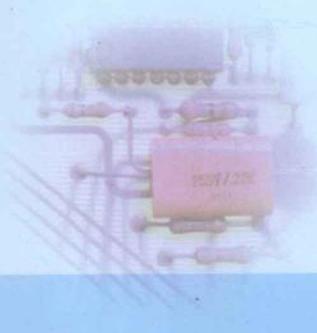


高等学校教材

张新娜 王 栋 编著

工业系统分析 与技术实践

GONGYE XITONG FENXI
YU JISHU SHIJIAN



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

工业系统分析与技术实践

张新娜 王 栋 编 著



中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业系统分析与技术实践/张新娜,王栋编著. —北京:中国计量出版社,2010.8
高等学校教材

ISBN 978-7-5026-3315-8

I. ①工… II. ①张… ②王… III. ①工业工程—系统分析—高等学校—教材
IV. ①F402

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 139439 号

内 容 提 要

本书简要介绍了现代工业生产系统组成和技术发展,系统阐述了机电传动、PLC 控制与触摸屏监控技术知识,以及传感检测、信号采样处理方法和 IPC 测控应用方法;并以包装物流生产线为实例,分析了智能传送系统、包装加工生产线、自动化仓储系统的组成结构和操作控制流程,同时结合系列技术综合实践项目,详细介绍了机电一体化技术应用及系统集成创新设计实践的流程和方法。

本书可作为高等院校自动化、机电、测控和质量工程、电子信息类专业的工业技术系统实践课程的教材,也可供从事机械、电气、自动化和测控、信息技术工作的人员学习和参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号(邮编 100013)
电 话 (010)64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市迪鑫印刷厂印刷
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 13.5
字 数 305 千字
版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000
定 价 25.00 元

如有印装质量问题,请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

现代工业生产系统呈现出机械、电气自动化、测控与计算机应用等多技术综合,以及技术与管理紧密结合的特点。新形势下的高等工程教育,也应紧密联系生产实际,培养学生大工程知识视野、先进实用技术应用实践能力以及系统集成创新的意识。

基于这一理念,我们结合自身 10 多年技术开发经验,在 2005 年浙江省财政专项支持下,通过我校工程训练中心机电综合创新系统工程实验室建设,创建了具有工业大系统背景的工程综合实践平台,开设了《工业测控系统工程基础》、《测控技术应用实践》、《机电系统综合创新设计》和《工程综合实践》等工程实践系列课程。鉴于课程教学中无法找到适用的工业技术综合实践教材,我们根据自己积累的技术资料,先后编写了《测控系统工程实训》、《机电综合工程实训》讲义及系列实验指导书,并结合课程建设和教学改革研究情况不断改编。随着系列课程面向的专业种类、学生容量和课程内容的扩展,编写一本既能承载现代工业生产大系统背景知识,又能由简到丰,分类、分层介绍技术系统实践流程和方法的正规教材成为当务之急。经过课程组多次讨论,我们将前期的讲义进行精简和整理,增加了所需的工业生产系统背景和部分基础知识,终于形成本书。

本书在工业生产系统及其技术基础知识系统梳理的基础上,通过系列工程案例分析和层次化综合实验项目,为提高理论联系实际和解决实际问题的能力提供多角度的训练。

本书主要包括:

基础知识:包括第一章工业生产系统与技术概述、第二章机电控制系统基础、第三章测控仪器系统基础三部分。核心工业技术基本概念和应用知识的系统梳理。

工程案例:包括第四章工业系统案例分析。意在呈现现代工业系统技术综合应用的真实情景,侧重于树立系统化、工程化的知识视野。

技术实践:包括第五章技术综合项目实践、第六章机电系统创新设计两部分。通过项目化的实践和创新方法学习,巩固技术知识、训练实践能力和系统集成创新意识。

因本书对多种技术分层次、分模块介绍,所以对读者学习的起点要求并不高,只要具备基本的数理知识和计算机应用基础即可。书中涉及现代工业系统案例和先进、实用技术的综合应用,也适于大部分工科专业的本科生、研究生和技术人员进行学习和参考。

