

飞机可靠性、安全性和生存性

〔俄〕Л. Л. 安采利奥维奇 著

唐必铭 盛永才 韩翠英 译

宇航出版社

31738003

V215
14

飞机可靠性、安全性和生存性

〔俄〕Л. Л. 安采利奥维奇 著
唐必铭 盛永才 韩翠英 译

01261/16



宇航出版社



C0154628

(京)新登字 181 号

内 容 简 介

本书是前苏联高等航空院校飞机设计专业的专用教科书。主要内容包括:飞机可靠性、安全性和生存性的基本概念与指标;可靠性理论基础和飞机可靠性评估准则;飞机系统故障统计数据分析和处理;结构部件发生故障的种种原因;设计阶段飞机系统和飞机无故障性的计算评估方法与提高可靠性方面的实验工作;飞机生产、使用与维修过程中的可靠性保证以及飞机的耐久性和贮存性等等。

该书在飞机可靠性工程研究方面带有鲜明的苏联学派特色,对那些想了解借鉴苏联的经验为我所用的中国同行是有参考价值的。它也可供从事飞机设计、生产、使用 and 维修方面的工程和技术人员、大专院校的研究生和大学生参考使用。

НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ

И ЖИВУЩЕСТЬ САМОЛЁТА

Леонид Липманович Анцелович

Издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ» МОСКВА 1985

飞机可靠性、安全性和生存性

〔俄〕Л. Л. 安采利奥维奇 著

唐必铭 盛永才 韩翠英 译

责任编辑:许万宏

*

宇航出版社出版发行

北京和平里滨河路 1 号(100013)

发行部地址:北京阜成路 8 号(100830)

各地新华书店经销

航空航天部三〇一所印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:12 字数:305 千字

1993 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1—3000 册

ISBN 7-80034-676-5/V·163 定价:16.50 元

出 版 说 明

《飞机可靠性、安全性和生存性》一书是由原苏联可靠性专家安采利奥维奇 Л. Л. 教授编著的一本关于可靠性、安全性和生存性设计分析的重要参考书,可供广大飞机设计人员参照使用,也可用作航空大专院校有关课题的教学参考书。

1990年,航空航天部三〇一研究所邀请本书作者来华讲学,在讲学期间,对本书的中文翻译问题进行了讨论,作者授权我所出版该书的中文版,并为本书撰写了中文版序言。

航空航天部三〇一所在接到授权后即组织了唐必铭、盛永才和韩翠英等同志对全书进行了翻译,并由三〇一所可靠性室负责技术校对并负责本书的出版经费的筹划工作。

航空航天部 301 所

1993 年

译 者 的 话

《飞机可靠性、安全性和生存性》是莫斯科航空学院Л.Л.安采利奥维奇教授为高等院校所著关于可靠性方面的教科书。安采利奥维奇教授是乌克兰科学院院士包里斯·弗拉基米尔耶维奇·格涅坚科学派的门生。他的主要工作方向是飞机可靠性设计。他曾在原苏联航空部实验设计局工作15年,1970年被提升为莫斯科航空学院飞机结构与设计教研室副教授,1987年晋升为该教研室教授。在可靠性研究方面,安采利奥维奇教授发表了80余篇论文。他目前主持莫斯科航空学院的直升机制造系飞机可靠性专业科技研讨班。

安采利奥维奇教授接受航空航天部第三〇一研究所的邀请,于1990年10月来华第一次作《飞机可靠性、安全性和生存性》的讲学。在此期间,当获悉我们要将该教科书译成中文版时,他欣喜地为该书的中文版作了序言,并以书面形式委托唐必铭同志全权处理原著中的不妥之处。

本书详细而系统地介绍了可靠性、安全性和生存性等方面的理论知识,给出了评估有关这些特性值的方法和检验方法,提出了生产中保证这些特性指标值的措施、使用中保持这些特性指标值的措施、以及提高这些特性指标值可行的具体技术措施。书中还列出了国外飞机和发动机许多型号特性指标的统计数据。这些措施和数据对我国从事飞机可靠性、安全性和生存性设计的工程技术人员来说,无论是内容还是技术观点都具有较高的参考价值。本书不仅对我国航空院校师生是一本好的教学参考书,而且对航空工程技术人员也是一本好的技术参考书。

由于原苏联在可靠性等方面所用的术语及其定义与我国和美国现用的术语及其定义有一定的差异,在翻译该书时,没有将这些差异作一致化的处理,保持了原文的术语及其定义。请读者在阅读

