

航天信息化综合集成

张峰 薛惠锋 薛昱 著



科学出版社

航天信息化综合集成

张峰 薛惠峰 薛昱 著

科学出版社

内 容 简 介

本书由长期从事航天航空企业信息化应用研究、具有组织和主持多项大型信息化工程实践经验的作者撰写。主要以云集成作为综合集成技术支撑点展开,全面论述面向服务的航天信息化集成方法,应用系统工程思想贯穿全书创作,结合当前主流 IT 集成技术,提出数字化样机设计集成、基于物联网的产品生产管理集成、协同制造过程集成、生产管理运营集成和基于云服务的系统集成。五大集成综合起来,形成初步的航天信息化云集成平台,实现航天大型复杂产品数字化的系统设计、总体布局,实现从综合集成到综合提升的跨越,为后续的技术展开研究提供理论指导。

本书可作为工程技术人员、研究生关于航天信息化培养的统一教程、航天信息化发展的智库参考资料,为航天信息化综合集成提供理论、方法与技术支撑,成为航天信息化建设的自主规范准则。

图书在版编目(CIP)数据

航天信息化综合集成 / 张峰, 薛惠锋, 薛昱著. —北京: 科学出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-03-041607-0

I. 航… II. ①张… ②薛… ③薛… III. 航天工程—信息系统集成 IV. V57

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 183785 号

责任编辑: 李 敏 周 杰 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

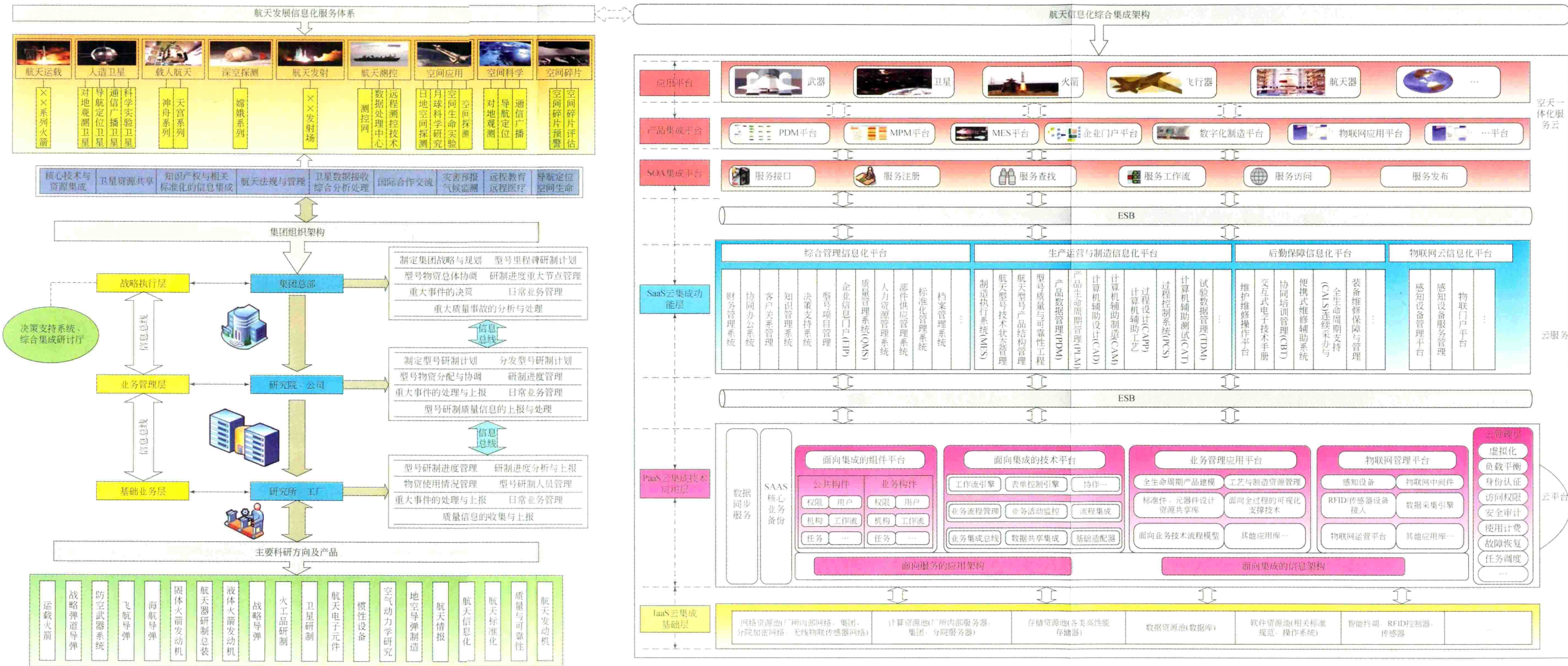
2015 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张: 32 3/4 插页: 2

