

飞机区域安全性分析流程优化与实施方法

严拴航*, 薛海红

中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘 要: 区域安全性分析(ZSA)是系统安全性分析的一项重要内容, 已被美国联邦航空局(FAA)明确列为民航安全分析工作要求。本文通过对比分析当前国内外区域安全性分析现状, 结合国内工程实际, 建立了工程适用的、操作性强的区域安全性(ZSA)准备和实施流程, 并结合飞机及其系统在不同研制阶段的设计特点, 建立了与系统研制同步的过程控制流程, 给出了各流程具体实施方法, 研究成果可为飞机及其他武器装备开展区域安全性分析工作提供参考和借鉴。

关键词: 飞机; 安全性; 区域安全性分析; 过程控制

中图分类号: V37 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 04-0036-06

飞机的安全性是各国政府和公众关注的焦点,也是飞机研制部门必须重视的首要问题。区域安全性分析(ZSA)是系统安全性分析的一项重要内容,在SAE ARP4761^[1,2]等标准中均有明确要求,已被FAA明确列为民航安全分析工作要求,其对于提高飞机的安全性水平,保证达到国际民航适航要求都有重要的意义。

由于飞机系统、分系统、设备之间在结构和功能上相互关联性和影响力很强,区域安全性问题非常突出。因此,必须切实有效地开展飞机ZSA工作。ZSA是一种定性的安全性评估方法,通过对飞机各划定区域进行相容性检查,判定系统及设备的安装是否符合安全性设计要求,判定位于同一区域内系统与设备之间相互影响的程度,分析产生维修失误的可能性,尽早发现可能发生的不安全因素,提出改进意见,使新设计能防止或限制不正常事件的发生,确保飞机各系统之间的相容性和完整性。

我国利用ZSA方法全面开展军、民用飞机安全性设计方面的研究才刚刚开始,且目前的ZSA流程过程简单,工程实用性不强。针对该问题,本文参考国内外相关标准,结合国内工程实际,对原有的ZSA实施流程进行了补充和细化,并建立了与系统研制同步的ZSA过程控制流程,为飞机研制过程中有效开展ZSA提供参考。

1 国内外应用现状分析

国外开展ZSA主要依据SAE ARP4761,通过主要飞机制造商及研发机构多年的研究及工程实践,目前已能熟练运用该方法开展安全性设计,但对具体的分析过程和关键细节进行了技术封锁。在欧洲ISAAC(Improvement of Safety Activities on Aeronautical Complex Systems)项目以及ADA(Aeronautical Development Agency)中,都开展了ZSA工作。美国提供可靠性、安全性等分析的CMTIGROUP公司在飞机、轮船、卫星等安全性分析中也开始应用ZSA。此外,一些研制单位也已使用相应的软件帮助进行分析。如欧洲航空防务航天公司(EADS)旗下的空中客车公司使用的SARAA软件工具,能够完成各种飞机安全性分析工作,其中包括给出ZSA结果。近年来,美国联邦航空局(FAA)开展了加强的区域分析程序研究,加拿大运输管理局发布了航空器加强的区域分析程序(EZAP)^[3],用于加强对电气互联系统(EWIS)的维修和检查,及时发现和处理电缆线路的老化和受损问题。

我国航空工业标准HB7583-98^[4]以及相关文献^[5-7]均给出了开展ZSA的一般程序,其核心分析过程如图1所示。

这些标准以早期的国外工程实践为基础,主要是对ZSA方法的基本流程进行了介绍,其许多内容已不能适

收稿日期: 2014-01-04 录用日期: 2014-02-21

*通讯作者: Tel.: 029-86832912 E-mail: yanshuanhang@126.com

引用格式: YAN Shuanhang, XUE Haihong. Aircraft zonal safety analysis diagram optimization and performing method[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(04): 36-41. 严拴航, 薛海红. 飞机区域安全性分析流程优化与实施方法[J]. 航空科学技术, 2014, 25(04): 36-41.

