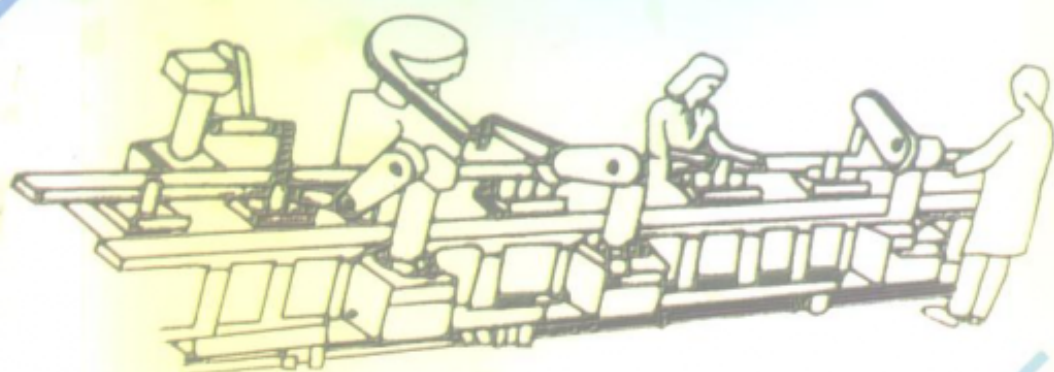
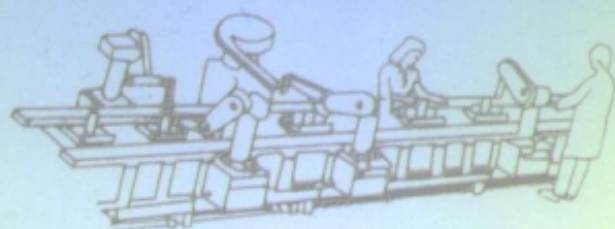


自动装配与 柔性装配技术

张佩勤 王连荣 等编著



机械工业出版社

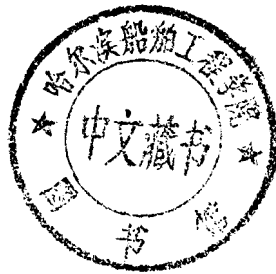
451422

TH16

Z21

自动装配与柔性装配技术

张佩勤 王连荣 等编著



00431422



机械工业出版社

内 容 简 介

本书着重介绍装配自动化的综合性技术。全书共 11 章, 内容有该项技术的理论知识和基本方法; 自动装配工艺过程分析及自动装配系统与 FAS 的设计基础; 自动供料系统及自动装配系统的典型机构、装配机器人; 自动装配机和 FAS 的设计及典型示例; 自动装配系统与 FAS 的总体规划与设计; 自动装配系统与 FAS 的安全性和可靠性等。本书还介绍了 FAS 的运储系统及 FAS 的发展趋势。它适合于从事装配自动化研究与应用的工程技术人员学习与参考, 又可作为高校师生的教材或教学参考书。

DY64.62

图书在版编目 (CIP) 数据

自动装配与柔性装配技术/张佩勤, 王连荣等编著. —北京: 机械工业出版社, 1998. 4
ISBN 7-111-06072-5

I. 自… II. ①张… ②王… III. 机械-自动化-装配(机械)-技术 N. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 01338 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 李正民 王霄飞 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新
封面设计: 方 芬 责任印制: 王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1998 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/32}·16.25 印张·393 千字
0 001-2 500 册
定价: 26.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

装配是机电产品制造过程的一个重要环节，实现装配工艺的自动化是提高产品质量降低成本的决定性竞争因素。我国对 FMS 经历了 10 多年的研究开发，在应用上已取得了显著的成效。而装配自动化问题已引起人们的普遍重视，并开始将注意力转向 FAS。

为适应市场对产品需求的动态变化，并保证产品质量的一致性，装配自动化、柔性化必将是生产过程全盘自动化的下一个战略目标。自动装配的复杂性来自产品的多样化、装配事件的随机性和系统状态的模糊性。随着现代科学技术的发展和各项基础理论的相互渗透，特别是计算机和机器人技术为自动装配和柔性装配技术带来的丰富内涵，在装配中自动化、柔性化综合了自动控制、传感技术、网络通信、人工智能、电子技术和机械工程等多种学科的内容，因而存在着巨大的开发应用潜力。

我们编写此书，希望把自动装配和柔性装配的基本原理和方法介绍给读者，以便在装配自动化领域的研究中求得共识。并提倡在各种新产品的研制开发时，除了注意产品的性能外，在设计过程中要对装配自动化的适应性给予充分考虑。

本书的内容取材于作者从事自动装配技术的设计研究和教学实践，全书共 11 章，讲述五部分内容：第 1~3 章介绍了设计的基础知识，包括绪论、自动装配工艺过程分析、自动装配系统与 FAS 的设计基础；第 4~7 章介绍了各部分的典型机构，包括自动供料系统及自动装配系统的典型机构、装配机器人、自动装配机和 FAS 的设计；第 8~9 章介绍了自动装配系统与 FAS 的规则与设计、自动装配系统与 FAS 的安全性和可靠性；第 10 章介绍了 FAS 的运储系统；第 11 章介绍了 FAS 的发展趋势。

