



航空事故 预测预警预防理论方法

Theoretical
of the Aviation Prediction,
Early-Warning and Prevention

端木京顺 等编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

航空事故预测预警预防 理论方法

Theoretical Methods of the Aviation Accident
Prediction, Early-Warning and Prevention

端木京顺 等 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以航空事故为研究对象,以事故预防为根本目的,在运用和借鉴灾害预测、预警、预防基本理论的基础上,结合航空安全实际,研究提出了适合航空事故预测、预警、预防的理论与方法。本书在航空事故人工智能预测、组合预测、诱发因素预测、航空维修安全风险评估及预警、预防理论方法和措施等方面进行了探索性研究,提出了一些创新性的观点,总结了一套成体系的方法,以期为促进航空安全学科的发展,培养和造就高素质复合型装备安全人才,提高航空安全水平有所裨益。

本书可供空军各级机关、部队、院校、科研试验及军事代表等单位的广大干部、教学科研人员和航空领域的安全工作者学习参考,也可作为装备安全科学与工程学科的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

航空事故预测预警预防理论方法 / 端木京顺等编著.

—北京:国防工业出版社,2013.6

ISBN 978-7-118-08834-2

I. ①航... II. ①端... III. ①航空运输-飞行事故-
预防 IV. ①V328

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第228968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710×960 1/16 印张26 字数477千字

2013年6月第1版第1次印刷 印数1—2100册 定价35.00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

《航空事故预测预警预防理论方法》

编写组人员

主 编 端木京顺

副主编 马震宇 常 洪 甘旭升 赵录峰 高建国

成 员 (按姓氏笔画排序)

马震宇 马勉东 马 涛 王国洲

甘旭升 何 苹 杨晶晶 杨 斌

吴亚荣 赵录峰 胡剑波 高建国

常 洪 唐雪琴 端木京顺

前 言

《航空事故预测预警预防理论方法》是空军装备部 2010 年下达的航空装备安全基础理论研究重大课题。这是一个全新的研究领域,虽然民用航空和国民经济高危行业已有许多研究成果,这些成果对军用航空的安全也有一定的借鉴意义,但很难直接用于指导具有高风险特征的军事航空事故预测预警预防;有关军事航空事故预测预警预防理论问题的探讨和实践活动的研究,以往虽然有些研究成果,但都散见于其他学科领域或有关学术刊物,专题性论述、对策性研究较多,尚未形成系统的理论体系和专门的学科性学术著作;加之航空事故预测预警预防涉及航空装备、人员、环境等诸多因素和装备全系统全寿命安全管理过程,理论方法的原理性和适用性要求高,研究的难度较大。课题组成员坚持理论与实践相结合、继承与创新相结合的编撰原则,通过广泛深入调查研究,集思广益刻苦攻关,反复修改数易其稿,经历三年的不懈努力,今天终于完成了这部专著的撰写。应该说,本书全面系统地总结了军事航空安全实践经验,借鉴外军和国民高危行业的理论成果,运用安全科学与工程理论方法,对军事航空事故预测预警预防的一些重要理论和实践问题,做出了科学的分析和回答,初步构建了具有军事特色、系统性较强、覆盖面较广、适用性较好的航空事故预测预警预防理论方法体系。

本书在编写思路、章节安排上,遵循航空安全活动的基本规律,按照首先进行事故预测,然后开展事故预警预防的思路进行总体设计;在内容论述上,总结归纳成熟的理论方法,并结合航空安全特点,进行理论创新,在航空事故组合预测、事故诱因分析及预测、航空维修安全评价及预警等方面进行了探索性研究,提出了一些创新性的理论方法。在理论创新的基础上,结合航空安全实际,突出理论方法的实际应用和案例研究;在应用范围和对象方面,以空军航空装备(飞机、直升机)安全为主,兼顾民用航空安全。

本书由航空事故预测、航空事故预警和航空事故预防等四部分共 14 章内容组成。第一部分内容,包括第一章,是航空事故理论部分。着重论述航空事故的概

念、特征、分类、统计分析规律和损失与影响等。第二部分内容,包括第二章至第八章,是航空事故预测理论方法部分。首先对航空事故预测的理论方法进行了综述;然后论述了直观预测、时间序列预测、计量模型预测和人工智能预测方法及其应用;重点论述了组合预测方法,包括灰色马尔可夫、灰色均生函数、灰色时序、ARI-MA-SVM 和基于结果的组合预测,并对这些方法的应用进行了详细介绍;研究提出了航空事故诱因分析及预测方法,直接将事故预测与事故预警预防相联系。第三部分内容,包括第九章和第十章,是航空事故预警理论方法部分,包括航空事故预警理论和航空维修安全评估及预警。第四部分内容,包括第十一章至第十四章,是航空事故预防理论方法部分。着重论述了航空事故预防理论、预防技术、各类航空事故的预防措施及航空器适航管理。

