

# 航空维修差错分析及其管理

杨家忠<sup>1,2</sup> 张侃<sup>2</sup> 研究员

(1 中国民航飞行学院航空心理学教研室 2 中科院心理研究所人因实验室)

学科分类与代码 620.2060

**【摘要】** 航空维修差错是诱发或直接导致飞行事故最重要的原因之一,对维修差错进行分类和分析有助于航空安全。笔者在分析航空维修环境变化的基础上,基于 Reason 模型构建了维修差错分类与诱因分析的框架,并结合机务维修的实际情况,对框架所包括的不安全行为、不安全行为的先兆、不安全的管理及组织因素进行了初步编码。文章还简要论述了维修差错的管理技术,指出借助框架编制详细的差错分类与分析编码系统是发展的方向。

**【关键词】** 维修差错 不安全行为 人为差错 差错管理 航空

## Analysis of Errors in Aviation Maintenance and Its Management

YANG Jia-zhong<sup>1,2</sup> ZHANG Kan<sup>2</sup>, Prof.

(1 Faculty of Aviation Psychology, Civil Aviation Flight College  
2 Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences)

**Abstract:** Errors in maintenance have been the most important factor causing aviation accidents. To classify and analyze maintenance errors are beneficial to flight safety. Based on the analysis of the changes of aviation maintenance environment, and Reason model, the framework for classifying maintenance errors and causation analysis was established including unsafe acts, indication of unsafe acts, unsafe factors in management and organization. The framework was further subdivided according to maintenance practice. Management of maintenance errors was briefly introduced also. By applying this framework, error classification in detail and error code analysis could be compiled, which might be the new direction for improving the maintenance management.

**Key words:** Maintenance error Unsafe acts Man-made errors Error management Aviation

## 1 引言

过去几十年来,许多航空公司引进了装配复合材料结构、玻璃驾驶舱、高度自动化的系统、机内诊断和测试设备等新技术的飞机,飞机的可靠性和安全性有了明显的提高,维修人员使用的设备和程序也越来越复杂。但是,航空维修有一个主要的方面没有改变,即大部分的维修工作仍然是由人来完成,其作为人所具有的能力、局限性和特性没有变化。新材料和电子系统的使用,对航空器维修的要求增加了,机务人员必须具有更丰富的知识和技能。老龄化飞机增多,维修工作量增加,同时老龄飞机存在的故障和缺陷经常难以发现,需要机务人员投入更多的精力。

此外,由于航空业竞争日益激烈,航空营运人为降低成本,提高飞机的利用率,要求减少维修停场时间,因此,维修人员在高度复杂的航空系统中工作经常要承受巨大的时间

压力,经常要夜班工作。这些变与不变的因素致使维修差错成为影响飞行安全的突出问题。

目前,机务维修领域的研究表明,世界上 20%~30% 的空中停车、50% 的航班延误、50% 的航班取消都是由维修中的人为差错(human error,也译作人因失误或人误)引起的,同时维修差错也是诱发或直接导致飞行事故最重要的原因之一。

在维修过程中,维修任务、作业环境等的不同,会出现不同类型的维修差错,其内在的机制也会有所不同,因而需要不同的差错管理措施,构建维修差错分析与分类的框架。

## 2 维修差错分析与分类框架

### 2.1 维修差错的含义

“人为差错”一词在人们日常生活和复杂系统的安全研究中广泛使用。韦氏新大百科全书对“error”有5种不同的解

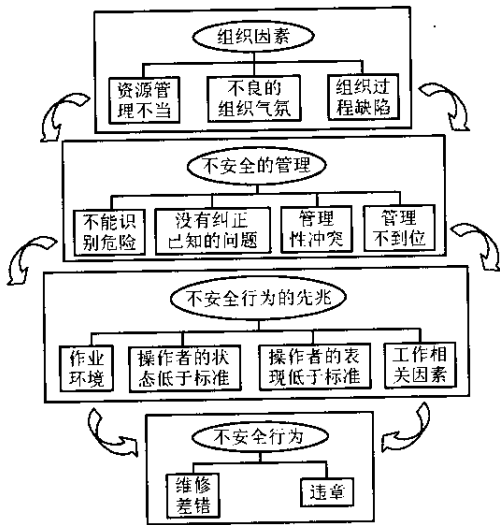
释,但其中有两个基本点:偏离某种规范或标准,操作者的无意行为。这两点集中体现了目前许多研究者对人为差错的界定。事实上,在某些情况下,操作者也可能会有意违反某种规范或标准,称之为违章(violation)。显然,人为差错与违章都会危害到安全,属于不安全行为(unsafe act)。

