民用飞机安全性丛书

民用飞机安全性设计与验证技术

SAFETY DESIGN AND VERIFICATION IN CIVIL AIRCRAFT

郭博智　王敏芹　阮宏泽　主编

航空工业出版社

民用飞机安全性丛书

民用飞机安全性设计与验证技术

郭博智　王敏芹　阮宏泽　主编

航空工业出版社

北京

内 容 提 要

本书从工程应用的角度出发，较为全面地总结了民用飞机（民机）安全性设计与验证的概念、背景、现状、发展趋势及各种民机安全性设计与验证方法，描述了民机安全性设计与验证工作体系。本书立足最新的 ARP 4754A 的设计理念，结合 ARP 4761 的具体方法，引入了国内民机型号研制的最新研究成果，既是国内外相关资料的一次梳理，又是作者自身在民机研制工程实践中的探索经历和经验的一次总结。

本书可供民机系统安全性、可靠性相关专业的本科生和研究生使用，也可供从事安全性、可靠性工作的科研人员、工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

民用飞机安全性设计与验证技术／郭博智，王敏芹，阮宏泽主编. --北京：航空工业出版社，2015.8
（民用飞机安全性丛书）
ISBN 978-7-5165-0827-5

Ⅰ. ①民… Ⅱ. ①郭… ②王… ③阮… Ⅲ. ①民用飞机—飞行安全—安全设计 Ⅳ. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 172630 号

民用飞机安全性设计与验证技术
Minyong Feiji Anquanxing Sheji yu Yanzheng Jishu

航空工业出版社出版发行
（北京市朝阳区北苑 2 号院 100012）
发行部电话：010-84936597 010-84936343
三河市华骏印务包装有限公司印刷 全国各地新华书店经售
2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
开本：787×1092 1/16 印张：18.5 字数：489 千字
印数：1—1500 定价：56.00 元

民用飞机安全性丛书
编 委 会

总序一

从曾经7次飞抵拉萨的运10飞机到如今已经成功取证的ARJ21新支线飞机，从短暂的中美合作设计生产的MD-82、MD-90干线飞机，到具有完全自主知识产权的C919大型客机，从艰难创业的“708工程设计组”到宏图待展的中国商飞上海飞机设计研究院，我们历经多少坎坷、迷惘，但翱翔蓝天的信仰从未改变。

众所周知，民机安全是民机事业的生命线。安全性设计是飞机设计中一个重要的环节。安全性工作对于飞机设计阶段，特别是飞机交付后的全生命周期具有重要意义。安全性设计部门需要牵头负责很多涉及全机的综合性的工作，一方面要求我们建立完善的安全性设计理论体系，另一方面需要建立完善的管理程序来指导具体型号技术工作的推进。

提高设计研发能力是增强中国商飞公司核心竞争力的关键要素之一，也是确保大型客机和新支线飞机研制成功和商业成功的重要保证。在安全性工作的建设中，一定要明确工作的意义和目标，多学习当今最先进的安全性设计理念，多借鉴国际一流主制造商及供应商的先进经验。对国外先进技术进行学习和研究，形成自己的成果，把成果转换成顶层规范，最终服务于型号研制。

参与本书编写工作的安全性设计人员工作在民用飞机型号安全性设计的第一线。在大型客机型号研制中，他们立足于ARP 4754A最先进的设计理念，在民机飞机级、系统级的安全性设计中，做了许多开创性的工作。他们在型号适航条款的关闭中，也积累了重要的安全性设计与验证经验。

本套丛书编写完善，汇总成册，既是对过去安全性设计知识的一种梳理，也是对现有型号设计经验的一次总结。本套丛书系统总结并提出了民机系统安全性设计与验证技术的流程和方法，将知识与经验沉淀下来，对民机设计、试验和试飞实践具有重要的指导意义。在国家推动大飞机战略的背景下，本套丛书的出版对于我国民机设计研发具有重要的参考价值，将为飞机设计技术人员的培养打下良好的基础，同时，也为大飞机的研制提供有力的技术保障。

