

国家重点基础研究发展计划（973计划）——

“民机飞行安全中的人为因素影响机理研究”课题资助

国外航空人为因素研究进展

Research of Foreign Aviation Human Factors

江卓远 孙瑞山 主编
曹全新 靳慧斌 主译

国外航空人为因素研究进展



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

20122

阅 览

国家重点基础研究发展计划(973 计划)——

“民机飞行安全中的人为因素影响机理研究”课题资助

国外航空人为因素 研究进展

Research of Foreign Aviation Human Factors

江卓远 孙瑞山 主编
曹全新 靳慧斌 主译



 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

国外航空人为因素研究进展/江卓远,孙瑞山主编;曹全新,靳慧斌译. —天津:天津大学出版社,2011.8

973 项目“民机飞行安全中的人为因素影响机理研究”课题资助

ISBN 978-7-5618-4063-4

I. ①国… II. ①江…②孙…③曹…④靳… III. ①民用航空—飞行安全—人为因素—外国—文集 IV. ①V328-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 155017 号

出版发行 天津大学出版社
出版人 杨欢
地址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网址 <http://publish.tju.edu.cn>
印刷 天津泰宇印务有限公司
经销 全国各地新华书店
开本 185mm×260mm
印张 26
字数 649 千
版次 2011 年 10 月第 1 版
印次 2011 年 10 月第 1 次
定价 120.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

《国外航空人为因素研究进展》编委会

主任 陈迎春

副主任 江卓远 孙瑞山 舒秀丽

编委 曹全新 靳慧斌 刘汉辉 陈斌 黄世杰

前 言

为了给民机驾驶舱人机工效研究领域提供更加丰富的参考资料,以便于广大研究人员了解和消化国外在民机设计领域有关人为因素最新的研究成果,本书编委会有选择性地翻译了 20 篇较为经典的国外研究论文和报告。本书所遴选的论文和报告涵盖了航空人为因素的分析 and 分类系统、驾驶舱显示、机组操作、交通防撞、驾驶舱视界、情景认知等多个领域,可以作为民机人为因素研究人员和民机设计人员、运营人员和飞行员培训等人员的参考资料。

本书适用于民机安全、民机设计、民机适航、民机运营、民机培训的广大工程技术和管理人员学习参考。

在本书即将出版之际,向下列有关方面致以诚挚的谢意。

十分感谢中国商飞上海飞机设计研究院郭博智院长为本书作序,他长期从事飞机设计和研究工作,对民机的设计和相关的预先研究工作有着独到见解,由于他的成绩卓著,获得了国务院特殊津贴,并且多次获得省部级奖项。

感谢中国商飞上海飞机设计研究院科技委主任、国家重大基础研究项目(973)“民机驾驶舱人机工效综合仿真理论与方法研究”首席科学家陈迎春研究员对本书的指导,感谢项目管理办公室舒秀丽主任对课题工作的支持!

感谢本书的译稿人和审稿人,正是由于大家的共同努力以及对本书进行的无数次大大小小的修改,才最终使这本译文集能够在这么短的时间内与大家见面。本书的译稿人包括(按字母排列,不分先后):

上海飞机设计研究院人员:曹全新、黄世杰、李林、刘海燕、李磊、梁秋明、马显超、徐德胜、许健、余亮、岳峰;

中国民航大学人员:靳慧斌、胡雪明、李华明、刘皓、刘露、林雁、石瑞芳、赵刚、赵青。

中国民航大学民航安全科学研究所的师生负责全书翻译的整理校对,在此要感谢刘汉辉教授对全书翻译校对的指导工作和对全书的统校工作。

另外,还要特别感谢课题组组长江卓远研究员和课题组副组长孙瑞山教授,他们负责本次的译文组织管理工作,并对整个论文的遴选、审稿付出了大量的心血,保证了编译工作在短时间内高质量完成。

《国外航空人为因素研究进展》编委会

序

民航客机的安全性一直是乘客、航空公司以及飞机制造商所最关注的问题之一,任何一次民航客机事故都会造成人民群众的重大生命财产损失,也会对民航客机运营和制造企业产生巨大的社会负面影响。

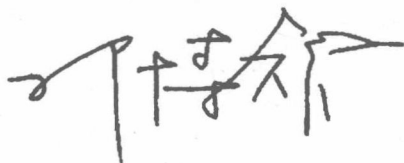
据统计,在全球喷气式客机造成机体损毁的事故中,大约有70%是机组人员的原因。这些事故有的是由于机组人员操作不当、训练不充分等人为因素引起的;有的是由于飞机设计不完善诱发的人为差错引起的。从飞机设计的角度来看,一套科学的、合理的飞机设计方案能够最大限度地减少人为差错的可能性;相反,一套欠科学的、还不够完善的设计方案可能会增加人为差错的可能性。因此,深入研究民航客机飞行安全中的人为因素影响机理、为人机功效设计提供充足而坚实的理论依据已经成为当前民航客机设计过程中不可或缺的重要一环。

