



GH

高等学校工科电子类教材

工业自动化设备 概论

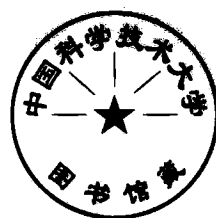
● 朱玉超 编

● 西安电子科技大学出版社

高等学校教材

工业自动化设备概论

朱玉超



西安电子科技大学出版社

1995

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书为高等学校统编教材,与《数控技术》、《液压与气动》、《电机与电器》、《自动化元件与线路》、《机械手与机器人》、《计算机应用》等教材配套使用。本书主要从工业生产的角度出发介绍工业自动化生产设备有关的基本理论与概念,包括:劳动生产率理论与生产率理论;自动化单机与自动线的工作原理和组成;工业自动化生产中涉及的驱动与传动、物料输送、常用机构、工作站和控制系统等,还讨论了自动化单机与生产线的总体设计等问题。

本书内容紧密结合生产实际,可作为机械类工业自动化专业的教学用书,也可作为有关人员的参考书。

高等学校教材

工业自动化设备概论

朱玉超

责任编辑 陈宇光

西安电子科技大学出版社出版

地址:西安市太白南路2号 邮编:710071

陕西省大荔县印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 17 12/16 字数 420 千字

1995年12月第1版 1995年12月第1次印刷 印数 1-2000

ISBN 7-5606-0370-X/TP·0143(课)

定价:14.00元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作的规定，我部承担了全国高等学校和中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978~1990年已编审、出版了三个轮次教材，及时供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻国家教委《高等教育“八五”期间教材建设规划纲要》的精神，“以全面提高教材质量水平为中心，保证重点教材，保持教材相对稳定，适当扩大教材品种，逐步完善教材配套”，作为“八五”期间工科电子类专业教材建设工作的指导思想，组织我部所属的九个高等学校教材编审委员会和四个中等专业学校专业教学指导委员会，在总结前三轮教材工作的基础上，根据教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1991~1995年的“八五”（第四轮）教材编审出版规划。列入规划的、以主要专业主干课程教材及其辅助教材为主的教材约300多种。这批教材的评选推荐和编审工作，由各编委会或教学指导委员会组织进行。

这批教材的书稿，其一是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的，其二是在认真遴选主编人的条件下进行约编的，其三是经过质量调查在前几轮组织编定出版的教材中修编的。广大编审者、各编审委员会（小组）、教学指导委员会和有关出版社，为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能有缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评和建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

机械电子工业部电子类专业教材办公室

前 言

本教材系按原机械电子工业部工科电子类专业教材 1991~1995 年编审出版规划,由电子机械教材编审委员会征稿并推荐出版。责任编委为杭州电子工业学院周千恂老师。

本教材由西安电子科技大学朱玉超编写,杭州电子工业学院华谟净主审。

本教材参考学时数为 75 学时,其主要内容是将工业自动化设备(包括自动化单机和自动生产线)作为一个整体,讨论其组成及各部分的作用、驱动和传动及工作站、物料传送、控制及传感器等内容,主要取材于原编《工业自动化设备概论》(朱玉超、严武升编,西安电子科技大学内部教材)。这次重编,参考了参考文献[2]、[3]、[4]的内容安排,听取了周千恂老师的宝贵意见,对原编进行了较大的增减删改和重新组织。编者对周老师深表谢意。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,编者殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1995 年 9 月

目 录

第一章 绪论

1.1 生产与生产过程	1
1.2 自动化的含义	3
1.3 实现自动化的技术途径	5
1.4 工业自动化设备的组成与分类	8
1.5 自动电子机械设备设计要求 和设计步骤	11
1.6 本课程的主要内容	12
复习思考题	13

第二章 工业生产自动化的基本理论

2.1 劳动生产率	14
2.1.1 劳动生产率	14
2.1.2 劳动生产率的参数表示	15
2.1.3 劳动生产率增长系数	16
2.1.4 设备更新的合理性	18
2.1.5 提高劳动生产率的途径	19
2.2 生产率	21
2.2.1 机器的工作状态	21
2.2.2 机器的工艺生产率与 循环生产率	21
2.2.3 生产率	23
2.2.4 结构组织参数对生产率的影响	26
2.3 机器的可靠性	32
2.4 生产中的经济分析	32
2.4.1 投资分析基本原理	33
2.4.2 生产中的各项成本	35
2.4.3 盈亏平衡分析	35
复习思考题	37