参加本书部分编写工作的还有李晓鹰、张熾，以及协助书稿工作的吴玉斌等。本书由兵器工业总公司沈嘉伟主审。在此一并表示感谢。

由于我们的经验不足和水平局限，书中难免有不妥之处，希望读者不吝指教。

编者

1997 年 10 月 15 日

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 自动装配与柔性装配技术的发展概况 1

一、装配自动化在现代制造业中的重要性 1

二、自动装配与柔性装配技术的发展概况 2

三、实现装配自动化的途径 6

第二节 自动装配系统与 FAS 的组成和分类 7

一、自动装配系统与 FAS 的组成 7

二、自动装配系统与 FAS 的分类 9

三、装配系统的方案选择 10

第二章 自动装配工艺过程分析 12

第一节 自动装配条件下的结构工艺性 12

一、自动装配结构工艺性的意义 12

二、装配零件的结构工艺性 12

第二节 自动装配工艺设计的一般要求 16

一、自动装配工艺的节拍 16

二、避免或减少装配中基础件的位置变动 16

三、合理选择装配基准面 16

四、对装配零件进行分类 16

五、装配零件的自动定向 16

六、易缠绕零件的定量隔离 17

七、精密配合副的分组选配 17

八、装配自动化程度的确定 17

九、提高装配自动化水平的技术措施 18

第三节 自动装配工艺设计基础 18

一、产品设计 18

二、基础件的概念与功能 19

三、装配零件的质量保证 19

四、拟定自动装配工艺 20

五、确定自动装配工艺的工位数量 20

六、估算完成各装配工序的时间 20

七、自动装配工艺的工序集中 21

八、加工与装配一体化的自动装配工艺 21

九、自动装配工艺过程的检测工序 21

第三章 自动装配系统与 FAS 的设计基础 23

第一节 自动装配工艺系统的精度计算 23

一、装配零件在供料定向及输料装置中的位置精度 23

二、紧固联接的工艺规范精度 24

三、圆柱配合表面联接的相对位置精度计算 24

第二节 自动装配工艺的零件配合可靠性计算 40

一、直线尺寸链的自动装配可靠性计算 40

二、二维尺寸链的自动装配可靠性计算 42

三、系统误差对二维尺寸链可靠性的影响 44

第三节 自动装配工艺的装配力计算 44

一、影响装配力的主要因素 44

二、装配零件无倾斜倒棱接触的装配力计算 45

三、装配零件轴线相对倾斜时的装配力计算 46

四、过盈配合所需装配力的计算 48

五、局部塑性变形固定联接力的计算 48

六、冷铆时所需力的计算 49

七、螺纹联接的旋转力矩的计算 50

第四节 保证零件可装配性的方法 51

一、导向装置与柔顺装置 51

二、避开装配中的卡住区和楔死·····	52	二、螺钉自动装配工作头·····	130
三、轴孔类零件配入过程的位移关系·····	55	三、垫圈自动装入工作头·····	134
第五节 自动定向理论·····	58	四、螺母自动装入工作头·····	134
一、定向理论·····	60	五、铆接工作头·····	134
二、零件的姿势概率·····	65	六、焊接装置·····	138
第四章 自动供料系统 ·····	69	七、自动装配系统的检测装置·····	139
第一节 概述·····	69	第六章 装配机器人 ·····	145
第二节 供料机构·····	69	第一节 概述·····	145
一、振动式料斗·····	69	第二节 装配机器人实例简介·····	146
二、其他类型的供料机构·····	77	一、SCARA型装配机器人·····	146
第三节 输料槽和擒纵机构·····	84	二、带XYZ平移轴的机器人·····	152
一、输料槽·····	84	第三节 装配机器人手爪·····	154
二、擒纵机构·····	86	一、确定手爪结构尺寸的参数·····	154
三、零件在输料槽中的运动分析·····	89	二、机器人手爪及自动夹紧装置的	
第四节 输送过程的故障分析·····	91	种类·····	154
第五节 零件供料过程的定向整理·····	95	三、设计要求·····	157
一、供料机构的定向方法·····	95	第四节 装配机器人及手爪的经济	
二、互锁件的供料·····	101	分析·····	158
第六节 零件的视觉识别·····	101	一、多手爪的价格计算·····	158
一、利用电视摄像机进行形状识别的		二、手爪结构的经济分析·····	159
系统·····	101	三、操作时间经济分析·····	160
二、利用光点矩阵的排列进行识别的		第七章 自动装配机和FAS的	
方法·····	104	设计 ·····	164
三、利用光点零件投影图相重迭进行		第一节 引言·····	164
识别的方法·····	106	第二节 单工位装配机·····	164
四、简单零件的识别装置示例·····	108	第三节 多工位装配机·····	165
第七节 FAC的柔性供料系统实例·····	109	一、零件进料工位·····	166
一、系统硬件·····	109	二、检测工位·····	167
二、零件供料机·····	111	三、行程控制的多工位自动装配机的	
第五章 自动装配系统的典型		设计·····	168
机构 ·····	114	四、时间控制的多工位自动装配机	
第一节 移置机构·····	114	设计·····	169
一、运动分析·····	114	五、自动装配系统·····	174
二、气压驱动的平移式移置机构·····	115	第四节 组合装配线·····	177
三、自动装配机提升盘操纵的移置		第五节 自动装配线与手工装配点的	
机构·····	116	集成·····	179
第二节 传送机构·····	117	一、供应零件的手工装配点·····	179
一、回转式传送装置·····	117	二、手工装配工作点·····	179
二、直进式传送装置·····	121	第六节 包含手工装配点的非同步	
第三节 装配工作头·····	126	装配线·····	180
一、轴孔类零件自动装配的柔顺		第七节 自动装配机实例·····	181
手腕·····	126	第八节 柔性装配系统·····	187

一、概况	187	第七节 装配系统设计及总体布局	216
二、FAS 的操作过程	188	一、装配系统设计	216
三、工作空间	190	二、自动装配系统总体布局的设计	217
四、抓取器	190	第九章 自动装配系统与 FAS 的	
五、柔性单工位装配机的设计	191	安全性和可靠性	220
六、柔性装配单元与手工装配点互联的		第一节 安全性	220
装配线	194	一、装配机器人产生事故的原因	220
七、柔性装配单元与柔性装配系统		二、装配机器人的安全措施	221
实例	195	第二节 系统功能的可靠性	222
第九节 零部件加工工艺与装配工艺的		一、可靠性的基本概念	222
一体化	203	二、失效的类型	222
一、引言	203	三、保证系统可靠性的方法	223
二、一体化的部件生产	203	四、系统功能可靠性的适时处理	224
三、零件在装配设备上生产加工	203	五、自动装配系统与 FAS 的	
四、包含零件加工的装配系统	204	故障诊断	227
五、生产过程一体化的限制	206	第十章 FAS 的运储系统	231
第八章 自动装配系统与 FAS 的		第一节 概述	231
规则与设计	207	第二节 自动导向小车	233
第一节 需求预测与产品分析	207	一、简介	233
一、需求预测	207	二、自动导向小车的导向方法	235
二、产品分析	208	三、零件的装卸	237
第二节 初步设计	208	第三节 自动化立体仓库	239
一、产品结构与装配状况	208	一、自动化立体仓库的结构与	
二、装配顺序	208	作业流程	239
三、随行夹具的设计	210	二、堆垛起重机	240
第三节 功能分析及循环时间的确定	211	三、自动化立体仓库的计算机控制	245
一、功能分析	211	第十一章 FAS 的发展趋势	246
二、循环时间的确定	212	一、现代制造技术必然会促进 FAS 的	
第四节 平面布置设计	212	长足发展	246
一、平面布置设计的原则	212	二、机器人的迅速发展为 FAS 奠定	
二、平面布置实例	212	良好基础	247
第五节 人员需求的确定	214	三、近代基础技术的迅速发展与相互渗透	
第六节 利用率的确定	215	使 FAS 的性能迅速提高	248
一、各工位利用率	215	四、未来的 FAS	249
二、系统结构利用率	216	参考文献	252
三、启动工作特性	216		
四、人员技能	216		

