

工程系统分析 与探索研究论文集

赵少奎 著



中国宇航出版社

工程系统分析 与探索研究论文集

赵少奎 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

工程系统分析与探索研究论文集/赵少奎著. —北京:
中国宇航出版社, 2010. 6

ISBN 978 - 7 - 80218 - 754 - 2

I. ①工… II. ①赵… III. ①航天系统工程—
文集 IV. ①V57—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 110211 号

责任编辑 马 航 刘亚静

责任校对 祝延萍

封面设计 03 工舍

出 版 中国宇航出版社
发 行

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

网 址 [www. caphbook. com](http://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 2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

规 格 880×1230 开 本 1/32

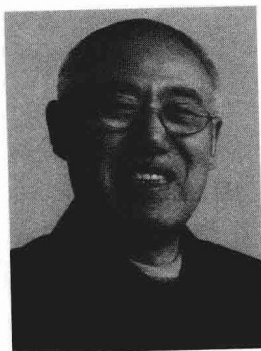
印 张 17.75 字 数 492 千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 80218 - 754 - 2

定 价 80.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

作者简介



赵少奎 高级工程师、研究员，航天技术与工程系统工程专家，1992 年获政府特殊津贴。

1964 年毕业于哈尔滨军事工程学院导弹工程系；同年分配到中国运载火箭技术研究院（原国防部第五研究院一分院）总体设计部工作。在航天系统工作期间，负责我国第一种自行研制的弹道导弹改进型的总体设计工作，任原第七机械工业部导弹系统定型试验队总体组组长；负责我国第一种洲际火箭的总体设计，是导弹系统的主管总体设计师，参与了多种运载火箭和航天运输系统的方案论证工作，是国家“863”航天领域天地往返运输系统专家组技术组成员，获全国科学大会奖和多项国防科学技术成果奖。1989 年 12 月调入第二炮兵总体论证所，负责型号发展研究与采办技术管理工作。在第二炮兵工作期间，担任某型号导弹系统的技术负责人（同型号总师）、某型号导弹系统定型试验队总体组组长等工作，获多项国防科技成果奖。现兼任中国高科技产业化研究会常务理事与海洋分会常务理事，上海交通大学特聘研究员。

在长期的工程实践中，积累了丰富的理论知识和实践经验，著述颇丰。发表 70 多篇学术论文和英、俄文译文；主要著作有《工程系统工程导论》、《导弹与航天技术导论》、《×××××战略导弹》；作为第二作者完成了《航天技术概论》、《国防科技》等著作；作为主要撰稿人参与了《钱学森与现代科学技术》、《军事装备管理学》和《创新思维学引论》等著作的编写工作。

谨以本书献给

**中华人民共和国成立 60 周年
新中国工程系统建设的战友们**

序

当今世界工程科学技术的发展，特别是军事工程技术的发展，伴随着信息技术的广泛应用，推动着现代武器装备系统进入了“一体化军事装备系统”建设阶段，即“军事装备体系”建设的新时代。使现代复杂工程系统的开发进入了以若干单项高新技术突破为支撑，以“综合集成”为主要创新手段，以高度社会化研究与开发活动为主要组织形式，以复杂工程系统开发与运用的科学管理为主要特征的新阶段。可以预见，系统科学，特别是复杂巨系统工程的理论和方法将获得越来越广泛的应用。

随着科学技术的飞速发展，在复杂工程系统，特别是复杂武器装备系统的开发过程中，系统的社会需求与科学技术发展、社会资源支持能力之间的矛盾愈发显得突出。在工程系统的开发过程中，我们必须优先考虑并解决工程系统开发过程中经常遇到的发展环境预测、系统开发决策分析以及其他复杂性问题。由于工程的系统性、社会性、综合性和复杂性问题成为突出的问题，因而出现了所谓的“宏大工程（Macroengineering）”的概念。这类工程，如我国的载人航天工程、三峡工程、青藏铁路工程和正在开发中的诸多宏大科研工程等基本上都是复杂系统，甚至是复杂巨系统。对它们的开发与建设只能在相关领域科学技术的支撑下，通过整体思维，借助现代系统科学的分析、综合与统筹来加以解决，这样工程的系统分析与探索研究就愈发突显其重要性了。与工程实施的具体技术问题相比较，处理这类问题就如同处理数学运算中整数与小数的关系，如果在工程开发的过程中，把这类问题疏忽了或搞错了，犹如数学运算中把整数位算错了，小数位算得再精确，也难以弥补由此可能造成的损失。这类问题通常属于多学科、多工程专业的系统分析与探索