“民机飞行安全中的人为因素影响机理研究”国家973课题正是适应这样一种需求而开展的基础性研究。参与课题研究的工程技术和高校科研人员都是来自我国民机设计以及民机安全运行研究的第一线,他们有着丰富的设计实践和研究经验。课题组成员查阅了大量的国外相关文献资料,从中遴选出特别有参考价值的一部分资料并认真翻译、校对、编纂成书,奉献给广大的读者。

本书的出版,是借鉴国外先进民机设计理念、弥补我国民机人为因素影响机理研究的不足、提高民机设计、营运及管理水平的宝贵参考资料。相信本书的出版也将进一步推动我国民机在人为差错研究、控制、管理、培训等领域的综合发展,并起到重要的指导和借鉴作用。

进入新世纪以来,国家大力发展民航事业,国内的飞机制造业也迎来了重要的发展机遇。ARJ21-700新支线客机和C919大型客机相继立项,越来越多的高校科研人员和工程技术人员、管理人员投身到飞机设计、制造和管理的行业中。虽然我国的民机产业与世界的领先水平还存在着一定的差距,但是只要中国的航空人始终秉持着一颗虚怀若谷的心,潜心钻研,默默前行,相信达到世界一流民机设计制造水平的那天终将会到来。

中国商飞上海飞机设计研究院院长



目 录

航空人为因素:一种新千年的框架	1
人为因素设计指南的开发	13
人为因素分析及分类系统	22
人为因素分析及分类系统在商业航空事故数据分析方面的应用	36
在中国环境下确认商业航空安全调查	43
整合了人为因素的自动化设计模型和机械化方法	68
设计控制飞行机组差错	77
注意力以及航空显示器布局:研究与建模	85
驾驶舱交通信息显示器上不完善的冲突告警系统	101
综合视景系统(SVS)显示上的交通和飞行引导描述:混杂对表现和视觉注 意力分配的影响	159
飞行员差错的注意力-情景意识(A-SA)模型	182
关于情景意识的系统观点 I:概念框架、建模与定量测量	202
关于情景意识的系统观点 II:建模和测量技术的试验评价	217
工作负荷是否调节车载显示位置对同时完成驾驶和次要任务表现的影响	232
主飞行显示器及其航路引导:工作负荷,性能和情景意识	263
基于计算认知模型的航空差错原因分析	311
认知和信息环境综合建模:模拟有无综合视景系统(SVS)技术的进近与着陆的 一种闭环,ACT-R 方法	325
基于注意力的终端区操作显示器设计	354
双重任务界面下车辆仿真控制和车辆内部技术之间的冗余、形式、优先权和指导	357
碰撞规避评估:驾驶员判断与实际操纵表现之间的差异	394

航空人为因素：一种新千年的框架

Kathleen L. McFadden, Elizabeth R. Towell

Northern Illinois University, Department of Operations Management and Information Systems, Wirtz Hall 209, DeKalb, IL 60115-2854, USA

Carroll College, Department of Business and Computer Science, 100 North East Avenue, Waukesha, WI 53186, USA

摘 要

本文综述航空安全有关人为因素方面的文献,提出了一个概念框架用于指导以后的安全研究。在该框架中,分析了各种因素,并确定各种因素与操作差错而非事故的相互关系。因为操作差错发生的频率比事故更高,新方法可以分析各种因素之间更加复杂的关系和交互效应。通过分析运行数据后得到的结果可以提高决策过程并且能帮助减少飞行员差错所带来的事故。本文还给出了数据收集和存储的方法,以便研究人员更加有效地分析飞行安全数据。

关键词: 航空安全;人为因素;航空运输。

1 引言

美国总统克林顿曾经提过,安全的航空是他出行的第一选择。这主要是因为当时美国航空交通正在稳步发展。但如果按照当时的趋势发展下去,乘坐飞机的旅客每年将达到10亿人次(FAA,1999)。如果我们假设事故发生的数量和飞行的班次成比例的话,那么可以预计到事故发生的次数的增长。当年美国发生两起严重的航空事故后(ValuJet 5/96; TWA 7/96),克林顿曾要求白宫航空安全和安保委员会重点关注航空安全问题。该委员会声称接下来的10年中在全国范围内航空死亡事故率减少80%将是国家的优先目标。

当时国家运输安全委员会(NTSB)和联邦航空局(FAA)开展了调查确定可能引起航空事故的原因。表1列出了在那时过去10年内美国的重大民航事故。这里我们将重大事故定义为死亡人数至少25人以上的事故。

尽管谈到事故的起因要素,经常提到的是维修问题、生产设计瑕疵和运行缺陷,而不是飞行员的问题,但是飞行员差错是所有航空事故的主要原因。一些研究显示大约70%的航空事故归结为飞行员差错(McFadden,1993;BASE,1999),同时另外一些研究显示所有航空事故的起因都与某种形式的人为差错相关(Braitwaite等,1998)。这对于飞行员来说,可能有些不公平,因为事故往往是一系列事件共同发生所导致的,而飞行员只是这个事件链的最后一个环节。但是,面对紧急事件时飞行员的判断通常是最终决定因素,而该因素决定了

2 国外航空人为因素研究进展

事件是否会导致事故的发生。因此我们如何建立可靠的飞行员差错模型,成了问题的关键。本文的重点在于分析前人研究飞行员差错的方式,同时开发一个概念框架用于指导以后的安全研究。我们的新方法考虑了相关因素之间更复杂的联系,也可以扩展到重点关注安全的其他工业领域。

