

透平机械现代制造技术丛书

装配试车技术

《透平机械现代制造技术丛书》编委会



沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司



科学出版社
www.sciencep.com



透平机械现代制造技术丛书

装配试车技术

《透平机械现代制造技术丛书》编委会

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为《透平机械现代制造技术丛书》之一。书中以燃气涡轮喷气、风扇发动机装配试车技术为重点、兼顾燃气轮机透平机械,系统地总结了透平机械装配、试车技术近50年的发展经验,对透平机械装配、试车的基础知识、先进技术的应用及发展、已经具备的独特技术优势进行了全面介绍;弥补了缺少透平机械装配试车技术系统书籍的不足。

本书共15章,第1、2章为透平机械装配基础知识及典型装配技术;第3、4、5章叙述了转动件平衡知识和部组件、整机的装配原则、要求以及方法;第6章是透平机械装配过程中的检验方法、质量控制要点、依据等内容;第7章系统介绍了自动化装配、虚拟装配及装配过程计算机网络管理等先进装配技术;第8、9、10、11、12章对透平机械的试车技术基础、常规技术、各类试验的特点和功能等内容进行了系统、全面的分析;第13章是透平机械试验中采用的参数测量技术;第14、15章对一些试验技术、故障诊断及检测方法进行了介绍和推广。

本书可供从事航空发动机及相关产品制造的工程技术人员、技术工人、检验人员、技术管理人员以及相关航空院校师生阅读,对科研院、所的科研人员也有一定的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

装配试车技术/《透平机械现代制造技术丛书》编委会.

-北京:科学出版社,2002

(透平机械现代制造技术丛书)

ISBN 7-03-010796-9

I. 装… II. 透… III. ①航空发动机-装配 ②航空发动机-试车
IV. V263

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第072025号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2002年10月第一次印刷 印张:25 3/4

印数:1—3 000 字数:571 000

定价:48.00元

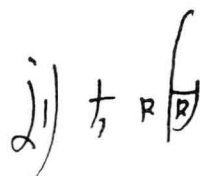
(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序 言

1903年12月17日是一个值得永远纪念的日子,美国莱特兄弟在机械师查·泰勒的帮助下,自己动手制造一台12马力、重77.2公斤的活塞式汽油发动机装在“飞行者I号”飞机上,成功地进行了第一次持续的、有动力的、可操纵的载人飞行,这一划时代的创举,实现了人类飞上天空的梦想,开创了人类飞行的新纪元。此后,活塞式发动机的发展,促使飞机得到了广泛的应用;到20世纪30年代末和40年代初,英国、德国相继发明燃气涡轮发动机,使航空工业发生了一场“革命”,飞机从亚声速跨入了超声速飞行的新时代;20世纪60~70年代,涡轮风扇发动机的问世,军机飞行速度、航程和机动性出现了历史性的飞跃,民用宽体客机实现了不着陆的越洋飞行,地球变“小”了。可以毫不夸张地说,人类在航空领域中取得的每一次重大革命性进展,无不与航空动力技术的突破和进步相关。

现在,作为飞机“心脏”的航空发动机技术已成为一个国家科技水平、国防实力和综合国力的重要标志之一。而航空发动机的发展,又在很大程度上依赖于材料和制造技术的发展,因此,可以说新材料技术和现代制造技术是航空动力技术发展的重要基础,而新材料的创新和应用与其相应的制造技术又是密不可分的。很难想像没有先进的制造技术而能研制出先进的航空发动机。我国航空发动机技术与发达国家相比存在较大差距,其中主要原因之一就是制造技术的落后。要想改变我国航空动力落后的面貌,除了在基础理论研究、应用研究、型号工程设计、新材料、试验和测试技术等方面努力之外,还必须在现代航空制造技术方面有所突破和创新。