第三章 工业自动化设备的工艺

原理图与循环图

3.1 工艺方案的类型与选择	38
3.2 工艺方案的拟定	38
3.3 工艺原理图的绘制	41
3.4 节拍计算和节拍平衡	43
3.5 自动机械的循环图	50
3.5.1 执行机构的运动循环图	50
3.5.2 执行机构运动循环图设计计算	53
3.6 循环图的同步化	54
3.6.1 执行机构运动循环时间同步化	54

3.6.2 执行机构运动循环空间同步化	59
3.6.3 小结	60
3.7 机构的运动规律及类型	61
3.7.1 运动曲线及其类型	61
3.7.2 运动曲线的无因次表示 及其特性值	62
3.7.3 凸轮轴的扭矩	63
3.7.4 基本运动规律	65
3.7.5 机构的速度类型与判别准则	68
3.7.6 机构及机构运动规律的选择	69
复习思考题	70

第四章 工业自动化设备的驱动与传动

4.1 机器的负荷	71
4.1.1 摩擦负荷	71
4.1.2 机器的惯性负荷	72
4.1.3 金属的成型力、切削力和 切断力	73
4.1.4 挤出粘滞性材料所需的力	74
4.1.5 件料管道气力输送所需的力	74
4.1.6 载荷的综合及负载的矩特性	76
4.2 驱动装置的类型	77
4.2.1 直流电动机	77
4.2.2 步进电机(SM)	80
4.2.3 交流电机	81
4.2.4 力矩电动机	81
4.2.5 液压系统	81
4.2.6 气压缸和液压缸	82
4.2.7 真空源	82
4.2.8 电磁铁	83
4.3 总传动比的选择	84
4.4 传动系统的选择与设计	85
4.5 传动链级数与各级速比的选择	87
4.5.1 “折算转动惯量小”的 原则和方法	88
4.5.2 “折算转角误差小”的 原则和方法	89
4.5.3 “重量轻”的原则和方法	90
4.5.4 确定级数和各级速比的 综合考虑	91
4.6 驱动系统的动力分析	91

4.6.1 驱动系统的简化模型	92	7.2 手部及手部定位偏差	169
4.6.2 扭振系统固有频率的解析计算	94	7.3 腕部	173
4.6.3 霍尔兹法(列表算法)	95	7.4 臂部	174
4.6.4 分支系统与差动振动	97	7.5 机身	176
复习思考题	99	7.6 几种工业机械手的结构	177
第五章 物料传送(一)		7.7 工业机械手运动方案设计	185
5.1 件料自动上料装置	100	7.7.1 自由度及其选择	185
5.2 丝料自动上料装置	106	7.7.2 坐标系选择	186
5.3 振动上料装置	109	7.7.3 运动方程	188
5.3.1 组成与分类	109	7.8 机械手的缓冲与定位	190
5.3.2 振动上料装置的工作原理	110	复习思考题	192
5.3.3 振动上料装置的参数 选择与设计	113	第八章 工业自动化设备中常用机构和装置	
复习思考题	118	8.1 间歇机构	193
第六章 物料传送(二)		8.1.1 棘轮机构	193
6.1 具有挠性牵引构件物料 传送装置的组成	119	8.1.2 槽轮机构	195
6.1.1 挠性牵引构件	120	8.1.3 蜗形凸轮机构	198
6.1.2 张紧装置	125	8.2 步进装置	200
6.1.3 驱动装置	127	8.3 夹紧定位装置	202
6.2 牵引构件的张力计算	128	8.3.1 随行夹具	202
6.2.1 阻力计算	128	8.3.2 输送托盘与固定夹具	203
6.2.2 张力计算逐点法	131	8.3.3 定位装置	204
6.2.3 张力计算图解法	133	8.4 转位装置	207
6.3 驱动装置有利驱动位置的选择	135	8.5 中间料库	211
6.4 摩擦驱动与带式输送	139	复习思考题	214
6.4.1 摩擦驱动原理	139	第九章 工作站简介	
6.4.2 带式输送装置的主要零部件	141	9.1 装配工作站	215
6.4.3 带式输送装置的设计	142	9.1.1 概述	215
6.5 链式输送装置	145	9.1.2 装配作业的基本形式	216
6.5.1 链条与链轮啮合的 运动学特性	146	9.1.3 装配作业自动化对零部件 结构工艺性的要求	217
6.5.2 链条与链轮啮合的 动力学特性	148	9.1.4 轴、孔类零件装配作业自动化	217
6.5.3 链式输送装置的设计	150	9.1.5 螺纹联接自动化	220
6.5.4 悬挂输送	152	9.1.6 印制板部件装配过程自动化	222
6.5.5 悬挂输送的控制系统 与物料自动寄送	159	9.2 包装机械简介	231
6.6 自动化仓库简介	160	9.2.1 包装的功能、分类与包装材料	231
6.7 自动小车	164	9.2.2 包装作业的基本形式、包装机的 组成和分类	232
复习思考题	167	9.2.3 几种包装机械	233
第七章 工业机械手		9.2.4 辅助包装机械	237
7.1 工业机械手的组成与分类	168	复习思考题	238
		第十章 控制系统与常用传感器	
		10.1 控制系统的功能、组成与分类	239
		10.2 工作循环周期表	247