《航空事故预测预警预防理论方法》的上述内容既相对独立,又紧密联系。航空事故预测的任务,是通过对事故现象和安全活动事实的观察、分析和总结,采取科学的方法,寻找它的发展变化规律,积极预防事故的发生,因此,事故预测是事故预警预防的基础和前提;航空事故预警,是在安全科学理论指导下,根据事故预测的结果,采用一系列预警技术方法,对航空事故的诱因进行监测、诊断及预先控制,预防事故诱因的萌生与发展,减少事故和事故损失,因此,预警是一种积极的、事前预防事故的有效方法和手段;预防各类航空事故的发生,是航空安全工作的出发点和归宿,也是一项十分复杂的系统工程,涉及到装备研制、生产、使用、维修等各个环节,与人、装备、环境和管理等因素密切相关。因此,预防事故既要运用科学的理论方法开展预测预警活动,也要运用系统工程的方法开展相关技术与管理活动。因此可以说,事故预测预警预防之间既有密切联系,又在理论方法上有所区别。事故预测预警是事故预防的有效方法和手段,而事故预防除了要开展事故预测预警活动外,还有在装备全寿命过程开展适航管理等活动,也要采取行政、法规、奖惩、责任制、文化等手段强化安全管理工作。事故预测预警预防的目标指向是一致的,但运用和采取的理论方法有所区别,只有将三者有机结合,才能产生一加一大于二的效果。

本书由端木京顺任主编,马震宇、常洪、甘旭升、赵录峰、高建国任副主编,全书由端木京顺负责统稿。参加编写的主要人员有:端木京顺、甘旭升、高建国、赵录峰、吴亚荣、杨晶晶。博士研究生吴鹏飞、宗蜀宁、王青、李闯、薛明皓,硕士研究生张东峰均做了大量工作。

在本书的编著过程中,得到空军司令部军事理论研究部、空军装备部外场部、

空军工程大学等单位领导和专家学者的大力支持和审读把关,对他们的辛勤劳动和高度关注安全学科发展的真知灼见表示诚挚谢意。同时,本书参考、吸纳了国内外、军内外安全领域有关专家学者的理论研究成果,在此深表谢意。由于航空事故预测预警预防理论方法还在不断发展和完善之中,加之我们能力和水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

二零一三年三月

目 录

第一章 航空事故	1
第一节 事故的概念与特征	1
一、事故概念	1
二、事故基本特征	2
第二节 航空事故的定义与分类	5
一、航空飞行事故的定义与分类	5
二、航空地面事故的定义与分类	9
第三节 航空事故统计分析	10
一、统计分析基础	10
二、统计任务与指标	15
三、统计分析的内容与方法	17
四、统计分析结果的表达	21
第四节 航空事故损失与影响分析	25
一、人员损失	25
二、经济损失	26
三、政治、心理影响	27
第二章 航空事故预测概述	29
第一节 事故预测概念和特点	29
一、事故预测概念	29
二、事故预测研究的发展	30
三、事故预测特点	31
第二节 事故预测原理	32
一、可知性原理	32
二、连续性原理	32
三、相似性原理	33

四、相关性原理	33
五、必然性和偶然性原理	33
第三节 事故预测步骤	34
一、确定预测目标	35
二、收集处理资料	35
三、选择预测方法	36
四、建立预测模型	36
五、分析预测结果	36
第四节 事故预测方法的分类、选择和评价	37
一、事故预测方法分类	37
二、事故预测方法选择	39
三、事故预测方法评价	41
第三章 直观预测法	43
第一节 头脑风暴法	43
一、头脑风暴法概述	43
二、影响头脑风暴法效果的因素	44
三、头脑风暴法的运用	45
四、头脑风暴法评价	48
第二节 德尔菲法	49
一、德尔菲法概述	49
二、德尔菲法的实施流程	50
三、德尔菲法评价	52
四、实例分析	53
第三节 情景分析法	54
一、情景分析法概述	54
二、情景分析法的特点	55
三、情景分析法的实施步骤	56
四、情景分析法评价	56
五、实例分析	57
第四章 时间序列预测法	60
第一节 时间序列预测法概述	60