第一章 绪 论

第一节 自动装配与柔性装配技术的发展概况

一、装配自动化在现代制造业中的重要性

现代制造技术的不断发展,为社会生产力带来了巨大飞跃。自 80 年代柔性制造系统(FMS)进入实用阶段以来,目前世界上大约有 1500 条 CIMS、FMS 及更多的 FMC 在运行,它使机械加工的面貌发生了质的变化。零件制造、金属成型、切削加工等日臻综合自动化,并随着柔性制造技术、计算机辅助技术和信息技术的发展,当今世界机械制造业将进入全盘自动化的时代。

然而,由于加工技术超前于装配技术许多年,两者已经形成了明显的反差,装配工艺已成为现代化生产的薄弱环节,现代制造技术的发展使传统的手工装配工艺面临着严峻的挑战。装配自动化(assembly automation)在于提高生产效率、降低成本、保证产品质量,特别是减轻或取代特殊条件下的人工装配劳动。实现装配自动化是生产过程自动化或工厂自动化(FA)的重要标志,也是系统工程学在机械制造领域里实施的重要内容。

由于装配大多是人工操作的劳动密集型过程,生产率在很大程度上取决于装配过程对人的依赖性,它是工人执行某一具体操作所化时间的函数,其劳动量在产品制造总劳动量中占有相当高的比例。同时,随着先进制造技术的应用,制造零件劳动量的下降速度比装配劳动量下降速度快得多,如果没有新的举措,该比值还会提高,即使是发达国家某些部门从事装配的工人人数也要占工人总数的 50%~60%。据有关资料统计分析,一些典型产品的装配时间占总生产时间的 53%左右,如果所有的装配都是人工控制的,则生产率指数可能降低到 40%左右,而随着装配自动化水平的提高,生产效率可上升到 85%~97%。但目前产品装配的平均自动化水平仅占 10%~15%,因而装配对产品的原始成本影响重大,已成为昂贵的生产过程。所以,装配自动化是制造工业中需要解决的关键技术。

装配是一项复杂的生产过程,人工操作在装配中做为一个生产元素出现,已经不能与当前的社会经济条件相适应。因为人为既不能保证工作的一致性和稳定性,又不具备判断准确、灵巧,并赋以较大作用力的这些特性。另外,从市场经济的现实出发,人工操作与产品功能可靠、质量一致性好、价格合理的要求也极不相适应。

自动装配技术与柔性装配技术是研究取代依赖人工技巧和判断力进行各种复杂操作的系统工程,是应用现代科学理论实现装配过程自动化的应用科学。特别是对于适应中小批量生产,高质量、高效率、高柔性的智能装配系统的研究与开发,对适应自动装配的新产品设计途径,对未来工业发展有着特殊的重要意义。

自动化水平的高低,已成为衡量一个国家科技水平的重要标志之一。目前,一些发达国家及早地将注意力转向自动装配技术,并取得了卓越的成果,一些产品、部件的装配过程逐渐摆脱了人工操作,柔性装配系统(FAS)已成为 CIMS 的一个重要环节。我国对自动装配技

术的研究起步较晚,近年来有一定的进展,陆续自行设计、建立和引进了一些半自动、自动装配线及装配工序半自动装置。但国内设计的半自动和自动装配线的自动化程度不高,装配速度和生产效率亦较低,所以自动装配技术在我国有很大的开发与应用潜力,装配自动化必将成为生产过程全盘自动化的下一个战略目标。

自动装配技术的重要性还在于促进产品制造系统的整体优化,生产率得以全面提高,用少量调整工人服务于一定数量的自动装配设备,在一定程度上提高均衡生产水平。自动装配不会因工人疲劳、疏忽、情绪、技术不熟练等因素的影响而造成产品质量缺陷或不稳定。实践表明,当达到一定批量的与手工装配保持同一水平的自动化装配将会使成本下降。同时,在许多情况下,装配自动化所占用的生产面积比手工装配完成同样生产任务的工作面积要小得多。

装配工艺自动化可改善装配环境、保障生产安全。在电子工业、宇航工业、化学工业、兵器工业、核工业、海洋开发等行业中,有些装配操作分别需要洁净空气、惰性气体、真空等特殊环境;有些作业人类难以接近;有些作业有易燃、易爆的危险。因此,从工人劳动保护方面考虑,发展自动化装配尤为重要,也是满足社会、市场及技术发展过程中产品不断更新的需要。

二、自动装配与柔性装配技术的发展概况

众所周知,电子科学和计算机科学的发展,以及在此基础上开发起来的各种新技术、新理论使人类社会迈进了一个高速发展的信息时代。对机械制造业来说,影响最大的 CNC、FMC、FMS 的出现逐步取代了传统的制造设备,它们不仅具备高度自动化的加工能力,而且具有对加工对象的灵活性。在计算机辅助下,如 CAD、CAM、GT、CAPP、NCP 等技术,大大提高了工作效率和精确性,并开始由各种自动化独立岛的方式过渡为信息共享的集成系统。

