

生产工艺中的数字控制

汉斯-赫尔曼 黑罗尔德
〔德意志联邦共和国〕 沃尔夫冈 马斯贝格 著
戈特弗里德 施图特

卢运模 译
李师廉 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书着重介绍数控机床的设计和使用,系统地阐述了数控技术各种有关问题:加工过程自动化和程序控制、数控系统的基本原理、内数据处理、数控机床设计、附加机能的使用、程序编制、使用数控机床的组织措施、数控设备的经济性分析、数控在各加工领域中的应用以及数控最新发展等。

本书论述由浅入深,并列举有大量实例和参考数据。书后有思考题和作业题及答案。

本书可供数控设计、研究和使用人员参考,也可作为教学或自学参考。

DIE NUMERISCHE STEUERUNG IN DER FERTIGUNGSTECHNIK

Dr.-Ing. Hans-Hermann Herold

Dr.-Ing. Wolfgang Maßberg

Prof. Dr.-Ing. Gottfried Stute

VDI-VERLAG ^{GM}_{BH} DÜSSELDORF 1971

生产工艺中的数字控制

卢运模 译

李师廉 校

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

上海商务印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张19 5/8 467千字

1978年5月第一版 1978年5月第一次印刷 印数:00,001—27,000册

统一书号:15034·1616 定价:1.60元

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下,我国机械制造工业和电子技术迅速发展,机械与电子数字技术相结合的数控技术作为自动化的一个有力工具得到越来越广泛的应用。为了适应从事数控工作的广大工人、技术人员的需要,我们遵照毛主席“洋为中用”的伟大教导,翻译了这本书。本书着重介绍了数控技术的设计和使用问题。书中围绕这个重心阐述了当前数控技术的所有基本问题:加工自动化和程序控制、数控原理和结构、数控机床的机械结构设计、附加机能、程序编制、生产组织、经济性分析、数控的各种应用及最新发展等。

本书论述由浅入深,比较系统。由于广泛运用了图例和图解,还附有思考题和习题及答案。因此,也适于自学。

本书在讲述技术问题时,仍在一定程度上反映了资本主义企业的经营方式,在翻译过程中,对原书中某些与技术引进无关的部分作了少量删改。本书在技术方面也有不足和片面之处,例如对一些近年发展的驱动和测量元件、力矩电机、永磁步进电机、交流变速、金属光栅等未作介绍。关于数控系统的插补原理和软件技术的说明也过于简略。对原书中技术性错误和含糊之处均作了校正或注释,希读者批判地阅读。

本书由卢运模、李师廉合译,最后由李师廉校对。

由于译者水平有限,译文中可能存在一些缺点,恳请读者批评指正。

译校者

1977年1月

目 录

1. 生产工艺中自动化的任务及其解决方法	7
1.1 自动化	7
1.1.1 生产率和自动化程度	8
1.1.2 信息和整体数据处理	9
1.1.3 人和自动化	12
1.2 生产工艺中的自动化	12
1.3 对工艺设备自动化的要求	13
1.4 中、小批生产和单件生产中的控制系统	14
1.4.1 功能控制	16
1.4.2 程序控制	17
1.4.3 数字控制	22
1.5 生产工艺中的数字控制	23
1.5.1 数控单台机床	23
1.5.2 数控加工中心	24
1.5.3 数控生产系统(群控)	25
2. 数控工艺设备的组成部分	27
2.1 数控基础	27
2.1.1 控制、调节、计数制	27
2.1.2 数字控制的基本组成部分	29
2.2 内部数据处理	32
2.2.1 信息输入的可能性	32
2.2.1.1 信息的手动输入	33
2.2.1.2 自动信息输入的程序结构	35
2.2.1.3 通过穿孔带输入信息	38
2.2.1.4 自动信息输入的其它方法	41
2.2.2 行程信息给定值的形成	42
2.2.2.1 坐标转换	42
2.2.2.2 数字轮廓控制的位置给定值	45
2.2.2.3 内插补法	46
2.2.3 位置调定	49
2.2.3.1 位置调定方法	49
2.2.3.2 数控机床的位置测量系统	58
2.2.3.3 位置调定用的驱动装置	66
2.2.4 附加信息的处理	77
2.2.4.1 主轴转速和进给速度的数据处理	78
2.2.4.2 辅助运动和辅助机能的数据处理	79
2.2.4.3 刀具选择的数据处理	79
2.3 数控机床的设计	80

