

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 自动机械与自动生产线

主 编 梁燕飞 谭伟明



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 自动机械与自动生产线

主编 梁燕飞 谭伟明

高等教育出版社

交通路 邮编 100000

## 内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果,是机械设计制造及其自动化专业系列教材之一。主要内容包括自动机械与自动生产线的基本原理,自动机械的常用机构,常用检测与控制装置和元件,自动机械的总体设计,自动机械与自动生产线实例等。本书面向大专院校机械、机电一体化专业的学生,既深入阐述了自动机械与自动生产线中带有普遍性的理论问题,又重点分析了自动机械与自动生产线中应用广泛的机构和装置。本书不追求面面俱到,在保证系统性和完整性的原则下,内容尽量不与其他课程重叠。

全书共七章,首先介绍自动机械与自动生产线的结构组成和特点;其次介绍自动机械与自动生产线的基本原理;然后介绍自动机械的常用机构及自动机械的供料机构;接着介绍了自动机械的控制系统;最后介绍了自动机的总体设计并给出了自动机械设计实例。

本书适用于大专院校机械类或近机类学生,也适合企业有关工作人员阅读和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

自动机械与自动生产线 / 梁燕飞, 谭伟明主编. —北京:  
高等教育出版社, 2008. 8  
ISBN 978 - 7 - 04 - 024554 - 7

I. 自… II. ①梁…②谭… III. ①机电一体化 - 机械设计 - 高等学校 - 教材②自动生产线 - 高等学校 - 教材  
IV. TH122 TP278

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113371 号

策划编辑 卢 广 责任编辑 查成东 封面设计 于 涛 责任绘图 尹 莉  
版式设计 范晓红 责任校对 金 辉 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787 × 960 1/16  
印 张 12  
字 数 220 000

购书热线 010 - 58581118  
免费咨询 800 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landrao.com>  
<http://www.landrao.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 8 月第 1 版  
印 次 2008 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 15.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24554 - 00

# 前 言

近年来,随着经济的快速发展和科技的日新月异,作为先进制造手段的自动机械与自动生产线越来越多,新技术、新行业、新产品不断涌现。为适应高等院校机械设计制造及其自动化专业及机电一体化专业的教学需要,特编写本书。

本书内容包括自动机械与自动生产线的基本原理,自动机械的常用机构,常用检测与控制装置和元件,自动机的总体设计,自动机械与自动生产线实例等。本书具有以下特点:面向大专院校机械、机电专业的学生,既深入阐述了自动机械与自动生产线中带有普遍性的理论问题,又重点分析了自动机械与自动生产线中应用广泛的机构和装置。考虑到机械和机电类专业的课程学时数偏紧,本书不追求面面俱到,在保证系统性和完整性的原则下,内容尽量不与其他课程重叠。

全书内容共分七章,首先介绍自动机械与自动生产线的结构组成和特点;然后介绍了自动机械与自动生产线基本原理,包括自动机械与自动生产线的生产率分析,自动机械与自动生产线的性能指标,自动机械与自动生产线的可靠性;接着介绍自动机械的常用机构,包括棘轮机构、槽轮机构、分度凸轮机构和定位机构等;在自动机械的供料机构一章中,介绍了卷料供料机构、件料供料机构、板片料供料机构、粉粒料供料机构、液体物料供料机构和电磁振动供料机构;在自动机械的控制系统一章中,介绍了控制系统的构成与分类、机械控制系统、执行机构以及自动机械的机电一体化;最后介绍了自动机的总体设计、循环图设计,并给出了自动机械设计实例。

本书由佛山科学技术学院梁燕飞和谭伟明任主编,深圳大学娄燕副教授、广东工业大学李晋芳副教授、华南农业大学刘天湖博士参加了编写工作。

本书承蒙河南科技大学杨伯原教授在百忙之中审阅并提出许多宝贵意见,特此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错漏在所难免,望读者批评指正。

