

“十一五”国家重点图书出版规划项目

AVIATION MANUFACTURING ENGINEERING HANDBOOK

# 航空制造工程手册

(第2版)

飞机装配

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目

# 航空制造工程手册

(第2版)

## 飞机装配

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

北京

## 内 容 提 要

本手册共分为6篇30章。篇目为飞机装配、飞机部件装配、飞机总装配与调试、飞机检查与维护、飞机电缆制造和盘箱装配、飞机装配检测方法。主要内容有飞机装配仿真, 部件装配工艺设计, 铆接技术, 螺纹连接技术, 密封技术, 铆接、螺接、密封、测量的工具和设备, 总装配工艺流程设计, 电缆安装制造, 飞机调试与试验及装配专业主要的检查和试验方法。本手册重点介绍了现代飞机装配技术, 纳入了新工艺、新技术、新工具、新方法, 并对数字化装配协调、仿真技术及飞机装配技术的发展方向进行了介绍。

本手册供从事飞机装配工作的工艺人员和飞机工程设计工作的设计人员使用, 可作为飞机部件装配、总装配、飞机调试试飞、电缆制造等技术工人的参考资料, 也可作为航空院校师生的教学参考书。

本手册对直升机和其他铆接结构的航空产品等也具有重要的参考作用。

## 图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册. 飞机装配 / 《航空制造工程手册》总编委会主编. --2版. --北京: 航空工业出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-80243-650-3

I. ①航… II. ①航… III. ①航空工程-制造-手册  
②飞机-装配(机械)-手册 IV. ①V26-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第232104号

## 航空制造工程手册·飞机装配

Hangkong Zhizao Gongcheng Shouce · Feiji Zhuangpei

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2010年12月第2版

2010年12月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 91.25

字数: 2217千字

印数: 1—2000

定价: 380.00元

## 再版说明

我国航空工业要加速发展，跨入世界先进行列，并在全球市场竞争中赢得有效的市场份额，需要根据市场需求快速更新、快速生产出优质优价、可靠长寿的产品，这需要有先进的航空制造工程系统作为赢得市场竞争的技术基础和保障。发达国家始终以优先发展航空制造工程，提高航空工业基础能力和创新能力作为确保市场竞争优势的既定方针。没有先进的制造工程系统，难以形成核心竞争力，航空制造工程系统已成为市场竞争的重要基础和技术支撑。

1993~1998年出版的、基本覆盖航空制造工程各专业学科、由32个分册组成的《航空制造工程手册》汇集了航空工业40年来所取得的成果，对“九五”、“十五”以及“十一五”期间强化基础、提高能力，加速制造技术和航空工业的发展起到了积极的推动作用。但对于目前世界航空工业高速发展的新形势，新技术、新设备、新材料、新工艺的不断涌现，尤其是我们面临着更繁重的高新工程和新型号研制任务，要使得我国航空工业的生产能力得到长足的发展，有必要对“十一五”以来的航空制造技术进行全面的梳理和总结。

鉴于此，2007年起，在全行业对《航空制造工程手册》各分册相关技术发展、航空新产品对相应制造技术的需求等进行了全方位的调研工作，筛选出急需的分册修订，并视情对各分册分期、分批进行修订工作，以满足“十二五”以及未来航空工业对先进制造技术的需求。

《航空制造工程手册》第2版的修订工作采用以原各分册参编单位为主，同时根据目前航空工业的各类产品的分工，补充擅长该类制造技术的企事业单位作为参编单位。集全行业之力，根据各制造技术的急需程度，组织航空工业全行业的制造工程技术方面的专家，分期、分批逐步完成《航空制造工程手册》第2版的再版工作。

对于《航空制造工程手册》第2版各分册的编写体例，基本保持第1版风

格，具体内容的修订仍坚持求实、求新、求精、求是的基本原则。对于目前制造技术仍然适用的技术内容予以保留；对于已过时或会逐渐淘汰的技术予以删除；对于已基本成熟的新技术给出可实际操作技术数据、工艺；对于有借鉴作用的先进制造技术予以前瞻性描述。并对原版中的疏漏、图表的清晰度进行了修正。

