

飞机安全

(第2版)

——事故调查、分析和应用

AIRCRAFT SAFETY

ACCIDENT INVESTIGATIONS,
ANALYSES & APPLICATIONS

(Second Edition)

(美)莎丽·斯坦福·克劳斯(Shari Stamford Krause) 著

段卓毅 黄成发 李 炜 等译

蒲宏斌 霍宇鹏 李新中 审

航空工业出版社



013043539

V328
29

飞机安全

——事故调查、分析和应用

(第2版)

Aircraft Safety
Accident Investigations, Analyses & Applications
(Second Edition)

(美) 莎丽·斯坦福·克劳斯 (Shari Stamford Krause) 著

段卓毅 黄成发 李 炜 等译

蒲宏斌 霍宇鹏 李新中 审



航空工业出版社
北 京



V328
29

内 容 提 要

本书内容广泛,几乎涉及了有关航空安全的各个方面,包括飞行、机务、空管、天气、培训和有关的法规等。通过很多详实的案例,帮助我们认识和理解飞机安全的各个环节。本书适合飞行员、空中交通管制人员、航空爱好者、航空专业人士和学生做参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

飞机安全:事故调查、分析和应用:第2版/(美)
克劳斯(Krause, S. S.)著;段卓毅等译. --北京:航
空工业出版社,2012.12

书名原文:Aircraft safety: accident
investigations, analyses, and applications

ISBN 978-7-5165-0131-3

I. ①飞… II. ①克… ②段… III. ①飞机—飞行安
全—案例 IV. ①V328

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第304700号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2011-1024

Shari Stamford Krause. *Aircraft Safety: Accident Investigations, Analyses & Applications*, 2nd ed.
ISBN: 0-07-140974-2 Copyright © 2003, 1996 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by
any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, ta-
ping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the
publisher. This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Educa-
tion (Asia) and Aviation Industry Press. This edition is authorized for sale in the People's Repub-
lic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2012 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The
McGraw-Hill Companies, Inc. and Aviation Industry Press.

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签,无标签者不得销售。

飞机安全——事故调查、分析和应用

Feiji Anquan——Shigu Diaocha、Fenxi he Yingyong

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话:010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2012年12月第1版

2012年12月第1次印刷

开本:710×1000 1/16

印张:23

字数:380千字

印数:1—3000

定价:68.00元

译者序

《飞机安全》是一部研究航空安全的著作。该书早在 1996 年就已出版，是一本主要以案例说明事故原因，并从中汲取教训的专业参考书。作者克劳斯女士拥有博士学位，是一位资深航空安全研究顾问，其客户包括美国波音公司等国际著名飞机制造商。该书在飞机安全领域的研究独树一帜，其鲜活的案例、深入的分析对航空器的设计制造、安全使用均有很高的参考价值。2003 年再版时又加入了新的案例和主题，内容更为丰富，于是我们萌生将其翻译出版并与业内同行共享的想法，在中航出版传媒有限责任公司（航空工业出版社）的大力协助下，终于实现了这一愿望。

20 世纪 90 年代以来，我国民用航空运输业始终保持着高速增长，目前民航运输量已在世界范围内首屈一指，飞行器设计制造更是蓬勃发展。国产支线飞机即将交付，大飞机的研制紧锣密鼓，业界对飞机安全尤为关注。如何保持航空业健康发展，成为了广大航空人必须面对的一个重要课题。

我们希望通过翻译出版本书，使广大读者能够汲取前人的经验和教训，并结合各方的智慧和努力，进一步完善飞机设计、规范飞机使用，为我国的航空安全贡献绵薄之力。

本书的译审团队中，段卓毅、蒲宏斌来自中航工业第一飞机设计研究院，黄成发来自波音公司，李炜、李新中来自深圳航空，霍宇鹏来自翡翠航空，这些成员都是在航空工业和航空运输业工作多年的专业人士，具有丰富的理论基础和实践经验。我们根据各人的专长和经验进行了分工：第一章由李炜翻译，第二章由黄成发翻译，第三章由段卓毅、蒲宏斌翻译，第四章由李新中翻译，第五章由霍宇鹏翻译，并交叉进行了译审。

2 飞机安全

在翻译过程中，我们还把原书的一些排版、校对等方面的失误一并进行了更正。但由于团队人员水平所限，全书涉及专业范围又很广，故内容方面还有很多需要改进的地方，望广大读者、同行指正。本书在出版过程中也得到了航空工业出版社刘鑫和宗苏宁先生的大力指导、支持和帮助，谨此表示最诚挚的谢意。