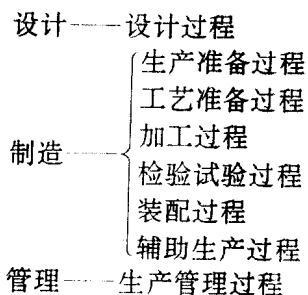
10.3 联锁、信号和故障寻找系统	249	11.3 影响总体结构方案的主要因素	260
10.4 常用传感器	252	11.4 工艺方案	261
10.4.1 开关	253	11.5 关于总体布局	262
10.4.2 位移与角度传感器	255	11.6 自动线的联接方式	267
10.5 基本逻辑元件选择	256	11.7 自动线总联系尺寸图的绘制	270
复习思考题	258	11.8 自动线的安全防护	271
第十一章 工业自动化设备的总体方案设计		11.9 自动线实例	273
11.1 工业自动化设备总体设计的		复习思考题	275
一般要求	259	参考文献	276
11.2 总体设计的内容与步骤	260		

第一章 绪 论

1.1 生产与生产过程

工业生产(简称生产)是原料在体力劳动、脑力劳动、机械、特殊工具的综合作用下,成为市场上有价值的商品的变化过程,这个变化过程又称为生产过程。生产是一步接一步进行的,其中每个步骤称为“生产工序”。根据生产工序的性质,一类生产具有连续的特征,如化工、石油、粮食加工等;另一类生产以“件料”为对象,具有间断的特征,如汽车、计算机、电子产品等的生产,本书主要讨论件料生产中工业自动化设备问题。

尽管工业生产的产品品种繁多、大小悬殊、有途不一、形状各异,但就生产方式来划分,一般可分为大批量生产和多品种中小批量生产两种类型;就生产工艺而言,又可分为冷加工、热加工及特种工艺(如注塑、电泳等)。从整个生产过程来看,不论哪种方式或工艺的生产,都可以分为以下三大环节八个主要过程:



生产总是在一定处所进行的,这个处所就是生产车间或工厂。依据生产的量和速度,生产车间有三种类型:单件生产、批量生产、大规模生产。这种分类常与件料生产有关。但也适于加工工业的一些车间。单件生产车间的特点是:产量低、批量小,往往每一类只生产一件或几件来应付用户特殊的订货;车间的生产是多样性的,生产设备必须是通用的、柔性的;车间工人的技术水平相对要高,只有这样才能满足不同工作任务的需要。单件生产车间的产品有:宇宙飞船、飞机、特殊的工具、新研制的设备、未来产品的样品等。批量生产是指以中等批量来生产同一种产品。这种批量可能只生产一次或每隔一定时间生产一次。批量生产的目的是满足用户对特定产品的不断需求。批量生产的特征是:根据用户需求组织产品的生产,待产品库存增多至一定程度后转产其它订货。一旦原产品库存枯竭时,再生产原产品以增加库存。因此,批量生产所用设备应是通用的,生产率应较高,对工人技术水平的要求较低。批量生产的产品有各类工业设备、家俱、教科书等。大规模生产是指不断地专门生产同一种产品,其特点是设备专用于生产某一特定产品,设备生产率高,刀夹量具专用,对工人的技术水平要求低。大规模生产的产品如螺钉、螺帽、电阻、电容等。