表 1 1989—1999 年美国重大航空事故

Date	Carrier	Location	Fataktues(On Board)	Cause Category
07/19/1989	United	Sioux City, IA	111(298)	Maintenance
01/25/1990	Avianca	Cove Neck, NY	73(158)	Pilot - error
02/01/1991	Skywest	Los Angeles, CA	12(12)+22 ^b	Miscellaneous, other
02/01/1991	USAir	Los Angeles, CA	22(89)+12 ^b	Miscellaneous, other
03/03/1991	United	Colorado Springs, CO	25(25)	Undetermined
03/22/1992	USAir	La Guardia APT, NY	27(51)	Pilot - error
07/02/1994	USAir	Charlotte, NC	37(57)	Pilot - error
09/08/1994	USAir	Aliquippa, PA	132(132)	Undetermined
10/31/1994	American Eagle	Roselawn, IN	68(68)	Pilot - error
05/11/1996	ValuJet	Everglades, FL	110(110)	Not given
07/17/1996	TWA	Long Island, NY	230(230)	Not given
01/09/1997	Comair/Delta Connection	Monror, MI	29(29)	Not given

*Obtained from FAA accident/incident database.

^bGround collision involving two aircrafts.

2 航空领域研究飞行员差错的传统方法

在 20 世纪,事故调查中汲取的经验推动着航空运输的不断进步。传统做法是,系统调查事故,重点关注那些与飞行员差错事故相联系的因素。这是一种被动型的方法。事故调查确实能发现事故原因,促发改正措施以防止继续犯错,但是当 21 世纪即将来临之时,需要从根本上转变到强调“预测型安全”的方向上来。

研究飞行员差错传统方法的模型示意如图 1 所示。重点关注事故分析。环境因素、飞机因素、航空公司因素、飞行员因素是传统方法中考虑飞行员差错的 4 个主要因素分类。进行安全研究时,研究人员倾向于集中考虑其中的一个类别。

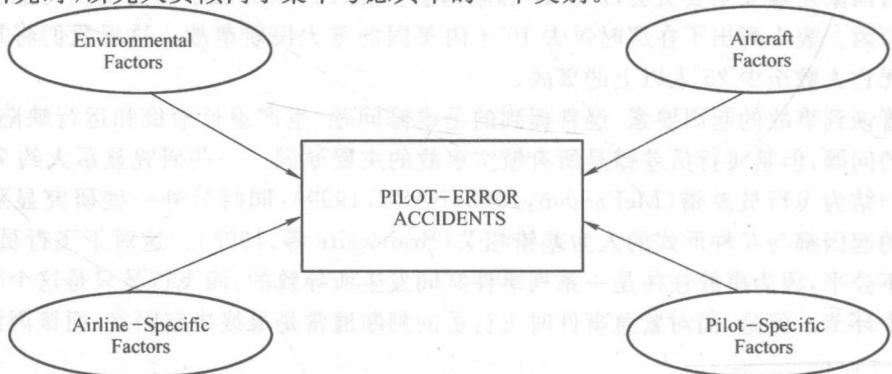


图 1 研究飞行员差错的传统方法

2.1 环境因素

环境因素包括内部环境、外部环境和工作环境。内部环境的研究显示提高驾驶舱温度和内部噪声水平会影响驾驶员的表现(Pandolf 等, 1995; Wagstaff 等, 1998)。已经有几起因为语音交流不畅的事故,说明噪声会影响飞行安全(Wagstaff 等, 1998)。对外部环境的研究集中在气象条件、一天中具体的时间以及事故地点等方面。例如, Cherington 和 Mathys(1995)分析了 1963 年到 1989 年因闪电击中引起事故的 NTSB 数据。另外一些学者(Spillane 和 Lourensz, 1986; Potts, 1991)研究了由于风切变或者下击暴流所引起的事故。研究者研究这类事件并且寻找趋势。天气作为主要原因导致的商用喷气式飞机事故仅占 5%,但是天气的确是很多事故的促成因素。这里工作环境不仅涉及空中交通管制,同时也涉及不同飞行阶段飞行员的工作负荷。进近和着陆时飞行员的工作负荷最大。根据波音公司的报告,超过 50%的事故发生在进近和着陆阶段(BASE, 1997)。

2.2 飞机因素

维修和设计这类飞机因素会导致飞行员差错事故。Abeyratne(1998)指出,大概 15%的航空事故是由于维修差错所引起的。航空运输这方面的文献也提到与飞机设计相关的人-机功效问题。Cohen(1998)认为,不舒服的座椅会导致操作差错,继而引发事故。工程师们一直在探索各种各样的方式,如通过设计更好的仪表和控制面板来预防航空事故的发生。

