



空天传奇系列科普丛书

丛书主编 周日新

飞向安全

——航空飞行的进步之源

顾世敏◎编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



空天传奇系列科普丛书

丛书主编 周日新

飞向安全

——航空飞行的进步之源

顾世敏◎编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

这是一本描述近年各类民航飞行事故的书，但又不是通常的科普或叙事，而是通过客观事实的陈述、科学调查的理解和工程技术的分析，为读者呈现民航飞行安全的全局性态势，力图揭示科学技术与社会发展如何相伴而行，提炼具有普遍认知的意义，以及深入阅读的价值。具体说，本书的主线是人与工具的关系。工具是人类社会持续繁荣的法宝，人类的思考只有通过工具落实为行动，才能获得高效的收益。同时，人类不是完美的，甚至有先天缺陷，例如人类的飞行能力，需要通过飞机这类工具来实现。

打造、利用和改进工具是人类实践的主旋律，对于本书来说，就是描述人类如何在利用飞机这个工具时，还要确保飞行安全，所描述的人与工具的关系就是人与自动化的关系。因此，通过五个章节的分类，本书力图揭示近年来民航运输飞行安全的发展历程，以及正在努力的方向。

图书在版编目(CIP)数据

飞向安全：航空飞行的进步之源 / 顾世敏编著. —

北京：北京航空航天大学出版社，2016.1

ISBN 978-7-5124-2009-0

I. ①飞… II. ①顾… III. ①飞机—飞行安全—普及读物 IV. ①V328-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第314823号

版权所有，侵权必究。

飞向安全 ——航空飞行的进步之源

顾世敏 编著

责任编辑 蔡 喆

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话：(010) 82317024 传真：(010) 82328026

读者信箱：goodtextbook@126.com 邮购电话：(010) 82316936

中国铁道出版社印刷厂印装 各地书店经销

*

开本：700×1000 1/16 印张：11 字数：264千字

2016年1月第1版 2016年5月第2次印刷

ISBN 978-7-5124-2009-0 定价：29.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题，请与本社发行部联系调换。

联系电话：010-82317024

编委会

主 任：刘嘉麒

编 委：（按姓氏笔画排序）

王直华 王渝生 尹传红 石顺科

朱毅麟 刘大响 刘德生 孟东明

陈芳烈 张聚恩 周日新 居云峰

戚发轫

丛书主编：周日新

作 者：（按姓氏笔画排序）

王宏亮 王钟强 车晓玲 石 磊

李 杰 李成智 周日新 庞之浩

顾世敏

总 策 划：赵延永

编 辑：赵延永 胡 敏 蔡 喆 陈守平

天外有天

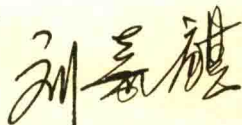
《空天传奇系列科普丛书》序

自古以来，人类一直对天空充满着神秘感，寄托着飞天的企盼，于是发明了风筝、热气球、飞艇、滑翔机、飞机、直升机、火箭、卫星、飞船……一步步腾空而起，一程程远走高飞，从地球到宇宙，在浩瀚的天空翱翔，不仅能“坐地日行八万里”，一天绕地球一圈，还能挣脱地球的引力，将人送入远离地球 300 千米以上的太空，在那里遨游，停留……从第一个驾机腾空的莱特兄弟，到发明喷气式发动机的欧海因、惠特尔，从第一个进入太空的加加林到中国航天第一人杨利伟……人类在探索空间的征程中，创造了无数奇迹，留下了许多惊心动魄、感人至深的故事。天外有天，地外有地，天有多高，梦想就有多远，探索空间的征程永无止境。航空航天始终是探索宇宙的急先锋，是人类最伟大、最光荣的事业。

人们通常把地球表面以上的大气层空间称为空，在这部分空间的航行称为航空；而把地球大气层以外的广大空间称为天，在近地球和地球以外宇宙空间的航行称为航天，有时也称为航宇。可见，航天比航空的范围要大得多。无论是航空还是航天，都需要高度复杂精准的飞行器，它需要特殊的材料，特殊的设计，特殊的加工制造，以适应特殊的宇宙环境，并保持与地面联系的畅通。可想而知，每个飞行器都包含着无数的奥秘：为什么数百吨的飞机能够在高空飞行？为什么宇宙飞船可以在漫无边际的天河里行舟？空中旅行与地面旅行有什么不同？在失重环境下，人们是怎样生活的？……