中国计量学院 张新娜 王 栋

2010 年 7 月

目 录

第一章 工业系统与技术概述	(1)
一、生产系统概述	(1)
(一) 生产系统组成	(1)
(二) 制造工业及其操作	(5)
(三) 制造运行分析	(7)
二、工业自动化概述	(10)
(一) 工业自动化的实现	(10)
(二) 自动化系统的层次和功能	(13)
三、工业系统技术概述	(15)
(一) 机电装备设计技术	(15)
(二) 计算机过程测控技术	(19)
(三) 大工程背景下的技术实践平台	(23)
第二章 机电控制系统基础	(25)
一、机械运动系统	(25)
(一) 机械系统概述	(25)
(二) 气动系统与元件	(29)
二、电机与控制电器	(33)
(一) 电机应用特点	(33)
(二) 变频器	(36)
(三) 低压电器应用特点	(38)
(四) 继电器接触器控制线路设计	(42)
三、PLC 应用基础	(45)
(一) PLC 概述	(45)
(二) PLC 工作原理及技术资源	(45)
(三) Micro/WIN 编程环境及编程语言	(48)
(四) 基本指令应用分析	(52)
四、触摸屏组态应用	(55)
(一) 触摸屏概述	(55)

(二) EasyView500 软件基础分析	(57)
第三章 测控仪器系统基础	(61)
一、测控仪器系统组成	(61)
(一) 仪器组成与分类	(61)
(二) 传感器	(63)
(三) 信号调理器	(68)
二、信号采样处理	(70)
(一) 输入信号的类型	(70)
(二) 信号采样与量化	(71)
(三) 信号特征分析	(73)
(四) 时域数字滤波	(76)
三、实用控制算法	(77)
(一) 运动控制的方式	(77)
(二) 运动控制算法	(80)
(三) PID 控制算法	(82)
四、测控仪器应用技术	(84)
(一) 80C51 单片机	(84)
(二) IPC 测控系统	(89)
(三) 基于 RS232 的测控系统	(92)
(四) 信号频率测量实践	(95)
第四章 工业系统案例分析	(100)
一、包装生产系统分析	(100)
(一) 包装生产线作用与组成	(100)
(二) 包装生产系统实例	(103)
二、智能传送系统分析	(105)
(一) 检重分选装置	(105)
(二) 物料传送系统	(107)
(三) 信息采集统计系统	(108)
三、包装加工系统分析	(109)
(一) 中包机	(109)
(二) 装箱机	(112)
(三) 码垛机	(114)
四、自动仓储系统分析	(115)

(一)生产物流系统概述	(115)
(二)运料小车	(117)
(三)立体仓库	(119)
五、力学试验系统分析	(121)
(一)机构运动测试试验	(121)
(二)正弦振动试验	(125)
第五章 技术综合项目实践	(130)
一、机构与电气控制	(130)
(一)组合机构电气控制	(130)
(二)单片机步进电机控制	(131)
(三)PLC 步进电机调速控制	(134)
二、传送检测与故障告警	(137)
(一)项目概述	(137)
(二)PLC 检测报警系统设计	(138)
(三)单片机检测与报警系统设计	(142)
三、C + + Builder 测控仪器设计	(147)
(一)C + + Builder 程序设计简介	(147)
(二)信号发生器设计	(150)
(三)数据采集程序设计	(153)
(四)PC 机 RS232 通信程序设计	(156)
(五)PC - 单片机在线检重程序设计	(159)
四、在线检重系统应用分析	(162)
(一)在线检重系统概述	(162)
(二)动态重量数据处理	(163)
(三)非线性校正	(167)
五、中包机堆垛装置系统设计	(170)
(一)中包机堆垛系统概述	(170)
(二)堆垛装置硬件控制设计	(170)
(三)堆垛装置控制软件设计	(174)
第六章 机电系统创新设计	(181)
一、创新能力的培养	(181)
(一)培养创新意识	(181)
(二)提高创造力	(182)