本书时,按书中所用的术语及其定义去理解所述内容。

阅读本书时,尤其应引起我们注意的是可靠性、无故障性、维修性、维修工艺性等术语。原苏联将可靠性、安全性和生存性作为飞机的三个使用技术特性,而可靠性又是作为无故障性、维修性、耐久性和贮存性的综合特性;无故障性表示飞机在完成飞行任务期间能连续保持工作状态的一种特性;维修性是维修工艺性中的一个特性;维修工艺性是飞机便于进行各种形式的技术维护和修理工作(包括加油、充填、装卸等)的一种特性,这类修理工作是同故障和损坏没有关系的一些使用保证工作。由此可见,可靠性、维修性所涉及的内容及它们之间的关系,显然与我们现在所用的术语含义有着较大的差别。不注意这些差别,在阅读本书时就会产生某些误解,或产生许多疑问。

本书在翻译过程中,曾得到许多可靠性专家的关心、支持和帮助,译者对此表示衷心的感谢。

由于译者业务水平有限,译文难免有不妥之处。另外在翻译过程中,对原文的许多刊误,尽管译者与有关可靠性专家进行研究后作了更改,但可能仍有遗漏。我们衷心感谢读者给予批评指正。

本书的中文版序言、引言和绪论以及第一至第六章与中俄名词对照由唐必铭译,第七至第十章由盛永才译,第十一至第十四章由韩翠英译。在内容上仅删去了供学生进行毕业设计时的简短附录。

主 要 符 号

- τ ——完成飞行任务的时间；
 t ——无故障工作时间, 寿命；
 T ——平均失效或故障间隔飞行时间, 使用期；
 $T_{\text{н}}$ ——平均修复时间；
 ω ——失效流或故障流参数；
 $\lambda(t)$ ——失效率；
 $\mu(t)$ ——修复率；
 $P(\tau), P(t)$ ——在时间 τ, t 期间的无故障工作概率；
 $P_{\text{ЖИБ}}$ ——生存性保持概率；
 $Q(\tau)$ ——在时间 τ 期间的失效概率；
 $K_{\text{Г}}$ ——战备完好系数；
 C ——成本；
 m_{κ} ——随机量 κ 的数学期望；
 σ_{κ} ——随机量 κ 的均方差
 σ ——应力
 $F(t)$ ——失效前无故障工作时间分布函数；
 $f(t)$ ——随机量 t 的分布密度函数；
 N ——维修次数, 产品数量, 周期数；
 η ——耐久性安全系数；
 γ ——置信度。

中 文 版 序 言

本教科书中阐明的各项基本原则与方法,今天仍具有现实意义。

在设计、制造和使用过程中,如何解决飞机及其系统高度安全性、无故障性、维修工艺性、生产检测性、耐久性和生存性等具体问题,作者提出了一系列建议。认真阅读本书,有助于学生和青年工程师利用这些建议。

读者应特别注意飞机系统失效安全性的评估方法。飞机装有保证完成其重要功能、决定着它完成飞行任务安全性和正常性的各种系统。失效安全性的评估方法,是以这些系统零部件故障综合概率的评估为基础。在对所设计的飞机的安全性进行评估时,上述各系统中某些系统的故障可能被设计师“遗忘”,这些方法可以弄清它们对系统的重要影响;还可以对那些系统零部件的余度,找到一个合理的余度数。

由于在飞机使用期内,年度飞行时间、机动性、劳动力消耗以及使用成本,都是由飞机结构维修工艺性决定的,因此,近年来维修工艺性问题表现出具有更加重要的意义。

考虑到飞机结构部件的无故障性和各项潜在工作的效益,应从维修工艺性观点出发制订飞机各种新的布局方案,按计划、有依据地制订各项维护和修理计划。这样,才能保证减少飞机起飞准备时间,才能降低因构件故障造成的飞机失常概率。

作者希望本书能为中国航空工业培养高水平专家作点贡献,为苏中两国人民之间建立牢固的友谊添砖加瓦。

本书的译者唐必铭、盛永才、韩翠英,为了把作者的思想更准确地介绍给中国广大读者付出了辛勤的劳动,中国航空综合技术研究所杨先振为本书中文版的出版也做了大量的工作,作者对此谨致谢意。

安采利奥维奇 Л. Л.

