

生产自动化文集

航空航天工业部第628研究所

1989

前言

生产自动化文集

随着技术革命推动下,世界工业领域正经历着一场深刻的制造技术变革,其目标是实现制造过程的自动化。所谓“未来工厂”——计算机集成制造系统(CIM)。所谓CIM,就是利用系统工程原理,以现代计算机、通信和数据库技术为工具,把企业的所有功能,即设计、制造、管理、质检、采购、库存、销售、服务等有机地集于一体,达到大幅度提高生产率,改进产品质量,降低生产成本和增强企业应变能力之目的。而生产率、质量、成本和应变能力是当代企业赖以生存之支柱。国外认为,先进的自动化制造技术是企业未来激烈竞争环境中之足、发展之本。当前,CIM的发展不是朝夕之功,而是漫长的渐进过程。不过,先进的工业化国家大力发展FMC、FMS、柔性制造单元、人工智能等技术,已朝着这一目标迈出了关键之步。

未来步骤在制造技术发展前列的国外航空航天工业,对这场制造技术革命甚感已作出战略部署。欧美航空航天企业正在实施项目繁多的“制造技术现代化”计划,边投资,边更新,以新技术装备推进新技术发展,向着“未来工厂”的目标稳步前进。

我国航空航天工业在新机发展和国际合作生产的驱动下,正在加速技术现代化进程,提高企业竞争素质。为配合工厂技术改造,我们编辑出版了《生产自动化文集》,共收入14篇论文,除包括国外航空工厂自动化生产改造成功的范例外,重点是介绍国外实施生产自动化过程中采取的途径、论据和管理方法以及所遇到的问题,以供国内参考。

本文集的出版得到部院有关领导部门的大力支持 and 指导,借此鸣谢。

本文集由周佩武、韩洪同志编辑成书。由于水平有限,难免错漏,敬请读者批评指正。



1988.12.



30271981

航空航天工业部第628研究所

1989

674355

前 言

在新技术革命的推动下,世界工业领域正在经历一场更加深刻的制造技术变革,其目标是实现制造过程的自动化、柔性化、集成化和合理化,建设更为理想的“未来工厂”——计算机集成制造系统(CIM)。所谓CIM,就是利用系统工程原理,以现代计算机、通信和数据库等先进技术为工具,把企业的所有功能,如设计、制造、管理、质控、采购、库存、销售、财务等有机地集于一体,达到大幅度提高生产率,改进产品质量,降低生产成本和增强企业应变能力之目的。而生产率、质量、成本和应变能力是现代企业赖以生存的支柱。所以国外认为,先进的自动化制造技术是企业在未来激烈竞争环境中立足、发展之本。当然,CIM的发展不是朝夕之功,而是漫长的渐进过程。不过,先进的工业化国家大力发展FMC、FMS、机器人、人工智能等技术,已朝着这一目标迈出了关键之步。

素来步履在制造技术发展前列的国外航空航天工业,对这场制造技术革命挑战已作出战略性部署。欧美航空航天企业正在实施项目繁多的“制造技术现代化”计划,边投资,边见效,以新技术效益推进新技术发展,向着“未来工厂”的宏伟目标稳步前进。

我国航空航天工业在新机发展和国际合作生产的驱使下,正在加速技术现代化进程,提高企业竞争素质。为配合工厂技术改造,我们编辑出版了《生产自动化文集》,共收入14篇文章,除包括国外航空工厂自动化生产改造成功的范例外,重点是介绍国外实施生产自动化过程中采取的途径、论证和管理方法以及所遇到的问题,以供国内参考。

本文集的出版得到部院有关领导部门的大力支持和指导,借此鸣谢。

本文集由周倜武、郭洪同志编辑审校。由于水平有限,难免错漏,敬请读者批评指正。

编者 (76)

1988.12. (79)

十一、环境变化和新制造技术的选择	(76)
十二、实现生产自动化的途径和问题	(79)
十三、新制造技术的论证方法	(89)
十四、工厂自动化项目的管理	(96)

目 录

一、加速工厂技术改造 改善空军装备适生产性	(1)
二、复杂形状飞机零件与胎具自动化加工——设计传控制造系 统计划	(7)
三、F-16 战 斗 机生产的柔性制造系统	(18)
四、罗·罗公司涡轮和压气机盘先进集成制造系统	(26)
五、普·惠公司加工涡轮盘的柔性自动化加工单元	(34)
六、对集成自动化兼容性问题的研究——美国国家标准局的插 入兼容式柔性工厂系统的研究简介	(38)
七、计算机集成制造	(42)
八、人工智能—灵巧的生产工具	(52)
九、计算机辅助生产管理及其必要性	(61)
十、制造单元的能力分析	(66)
十一、环境变化和新制造技术的选择	(76)
十二、实现生产自动化的途径和问题	(79)
十三、新制造技术的论证方法	(89)
十四、工厂自动化项目的管理	(96)

国空军严格规定了ATF的单价上限——生产型成本不得超过1985财政年度美元3 500万。

怎样才能以较低的成本制造出如此大的战斗机呢？最后的关键将是ATF的适生产性。

空军的其他装备同样有这个问题。如先进技术轰炸机（ATB）的主要承包商洛希、波音、通用电气和LTV公司沃特航空产品分公司，都是同美国空军一起推进这些公司生产设备及技术改造计划的参加者。