(三) 创新实践与训练	(182)
二、创新思维与技法	(182)
(一) 创新思维	(182)
(二) 创新技法	(184)
三、现代创新设计	(187)
(一) 创新设计的类型及过程	(187)
(二) 创新产品规划与设计	(188)
四、机构创新与反求设计	(194)
(一) 机构设计原则	(195)
(二) 机构创新	(195)
(三) 包装物流与反求工程	(197)
参考文献	(206)

第一章 工业系统与技术概述

本章首先概述生产设施、制造支持系统及其自动化实现方法,然后分析制造系统的操作活动、生产效益指数和成本组成,并结合包装生产和物流系统实例,说明了加工工艺、生产线设备组成和布局形式,最后在工业技术发展综述的基础上简要介绍本书的内容安排。

一、生产系统概述

(一)生产系统组成

生产系统是用来制造产品的系统,可分为生产设施和制造支持系统两部分。

1. 生产设施

生产设施是指工厂、生产机器以及控制制造运行的计算机系统。生产设施一般由多个工作站组成,一个工作站包括一套设备及其操作工人,多个有组织化工作站组成制造系统。制造系统是产品及其装配过程直接接触的设施。对制造系统组织类型起决定作用的一个重要因素是其所生产的产品。

(1)产品产量与种类

产品包括:①连续化产品,如一般为液体或粉末状的化工产品;②离散化产品,如机械零部件。离散化产品产量是指工厂一年生产产品的数量,可分为低(在1~100件/年)、中(100~10000件/年)、高(年产量在10000到上百万件)三类。产品类型是指一个工厂生产的不同规格和型号产品,不同类型的产品一般面向细分的特定市场。根据不同类型产品的特点,可以将产品之间的差异分为硬性和软性差异。不同种类的产品之间的区别是硬性的,而不同型号的同种产品之间的区别是软性的。低产量企业生产多种规格的产品,每种产品的产量一般在低产或中产量范围,另一些工厂则专注于大批量生产单一产品。产品种类和产品数量在工厂运行时具有反向的关联性,产品种类多则产量低,反之亦然。

(2)低产型生产设施

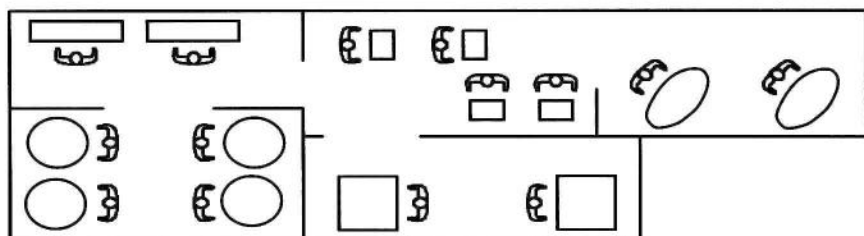
低产型生产设施是工作间,用于制造或组装小批量的专业化的复杂的定制类产品,如飞机,轮船和特种设备。

工作间一般需配备专业化的设备和高技能的人力,能以最大的灵活性处理各种硬性的零部件和产品。如果产品又大又重,很难在厂区搬动,如飞机,则至少在装配的时候将它保持在一个固定的位置,加工设备和工人将围绕它工作,这时的工作间将采用固定位置的布局图1-1(a),还需要借助大型起重设备完成总装。如果是单一部件的加工,则采用工艺型布

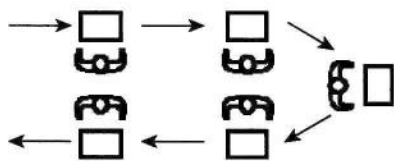
局,即按照设备功能或类型进行布局图 1-1(b)。不同的零部件有不同的加工操作和工艺流程,工艺型布局更注重灵活性而不是高效率。因为在许多材料处理过程需要在工作站之间搬运部件,所以车间里“在处理”(in-process)的物料数量会比较多。



