

文章编号:1674-8190(2019)06-780-07

# 损伤与特殊事件分析在民用飞机中的应用研究

周宇霞<sup>1</sup>, 杨宾华<sup>2,3</sup>

(1. 上海飞机客户服务有限公司 科技委办公室, 上海 200241)

(2. 上海飞机客户服务有限公司 维修工程部, 上海 200241)

(3. 上海飞机制造有限公司 复合材料中心, 上海 201324)

**摘要:** 在民用飞机维修领域, 特殊事件任务的制定一直是民用飞机维修手册开发的重点。基于型号经验和 S3000L 损伤与特殊事件分析(DESAs), 通过详细分析 DESAs 以及技术裁剪与补充, 提出“影响级别”概念, 完整建立国产民用飞机研制体系中特殊事件分析的理论与方法, 并进行案例分析。结果表明: 该理论和分析方法合理、可靠, 为国内民机主制造商开展民用飞机维修手册 05 章的编制工作提供了参考。

**关键词:** S3000L; 民用飞机; 损伤与特殊事件分析; 维修工程; 飞机维修手册

中图分类号: V267

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.06.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application Research of DSEA Method for Civil Aircraft

Zhou Yuxia<sup>1</sup>, Yang Binhua<sup>2,3</sup>

(1. Science and Technology Committee Office, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

(2. Maintenance Engineering Department, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

(3. Composite Center, Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 201324, China)

**Abstract:** In the field of civil aircraft maintenance, the formulation of special event tasks is always the focus of civil aircraft maintenance manual(AMM) development. Based on design experience and damage and special event analysis(DESAs) of S3000L, the concept of effect rating is given through the detailed analysis and technical tailoring and supplement. The special events analysis theories and method are set up for domestic civil aircraft, and performed with case analysis. The results show that the theory and analysis method are reasonable and reliable, and can provide some references for compiling the Chapter 05 of AMM of domestic civil main aircraft manufacturer.

**Key words:** S3000L; civil aircraft; DESAs; maintenance engineering; aircraft maintenance manual

## 0 引言

民用飞机在运营期间经常产生结构或系统故障的特殊事件, 如鸟撞、重着陆、火山灰等。这些特

殊事件会导致结构损伤和系统功能降低或失效。一旦发生特殊事件, 必须严格根据飞机维修手册(Aircraft Maintenance Manual, 简称 AMM)05 章时限/维护部分进行操作, 对相关结构和系统进行

收稿日期: 2019-04-10; 修回日期: 2019-06-15

通信作者: 周宇霞, 340104640@qq.com

引用格式: 周宇霞, 杨宾华. 损伤与特殊事件分析在民用飞机中的应用研究[J]. 航空工程进展, 2019, 10(6): 780-786.

Zhou Yuxia, Yang Binhua. Application research of DSEA method for civil aircraft[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2019, 10(6): 780-786. (in Chinese)

必要的检查<sup>[1]</sup>。由于涉及到知识产权和技术封锁等原因,还没有任何一家民用飞机制造商发布针对特殊事件的分析流程和方法。目前唯一公开发表且可参考的是欧洲宇航与防务工业协会制定《后勤保障分析国际程序规范》(《International Procedure Specification for Logistics Support Analysis LSA S3000L》,简称 S3000L)<sup>[2-3]</sup>。该规范第八章损伤与特殊事件分析(Damage and Special Event Analysis,简称 DSEA)介绍了损伤与特殊事件分析流程。但是,由于该规范是面向所有工业产品开发的,某些内容不适用于民用飞机产品的开发。

当前,国内的民用飞机研发开展得如火如荼,从民用飞机持续适航<sup>[4-5]</sup>角度出发,维修类手册是航空器评审组(Aircraft Evaluation Group,简称 AEG)评审的内容,AEG 评审目前是型号合格证(Type Certification,简称 TC)的前提,民用飞机的 DSEA 分析直接关系到 AMM 手册和 TC 的结构修理手册(Structure Repair Manual,简称 SRM)的输入问题。因此,国内也逐步开展了特殊事件分析工作的研究<sup>[1,6-8]</sup>,蒋庆喜等<sup>[1]</sup>从确定特殊事件维修任务所需考虑的主要因素入手,提出了特殊事件概率的相关计算方法。杨蓓等<sup>[7]</sup>开展了飞机维修手册中特殊事件任务研究,分析了特殊事件的类型,并从特定风险方法入手,结合特殊风险分析的实施和输出,给出了相关任务的编制工作思路。苏林<sup>[8]</sup>通过对 S3000L 规范进行研究,提出直升机损伤和特殊事件分析的流程和方法。这些研究虽然推动了对民机损伤特殊事件工作的开展,但是离型号任务的开发还有一段较远的距离。