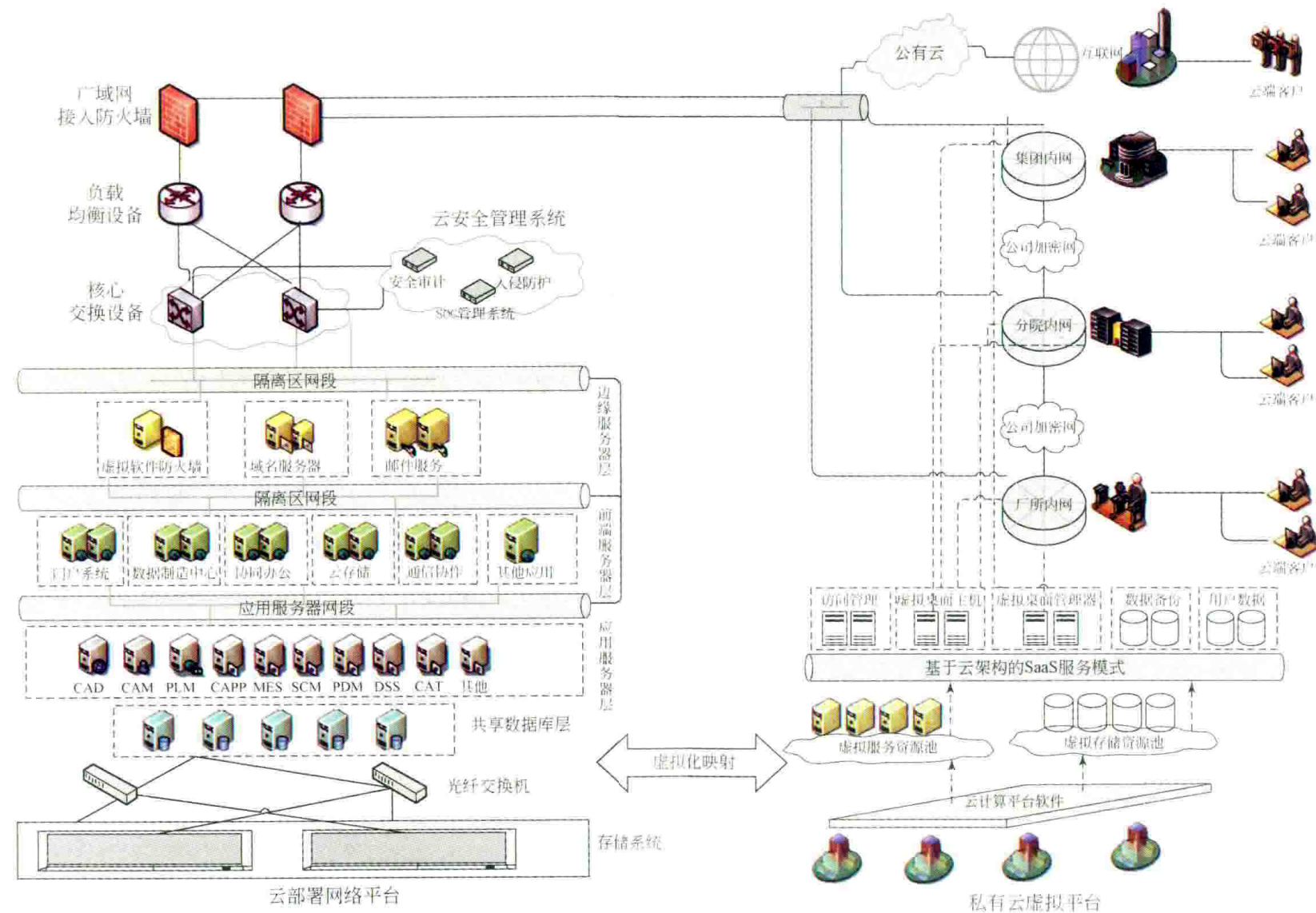
字数: 1 000 000

定价: 138.00 元

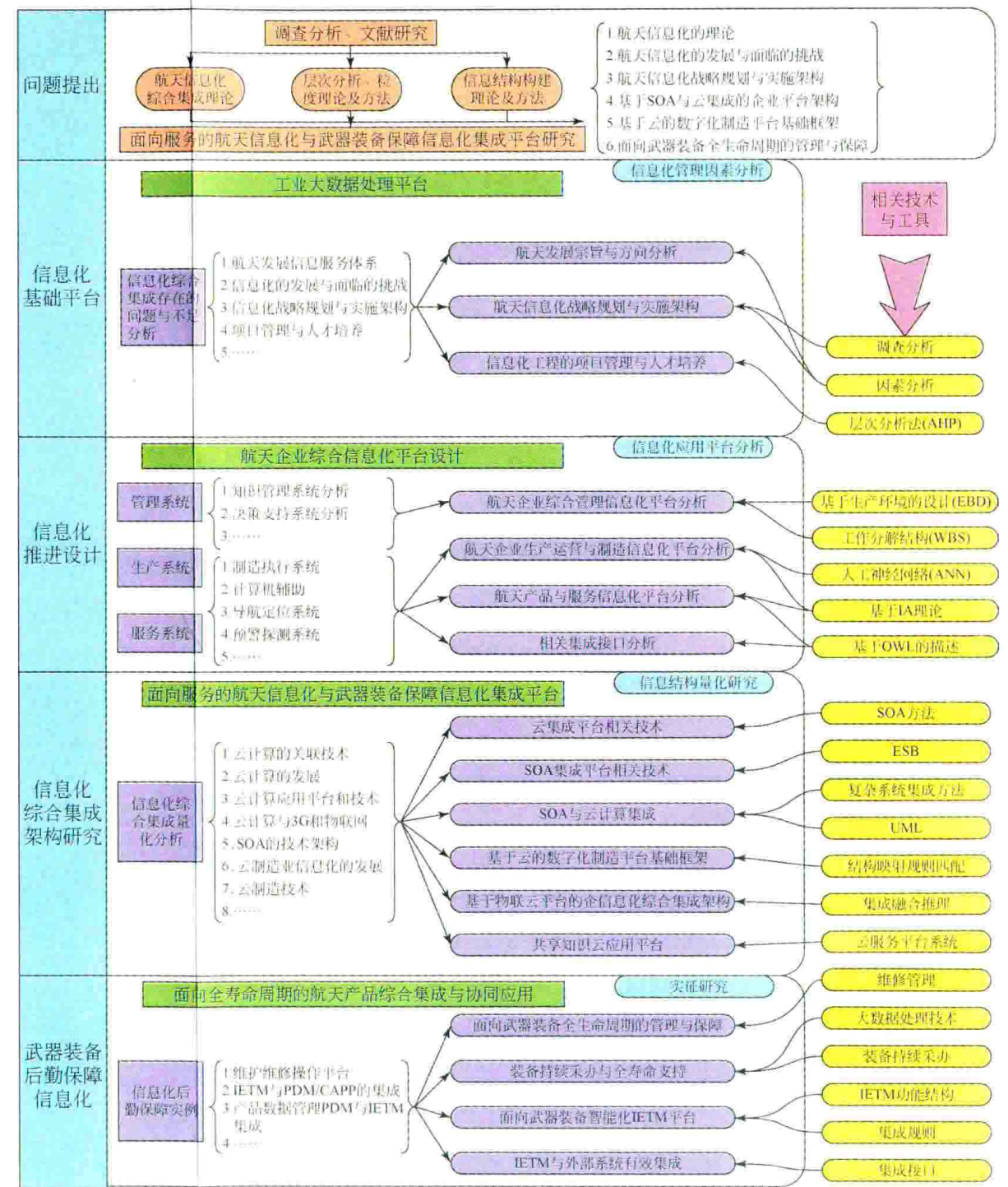
(如有印装质量问题, 我社负责调换)



航天信息化综合集成图



航天信息化综合集成网络结构图



航天信息化综合集成创作路线图

序

当今，全球信息化浪潮正改变着人类的生产、生活和思维方式，一场新的技术革命正在将人类从工业文明时代带入信息化文明时代。有效地将信息化融入并贯穿到航天科研管理与生产建设中，是航天强国顺应时代潮流、实施创新驱动战略的必然选择。航天科技工业具有跨地域、跨专业、跨组织协同等特点，囊括弹、箭、星、船、器等众多科技高新工程，汇集设计、制造、试验与管理等众多学科领域，如何通过信息化的综合集成建设来提升各参与单位的协同工作效率，加速各学科知识紧密融合，提高科研生产效率和航天工程的建设速度，是当前航天信息化亟待解决的关键问题。航天信息化是一项复杂的系统工程，而综合集成方法论起源于钱学森同志提出的“从定性到定量的综合集成方法”，并在我国航天和国民经济领域得到应用，取得了显著的成绩。因此，在新时期，以综合集成方法论为指导，为航天信息化建设提供理论指导、方法与技术支撑具有划时代的意义。

