飞机飞行控制技术丛书

自动飞行控制系统

申安玉摇申学仁摇李云保摇等编著

国防工业出版社

·北京·

需要全本请访问 www.ertongbook

摇图书在版编目(悦阅)数据
摇
摇自动飞行控制系统 辕申安玉等编著援—北京 :国防工业出版社,圆猿猿怨
摇(飞机飞行控制技术丛书)
摇陨杂叠晕苑员缘源源愿园园园源
摇
摇Ⅰ援自…摇Ⅱ援申…摇Ⅲ援飞机 原自动飞行控制 原飞行控制系统摇Ⅳ援员园怨猿园源
摇
摇中国版本图书馆 悦阅)数据核字(圆园园怨)第 员园猿园园员缘号

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 圆猿号)
(邮政编码摇员园园园愿愿)
北京奥隆印刷厂印刷
新华书店经售
*
开本 怨缘园伊员园猿摇员辕猿圆摇印张 愿援缘摇圆园愿千字
圆园园怨年 怨月第 员版摇摇圆园园怨年 怨月北京第 员次印刷
印数 员—猿园园册摇摇定价 员园援园园元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致摇读摇者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于 [illegible]年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版社国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

[illegible]在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书 ;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

[illegible]学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著 ;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

[illegible]有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

[illegible]填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，原国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第四届评审委员会组成人员

摇 摇名誉主任委员摇陈达植

摇摇顾摇摇摇摇问摇黄摇宁

摇摇主　任　委　员摇殷鹤龄

摇摇副 主 任 委 员摇王摇峰摇张涵信摇张又栋

摇摇秘　　书　　长摇张又栋

摇摇副　秘　书　长摇崔士义摇蔡摇镭

摇摇委摇摇摇摇员摇于景元摇王小谟摇甘茂治摇冯允成

摇(按姓名笔画排序)刘世参摇杨星豪摇李德毅摇吴有生

何新贵摇佟玉民摇宋家树摇张立同

张鸿元摇陈火旺摇侯正明摇常显奇

崔尔杰摇彭华良摇韩祖南摇舒长胜

需要全本请访问 www.ertongbook

序摇摇一

新中国航空工业历经五十年的艰难创业，经历了由仿制到自主研发的历程，取得了令人瞩目的成就。《飞机飞行控制技术丛书》就是众多成果之一，它的编著出版，从一个侧面反映出我们在这个领域的水平。在进入 圆贡世纪、实现航空工业跨越式发展的进程中，这套丛书必将发挥积极的作用。

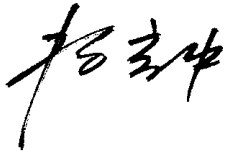
飞行控制系统是飞机的重要组成部分；飞行控制系统的水平对飞机的性能和安全性起着决定性的作用。对飞行控制系统的技术研究一直受到各航空发达国家的高度重视。我国航空界也卓有成效地开展了这一领域的研究，研制和生产了各种类型的飞行控制系统，满足了飞机研制的需要，并积累了丰富的经验。摇摇摇

《飞机飞行控制技术丛书》是我国航空工业界、科技界和教育界一大批专家、学者、科研人员和管理人员团结合作的劳动结晶。他们历时多年，克服了许多困难，在认真总结我国在飞行控制技术的理论研究和工程实践的基础上，完成了这套丛书的编著。实践证明，产学研相结合是我们开展科技创新、发展航空科技的重要途径，也是联合编著科技著作、促进人才培养的有效手段。在对参与此书策划和编著的全体人员表示祝贺的同时，我要对他们付出的辛勤劳动表示衷心的感谢，还要向参与飞机飞行控制系统科学研究活动、对本书提供丰厚的实践背景的广大科技人员表示衷心的感谢。