机务维修人为差错可界定为:在维修活动中,由于受到各种内外因素的影响,维修人员无意出现的偏离维修目的和要求的行为。

## 2.2 维修差错的分析与分类

航空界对人为差错的研究源于20世纪40年代,研究者提出各种取向的模型来解释其原因,指导事故的调查与分析。其中Reason的“瑞士奶酪”模型典型地以组织为取向,目前在航空界被广泛应用。模型是序列性的,最高层的组织因素自上而下地施加影响,强调组织因素对事故及不安全行为的作用。

Reason认为有两种形式的失效,即现行失效(active failures)和隐性失效(latent failures)。前者会对系统造成即时负面影响,由不安全行为,即人为差错和违章所致;后者指不会对系统造成即时负面影响,具有延滞性,由组织过程中错误的决策、监察不到位及操作者准备不充分等所致。该模型属于宏观的理论框架,并不针对某一特定的应用领域。本文借助该框架,提出用于维修差错原因分析及维修差错分类的框架(见下图)。



维修差错原因分析及分类框架

### 2.2.1 不安全行为

按照信息加工模型,机务维修人员完成维修任务的过程可以分解成3个基本的步骤,即感知觉信息、对获取的信息进行加工和决策作何行动以及最后的行动。据此,维修差错可分为:

- ① 信息感知觉错误,可能是由于工作场所的光线不足、噪音太大、手册印刷质量差等所造成;
- ② 决策错误,可能是由于疲劳、缺乏训练和时间压力等

造成;

- ③ 注意分配不当,会导致此信息加工过程出现认知偏离(准确性或目标);
- ④ 操作错误,既可能是错误决策的结果,也可能是决策正确但执行错误。

违章可分为惯常违章(routine violation)和异常违章(exceptional violation)。前者的存在可能和操作者觉得程序或规章麻烦等因素及组织对该违章现象采取默认的态度有关,习惯性违章会发展成操作者的习惯性行为。异常违章体现出的违章行为偏离操作者正常的行为模式,且是组织所不能容许的,因而也难以预测和管理。

### 2.2.2 不安全行为的先兆

从上图可以看出,不安全行为的先兆涉及操作者自身及维修过程中与其发生直接交互的因素:

- ① 作业环境强调“物”的因素对维修操作存在的不安全状态。环境的温度、湿度、光线、通风状况、工作台整洁与否、飞机构型的复杂性和可接近性、零备件标识缺陷、工具存在校准缺陷、作业空间狭小等因素都可能诱发维修差错。
- ② 操作者的状态低于标准强调个人层面的诱因。例如,工作中盲目乐观、匆忙、厌倦、单调、心理疲劳等属于心理状态不良;疾病、生理疲劳、生理失能等为生理状态不良;生理/心理局限强调人与任务之间的匹配性,若任务要求超越操作者的生理或心理限度,就可能为安全埋下隐患。
- ③ 操作者的表现低于标准强调个人工作前的准备和班组成员之间的协调与配合(即机务维修资源管理)。例如,工作前不节制的饮酒、睡眠不足或完成任务的工具未准备齐全等属于工作准备不足。机务维修资源管理主要强调维修任务过程中的信息沟通、情景意识、任务分配及领导与决策等内容。如班次之间或班组成员之间对已执行的工作项目不作清晰的交流,就可能导致遗漏错误。

- ④ 工作相关因素包括维修任务的不安全特性和维修文件、程序和工作卡存在的缺陷。如工作任务异常单调或复杂/易混淆,初始批准的文件不易理解,资料未及时更新,工作卡漏项目、翻译不正确,可操作性差或次序混乱等。这些程序是维修人员的操作指南,存在缺陷必然会大大增加出现维修差错的机率。

### 2.2.3 不安全的管理

按照Reason模型,维修实践是在直线管理(line management)下进行的,直线管理层面的漏洞属于隐性失效,对系统构成潜在的、直接的负面影响,许多维修差错都可以在管理上找到源头。维修作业中的不安全的管理可分成4个部分:

- ① 不能识别危险,指管理层不能认识到一些危险因素,如操作者在生理上或心理上未作好工作准备、工作场所不符合已制定的程序等;
- ② 没有纠正已知的问题,指管理层明知设备、工具、训练及其他方面存在一些不安全问题,但任由其存在不做修正;
- ③ 管理不到位,主要指管理的质量和管理的数量的欠

缺,如对维修实践中必要的工具、设备、材料及人员的支持不够,不能给予适当的培训,缺少监管或监管过多,安排的工作负荷过重等;