中国商飞公司总经理助理
上海飞机设计研究院院长

总序二

以波音 787 为代表的现代民机真正实现了不间断跨洋和跨洲飞行，人们从此可以乘坐飞机到达地球上的任何地方。从 20 世纪 50 年代开始的喷气飞机时代，经过几十年以高资本投入、高技术密集和高精英人才聚集为典型特征的发展，民用飞机更快、更高和更远的设计理念得以延续，安全性、经济性、舒适性和环保性的设计目标取得新的突破，民用飞机已成为人类最安全和最快捷的交通运输工具。

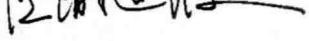
对于民用飞机而言，确定安全性、经济性、舒适性和环保性（“四性”）的设计要求和设计目标涉及国家、社会、公众以及运营和制造者等多个利益相关者，并且由于巨大的利益（即使是单架飞机）和社会影响，无论设计、制造还是运行，安全成为民用飞机最复杂和最敏感的首要关注要素，甚至上升到国家和国际机构层面，以法律法规或国际公约等要求对民用飞机的安全进行严格和严厉的管理。尽管系统、设备或部件的可靠性等指标是构成安全性指标的基础，但是与军用飞机的设计要求和目标不同，民用飞机的“四性”指标是可以独立定义的，其中安全性目标必须要高于适航标准所确定的安全水平。在军用飞机设计中常见的可靠性、测试性以及维修性等指标，在民用飞机里归属并约束于经济性指标。

以 C919 飞机为代表的民机开发带来了中国民机产业发展的新纪元。国产大飞机是按中国及欧美适航标准要求设计和验证的民机，开发过程符合国际惯例及相关国际技术标准。我国民机发展经验表明，我国的民机设计采用的是从一般安全性设计到适航性设计，再从适航性设计到安全性设计的路径。所谓“一般安全性设计”，是指安全性指标采用相关标准的组合或裁剪，各个型号指标不尽相同，安全指标的确定和验证方法由制造商、用户和行业指定专家制定；所谓“适航性设计”，是指追求达到和满足适航标准，忽视安全设计的完备性；所谓“安全性设计”，则指以适航标准为最低标准，设计理念追求安全完备性，在开发投入和产品运行经济可行的前提下，尽最大可能提升飞机的安全水平。造成上述现象的原因是，在过去很长的一段时间内，我国民机发展投入低、技术薄弱、经验积累少，同时适航标准及适航要求门槛高。

好的安全性设计需要好的设计方法和好的工程技术。失效—安全的设计是主流的安全设计方法，丰富的系统架构技术保证了失效—安全的安全目标；而安全性验证尤其是表明对安全目标的符合性，最重要的是有足够的设计验证数据和运营数据。从这个角度讲，数据就是适航，数据就是安全。中国商飞上海飞机设计研究院编写的这套“民用飞机安全性丛书”，从民用飞机安全性设计方法和验证过程中采用的安全性评估技术或方法、特定风险评估以及典型运行事故、事故征候案例总结与分析等方面，诠释了民用飞机的安全性设计和验证以及适航符合性问题。他们将 C919 等型号研制和产品开发过程中有关安全性设计和验证的具体方法、开发实例以及相关的经验和积累的数据以较为系统、全面的方式呈现给读者。

这样的丛书编写在国内尚属首次，将对国内航空领域的其他项目及业界工程师产生巨大的影响。

上海适航审定中心副主任
C919局方适航审查组组长



民用飞机安全性设计与验证技术
编 委 会

本书序

安全性、经济性、舒适性和环保性是当今商用飞机研制及运营所不断追求的目标。在激烈的市场竞争中，民机的安全性是最受业界、航空公司和公众关注的重要指标，是“四性”中的重中之重。民机安全性设计、分析、评估与验证技术是民机研制过程中的重点和难点，能否设计出高安全性的民机，直接关系到民机项目能否实现研发成功、商业成功和市场成功。

