

文章编号 : 1673-4599(2010)01-0047-04

基于集对分析的区域安全分析研究

颜春艳, 诸文洁, 孙有朝, 车 程

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 区域安全性分析可用来确定系统各区域及整个系统存在的危险。利用集对分析方法对民机区域内含危险源的系统进行风险排序, 然后有针对性的及时对设计采取必要的措施, 以支持区域安全性设计。最后, 给出了后附件舱区域分析实例, 从而证明了本文方法的有效性。

关键词: 区域安全性分析; 集对分析; 联系数

中图分类号: X936 文献标识码: A

Zonal Safety Analysis Evaluation Based on Set Pair Analysis

YAN Chun-yan, ZHU Wen-jie, SUN You-chao, CHE Cheng

(Civil Aviation Collage, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 210016, China)

Abstract: Zonal safety analysis is employed to determine the risk of each zone of the system and the whole system. By using a method of set pair analysis the systems including risk source in each zone are sorted, and then necessary measures are taken timely in design to support the zonal safety analysis. In the end, a ZSA example in the zone of the post-accessory cabin prove, the effectiveness of the model.

Key words: zonal safety analysis; set pair analysis; connection number

在民用飞机的安全性、经济性、舒适性和环保性四大要求中, 安全性是第一位的, 必须确保, 没有安全性一切都无从谈起。区域安全性分析(Zonal Safety Analysis, ZSA) 是系统安全性分析的一个重要内容, 在SAE ARP4761^[1]中也有明确的要求, 已被美国联邦航空局(FAA)明确列为民航安全分析工作要求。ZSA目的是通过对飞机各区域进行的相容性检查, 判定各系统或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各系统之间相互影响的程度, 分析产生维修失误的可能性, 尽早发现不安全因素, 提出改进意见, 使新设计能防止或限制事

故的发生, 保证飞机各系统之间的相容性和完整性。ZSA对于提高中国在研制大型飞机的安全性、保证达到国际民航适航要求都具有重要的意义。区域安全性分析在飞机的每一区域进行, 同时在新机型研制和现有机型有较大改型时均应进行ZSA。在设计过程中, 飞机区域安全性评价应对照分析准则进行检查评估。检查评价的结论可为设计的改进提供支持。

目前, 民机区域安全评价体系和方法尚无统一的规范, 基本上还处于探讨、摸索阶段。本文采用集对分析方法对民机区域内各系统风险排序, 然后有

针对性的及时对设计采取必要的措施,以支持区域安全性设计,为民机区域安全评价工作提供了一种新的思路和途径。

1 集对分析思想

由我国学者赵克勤提出的集对分析(SPA)为处理风险这一类不确定性问题提供了崭新的思想方法。所谓集对,就是具有一定联系的两个集合所组成的对子。它把确定性与不确定性视作一个确定-不确定系统,在这个系统中,确定性与不确定性是互相联系制约,不可截然分割的,因此,对不确定性的描述要同时从确定和不确定两方面来进行,并具体地用一个既确定又不确定的联系度表达式 $\mu=a+b+c$ 来辩证地、系统地描述不确定性,其中 a 表示两个集合的同一程度,称为同一度; b 表示两个集合的差异不确定程度,称为差异度; c 表示两个集合的对立程度,称为对立度。当联系度 $\mu=a+b+c$ 中的 $c \neq 0$ 时,同一度 a 与对立度 c 的比值 a/c 为所论集对在指定问题背景下的集对势,即 $\text{shi}(H)=a/c$ 。集对势之间按 a/c 值大小关系而成的次序称为集对势序。联系度的意义是在某一问题背景下,对集对中两集合的联系进行相对确定和相对不确定辩证定量刻画。 a, b, c 三者的统一形成了两集合联系的整体,故有 $a+b+c=1$ 。集对分析是一种用联系系数统一处理模糊、随机、中介和信息不完全导致的不确定性的方法。它是在所论问题背景下的同、异、反分析加以度量刻画,即对一个集对所具有的特性展开分析,把所分析得到的特性再作这两个集合在哪些特性上具有同一性,在哪些特性上具有对立性,在其余特性上既不同一又不对立的一种分析。集对分析理论把哲学范畴的一种理念转化为数学表达式,本文即是利用集对分析对复杂系统的风险进行描述,运用联系度来确定风险

表1 集对势的等级关系

a, b, c 的大小关系	等级划分	集对势
$a=c, b>a$	均势	微均势
$a=c, b=a$		弱均势
$a=c, a>b>0$		强均势
$a=c, b=0$		准均势
$a>c, b=0$	同势	准同势
$a>c, c>b$		强同势
$a>c, a>b>c$		弱同势
$a>c, b>a$		微同势
$a<c, b=0$	反势	准反势
$a<c, 0<b<a$		强反势
$a<c, b>a, b<c$		弱反势
$a<c, b>c$		微反势