我还要特别感谢国防科技图书出版基金对此书出版的资助，

这是航空科技界得到该基金支持的第一部著作，这一支持将鼓舞我们继续努力，编著更多更好的航空科技专著。

中国航空工业第一集团公司　常务副总经理
中　国　航　空　研　究　院　院摇摇摇摇长



圆圆圆年 苑月 员袁日

序摇摇二

《飞机飞行控制技术丛书》是由中国航空学会飞行器控制与操纵专业委员会提出建议、原中国航空工业总公司机载设备局支持和资助而开始编著的。在机载设备局领导下,专业委员会组建了编委会,具体组织了编著工作。2002年航空工业管理体制变革后,中国航空工业第一集团公司科技发展部继续支持了该项工作,并和中国航空学会飞行器控制与操纵专业委员会及本丛书编委会,共同组织完成了本丛书的编著。本丛书的出版得到了国防科技图书出版基金的资助,使这套丛书得以出版面世,获得圆满的结果。中国航空工业第一集团公司常务副总经理、中国航空研究院院长杨育中为本书撰写了序言。

编著这套丛书的目的是:总结我国自行研制和发展飞行控制系统的经验与成果,并归纳出设计研制现代飞行控制系统的主要技术和一般规律,为我国航空技术的持续发展提供系统的理论与实践知识。

全书按不同主题分为七册,详细阐述飞行控制系统设计、研制和试验验证的全貌。各册内容相对独立、完整。

《飞机飞行品质》着重阐述飞机的飞行品质及其评价准则与评估技术,以及人—机闭环特性、起飞着陆、大迎角飞行特性及其品质评价。

《飞行操纵与增强系统》论述飞行操纵与增强系统的设计与研制,在机械式飞行操纵系统的基础上着重介绍动力操纵系统、稳定与控制增强系统的设计技术,分析研究使用中出现的关键技术问题及其解决方法。

《自动飞行控制系统》主要阐述飞机的姿态控制与轨迹控制、自动油门速度控制及与航空电子设备的交联，实现多功能自动飞行控制。

《电传飞行控制系统》主要阐述电传飞行控制系统的设计与应用。电传飞行控制系统是现代飞机先进性的标志之一，本册以电传操纵自动控制系统的科研实践为依据，阐述电传飞行控制系统的主要设计技术和工程开发规律，突出数字技术与余度技术的应用。

《飞行控制系统的地面与飞行试验》着重阐述各类地面与飞行试验的关键技术，包括试验计划的制订、测试设备的配置和试验数据的处理与分析。

《先进飞行控制系统》着重论述作为现代飞行控制技术发展基础的现代控制理论的发展与应用，重点分析了七种典型新系统的构成、应用及其关键技术。

《飞行控制系统的分系统》着重论述飞行控制系统的关键分系统，包括新型传感器分系统、计算机分系统、余度伺服作动器分系统及自动检测、显示分系统的研制与试验技术。

本书由直接从事飞行控制系统研制和开发的厂所专家和长期从事该领域科研教学的高校教授联合编著。整套丛书七个主题的配置，兼顾了研制实践经验的积累与高新技术的发展，它与一般的以基础理论为主的教科书有明显的区别。

本丛书内容丰富、新颖、实用、系统，体现我国飞行控制技术的实际水平，有明显的特色和应用价值。

本书的读者对象为广大的航空科技人员、教师、本专业本科生与研究生，以及相关部门（部队、基地等）的工程技术人员和管理人员，亦可作为飞行控制技术培训班、高研班的参考书。

本丛书的出版由国防科技图书出版基金资助，特再次表示致谢。对关心和支持本书编著出版的所有领导和同仁一并致以衷心的感谢。特别是韩宽庆、陈法善、孙瑞坤、蒋龙潭、李京生等同志，为本书的策划立项、编著出版和组织领导做出了贡献。张鸿元同志积极推荐此书，国防科技图书基金办崔士义同志鼎力支持，没有