目前，航空工业任务繁重，《航空制造工程手册》第2版的出版必将为航空工业的加速发展给予有力的技术支撑。

**《航空制造工程手册》第2版总编委会**

**2010年11月**

## 前 言

《航空制造工程手册·飞机装配》第1版自1993年12月发行以来，深受飞机装配工艺人员和飞机设计人员的欢迎。在近20年的时间里，飞机装配技术发展很快，尤其是数字化技术的应用，为飞机装配技术的提高提供了有力支持。第三代战斗机已经批量生产，同时也不断改进改型和研制新一代战斗机，新的装配技术不断应用，基于此，本手册编委会对第1版的飞机装配工艺内容进行了修订、删改、补充和完善，为飞机装配工艺人员提供更多、更实用的技术参考。

《航空制造工程手册·飞机装配》在保留第1版目前仍在应用的装配工艺技术基础上，增加了新的工艺方法，删除了不再使用的工艺技术，并对第1版的结构进行了调整，篇幅从5篇27章扩充为6篇30章。第1篇飞机装配为新增篇，本篇3章重点增加了现代飞机装配技术的特征、并行工程的装配工艺工作介绍、飞机装配仿真技术等内容，并将飞机装配的互换协调与协调准确度内容从第1版《航空制造工程手册·飞机工艺装备》调整到本手册，使第2版《航空制造工程手册·飞机装配》的内容更加协调完整，与生产实际分工结合得更加紧密。第2篇飞机部件装配中部件装配工艺设计章节将数字化条件下的工艺技术内容加以融入；铆接、螺接、密封技术都在第1版的基础上进行了补充完善，纳入新的铆钉和密封剂种类，增加了近些年已经发展成熟的电磁铆接装配工艺技术；对于工具和设备章节增加了新的工具种类并增加了测量工具部分，使工量具的种类更加丰富。第3篇飞机总装配与调试增加了柔性对接系统介绍，数字化条件下的管路系统中导管模型的结构参数、技术数据、导管数据库、管路建模等有关内容及相关要求，对管路系统装配规划进行了完善补充；对第1版中未包含的电传操纵系统的特性测量和舵面间隙测量进行了增补。第

4 篇飞机检查与维护内容与原手册有较大的不同,新的内容更加实用,增加了有关飞机接收过程中关于配套性、完好性检查以及随机文件验收工作、飞机的移交工作、飞机调试前的准备、地面例试工作、飞行组织、高空装具等章节,使飞机试飞工作内容与生产实际贴合得更加紧密。第5篇飞机电缆制造和盘箱装配增加了激光导线印字机的导线等下料说明、机器编织金属编织套的工艺方法、新型钎焊工具的选择及使用、新型剥线工具的选择及使用等电缆制造工艺内容,对第1版进行了补充完善,并删减了不再使用的工艺方法。第6篇飞机装配检测方法在第1版的基础上进行了补充完善,纳入了新的检测方法,尤其污染控制章节增加了大量内容,使飞机液压、飞控等系统的污染控制、监测、检测内容更加完善。

《航空制造工程手册·飞机装配》第2版经过航空工业一线工艺技术人员辛勤努力即将出版,但因时间、水平有限,文中如有不妥之处,恳请同行专家与读者批评指正。

**《航空制造工程手册·飞机装配》分编委会**

**2010年11月**

## 《飞机装配》分编委会组成名单

主 编 袁 立

常务副主编 冯子明

副 主 编 (按姓氏笔画排列)

王 伟 邓春利 白仲栋 许旭东 孙金萍 罗 云

赵光亚 曾六生 樊新田

编 委 (按姓氏笔画排列)

王雪飞 包智勇 成书民 刘 国 李 欢 张丽萍

范林林 欧 阳 罗来源 周 惠 赵玉伟 拜明星

侯民利 高 波 郭洪杰 陶云则

编写人员 (按姓氏笔画排列)