2.3.1 机床对工件精度的影响	81
2.3.1.1 导轨误差对工件精度的影响	83
2.3.1.2 热对工件精度的影响	94
2.3.1.3 静态力和动态力对工件精度的影响	98
2.3.1.4 工件及其夹具的影响	103
2.3.1.5 刀具及其夹具的影响	104
2.3.1.6 机床安装的影响	106
2.3.2 位置调定对数控机床设计的要求	107
2.3.3 数控机床的位置调定精度	113
2.3.3.1 数控机床静态特征参数的测定	115
2.3.3.2 不包括反向不灵敏区的静态特征参数	117
2.3.3.3 定位公差图示法	120
2.4 数控工艺设备与各种加工任务的适应性	121
2.4.1 免除人工测量	121
2.4.2 切削条件的程编给定	124
2.4.3 开关机能的程编给定	125
2.4.4 缩短安装调整时间的措施	131
2.4.5 方便机床操作和监督的措施	133
2.4.6 减少停工时间的措施	136
2.4.7 数控机床的装备与精度要求的关系	136
2.4.8 通过适当的控制设计简化手工程序编制	138
2.4.9 数控机床的表征	139
3. 数控机床的程序编制	141
3.1 数控加工的工件及数控机床的坐标系统	141
3.2 手工编制程序	142
3.2.1 在钻削加工时手工程序编制实例	143
3.2.2 手工编制车削加工程序时的组织辅助措施	148
3.2.3 手工编制程序用的器械	156
3.3 计算机编制程序	159
3.3.1 程序编制语言	161
3.3.2 程序编制系统 EXAPT	164
3.3.2.1 EXAPT 1 程序编制实例	176
4. 使用数控机床的组织措施	182
4.1 购置数控机床前的措施	182
4.2 在数控机床投入使用前的措施	188
4.3 在数控机床投入使用后的措施	193
5. 数控工艺设备的经济性分析	197
5.1 经济性评价	197
5.1.1 制造费用作为经济性分析的基础	198
5.2 数控设备对生产过程的影响	200
5.2.1 直接影响因素	200

5.2.1.1	设计	200
5.2.1.2	生产准备	200
5.2.1.3	生产	203
5.2.1.4	质量检验	205
5.2.1.5	仓库业务	205
5.2.1.6	投资资本	205
5.2.2	间接影响因素	206
5.3	采用数控设备加工时的制造费用	208
5.3.1	制造费用同批量和重复次数的关系	211
5.3.2	制造费用与产品加工难度的关系	212
5.3.3	制造费用与机床利用率的关系	213
5.4	投资计算	213
5.5	用电子数据处理进行经济性计算	214
5.6	从经济性观点看数控设备的应用	216
6.	数字控制在生产中的应用	218
6.1	切削加工中的数控机床	218
6.2	压力加工中的数字控制	239
6.3	数控在生产工艺的其它领域内的应用	251
7.	数字控制在其它领域中的应用	257
7.1	数控绘图机	257
7.1.1	外部和内部数据处理	258
7.1.2	结构实例	259
7.1.3	绘图精度	261
7.1.4	附加装置	263
7.1.5	程序编制	264
7.1.6	应用范围	264
7.2	数字坐标测量机	265
7.2.1	二维数字坐标测量机	266
7.2.2	三维数字坐标测量机	269
7.3	数字控制在电气技术中特殊加工方面应用的可能性	270
8.	数字控制的发展	276
8.1	数字控制与低位或高位控制系统的联接	276
8.1.1	机床的计算机直接控制	279
8.1.2	自适应控制	283
8.2	由数控单机集成为中批生产用的生产系统	288
9.	思考题和作业	293
一些思考题的数值答案		299
公式符号索引		301
参考资料		303

1. 生产工艺中自动化的任务及其解决方法

1.1 自 动 化

如果回顾一下技术发展的历史,就会认识到人们为使产品生产过程自动进行,作了成世纪的努力。由于始终希望减轻人的负担,所以使得按各种制造工艺过程分类的装置、仪器、设备和辅助装备的使用规模不断扩大。一九六九年的电子控制的车床(图 1.1-1)与一九一二年首批出现的塔轮传动的快速车床或一九五二年的车床相比较,说明了在多大范围内,人从首先作为能源,然后作为信息转换者的直接生产过程中解放出来。由于自动化的不断发展,手柄、手轮和其它手工操作的控制部件都成为多余了。

