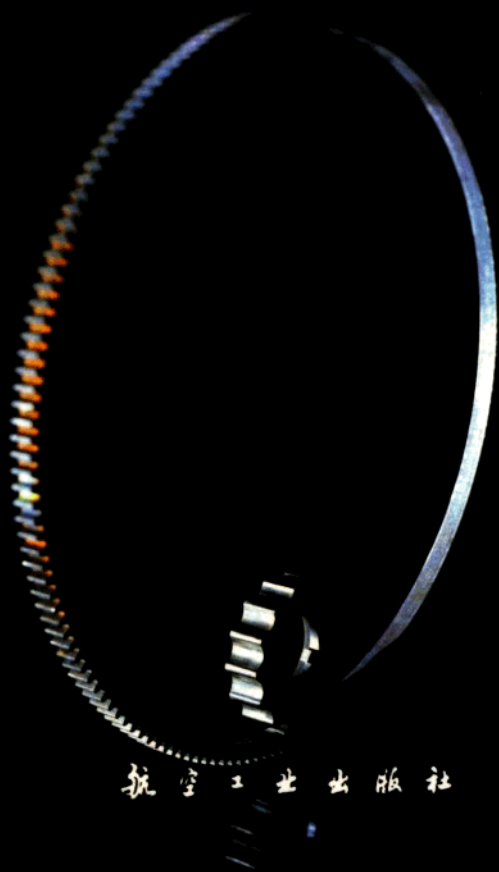


学知 践实 求是录

李哲浩 著



航空工业出版社

学知 践实 求是录

李哲浩 著

航空工业出版社

内 容 提 要

文集论述了近三十年来国内外制造工程技术和制造工程教育的演变过程、发展特点和趋势、取得的进展和经验,以及存在的问题和解决的途径。着重从改革和创新的要求,依据系统的思想和方法,结合我国的实际,提出一些观点和意见。可供制造工程技术工作者和制造工程教育工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

学知 践实 求是录/李哲浩著. —北京:航空工业出版社,
2002. 1

ISBN 7-80134-963-6

I. 学… I. 李… III. 制造业—研究 N. T

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 001019 号

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)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2002 年 1 月第 1 版

2002 年 1 月第 1 次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:12.125

字数:313 千字

印数:1—1000

定价:28.00 元

序

李哲浩同志从事航空制造技术研究及教育工作五十余年,是北航制造工程专业的创始人。在相关的人才培养和科学研究方面,做了大量的组织管理工作。在实际工作中,他一直关注世界制造工程技术的进展和国际工程教育的变革。早在二十世纪七十年代初期,就建议政府要重视企业研究机构的建立,倡导学校关注计算机辅助制造的研究和教学,开展了一些先行工作,为改革开放之后学校重组原工艺系,在全国首创制造工程系打下了良好基础。新系建立之后,在教学科研队伍重组,科研项目调整,专业方向确定,教学计划制订,教学内容改革等方面倾注心血,做了大量工作,使北航制造工程专业成为科研、教学双中心的单位,并不断发展壮大。

本书的论文,从时间序列上,反映了作者在不同阶段,结合本职工作,立足于全局,从宏观角度,对“制造工程技术的发展和制造工程教育的变革”研究工作的成果。我们认为,将这些论著收集出版很有意义,十分必要。它们不仅反映了他个人的学术观点,办学思路,一直成为北航制造工程专业的办学思想指导,而且还因为:

一、书中针对我国制造工程发展中存在的问题提出对策和建议,许多至今仍具有现实指导作用。如七十年代就提出建立我国航空企业研究机构的建议,正是今天我们创导企业创新大力推进的任务之一。

二、书中讨论我国制造工程教育的改革时,总是把它放在整个国民经济的发展之中,而不是就教育论教育,如分析三个不同经济时代教育的特点,为我们把握教育改革的方向提供了新思路。