④ 管理性冲突,指管理层有意忽视程序和其他操作规程的行为,如允许使用未经批准的程序,安排不合格的人员执行某项任务,甚至有意让操作员违反规章或程序等。

### 2.2.4 组织因素

如前所述,最高层的组织因素自上而下,对下层的直线管理和不安全行为的先兆及不安全行为产生弥散性的影响。遗憾的是,此层次的问题经常被忽视。美国发现号航天飞机在返回时爆炸暴露出的主要原因是 NASA 的管理方面的问题,结果使得各界对这一层次有了新的警觉。一般来说,组织层面的隐性失效包括3个方面:

① 资源管理不当,主要指在组织资源的管理、分配与维持上存在的问题,如人力资源(选拔、训练和配备)管理不当、内部信息资源在部门间缺少沟通、设备资源不足等;

② 不良的组织气氛,如容忍习惯性作法、为维护局部利益隐瞒不报、忽视维修过程中的小差错、管理层与一线维修人员对立、过分强调惩罚等;

③ 组织过程缺陷,主要涉及与运营过程直接相关的政策和安排,如公司政策不公平、公司的排班程序存在缺陷、过分强调效益与生产周期而忽视质量、部门之间的工作任务不平衡等。

## 3 维修差错的管理

研究机务维修人为差错的最終目的就是要保障飞行安全和降低运营成本。目前差错管理的研究集中在两个方面,即差错减少和差错包容。前者直接介入差错源以降低其发生率,如提高维修人员的技术胜任能力、开展人的因素知识的学习和维修资源管理训练、改善工作条件、提高工作卡的可操作性等;后者强调差错发生后及时捕获,或尽可能降低其后果的严重性,如加强交叉检查和测试、严格遵循操作程序等。

### 3.1 目前普遍采用的技术及存在的问题

对于维修差错的管理,现在普遍采用的方法有人员选拔、技术培训和复训、实行执照和适航证制度、质量监控和审计等。尽管这些技术能够提高维修的可靠性,但是目前仍有12%左右的飞行事故与维修差错有关。其原因就在于这些技术仍然有一些局限性。例如,过分强调现行失效而忽视隐性或系统失效,将重点放在操作者身上,而忽视任务情景和组织因素对维修差错的影响,过分强调已发生的事件或质量漏洞,而忽略预测和防止接下来可能发生的事件;事件发生后归因过于简单(如“粗心大意”、“态度恶劣”及“不负责任”等),仍然在很大程度上依赖惩罚和技术的再培训。

总之,这些技术比较零散缺乏系统计划性、突出对事件(故)的反应性和被动分析而非前瞻性和主动性预测,同时也忽视了过去20多年来,行为科学在理解人的错误的性质、类

型和原因所取得的巨大发展。

近年来,人为差错的研究者陆续开发了一些新的差错管理技术,有些技术如能结合维修差错分类与分析框架编制出的编码系统,能够增强其应用效力。

### 3.2 维修差错判断辅助程序

维修差错判断辅助程序(Maintenance Error Decision Aid, MEDA)的原理来自 Reason 模型,它是由波音公司联合一些航空公司及 FAA 开发。它针对的是已发生的差错,强调全面评价导致差错的所有因素,属于事后分析技术。MEDA 包含以下3条原则:

① 绝大部分维修差错都是非故意的。以往差错的调查重在确认差错责任人,然后对其责罚或复训,而不是调查导致差错的原因,这种“责罚+培训”的政策会导致恶性循环,而 MEDA 强调的是“责备过程而不是个人+制订措施控制诱发因素”的政策。

② 造成差错的因素是多方面的,既涉及不安全行为的先兆,也包括不安全的直线管理和组织层面的不安全因素。

③ 差错是可以管理的,重视并加强组织因素和直线管理对减少不安全行为能起到积极作用。

### 3.3 关键事件评定技术

关键事件评定技术(Critical Incident Technique, CIT)依据数理统计和心理学的行为抽样原理,从一个统计总体中,用分层随机抽样法,选出“在场人”和“当事人”的不安全行为的资料作为样本,判断总体的安全状况,并进而分析容易诱发不安全行为的因素。如果针对维修中的各种不安全行为编制出检查表,就可以进行行为观测分析,在维修差错管理中采用该技术。下表是行为观测时的不安全行为样本示例。

机务维修不安全行为检查表(部分)

序号	不安全行为
1	漏装设备
2	飞机拖把安装不正确
3	外物(工具、设备)遗忘在飞机里或发动机里
4	漏做测试项目
5	安装了多余部件
6	滑油、液压油加注过量(或不足)
7	试车中错误操作,造成飞机和发动机受损
8	拖车操作方式违反规定