大规模生产可分为两种类型,一类是大量生产,比如在冲床、塑料注射成型机和自动攻丝机等高生产率的标准专用机床上,大量生产单一的零部件。另一类是流水作业生产,

1.2 自动化的含义

从金属加工业分件制造的生产过程来看,自动化是一种把复杂的机械、电子和以计算机为基础的系统应用于生产操作和控制中,使生产在较少人工操作与干预下自动进行的技术。在自动化生产中应用的系统一般由以下部分组成:

- 自动机床;
- 物料自动搬运系统;
- 自动装配机;
- 流水作业线;
- 信号检测数据采集系统;
- 计算机过程控制系统;

为支持制造活动用来收集数据、进行规划和作出决策的计算机控制系统。

因此,多数人认为,工业自动化就是指将多台设备组合成有机的联合体,用各种控制装置和执行机构进行控制,协调各台设备的动作,校正误差,检验质量,使生产全过程按照人们的要求自动实现,并尽量减少人的操作与干预。

从生产过程的三大环节八个主要过程来看,目前工业自动化的主要内容是:

(1) 设计过程。以机械工业为例,设计人员一般约占技术人员的 10%~15%左右,设计工作中将近 50%~60%的工作量是制图和其它一些重复性劳动,而且长期停留在经验设计的水平上,因此设计过程工作量大、周期长、质量低、设计的产品材料消耗多且安全裕度过大。如何应用计算机进行产品设计、性能分析和模拟试验已经提到日程上。60 年代,国外将(CAD)计算机辅助设计技术成功应用于飞机、汽车、船舶、电机和变压器等机电产品的设计中。现在 CAD 技术已由初期的检索型发展到较普遍采用的会话型,在微型机广泛应用的基础上,又出现了所谓台式 CAD 系统,并已经研制成许多通用的标准的程序和许多新的性能模拟试验、分析和评价方法。进一步发展的目标是将 CAD 与 CAM(计算机辅助生产)联接起来,实现 CAD/CAM 一体化系统。

(2) 生产准备过程。生产准备过程包括根据公司销售和市场信息部门提出的产品订货订单,考虑生产纲领、本厂设备及库存情况;编制材料、刀具、元器件、专用设备 etc 需用、采购、外协加工委托计划;必要时,甚至包括专用生产基地厂房的建设等任务。在这些工作中相应地采用各种自动化技术和手段以提高效益和减少差错。

(3) 工艺准备过程。工艺准备过程包括根据设计图纸、技术装备水平及产品批量等因素,选择加工设备;确定加工工艺及技术要求;设计零件制造、产品装配的工艺过程,编制材料明细表;确定工模具、夹具、量具等的设计制造,准备外协加工件的验收方法及手段。在这些工作中,有些已经实现了相当程度的自动化,比如在工艺过程自动设计方面。

(4) 加工过程。这个领域应用自动化技术最早,从大批量生产中采用的各种高效专用机床、组合机床、自动线,到多品种、小批量生产中采用的数控机床、组合机床,发展到近年来采用的成组技术和柔性加工系统。各种类型的调节器、控制器,特别是计算机,微型机的大量应用,更加快了加工过程自动化。

(5) 检验试验过程。在自动化单机、自动线等的工作过程中,出于保证产品质量、提高

精度和为操作者提供安全保护等目的,往往需要进行自动测试。各种传感器的出现使原材料、毛坯、零部件等的性能、外形尺寸、特征,加工和装配的工位状况,设备工作状况,材料、零件的传送情况,产品性能等的检测试验都成为可能。各种各样的放大器、转换器、传送器显示记录装置促进了自动检测技术的发展,使得机械工业的检测技术由过去的离线、被动、单参数、接触式逐步转向使用计算机的在线、主动、多参数、非接触式快速检测。

(6) 装配过程。机械工业中,装配工作量约占 20%;电子工业中,装配工作量有时高达 70%,因此,装配过程自动化意义重大。装配作业自动化包括零件供给、装配作业、装配成品、运送等方面的自动化。从装配作业来看,方向是研制高生产率的数控装配机、自动装配线,装配机器人;从整个生产过程来看,是如何将装配作业与 CAM 和自动化立体仓库相联接。