最近,研究的关注点转移到驾驶舱自动化与驾驶员差错事故之间的联系。当驾驶员过度依赖自动化时,他们更容易失去情景意识(Endsley, 1995; Endsley 和 Kiris, 1995; Sarter 和 Woods, 1995)。失去情景意识后,驾驶员会把没有机械故障的飞机驶向地面,也叫做可控飞行撞地(Controlled Flight into Terrain, CFIT)。CFIT 是世界范围内引起航空事故和灾难的头号原因(BASE, 1999)。Jentsch 等人(1999)给出的结论是,失去情景意识后,操纵飞机的驾驶员与未操纵飞机的驾驶员相比,更可能出错。这个研究还证实,机型、飞行阶段和气象也与情景意识丧失有关。

2.3 航空公司因素

航空公司因素与航空公司运营的方式有关。每个航空公司都是对安全负责的决策单位。不同的航空公司在招收和训练飞行员上可能会有所不同。航空公司不同,他们的安全程序、工作规定以及企业文化也会有所不同。这些航空公司因素的不统一带来许多问题,比如航空公司不同,其安全水平也存在差异。Barnett 等人(1979)分析了 1957 年到 1976 年全球范围内 58 家主要航空公司的事故数据。他们发现,虽然在美国国内航空公司之间安全等级没有很大的差别,但是国际航空公司的安全等级却存在本质的区别,统计上也很显著。Barnett 和 Higgins(1989)更新了以前的研究结果并得出结论,在过去 10 年内美国的航空运输变得更加安全,而国际航空运输却没有以前那么安全了。McFadden(1998)开发了风险模型来预测美国航空公司飞行员差错引起的事故和事故征候。这些模型首次以各个航空公司的信息为基础预测飞行员差错。

其他研究则沿着不同的途径。他们研究的焦点放在培训、工作规定以及企业文化上。开发了正规的培训计划,常建有机组资源管理(Crew Resource Management, CRM),用以帮

助机组成员之间的团队合作和交流从而减少差错。Helmreich(1997)研究了 CRM 培训在飞行安全方面的作用。Sales 等人(1999)给出了一种系统的方法以最有效地设计和执行 CRM 培训。NASA 的 Ames 研究中心也参与了下面的研究,探讨不规范的和变更的工作安排给驾驶员所带来的疲劳(Gander 等,1998)以及困倦影响驾驶员表现和效率的方式(Rosekind 等,1994)。他们给出了在航空运输操作过程中如何减少疲劳的建议。航空公司的企业文化也很重要,因为它反映了飞行管理以及培训部门建立、指导、监督飞机运行的方式(Degani 和 Wiener,1993)。

2.4 飞行员因素

飞行员因素包括飞行员年龄、经验、性别、个性特征和滥用酒精等,这些因素和飞行员差错事故有关。之前在年龄方面的研究结果表明事故率随着年龄的增长而下降,最后趋于稳定(Golaszewski,1983;McFadden,1993)。研究经验(总飞行小时数)和飞行员差错事故率之间的关系表明,随着总飞行小时的增加事故率减少(Golaszewski,1983;McFadden,1993)。

关于性别,Vail 和 Eckman(1986)按性别分析了 1972 年到 1981 年通用航空飞行员的事事故率。研究报告说男性私人驾驶员的差错事故率要高于女性。但是批评者认为这个结论仅仅基于初步的统计分析并没有考虑风险程度。McFadden(1996,1997)使用更加精确的方法分析了 1986 年到 1992 年男性和女性驾驶员差错事故率。该研究调整了年龄、经验、风险暴露和雇主(大型航空公司和非大型航空公司)这些因素,结果发现不同性别的航线飞行员的航空事故率或事故征候率没有差别。

飞行员个性特征的研究表明,飞行员的独特个性超越了性别差异(Novello 和 Youssef,1974)。换句话说,女性飞行员比一般的女性具有更多类似于男性飞行员的性格。男性飞行员优于普通男性的特征包括成就、展示、强势、改变和异性缘。男性飞行员劣于普通男性的特征包括顺从、次序、接纳、求助、自卑、教养和忍耐(Novello 和 Youssef,1974)。在个性特征的基础上,Sanders 和 Hoffman(1975)使用逐步判别分析方法,将飞行员分成有飞行员差错事故组和无飞行员差错事故组。他们发现两个组之间的三个判别因素,分别是依靠团队对自信自满、实际操作对想象、直率对灵活。Sanders 等人(1976)用新的样本对该结论进行了交叉验证,没有发现两个组之间有个性特征差异。该研究认为飞行员的个性差异使得对飞行员差错相关特点没有得到统一的认定。类似地,Levine 等人(1976)使用因素分析的方法去探讨飞行员的态度与航空事故是否相关。他们的研究表明只有“敢于冒险”这个性格因素与事故密切相关。敢于冒险的人(或者叫爱冒风险的人)即指那些将冒险、跳伞、飙车作为娱乐的人。

在飞行员酗酒这方面,为了减少飞行员差错引起的航空事故,McFadden(1997)分析了两种情况:检查既往史以判定是否为酒后驾驶(Driving - While - Intoxicated, DWI)和随机酒精测试。分析 70164 名航空公司的飞行员记录发现,DWI 核查与飞行员差错引起的事故有关系,没有证据表明随机酒精检测可以预防事故的发生。有一次 DWI 记录的飞行员卷入差错事故的概率是正常人的两倍。有两次或两次以上 DWI 记录的飞行员差错事故的可能性是 4 倍。McFadden(1998)专门研究了工作相关飞行表现,发现确认为 DWI 的飞行员不仅与差错事故还与事故征候相关联。目前尚不清楚为什么确认为 DWI 的飞行员更容易出

