



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

大飞机出版工程  
总主编 顾诵芬

民机先进制造工艺技术系列  
主编 林忠钦

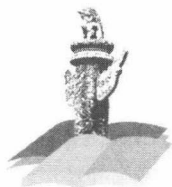
# 大飞机飞行控制律的 原理与应用

Системы дистанционного управления  
магистральных самолетов

【俄】B·S·阿廖申 S·G·巴热诺夫 Y·I·季坚科 Y·F·舍留欣 著  
李志 范彦铭 等译  
李明 主审



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

民机先进制造工艺技术系列

主 编 林忠钦

# 大飞机飞行控制律的 原理与应用

---

Системы дистанционного управления  
магистральных самолетов

【俄】B·S·阿廖申 S·G·巴热诺夫 Y·I·季坚科 Y·F·舍留欣 著

李 志 范彦铭 等译

李 明 主审



上海交通大学出版社  
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本书由俄中央空气流体动力研究院专家撰写,书中所描述的内容,是作者们研制国内民用飞机数字式电传控制系统时所获得和积累的经验,其中包括图-204、图-214、图-334、SSJ100、MS-21等大型客机。书中详细描述了如何构建类似系统的逻辑架构、控制律,以及系统的特点和动力学特性。书中还详细阐述了数字式多通道备份系统的计算和分析的有关问题,这种备份系统的子通道可以在非同步状态工作,而且具有检测、力配平等功能。

本书可作为从事数字式控制系统的科研人员、工程技术人员的参考资料,也可作为航空院校师生的参考读物。

© Алёшин Б. С. , Баженов С. Г. , Диденко Ю. И. , Шеллохин Ю. Ф. ,  
Редакционно-издательское оформление. Издательство «Наука», 2013.  
上海市版权局著作权合同登记号: 09-2016-951

## 图书在版编目(CIP)数据

大飞机飞行控制律的原理与应用 / (俄罗斯)B. S. 阿廖申等著;李志等译. —上海:上海交通大学出版社, 2016  
(大飞机出版工程)  
ISBN 978-7-313-16416-2

I. ①大… II. ①B…②范… III. ①飞行控制系统—研究 IV. ①V249

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 319277 号

## 大飞机飞行控制律的原理与应用

著者:【俄】B·S·阿廖申 S·G·巴热诺夫 Y·I·季坚科 Y·F·舍留欣

译者:李志 范彦铭等

出版发行:上海交通大学出版社

地址:上海市番禺路 951 号

邮政编码:200030

电话:021-64071208

出版人:郑益慧

印制:上海盛通时代印刷有限公司

经销:全国新华书店

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:17.25

字数:328千字

版次:2016年12月第1版

印次:2016年12月第1次印刷

书号:ISBN 978-7-313-16416-2/V

定价:105.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-61453770

大飞机出版工程

## 丛书编委会

### 总主编

顾诵芬(中国航空工业集团公司科技委副主任、中国科学院和中国工程院院士)

### 副总主编

金壮龙(中国商用飞机有限责任公司董事长)

马德秀(上海交通大学原党委书记、教授)

### 编委(按姓氏笔画排序)

王礼恒(中国航天科技集团公司科技委主任、中国工程院院士)

王宗光(上海交通大学原党委书记、教授)

刘洪(上海交通大学航空航天学院副院长、教授)

许金泉(上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授)

杨育中(中国航空工业集团公司原副总经理、研究员)

吴光辉(中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员)

汪海(上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员)

沈元康(中国民用航空局原副局长、研究员)

陈刚(上海交通大学原副校长、教授)

陈迎春(中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员)

林忠钦(上海交通大学常务副校长、中国工程院院士)

金兴明(上海市政府副秘书长、研究员)

金德琨(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

崔德刚(中国航空工业集团公司科技委委员、研究员)

敬忠良(上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授)

傅山(上海交通大学电子信息与电气工程学院研究员)