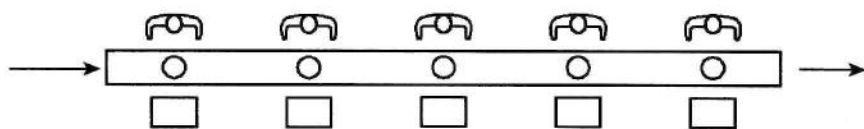
(a) 固定位置布局



(b) 工艺布局



(c) 蜂窝状布局



(d) 产品布局

图 1-1 不同类型的工厂布局图

(3) 中产型生产设施

中产型生产设施需根据产品的种类而定。如果产品种类的差异是“硬性”的,则采用分批生产的方式,小批量生产一种产品后再开始生产另一种产品。分批生产设备的生产效率高于单一设备的生产效率,但在变换所生产产品的过程需要花费时间更换工具或重新编制设备程序,这个时间叫启动时间(setup time)或换档时间(changeover time)。额外消耗生产时间是分批生产的缺点。实际上,分批生产一般用于弥补因需求日渐增加而导致的库存不足的情况,这种情况下设备布局可采用工艺式布局。如果产品种类区别是软性的,中产型生产设施布局方法可以有所变通。相似的部件可采用同一设备来生产,以免变换产品过程浪

费时间。不同产品或部件的加工装配可采用包含多个工作站或设备的单元化车间,每一车间单元按照成组技术原理专业生产某些类型相似的零部件,这种布局叫蜂窝布局(cellular layout)[图 1-1(c)]。

(4) 高产型生产设施

高产型要求生产设施满足高效率的大批量生产,分为批量生产(quantity production)和流水线生产(flow line production)。批量生产指在单一种类的设备上大批量生产单一的零部件,设备布局形式如图 1-1(b)工艺式布局(process layout)。流水线生产包括按顺序排列的多个工作站,零件和配件按空间顺序输送过程进行生产。这些工作站包括生产机器和配备了专业工具的工人,是专门针对生产率最大化而设计的,这种工作站排列成长线形的布局叫产品布局(product layout),如图 1-1(d)。工件通过动力输送机在工作站之间传送,每一个工作站完成每个产品加工过程的一小部分工作量。最常见的流水生产线是汽车装配生产线。

流水线生产本来是面向单一产品的大批量生产。然而,成功开发产品市场常需要引入多种型号产品,以使用户能选择自己心仪的风格和配置。例如现代化的汽车装配线上,需要在基本轿车型设计的基础上为不同型号的车提供不同的配件和备件。从加工的角度而言,型号的演变代表软性的产品种类,固定型的生产线可用于生产这种存在软性变异的产品。

生产设施总结性的描述如图 1-2 所示,说明了生产设施的类型和布局的关系。

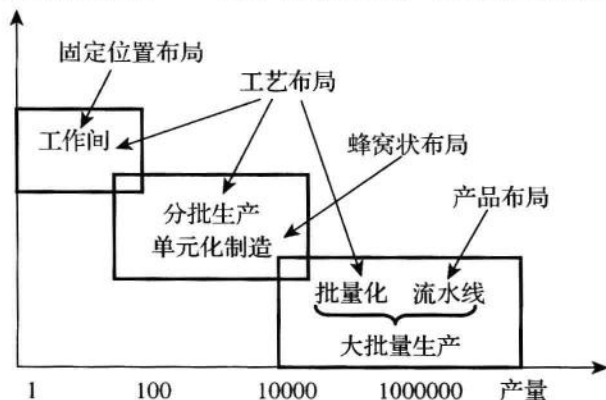


图 1-2 生产设施的类型和布局的关系

2. 制造支持系统

制造支持系统是指管理生产、解决技术和物流问题、保障质量的一整套体系。为了满足产量要求,必须有效运行生产设施,实现加工工艺,计划和控制生产流程,这些任务由制造支持系统完成。大部分制造支持系统不直接与产品接触,但可通过工厂的管理体系来规划和控制产品的发展。