他们的努力，此书是不可能出版发行的。尤其要提及的是，在编著过程中，冯亚昌等同志在日常工作中做了大量工作，付出了辛勤劳动。

编著这样一套丛书，技术难度很大，加之编著经验不足，多人并行工作，不当、不妥和风格不尽统一的问题在所难免，恳切希望广大读者指正。

《飞机飞行控制技术丛书》编委会

[illegible]年[illegible]月[illegible]日于北京

飞机飞行控制技术丛书编委会成员名单

主 任 委 员摇郭锁凤摇阎治孝

副主任委员摇 李摇明摇李沛琼摇肖顺达摇 吴厚道 陈摇今

金淑惠摇李文俊摇张聚恩摇张新国

委摇摇摇员摇冯亚昌摇谢文国摇陈传德摇高金源摇施继增

申安玉摇宋翔贵摇张德发摇刘摇林摇张摇晶

李陆豫摇郭恩友摇王永熙摇申学仁摇李云保

叶胜利摇申功璋摇吴成富摇崔士义摇张鸿元

张林昌摇梁东山摇王摇非摇张汝麟摇郭葆昌

王复华

需要全本请访问 www.ertongbook

各分册主辖副编、主审人名单

摇摇分摇册	主编	摇摇副主编	主审人
飞机飞行品质	高金源	李陆豫摇冯亚昌	李摇明
飞机操纵与增强系统	施继增	王永熙摇郭恩友	陈摇今
自动飞行控制系统	申安玉	申学仁摇李云保	王摇非
电传飞行控制系统	宋翔贵	摇摇张新国	张汝麟
飞行控制系统的地面与飞行试验	张德发	摇摇叶胜利	李摇明
先进飞行控制系统	郭锁凤	申功璋摇吴成富	张明廉
飞行控制系统的分系统	刘摇林	摇摇郭恩友	王永熙 谢克嘉

前摇摇言

本书是为总结国内近 猿园多年来自动飞行控制系统(粤耘粤悦)研制的工程实践经验而编写的。其目的是使从事自动飞行控制系统设计和研制的工程技术人员了解系统研制工程实践中应遵循的程序和经验。特别是对于刚进入飞行控制系统研制工作岗位的大学本科以上的毕业生,通过对本书的阅读,可解决如何尽快进入研制角色的问题,避免或少走弯路。

全书主要包括国内已涉足的自动飞行控制系统研制的主要内容,力求深入浅出地阐述其构成原理和主要设计思路。并注意使其具有一定的系统性。对于专业理论和教科书中讲述较多的理论推导问题,本书力求避免重复,而采用拿来主义的办法。写作的重点是实际设计应用和如何应用。

全书共分为 苑章:第 员章介绍自动飞行控制系统发展简史;第 圆章概要介绍系统的设计要求;第 猿章到第 缘章分别介绍自动驾驶仪系统及自动飞行控制系统各分系统的工作模态、工作机理和控制律设计;第 远章介绍系统与部分机载设备的交联关系;第 苑章介绍研制阶段的系统试验。各章之间在系统上互相联系,又各具有相对的独立性,读者可根据需要选读其中一部分内容。

本书由申安玉任主编,申学仁、李云保任副主编。其中:第 员章由肖顺达编写;第 圆章由申安玉、申学仁、谢强、赵长富、张志英和孔祥梅编写;第 猿章由王敏文、左玲编写;第 源章由申安玉和岳保康编写;第 缘章由涂云鹤、李勇和申安玉编写;第 远章由申安玉和申学仁编写;第 苑章由赵玉、李云保编写;陈景辉和胡春琦参加了部分编写工作;李清秀和时建蓉为全书绘制了插图。飞行自动控制研究所对本书的编写给予了大力支持。在编写过程中,西北

工业大学肖顺达教授、金西岳教授和吴成富副教授，北京航空航天大学冯亚昌教授以及南京航空航天大学郭锁凤教授提出了许多宝贵的修改意见，特别是王非研究员对全书进行了审阅，并提出了宝贵的修改意见，在此一并致谢！

本书是我国有关厂、所、院校从事飞行控制系统工程研制的人员写书的第一次尝试，不妥之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

目　　录

第 员章摇绪摇论…… 员
第 圆章摇自动飞行控制系统设计要求…… 缘
摇圆援员摇自动飞行控制系统的研制内容 …… 缘
摇圆援圆摇自动驾驶仪系统 …… 远
　圆援圆援员摇自动驾驶仪的功能 …… 远
　圆援圆援圆摇自动驾驶仪的分类 …… 苑
　圆援圆援猿摇自动驾驶仪的基本组成 …… 愿
　圆援圆援源摇自动驾驶仪的辅助分系统 …… 愿
　圆援圆援缘摇自动驾驶仪的工作原理 …… 怨
摇圆援猿摇系统设计的基本要求…… 员园
　圆援猿援员摇研制阶段的划分及各阶段的主要工作内容…… 员园
　圆援猿援圆摇对系统的基本要求…… 员原
　圆援猿援猿摇飞行控制计算机的设计要求…… 员愿
　圆援猿援源摇伺服作动系统的设计要求…… 圆园
　圆援猿援缘摇传感器的选择与安装要求…… 圆愿
　圆援猿援远摇软件设计…… 猿愿
第 猿章摇自动驾驶仪的控制律设计 …… 源园
摇猿援员摇设计综述…… 源园
　猿援员援员摇仿真设备…… 源园
　猿援员援圆摇控制律仿真软件…… 源园
　猿援员援猿摇自动驾驶仪系统结构分析…… 源愿
摇猿援圆摇纵向自动驾驶仪模态控制律设计…… 源怨
　猿援圆援员摇纵向自动驾驶仪的内回路…… 源怨
　猿援圆援圆摇纵向自动驾驶仪的设计方法…… 缘园

