



系统工程与 航天系统工程管理

花禄森 等 编著



中国宇航出版社

系统工程与 航天系统工程管理

花禄森等编著



中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

系统工程与航天系统工程管理/花禄森等编著. —北京:
中国宇航出版社, 2007.3

ISBN 978-7-80218-210-3

I.系… II.花… III.①系统工程②航天系统工程—系
统管理 IV.N94 V57

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 012835 号

责任编辑 张铁钧 封面设计 03 工舍 责任校对 祝延萍

出 版
发 行

中国宇航出版社

社 址 北京市阜成路 8 号 邮 编 100830
(010)68768548

网 址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经 销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)

(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑

(010)68371105 (010)62529336

承 印 北京智力达印刷有限公司

版 次 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

规 格 880×1230 开 本 1/32

印 张 8.25 字 数 235 千字

书 号 ISBN 978-7-80218-210-3

定 价 28.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

前 言

中国的航天事业创建于1956年,至今已经走过了50年的奋斗历程,她从小到大,从弱到强,现已跻身世界航天先进之列。

中国航天事业的发展离不开党中央、国务院、中央军委和各级政府的领导、关怀和支持,也离不开全国人民和各行各业的大力支持,更离不开历代航天人的辛勤耕耘。中国航天人以国家和民族利益为己任,艰苦创业,无私奉献,开拓创新,负重拼搏,不断攀登新的科技高峰,创造出一个又一个航天奇迹,实现了华夏儿女几千年的飞天梦想。伟大的事业造就伟大的精神,伟大的精神成就伟大的事业。中国航天人在为航天事业做出巨大贡献的同时,还形成了更为珍贵的航天传统精神、“两弹一星精神”和“载人航天精神”,不仅对航天事业发展起到了巨大的推动作用,也对全社会的精神文明建设起到了重要的推动作用。

航天事业的发展依靠当代最先进科学技术的支撑,航天事业也推动和带动了科学技术的发展。导弹武器系统、运载火箭系统、卫星工程系统和载人航天系统等型号项目的研制与生产,始终与系统工程的理论和方法紧密地联系着。可以说,系统工程的理论保证了航天事业的发展,航天事业的发展也极大地推动了系统工程理论的完善、发展和提高。

笔者从事航天事业40余年,从切身的经历中深刻感受到,事业的发展呼唤科学技术、促进科学技术的创新;新的科学技术又推动着事业的蓬勃发展。我国航天系统工程就是在航天型号研制生产的需要中得到发展、而又不断推进航天型号研制工作的一个典范。

系统工程是以系统为研究对象,使系统整体达到协调和最优化的综合性理论和方法,是多学科综合交叉的新型学科,是处于发展中的工程技术,又是组织管理技术。随着科学技术和经济的发展,它的应

用已遍布社会、经济、军事、自然、生态等各个领域。

本书的重点不是论述和研究系统工程的基础理论和方法,而是根据航天型号研制的特点和规律,综合、引证系统工程的基础理论和方法,在总结经验的基础上,对科研工作中的重要环节及其管理工作加以归纳、提炼,有些是笔者多年研究和思考的成果。目的是为促进航天事业的发展贡献一份力量,为广大科技工作者提供一点参考,也可作为高等院校相关专业师生的学习资料。

本书共分7章,分别为系统工程概论、航天系统工程管理概述、航天型号系统工程研制管理、航天系统工程质量管理、航天系统工程计划管理、航天系统工程风险管理和航天系统工程文化管理,这些是航天系统工程管理的重点内容,并不涵盖航天系统工程管理的所有方面。

本书原是2005年国家软科学研究项目“航天企业技术创新体系及实现模式研究”的子项目,后经专家建议改写成专著。

笔者作为课题研究的负责人,在课题研究及文稿形成过程中承担了拟订大纲、提出重要观点、对各章进行修改和补充撰写,以及全书的统稿工作;修立军参与了大纲的制定和重要论点的讨论,承担第一章初稿的撰写和全书初稿的统稿工作;李承云参与了各次研究和讨论,并负责了有关的组织协调及资料收集整理工作;张海峰参加了多次讨论和文稿审改工作;童辉、高飞、强雁、吉静、张健壮、樊继浩分别承担了第二章到第七章的资料收集整理和初稿撰写工作。在课题研究过程中,得到了科技部软科学处赵刚处长的关心和帮助,得到了殷瑞钰院士、沈荣骏院士、李京文院士和童光荣教授、徐晓林教授等专家的指导,在此一并表示感谢。

