

飞机制造技术丛书

CAD/CAM 数据管理技术

唐荣锡 徐秋元 唐瑞润

编 著



国防工业出版社出版

飞机制造技术丛书

CAD/CAM数据管理技术

唐荣锡 徐秋元 唐瑞润 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书着重介绍机械产品 CAD/CAM 系统中的数据管理技术。第一章说明从产品设计到制造全过程中涉及的数据范围、数据管理和处理准则。第二章具体介绍工程图和三维立体模型的存储格式。第三章介绍数据文件的应用,以国内实际应用的存储格式为例,说明飞机理论外形、剖面外形以及结构图的数据文件组织形式。第四章介绍数据库技术,重点剖析国内飞机工厂和高等院校试用过的两类不同的数据库管理系统以及几何模型的建立步骤。

本书可作为高等院校本科和研究生的教学参考书,也可供工厂、设计所、研究所的有关技术人员参考。

飞机制造技术丛书 CAD/CAM 数据管理技术

唐荣锡 徐秋元 唐瑞润 编著

*

国防工业出版社出版、发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张4³/₄ 120 千字

1990年1月第一次印刷 1990年1月第一次印刷 印数: 0,001—2,000册

ISBN 7-118-00451-0/V39 定价: 3.00元

中国航空学会
《飞机制造技术丛书》编委会

主 编：罗时大

副主编：马业广

编 委：董 孝 程宝莱 杨彭基 屠德彰 陆颂善 唐荣锡
黄道宏 郭兴中 戴世然 董德馨 孙肇卿 武厚忠

责任编辑：余发棣

秘书组：梁国志 张士霖 杨奇光

前 言

《飞机制造技术丛书》是中国航空学会组织编写的。编委会的委员们都是中国飞机制造技术专业的学者和专家，他们毕生从事飞机的生产、研究、教学、管理工作，有丰富的实践经验，在此基础上组织编写了这套丛书。

丛书编写目的是：既要总结我国三十多年来飞机制造的经验，又要有选择地吸取国外的飞机制造中的先进技术，总结出一套具有中国特色的飞机制造的基本经验，为总结经验、积累资料、培育人才、发展新技术打下基础。可以说，这是一项基础工程建设，具有重大的意义。

丛书共有 17 个分册，本书是丛书中的一个分册。

在 CAD/CAM 系统的研制和应用中，数据存储管理起着长远的全局性影响。一二千年前的历史文献，至今依然不难理解，这要归功于我国的文字、语法体系基本保持稳定。近二三百年来使用现代形式的工程图，由于制订了国家标准和国际标准，所以在归档和交流中同样不感到困难。但是在计算机系统中，用磁带和磁盘记录的图形、文字信息，如果没有明确的编码和存储格式说明，就将使人一筹莫展，难以破译。

随着 CAD/CAM 技术应用的深入，各个单位积累的产品设计、制造、管理数据将迅速增长。计算机硬件更新很快，往往三、五年内就有明显变化。应用程序的寿命虽然相对较长，但仍不免有经常的版本更新和变动。而企业内存档的数据必须长期保存和持续使用，不受硬件和软件更新的影响。美国洛克希德飞机公司研制的 CADAM 系统是 IBM 主机上最早发行的商品化绘图软件，国外很多飞机、汽车、工程公司用它设计了几百万张以至几千万张产品图和施工图，存放在海量存储器和磁带里。与此相平行，

为了管理和使用上的方便,美国有些部门不惜花费几千万美元的代价,将原有的大量常规图纸转换成数字化形式,存入某一CAD系统中。因此,国外某些公司在总结CAD/CAM系统的选型标准时,难怪将数据的存储、传输和交换能力作为最关键的因素。而一开始,当人们还未使用CAD/CAM技术,在选购系统时关心的往往是某些新颖的独特功能,如三维立体造型、真实感动态显示等。随后,当系统投入使用一、二年后,发现生产中真正大量应用的是二维绘图。系统的主要矛盾转入能否方便地扩展、联网和通信。只有三、五年后,当生产中积累的数据量增大时,数据库建设的矛盾才突出出来。这时如果发现问题,要想纠正,已经很困难。一个CAD系统应用越久,存储的数据量越大,就越难下决心改用其他不兼容的新系统。