系统开发民用飞机特殊事件分析理论及方法对科学地编制国产民用飞机 AMM 手册 05 章具有重要的作用。依据 S3000L 的思路和要求,结合民用飞机设计特点,工程经验和最新研究工作,本文对 S3000L 第八章进行裁剪与补充,制定出一套详细的特殊事件分析流程,并通过某型号民用飞机部分案例进行描述和说明。

## 1 S3000L 与 DSEA 其他分析活动的关系

夏哲<sup>[9]</sup>提到,后勤保障相关故障模式影响分析

(Logistics Support Analysis Failure Modes and Effects Analysis,简称 LSA-FMEA)、损伤与特殊事件分析、修理级别分析(Level of Repair Analysis,简称 LORA)、后勤相关使用任务分析(Logistics Related Operations Analysis,简称 LROA)、计划维修分析(Scheduled Maintenance Analysis,简称 SMA)、维修任务分析(Maintenance Task Analysis,简称 MTA)统称“维修工程分析”(基于 CAAC 习惯以及国际主流,民用飞机主制造商申请型号合格证时,一般用“MSG-3”分析规范<sup>[10]</sup>来完成 SMA 部分工作)。按照 S3000L 的逻辑关系,与 LSA-FMEA、MTA、LROA、SMA 一样,DSEA 主要产生维修任务清单,再通过 MTA 完成确定任务的制定及其所需要的资源(航材、耗材、地面支持设备、人员资质和任务时间等)的配置,其关系如图 1 所示。DSEA 的维修任务清单主要有两种:一种是产生特殊事件的维修程序(服务于 AMM05 章),主要是针对不同的特殊事件所必须进行的各层级的维修检查任务程序和标准;另一种是提供特殊事件维修程序中的任务清单(服务于 AMM20 之后的章节),作为维修任务的输入。