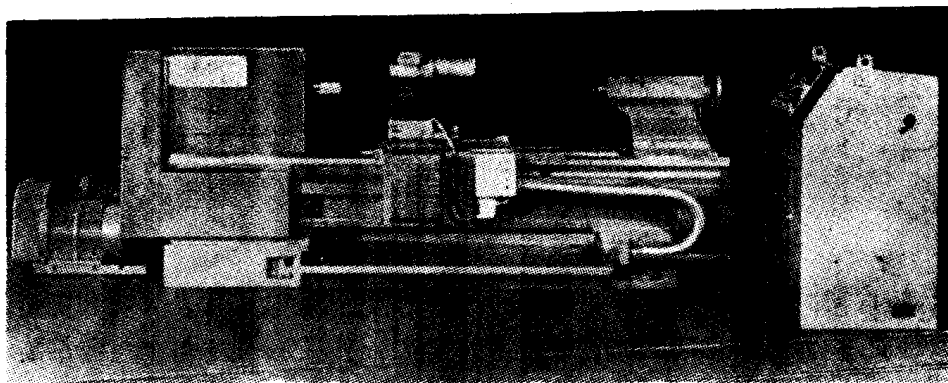


图 1.1-1 一九六九年的电子控制车床

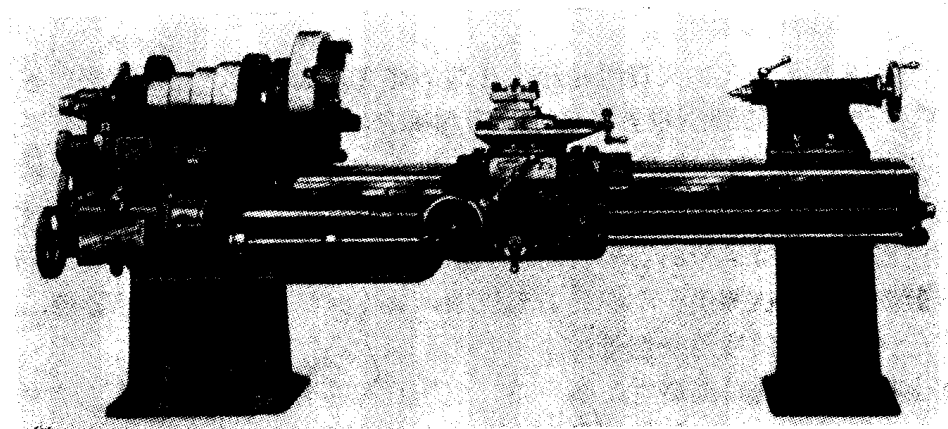


图 1.1-2 一九一二年塔轮车床

有人认为自动化就是建造这样一类技术设备,这些设备在工作时不需要人不停地或按固定的节拍进行操作,它使人从不断重复的相同的脑力或体力劳动中解放出来,并且使人脱离由技术设备的节拍造成的时间束缚。人们追求的目标是,减轻人的体力负担和减少劳动力的使用以及在减少费用的同时大量地提高产量和质量。这里,注意不要把自动化看成只是对生产过程本身而言,这种误解是常遇到的。工业产品的制造通常先要为制造各种零件

而进行大量的准备工作和完成一系列加工工序。在过去的年代,人们着重于单个工序的自动化,而今天的目标则是把直接或间接影响产品制造的所有因素都包括在自动化的范围内加以考虑。这样,对于信息产生和传递,材料领取和运送,生产过程准备和生产过程本身,检验和装配以及发货和所有管理工作都必须考虑实现自动化。因此,工艺设备的自动化仅解决了制造产品的整个过程自动化的部分任务。

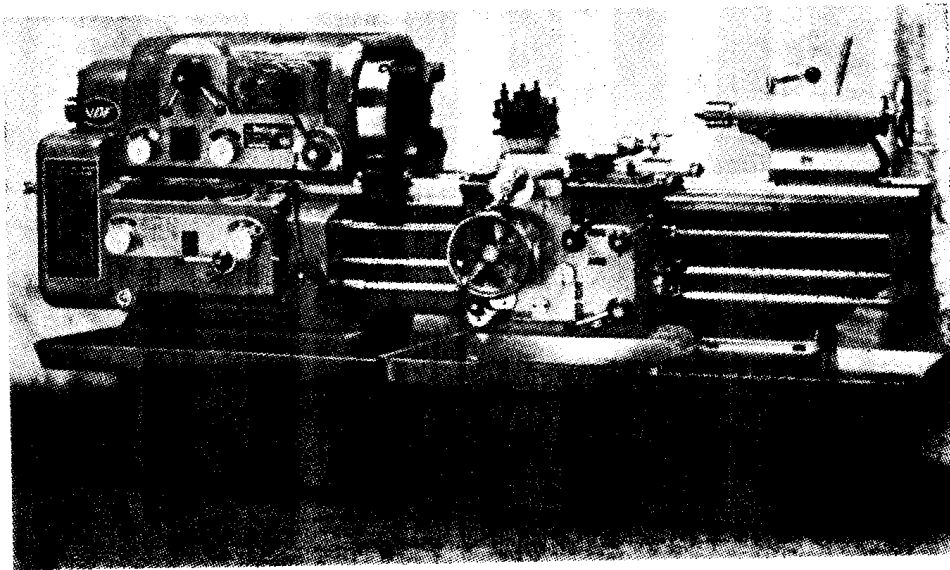


图 1.1-3 一九五二年的车床

在这里,还应同时考虑实现自动化所需的经济结构、运输技术以及人员和资金等方面的先决条件。目前,作为自动化基础的各种技术的发展水平,允许几乎每个过程都能实现自动化。在各种不同的技术领域内应用自动化,将会象最初采用纺织机、钟表、印刷、蒸气机和内燃机、电动机、电子装置和数据处理设备那样产生深远的影响。

