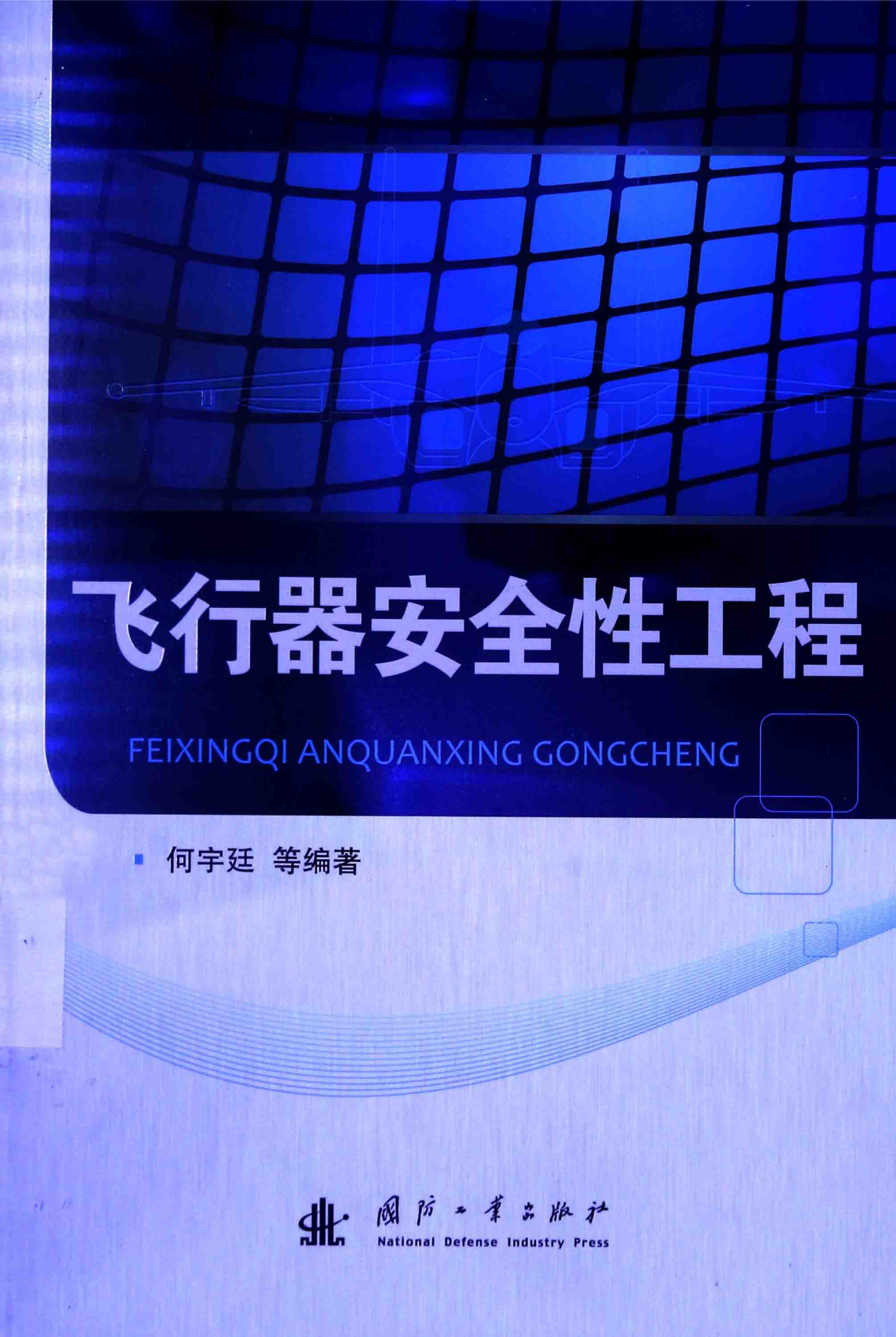




飞行器安全性工程

FEIXINGQI ANQUANXING GONGCHENG

■ 何宇廷 等编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

飞行器安全性工程

何宇廷 等编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书将飞行器安全性从传统的可靠性、维修性、适航性等中独立出来,力图揭示飞行器安全性工程的基本内涵,建立飞行器安全性分析的理论体系和框架,提炼飞行器安全性综合分析的内容、方法与流程。主要包括:飞行器安全性基本理论;飞行器安全性论证、设计、验证、增长与管理;飞行器结构安全性综合分析;飞行器系统安全性综合分析;飞行器维修安全性综合分析;飞行器作战安全性综合分析以及飞行器安全性效益/费用综合权衡分析等。