一批公司走在前面

许多公司在未加入空军资助的工厂现代化计划以前就已开始用大量投资添置新设备。他们的目的是力图按照现行合同制造出更优质的产品，获得更多的利润和为今后的竞争争取领先地位。在这方面，洛希公司堪称典范。它在5年前用2400万美元建成的超精的生产开

加速工厂技术改造 改善空军装备适生产性

航空航天工业的工厂包括其转包商和供应商，是空军庞大的装备采购计划能否获得成功的关键。但是，许多工厂劳动密集，自动化程度很低，日常文书工作充塞，物资浪费，工作协调差，设备陈旧，工艺落后。这些工厂如若不迅速改造，就不能生产空军需要并且买得起的日趋复杂的现代化装备。因此，空军非常重视新工艺的开发和应用。

制造技术和技术现代化计划

美国空军系统司令部的制造技术 (Man Tech) 和技术现代化 (Tech Mod) 计划都是为了帮助空军的重要合同承包商推进技术改造的。

两个计划的基本思想，是要使为美国空军制造的装备及其分系统和部件具有“适生产性”。这就是说，这些产品应能由设计开发顺利进入生产，能以高的效率和生产率制造和装配，同时其工作性能极好地符合设计要求，耐久性好，容易维护，售价不超过空军规定的上限。

这是很难办的一件事。前空军航空系统部司令、现已退役的麦克米兰少将在86年7月总结其意义说：

“我们能做的，没有比更有效地制造产品更重要的事了。我们对高性能新装备的采购十分强调其适生产性。”

“现在，我们同样用技术条件、成本和进度要求权衡产品的适生产性和可靠性与维护性，以确保购得的每架飞机符合任务要求。”

“我们的目的是要使有效的制造从一开始就成为装备采购过程的一个组成部分。”

美国空军在刚刚进入验证机发展阶段的先进战术战斗机 (ATF) 计划中，在保证装备适生产性方面做了大量工作。

ATF明确要求必须是空军买得起的。如果买不起，就不让飞，即使它的性能非常好。美国空军严格规定了ATF的单价上限——生产型成本不得超过1985财政年度美元3 500万。

怎样能以较低的成本制造出如此大的战斗机呢？最后的关键将是ATF的适生产性。

空军的其他装备同样有这个问题。如先进技术轰炸机 (ATB) 的主要承包商诺斯罗普、波音、通用电气和LTV公司沃特航空产品分公司，都是同美国空军一起推进这些公司生产设备及技术改造计划的参加者。

一批公司走在前面

许多公司在未加入空军资助的工厂现代化计划以前就已开始用大量投资添置新设备。他们的目的是力图根据现行合同制造出更优质的产品、获得更多的利润和为今后的竞争争取优势地位。在这方面，诺斯罗普公司堪称典范。它在5年前用2400万美元建成的独特的生产开

发中心（PDC），已经在F-5战斗机的生产中、海军F/A-18战斗机的合作生产中以及头3架F-20的生产中显示效益，为使美国空军和其他国家订购这些飞机起了促进作用。

根据诺斯罗普的要求，公司应能在收到对F-20的第一个订单后两年之内出产第一架作战飞机。F-20应体现公司PDC开发和改进的现代工艺的成果。按公司要求，采用这些工艺将可使第三架F-20的主要装配成本比第一架减少近一半，工时比第二架减少1/3。公司PDC的目的是解决妨碍生产率提高和影响成本降低的问题。

尽管有这些走在前面的公司，空军仍发放工业贷款用以刺激有关公司给制造技术的现代化和工业化应用投资。

空军系统司令部（AFSC）的Man Tech计划已执行将近20年，鼓励其承包商实现现代化特别是采用计算机集成制造（CIM），帮助他们向“未来工厂”的方向发展。

促使先进工艺技术应用生产则是Tech Mod计划的任务。这一计划现已成为美国国防部于1982年发起的三军现代化刺激计划（IMIP）的组成部分。Tech Mod计划是于1975年开始的。

许多公司积极参加“技术现代化”计划

在Tech Mod/IMIP计划中，航空系统部（ASD）和电子系统部最积极，其他部也参加。如军械部主持了与休斯、雷锡恩、洛克韦尔等承包商合作的几个Tech Mod计划，以提高导弹包括先进中程空对空导弹（AMRAAM）的制造工艺水平。AMRAAM的生产关键是适生产性问题。因此，休斯公司已与诺斯罗普公司签订一项Tech Mod转包合同，以开发AMRAAM分系统生产的先进工艺。诺斯罗普公司将在导弹陀螺的制造中采用激光器、计算机和机器人。

此外，还有洲际弹道导弹制造工艺现代化计划，全球定位系统导航卫星提高生产率和降低成本计划。十多家主要的电子系统制造商参加了电子系统部组织的技术现代化计划。

在空军资助的鼓励下，飞机工业和飞机发动机工业的大承包商以及电子工业的承包商于1987财政年度给ASD的Tech Mod计划的投资预计共达到16亿美元。参加这一计划的飞机公司有波音军用飞机公司（KC-135R）、通用动力公司（F-16）、麦道联合公司道格拉斯飞机公司（C-17）、洛克希德·乔治亚公司（C-5）、费尔柴尔德共和公司（T-46A）和洛克韦尔国际公司（B-1B），发动机公司有普惠公司、通电机公司、威廉斯国际公司、特里达因CAE公司和加雷特公司，其他主要公司有生产低空导航和夜间红外寻的（LANTIRN）系统的马丁·玛丽埃塔公司、B-1B防御用航空电子设备制造商伊顿公司的AIL分公司以及航空电子设备的大规模生产者国际电报电话（ITT）公司。