(7) 辅助生产过程。该过程包括毛坯、原材料、工件、刀具、工夹具、废料等的处理、搬运、抓取、中间存贮、检修等,由于该过程的时间占生产时间的 95%以上,费用占 30%~40%,因此研制各种自动化物流装置得到各国普遍重视。各种悬挂输送、自动小车输送,高架立体仓库、机械手和工业机器人已经广泛应用于各个领域。

(8) 生产管理过程。生产管理包括车间或工厂的各种原材料、工具、存货的管理,生产调度,中长期规划,生产作业计划,产品订货与销售,市场预测与分析,财务管理,工资计算,人事管理等。生产管理自动化就是利用计算机技术按照订货或任务要求,通过各个管理子系统可及时、准确地处理大量数据,对器件、设备、人力、技术资料进行组织、协调,保证在规定的时间内、人力和消耗限额(包括能源、资金、器材等)内完成生产任务。

综合上述,工业生产过程自动化所研究的内容主要有两个方面:对上述各个过程,实现不同程度自动化时的各种方法和手段;对上述几个过程或全部过程按照一定的目标和要求(比如技术上先进、经济上合理、具有所要求的生产率)联接起来,组成不同规模的自动化线、自动化车间或自动化工厂。

从另一种角度看,生产过程所进行的生产活动,实际上由物质流和信息流两个主要部分组成。物质流指物质的流动和处理,包括原材料、毛坯、工夹具、模具、半成品、成品、废料、能源的流动、处理(加工)、变换。信息流指信息(包括加工指令、数据、反映生产过程各种状态的资料等)的流动和处理。

实现物质流动和处理的自动化必须有相应的自动化设备,如自动化单机、生产线、装配线以及各种物料搬运系统;实现信息的流动和处理的自动化,则必须适时检测、收集信息,然后利用计算机进行自动处理。

由于现代科学技术的相互渗透和飞速发展,经过初步的分析和综合,在不长的时间内,工业自动化技术可以达到如下水平:

(1) 自动化单机方面。对新工艺、新材料的发展所产生的传统加工方法难以加工的高强度、高熔点材料,将出现新的加工方法与相应的设备,比如电物理、电化学、激光复合加工、离子注入等,并以此为基础组成所谓复合生产(包括加工、装配)系统。微型机控制的数控机床、自动传送装置、自动装配机、装配机器人、应用自适应控制系统的加工设备、FMS(柔性制造系统)和自动化工厂将得到广泛的应用和发展。

(2) 产品设计方面。CAD 的硬件和软件将快速发展,CAD 和会话程序将越来越多地应用于机床设备、工夹具等的设计,CAD 与 CAM 的联接将更多地投入应用。

(3) 自动检测方面。新型传感器的开发与应用、自动检测的程控技术、自动检测与质量控制系统的联接将会有较大发展。

(4) 加工制造方面。各类计算机将大量用于加工过程的数控、数控编程和装配作业的自动化。成组技术、自动检测和数控装配、可编程自动装配、计算机辅助制造和材料库、零件库、装配过程的联接将会应用范围和数量上继续增大。

(5) 综合自动化方面。在 CAD、CAM、FMS 和车间自动化的基础上, 全厂性综合自动化将具有较高水平。为此, 智能型具有自适应控制或带诊断系统的生产设备的研制将有所突破, 本世纪末, 有可能实现无图纸的全盘自动化生产, 也就是从设计、制造到管理全部综合自动化的集成生产系统(IMS)。

实现更高层次的自动化在经济方面和社会方面将获得更大的效益, 这表现在如下几方面:

提高劳动生产率, 也就是投入的人力劳动的每小时产品产量将提高;

提高产品质量, 降低原材料消耗;

缩短产品设计至实际投产时间;

减少在制品的库存;

改善操作环境, 实现安全生产等。

1.3 实现自动化的技术途径

对于加工制造而言, 每一道工序, 其输入(或者投入、供给)不外有五个方面: 原材料、设备、刀夹量具、能源、劳动力; 其输出(或者产出、加工生成物)不外有两种: 成品工件、切屑与废品。因此加工制造工序的模型可以用图 1.2 表示。