从CAD/CAM系统的研制角度看,数据的存储管理方法同样十分重要。它的妥善解决影响到算法效率、系统的运行速度以及各个功能模块之间的集成度。

计算机技术在迅速发展,数据的存储管理方式也在相应随之改变。回想六十年代末到七十年代初,我们都习惯于将程序和数据穿成纸带或卡片,由个人负责保管。以后,转入使用文件,利用计算机工厂提供的文件管理系统存储程序和数据,感到大大前进了一步。现在,又出现了数据库技术,进一步方便了数据的管理和共享。在我国,国家级的地形地貌数据库、宏观经济综合数据库等等相继建立,供国内统一检索使用,使得信息成为国家资源的一个重要组成部分。

CAD/CAM技术本身也在发展。最初,人们用交互图形显示技术模拟传统的机械制图过程,用CAD系统绘制工程图,明显提高了效率,对此已经感到十分满意。这时所关心的数据管理技术是怎样用计算机存储图纸。随后,逐渐觉得二维图纸不能充分反映机械产品的三维几何本质,出现了各种三维几何造型技术。于是,在存储管理上需要兼顾三维模型和二维图纸两种不同类型的几何数据,处理好两者之间有分有合的主从关系。除了几

据,生产中还需要查阅产品的各种技术规范,如材料品种、热处理要求、表面处理以及特种检验要求等。有时还希望了解某些方面的管理数据,如标准件的库存量、供销关系等。于是在零件的几何属性之外,还需要存储非几何属性。

事务管理的数据库技术相对比较单纯,已经出现了很多成功的商品化管理系统,积累了丰富的使用经验。相形之下,CAD/CAM数据库技术还不够成熟。一个时期内生产中提出的某些要求刚得到满足,又出现了更高层次的新要求。这就是集成化、智能化和标准化。

集成化要求CAD/CAM系统的功能向前延伸到包含产品设计的技术规范制定、多种设计方案比较、主要参数优化等内容,向后延伸到产品的市场分析、远景规划、生产计划管理等。智能化要求将知识工程引入CAD/CAM系统,与数据库相并列,建立知识库和方法库。数据库系统要能了解它所存储数据的含义,对数据具备一定的解释、演绎、正确性检查等能力。标准化要求各个CAD/CAM系统之间可以相互交换完整的产品定义数据,方便地组织国际间合作。很明显,所有这些问题的圆满解决需要长时间的努力。

与上述发展情况相适应,本书内容分为三个层次。第一个层次介绍国内外目前某些较定型的解决方案,这就是使用文件系统存储图纸和三维几何模型。第二个层次介绍国内在几何数据库建设方面所作的某些尝试。第三个层次是国外的某些设想和试验工作动向。随着层次的提高,问题的难度增加,方案的成熟程度也相应下降。

本书共有四章。第一章介绍制造工业中的信息工程,从广泛的角度说明一般机械产品从设计到制造全过程中涉及的数据范围。由于计算机集成生产系统的研制已经列入我国的高技术发展计划,书中简要引用了欧洲信息技术战略发展计划中制订的有关这一方面的数据管理、处理和通信基本准则。第二章具体介绍工程图和三维立体模型的存储格式。二维图引用英国DOGS和美