《透平机械现代制造技术丛书》正是在这种背景下编写的。本丛书由沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司技术中心组织编写,遵循“求实、求是、求新、求精”的原则,紧紧围绕生产和研制中所出现的实际问题,总结了黎明公司几十年的实践经验,针对发动机的主要关键零件逐一进行编写,还对发动机装配、试车技术作了较系统的论述。将基础理论与工程实践紧密结合起来,可以说是从实践中来,到实践中去,弥补了学校教材中工程实际应用的不足,具有较强的工程实用价值。更为难能可贵的是,本丛书的作者大多是中青年科技人员,说明我们的事业后继有人,发展有望。本书以实用性为主,主要读者是从事透平机械、航空发动机制造工程的广大技术人员、检验人员、技术工人和各级技术管理干部,对大专院校相关专业的师生也有一定的参考价值。我相信,本丛书的出版,将促进航空发动机制造技术的交流,对培养高水平的专业技术人员和高级技术工人起到重要作用,并推动我国航空发动机制造技术不断向前发展。



编者序

黎明航空发动机(集团)有限责任公司从完成第一台燃气涡轮喷气发动机至今已有40多年的历史,随着各型燃气涡轮发动机的研制与生产,在制造技术方面积累了大量经验,取得了丰硕成果。

为了促进航空发动机制造技术的交流,推动我国航空发动机制造技术的进步,2000年8月决定将黎明公司在开发透平机械和发展透平机械制造技术方面的经验、成果汇总起来,编写成《透平机械现代制造技术丛书》出版。

本套丛书由黎明公司技术中心组织各制造研究室技术人员,并约请公司广大技术人员,聘请有关教授、专家,经过两年多的努力,编写了5个分册,即《机匣制造技术》、《盘轴制造技术》、《结构件制造技术》、《叶片制造技术》、《装配试车技术》。

编写这套丛书,坚持了求实、求是、求新、求精的原则,以航空燃气涡轮喷气、涡轮风扇发动机为重点,工艺学科为主线,在总体上强调综合性、系统性、科学性、实用性;在表达形式上以文字叙述为主,并辅以数据和必要的图、表、公式,力求这套丛书所述技术先进、概念准确、理性鲜明、论述简洁、排版合理和阅读方便,是一套为从事制造技术的广大科技人员提供有益指导和参考作用的科技丛书。

在编写这套丛书的过程中,对给予支持的单位和提供资料、参与编审的人员,表示衷心感谢。

首次组织撰写“丛书”,缺乏经验,加之参与编审人员水平有限,错误、不足之处在所难免,希望广大读者给予指正。

《透平机械现代制造技术丛书》编委会

2002年7月

主要符号说明

A	面积； 长度； 振幅	h	单位质量热焓； 高度、深度
AB	加力燃烧室	I	过盈量
a	空气； 加速度； 音速； 长度	i	数目
B	磁通量	J	惯性矩
b	主燃烧室	K	常数、系数
C	齿轮侧隙	L	实际空气量； 长度
c	压气机； 换算； 距离； 高压涡轮导向器	L_p, L_B	噪声级
D	直径； 修正值	M	力矩
d	直径； 热电势率； 偏差	m	质量； 计算用气体系数； 机械传动
E	电动势	N	法向力
e	喷管出口处； 不平衡量	n	数目； 转速
F	力、推力、拉力	P	力
f	摩擦、摩擦系数； 油气比； 燃油； 频率	p	功率； 压力
G	重力	Q	流量
g	总的； 露天； 重力加速度	q	流量； 摩擦力
H	热值； 高度； 静止大气	$q(\lambda)$	气动函数
		R	气体常数
		r	半径
		SM	喘振裕度
		T	绝对温度； 涡轮； 紊流度； 扭矩
		t	摄氏温度； 滞止参数； 时间
		U	不平衡量
		V	体积、容积

v	速度	Y	(直角)坐标轴;
X	阻力; (直角)坐标轴; 系统输入量		喷口处 系统辅出量
		Z	(直角)坐标轴;
α	角度; 余气系数; 线膨胀系数	ξ	燃烧完全系数
		π	增压比
β	不均匀系数	ρ	密度; 曲率半径
Δ	间隙; 增量、差值	Σ	总和
δ	均匀度; 间隙; 半角; 位移(公差); 算术平均误差	σ	应力; 标准偏差; 总压恢复系数
		τ	时间; 时间常数
ε	相对误差	φ	当量摩擦角; 相位角
ζ	阻尼比	ψ	螺纹升角
η	效率	ω	角速度; 圆频率
λ	速度系数; 变形量		