在本书的成稿过程中,虽然进行了多次修改和补充,书中肯定还会有许多疏漏、不足甚至错误之处,望读者予以指正。

花禄森

2006年12月

目 录

第 1 章 系统工程概论	(1)
1.1 系统	(1)
1.1.1 系统的含义	(1)
1.1.2 系统的特征	(2)
1.2 系统工程的基本概念	(4)
1.2.1 系统工程的含义及特点	(4)
1.2.2 系统工程方法论	(6)
1.3 系统工程的理论基础	(18)
1.3.1 一般系统论	(19)
1.3.2 运筹学	(19)
1.3.3 控制论	(19)
1.3.4 信息论	(21)
1.3.5 突变论	(22)
1.3.6 协同论	(23)
1.3.7 耗散结构理论	(24)
1.3.8 混沌系统理论	(24)
1.4 系统工程对我国航天事业发展的重要作用	(25)
参考文献	(28)
第 2 章 航天系统工程管理概述	(29)
2.1 航天型号简介	(29)
2.1.1 弹道导弹武器系统	(29)
2.1.2 飞航(巡航)导弹武器系统	(30)
2.1.3 防空导弹武器系统	(31)
2.1.4 运载火箭系统	(33)
2.1.5 卫星系统	(34)

2.2	航天系统工程	(35)
2.2.1	航天系统工程的含义	(36)
2.2.2	航天系统工程的特点	(37)
2.3	航天系统工程管理	(39)
2.3.1	管理	(39)
2.3.2	航天系统工程管理的基本概念	(43)
	参考文献	(63)
第3章	航天型号系统工程研制管理	(65)
3.1	航天型号系统工程研制程序	(65)
3.1.1	国外航天型号系统研制程序简介	(65)
3.1.2	我国航天型号系统工程研制程序	(69)
3.2	航天型号系统工程研制阶段及系统工程管理工作	(73)
3.2.1	论证阶段	(73)
3.2.2	方案阶段	(74)
3.2.3	工程研制阶段	(75)
3.2.4	定型阶段	(78)
3.3	航天型号系统工程组织管理	(80)
3.3.1	“两条指挥线”的历史、现状与发展	(80)
3.3.2	“两条指挥线”的组成	(81)
3.3.3	“两条指挥线”的运行	(83)
3.4	以系统工程理论为指导建设总体设计部(所)	(89)
3.4.1	总体设计部(所)的技术管理职能	(89)
3.4.2	总体设计部(所)的管理体制和职责	(89)
3.4.3	总体设计部(所)的经费保障	(91)
3.5	航天系统工程项目管理	(91)
3.5.1	项目的一般特征	(92)
3.5.2	项目管理的一般概念	(93)
3.5.3	项目管理的主要工作内容	(94)
3.5.4	项目管理的组织结构	(94)
3.5.5	项目经理应具备的条件	(95)
	参考文献	(96)

第4章 航天系统工程质量管理	(97)
4.1 航天系统工程质量的地位和意义	(97)
4.1.1 质量是生命	(98)
4.1.2 成功是硬道理	(98)
4.1.3 质量与进度对立统一	(101)
4.1.4 质量管理的系统工程过程	(102)
4.2 航天系统工程质量体系建设	(103)
4.2.1 参研单位质量体系建设	(107)
4.2.2 型号大纲	(112)
4.2.3 型号系统质量体系建设	(124)
4.3 航天系统工程质量制度建设	(126)
4.3.1 “严肃认真、周到细致、稳妥可靠、万无一失” 的工作方针	(128)
4.3.2 “严、慎、细、实”的工作作风	(130)
4.3.3 航天质量保障措施	(131)
4.4 航天型号质量系统工程过程控制	(134)
4.4.1 论证阶段质量控制	(134)
4.4.2 方案阶段质量控制	(137)
4.4.3 工程研制阶段质量控制	(139)
4.4.4 定型阶段质量控制	(143)
4.4.5 生产过程质量控制	(145)
4.4.6 产品交付质量控制	(146)
4.4.7 技术状态管理质量控制	(146)
4.4.8 放行准则	(147)
参考文献	(151)
第5章 航天系统工程计划管理	(152)
5.1 航天系统工程计划及计划管理	(152)
5.1.1 规划与计划	(152)
5.1.2 计划管理的含义	(153)
5.1.3 计划管理的特征	(154)
5.1.4 计划管理的任务	(155)