国 CADAM、MINNDRAFT 系统中的部分内容作为例子。三维立体造型介绍边界表示法的常用数据结构,附有 C 语言的变量定义作为说明。最后介绍国际上正在着手进行的产品定义数据标准化的某些动向以及美国制订的图形交换格式。第三章介绍数据文件的应用。以国内飞机公司实际使用的存储格式为例,说明飞机理论外形、剖面外形以及结构图的数据文件组织形式。第四章介绍数据库技术,内容包括 CAD/CAM 数据库的特点和要求,国内实际试作的两个几何数据库实例,以及国外的某些发展动向。国内的第一个实例取自××飞机公司试用西门子 7760 机 UDS 网状数据库管理系统存储飞机外形数据。这里举例说明了数据模型的具体建立方法。第二个实例取自用 TORNADO 系统存贮三维立体模型。

本书第一、二章由北京航空学院唐荣锡执笔;第三章由西安飞机公司唐瑞润执笔;第四章由西北工业大学徐秋元执笔。本书由唐荣锡教授担任主编。西北工业大学杨彭基教授审阅。

由于数据库技术的难度大,涉及范围广,也由于计算机技术的发展快,国内对 CAD/CAM 技术的应用实践还正在逐步深入,本书只能起抛砖引玉的作用,提供某些素材,以供关心这方面工作的同志参考。

编 者

目 录

第一章 飞机制造中的信息工程

一、产品的设计、工艺和生产管理数据	1
二、制造资源计划	3
三、计算机集成生产系统	5
四、CIMS 的数据管理策略	11
五、CIMS 的数据处理策略	15
六、CIMS 的通信策略	20
七、创新、自动化、集成化	22

第二章 产品的数字化表示和存储格式的标准化

一、产品的几何模型	26
二、工程图的存储层次	29
三、图的存储格式	34
四、三维立体模型的数据存储	42
五、图形交换格式和产品定义数据的标准化	54

第三章 采用文件系统的 CAD/CAM 数据管理

一、几何数据在生产中的应用	65
二、文件组织的基本方法	68
三、几何数据文件的分类	73
四、数据文件的存储格式	75

第四章 CAD/CAM 系统的数据库技术

一、CAD/CAM 数据库概述	83
二、在通用网状数据库管理系统下建立CAD数据库	90
三、面向CAD/CAM 的数据库管理系统——TORNADO	107
四、基于RDBMS的CAD数据库——IPIP	129
五、CAD/CAM 数据库的其他新进展	138

第一章 飞机制造中的信息工程

一、产品的设计、工艺和生产管理数据

现代化的生产要求采用现代化的管理方法，尤其是航空产品由于结构复杂、研制周期长、技术难度大、协作面广，更应如此。为了研制新一代战斗机、民用机或航天飞机，需要解决气动布局、发动机选型、主动控制技术、导航、机载计算机及数据总线配置、驾驶舱信息综合显示、生命保障、高强度轻合金及复合材料、耐热陶瓷的合理选用等等一系列问题，有大量的工程技术人员参与工作，而且往往需要组织国际间合作。现代战斗机需要在紧凑的空间内安装大量的仪表、设备、系统，因此在设计过程中各个专业组之间需要密切配合，反复协调。必须建立一个严密的工作制度和图纸管理系统，使得各个专业组使用统一的飞机理论外形和结构数据；有计划地协调好机体内的空间利用；对几十万张装配图、零件图、系统原理图、设备安装图、电缆接线图采用统一的分类编号，以便迅速检索一架飞机的全部零件清单及其装配关系；列出全部原材料清单、标准件清单、设备配套清单、随机工具清单、备件清单等等。

飞机的研制过程是一个不断修改、完善、改型的过程。不论在试制中或在批生产过程中，都有大量的设计更改。这不仅是为了排除设计中的各种差错、故障，而且也为了不断完善飞机的飞行性能和维护性能，适应不同用户的特殊需要。国外一种新的大型客机投入航线飞行后，制造公司的技术服务中心昼夜值班，与各家航空公司保持 24 小时的热线联系，以便及时收集用户的意见，了解维护中的各种紧急措施，在几小时内发出备件或提供技术支持。联邦德国 MBB 公司在与英国、意大利合作生产“狂风