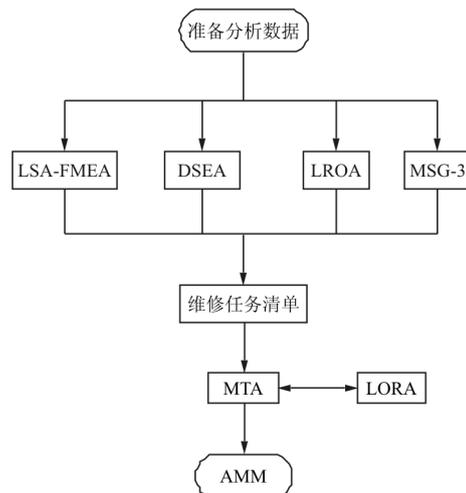


图 1 DSEA 与维修工程分析的关系

Fig. 1 Relationship between DSEA and maintenance engineering analysis

## 2 特殊事件分析流程

根据民用飞机设计和运营特点,S3000L 相关部分裁剪及改进后特殊事件分析流程如图 2 所示。

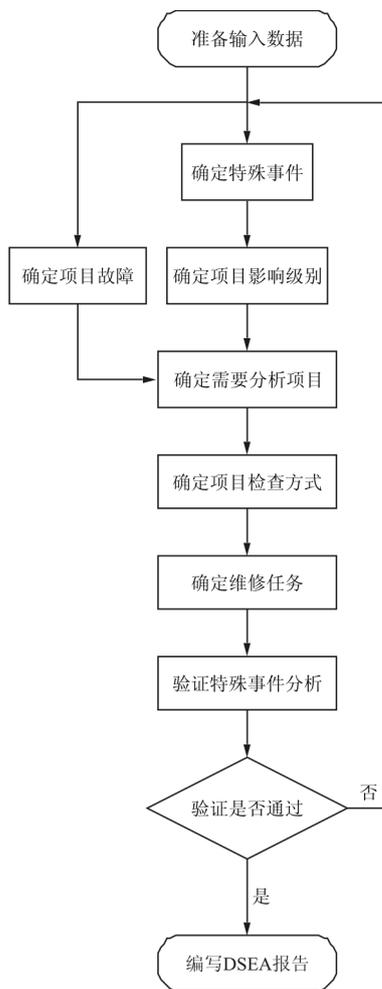


图 2 特殊事件分析流程

Fig. 2 Flowchart of special events analysis

## 2.1 特殊事件分析数据

特殊事件分析应根据《民用飞机研制程序:HB 8525》<sup>[1]</sup>开展工作。该标准将民用飞机产品与服务研制进程划分为 11 个控制点(用 G1-G11 分别表示 11 个控制点),每个控制点获得批准后,才可以开展下一控制点的工作。从 G1 机会识别到 G11 项目关闭审查,特殊事件分析都应参与到各阶段工作中。从 G4 初步技术方案遴选阶段即开始特殊事件分析数据的收集工作。根据以往型号工程经验,特殊事件分析需完成技术数据或分析报告采集(如表 1 所示),数据的作用在后续分析过程中介绍。

表 1 特殊事件分析数据采集表

Table 1 Special events analysis data acquisition

序号	技术数据或分析报告	必要性
1	飞机系统划分文件	强制
2	飞机运营需求文件	重要
3	特殊事件统计数据	重要
4	飞机系统与结构选型报告	强制
5	飞机系统技术 FMEA	强制
6	飞机特定风险分析报告	强制
7	飞机系统/部件技术描述	强制
8	飞机结构设计方案	强制
9	飞机系统与结构三维数模	强制

## 2.2 确定特殊事件

国际主流民用飞机制造商主要依据全球范围内运营商提供的数据确定需要分析的特殊事件。国内蒋庆喜等<sup>[1]</sup>对该问题也有研究,但偏重于理论研究。为利于适航取证工作的开展,当前可参考 CCAR25《民用航空规章第 25 部》<sup>[5]</sup>《民用航空器使用困难报告和调查:AC-121-60》<sup>[12]</sup>《航空器的持续适航文件:AC-91-11R1》<sup>[5]</sup>,相似机型的 AMM 手册 05 章,以往民航业运营的经验<sup>[13]</sup>及该型号飞机预计运营的环境确定需要分析的特殊事件。

在 S3000L 中并无特殊事件识别方法的介绍,通过对类似机型的总结以及国内民用飞机运营人的调研,识别飞机特殊事件发生主要有以下四种方法:

(1) 通过飞机飞行手册(Airplane Flight Manual,简称 AFM)和飞行机组使用手册(Flight Crew Operational Manual,简称 FCOM)和飞机飞行记录确定,如重着陆等;

(2) 由机务人员根据航前检查、航后检查等日常检查确定如雷击,或者其他从业人员的报告;

(3) 当局通报或者当地气象、灾害控制部门的通报;

(4) 其他方法(如在飞机运营期间空乘人员发现烟雾)。

## 2.3 确定项目故障

根据飞机系统与结构选型报告、飞机系统技术 FMEA、结构设计报告、工程经验和运营数据统计

等,确定飞机全机系统和结构故障(后面用“项目”表示系统和结构各级别的组合体,如系统、子系统、模块/单元、附件元件、组件、零件等)。确定全机的项目故障是一项繁琐又很重要的工作,项目故障的准确与否直接影响最终分析任务。以系统为例,项目故障的确定主要有以下步骤:

(1) 根据飞机系统选型报告梳理出飞机选用的系统;

(2) 根据飞机选用系统的技术 FMEA 确定其故障;

(3) 根据工程经验和该系统在类似机型上的运营统计结果完善故障梳理。

全机故障确定项目故障主要有两个指标:(1)项目认知度;(2)故障敏感度。

2.3.1 项目认知度

项目认知度即该项目在民用飞机研发中的推广程度,反映了主制造或者供应商对该项目的熟悉程度。项目认知度越高,则表明对项目的特性越熟悉,在发生特殊事件时,更能准确判断该项目是否发生故障。例如,当发生冰雹特殊事件时,目前已经广泛采用的金属材料比较容易确定是否发生损伤故障,而刚刚应用的复合材料则比较难于确定是否发生损伤故障。具体项目认知度级别划分如表 2 所示。

表 2 项目认知度评级表  
Table 2 Rating for item behavior

项目认知度等级	项目认知度级别说明
0	现有机型广泛用该项目技术
1	相似机型中已采用该项目技术,应用于分析机型时有些更改
2	新机型已采用该项目技术,几乎无可参考的反馈信息