从事我国航天咨询与信息化的博士研究生导师薛惠锋教授提出了《航天信息化综合集成》的总体思想和框架，并带领博士研究生张峰、薛昱完成了该书的撰写。该书顺应信息化发展潮流和我国航天工业实际需求，以综合集成方法论为指导，解决我国航天信息化的复杂系统工程问题，具有较高的学术水平与应用价值。该书以综合集成思想贯穿全文，立足国内外最新科技前沿，分析我国航天信息化发展现状与矛盾，并提出解决方案。该书采用综合集成的系统工程方法，为航天信息化综合集成提供了理论与技术支撑，并成为航天信息化建设的自主范式。该书集成云计算、空间大数据、工业大数据、云集成、物联网、SOA、IETM 和 CALS 等新技术，构建航天巨系统的运行管理体系和高技术复杂型号产品的数字化系统设计、制造、试验与管理的数字化工程管理体系，以信息纵向贯通、横向集成为标志，实现航天信息化从综合集成到综合提升的跨越。

该书以航天信息化综合集成架构为基础，定位于航天信息化建设理论和策略方法，从信息化基础、信息化综合集成架构、信息化综合集成业务、信息化综合集成案例和武器装备后勤保障信息化五个方面对航天信息化建设全生命周期展开系统分析。

第一部分为信息化基础篇，主要从航天信息化的服务和管理的视角出发，介绍航天信息化的基础理论，分析航天信息化的发展及面临的挑战，给出航天信息化的战略规划和实施构架，并讨论航天信息化工程的项目管理与人才培养的重要性，共 5 章。第 1 章为航天发展信息化服务体系，主要论述航天的发展原则、发展方向、发展任务，国际交流与合作，载人航天计划等；第 2 章为航天信息化的理论基础，主要结合航天事业的信息化建设，系统地分析航天信息化的作用、原则和必要性，提出了信息化的主要内容、建设过程及常见的问题与风险规避策略；第 3 章为航天信息化的发展与面临的挑战，主要从我国航天信息化的发展与面临的挑战进行探讨，探索自主的信息化发展之路，提出了我国航天信息化发展特色与目标；第 4 章为航天信息化战略规划与实施架构，主要结合航天事业的信

息化建设进行系统研究；第5章为航天信息化工程项目管理与人才培养，主要论述航天信息化工程项目管理与人才培养的过程与方法。

第二部分为信息化综合集成架构篇，主要在理论上叙述了综合集成的理论与技术，对当前一些应用比较广泛的IT进行介绍，如云计算、大数据、物联网、SOA等，并利用这些主流IT从管理、技术、制造和系统开发等方面进行综合集成，提供统一的基于云的平台架构，共6章。第6章为综合集成理论与技术，主要论述综合集成理论与方法、集成技术和综合集成研讨厅体系；第7章为云集成平台技术及应用，主要论述云计算相关知识，便于帮助企业建设基于云的信息化平台；第8章为大数据集成技术及应用，主要论述产生的背景、处理技术及空间大数据的应用；第9章为物联网技术及应用，主要论述物联网技术、架构、标准体系及其关键技术的应用；第10章为SOA集成平台技术及应用，主要在信息化综合集成中进行系统研究；第11章为SOA与云计算集成，通过对云集成逻辑结构的探讨，提出一种基于云集成的企业集成平台，并在云集成架构中融入SOA服务体系，作为建立云集成架构的一个解决途径。

第三部分为信息化综合集成业务篇，主要论述航天企业的综合管理信息化平台、生产运营与制造信息化平台以及航天产品与服务信息化平台，共3章。第12章为航天企业综合管理信息化平台，对当前航天企业信息平台的构成进行分析，包括财务、协同办公、客户关系管理、知识管理、决策支持、多型号项目管理、质量管理、人力资源管理、部件供应管理、档案管理，并提出集成架构，解决航天信息化集成问题；第13章为企业生产运营与制造信息化平台，对制造执行系统、产品结构管理系统、产品数据管理及生命周期管理、计算机辅助技术、计算机集成制造系统等进行简要的介绍，在分析现有的生产运营系统的基础上，提出各生产系统之间的集成架构，实现各系统间的无缝集成；第14章为航天产品与服务信息化平台，对构成平台的各个子系统进行介绍，包括导航定位系统、GPS的应用、移动互联网、综合电子信息系统、网络通信系统、指挥控制系统、情报侦察系统和预警探测系统。

第四部分为信息化综合集成案例篇，主要论述基于物联云的数字化制造平台基础框架和航天信息化系统综合集成过程，共2章。第15章为基于物联云的数字化制造平台基础框架，主要论述云制造相关技术及集成架构，内容包括云制造、集成与协同技术、云制造技术和云制造集成平台；第16章为航天信息化系统综合集成过程，主要阐述综合集成方法，通过综合集成方法综合分析航天信息化系统集成应用模式和应用系统集成复杂性。内容主要包括航天信息化数字样机综合集成技术，面向物联网的实物产品数字化标识、智能管控、信息安全技术，基于数字样机的制造相关技术，基于精益生产和ERP系统的生产计划集成技术，基于云服务的产品全生命周期协同研制技术，全生命周期的云知识服务技术，大型复杂产品综合环境适应性协同仿真技术，三维装配工艺的集成应用技术，基于异构环境的管理与工程协同集成技术，虚拟验证技术，等等。