多用途战斗机中,在型号管理数据库中存储了7500项用户提出的各种设计更改要求,18000个工厂内部的更改单,8000个三国协作的更改通知,95000个图纸更改单,16000个生产更改单。一种飞机往往还有多种改型。例如美国麦克唐纳公司研制的F-4战斗机,从1961年开始交付海军使用以来,共生产了舰队防空型、海军全天候型、侦察型、空军战术型、空军战斗轰炸型、空军制空型、空军反雷达攻击型、西德订购的简化单座型、英国海军使用型、英国空军使用型等等。对于这种大量频繁的技术协调和图纸更改工作,为了随时作出归档记录、明确技术责任、及时通知各有关部门及生产单位、限期贯彻执行,必须有完善的信息管理系统。尤其在几个国家合作生产中,如果不采用计算机通信网络,指望用书面通信传递信息,是不可能的。

从组织生产的角度看,除了飞机的设计资料外,还有浩繁的工艺资料。对于厂内自制的零件,要拟订加工工艺过程,编写大量的焊接、胶接、铆接、热处理、表面处理等通用技术规范,设计和制造各种工艺装备,如专用刀具、模具、夹具、装配型架以及保证产品互换协调用的标准样件、量规等。设计人员每作一次设计更改,工艺人员必须相应落实,作出必要的工艺更改,并且在生产中付诸实施。这里同样需要完善的信息管理。例如每当一种典型的飞机零件投产,需要查阅过去是否有过类似的工艺资料可以借鉴或代用?工艺装备有无典型设计图参考?零件的加工、检验需要遵循哪些标准规范?一项装配件开工,需要哪些零件、组合件配套供应、使用哪些装配夹具和检验量具等等。这些都需要使用计算机信息系统。

产品的设计和工艺资料,加上用户的订货要求,构成了工厂组织生产的依据,由此产生全厂生产计划。为了按期交付产品,需要制订进度表,组织原材料和外购件的订货、编制生产进度计划、向车间下达作业任务、跟踪工艺装备和零件的制造进度、及时向装配车间成套交付零件和标准件、统计计划执行情况、及时调变人力、作出必要的计划修正。财务部门要统计制造工时、核算原

材料和其他器材的消耗量、计算机床折旧费以及全厂管理费，以便确定生产成本、分析盈亏情况。

必须严格控制飞机的制造质量，因此要有周密的检验和技术档案制度。进厂原材料和成品一律要有合格证，必要时工厂实验室重作性能试验并留下记录。重要的装配工序必须有操作工人和检验员逐道签字。超过公差许可范围要专门处理，由检验员提出技术质疑笺，请设计人员决定补救措施。重要的焊接、胶接工序要连同产品制作试片，并将试片的测试结果附入产品档案。以上所有检验文件在飞机出厂时必须清点齐全并且归档，在飞机的整个服役期内都应妥善保存，以便一旦发生事故时可以追究原因和责任。

飞机制造是机械制造的一个分枝，在很多技术细节上固然带有自己的特点，但是在总体上仍反映了整个机械行业的共性，因此以上提到的信息管理的各方面内容，即产品设计图纸的分类编号和统一技术协调、工艺计划及文件的生成、生产进度计划的制定和贯彻、成本核算、质量管理等等，都带有普遍意义。这些都是机械制造工业的信息工程所应考虑的主要范围。

二、制造资源计划

一个好的信息系统不应仅仅停留在只将过去的纸面工作，包括图纸和技术文件，改用计算机存储和管理，以便加快各种有关资料的检索、查询、更新和发送。更高的目标是希望利用这些信息来进一步帮助决策，以便根据某些数学模型或决策准则直接产生优化的计划，用以指导生产。这方面的代表性系统，有美国 IBM 公司经销的 COPICS 系统、MSA 公司研制的 MRP I 系统等。这些系统都是试图将上节提到的各部分内容联成一个整体，使得计划、决策工作逐步作到自动化。图 1-2 是 COPICS 系统中考虑的制造环节。

