论。

因此,它也是武器系统设计人员应掌握的理论知识之一。

4. 可靠性设计理论

武器系统愈来愈复杂,技术含量愈来愈高,这使得武器系统的可靠性问题显得十分突出。为了达到武器系统的可靠性要求,武器系统设计人员必须设法提高武器系统的固有可靠性。所以,设计人员必须掌握可靠性的分析方法和设计方法,以及可靠性的计算方法等。此外,对武器系统使用和维修方面的可靠性问题也应同时加以考虑。

武器系统的可靠性主要是设计出来的,同时也与武器系统的射击效率有密切的关系,本书在这方面也将尽可能地作一些介绍。

5. 武器系统评价理论

武器系统的战技指标往往存在着一些相互的矛盾性。如武器系统的重量指标与机动性要求、射速与初速、命中概率与毁伤概率以及口径与后坐力等,都存在矛盾性,很难调至最佳。这就要求设计者以系统的整体最优性为目标,正确评价和处理这些矛盾,研究制订出最为合理的指标。武器评价理论正是在武器系统设计中处理诸如此类问题的有效数学工具。熟练掌握这些理论可使武器系统设计人员在处理类似问题时,从更加精确的量化角度去体察影响因素对效能的影响程度,为武器系统整体的最优性设计找到合理依据,尽可能降低盲目性。武器系统评价工作内容很丰富,主要包括方案决策、各阶段的评价以及产品性能的综合评价等。

评价理论主要围绕评价方法展开。本书在介绍基本理论的基础上,对一些常见的评价方法以及效能计算所涉及的相关内容进行了尽可能详实地介绍。在指出现有评价方法特点的基础上,又提出了灰理论评价法在武器评价中的应用,分析了该方法的特点,可供武器系统设计人员参考。

第 1 章 武器系统设计基础理论

1.1 系统概念

1.1.1 系统的定义

系统是具有特定功能的,相互间具有有机联系的许多要素(element)所构成的一个整体。一个形成系统的诸要素的有机集合,使系统始终具有一定的特性,或者表现一定的行为,而这些特性和行为是它的任何一个要素都不具备的。一个系统是一个可以分成许多要素的整体,但从系统功能来看,它又是一个不可分割的整体。如果硬把一个系统分割开来,那么系统将失去原来的性质。

1.1.2 系统的特性

1. 整体性

系统是由诸多要素构成的,但是系统不是单个要素的简单结合,它们互相之间不能分离。一旦要素与要素分离,要素的机能和要素间的作用就失去了原有的意义,也就是说,要素就不是原来意义的要素,系统也就不是原来意义的系统了。研究任何事物的单独部分,不能得出有关整体性的结论。系统的构成要素和要素的机能、要素的相互联系要服从系统整体的目的和功能,在整体功能的基础上展开各要素及其相互之间的活动,这种活动的总和形成了系统整体的有机行为。在一个系统整体中,即使每个要素并不都十分优秀,但它们通过协调综合可成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不一定具备某种良好的功能。

例如,火力系统离开了量测系统就等于一个人失去了眼睛,离开火控系统也无法实现对目标的精确打击。火力系统、量测系统、火控系统组成的是一个整体,这个整体也就是通常意义的武器系统。又如,俄罗斯的坦克发动机不如德国豹 2 坦克的发动机,但坦克武器系统的整体性能却优于德国的豹 2 坦克。一个全都由高级工程师、教授组成的团队不一定是一个优秀团队也是这个道理。

2. 集合性

集合的概念就是把具有某种属性的一些要素看成一个整体,从而形成一个集合。系统的

集合性表明,系统是由两个或两个以上的可以互相区别的要素所组成的。这些要素可以是具体的物质,也可以是抽象的或非物质的软件。例如,一个计算机系统,一般都是由计算器、存储器、输入与输出设备等硬件组成,同时,还常包含有操作系统、程序设计、数据库等软件,从而形成一个完整的集合。

