

一次成功与系统预防

——中国航天工业质量管理要略

承文 著



中国宇航出版社

一次成功与系统预防

——中国航天工业质量管理要略

承文 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

一次成功与系统预防：中国航天工业质量管理要略 /
承文著. —北京：中国宇航出版社，2019.4
ISBN 978-7-5159-1612-5

I. ①一… II. ①承… III. ①航天工业—质量管理—
研究—中国 IV. ①F426.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 053039 号

责任编辑 黄 莘

责任校对 马 磊

装帧设计 宇星文化

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)60286808 (010)68768548

网 址 www.caphbook.com

经 销 新华书店

发行部 (010)60286888 (010)68371900
(010)60286887 (010)60286804(传真)

零售店 读者服务部
(010)68371105

承 印 河北画中国画印刷科技有限公司

版 次 2019 年 4 月第 1 版
2019 年 4 月第 1 次印刷

规 格 787×960

开 本 1/16

印 张 24.25

字 数 375 千字

书 号 ISBN 978-7-5159-1612-5

定 价 78.00 元

本书如有印装质量问题，可与发行部联系调换

序 言

1986年1月28日早晨，在美国佛罗里达的卡纳维拉尔角，成千上万名参观者聚集到肯尼迪航天中心，等待一睹挑战者号航天飞机腾飞的壮观景象。然而，当“挑战者号”升空73秒时，突然发生爆炸并坠落大西洋，价值12亿美元的航天飞机顷刻化为乌有，7名航天员全部遇难。这一噩耗迅速传遍全球，世界为之震惊。当时，我作为中国航天工业部派出的访问学者正在美国普渡大学进修，当我从电视中看到佛罗里达上空那团令人触目惊心的巨大火球时，当我看到美国政府和民众为悼念罹难的航天员而在公共场所降半旗致哀时，作为航天人，震惊不已的同时，我也深感痛惜，这是我第一次近距离地感受到人类从事航天活动，特别是载人航天活动的巨大风险。

在随后的日子里，美国政府立即组建“挑战者号”事故总统调查委员会展开全面调查，普渡大学的一位资深教授作为该调查委员会的专家，参与调查数月后在校内作了一场专题报告，指出初步查明事故直接原因，是航天飞机右侧的固体火箭助推器尾部装配接头和密封圈在低温环境下失效。从专业角度分析，我对此结论深信不疑。但对于这样一个并不十分复杂的技术问题，为何没能在早期发现并解决，我还是疑惑不解。当会场大屏幕上展现出7位航天员生前的音容笑貌与参观“挑战者号”发射的人群看到高空火球坠落时惊愕悲伤的表情，以及挑战者号航天飞机整装待发的英姿与部分烧焦、穿孔、变形的助推器残骸碎片时，这些画面所形成的巨大反差给我以强烈的的心灵冲击，久久挥之不去。尤其是我事后了解到，实际上“挑战者号”失事除了本身存在设计缺陷外，还在明知有缺陷的情况下低估风险，因为曾有工程师对

低温环境下发射的危险性提出过警告，但这些隐患并未引起包括 NASA 在内的各级高层的重视，最终酿成灾难。不仅如此，那年美国大力神、德尔它运载火箭发射卫星也相继受挫，而实际上这些都应该是较成熟的航天发射活动。

“挑战者号”失事极大地促进了人们对航天质量重要性和航天质量管理复杂性、艰巨性的认识，也促进了我对“质量是航天的生命”理念更深刻的理解，并在脑海中打下了深深的烙印；美国的那些所见所闻至今记忆犹新，这种感受一直贯穿在我回国后长期从事航天型号研制、管理工作的职业生涯中，特别是在研究院、集团公司领导层主管质量工作期间，以及担任重点型号总指挥期间的任务成败经历中不断深化、提升。

