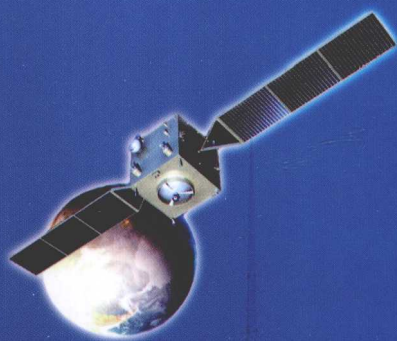




国防科技图书出版基金



Intelligent Testing, Control
and Decision-making for Space Launch

航天智能发射技术

——测试、控制与决策

宋毅 李尚福 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013033584

V525
08



国防科技图书出版基金

航天智能发射技术 ——测试、控制与决策

Intelligent Testing, Control and Decision-making for Space Launch

柴毅 李尚福 著



国防工业出版社

·北京·



北航

C1640391

V525
08

01303220

图书在版编目(CIP)数据

航天智能发射技术:测试、控制与决策/柴毅,李尚福
著.—北京:国防工业出版社,2013.3
ISBN 978-7-118-08469-6

I. ①航... II. ①柴... ②李... III. ①航天器发
射——智能技术 IV. ①V525

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 028231 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 16 字数 293 千字

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 65.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

致读者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

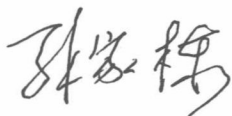
主任委员	刘成海			
副主任委员	宋家树	蔡 镛	程洪彬	
秘书长	程洪彬			
副秘书长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

序

航天发射测试与控制是航天工程中的重要组成部分,由指挥系统、测试发射系统、测量控制系统、通信系统、气象系统和技术勤务等系统构成,用于完成运载火箭及航天器的测试、发射、跟踪测量和安全控制任务。该书针对航天发射技术发展及测试发射与控制应用中的实际问题,进行深入的理论和技术研究,有着十分重要的意义。

该书关注信息化、自动化、智能化技术发展前沿,体现航天发射测试与控制应用中的最新技术。系统地阐述了航天发射测试与控制技术及系统的发展历史和技术特点,对航天发射的测试数据处理、故障诊断、安全控制决策等技术进行了详细分析和总结。全书内容涉及航天发射测试控制网络、测试参数智能分析处理、智能故障诊断、智能安全控制建模与决策,特别注重智能化和信息化技术在航天发射中的应用。在航天测试及其数据处理方面,阐述了具有信息共享和交互的测试发射与控制网络体系结构,研究了关键参数测试数据的智能分析与处理,以及部件和系统的智能故障诊断方法;在发射飞行安全控制方面,根据遥外测数据进行信息融合、故障诊断和安全评估,研究了故障情况下的运载器落点、弹片散布范围和爆炸毒气散逸等安全控制模型,为安控分析和安全控制智能决策提供支持。

该书学术思想新颖,内容具体实用,密切结合航天发射的实际问题,对航天测试、发射工程的科研和工程技术人员具有重要的参考价值。书中以网络化、智能化为基础,研究解决测试诊断和控制决策等问题的关键技术及其理论方法,对航天发射技术发展具有积极的推动作用。



前 言

21 世纪是人类走向空间、开发空间和利用空间资源的时代,各行各业对空间的依赖日益增加,我国航天发射的强度和类型随之大幅增加。对空间资源的开发和利用,需要有低成本、安全、快速、日常的空间进入能力,这对航天发射的控制和决策提出了更高的要求。

航天发射技术难度大、系统复杂,是一项高风险的系统工程。由于航天工程所要求的高精度、高稳定性和高可靠性,使得航天器、运载器和发射系统的复杂程度很高;另一方面,航天运载器所具有的不可逆、不可重复、主体系统与环境强关联等特性,使其故障具有突发性强、危险性大、不可预见等特点,一旦发生故障将会造成巨大的损失。因此,围绕航天发射安全进行的分析、控制和决策是航天发射过程中非常重要的内容。

本书针对航天测试发射、信息处理与分析、诊断与控制决策中的各种实际问题,将理论与实践相结合,通过分析、研究、解决复杂过程的建模、控制和决策等关键技术的方法,研究新一代以智能指挥控制为特征的新型测试发射控制决策系统,实现航天测试发射控制指挥智能化的新构思,对航天测试、发射、控制工程及相关领域的科研和工程技术人员有较好的指导和参考价值。