3. 层次性

系统的层次性是指系统具有一定的内部结构,即系统各要素之间排列组合的顺序和方式往往呈现为层次结构。每个要素都处于一定的层次上,各自有条不紊地发挥着作用。也就是说,系统作为一个相互作用和相互依赖的诸要素的总体,它可以分解成一系列的子系统,并存在一定的层次结构,这是系统空间结构的特定形式,在系统层次结构中表述了在不同层次子系统之间的从属关系或相互作用的关系。在不同的层次结构存在着动态的信息流和物质流,构成了系统的运动特性,为深入研究系统层次之间的控制和调节功能提供了条件。

系统的结构也可以是一个系统,称为原系统的子系统或分系统,原系统可能是更大系统的组成部分,从而它又是更大系统的一个子系统。以某导弹武器装备作战系统为例,可以列出其不同层次的组成框图(图 1-1,图 1-2,图 1-3)。又如,轻型高射武器系统结构组成框图如图 1-4 所示,坦克装甲车辆武器系统如图 1-5 所示。

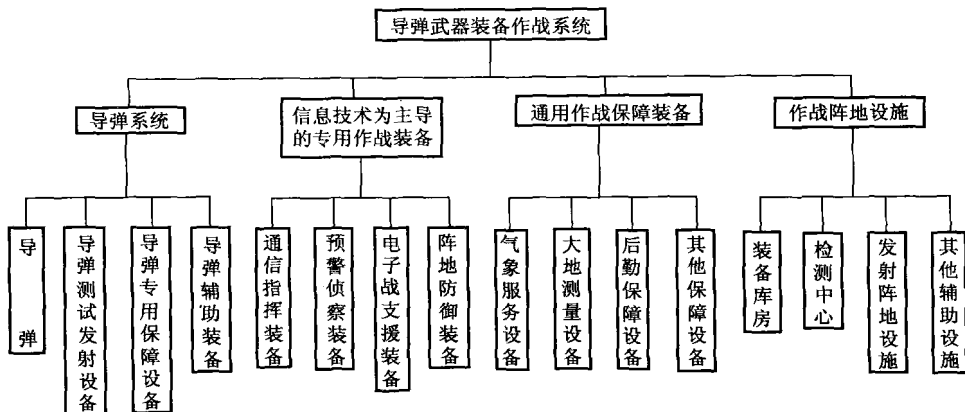


图 1-1 导弹武器装备作战系统组成框图

4. 相关性

组成系统的要素是相互关联、相互作用的,其相关性是指它们之间的联系具有特定的关系,包括各子系统的相互影响、相互制约、相互作用,也就是要求要素之间的联系为系统整体目标服务,提高系统的有序性,尽量避免系统的“内耗”,提高系统整体运行的效果。

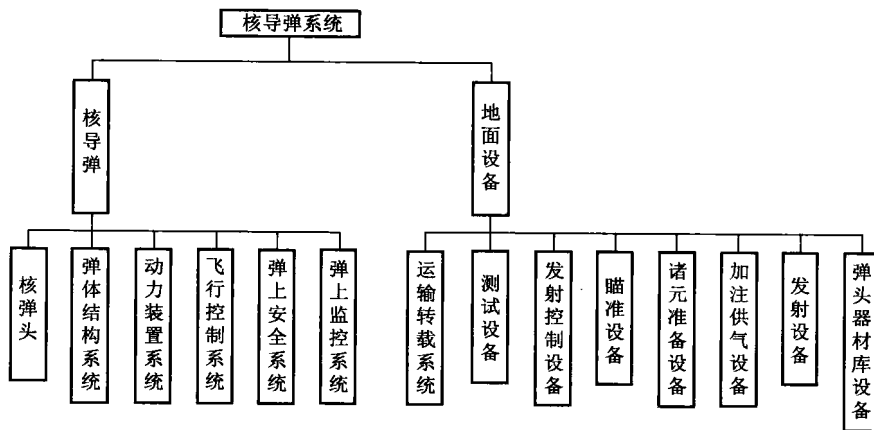


图 1-2 核导弹系统组成框图

5. 目的性

系统都具有某种目的,要达到既定的目的,系统都具有一定的功能,这也正是区别这一系统与另一系统的标志。系统的目的一般都用更具体的目标来体现,目标也往往不止一个,而是一个目标集,在指标体系中,各指标之间有时是相互矛盾的。一个武器系统的目的性是通过它的目标集来体现的,武器系统的目标集就是战术技术指标,不同的武器系统具有不同的战术技术指标。