译 者

2012 年 10 月

中文版序

以黄成发为首的几位热衷于民用航空发展的先生们翻译美国克劳斯博士写的《飞机安全》一书要出版了。对此，我非常高兴。黄成发先生希望我为中译本作序，我欣然允诺，因为我想借此谈点感想，以供读者参考。

《飞机安全》是民用航空业的永恒主题。没有飞机的安全保障，民用航空业就无法生存和发展。而今天民用航空业的安全水平是用鲜血和烈火的代价换来的。这就是说，飞机安全并非一开始就非常完善。当然，民用航空的从业者是想开始的设计和制造就非常安全，但事实上是做不到的。因而就出现了运营历史上的安全事故。克劳斯博士的这本书非常可贵的是积极地去总结、分析这些安全事故的真正原因，并找出防止事故再出现的一系列措施，其中可能有设计、制造方面的不足，也可能有使用、维修方面的缺憾和失误。而这些恰恰是让我们从业者提高认识、防微杜渐的财富。烈火不会白烧，鲜血不会白流。这些实践的积累也就成为飞机安全的不断进步，这也就是可靠性从 10^{-6} 不断上升到 10^{-9} 的历史过程，我们现在以至永远将仍处于这个过程之中。

世界航空界有这样一种思潮始终困惑着我们，他们认为飞机的设计制造是安全的“阳春白雪”，而维修使用是“下里巴人”。孰不知，失败是成功之母，实践是进一步完善成功的“母亲”。实践是检验真理的唯一标准，而否定实践本身就相当于摈弃真理。国际上成功的民用飞机的设计和制造企业，之所以有成功的对客户的售后服务和技术支持，他们不仅仅是本着为客户服务的理念去获取市场份额，更重要的是把这些售后工作看成是自身再发展和再完善的必需和财富。这一点是值得我们从业者清醒地认识到并身体力行去实践的。克劳斯博士这本书的内在思想就贯穿着这种思维逻辑，是积极的，是健康的，也是唯物辩证的。实质上，这已是一个认识论哲学范畴的问题了。

国际上，各个国家的民用航空器适航管理当局对民用航空器的设计、制造、使用和维修等全过程的起码安全标准（适航标准）的监管，也体现了这个概念。在依据现有适航法规前提下颁发适航批准证件后，其安全水平不是固定不变的。随着运营时间的推移，适航管理局发现了新情况、新问题，就会颁布强制性的适航指令，要求飞机设计、制造厂家和使用、运营公司按期完成适航指令所要求的改装或修正工作。否则，视该航空器为“不适航”，要求其停止运营，以保证飞机的真正安全。历史上“彗星”号飞机的疲劳裂纹造成空中解体、航空座椅在事故中的高死亡率等都涉及到提高适航标准的重要要求。飞机结构疲劳品质要求的增加，航空座椅 9g 的动态撞击要求提升到 16g 等，都是这种概念的具体体现。

因此，可归纳为：

（1）实践是检验真理的唯一标准。真理是无穷发展的，而实践也就在不断地延续，以求进一步认识更高阶段的真理。

（2）民用航空的不安全，实际上是未来航空安全的“母亲”。航空安全是以烈火和鲜血换来的，要珍惜它。



2012 年 11 月 12 日于珠海

目 录

引 言	1
第一章 人为因素	2
第一节 判断和决策	2
一、良好判断和决策的基本原则	2
二、良好判断和决策的实践	3
三、影响判断力的因素	6
四、认识危险思维模式的练习	8
参考文献	22
第二节 良好的情景意识来自准确的情景评估	23
一、阶段 1：发现问题	23
二、阶段 2：评估问题	24
三、通过监控和质疑而获得的情景意识	25
四、空运特快公司 DC-8 案例——情景意识缺失	27
参考文献	29
第三节 机组资源管理：人际技巧与娴熟飞行技术的结合	29
一、机组的人际沟通	30
二、机组的有效性	30
参考文献	32
第四节 位觉紊乱	32
一、感觉和位觉的协调	33
二、视觉和耳前庭感觉	34
三、感官的幻觉	35
四、位觉紊乱的分类	41
五、位觉紊乱的预防	42
参考文献	43