Man Tech和Tech Mod计划得到加强都是在80年代初期。那时，已经明显地看到美国国防工业基础已变得薄弱和普遍陈旧，以至几乎没有应付重要武器系统的战时生产能力。工业基础受到侵蚀特别明显地表现在诸如锻铸件工业的转包商和供应商的水平上。许多第二、三流的公司脱离了国防工业的任务。剩下的公司工艺落后，接受定货太多。

空军装备特别是飞机和发动机生产薄弱环节和大量积压定货现象普遍存在。

促进转包公司工艺技术现代化的重大意义

因此，美国空军开始了解转包商和供应商的短处和需求，帮助他们推进工厂现代化，而不

是像过去那样让主承包商独自去解决他们的问题。例如，现在共有27家转包公司参加了ASD与通用动力公司的F-16 Tech Mod计划。参加ASD与洛克韦尔、通用电气、普惠公司的Tech Mod计划的转包商也在增多。

但是，ASD对转包商参加Tech Mod计划的安排超出了与具体武器系统如F-16及B-1B等有紧密联系的计划的范围。ASD现已成立工业基础部，以便把这一部分工作纳入广泛工业基础上的计划。帮助提高转包商工艺技术水平的重要意义在于，转包商的产品在武器系统成本中有时多达60%。但是，先进工艺技术没有渗入转包公司，他们的工艺技术水平不如主承包公司。因此必须推进转包公司的技术改造，以确保武器装备所有关键零部件的质量和建立高技术国防工业基础。如果不这样做，就不可能制造出先进的装备。

例如，铝合金精密锻件行业对ASD的B-1B Tech Mod计划起到很大推动作用。这个行业由于技术改造的结果，把能够生产的精锻件尺寸加大了一倍（由过去的200英寸²增加到400英寸²），从而保证了B-1B的预定生产成本和生产进度。大锻件生产准备周期长，历来是一个大问题。自从锻造行业采用CAD/CAM等先进技术后，这一周期已大大缩短，最多的缩短了75%。

1982年开始的推进装置技术现代化（“Propulsion TechMod”）计划也十分重视锻铸工艺现代化问题。据称，ASD发动机合同金额的一半是用于转包商和供应商的。将转包或供应商生产成本降低1美元可换来整系统制造成本降低5~6美元。

在推进装置技术现代化计划名下，美国空军与GE、P&W、威廉斯国际、特里达因及加雷特等公司签订的合同总金额为13220万美元。在今后5年内，包括许多转包公司在内，这些计划的实施将可望给空军和合同商带来75000万美元的节约（空军采购价格降低，合同商利润增加）。如GE公司已从B-1B轰炸机F101发动机生产Tech Mod计划获得的节约中提取480万美元偿还空军，而且这仅是第一期付款。GE估计，由于Tech Mod计划带来的革新，1987财政年度计划生产的124台F101发动机每台将可能降低成本39000美元。

成本降低是真正的节约

上述事实均说明，Tech Mod计划带来的节约是真正的节约，即直接降低了多年发动机生产合同的原固定价格。

GE飞机发动机集团推行的Tech Mod计划可望最终带来4亿美元节约，空军给GE Tech Mod计划提供的资金总额为5300万美元。GE及参加其计划的合同商在今后5年预计共投资3亿美元。

第一个350万美元的推进装置Tech Mod计划合同，是1982年同P&W公司签订的。根据此合同，P&W和它的三家转包公司分析了发动机和发动机零部件生产工艺，为了改进工艺，采取了采用现代设备和工艺技术特别是推行自动化等许多措施。此后签订的补充合同规定，空军给P&W的Tech Mod计划的投资共增加到1200万美元以上，用以资助P&W公司发展用于生产涡轮轮盘和压气机盘的CAM及其他先进技术。

四年来，参加Tech Mod计划的P&W公司的转包公司增加了一倍多。现在共有7家转包公司（Precision Castparts公司，CYCLOPS公司的CYTEMP分公司，EX-Cell-0公司的航宇公司，Shultz钢公司，Duraclayne Technologies，Howmet公司，Fansteel精密板金分公司）。它们的产品都是航空发动机的重要材料、毛坯或零件，包括钛合金，镍合金，钴合金，

精密铸件，压气机转子和静子叶片，风扇叶片，锻件，挤压件，整体无缝环形件，叶型铸件，涡轮静子零件等等。

上述转包公司中有一些还参加了提高各类巡航导弹制造工艺水平的Tech Mod计划。

8年来ASD给Tech Mod计划的投资总计达到约35 000万美元。据估计，由于实施这些计划的结果，在未来10年内将可节省或减免成本费30亿美元。

现在ASD资助的Tech Mod计划共有81家制造公司参加（主承包公司15家，转包公司66家）。至1987年中期，参加的公司可增加到100家以上。

经济效益激增

Tech Mod计划取得的经济效益是巨大的。在这方面首推8年前开始的F-16生产技术现代化计划。为此计划空军和通用动力公司分别投资2 500万和1亿美元。

F-16计划的27家转包公司共有100多个项目，总投资近4亿美元。实现这些项目可望带来的节约达10亿美元左右。

空军预期可节省35 000万美元以上。同时，军队其他部门和民用工业也从技术现代化计划中得到好处，各个产品的生产技术现代化起到了相互转移和促进的作用。例如，参加通用动力公司F-16技术现代化计划（现称为F-16工业技术现代化<ITM>计划）的转包公司也为其他部门承制硬件，向他们提供在该项计划中研制的新机床设备及现代化工艺技术，如自动切边单元、摄影测量、自动化物料搬运、机器人钻孔、激光切割等等。阿芙可飞机结构公司参加了洛克希德-乔治亚公司C-5A早期阶段的机翼现代化计划。根据计划，阿芙可研制了密封胶涂敷系统和电磁夹紧装置。洛克希德的发明包括钢刷去毛刺技术、声音数据输入系统和DNC/CNC设备。在该计划中获得的技术还用于C-130、C-5B和B-1B的生产。