民机先进制造工艺技术系列

## 编 委 会

### 主 编

林忠钦（上海交通大学常务副校长、中国工程院院士）

### 副主编

姜丽萍（中国商飞上海飞机制造有限公司总工程师、研究员）

### 编 委（按姓氏笔画排序）

刁俊通（上海交通大学机械与动力学院副院长、教授）

万 敏（北京航空航天大学飞行器制造工程系主任、教授）

毛荫风（中国商飞上海飞机制造有限公司原总工程师、研究员）

孙宝德（上海交通大学材料科学与工程学院院长、教授）

刘卫平（中国商飞上海飞机制造有限公司副总工程师、研究员）

汪 海（上海市航空材料与结构检测中心主任、研究员）

陈 洁（中国商飞上海飞机制造有限公司总冶金师、研究员）

来新民（上海交通大学机械与动力工程学院机械系主任、教授）

陈 磊（中国商飞上海飞机制造有限公司副总工程师、航研所所长、研究员）

张 平（成飞民机公司副总经理、技术中心主任、研究员）

张卫红（西北工业大学副校长、教授）

赵万生（上海交通大学密歇根学院副院长、教授）

倪 军（美国密歇根大学机械工程系教授、上海交通大学密歇根学院院长、教授）

黄卫东（西北工业大学凝固技术国家重点实验室主任、教授）

黄 翔（南京航空航天大学航空宇航制造工程系主任、教授）

武高辉（哈尔滨工业大学金属基复合材料与工程研究所所长、教授）

# 总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可控制、比重大于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展和运用,体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索和不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和



空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008年5月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教1时,亲自撰写了《飞机性能及算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展50年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理50多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也

包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如：2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输类飞机的空气动力设计》), 由美国堪萨斯大学 2008 年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》) 等国外最新科技的结晶; 国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》《民用飞机气动设计》等专业细分的著作; 也有《民机设计 1 000 问》《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助, 体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命, 凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果, 具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性, 既可作为实际工作指导用书, 亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养, 有益于航空工业的发展, 有益于大飞机的成功研制。同时, 希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空, 并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009年12月15日



# 序

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。《中国制造 2025》提出,坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展,加快从制造大国转向制造强国。航空装备,作为重点发展的十大领域之一,目前正处于产业深化变革期;加快大型飞机研制,是航空装备发展的重中之重,也是我国民机制造技术追赶腾飞的机会和挑战。

民机制造涉及新材料成形、精密特征加工、复杂结构装配等工艺,先进制造技术是保证民机安全性、经济性、舒适性、环保性的关键。我国从运-7、新支线 ARJ21-700 到正在研制的 C919、宽体飞机,开展了大量的工艺试验和技术攻关,正在探索一条符合我国民机产业发展的技术路线,逐步建立起满足适航要求的技术平台和工艺规范。伴随着 ARJ21 和 C919 的研制,正在加强铝锂合金成形加工、复合材料整体机身制造、智能自动化柔性装配等技术方面的投入,以期在宽体飞机等后续型号的有序可控生产奠定基础。但与航空技术先进国家相比,我们仍有较大差距。

民机制造技术的提升,有赖于国内五十多年民机制造的宝贵经验和重要成果的总结,也将得益于借鉴国外的优秀出版物和数据资料引进。因此有必要编著一套以“民机先进制造工艺技术”为主题的丛书,服务于在研大型飞机以及后续型号的开发,同时促进我国制造业技术的发展和紧缺人才的培养。

本系列图书筹备于 2012 年,启动于 2013 年,为了保证本系列图书的品质,先后召开三次编委会会议和图书撰写会议,进行了丛书框架的顶层设计、提纲样章的评审。在编写过程中,力求突出以下几个特点:①注重时效性,内容上侧重在目前民机

研制过程中关键工艺;②注重前沿性,特别是与国外先进技术差距大的方面;③关注设计,注重民机结构与制造问题的系统解决;④强调复合材料制造工艺,体现民机先进材料发展的趋势。

该系列丛书内容涵盖航空复合材料结构制造技术、构件先进成形技术、自动化装配技术、热表特种工艺技术、材料和工艺检测技术等面向民机制造领域前沿的关键性技术方向,力求达到结构的系统性,内容的相对完整性,并适当结合工程应用。丛书反映了学科的近期和未来的可能发展,注意包含相对成熟的内容。

本系列图书由中国商飞上海飞机制造有限公司、中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司、沈阳飞机设计研究所、北京航空制造工程研究所、中国飞机强度研究所、沈阳铸造研究所、北京航空航天大学、南京航空航天大学、西北工业大学、上海交通大学、西安交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学和南昌航空航天大学等单位的航空制造工艺专家担任编委及主要撰写专家。他们都有很高的学术造诣,丰富的实践经验,在形成系列图书的指导思想、确定丛书的覆盖范围和内容、审定编写大纲、确保整套丛书质量中,发挥了不可替代的作用。在图书编著中,他们融入了自己长期科研、实践中获得的经验、发现和创新,构成了本系列图书最大的特色。