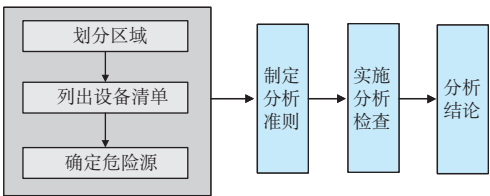


图1 ZSA核心分析过程

Fig.1 ZSA core analysis process

用现在研制的机型。加之ZSA核心分析过程较为简单、工程可操作性与实用性不强等缺点,在飞机研制过程中,工程技术人员无法将相关程序方法剪裁后直接应用于ZSA工程实践中。按照相关标准提出的要求,飞机区域安全性工作在工程研制阶段才开始开展,而不是在方案阶段,在飞机总体布置协调过程中提出安全性设计要求并进行评估,与飞机系统设计过程保持协同一致,并以最小的成本影响和优化系统设计,因此,在某种程度上错过了分析的最佳时机。

2 改进的ZSA流程

通过从ZSA准备和ZSA实施两个阶段对图1中给出的核心流程进行补充和细化,如图2所示。

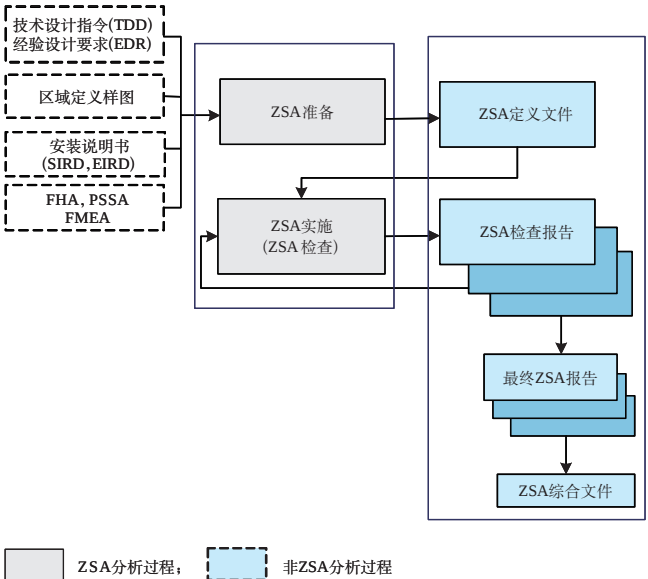


图2 改进的ZSA流程

Fig.2 Improved ZSA process

图2是在图1的基础上,进行了以下方面改进:

- (1) 明确了ZSA所需的工程输入条件;
- (2) 给出ZSA各工作环节输入、输出关系;
- (3) 明确职责分工与约束;
- (4) 理清了文件生成与信息传递关系。

2.1 ZSA准备

ZSA准备是ZSA过程的预备步骤,其目的是定义飞机各个区域和开展ZSA的工作记录,该阶段的所有结果都需整理成ZSA定义文件。这些文件是参与ZSA工作过程的所有相关部门的基本文件,也是整个ZSA分析过程的基础文件,在整个飞机研制期间,随着工程研制更改ZSA定义文件将做相应修改。图3给出了ZSA准备过程流程。

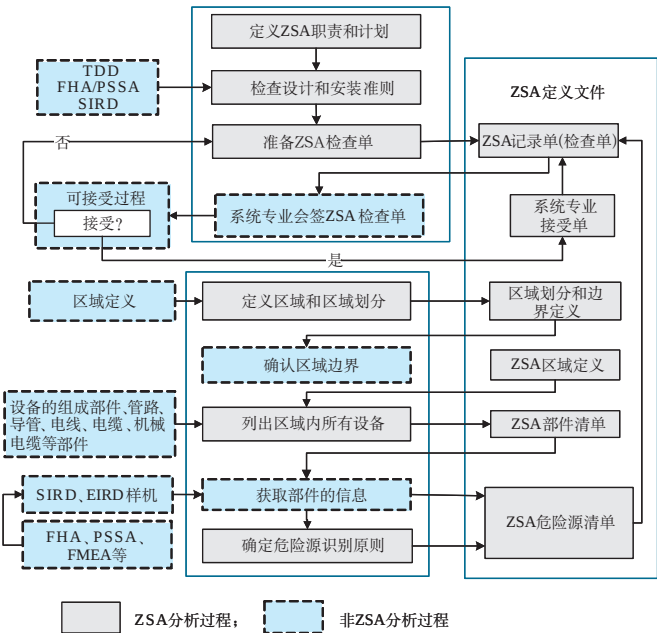


图3 ZSA准备过程

Fig.3 ZSA preparation activities

2.1.1 定义ZSA职责

在实施ZSA之前,需要明确定义所有的职责和任务,确定需要承担任务的组织和个人,并将确认结果以文件形式记录。该过程要考虑的内容主要包括:

- (1) ZSA分析过程中的总体职责;
- (2) 各参与部门/组织的职责;
- (3) 启动工作项目;
- (4) 发布ZSA报告的时间期限;
- (5) 问题登记表涉及到的系统编号;
- (6) 区域图纸。

2.1.2 检查设计和安装准则

根据已积累的设计经验,检查系统设计指南,给出安装准则方面必需进行的设计限制。安装准则通常可来源于如下方面:

- (1) 系统和结构设计指南;
- (2) 初步系统安全评估报告;

- (3) 飞机或系统功能危险分析报告;
- (4) 系统安装要求文件(SIRD);
- (5) 事故报告;
- (6) 维修及运行经验;
- (7) 经验设计要求。

2.1.3 准备ZSA检查清单

ZSA检查清单条目应尽量简短且内容清晰准确。一条检查清单条目通常仅提出一个问题,同时每一条目都需列出参考准则项,将所有确定的安装准则项目制成检查清单,安装准则分为通用准则和专用准则两类。

把所有的安装准则转化成检查清单条款时,需检查每一类准则是否存在相似问题项,若确定有相似问题,应简化成一条条款。

2.1.4 区域划分

区域划分遵循简单且合理的原则,主要按照飞机的梁、隔框、地板等有形边界划分,同时考虑分析、检查及维修的相关要求。划分区域主要依据以下原则:

- (1) 划分区域简明,尽量将故障相关的相邻部分划在同一区域内;
- (2) 划分区域清楚地指明区域边界,包括对区域边界的具体说明;
- (3) 将驾驶舱地板、机翼前后梁、货舱地板等有形隔板作为区域边界主要依据;
- (4) 为避免分析时遗漏,对划分的区域进行编号。

2.1.5 列出区域内设备清单

对所划分的每一个区域,给出其内部所有系统的名称及系统在该区域内的所有设备名称。列出系统设备清单的目的是为了便于后续安全分析检查时具有针对性,不遗漏分析项目,为确认设备在所划定的区域内是否为危险源提供方便。

2.1.6 确定危险源

利用给出的区域内设备清单和设备的相关信息,识别出划分区域内危险源,为后续开展区域影响分析和检查提供输入。危险源确定从以下几个方面考虑:

- (1) 所有具有高能量释放潜能的设备,如发动机转子及叶片、发电机转子、压力瓶、蓄压器、氧气瓶、灭火器、冷气瓶、轮胎、处于张力状态的钢缆和处于张力状态的链条;
- (2) 承载腐蚀性物质的设备,如燃油箱、液压油箱、燃油泵、作动筒等;
- (3) 故障或过热后易产生烟雾或起火的用电设备,如航电、供电、照明等系统的用电设备;

(4) 飞机的管路及其附件(阀门、开关、紧固件、密封件等),如液压管路、燃油管路、供氧管路、供水管路、发动机排气导管、空调系统高温管路和防冰导管等;

(5) 飞机的电缆电线及其附件;

(6) 正常工作时运动的设备及部件,如风挡雨刷、飞控系统安定面作动器、缝翼作动器等;