编 者

2007年12月

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 自动机械	1
1.1.1 自动机械的特点	1
1.1.2 自动机械的结构	1
1.1.3 自动机械的分类	3
1.2 自动生产线	3
1.2.1 自动生产线的特点	3
1.2.2 自动生产线的结构组成	4
1.2.3 自动生产线的形式	4
1.3 自动机和自动生产线的发展方向	6
第2章 自动机械与自动生产线的基本原理	8
2.1 自动机械与自动生产线的生产率分析	8
2.1.1 自动机械的生产率分析	8
2.1.2 自动生产线的生产率分析	9
2.1.3 提高自动机械与自动生产线生产率的途径	10
2.2 自动机械与自动生产线的性能指标	12
2.2.1 精度	12
2.2.2 刚度	12
2.2.3 振动与噪声	13
2.3 自动机械与自动生产线的可靠性	14
2.3.1 设备精度指数	14
2.3.2 设备机械能力指数与工程能力指数	15
2.3.3 失效率与有效寿命	17
2.3.4 可靠性理论及其计算与分配	18
复习思考题	28

第3章 自动机械的常用机构 .....	30
3.1 常用机构选用概述 .....	30
3.2 棘轮机构 .....	35
3.2.1 棘轮机构的工作原理及特点 .....	36
3.2.2 棘轮机构的种类及结构形式 .....	36
3.2.3 棘轮机构运动的可靠性条件 .....	38
3.3 槽轮机构 .....	41
3.3.1 槽轮机构的结构形式、工作原理及特点 .....	41
3.3.2 槽轮机构的主要参数及运动特性分析 .....	43
3.3.3 槽轮机构的结构设计 .....	47
3.4 分度凸轮机构 .....	49
3.4.1 平行分度凸轮机构 .....	50
3.4.2 圆柱分度凸轮机构 .....	52
3.4.3 弧面凸轮分度机构 .....	54
3.5 定位机构 .....	57
3.5.1 定位机构的设计要求 .....	57
3.5.2 定位机构的原理及形式 .....	57
复习思考题 .....	61
第4章 自动机械的供料机构 .....	62
4.1 概述 .....	62
4.2 卷料供料机构 .....	63
4.2.1 卷料供送过程 .....	63
4.2.2 条带料供料机构 .....	64
4.2.3 线棒料供料机构 .....	64
4.3 件料供料机构 .....	67
4.3.1 件料形态分析及定向方法 .....	67
4.3.2 料仓式供料机构 .....	67
4.3.3 料斗式供料机构 .....	74
4.3.4 定量计数机构 .....	80
4.4 板片料供料机构 .....	81
4.5 粉粒料供料机构 .....	83
4.5.1 定容定量的粉粒料供料机构 .....	84
4.5.2 按重量定量的粉粒料供料机构 .....	88

4.6 液体物料供料机构 .....	90
4.6.1 常压灌装机构 .....	91
4.6.2 等压灌装机构 .....	93
4.6.3 真空灌装机构 .....	94
4.6.4 压力灌装机构 .....	95
4.7 电磁振动供料机构 .....	96
4.7.1 振动供料机构的分类和组成 .....	96
4.7.2 电磁振动供料装置的工作原理 .....	96
4.7.3 电磁振动供料装置的主要参数与设计计算 .....	99
4.8 送料机械手及机器人 .....	101
4.8.1 概述 .....	101
4.8.2 供送料机械手的组成和分类 .....	101
4.8.3 供送料机械手 .....	103
4.8.4 供送料及装配机器人 .....	104
复习思考题 .....	106
<b>第5章 自动机械的控制系统 .....</b>	<b>107</b>
5.1 控制系统的构成 .....	107
5.2 控制系统的分类 .....	108
5.3 机械控制系统 .....	111
5.3.1 机械控制机构的形式及作用 .....	111
5.3.2 机械控制系统的基本形式 .....	112
5.4 自动机械的调位 .....	114
5.4.1 卷料输送纵向位置调整机构 .....	114
5.4.2 卷料横向位置调整机构 .....	118
5.5 光电检测在自动机械与自动生产线中的应用 .....	122
5.5.1 光电继电器工作原理 .....	122
5.5.2 光电检测的应用 .....	123
5.6 执行机构 .....	126
5.6.1 执行机构的种类及特点 .....	126
5.6.2 常见执行元件 .....	128
5.7 自动机械的机电一体化 .....	130
5.7.1 机电一体化基础 .....	130
5.7.2 机电一体化产品设计与开发的工程路线 .....	132
复习思考题 .....	135