1.1.1 生产率和自动化程度

自动化的技术方案只有在其费用是经济合理的地方才能实现。也就是要在各种具体情况下,要证明生产率有所提高,也就是说在费用相同时,单位时间的产值得到提高或在单位时间内产值相同时,费用有所减少^[145]。在这里,生产率是指在一台正常工作的设备上消耗的费用与该设备生产的产值在数量上的对比。这个数值应以货币形式来衡量和对比。这里所说的费用主要是指设备运行的工资费用、产品的材料费用和资本费用(利息和折旧费)以及有关的一般费用。产值等于一个产品的毛值乘以单位时间内生产的产品数量。生产率的大小是以产值减去消耗的费用来衡量的。

在技术上有各种方法可提高生产率。在工艺方面是通过创新和改进制造方法,例如采用电化学加工方法或者在切削加工时提高切削速度来实现这个目标。搞自动化也是为了提高生产率,它把工作过程的单个步骤相互联结起来而使工作过程自动进行。对控制能量流动的信息进行自动处理和存储就可做到这一点。但是,自动化设备的费用必须始终与使用这种设备所得到的结果保持合理的关系。设备操作者的熟练程度,将会影响这个结果,同样安置一台在很大程度上代替人的劳动力和要求较高的资本费用的设备也会影响这个结果。人们经常谈论自动化程度,并把它理解为一个企业的生产过程中工资费用与资本费用的关系^[129],也就是指在多大的范围内,人的劳动力被技术设备所代替。

证实一台提高了自动化程度的设备具有经济性,对于它的应用具有决定性意义。

对于每个企业来说,考虑提高自动化程度是一项经常的迫切的要求,这是一项对所有经济体系都存在的要求。

基于上述对自动化进行的各种分析,图 1.1-4 示意地说明了自动化程度如何从上而下逐级提高,而未谈到各级之间的中间阶段。通过相应的简图表示运输、车削加工和质量检验。在第一行中,许多劳动力直接参与生产过程,它不是自动化的。

如果采用自动仿形车床代替车床,由于减少了辅助时间,单位时间生产的工件数量显著地增加,其结果增加了运输和测量工作量。单位时间的产值提高了,虽然劳动力的数量也增加了,但这可以意味着提高了生产率。在第三行中,通过运输过程的自动化,生产率进一步提高。如果考虑质量检验时,可采用自动测量设备,

它进一步节省了宝贵的劳动力。简单的百分表被自动测量设备所取代。在第四行中,自动化程度又进了一步。自动加工设备和自动测量设备通过反馈相互联结。工件尺寸得到连续测量,并与规定的公差进行比较。由此得到的偏差用于调节机床^[145]。

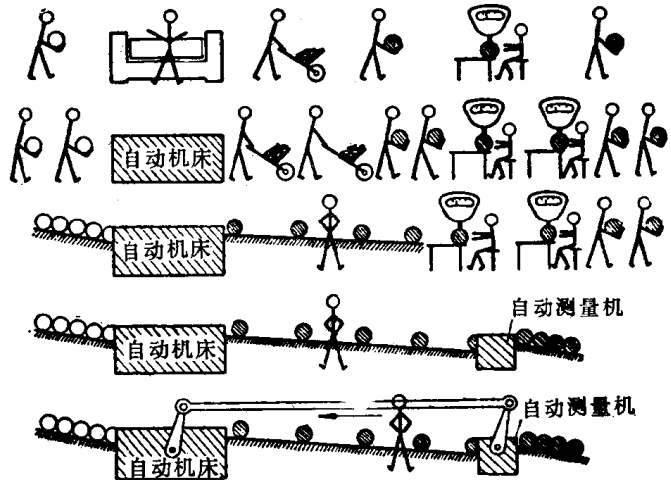


图 1.1-4 自动化的阶段^[145]

1.1.2 信息和整体数据处理

在前面的叙述中,特别是在以后的许多章节中,要反复地谈到消息、信息和信号;为了更好地理解,应对这些概念加以解释。

消息的定义永远只是和接受器或发送器相联系的。它描述仅具有一定概率的事件,但不能预先推测的事件。当某一接受器能完全确切知道在某一情况下得到某一个消息时,对该接受器而言,在该情况下这个消息的信息量为零^[51]。