1990. 11. 3 于北京

目 录

中文版序言	(XI)
引言	(1)
绪论	(3)
第一章 飞机可靠性、安全性的基本概念与指标	(9)
1.1 定义、术语	(9)
1.2 飞机可靠性、安全性和生存性的定量指标	(12)
1.3 飞机的效能、可靠性和生存性的相互关系	(16)
1.4 以经济观点看可靠性的提高问题	(19)
1.5 飞机可靠性的意义	(21)
1.6 小结	(24)
测验题	(24)
第二章 可靠性的理论原理	(26)
2.1 技术设备可靠性文献简述	(26)
2.2 作为随机事件的故障概念	(27)
2.3 失效与故障的类型	(28)
2.4 离散型随机变量及其分布概率	(30)
2.5 离散型随机变量的数值特性	(34)
2.6 连续随机变量及其分布函数	(37)
2.7 无故障性指标的主要性质	(44)
2.8 小结	(51)
测验题	(52)
第三章 飞机可靠性评估准则	(53)
3.1 飞机的使用特性和对飞机系统可靠性评估准则的分析	(53)
3.2 执行飞行任务期间飞机的无效障性	(54)
3.3 不具备修复条件时的机群可靠性	(61)

3.4	具备修复条件时的机群可靠性·····	(65)
3.5	小结·····	(68)
	测验题·····	(69)
第四章	飞机系统失效与故障统计数据的处理和分析 ·····	(70)
4.1	航空技术装备失效与故障的登记系统·····	(70)
4.2	飞机主要系统的失效系数和失效流参数在逐年使用中的变化 ·····	(73)
4.3	失效和故障数量按飞机飞行时间的分布·····	(76)
4.4	现代飞机无故障性指标的实际值·····	(91)
4.5	飞机无故障性的规定值·····	(93)
4.6	小结·····	(96)
	测验题·····	(97)
第五章	飞机结构部件失效与故障的各种原因(失效物理) ·····	(98)
5.1	现代飞机结构变化的主要倾向及其对飞机无故障性的影响 ·····	(98)
5.2	故障登记卡的分析 ·····	(102)
5.3	飞机各系统的故障与失效的典型原因 ·····	(103)
5.4	提高飞机系统可靠性的设计措施 ·····	(106)
5.5	小结 ·····	(111)
	测验题 ·····	(111)
第六章	设计阶段系统和整机无故障性的计算评估方法 ·····	(112)
6.1	可靠性框图法 ·····	(112)
6.2	概率论中的某些概念和定理 ·····	(113)
6.3	串联工作部件和并联工作部件 ·····	(115)
6.4	备用替换法 ·····	(120)
6.5	逻辑框图法 ·····	(123)
6.6	飞机系统无故障性系数评估法 ·····	(129)

6.7	具有功能余度的复杂系统的无故障性评估	(132)
6.8	草图设计阶段飞机整机的无故障性评估算法	(138)
6.9	无故障性指标计算值的精度评估	(141)
6.10	小结	(144)
	测验题	(145)
第七章	飞机的耐久性和贮存性	(146)
7.1	飞机耐久性、贮存性和可靠性的相互关系	(146)
7.2	飞机机体零部件疲劳耐久性的评估方法	(149)
7.3	保证飞机具有给定耐久性和贮存性的设计措施	(157)
7.4	破损安全结构	(172)
7.5	首翻期寿命和首翻期	(179)
7.6	总寿命和总使用期限	(181)
7.7	保证期寿命	(184)
7.8	飞机的贮存性	(185)
7.9	现代飞机耐久性指标的实际值	(186)
7.10	飞机最佳总寿命的评估	(190)
7.11	小结	(193)
	测验题	(194)
第八章	飞机设计阶段提高可靠性的实验工作	(196)
8.1	实验工作的意义	(196)
8.2	实验工作的组织	(198)
8.3	新材料样件的试验	(202)
8.4	构件传热特性的研究	(203)
8.5	零部件加工方法的实验工艺鉴定	(205)
8.6	用样件来研究结构构件的工作性能	(205)
8.7	结构疲劳耐久性试验	(211)
8.8	结构相似实物模型(隔舱)的可靠性研究	(214)
8.9	部件和系统功能的试验台试验	(219)

8.10	在飞行条件下飞机系统环境参数的实验研究	(222)
8.11	小结	(225)
	测验题	(226)
第九章	根据试验结果评估部件、系统和整机的可靠性 ..	(227)
9.1	平均故障间隔时间法(置信区间)	(228)
9.2	序贯试验法	(234)
9.3	按试验结果确定飞机部件的实际寿命	(237)
9.4	小结	(242)
	测验题	(243)
第十章	飞机生产过程中的可靠性保证	(244)
10.1	可靠性保证的工艺方法	(244)
10.2	工厂产品的质量和可靠性检验	(254)
10.3	质量管理体系	(257)
10.4	小结	(260)
	测验题	(260)
第十一章	飞机维修工艺性	(262)
11.1	飞机维修工艺性的意义	(262)
11.2	技术维修的单位工作量	(263)
11.3	各种现代飞机维修工艺性指标的实际值	(264)
11.4	飞机维修单位工作量的计算评估	(267)
11.5	提高飞机维修工艺性的设计方案	(270)
11.6	机载与地面检测系统	(274)
11.7	各种维修的方法	(276)
11.8	小结	(278)
	测验题	(279)
第十二章	使用过程中飞机的可靠性保证	(280)
12.1	飞机高质量预先准备、飞行前准备和飞行后准备的保证工作	(280)