制造支持活动涉及四个信息处理功能的持续循环:业务功能,产品设计,制造计划和制造控制,如图 1-3 所示。

(1) 商务功能

商务活动是与用户沟通的基本形式,因而成为信息处理循环的起点和终点,包含了销售和市场营销、销售预测、订单输入、成本核算和用户清单。生产产品的订单通常起源于用户

并由企业销售和市场营销部门负责执行。生产订单一般有三种形式:①按照用户需求制造的产品;②订购制造商的专有产品;③基于专有产品未来需求预测的内部订单。

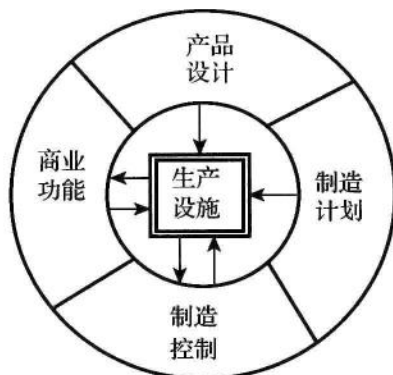


图 1-3 制造支持活动循环过程

(2) 产品设计

按照用户设计制造的产品由用户提供设计,制造企业的设计部门一般不介入。按照用户需求制造的产品一般由制造企业的设计部门负责设计。制造企业专有产品则由企业自己负责开发和设计。启动一个新产品的设计流程常源于企业的市场营销部门,完成产品设计则需要研究开发、工程设计、制图等部门,也许还有试制车间。

(3) 制造计划

产品设计信息和文档指向制造计划功能。制造计划信息处理活动包括工艺计划,主体进度计划,需求计划和容量规划。

- 工艺计划包括确定生产部件所需的工艺和装配操作,由制造工程和工业工程部门负责规划工艺和相关的技术细节。

- 主生产进度计划是关于什么时候交付多少数量产品的一张列表,常指交货的月份。基于这个计划,再制定组成产品的每个部件和配件的生产计划。

- 资源需求计划任务是订购或从仓库调拨原材料,向供应商订购外购件等事务也必须规划好,为后期应用做好准备。制造计划包括物流。

- 容量计划的一项功能就是确定人力和机器等企业资源了,因为总体进度计划所列产品数量应不超过现有设备条件下工厂每月的生产容量。

(4) 制造控制

制造控制关注的是工厂执行制造计划的实际运作。制造控制包括车间控制,库存控制和质量控制。

- 车间控制处理产品加工、装配、搬运和检测流程监视问题。

- 库存控制试图在库存太少造成缺料风险和库存太多增加运行成本之间取得平衡,如确定需订购原材料的具体数量和什么时候补订库存量变低的材料。

- 质量控制是确保产品及其配件符合产品设计规格的要求。质量控制依靠产品制造期间不同阶段的检测活动来实现。例如接收外购原材料和组成部件时的品质检测,针对最终产品的功能和外观进行检测和测试等。

(二) 制造业及其操作

行业领域分为第一产业、第二产业和第三产业。第一产业实现对自然资源的养殖和开采,如农业和矿业。第二产业把第一产业的输出转换成产品,如药品、食品和钢铁加工制造业。第三产业是为经济活动提供服务的行业,如旅游、商贸物流业。制造业是第二产业的基本活动,是一个国家的支柱产业。制造企业运行形式依赖于它所制造的产品种类。

1. 流程工业与离散制造业

按照制造产品特点,制造业可分为流程工业和离散制造业。流程工业包括石油、化工、制药、基本金属、食品、饮料和电力。离散制造业包括汽车、飞机、计算机、装备和这些产品的组成部件。流程工业和离散制造业的生产运行方式可分为连续生产和分批生产。如图 1-4 所示。