书中许多研究得到国家“863”计划信息领域信息获取与处理主题、国家自然科学基金和教育部博士点基金等的大力支持,也是作者近十年来研究和实践的总结和提升。全书共 6 章,分别介绍了航天测试发射与控制网络、测试数据智能分析与处理、航天测试发射智能故障诊断、航天发射飞行安全控制建模与智能决策和航天测试发射与技术的发展趋势。第二、三、四章由柴毅执笔,第一、五、六章由李尚福执笔。在本书的撰写和出版过程中,中国西昌卫星发射中心的李程、陈裕斌、符菊梅、何京江、魏洪波等技术人员给予了大力的支持和热情的帮助,认真阅读了全书,提出了许多宝贵的意见。西昌卫星发射中心的车著明、周敏高级工程师和重庆大学的魏善碧副教授、凌睿副教授、郭茂耘副教授、胡友强副教授、张可副教授、尹宏鹏副教授,以及博士研究生王坤朋、李鹏

华、李华锋和硕士研究生付东莉、熊瑜容、翟如玲在文稿和图表整理等基础工作中付出了辛勤的工作,这里一并表示感谢!最后,非常感谢国防科技图书出版基金对本书出版的资助!

由于作者水平有限,书中的缺点错误和疏漏在所难免,诚恳希望同行和读者批评指正,以便今后改正和完善。

柴毅 李尚福

2012年8月25日

目 录

绪论	1
第一章 航天测试发射与控制概述	3
1.1 航天工程概述	3
1.1.1 国际航天器和运载器的发展	4
1.1.2 我国航天器和运载器的发展	4
1.2 航天测试发射与控制系统	6
1.2.1 航天测试发射与控制系统的组成	7
1.2.2 航天测试发射与控制的主要功能	8
1.2.3 航天测试发射与控制工艺流程	9
1.2.4 航天测试发射与控制系统发展	10
1.3 智能化技术在航天发射测试与控制中的应用	14
1.3.1 航天智能化测试发射控制与决策系统	14
1.3.2 航天智能化测试发射控制与决策的关键技术	17
第二章 航天测试发射与控制网络	19
2.1 航天测试发射与控制网络概述	19
2.1.1 航天测试发射与控制总线网络	20
2.1.2 综合指挥网络	22
2.2 航天测试发射与控制总线网络体系结构	24
2.2.1 航天测试发射自动化网络体系结构	24
2.2.2 航天发射远程控制网络体系结构	26
2.3 航天测试发射与控制总线网络关键技术	28
2.3.1 航天测试发射与控制网络可靠性	28
2.3.2 航天测试发射与控制网络实时性	32
2.3.3 航天测试发射与控制网络性能分析	34
2.4 航天测试发射与控制总线网络构建实例	35
2.4.1 1553B 在测试发射网络中的应用	35
2.4.2 LXI 总线在测试发射网络中的应用	40
2.4.3 现场总线在发射远程控制网络中的应用	44
2.5 航天测试发射控制与指挥系统传输网络	47

2.5.1	传输网络总体架构	47
2.5.2	传输网络可靠性	49
2.5.3	传输网络 QoS 解决方案	51
2.5.4	传输网络安全	52
2.5.5	传输网管系统	56
第三章	测试数据智能分析与处理	58
3.1	测试的内容与要求	58
3.1.1	测试任务	58
3.1.2	测试内容	59
3.1.3	测试要求	60
3.2	数据预处理	61
3.2.1	噪声在小波变换下的特性	61
3.2.2	基于阈值决策的小波去噪算法步骤	62
3.2.3	阈值的选取及量化	62
3.2.4	小波去噪的在线实现	64
3.3	数据一致性分析	67
3.3.1	静态数据一致性分析	67
3.3.2	动态变化数据一致性分析	69
3.3.3	聚类分析方法	70
3.4	数据奇异点分析	75
3.4.1	信号的奇异性描述	76
3.4.2	信号奇异点位置的确定	77
3.4.3	数值实例	78
3.4.4	实验分析实例	81
3.5	测试参数重要性分析	83
3.5.1	粗糙集的基本原理	83
3.5.2	粗糙集对系统参数约简	86
3.6	数据相关性分析	90
3.6.1	相关系数的数学算法及测定	91
3.6.2	基于主元分析的相关性分析	93
3.6.3	数值实例	99
第四章	航天测试发射智能故障诊断	103
4.1	航天测试发射故障诊断概述	103
4.1.1	航天故障的成因分析	103
4.1.2	航天故障的特点	104