现驾驶差错。DWI 飞行员在航空灾难发生过程中一直是清醒的。DWI 可能是一个愿意冒险和不良判断的制造者。研究表明乘 DWI 飞行员操纵的商业飞行,乘客遭受的事故风险更大。

3 未来航空安全研究的框架

自从 1978 年航空公司取消管制法案实施以来,美国航空业就在一个竞争的环境中运转。管理部门不得不提高利润率,以提高效率降低票价。削减成本使得安全支出也同步减少。甚至有一些人认为,为了降低票价增加航空运输量导致一些刚起步的航空公司机组培训不够,设备低于标准。取消管制以后,航空运输安全的公众投票得分反而更低了(Winans 和 Dahl,1989;Burson - Marsteller,1994)。

相反,另一些研究者认为虽然取消管制会增加航空公司的金融风险,但是不影响航空安全。他们认为航空公司取消管制法案不会影响安全,因为 FAA 仍然在进行监管并且强制执行相关条例。而且他们进一步解释说,飞行里程越大,机组人员获得的经验也越多,能更多推动安全创新(Adrangi 等,1997)。Kanafani 和 Keeler(1989)认为,为了确保消费者的信心,所有航空公司都必须以提高航空安全水平为目标。受品牌效应的影响,市场压力会促使航空公司不断提高安全水平。多数研究者认为,消费者对于航空安全的敏感性会使得航空公司的管理部门为了保持竞争优势而不断追求航空安全。

过去,飞行安全基金会(Flight Safety Foundation)将安全定义为“没有事故发生”。因此,研究航空安全的传统方法都集中在分析事故数据。但是,不发生事故不能证明就是安全的。Lowrance(1976)将安全下定义为“风险可接受水平的一种判断”。类似地,Braithwaite 和 Caves(1997)说:为了实现安全目标,必须将风险定量并且用合适的安全措施来平衡风险。

在新千年真正需要的是分析航空公司安全数据的新方法——在乘客受伤之前可以发现问题并且采取改正的措施。Abeyratne(1998)认为高技术领域(如航空领域)的规章应该由原来应对安全的被动型改变为主动型。很显然,这要求安全研究领域“超出事故调查深入到主动领域,但是目前这种转变还很有限”(Braithwaite 等,1998)。操作差错的数据而非事故数据必须成为安全领域的新重点。

白宫航空安全及安保委员会建议 FAA 改进监管航空公司运行的方法。在 1997 年,他们还建议 FAA 和航空业界合作开发标准的安全信息数据库。这种改变将会为新数据的分析提供非常有价值的资源,帮助实现本文中的新研究框架。

图 2 是本文设计的未来航空安全研究的框架。在此框架中,分析了环境、飞机、航空公司、飞行员这些因素,用来确定这些因素与操作差错而非事故的关系。因为操作差错发生的频率要比事故的频率高得多,因此可以分析在航空环境中各变量之间存在的更加复杂的关系和交互效应。这种方法优于传统方法之处在于,可以不仅仅使用主效应还可以通过多边交互效应建立模型预测飞行员差错。实际上,航空安全研究涉及非常复杂的关系。Reason(1990)认为,许多因素同时出现才会引发事故。专注于操作差错的辨识和分析,然后我们可以采取改进的行动,切断事件链,预防事故的发生。