12.2	飞机再次起飞准备。作业顺序表·····	(282)
12.3	飞机的定期维修对其可靠性的影响·····	(283)
12.4	在保证飞机安全使用中地面设施的作用·····	(286)
12.5	对飞机有害因素的隔离·····	(287)
12.6	飞机的预防性维修是飞机可靠性保证的一个 重要手段·····	(287)
12.7	小结·····	(289)
	测验题·····	(289)
第十三章	飞机的安全性 ·····	(290)
13.1	飞行事故的种类·····	(290)
13.2	飞机安全性各项指标的实际值·····	(295)
13.3	现代飞机飞行事故的主要原因·····	(301)
13.4	提高飞机安全性的各种结构措施·····	(303)
13.5	根据安全性判据选取发动机的台数·····	(305)
13.6	在飞行安全性保证中机组人员的作用·····	(309)
13.7	保证飞行安全性的机载设备·····	(311)
13.8	保证飞行安全性的地面设备·····	(312)
13.9	飞机维修时的安全性·····	(313)
13.10	小结·····	(314)
	测验题·····	(314)
第十四章	飞机的生存性 ·····	(315)
14.1	基本定义。最重要特性的指标·····	(315)
14.2	机组人员和乘客的存活性·····	(321)
14.3	各种不同手段造成飞机可能受损的部位·····	(322)
14.4	不同攻击手段对飞机的作用·····	(324)
14.5	保护飞机燃油箱抗攻击作用的装置·····	(328)
14.6	保护机组人员和最重要设备的装甲·····	(338)
14.7	提高飞机生存性的结构布局方案·····	(347)

14.8 提高飞机生存性时的质量消耗和成本消耗最佳化 …	(348)
14.9 小结.....	(353)
测验题.....	(353)
参考文献.....	(355)
中俄名词对照.....	(357)

引 言

编写本教科书的目的,是为学生在掌握提高飞机可靠性、安全性和生存性的方法方面,打好理论基础和实践基础。在编写过程中,作者力求尽可能全面地反映飞机制造业中发生的变革,力求保证教学内容同未来飞机设计师面临的具体问题相适应。同时,应着重指出:飞机无故障性和维修工艺性的现代定量评估方法,高等院校的学生是完全能理解的。

为了让学生能更好地掌握这门课程,我采用学生在航空教程中所学过的熟悉例题来讲解可靠性数学理论原理。

书中给出的所有定量关系曲线,均适合用来评估航空技术装备产品的特性。每章结尾对该章都进行了小结,并布置有作业,还给出了测验题。

飞机在试验和使用过程中,总会暴露出构造上的种种缺陷。研究和排除上述缺陷所积累的经验,是对航空工程师进行业务培训的一个重要内容。三次荣获社会主义劳动英雄称号的 Ю. Б. 哈里通院士在谈到工程师们活动的有关特点时指出:“……这儿,在我看来,最重要的是要记住所犯过的那些错误。那些错误清单的重要性,并不亚于功劳簿。当然,人人都有可能犯错误,重要的是不要重复所犯过的错误。有什么比给错误涂脂抹粉更糟糕呢?这已经越出了诚实的范畴。对所有的人来说,当他开始干一项新工作时,一定要想想:在前进的道路上会碰上些什么样的‘地雷’。以前犯错误的经验会提醒人们,在哪些地方应当特别当心。”(《ИЗВЕСТИЯ》, №57, 1984 年)把飞机所用的最合理的结构示意图方案搞清楚,就为在新机研制工作中,巧妙地应用提高可靠性、安全性和生存性的方法,打下了基础。在飞机制造业方面,已形成了工程力学的其它一些学科。在应用方面,本教科书同这些学科的相互联系,同其它研究复杂技术产品的可靠性与安全性问题的著

作,有所区别。

B. B. 科斯托奇金教授对本书进行了审阅、哈尔科夫航空学院飞机结构教研室全体人员,为改进本书手稿提出了一系列建议。作者谨向他们表示衷心的感谢。