5.2	航天系统工程计划的编制	(156)
5.2.1	航天系统工程计划编制的原则与依据	(156)
5.2.2	航天系统工程计划的分类	(158)
5.2.3	航天系统工程计划制定的方法	(159)
5.3	航天系统工程计划管理的目标、方法及手段	(165)
5.3.1	航天系统工程计划管理的目标	(165)
5.3.2	航天系统工程计划管理的方法	(167)
5.3.3	航天系统工程计划管理的手段	(171)
5.4	航天系统工程计划管理的应用	(175)
5.4.1	航天型号研制计划管理	(175)
5.4.2	航天型号各研制阶段计划管理	(177)
5.4.3	大型试验计划管理	(183)
	参考文献	(183)
第6章	航天系统工程风险管理	(184)
6.1	风险管理概述	(184)
6.1.1	风险及风险管理	(184)
6.1.2	航天型号研制中风险的起因	(186)
6.1.3	航天型号研制中风险的分类	(187)
6.1.4	我国导弹武器研制的主要风险	(187)
6.1.5	导弹武器研制风险管理的基本原则	(191)
6.2	风险管理过程	(191)
6.2.1	风险规划	(192)
6.2.2	风险评估	(192)
6.2.3	风险处理	(198)
6.2.4	风险监控	(200)
6.3	导弹武器研制风险管理	(200)
6.3.1	论证阶段的风险管理	(200)
6.3.2	方案阶段的风险管理	(201)
6.3.3	工程研制阶段的风险管理	(201)
6.3.4	定型阶段的风险管理	(201)
6.3.5	导弹武器系统研制风险管理的经验	(202)

6.4	软件的风险管理	(207)
6.4.1	初始阶段风险	(208)
6.4.2	设计阶段风险	(208)
6.4.3	实施阶段风险	(208)
6.4.4	收尾阶段风险	(209)
6.4.5	软件风险管理的特点	(209)
6.4.6	软件风险管理的原则	(209)
6.5	国家有关武器装备研制风险管理的政策	(211)
6.5.1	风险管理准则	(211)
6.5.2	使用方职责	(212)
6.5.3	承制方职责	(212)
6.6	风险管理的一般方法与技术	(213)
6.6.1	“3F”技术	(214)
6.6.2	网络计划技术	(217)
6.6.3	寿命周期费用分析	(221)
6.7	风险管理的未来地位	(225)
	参考文献	(225)
第7章	航天系统工程文化管理	(227)
7.1	文化与航天文化内涵	(227)
7.1.1	文化内涵	(227)
7.1.2	航天文化的含义	(228)
7.1.3	航天文化的主要内容	(228)
7.1.4	航天文化的特征	(230)
7.2	航天精神	(232)
7.2.1	大局意识	(233)
7.2.2	奉献精神	(234)
7.2.3	拼搏精神	(234)
7.2.4	协同理念	(234)
7.3	航天文化管理	(235)
7.3.1	文化管理的内涵	(235)
7.3.2	航天文化管理的含义	(236)

7.3.3 航天文化管理的实施	(238)
7.4 航天文化建设	(243)
7.4.1 航天精神的提炼和宣传	(243)
7.4.2 航天型号思想政治工作保障体系建设	(246)
7.4.3 航天质量文化建设	(248)
参考文献	(251)

第 1 章 系统工程概论

1.1 系统

1.1.1 系统的含义

“系统”是整个系统科学中最基本的概念。系统(System)一词最早出自于古希腊语“Syn-Histanai”一词,原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置,也就是部分组成的整体。近代一些科学家和哲学家常用系统一词来表示复杂的具有一定结构的研究对象,如天体系统、人体系统、导弹武器系统等。从中文字面上看,“系”指关系、联系;“统”指有机统一,“系统”则指按一定联系组成的整体。美籍奥地利生物学家 L·V·贝塔朗非(Ludwing Von Bertalanffy)于 1937 年第一次将系统作为一个重要的科学概念予以研究,他认为,“系统的定义可以确定为处于一定相互关系中并与环境发生关系的各组成部分的总体”。