丁兆军 上官阿丹 马楠 王 辉 王小凌 王桂玲

王静波 邓芳春 田 野 吕秋宁 刘 琦 关艳英

杨智颖 李 涛 李国新 李荣昌 吴明果 宋晓东

张 宁 张 杨 张衍佳 张宪权 张晓光 陈 舸

图军安 岳 瑛 郑冬菊 孟庆家 赵 杰 赵 轶

赵 爽 胡际东 姜 峰 姜文盛 姚 远 姚英俊

侯 明 袁红璇 奚家鹏 郭文超 黄 侠 黄惠南

鲁 华 游鸿兰 熊撮毛 阚 勇 薛晓林



提供资料人员名单 (按姓氏笔画排列)

于天航	马宏志	叶夏青	田锦波	刘 峰	刘光明
刘丽慧	杜 洋	李昱蓉	李晓玲	郑宝深	侯伟锋
欽红梅	韩福财	焦春丹	潘 岩	薛国忠	

## 序

我国航空工业已走过了四十余年的历程，从飞机的修理、仿制到自行研制，航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中，航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业，就其行业性来讲，属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况，是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平，对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础，要发展航空工业、并有效地占领市场，不仅要不断地更新设计，开发新产品，更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中，均优先发展航空制造工程，很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的，因此必须从战略高度予以重视，并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》，就是为实现航空制造工程现代化的战略目标，在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来，我国航空工业积累了大量经验，取得了丰硕的成果，特别是改革开放以来，开阔了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来，使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富，是一项具有重大实用价值和长远意义的任务，为此航空航天部决定组织全行业的力量，统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感，从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者，经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则，在确保鲜明航空特色的前提下，在总体内容上强调实用性、综合性、成套性；在表达形式上，以技术数据、图形表格、曲线公式为主；阐述扼要，结论严谨，力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便，能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册，缺乏经验，还由于过去资料积累基础比较薄弱，新技术发展迅速和深度广度不断增加，使这项工作带有相当程度的探索性，因之错误与不足之处实为难免，恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动，提供资料，参与编写，评审，出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距，这套手册出版之后，还有不断求新、完善的必要，《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构，将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见，为今后的修订提供依据，以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

## 《航空制造工程手册》 总编委会、顾问及办公室组成名单

主 任 何文治

副 主 任 (按姓氏笔画排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴	朱伯贤
任家耕	李成功	李哲浩	李章由	吴复兴	易志斌
郑作棣	杨彭基	张 彤	张士元	张钟林	周家骐
周砥中	周晓青	金德琨	姚克佩	顾元杰	徐秉铨
徐培麟	郭景山	程宝渠	屠德彰		

常务副主任 马业广

顾 问 (按姓氏笔画排列)

马世英	于 欣	于志耕	于剑辉	王英儒	冯 旭
杨 墉	杨光中	陆颂善	枉云汉	罗时大	荣 科
邴少安	董德馨	程华明	廖宗懋	颜鸣皋	戴世然

委 员 (按姓氏笔画排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力	王敬堂
方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓	刘盛东	刘瑞新
关 桥	朱伯贤	孙国壁	任家耕	严世能	何文治
何恂晋	李成功	李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄
杜昌年	沈昌治	陈于乐	陈 进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张 彤	张 夏
张士元	张幼桢	张灵雨	张纯正	张钟林	张增模
周家骐	周砥中	周晓青	易志斌	郑作棣	林更元

林泽宽	林敦仪	金慧根	金德琨	国 岩	赵仲英
胡四新	胡建国	姜淑芳	姚永义	姚克佩	郝命麒
顾元杰	郭景山	晏海瑞	唐荣锡	唐瑞润	徐秉铨
徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信	屠德彰	程宝渠
熊敦礼	戴 鼎				

常 委 (按姓氏笔画排列)

马业广	王云机	何恂晋	李成功	李哲浩	吴复兴
郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信	屠德彰	戴 鼎

办公室主任 戚道纬

办公室副主任 (按姓氏笔画排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

办公室成员 (按姓氏笔画排列)

丁立铭	王偌鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭	陈 刚
陈振荣	宋占意	张士霖	林 森	段文斌	贺开运
姜淑芳	莫龙生	徐晓风	戚道纬	崔正山	崔连信