航空系统部（ASD）B-1B计划办公室制造与质量保证经理说，参加ASD计划的每一家大承包公司都有了一座“未来工厂”，如洛克韦尔的飞机机体一体化铆装厂，沃特的后机身和后机身装配厂，阿芙科的机翼厂，GE的发动机厂，TRW的铸造叶片厂，Precision Castparts的铸件厂，AIL的防御航空电子设备厂，SEDCO Systems的防御航空电子设备元器件厂，以及Cleveland Pneumatic的起落架厂等等。

这些现代化工厂对保证B-1B生产进度和额定成本起了很大作用。在这方面，作用尤其显著的是阿芙可公司。阿芙可公司用于B-1B机翼从未有过的大分段件成型的新热压罐技术，对B-1B的生产起到了意想不到的保证作用。如果没有这项技术，阿芙可大概不可能跟上月产4架B-1B的进度。

结构件的精密高效加工技术特别是洛克韦尔公司在空军资助下建立的当今世界上最大的现代化机械加工车间，也在B-1B生产中起了重要作用。

电子系统部工厂现代化计划

空军系统司令部电子系统部（ESD）通过工厂现代化计划（ESD称为“Get Price”计划）向十多家公司投资约3 000万美元。这些公司中有波音、GTE、马格奈沃克斯、韦斯汀豪斯、洛克韦尔·柯林斯、贝尔航宇、辛格·基尔福特、哈泽尔延、GE、雷锡恩等等。ESD估计，计划的实行将为参加的承包公司节约生产费用10亿美元以上。

与计划相配合，各公司添置新设备，改造工厂。为了发挥ESD资助投资的效益，韦斯汀

豪斯公司在接受投资之前已开始改善其防御电子设备中心(DEC)产品质量和提高其生产率的开拓计划。公司相信,通过采用CAD、机器人和物料自动搬运等技术将使这个中心进一步现代化。空军要求电子设备结构更紧凑,体积更小。例如,韦斯汀豪斯公司生产的B-1B雷达和F-16的新型雷达,均比该公司过去的雷达功率大1倍,而体积小一半。

韦斯汀豪斯公司把ESD的投资和公司自己多得多的投资重点用于公司在得克萨斯州的电子装配厂的技术改造,在该厂发展和采用新的印刷电路制造工艺和测试技术。公司把先进的传感技术、激光器、机器人和人工智能结合起来发展工作站,使工作站能生产全部经过测试和装配的电路板。公司希望,使用这些工作站将提高电路板装配过程生产率800%,增加电路板初始收益1倍,同时大大缩短制造周期。得益于韦斯汀豪斯公司多个制造现代化项目的主要系统加在一起意味着美国空军数十亿美元的投资。其中除F-16和B-1B的雷达外,还包括E-3A机载预警和控制系统雷达及战斗机的电子对抗设备吊舱。

制造技术计划

空军系统司令部由航空系统部材料研究所管理的“制造技术”(Man Tech)计划,对所有“技术现代化”(Tech Mod)计划项目起到加强基础的作用。Man Tech计划合同总值约7000万美元,用以开发航空航天工业普遍需要的、最有前途的各种新材料和新工艺。此计划经常与Tech Mod计划互为补充、互相促进。Tech Mod计划需要的工艺技术有时是实现两计划相关项目的结果,有时则全部或部分地是Man Tech计划的要求促进的。

Man Tech计划的重点包括复合材料的加工、生产和一体化,粉末冶金,质量保证,电子设备组装,数字和微波电子装置,自动化批量制造,关键器材封存技术等等。在所有这些计划中,计算机集成制造(CIM)是关键或普遍适用的。现在Man Tech计划在CIM方面的工作量有1/4是软件项目,而在80年代初全部只同硬件有关。

CIM的主要目标是减少劳动量,降低劳动成本。

主要的Man Tech计划是板金和先进加工工艺发展计划。如得克萨斯州通用动力公司的沃思堡工厂将于87年完成先进加工系统(AMS)的联机。这个系统将与通用动力公司的其他工厂技术相结合,成为公司向无文件化、电子计算机管理工厂过渡的重要组成部分。它可提供自动化的飞机零部件柔性加工手段,使其生产率比现在高得多,而成本比现在低得多。

作为AMS计划的一部分,通用动力公司还将建造一个柔性制造系统(FMS),用以承担F-16飞机2000多个机加件中100个机加件的加工任务。此FMS采用有线导引车和机器人,将是完全无人看管的。

通用动力公司沃思堡新厂计划87年1月开始加入生产线。生产现场控制系统将于6个月后将首先在通用电气公司的威尔明顿厂(北卡罗来纳州)生产线上采用——这是Man Tech主管人员想通过Man Tech计划争取多公司合作成果的一个范例。

宾夕法尼亚州匹兹堡的Dravo Automation Sciences公司和加利福尼亚州丘拉维斯塔的Rohr工业公司也参加了Mantech计划的先进加工技术发展工作。这两家公司及其他二次和三次转包公司承担空军武器系统近2/3机加件的生产任务。