第 6 章 自动机的设计 .....	136
6.1 自动机的设计步骤 .....	136
6.2 自动机的总体设计 .....	137
6.3 自动机的循环图设计 .....	137
6.3.1 自动机执行机构的协调设计 .....	137
6.3.2 自动机的工作循环 .....	138
6.3.3 循环图的表示方法 .....	138
6.3.4 执行机构运动循环图的设计与计算 .....	140
6.3.5 自动机工作循环图的设计与计算 .....	142
6.4 自动生产线设计 .....	151
6.4.1 自动生产线的设计程序 .....	151
6.4.2 自动生产线的总体设计 .....	152
6.4.3 自动生产线中工件传送装置的设计 .....	153
复习思考题 .....	156
第 7 章 自动机械设计实例 .....	157
7.1 粒状巧克力糖包装机 .....	157
7.1.1 原始资料 .....	157
7.1.2 粒状巧克力糖包装工艺的确定 .....	158
7.1.3 包装机的总体布局 .....	161
7.1.4 粒状巧克力糖包装机传动系统 .....	164
7.1.5 粒状巧克力糖包装机的工作循环图 .....	165
7.2 笔套弹簧夹装配机设计 .....	166
7.2.1 装配工艺分析 .....	166
7.2.2 总体布局 .....	167
7.2.3 传动系统 .....	167
7.2.4 工作循环图设计 .....	169
7.3 陶瓷墙地砖抛光生产线 .....	172
7.3.1 刮平定厚机 .....	173
7.3.2 抛光机 .....	176
7.3.3 磨边倒角机 .....	177
参考文献 .....	180



# 第1章 绪论

## 1.1 自动机械

### 1.1.1 自动机械的特点

一台机器经调整以后,无需工人参与就能自动地、连续地完成产品的加工循环,这样的机器称为自动机械。

自动机械的自动化程度高,因而操作人员的劳动强度低、生产效率高。自动机械往往由多个工艺执行机构组成,因而结构比较复杂。

自动机械应用于各行各业,总的说来,自动机械有以下特点:

#### 1. 品种繁多,加工对象多样化

因行业、加工对象、机器的功能与作用不同,自动机械在原理上、结构上存在着很大差异。即使是完成同一功能,也有不同的工作原理和结构。

#### 2. 生产率高,自动化程度高

为了满足各行各业的需求,需要各种各样的自动机械,它们往往是半自动化、自动化机械。

#### 3. 动作复杂,结构多样化

自动机械要完成的功能较多,工艺原理和工艺过程比较复杂,因而其动作比较复杂,结构多样化。

### 1.1.2 自动机械的结构

自动机械在结构上可分为四大部分:驱动系统、传动系统、执行机构和控制系统。下面以图 1.1 所示的自动冲压机为例来说明自动机械的结构组成。

(1) 驱动系统 即机器的动力源。常用的驱动方式有电力驱动、液压驱动、气压驱动等。

(2) 传动系统 传动系统的任务是把运动和动力传递给各种执行机构,以完成自动机械的工艺操作,同时也将运动传给辅助机构,完成辅助工作。

(3) 执行机构 执行机构是实现自动化操作与辅助操作的部分,其动作顺

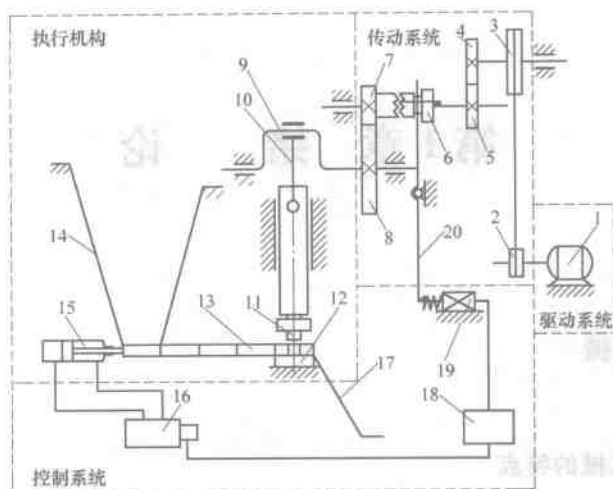


图 1.1 自动冲压机结构示意图

1—电动机；2、3—带轮；4、5、7、8—齿轮；6—离合器；9—曲轴；10—冲杆；11—冲头；12—下模；13—毛坯；14—料斗；15—推料装置；16—控制阀；17—落料板；18—控制装置；19—电磁铁；20—杠杆  
 序与运动规律依工艺原理和要求而定。