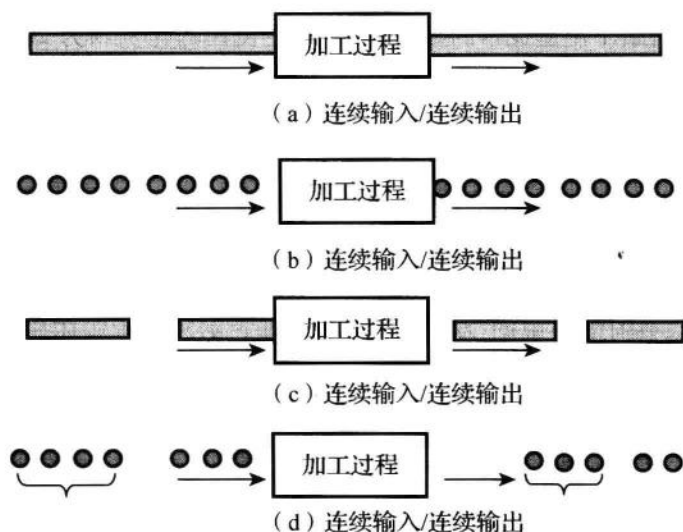


图 1-4 连续生产和分批生产

连续生产是指生产设备专用于指定产品的生产,产品输出是不间断的。流程工业的生产意味着要处理连续的材料流,如液体、气体、粉状物等。离散制造业的连续生产意味着生产过程没有产品的变换。分批生产是指一次处理的材料是有限的量,不同批次之间存在生产中断。分批处理的原因是每次能够处理的材料有限定或不同批次处理的材料不同。制造业的最终产品可分为消费品和资本货物,如工厂用于生产其他货物的机器,或提供其他服务的装备。机电装备类产品一般都是可组装的,有些公司则把材料、配件等作为最终产品,例如钢板、棒料、金属冲压机、机加工零件、塑料模具和润滑剂。这样,制造业包括由不同类型和层次的中间供应商组成的复杂的基础设施。

2. 制造操作活动

工厂将原材料变为最终产品的过程有一些基本的生产活动,主要包括:①产品加工;②材料处理;③检测和测试;④协调和控制。其中产品加工、材料处理和存储、检测和测试这三个是直接接触产品的操作。

(1) 产品加工

产品加工是与生产工艺相关最紧密的环节,冶金、化工、制药等连续生产的流程工业和离散化制造工业的生产加工过程有很大的区别。以离散制造业为例,加工、装配是离散制作业最基本的操作,通过加工操作改变加工对象的形状、特性或外观,装配操作把离散的零部件组合安装成一个具有新功能的产品,直接使产品增值。流程工业前期产品加工结束,产品将被定量包装成离散化的单元,如各种盒装药品、化妆品和罐装饮料和机电部件等。所以流程工业生产进入后期包装环节,其加工操作同离散产品制造活动类似,其包装机械的与机械制造加工机械的控制方法相似。

(2) 材料处理

从工厂的原材料购进入库起,直到工厂成品库的产品发送为止,所有产品加工和包装过程实际上都会涉及物料处理环节。理想的物料处理操作应安全、高效、低成本、及时、准确(正确的物料、正确的数量、正确的位置)。在实际生产中物料处理是一项重要而常常被忽略的事情。物料处理占整个制造成本的很大一部分,在美国的比例约为 20% ~ 25%。这个比例因生产类型和物料处理自动化水平的差异而不同。因自动化水平的限制,我国的物流成本占到总费用的 30% ~ 40%。

材料处理环节的典型操作是按照加工工艺要求把产品从一个工序向下一个工序输送,以及在制品的转存和成品自动仓储处理。如图 1-5 所示是某机械加工企业零件分批生产过程所用时间比例。其中只有 5% 时间用于加工,而 95% 用于材料搬运和等待。5% 的加工过程里的 30% 用于车削操作,其他 70% 用于物料装卸和定位操作。如果产品检验后发现问题,还需额外花费返修时间。可见,材料处理是提高生产效率的重要环节。