本书可作为航空工程领域的本科生、研究生以及从事飞行器设计、使用、维护等工程技术人员的参考书,也可作为装备管理部门、军事装备研究院所、驻厂军事代表室等单位的管理干部、研究人员、工程技术人员以及国防工业部门有关管理和科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞行器安全性工程/何宇廷等编著. —北京:国防工业出版社, 2014.12

ISBN 978-7-118-09761-0

I. ①飞… II. ①何… III. ①飞行器—安全工程—研究 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 278314 号



开本 710×1000 1/16 印张 22¼ 字数 416 千字

2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 89.00 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

前 言

飞行器从发明伊始,就一直将安全问题放在首要位置考虑。飞行器在民航及军事上的应用,一方面显著方便了人们生活、促进了国家经济建设、增强了国家军事实力,另一方面也伴随着飞行事故带来的重大损失。因飞行器事故造成的生命和经济的巨大损失一直以来都是人类航空史上挥之不去的梦魇!

安全性是飞行器的本质属性之一,必须作为一种设计参数将可接受的安全性水平设计到飞行器中,并通过制造过程将其固化到飞行器上,然后在飞行器的使用和维护过程中体现出来。因为没有安全性,一切都无从谈起!

我国航空界多年来走过了“测绘、仿造、研制”的道路,以前主要关心的是装备有无的问题,对于安全性基本上采取用可靠性、维修性等指标替代安全性指标的做法,安全性评估工作基本处于起步阶段。目前,国内飞机安全性设计、评估和验证研究工作基础薄弱,软、硬件平台建设滞后,技术支撑能力发展比较缓慢,飞行器安全性工作无法像可靠性和维修性工作那样规范,如何进行充分和有效的安全性评估和验证一直是困扰使用方和供应方的老大难问题,严重制约了我国飞行器安全性工程技术的提高。

本书力图将飞行器安全性从传统的可靠性、维修性、适航性等中独立出来,揭示飞行器安全性工程的基本内涵,建立飞行器安全性分析的理论体系和框架,提炼飞行器安全性综合分析的内容、方法与流程。

全书内容共分四篇。第一篇为飞行器安全性工程基本内涵,介绍了飞行器安全性工程的研究对象;飞行器安全性工程的由来及发展历程;飞行器安全性工程的概念、内涵和常用参数体系,提出并建立了基于事故征候的飞行器安全性度量参数体系。第二篇是飞行器安全性论证、设计、验证、增长与管理,介绍了飞行器安全性论证、设计、验证的主要工作内容、基本原则、基本程序、基本方法和操作规程,对如何进行飞行器安全性增长,提出了措施和建议,梳理了飞行器安全性管理的内容、目标和实施方法。第三篇是飞行器安全性综合分析评估,分为飞行器结构安全性综合分析、飞行器系统安全性综合分析、飞行器维修安全性综合分析和飞行器作战安全性综合分析等方面,介绍了飞行器

安全性综合分析的工作内容、方法和流程。第四篇是飞行器安全性综合权衡分析，分析了飞行器安全性所产生的效益和所需的费用，建立了飞行器安全性效益/费用综合权衡模型。

在本书的撰写和出版过程中，得到了中国人民解放军总装备部、空军司令部、空军工程大学和各兄弟单位的有关领导和同志的支持，在此一并致谢。

参加本书撰写的人员有何宇廷、崔荣洪、李曙林、舒文军、安涛、杜金强、伍黎明、李锋、王瑛、蒋云春、赵瑞贤、郭基联、王卓健等，全书由何宇廷统稿。限于时间与作者水平，书中难免有错误和不当之处，敬请读者指正。