信号是为消息传递和存储服务的可测量的物理事实。它是消息的物理表征^[190]。

相反,信息是从消息中获得的数据。例如,机床的操作者得到一个消息,他把这一消息的信息变换为按下机床上的一个按钮发出一个停止电动机转动的信号。

信息随着消息概率的倒数成对数地增加。获得某一个消息的概率愈大,信息量则愈小。这个判断得自信息论,而信息论主要来源于香农的著作^[174]。这种理论所要解决的任务是,对人与人之间用符号交换方式进行的通讯或人与客观世界通过观察建立的通讯能够进行定量的和结构方面的归纳^[126, 189]。

这里之所以提到信息论,还因为它是企业内信息传递和信息存储自动化的基础,并且在工程科学领域中开始起着更加重要的作用。如果人们已学会合理和高效地利用能量,则还必须学会合理地处理信息^[177]。特别是将来,人们要对这项任务给予更多的注意。

由于采用了具有广泛用途的,而且有待进一步开辟应用途径的电子数据处理机,这就要求人们愈来愈注意合理地进行信息传递、存储和处理^[202]。

在一个企业中有各种任务要借助数据处理机解决:一方面在有关销售、一般管理、商业

管理、生产准备和生产等企业部门内有处理方式相似的较大的数据量要进行处理;另一方面在技术部门内有较少的数据量要进行各种计算。各种不同的任务要求不同结构的数据处理机。图 1.1-5 表明通过处理机完成企业所有部门的任务的整体处理是有一定可能的。整体

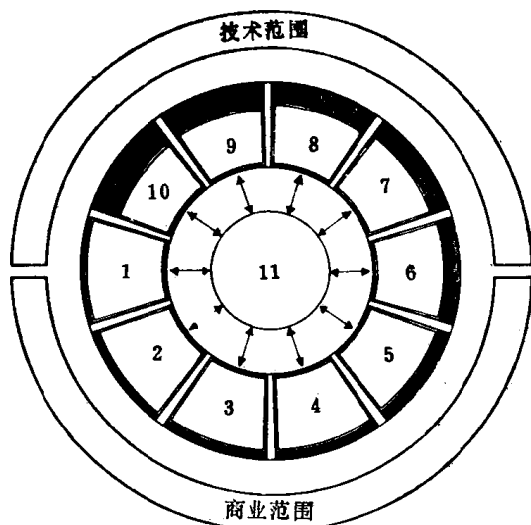


图 1.1-5 整体的数据处理

1—出售; 2—文献; 3—购买; 4—管理; 5—会计;
6—仓库和统计; 7—加工; 8—生产准备; 9—设计
和发展; 10—生产计划; 11—数据处理设备

数据处理主要完成第一项任务。在上述两个方面的应用范围内, 电子数据处理机都是用于信息的合理处理。

例如, 在一个企业中有关各国市场研究、某一工业部门发展或用户情况的变化等方面的信息由企业的主管部门加以处理, 并以一定的格式存储在数据处理机内。由处理机计算出的有经济意义的市场缺口是安排将来产品的基础。这种主要从消费品行业积累起来的经验开始用于投资性物品(生产资料)。如果一种产品由市场需求而确定了, 则接着要确立设计方案, 有时可用数据处理机来实现, 最后以图纸作为信息存储器表现出来。在成批生产时, 这样的设计任务也可以根据用户的特殊要求确定, 或者在单件生产时由合同提出。在成批生产定货时, 销售部门可用数据处理机对某一定货合同进行处理。

同时印出发货单和包装单、生产准备用的定货单和外购件资料以及有关产品规格、设计能力和生产能力的统计资料, 从这些统计资料中可得出对人员的统筹安排。此外, 也有可能利用这些信息为财务和企业经济部门提供资料。例如, 一旦接到了成批定货, 生产准备部门就自动地从中心数据处理机那里得到生产用的工作计划、领料单、工资票。接着要进行材料的调度, 用数据处理机不断进行原料库和外购件库的库存查对。用于生产控制的信息在数据处理机内算出并存储起来, 这样就得出了完整的进度表。处理机也可以根据生产中的信息监督进度表完成的情况。这些信息又成为总工资和净得工资结算以及生产准备、销售、财务和企业经济部门的进一步计划的基础。在产品生产出来后, 放在仓库内以备提取。仓库通过电子数据处理机与销售部门保持联系。对商业及销售部门内的其它任务也同样作了另外一些考虑。