为了揭开这些引人入胜的奥秘，北京航空航天大学出版社邀请国内一批知名专家和科普作家，创作了“空天传奇系列科普丛书”。作者们以独特的视角选取了航空航天中颇有代表性的八个主题，从不同的方面展现了航空航天的迷人世界，把载人航天器的今生来世徐徐道来，航母舰载机的非凡战绩活灵活现，既显示了空中旅行的快捷与舒适，也抒发了出使宇宙的神奇与豪迈。我作为探索自然奥秘的痴迷者，被空间科学的博大精深和这套丛书的丰富内容深深地吸引，也被航空航天人的博大胸怀和大无畏精神所感动。期待着这套丛书早日与读者见面。

中国科普作家协会理事长
中国科学院院士



主编序

1897年，巴西青年桑托·杜蒙坐在气球下用柳条制成的吊篮里，抓起一个沙袋扔下后，气球系着吊篮冉冉升空，杜蒙感觉周围的空气好像静止不动，随着气球一起上升着。他完全痴迷了，升空是如此快乐，好像不是气球在上升，而是大地在下沉！

1963年，美国飞行员瓦尔克驾驶飞机升上107.9千米高空，成为名副其实的驾驶飞机的航天员，他经历了3分钟失重的感觉，体验到脱离地球桎梏的喜悦，看到了置身美丽太空似被蓝白色彩带所包围着的弯弯的地球！

人类关于航空航天的梦想源远流长，而航空航天之魅更是无与伦比，无数人为之痴迷，为之奋斗，不惜牺牲生命。千百年的努力，成就了今天航空航天事业的辉煌。

航空实现了人类自古就有的升空梦想，航天更是让人类迈出了走向太空的重要一步。

今天，航空航天仍是神秘的高科技领域，人们对航空航天的好奇心有增无减。人类进军航空航天的势头更为强劲。航空航天又是现代国防的重要组成部分，随着我国各种新型号战机和大型客机的推出、航空母舰的服役和载人航天的发展，航空航天正在走向大众，大众也迫切需要了解航空航天的前世今生，普及航空航天知识不仅可以满足人们的好奇心，还将对我国的国防事业起到积极的推动作用，可促使更多优秀的青少年投身于祖国的航空航天事业。

2003年飞机诞生100周年之际，北京航空航天大学出版社邀我主编了一套10册的“百年航空系列科普丛书”，在社会上产生了一定的影响。13年后的今天推出的“空天传奇系列科普丛书”则吸收了航空航天领域的最新成果，内容更为翔实，故事更为生动，装帧更为精美，力争给读者一个全新的感受。

本丛书共8册，均由资深航空航天科普专家撰写，内容涉及航空器设计、航空史第一次、航空动力、空中旅行、航母舰载机、载人航天器、探访太空、拓荒宇宙诸领域，记述了航空航天发展的前世今生以及为之拼搏的探索者，可以说是最新版的航空航天概览。

愿此丛书能够给青少年航空航天爱好者和广大读者带来知识与愉悦。

丛书主编



作者自序

虽然飞机只是现代交通工具之一，但是，或许你已经注意到，无论事件大小，航空事故总会成为社会关注的热点。而且，与其他交通工具事故不同，航空事件的关心者不仅是航空运输业的从业人员和搭乘飞机的旅客，还包括事故相关地区乃至飞机系统制造和飞行组织者，每一次航空事故的调查结果都不会停留在就事论事的层面上，而是深入到设计原理的反思，制造过程的督察，以及运行管理的评估。由此，尽管航空运输产品技术十分成熟，航空旅行已是现代公众出行方式中最安全的一种形式，社会和公众仍然特别关心每一起航空事件，这就或许反映了人类对飞翔的敬畏，以及彻底征服天空的渴望。