研究问题。工程开发过程中的社会性、系统性问题成为复杂工程系统开发工作中的突出矛盾，导致无论是对于采办方，还是研制方，都在工程系统开发与实施的过程中，缺乏一批能够对复杂工程系统的开发与实施决策进行全面的系统分析，并能从总体上把握、运筹并解决问题的人才。诚如负责原子弹、氢弹、弹道导弹和阿波罗登月等重大工程项目的美国政府、军方和工业部门的负责人和科学家们，在总结他们工程开发的经验和教训时明确地指出：“**无论工业界，还是军方、政府，都要把注意力放在发现懂技术、善管理、工作能力强的人才身上，他们能够巧妙地处理洞察力和工程判断力之间的关系。我们最缺乏的是能够从总体上考虑，并对复杂工程问题进行背景分析，从总体上处理问题的人才。对复杂工程系统，最需要的是系统分析，我们需要一批有能力和技术经历的人才。**”

系统分析与探索研究能力是以深厚的多学科理论修养为基础，是在复杂工程系统开发实践的过程中经过千锤百炼逐步形成的。我们需要培养一大批能够对复杂工程问题进行系统分析与研究、从总体上思考、把握、谋划并能够妥善处理问题的人才，当前我们更需要出版一些既有一定理论高度，又有扎实实践基础的系统分析与研究的著述。作为长期参与我国导弹和航天系统分析与探索研究工作、在我国运载火箭技术研究院总体设计部工作多年的老战士，我欣慰地看到作者这本《工程系统分析与探索研究论文集》的出版。本人与文集作者共事多年，作者是我国导弹与运载火箭第一代六年制总体设计专业的毕业生，长期在运载火箭技术研究院总体设计部和部队总体论证单位从事复杂工程系统开发与采办的系统分析与探索工作，作为多个型号的主管总体设计师，亲身参加了我国第一种自行研制的弹道导弹和第一种洲际火箭的总体设计工作，在科研、生产与试验第一线从事过多种导弹、运载火箭的发展研究、总体设计和采办技术管理工作，在40多年导弹与运载火箭系统研究与工程开发的实践中，参与过我国大型运载火箭和载人航天“天地往返运输系统”的发展论证工作，通过不同类型导弹、航天运输系统的发展研

研究与工程开发实践，积累了较为丰富的工程系统分析与研究经验。本文集收录了作者 40 多年来公开发表的部分工程系统分析与探索研究论文和报告，对从事工程系统分析与探索的科技人员和管理干部进一步理解工程系统分析与探索研究工作的重要性、系统分析与研究工作的主要内容以及如何开展工程系统分析与探索研究工作会有所启发和帮助。本文集既有一定的理论功底，又有比较扎实的实践基础，在我国工程系统分析和探索研究方面是一本不多见的论著，因此，向广大读者，特别是从事复杂工程系统分析与探索研究的科技人员和管理干部推荐此书。

谢光选

2009 年 8 月 25 日

前 言

工程系统开发与管理的任务之一是适时地做出对工程开发与实施具有重要影响的技术决策，诸如工程系统发展与立项决策、工程开发最优总体方案的抉择，以及考虑周全、切实可行的工程系统生产计划、试验与鉴定计划、技术保障计划以及系统开发的风险管理计划的制订等。

工程开发决策是一个永攀高峰的系统分析与探索研究过程，涉及到工程系统开发工作的方方面面：包括制订工程发展战略与规划，进行工程立项研究与决策，采办方与研制方共同确定工程开发的总要求，筹划工程系统开发工作的优先保障序列，选择能够满足工程开发要求的总体设计、生产、试验和综合技术保障方案，以及决定工程开发是否可以转入下一个研制阶段等。工程开发的系统分析与探索研究工作是一项多学科、多工程专业的综合分析与研究过程，对于我国导弹与航天系统而言，通常称其为总体论证与总体设计工作。

在我国导弹与航天事业发展的 50 多年中，不乏工程系统分析与探索研究的范例。诸如 20 世纪 50 年代，在新中国刚刚建立，百业待兴，经济、科学和工业基础十分薄弱的条件下，通过对国家发展的背景与需求的系统分析，钱学森院士独具慧眼地提出优先发展我国“航空工业（实际为‘导弹与航天事业’）的建议书”，推动了我国航天事业的建立与发展；60 年代，集众多航天领域专家、科学家的智慧，为探索、研究我国弹道导弹和运载火箭的发展途径，由谭忠愚研究员执笔写出著名的“8 年 4 弹”发展规划的第一稿*，促进