上述是电子数据处理机在商业经营和行政管理部门内的几个应用实例。它减轻了企业人员的重复的和烦琐的工作。

用数据处理机解决技术问题, 即前面提到的企业内的第二项应用范围也具有同样的目的。对此也举出几例。

在机械制造业中的 15 个企业的设计工作过程进行的定量分析结果表明, 在直接的设计工作量中, 绘图工作占最大部分。约为工作时间的 30%。设计工作只占 20%。计算工作同设计和绘图工作比较, 占较少部分, 仅为 5%。调查结果表明, 往往采用会造成尺寸偏大的估计值和经验值取代了经济合理的精确计算, 设计师的工作则主要集中在部件设计阶段上。在单件设计中, 几乎只有绘图工作。另一方面, 单件设计约需要全部设计时间的 35%。在这个范围内, 使用数字计算机特别值得注意, 因为设计零件图是具有手工图解特点的烦琐

工作,而且它还有重复的特征。

通过数据处理机解决设计范围内的问题,已有各种系统,为人们所熟知,它们都是属自动工程设计^[196]和计算机辅助设计的概念^[214]。

在设计工作中,采用数字计算机首先要求对数据进行准备。同时还必须采取措施使零件的设计过程、计算过程、解题方法等标准化、系统化和典型化。如果这些条件得到满足,就可以进行在设计部门内采用数据处理机的第一阶段的工作。

准备好的数据基本上可以毫无困难地处理成为计算机程序。但是,首先要注意计算问题,因为在这方面借助于计算机帮助是最有利的。在最好地满足功能、工艺、构形和经济各方面要求的前提下,这些计算就构成了设计的基础。上面已指出,目前这些计算在设计过程中,只占较少的时间比例,这是因为人们大都依靠粗算方法、估算和经验值进行工作,而这些方法大多使用了相应的安全系数。精确的计算将显著地提高产品的经济性。运用数学上能明确描述的算法,可将这类计算方法编成程序,并在计算机上进行处理。首要的是编制有关研究机床底座、床身和箱体动态和静态特性的程序以及不断遇到反复出现的关于齿轮、轴承、导轨等的标准计算的程序。

可供设计师使用的几种较接近实际情况的机床设计辅助程序是,确定材料力学参数的“Quera”-程序,计算端部固定梁系统静态变形的“Mesta”-程序和计算固有频率和振动形式的“Dyna”-程序^[39, 195]。

手工绘图工作约占全部设计时间的30%。对此,具有相应外部设备的数据处理机也可有效地发挥作用。与计算机直接联接的(在机)或与计算机在时间上无关的(脱机)绘图机在这里具有特殊的意义。它能以绘图的形式输出由计算机求得的信息。

除用字母数字键盘进行逐字式的指令输入外,由于美国麻省理工学院(MIT)^[212]的发展工作,也已出现了光屏装置,它用作与大型通用计算机联接的图象式输入和输出设备。一种称之为“Sketch Pad”的计算机程序允许操作者通过一个功能键盘或通过一个与计算机联接的光笔在屏幕上进行“绘图”,发出绘图的指令和语句以及进行诸如转动、放大、移动等图象处理,见图1.1-6(第三阶段)。

上面已经说明在生产准备中,电子数据处理机可以有效地用于生产能力计划和进度计划以及生产控制。

当数控机床用于生产部门时,又提出了一些新的任务。对于不很复杂的工件而言,手工编制程序,即不使用电子辅助设备,是完全可以满足要求的。但是,随着工件复杂性的增加,手工编制程序的费用也相应提高;这种编程方法就可能不再是经济的了。为了简化数控的程序编制,便使用了电子数据处理机。已经创造出“针对工件”的程编语言,这种语言对应于零件图纸的信息内容,它接近于我们日常语言(见第三章)^[206]。