(7) 其他设备,该类设备故障时对区域内其他设备不造成直接影响,但会破坏工作环境,导致飞机操作人员操作失误,引发事故,如驾驶舱照明设备、通信设备等。

2.2 ZSA实施

ZSA实施主要包括对区域和系统进行检查、发布问题登记并准备ZSA报告。图4给出了具体的实施过程。

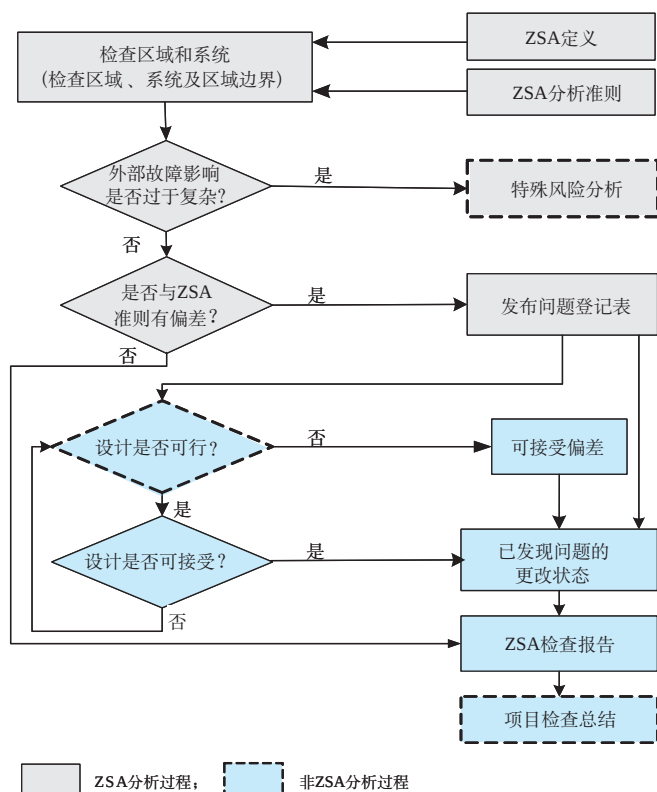


图4 ZSA实施过程

Fig.4 ZSA performing activities

2.2.1 检查区域和系统

开展区域安全性检查的对象可以是飞机图纸、数字样机或真实飞机。在真实飞机上实施ZSA检查时,检查出的问题可能会是制造缺陷,而不是设计偏差,所以检查时要明确分析的目标。

需要对区域检查结果进行记录,检查区域内安装等是否满足检查清单上的所有条目的要求。检查时需要注意以下细节:

- (1) 所检查的飞机设计图纸及其版本号、样机状况或飞机型号；
- (2) 发现与安装准则有偏差的问题登记表的参考号 (Reference Number)；
- (3) 特殊风险分析的参考号；
- (4) 其他检查结果。

对飞机开展ZSA检查期间,任何检查组成员对发现的安全隐患都要进行记录并填写问题登记表,将发现的问题反馈相关设计部门,设计部门给予回复。检查结束后,检查人员将检查出的所有问题汇总,形成ZSA问题汇总表。

2.2.2 发布问题登记表

在真实飞机、数字样机或是图纸上实施检查工作时,一旦发现任何问题,都应记录在问题登记表中。问题登记

表应该重点突出问题所在,及时送达相关设计部门,这样能节约改正早期问题带来的成本。

问题登记表中的问题得到妥善解决后,应该存档保存,并通知设计部门。为了管理信息,有必要制定一份型号研制期间所有问题登记表的清单表,并将该清单表递送至所有安全性工程技术人员进行传阅,以使他们了解全部问题。

2.2.3 准备ZSA报告

经过区域安全性分析,各系统专业对所发现的重大问题提出预防和改进措施之后,应进行复查并给出分析报告。各区域检查工作的最后任务是准备ZSA报告。在检查完所有相关设计标准、解决问题登记表上的所有问题后,ZSA分析工作便完成。