2 飞机安全

第五节 案例研究	44
案例 1-1: 美国航空公司 1420 航班	44
案例 1-2: 环球航空公司 843 航班	48
案例 1-3: 大韩航空公司 801 航班	53
案例 1-4: 美国西北联营航空公司 5719 航班	63
案例 1-5: 哥伦比亚航空公司 052 航班	69
案例 1-6: 美国之鹰航空公司 3379 航班	82
案例 1-7: 小约翰·肯尼迪的私人飞机	85
案例 1-8: 达美航空公司 106 航班	92
国际案例 1-9: 新加坡航空公司 006 航班	95
历史案例 1-10: 美国东方航空公司 401 航班	101
第二章 跑道入侵	106
第一节 跑道入侵	106
一、跑道入侵严重性的分类	108
二、按严重性分类的跑道入侵事件报告	109
三、按机型和运行分类的跑道入侵事件分布	110
四、结论	110
参考文献	111
第二节 案例研究	111
案例 2-1: 合众航空公司 1493 航班和西部航空公司 5569 航班	111
案例 2-2: 环球航空公司 427 航班与一架赛斯纳 441 飞机	119
案例 2-3: 美联航快运公司 5925 航班与一架比奇国王 A90 飞机	126
案例 2-4: 美国西北航空公司 1482 和 299 航班	134
案例 2-5: 美国东方航空公司 111 航班和比奇国王 100 飞机	142
历史-国际案例 2-6: 泛美航空公司 1736 航班和荷兰航空公司 4805 航班	151
第三章 气象条件	160
第一节 气团和锋面	160
一、气团	160

二、锋面·····	161
三、锋面波·····	163
四、锢囚锋·····	164
参考文献·····	164
第二节 云·····	165
一、低云·····	165
二、中云·····	166
三、高云·····	166
四、垂直发展云·····	167
五、特殊类型的云·····	167
参考文献·····	168
第三节 雷暴·····	168
一、不稳定的空气·····	169
二、抬升作用·····	169
三、水分·····	169
四、雷暴单体的生存周期·····	169
五、雷暴的类型·····	171
六、气象观测·····	172
七、暴雨对飞机飞行的影响·····	172
参考文献·····	174
第四节 下冲气流和低空风切变·····	174
一、宏下冲气流·····	175
二、微下冲气流·····	175
三、微下冲气流的分类·····	175
四、产生微下冲气流的云的分类·····	178
五、气温参数·····	179
六、低空风切变·····	179
七、风切变的征兆·····	180
参考文献·····	181
第五节 结冰的原因·····	181
一、层状云·····	181

二、积状云	182
三、卷状云	182
四、机体结冰	182
五、固定翼飞机结冰	186
六、锋带	188
七、进气口结冰	189
参考文献	191
第六节 湍流	191
一、对流湍流	191
二、机械湍流	192
三、山区湍流	193
四、地形波湍流	193
五、峡谷与深沟里的湍流	194
六、如何躲开地形波湍流	197
七、晴空湍流	197
参考文献	198
第七节 尾涡流	198
一、尾涡运动	199
二、大气因素	200
三、飞行准则	201
四、尾涡研究	202
五、波音 757 飞机的安全隐患	202
六、尾涡事故	203
参考文献	208
第八节 案例研究	209
案例 3-1: 合众航空公司 1016 航班	209
案例 3-2: 美国之鹰航空公司 4184 航班	217
案例 3-3: 达美航空公司 191 航班	222
案例 3-4: 合众航空公司 405 航班	230
国际案例 3-5: 中华航空公司 CI-012 航班	237
历史案例 3-6: 美国南方航空公司 242 航班	243

第四章 空中相撞	260
第一节 规避空中撞机：从“观察—避让”到“搜索—发现”	
.....	261
一、眼睛和大脑的联系.....	264
二、眼球的运动.....	264
三、远距离视觉的敏锐性.....	264
四、驾驶舱造成的单眼视觉区域.....	267
五、按照弧区进行的有效扫视.....	268
六、视觉技能的提高.....	269
参考文献.....	271
第二节 案例研究	272
案例 4-1：一架赛斯纳 340 飞机和一架北美人 T-6 飞机	272
案例 4-2：一架赛斯纳“奖状”飞机和一架赛斯纳 172 飞机 ...	276
案例 4-3：墨西哥航空公司 498 航班和一架派珀切诺基飞机 ...	279
案例 4-4：一架美国陆军 U-21 飞机和一架派珀纳瓦霍人飞机	
.....	284
案例 4-5：三菱飞机公司 MU-2 飞机和派珀萨拉托加飞机	
.....	289
历史案例 4-6：太平洋西南航空公司（PSA）182 航班和赛斯纳	
172 飞机	297
第五章 机械与维护的案例研究	304
案例 5-1：环球航空公司 800 航班.....	304
案例 5-2：美国联合航空公司 585 航班，合众航空公司 427 航班，	
东风航空公司 517 航班波音 737 飞机方向舵非指令性	
偏转事件	316
案例 5-3：瓦卢航空公司 592 航班	324
案例 5-4：大西洋东南航空公司 2311 航班	333
案例 5-5：美国联合航空公司 232 航班	339
国际案例 5-6：法国航空公司 4590 航班	349
历史案例 5-7：美国航空公司 191 航班	350