2.3.2 故障敏感度

确定项目故障的另一个指标是故障敏感度,该指标反映了项目故障对特殊事件的敏感程度。例如,当项目对特殊事件非常敏感时,如果有特殊事件发生,则需要分析该故障;反之,则无需分析。根据飞机系统与结构选型报告、飞机系统技术 FMEA、结构设计报告、工程经验等梳理出全机项目的故障类型。结构故障类型如表 3 所示,系统故障类型<sup>[14]</sup>如表 4 所示。

表 3 结构故障分类表

Table 3 Classification of structural failure

序号	结构故障类型	序号	结构故障类型	序号	结构故障类型
1	磨损	5	分层	9	孔
2	腐蚀	6	凹坑	10	刻痕
3	裂纹	7	脱粘	11	穿孔
4	褶皱	8	凿伤	12	擦伤

表 4 系统故障分类表

Table 4 Classification of system failure

序号	系统故障类型	序号	系统故障类型	序号	系统故障类型
1	捆结或卡阻	12	意外运行	23	输入过大
2	共振	13	间歇性工作	24	输入过小
3	不能保持正常位	14	漂移性工作	25	输出过大
4	打不开	15	错误指示	26	输出过小
5	关不上	16	流动不畅	27	无输入
6	误开	17	错误动作	28	无输出
7	误关	18	不能关机	29	(电的)短路
8	内部漏泄	19	不能开机	30	(电的)开路
9	外部漏泄	20	不能切换	31	(电的)参数漂移
10	超出允差(上限)	21	提前运行	32	动作不到位
11	超出允差(下限)	22	滞后运行	33	动作过位

最终,根据型号任务的推进以及供应商的推荐完善系统故障类型。

对不同故障类型,根据供应商提供的技术报告和运营经验确定故障敏感度。根据 S3000L,故障敏感度的划分如表 5 所示。

表 5 故障敏感度评级表  
Table 5 Rating for failure sensitivity

敏感度	故障敏感度说明
0	该项目技术因特殊事件所导致损伤可能性极低
1	该项目技术因特殊事件所导致损伤可能性较低
2	该项目技术因特殊事件所导致损伤可能性中等
3	该项目技术因特殊事件所导致损伤可能性较高
4	该项目技术因特殊事件所导致损伤可能性极高

2.3.3 确定项目故障级别

完成项目认知度和故障敏感度后,确定项目故障级别。确定故障级别目的主要是筛选出当特殊事件发生时,可能会发生故障的项目。故障级别综

合反映了项目认知度和故障敏感度等级。根据 S3000L 和型号工程经验,故障级别划分逻辑如表 6 所示。

表 6 项目认知度/故障敏感度等级表

Table 6 Rating for item behavior/failure sensitivity

项目 认知度	故障敏感度				
	0	1	2	3	4
0	0	0	1	2	3
1	0	1	2	2	3
2	1	2	3	3	3

## 2.4 确定项目影响级别

从民用飞机特殊事件实际运营统计数据出发,结合民用飞机设计特点,为提高分析效率和工作质量,引入影响级别的概念。影响级别是指特殊事件对某区域影响大小的度量,用于确定特殊事件的影响区域。通过影响级别指标,将不会受特殊事件影响的项目筛选出来,进一步减少分析工作量和提高效率,将影响级别指标划分为三个等级,如表 7 所示。