主要缩略语

AFCS	自动飞行控制分系统	MFDT	平均故障检测时间
AFHA	飞行器级功能危险评估	MFIT	平均故障隔离时间
APS	辅助动力系统	MTBA	平均事故间隔时间
ATE	自动测试设备	MTBAS	平均事故征候间隔时间
BIT	机内测试	MTBF	平均故障间隔时间
BSCU	刹车系统控制组件	OHA	运行危险性分析
CBM	基于状态的维修	OHHA	职业健康危险分析
CCA	共因故障分析/共因失效分析	OSS&E	使用安全性、适用性和效能
CDR	预先进行设计和性能的验证/关键设计评审（审查）	OT&E	使用试验与评价
CFDR	关键故障检测率	O&SHA	使用和保障危险分析
CMA	共模分析	PBS	产品分解结构
CSI	安全关键产品	PDR	早期的功能和接口建模/初步设计评审
DAL	设计保证等级	PFCS	主飞行控制分系统
DD	关联图分析	PFHA	初步功能危险评估
DT&E	研制试验与评价	PHA	初步危险性分析
EPE	应急动力系统	PHM	故障预测与健康管理
ETA	事件树分析	PRA	概率风险评估/特殊风险分析/外部威胁分析
EWIS	电气线路互联系统	PSSA	初步系统安全性评估
FAA	美国联邦航空管理局	RCS	雷达散射截面积
FAR	联邦适航条例/虚警率/最后的可接受性评审	RLC	可靠性寿命系数
FCC	飞行控制计算机	ROSH	满意操作区域
FDR	故障检测率/预先的方案设计审查	ROTH	可接受操作区域
FFHA	最终功能危险评估	RSM	剩余强度裕度
FFR	首飞评审	SCC	应力腐蚀
FHA	功能危险/功能危险分析	SEP	最大单位剩余功率
FIR	故障隔离率	SFHA	系统级功能危险评估
FMEA	故障模式及其影响分析	SFR	系统功能评审
FMECA	故障模式影响和危害分析	SHA	系统危险分析

(续)

FMET	故障模式影响试验	SSHA	分系统危险分析/详细的危险分析
FMES	故障模式与影响概要	SOF	飞行安全
FRACAS	故障报告、分析和纠正措施系统	SRR	初始需求验证/系统需求评审
FTA	故障树分析	SSA	系统安全性评估
FSM	疲劳强度裕度	SSM	静强度裕度
HRACAS	危险报告、分析和纠正措施系统	SSPP	系统安全工作计划
IECMS	航空发动机状态监控系统	SVR	系统验证评审
IOC	初始运行能力	TAAF	试验—分析—改进—再试验
JAA	欧洲联合航空局	TTCI	裂纹形成时间
LRM	现场可更换模块	WBS	机轮刹车系统
LRU	现场可更换单元	ZSA	区域安全性分析
MA	马尔科夫分析		

目 录

第一篇 飞行器安全性工程基本内涵

第 1 章	飞行器安全性工程引论	2
1.1	飞行器安全性的研究对象——事故	2
1.1.1	飞行器事故的概念及其分类	3
1.1.2	飞行器事故发生机理及影响因素分析	7
1.2	飞行器安全性工程的由来及发展历程	10
1.3	飞行器安全性技术的发展状况	13
1.3.1	国外飞行器安全性技术研究现状	13
1.3.2	国内飞行器安全性技术研究现状	14
1.3.3	目前飞行器安全性技术存在的主要问题	16
1.4	飞行器安全性工程的主要特点与内涵	16
1.4.1	飞行器安全性工程的主要特点	16
1.4.2	飞行器安全性工程的内涵	19
第 2 章	飞行器安全性基本原理	22
2.1	飞行器安全性的基本概念	22
2.2	安全性与可靠性的关系	24
2.2.1	概念上的区分	24
2.2.2	数学研究区域上的区分	25
2.2.3	效益上的区分	25
2.2.4	研究范畴上的区分	25
2.2.5	管理方法上的区分	26
2.3	飞行器安全性与适航性的关系	26
2.3.1	飞行器安全性的概念与内涵	26
2.3.2	飞行器适航性的概念与内涵	27
2.3.3	适航性是保证飞行器安全的最低标准	28
2.3.4	安全性是反映飞行器安全程度的度量	29
2.4	传统飞行器安全性参数体系	29
2.4.1	基于事故的评估指标	29

2.4.2	基于风险的评估指标	30
2.4.3	传统飞行器安全性度量参数及存在的主要问题	31
2.5	以事故征候为表征的飞行器安全性度量参数体系	32
2.5.1	表征安全性与表征安全度	32
2.5.2	事故征候率	33
2.5.3	事故征候率与表征安全度的关系	34
2.5.4	平均事故征候间隔时间	34
2.5.5	事故发生系数	35
2.5.6	表征安全度与安全度之间的关系	35
2.5.7	应用及举例	36