三、书中关于世界制造工程技术发展进程的分析,关于制造工程教育变革情况的论述,都是站在当时历史的前沿做出的。这些

使我们认识到,做为一个发展中国家要跟上时代潮流,必须始终坚持高起点,高要求,迎头赶上的精神原则。

四、对于多数从事局部“点”的研究的专业工作者,都有必要树立全局观点,从宏观角度思考自己的工作。阅读本书可以有助于他们更好地把握自己,开拓视野。

总之,本书既是制造工程技术和制造工程教育的一段时期的历史总结,又是对现实仍具指导价值的资源,它反映了一种良好学风,即在不断学习的基础上求知,在认真实践的基础上升华,以求得对产品制造过程物质成果和精神产品的生产规律性认识——“学知、践实、求是”。

冯厚植 胡世光

2001年12月

自 序

选集包括制造工程技术和制造工程教育两个部分,是1971年以来工作、学习、思考和论述的一些反映。见局一孔,虑或一得,算是向逝去岁月奋力索取的片断印记和演变过程的一些反映。记录过去,但更多的是展望未来。

作 者

2001年7月

目 录

第一部分 制造工程技术

“斯贝”发动机制造工艺的继承性、特点及发展	(3)
关于接待英国代表团技术会谈后的一些问题和意见	(22)
制造工艺技术的发展趋向	
——1980~2000 年期间的展望	(31)
高等学校中制造技术科学的研究工作	(34)
关于航空工业材料工艺发展规划的意见	(60)
关于航空制造工艺技术的发展和迎接	
新产业革命的意见	(62)
飞行器制造工程	(65)
关于发展柔性制造系统(FMS)的建议	(73)
柔性制造自动化发展的背景、展望和策略	(78)
关于《2000 年中国航空制造技术发展战略研究》的	
几点意见	(93)
关于计算机集成制造 CIM 技术及系统的发展	(97)
现阶段制造技术发展的形势、特点和问题	(105)
航空发动机制造的高技术化——英国罗·罗公司的	
成功经验	(149)
制造高技术的开发与高技术产业的发展	(159)

关键在于提高制造技术的水平和优势·····	(168)
制造领域中高技术的发展与应用·····	(175)
制造理论的新发展·····	(186)
制造工业高技术化——跨时代的巨大变革·····	(201)
制造企业正在跨入知识时代·····	(222)
先进制造技术开发与应用的重大转变·····	(230)

第二部分 制造工程教育

数字控制的技术教育·····	(243)
英国高等院校工程教育一斑·····	(251)
美国大学关于制造生产力的模块化教材·····	(264)
高等学校制造工程的专业教育——美国 Bradley 大学的制造系·····	(270)
明确培养目标,优化培养计划,创造提高培养质量的 条件·····	(284)
制造工艺技术的发展与制造工程技术人才的培养·····	(302)
新形势下的高等制造工程专业教育·····	(313)
访苏报告·····	(324)
新技术革命与高等(工程)教育·····	(344)
航空制造工程教育四十年·····	(348)
高等工程专业教育的改革方兴未艾·····	(355)
建立工程教育新体系·····	(365)
积极开展工程教育改革,培养 21 世纪的 工程技术人才·····	(378)
关于工程硕士研究生培养的几点意见·····	(394)

第一部分

制造工程技术

“斯贝”发动机制造工艺的 继承性、特点及发展*

1971 年 11 月

一、“斯贝”发动机发展和工艺水平

(一) 历史背景和发展过程

“斯贝”发动机是英国罗耳斯·罗伊斯公司的产品。罗耳斯·罗伊斯公司在英国航空发动机工业中,多年来一直居于主导地位,有很大的代表性。从 1941 年开始研制涡轮喷气发动机,三十年来,完成 27 种成功的设计,生产过 7 万多台发动机。现在世界上有一半左右的民航用的发动机是这家公司的产品。