### 3.4 危险预知训练

危险预知是20世纪70年代末80年代初在日本企业开展起来的一种安全活动,目前已在航空安全管理方面有所应用。该训练以生产过程中的危险因素为对象,以班组为基本组织形式开展安全教育和训练,以促进操作者对危险的识别和预测,从而降低和消除不安全行为发生的频率。危险预知训练的程序可分解成4步:

- ① 从现状中发现危险因素及其可能导致的后果；
- ② 从各种危险因素中找出最主要的因素；
- ③ 针对主要危险因素，提出可能实施的具体对策；
- ④ 通过实验验证，找出切实可行的措施，并将之作为行动的目标进行管理。在进行训练活动时，要制定必要的表格和做好记录，作为活动的技术成果和安全教育材料。

### 3.5 使用安全检查单

航空运营人员在工作中使用大量的检查单，不过这些检查单大多属于操作性的，即完成某一任务的程序性操作步骤。这里使用的安全检查单则是评价性，用于评价特定对象的安全状况，以发现其存在的不安全因素。由于大多数航空人员都对检查单比较熟悉，使得其具有内在的吸引力，也比其他那些不熟悉的方法能够被更快地接受。可以根据需要制订各式各样的检查单，如针对特定维修任务情景的检查单、针对作业环境的检查单、针对作业工具和工作卡的检查单等。利用结构良好的检查单，即使很少或没有什么人因学经验的人也能够比较容易发现，所要检查对象的一些特性是否达到了可接受的水平，或是否存在安全隐患。显然，制订这样的检查单，需要有不安全行为诱因分析的编码系统，这样安全检查针对性更强，更能落到实处。

### 3.6 工程安全健康状态管理

工程安全健康状态管理(Management Engineering Safety Health, MESH)是英国航空公司开发的具有前瞻性和主动性的维修差错管理技术，它的目标是识别可能导致差错的因素。MEDA从技术实质上讲是对差错的被动反应，而MESH技术突出实时监控那些已知的可能会导致差错的因素(如知

识、技术和经验、疲劳、环境、手册和程序、组织结构、训练和选拔、交流等)，同时定期要求维修人员针对已知的会导致差错的各种因素的缺陷进行匿名评分，并在其偏离可接受的范围之前修正它。因此，MESH技术直接介入差错的产生根源，实施得当的话，可以比较有效地降低维修差错的比例。

以上技术中，MEDA对事故、维修事故征候及维修差错的分析是被动性的，分析过程发生在事件之后。后面的几种技术则属于主动的安全分析方法，可以主动地去识别那些可能诱发维修差错的危险因素。但是，要发挥其效用，依据系统的框架构建详细的维修差错分类与分析编码系统不仅是必要的，而且也是必需的。

## 4 结束语

传统上，机务维修领域重视以事故(征候)为中心的调查与分析，对维修差错的分析不够，管理上多采取“责罚+培训”的政策，尽管在一定时期内取得了一些积极的作用，但由于维修差错的复杂性，总的说来效用有限。

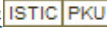
在未来的研究和实践中，需要更多地采取综合性措施去应对。构建有效的维修差错分析与分类框架，编制相对完整的不安全行为类别及其原因的编码系统，可以视为努力的一个方向。

这样做有助于强化维修差错的分析，增强诸如关键事件评定技术、安全检查单等差错管理技术在维修领域使用的效力，基于此编码系统分析我国现有的维修事故(征候及差错)数据，构建维修差错自愿报告系统，也有助于实现维修差错数据的共享，更好地进行趋势分析和制定针对性预防和干预措施。

(收稿 2003 年 12 月，作者地址：四川省广汉市；中国民航飞行学院航空心理学教研室，邮编 618307)

## 参 考 文 献

- 1 Federal Aviation Administration. The Human Factors Guide for Aviation Maintenance[M]. Washington DC: Federal Aviation Administration, 1998
- 2 Reason J. Human error[M]. New York: Cambridge University Press, 1990
- 3 Shappell S, Wiegmann D. The human factors analysis and classification system(HFACS) [R]. DOT/FAA/AM-00/7, Washington DC: Federal Aviation Administration, 2000a
- 4 Masson M, Koning Y. How to Manage Human Error in Aviation Maintenance? The Example of a JAR 66-HF Education and Training Programm[J]. Cognition, Technology & Work, 2001, (4): 189~204
- 5 符文琛,李志光,张铭续. 劳动安全与心理[M]. 北京: 中国标准出版社, 1995

