

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.08.005

基于安全性评估的民用客机 VHF 通信电台架构^{*}

郑 力^{**}, 廖祯林

(中电科航空电子有限公司, 成都 611731)

摘要:进行设备级的安全性评估是民用客机 VHF 通信电台适航审定的要求。简述了机载系统和设备的安全性评估指南、方法及过程,描述了 VHF 通信电台各组成模块的失效模式及失效率,并运用 SAE ARP 4761 所推荐的故障树方法估算出了单通道架构 VHF 通信电台的失效概率,估算结果说明单通道架构 VHF 通信电台不能满足飞机级 PSSA(Preliminary System Safety Assessment)分配的失效概率要求。最后,为了降低 VHF 通信电台的失效概率,提出了 VHF 通信电台的非相似多通道实现架构。分析表明,与单通道架构相比,非相似多通道实现架构的 VHF 通信电台具有更低的失效概率。

关键词:民用客机;VHF 通信电台;安全性评估;故障树;失效概率

中图分类号:V243.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)08-0994-07

Civil Airliner VHF Communication Radio Architecture Based on Safety Assessment

ZHENG Li, LIAO Zhen-lin

(CETC Avionics Co., Ltd, Chengdu 611731, China)

Abstract: The airworthiness certification for civil airliner VHF communication radio requires device-level safety assessment. This paper briefly outlines the airborne systems and equipment safety assessment guidelines, methods and process. Then it describes the failure modes for each module to compose a VHF communication radio and modular failure rate, and figures out the failure probability of single-channel architecture VHF communication radio with the fault tree method recommended by SAE ARP 4761. The estimation result indicates that it does not meet the fail probability requirements allocated by aircraft grade PSSA (Preliminary System Safety Assessment). Finally, the non-similar multi-channel architecture of VHF communication radio is proposed in order to reduce the failure probability of the radio. Analysis shows that VHF communication radio with this implementation architecture can achieve lower failure probability than ordinary single-channel implementation architecture VHF communication radio.

Key words: civil airliner; VHF communication radio; safety assessment; fault tree; fail probability

1 引言

在按飞行计划进行的起飞、爬升、巡航及降落的完整飞行过程中,民用客机的飞行员需要与机场、空域管理部门及航空公司之间保持畅通的话音和数据通信。飞机上承担这一功能的通信设备包括 VHF 电台、HF 电台及卫通端机。这些设备中,工作于

117.975 ~ 137 MHz 频段的 VHF 通信电台是民用飞机中使用最多的通信设备,这是由于 VHF 频段的电磁波具有优良的视距传输特性。

除满足通常的性能、接口、操作、维护等功能要求外,作为可修复产品的 VHF 通信电台还必须满足飞机对其提出的安全性要求,这也是适航审定的要求。在适航审定过程中,局方通过对该设备进行安

* 收稿日期:2013-02-07;修回日期:2013-07-05 Received date:2013-02-07;Revised date:2013-07-05

** 通讯作者:phoenixzht@126.com Corresponding author:phoenixzht@126.com

全性评估, 来判断其是否满足安全性要求^[1]。

对 VHF 通信电台的安全性要求主要有平均故障间隔时间(Mean Time Between Failure, MTBF)、故障率(Failure Rate, FR)、研制保证等级(Design Assurance Level, DAL)等^[2]。MTBF 是衡量可修复产品可靠性的主要指标, 也称为平均寿命, 或平均无故障工作时间。故障率 FR 是产品可靠性的一个基本参数, 也称为失效率 λ , 电子产品的故障率是平均寿命的倒数^[3], 即 $MTBF = 1/\lambda$ 。机载系统或设备的 DAL, 是按其所造成的最严重飞机级故障影响的等级来确定的。

目前, 国内民用客机事业处于起步阶段, 飞机总体单位在进行航电系统设计时, 倾向于选用已获得 FAA 或 EASA 装机许可的国外成熟航电设备^[4], 因此安全性评估工作主要集中于飞机级和航电系统级, 未涉及设备(LRU)级。由于商业利益的缘故, 国外各航电公司对设备级安全性评估和设计的实现, 均不愿提及并高度保密; 而国内的航电设备厂商在进行产品开发时, 仍然主要从满足功能需求出发进行设计, 缺少相应的设备级安全性评估和设计^[5], 这主要是因为该项工作在国内具有开创性, 没有现成模式可循。目前, 国内研制的民机 VHF 通信电台由于未通过 FAA 或 EASA 的适航审定, 未取得装机许可证, 因此不能安装于民用客机上。