猿援猿援源 俯仰姿态保持与控制模态控制律设计 …… 缘员
猿援猿援缘 俯仰自动改平与低高度拉起模态控制律设计 …… 远员
猿援猿援远 高度保持与控制模态的控制律设计 …… 远源
猿援猿援苑 空速(配平马赫数)的保持与控制 …… 苑圆
猿援猿援愿 高度滤波和海浪滤波器 …… 苑远
猿援猿援怨 横侧向自动驾驶仪模态控制律设计 …… 苑愿
猿援猿援员园 横侧向自动驾驶仪基本功能要求 …… 苑愿
猿援猿援员员 横侧向自动驾驶仪基本性能要求 …… 苑愿
猿援猿援员圆 横侧向自动驾驶仪的内回路 …… 愿圆
猿援猿援员猿 倾斜姿态保持与控制模态 …… 愿员
猿援猿援员源 倾斜姿态自动改平和航向保持与控制模态
控制律设计 …… 愿猿
猿援猿援员缘 导航模态控制律参数选择 …… 愿愿
猿援猿援员远 协调转弯与高度补偿 …… 怨圆
猿援猿援员苑 自动驾驶仪的淡化处理 …… 怨圆
第 源章 航迹控制系统 …… 怨缘
源援员 自动进场与自动着陆系统 …… 怨缘
源援员援员 发展概况 …… 怨缘
源援员援圆 系统的主要技术要求 …… 怨怨
源援员援猿 自动进场与自动着陆系统设计 …… 员园圆
源援圆 自动导航控制 …… 员园愿
源援圆援员 侧向导航控制(质量守恒) …… 员园怨
源援圆援圆 垂直导航控制(质量守恒) …… 员员苑
源援猿 自动地形跟随系统 …… 员员苑
源援猿援员 自动地形跟随控制律设计 …… 员员怨
源援猿援圆 自动地形跟随安全保障措施 …… 员圆愿
第 缘章 其他类型的自动飞行控制系统 …… 员猿圆
缘援员 自动油门系统 …… 员猿圆
缘援员援员 系统的组成和工作原理 …… 员猿圆
缘援员援圆 自动油门系统设计 …… 员猿源

4.3.2 俯仰自动配平 …… 59
4.3.3 俯仰自动配平的抬头偏置设置 …… 61
4.3.4 马赫数(配平数)配平系统 …… 62
第5章 自动驾驶仪与其他航空电子系统的交联 …… 64
5.1 火控系统 …… 64
5.2 飞行管理系统 …… 65
5.2.1 系统简介 …… 65
5.2.2 自动飞行控制系统的控制模态 …… 66
5.3 其他机载系统 …… 68
5.3.1 雷达系统 …… 68
5.3.2 航向姿态参考系统和大气数据系统 …… 69
第6章 研制阶段的系统试验 …… 70
6.1 系统综合试验 …… 70
6.1.1 试验设备的性能测试 …… 70
6.1.2 部件静态特性及动态特性测试 …… 71
6.1.3 系统综合试验 …… 72
6.2 环境试验 …… 73
6.2.1 环境试验条件的确定 …… 73
6.2.2 环境试验的类别和要求 …… 74
6.3 可靠性试验 …… 75
6.3.1 概述 …… 75
6.3.2 可靠性鉴定试验 …… 76
6.3.3 可靠性增长试验 …… 77
6.4 出厂后的试验 …… 78

需要全本请访问 www.ertongbook