第五部分为武器装备后勤保障信息化篇，主要论述面向武器装备全生命周期的管理与保障、面向武器装备智能化IETM平台和基于单一数据源的IETM系统，共3章。第17章为面向武器装备全生命周期的管理与保障，主要论述武器系统的维护、维修和运行平台，便携式维修辅助系统，装备持续采办与全寿命支持，并试图将这些子系统进行综合集成；

第 18 章为面向武器装备智能化的 IETM 平台，主要论述大型复杂产品在论证、设计、制造、试验、使用、保障、管理过程中的技术资料管理方法，介绍有关的 IETM 标准及如何选择；第 19 章为基于单一数据源的 IETM 系统，主要通过一个案例论述 IETM 的应用过程。

该书既是作者长期从事系统工程和企业信息化研究工作的高度概括，也是近年来国内外在该领域新学术思想和成果的集成。该书以云集成作为综合集成技术支撑点展开，应用系统工程思想，结合当前主流 IT，提出基于物联网的生产运营管理集成和产品生产管理、数字化样机设计、协同制造过程集成以及基于云服务的系统集成理论和方法，形成初步的航天信息化云集成平台，为后续的技术开发提供理论指导。

该书不失为一部论述信息化和推动航天工业信息化建设的好书，具有较高的参考价值。该书的出版对促进系统工程学科的发展和推进大型复杂系统的信息化综合集成，都将起到重大的作用。

中国工程院院士

张履谦

2014 年 10 月 30 日于北京

前 言

本书的形成

大型复杂产品通常由几百个单位参与论证、设计、制造、试验、使用、保障、管理，研制周期和使用保障周期长达几十年。依据“十二五”规划及后续一定时期内国家和军队发展的需求，以超声速巡航复杂产品为代表的型号研制特别是大型复杂产品的地面实验条件具备模拟难、指标要求高、一体化程度高、设计制造难度大等一系列特点，同时随着型号进入立项阶段，面临着总体优化技术、多类目标制导控制一体化优化设计技术等一系列关键技术问题，需要解决。这些工作面临着技术要求高、制造难度大、时间周期短、集成协同程度高、项目管理复杂等很多难题。航天信息化关键是应用“信息流”打通航天制造领域“任督二脉”，以“信息流”为核心，以产品为“作战单元”，应用物联网相关技术把涉及某类产品研制的各种设备集中在一起，解决生产信息割裂、零散，打包难的问题。

航天信息化来源于中国的自主航天发展，丰富和发展了航天事业的应用。航天信息化智慧应立足于航天，服务于全人类的社会经济发展。十八大报告提出，“加快推进国防和军队现代化”，“按照国防和军队现代化建设‘三步走’战略构想，加紧完成机械化和信息化建设双重历史任务，力争到二〇二〇年基本实现机械化，信息化建设取得重大进展”，“提高以打赢信息化条件下局部战争能力为核心的完成多样化军事任务能力”，“坚定不移把信息化作为军队现代化建设发展方向，推动信息化建设加速发展”，“深入开展信息化条件下军事训练，增强基于信息系统的体系作战能力”。

本书依据力求反映信息技术的新发展、理论与工程实践相结合的原则编写，立足于国际、国内视野，定位我国航天信息化发展现状与矛盾，研究我国航天信息化大框架构成，在此大框架基础上探寻此方面的主要矛盾和问题，分清哪些是体制、管理问题，哪些是立法、执法问题，哪些是投入、人才问题，等等。以航天信息化发展的现状、目标以及需求的介绍作为基础知识背景，针对项目管理、决策支持的应用，将航天信息化建设和系统工程学科思想有机结合起来，利用系统工程解决航天信息化管理过程中的问题，进而对航天信息化建设的思路 and 规划提出建议，实现航天大型复杂产品数字化的系统设计、总体布局，实现从综合集成到综合提升的跨越。同时，介绍国内外尖端的 IT 及集成应用。

作为当今信息时代最主要、最重要的资源，信息不分时域、空域，无处不在。信息交换和共享，不断改变着人们的生产方式和生活方式。利用先进的信息技术，实现航天信息化，提高生存和发展能力。航天信息化建设要用新的观念、新的思路、新的理论来推进，但航天信息化不只是信息技术本身的问题，更重要的是信息技术在航天各领域能得到充分渗透；在渗透过程中，通过航天信息化，不断优化组织结构，调整企业管理体制和运行机