4.1.3	航天故障诊断的难点	105
4.2	故障诊断方法	106
4.2.1	故障诊断方法分类	106
4.2.2	智能故障诊断方法	109
4.2.3	航天测试发射智能故障诊断方法	109
4.3	基于核主元分析的多尺度故障检测算法	110
4.3.1	基于 PCA 故障诊断原理	111
4.3.2	基于特征样本提取的 KPCA 故障检测	116
4.3.3	基于 SKPCA 的多尺度故障检测	118
4.3.4	MSKPCA 算法的改进原理	123
4.3.5	基于滑动时间窗的 MSKPCA 在线故障检测	128
4.3.6	实例分析	130
4.4	基于蚁群算法的故障图分析	137
4.4.1	系统的层次结构分析	137
4.4.2	基于蚁群算法的系统多故障状态的决策	141
4.5	智能潜在通路分析	144
4.5.1	潜在通路判断规则和分析技术	145
4.5.2	潜在通路对航天测试发射的危害及分析	146
4.5.3	基于神经网络的潜在通路分析	149
4.5.4	基于支持向量机的潜在通路分析	151
4.6	基于递归神经网络的故障诊断方法	157
4.6.1	联想记忆与 Hopfield 神经网络	157
4.6.2	基于 Hopfield 神经网络的故障诊断方法	163
4.6.3	故障诊断案例	167
第五章	航天发射飞行安全控制建模与智能决策	175
5.1	航天发射飞行安全控制概述	175
5.1.1	航天发射飞行安全控制基本概念	176
5.1.2	航天发射飞行地面安全控制系统信息处理流程	176
5.1.3	安全判决方法及安全控制策略	177
5.2	航天发射飞行安全控制参数计算模型	179
5.2.1	安全管道计算	179
5.2.2	运载火箭飞行弹道参数多源数据融合	181
5.2.3	落点计算	197
5.2.4	弹片散布区域计算模型	199
5.2.5	燃料泄漏在气象风力作用下的扩散计算模型	202

5.3	航天发射飞行安全控制空间智能决策	206
5.3.1	基于空间信息处理的智能决策	207
5.3.2	航天发射飞行安全控制空间智能决策系统结构	209
5.4	航天发射飞行安全控制智能决策方法	210
5.4.1	航天发射飞行安全控制决策	211
5.4.2	基于最小损失的航天发射飞行安全控制实时决策	213
5.4.3	决策的知识表示	214
5.4.4	航天发射飞行安全判断规则	215
5.4.5	航天发射飞行安全控制推理决策	216
5.4.6	系统应用结果	218
5.5	航天发射飞行安全应急决策	220
5.5.1	智能应急决策系统结构	220
5.5.2	系统功能	222
5.5.3	航天发射飞行安全智能应急决策及应用	224
第六章	航天测试发射与控制技术的发展趋势	230
6.1	航天测试发射与控制技术和方法	230
6.2	航天测试发射与控制系统的信息化与智能化	231
参考文献	233

Contents

Introduction	1
Chapter 1 Overview of Testing and Control for Space launch	3
1.1 Survey of Space Launch Engineering	3
1.1.1 Overview of International Carrier Rockets and Spacecrafts	4
1.1.2 Overview of Internal Carrier Rockets and Spacecrafts	4
1.2 Testing and Control System of Space Launch	6
1.2.1 Components	7
1.2.2 Functionality	8
1.2.3 Technological Processes	9
1.2.4 Developmental Stages	10
1.3 Application of Intelligent Techniques for Space Launch Testing and Control	14
1.3.1 Intelligent Testing, Control and Decision – making Systems of Space launch	14
1.3.2 Key Techniques for Intelligent Testing, Launching and Control	17
Chapter 2 Networks of Testing and Control for Space Launch	19
2.1 Overview of Testing and Control Networks	19
2.1.1 Bus Networks for Testing, Launching, and Control	20
2.1.2 Overall Command Networks	22
2.2 Bus Network Architecture of Testing, Launching, and Control	24
2.2.1 Network Architecture for Automatic Testing and launching	24
2.2.2 Space launch Telecontrol Network Architecture	26
2.3 Key Techniques of Bus Networks for Testing, Launching, and Control	28
2.3.1 Reliability	28
2.3.2 Real – Time Capability	32
2.3.3 Performance Analysis	34
2.4 Examples of Bus Network Construction for Testing, Launching, and Control	35

2.4.1	1553B for Testing and Launching Networks	35
2.4.2	LXI for Testing and Launching Networks	40
2.4.3	Field Bus for Launching and Telecontrol Networks	44
2.5	Transmission Networks of Command Systems for Spacecraft	
	Testing, Launching, and Control	47
2.5.1	Overall Architecture of Networks	47
2.5.2	Reliability of Transmission Networks	49
2.5.3	QoS Solutions for Transmission Networks of Testing and Control	51
2.5.4	Testing and Control Network Security	52
2.5.5	Network Administration Systems	56
Chapter 3	Intelligent Analysis and Processing for Testing Data	58
3.1	Contents and Requirements in Space Launch Testing	58
3.1.1	Assignments	58
3.1.2	Contents	59
3.1.3	Requirements	60
3.2	Data Preprocessing	61
3.2.1	Noise Features in Wavelet Transform	61
3.2.2	Wavelet Denoising Algorithms Based on Threshold Values	62
3.2.3	Selection and Quantization of Threshold Values	62
3.2.4	Online Implementation of Wavelet Denoising	64
3.3	Data Consistency Analysis	67
3.3.1	Static Data Consistency Analysis	67
3.3.2	Dynamic Data Consistency Analysis	69
3.3.3	Clustering Analysis Methods	70
3.4	Data Singular Point Analysis	75
3.4.1	Signal Singularity	76
3.4.2	Determination of Signal Singular Point Location	77
3.4.3	Computational Examples	78
3.4.4	Experimental Examples	81
3.5	Key Parameter Analysis in Testing	83
3.5.1	Fundamental Principles of Rough Set	83
3.5.2	Simplifying Parameters by Rough Set	86
3.6	Data Correlation Analysis	90
3.6.1	Algorithms and Measurements for Correlation coefficients	91
3.6.2	Correlation Analysis by Principal Component Analysis	93