## 《飞机装配》分编委会组成名单

**主 编** 林更元

**副主编** (按姓氏笔画排列)

方守钟 孙育枫 张尚智 杨世骧 赵立匡 赵谦仁  
崔连信

**编 委** (按姓氏笔画排列)

马权印 王云渤 方守钟 史学信 刘年刚 刘丽飞  
孙育枫 孙 虹 任登松 朱 强 朱德良 余公藩  
张全纯 张尚智 张淑敏 吴俊锋 林更元 杨发堂  
杨世骧 周朱焯 金自熙 金壁魁 宗桂生 赵立匡  
赵谦仁 胡德修 夏克淳 徐佩刚 崔连信 谢方琳

## 《飞机装配》其他编写和统稿人员名单

**编写人员** (按姓氏笔画排列)

王学舫 王学慈 王 强 邓润水 冯建文 冯金海  
刘连臣 许保罗 戎雪明 吴长辉 张文义 张天成  
张天杰 张勤生 谷春来 周克胜 徐永万 徐爱连  
戚 元 曹凤麟 谢经才 屠顺林 高锦龙

**统稿人员** 赵立匡 (总统稿人) 方守钟 (副总统稿人)

张淑敏 徐佩刚 任登松 宗桂生 马权印

## 《飞机装配》提供资料人员名单

刘宗金 华丽萍 李洪江 朱德成

沈忆玉 邵玉光 张玉琛 金公显

郑宁敏 杨关昌 袁 均 袁振莹

赖 阳 凌清明 翟正权

# 目 录

## 第1篇 飞机装配

### 第1章 飞机装配与装配准确度要求 … 3

#### 1.1 飞机结构工艺划分原则 …… 3

1.1.1 飞机分离面 …… 3

1.1.2 工艺分离面的选取原则 …… 5

1.1.3 飞机装配件的分类 …… 6

#### 1.2 现代飞机装配技术 …… 6

1.2.1 现代飞机装配技术特征 …… 6

1.2.2 并行设计中的装配工艺工作 …… 10

1.2.3 工艺装备作用及选取原则 …… 11

#### 1.3 装配准确度技术要求 …… 12

1.3.1 装配准确度内容 …… 12

1.3.2 气动外缘公差 …… 13

1.3.3 部件相对位置公差 …… 19

1.3.4 重量偏差 …… 24

### 第2章 飞机制造的互换协调与协调准确度 …… 26

#### 2.1 互换与协调 …… 26

2.1.1 互换性、协调性及其相互关系 …… 26

2.1.2 互换性分类及其含义 …… 26

2.1.3 互换性内容 …… 27

2.1.4 协调过程 …… 28

2.1.5 互换性工作的内容 …… 28

#### 2.2 互换协调方法 …… 29

2.2.1 互换协调方法分类 …… 29

2.2.2 互换协调方法的基本原理和应用 …… 30

2.2.3 一般协调过程 …… 31

2.2.4 互换协调方法的典型实例 …… 33

#### 2.3 互换协调图表 …… 38

2.3.1 互换协调图表的分类 …… 38

2.3.2 互换协调图表的组成部分 …… 38

2.3.3 互换协调图表的设计 …… 39

2.3.4 互换协调图表程序图的绘制方法 …… 40

2.3.5 图面符号及标记 …… 42

2.3.6 互换协调图表设计示例 …… 43

#### 2.4 互换与替换检查 …… 46

2.4.1 互换与替换项目的确定 …… 46

2.4.2 互换与替换检查技术条件的编制 …… 47

2.4.3 互换与替换检查的分类及内容 …… 48

2.4.4 互换与替换检查方法及选择依据 …… 49

2.4.5 互换与替换检查应具备的条件 …… 50

2.4.6 互换与替换检查程序 …… 50

2.4.7 互换与替换工作的组织管理 …… 51

2.4.8 互换与替换检查的总结报告 …… 52

#### 2.5 飞机制造协调准确度计算 …… 52

2.5.1 常用符号 …… 52

2.5.2 常用的工艺公差分配 …… 53

#### 2.6 飞机装配误差累积分析与容差优化方法 …… 60

2.6.1 公差、容差和装配容差的概念 …… 60

2.6.2 传统飞机容差设计过程 …… 61

2.6.3 数字化条件下装配容差设计 …… 62