设 t_0 表示每道工序加工时间, t_{a0} 表示每道工序由“非加工因素”(包括搬运、延误、检查)引起的非加工时间, 零件必须经过的加工机床数目为 n , 则该工件经过车间加工的全部时间(称制造周期)为

$$\text{制造周期} = n(t_0 + t_{a0}) \quad (1.1)$$

如果每批加工 m 个工件, 且该批生产中全部工件每道工序的非加工时间都是同时发生的。也就是说, 全部 m 个工件都是同时移动, 同时在机床旁排队等候等等, 则

$$\text{制造周期} = n(mt_0 + t_{a0}) \quad (1.2)$$

如果进一步考虑必须使用特殊工具才能使机床适应这种零件的加工, 设取、装、调整工具花费的时间为 t_{s0} , 则

$$\text{制造周期} = n(mt_0 + t_{a0} + t_{s0}) \quad (1.3)$$

粗略考虑, 可以认为式(1.1)和式(1.3)中的各项均为常数。实际上, 随着批量的变化、工件的不同, 上述式中各项均不为常数。这时, 只要式中的 t_0 , t_{a0} , t_{s0} 使用的是经过适

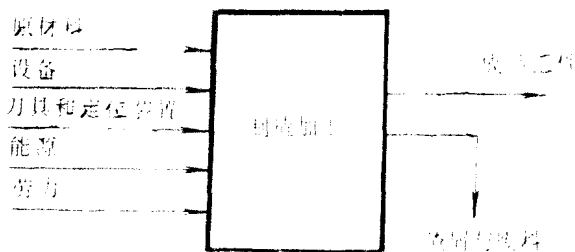


图 1.2 制造加工模型

当加权的平均值, n , m 使用算术平均值, 则上述各式仍然可以使用。不过式中各项都是经过车间数据计算而得的。

设一定时间内(如一年或一月)加工的批数为 p_m , m_i 为 p_m 批中第 i 批的批量, 则平均批量 m 可由下式求出:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{p_m} m_i}{p_m} \quad (1.4)$$

设 n_i 表示第 i 批的加工流程中所用的机床(或工序)数, 则平均机床数 n 可由下式求出:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^{p_m} n_i}{p_m} \quad (1.5)$$

同样, 调整时间 t_{a0} 和非加工时间 t_{n0} 也可分别用下两式求出:

$$t_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^{p_m} n_i \bar{t}_{a0i}}{\sum_{i=1}^{p_m} n_i} \quad (1.6)$$

式中 $\bar{t}_{a0i}$ —— 第 i 批平均调整时间。

$$t_{n0} = \frac{\sum_{i=1}^{p_m} n_i \bar{t}_{n0i}}{\sum_{i=1}^{p_m} n_i} \quad (1.7)$$

式中 $\bar{t}_{n0i}$ —— 第 i 批平均非加工时间。

式(1.3)中使用的平均加工时间可用下式求出:

$$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^{p_m} n_i m_i \bar{t}_{0i}}{n m p_m} \quad (1.8)$$

式中 $\bar{t}_{0i}$ —— 第 i 批每次加工的平均加工时间。

如果仅考虑工件在每台机床上的安装调整和加工时间, 则一台机床生产一件的时间为

$$t_p = \frac{m t_0 + t_{a0}}{m} \quad (1.9)$$

设每台机床平均生产率为 Q_p , 则

$$Q_p = \frac{1}{t_p} \quad (1.10)$$

上两式表明, 批量增加, 平均生产时间减少, 平均生产率提高。

如果进一步分析加工时间, 可以看出它一般由三部分组成, 即

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 \quad (1.11)$$

式中 t_1 —— 实际加工时间;

t_2 —— 工件在机床上的装卸时间;