沃特航空产品分公司站在机械加工工业革新者的最前列。它在得克萨斯州达拉斯的柔性加工单元(FMC)已于两年前提产,是世界有名的最大、最先进的计算机控制加工设施。沃特公司的FMC加工B-1B的541种零件,约占该公司承担的每架B-1B后机身和后中机身2000

种机加件的1/4左右。FMC广泛采用了机器人。

正如Man Tech计划所期望的,还有许多公司在推进自己的“未来工厂”计划。如TRW公司电子设备集团和马丁·玛丽埃塔奥兰多航宇公司宣布了巨大的发展计划。

TRW公司将在今后三年内投资5000万美元在圣地亚哥建造先进的航空电子设备制造厂——一座采用CIM的高度自动化工厂。这个厂将生产通讯/导航/识别综合航空电子系统(ICNIA)和综合电子对抗系统(INEWS)。

根据一项Man Tech合同,现在正顺利推行“低空导航和夜间红外寻的”(LANTIRN)Tec hMod计划的马丁·玛丽埃塔公司已被选定担任一个工业小组的领导单位,这个工业小组将选取能够提高先进军用电子设备产量和可靠性的工艺技术和设备。工作重点将放在甚高速集成电路(VHSIC)及其印刷电路板上。

ICNIA、INEWS和VHSIC三项计划均对空军先进战术战斗机(ATF)的发展和生产具有极重要的意义。ATF合同的吸引力,对许多公司的制造现代化计划是主要的推动力。

ATF机体将大量采用复合材料。空军鼓励通过Man Tech计划发展复合材料新工艺。

1985年10月,根据一项公司分担890万美元费用的合同,ASD材料研究所与麦道公司决定在密苏里州的该公司圣路易斯工厂合作建立综合复合材料中心(ICC)。麦道公司将利用广泛自动化的ICC生产空军F-15、海军F/A-18和AV-8B飞机的复合材料件。该中心要到80年代末才全部投产,那时将正好开始生产ATF(麦道希望至少能承担部分生产任务)。

周倜武 译自Air Force Magazine, Oct. 1986

复杂形状飞机零件与胎具自动化加工

——设计传控制造系统计划

John R. Gilbertson (生产现代化规划组成员)

Richard John Ricci (自动化开发部主任工程师)

洛克希德航空系统公司-伯班克

工厂自动化的首要目标是把工程设计数据库和计算机辅助技术与工艺综合成一个统一的一揽子系统。自动化制造,具体地说,把信息技术运用到设计、生产准备、零件加工与装配的全过程也是迎接先进战术战斗机(ATF)全尺寸发展(FSD)与生产双重计划目标挑战的关键所在。我们的目的是通过建立综合化的工装与工件设计加工系统大幅度地提高生产效率、改进产品质量、缩短生产准备周期并扩大生产柔性。

由于创造性的运用信息技术的结果,计算机辅助制造(CAM)已成为现实。应用计算机辅助设计语言,如CADAM计算机图象学扩大功能设计制造语言系统(Computer-graphics Augmented Design and Manufacturing System)自动建立起来的工程数据库可以用来生成数控(NC)机床加工程序,其中最典型的是数控带/软盘或分布式数控(DNC)文件。这个数据库随后又可以用来检验数控加工出来的零件或工装。实际上,设计数据最终必须去控制、安排或验证现代化生产企业中多种职能和过程,其中包括拟定材料单,编制能源劳动力需求计划,制定生产计划,数控机床编程和自动检验。

设计传控制造(DDM)包括着广泛的集成制造现代化计划内容。本文只谈其中之一,因此,可以给它一个更具体的标题:复杂飞机零件与胎具的自动化加工——设计传控制造计划。这个计划在下列两个方面支持了我们的集成制造环境目标:

简化并自动化了制造复杂飞机零件及其胎具的方法,使生产过程直接用工程设计数据(产品定义数据)控制;

生产用工装和零件的设计、制造与检验用逻辑上综合化了的单一的数据库做依据。

历史的回顾

飞机制造一直是一种高度技术密集,高度劳动密集的行业。今天,对于飞机制造工业来说,在如此众多的关键技术领域雇佣和培训足够数量能适应工作需要的人员已越来越困难,越来越昂贵。为了弥补熟练劳动力的不足,为了降低总生产成本以求得自己的产品在飞机市场上具有更大的竞争力,我们转向采用自动化的生产方法。

本世纪之初,在飞机发展的最初日子里,驾机飞行还是冒险事业的时候,技艺高超的飞行员驾驶的是用木料和麻布制做的构架式飞机。这样的技术在飞机发展的头30年已足符应用,并且产生了像洛克希德“织女星”那样的性能优异的飞机。