* 卜雨亭著，中国科学院院士——谢光选，金城出版社，2008.5，第 61~62 页。

了我国第一代弹道导弹和运载火箭技术的发展；70年代，在我国运载火箭技术发展转型的关键时期，通过对我国运载火箭技术发展和建立较为独立、完整的运载火箭技术体系的需求分析，由火箭技术研究院总体部的科技人员首先提出发展我国高能上面级运载火箭的建议和技术方案，为独立自主地发射我国同步定点轨道卫星和形成今天的“长征3号运载火箭系列”奠定了基础；70年代到90年代初，在我国第一代洲际火箭长达20多年的发展和定型方案论证过程中，通过实事求是、科学的系统分析与探索研究工作，提出了一系列有创见的改进与定型试验方案，为领导正确决策提供了科学依据；90年代以来，经过一代航天人多方案、多技术途径的发展论证，我国“863”天地往返运输系统专家组首席科学家钱振业研究员等通过广泛、深入的调研与系统研究，明确地提出了我国载人航天应采取“飞船起步，平稳发展”的战略构想，把我国载人航天事业引入了正确的发展道路……*。从“航空工业建议书”到我国载人航天“飞船起步，平稳发展”的战略构想的提出，我们应当站在国家发展战略的高度进行全面、实事求是的总结。

复杂工程开发的系统分析与探索研究工作是一项多学科、多工程专业的综合分析与研究过程，我们需要培养一大批能够对复杂工程问题进行系统分析与研究、从总体上思考并解决问题的人才，当前更需要出版一些既有一定理论高度，又有比较深厚实践基础的系统分析与探索研究的著述。本人自1964年4月到1989年12月，在运载火箭技术研究院总体部总体室工作，1989年12月至今在部队武器装备发展论证总体单位从事总体论证、总体设计和采办技术管理工作，有幸参与了我国多种型号导弹和航天系统的发展研究和开发过程的系统分析与探索研究工作。这里选择其中部分已经公开发表的系统分析和研究论文及报告，按照研究报告与论文所讨论问题的

* 钱振业、杨广耀等，中国载人航天发展战略，国务院发展研究中心国际技术经济研究所，1990.10。

范围和性质分为 8 个部分，以“工程系统分析与探索研究”文集的形式出版。其中第一部分：总论——从工程大系统的角度、比较广阔的领域讨论了系统分析与探索研究的广泛问题；第二部分：工程系统发展研究——讨论了工程系统发展研究的职责、内容和基本方法；第三部分：导弹与航天系统总体设计——侧重于弹道导弹和运载火箭系统设计有关问题的分析和研究；第四部分：导弹与航天系统试验研究——重点讨论弹道导弹和运载火箭试验的程序和方法；第五部分：武器装备采办技术管理——从武器装备采办方的角度讨论工程系统开发过程中的系统分析与探索研究工作；第六部分：系统工程——收集了作者讨论系统工程有关的论文和研究报告；第七部分：钱学森科学思想研究——钱学森科学思想的核心内容之一是系统科学思想，这部分收集了作者研究钱学森科学思想的心得和体会；第八部分：导弹与航天科技译文选——收集了作者自 1975 年以来发表的有关美苏导弹与航天技术研究报告的译文。限于作者的工作经历和水平，本书只能是作者、包括与同事们从事工程系统分析与探索研究点滴收获的初步综合和概括，遗漏或不妥之处在所难免，请同行专家、学者不吝赐教。谢光选院士在百忙之中审阅了大部分书稿，第二炮兵装备研究院凌福根研究员审阅了全部书稿，他们提出了中肯、宝贵的修改意见。对他们的帮助、支持和鼓励，作者在此表示诚挚的谢意。

鉴于本书从航天大系统的角度出发，对复杂工程系统开发的系统分析与探索研究诸多方面的工作进行了讨论，内容比较丰富，对航天专业的本科生、研究生和相关领域的科技工作者也会有所裨益。如果本书的出版能为研究生层次的读者提供一些启示和帮助，将是作者的最大欣慰。

作 者

2009 年 8 月 22 日

目 录

第一部分 总论

对我国现代工程科学技术发展的思考	(2)
工程系统开发复杂性的讨论	(17)
中国导弹、航天事业五十年	(33)
对我国工程科技人才育用战略的思考	(52)
从源头上保护原始性创新	(61)

第二部分 工程系统发展研究

中国航天运载技术发展的决策思考	(70)
中国载人航天“飞船起步”的战略思考	(77)
武器装备发展战略研究的基本思路	(87)
武器装备发展研究的内涵、程序与方法	(92)
战略研究探索	(97)
发展研究的宏观谋划管理	(105)

第三部分 导弹与航天系统总体设计

弹道式导弹结构偏差特性的分析计算	(136)
------------------------	-------

推力线偏差的分析与测量	(148)
对改型设计的探讨	(157)

第四部分 导弹与航天系统试验研究

试验系统工程初探	(166)
弹道导弹的飞行试验程序与方法	(173)
弹道导弹的飞行试验与精度鉴定	(183)
弹道导弹的试验区	(188)
导弹与航天系统的研制	(199)