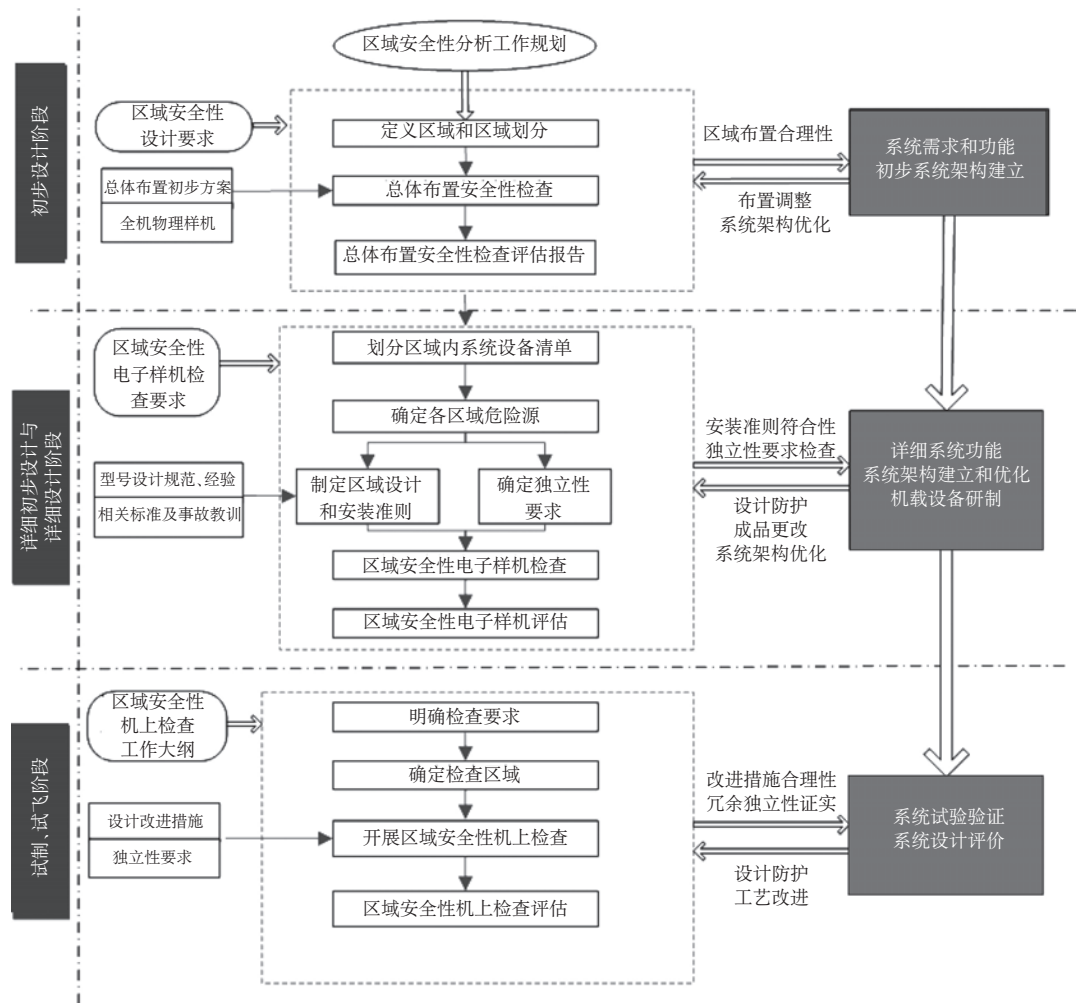


图5 ZSA与系统研制同步流程
Fig.5 ZSA control diagram coherent with system development

3 ZSA过程控制流程

目前,国内外相关标准中对系统研制过程控制的ZSA要求不完整,没有明确不同研制阶段工作开展的重点,亦没有专门的控制流程,很难与系统设计融合。

通过在初步设计阶段,提出区域安全性要求,参与总体布置协调,实现系统布置调整和系统初步架构优化;在型号研制详细设计阶段,通过对设备安装合理性和冗余独立性进行检查,实现系统架构优化、系统成品更改和系统设计防护;通过在试验、试制阶段,对设计符合性和制造符合性进行机上检查,实现系统设计防护和制造工艺的改进。具体的ZSA过程控制流程如图5所示。

3.1 初步设计阶段

(1) 结合飞机初步总体布置方案,按照区域划分原则对飞机进行区域划分,并对区域边界进行说明;

(2) 制定区域安全性设计要求,结合总体布置协调样机,重点关注高温、高压气体泄漏、液体泄漏、间隙要求、高能量设备及防火等方面的安全性问题,对发现的问题进行记录;

(3) 将发现的问题及时反馈系统设计,通过协调,对发现的安全问题进行布置调整或有效防护。

3.2 详细设计阶段

(1) 列出各划分区域内的设备清单,按照危险源确定原则对区域内设备进行分析,识别出区域内危险源及其故障模式,为后续开展区域影响分析和检查提供输入;

(2) 根据SAE ARP4761及HB7583-98等相关标准和相似飞机以往使用经验(包括维修及运行经验、事故报告等),制定区域安全性分析通用准则和专用准则;

(3) 根据系统功能危险分析和初步安全性评估等安全性分析产生的设备在安装、相互影响及环境等方面的隔离/分离要求,确定各区域系统内设备独立性要求清单以及与之关联的系统设备独立性清单;

(4) 开展详细设计阶段区域安全性电子样机检查,对各区域内设备安装的合理性进行检查,并对危险源发生故障后可能的故障模式以及对周围系统设备特别是冗余系统设备的影响进行检查,评价各区域内系统和设备之间的相容性,确定各划分区域内存在的安全隐患;