全球领先的航空企业如波音、空客等，都建立了完备的民机系统安全性设计、评估、确认与验证体系和流程，用以确保研制民机的固有安全性能，提高研制民机的市场竞争力。作为国内民机安全性事业的开拓者，我们需要建立一套行之有效的安全性设计流程规范及管理方法，使得在型号研制中汲取的经验和教训能够有所传承，也有益于缩短后续型号研制从论证到取证投入市场运营的时间，增强核心竞争力。

参与本书编写工作的安全性设计人员，工作在民用飞机型号安全性设计的第一线。在大型客机型号研制中，他们立足 ARP 4754A 最先进的设计理念，在民机飞机级、系统级的安全性设计中，做了许多开创性的工作。他们在型号适航条款的关闭中，也积累了重要的安全性设计与验证经验。

本书编写完善，汇总成册，既是对过去安全性设计知识的一种梳理，也是对现有型号设计经验的一次总结。本书系统总结并提出了民机系统安全性设计与验证技术的流程和方法，对民机设计、试验和试飞实践具有重要的指导意义。

在国家推动大飞机战略的背景下，本书的出版对我国民机设计研发具有重要的参考价值，将为飞机设计技术人员的培养打下良好的基础，同时，也为大飞机的研制提供有力的技术保障。

中国商飞公司总经理助理
上海飞机设计研究院院长

前　言

我国民用飞机设计研制工作起步于20世纪60年代，起步较晚。近几年，在国家大型客机发展战略的部署下，作为民机研制工作重中之重的安全性设计与验证工作，得到了很大的发展。然而，在民机安全性设计与验证方面，仍然缺乏对设计工作进行系统阐述的技术指导资料。本书立足于适航条款的安全性需求，从工程应用的角度出发，深入研究和总结了民机安全性设计与验证的概念、背景、现状、发展趋势及各种民机安全性设计与验证方法，使读者对民机安全性设计与验证工作有一个全面的认识。

本书的作者均为奋战在民机研制一线的工程技术人员及专家，在型号研制中积累了宝贵的经验。本书的编写，一方面参考了国内外相关资料；另一方面融入了作者自身在民机研制工程实践中的探索经历和经验总结。在书中，作者始终把握理念的先进性，力求基础的翔实性，注重工程的实用性。

本书的理念以ARP 4754A《民用飞机与系统研制指南》为基础。ARP 4754A发布于2010年年底，是最新版本的符合性认证工作指南。先进的飞机和系统研制方法、流程带来了全新的安全性设计格局。以理念为支撑，在内容编排上，本书系统阐述了适航条款的安全性需求，详细介绍了飞机和系统的安全性设计和评估的流程和方法，以期建立坚实的理论基础。同时，本书给出了许多工程实践的案例，旨在为从事相关专业的工程技术人员提供参考，使本书成为一本实用性较强的参考书。

本书编写分工安排如下：王敏芹、阮宏泽、陆鹏（第1章）；郭博智、冯臻、梁磊、陈松（第2章）；吴丽娜、包敦永（第3章）；刘艳、王京娅（第4章）；池巧君、郑珂珂（第5章）；王敏芹、郑友石（第6章）；黎先平、冯臻（第7章）；刘艳、吕军、余欣、梁磊、陈松、刘会星、陆鹏（第8章）；唐西平、尤琦（第9章）；池巧君、陆鹏（第10章）；徐晶、梁磊（第11章）；郑珂珂、张国防、陆鹏、吕军（第12章）；张国防、阮宏泽（第13章）；郭博智、冯臻、阮宏泽（第14章）；由王敏芹和阮宏泽统稿。参与文字处理和排版工作的人员有阮宏泽、刘会星、宋杨。全书由郭博智主编、黎先平副主编和欧阳旭坡、陈迎春等审委共同审定。

本书可供高校相关专业使用，还可供该方面研究的工程技术人员参考。由于作者水平有限，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

目　录