的排序。为明确起见,表1列出了 a, b, c 大小关系的全排序及相应的含义。

2 区域安全分析的集对分析法

区域安全性分析是以区域为单位确定系统设备故障状态并对其影响进行评估,其核心是危险源的确定和影响分析。危险源的确定应从以下几个方面进行考虑:

(1) 含高能转子的装置,如发动机、空气循环机、APU、风扇、发动机启动电机、液压泵等。

(2) 所有具有高能量释放潜能的元部件,如压力瓶、蓄压器、氧气瓶、灭火器、冷气瓶、轮胎、处于张力状态的钢缆、处于张力状态的链条、压缩物体等。

(3) 任何承载具有腐蚀性物质且故障时易造成周围环境恶化的装置,如废水管路、燃油箱及导管、蓄电池、液压系统设备等。

(4) 故障或过热后产生烟雾和起火的电气设备及导线。

(5) 任何可能产生高温、高压气体泄露的导管及管路,如发动机排气导管、空调系统高温管路、防冰导管等。

(6) 正常工作时运动的设备及附件,如飞行操纵装置、起落架操纵装置等。

集对分析同异反理论不同于传统数学和模糊数学,它是从整体和全局上研究系统确定性和不确定性的一种不确定性理论。该理论认为任何系统都是由确定性和不确定性信息构成的,在这个系统中,确定性与不确定相互联系、相互影响、相互制约,甚至在一定条件下相互转化。本文将飞机区域安全看作一个包含确定性与不确定性,且它们之间存在相互影响、相互转化关系的复杂系统,由于评价者自身的局限性,其评判本身也存在着确定性与不确定性,且难以明确区分其中哪些评价者的评判具有更大的确定性或不确定性。因此,本文在评价飞机区域安全时引入集对分析思想。本文进行SPA评价的基本思路是:通过以飞机区域为单位确定系统设备故障状态,选取影响该飞机区域的关键危险源作为评价属性,而后,专家对体现该区域危险源的属性进行打分,构建飞机区域安全的联系度表达式;并通过对联系度的深入分析,给出飞机区域内系统的风险排序,进而做到有主次的尽早发现可能发生的不安全因素,从而提出改进意见,达到新设计能够防止或限制不正常事件发生的目的。

3 实例验证

以某型号飞机后附件舱区域为例来说明SPA。

根据危险源的确定要求，可知后附件舱区域内包含以下4个系统的危险源：电源系统的APU发电

机 液压能源系统的液压导管及其他液压附件 引气系统高温、高压导管；燃油系统的燃油箱或燃油导管。结合后附件舱区域安全状况的实际特点，建立后附件舱区域安全评价指标体系，见图1。