一、时间序列及其相关概念	60
二、航空事故预测的时间序列	62
三、时间序列预测方法	63
第二节 自回归滑动平均模型	63
一、ARMA 模型基本原理	64
二、ARMA 模型的适用条件	65
三、ARMA 模型的建立	66
第三节 自回归求和滑动平均模型	68
一、ARIMA 建模原理	69
二、ARIMA 模型的非平稳性	69
三、ARIMA 模型预测	70
四、实例分析	72
第四节 指数平滑模型	74
一、移动平均模型	75
二、Brown 指数平滑模型	75
三、实例分析	78
第五章 计量模型预测法	80
第一节 回归预测法	80
一、一元线性回归模型	80
二、多元 Logistic 回归模型	83
三、实例分析	84
第二节 灰色预测法	86
一、GM(1,1) 建模原理	86
二、模型检验	87
三、实例分析	89
第三节 马尔可夫链预测法	91
一、马尔可夫链的基本概念	91
二、状态空间的划分	92
三、状态转移概率的估算和检验	93
四、马尔可夫链预测建模步骤	96
五、实例分析	97
第四节 均生函数预测法	98

一、均值生成函数	98
二、均生函数预测的建模步骤	101
三、实例分析	102
第六章 人工智能预测法	105
第一节 神经网络预测法	105
一、神经网络概述	105
二、BP 神经网络建模原理	106
三、BP 神经网络预测建模步骤	107
四、BP 神经网络建模应注意的问题	109
五、实例分析	109
第二节 支持向量机预测法	114
一、支持向量机概念	114
二、最小二乘支持向量机原理	115
三、数据预处理和核函数选择	116
四、实例分析	118
第三节 相关向量机预测法	120
一、相关向量机概述	121
二、相关向量机基本原理	121
三、相关向量机预测的建模步骤	123
四、实例分析	123
第七章 组合预测法	126
第一节 组合预测法的概念与分类	126
一、组合预测法概念	126
二、组合预测法分类	127
第二节 灰色马尔可夫组合预测法	129
一、GM(1,1)模型	130
二、马尔可夫模型	130
三、灰色马尔可夫组合建模流程	130
四、实例分析	130
第三节 灰色均生函数组合预测法	133
一、GM(1,1)模型	134

二、均生函数模型	134
三、灰色均生函数组合建模步骤	134
四、实例分析	134
第四节 灰色时序组合预测法	136
一、GM(1,1)模型	137
二、时间序列模型	137
三、灰色时序组合建模流程	138
四、实例应用	139
第五节 ARIMA-SVM 组合预测法	142
一、ARIMA 模型	143
二、SVM 模型	143
三、ARIMA-SVM 组合建模流程	143
四、实例分析	144
第六节 基于结果的组合预测法	146
一、非最优组合模型方法	146
二、最优组合预测方法	147
三、实例分析	148
第八章 航空事故诱因分析及预测方法	151
第一节 事故诱因分析分类体系	151
一、人的失误理论	151
二、REASON 模型	154
三、人因飞行事故诱因分析分类体系的构建	156
第二节 事故诱因分析方法	161
一、关联分析	161
二、聚类分析	162
三、实例分析	164
第三节 基于 Bootstrap 的事故诱因预测方法	169
一、Bootstrap 方法	169
二、预测实施步骤	170
三、实例分析	170
第九章 航空事故预警理论方法	174
第一节 航空事故预警基本理论	174

一、预警与预警管理	174
二、预警基础理论	175
三、预警原理	177
四、预警方法	186
第二节 航空事故预警指标体系	189
一、预警指标设计原则	189
二、预警指标及体系设计	190
三、预警指标测评	191
四、预警指标评价	196
第三节 航空事故预警系统	204
一、预警系统构建思路	204
二、预警系统基本功能	205
三、预警信息处理流程	206
四、预警系统运行模式	207
五、预警系统工作内容	208
六、预警信号输出方式	210
第四节 航空事故预警体系运行	211
一、运行原理	211
二、组织方式	212
三、工作流程	214
第十章 航空维修安全风险评估及预警	217
第一节 安全风险评估相关概念和理论	217
一、安全风险评估相关概念	217
二、危险源类型及其分析方法	218
三、安全风险评估内容程序及常用方法	223
四、航空维修安全风险评估及预警的基本思路	226
第二节 航空维修固有安全风险评估	227
一、固有安全风险与评估的概念	227
二、固有安全风险因素分析	227
三、固有安全风险评估指标体系构建	228
四、基于概率风险的固有安全风险评估	229
第三节 航空维修安全现状评估	233