引 言

本书在真实飞机事故案例中加入了适当的研究材料和教学指导理论，此外，还加入了参考文献以对美国国家运输安全委员会（NTSB）的分析做详细阐述，并填补了一些空白。作者是要给不同背景、不同经验的飞行员和航空专业人员提供从事故中汲取的真实经验与教训，从而使读者可以在飞行环境里达到学以致用目的。

本书分为人为因素，跑道入侵，气象条件，空中相撞和机械与维护的案例研究五章。每章都加入了与主题有关的完整研究材料，每章都包括案例研究，并对与课题有关的事故进行了详细分析。

第一章

人为因素

与人为因素有关的各种错误是导致飞机事故的主要原因。本章讨论的都是人为因素错误范畴里最具代表性的课题。例如：判断和决策能力、情景意识、机组资源管理和位觉紊乱。

第一节 判断和决策

解决一个问题有两个前提：一是你意识到了这个问题，二是你发现了该问题的本质。

欧勒沙姆·朱迪丝

美国国家航空航天局艾斯姆研究中心

良好的判断和决策能力是一种心智技能，每一名飞行员都应该学习这种技能。大量的事故调查报告、安全研究以及学术研究表明，飞行事故发生时，飞行员的判断力都曾出现过问题。一些飞行员因为执行某些特定飞行任务而产生疲劳和压力，会出现短暂的判断和决策失误；但更多的事实表明，过于反叛或者过于顺从的性格特征，以及社会环境的影响，更容易导致飞行员的判断和决策失误，且后者更加普遍。让人欣慰的是，无论一名飞行员是否或者为何缺乏良好的判断和决策能力，他们都有学习良好的判断技能进而做出最佳决策的认知能力。

一、良好判断和决策的基本原则

感知能力和鉴别对错的能力是具备良好判断力和决策力的两个基本原

则。深入研究感知力和鉴别力的定义，我们会发现这两者涉及到与判断力相关的许多智力技能的层面，你通过发现、观察、察觉、理解去感知某一种情景，然后再通过认识、洞察、透析本质去鉴别正确和不正确的方法，最终确定一个解决问题的正确方法。

一个正确的决策必定基于一个正确的判断，而判断是认识问题的一系列过程。因此，一个正确的决策能够通过选择一个正确的解决方案来解决问题，同时，这个解决方案一定是基于飞行员掌握的知识、对飞行状态的敏锐感知和对相关操作程序的认识能力。千万不要认为每一次完美地解决了问题都来自正确的决策，例如，可能有飞行员会很愚蠢地穿过雷暴，却安全落地，但那只是幸运或上帝保佑而已，并不代表他做出了正确的决策。只有正确的判断才能做出正确的决策，也只有正确的决策才能确保解决问题。

二、良好判断和决策的实践

本章开篇所引用的朱迪丝对判断力的观点极其精辟。本书几乎所有的案例研究发现飞行机组犯了带有共性的几类错误，那就是飞行机组成员都同时忽视了问题的存在，或者是问题发现得太晚，或者是飞行机组虽然及时发现了问题，但却没有找到问题的本质。

所以，对于一名飞行员，如何学习去发现问题并及时采取合适的应对措施，答案就在于提高判断力的两个原则——精确的情景感知能力和找出解决问题最佳方案的能力。

（一）原则一：感知

培养精确的感知能力需要四个基本技能：敏锐的意识力、观察力、探求力和理解力。飞行员必须能正确地通过自身的专业知识和思考能力去处理信息，以便清晰地理解自己所处的环境。作为一名飞行员，要立志成为一个终身的学习者。书到用时方恨少，拥有飞行执照不能说明什么，那只代表你应该知道什么，飞行员必须要明白只有那些随时处于你大脑之中的信息才对你真正有用，这要求飞行员任何时候都要熟悉飞机各系统的专业