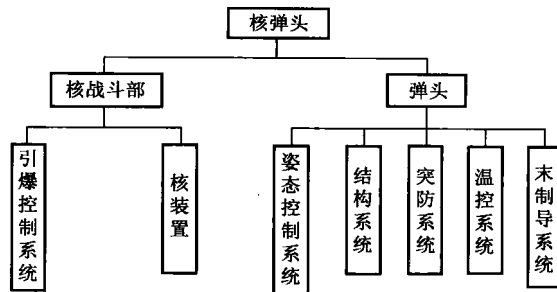


图 1-3 核弹头系统组成框图

6. 可分解性

可分解性是指组成系统的各要素是可以识别的,而且同层次的要素之间相互作用较强,不同层次要素之间的相互作用相对较弱。要素的改进、完善可使系统的效能得到提高。

7. 环境适应性

任何一个系统都存在于一定的物质环境之中。因此,它必然要与外界环境产生物质的、能量的和信息的交换,外界环境的变化必然会引起系统内部各要素之间的变化。系统必须适应外部环境的变化,不能适应环境变化的系统是没有生命力的,而只有能够经常与外界环境保持最优适应状态的系统,才是理想的系统。

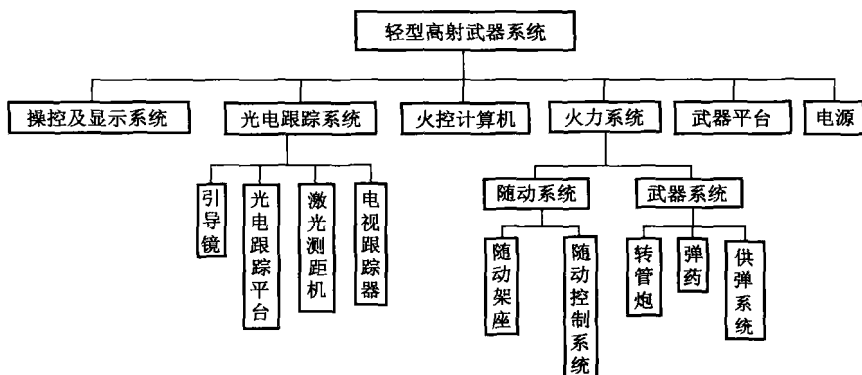


图 1-4 轻型高射武器系统结构组成框图

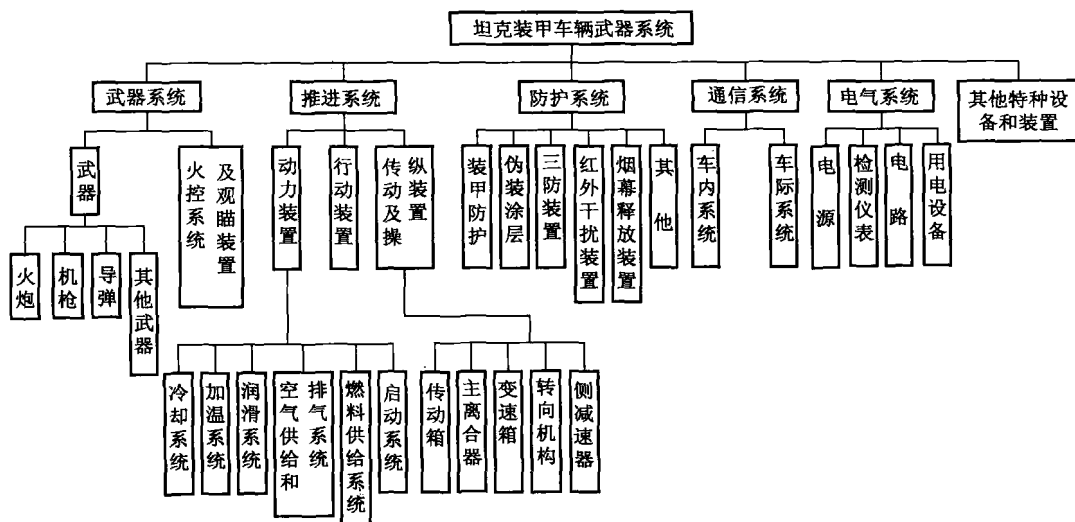


图 1-5 坦克装甲车辆武器系统

系统以外的各种因素或事物常常会对系统或其中的子系统产生影响,这些影响和作用没有达到使系统功能和性质发生根本变化时,可以说系统处于相对稳定状态,它对环境是适应的。当环境的影响使系统的功能发生根本改变,甚至使系统造成破坏时,系统则对环境不具适应性。环境对系统的作用看做是系统的输入,系统对输入进行加工产生输出。

一个工厂、企业是一个系统,它必须适应和了解市场,了解行业的发展,及时调整产品结构,以适应环境的变化,否则是难以生存和发展的。

一个武器系统如果在常温条件下能正常射击,在低温条件下不能射击,就是对低温环境的不适应性。

1.1.3 系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各种不同性质的系统,为了对系统的性质加以研究,需要对系统存在的各种状态加以了解。

1. 自然系统与人造系统

自然系统是由自然过程产生的系统。这类系统的组成部分是自然物(动物、植物、矿物)自然形成的系统,如矿藏系统、生态系统、海洋系统等。

人造系统则是人们将有关元素,按其属性和相互关系组合而成的系统。

实际上大多数系统是自然系统与人造系统的复合系统,随着科学技术的发展出现了越来越多的人造系统,如葛洲坝水利电力系统。这是人们利用科学技术的力量改造自然系统。值得注意的是,有一些人造系统破坏了自然生态系统的平衡,造成严重污染。

2. 实体系统和概念系统