对“斯贝”发动机进行工艺分析,一方面要研究它的发展过程、基本特点和经验;另一方面还应该注意近年来的变化和发展的趋向。

按照英国人在 1962 年的看法,^[1]英国制造涡轮喷气发动机的发展过程,大体上经历了以下三个阶段。

1. 离心式压气机,单级涡轮阶段(1941~1950)。离心式压气机和过去活塞式发动机的增压器相似,只是在尺寸上增加了大约

* 本文刊登在《国外航空技术》1972 年第 4 期。

一倍。在制造上的新问题主要是燃烧室和尾喷管。涡轮叶片的制造虽然也是个新问题,但数量不多,因此并不严重。

2. 轴流式压气机,多级涡轮阶段(1950~1962)。在材料和工艺上都有新的发展。特点是发动机在构造上日趋复杂。突出的问题是要求制造大量的叶片。盘的数量增多,并且开始提出长轴的加工问题。精密铸造的应用范围逐步扩大。专用机床设备(特别是加工叶片用的)迫切需要解决。

3. 1962年前后进入第三阶段,是前一阶段的进一步发展。主要表现是结构的复杂程度和技术要求更高,工艺上的难度更大。

“斯贝”发动机于1959年开始研制,于1964年初投入航线使用。在研制过程中,经过了“斯贝”1、“斯贝”2、“斯贝”25三个型别的演变,可以认为是进入第三阶段的一个有代表性的机种。在设计上继承了过去机种,特别是“康维”涡轮风扇发动机的成功经验。在很多方面反映了英国航空发动机制造的技术传统和生产水平。

继“斯贝”发动机之后,罗耳斯·罗伊斯公司又在1966年研制出高流量比、三转子的涡轮风扇发动机,继后发展成为现在的RB-211,在制造工艺技术上,比“斯贝”又有不少重大发展,可以认为是第四阶段的产物。比较集中地反映了英国航空发动机制造工艺技术的主要成就和水平。

(二) 现有水平和发展趋向

据报导,近年来罗耳斯·罗伊斯公司在发动机制造中,不断改进工艺方法,采用先进的工艺技术。归纳起来,有以下几方面。^{[2][3][4][5][6]}

1. 研究试用碳素纤维复合材料制造风扇叶片和低压压气机叶片,采用玻璃复合材料制造中压压气机叶片。

2. 更多地使用电子束焊接技术,焊接复杂的轻合金零件。该公司的电子束焊接设备中,有一台15万伏的焊机,长4.25米,直径2.3米,工作高度1.8米。

3. 装备了 5 条压气机叶片榫头拉削自动线,周产量 45,000 片。

4. 涡轮叶片叶身型面,两面同时进行电解加工,已经有十年的经验。该公司现有电解加工设备,总能力在 20 万安培以上。1968 年以来又发展了电解车削,加工薄盘、导向器扇形段等,效果显著。

5. 在静子结构上,如静子叶片,采用真空钎接。

6. 精密铸造,1969 年新建据称是欧洲最大的精铸车间。铸造低压涡轮叶片、导向器叶片、轴承座等。据报道,RB-211 中压涡轮叶片已由铸造改成精铸的。轻合金铸件,如直径 1.5 米的齿轮机匣,精铸保证偏心度的公差为 ± 0.6 毫米。

7. 数字连续控制车削,加工盘、轴,生产率比普通车床高四倍。1970 年购置 40 台新的数控车床。

8. 高压涡轮轴的数字控制磨削。

9. 数字控制加工中心,如由两台五坐标自动换刀的 Sundstrand Omnimill 机床组成的加工中心,用以加工大型复杂的轻合金机匣。

10. 用选择性的化学溶蚀方法加工大型复杂机匣,如 RB-211 钛合金风扇机匣,“斯贝”钛合金外通道筒体等。

关于航空发动机制造工艺技术今后的发展趋向,从罗耳斯·罗伊斯公司发动机分公司总工艺师在 1968 年发表的关于机床设备的远景规划中可以看到一些梗概。^[7]该公司从 1966 年开始对机床设备和制造工艺的需要进行研究,以作为制订生产技术政策的依据,值得加以注意。归纳起来,主要有以下几点。