(5) 对电子样机检查发现的问题明确责任专业,给出初步解决方案,及时反馈系统设计,通过确认、评估、跟踪和协调,进行设计更改或采取防护措施。

3.3 试验、试制阶段

(1) 制定区域安全性机上检查大纲,明确机上检查的流程、要求、内容、组织管理等;

(2) 针对真实飞机开展区域安全性机上检查,重点对危险源发生故障后周围重要系统设备特别是系统冗余设备所受影响进行现场检查,对初步设计和详细设计阶段发现问题的改进措施的合理性和有效性进行检查确认,对现场检查中发现的安全隐患进行记录和现场拍摄;

(3) 对检查过程中发现的安全性问题,明确责任专业并反馈系统设计进行确认和评估,对评估后存在设计问题的项目进行设计改进或采取防护措施,对评估后属于制造问题的项目由制造部门进行整改、落实。

4 结论

采用改进后的ZSA实施和过程控制流程,以及流程各环节具体实施方法,具有工程实用性和操作性等优点,可以实现与飞机系统设计的同步优化和迭代。研究成果为飞机及其他复杂武器装备开展区域安全性分析工作提供参考和借鉴价值。对于危险源的失效机理及影响范围的确定尚在进一步探索中。

AST

参考文献

- [1] Society of Automotive Engineers. ARP4761. Guidelines and Method for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment[S]. Society of Automotive Engineers, 2006.
- [2] 国防科学技术委员会. GJB/Z99-97. 系统安全工程手册[S]. 国防科学技术委员会, 1997.
Commission of Science Technology for National Defense. GJB/Z99-97. Engineering Handbook for System Safety[S]. Commission of Science Technology for National Defense, 1997. (in Chinese)
- [3] TP 14331E, Enhanced Zonal Analysis Procedures [R]. Canada, 2005.
- [4] 国防科学技术委员会. HB7583-98, 飞机区域安全性[S]. 国防科学技术委员会, 1998.
Commission of Science Technology for National Defense. HB7583-98, Aircraft Zonal Safety Analysis[S]. Commission of Science Technology for National Defense, 1998. (in Chinese)
- [5] 李晓磊, 田瑾, 赵廷弟. 改进的区域安全性分析方法[J]. 航空学报, 2008, 29(3): 622-626.

- LI Xiaolei, TIAN Jin, ZHAO Tingdi. Improved zonal safety analysis method[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2008,29(3): 622-626.(in Chinese)
- [6] 赵廷弟. 安全性设计分析与验证[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
- ZHAO Tingdi. Safety Design Analysis and Demonstration[M]. Beijing: National Defense Industry Publishing House, 2011. (in Chinese)
- [7] 冯福来. 飞机区域安全性分析[J].航空标准化与质量,1994,3(3):39-42.
- FENG Fulai. Aircraft zonal safety analysis[J]. Aeronautic Standardization and Quality, 1994, 3(3):39-42.(in Chinese)
- 作者简介**
- 严拴航(1979—) 男,硕士,工程师,主要研究方向:飞机可靠性、安全性技术研究。
Tel:029-86832912
E-mail:yanshuanhang@126.com
- 薛海红(1976—) 男,学士,高级工程师,主要研究方向:飞机可靠性、安全性技术研究。
Tel:029-86832321
E-mail:xuehh0601@163.com

Aircraft Zonal Safety Analysis Diagram Optimization and Performing Method

YAN Shuanhang*, XUE Haihong

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: Zonal safety analysis (ZSA) is important to system safety analysis, it ranks as safety analysis requirements definitely by FAA (Federal Aviation Administration). Compared with the state-of-art of ZSA home and abroad, and associated with engineering practice, ZSA preparation and performing diagram were established, which are more applicable and operative. Connected with design characteristic during aircraft and system development process, ZSA process control diagram coherent with system development was established, also performing method was provided. This paper provides reference and guidance to perform ZSA for aircraft and other materiel.

Key Words: aircraft; safety; zonal safety analysis; process control

Received: 2014-01-04 Accepted: 2014-02-21

* Corresponding author. Tel.: 029-86832912 E-mail: yanshuanhang@126.com