为世界发展

贡献力量

林长明

《透平机械现代制造技术丛书》
总编委会及办公室成员组成名单

总编委会主任 姜 伟

总编委会副主任 曹福泉 于培敏 崔荣繁 王 伟 石竖鲲

总编委会常务副主任 王 伟

总编委会委员 (按姓氏笔画排列)

于文怀	于培敏	王 伟	王 翱	王少刚	王金星
王聪梅	王德新	牛昌安	石竖鲲	艾银生	关志成
司克鑫	阴洪生	曲 伸	刘 艳	刘一鸣	刘秋生
刘隋建	李宝歧	李谱庄	宋宝玉	杨 坚	杨振辉
杨继业	张利生	张春刚	张树江	岳 滨	周 义
庞 为	庞庆华	庞继友	邵清安	赵瑞珊	姜雪梅
倪国雄	钱韶光	高 鸽	郭 旭	郭玉芬	曹福泉
盛 明	崔树森	崔荣繁	董书惠	谢瑞福	熊 瑛
潘永瑚	魏 政	魏鉴梅			

总编委会常务委员 (按姓氏笔画排列)

于文怀	王聪梅	石竖鲲	艾银生	刘 艳	刘秋生
宋宝玉	张春刚	赵瑞珊	姜雪梅	董书惠	潘永瑚
魏鉴梅					

总编委会办公室主任 石竖鲲

总编委会办公室成员 (按姓氏笔画排列)

艾银生	刘秋生	宋宝玉	张春刚	郭玉兰	潘永瑚
责任编辑	宋宝玉	艾银生			
封面设计	艾银生	隋雪冰			

《装配试车技术》编委会

主 编 于文怀

副 主 编 宋宝玉 高 鸽 张树江 徐通源 隋明君

编 委 (按姓氏笔画排列)

于文怀 石玉梅 刘承然 孙学成 宋宝玉

张树江 张维顺 邵成南 杨振辉 杜鹤龄

敖 莲 唐人甲 郭 旭 高 鸽 徐通源

隋明君 隋雪冰

统 稿 宋宝玉 刘承然

其他编写及提供资料人员 (按姓氏笔画排列)

王爱萍 石春华 丛 刚 刘 新 成立权

李元春 陈国瑞 余 雪 张兆信 赵 健

赵济国 任长福 常 敏 魏 兵

目 录

序言

编者序

主要符号说明

第1章 装配技术基础	1
1.1 装配技术的基本概念、定义.....	1
1.1.1 基本概念.....	1
1.1.2 有关定义.....	1
1.2 结构的工艺性与装配单元的可靠性	2
1.2.1 结构的工艺性与装配工艺过程关系.....	2
1.2.2 装配单元的可靠性.....	5
1.3 装配精度与装配方法	7
1.3.1 装配精度.....	7
1.3.2 装配方法	13
1.3.3 各种装配方法的尺寸链解算	14
1.4 装配方案和装配工艺流程.....	21
1.4.1 装配方案	21
1.4.2 装配工艺流程	22
1.5 装配组织形式.....	26
1.5.1 各类装配组织形式的特点	26
1.5.2 装配周期计算	27
1.6 装配技术准备工作.....	28
1.6.1 装配工艺规程的设计	28
1.6.2 装配工艺装备和设备的配置	34
1.7 装配车间(厂房)的工艺设计.....	42
1.7.1 装配车间面积的计算	42
1.7.2 装配厂房高度的确定	43
1.7.3 装配厂房跨度的确定	43
1.7.4 装配车间的工艺布置	44
1.7.5 对装配厂房的工艺要求	44
第2章 典型装配技术	46
2.1 装配前的准备工序.....	46