作者: 杨家忠, 张侃  
作者单位: 杨家忠(中国民航飞行学院航空心理学教研室;中科院心理研究所人因实验室), 张侃(中科院心理研究所人因实验室)  
刊名: 中国安全科学学报   
英文刊名: CHINA SAFETY SCIENCE JOURNAL  
年, 卷(期): 2004, 14(2)  
被引用次数: 10次

## 参考文献(5条)

1. Federal Aviation Administration [The Human Factors Guide for Aviation Maintenance](#) 1998
2. Reason J [Human error](#) 1990
3. Shappell S;Wiegmann D [The human factors analysis and classification system \(HFACS\)](#) 2000
4. Masson M;Koning Y [How to Manage Human Error in Aviation Maintenance? The Example of a JAR 66-HF Education and Training Programme](#)[外文期刊] 2001(04)
5. 符文琛;李志光;张铭续 [劳动安全与心理](#) 1995

## 本文读者也读过(10条)

1. 林向群. LIN Xiang-qun [维修人为差错控制方法探讨](#)[期刊论文]-[中国民航大学学报](#)2009, 27(4)
2. 丁发军 [机务维修工作中的人为差错原因分析](#)[期刊论文]-[西部大开发\(中甸刊\)](#) 2010(6)
3. 刘凤强, 孙志强, 谢红卫, 史秀建, LIU Feng-qiang, SUN Zhi-qiang, XIE Hong-wei, SHI Xiu-jian [航空维修人为差错影响因素分析中的模糊层次分析法](#)[期刊论文]-[中国安全科学学报](#)2008, 18(7)
4. 王俊伟, 左丽鄂, Wang Junwei, Zuo Li'e [浅析机务维修中的人为差错](#)[期刊论文]-[科学之友](#)2010(15)
5. 雷建礼, Lei Jianli [浅谈航空维修中的人为差错](#)[期刊论文]-[西藏科技](#)2009(5)
6. 高曙, GAO Shu [基于MAS的航空机务维修差错预警专家系统](#)[期刊论文]-[计算机工程](#)2007, 33(1)
7. 高曙, 王群, 罗帆, Gao Shu, Wang Qun, Luo Fan [民航机务维修差错及其预警专家系统构建](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2007, 31(1)
8. 李克武, 郭建胜, 周长飞 [航空维修人为因素事故分析系统研究](#)[期刊论文]-[航空维修与工程](#)2005(6)
9. 文君 [基于MAS的民航机务人为因素控制专家系统研究](#)[学位论文]2006
10. 谢鹏军 [浅析机务维修的人为差错](#)[期刊论文]-[中国科技纵横](#)2010(15)

## 引证文献(11条)

1. 王卓, 王晓晔, 杨鹏 [基于故障树的空管维修人为差错分析](#)[期刊论文]-[天津理工大学学报](#) 2010(5)
2. 孙春林, 付金华, 李耀华 [基于MORT的航空维修工程调查系统设计](#)[期刊论文]-[中国民航大学学报](#) 2008(1)
3. 赵新灿, 左洪福 [增强现实维修诱导系统交互技术研究](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2008(11)
4. 高曙, 王群, 罗帆 [民航机务维修差错及其预警专家系统构建](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2007(1)
5. 李涛, 蒋英杰, 孙志强, 宫二玲, 谢红卫 [航空维修差错模式及差错成因的灰色关联分析](#)[期刊论文]-[中国安全科学学报](#) 2011(2)
6. 石荣, 刘澜, 杨家忠 [基于突变评价法的机务维修人员安全评价研究](#)[期刊论文]-[安全与环境学报](#) 2011(3)
7. 甘旭升, 端木京顺, 丛伟, 高建国 [机械原因飞行事故诱因的分析与预测研究](#)[期刊论文]-[中国安全科学学报](#) 2011(5)
8. 马凤清, 唐波, 冯光通, 黄明铮 [三牙轮钻头与地层相互作用动力学数值模拟](#)[期刊论文]-[石油矿场机械](#) 2012(9)

9. 吴旭勇, 罗晓利 国内外民航机务维修人误分类分析系统研究进展[期刊论文]-中国民航飞行学院学报 2008(6)
10. 刘凤强, 孙志强, 谢红卫, 史秀建 航空维修人为差错影响因素分析中的模糊层次分析法[期刊论文]-中国安全科学学报 2008(7)
11. 郑志成 飞机时限监控系统的设计与实现[学位论文]硕士 2006

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zgaqxsb200402012.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgaqxsb200402012.aspx)