3.6.3	Examples	99
Chapter 4	Intelligent Fault Diagnosis for Space Testing and Launching	103
4.1	Overview of Fault Diagnosis in Space Testing and Launching	103
4.1.1	Cause Analysis	103
4.1.2	Characteristics	104
4.1.3	Difficulties	105
4.2	Fault Diagnosis Methods	106
4.2.1	Classification of Fault Diagnosis	106
4.2.2	Intelligent Fault Diagnosis Methods	109
4.2.3	Intelligent Fault Diagnosis for Space Testing and Launching	109
4.3	Multi – Scale Fault Detection Algorithms Based on Kernel PCA	110
4.3.1	Principles of PCA – Based Fault Diagnosis	111
4.3.2	KPCA Fault Detection Based on Feature Sample Extraction	116
4.3.3	Multi – Scale Fault Detection Based on SKPCA	118
4.3.4	Improved Principles of Multi – Scale Kernel PCA	123
4.3.5	Online Fault Detection Based on Sliding Window Multi – scale Kernel PCA	128
4.3.6	Examples	130
4.4	Fault Diagram Analysis Based on Ant Colony Algorithms	137
4.4.1	Hierarchical Analysis for Control systems	137
4.4.2	Decision – making for Multi – fault States Systems Based on Ant – Colony Algorithms	141
4.5	Intelligent Sneak Circuit Analysis	144
4.5.1	Rules and Analysis Techniques for Sneak Circuits	145
4.5.2	Hazards and Analysis of Sneak Circuits to Spacecraft Testing and Launching	146
4.5.3	Sneak Circuit Analysis Based on Neural Networks	149
4.5.4	Sneak Circuit Analysis Based on Support Vector Machine	151
4.6	Fault Diagnosis Method Based on Recurrent Neural Networks	157
4.6.1	Associate Memory and Hopfield Neural Networks	157
4.6.2	Fault Diagnosis Method Based on Hopfield Neural Networks	163
4.6.3	Case Study for Fault Diagnosis	167
Chapter 5	Intelligent Modeling and Decision – Making for Safety Control of Space Launch and Flight	175
5.1	Summary of Safety Control of Space Launch and Flight	175

5.1.1	Basic Concept of Safety Control	176
5.1.2	Information Processing Procedure of Ground Safety Control Systems ...	176
5.1.3	Security Decision Method and Safety Control Strategy	177
5.2	Safety Control Parameter Calculation Model of Space Launch	179
5.2.1	Safety Pipeline Calculation	179
5.2.2	Multi - Source Data Fusion for Launch Vehicle Trajectory Parameters	181
5.2.3	Fall Point Calculation	197
5.2.4	Computational Models of Shrapnel Scattered Areas	199
5.2.5	The Diffusion Calculation Model of the Fuel Leakage Under Weather Wind	202
5.3	Intelligent Spatial Decision - making for Safety Control of Space Launch and Flight	206
5.3.1	Intelligent Decision Based on Spatial Information Processing	207
5.3.2	Intelligent Spatial Decision System Architecture for Safety Control of Space Launch	209
5.4	Intelligent Decision - Making Methods for Safety Control of Space Launch and Flight	210
5.4.1	Control Decision - making for Space Launch and Flight Safety	211
5.4.2	Real - Time Decisions of Flight safety Control Based on the Minimum Loss	213
5.4.3	Knowledge Representation in Decision - Making	214
5.4.4	Safety Judging Rules	215
5.4.5	Reasoning and Decision - Making	216
5.4.6	System Applications	218
5.5	Safety Emergency Decision for Space Launch and Flight	220
5.5.1	System Architecture of Intelligent Emergency Decision	220
5.5.2	System Function	222
5.5.3	Intelligent Emergency Decision and Application of Space Launch and Flight Safety	224
Chapter 6 Development Trends in Testing and Control for Space launch		230
6.1	Technique and Scheme	230
6.2	Informatization and Intelligentize	231
References		233