

BANJIAN ROUXING ZHIZAO XITU

板件柔性制造系统

俞新陆◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

板件柔性制造系统

俞新陆 编著



机械工业出版社

本书比较全面地介绍了板件柔性制造系统的最新技术发展。全书共分十章，分别介绍了系统的组成、数控冲床、数控板料折弯机、激光、等离子及高压水切割机、数控板料剪切、物流系统、成组技术及分组编码系统、计算机仿真、板件 FMS 的控制系统与生产管理等。可供有关板件 FMS 的设计、生产、使用、科研人员及高等院校师生借鉴与参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

板件柔性制造系统/俞新陆编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-111-21771-8

I. 板… II. 俞… III. 板件—柔性制造系统
IV. TH165

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 094766 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 刘彩英 责任编辑: 李建秀 版式设计: 冉晓华
责任校对: 李秋荣 封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦
北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 16.125 印张 · 1 插页 · 438 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-21771-8

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

以冲压工艺为主生产出的板料制件（板件）具有强度和刚度好、外形美观、成本低、生产率高、节约金属等许多方面的优点，已越来越多地被广泛应用于电子及计算机工业、汽车制造、家用电器、广播器材、电工器材、航空及宇航、交通运输、船舶制造等国民经济中的众多重要生产部门。而板件柔性制造系统（FMS）又以其高度自动化与高度柔性化、高精度与高效率的特点，特别适合于当今多品种、中小批量生产的发展趋势。

作者从20世纪90年代开始，指导研究生和同事们，结合工厂的生产需要，对板件柔性制造系统开展了系列科学研究工作，包括设计与建立小型自动化立体仓库、自动导引运输车（AGV）、计算机辅助工艺规划（CAPP）、数控冲床、成组技术、板件FMS的柔性分组编码系统、计算机仿真、板件FMS的控制策略等。此外，作者与同事们还负责设计并建成了清华大学CIMS工程中的自动化物流系统。

基于上述研究工作的基础，结合近年来有关技术的最新发展，作者在本书中比较全面地介绍了板件柔性制造系统，以供有关科研及技术人员和生产者参考。

挂一漏万在所难免，不当之处，敬请指正。

作 者

2007年初于清华园

目 录

前言

第一章 板件柔性制造系统概论	1
第一节 概述	1
第二节 板件柔性制造系统的典型组成	7
第三节 板件 FMS 在我国生产中的应用	15
第四节 板件 FMS 的最新产品	28
第二章 数控转塔冲床	52
第一节 概述	52
第二节 传动原理和结构特点	54
第三节 最新产品介绍及其技术参数	70
第四节 数控步冲压力机	92
第三章 数控板料折弯机与折边机	97
第一节 概述	97
第二节 同步系统与滑块定位控制	103
第三节 后挡料定位与数控系统	109
第四节 折弯机的其他机构及模具	116
第五节 板料折弯机最新型号与技术参数	135
第六节 四边折边机	161
第四章 数控激光板料切割机	167
第一节 概述	167
第二节 激光器的技术参数	172
第三节 激光束的物理特性	179
第四节 激光切割的工艺参数与切口质量	182
第五节 CO ₂ 激光切割常用材料的工艺参数	186
第六节 激光切割机的组成	189
第七节 激光切割机发展中的几个问题	195
第八节 激光切割机产品介绍及技术参数	196

第五章 数控等离子切割机	209
第一节 概述	209
第二节 等离子切割机的组成	213
第三节 切口质量与工艺参数	218
第四节 等离子弧切割机的技术参数	223
第六章 高压水射流切割机	226
第一节 概述	226
第二节 高压水射流切割机的组成	229
第三节 高压水射流切割的工艺影响因素	234
第四节 高压水射流切割的工艺参数	237
第五节 高压水射流切割机产品型号	241
第七章 数控板料剪切机	243
第一节 概述	243
第二节 主要部件结构介绍	250
第三节 剪板机的刀片形式和尺寸	265
第四节 剪板机的机械化辅助装置	271
第五节 剪板机的数控系统	273
第六节 剪板机的系列与技术参数	274
第七节 数控直角剪板机	292
第八节 数控冲剪复合机与数控剪切中心	297
第八章 板件柔性制造系统的物料储运系统 (物流系统)	301
第一节 概述	301
第二节 自动高架仓库	309
第三节 板材自动上料及卸料装置	324
第四节 自动导引运输车 (AGV)	329
第五节 连续运输设备	336
第六节 物流系统的设计与仿真	341
第九章 成组技术及其在板件柔性制造系统中的应用	364
第一节 概述	364
第二节 几种典型的零件分类编码系统	368
第三节 冲压件的分类编码系统	380