CIMS 就是一种新兴的制造概念和生产哲理,它把局部孤立的自动化技术和子系统通过计算机通讯技术灵活、有机地集成为一个完整的体系,大大缩短新产品的研制和开发周期。随着 CIMS 的深入发展和技术内容的不断发展,给传统的生产技术、管理技术带来了巨大变革。在激烈的市场竞争中,又萌发出了各种新的先进制造技术,如并行工程(Concurrent engineering)、精良生产(Lean Production)、敏捷制造(agile manufacturing)、虚拟公司(virture cooperation)等。涉及技术和管理体制的新概念,使我们对 CIMS 及相关管理体制、人的作用有了更深刻的了解。先进制造技术是当代科技发展最为活跃的领域,也是现代管理技术的实施重点。

在 CIM 环境下,FMS 已跳出了传统概念,并向小规模标准单元方向发展。凡采用数据和计算机控制的工序都能由 FMS 完成。

FMS 被定义为在广义上的可编程的控制系统,它具有高层次分布数据的能力,适应不同产品寿命周期的动态变化。它最早始于箱体零件加工,后来又扩展到各种成型表面的加工,以及钣金、锻、焊、激光、电火花、喷漆、热处理等工作范围,有效地综合了加工传送和控制功能,成为灵活的高度自动化的生产系统。

站在全盘自动化的高度,根据 CIMS 的总体规划,制造过程必须是用计算机和信息技术把经营决策、设计、制造、装配、检测以及售后服务等过程综合协调为一体的闭环系统。否则,只有加工技术的现代化,没有装配技术的自动化,FMS 就成了自动化孤岛,随着 FMS 的推广应用,以及装配机器人的研制成功,为自动装配技术的开发创造了条件。随着产品更新周期的缩短,也要求自动装配系统(automatic assembly system)具有柔性响应,近而出现了柔性装配系统 FAS (fiexible assembly system),使装配过程通过自动监控、传感技术与装配机器人等实现了无人操作。

实际上, FMS 和 FAS 是相互交叉并采用相同设计思想和相同技术的两类系统, 它们都是“自动化工厂”或“计算机自动化工厂”(CAF)的先驱, 都有物流系统、信息系统及应用遥控技术和计算机管理的自动化仓库系统, 能对社会需求的变化做出迅速的反应。所不同的是 FMS 是一种计算机控制的自动加工系统, 组成 FMS 的核心是 CNC 和加工中心 (machining center), 其功能是使金属毛坯转变成具有一定几何形状、一定尺寸精度, 一定表面质量的机械零件。而 FAS 是一种计算机控制的自动装配系统, 它的主要组成是装配中心 (assembling center) 和装配机器人 (assembly robot), 是使零件转变为具有特定功能的产品。具有各种不同结构能力和智能的装配机器人是 FAS 形象的主要特征。

许多国家开发的高效自动装配系统, 使很多产品装配工艺从适应人机工程学设计的手工组装线转向高效柔性自动化。首先是中小型机电产品逐步引入自动装配机制, 成为自动装配技术开发的新格局。美国已将 CIMS 列入六大科技发展方向之一。自动装配技术近年来发展很快, 如克罗斯公司除从事小型产品、汽车发动机及有关部件的自动装配机 (automatic assembling machine) 的研制外, 还从事装配机器人、集成装配系统、装配单元及全套设备的开发 (在设计中采用 CAD, 利用计算机彩色动画模拟优化设计, 该公司从 1986~1990 年四年里开发制造了 30 条左右自动装配机和自动装配线)。这些装配机 (线) 都是具有很高的生产率: 小型产品每小时装配 900 件, 节拍为 4s; 发动机和传动箱装配线每小时 225 件。日本由于对小汽车采用柔性装配线进行最终组装, 零部件的准时输送系统, 每隔 20min 可把需要的一定数量的小汽车零部件运送到装配工位。瑞士研制成功手表自动装配线。比利时 New Lachaussee 公司研制的具有模块化工作站的雷管自动装配线, 生产能力达 140000 发/班。美国 King Sbury 公司研制的全自动或半自动装配系统可用于家用冰箱压缩机、汽车主动转向泵、家用空调压缩机、汽车自动变速器、汽车减振器、汽车制动器等多种产品装配, Swamson-Erie 公司的引信自动装配线等都体现了当代装配技术的新水平。美国 Bodine 公司一直从事中小型产品的高速自动化装配技术研究, 已有 50 年历史, 开发出了模块式自动装配机。1980 年, 英国政府曾拨款 30 万美元由伦敦 BRSL (英国机器人系统公司) 用了 8 年时间对 FAS 进行了可行性研究, 研究出一种 FAS, 能对质量小于 15kg, 体积小于 0.03m^3 的电器、电子、机械产品进行柔性装配, 年产量可达 20~30 万套。更换产品的时间仅为 1~2h。以前, 专用的机械式自动装配机是非常昂贵的, 但近年来自动装配机的零部件, 如基础件定位传递或连续传动装置、机械装配工具和夹具逐渐标准化, 使自动装配机广泛应用于制造业的大规模生产线上。全自动装配机或系统已在灵巧的柔性装配领域得到实际应用。

自动装配系统大致经历了三个发展阶段: 最初是采用图 1-1 所示的传统的机械开环控制单元, 如操作程序由分配轴把操作时间运动行程信息都记录在凸轮上。

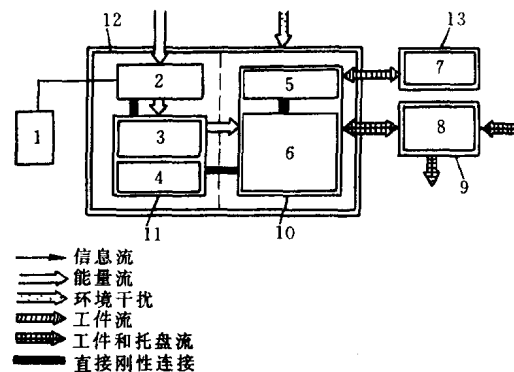


图 1-1 采用机械方法的装配装置

- 1—操作者 2—电动机 3—机械顺序控制器 4—机械运动控制器 5—零件输送装置 6—装配操作装置 7、8—零件 9—夹具和托盘装置 10—机械装配装置 11—机械控制装置 12—采用机械控制的装配系统 13—零件进送装置