为此，本书的写作目的是，通过近年来航空事件的总结，努力反映航空业的进步水平，表达航空人的持续努力。但是，本书不打算罗列所有飞行安全事件，也不是简单地收集严重伤亡的事件，而是进了一步，根据国际航空管理当局和行业委员会的共识，对近年来的各类航空事件的分析、分类、归纳和总结，提炼当今航空飞行安全的典型问题，依循对客观世界的再认识，通过五个章节，描绘飞行安全的改进之旅。

在这些典型问题中，有些是随着技术进步，在解决了老问题的同时带来的新问题；有些则是顽疾，长期与航空业如影随形，需要我们继续不懈的努力。

本书的写作基础是飞行安全事件的国家调查报告，遴选入书事件的准则是事件特性所揭示的问题特征；再者，与传统写作环境相比，专业网络论坛发展起来了，这就为作者与事件发生地和国际专业人员研讨提供了前所未有的交流平台。因此，本书的特点是，融合了国家调查报告的科学分析、结论和多国专业人员的见解，以及作者35年相关科研和工程经验的功底，这是市面上其他空难事故著作无法比拟的。

为此，通过作者精心研究、分类归纳和深度提炼，本书并非简单叙事，而是打算提供三方位的贡献。首先是奉献给长期关心飞行安全事件的读者，期望为他们分享尽可能真实、鲜明而生动的业内见解；二是奉献给相关专业的读者，期望为他们提供改进思索和创新灵感；三是其他领域的工作者，期望通过这种专业性的归纳和提炼，为他们呈现快捷而准确的飞行安全的全局性观察，并可作为他们的研究和调研素材，为自己的业务提供相关行业信息参考。

目 录

第一章 航空工业 亡羊补牢

科尔根败走水牛城	2
C-5 巨无霸意外跌绊	8
老少配落难大西洋	14
自动系统再惹事端	20
韩亚航失事旧金山	26
疲劳并非肇事之源	31

第二章 职业素养 价值凸显

起落之间的风险	38
彪悍无益飞行安全	43
希腊上空离奇坠机	47
事故与疏忽密切相关	52
崭新飞机自毁在家门	57
飞行高手飞过站	62

第三章 技术进步难料外界干扰

中国民航痛失安全记录	68
“红魔毯”坠地的内在原委	73
小电池成为大难题	78
娃娃兵迷失印尼国	83
长官意志再演大惨剧	89

第四章 做人操守铸造最后防线

沉着应对转危为安	96
化险为夷成败皆机组	102
波音飞机力竭落草坪	106
哈德逊河上的奇迹	111
飞行机组构成最后防线	117
事故之后且论发展观	122

第五章 持续改进驾驶舱安全

精神错乱岂成挡箭牌	130
同仇敌忾制服杀手	135
豪华飞机意外坠落大西洋	140
勇于自救保安全	146
难以置信的蓄意谋杀	152
两人制机组前景如何	157

第一章

航空工业 亡羊补牢



科尔根败走水牛城

尽管航空飞行技术已经迈入新世纪，但是最古老的气象问题仍是飞行安全的困扰……

布法罗城风雪频繁

美国的气象爱好者都知道这个角落——纽约州西部城市布法罗。布法罗的意思是水牛，所以华人多称其为“水牛城”。这是美国伊利湖东岸的一个港口城市，位于尼亚加拉河南口，与加拿大的伊利堡隔着尼亚加拉河相望。地处湖滨平原决定了灾难性暴风雪是水牛城的家常便饭。美国福布斯杂志评选的美国最不宜居住的十大城市中，布法罗名列倒数第八。但是，能够在这里留下来的人，则以与暴风雪周旋为荣。正如当地一位议员所说：如果不喜欢冬季生活，就不能在这里生存。1936年圣帕特里克节期间和1977年的大风雪均导致数十人死亡；1985年，从