第四节	板件柔性制造系统中冲压件的分类编码系统	403
第五节	计算机辅助柔性自动编码与分组及成组技术	416
第六节	板件柔性制造系统中计算机辅助工艺规划 (CAPP) 的几个 问题	426
第十章	板件柔性制造系统的计算机控制与管理	435
第一节	概述	435
第二节	工业控制计算机	439
第三节	板件 FMS 的控制网络	448
第四节	执行元件	465
第五节	检测元件	485
第六节	板件柔性制造系统的调度与管理	496
第七节	板件柔性制造系统的监测与故障诊断	501
参考文献	506

第一章 板件柔性制造系统概论

第一节 概 述

一、柔性制造系统的发展过程

柔性制造系统的英文名为 Flexible Manufacturing System, 简称 FMS。它是随着机械制造业自动化的不断发展而逐步萌生和逐步发展起来的。在 20 世纪 30 ~ 50 年代, 生产的主要模式是大批量、少品种, 一般采用自动流水生产线, 它所生产的工件往往是固定的几种, 加工工艺也是相对固定, 因此流水线上的制造设备和自动化物流设备也是固定的, 称为刚性自动化。它的生产率很高, 设备利用率也很高, 虽然生产线设备的一次投资很高, 但流水线投产以后, 由于生产批量很大, 因此产品的成本很低。刚性流水生产线的最大弱点是改变产品的品种十分困难, 也十分昂贵。

到了 20 世纪 60 年代, 大多数大批量生产的工厂, 由于不同程度采用了刚性自动化流水生产线, 劳动生产率大幅度提高, 生产迅猛发展。人们开始意识到, 中、小批量生产企业远远落后于大批大量生产企业的发展, 而多品种中、小批量生产企业在国民经济生产部门中的比重却相当大, 约占机械制造业的 75% ~ 85%。特别是随着市场竞争的日益剧烈, 人们生活水平的不断提高, 市场对新产品的需求日益旺盛, 品种更新周期日益缩短, 要求企业不断推出结构新颖、性能丰富且优越的新产品。

面对上述生产需求背景, 柔性生产的可能性在技术上也有了关键突破。在 20 世纪 60 ~ 70 年代, 随着计算机技术的迅速发展, 出现了数控 (NC) 机床及计算机数控机床 (CNC)。在这

种机床上，只要改变制造工件的软件控制程序和相应的刀、夹具或模具，即可加工出新的工件，而不需要改变机床本身的硬件。它提供了较快且较方便地改变加工对象的极大柔性，从而为适合小批量、多品种的自动化柔性制造系统打下了基础。

柔性制造系统最早出现于 20 世纪 60 年代中期的英国和美国，但直到 20 世纪 70 年代末期才引起普遍重视，在 20 世纪 80 年代正式达到实用化和商品化阶段。

二、柔性制造系统的定义

柔性制造系统是由若干台数控加工设备或加工中心、一套自动化物料储运系统和计算机控制系统三大部分组成，是一个具有很大柔性的自动化制造系统，能够根据生产任务或生产环境的变化，迅速进行调整，从而适应于多品种、中小批量的生产。

柔性制造系统与生产批量及加工工件种类的大致关系如图 1-1 所示，纵坐标表示各种加工系统适用的生产批量，横坐标表示适用的加工工件种类。从图中可以看出，柔性制造系统适用