表 7 项目影响级别划分表

Table 7 Rating for item influenced by special events

级别	描 述
0	特殊事件发生不影响分析项目
1	特殊事件发生间接影响分析项目
2	特殊事件发生直接影响分析项目

## 2.5 确定需要分析项目

依据对工程经验相关工作总结,项目是否需确定分析逻辑如表 8 所示。

表 8 确定项目是否分析逻辑表

Table 8 Identification logic of items

项目影 响级别	项目故障级别			
	0	1	2	3
0	0	0	1	1
1	0	1	1	1
2	1	1	1	1

通过表 8,可以确定某特殊事件中需要分析的项目。需要注意的是,表 8 可随主制造商的经验增长而调整。在项目的前期,为了确保飞机的安全

性,指标可以偏于保守,后续随着飞机交付数量的增加,实际运营经验丰富,指标可以放松。

说明:当“项目故障级别/影响级别”为 0 时,项目不需在该特殊事件中分析;当“项目故障级别/影响级别”为 1 时,项目需在该特殊事件中分析。

## 2.6 确定项目检查方式

S3000L 只说明了如何确定需要检查的项目,并没有介绍项目是如何检查的。为方便编制维修工卡和确保任务的准确、高效地执行,应确定项目的检查方式。事实上,不同项目的损伤有不同的检查方式。根据项目故障类型,确定项目检查方式。结构检查方式<sup>[10]</sup>有三种:一般目视检查、详细检查、特殊详细检查。除这三种检查方式外,系统还有功能检查和操作检查等方式<sup>[10]</sup>。检查方式的选择应根据检查对象的故障类型,是否易于接近等确定;并且如发现故障后,为了需要进一步精确定位故障,则可以选择高等级的检查方式。

## 2.7 确定维修任务

S3000L 无明确规定项目检查顺序以及逻辑关系<sup>[1]</sup>。一般情况下,特殊事件发生后,如果有损伤发生,该损伤是比较明显的,根据某主制造商技术能力以及结合项目检查难易程度、项目之间联系、特殊事件因果关系,主要将项目检查分成两个阶段。

阶段一:主要针对一般性的外表检查,若在阶段一检查过程中无故障,检查工作结束;若在阶段一检查过程中发现故障,将进入特殊事件阶段二,开始进一步细致检查。

阶段二:主要在阶段一检查中发现故障时,拆卸相应口盖,对项目进行深入检查,最终形成特殊事件的维修任务。

## 2.8 验证特殊事件分析结果

损伤与特殊事件分析输出对应特殊事件的维修任务,作为 MTA 和 AMM 手册 05 章“时限/维护”部分输入。包含发生特殊事件后所需执行检查任务和它们之间的逻辑关系。分析结果的验证目的,即为确定整套维修任务的合理性,以便能够快速、准确、全面的发现特殊事件所造成的飞机结构和系统故障。

因特殊事件发生概率较低,并很难重复,故除极个别强制规定外,一般只能通过书面、软件、样机、真机等验证特殊事件维修任务。

### 3 案例分析

本文以“冰雹”事件为例,分析X机型机身结构部段。

#### 3.1 确定特殊事件

结合工程经验,“冰雹”事件需进行分析。当冰雹发生后,飞机执行任务前均要检查。因此,特殊事件的识别方法为冰雹。

#### 3.2 确定“冰雹”事件中需要分析项目故障

综上所述分析,该指标主要包含“项目认知度”和“故障敏感度”。

X机型机身部段使用的材料均为典型金属材料,如2000系列、7000系列铝合金材料等,这些材料已经广泛应用于飞机结构设计,因此“项目认知度”指标为“0”。“冰雹”事件引起机身结构部段故障主要为“凹坑”,在飞机结构设计时,会考虑到“冰雹”事件对飞机结构的影响,将它控制在允许范围之内,因此“故障敏感度”指标为“2”。因此通过表5可以看出,“冰雹”事件“项目故障级别”指标为“1”。

#### 3.3 确定“冰雹”事件中需要分析项目

在“冰雹”事件中,机身部段直接暴露于其中,冰雹直接打到机身部段,即特殊事件发生直接影响分析项目,通过表7可以看出,在“冰雹”事件中机身部段“影响级别”指标为2。

“项目故障级别”指标为1,“影响级别”指标为2,通过表8可以看出,“冰雹”事件中机身部段需进行维修任务分析。

#### 3.4 确定“冰雹”事件中项目检查方式

按照“冰雹”事件中机身部段的材料及其故障,凹坑发生在外表面,维修人员可以直接通过一般目视检查的方法发现,对于细小的凹坑,可以辅助侧向照明等方法一般目视检查发现,其检查方式为“一般目视检查”(阶段一)。如果发现凹坑,就可能在结构上发生更进一步的损伤,需检查凹坑处内部

结构及系统(阶段二)。

### 3.5 确定“冰雹”事件中维修任务

按照“冰雹”事件影响的区域,其机身结构部段维修任务如表9所示。

表9 “冰雹”特殊事件的维修任务表  
Table 9 Maintenance task list for “hail”