第二个阶段的自动装配系统如图 1-2 所示。控制单元采用了预调顺序控制器,或者采用可编程控制器,操作时间分配和运动行程摆脱了机械刚性的控制方法。由于采用微电子器件,各种信息都编制在控制程序中,不仅调整方便,而且提高了系统的可靠性。

发展到第三阶段,进入所谓装配伺服系统 (servo system),控制单元配备了带有智能电子计算机的可编程控制器,能发出改变操作顺序的信号,根据程序给出的命令和反馈信息,使操作条件或动作维持在设计的最佳状态。这种自动装配系统如图 1-3 所示。

对于精密零件的自动装配,必须提高夹具的定位精度和装配工具的柔顺性,目前定位精度在 0.01mm 的自动装配机已得以应用。

为提高定位精度采用带有主动自适应反馈或前馈位置控制器,一种是通过光电传感视觉设备,接触压力传感器等对零件的定位误差进行修正。这种伺服装配工具、夹具可以对有紧密配合的部件进行自动装配。另外一种是针对组装零件的物理、化学、电气和力学性能进行测量的装置和智能计算机控制的伺服执行机构,这种伺服装配工具和夹具可进行精密装配。

为适应多品种小批量产品的柔性自动化装配,就要求对专用装配工具、夹具、托盘、送料装置和机械控制元件实现快速更换。图 1-4 为汽油箱液面检查

仪的多品种随机流程装配线,它有 10 个装配工位,每个工位都配置有专用多位置拾放装置和多品种供料装置,上百个系列产品可在 1min 内快速更换,任意装配,每天可装配 200 个不同的产品。

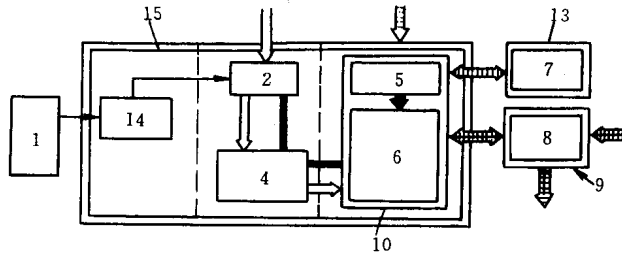


图 1-2 采用预调顺序控制器的装配装置
1~13 见图 1-1 14—可编程顺序控制器 15—采用可编程顺序控制器的机械装配装置

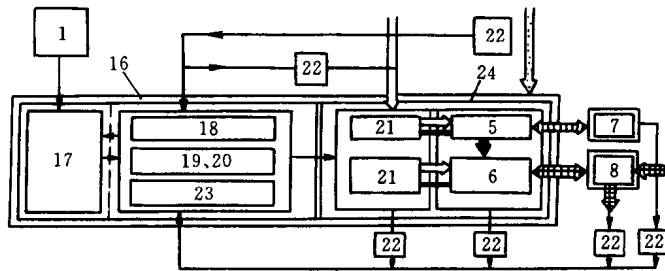


图 1-3 带可编程操作控制器的自动装配装置
1~15 见图 1-1、图 1-2 顺序控制器 16—可编程操作控制器 17—操作程序处理器 18—前馈控制器 19—最佳控制器 20—自适应控制器 21—伺服执行机构 22—传感器或探测器 23—反馈控制器 24—可编程操作控制器的伺服装配装置

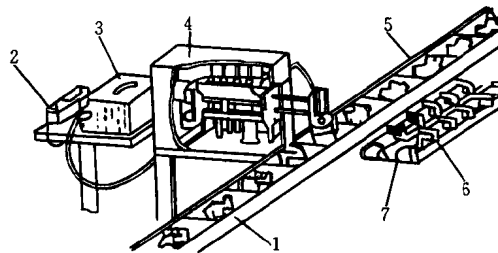


图 1-4 汽油箱液面测量仪的多品种随机物流装配线

1—主传输装置 2—示教装置 3—机器人控制装置 4—机器人 5—壳体件 6—双金属片 7—辅助传输装置

装配中心实际上是一种独立的装配机,所需的装配零件由送料装置依次送到装配中心。它能快速更换装配工具和装配夹具,设计适用于多种不同的零件。装配工具的定位是由带计算机的可编程控制器控制的伺服执行机构来实现,图 1-5 为 6 个装配装置构成的装配中心。图 1-6 是由装配中心组合的机床自动装配单元。

此外,自动装配技术还涉及管理系统,例如从零件准备到监控和装配过程调度工作都采用微电子设备,即可编程数控坐标、装配机器人柔性运输设备等,使整个装配过程按程序的随机指令进行操作。自动装配系统中应用自动检测、触觉和视觉传感器对故障或潜在性故障自动诊断,可使各装配环节准确的联锁操作。在质量保证与监控装配过程方面进行数据采集与 SPC (统计工艺控制) 分析,自动完成零件分类、送料、旋紧、冷冲、铆焊等装配过程的全部操作。