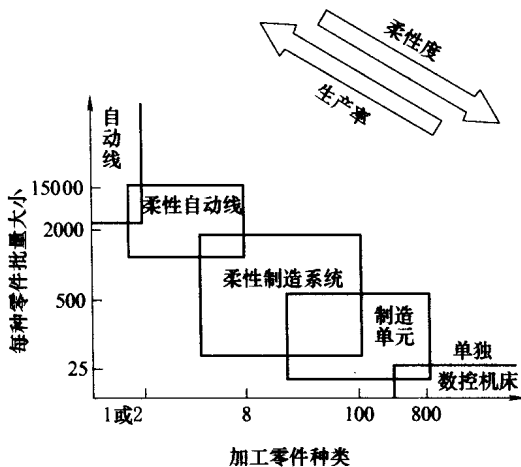


图 1-1 生产模式与生产批量及品种关系

的生产批量大致为 50 ~ 2000 件，而适用的加工工件种类大致是 4 ~ 100 种。

三、板件柔性制造系统的特点

用板材经过切割及剪切、冲裁、弯曲、焊接等多种工序制成的工件称之为板件。它具有质量轻、强度和刚度好、外形美观、节约材料及能源、成本低、生产率高等一系列优点，被广泛应用于汽车、家用电器、电子通信、仪表、轨道车辆、航空航天、高低压电器等许多工业部门。由于在这些部门中，市场竞争十分激烈，产品生命周期日益缩短，因此对加快产品更新换代的要求越来越迫切，多品种小批量生产已成为重要趋势，因此，近年来，板件柔性制造系统的发展十分迅速。

和在机床上切削加工相比较，板件制造过程有以下特点：

1) 在机床上加工的时间很短，仅占整个生产过程的极小一部分，生产过程的大部分时间耗费在板料和成品件的运输和储存、模具的更换和调整、废料的收集与传输、机床的调整上。工件的流向一般为向前直线型，无需返回。

2) 模具在板料的冲裁与折弯中最为关键。在板料上冲不同的孔要用不同的模具，因此模具的快速更换与装卡、模具的快速储存与选取均十分重要。

3) 板料是加工的对象，板料的特点是平面尺寸较大而厚度较小，冲裁加工时，板料的夹持、快速运送到位及精确定位；折弯和剪切时板料的快速到位及精确定位；折弯时板料的支托与操作都是影响生产率与产品质量的重要问题。

4) 板料的仓储、存取与运送也必须充分考虑板料平面尺寸大的特点。

基于以上特点，在板件柔性制造系统中，自动化的物流系统占有十分重要的地位。

四、柔性制造系统的类型

(1) 柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell) 简称 FMC 在板料加工中，一般由单台 CNC 机床 (转塔冲床、折弯机、

激光切割机等)或加工中心(剪切中心、折弯中心等)、板料自动装卸装置、模具自动更换装置及轻便的自动化小型仓库组成。

(2) 柔性制造系统 它由多台数控(CNC)机床、一套备有自动搬运小车的自动物流系统和多级计算机控制系统组成。CNC机床中往往包括数控转塔冲床、数控剪板机及数控板料折弯机。计算机控制系统则不仅控制数控机床的加工,还包含生产计划的进度管理与调度、生产过程的监督、故障处理、生产信息报表及各级计算机之间的通信。

(3) 柔性制造工厂(Flexible Manufacturing Factory)简称FMF 它是在FMS基础上扩大到全厂范围,包括全厂范围的生产管理过程、机械加工过程和物料储运过程的全盘柔性自动化。它具有以下特点:

1) 分布式多级计算机系统必须包括制定生产计划和日生产进度计划的生产管理级主计算机,以它作为最高一级计算机。并与CAD/CAPP/CAM系统相连,以取得板件加工所需的各种信息、数据与指令,包括二维零件图、NC加工程序、三维折弯用立体图、激光切割用NC数据等。