本系列图书得到2016年国家出版基金的资助,充分体现了国家对“大飞机工程”的高度重视,希望该套图书的出版能够真正服务到国产大飞机的制造中去。我衷心感谢每一位参与本系列图书的编著人员,以及所有直接或间接参与本系列图书审校工作的专家学者,还有上海交通大学出版社的“大飞机出版工程”项目组,正是在所有工作人员的共同努力下,这套图书终于完整地呈现在读者的面前。我衷心希望本系列图书能切实有利于我国民机制造工艺技术的提升,切实有利于民机制造行业人才的培养。



2016年3月25日

# 序

《大飞机飞行控制律的原理与应用》一书,是2014年6月俄罗斯中央空气流体动力研究院副院长苏哈诺夫访问中国航空研究院时送给我的。我翻阅了一下全书,觉得内容较新颖实用,对我们搞大飞机的技术人员很有参考价值。于是请我们研究院的同志复印后送给中国商飞的技术领导。可能是他们懂俄文的技术人员不太多,因此送去后也没有回音。后来我把它介绍给沈阳飞机设计研究所的李志同志,李志同志俄文和技术都不错,翻译并出版过很多俄文航空专著,而且沈阳飞机设计研究所主持过我国第一架电传飞控系统验证机的研制,并取得了国家科技进步奖。但是所验证的电传飞控系统是按军用飞机的可靠性要求研制的,比大飞机的电传飞控系统要差两个量级。

李志同志看了此书后也有些犯难,觉得这应该由搞大型飞机的单位去翻译。2015年上海交通大学出版社大飞机出版工程曾征求我的意见:下一步出版什么?我建议应出版有关发动机和飞控系统方面的专著,在飞控方面我推荐了此书,但未被采纳。直到最近,李志同志突然告诉我,沈阳飞机设计研究所已经翻译完《大飞机飞行控制律的原理与应用》一书,并且上海交通大学出版社大飞机出版工程准备正式出版,我听了很高兴。这可能对我国大型民机的研发事业会有一定帮助,应该及早出版。

早在1993年,中国航空研究院与俄罗斯中央空气流体动力研究院合作出版了《干线飞机的空气动力学和飞行力学》一书,舍留欣就负责干线飞机的控制增稳一章的编写,他也是《大飞机飞行控制律的原理与应用》的作者之一。他于20世纪60年代毕业于莫斯科航空学院,曾任俄中央空气流体动力研究院飞行控制部(15分部)部长。20世纪90年代,他曾经在中国航空研究院北苑招待所住了1个多月,仔细审校《干线飞机的空气动力学和飞行力学》一书清样。以后他又多次来我国参加与飞控所的合作项目。他工作热情负责,因此,其著作是可信的。

《大飞机飞行控制律的原理与应用》一书是专门针对大型民机的电传飞控

系统的,这样的专著不仅国内没有,西方国家也没有类似的专著。本书不仅较详细地介绍了欧洲空客 A320、A380 的飞控系统,也介绍了波音 B777 等飞机的飞控系统,还介绍了俄罗斯的图-204、图-334,以及乌克兰的安-124、安-148 等飞机的飞控系统架构和设计思想。这些材料不是一般期刊杂志信息的汇编整理,而是有作者本人自己的看法。

本书介绍电传飞控系统的设计,特别强调要满足飞机的飞行品质规范,以及如何设计电传飞控系统,保证飞行安全,即保证飞机飞到飞行边界也不会出事。关于民机的飞控系统,最重要的一点是安全可靠,不仅硬件要有余度,软件设计也要有余度。本书不仅介绍了飞控系统的设计思想,也介绍了该做的仿真和试验。

总之,本书是一本较完善全面的大飞机电传飞控系统方面的专著,其翻译出版无疑会对我国大型客机的发展有一定的助力作用。

顾诵芬

2016 年 12 月

# 序 言

航空制造是传统上最具科技含量的工业领域之一,并且是引领基础科学及实用研究领域先进技术发展的“火车头”。它涉及诸如连续介质理论、流体空气动力学、发动机内燃空气动力学、强度学、材料学、导航理论等。在更大的程度上它还涉及运动控制及自动化理论。从最简单的飞行器开始,摆在飞机设计师面前的任务就是保证飞机的配平、稳定和可控制,这远不是可以一蹴而就的。早期飞机没有滚转控制,即使在有弱风或飞机出现滚转时也会导致事故发生,需要飞行员一直进行控制干预,以便进行航迹修正。随着时间的推移,人们选择了可保证飞机良好驾驶特性的布局。随后,在飞行高度、航程、续航时间及飞机起飞重量大大提高的情况下,又向喷气航空时代发起了挑战。这时仅单纯依靠气动方法已无法保证良好的稳定性和控制性,由此开始引入自动控制系统。这意味着必须在控制理论中增加自动调节理论、导航方法及手段、可靠性保障原则方面的一系列发展方向。实际上,需要研发各种用途的陀螺仪表、加速度计、传动装置及机载电子设备。