第五部分 武器装备采办技术管理

武器装备的开发过程与使用方的职责	(230)
对战略导弹研制决策程序的思考	(237)
完善战略导弹定型办法的研究	(243)
工程系统工程的决策	(248)

第六部分 系统工程

武器装备现代化建设与系统工程	(290)
航天系统工程	(298)
工程系统工程	(329)

第七部分 钱学森科学思想研究

钱老的风范	(388)
-------------	-------

学习钱学森, 沿着钱老开辟的现代科学技术体系探索研究的 道路前进	(391)
钱学森与中国航天科技 50 年	(400)
钱学森系统科学的战略思考与科学实践	(409)
科学技术与国家发展需要理论与管理机制的创新	(431)

第八部分 导弹与航天科技译文选

利用卡尔曼滤波技术处理飞行试验数据	(456)
民兵导弹试验中的弹着点误差校正	(479)
结构不对称性对探空火箭飞行性能的影响	(486)
对火箭发动机启动时有时观测到的侧向力的研究	(506)
苏联在太平洋的火箭与导弹试验	(519)
后 记	(550)

第一部分 总论

对我国现代工程科学技术发展的思考

〔摘 要〕本文在概要地讨论了科学技术发展历程的基础上,阐述了“系统科学”、“复杂性科学”对现代工程科学技术发展的重要作用,并论述了我国工程科学技术发展中值得重视的几个问题。

〔关键词〕工程科学技术 系统科学 复杂性科学

1 前言

在科学技术发展的历程中,人类对客观世界的认识,经历了由单要素(物质)、双要素(物质、能量)到三要素(物质、能量和信息)的发展历程^[1];在研究对象的形态上,经历了由简单系统、复杂系统的分解和简化到直接面对复杂系统开发的发展历程;在自然观、方法论上,经历了机械论的分解、还原,马克思主义世界观、唯物辩证法的确立,向分解基础上综合、系统化、一体化方向发展的历程;在科学技术的研究方式上,经历了由个体、分散研究,向社会化、高度社会化方向发展的过程。研究要素的多元化、研究对象的复杂化、研究方法的综合化,以及科学技术活动的社会化、一体化发展,使工程开发活动由低层次要素管理向高层次一体化管理方向发展,推进了科学技术开发由经验走向科学的发展进程。科学技术开发管理的科学化,已经成为科学技术发展,特别是现代工程科学技术发展,务必从理论和实践上应当优先解决的战略性课题。从某种意义上讲,一个国家的经济落后,科学技术落后,军事装备落后的根本原因是现代科学思想意识的落后、管理上的落后。

当今世界处于以新材料、新能源和生物技术为基础,以信息技术为主导,以复杂高新技术工程系统开发为重要特征的新技术革命

时代。现代高新技术复杂工程系统的开发与建设,呈现出长周期、全局性战略谋划和综合应用各相关领域科学技术新成就的特征。系统发展研究,系统综合、权衡、优化与科学管理已经成为实现现代工程系统开发目标和国家现代化建设可持续发展目标的关键性环节。从国家现代化建设的整体目标出发,思考、探索解决现代高新技术复杂工程系统开发与建设的技术与管理问题,已经成为当今世界工程科学技术发展和工程系统建设的核心问题之一。在钱学森院士的倡导和科学实践指导下,我国系统工程的理论研究与实践已经取得世人瞩目的成就,我们在学习、借鉴国外先进科学技术的同时,面对世界范围内的科技发展已经走向“复杂与综合”的大趋势,应当系统地总结我们自己的经验与教训,摆脱工程科学技术发展历程中形成的传统观念的束缚,认清世界科技发展的新形势,充分发挥我国人才、智力、政治和在重大工程领域具有自己工程实践的优势,抓住“科教兴国”的历史性机遇,在对我国与世界各国现代化建设的历史进程进行理性、科学思考的基础上,下决心从“经验”走向科学,从人治逐步走向法制,从简单思辨走向现代管理科学——系统科学和复杂性科学的理论研究与工程实践,以系统科学与复杂性科学的理论为指导,把我国工程科学技术发展和现代化建设事业真正纳入到科学开发、管理的轨道,使我们能够更加明智、更加有预见性地组织、运用好我国的有限人力、物力、财力和智力资源,实现我国社会主义现代化建设事业可持续发展的目标,应是工程科学技术发展共同关心的课题。

2 科学与技术发展历程的回顾与展望

在与自然界斗争的历史长河中,人类不断思考、探索、创新,产生了认识客观世界的科学理论与改造客观世界的工程技术,使人类对社会、自然界的认识不断深化,改造社会与自然的能力不断增强,人类一步一步地走向现代文明。纵观人类科学与技术发展