系统的定义依照学科的不同、待解决问题的不同及使用方法的的不同而有所区别,国外关于系统的定义已达 40 余种,其中有代表性的有以下几种。

R·吉布松定义系统是“互相作用的诸元素的整体化总和,其使命在于以协作方式来完成预定的功能”。

B·H·萨多夫斯基认为,系统是“互相联系着并形成某种整体性统一的诸元素按一定方式有秩序地排列在一起的集合”。

N·B·布拉乌别尔格、B·H·萨多夫斯基和尤金指出,“从系统的整体性出发,可以从性质方面通过下列特征给系统概念下定义:1) 系统是由相互联系的诸元素组成的整体性复合体;2) 它与环境组成特殊的统一体;3) 任何被研究的系统通常都是更高级系统的元素;4) 任何被研究的系统的元素通常又都作为更低一级的系统。”

美国国家宇航局《系统工程手册》定义系统是“由相互关联的部分组成的整体,这些部分在一定组织方式下相互作用以达到一个共同的目的”。

《韦氏大辞典》解释系统为“有组织的或被组织化的整体,结合构成整体所形成的各种概念和原理的综合,以有规则的相互作用和相互依存的形式结合起来的诸要素的集合等”。

日本工业标准(JIS)定义系统为“许多组成要素保持有机的秩序,向同一目标行动的事物”。

综上所述,系统概念同其他认识范畴一样,描述的是一种理想的客体,而这一客体在形式上表现为诸要素的集合。

我国系统科学界较为通用的定义是:“系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分(要素)结合而成的、具有特定功能的有机整体。”据此定义,系统必须具备三个条件:第一,系统必须由两个或两个以上的要素(或部分、元素、子系统)所组成,要素是构成系统的最基本单位,因而也是系统存在的基础和实际载体,系统离开了要素就不能被称为系统;第二,要素与要素之间存在着一定的有机联系,从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序,任何一个系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分(要素),这样,系统整体与要素、要素与要素、整体与环境之间,存在着相互作用和相互联系的机制;第三,任何系统都有特定的功能,这是整体具有不同于各个组成要素的新功能,这种新功能是由系统内部的有机联系和结构所决定的。

1.1.2 系统的特征

系统具有以下共同属性:整体性、集合性、层次性、相关性、目的性以及环境适应性。这些属性是系统与非系统的本质区别。

1. 整体性

系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素,按照作为系统所应具有的综合整体性而构成的。系统整体性说明,具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系(相关性、层次性)是根据逻辑统一性的要求,协调存在于系统整体之中。就是说,任何一个要素不能离开整体而存在,要素间的联系和作用也不能脱离整体的协调而存在。系

统不是各个要素的简单集合,否则它就不会具有作为整体的特定功能。脱离了整体性,要素的机能和要素间的作用便失去了原有的意义,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是很完善的,但它们也可以协调、综合成为具有良好功能的系统。反之,即使每个要素都是良好的,但作为整体却不具备某种良好的功能,也就不能称之为完善的系统。

2. 集合性

把一些具有某种属性的对象看成一个整体,从而形成一个集合。集合里的各个对象叫做集合的各个要素(子集)。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、组织等。例如,一个武器系统是由相互关联的各分系统集合而成的,与武器系统相配套的软件也构成一个完整的系统。

3. 层次性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体,可以分解为一系列的子系统,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的从属关系或相互作用关系。在不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流,构成系统的运动特性,为深入研究系统层次之间的控制与调节功能提供了条件。因此,各个复杂系统可以按不同层次进行分解,由繁到简,直至最基本的单元,从而为人们研究系统提供了条件。

4. 相关性

组成系统的要素是相互联系、相互作用的,相关性说明这些联系之间的特定关系,以及这些关系之间的演变规律。系统通过各子系统相互协调的运转去完成特定目标。各子系统之间具有密切的关系,相互影响、相互制约、相互作用,牵一发而动全身。系统要求各个子系统服务于系统的整体目标,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率。