为了实现民机 VHF 通信电台的国产化并通过适航审定, 需要进行设备级的安全性评估, 以指导设备的具体开发。本文的目的是对民机 VHF 通信电台架构进行初步的安全性评估, 以探索设备级安全性设计的工程实现。

2 机载通信系统和设备的安全性评估简介

2.1 安全性评估指南

在民用航空领域, 按照 SAE ARP 4754A-2010《民用飞机和系统开发指南》, 机载系统和设备的开发包含两个过程, 即开发过程和安全性评估过程, 这两个过程间存在大量的设计数据交互, 具体如图 1 所示^[6]。

图 1 的右半部分为通常的机载系统和设备开发过程, 主要包括飞机级需求的捕获、飞机级功能分解并分配给各系统和设备、各系统和设备的架构设计、各系统和设备的功能分解并分配给具体的硬件或软件模块以及各模块的实现。

图 1 的左半部分为机载系统和设备的安全性评估过程, 主要包括飞机级和系统级的功能危险性评

估(FHA)、初步系统安全性评估(PSSA)、系统安全性评估(SSA), 以及故障模式和影响分析(FMEA)、故障模式和影响总结(FMES)、共因分析(CCA)。这些评估过程可以是定量或定性的, 相互之间有内在逻辑联系^[7]。

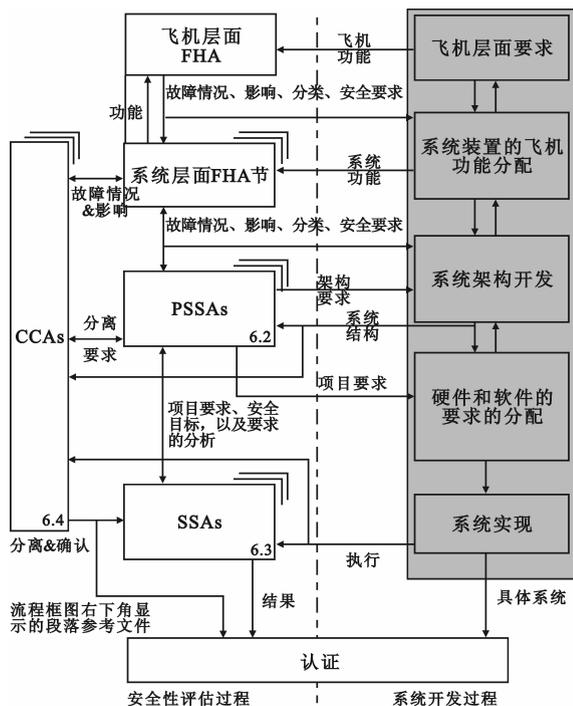


图 1 机载系统和设备开发过程

Fig. 1 Developing procedure for airborne systems and equipment

2.2 安全性评估方法

按照 SAE ARP 4761-1996《对民用机载系统和设备进行安全性评估过程的指导和方法》, 在机载系统和设备的安全性评估中, 有故障树分析(FTA)、相关图(DD)和马尔可夫分析(MA)3种分析方法, 其中 FTA 是最常用的。

在 FTA 中, 通过对可能造成飞机或系统故障的设备、硬件、软件、环境、人为因素等进行分析, 建立故障树, 从而确定故障原因的各种可能组合方式和发生概率, 并实现对不期望发生的事件进行自上到下的系统评估。

2.3 安全性评估过程

安全性评估过程包括安全性目标和要求的产生, 以及与飞机研制活动相配合的安全性验证工作。此过程要对飞机功能及其实现进行评价, 并判断相关的危险是否已得到恰当处理。

在 SAE ARP 4761 中, 既从顶层对安全性评估过程进行了展示, 又描述了安全性评估方法在这个过

程中所处的位置关系^[8]。

在飞机/系统的研制初期,即方案设计阶段,要进行一次飞机级 FHA,以查明与飞机功能及功能组合相关联的故障状态并对其进行分类。对这些故障状态的分类将形成相应的安全性目标。

在各系统的架构初步拟定后,即初步设计阶段,需要进行各系统的 PSSA (Preliminary System Safety Assessment)。PSSA 是一个与设计明确相关联的迭代过程,在系统研制的多个阶段都要进行包括系统、设备、硬件、软件等设计要素明确在内的 PSSA。PSSA 最低能确定硬件和软件的安全性相关设计要求。PSSA 通常以 FTA 的形式进行,共因分析也包括在其中。