t_3 —— 装卸、更换刀具的时间。

对于一般的生产作业，式(1.11)总是成立的。

由于生产作业涉及以下四项基本要素：

- (1) 材料加工和装配；
- (2) 材料周转和存储；
- (3) 对工序一级和工厂一级进行控制；
- (4) 支持上述三者的数据库和信息系统。

根据式(1.1)~式(1.11)和上述四项基本要素，提高制造工序生产率的途径可以综合成九种，见表1.1。下面逐一讨论九种途径。

(1) 加工专业化。这是使用专用机床或专用的流水作业线来提高生产率的方法。专用机床在进行某种特定工序时可以发挥最大效率。

表 1.1 九种自动化途径

途 径	基本要素	目 标
加工专业化	1	减少 t_1, t_0
组合加工	1, 2	减少 t_2, t_3, n
同时加工	1, 2	减少 t_2, t_1, t_3, n
加工集成化	1, 2	减少 t_2, n
减少调整时间	1, 3	减少 t_{a0}
改进物料搬运	2	减少 t_{a0}
工序控制和最佳化	1, 3	减少 t_1
计算机辅助制造数据库	4	减少 n, t_{a0}
计算机辅助制造控制	3, 4	减少 t_{a0}

(2) 组合加工。零件的加工需要一系列工序才能完成，如果把工序按工位适当集中，就可以减少机床的数目和工序的总数，使得一些加工工序在一台机床上依次予以完成，这就是数控组合机床的工作原理。

(3) 同时加工。这是组合加工的必然结果：不仅在同一工位上进行多种加工，而且要在同一时间内进行这些加工。

(4) 加工集成化。这一措施是利用工件自动传送装置把一系列工位联系起来，成为一个单一的集成机械装置。由于具有多个工位，这种系统可以在同一时间内对一个以上的零部件进行加工，从而提高了总的生产效率。各种类型自动流水线就利用了这种原理，它减少了在制品和总通过时间。

(5) 减少调整时间。组合加工减少调整次数，从而达到减少调整时间。另外，成组技术也可达到这个目的。

(6) 改进物料搬运。利用机械化、自动化的物料搬运方法可以减少非生产性时间，从而减少产品的在制时间，缩短整个加工过程。

(7) 加工控制和最佳化。主要是实行由计算机执行的反馈控制、最佳控制、顺序控制和自适应控制。

(8) 计算机辅助制造数据库。生产数据库包括零件图、材料规格和材料表(用于产品设计);规定零部件加工计划的流程图表、流程图表所需要的工具清单、工具库存量记录表(用于制造工艺);加工方法说明,时间标准、设备合格文件(用于管理);生产计划、生产进度表(用于生产计划和控制);用于库存控制的库存记录。

(9) 计算机辅助制造控制。用于对加工的控制和对工厂级的控制。

1.4 工业自动化设备的组成与分类

对于以件料为制造对象的自动化设备,为了讨论、设计、制造方便,通常将它分为三个部分:制造加工部分(工作头部分),物料传送部分和控制部分。

制造加工部分,亦称工作站,视设备性能要求它可以是装配装置,也可以是检验、测试、包装加工或其它特殊性能的操作装置。

物料传送(输送)部分,该部分常具有定向、定位和定量送料功能。

控制部分,控制系统的功能应能满足工作、安全、使用上的要求,如实现顺序控制使传送部分和制造加工部分动作协调,又如事故监督控制部分保证设备在不安全或有危险的情况下不工作并发出相应的信号,而质量监督控制部分则能辨别、剔除不合格的工件,保证工件符合质量指标。

工业自动化设备根据不同的原则有多种分类方法。

按工艺过程的性质来分,可以分成两类:连续的和间断的。前者在化工、粮食加工行业普遍应用,后者在以件料生产为对象的机械行业和电子行业中广泛应用。

按结构来分,依据设备的布置有立式、卧式等形式。

另外,为了揭示各种待选择工艺过程与设备之间的内在联系,以便按照完善的工艺过程方案选择合理的自动设备设计方案,可按工艺运动和工件传送运动之间的关系将工业自动化设备分成四类:

第一类的特点是加工工艺运动与产品的传送运动互相牵制,在加工中停止传送,而在产品传送过程中不能进行加工。如自动冲床的上下料动作就不能与冲压动作同时进行,半导体硅单晶材料内、外圆切片机工作时,内、外圆切刀就不能与硅棒的传送动作同时进行。