1. 由于电解加工方法使用量的增加和应用范围的扩大,铣削加工的比重将相对减少。主要考虑难加工材料的增多,以及力图避免采用焊接结构,因而使电解加工的应用范围扩大。已试验用电解方法进行长轴套料加工中心孔,以及对花键和某些齿轮(特别是难切削材料的)的粗加工,采用电解方法代替铣齿或插齿。大型盘件上的榫槽有可能用电解方法先进行粗加工,然后在拉床上进行精

加工。理想的方案是电解与机械的组合拉床,一次调整后,先进行电解拉,然后进行普通的机械拉。某些材料的加工,也可能要采用电解磨。

2. 将充分利用可预调或可自调刀具的机床,逐步取代现用的普通机床。这样可以大大提高机床的利用率。将继续发展硬质合金刀具,采用更大功率和更大刚度的机床。

3. 将特别注重尽可能实现各类机床上的积极检验。在机床上装备数字读出装置和显示装置,在加工过程中控制尺寸。

4. 渗碳轴件的加工,由于精度要求高,以及在精加工阶段出现废品所造成的严重后果,将添置更多的数字控制磨床,充分保证加工质量。

5. 目前对数字控制机床的掌握以及机床本身可靠性的提高,将促进扩大采用数控机床的趋势。由于这类机床投资大,造价高,也会刺激切削工艺和刀具的发展,以便有可能达到最高的利用率。到1970年,该公司已有数控机床160台,其中有68台点位控制的钻、镗床,62台车床,19台铣床,3台多坐标的加工中心(另有5台尚未安装),6台数控转台,2台磨床。估计到1977年左右,数控或程序控制机床将占该公司机床总数的20%。数控五坐标的加工中心和三坐标的数控机床的应用将会增加。因此,摇臂钻床可能会被完全取代。生产大型夹具和钻具的工具车间的负担将会减轻,采用数字控制的钻镗床和加工中心后,由于切削速度和送进量的加大,难切削材料的增多,拉刀、型铣刀和车刀的需要量将会增加。

采用数字控制机床后,可以减少复杂钻具的制造费用。目前这类夹具占公司现有夹具总数的20%。

估计到1975年,数控机床的购置费用可能占该公司机床年度购置费用的35%以上。但是在航空发动机生产中,有许多工序并不适宜采用数控机床,因之,不可能像某些美国人所做的估计,购置费将要占到80%以上。

7. 各种大小轴件的车削加工,有可能逐渐被强力磨削所代

替。强力磨削的优点主要在于能够去除大余量,将来有可能发展为自动线加工轴件。依次用不同宽度的砂轮加工轴上的不同型面和直径,最后传送到数控磨床上进行精加工。

8. 对于所有革新工艺,在采用之前,都必须经过非常周密而严格的试验,不能轻率从事。

二、通过“斯贝”的工艺分析看 罗耳斯·罗伊斯公司的技术道路和政策

根据罗耳斯·罗伊斯公司的一些技术头面人物近年来发表文章报告以及在一些技术资料中所反映的情况,研究一下这个公司在研制航空发动机过程中的指导思想、技术道路和技术政策是很必要的。

从 1956 年发表的“航空发动机制造指导思想”一篇报告中,^[8]可以很清楚地看到总的指导思想就是要获取最大的利润,而为了达到这个目的就必须竭力巩固它在国际市场上竞争的實力,维护它的商业信誉。因此,在产品性能质量和工艺技术水平上都必须保持第一流的优势,而对它来说“第二流是没有出路的”。

报告提到对于像英国这样的一个发达的工业国家来说,航空发动机是一种最为有利可图的出口商品。出口的发动机,价值每 1,000 英镑中,原材料费用只占 3 英镑,而其余的 997 英镑都是技术加工费。从这个数字比例中,一方面可以看到从中获得的巨额利润;另一方面可以看到在研制和发展航空发动机制造工艺上的大量投资。

根据对所掌握的一些资料的初步分析,可以概略地看到关于研制航空发动机的技术道路和技术政策的一些表现。

（一）重视研究和开发工作

该公司认为必须加强和发展先进的工艺技术,才能使所生产的发动机在技术上保持领先的地位。许多先进技术必须由公司自己研究开发,要特别重视针对提高军用发动机性能质量的研究工作,不这样就不能有先进民用机种的经济生产。^[8]