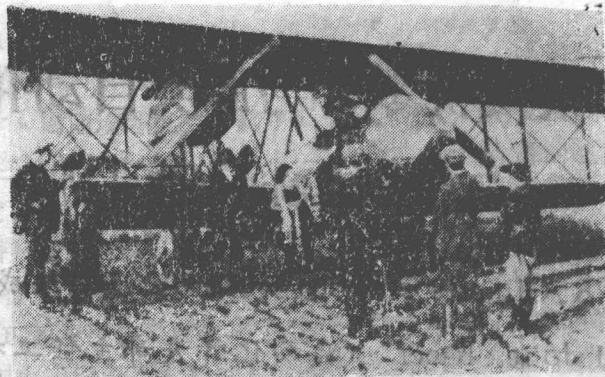


图 2-1 1918年生产的洛克希德 F-1A 双发运输机。这是30年代典型的蒙布张线木构架式飞机

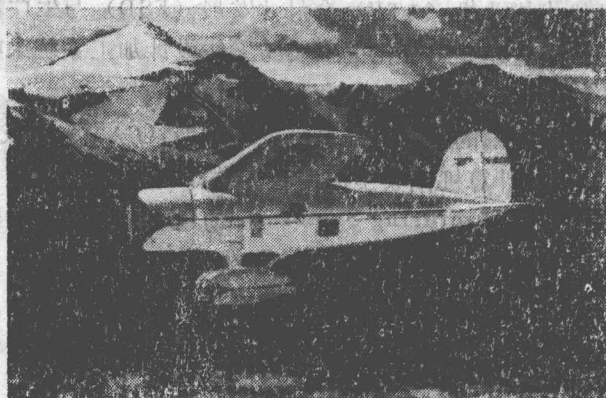


图 2-2 1927年生产的洛克希德“织女星”代表着发展到顶端的木结构飞机。并已有流线型张臂单翼硬壳式飞机的雏形

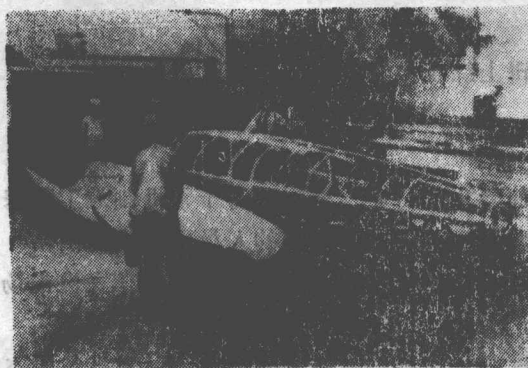


图 2-3-1 洛克希德“织女星”飞机的机身制造



图 2-3-2 洛克希德“织女星”飞机的机翼制造

随着飞机性能要求日益苛刻，木料逐步让位给强度更高的金属材料，如铝和钢。第二次世界大战中的杰出战斗机P-38“闪电”是典型的金属硬壳式飞机（图2-4-1）。后来，到本世纪50和60年代，随着像SR-71“黑鸟”那样高速飞机的出现，飞机的材质又开始改用高温材料钛（图2-5）。



图 2-4-1 洛克希德 P-38“闪电”战斗机，以铝合金为主要结构材料



图 2-4-2 洛克希德 L-1011“三星”干线客机，以铝合金为主要结构材料



图 2-5 洛克希德 SR-71“黑鸟”超音速高空侦察机，因其在飞行时处在高温环境中，主要采用钛合金做结构材料

今天,我们正在进入复合材料时代,这又一次引起了制造工艺的革命(图2-6)。在此演变过程中,需要高度技巧,高度熟练的各类人员加工、制作、装配我们的高级、复杂的产品。近些年来,由于对他们的技术水平要求日益提高,寻求、培养和保留这样的人员越来越困难。



图 2-6-1 复合材料铺层成形



图 2-6-2 复合材料缠绕成形

制造的复杂性

飞机已成为当今最复杂的产品之一,制造飞机的复杂性是产生熟练人员匮乏问题的根源。现代的飞机要由多种零、部件构成。洛克希德C-5B“银河”和洛克希德L-1011“三星”都是由数十万个零件组装起来的。制造如此复杂的飞机需要多方面的设计与计划工作,和第一流的不同功能之间的协调工作。为了辅助这些复杂的飞机零件及其工装的生产,航空工业开发了许多在不同部门之间生成与交换产品定义数据的复杂软件系统。

工程制图系统是建立在数据交换程序基础上的表面加工数据与公差要求数据语言系统。它能准确地生成描述每个零件的数据,而这些零件最终又能准确地组合成完整的产品。从有飞机设计之日起一直到60年代中期,工程设计图就是画在纸上,由设计人员和制图员在图板上完成。因此,工程图只能是二维的。由于飞机结构复杂程度的增加,发展了在二维的图板上绘制三维复杂零件的先进方法。然而,随着设计人员所设计的三维零件图日益复杂,生产车间遇到了越来越大的困难,不但缺乏能加工出满足技术要求的零件的技术工人,并且缺乏能看懂图纸的工人。最终导致零件的加工成本和工时的提高。此外,由于图纸直观性差,需要多次试切,还需要制做昂贵的全尺寸模型以准确的模拟结构设计。

到60年代中期,终于开发出了新的语言系统辅助设计人员,最后也辅助生产车间,解决了复杂飞机零件的设计问题。随着功能强大的高速计算机的发展,出现了计算机辅助工程(CAE)技术,最后出现了计算机图象技术。在洛克希德公司,创建了功能强大的计算机图

象学设计系统, CADAM系统, 并交付工程部门与制造部门使用。最初, 计算机图象学系统只用于飞机设计部门提高工程设计效率和二维制图的精度。不久, 其应用迅速扩大到生成简单零件的数控数据。事实上, 这个早期的CADAM系统在L-1011, C-5 和反潜机S-3 (海盗) 的机械加工生产中得到广泛的应用。例如, S-3 的主承力框, L-1011的机翼凸缘梁和C-5 的机身主梁都是用CADAM系统生成的数控带控制自动加工的。采用这种方法加工的不下数百件。早期CADAM系统的采用使平板型零件的加工工时和成本大幅度降低。