失事飞机在一次正常飞行中

伊利湖上吹来的飓风把整个城市覆盖成了冰雪天地。布法罗年平均降雪量为 230 厘米，截至事发之时，当年的降雪已达 203 厘米。

2009 年 2 月 12 日晚，美国科尔根航空公司运营的一架加拿大庞巴迪公司产冲 - 八 Q400 支线飞机执行 CJC3407 航班任务，从新泽西州纽瓦克前往布法罗。机长马文·勒斯鲁，47 岁；副驾驶丽贝卡·肖小姐，24 岁。这一天照例是冰雪天，他们注意到机翼前缘和风挡雨刷发生结冰，起飞后 11 分钟就接通了机上除冰系统。Q400 使用螺旋桨发动机，主要采用一种叫做除冰带的技术。该技术十分成熟，源于 20 世纪 30 年代，即用橡胶制品覆盖在机翼和尾翼前缘上，内部有通过空气的气腔，通过空气增压进行扩张与收缩循环，造成外表变形，使冰层破碎，这样，高速气流就把破碎的冰层吹走。喷气飞机使用喷气发动机的增压热气对机翼加热除冰。

虽然布法罗以暴风雪的凶猛著名，但机场安全记录优良。气象记录表明，12 日当晚 22 时，CJC3407 航班到达前夕，机场地面温度为零度，小雪，西风 30 千米/小时，能见度 4700 米，云底高 800 米，没有达到关闭机场的标准，大小飞机正常起落。

结冰问题困扰现代飞机

巡航中途，马文和丽贝卡继续讨论结冰情况。空中结冰要具备几个条件，一是大气温度在正负 10℃ 之内；二是存在足够的水汽，如云雾环境；三是需要有供结冰的附着表面，例如机翼表。鉴于航线前方有浓重云雾，他们要求下降高度，交通管制给予批准，飞机从当前的 4800 米下降到 3300 米。

根据事后公布的空地通话录音，CJC3407 航班在抵达布法罗机场前一切正常。塔台按正常情况处理 CJC3407 航班的着陆，说：“科尔根 3407，下降并保持高度 1520 米。”丽贝卡回答说：“1520 米，科尔根 3407。”塔台随后指示科尔根 3407，下降，右转，高度 1000 米。丽贝卡回答说：“右转，高度 1000 米，科尔根 3407。”塔台接着指示：“科尔根 3407，保持高度 700 米。”丽贝卡回答：“右转 260，保持高度 700 米。”塔台继续指示：“科尔根 3407，科尔根 3407，这是布法罗塔台，能否听到？”不过，这一次，丽贝卡再也未能回复。

塔台立刻询问科尔根 3407 航班邻近的德尔塔航空公司 1998 航班飞行员：“德尔塔 1998，请观察右侧是否有一架冲 - 八飞机，高度应为 700 米。”德尔塔 1998 航班飞行员回答说，没有发现。塔台开始担心冻

雨天气对飞行造成危害，德尔塔 1998 航班说下降时飞机开始结冰，此刻冰层厚度不再增加，保持在 5 毫米左右。塔台最后只能向全体在附近飞行的飞机通报说，地面已失去与科尔根 3407 航班的联系，但 3407 航班飞机未能抵达机场。



俯瞰坠毁现场

飞行数据记录仪的数据证明，3407 航班飞机直到坠毁前 26 秒钟还未出现异常，飞机处于自动驾驶仪工作的状态，飞行机组忙着在茫茫黑夜中穿越低云层，连续转弯，对准跑道。这时，失速告警振杆器突然启动，提示速度过低，即将失速，自动

驾驶仪自动推低机头，以便加速。这时，飞机突然剧烈抬头，仰角达到了超出飞机性能的 31 度，造成仰角过大而滚转失速，碰上附近的居民住宅，坠毁起火，房屋内一名 61 岁的男子遇难，他的妻子和女儿侥幸逃生。最终，本次事故造成机上全部 49 人和地面 1 人遇难。

技能不足源于培训不足

空中结冰是当前民航飞行中最危险的杀手之一，但也是一种常见现象。经过多年的深入研究，航空界已有充足手段应对。同时，美国国家运输安全委员会一直把空中结冰列为最危险的飞行条件之一，最近一次关于结冰的安全通告发布于 2008 年 12 月，再次提醒驾驶员在冬季飞行中要特别当心结冰影响和处理办法，并重申一旦发现结冰现象，就要立刻启动除冰系统。飞行人员千万不可因冰层尚薄就掉以轻心，对自己的操作能力过分自信。