2) 一般应具有十几台或几十台数控机床或加工中心,并组成若干条柔性生产线。

3) 应包含完善的自动仓库,以存取各种板料、半成品、成品和模具。各生产线及仓库之间(车间之间)应有无人导引运输小车相连接,构成完善的物料自动运输网络。

4) 全部生产计划和进度安排应由主计算机制定,并和各级计算机组成在线控制网络,并及时进行生产报表统计及突发事件的处理。

五、柔性制造系统的效益

柔性制造系统的投资比较巨大,因此对其效益的评估至为重要。对其效益的评估主要应包括两大方面,一是直接的经济效益,如生产率的提高、设备利用率的提高、工人数量的减少、生产周期的缩短、成本的降低等,它们都可以直接用数字来表

述；另一个是给企业带来经营战略上的效益，则往往不能简单用数字来反映。

下面从几个方面对柔性制造系统的效益加以综述。

1) 由于特别适合多品种、小批量生产，因此能及时推出新产品和市场需要的变型产品，可以对市场个性化需求迅速作出反映，极大地增强了企业的市场竞争力。

2) 设备利用率高，提高了劳动生产率，板件总加工时间可以缩短，交货时间得以提前。

3) 由于加工过程的自动化和物流过程的自动化，工人数量大为减少。

4) 生产周期缩短，减少了在制品库存数量，增加了生产空间的有效利用。

5) 产品质量高，板件的质量稳定性和均衡性都有提高，也提高了板件的加工精度。

6) 降低加工成本，一般而言约可降低 50%。

下面的一些实例可供参考。

实例 1: 日本的福知山工厂 该厂生产 35 种约 350 个型号的环境试验仪器，板件占很大比重，1985 年 8 月安装板件 FMS，1986 年 4 月正式生产，表 1-1 为其使用前后的效果对比。

表 1-1 使用 FMS 前后效果对比

对比项目		使用 FMS 前	使用 FMS 后	备注
处理能力/(件/日)		145	250	
使用人力数		20	11	日加工 250 件
在制品量/天		7	3	
弯曲件 精度	角度/(°)	±50	±30	
	尺寸/mm	±1.2	±0.3	
开动率(%)		70	80	

(续)

对比项目	使用 FMS 前	使用 FMS 后	备 注
无人运转率 (%)	13	30	$\frac{\text{无人时间}}{\text{(有人+无人) 时间}}$
使用设备数量/台	转塔冲床 3 折弯机 7	转塔冲床 2 折弯机 5	

实例 2: 日本富士重工业公司宇都宫制作所 产品为飞机、铁道客车、集装箱、拖车等, 在其车辆分厂中采用了一条板件 FMS, 用于生产多品种、小批量的大型板件, 板件最大尺寸为 3030mm × 1515mm, 重 300kg。采用 FMS 后效果如下:

- 1) 仓库面积节省了 60%。
- 2) 库存在制品减少了 20%。
- 3) 节省了叉车 6 台及吊车 2 台, 减少了工人 6 名。
- 4) 经过一个阶段使用后, FMS 能以 100% 开动率工作, 实现了连续自动作业。

实例 3: 日本 Yasakawa 公司 使用 FMS 后带来的显著经济效益如表 1-2 所示。

表 1-2 使用 FMS 后的经济效益对比

项 目		原工艺	FMS
节约 劳动 力数 量	剪切冲孔/人数	10	2
	弯 曲/人数	6	4
	点 焊/人数	3	2
	分 选/人数	2	0.5
	间 接/人数	2	1
	总 计/人数	23	9.5
外包加工费/(美元/月)		37800	3000
节约 材料	材料利用率 (%)	76.9	91.4
	消耗板材数量 (标准张) / (张/月)	1170	944
	费 用/(美元/月)	26220	23100

(续)

项 目	原工艺	FMS
零件库存/(美元/月)	41640	7500
材料种类/种	10	7
占地面积/m ²	725	377

第二节 板件柔性制造系统的典型组成

板件柔性制造系统一般由 CNC 板材加工机床、模具的自动存储与快速更换系统、板材自动仓库、板材自动运输及自动上料系统,成形件自动卸料、传输及分拣系统、废料自动收集与传送装置以及计算机管理与控制系统等组成。