2009 年，我应邀在中国航天工业质量协会举办的质量论坛上作了关于一次成功、系统预防的航天质量管理主题报告，提出一次成功、系统预防是中国航天工业质量管理的要诀，遗憾的是，短短一个多小时的演讲意犹未尽，自己总觉得有些观点没有说深说透。一直以来，在我的潜意识中有一种莫名的冲动，想把自己进一步的思考和一些新的认识、体会，以及深入研究得出的点滴成果整理出来，汇集成书，与航天同仁交流分享，但直到近几年才抽出时间下笔并数易其稿。在系统总结研究中国航天工业质量发展的特点和规律的基础上，我力求从更广阔的视角分析探索新时期航天一次成功、系统预防管理的理念和模式，并重新定义一次成功和系统预防的内涵。顺着这条主线，以理论观点联系实际案例展开论述，全书就顺理成章了。

本书在分析新世纪中国航天质量发展的环境以及中国航天工业质量管理基本经验的基础上，紧紧围绕航天工业质量管理要旨，明确提出了一次成功质量战略导向，并从系统预防质量文化建设、系统预防质量管理改进和系统预防质量技术保障三个方面进行了重点阐述，同时也展望了中国航天工业质量管理未来的发展趋势。在写作过程中，我越来越清晰地认识到实现一次成功、系统预防管理对中国航天工业转型升级和高质量发展，对建设航天强国、质量强国是非常必要的，这也更促使自己努力写成此书。

航天工业质量管理是一门理论性较强的学问，更是一种实践性很强的行

动，检验其成效的标准是一次成功。中国航天发展史是极不平凡的，它经历了无数的成功，也经历过失败，并折射出航天工业科研生产的复杂性，以及提升航天质量管理能力的艰巨性，任重道远。航天系统很多老领导、老专家、质量管理工作者、型号研制生产人员在长期的航天科研生产、经营开发和质量管理中积累了大量宝贵的经验，对航天质量管理理论和实践作出了极为重要的贡献。本书按照需求和实用结合的原则，借鉴了航天单位和航天人创造的不少具有中国航天特色的质量管理新理念、新模式和新方法，本书出版也得到了中国航天基金会、北京航天情报与信息研究所等有关单位和人员的大力支持和帮助，在此谨表衷心感谢！

由于航天工业质量管理理论和实践是在不断发展的，自己的认识水平又有限，本书难免存在不当和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

中国航天工业质量协会顾问



2018年12月于北京

目 录

序言	I
第一章 概论	1
1.1 航天工业领域的架构、范围和特点	3
1.1.1 航天工业基本架构	3
1.1.2 航天工业范围	9
1.1.3 航天工业的主要特点	11
1.2 质量和质量特性	17
1.2.1 质量的定义及内涵	17
1.2.2 质量特性的定义及内涵	18
1.2.3 卡诺质量模型	19
1.3 现代质量管理的演变	21
1.3.1 从产品质量检验到全面质量管理	21
1.3.2 从基于数据的质量管理到基于知识的质量管理	24
1.3.3 从技术工具主导质量管理到组织文化引领质量管理	27
1.4 国内外航天工业质量管理发展概述	29
1.4.1 美国航天工业质量管理发展概述	30
1.4.2 俄罗斯航天工业质量管理发展概述	33
1.4.3 欧洲航天工业质量管理发展概述	36
1.4.4 中国航天工业质量管理发展概述	38

第二章 新世纪中国航天质量发展的环境..... 43

- 2.1 21 世纪是高科技发展的质量世纪 44
 - 2.1.1 质量管理专家朱兰博士的预言 44
 - 2.1.2 新时代全球对质量和质量管理的需求与挑战 46
 - 2.1.3 中国经济发展进入质量时代 48
- 2.2 中国由航天大国向航天强国迈进中提升质量的必要性 51
 - 2.2.1 中国将全面建成航天强国 52
 - 2.2.2 提升质量竞争力是中国航天走向世界的必由之路 54
 - 2.2.3 提升质量管理水平是中国航天追求卓越的迫切需求 55
 - 2.2.4 提升航天产品质量是中国航天创新发展的重要基石 56
- 2.3 深入总结中国航天工业质量管理实践的重要性 57
 - 2.3.1 有利于继承发扬中国航天工业质量管理的宝贵经验 57
 - 2.3.2 有利于研究分析中国航天工业质量管理的内在规律 58
 - 2.3.3 有利于探索把握中国航天工业质量管理的发展趋势 59