制，关键是实现资源共享，实现信息和知识的共享。共享程度越高，信息和知识作为生产要素的价值越高，对解放和提高生产力的贡献就越大。

航天信息化工程是一项涉及面广且极为复杂的系统工程，研究对象不只是系统、计算机网络设备，更多的是企业的管理体制和运行机制，以及应用信息系统的人。航天企业已进入“大数据”时代，企业管理数据的规模、种类和复杂度都在以前所未有的速度呈爆炸式增长，源自各种系统、设备和应用程序的数据量激增，使用传统软件解决方案，在可以接受的时间内完成这些数据的采集、管理和处理会非常困难。系统综合集成是在系统工程科学方法的指导下，根据用户需求，优选各种技术和产品，将各个分离的子系统连接为一个完整、可靠、有效的整体，使之能互相协调工作，发挥整体效益，达到整体性能最优。人的观念、意识、素质和技能，以及企业管理是否规范等都直接影响信息化工程的成功与失败。研究对象的多变性、随机性和复杂性使得信息化工程组织、管理与应用极为复杂，难度很大。另外，关键的信息技术掌握在发达国家手中，信息化应用技术研究力度不够，是造成信息化工程失败的重要原因。

我们在大量的信息化工程实践中，通过对信息化基本理论和基础知识的学习，总结国内外信息化成功经验与失败教训；探讨信息化的基本规律，提出“阶段性、时效性、集成性、持久性”信息化总体建设策略，以及信息化工程组织、建设与应用模型。本书是作者多年从事企业信息化实践及研究的成果，是作者组织和主持 30 多项大型信息化工程的经验总结，是作者指导大量信息化工程实践并取得成功的案例。

本书的组织结构

全书共五部分 19 章。第一部分（第 1~5 章），信息化基础篇。第 1 章，航天发展信息化服务体系；第 2 章，航天信息化的理论基础；第 3 章，航天信息化的发展与面临的挑战；第 4 章，航天信息化战略规划与实施架构；第 5 章，航天信息化工程项目管理与人才培养。第二部分（第 6~11 章），信息化综合集成架构篇。第 6 章，综合集成理论与技术；第 7 章，云集成平台技术及应用；第 8 章，大数据集成技术及应用；第 9 章，物联网技术及应用；第 10 章，SOA 集成平台技术及应用；第 11 章，SOA 与云计算集成。第三部分（第 12~14 章），信息化综合集成业务篇。第 12 章，航天企业综合管理信息化平台；第 13 章，企业生产运营与制造信息化平台；第 14 章，航天产品与服务信息化平台。第四部分（第 15、16 章），信息化综合集成案例篇。第 15 章，基于物联云的数字化制造平台基础框架；第 16 章，航天信息化系统综合集成过程。第五部分（第 17~19 章），武器装备后勤保障信息化篇。第 17 章，面向武器装备全生命周期的管理与保障；第 18 章，面向武器装备智能化的 IETM 平台；第 19 章，基于单一数据源的 IETM 系统。

薛惠锋负责全书的总体构思、策划及框架设计，并对章节进行划分，指导具体内容；博士研究生薛昱具体负责撰写第 1~3 章，博士研究生张峰具体负责撰写第 4~19 章。

本书的特点和优势

(1) 本书是国内航天信息化方面的重要教程，信息化知识全面，理论联系实践。与同

类图书相比,本书在内容设计上注重结合最新航天信息化技术进行讲解,内容涉及航天信息化的各个应用方面,使自学者能够全面掌握航天信息化过程中涉及的各种知识,而不是只介绍信息化技术。本书内容全面,主要涵盖了航天信息化的发展、分类和标准及面临的挑战,信息化战略规划与实施架构,系统工程导向的信息化新理念与新框架,航天信息化未来发展方向及思路,航天信息化安全与保密,航天信息化工程的项目管理与人才培养,云计算,空间大数据,工业大数据,云集成,物联云平台,SOA 技术,IETM 技术,CALS 技术等。

(2) 本书最大的特点是应用系统工程思想贯穿全流程,系统工程与航天信息化思想高度统一、高度和谐,立足国内外视野,分析中国航天信息化发展现状与矛盾,介绍国内外尖端的 IT。提出数字化样机设计集成、基于物联网的产品生产管理集成、协同制造过程集成、生产管理运营集成和基于云服务的系统集成。五大集成综合起来,形成初步的航天信息化云集成平台。