一、安全现状评估及流程	233
二、安全现状评估指标体系的构建	234
三、基于安全检查表法的安全现状评估	240
第四节 航空维修现实安全风险评估及预警	247
一、现实安全风险评估的步骤	247
二、现实安全风险评估模型的建立	248
三、现实安全风险等级标准的确定	249
四、重大危险源及预警等级的确定	250
五、实例分析	250
第十一章 航空事故预防理论	253
第一节 事故的可预防性	253
第二节 事故预防基本理论	255
一、本质安全化理论	255
二、先兆辨识理论	256
三、海因里希法则	256
四、多米诺骨牌原理	257
五、系统控制理论	258
六、能量意外转移理论	259
七、安全文化理论	260
第三节 人为差错预防理论	262
一、人为差错产生的原因	262
二、人为差错本质特征	263
三、人为差错预控基本途径	264
第四节 安全系统控制方法	266
一、环境与时空干扰控制	266
二、航空作业危险控制	269
三、安全行为嵌套控制	274
第十二章 航空事故预防技术	279
第一节 装备安全性设计	279
一、设计目标与要求	279
二、安全措施优先顺序	281

三、设计通用准则	282
四、常用设计方法	283
第二节 机载安全装置	296
一、空中交通预警与防撞系统	296
二、增强型近地告警系统	297
三、失速告警系统	298
四、风切变探测系统	299
五、油箱安全装置	300
第三节 装备故障诊断	301
一、故障诊断基本概念	301
二、故障诊断技术活动	301
三、故障诊断方法手段	303
四、故障诊断技术应用	305
第四节 装备健康诊断与状态管理	307
一、PHM 的主要活动	307
二、PHM 系统的功能与基本结构	308
三、PHM 的信息处理技术	309
四、PHM 技术应用	311
第五节 飞行事故模拟再现系统	312
一、国内外研究现状	313
二、基本技术要求	314
三、主要技术方法	315
第十三章 航空事故预防措施	319
第一节 人为因素飞行事故预防	319
一、事故原因分析	319
二、事故主要特点	324
三、事故预防措施	325
第二节 机械原因装备事故预防	333
一、事故原因分析	333
二、事故主要特点	339
三、事故预防措施	340
第三节 环境因素飞行事故预防	345

一、事故原因分析	345
二、事故预防措施	353
第十四章 航空器适航管理	359
第一节 适航与适航管理	359
一、适航的定义	359
二、适航的发展	360
三、适航管理的概念与分类	362
四、适航管理法规文件体系	363
第二节 航空器初始适航管理	364
一、初始适航管理基本内容	365
二、航空产品的型号合格审定	365
三、航空器生产许可审定	369
四、航空产品适航性审查	371
五、合格证件的完整性保持	376
第三节 航空器持续适航管理	376
一、持续适航管理的内涵	376
二、持续适航管理相关部门及其责任	378
三、持续适航管理的主要内容	379
第四节 军用航空器适航管理	384
一、军用航空器适航管理的发展	384
二、军用航空器的适航性及管理概念	386
三、外军航空器适航管理	389
四、军用航空器适航管理的特点	396
参考文献	399

第一章 航空事故

航空事故是预测预警预防研究的对象,本章主要介绍航空事故的概念、特征、分类、统计分析规律和损失与影响等内容,为把握研究对象的本质特征,开展航空事故预测预警预防研究奠定基础。

第一节 事故的概念与特征

开展航空事故预测预警预防研究,首先应当界定事故的概念,阐明事故的基本特征,为理解航空事故的概念和开展相关研究奠定理论基础。

一、事故概念

由于人们所关注的重点不同,给出的事故概念也不一样。《辞海》对事故的解释是:“意外的变故或灾祸”;《现代汉语词典》的解释是:“事故多指生产、工作上发生的意外的损失或灾祸”;伯克霍夫(Berckhoff)对事故(Accident)的定义为:“事故是个人或集体在为实现某种意图而进行的活动过程中,突然发生的、违反人的意志的、迫使活动暂时或永久停止的事件”。

从这些解释和定义中我们可以看出:事故是一种发生在人类生产、生活活动中的特殊事件,人类的任何生产、生活活动过程中都有可能发生事故;事故是一种突然发生的、出乎人们意料的意外事件;事故是一种迫使进行着的生产、生活活动暂时或永久停止的事件;事故可能造成人员伤亡、财产损失、环境污染等违背人的意志和人们不希望发生的各种后果等。

从事故的发生、发展、消亡来看,事故本身具有一定的规律。一般地,事故隐患的产生、发展和演变可以分为三个阶段:事故隐患的孕育成长;事故的形成与发生;事故的消亡。

事故隐患的孕育成长阶段是事故的最初阶段,在这个阶段,由于影响事故的各种原因逐渐形成,事故隐患处于积累阶段,属于“量变”的过程。此时事故隐患还是无形的、隐蔽的,人们只能估计或预测事故可能发生的时间和地点,感觉到它