下一个关键环节与机载数字计算机(БЦВМ)有关。机载数字计算机的计算能力、逻辑能力及交联通信能力急剧增强,可保证大大拓宽机载系统的功能范围,增大机上可解算任务的数量。现代飞机信息及控制设备的饱和程度,已导致了“飞行计算机”这一绰号的出现。致使信息流急剧增大,所用控制算法的功能也得到了加强,并导致飞机的飞行控制律越来越复杂,促进了机载电子设备的智能化,并转而使用新的人-机界面。实质上,如果使用现代自动控制、计算及通信手段,也可以在无人驾驶状态下使用大型飞行器。

如今,正在从传统的控制方法和手段向新技术转换,其特点是高度综合化、模块化、使用分布式结构,并拓展了多层级控制及人工智能的多判据优化方法的应用范围。在有飞行员的运输类飞机中,自动化及操作员与控制系统之间的功能分配,将达到一个新的水平,而在无人机系统中,自主控制等级及人工智能程度,将达到一个新的水平。应提高控制系统的智能化水平,让这些自动控制

系统更多地分担飞行员的任务,特别是非正常飞行情况下的控制任务。将开发机器人控制法、自适应控制法及预测控制法,可消除不确定性,保证形成严格实时状态下的最佳控制;在复杂限制下、在构型变化的情况下、在危急状态下、在飞机不稳定时、在其结构存在弹性变形时、在控制系统器件损伤或故障的情况下,都能保证飞机具有很高的控制精度;能够自动切换控制品质等级及限制,完成控制系统重构。广泛应用分布式终端控制原理及算法,既可在单机行动时,也可在机群行动情况下,拓宽运动目标的功能特性及使用特性。由于空中交通繁忙程度持续增长,飞行器之间的时间间隔和空间间隔变小,遵守飞机飞行时刻表的要求提高,最后这一点尤为重要,今后将继续广泛应用实用的人工智能系统,以便在系统技术状态、结构、功能目标变化,以及与外部环境和系统进行动态交互的情况下,控制复杂飞行器的运动。

在使用分布式机载数字计算系统的一体化综合系统中,将延续从集中结构向分布式结构转化的趋势,同时利用数据导集器进行局部一体化,并利用机载网络,在信息交换层级上进行全面一体化,这对大系统的网络控制和人工智能控制也会起特殊作用,信息管理系统的意义也提高了(控制、计算、通信构想)。对航空-航天目标、海上目标、地上目标的网络控制和逻辑控制,其中也包括对无人飞行器行动的人工智能规划,是现代控制学中发展最迅猛的领域之一。

本书研究了飞机自动化的重要任务,即保证飞机具有所期望的稳定性和控制性、自动配平、接近时的告警、极限参数限制等能力。

研究了诸多因素对飞机动态特性的影响问题,如余度的使用,数字式控制系统的非同步、多通道和信息均衡等。

书中特别关注了控制系统及其他机载系统在架构、检测系统的效率、各种余度形式方面的可靠性,以及器件本身的可靠性、多余度通道状态诊断及其同步的可靠性,目的是保证控制系统的鲁棒性。

书中所述内容为作者们的集体原创。祝愿作者们在解决高难度但又有趣的飞机控制自动化及智能化问题方面取得新的成绩。

俄罗斯科学院特拉佩兹尼科夫

控制问题研究院院长、院士

S. N. 瓦西里耶夫

# 作者的话

如果没有科学和技术为基础,就谈不上航空的发展,民用航空也不例外。在建立科学技术储备时,航空工业领域的科研院所起了关键作用。在这方面,中央空气流体动力学研究院(TsAGI)在比什根斯院士的领导下,建立了飞机稳定性、控制性及控制系统的科学流派。TsAGI的专家们为俄罗斯的民用飞机建立了控制系统的理论及飞行控制律的基本算法,并在图-204、图-334、伊尔-96及苏霍伊超级喷气100飞机上得到了应用。这些控制理论和算法经过完善和改进,已经拓展了飞机控制系统的组成和功能,它们将应用于先进的民用飞机MS-21、下一代SSJ(苏霍伊超级喷气客机)和大型运输机(MTS)。上述控制律算法的基础是积分控制系统。为将上述控制律算法成功应用于真实飞机,需要解决大量的实现控制功能及保证稳定性、给定的控制性、运动参数限制、状态变化和状态转换逻辑方面的问题。