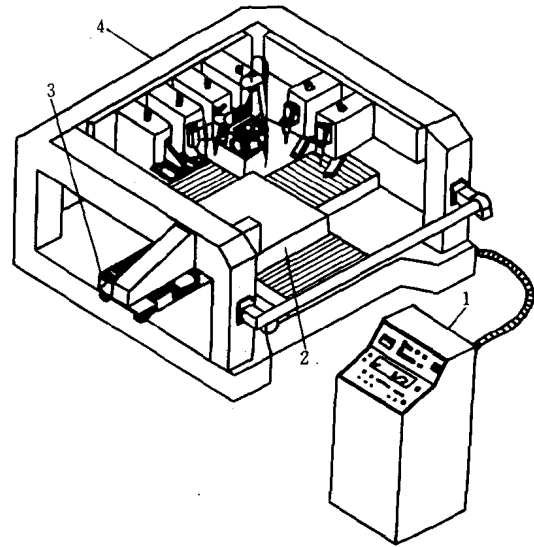


图 1-5 由 6 个装配装置构成的装配中心
1—控制柜 2— x, y 方向定位工作台 3—送料机构 4—装配装置

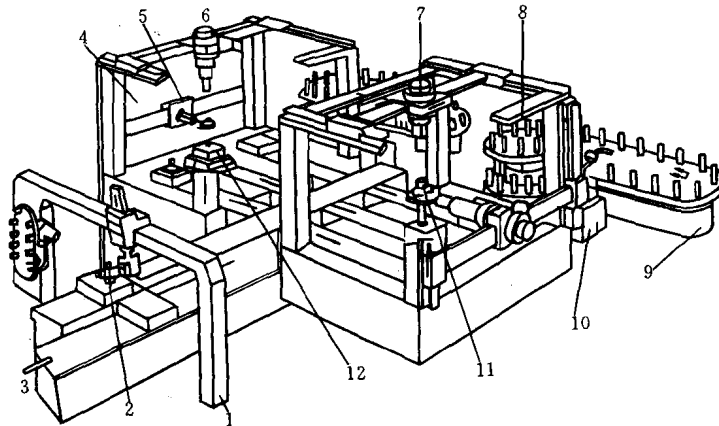


图 1-6 机床自动装配单元
1—零件传输装置 2—装配件 3—来自零件加工中心 4—盒 5—夹持装置 6—插入和压紧装置
7—拧紧装置 8—装配工具库 9—装配工具存储器 10—自动化装配工具交换装置 11—第 2 工位（拧紧） 12—第 1 工位（插入和压紧）

由于 FAS 起步较晚,目前无论在数量上和种类上都远不及 FMS 的发展,两者之间的明显反差还体现在装配费用占产品总成本的 20%~70%,装配作业中既使零件输送、精度检测、分组及试验等实现自动化,但最终装配总成大多数企业仍靠人工完成,加上产品的多样性、装配事件的随机性和系统状态的模糊性,实现自动装配与柔性装配是一项非常复杂的工作。但是,我们应看到,装配过程自动化的各项基础技术在迅速发展,这些基础技术在向纵深发展的同时,也向横向扩展;与其他技术互相渗透,最典型的是控制技术,网络通讯技术和人工

智能技术的结合，为自动装配技术注入了新的活力；机电一体化提供了柔性自动化手段；CAD/CAM 为装配机器人建立了程序。CIMS 将在制造业中占主导地位，其发展趋势必将随带头学科之一——电子计算机技术地飞跃而迅速发展。我国制订了 21 世纪发展五个重点关键技术的长远目标，在自动化领域内计算机综合自动化制造系统和智能机器人已成为高技术发展的两个前沿主体项目。许多专家学者预言：CIMS 是制造业发展的必然趋势。CIMS 将不可逆转的成为 21 世纪占主导地位的新型生产方式。CIMS 的核心是由工程设计自动化、制造自动化、管理信息和质量保证四个分系统以及计算机网络通信和数据库两个支撑分系统构成的。其中制造自动化分系统包括实现多品种小批量的柔性装配系统。所以说 FAS 是 CIMS 的重要组成部分，也是未来“灵捷”制造的基础，为满足 21 世纪制造技术的发展需要，必须研究开发柔性自动装配技术。

三、实现装配自动化的途径

(一) 借鉴先进技术加大开发力度

研究与开发自动装配技术与柔性装配技术，大幅度提高装配质量和装配效率，是制造业的一项重要任务。首先，在产品的设计阶段充分考虑装配自动化问题是非常重要的，因为自动装配系统的最大柔性主要来自被制造的零件族的合理设计。工业发达国家已广泛推行便于装配的设计准则 (design for assembly)，其主要包含两方面重要内容：一是尽量减少产品中的单个零件的数量；二是改善产品零件的结构工艺性。基于该准则的计算机辅助产品设计软件也已开发成功。目前，这些国家便于装配的产品结构在设计人员头脑中所占的地位已不亚于便于数控加工的产品结构。实践证明，提高装配效率，降低装配成本，实现装配自动化方面所做的最大工作量首先应是改进产品设计，所需解决的基本理论分析和实验研究的问题有：

- 1) 研究自动装配产品的结构工艺性；
- 2) 研究并设计自动装配工艺过程；
- 3) 设计制造自动装配设备或装配机器人。

此外，还应对合理配合间隙或过盈量的确定及控制方法，装配生产的组织与管理等进行研究，开发新的装配工艺和技术。

从国外自动装配技术的发展过程来看，首先是在大批量生产的企业里，从小型简单产品的装配机械化开始，逐渐发展到能实现自动装配的装配机和连续自动装配的装配线，后来发展到对大型产品的自动装配，最早阶段研制的装配系统都具有一定的专用性。

柔性装配是自动装配技术发展方向，采用柔性装配不仅可提高生产率、降低成本、保证产品质量一致性，更重要的是能提高适应多品种小批量的产品应变能力。FAS 的选用率、复杂程度和它的发展是随时间而变化的，在一定历史阶段的发展水平受财力和技术水平的限制。当前，对我们较突出的问题是该项技术的设备投资较高，并缺乏这方面的技术人才。

(二) 尽快实现自动装配设备与 FAS 的国产化

我国已建立了装配机器人研究中心，并取得了很大进展。我们应该根据我国国情加大开发自动装配技术的力度，在引进外来技术的基础上实现自动装配设备的国产化，逐步形成系列型谱并使其模块化、通用化。同时，要组成一只专业科技队伍，专门从事自动装配技术的开发研制，用高技术起点的自动化设备来装备企业，以改变装配技术落后的局面。

早在 1956 年，日本在《经济白皮书》中提出的对策是“通过大规模的设备投资来提高生

产率,加强国际竞争能力”,这与美国当时实行的“风险投资”政策是一致的。实践证明,风险投资是促进高新技术和新兴产业发展的有效途径,带来的是整个产业体系、质量水平的提高和经济效益的大幅度增长。

1993年,德国FraunHofer制造工程和自动化研究所H·J·WARNECKE在“来自工业界100个FMS项目的信息”中强调指出:“今天对人的投资决定明天的回报”。人是决定性因素,无论是设计人员还是现场技术人员的能力和水平都是实施先进制造技术是否有效的前提。80年代末,由美国国防工业系统提出的一种新兴的制造概念和生产哲理——并行工程,其思想就是在产品设计阶段就集中研制产品各环节的有关人员对产品的性能和进程的设计同时做出评估,及时改进设计,得到共同满意的结果,并对下游各技术环节同时做出准备和操作,达到各项技术设计和制造一次成功。这样既保证了设计和制造质量,又大大缩短产品的研制和开发周期,成为当前国内外制造界和技术界研究和实施的热门话题。