特殊事件	识别	检查项目	项目故障	阶段一	阶段二
冰雹	冰雹撞击	机身部段	凹坑	一般目视检查 机身结构外部, 如发现凹坑,转 入阶段二	一般目视检查 内部结构,功能 或者操作检查 内部系统件

## 4 结论

(1) 通过建立国国民用飞机损伤与特殊事件的分析方法,量化分析指标,可以有效地、标准地开展民用飞机损伤特殊事件分析工作;

(2) 引入了“影响级别”指标,该指标可以有效地识别出需要分析的项目,降低了工作量,提高了工程师的工作效率和质量。

### 参考文献

- [1] 蒋庆喜,徐志锋,王勇. 面向特殊事件的维修任务确定方法研究[J]. 航空维修与工程, 2015(9): 102-104.  
Jiang Qingxi, Xu Zhifeng, Wang Yong. Study on determination method of maintenance tasks for special event[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(9): 102-104. (in Chinese)
- [2] ASD. International procedure specification for logistics support analysis: LSA S3000L[S]. US: ASD, 2010.
- [3] 庚桂平. S3000L《后勤保障分析国际程序规范》介绍[J]. 航空标准化与质量, 2013(3): 49-53.  
Geng Guiping. Introduction to S3000L “international procedure specification for logistics support analysis”[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2013(3): 49-53. (in Chinese)
- [4] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.  
CAAC. Airworthiness standard for transport aircraft: CCAR-25-R4[S]. Beijing: CAAC, 2011. (in Chinese)
- [5] 中国民用航空局. 航空器的持续适航文件: AC-91-11R1[S]. 北京: 中国民用航空局, 2014.  
CAAC. A continuous airworthiness document of the aircraft: AC-91-11R1[S]. Beijing: CAAC, 2014. (in Chinese)
- [6] 李文赞. 国内外装备综合保障标准及数据模型的分析研究

- 与应用[D]. 天津: 中国民航大学, 2016.
- Li Wenzan. Analysis and application of integrated logistics support standard and data model of China and abroad[D]. Tianjing: Civil Aviation University of China, 2016. (in Chinese)
- [7] 杨蓓, 许科龙. 飞机维修手册中意外损伤任务研究[J]. 科技创新导报, 2015(36): 191-193.
- Yang Bei, Xu Kelong. Study on accidental damage task in the AMM[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2015(36): 191-193. (in Chinese)
- [8] 苏林. 直升机损伤和特殊事件分析方法研究[J]. 航空维修与工程, 2018(11): 80-83.
- Su Lin. Research on the analysis method for helicopter damage and special event[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2018(11): 80-83. (in Chinese)
- [9] 夏哲. 基于 S3000L 的 MTA 方法在民用飞机领域的应用研究[J]. 航空维修与工程, 2015(6): 61-64.
- Xia Zhe. Application study on MTA based on the S3000L in the civil aircraft[J]. Aviation Maintenance & Engineering, 2015(6): 61-64. (in Chinese)
- [10] ATA. Operator/manufacturer scheduled maintenance development; MSG-3[S]. US: ATA, 2015.
- [11] 中华人民共和国工业和信息化部. 民用飞机研制程序: HB 8525[S]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2017.
- Ministry of Industry and Information Technology of PRC. Development program for civil aircraft; HB 8525[S]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of PRC, 2017. (in Chinese)
- [12] 中国民用航空局. 民用航空器使用困难报告和调查: AC-121-60[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.
- CAAC. Report and investigation of difficulties in the use of civil aircraft: AC-121-60[S]. Beijing: CAAC, 2011. (in Chinese)
- [13] 中国民用航空局. 民用航空器事故征候: MH/T 2001-2008[S]. 北京: 中国民用航空局, 2008.
- CAAC. Signs of civil aircraft accidents: MH/T 2001-2008[S]. Beijing: CAAC, 2008. (in Chinese)
- [14] 中国人民解放军总装备部. 飞机质量与可靠性信息分类和编码要求: GJB 630A-1998[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 1998.
- General Armament Department of the PLA. Classification and coding requirements for aircraft quality and reliability information; GJB 630A-1998[S]. Beijing: General Armament Department of the PLA, 1998. (in Chinese)

#### 作者简介:

周宇霞(1976—),女,硕士,高级工程师。主要研究方向:民机客服工程。

杨宾华(1981—),男,博士,工程师。主要研究方向:民机客服工程,复合材料。

(编辑:丛艳娟)