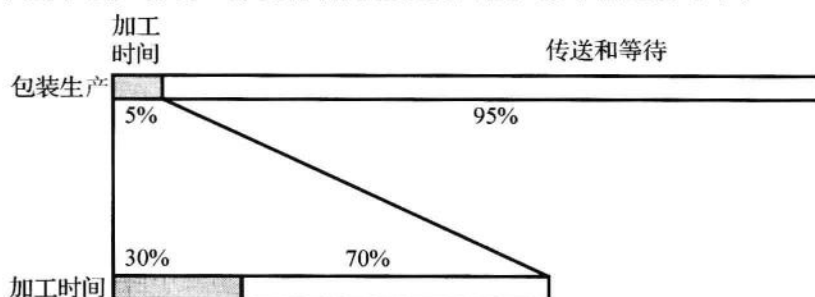


图 1-5 分批生产车间零件加工过程所花时间

(3) 检验与测试

检验或测试是保障质量的必要操作,检验主要检查所用原材料、所生产部件或产品是否符合产品的设计要求,而测试主要针对最终产品的整体功能性要求进行检验。随着企业对产品生产效率和水平要求的提高,针对材料和产品的在线识别、在线质检技术,以及加工装备状态检测、故障诊断技术的应用日益受到重视,成为高级自动化的重要内容。

(4) 协调和控制

协调和控制操作对象包括过程控制和厂级监控的业务活动。过程控制主要通过输入参数调节使加工过程输出满足产品生产的性能指标要求,这是自动化和控制技术的基本工作任务。厂级监控包括人力的有效利用,设备安全监控和维护,工厂材料搬运,库存控制,按生产进度规划配送符合质量要求的产品,并尽可能保持较低的生产成本,这些操作属于高级自

动化功能活动。

(三) 制造运行分析

1. 生产效益分析

生产效益相关的概念包括生产效率、制造准备时间、生产容量和在制品。

(1) 生产效率

一个加工装配操作的生产效率 (production rate) 常用每小时产出的部件或产品来表示, 生产效率由生产操作时间决定。如表 1-1 所示。

操作周期时间 T_c 是指在机器上加工或装配一个工件所花费的时间, 包括: ① 实际加工操作时间 T_o ; ② 工件加工时间 T_h ; ③ 工件搬运时间 T_{th} 。即

$$T_c = T_o + T_h + T_{th}, \text{计时单位 (min/件)}$$

工具处理过程, 如当工具破损时更换同型号的新工具, 或根据加工工艺需要更换其他类型的工具, 都会花费一定的时间, 但不是每个产品加工过程都需要更换新工具或更换各种类型的工具, 所以工具处理时间往往要取一个平均时间值。

表 1-1 生产效率比较

生产类型	分批生产	单件定制生产	流水线生产
花费时间 (min)	$T_p = T_{sc}/Q + T_c$	$T_p = T_{sc} + T_c$	$T_p = T_c = \text{Max } T_o + T_r$
生产效率/h	$R_p = 60/(T_{sc}/Q + T_c)$	$R_p = 60/(T_{sc} + T_c)$	$R_p < 60/T_c$
参数含义	$Q(\text{件}) = \text{产品数量}$ $T_c(\text{min}) = \text{每件加工时间}$		
	$T_{sc}(\text{min}) = \text{生产准备时间}$ $T_r(\text{min}) = \text{工作站间传送工件的时间}$		

注: $\text{Max } T_o$ = 各个工位中最长的加工时间。

流水线方式的生产准备时间也可以忽略, 但生产操作受生产线各工作站之间的相互影响而变得复杂起来, 完成加工花费时间最长的工作站 (瓶颈) 决定了整个流水线的节奏。生产线上常把工件同步地向下一站搬运, 生产周期还包括每个操作结束时把工件向下一个站搬运的时间。综上所述, 总加工周期 T_c 是最长的操作加工时间 T_o 与工作站间传送工件的时间之和。而且可靠性差的工作站一旦崩溃, 整个生产线将被迫停止生产, 实际的生产效率将大大低于 $R_c = 60/T_c$ 。