在随后的详细设计及验证阶段,需要进行系统级的 SSA。通过 SSA 应当确认 FMES 列出的所有重要的故障影响都被作为主事件在 FTA 中加以考虑。可用的共因分析结论也必须包含在 SSA 中。

当 SSA 的结果与系统级和整机级的 FHA 核对通过时,整个安全性评估过程也就完成了。

3 VHF 通信电台架构的安全性评估

3.1 电台的基本架构

根据 VHF 通信电台的设备级需求,以及现有的工程实现经验,可初步确定 VHF 通信电台的基本架构为单通道形式,具体如图 2 所示。

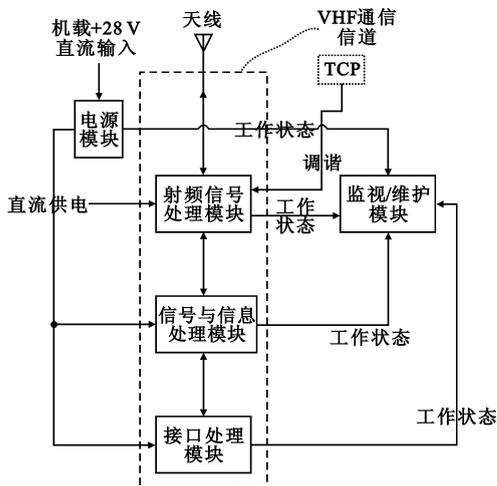


图 2 VHF 通信电台的基本架构

Fig.2 Basic architecture of VHF communication radio

图 2 中,虚线框内所示为一个典型的 VHF 通信信道(简称为通道),包括射频信号处理、信号与信息处理、接口处理模块。射频信号处理模块负责射频信号的发射和接收,并产生 VHF 电台所需的各种频

率信号,如收、发载频和本振,从组成上看,射频信号处理模块可分为频率综合器、发射机及接收机单元。接口处理模块接收 TCP(Tuning Control Panel)设置的频率值后,将其转换为频率综合器中 DDS(Direct Digital Synthesizer)所需的频率控制字,然后送给射频信号处理模块,完成电台工作频率的调谐;另外,接口处理模块还负责与电台北部的 ACP(Audio Control Panel)交换模拟或数字语音,与 CMU(Communication Management Unit)交换 VDL(VHF Digital Link) Mode A、2 或 3 格式的数据。信号与信息处理模块可简称为终端模块,负责中频或基带信号的调制、解调,及链路层协议处理,如 VDL 2 或 3 的 MAC 子层;从组成上看,终端模块可分为数据组包及调制单元、解调及数据解包单元,前者的功能是发送基带数据或话音调制的中频信号,而后者的功能是从接收的已调制中频信号中恢复出基带数据或话音。除上述模块外,VHF 通信电台中还包含电源和监视/维护模块:电源模块负责给电台供应 +28 V 直流电;监视/维护模块的监视部分,负责检查电台其他各模块的工作状态,并将这些状态参数和故障信息,通过电台的接口处理模块上报给飞机的 CMCS(Central Maintenance Computer System);而监视/维护模块的维护部分,负责电台的配置数据管理及正确加载等软件维护工作。

3.2 模块的失效模式及影响

在电台的失效模式分析中,某个故障对飞行安全有无直接影响,取决于它的单独发生是否会引起飞机级 FHA 中所指定的 A 级故障。如果该故障会引起相应的飞机级 A 级故障,那么它对飞行安全有直接影响;反之则没有。

根据飞机级的 FHA,机载通信系统和导航系统的同时失效,被定义为灾难性(Catastrophic)的故障,即 A 级故障;按照 ARP 4754A 的规定,该故障发生的概率应小于 1×10^{-9} 每飞行小时,研制保证水平应为 A 级。

3.2.1 电源模块的失效模式及影响

有正确的电源输入时,VHF 通信电台电源模块的失效模式有 3 种:第一种模式是输出断路,即无电源输出,这时 VHF 通道不工作,这种故障对其他航电设备无电流冲击,对飞行安全无直接影响;第二种模式是输出短路,这时 VHF 通道不工作,这种故障对由同一汇流条供电的其他航电设备有较大的电流冲击,甚至会损坏它们,对飞行安全有直接影响;第三种模式是输出介于断路和短路之间,即无有效的电源输出,这时 VHF 通道不能正常工作,这种故障对其他航电