第三章 中国航天工业质量管理的基本经验..... 61

- 3.1 质量是航天工业发展永恒的主题 62
 - 3.1.1 牢记质量是航天的生命 62
 - 3.1.2 注重好中求快发展航天 64
 - 3.1.3 坚持成功是硬道理 66
 - 3.1.4 认真实行型号质量问题归零 67
- 3.2 准确把握并实施航天质量系统工程管理 70
 - 3.2.1 航天质量系统工程管理的涵义和总体构架 70
 - 3.2.2 航天质量系统工程管理思路和实践 74
 - 3.2.3 航天型号质量系统工程过程控制 81
 - 3.2.4 航天型号研制质量系统工程管理工作 91
- 3.3 航天工业质量管理的要诀在于一次成功、系统预防 95
 - 3.3.1 中国航天工业质量管理发展模式 95
 - 3.3.2 “一次成功、系统预防”理念 99

3.3.3 一次成功系统预防管理模式	105
--------------------------	-----

第四章 一次成功质量战略导向..... 109

4.1 一次成功是航天工业质量战略目标	110
4.1.1 一次成功是中国航天的立身之本	110
4.1.2 一次成功是航天企业的经营之道	112
4.1.3 一次成功是航天员工的行动之魂	113
4.2 一次成功以用户成功为中心	114
4.2.1 满足用户需求是一次成功的根本目的	114
4.2.2 用户成功理念融入一次成功实现过程	115
4.2.3 帮助员工和供应商成功有助于用户成功	118
4.3 一次成功注重抓源头、抓关键、抓基础	119
4.3.1 注重抓航天产品设计源头质量	120
4.3.2 注重抓航天工艺质量关键环节	123
4.3.3 注重抓航天质量技术基础	126
4.4 实现一次成功必须严格履行质量责任	133
4.4.1 质量责任心是一次成功的根基	133
4.4.2 关键在于严守质量纪律和法规	136
4.4.3 讲诚信是自觉落实质量责任制的内在动力	139

第五章 系统预防质量文化建设..... 143

5.1 系统预防质量文化的核心内容	145
5.1.1 质量价值观	145
5.1.2 质量信念	146
5.1.3 质量道德观	146
5.1.4 质量行为准则	147
5.1.5 质量形象	147
5.2 以人为本的系统预防质量文化	148
5.2.1 高素质的人造就高质量的产品	148
5.2.2 人人都是预防者	149

5.2.3	工作标准是零缺陷	152
5.2.4	不断改进人本预防理念	158
5.2.5	广泛开展群众性质量预防活动	166
5.3	深入推进系统预防质量文化建设	173
5.3.1	系统预防质量文化建设关键要素分析	175
5.3.2	系统预防质量文化建设定向	176
5.3.3	系统预防质量文化建设推进策略	177
5.3.4	系统预防质量文化导入	177
5.3.5	系统预防质量文化落地生根	178
5.3.6	系统预防质量文化建设评估与改进	178
第六章	系统预防质量管理改进	181
6.1	有效运行航天质量管理体系	182
6.1.1	充分发挥航天质量管理体系的系统预防作用	183
6.1.2	遵循航天质量管理十项原则	185
6.1.3	追求持续改进的航天质量管理体系成熟度评价	188
6.2	不断深化航天产品质量问题归零管理	198
6.2.1	正确处理质量问题归零中“救火”与“防火”的关系	198
6.2.2	正确处理质量问题归零中“形式”与“内容”的关系	200
6.2.3	正确处理质量问题技术归零与管理归零的关系	204
6.3	切实推行航天产品质量隐患防范管理	207
6.3.1	航天产品质量隐患防范内涵	208
6.3.2	航天产品质量隐患技术防范	209
6.3.3	航天产品质量隐患管理防范	212
6.3.4	航天产品质量隐患防范的方法和程序	215
6.4	进一步加强航天型号产品保证工作	218
6.4.1	突出抓好产品保证大纲的制定和实施	218
6.4.2	突出抓好产品保证管理与质量管理体系运行协调配合 ...	220
6.4.3	突出抓好产品质量与可靠性保证的系统化管理	223
6.5	全面实施航天质量成本管理	226