### 第3章 飞机装配仿真 …… 64

#### 3.1 装配仿真内涵与意义 …… 64

3.1.1 装配仿真 …… 64

3.1.2 装配仿真与数字化预装配关系 …… 64

3.1.3 装配仿真的作用 …… 66

#### 3.2 装配仿真工艺方案定制 …… 66

3.2.1 工厂布局 …… 67



3.2.2 工作载荷平衡 .....	67	4.3.2 数字化装配顺序规划和 典型实例 .....	116
3.3 装配过程仿真 .....	68	4.4 装配工艺基准的选择 .....	119
3.3.1 装配仿真数据准备 .....	68	4.4.1 装配工艺基准的分类 .....	119
3.3.2 装配仿真工艺流程设计 .....	72	4.4.2 一般装配工艺基准的 选择依据 .....	120
3.3.3 装配路径编辑 .....	76	4.4.3 一般装配工艺基准的 选择原则 .....	122
3.3.4 装配仿真干涉分析与优化 .....	82	4.4.4 装配基准的传递 .....	122
3.3.5 装配仿真工艺流程的修饰 .....	84	4.4.5 不同装配基准的外形 误差计算 .....	122
3.4 装配仿真资源模型库 .....	89	4.4.6 混合基准 K 孔的选择 与传递 .....	124
3.4.1 装配仿真资源模型库的建立 .....	89	4.5 定位方法的选择 .....	125
3.4.2 装配仿真资源库的构建 .....	91	4.5.1 定位方法的分类及特点 .....	125
3.5 人机工程应用 .....	92	4.5.2 划线定位法 .....	125
3.5.1 人机工程仿真 .....	92	4.5.3 基准件定位法 .....	126
3.5.2 人机仿真可实现功能 .....	93	4.5.4 装配孔定位法 .....	127
3.5.3 人体建模 .....	93	4.5.5 装配型架定位法 .....	130
3.5.4 行为分析 .....	94	4.6 零件、组件、部件工艺状态 的确定 .....	136
3.5.5 视野分析 .....	95	4.6.1 指令性状态表的编制 .....	136
3.5.6 姿态分析 .....	95	4.6.2 交接状态表的编制 .....	138
<b>第 2 篇 飞机部件装配</b>		4.6.3 工艺余量的确定 .....	138
<b>第 4 章 部件装配工艺设计</b> .....		4.6.4 导孔的确定 .....	142
4.1 部件装配工艺设计的内容和 工作程序 .....		4.7 补偿方法及其应用 .....	144
4.1.1 部件装配工艺设计的 主要内容 .....		4.7.1 补偿方法的分类、形式、特点 及实例 .....	144
4.1.2 部件装配工艺设计的主要 工艺文件 .....		4.7.2 合理使用设计补偿改善装配 工艺性 .....	147
4.1.3 部件装配工艺设计考虑的 主要问题 .....		4.8 典型组件、部件装配协调 方案设计 .....	149
4.1.4 部件装配工艺设计的 工作程序 .....		4.8.1 平面类组件 .....	149
4.2 装配协调方案的制定 .....		4.8.2 单曲度壁板 .....	151
4.2.1 装配协调方案的 制定依据 .....		4.8.3 双曲度壁板 .....	156
4.2.2 装配协调方案的内容 .....		4.8.4 曲面立体组件 .....	158
4.2.3 装配协调方案制定的原则 和步骤 .....		4.8.5 翼面前缘类组件 .....	163
4.3 装配单元的装配顺序 .....		4.8.6 翼面后部类组件 .....	167
4.3.1 装配顺序图表的设计及 典型实例 .....		4.8.7 活动面类分部件 .....	175
		4.8.8 门、盖类组件 .....	179
		4.8.9 翼面类部件、段件 .....	184