如图 2 所示,操作差错有 3 种可能的发展路径。传统上,大量差错沿着左边的路径发

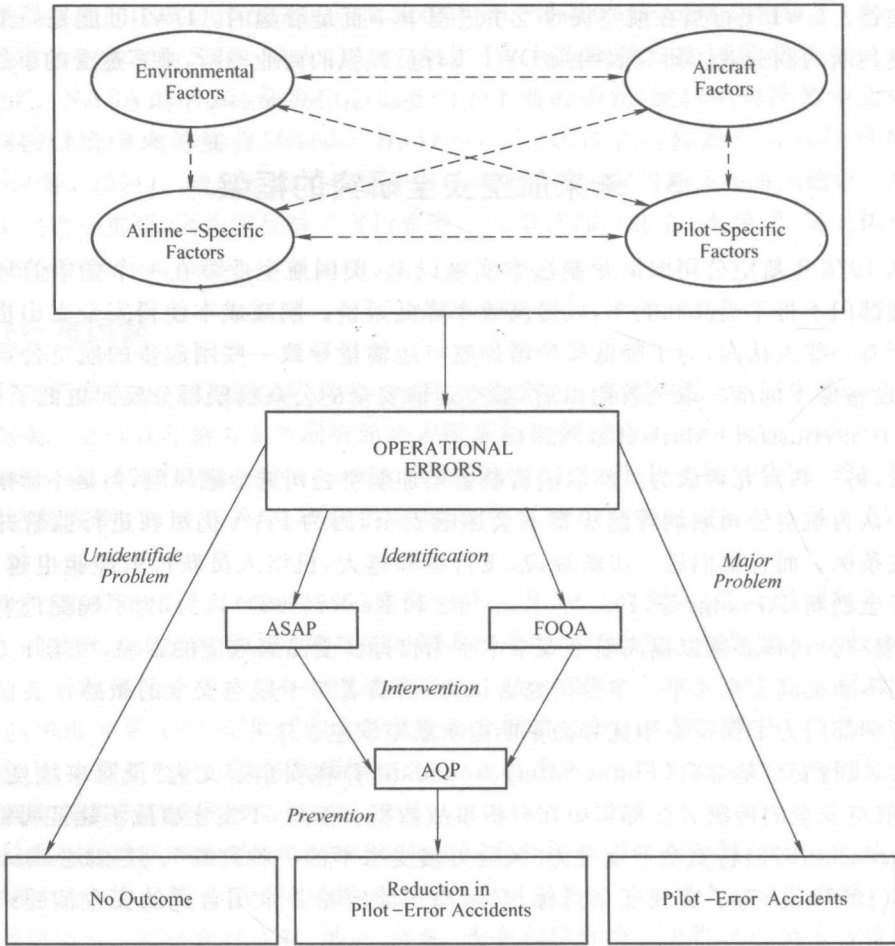


图2 未来安全研究的框架

展。由于这些差错没有报告,因此没有人知道这些安全问题。出现许多操作差错是所有航空公司的日常状况。这些操作差错可能不会以事故的形式表现出来,但是如果不揭露这种差错,其他人就不可能从中汲取教训。

从另一个角度来看,操作差错会沿着右边的路径发展造成飞行员差错引起的事故。这是在传统方法中唯一被注意到的一条路径,很严重但很少发生。当操作差错是以这种形式表现出来时,所有人都清楚意识到问题。通过事故调查分析出可能的原因,之后采取改正行动来避免将来的事故。

理想的情况下,大多数操作差错沿中间的路径发展。在中间路径中,通过执行 FAA 新监管系统中的安全程序,辨识出操作差错。使用这条路径可以获得高质量的分析数据。通过分析操作数据所获得的结果和建议可以提高决策过程,并且最终降低飞行员差错事故。

3.1 新 FAA 监管系统

从本质上来讲,FAA 的新航空运输监管系统 (Air Transportation Oversight System, ATOS) 是一个风险管理纲要。ATOS 在 1998 年 10 月 1 日起开始实施,重新构建了航空运

输监管过程。新方法将原来的惩罚和责备思想转换成非惩罚揭露差错的思想以达到预防事故发生的目的。这个纲要由三个主要部分组成:航空安全行动合作(Aviation Safety Action Partnership, ASAP),飞行运行质量保证(Flight Operation Quality Assurance, FOQA),高级认证项目(Advanced Qualification Program, AQP)。ATOS 为研究者提供分析操作差错的便利。新的数据源可以提供非常有用的信息,从而可以更好地理解导致事故发生的复杂事件链。

ASAP 是飞行员协会、FAA 以及美国航空公司之间的一个合作计划。美国航空公司是目前唯一实施 ASAP 计划的航空公司。美国航空公司于 1994 年开始这项计划,有两个目的:(1) 发现安全问题;(2) 提供改进措施。按照这项计划,如果飞行员出现差错或者遇到任何影响航线安全的情况,他或她只要在 24 小时内报告就不受惩罚。但是,飞行员必须遵守审议后所给出的改进行动。起初,这个计划遇到一些阻力,飞行员质疑这项计划是否真的是非惩罚性的。过了一段时间之后,飞行员对这项计划开始有信心了,他们通过 ASAP 报告差错,因为他们可以免除相应的责任。从 ASAP 开始美国航空公司已经收录超过 15000 份报告,相当于每年大约 3000 份报告。没有 ASAP 的话,FAA 只能收到这些报告中不到 0.5% 的差错报告(Wilson, 1998)。ASAP 对美国航空公司非常有效,最近这项计划已经扩展到签派员、维修人员和工程人员。至今为止,至少还有 6 家其他的航空公司已经申请 ASAP 计划。

第二个主要行动是 FOQA 计划,分析由数字飞行记录仪自动记录下来的随机飞行信息。以前,这类信息只用来帮助确定事故的原因。目前,从 FOQA 项目收集来的数据被用来辨识安全问题,飞行机组成员可能没有报告这些安全问题。这项计划也包括了采取改进措施以及向 FAA 汇报改进措施的程序。FAA 局长声明,除非出现一些极端情况,否则相关机构不能根据 FOQA 所获的信息实施罚款或惩罚。阿拉斯加航空、大陆航空、联合航空以及美国航空都执行了 FOQA 计划。该项目将会扩展到更多的航空公司。

AQP 是第三个推动力,提取 ASAP 和 FOQA 辨识的安全问题中的信息,同时将这些信息用于培训大纲。目的是通过模拟机而不是在真实飞行条件下将差错情况第一时间呈现给飞行员。通过培训,教授给飞行员一些合适的方法来处理这些源自操作差错的不安全状况。这是培训飞行员方式的一个重要变化。