用于板材加工的 CNC 机床有 CNC 转塔冲床、CNC 步冲压力机、CNC 激光切割机、CNC 等离子切割机、CNC 板料折弯机、CNC 剪板机及直角剪以及高压水(磨料)切割装置等。近年来还发展了一些弯曲中心、剪切中心、冲剪复合中心及冲弯复合中心等自动化程度更高、功能更先进和更齐全的 CNC 加工中心。

在板料冲压和成形过程中,模具有着特殊重要的意义,冲压件成形的主要信息均凝聚在相应的模具中。冲压件形状越复杂,制造相应模具所需的成本越大,时间也越长,而且直接反映在冲压件的经济性上。因此,只有缩短模具生产的周期并降低其生产成本,才能极大地促进板件生产过程的柔性化。

将复杂的冲裁或成形模具分解为简单的标准单元模具,并利用计算机控制来实现快速自动选择与更换模具,且在冲压成形过程中自动控制工件和模具的相对运动,可以大大提高板料冲压的柔性。采用多模位转塔冲床或模具库加换模机械手,可以将换模时间减少到只有几秒钟。采用 CNC 步冲方式可以完成大型不规则孔的冲裁而不需制造尺寸大而形状复杂的模具。

模具制造费时费钱,其柔性化也受到一定限制。利用橡皮

拉伸和液体拉伸可以实现部分模具柔性化。在数控技术迅速发展支持下，板料轮廓形状的加工已实现了无模化。在步冲的基础上发展了激光切割与等离子切割，其切面平面度误差为 $30 \sim 40 \mu\text{m}$ 。高压水（磨料）切割钢板由于不产生高温，减少了环境污染，也得到了一定发展。

利用成组技术，将工件按相似准则分类编组进行生产，可以缩短工件运行路线及减少加工时间，从而改善板件柔性制造系统中的物流。

板件 FMS 的控制系统一般为三级分布式计算机控制系统，如图 1-2 所示。第 1 级（最底层）主要是板材加工机床、装卸及更换模具的机械手、自动上、下料装置的控制（包括各种加工作业及物流作业的控制与监测）。第 2 级相当于 DNC 的控制，它包括整个系统运转的管理、工件流动的控制、工件加工程序的分配以及第一级生产数据的收集。第 3 级（顶层）计算机负责生产管理，主要编制日程进度计划，将生产所需的信息，如冲压工件的种类和数量、每批生产的期限、所需模具种类和数量等送到第二级系统管理计算机。主计算机（第 3 级）也可以与 CAD/CAM 相联，利用 CAD 的工件设计数据来进行数控编程，

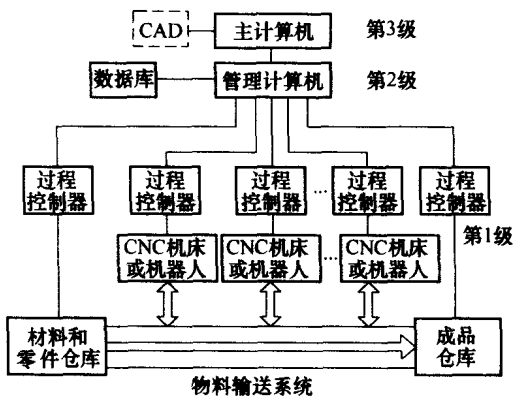


图 1-2 用于板件 FMS 的计算机控制系统

再把数控数据送到第 2 级。此外，还可从第 2 级接受生产结果及其有关数据。

下面举一个美国麦克格劳—爱迪生公司在明尼阿波利斯城的奥纳机械制造厂的板件柔性制造系统的例子。它是在 1984 年建成的，当时总投资 250 万美元，虽然已过去二十多年，但仍不失为一个板件柔性制造系统组成的典型例子。奥纳机械制造厂的主要产品是可移动式及固定式发电机、柴油机和汽油发动机、配电装置、振荡器及功率调节装置等。