在民航进入喷气时代大半个世纪之后的今天，民航飞行员越来越依赖飞机上的除冰系统和自动飞行系统，容易丧失对结冰影响所应有的基本警觉。即便在使用传统橡胶带除冰技术的飞机（如冲-八飞机）上，飞行机组也习惯于等待冰层积累到一定程度后才开始除冰。

当代飞机普遍采用自动飞行系统，在飞机结冰初期，自动飞行系统逐步补偿气动特性的变化，直到无法补偿时才突然发出警报，并将飞机的驾驶权交给飞行人员。飞行人员往往因此而措手不及，采取鲁莽的补偿行

自动飞行系统

飞机上各种功能的飞行自动控制分系统的合称，包括飞行控制、导航、显示、监视和通信功能。

动, 加上对具体情况的失察, 一旦决策失误, 行动不当, 就会诱发更严重的气动特性变化, 甚至深失速。尤其在起飞下降阶段, 飞机高度和速度的裕度相当有限, 一旦操作失误, 基本上就没有挽回的机会了。

鉴于这种情况, 美国国家运输安全委员会建议航空公司, 要求飞行人员在结冰环境中人工飞行, 实际感觉飞机特性变化, 使自己处于防冰意识中, 准确决策, 及时行动。

一旦结冰, 气动特性变化, 飞机对操作反应开始变得“奇怪”起来, 要避免大机动飞行动作, 例如转弯。对于小型飞机而言, 结冰不仅造成气动特性恶化, 还因为结冰而增加重量及发动机负荷, 动力响应迟缓, 这是更危险的情形。

一般认为涡轮螺旋桨飞机可比相同级别的喷气飞机节约 30%~40% 的燃油消耗, 在短途航线上更具有竞争力。Q400 于 2000 年投入运营, 典型布局 74 座, 使用普惠 PW150A 涡轮螺旋桨发动机, 为城市之间的快速穿梭飞行服务进行了降噪改进设计, Q400 中的 Q 就是英文“安静”的意思。当前这种飞机已销售 300 架, 全球范围内有 30 多家用户, 包括在北美寒冷地带如加拿大和美国安克雷奇等运行时具有良好安全记录。



坠毁现场

美国国家运输安全委员会

美国国家运输安全委员会成立于 1967 年, 总部设于华盛顿, 是美国联邦政府的一个独立机关。专责于美国国内的航空、公路、铁道、水路及管线等事故的调查。因美国为世界上一个主要的飞机制造国, 它常以飞机制造国身份受邀协助其他国家的航空事故调查。



坠毁现场

低成本航空公司

低成本航空公司又称廉价航空公司，指的是取消一些传统服务，例如免费饮食和免费行李托运，将运营成本控制得比一般航空公司低，从而可以提供便宜票价的航空公司。主打方向是自费旅客，随着人们生活水平的不断提高，在消费日益增长的现代社会中，得以蓬勃发展。

小型航空公司的成本因素影响飞行安全

在新闻媒体报道中，失事的飞机属于美国大陆航空公司，其实是属于一家叫做科尔根的地方航空公司。美国航空公司之间有相当紧密的合作关系。例如，作为骨干航空公司，大陆航空公司主要经营国内外骨干航线，通过与地方航空公司的合作，拓展自己的航线范围。CJC3407就是大陆航空公司的这样一个协议合作航班，由科尔根航空公司经营。这样，大陆航空公司无须维持众多小飞机和地区航线，而科尔根这类地方航空公司也无须建立庞大的市场销售渠道，就可获得稳定客源。

美国这类小型航空公司与我国低成本航空公司或地方航空公司的概念不同，例如科尔根航空公司拥有 51 架涡轮螺旋桨支线飞机，同时为美大陆、美联航和美合众国等多家骨干航空公司提供区域性航班衔接服务，其主要优势在于运行成本低，员工薪水也只是大型航空公司的四分之一到三分之一。科尔根航空公司机长每飞行小时工资为 40 美元，如每月飞行 75 小时，则年薪 3.6 万美元。美国骨干航空公司机长的平均年薪为 13.6 万美元。此外，由于支线飞行时间短，飞行员实际飞行时间积