第二篇 飞行器安全性论证、设计、验证、增长与管理

第 3 章	飞行器安全性论证	40
3.1	飞行器安全性论证的主要内容	40
3.1.1	飞行器立项综合论证阶段安全性论证的主要内容	40
3.1.2	飞行器研制总要求综合论证阶段安全性论证的主要内容	41
3.2	飞行器安全性论证应遵循的基本原则	42
3.3	飞行器安全性论证的基本程序	43
3.3.1	综合需求分析	43
3.3.2	调查研究	43
3.3.3	比较分析	44
3.3.4	提出初步的安全性要求	44
3.3.5	综合权衡分析	44
3.3.6	提出最终的安全性要求	45
3.4	飞行器安全性定性要求的确定方法	45
3.4.1	整机级安全性定性要求的确定方法	45
3.4.2	系统级及设备级安全性定性要求的确定方法	48
3.5	飞行器安全性定量要求的确定方法	49
3.5.1	安全性参数的选取	50
3.5.2	整机安全性指标确定的方法	50
3.5.3	关键和重要系统的安全性指标分配	52
第 4 章	飞行器安全性设计	55
4.1	概述	55
4.2	飞行器安全性设计分类	55

4.2.1	本体安全性设计	56
4.2.2	操作安全性设计	58
4.2.3	故障安全性设计	59
4.2.4	环境安全性设计	60
4.2.5	作战安全性设计	61
4.2.6	救生安全性设计	62
4.3	安全性设计思路和方法	62
4.3.1	控制能量	62
4.3.2	消除和控制危险	63
4.3.3	隔离	64
4.3.4	闭锁、锁定和联锁	65
4.3.5	概率设计和损伤容限	67
4.3.6	降额	70
4.3.7	冗余	72
4.3.8	状态监控	78
4.3.9	故障—安全	82
4.3.10	告警	83
4.3.11	标志	86
4.3.12	损伤抑制	88
4.3.13	逃逸、救生和营救	89
4.3.14	薄弱环节	91
4.4	安全性设计准则	92
4.4.1	通用准则	92
4.4.2	电气和电子设计	93
4.4.3	机械设计	101
4.4.4	热设计	104
4.4.5	耐压力设计	105
4.4.6	减振设计	107
4.4.7	抗加速度和冲击设计	108
4.4.8	防噪声设计	108
4.4.9	防辐射设计	109
4.4.10	防火及防爆设计	110
4.4.11	防毒设计	111
4.4.12	防静电设计	111
4.4.13	防腐蚀老化设计	112
4.4.14	防霉菌设计	113