(3) 内容丰富,逻辑性强,文字流畅,通俗易懂。本书为读者提供了 350 多张图片,尽量做到循序渐进,尽量从读者的角度去理解和把握各种概念和技术。

(4) 及时跟随动态。本书对当前国内外信息化最前沿的技术应用做了详细的介绍。

(5) 通过搭建云计算平台,建设统一的云计算业务平台、统一的基础架构支撑平台,集中承载业务应用系统,同时面向企业用户服务;实现统一管理、统一运维、统一支撑、统一标准,建立健全一套信息化协调发展的运行机制、创新业务应用模式和管理机制,推动业务基础设施统建共用,提升 IT 基础设施建设和运行维护的专业化水平。

本书参考了国内外大量的相关文献资料,吸取了国内外同行在信息化集成方面的宝贵经验。可以说,本书是集体智慧的结晶。在此,对所有给予我们支持和帮助的朋友、同事、有关人员及参考文献的作者一并表示衷心感谢。本书建立在读者具备一定信息化系统和计算机相关知识的基础上,着重应用系统工程思想解决大型复杂产品信息化综合集成过程中各个环节用到的技术集成问题。由于作者水平有限,书中错误在所难免,真诚希望广大读者提出宝贵意见。如果读者在阅读本书过程中遇到疑难问题,可以把问题发到电子信箱 tfnew21@sina.com,共同交流探讨。

作 者

2014 年 8 月

目 录

第一部分 信息化基础篇

第1章 航天发展信息化服务体系	3
本章学习路线图	3
1.1 航天发展概述	3
1.2 航天发展宗旨与方向	5
1.3 发展政策与措施	22
1.4 国际交流与合作	23
1.5 载人航天计划	23
参考文献	24
第2章 航天信息化的理论基础	25
本章学习路线图	25
2.1 什么是信息化	26
2.2 认识航天信息化	29
2.3 航天信息化的现状	31
2.4 航天信息化的必要性	33
2.5 航天信息化的建设过程	33
2.6 航天信息化建设常见的问题	33
2.7 航天信息化建设的风险规避	34
2.8 航天信息化建设的关键点	35
2.9 信息化发展的国内外未来大环境背景	36
参考文献	38
第3章 航天信息化的发展与面临的挑战	39
本章学习路线图	39
3.1 航天信息化内涵	39
3.2 立足自主的信息化发展之路	41
3.3 中国航天信息化发展的矛盾	42
3.4 中国航天信息化问题及解决途径	42
3.5 中国航天信息化发展特色与目标	45
3.6 中国航天信息化水平的提升	46
参考文献	47

第4章 航天信息化战略规划与实施架构	48
本章学习路线图	48
4.1 航天信息化规划的内涵	49
4.2 航天信息化规划的总体框架及流程	49
4.3 目前航天信息化规划存在的问题	49
4.4 信息化基础设施规划的内容	50
4.5 建设航天信息安全保障体系	51
4.6 加快制定航天信息规范和技术标准	53
4.7 完善航天信息化推进和管理体制	57
4.8 航天信息化评价指标体系的建立	58
4.9 航天信息化战略管理相关知识	59
4.10 航天信息化组织机构设置	61
参考文献	63
第5章 航天信息化工程项目管理与人才培养	64
本章学习路线图	64
5.1 项目管理概述	65
5.2 项目管理流程	67
5.3 系统工程导向的信息化模型	71
5.4 系统工程导向的方法论框架	75
5.5 航天信息化系统工程管理要素	76
5.6 航天信息化工程的基本特征	78
参考文献	78

第二部分 信息化综合集成架构篇

第6章 综合集成理论与技术	83
本章学习路线图	83
6.1 综合集成概述	84
6.2 系统综合与集成	86
6.3 综合集成技术	88
6.4 研讨厅体系	93
6.5 综合集成的作用和发展趋势	98
6.6 信息化综合集成的研究进展	100
参考文献	101
第7章 云集成平台技术及应用	103
本章学习路线图	103
7.1 云计算相关概念	104
7.2 云计算的特点和优势	109

7.3	云计算的技术体系结构	110
7.4	云计算架构服务层	113
7.5	主流云计算平台参考架构	117
7.6	云计算基础设施模式	128
7.7	云计算的关联技术	130
7.8	云计算技术成熟度	136
	参考文献	137
第8章	大数据集成技术及应用	139
	本章学习路线图	139
8.1	大数据技术基础	140
8.2	大数据组织和管理	146
8.3	大数据处理技术框架	147
8.4	大数据存储技术	148
8.5	大数据表达技术	150
8.6	大数据并行处理技术	153
8.7	大数据计算平台技术	156
8.8	空间大数据	159
8.9	大数据与云计算	162
8.10	工业大数据	164
8.11	大数据的应用	165
	参考文献	166
第9章	物联网技术及应用	168
	本章学习路线图	168
9.1	物联网技术	169
9.2	物联网架构	172
9.3	物联网标准体系	175
9.4	物联网标准组织	177
9.5	物联网关键技术	177
9.6	物联网技术的应用	182
	参考文献	189
第10章	SOA 集成平台技术及应用	190
	本章学习路线图	190
10.1	SOA 的发展	191
10.2	SOA 的技术架构	195
10.3	SOA 的关键技术	197
10.4	ESB 架构	208
10.5	业务流程管理架构	217
10.6	SOA 中的组件关系	224