有些产品不适应自动装配的原因,并不在于自动装配技术本身,而是由于产品结构设计的_不合理。对于自动装配,产品结构工艺性具有特殊意义。因为在许多情况下,产品结构工艺性不仅决定了自动装配的有效程度,而且也决定了自动装配的可行性和经济上的合理性。在不影响使用性能和制造成本的前提下,产品结构的合理改进,往往可以极大地降低自动装配的难度和成本。今后,我们在新产品的研制开发中,也必须贯彻装配自动化的设计准则,不断提高便于自动装配的产品结构在设计人员头脑中的地位,把产品设计和自动装配的理论与实践协调一致做为新产品的_{设计}方法。否则,在不同的范围和时间内很容易导致失败。即使采用各种装配机器人和先进的控制设备,也不能补偿装配过程的低效率。

自动装配过程必须保证系统的可靠性,导致不成功的另一个原因往往取决于组成FAS的各种元件和子系统的有限寿命,因而,研制阶段必须进行充分的工艺试验,对易停工的部位设置多余度系统,使装配过程自动化形式和范围更趋合理。

在当前生产技术水平下,还应根据我国国情注意研究和开发自动化程度不一的各种装配方法,如对某些产品、研究利用机器人、刚性的自动化装配设备与人工结合等装配方法,而不能盲目追求全盘自动化,这样有利于提供最佳经济效果。装配机器人是未来柔性自动化装配的重要工具,将成为世界上继汽车、计算机之后的第三大产业,因此,集中优势跟踪这方面高技术的发展非常必要。大力发展廉价的装配机器人,是今后相当长的一个时期内发展我国机器人的基本国策。

第二节 自动装配系统与FAS的组成和分类

所谓装配是按规定的技术要求,将几何形状规则的零件进行配合联接成装配单元、部件、复合件和产成品的工艺过程。装配是整个生产系统的一个重要组成部分,是整个制造工艺过程的最后一个环节。装配工艺过程包括装配、调整、检测和试验等工作。

一、自动装配系统与FAS的组成

自动装配系统必须包括装配过程的物流自动化、装配作业自动化和信息流自动化等系统。

(一) 装配过程的物流自动化

装配过程中的物流自动化是指装配工艺过程的运储系统的自动化。物料通过一系列的工

作区朝着一个方向高速运动，它与机械加工物流系统不同点在于物料传送期间，自动装配系统的非生产时间很短。物流系统一般包括：产品及装配零部件出入库、运输和储存，主要设备是自动化立体仓库、堆垛起重机、自动导向小车和搬运机器人等。

(二) 装配作业自动化

任何一种产品的自动装配过程，都是将相互间处于相对静止状态和可动状态下的零件按其所要求的位置进行组合或固定。

零件的定向 (direction) 和定位 (positioning) 精度是影响装配过程的稳定性及装配质量的主要因素。因此，应该采取措施确保其实现。一个好的供料系统必须提供充足的存储容量，维持恒定的进给率，保证准确的定向，提供精确的定位方法，并实现零件的追踪与分离。而一般要装配的零件多处于无约束的自由状态，搬运这些零件就成为自动输送中的难题。在进行自动装配系统设计时，首先考虑零件的自动供料系统，这对自动装配系统的结构有很大影响，而且在自动装配系统开发的经费和时间上占有相当大的比例。

在拟定自动装配工艺时，所遵循的原则是既应保证装配作业实现自动化，又应保证装配过程的可靠性。任何装配工作都是简单的拾一放运动，把一个零件拿起来装到另一个零件上。但是，在这个简单运动中，却会有数个明显不同的动作，即定位、抓取、拾取、移动、放置、配合和反馈。

自动装配工序的概念是含有在确定的工位上完成装配对象的联接动作，每个工位上的动作都有独自的特点，工序之间由传送机构 (transfer mechanism) 连接起来。自动装配工序有：

- 1) 装配工序 (又可分为安装工序和固定工序)；
- 2) 检测工序 (包括检验、检查和测试等)；
- 3) 调整工序；
- 4) 辅助工序 (清洗、去毛刺、打标记、上油、分选、压入密封件等)；
- 5) 机械加工工序。在自动装配设备上对特定零件进行机械加工，而后进入装配，也可以安装和固定后，对一个或几个零件进行加工。

安装工序是指在自动装配设备的专用工位上进行装配部件、零件的预备联接 (没有固定)。

通常，安装工序随后是固定工序，也可以把安装和固定放在一个工位上进行。

零件固定工序指的是螺纹联接、压配联接、热压过盈联接、装销钉和开口销、铆接、折边联接、卷边、敛缝、压紧、弯曲、缠绕、粘接、塑料压制成型和焊接等。

常见的装配作业基本形式有：轴孔类零件的过盈配合、过渡配合、间隙配合装配；螺钉联接、热压过盈联接、开口销联接、铆接、折边联接、卷边；粘接、焊接、缠绕、加润滑油脂、镶嵌零件等。此外，为完成装配作业还经常进行一些辅助作业。

自动装配工艺过程也包含有检测工序，检测工序一方面保证装配质量，另一方面在装配过程中对各种故障进行处理。

自动检测的内容包括：装入零件是否有缺件、装入零件方向、位置的识别；装入过程中零件的夹持误差，异物的混入；装入零件的分选误差，装入后的尺寸精度、密封质量、装配质量；装配的灵活性；性能试验；装配过程的故障诊断、预测报警以及产品装配完成以后产品的功能检查等。