MRP I 的典型模块有：

1. 制造标准 管理产品的典型结构、改型、日常设计更改、零件清单、装配配套关系、标准工时等。这是计划管理的基础。

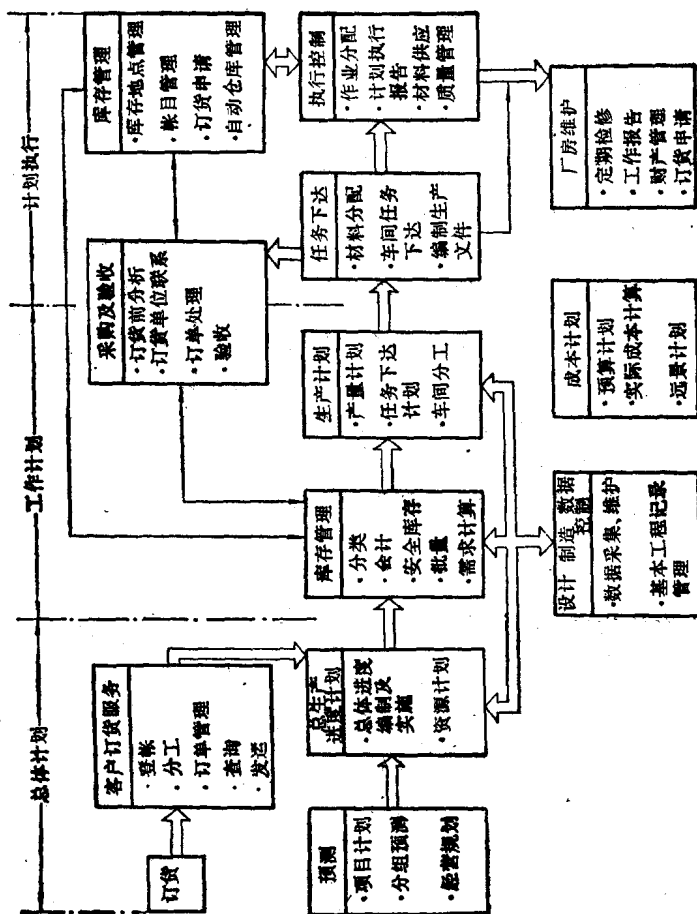


图1-1 COPICS系统功能示意图

2. 库存控制 管理原材料、外购件和自制件的现有库存, 办理订货, 跟踪零件的加工装配过程, 办理入库手续。

3. 总生产计划 确定工厂生产规模、产品品种以及总体生产进度计划。

4. 材料需求计划

5. 备件需求预测

6. 车间生产管理 组织车间的日常生产, 从全厂计划出发布置各工作地生产任务, 检查和报告任务完成情况, 统计机床利用率, 工时消耗等, 对废品和次品及时采取补救措施。

7. 能力需求计划 核算生产中需要的人员、设备、面积, 充分挖掘工厂潜力, 检查生产能力的总体规划实施效果。

8. 产品成本核算

9. 生产效益分析

以上各模块之间的相互关系以及设计、制造数据的流向与图 1-1 大体相似, 它们都反映了机械行业的现有一般组织形式和管理体制。

三、计算机集成生产系统

计算机集成生产系统简称 CIMS, 它是将计算机辅助设计、制造、管理功能高度有机结合的综合系统, 体现了信息时代利用计算机技术改造整个工业的宏伟设想。随着科学技术的发展和制造工艺的进步, 新产品不断出现。产品的市场寿命缩短, 更新换代加快, 中小批量生产的比重明显增加。采用传统的生产方式, 生产准备周期长, 生产率较低, 对各种资源的利用不够充分, 不能适应市场多变的新局面。所以, 必须创造一种新的生产组织形式, 以实现高效率、高柔性、高质量和低成本的生产。CIMS 就是在柔性制造技术、计算机技术、信息技术和系统科学的基础上, 将制造工厂的生产和经营活动中的各种分布式自动化系统有机地集成起来, 以获得适用于多品种、中小批量生产的高效益、高柔性的智能生产系统。CIMS 计划是当前国际上最活跃的议题之一。