第 5 章 飞行器安全性验证 114

5.1 安全性验证目的 114

5.2 安全性验证原则 114

5.3 安全性验证管理 115

5.3.1 有关各方的职责 115

5.3.2 安全性验证工作与其他工作的关系 116

5.4 安全性验证对象 117

5.4.1 安全关键产品 118

5.4.2 安全关键产品的追踪 119

5.4.3 研制保证等级 119

5.4.4 产品层次 120

5.5 安全性验证时机 120

5.5.1 基本要求 120

5.5.2 各研制阶段的安全性验证工作 121

5.6 安全性验证方法 123

5.6.1 基本要求 123

5.6.2 主要验证方法 123

5.6.3 各种验证方法的适用性 126

5.6.4 验证方法选取原则 127

5.6.5 按研制保证等级推荐的验证活动 128

5.7 安全性验证策略 129

5.7.1 验证策划 129

5.7.2 渐进式验证 129

5.7.3 根据不同的安全性要求确定不同的验证途径 129

5.7.4 示例——军用飞行器非战斗损失率验证 130

5.8 安全性验证内容 131

5.8.1 安全性验证项目的确定 131

5.8.2 安全性验证项目技术要求的确定 132

5.8.3 示例 133

5.8.4 控制力的验证 135

5.9 安全性验证实施过程 136

5.9.1 基本要求 136

5.9.2 验证过程模型 136

5.9.3 验证计划 137

5.9.4 验证方法 137

5.9.5 安全性验证的实施 138

5.9.6	安全性验证过程控制	138
5.10	安全性验证文件	139
5.10.1	基本要求	139
5.10.2	验证计划	140
5.10.3	验证程序和结果	140
5.10.4	验证矩阵	140
5.10.5	验证总结	141
5.11	安全性试验(演示)要求	141
5.11.1	制定安全性试验计划	141
5.11.2	进行安全性试验(含演示)时应考虑的问题	141
5.11.3	试验质量保证措施	143
5.11.4	试验危险报告、分析和纠正措施系统(HRACAS)	143
5.11.5	试验报告	144
5.11.6	对所有试验(含演示)的评审	145
第6章	飞行器安全性增长	147
6.1	概述	147
6.1.1	基本概念	147
6.1.2	目的意义	147
6.1.3	技术途径	148
6.2	提高飞行器可靠性	148
6.2.1	可靠性增长概述	149
6.2.2	可靠性增长试验	151
6.2.3	可靠性增长管理	151
6.2.4	可靠性增长数学模型	153
6.3	应用健康监控技术	155
6.3.1	系统构成	155
6.3.2	主要研究内容	156
6.3.3	关键技术问题	161
6.3.4	常用结构健康监控技术	162
6.4	提高航空维修水平	164
6.4.1	维修技术	165
6.4.2	维修管理	167
6.4.3	科技发展对航空维修提出新要求	168
6.5	加强安全管理	170
6.5.1	明确安全性要求	170
6.5.2	重视安全信息管理	171

6.5.3	加强维修资源管理	172
6.5.4	健全规章制度	172
6.5.5	规范奖惩制度	173
6.6	推进安全文化建设	173
6.6.1	安全文化的定义	174
6.6.2	安全文化建设的必要性	175
6.6.3	安全文化的结构	175
6.6.4	安全文化的特点	177
6.6.5	完善安全文化建设的途径和方法	178
第 7 章	飞行器安全性管理	184
7.1	安全性管理概述	184
7.1.1	安全性管理的定义	184
7.1.2	安全性管理的内容	185
7.1.3	安全性管理的目标	185
7.2	安全性管理的作用意义	186
7.2.1	安全性管理是系统工程管理的重要组成部分	186
7.2.2	安全性管理是使用需求转化为安全性指标的重要途径	187
7.2.3	安全性管理是安全性论证、设计、试验的重要纽带	187
7.2.4	安全性管理是安全性增长和装备持续改进的重要手段	188
7.3	飞行器寿命周期中的安全性管理	188
7.3.1	论证阶段	188
7.3.2	方案设计阶段	189
7.3.3	工程研制阶段(含设计定型)	190
7.3.4	生产定型和生产阶段	192
7.3.5	使用阶段	193
7.3.6	退役阶段	193
7.4	安全性管理的主要工作	194
7.4.1	制定安全性工作计划	194
7.4.2	承制方对转承制方、供应方和其他工程单位安全性工作的 综合管理	196
7.4.3	系统安全性工作评审	197
7.4.4	建立危险报告、分析和纠正措施跟踪制度	198
7.4.5	提供安全性工作进展报告	199
7.5	系统安全性培训	199
7.5.1	培训计划	199
7.5.2	培训对象	199

7.5.3	培训要求	199
7.6	系统安全性管理组织	200
7.6.1	系统安全性管理部门的构成	201
7.6.2	安全性管理部门与其他部门的关系	202
7.6.3	安全性管理部门的职责	203

第三篇 飞行器安全性综合分析评估

第 8 章	飞行器结构安全性综合分析评估	206
8.1	飞行器结构破坏的物理情况	206
8.1.1	载荷作用	206
8.1.2	失效模式	207
8.1.3	破坏过程	211
8.2	基于概率断裂力学的飞行器结构破坏危险性分析	212
8.2.1	概率断裂力学基本方法与模型	213
8.2.2	不含裂纹结构的破坏危险性分析	219
8.2.3	含裂纹结构的破坏危险性分析	221
8.2.4	可修复结构的破坏危险性分析	226
8.3	基于条件概率的飞行器结构安全性分析	236
8.3.1	飞行器结构可靠性与安全性的区别与联系	236
8.3.2	基于条件概率的飞行器结构安全性分析模型	237
8.4	基于粗糙集的飞行器结构安全性评估	237
8.4.1	评估指标体系	237
8.4.2	基于粗糙集的飞行器结构安全性评估模型	240
8.4.3	算例分析	244
第 9 章	飞行器系统安全性综合分析评估	247
9.1	概述	247
9.1.1	飞行器系统安全性评估内容	247
9.1.2	飞行器系统安全性评估流程	247
9.1.3	飞行器系统安全性评估方法	249
9.2	功能危险评估	253
9.2.1	功能危险评估目的	253
9.2.2	功能危险评估的主要内容	254
9.2.3	功能危险评估的分类与时机	254
9.2.4	功能危险评估过程	255
9.2.5	功能危险评估的输出	258