凡是以矿物、生物、机械和人群等实体为构成要素所组成的系统称为实体系统。凡是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等概念性的非物质实体所构成的系统称为概念系统,如管理系统、指挥系统、社会系统等。在实际生活中,实体系统和概念系统在多数情况下是结合的,实体系统是概念系统的物质基础,而概念系统是实体系统的中枢神经,指导实体系统的行为。有时甚至是你中有我、我中有你。如指挥系统也包括计算机系统、通讯系统等实体系统。

3. 动态系统和静态系统

动态系统是指系统的状态变量是随时间而变化的,而静态系统中变量是不随时间而变化的,可认为是动态系统的一种极限状态。实际上多数系统都是动态系统,有时为了研究系统方便而将系统假设为静态系统。

4. 控制系统与行为系统

控制是为了达到某个目的给对象系统所加的必要动作。控制对象要由控制装置操纵,使其符合规定的目的。因此,为了实行控制而构成的系统叫做控制系统。

行为系统是以完成目的的行为作为构成要素而形成的系统,是根据某种运动机制而实现某种特定行为的系统,而不是受某种控制作用而运行的系统。

5. 开放系统与封闭系统

开放系统是指系统与环境之间具有物质、能量与信息交换的系统。如武器系统要接收目

标的信息,根据目标信息确定射击时间、射击姿态、射击方式等,具有自适应和自调节功能。开放系统是有生命力的系统。

封闭系统是指系统与环境之间没有物质、能量和信息的交换,由系统的界限将环境与系统隔开,而成为一种封闭状态的系统。

研究开放系统,不仅要研究系统本身的结构与状态,而且要研究系统所处的外部环境,分析环境因素对系统的影响方式和影响程度以及环境随机变化的因素。由于环境是动态变化着的,具有较大的不确定性,甚至出现突变的环境。所以当一开放系统存在于某一特定环境之中时,该系统必须具有某些特定的功能,才能有继续生存和发展的条件。

按系统复杂程度可分为简单系统和复杂系统;按有无生命因素可分为生命系统和非生命系统;按系统物理属性还可分为生物系统和物理系统等。

本书讨论的武器工程系统是属于人造、实体、动态、控制和开放的系统。

1.2 系统工程

1.2.1 系统工程的定义及地位

由于系统工程是一门新兴的交叉学科,尚处于发展阶段,还不成熟,至今还没有统一的定义。现列举国内外知名学者对系统工程的解释,作为参考。

① 中国著名科学家钱学森指出:“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法。”