在技术部门内数据处理机的其它应用范围是,标准化和含有数学、物理或其它技术问题

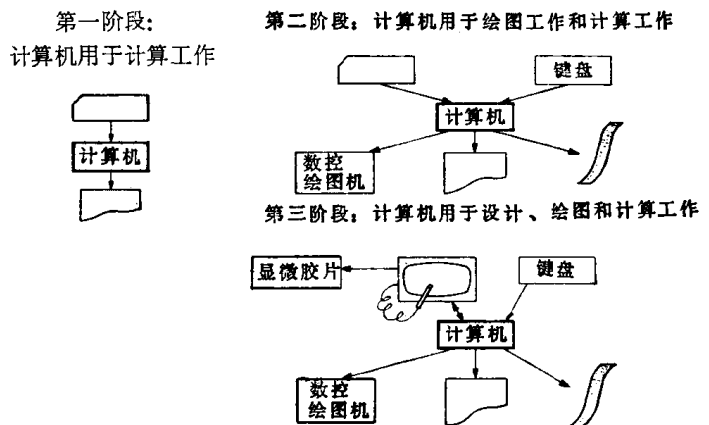


图 1.1-6 在设计范围内应用计算机的各个阶段

的科研工作。在生产检验部门内数据处理机也用来解决技术问题或对特殊设计进行技术检验计算。

这里列举的例子,虽然其中许多还有待于付诸实现,但是它们仍然显示出使用整体工作的数据处理机所提供的广泛可能性。

对存储的许多企业数据,可进行各种分析、提炼等计算,以作为企业决策的基础。对于综合管理信息系统和检验系统而言,已经和将要研究出各种程序。在这里,建立管理-数据库不是通过对过去沿用技术的改进来达到的,而是要求更加新的组织技术和程序技术^[25,138]。

所有这些考虑的基础是,在一个企业内对管理-信息系统和检验系统进行整体数据处理在提高质量和降低费用的同时,将显著地提高单位时间的产值。

1.1.3 人和自动化

以后的各个章节都是说明一门技术,这门技术的目标是使人在很大程度上独立于产品的制造过程之外。长时期以来就一直存在着这种努力,但是在我们所处的发展的形势下,这个过程对人的影响,应比以前更要认真地考虑。

在历史上人们总是力图借助于技术去征服周围的困难。

在自动化进一步发展的情况下,应深入考虑并解决对人的影响和后果。

虽然按着熟悉的方法创造熟悉的产品没有创造性活动也可以实现,但是人因具有创造能力仍然是产品制造过程中决定性的和最宝贵的环节。

1.2 生产工艺中的自动化

很久以来,机床就用于制造几何形状。在锻压机床上,几何形状存储在模具中,而在切削机床上,形状的改变主要是通过单个运动的依次排列实现的。例如,在切削机床上,关于刀具和工件相互运动的位置的数据是从图纸上得到的。图纸上的尺寸规定了获得工件所需形状的相应运动。人们将这些信息称之为行程信息。为了制造产品,除行程信息外,还需要辅助运动信息和工艺条件信息,刀具数据和附加功能信息,例如应该使用哪台机床,使用哪把刀具,应选用多大的转速、进给量等。这些直接与机床的能量流程有关的数据称之为开关信息。行程信息和开关信息是在机床一个工作循环内加工工件需要的工作信息^①。

在较早的年代里是完全依靠机床操作者的手艺,凭其经验加工出所要求的几何形状。他们是根据粗略的通常是口头的数据来生产工件。随着历史的发展,以后出现操作者的分工。有关产品几何形状的数据,事先由设计者在作为信息存储器的图纸上给出,而工艺数据是在以后才由工艺员确定。即使今天在单件生产时仍然很少向机床操作者提供工艺数据,这样就要操作者运用他的经验。

此外,人们开始设计一些机床,使其适应于重复出现的产品数量。人们已研究出适合大批生产的机床以及适应中批、小批和单件生产的机床。当然,同时也努力进一步改进工艺或采用新的生产方法。

在自动化的范围内,注意减少了辅助时间和安装调整时间以及分配时间。特别是辅助时间和安装调整时间通常构成了工件生产时间的很大部分。一些加工实例表明,辅助时间

① 这些概念一部分取自德国工业标准 DIN 66025 草案,并包含在德国工程师协会规范 VDI 3257 之中。

和安装调整时间是基本时间的几倍。应该指出：采用新的控制系统也出现了基本时间减少的情况（见第6章和8.12节）。

为了降低辅助时间和安装调整时间，在大批生产中发展了由组合机床、自动机床和专用机床组成的设备。它们固定地或非固定地相互联接成生产系统，例如自动生产线。虽然利用这些设备显著地减少了辅助时间，但在更改生产线时需要很多的安装调整时间。由于显著地限制了几何形状的多样化和预先规定了生产过程必需的信息，并保持了其内容固定不变，所以在这些设备上达到了很高的自动化程度。虽然在大量生产中总的（绝对）安装调整时间很长，但均分到单个工件时间中只占很小的百分比。如果一个生产系统加工的件数明显减少，那么这种生产类型从某一界限开始在经济上就不再是合算的了。

在中批和小批生产范围内，也同样提出了降低交货时间的要求，这就要求减少供加工和合理处置信息传递用的辅助时间，安装调整时间和分配时间，下面将深入地探讨中、小件生产以及部分单件生产自动化问题的各种解决方法。这些解决方法之所以有意义，是因为这种生产技术部门就产值的规模而言，完全可以与大批生产相比较。

1.3 对工艺设备自动化的要求

根据生产自动化任务提出了对控制系统、机床和设备应该满足的如下基本要求。这些要求不是针对某一些已知的单个解决方案，它们应普遍适用于各种具有尽可能高的自动化程度的设备。