知识、飞机空气动力学特性和新的飞机软件及紧急程序。

飞行员还应该具有敏锐的观察力，及时发现自己所处环境的变化，这就要求飞行员要有能力排除其他因素对其注意力的影响，只有排除了不必要的干扰才能集中注意力，这一点非常重要。观察的质量决定着你所要去持续感知的信息的质量。当然对感知的信息做出了什么样的行动反应同样重要。美国东方航空公司 401 航班的坠毁（历史案例 1 - 10）就是因为机组没有意识到他们环境的变化，从而未能意识到他们所处的环境已经非常危险。

一旦飞行员对他们所处的环境了如指掌，他就可以马上专注于探求并彻底理解面临的问题。探求是指去发现问题的存在和本质，这就关系到飞行员是否认清了问题的本质。

1982 年，佛罗里达航空公司 90 航班坠毁事故是一个非常典型的例子，在事故过程中机长和副驾驶都缺乏上述那种对于飞行环境的认识能力，以致做出了错误的判断和致命的决策。90 航班是一架波音 737 飞机，由于天气原因在华盛顿国家机场等待起飞，在等候的两小时里，天气从持续中雪转为大雪。而机组没有打开发动机的防冰系统，导致发动机压气机进气道结冰。副驾驶曾经有几次置疑发动机压力比（EPR）的数据指示有时会不稳定，并说：“我不知道为什么 EPR 指示会有点异常。”在起飞滑跑阶段，这个不正常的情况仍然出现。副驾驶最后所说的急促话语明显表达了他被这个问题所困扰：“……看这个 EPR 指示，好像不太对劲儿……我觉得是有点问题……也许可能正常……搞不清楚。”机长未理会到或者忽略了副驾驶的这些话。

波音 737 飞机的使用手册上非常明确地写道：“……在结冰条件下，如果没有使用防冰系统，风扇进口压力温度传感器（Pt2）的皮托管将会出现结冰情况；不稳定的 EPR 读数可能表明发动机出现结冰……当 Pt2 的皮托管被结冰完全堵死时，EPR 的读数摆动现象将消失。”

机长对该情况没有显示出任何的感知能力。副驾驶虽然意识到此问题，同时也在不断地观察 EPR 的摆动，但他没有去探求和理解问题的本质。整个机组没有表现出感知 4 个关键阶段的能力，没有通过意识、观察、探求和理解去寻找问题的本质，以致最后没有真正地认识问题和解决问题。

(二) 原则二：鉴别

良好判断力的第二个原则是在正确和错误的解决方案中具备找到正确处理问题方法的鉴别能力。当问题出现时，总是会有很多应对方案，一名飞行员在众多方法中能成功找到正确的方法去解决问题，才算是对上述4个步骤的使用达到了出神入化的地步。如何找到正确的解决方法，这就需要发现问题、洞察问题，更需要理解问题的本质。

在准确地认识问题并解决问题方面，美国联合航空公司 232 航班（案例 5-5）的飞行机组是一个非常好的案例。这架 DC-10 飞机在 37000 英尺^①的高度巡航时，尾挂的 2 号发动机的一级风扇盘从根部断裂甩出，打坏了整架飞机的飞行控制液压系统。飞行机组（机上还有一位不当班的美联航 DC-10 机长）在这种情况下开始控制飞机，并且对飞机的状况进行了系统的评估。因为如此严重的问题一般不可能在实际飞行中发生，所以他们之前从未接受过类似的模拟训练。机组人员使用了他们对于该机型深厚的专业知识，并保持了对飞机飞行状态的密切监控，避免了不必要的分心和影响。基于他们对机型理论专家般的精通和对当时紧急状态的深入观察，他们才探求到所面临问题的复杂性和多样性。正是这种优秀的认识能力，使他们发现并掌握了当时灾难性状况的本质。

有了准确认识和对紧急状况的正确理解，机组在众多的解决方案中才能鉴别出一个正确的方法。例如，按照设计 DC-10 飞机在平飞中应处于配平状态，因为 232 航班在发动机失效前配平设定巡航速度为 270 节，飞机自动地试图在这种紧急状态下维持这种构型，而没有理会飞行机组的操纵动作。而且，发动机爆炸对飞机造成的损伤使飞机发生了沿飞机纵轴的移动，导致连续不断的纵向摆动（这就是大家熟悉的“鸡啄米”现象）。为了维持飞机可控飞行，机组通常要加大推力，这个动作会使飞机抬头，而飞机会继续自动配平并重复出现“鸡啄米”现象。所以飞机没有对正常的抑制“鸡啄米”方法做出反应，如果没有额外的推力控制，飞机就会

^① 1 英尺 = 0.3048 米。