参考文献	226
第 11 章 SOA 与云计算集成	228
本章学习路线图	228
11.1 基于 SOA 与云集成的企业平台架构	228
11.2 云集成及其面临的挑战	229
11.3 SOA 与云计算的集成关系	230
11.4 云计算与 SOA 集成模型	231
11.5 面向服务的航天信息化集成平台	232
参考文献	235

第三部分 信息化综合集成业务篇

第 12 章 航天企业综合管理信息化平台	239
本章学习路线图	239
12.1 财务管理系统	240
12.2 协同办公系统	245
12.3 客户关系管理	248
12.4 知识管理系统	250
12.5 决策支持系统	256
12.6 多型号项目管理	258
12.7 质量管理体系	260
12.8 人力资源管理系统	261
12.9 部件供应管理系统	264
12.10 档案管理系统	266
参考文献	268
第 13 章 企业生产运营与制造信息化平台	269
本章学习路线图	269
13.1 制造执行系统	271
13.2 产品结构管理系统——BOM	278
13.3 航天型号技术状态管理	285
13.4 型号质量与可靠性工程	288
13.5 产品数据管理	292
13.6 产品生命周期管理	296
13.7 计算机辅助设计	304
13.8 计算机辅助制造	309
13.9 计算机辅助工艺过程计划	312
13.10 计算机辅助工程	317
13.11 计算机辅助质量保证	320

13.12 计算机集成制造系统	323
13.13 3D 打印技术	330
参考文献	331
第 14 章 航天产品与服务信息化平台	333
本章学习路线图	333
14.1 导航定位系统	334
14.2 GPS 的应用	345
14.3 移动互联网	350
14.4 综合电子信息系统	352
14.5 网络通信系统	356
14.6 指挥控制系统	360
14.7 情报侦察系统	361
14.8 预警探测系统	362
参考文献	366

第四部分 信息化综合集成案例篇

第 15 章 基于物联云的数字化制造平台基础框架	369
本章学习路线图	369
15.1 云制造	370
15.2 集成与协同技术	376
15.3 云制造技术	378
15.4 云制造集成平台	382
参考文献	388
第 16 章 航天信息化系统综合集成过程	389
本章学习路线图	389
16.1 系统综合集成理论	391
16.2 航天信息化数字样机综合集成技术	393
16.3 数字样机综合集成建模方法	400
16.4 性能样机建模分析	403
16.5 面向物联网的实物产品数字化标识、智能管控、信息安全技术	408
16.6 基于数字样机的制造模式	413
16.7 基于数字样机的制造数据中心集成	417
16.8 基于数字样机的工艺设计技术	422
16.9 基于知识的管路数字化制造与装配技术	424
16.10 数字样机的高精密度电子产品虚拟联装技术	425
16.11 基于精益生产和 ERP 系统的生产计划集成技术	426
16.12 基于云服务的产品全生命周期协同研制技术	428

16.13 基于云服务的系统集成技术 429

16.14 全生命周期的云知识服务技术 432

16.15 数字样机协同应用研究技术 433

16.16 大型复杂产品综合环境适应性协同仿真技术 436

16.17 三维装配工艺的集成应用技术 436

16.18 基于异构环境的管理与工程协同集成技术 437

16.19 虚拟验证技术 438

参考文献 440

第五部分 武器装备后勤保障信息化篇

第 17 章 面向武器装备全生命周期的管理与保障 445

 本章学习路线图 445

 17.1 维护、维修和运行平台 446

 17.2 便携式维修辅助系统 447

 17.3 装备持续采办与全寿命支持 449

 参考文献 453

第 18 章 面向武器装备智能化的 IETM 平台 455

 本章学习路线图 455

 18.1 面向武器装备智能化的 IETM 平台概述 456

 18.2 美军军用 IETM 相关标准 475

 18.3 S1000D 标准 476

 18.4 IETM 标准的选择 483

 参考文献 486

第 19 章 基于单一数据源的 IETM 系统 488

 本章学习路线图 488

 19.1 单一数据源概述 489

 19.2 公共源数据库 490

 19.3 出版物数据模块 492

 19.4 单一数据源系统架构 502

 19.5 嵌入式 XML 数据库的应用 505

 参考文献 508