在罗耳斯·罗伊斯公司中,从事研究开发和试制工作的人员有 18,000 人,占总人数的 24.3%。^[9]其中有 3,000 多名科技人员。^[10]

在一台发动机的成本中,研究开发费用占 56%~68%。^[8]

要使工程技术人员经常注意新的机床设备和新的工艺技术,使他们的注意力集中在能够节约资金的重大发展上,并在尽可能早的阶段使他们的建议和设想结合到新机种的设计中去。^[3]

这家公司在 1960~1970 年之间申请了 1,000 多份专利,可以看作是它的研究开发工作的一种标志。

比较突出的例子,如关于新材料、新技术的研究和掌握。钛合金压气机叶片的研制过程是比较典型的。^[11]1950 年该公司由美国搞到一小块钛合金 T150A 的样品,做了几片“埃汶”发动机上的压气机叶片,试车后,效果性能良好,于是决定扩大采用。接着又在 1951 年从美国进口了不到 200 公斤的两种钛合金材料,分别制成了“康维”发动机高压压气机的 8 排转子和静子叶片。在此以后,继续进行了大量的研制工作,着重解决叶片毛坯的精锻技术,特别是锻造时的加热和润滑保护涂层的问题。到 1954 年已经用新的钛合金材料制造了几万片叶片。到 1962 年该公司宣称压气机叶片的精锻技术已经掌握得很好。^[1]从这一过程来看,英国人在经济实力和技术条件上,并不怎么优厚,但是由于抓得早,坚持研究,终于使这个比较困难的工艺问题较早地得到解决。而正是由于钛合金叶片毛坯精锻的解决,才为以后在 1967 年和 1968 年两条拉削压气机转子和静子叶片自动线的建立打下了基础,提供了进行高效率大

量生产的可能性。^{[12][13][14]}

又如关于涡轮叶片的冷却技术,该公司从 1952 年开始研究,1959 年开始采用,中间经过了七年的时间。到 1962 年已有 900 台装有气冷叶片的民用航空发动机在航线上飞行。“斯贝”发动机就充分利用了这一先进技术的研究成果。到现在叶片冷却技术研究了十七年,被标榜为公司的“最可宝贵的商品”。^{[15][16]}

(二) 重视经验积累,不断总结改进

英国人对于技术经验的积累和总结是十分重视的,并且把这些经验,看作是奇货可居的财富,以之作为商业宣传的资本,博取买主的信任。据报道到 1964 年,罗耳斯·罗伊斯公司在民用发动机方面已经积累了 3,250 万小时的运转经验;在军用发动机方面积累了 4,500 万小时的运转经验。气冷涡轮叶片从 1960 年 3 月开始到 1964 年积累了 350 万飞行小时的经验。民用型发动机叶片的寿命达到 6,000 到 10,000 小时。^[15]

该公司设有一个七八百人的技术服务部门,专门负责处理发动机出厂后的质量问题,其中有 150 多个代表派驻各航线的主要地点,收集使用经验,出现的故障和质量问题,及时反映,进行分析研究,在材料、设计和制造工艺上进行相应的改进。

发动机的延寿工作,看来也是结合这个过程进行的。例如,民用“斯贝”发动机 1964 年 3 月投入航线,初始寿命是 600 小时,1965 年延长到 800 小时,1966 年延长到 2,000 小时,1968 年延长到 5,000 小时,到 1970 年延长到 6,700 小时。许多主要零件的寿命已经超过 18,000 到 20,000 小时。^[17]

发动机正式投产后,并不意味着改进、研究工作的终止,^[8]仍然需要不断提高零、部件的质量,精益求精,使翻修寿命延长,性能提高。为此,在生产工艺上必须经常改进以适应这种需要。根据罗耳斯·罗伊斯公司的经验,一个民用的新机种,寿命延长到 1,000 小时,一般需要三年时间台架和飞行研究运转,所消耗的费用,要