图 1-3 为该柔性制造系统的示意图，整套装置由德国通快 (Trumpf) 公司提供，主机为通快公司生产的 Trumatic180CNC 激光切割及冲裁压力机 6，它由数控冲裁及步冲压力机与能切割 6mm 厚板料的激光切割装置组合而成，行程 420 次/min，冲 $\phi 25\text{mm}$ 孔时为 200 次行程。激光切割速度对于薄钢板为 10m/min，而对于 6mm 厚的钢板则为 1.25m/min。大部分工作由冲裁工序完成，而不规则的外形和内孔则由激光来切割。

冲模下面有真空系统来自动吸除冲裁废料。冲裁时，由自动计量润滑系统向冲头、凹模及板料喷油—气混合剂进行润滑。

在压力机前方，设有三个自动旋转模具库，每个模具库有 10 层，每层沿圆周可存放 10 套模具，因此每个模具库可存放 100 套模具，很节省空间。由于能旋转，减少了模具机械手所必需的动作。三个模具库共可存放 300 套模具，保证了奥纳公司连续进行自动化生产所需的模具数量。若需要扩大生产，还可以增设模具库。采用一个三轴 GMF M1 型机械手 7 来更换模具，它装有两端轴向夹钳，可自动将使用过的模具送回旋转模具库，并根据指令选择下一工步所需的模具。

该系统设有模具自动修磨补偿系统，模具每使用一次，DNC 即计数一次，如冲模使用次数达到允许的规定次数时，主监控站即发出信号，将模具从模具库撤出并进行修磨。修磨好的模具返回模具库时，监控器再给 DNC 指令，告知模具已修

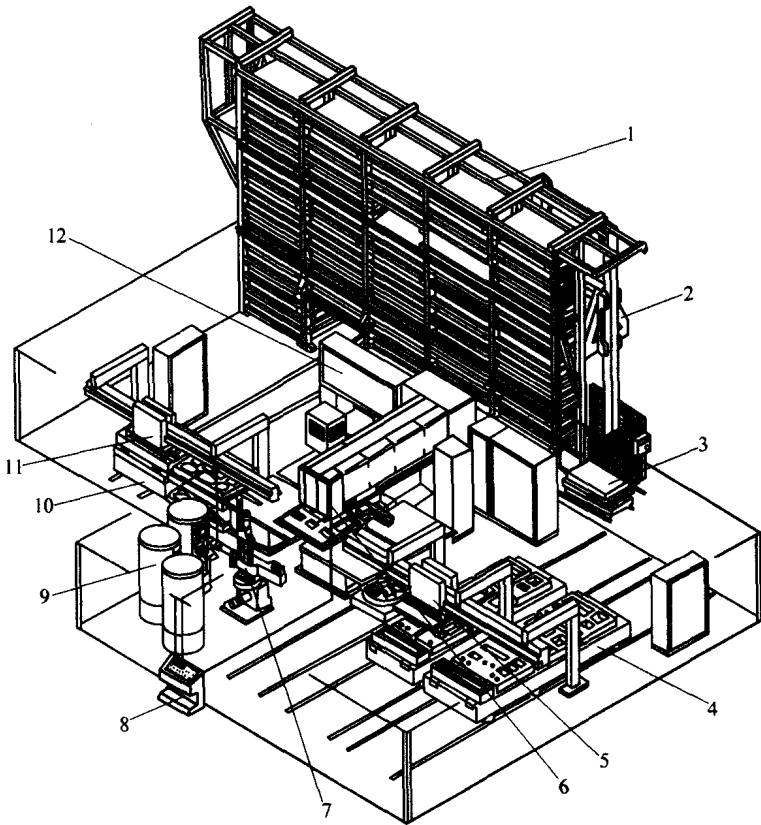


图 1-3 典型的板件 FMS

- 1—板材仓库 2—堆垛机 3—输入输出小车 4—能分拣
 工件的运输小车 5—卸料装置 (Trumpflift E) 6—Trumatic
 180CNC 激光切割及冲裁压力机 7—三轴 GMF 模具更换机械手
 8—主控制台 9—三个旋转模具库 10—将装在货箱中的板
 料送到上料机的小车 11—自动板材上料机 (Trumpflift B)
 12—激光柜及控制柜

好返回,补偿系统自动将该模具使用次数置零,准备再次使用。