在这个时期, 双曲面或复杂表面形状飞机零件的自动加工自然是一个难题。开发能解决更复杂的三维绘图问题的计算机图象学语言软件, 在三维图象学边界表达方法能使计算机生成气动外形定义之前还要再等10年。70年代中期, 洛克希德公司开发了三维曲面系统, 工程部门应用这个系统在计算机上生成三维打样图形。这些用计算机生成的打样图形(即模线)或飞机表面外形的描绘图, 由一系列描绘曲面片边界的三维曲线构成。然后又用曲面片, 通过在50年代由孔斯创造的特殊数学表达形式和一系列的调和函数, 描绘包含所有曲面片定义边界的完整的飞机外形曲面。CADAM系统使用了这一套方法便为用计算机定义完整, 光顺的飞机外形曲面, 并在计算机内储存这些定义数据奠定了基础。

熟练技术工人的严重短缺、日益增加的飞机制造复杂性、成本问题与计算机图象学的诞生, 这几个因素的联合推动, 导致DDM计划的发展。

未采用DDM系统以前的制造技术

在引入DDM系统之前, 制造复杂曲面零件与工装的常规方法由如下的复杂、费时的程序组成(图2-7)。

制造石膏外形标准样件 用CADAM系统的三维模线绘制软件, 由工程部门生成描绘被加工零件或工装表面的计算机模型, 并把它们储存在CADAM系统内供以后检索。接到制造任务以后, 工装设计人员检索计算机模型, 通过应用CADAM模线绘制软件, 进行一系列的询问程序, 自动生成一系列的沿被加工工作表面的横切面外形(图2-8)。所得到横切面数据也存入CADAM系统中, 并根据这些数据制造横切面的全尺寸聚酯硬拷贝图。然后, 将聚酯硬拷贝图送到轮廓仿形铣床上, 通过光学扫描装置, 硬拷贝图控制样板铣削头制造出一系列的横切面金属样板, 将这些金属样板在胎架上按其空间关系组装空间构架样板(图2-9)。各切面样板在胎架里准确定位并用钢丝牢固固定之后, 所形成的空间样板用金属丝网细心地包覆起来。丝网上再涂覆一层石膏, 并用手工将石膏铺开, 形成光顺的空间曲面。空间曲面要用手修抹使之尽可能的与设计外形一致。

这是非常耗费时间的工作。完全准确地达到设计外形曲面的程度不是不可能, 就是非常困难。然而, 不管石膏模型(表面标准样件)准确与否; 它都是将要制造的飞机零件外形的代表, 代替工程图纸成为零件外形的尺寸依据。利用这个依据, 工装工程师开始制造实际飞机零件或其工装。

制造工艺装备 石膏表面标准样件虽然代表飞机的表面外形, 但工装工程师常常需要与飞机表面外形不同的工装, 使按此工装成形的钣金件外形与飞机理论外形一致。为了获得经过蒙皮或按其他结构要求补偿的工装外形, 工装工程师必须进行一系列的手工塑造移形工作, 形成玻璃纤维模, 最后做成达到准确补偿外形的模型或型板。直到现在才可以开始制造实用的生产模具。上述最后得到的模型或型板送到电液仿形铣床上做为靠模加工金属模胎或卡