6.5.1	航天质量成本核算和分析	226
6.5.2	完善航天质量成本管理理念、模式和方法	228
6.5.3	一次成功质量成本特性曲线	234
6.5.4	重视航天隐性质量成本的管理	237
6.6	探索实践航天外协产品质量链管理	239
6.6.1	以协同理念探索航天外协产品质量管理	239
6.6.2	质量链管理内涵及特征	243
6.6.3	实施航天外协产品质量链管理的必要性	244
6.6.4	航天外协产品质量链管理的基本思路和主要内容	246
6.6.5	航天外协产品质量链节点管理的核心流程	250
6.6.6	加强航天外协产品质量信息沟通和分析工作	252
6.7	注重完善航天质量信息集成化管理	253
6.7.1	航天质量信息管理的重要性	253
6.7.2	航天集成化质量管理信息系统	257
6.7.3	注重发挥航天集成化质量管理信息系统的作用	261

第七章 系统预防质量技术保障..... 265

7.1	航天型号研制一次成功技术保障分析	266
7.1.1	航天型号研制一次成功技术保障分析总体思路	266
7.1.2	航天型号研制一次成功技术保障分析流程和内容	269
7.1.3	航天型号研制一次成功技术保障分析管理要求	272
7.2	航天产品成功数据包络分析	275
7.2.1	航天产品成功数据包络分析技术内涵	275
7.2.2	航天产品质量与可靠性数据包	277
7.2.3	航天产品成功数据包络分析方法体系框架	281
7.2.4	航天产品成功数据包络分析主要工作内容和程序	283
7.2.5	航天产品成功数据包络分析方法应用	284
7.3	航天产品研制中的 QFD 技术应用	285
7.3.1	QFD 的基本定义和基本原理	285
7.3.2	质量屋的基本框架及构建	288

7.3.3	QFD 在航天产品研制中的作用	290
7.3.4	扩展型 QFD 分析模式——系统屋技术.....	291
7.4	航天型号产品可靠性工程实施和可靠性系统工程应用	295
7.4.1	有效实施航天型号产品可靠性工程	295
7.4.2	航天型号产品可靠性系统工程的内涵与运行	300
7.4.3	强化可靠性系统工程技术应用与研究	303
7.5	航天产品防差错技术及多余物防控方法	305
7.5.1	防差错技术与“人因差错”防治	306
7.5.2	航天产品防差错设计技术	309
7.5.3	航天产品防差错装配技术	310
7.5.4	航天产品防差错检测技术	313
7.5.5	航天产品多余物防控方法	314
7.6	航天质量专业技术机构和质量专业队伍建设	317
7.6.1	不断增强航天质量专业技术机构的支撑能力	317
7.6.2	充分发挥航天质量专业技术机构和组织的作用	319
7.6.3	着力提升航天质量专业队伍的整体素质	321
第八章	中国航天工业质量管理未来发展趋势.....	325
8.1	基于新一代信息技术的航天智能化质量管理	326
8.2	直面航天工业转型升级的质量竞争力提升	333
8.3	追求卓越绩效的航天质量经营之路	339
8.4	研究开展航天企业质量风险管理	344
8.5	更加注重航天质量创新发展	348
8.6	与时俱进地培育航天先进质量文化	355
	结语.....	361
	参考文献.....	363

第一章

概 论



航天，是 20 世纪人类最伟大的科学创举之一，是当今最具挑战性和广泛带动性的高科技领域。人类活动范围经历了从陆地到海洋、从海洋到大气层、从大气层到宇宙空间的逐渐扩展的过程。人类活动范围的每一次飞跃，都大大增强了认识自然和改造自然的能力，尤其是人类探索外层空间的活动，对人类文明进步产生了重大而深远的影响。

航天是指人类探索、开发和利用地球大气层以外的浩瀚宇宙，即太空或外层空间，以及地球以外天体的活动。航天活动包括航天技术（又称空间技术）、空间应用和空间科学三大部分。根据航天活动的用途和经营运作方式，航天分为民用航天、军事航天、商业航天三种类型。