使用数字计算机来实施控制算法,就能够实现很复杂的控制律。

目前,飞机控制具有如下基本特征:

— 建议控制系统架构使用数字式飞行管理计算机,并采用各种余度化管理方式,运动参数采用数字化信息系统,驾驶杆采用侧杆方式或小型化驾驶盘,而控制面的偏转则采用电-液舵机作为作动器。

— 建议控制系统的控制律可根据飞行参数广泛调节控制系数,以保证最佳的控制性,保证自动配平,抑制扰动,实现对迎角、法向过载、表速、马赫数、俯仰角和滚转角等运动参数进行告警和限制的功能。

另一方面,必须解决许多与使用数字方式实现控制律及与时间离散、非同步及多回路对控制系统本身的动态特性和“飞机-电传控制系统”闭环系统动态特性影响有关的问题。还有一个最重要的问题是如何形成控制系统的检测逻辑和重构。由于信息源数量大,控制系统逻辑复杂程度高,该问题极其重要且非常困难。由于同一原因,控制系统的验证也非常复杂。需要进行大量的系统测试,以便对大量的工作状态,包括正常工作状态和故障状态进行检查。



可以期待在不久的将来,控制系统的改进方向是扩展运动参数极限值告警和限制功能,并与自动控制系统集成;开发飞机运动监控系统;飞行结果评估系统;机组人员状态和操作评估系统;机组人员告警信息提示系统等。还将使用新控制杆,并逐步过渡到“多电飞机”系统。

书中列举了 TsAGI 开展的图-204、图-334 及下一代飞机(代表是苏霍伊的支线飞机超级喷气 100)控制系统理论、计算及试验研究的主要成果。

本书由 TsAGI 科研人员——俄罗斯下一代民用飞机控制系统研制的直接参与者们编写。与此同时,作者们也承认,只靠一本书不可能阐述飞机研发设计、调试及适航认证方面的所有问题,希望读者谅解。当然,作者们也会心怀感激地接受读者们的所有建设性意见。

作者们对 TsAGI 的主管工程师 L. M. 瓦斯格奥维奇表示感谢,感谢他为准备本书图形、曲线所做的大量工作。

O. 切尔诺娃在手稿编辑并使本书达到可出版状态方面做了大量工作,作者们一并表示深深谢意。

# 符号及缩略语

$\alpha$	迎角
$\beta$	侧滑角
$V$	表速
$V^{\text{up}}$	真速
$M^{\text{HCT}}$	马赫数
$p_{\text{CT}}$	静压
$T_{\text{H}}$	外部气温
$T_0$	信息更新周期
$f_s$	信息更新率
$H$	无线电高度表信号
$\delta_3$	襟翼偏度
$\delta_{\text{np}}$	前缘缝翼偏度
$\varphi$	水平安定面偏度
$G$	当前重量
$\text{ШО}_{\text{лсв}}$	主起落架左支柱压缩信号
$\text{ШО}_{\text{прсв}}$	主起落架右支柱压缩信号
$\text{АП}$	自动控制状态接通信号
$\Delta n_{\text{узвл. АП}}$	自动驾驶仪在给定过载模式下的控制信号
$\delta_{\text{аАП}}$	自动驾驶仪的滚转控制信号
$\delta_{\text{эвл.АП}}$	自动驾驶仪的滚转配平信号
$\delta_{\text{нАП}}$	自动驾驶仪的偏航控制信号
$\delta_{\text{нэвл.АП}}$	自动驾驶仪的偏航配平信号
$U_{\text{трим } \vartheta}$	来自俯仰调整片按钮的信号
$U_{\text{трим } \sigma}$	来自副翼调整片按钮的信号
$U_{\text{трим } \psi}$	来自方向舵调整片按钮的信号
$X_{\text{рут}}$	空中减速状态扰流片控制手柄信号