第二类的特点是工艺运动与工件的传送速度互不制约,工件在传送过程中被加工,而且工具伴随工件一起向前运动。如某些包装机。

第三类的特点是加工的工艺速度与工件的传送速度相同,即产品在传送过程中同时被连续地进行加工。这类自动设备传送速度不能过快。否则会影响加工质量和工具的耐用度。

第四类的特点是产品在通过机器工作部分的连续运送过程中完成加工,一次可以加工不定数量的产品。例如自动退火炉、干燥机、表面处理自动线等。

上述四类自动化设备中,第四类设备的生产率最高,但适用范围有限。第二类设备的生产率次之,但能适用于多种工艺过程,是实现工艺过程自动化的最理想的设备。

若按机器的功能来分,可将其分为装配机器、检验机器、测试机器、包装机器和制造加工机器等五类:

装配机器。装配是将两个或两个以上的零件(部件)按照一定的要求加以联接的过程。

最基本的装配操作过程是：将工件 A (基件) 定位于机器某个确定位置；将工件 B 以确定方位传送到相对于 A 的某个确定位置；把 B 联接到 A 上。此外，为满足其它要求，机器还应具有检测工件位置、检测工件方位、检查 A/B 的联接、输送已联接的工件、重复 A/B 工件联接等功能。

检验机器用于检查零件或装配件的物理(如尺寸、重量、磁性等)或其它性能的机器。机器的工作过程是：将被测工件传送至相对于探测器的某确定位置；进行测量(此时有三种方法：测量头移动，工件移动或两者皆不移动时启动测量系统)；将测量结果传送到有关地方(如控制器、显示器、存储器)；重复循环。其中第一步工件定位最为重要，它直接影响测量误差，尤其是对非接触型测量。

测试机器用来测量零件或装配件对已知输入的反应情况。其输入可能是电信号、温度、压力等，其输出多为电信号。测试机器的工作过程是：将工件定向传送至相对于输入装置和测量头的某确定位置；进行测量；传送测量资料；已测量工件的传送；重复上述操作。

包装机器的主要功能是将工件装入容器(袋、箱、盒、瓶等)或包装材料内，实现对工件的装入、包卷、捆绑等。包装机器的辅助功能有贴标签、计数和分类等。操作过程是：将工件定向传送至相对于容器(或包装材料)的某确定位置；执行包装动作；完成辅助功能；成品输送；循环。包装动作一般需经过多次操作，工件可能需沿多轴旋转才能实现。

制造加工机器。制造加工工序可分为四类：基础加工(金属铸造、塑料成形等初步成形加工)、二次加工(如车、钻、铣等机械加工和模压、成型、压延等压制加工)、提高物理性能的加工(如热处理)和精加工(抛光、涂漆、电镀等)。凡是实现材料移除而改变工件物理特性的机器设备统称制造加工设备。这类机器的操作过程是：将工件定向传送至相对于工具的某确定位置；执行加工(可移动工具或工件)；传送工件和切屑；检查；重复循环。

按材料输送方法可将自动化设备分为连续输送机器和间歇输送机器两类。在连续输送机器中，工件和加工动力头作同步移动，在移动中实现切断、铣削、非接触式检验、沿缝焊接等操作，具有较高的生产率。间歇输送机器在加工操作时，工件和加工动力头不会有相对移动。按照布置形式，连续输送机器又可分为回转式和直列式，前者工件以圆周方式移动进入加工动力头下方。间歇输送机器还可细分为回转式、直列式和自由输送式。前两种必须有分度机构。而在自由输送机器(*free transfer machine*)中，工件一般装在随行夹具或托盘上，随行夹具或托盘又自由地放在连续运转的链式输送装置上，靠摩擦力由链式输送装置输送，也可以将装有工件的托盘放在输送小车(无轨或有轨)上，靠小车输送。这种输送方法与具有严格循环的间歇回转式和间歇直列式不同，它可以在各个加工、制造等工作站前建起缓冲区，并允许各工作站的工作循环时间不同，这就大大地简化了控制系统，增加了机器系统的柔性，提高了生产率。自由输送机器有时也称弹性机器，此种观念用于大型制造系统时就称为柔性制造系统(FMS)。

按工位数工业自动化设备可分为单工位机器、回转转位机器、自动生产线三类。单工位机器可以对一个工件实现若干种加工，在整个操作过程中工件一直被固定在某个位置上，加工动力头则设置在工件的周围。单工位机器的生产率属中低水平，工件周围有限空间限制了加工动力头数目是它的主要缺点。回转转位式设备可同时对几个或几十个工件实行一系列加工，因此具有较高的生产率。自动生产线则是高度自动化、高生产率的设备。