(4) 控制系统 控制系统的功能是控制机器的驱动系统、传动系统、执行机构，将运动分配给各执行机构，使它们按时间、顺序进行协调动作，由此实现自动机的工艺职能，完成自动化操作。

尽管各种各样的自动机械在结构上不完全相同，但基本上都是由上述四大部分组成的。

为了实现自动机械的功能，有时还需增设一些辅助机构，如剔除机构、计数机构等。自动机械的组成可概括为图 1.2。

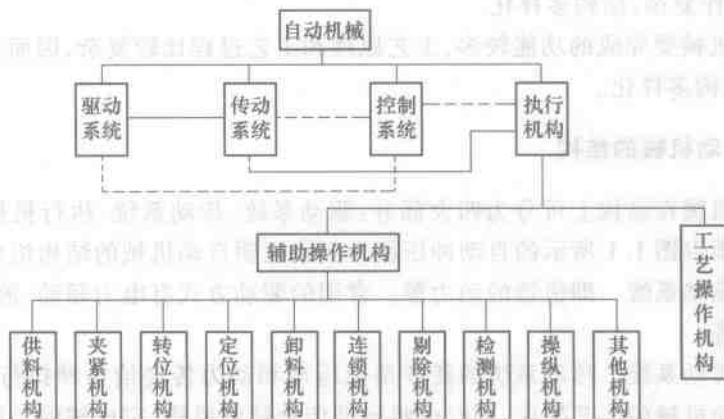


图 1.2 自动机械组成部分及机构

### 1.1.3 自动机械的分类

自动机械按其结构和功能可分为四种类型:

(1) 成形机械 这类机械以施加力为主,通过模具或其他工具使得在制品成形。更换模具及工艺参数,即可生产不同规格的产品,主要工艺方法有热塑、注塑以及冲压等。

(2) 切削机械 机器通过刀具完成对在制品的切削加工。机器的工艺动作有送料、上下料、夹紧、切削等。

(3) 装配机械 这类机械以执行工艺动作为主,通过各种配用工具或机械手,按照规定的程序进行操作,将零件装配成部件或产品,装配过程中可能伴有一些简单的成形或加工动作。

(4) 包装机械 这类机械用来将工件封入袋子或包装材料内,其主要动作为输送与送料、称量、包封、贴标、计数、产品输送等。这类机械从功能和原理上都类似于装配机器。

## 1.2 自动生产线

### 1.2.1 自动生产线的特点

自动生产线是按照产品加工工艺过程,用工件储存、传送装置把专用自动机以及辅助机械连接起来而形成的、具有独立控制装置的生产系统。在自动生产线上,工件(原料毛坯或半成品)上线后便以一定的节拍,按照一定的加工顺序,自动地经过各个加工工位,完成预定的加工,最后成为符合设计要求的成品。在自动生产线整个生产过程中,工人一般不参与直接的工艺操作,只是全面观察、分析生产系统的运转情况,定期加料,对产品质量进行抽样检查,及时排除设备故障、调整维修、更换刀具或易损零件,保证自动生产线得以连续进行工作。

自动生产线的自动化程度取决于人参与生产的程度。若工件只是由储送装置送到各个加工工位,在工位上主要是由工人操作机器或工具来完成规定的加工,这样的自动生产线一般称为生产流水线,其自动化程度较低,主要是传送工件,例如服装生产线、汽车装配生产线等。CIMS(计算机集成制造系统)、FMS(柔性制造系统)、FA(工厂自动化)是高度自动化的生产系统,是自动生产线的最高形式。

采用自动生产线组织生产,有利于应用先进的科学技术和现代企业管理技术,可以简化生产布局,减少生产成本,改善劳动条件,促进企业生产实现现代化。

### 1.2.2 自动生产线的结构组成

自动生产线一般由以下四大类设备组成:

(1) 主要工艺设备,即专用的自动机,如自动机床、自动冲压机、自动装配机、包装机等。

(2) 辅助工艺装置,如转位、翻转装置,夹紧装置,分选装置,排屑、排渣装置等。

(3) 物料储存、传送装置,包括传送(如输送带、链板、输送辊)、储存(料斗、料仓)和上下料装置(各种供料器、机械手)。

(4) 检测控制装置,包括检测装置(产品质量、故障寻检、环境监视检测器)、信号处理装置(数据处理、报警、反馈仪器)和控制系统。

自动生产线的组成形式可概括地表示成图 1.3 所示形式。



图 1.3 自动生产线的组成形式

### 1.2.3 自动生产线的形式

自动生产线的形式随产品的性质和形态、工艺过程、连线设备的性能及布局、生产节拍、生产条件(如厂房大小)、控制方式、人员技术水平、生产习惯等的不同而有所不同,最基本的自动生产线形式有四种。

#### 1. 直线形

传送装置成一条直线,各种加工设备及装置布置于传送线两旁,工件由生产线的一端上线,由另一端下线。根据自动机、传送装置、储存装置布置的关系,直线形又可分成刚性自动生产线、柔性自动生产线、分段柔性自动生产线。

(1) 刚性自动生产线 图 1.4(a)所示为刚性自动生产线。这种自动生产线中各自动机用运输系统和检测系统等联系起来,以一定的生产节拍进行工作。这种自动生产线的缺点是,当某一台自动机或个别机构发生故障时,将会引起整条线停止工作,生产过程中灵活性小。

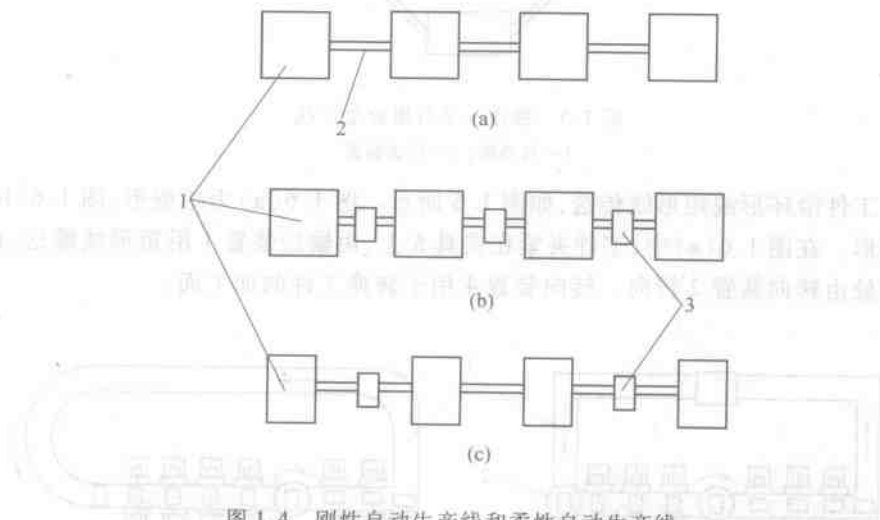


图 1.4 刚性自动生产线和柔性自动生产线

1—自动机; 2—传送装置; 3—储料器

(2) 柔性自动生产线 图 1.4(b)所示为柔性自动生产线。这种自动生产线中各自动机之间增设了储料器。当后一道工序的自动机出现故障停机时,前一道工序的自动机可照样工作,半产品送到储料器中储存;如前一道工序的自动机因故障停机,则由储料器供给所需半产品,使后面的自动机能继续工作下去。但是,储料器的增加不但使投资加大,多占用场地,同时也增加了储料器本身出现故障的机会,因此,应全面考虑各方面因素,合理选用和设置自动生产线种类。

(3) 分段柔性自动生产线 图 1.4(c)所示为分段柔性自动生产线。这种自动生产线中一部分自动机采用刚性联系,另一部分则采用柔性联系,即把不容易出故障的相邻自动机按刚性联系,而在故障率较高的自动机前后设置储料器。