设备无电流冲击,对飞行安全无直接影响。

3.2.2 VHF 通信电台通道的失效模式及影响

射频信号处理模块的失效模式主要有 3 种:第一种是发射机功放的自激保护,这时 VSWR(Voltage-Standing Wave Ratio)超标,严重时烧毁末级功放管,导致 VHF 电台通道的永久失效,单独发生时这种失效不会影响其他设备,对飞行安全无直接影响;第二种是接收机的 AGC(Automatic Gain Control)环路失锁,它会导致电台的灵敏度下降、作用距离缩短,或接收中频信号的动态范围大于信号与信息处理模块能够正确解调的范围,单独发生时这种失效不会影响其他设备,对飞行安全无直接影响;第三种是 DDS 失效,不能输出正确的载波频率,这使得 VHF 电台不能工作在 TCP 设定的频点上,单独发生时这种失效不会影响其他设备,对飞行安全无直接影响。

信号与信息处理模块的失效模式,主要是不能正确地调制或解调信号、数据不能正确地组包或解包,这种失效对飞行安全无直接影响。

接口模块的失效模式,主要是接口不能正确地收发调谐数据,这时电台可工作在接口模块失效前设置的频率或救生频率上,这种失效对飞行安全无直接影响。

3.2.3 监视/维护模块的失效模式及影响

如果监视/维护模块的监视部分发生故障,则意味着它不能实时地监测电台的某个或某几个模块的工作状态,这种失效对飞行安全无直接影响。

如果监视/维护模块的维护部分发生故障,则意味着它不能正确地进行数据加载,导致 VHF 通信电台不能正确地工作。由于数据加载通常在设备上电之初进行,该故障如果发生的话,在飞机起飞前的例行检查中会被查出,因此这种失效对飞行安全无直接影响。

3.3 单通道电台的故障树分析

3.3.1 模块的失效率

按照可靠性的基本理论,VHF 通信电台通道内各模块的失效率可根据各模块的失效模型和模块内各元件的失效率计算得出,也可根据对各模块大量的使用数据进行统计而得出。国产元器件的失效率按国军标 GJB/Z299 C-2006《电子设备可靠性预计手册》提供的数据和方法进行预计,质量等级的选取为 B1 级或 A3 级;进口元器件的失效率按美军标 MIL-HDBK-217F《电子设备的可靠性预计》提供的数据和方法进行预计,质量等级的选取为微电子器件不低于 B-1 级,分立半导体元器件不低于 JANTX 级(特军级),电阻器、电容器、射频线圈、继电器(有

可靠性指标的)的选取不低于 P 级,其他元器件应选军用级。

由于各模块的失效模型的复杂性,计算得出的各模块失效率往往与实际的统计数据有较大的差异。在实际的民机航电设备开发过程中,初步的安全性分析所需的各模块失效率,常使用相同或相似模块的统计失效率为初始参数。如果在后续的开发过程中,各模块的硬件设计发生了较大的变化,那么其失效率参数也会发生相应的变化,这时需要重新进行相关的安全性分析。因此,民机航电设备及其组成模块的硬件设计应保持继承性,这是安全性分析的要求,也是适航审定的要求。

以国内某公司的单通道 VHF 通信电台为例,其各模块的失效率如表 1 所示,表中失效率的单位是 10^{-6} /飞行小时。

表 1 单通道 VHF 通信电台的模块失效率
Table 1 Module failure rate of single channel VHF communication radio

模块名称	统计失效率/(10^{-6} /飞行小时)
射频信号处理模块	124.570 0
信号与信息处理模块	26.530 0
接口处理模块	9.210 0
电源模块	37.240 0
VHF 天线	0.231 5

用这些模块可以组成一个具有确定失效率的 VHF 通道,进而组成一部单通道的 VHF 通信电台。

3.3.2 通道的失效率

在图 2 所示的 VHF 通道中,任何一个模块发生故障,通道均不能正确地工作。从失效的观点出发,可将其看成串联模式。VHF 通道的失效率为

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (1)$$

式中, λ_s 为 VHF 通道的失效率, λ_i 为 VHF 通道内第 i 个模块的失效率, n 为 VHF 通道的内部模块数。

采用表 1 中的模块失效率,按式(1)可计算得出 VHF 通道的失效率为 1.6×10^{-4} 。

3.3.3 单通道电台的失效率分析

(1)电台的故障树模型

下面以飞机完整飞行过程中的 VHF 话音通信为例,介绍 VHF 电台故障树模型的建立及分析过程。需要注意的是,故障树分析中使用并逐级分解的安全性指标是每次飞行时的“失效概率”(P),而不是“失效率”, $P = \lambda T$, T 为飞机每次的飞行时间。