3.2 研究框架表达式

设想分析 ASAP 报告和来自 FOQA 的数据,我们得到的结论是年老的飞行员使用自动驾驶仪报告的问题比新飞行员更多。同样设想在非主流航空公司中,驾驶舱自动化问题发生的比例更高。这些非主流航空公司的飞行员工作时间更长。ASAP 报告和 FOQA 数据提供一些证据表明驾驶舱自动化在雷暴和最终进近降落的情况下更易出现问题。因此,我们有兴趣来研究在这些条件下预测飞行员出现差错的可能性。

所有商业飞行员的数据可以从 FAA 的医疗数据库中获得。操作差错数据可以从 ASAP 报告和 FOQA 数据中获得。数据库要编入共同的标识符,例如飞行员的姓氏和出生日期。为了完成研究,在融入之后需要去掉数据标识。这个假定研究中的因变量以特定飞行员是否出现操作差错的形式出现。当因变量为双变量时,逻辑回归是回归分析的标准方法(Hosmer 和 Lemeshow, 1989)。可以使用逻辑回归建立因变量和若干自变量之间的关

系。以下是这种情况下关心的自变量,它们的定义如下:

X_1 ——飞行阶段(环境因素);

X_2 ——雷暴或无雷暴条件(环境因素);

X_3 ——驾驶舱自动化问题或无问题(飞机因素);

X_4 ——主流航空公司或非主流航空公司(航空公司方面的因素);

X_5 ——一天值勤时间的长短(航空公司方面的因素);

X_6 ——飞行员年龄(飞行员方面的因素);

X_{j*k} ——因素 j 和因素 k 的交互效应。

模型的表达形式为

$$\ln(p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_{1*2} + \beta_8 X_{1*3} + \dots + \beta_K X_{1*2*3*4*5*6},$$

其中 $\ln(p) = \ln(p/(1-p))$, p 是操作差错的概率。

由于事故很少发生,因此过去很难研究多种方式的交互效应。很显然,操作数据可以为分析复杂关系提供更多的信息。美国航空公司每年 3000 份 ASAP 报告,相比之下公司一年内几乎没有飞行员差错导致的事故。

按照传统方法,我们发现驾驶舱自动化是几起事故的因素。由于没有足够的事故可供分析,因此我们不能发现驾驶舱自动化出现差错的过程中一直存在的其他主要因素。操作差错数据可以帮助我们确定这些经常伴随着驾驶舱自动化问题出现的因素。通过分析操作差错,我们可以人为切断导致事故发生的事件序列。

4 实施问题

4.1 恰当的数据收集和存储

如果这个新模型在行业范围内推广,需要有基于计算机系统的数据收集和储存统一程序,这对于模型的应用非常关键。但开发这种系统的一些目标本身是存在矛盾的。当有很多涉及利益的组织和敏感数据存在时,通常会出现上述情况。例如,鉴于项目所需要的非惩罚性提倡个人数据的“去标识”和研究者希望使用这些标识符与其他数据源相融合的愿望相矛盾。

应该收集和分离报告原文中的哪些数据项,这关系到在晚些时候准备提出哪些问题。有几种数据是相关的:瞬时数据、静态数据和衍生数据。瞬时数据涉及在报告时需要收集的那些因素。如果不能决定应该收集哪些重要的瞬时数据(以及屏蔽哪些次要因素),那么这种信息就不可用。飞行员是否疲劳?座椅是否不舒服?这类信息随着时间的流逝不断变化并且也未储存在别处。静态数据不会一直变化。飞行员年龄和飞行经验随着时间会发生变化但是可以预测。报告时不需要收集这些因素。衍生数据是指那些不能直接使用的因素,需要经过推演或者计算得到。例如给定时间段内操作差错的次数就是一个例子。

4.2 FAA 和航空业界之间的协作

系统开发过程中最重要的原则是整个过程中有众多利益攸关的参与者。程序开发者通

常努力给出技术上的解决方法,仅仅是为了发现这些方法尚未实际使用或者有用。为了顺利完成开发,数据的拥有者和使用者必须参与到设计过程中。系统的范围和功能应该基于用户的综合需求。表面上看,抽出时间听取 FAA、航空公司、飞行员工会以及学术研究者的意见(解决相互之间矛盾的需求)会增加开发的时间,但是这对于系统的成功设计非常重要。

除了需要广泛的协作之外,还必须有严格的控制措施来确保数据的完整性。系统的设计者必须确保命名的一致性,避免使用歧义词(在不同的情况下一个标识符代表不同的事物)和同义词(使用多种标识符指代同一事物)。例如,大多数飞行员的飞行证书号和社会保险号一样,是唯一的,但是不一定所有的飞行员都是如此。在 FAA 的统一飞行员信息系统中,使用的是飞行的社会保险号而非飞行证书号。但在航空标准事故/事故征候数据库中,使用的是飞行证书号而不是社会保险号。当我们试图根据社会保险号和飞行证书号融合两个数据库时就会出现这个问题。

4.3 过程改进的持续合作

从长远看,系统应该能够升级适应变化。只满足目前需求的系统很难适应新的要求。如果不仔细计划,就会需要复制和补丁来支持 ASAP 和 FOQA 系统将来的发展,这将既费时又费钱。所有的系统最终都将过时并被替代,但是在系统中注入灵活性和适应性可以增加系统的寿命。