坠毁现场

累相对缓慢，勒斯鲁机长仅有 3379 小时飞行经验；而他这个年纪，在美国骨干航空公司里可飞到上万飞行小时。副驾驶丽贝卡小姐的飞行时间更短，仅有总计 2244 小时。“重要的不是飞行时间的积累，而是和谁在一起。”美国民航飞行员顾问团负责人说。“如果你待在骨干航空公司，你可以与许多富有飞行经验的飞行员在一起，耳濡目染，你可以学到很多东西，在关键时候，他们还可以帮你一把。”

根据当前的调查结果，CJC3407 的飞行机组并没有违反现行规定。根据 Q400 飞机手册要求，只有在严重结冰的情况下才必须使用人工飞

行, CJC3407 航班的气象情况是轻度结冰, 允许飞行员实施自动飞行。即便如此, 飞行机组也及时接通了除冰系统, 并按规定为自动驾驶仪设置了告警速度增量, 这是在结冰环境下飞行时的规定动作, 为自动飞行系统增加 37 千米/时的失速告警量, 这个数值也是民航界应对冰雪天气飞行时惯用的失速告警提前量。

CJC3407 航班飞行机组未能成功降落的根本原因在于飞行机组疏于对恶劣天气影响的全程监控, 可归结为经验不足, 以及航空公司的应变训练不足。当飞机因为结冰开始变得不听话后, 勒斯鲁机长的错误操作导致飞机失速, 而作为副驾驶的丽贝卡小姐资历太浅, 也没有能力应对这种突发情况。

为此, 根据美国国家运输安全委员会的整改要求, 美国联邦航空管理局重新审视航空公司的飞行人员的入职考核标准, 并着手安排科研机构进行数据收集和实验分析, 以便提出具体的整改措施。

机翼结冰

机翼结冰破坏了预定的气动流场, 导致升力减小、阻力增加, 操作特性恶化, 降低了襟翼等辅助装置的效能。更危险的情况在于尾翼。在飞行过程中, 尾翼是飞行机组无法看见的部位, 与主翼相比, 尾翼面积更小, 结冰时间更早, 结冰速度更快。有经验的飞行员认为同等条件下尾翼结冰厚度是主翼结冰厚度的 3~6 倍, 只要看见主翼开始结冰, 就可以认为尾翼已经严重结冰。



C-5 巨无霸意外跌绊

飞机起飞 10 分钟后因发动机故障返回机场，机组人员从英雄变为“狗熊”……

“银河”坠机事发突然

C-5“银河”运输机是美国洛克希德公司生产的大型战略军用运输机，也是美国空军现役最大的战略运输机。20 世纪 60 年代，美国确立全球打击战略，提出加强灵活反应能力和战略空中机动的需求。按照这种要求，美国空军提出一种可在野战跑道上正常起降的、载重量在 50 吨到 100 吨左右的洲际飞行重型运输机。



C-5“银河”运输机

1964 年，美国军方开始确定飞机和发动机承包商，波音公司、道格拉斯公司、通用动力公司、洛克希德 - 乔治亚公司和马丁·玛丽埃塔公司参与飞机竞标，通用电气公司、寇蒂斯 - 赖特公司和普雷特·惠特尼公司参与发动机竞标。1965 年，军方选中通用电气公司的发动机设计方案和洛克希德公司的飞机设计方案。

1970 年，C-5 开始交付，总计生产 131 架，远低于计划的 200 架目标，主要由美国空军机动部队使用，先后派驻在其下属的位于俄克拉荷马州的阿尔特斯、特拉华州的多佛，以及加利福尼亚州的特拉维斯。两

美国空军机动部队

美国空军机动司令部是美空军十大一级司令部之一，总部位于伊利诺伊州斯科特空军基地，成立于 1992 年，由军事空运司令部和战略空军司令部改编而成，是空运系统和空中加油机部队的融合。