自动装配技术的开发包括零件配合过程的研究和装配系统的研究两个方面。配合过程是应用尺寸链原理,保证产品的装配精度。装配不同于加工,装配过程是多种零件同时参与,而加工过程的对象则是单一的。一般装配零件是处于无约束的状态下,能否在即定条件下完成装配,是由零件开始接触一瞬间的相对位置决定的。因此,必须提高装配零件的相对位置精度和具有适当柔量的装配工具与夹具的定位精度。如果出现相对位置偏差将产生接触力,零件或机器人手腕夹爪将发生微量变形,如果位置偏差不超出允许值,配合会顺利进行,若偏差过大,将恶化装配条件。自动装配工具应能配合允许的间隙量,利用接触力的反馈信息自动调整,进行精确配入和随动纠偏。同样,智能装配机器人或移置机构应能保证零件快速到位和精确配入动作,应通过传感器检测零件装配时所受的力和力矩,用数控拾一放装置或柔顺手腕控制装配工具,实现柔顺定位。自动化装配还需根据产品特点、装配对象、零件配合间隙、品种规格等合理地选择装配机的类型和数量,使装配作业分配在装配机的各个工位上。

(三) 装配过程的信息流自动化

装配是生产过程的最后阶段,必须在交货时间、批量大小、产品更新换代等方面最大限度地适应不断变化的市场要求。自动装配过程与自动化仓库存取的调度、零件数量、品种的协调都必须建立严格的装配生产组织和有效的技术管理措施,使装配过程中的各种信息数据的收集、处理和传送实现自动化。

- 1) 使市场预测、订货要求与生产计划间信息数据的汇集、处理和传送自动化;
- 2) 使加工好的零件、外购件的存取及自动仓库的配套发放等管理信息自动化;
- 3) 使自动装配机(线)与自动运输、装卸机器人及自动仓库工作协调的信息流自动化;
- 4) 装配过程中的监测、统计、检查和计划调度的信息流自动化。

上述各种装配信息流的自动化,可以采用多级计算机、自动监测装置、建立数据库和自动的信息系统等手段来实现,也可以采用人机对话形式实现。

二、自动装配系统与 FAS 的分类

自动装配系统按主机的适用性可分为两大类:一是根据特定产品制造的专用自动装配系统,或专用自动装配线;其二是具有一定柔性范围的程序控制的自动装配系统。

(一) 专用自动装配系统

自动装配系统必须具备三个功能,即装配、传送和零件供应。特别是传送功能,是决定自动装配系统生产各环节的重要因素,其形式有回转式、直进式、同步式、非同步式等。

为了实现一个装配工具装配一个零件,必须使夹具或基础件从间歇性停顿位置向下一个位置传送,每一个工作位置称一个装配工位(装配工作站),通常自动装配系统由一个或多个工位组成,各工位设计以装配机整体性能为依据,结合产品的结构复杂程度,确定其内容和数量。

1. 多工位自动装配系统

(1) 固定顺序作业式自动装配系统。它是适用单一品种大量生产传统式的自动装配系统。

(2) 利用装配机器人进行顺序作业的自动装配系统。这种系统装配机器人在作业线上只起到与普通单一功能装配工具的相同作用,机器人实际上是可编程序的高性能装配工具。这种自动装配系统没有更换零件的供给装置,不能适应多品种的变换。为了发挥装配机器人的

作用,可以通过操作位置编程,实现对同种零件不同位置的安装,如拧紧螺钉,这类类似于焊接机器人和喷涂机器人,还可以通过编程控制,实现将平面托盘上不同位置的零件安装到同一位置的基础件上。

2. 单工位自动装配系统 在传统的单工位装配机上,可进行三个以下零件的产品装配。但利用装配机器人可在一处装配许多零件的产品。

(1) 独立型自动装配系统。只配备一台装配机器人,可装配直接供给机器的许多零件,在一处完成全部装配作业。

(2) 装配中心。它是一个配置多台固定式装配机器人或具有快速更换装配工具系统,采用具有料斗作用的零件托盘,成套地向机器提供大量的多种零件。在同一处装配作业所构成的自动装配系统称为装配中心。

(3) 具有坐标型装配机器人的自动装配系统。它是利用具有 $x-y$ 坐标型机器人,进行简单对话式程序设计,关键零件靠托盘供应,是一种较灵活的系统,定位精度可达 0.01mm 。

以上自动装配系统适应一种产品的装配,许多设施是刚性的,不适合于产品的更换。

(二) 柔性装配系统

当前,在自动装配技术中人们主要关心的是柔性自动装配系统(FAS)。

尽管柔性装配技术已为众人所知,但从术语上讲还是没有一个明确的定义。事实上柔性取决于人、可编程序性、组合性、快速更换装配工具和可选择工位等,并有人机接口系统。

柔性装配系统由下列各部分组成:装配机器人系统、灵活的物料搬运系统、零件自动供料系统、工具(手指)自动更换装置及工具库、视觉系统、基础件系统、控制系统和计算机管理系统。

柔性装配系统通常有两种形式:一是模块积木式柔性装配系统,另一是以装配机器人为主体的可编程序柔性装配系统。按其结构可分为三种:

1. 柔性装配单元 这种单元借助一台或多台机器人,在一个固定工位上按照程序来完成各种装配工作;

2. 多工位的柔性同步系统 这种系统由传送机构组成固定或专用的装配线,采用计算机控制,各自可编程序和可选工位,因而具有柔性;

3. 组合式结构的柔性装配系统 这种结构由装配所需的设备(如钻孔、装入螺钉、旋拧螺钉机构)、工具和控制装置组合而成,可封闭或置于防护装置内。例如,安装螺钉的组合机构是由装在箱体里的机器人送料装置、导轨和控制装置组成,可以与传送装置联接。这种组合式多功能装配系统,通常要有三个以上装配功能。

三、装配系统的方案选择

产品装配系统包括多种不同的设备,拟制造的装配机应能广泛而有效地在生产中使用,为此,在拟定方案时,必须根据产品的生产纲领进行综合论证,并了解产品特点、装配对象、零件配合间隙、产品是否有多种规格等。确定了合理的装配方式,还要考虑是采用一台装配机,还是采用几台装配机,以及如何把装配作业分配在各装配机上,通过经济效益分析,求得最佳方案。

在人工、柔性自动化和专用自动化三种装配方法中,如何选择,还要考虑与装配产品的生产纲领有关的产品价格和成本。在装配任务太复杂或机器操作易损坏产品的情况下,可采用人工装配(有时也考虑人工装配的经济性)。