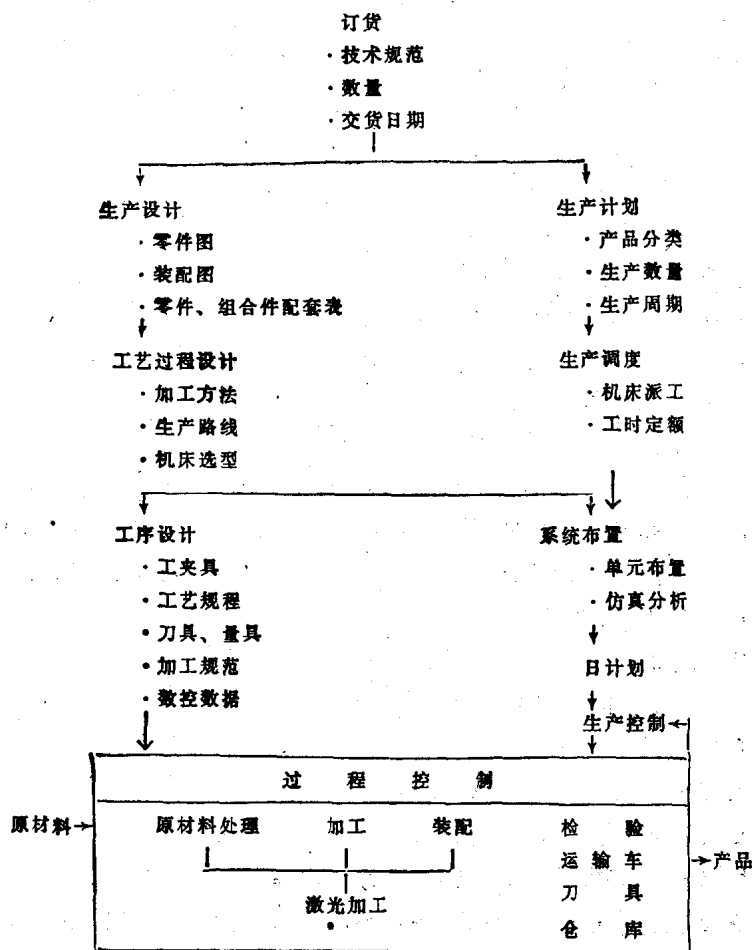
日本在筑波新建的未来工厂试点工程中, 将原材料处理、加工、装配、检验和激光技术五个子系统联成一体, 形成更高阶段的柔性制造系统综合体 FMSC, 用来生产机床的两轴和三轴齿轮箱以及主轴部件等, 企图使产品的生产工时比过去降低一半以上。表 1-1 是筑波工厂的生产流程。图的最下方表示 FMSC 的硬件组成, 即五个子系统的综合体; 上面部分是信息处理系统, 用来产生驱动硬件系统的指令。整个计划从 1978 年开始, 1985 年完成, 历时 7 年, 投资 137 亿日元 (约合 3700 万美元)。

这样的系统由人来组织和管理生产, 只有在最后的生产车间中实现了自动化, 因此可以称作以人为主体的集成制造系统, 简称 HIM。首先由工程技术人员完成产品的设计和生产计划。然后将数据送到生产控制单元, 由后者发送命令监控整个硬件系统的运行, 利用自动运输车在各个子系统间运送毛坯、刀具、成品。机床设计中采用了组合式方案, 即将床身、导轨、驱动、刀架、传动等部分分别设计成通用性的单元, 针对加工对象的特点进行组装, 使产品具有更大的更新能力。