在飞机级 FHA 中,与通信系统有关的 A 级故障是通信、导航系统的同时失效。在飞机级 PSSA 中,

可分配该故障的发生概率,然后将其逐级往下分解,直到各系统级 PSSA 为止。对于每种设备,可能发生的各种故障以及该故障被分配的发生概率,是在相应的系统级 PSSA 中分析并完成的。

在通信系统级 FHA 中,描述了通信系统的各种失效状态。在通信系统级 PSSA 中,在继承飞机级 PSSA 分配的失效概率基础上,对其进行了分解,然后将失效故障的发生概率分配给各通信子系统。

在本分析中,使用表 1 中所示的电台模块失效率,另外假定飞行时间 $T = 5 \text{ h}$,通信系统级 PSSA 分配给“VHF 通信子系统失效”故障的发生概率为 1.8×10^{-7} ,对应于 VHF 通信子系统的失效率为 3.6×10^{-8} ,这就是分配给 VHF 通信子系统的安全性指标。另外,考虑到图 2 所示的电台基本架构,可绘制电台的故障树模型如图 3 所示。

在故障树中,一个电源模块和一个 VHF 通道组成了一部单通道的 VHF 通信电台,两者之中任何一个的失效都将导致电台整机的失效。一个接口模块和一个射频模块、一个终端模块组成了一个 VHF 通道,三者之中任何一个的失效都将导致 VHF 通道的失效。一个频综单元和一个射频收发单元组成了一个射频模块,两者之中任何一个的失效都将导致射频模块的失效。一个射频发射单元和一个射频接收单元组成了一个射频收发单元,两者之中任何一个的失效只会导致电台的发射或接收功能失效,两者的同时失效才会导致射频收发单元的失效。一个组包及调制单元和一个解调及解包单元组成了一个终端模块,两者之中任何一个的失效只会导致电台的发射或接收功能失效,两者的同时失效才会导致终端模块的失效。

(2)电台的失效率

如果在该型飞机中仅使用一部单通道的 VHF 电台来完成 VHF 通信子系统的功能,那么对此 VHF 电台的失效率要求就是 3.6×10^{-8} ,换算成 MTBF 为 $2.778 \times 10^7 \text{ h}$ 。

对于单通道架构的 VHF 通信电台,其失效率为单个 VHF 通道的失效率与电源模块的失效率之和,即为 1.98×10^{-4} ,对应的 MTBF 为 5 056 h。该项指标远远小于通信系统级 PSSA 要求的 VHF 通信电台的 MTBF 值,因此仅使用一部单通道架构的 VHF 通信电台不能满足民用客机的安全性要求。

由于目前国内的器件、印制板制造及装配工艺水平所限,通过极大地降低 VHF 通信电台各组成模块的失效率,从而降低 VHF 通道的失效率,在工程上是不可行的;而通过改进 VHF 通信电台的架构来满足被分配的安全性指标,是民用航空业界的通常做法。

3.4 改进架构

在民用客机的系统或设备架构设计中,常使用功能分割、冗余和备份的设计方法,以满足对机载系统或设备较高的失效率要求。其中,冗余是指系统或设备同时提供同一基本功能的多个实现。这些实现的完成,可以采用多个独立的设备,也可以在同一设备中采用多个独立的部件。在实际工程中,如果多个实现之间的相互独立性难以保证,那么至少要保证它们之间的非相似性。