设计与用户的产品需求节奏一致的制造方式是很重要的。比如, 如果一个按照用户需求制定的生产计划是每天生产 1 批次产品, 每批次容量是 100 件产品, 每批次用 400 min, 则生产节奏为 4.0 min/件。

(2) 制造准备时间

在市场竞争中, 能在最短的时间里将产品交付给客户常常赢得订单。这个工厂加工指定产品所需时间可称为制造准备时间 MLT (manufacturing lead time)。散装生产类型的 MLT 计算如表 1-2 所示。

(3) 生产容量

生产容量 (production capacity) 是一定生产条件下生产设施所对应的最大产出率。生产条件是指工厂每天生产批次数, 一周或一个月工作的天数, 职工技能水平等。对于连续的化

工生产,因为要在很高的温度才能产生化学反应,所以化工厂每天工作 24 h,每周工作 7 天。在汽车装配厂,容量是指每天 1~2 个批次。在制造离散零部件的企业也倾向于每天工作 24 h,每周工作 7 天的方式,那么最大的工作时间是 168 h/周,如果生产时间低于这个值,则称为生产容量没有充分利用。

表 1-2 制造准备时间比较

生产类型	分批生产	单件定制生产	流水线生产
制造准备时间/min	$MLT = n_0 (T_{su} + QT_c + T_{no})$	$MLT = n_0 (T_{su} + T_c + T_{no})$	$MLT = n_0 (\text{Max } T_o + T_r)$
参数含义	n_0 = 一件所需的操作数量； Q (件) = 批量产品数量； T_{no} = 机器有关的非操作时间；		
	$T_{su}(\text{min})$ = 生产准备时间 $T_c(\text{min})$ = 每件产品加工时间 $T_r(\text{min})$ = 流水线站间传送工件时间		

注: $\text{Max } T_o$ = 各个工位最长的加工时间。

工厂的生产容量会受设备实际利用率和有效率影响的。利用率指生产设施产出量相对于它的容量,常用百分数表示。有效率是对自动生产设备可靠性的测量,常用两个称谓来表示:平均故障时间 MTBF(mean time between failure)和故障恢复时间 MTTR(mean time to repair)。MTBF 表示设备运行中发生故障的平均时间间隔。MTTR 表示故障发生后维修并使设备再次投入运行所需的平均时间。设备投入运行后越旧的设备有效率越低。这两个公式可以很方便地修正为以月或年为基准的核算方式。校正前后生产容量计算如表 1-3 所示。

表 1-3 生产容量比较

	基本生产容量	修正后生产容量
每周生产件数	$PC = nSHR_p$	$PC = AU(nSHR_p)$
参数含义	n = 工厂的加工机器数量 S = 一周加工的批次数 利用率(%) $U = Q/PC$	H = 每批次加工件数 R_p = 每小时加工效率 有效率(%) $A = (MTBF - MTTR)/MTBF$

(4) 与在制品

在制品(work-in-process)是工厂当前正在加工或在加工操作站间传送的部件或产品。在制品清单是包括从原材料传送开始到最终产品的所有物品。近似的在制品测量模型:

$$WIP = AU(PC) (MLT)/(SH)$$

在制品代表了工厂的生产投入,只有等所有完成了加工操作这个投入才能变为产出。许多工厂因为在制品操作过程太长而花费了主要的成本。

2. 制造费用分析

(1) 固定和可变费用

制造费用分为固定费用(fixed-cost)和可变费用(variable cost)两种。固定费用指任何产出水平下都是常量的成本,如工厂建筑和生产设备,保险和财产税等。固定费用按年度核算。可变费用与产出水平成比例,即产出水平提高,可变费用增加,例如直接的人力费用、原材料和生产设备所用电费等。设 Q = 年产量(件/年),固定费用 FC 和可变费用 VC 加起来