(4) 顺序—平行组合生产线 当某工位的加工时间较长,造成该工位的生产时间数倍于其他工位的生产时间时,为了平衡自动生产线的生产节拍,可在该工位布置数台自动机同时加工,这就构成了如图 1.5 所示的顺序—平行组合生产线。

## 2. 曲线形

工件沿曲折线(如蛇形、之字形、直线与弧线组合等)传送,其他与直线形相同。

## 3. 封闭(或半封闭)环(或矩框)形

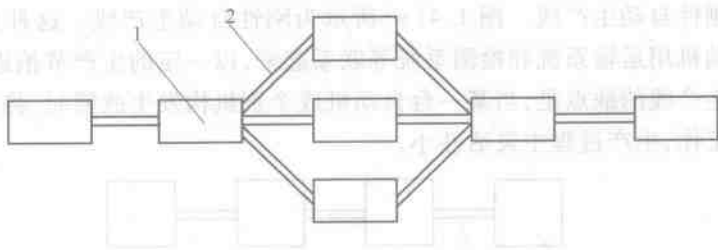


图 1.5 顺序—平行组合生产线

1—自动机；2—传送装置

工件沿环形或矩形线传送,如图 1.6 所示。图 1.6(a)为矩框形,图 1.6(b)为环形。在图 1.6(a)中,工件夹紧在夹具 5 上,由输送装置 1 沿矩形线输送,在直线处由转向装置 2 转向。转向装置 4 用于转换工件的加工面。

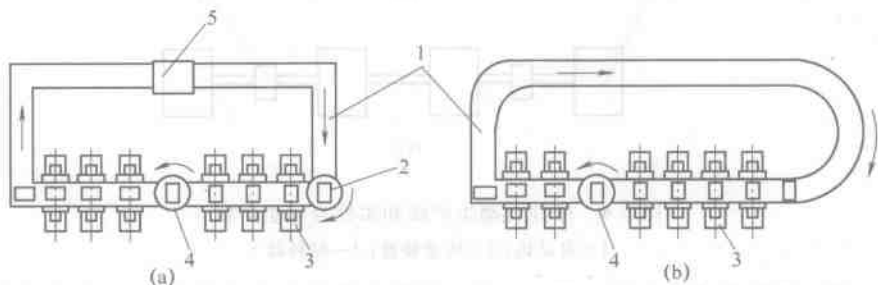


图 1.6 封闭环形和矩框形自动生产线

1—输送装置；2、4—转向装置；3—自动机；5—随行夹具

### 1.3 自动机和自动生产线的发展方向

随着我国国民经济的飞速发展,机械在品种、规模、设计与制造技术等方面也得到了迅速的发展和提高。大多数机械制造厂已逐步走向专业化生产,已能独立地进行从单机到成套设备乃至自动生产线的设计与制造。此外,还建立了一批机械科研设计单位,并在高校中设有相关机械专业,形成了一套完整的具有人才培养、技术开发、产品生产制造的机械学科体系。但是,与国外一些先进机械相比还存在一定差距。在技术规范、品种系列、效益与功能等方面都亟需迅速改进与提高,才能适应当前国民经济发展的要求。

针对我国目前的具体情况,发展机械工业主要应从以下几方面着手:

首先要提高产品质量,改善劳动条件,降低劳动强度,不断提高机械化水平。当前对现有的机械设备应以改造更新为主,充分发挥它们的潜力。

随着新材料、新工艺、新技术的发展,必须推动各种自动机械向机电一体化

和智能化的方向发展。

提高“三化”(产品系列化、部件通用化、零件标准化)的水平,是提高机械技术经济效益的重要方面。提高“三化”水平可以大大缩短机械的设计与制造周期,降低制造成本,便于组织专业化生产,提高机械的制造质量和可靠性,方便维修,从而改变机械分散设计和零星制造的现状,提高机械工业的技术经济效益。

实现高速化是提高机械工业生产率的有效途径。高速化不仅要提高执行机构的运动速度,还要提高送料、输送和相应辅助机构运动的速度。为此,必须首先解决好一系列基础技术问题,主要是:

(1) 改善执行机构的动态特性,使之在高速工作时运动平稳,降低振动与噪声。

(2) 提高工作可靠性,降低故障率,提高机械设备的利用率。

(3) 提高机械效率,减少摩擦与磨损,降低动力消耗,提高精度保持性。

(4) 尽可能采用最新科学技术。

## 第2章 自动机械与自动生产线的基本原理

### 2.1 自动机械与自动生产线的生产率分析

#### 2.1.1 自动机械的生产率分析

自动机械的生产率是衡量自动机械性能优劣的主要指标之一。

自动机械在单位时间内生产或完成加工的产品的数量,称为自动机械的生产率或生产能力。依据所选用的时间单位及产品数量单位,生产率的单位可表示为件/min, kg/min, m/h, m<sup>2</sup>/h等。

生产率分为三种:理论生产率  $Q_T$ 、实际生产率  $Q_P$  和工艺生产率  $K$ 。

理论生产率是自动机械的基本参数。对于某种机器结构,是完全确定的值,它指的是自动机械调整到正常的工作状态加工产品时,单位时间内生产或完成加工的产品的数量。若采用单件加工方式,即每个工作循环结束时生产或完成一个产品,则自动机械的理论生产率可表示为:

$$Q_T = \frac{\sum Z}{T_Y} = \frac{\sum Z}{T_P \sum Z} = \frac{1}{T_P} = Z \quad (2.1)$$

式中,  $T_Y$ ——自动机械的有效工作时间;

$\sum Z$ ——自动机械在有效工作时间内的循环次数;

$Z$ ——自动机械在单位时间内的循环次数;

$T_P$ ——自动机械的工作循环周期时间,简称工作循环时间。

如果在一个工作循环结束时同时生产或完成加工  $w$  个产品,则自动机械的理论生产率可表示为:

$$Q_T = \frac{w}{T_P} = wZ \quad (2.2)$$

自动机械在较长时间运行期间,在考虑到故障、维修、出现废品或其他原因引起的停机时间的情况下,单位时间内平均生产或完成加工的合格产品的数量,是自动机械真正的实效生产能力,称为自动机械的实际生产率  $Q_P$ 。若对于单件



产品并采用单件加工方式,以  $T_z$  表示实际运行时间与停顿时间之和,则实际生产率  $Q_p$  可简单表示为:

$$Q_p = \frac{\sum Z}{T_z} \quad (2.3)$$

$Q_p$  是所要求的自动机械的额定生产能力,即自动机械的预期生产能力,因此也称为设计能力。

假设加工对象在自动机械上的全部时间内连续接受加工,而没有空行程的损失,这时自动机械的生产率就是工艺生产率  $K$ 。因此,  $K$  是在某种工艺条件下,自动机械在单位时间内可能生产或完成加工产品的最大数量。

按生产过程的连续性,自动机械可以分为间歇作用型和连续作用型两大类。间歇作用型自动机械的特点是,产品在自动机械上的加工、传送和处理等,是间歇周期地进行的,如颗粒糖果包装机。该类自动机械的理论生产率可表示为:

$$Q_r = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{T_k + T_l} \quad (2.4)$$

式中,  $T_p$ ——自动机的工作循环时间(即加工一个产品所需的时间);

$T_k$ ——工作循环内的工艺操作时间(简称基本工艺时间);

$T_l$ ——工作循环内的辅助操作时间(简称辅助操作时间)。

连续作用型自动机械的特点是,产品在自动机上的加工、传送和处理等,是连续不断地进行的,其工艺时间与辅助操作时间重合,如方便面包装机,塑料制袋、封口、切断、连续作业包装机都属于连续作用型自动机。这类自动机的理论生产率完全取决于工艺时间,而工艺时间与产品在自动机上的传送速度成反比,传送速度越快,工艺时间越短,生产率越高。该类自动机械的理论生产率可表示为:

$$Q_r = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{\frac{1}{n_p N}} = n_p N \quad (2.5)$$

式中,  $n_p$ ——转盘的转速, r/min;

$N$ ——转盘上产品工位数。

### 2.1.2 自动生产线的生产率分析

自动生产线是由各台自动机按生产工艺流程组成的,自动生产线的组成方式不同,其生产率的计算公式也不一样。

#### 1. 刚性自动生产线的生产率