在现有技术条件下,为了降低 VHF 通信子系统的失效概率,可以考虑采用冗余设计方法,即要么增加电台的数量,要么在一部电台中增加若干个独立

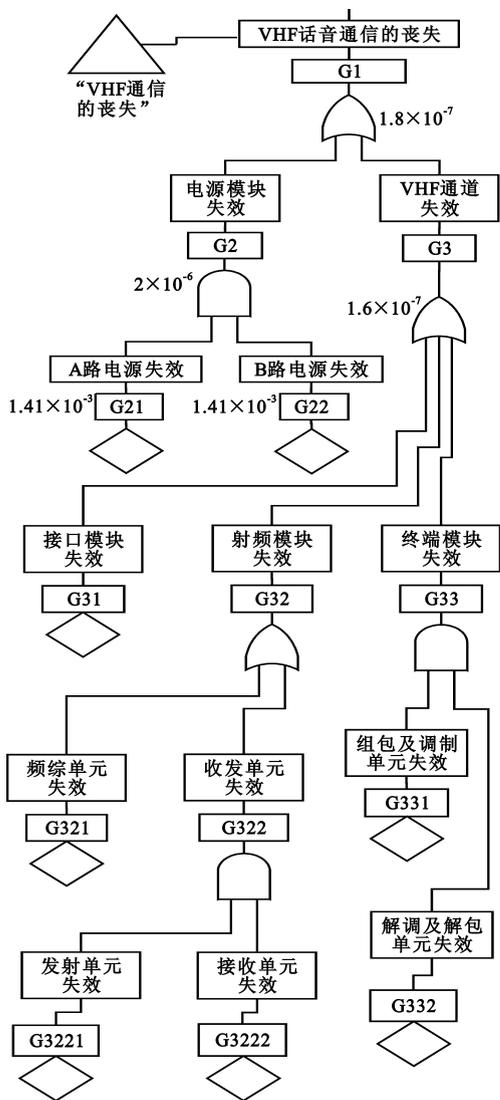


图 3 VHF 通信电台的故障树

Fig.3 Fault tree for VHF communication radio

工作的 VHF 通道。前一种方法需要增加 VHF 通信电台在飞机上的安装空间和重量, 而后一种方法不会。在这两种方法中, 由于电源模块的短路故障对飞行安全有直接影响, 故也需要进行冗余设计。经改进后的 VHF 通信电台架构为非相似多通道形式, 具体如图 4 所示。

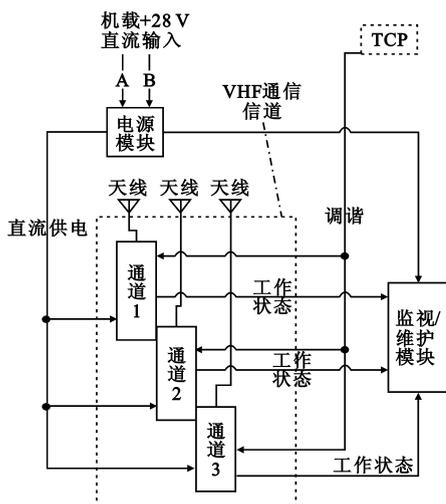


图 4 VHF 通信电台的改进架构

Fig.4 Amendatory architecture of VHF communication radio

下面详述该架构的确定过程。

首先, 需要确定电源模块中同时供电的电源数量。将 VHF 通信子系统的失效概率 1.8×10^{-7} 在电源模块、VHF 通道之间进行初次分配, 分别为 2×10^{-8} 、 1.6×10^{-7} 。考虑到现有技术条件下单路电源的失效概率为 1.862×10^{-4} ($= 37.24 \times 10^{-6} \times 5$), 如果电源模块配置有相互独立的 A、B 两路 +28 V 直流输入, 电源模块的失效概率可降低为 3.467×10^{-8} ($1.862 \times 10^{-4} \times 1.862 \times 10^{-4}$), 但仍大于初次分配的失效概率 2×10^{-8} 。将分配给电源模块的失效概率调整至 4×10^{-8} , 相应地分配给 VHF 通道的失效概率提高至 1.4×10^{-7} ; 此时电源模块的失效概率 3.467×10^{-8} 小于分配的 4×10^{-8} , 满足安全性要求。因此, 在 VHF 通信电台的改进架构中, 至少需要两路相互独立的 +28 V 直流供电。电源的相互独立性, 是靠其来自于飞机供电系统的不同汇流条来保证的。

然后, 需要确定 VHF 的通道数。如前所述, 每个通道的失效率为 1.6×10^{-4} , 对应的失效概率为 8×10^{-4} 。假如所设计的 VHF 通信电台有两个相互独立工作的通道, 那么该组合通道的失效概率为 6.4×10^{-7} , 大于通信系统级 PSSA 所分配的通道失