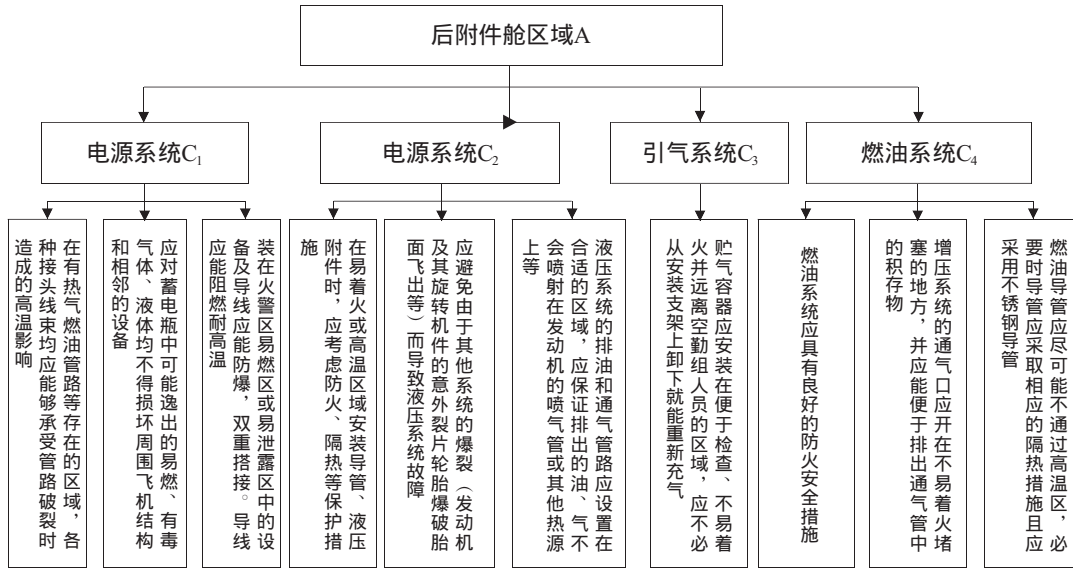


图1 后附件舱区域指标体系图

模糊评语为3个等级：安全、临界、危险。约请10位专家对各因素进行打分，整理后评判数据见表2。

表2 专家评判结果

因素	子因素	评判等级			集对联系数		
		安全	临界	危险	安全	临界	危险
C ₁	C ₁₁	6	4	0	0.6+0i+0.4j	0.4+0i+0.6j	0+0.4i+0.6j
	C ₁₂	4	5	1	0.4+0i+0.6j	0.5+0.1i+0.4j	0.1+0.5i+0.4j
	C ₁₃	8	2	0	0.8+0i+0.2j	0.2+0i+0.8j	0+0.2i+0.8j
C ₂	C ₂₁	9	0	1	0.9+0i+0.1j	0+0.1i+0.9j	0.1+0i+0.9j
	C ₂₂	10	0	0	1+0i+0j	0+0i+1j	0+0i+1j
	C ₂₃	9	1	0	0.9+0i+0.1j	0.1+0i+0.9j	0+0.1i+0.9j
C ₃	C ₃₁	8	1	1	0.8+0i+0.2j	0.1+0.1i+0.8j	0.1+0.1i+0.8j
C ₄	C ₄₁	5	4	1	0.5+0i+0.5j	0.4+0.1i+0.5j	0.1+0.4i+0.5j
	C ₄₂	9	0	1	0.9+0i+0.1j	0+0.9i+0.1j	0.1+0i+0.9j
	C ₄₃	9	1	0	0.9+0i+0.1j	0.1+0i+0.9i	0+0.1i+0.9j

采用平均联系度计算综合指标

$$\mu_1 = \frac{0+0.1+0}{3} + \frac{0.4+0.5+0.2}{3}i + \frac{0.6+0.4+0.8}{3}j =$$

$$0.033+0.367i+0.6j$$

同理可得 $\mu_2=0.033+0.033i+0.933j$;

$$\mu_3=0.1+0.1i+0.8j \quad \mu_4=0.067+0.167i+0.767j$$

$$\text{shi}(1)=\frac{0.033}{0.6}=0.055 \quad \text{shi}(2)=\frac{0.033}{0.933}=0.035 ;$$

$$\text{shi}(3)=\frac{0.1}{0.8}=0.125 \quad \text{shi}(4)=\frac{0.067}{0.767}=0.087 ;$$

对联系数进行分析

(1) 均处于同势时 势值越大 风险越大。

(2) 均处于反势时 势值越大 风险越大。

(3) 均处于均势时 势值越大 风险越大。

由此可得后附件舱区域内含危险源系统的风险由大到小依次是引气系统、燃油系统、电源系统、液压系统。

4 结 论

对于引气系统高温、高压导管气体泄露、导致部分系统受热影响其他系统工作,可以通过布置在发动机短舱内的引气调节关断活门隔离过热气源,而对于燃油系统从燃油箱或燃油导管内泄漏出的燃油及燃油蒸汽,可采取这样的措施,使穿过机身增压舱区域的燃油管采用具有较强的防漏功能的双层套管。

集对分析在描述复杂系统方面有着独到的视角,其特点是立足于对元系统作系统分析,能够有效处理模糊、随机以及其他方法无法处理的中介不确定性这种现实中存在的实际问题。本文基于集对分析的基本理论,对飞机区域内系统风险的联系度进行了计算,可以更有效地发现危险来源,确定危险控制的关键项目,提高新老型号产品的区域安全性分析应用效果。最后用实例证实了方法的有效性。

参 考 文 献

- [1] SAE ARP4761. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on airborne systems and equipments[S].
- [2] BAe46. Zonal safety analysis guideline[S].
- [3] 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.
- [4] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[J]. 大自然探索, 1994, 13(1): 67-72.
- [5] 赵克勤. 集对原理及其在集对分析中的作用与意义[J]. 大自然探索, 1998, 17(4): 90-92.

作 者 简 介

颜春艳(1982—),女,硕士,主要从事航空器安全性分析与评估、可靠性等领域研究。

孙有朝(1965—),男,教授、博士生导师,副院长,主要从事可靠性维修性安全性工程、航空安全适航技术以及虚拟维修性设计验证等领域研究。