• v •

2.1.1	零件的选配和标印	46
2.1.2	去封、清洗	47
2.2	可拆卸联接的装配	48
2.2.1	螺纹联接的装配	48
2.2.2	各种配合联接的装配	54
2.3	活动联接的装配	56
2.3.1	滚动轴承装配	56
2.3.2	滑动轴承装配	62
2.3.3	齿轮传动装配	63
2.3.4	封严装置装配	65
2.4	其他联接件装配	67
2.4.1	键联接件装配	67
2.4.2	圆锥体联接的装配	68
2.5	不可拆卸联接装配	71
2.5.1	焊接联接	71
2.5.2	胶接联接	71
第3章	发动机转动件的平衡	72
3.1	转子振动与不平衡量	72
3.1.1	动不平衡与静不平衡概念	72
3.1.2	动不平衡的危害	73
3.1.3	许用动不平衡量与平衡精度	73
3.2	静平衡及其平衡法	75
3.2.1	刀口平衡	75
3.2.2	滚动架平衡	75
3.2.3	重力平衡机平衡	75
3.2.4	旋转平衡(动测静不平衡)	76
3.3	动平衡及其平衡法	76
3.3.1	刚性转子的平衡	76
3.3.2	挠性转子的平衡	77
3.3.3	完善平衡方法的途径	80
3.4	平衡的实施	81
3.4.1	平衡工艺规程的制订	81
3.4.2	动平衡机选择	81
3.4.3	平衡转速的选择	82
3.4.4	转子剩余不平衡量的确认	82

3.5	典型平衡实例	82
3.5.1	校正面外悬的涡轮转子的平衡	82
3.5.2	小型高速挠性转子的平衡	84
3.5.3	有松动零件的转子的平衡	85
3.6	台架上整机平衡	86
第4章	部、组件的装配	89
4.1	压气机装配	89
4.1.1	压气机转子装配	89
4.1.2	压气机机匣的装配	95
4.1.3	压气机部件装配	99
4.2	燃烧室装配	103
4.2.1	环管型燃烧室装配	103
4.2.2	环型燃烧室的装配	105
4.3	燃气涡轮装配	107
4.3.1	涡轮转子装配	107
4.3.2	涡轮静子装配	113
4.3.3	涡轮部件的装配	122
4.4	加力燃烧室部件装配	124
4.4.1	加力燃烧室装配	124
4.4.2	尾喷口的装配	127
4.5	传动装置的装配	129
4.5.1	中央传动装置装配	129
4.5.2	附件传动机匣装配	130
4.5.3	典型附件传动装置——双速传动装置装配	131
4.5.4	圆锥齿轮侧隙和接触印痕调整	133
4.6	滑油系统附件的装配	137
4.6.1	滑油附件、滑油泵的装配	137
4.6.2	油气分离器、离心通风器装配	139
4.7	起动系统附件装配	140
4.7.1	涡轮起动机	140
4.7.2	点火导线电缆装配	143
第5章	发动机整机装配	144
5.1	发动机的传动装配	144
5.1.1	装配基础部、组件的选择	144
5.1.2	传动装配的主要工艺要求	145

5.1.3	传动装配中转子、静子间隙测量与调整方法	146
5.1.4	支点同心度和安装节平面度的检查方法	147
5.1.5	发动机转子的连接	151
5.1.6	典型发动机整机装配	153
5.2	发动机的总装配	157
5.2.1	发动机外部附件的安装	157
5.2.2	外部管路的装配	160
5.2.3	发动机防喘调节机构的安装	167
5.2.4	发动机操纵机构的安装	170
5.2.5	整机的检查	170
5.2.6	发动机的质量称量和质心测量	172
5.3	发动机的分解	175
5.3.1	不同类型发动机分解工艺过程	175
5.3.2	分解发动机工艺过程的主要要求	175
5.4	预研发动机分解	176
第6章	装配检验与质量控制	177
6.1	装配过程的检验	177
6.1.1	检验工序分类和确定原则	177
6.1.2	检验形式和内容	177
6.2	装配参数的测量(检验)	179
6.2.1	主要几何参数的检验	179
6.2.2	装配单元的定心法	182
6.3	故障检验	183
6.3.1	机件磨损变形测量	183
6.3.2	故障检验方法及适用范围标准	184
6.4	密封性检验	185
6.5	装配质量控制	187
6.5.1	控制的必备条件	187
6.5.2	控制程序和内容	188
6.5.3	装配检验控制	189
第7章	现代装配及装配管理技术	190
7.1	装配过程的机械化和自动化	190
7.1.1	装配过程自动化的特点	190
7.1.2	装配过程自动化需要解决的问题	191
7.1.3	装配过程某部分的自动化	191