5. 目的性

通常,系统都具有某种目的性。要达到既定的目的,系统就需要具有一定的功能,而这正是一系统区别于另一系统的标志。系统的目的一般用更具体的目标来体现,对于比较复杂的大系统或巨系统而言,都有不止一个的目标,因此,需要用一个指标体系来描述系统的目标。比如,衡量一个工业企业的经营业绩,不仅要考核它的产量、产值指标,而且要考核它的成本、利润、安全和质量指标的完成情况。在指标体系中各个指标之间有时是相互矛盾的,有时是互为消长的。为此,要从整体出发,力求获得全局最优的效果,这就要求在矛盾的目标之间做好协调工作,寻求平衡或折中方案。

为了实现系统的目的,系统必须具有控制、调节和管理功能。管理的过程也就是使系统有序化的过程,通过管理,系统能够达到与系统目的相适应的状态。

6. 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、能量和信息的交换,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。只有经常与外界保持最优适应状态的系统,才是保持不断发展势头的理想系统。

1.2 系统工程的基本概念

1.2.1 系统工程的含义及特点

系统工程是一门正处于发展阶段的新兴学科,应用领域十分广泛。由于它与其他学科相互渗透、相互影响,因此不同专业领域的学者对它的理解不尽相同,要给出一个统一的定义比较困难。国内外学术和工程界对系统工程的不同定义可以为我们认识系统工程提供参考。

1967年,美国著名学者 H·切斯特纳(H. Chestnut)在其所著的《系统工程学的方法》中指出:“系统工程学是为了研究由多个子系统构成的

整体系统所具有的多种不同目标的相互协调,以期达到系统功能的最优化,最大限度地发挥系统组成部分的能力而发展起来的一门科学。”

1976年,美国《科学技术辞典》中的定义是:“系统工程是研究彼此密切联系的许多要素所构成的复杂系统的设计的科学。在设计这种复杂系统时,应有明确的预定功能及目标,同时在组成它的各要素之间及各要素与系统整体之间又必须能够有机联系、配合协调,以使系统总体达到最优目标。在设计时还要考虑到参与系统中人的因素和作用。”

1971年,东京工业大学寺野寿郎教授在其所著的《系统工程学》一书中定义:“系统工程学是为了合理地开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和手法等的总称。”

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、信息流动和控制机构进行分析和设计的技术。”

美国国防部系统管理学院的《系统工程原理》指出:“系统工程由两个要素部分组成,即系统工程运行的技术知识领域和系统工程管理。”

1979年,我国著名学者钱学森等在《组织管理的技术——系统工程》一文中指出:“把极其复杂的研制对象称为系统。即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成具有特定功能的有机整体,而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分……系统工程学则是组织管理这种系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”

《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》中的定义为:“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。”

还有学者认为,系统工程是研究具有系统意义的问题。在现实生活和理论探讨中,凡着眼于处理部分与整体、差异与统一、结构与功能、自我与环境、有序与无序、行为与目的、阶段与全过程等相互关系的问题,都是具有系统意义的问题。

我国著名管理学家汪应洛在其所著的《系统工程理论、方法与应

用》中指出：“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的某些思想、理论、方法、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，应用定量分析和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，以便最充分地发挥人力、物力的潜力，通过各种组织管理技术，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。”

综合上述各种观点，本书的界定是：系统工程是跨越多学科的边缘学科，是现代化的组织管理技术，属于工程技术范畴。系统工程具有以下一些特征。

- 1) 研究对象是具有普遍意义的系统，特别是大系统；
- 2) 既是一种方法论，又是一种组织管理技术；
- 3) 涉及到许多学科的边缘科学与交叉学科；
- 4) 是研究系统所需的一系列思想、理论、程序、技术、方法的总称；
- 5) 在很大程度上依赖于电子计算机；
- 6) 强调定量分析与定性分析的有机结合；
- 7) 是研究具有系统意义的问题；
- 8) 着重研究系统的构成要素、组织结构、信息交换与反馈机制；
- 9) 所追求的是系统的总体最优以及实现目标的具体方法和途径的最优。

1.2.2 系统工程方法论

系统的出现，在很大程度上改变了人们的思维方式，使人们逐渐从传统的以“实物为中心”的方式过渡到主要以“系统为中心”的方式，以“系统为中心”的思维方式在方法论上的具体化便形成了系统工程方法论，即以系统工程思考问题和处理问题的思想方法、理论基础、基本程序和方法步骤。系统工程方法论是一种将分析对象作为整体系统来考虑，在此基础上进行分析、设计、制造和使用的基本思想方