联邦德国 MBB 公司与英国、意大利合作生产“狂风”多用途战斗机, 为了加工整体结构的钛合金中翼盒等, 专门建立了自动化车间。“狂风”采用变后掠机翼, 整个外翼在飞行中可以绕中翼转动。中翼是盒形结构, 钛整体壁板采用铣切方法加工, 在对称面上用等离子焊焊接。中翼盒内贮油, 成为整体油箱。对于这类加工难度大、可靠性要求高、铣切量大 (板坯平均 80% 以上变成切屑) 而材料又难于加工的特殊产品, MBB 公司认为建立专门的自动化数控车间, 不论在技术上、经济上都是有利的。车间内共有 28 台数控机床, 以大型多轴龙门铣和立铣床为主。组织了三条自动供应线, 利用车间空间的不同层次, 将铣刀、夹具和毛坯运送到加工工作地。大件板坯、成品用自动车沿车间地面运送。中小型夹具存放在车间的立体仓库区, 用空中的导轨和

注: 我国高技术计划中将计算机集成生产系统简称为 CIMS, 而国外文献中常简称 CIM。本书中两种缩写并用, 含意相同。

表 1-1



吊篮送到机床旁。钛合金加工时刀具磨损量大，每隔 30~40min 需要换刀，因此建立了刀具磨刃、测量、分档的专门工段。刀具库内存放六万把铣刀。由专人将各道工序所用刀具配套后放入吊篮，用另一条导轨自动送到工作地。切屑从车间地下回收。以上工程从 1972~73 年开始设计，1980 年底完工，投资一亿马克。预计到 1987 年底可以回收投资。

很明显, 高效率的现代化设备需要采用相应的计算机控制系统, 才能发挥效益。这里使用三级控制。最高一级是 IBM3032 主机, 用作生产管理。它的任务是确定和检查生产计划的执行、管理库存、材料订货、数控编程、调度作业。中间一级是 PDP-11/70, 用于生产控制。它的职能是: 下达生产任务、分配加工机床、确定投产批量、生成刀具夹具配套表、控制下属各个子系统并收集反馈信息。最下面一级是各种小型机, 用来驱动 28 台数控机床和管理刀具的存贮、运输。另外有脱机的控制台, 调度自动车运送板坯和成品、管理夹具的供应。生产控制室设在车间二楼。每天开工三班, 白班控制室内有 10~12 人, 夜班 1 人。

日本筑波的试点工厂以及联邦德国 MBB 公司的奥格斯堡工厂都是向 CIM 目标迈进的重要一步, 但是基本上都还属于 HIM 的范围。在自动化生产现场的背后, 有很多人事先作了大量周密的设计和计划, 机床设备也需要由人检修维护。在今后的发展中如果不能进一步将这些工作自动化, 统一纳入计算机集成的职能中, 当工厂的生产品种增多, 产品结构更复杂, 而且生产对象常有变化时, 人的工作将难以适应。

CIMS 的准确含义和具体实现步骤, 各国有不同的理解, 有待在实践中逐步充实和完善。欧洲共同体在信息技术战略发展计划 ESPRIT 中讨论了 CIMS 设计准则, 1985 年由英国、荷兰等专家整理出版, 其中规定的 CIMS 包含范围如图 1-2 所示。第一阶段先考虑机械工业中的加工部门, 因为加工工序的应用最普遍, 自动化技术最成熟, 纵向各环节的衔接最容易实现。相形之下, 钣金成形和装配工序的典型性要比机械加工稍差, 准备放在第二阶段考虑。

图 1-2 中如果首先着重解决产品设计和制造的直接有关环节, 暂不考虑市场分析、财务帐目、产品销售、器材采购等方面, CIM 将包含以下五个分系统:

1. 计算机辅助设计 (CAD) 包括方案设计、工程分析、详细设计。