7.1.4	自动化的方法和设备	196
7.2	装配工艺计算机网络管理	197
7.2.1	装配工艺流程计算机网络管理	198
7.2.2	装配工艺过程计算机网络管理	198
7.3	虚拟装配技术	199
7.3.1	概念	199
7.3.2	虚拟装配的功能	199
7.3.3	虚拟装配方法	200
7.3.4	提高产品虚拟装配效率的方法	201
第8章	试车技术基础	202
8.1	试车常用术语	202
8.1.1	发动机基本参数	202
8.1.2	发动机一般参数	202
8.1.3	试车类型	203
8.1.4	试车过程单元	203
8.1.5	发动机工作状态	204
8.1.6	发动机特性及试车现象	204
8.2	试车分类和整机试验分类	205
8.2.1	按试验机的完整性分类	205
8.2.2	按试验时间分类	206
8.2.3	按进排气条件分类	206
8.2.4	按试车目的分类	206
8.2.5	按发动机工作属性分类	206
8.2.6	按试验件属性分类	206
8.3	试车台	207
8.3.1	概述	207
8.3.2	试车台建造位置选择原则	207
8.3.3	试车台类型	207
8.3.4	试车台结构	208
8.3.5	试车台布局需考虑的主要内容	208
8.3.6	试车台空气动力要求	209
8.3.7	试车间气动力参数测量中的几个问题	212
8.3.8	试车台噪声	212
8.3.9	试车台主要设备	213
8.3.10	试车台常用系统	214

8.4	各种航空发动机的试验特点	218
8.4.1	加力式涡轮喷气发动机试验特点	218
8.4.2	涡轮风扇发动机试验特点	219
8.4.3	涡轮螺旋桨发动机试验特点	220
8.4.4	涡轮轴发动机试验特点	221
第9章	航空发动机常规试车技术	222
9.1	试车技术准备的依据	222
9.1.1	概述	222
9.1.2	有关试车的纲领性标准	222
9.1.3	发动机性能调试有关标准	222
9.1.4	试车用油料有关标准	222
9.1.5	仪器仪表及附件的有关标准	223
9.1.6	其他通用技术标准	223
9.1.7	发动机储存封包的有关标准	224
9.1.8	其他有关的基础标准	224
9.2	试车工艺文件编制的具体依据	224
9.3	试车工艺文件	224
9.3.1	试车工艺规程	224
9.3.2	试车工艺说明书	225
9.3.3	变更指令性文件	225
9.3.4	发动机档案资料	225
9.3.5	目录	226
9.4	试车总则	226
9.5	计算机管理软件	226
9.6	试车单元程序	226
9.6.1	发动机在台架上的安装	227
9.6.2	起动前准备	227
9.6.3	内部启封和注油	228
9.6.4	冷运转	228
9.6.5	起动	228
9.6.6	加温发动机	228
9.6.7	发动机控制系统工作检查和调整	228
9.6.8	发动机性能验证	229
9.6.9	加力接通、切断检查	229
9.6.10	推力瞬变和功率变换检查	230

9.6.11	滑油系统的工作检查	230
9.6.12	发动机密封性检查	230
9.6.13	飞机引气和功率分出	230
9.6.14	停车	231
9.7	试车中需要测量的参数和参数换算	231
9.7.1	直接测量的参数	231
9.7.2	间接测量参数的计算	232
9.7.3	参数换算	233
9.8	涡喷涡扇双转子发动机性能温、湿度修正	234
9.8.1	修正的依据	234
9.8.2	发动机性能修正系数的数据整理	234
9.8.3	发动机温度和转差的温、湿度修正	235
9.9	初步运转试车	237
9.9.1	试车目的	237
9.9.2	试车程序	237
9.9.3	初步运转后的检查	238
9.9.4	附加运转	238
9.10	最终运转试车	238
9.10.1	试车目的	238
9.10.2	试车程序	238
9.11	持久试车	239
9.11.1	60h 试车	239
9.11.2	150h 试车	243
9.11.3	发动机低循环疲劳试车	244
9.11.4	1:1 寿命期持久试车	244
9.12	发动机封存和运输包装	247
9.12.1	技术要求	248
9.12.2	典型的封存包装方法	248
9.12.3	运输包装箱	249
9.12.4	运输标志	249
9.12.5	技术文件、装箱单的设置	250
9.12.6	库存规则	250
9.12.7	封存包装的工作间和工艺设备	250
9.12.8	封存包装的工艺流程	251
9.13	试车检验及质量控制	251