航天技术在创立和发展之初，具有极强的政治色彩和军事目的，主要是一种以国家投资为主的政府行为。由于航天意味着对人类终极高地的占领，以及它对国家政治、军事、经济和社会的重大影响，从它诞生的第一天起，就被普遍认为是一个国家综合国力的象征，也成为大国博弈的重要领域。当然，除了博弈，各航天国家之间也有不同程度的航天技术和航天活动的合作。

20 世纪 90 年代之前，航天工业完全由国家控制，没有产业化的概念。由于航天技术是世界高科技群体中最具影响力的科学技术之一，当 20 世纪航天技术的发展还处于萌芽状态时，就有人断言：“谁控制了太空，谁就能控制地球。”随着经济和技术的发展，美国、苏联、日本、西欧等主要航天国家和地区围绕对宇宙空间的争夺，相互间展开了一场以开发高科技和促进高技术产业发展为主要内容的综合国力的竞争。作为争当世界政治军事大国的手段和途径，航天技术在这一时期得到了迅速发展。冷战结束后，随着航天技术的不断进步和世界政治经济格局的变化，航天技术的发展方向发生了重大转变，人类社会、经济活动对航天工业的需求日益增加。在跟踪世界航天发展先进水平的基础上，中国航天事业从无到有、从小到大，走过了不平凡的发展历程，创造了以“两弹一星”、载人航天、月球探测三大里程碑为代表的一系列举世瞩目的辉煌成就。

进入 21 世纪, 伴随航天技术“井喷”式发展, 各国在太空领域的竞争日趋激烈, 其结果将直接影响世界格局和国家的前途命运。主要航天国家正在进一步强化航天工业基础, 新兴航天国家正在通过战略引领、规划引导等多种方式提升航天发展水平。在军事方面, 航天技术越来越集中用于尖端武器装备上, 在俄罗斯组建空天军后, 美国也在组建太空军, 正为太空作战做准备, 新的星球大战已不只是一个概念, 美俄两国加紧发展太空武器装备的目的是为了抢夺未来太空战主动权。在经济方面, 航天技术在人类生产和生活的各个领域发挥着越来越重要的作用, 甚至用于未来太空战略资源的争夺, 以获取巨大的经济利益等。

当然, 太空是人类共同的资源, 应在和平利用太空领域的基础上, 加强国际合作, 以实现人类命运共同体愿景, 为全人类谋福利。当今世界, 人类面临着环境恶化、全球变暖、资源短缺、能源危机、人口膨胀、贫富差距加大等一系列社会与经济问题, 威胁着人类的可持续发展。航天技术为解决这些问题提供了机会和手段, 使得各国更加加快对航天工业的发展。航天技术从初期的主要为政治军事目的服务, 发展到更广泛地向国民经济和社会生活各领域渗透, 并迅速走向产业化。这将从根本上改变人们的思维方式、生产方式和生活方式, 使整个社会和人类自身的面貌发生深刻的变化。

1.1 航天工业领域的架构、范围和特点

航天工业是近代新兴的一门工业, 是研制与生产航天器、航天运载器及其所载设备和地面保障设备等的行业, 它高度综合了自然科学和工程技术的最新成就, 并逐渐成为国家战略性高技术产业, 涉及层次高、影响范围广。