就灵活性而言最重要的要素是自身的物理存储技术。为了分析不同要素之间的关系和交互效应,统计学家需要平面文件来进行多变量分析。但是,信息系统专家意识到:(1)为了支持大量的统计软件包和操作工具;(2)为了保持允许询问那些新的或者各种“特别的”问题的能力;(3)为了能够简便地改变数据库的现有结构,他们必须使用关系数据库存储技术。这意味着在产品环境中需要数据库专家并且一直需要他们,这些专家非常理解数据库中的数据及其结构,可以将其准确地转化为研究者认为有用的形式。

5 结论

研究飞行员差错的新框架,我们专注于尽早发现安全问题,它比传统的方法更主动。该方法的目的通过分析运行数据找出问题。由于操作差错出现的频率比飞行员差错引起的事故要高得多,因此可以研究变量之间更复杂的关系和交互效应。通过发现在操作差错中出现的那些有害/不利的结合项,决策者可以打断导致事故发生的事件链。然而,很关键的是研究者在过程发展的早期就应该介入。他们需要判断应该收集哪些数据,同时应该如何存储数据。要不然数据会不完整,以后的数据分析就不可用了。

航空运输不是唯一的经常出现人为差错的行业。医疗研究显示,医院病人并发症的三分之二是由于对病人的护理不当引起的(Brennan 等,1991)。与航空业相类似,卫生保健领域正在努力开发新的方法来预防差错。传统上,医疗领域也依靠对差错进行惩罚的方法来防止“医疗差错”的发生。但是,一些医院正在开发风险检测系统。这些计划被设计用来改变以前对待差错行为的组织文化,并且开发出一个辨识和预防差错的系统方法。这种方法涉及将惩罚转变到揭露差错免除责备系统的文化转变。进一步研究可以将航空安全的框架扩展到其他行业,比如卫生保健行业,因为卫生保健行业的首要问题也是公共安全。主动型

方法是 21 世纪达到提高安全水平目标的关键。

参 考 文 献

Abeyratne, R. I. R., 1998. The regulatory management of safety in air transport. *Journal of Air Transport Management* 4 (1), 25 - 37.

Adrangi, B., Chow, G., Raffiee, K., 1997. Airline deregulation, safety, and profitability in the US. *Transportation Journal* 36 (4), 44 - 52.

Barnett, A., Abraham, M., Schimmel, V., 1979. Airline safety: some empirical findings. *Management Science* 25 (11), 1045 - 1056.

Barnett, A., Higgins, M. K., 1989. Airline safety: the last decade. *Management Science* 35 (1), 1 - 21.

BASE, 1997. Boeing Airplane Safety Engineering, Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents—Worldwide Operations, 1959 - 1996. Boeing Commercial Airplane Group, Seattle.

Braithwaite, G. R., Caves, R. E., 1997. Airline safety—some lessons from Australia. *The Aeronautical Journal* 101 (1), 29 - 32.

Braithwaite, G. R., Caves, R. E., Faulkner, J. P. E., 1998. Australian aviation safety—observations from the “lucky” country. *Journal of Air Transport Management* 4 (1), 55 - 62.

Brennan, T. A., Leape, L. L., Laird, N. M., Hebert, L., Localio, A. R., Lawthers, A. G., Newhouse, J. P., Weiler, P. C., Hiatt, H. H., 1991. Incidence of adverse events and negligence in hospitalized patients, results of the Harvard medical practice study I. *The New England Journal of Medicine* 324 (6), 370 - 376.

Burson - Marsteller, 1994. Briefings: safety concerns world travel market, b - msurvey shows. *Public Relations Journal* 50 (3), 8 - 11.

Cherington, M., Mathys, K., 1995. Deaths and injuries as a result of lightning strikes to aircraft. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 66 (7), 687 - 689.

Cohen, D., 1998. An objective measure of seat comfort. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 69 (4), 410 - 414.

Degani, A., Wiener, E. L., 1993. Cockpit checklists: concepts, design, and use. *Human Factors* 35 (2), 345 - 359.

Endsley, M. R., 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* 37 (1), 32 - 64.

Endsley, M. R., Kiris, E. O., 1995. The out - of - the - loop performance problem and level of control in automation. *Human Factors* 37 (2), 381 - 394.

FAA, 1999. FAA Aerospace Forecasts, Fiscal Year 1999 - 2010. U. S. Department of Transportation, Office of Aviation Policy and Plans, Washington DC FAA - APO - 99 - 1.

Gander, P. H., Gregory, K. B., Graeber, R. C., Connell, L. J., Miller, D. L., Rosekind, M. R., 1998. Flight crew fatigue II: short - haul fixed - wing air transport operations. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 69 (9), B8 - B15.

Golaszewski, R., 1983. The influence of total flight time, recent flight time and age on pilot accident rates. Federal Aviation Administration, Office of Aviation Safety, Final Report No. DTRS57 - 83 - P - 80750.

Helmreich, R. L., 1997. Managing human error in aviation. *Scientific American* 276 (5), 62 - 67.