9.2.6	飞行器级功能危险评估	259
9.2.7	系统级功能危险评估	261
9.3	初步系统安全性评估	268
9.3.1	初步系统安全性评估目的和作用	268
9.3.2	初步系统安全性评估工作要点	268
9.3.3	初步系统安全性评估过程	269
9.3.4	初步系统安全性评估采用的分析技术	270
9.3.5	初步系统安全性评估的输出	271
9.4	系统安全性评估	271
9.4.1	系统安全性评估目的和作用	271
9.4.2	系统安全性评估过程	272
9.4.3	系统安全性评估采用的分析技术	273
9.4.4	系统安全性评估的输出	273
9.4.5	系统安全性评估的分析深度	274
9.5	飞行器系统安全性综合分析示例	275
9.5.1	系统描述	275
9.5.2	功能危险分析	276
9.5.3	初步系统安全性分析	277
9.5.4	系统安全性评估	281
9.6	飞行器整机安全性综合分析	287
9.6.1	不考虑系统技术水平影响的整机安全性分析	287
9.6.2	考虑系统技术水平影响的整机安全性分析	289
第 10 章	飞行器维修安全性综合分析评估	291
10.1	飞行器维修事故发生规律	291
10.1.1	维修事故发生机理	292
10.1.2	飞行器维修事故发生的影响因素	292
10.1.3	飞行器维修差错	293
10.1.4	导致维修事故的设计因素	296
10.1.5	飞行器防维修差错设计方法	297
10.2	飞行器维修安全性的提出	298
10.2.1	飞行器维修安全性及评估的基本概念	298
10.2.2	飞行器维修安全性及评估的特点	298
10.3	飞行器维修安全性的主要影响因素	299
10.3.1	飞行器维修系统划分	299
10.3.2	影响维修安全的主要危险种类	299
10.3.3	维修危险因素的危險源分析方法	300

10.3.4	飞行器维修安全性影响因素分析思路	301
10.4	基于危险分析的飞行器维修安全性评估	301
10.4.1	飞行器维修安全性定性评估	301
10.4.2	飞行器维修安全性定量评估	303
10.4.3	飞行器维修安全性综合评估流程	308
10.5	基于粗糙集的飞行器维修安全性评估	309
10.5.1	飞行器维修安全性评估指标的选取	309
10.5.2	样本的选取及粗糙集决策表的建立	312
10.5.3	评估指标权重计算	312
10.5.4	评估模型	313
第 11 章	飞行器作战安全性综合分析评估	314
11.1	飞行器作战安全性的影响因素	314
11.2	飞行器作战安全性指标	315
11.2.1	操纵性指标	316
11.2.2	敏感性指标	317
11.2.3	易损性指标	318
11.2.4	战伤抢修性指标	319
11.3	基于粗糙集的飞行器作战安全性评估模型	320
11.3.1	二维信息表的建立	320
11.3.2	指标权值的确定	321
11.4	算例分析	321

第四篇 飞行器安全性综合权衡分析

第 12 章	飞行器安全性效益/费用综合权衡分析	326
12.1	飞行器安全性效益/费用分析	326
12.1.1	飞行器安全性效益分析	326
12.1.2	飞行器安全性费用分析	326
12.1.3	飞行器安全性费用综合分析	327
12.2	飞行器安全性效益/费用综合权衡的概念	327
12.3	飞行器安全性效益/费用综合权衡分析的性质	328
12.4	飞行器安全性效益/费用综合权衡分析的基本程序	328
12.5	飞行器安全性效益/费用综合权衡分析的基本原理	329
12.5.1	飞行器安全性工程效益/费用综合权衡的实质	329
12.5.2	飞行器安全性效益/费用综合权衡的目标	330
12.5.3	飞行器安全性效益/费用综合权衡的准则	330

12.6 飞行器安全性效益/费用综合权衡比例模型 331

12.6.1 飞行器安全性工程效费比的含义331

12.6.2 飞行器安全性效益/费用综合权衡分析的比例模型331

12.6.3 以比例模型为基础的飞行器安全性效益/费用权衡分析332

12.7 案例分析 333

附录 335

参考文献337