1.1.1 航天工业基本架构

航天工业基本架构主要体现为航天产品组成架构、航天工业组织架构和航天型号管理架构。

(1) 航天产品组成架构

航天产品按照功能架构由四大类组成：航天运载器、航天器、导弹武器和临近空间飞行器，如图 1-1 所示。

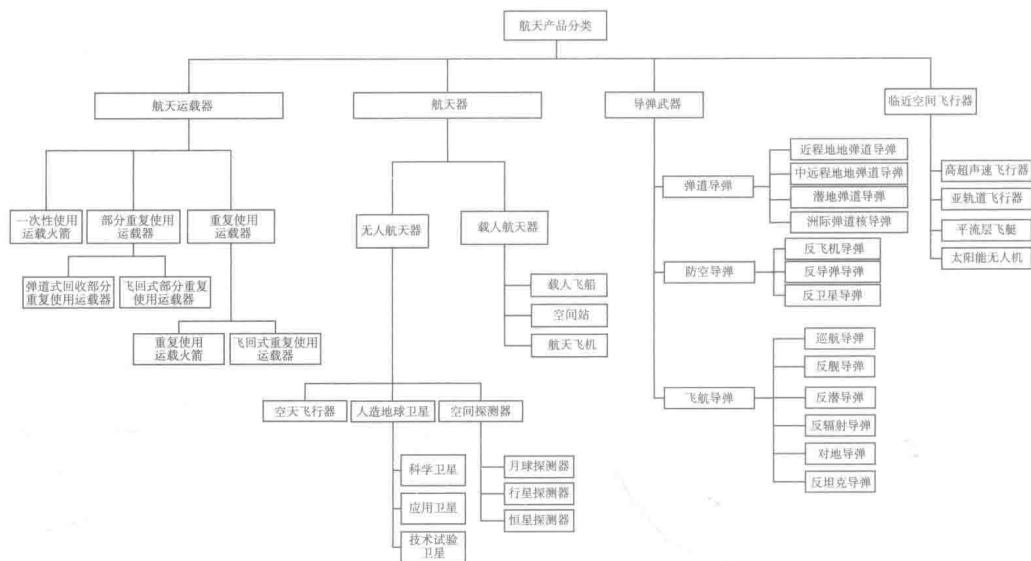


图 1-1 航天产品组成架构图

航天运载器是把航天器从地球上送入太空运行轨道、从太空某位置运回地面或运送到太空另一位置的运载工具，通常可分为一次性使用运载火箭、部分重复使用运载器和重复使用运载器三大类。航天器是为执行一定任务，主要在地球大气层以外的宇宙空间（太空），基本按照天体力学规律运行的各类飞行器，通常可分为无人航天器和载人航天器两大类。导弹武器是由自身动力装置推进、制导系统导引和控制飞行轨迹，自动飞向目标的武器，通常可分为弹道导弹、防空导弹和飞航导弹三大类。临近空间飞行器是在临近空间作长期、持续飞行的飞行器，通常可分为高超声速飞行器、亚轨道飞行器、平流层飞行器和太阳能无人机等类别。

从航天产品的组成结构来说，无论是航天运载器、航天器、导弹武器，还是临近空间飞行器，各种各样航天产品实质上都是一个个非常复杂的大系统。比如，运载火箭系统由箭体结构、火箭推进系统、控制系统、飞行测量

和安全系统、发射支持系统等分系统组成；卫星系统由卫星有效载荷、卫星控制系统、推进系统、测控和数据管理系统、电源系统、返回系统等分系统组成；弹道导弹武器系统由弹体结构、弹头、控制系统、动力系统、遥测和外测安全系统、地面设备等分系统组成。当然，所有的分系统都是由子系统组成，子系统都是由单元组成，单元都是由零组件组成。而航天型号工程则往往是多学科、多专业有机结合的大型复杂的工程，如载人航天工程由航天员系统、飞船应用系统、载人飞船系统、运载火箭系统、发射场系统、测控通信系统和着陆场系统七大系统组成。总体、分系统、子系统、单元和零组件各组成之间存在着相互联系、相互依存、相互作用、相互协调和相互制约的特定关系，并有机地联为一个整体。

（2）航天工业组织架构

当今世界，航天工业呈现出多极化、全球化发展趋势，各国航天工业组织架构虽然形式不同，但其基本模式具有诸多相似之处，都是在航天工业决策管理部门下设有航天科研机构、研制生产企业和发射基地，如图 1-2 所示。



图 1-2 航天工业组织架构基本模式

从世界各航天大国发展的历程看，航天工业历来就是由国家主导，甚至由国家领导人直接领导并下设专门机构，负责制定国家航天政策或发展战略，实施统筹协调的军民航天分工管理模式。以美国航天管理组织架构为例，美国最近正式重新组建的国家航天委员会，由副总统担任委员会主席，该委员会直接向总统负责，能够直接提供有关太空政策的建议，同时具备直接调用