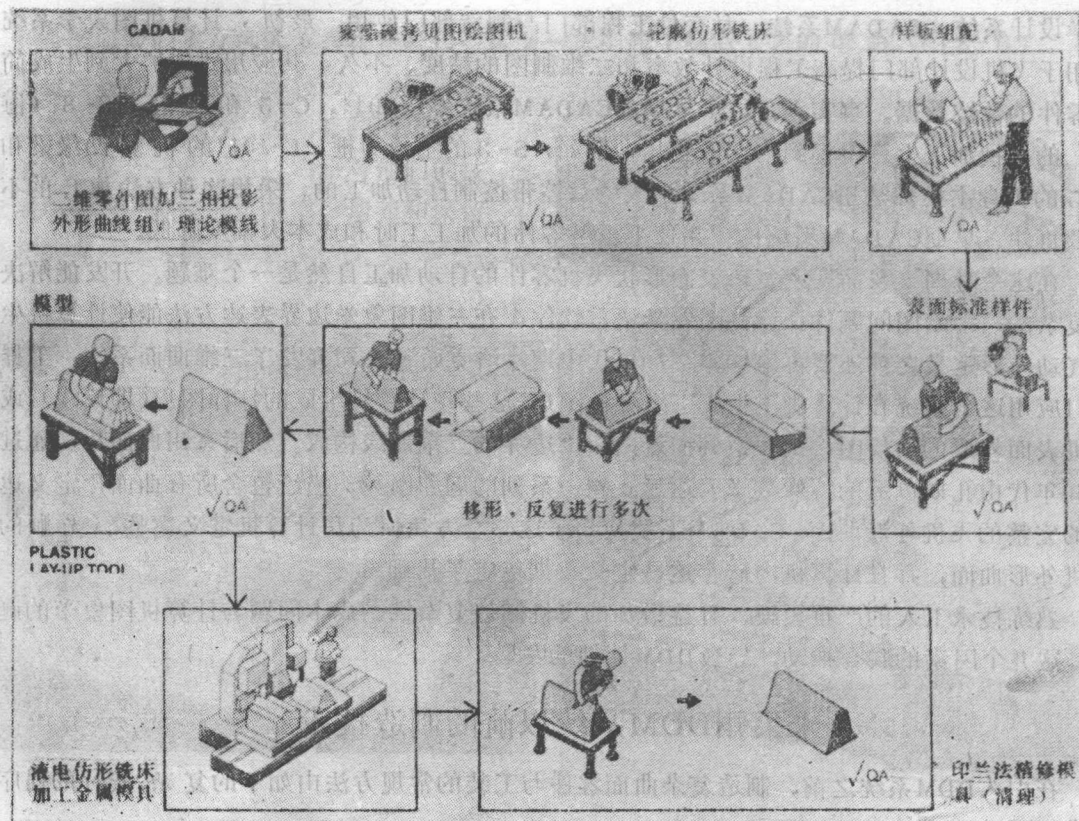


图 2-7 采用石膏表面标准样件方法制造零件与工装的流程图

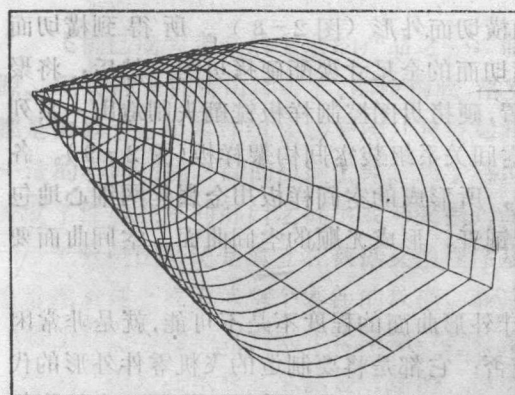


图 2-8 机头罩CADAM理论模线硬拷贝图



图 2-9 在空间构架样板上手工铺层以制造 L-1011 机头的石膏表面标准样件

板。最后再采用“印兰”法手工精修金属模胎或卡板。“印兰”法是为了保证外形的准确而采用的一种非常费工又需要技术的加工方法。这种方法要使用与所要求的形状相对合的样板。样板上涂上印兰剂，然后用它与被仿形加工出的模胎或卡板对合，检验它们的对合精

度。模胎土或卡板上不符合外形要求的部位将残留下印兰剂,然后将带兰色的部位锉修掉。如此反复进行直到完全达到规定的对合精度为止。这样终于制成了可以用来成形飞机零件的胎具。

质量控制 在整个模具制造过程中,质量保证部门(QA)要不断地进行工作精度检验,石膏表面标准样件尺寸稳定性的检验,长期保存与使用的耐用度检验,等等。综上所述,可以看到,过去制造复杂形状飞机零件和工装的方法是极其费工的,并且容易产生精度误差,而误差的纠正只能依靠操作者的手工技巧。此外,采用这种方法把将几何形状转化为数字形式的优点也基本上丧失殆尽。仍然需要向制造部门发放大量耗费劳力的常规图纸。零件加工编程人员还要用这些图纸再设计符合他们数控系统的零件几何外形,编制数控加工程序。

1987年复杂零件与工装加工方法发生了革命性的变化。由于计算机图象学语言系统的新发展,使双曲面外形零件的加工可以直接用计算机存储的设计数据控制。新的CADAM系统可以自动生成三维外形图,用这些三维外形图又可以自动生成三坐标与五坐标数控加工数据。这套新的CADAM系统包括了新的NC II语言系统功能,并综合进了LASC-Burbank(洛克希德航空系统公司—伯班克)公司专利的理论外形拟合(Net Surface)软件系统,能半自动地从表面外形模线(Surface Loft)软件系统派生出数控加工程序。这样,CADAM系统已具备了最先进的工装制造功能,即最简化、最自动化、最集成化的功能,能生成三维外形图并将它们的数据存储起来供随后检索。

新的更完整数据库能将设计数据传送到制造部门进行数控加工,省去了或者说自动化了大量过去需要人去进行的程序。进而又导致加工出更精确的飞机零件与工装,不但很少发生装配协调问题,大幅度降低制造成本,并且实际上消灭了废品。

新的制造方法

MAC与过去的方法相比,新方法大大简化。它也是由工程部门生成三维曲面模线开始,但相同之处只到此为止。以后的过程时间大为缩短,需要的工作量大为降低,并使精度与复制精度显著提高(图2-10)。

数控编程人员应用新创建的“数控区域铣削”(NC Regional Milling)软件,在CADAM终端用外形模线数据,生成刀具补偿铣削轨迹曲线,去控制三坐标和五坐标铣床的铣刀刀尖运动轨迹。补偿外形曲线是由计算机生成的三维空间曲线,称为样条曲线,它与被加工表面偏置一个事先规定好的尺寸,其精度达到1/1000英寸。样条曲线分两步加工:第一步粗切,机床切除大量的材料,造成切削刀具与被切削材料的振动,常常导致工件表面啃伤。然而,由于第一步切削还留有一点余量,刀具与工件的振动不会带来不利后果。第二步为精切,正好加工到表面尺寸,目的是切去余下的少量材料,因此不会产生粗切所带来的振动问题。

补偿外形曲线以前是用APT手工编程语言由人编程的,非常费工与困难。而且,除非试切出一个真实尺寸的样件,否则不可能得到计算结果准确度的直观反馈。因此,手工编程非常昂贵并耗费时间。采用新的方法以后,曲线可以在数控编程人员的操纵下自动生成。

生成补偿外形曲线的程序和计算非常繁琐复杂,需要大量使用计算机。每条曲线常常做几千次运算。因此,功能强大的计算机成了采用DDM系统的关键。然而,由于采用了经CADAM公司改进过的NC II系统,用户可以生成刀具的选取、进给速度或切削速度,以及进刀与退