效概率要求 (1.4×10^{-7}), 不满足安全性要求。假如所设计的 VHF 通信电台有 3 个相互独立工作的通道, 那么该组合通道的失效率为 5.12×10^{-10} , 小于通信系统级 PSSA 所分配的通道失效概率要求 (1.4×10^{-7}), 满足安全性要求。通道间的独立性, 可通过不同安装位置的天线、非相似的射频及终端处理方案来实现。

最后, 需要根据飞机总体对 VHF 通信子系统提出的可用性要求, 确定 VHF 通信电台的改进架构。如果在飞机中仅有一部 VHF 通信电台, 那么在它由于种种原因被损坏后, 飞机将丧失全部的 VHF 通信功能, 故在飞机中至少需要两部 VHF 通信电台。上面已提及, 如果 VHF 通信电台采用双电源输入、非相似双通道的架构, 一部电台不能满足飞机安全性要求; 假如使用两部这样的电台, 可将 VHF 通信子系统的失效概率降至 4.52×10^{-13} ($(6.4 \times 10^{-7} + 3.467 \times 10^{-8})^2$), 远远小于通信系统级 PSSA 所分配的 VHF 话音通信失效概率 (1.8×10^{-7}), 满足安全性要求。因此, 如果 VHF 通信子系统配备两部相互独立的 VHF 通信电台, 那么电台的改进架构可采用双电源输入、非相似双通道的形式。

需要注意的是, 上述的冗余设计会增加设备的复杂度和耗电量, 增大设备的硬、软件成本和生产、调试的工作量。

4 结 论

综上所述, 在国内目前的技术水平下, 要满足民用客机通信系统级 PSSA 所分配的 VHF 通信子系统失效概率要求, 有 3 种解决办法: 一是使用 3 部非相似的单通道架构电台; 二是使用一部具有双电源输入、非相似三通道架构的电台; 三是使用两部相互独立的 VHF 通信电台, 每部电台至少要有两路相互独立的 +28 V 直流输入、两个非相似的通道。具体选用何种方案, 需要在飞机总体布局明确的前提下, 在安全性要求和实现成本间进行合理的折衷。

参考文献:

- [1] CCAR-21-R2, 民用航空产品和零部件合格审定规定[S]. CCAR-21-R2, Civil aviation products and parts certification procedures[S]. (in Chinese)
- [2] 宗蜀宁, 端木京顺, 王青, 等. 飞机整机级系统安全性指标分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2012, 13(1): 125-130.
ZONG Shu-ning, DUANMU Jing-shun, WANG Qing, et al. System Safety Index Analysis in Aircraft Level[J]. Journal of

Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2012, 13(1):125-130. (in Chinese)

- [3] 曾声奎. 可靠性设计与分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
ZENG Sheng-kui. Reliability Design and Analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011. (in Chinese)
- [4] 李京生, 李军生. 大型客机机载系统技术发展趋势[J]. 航空制造技术, 2008(16):42-45.
LI Jing-sheng, LI Jun-sheng. Development Trend of Airborne Equipment Technology for Large Commercial Aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(16):42-45. (in Chinese)
- [5] 钟希田. 中国民机机载设备发展面临的问题和一般航成仪所采取的措施[J]. 航空制造技术, 2008(9):57-62.
ZHONG Xi-tian. Challenge for Development of Airborne Equipment on Chinese Civil Aircraft and Measures Taken by CAIC of AVIC[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(9):57-62. (in Chinese)
- [6] SAE ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems[S].
- [7] 陆中, 孙有朝, 周伽. 民用飞机适航符合性验证方法与程序研究[J]. 航空标准化与质量, 2007(4):6-8.

LU Zhong, SUN You-chao, ZHOU Jia. Airworthiness Compliance Approach Procedure for Civil Aircraft[J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2007(4):6-8. (in Chinese)

- [8] SAE ARP4761, Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment[S].

作者简介:



郑力(1971—),男,四川人,硕士,工程师,主要从事通信、识别信号处理及总体技术的研究;

ZHENG Li was born in Sichuan Province, in 1971. He is now an engineer with the M. S. degree. His research concerns communication and identification signal processing, system integration.

Email: phoenixzht@126.com

廖祯林(1985—),男,云南人,硕士,工程师,主要从事通信总体技术的研究。

LIAO Zhen-lin was born in Yunnan Province, in 1985. He is now an engineer with the M. S. degree. His research concerns communication system integration.

Email:56020803@qq.com