② 美国著名学者切斯纳(H. Chestnut)指出:“系统工程认为虽然每个系统都是由许多不同的特殊功能部分组成,而这些功能部分之间又存在着相互关系,但是每一个系统都是完整的整体,每一个系统都要求有一个或若干目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡,全面求得最优解(或满意解)的方法,并使各组成部分能够最大限度地互相适应。”

③ 日本工业标准(JIS)规定:“系统工程是为了更好地达到系统目标,而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机制等进行分析与设计的技术。”

④ 美国军用标准 MIL-CTD-499A 对系统工程的定义为:“系统工程是将科学和工程技术的成就应用于:a. 通过综合、分析、设计、试验和评价等的反复迭代过程,将作战要求转换成对系统性能参数和系统状态的描述;b. 综合有关的技术参数,确保所有物理功能和程序接口之间的兼容性,在一定程度上使整个系统的确认和设计达到最佳状态;c. 将可靠性、维修性、安全性、生存能力、人的因素和其他类似因素综合到整个工程之中,使费用、进度和技术性能达到总目标。”

⑤ 《中国大百科全书·自动控制与系统工程》卷指出:“系统工程是从整体出发,合理开发、设计、实施和运用系统的工程技术,它是系统科学中直接改造世界的工程技术。”

综上所述,系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科。它是把自然科学和社会科学中的某些理论、方法、思想、策略和手段等根据总体协调的需要,有机地联系起来,把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来,应用定量与定性分析相结合的方法和计算机等技术工具,对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务,从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的,以便充分地发挥人力、物力、财力的潜力,通过各种管理技术,使局部和整体之间的关系协调配合,以实现系统的综合最优化。

在科学技术的体系结构中,系统工程属于工程技术,但它与机械工程、电子工程、水利工程等工程学的某些性能不尽相同,各门工程学都有其特定的工程物质对象,而工程学的对象,则不限于某种特定的工程物质对象,任何一种物质系统都能成为它的研究对象,而且还不只限于物质系统,它可以包括自然系统、社会经济系统、管理系统、军事指挥系统等。

系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通的桥梁。现代数学方法与计算机技术,通过系统工程,为社会科学研究增加了极为有用的定量分析方法、模拟实验方法、建立数学模型的方法和优化方法。系统工程为自然科学研究提供了定性分析方法和辩证思维方法,以及深入剖析人与环境相互关系的方法,并为从事自然科学的科学技术人员和从事社会科学的研究人员之间的相互合作开辟了广阔的道路。

我国著名科学家钱学森提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构,认为从应用实践到基础理论,现代科学技术可以分为四个层次:首先是工程技术这一层次;再就是科学技术这一层次;然后是基础科学这一层次;最后通过进一步综合,提炼达到最高概括的哲学。在此基础上,钱学森同志又进一步提出了系统科学的体系结构。他认为系统科学是由系统工程这类工程技术、系统工程的理论方法(像运筹学、大系统理论等一类技术科学)及系统工程的理论基础(即系统学所组成的一类新兴科学),最后通过进一步综合,提炼达到最高概括的哲学。

1.2.2 系统工程的观念

1. 整体观念

树立整体观念就是要用系统的方法研究问题,在空间上树立全局观念,在时间上树立长远观念,立足总体,统筹全局,全面规划,协调处理,使系统的总体与要素、要素与要素、系统与环境达到辩证统一,协调融合。

系统的整体观念包含整体凸现原理和环境互塑共生原理。整体凸现原理说明整体具有组成系统的要素或要素总和没有的性质,即总体大于要素之和。环境互塑共生原理说明环境对系统有两种相反的作用或输入,一方面环境给系统提供生存发展所需的空间、资源;另一方面环境给系统施加约束、扰动、压力,甚至危害系统的生存发展,这是消极作用,是不利的输入,统称为压力。系统对环境也有两种相反的作用或输出。系统给环境提供功能服务,是积极的作