为了进一步提高机床的单位时间的产值，在相同的工艺条件下，应该减少辅助时间、安装调整时间和分配时间。

机床的停工时间增加了产品的制造费用。根据1.2节关于大量生产的分析，对中、小批生产时还应进一步减少机床的停工时间。安装调整时间主要由装夹时间决定。因此，要避免同一个工件的多次装夹。更换刀具的时间也归入安装调整时间。属于辅助时间、安装调整时间或分配时间的工作，如加工工件的检验，应尽可能地在加工时间内由控制系统完成。在机床上改换一个新的产品规格时，机床的调整也应能在不使机床停车的情况下进行。

由设备操作者进行的不断重复的工作，应由控制系统完成。

在制造产品时一些按规程重复的工作过程，各种工作信息的变换以及必要的辅助工作的引入，应摆脱开操作者，因为操作者受当时的精神和身体状况的影响而可能引起误操作。在难度较高的加工过程中，操作者的疲劳会导致产生更多的废品的可能性。而废品率提高了制造费用。

在大批生产时，上述这些要求已经在很大程度上得到满足，而在中、小批生产中为满足这些要求还需要作出更大的努力。众所周知，在后一种生产部门内，由于生产规格经常变动，信息载体的类型和信息存储规模（这两者并不总是一回事）起着重要作用。加工任务的特点通常是：同样产品在机床上不是在时间上连续地加工完毕，而是分成许多小批在时间上间断地小批量进行加工。中间也可能更改设计，这就要求对工作信息进行修正。由此得出如下结论：

信息载体在机床上应能迅速地更换，并且它的内容易于改变。加工程序的信息存储器也应能针对复杂的加工任务经济合理地加以扩展。

为了把工件加工成所要求的形状,采用了各种各样的控制。工件的尺寸大多不是直接测量的,而是通过测量机床溜板的位置的变化。这种间接测量必然含有误差,但是一般难以避免。由此产生如下要求:

在精度要求很高的情况下,工件的尺寸应通过测量系统直接测量。在间接测量时,应考虑传递元件的误差。

通常,机床控制系统的设计都能完全满足提高自动化程度的任务。但是,它们各自固有的特性会使本来的加工方法在工艺上受到限制。因此要求:

控制系统和机床的所有元件都必须设计成允许采用工艺上所有可能的数值而不影响工艺上确定的公差极限。

最后为完成提出的任务,还应提出两项一般要求。

为了利用整体数据处理的优点,要求机床控制系统和电子计算机之间有简单的通讯联系。

在数据处理机和控制系统之间应有可能进行简单的信息交换。

但是,提出的这些要求,只有在考虑未来发展的情况下是经济合理的,才有可能实现。在这里工资费用和资本费用的发展,如同技术发展一样都包括在内。价格效能因数,即价格与提供的效能之比,间接地包含了对故障率、操作方便性和相应的“维修方便性”提出的要求。由此得出:

自动化工艺设备的价格效能因数,根据批量和各种加工方法与加工形式的困难程度,应能使其经济地用于尽可能广泛的生产部门。

1.4 中、小批生产和单件生产中的控制系统

用作机床控制系统的有机械的、电气的、电子的、液压的和气动的控制及其相互的组合。控制系统这样分类,是按照信号及能量传递介质的物理性能。各种控制手段的应用是根据它们各自的优点而决定的。通常,同样的控制任务是用不同的技术手段来完成的。例如,在机床仿形系统上,由机械控制过渡到了电气机械、电气液压、液压以及电子方案。如果就位置控制而言,目前在信息传递、信息处理和信息存储采用电子方案具有优越的特性,而电气的、液压的和电气液压的解决方法适用于伺服驱动装置。在完成不同的测量任务时,主要使用电气的、光电的、气动的和电磁的解决方法。今天还不能完全指明不同的物理技术用于生产技术中的某种控制和调节任务具有某种可以概括化的优点。决定采用某一种技术是与其它许多因素有关的,例如测量长度,精度要求,设计前提等。另一方面,各种技术学科都在不断的发展,致使某些使用界限也至少具有不稳定的特征。因此,几年前也曾用液压和气动系统来进行信息的存储、处理和传递。

在加工过程中,为获得所要求的形状变化,需要机械能量。通常所要求的直线或旋转运动由驱动装置来实现,这个驱动装置必须有充分能量。如果选用电气驱动装置,则要有电能到机械能的转换。输入的电能在一个电动机内转换成机械动能,由电动机轴端输出。旋转运动可以机械地转换成直线运动。

对机床的这种能流要施加一个消息,一个信号,以对其按所需的方式进行控制,例如对能流加以接通或断开和偏转以及改变能流大小。消息和能量这种联系可以在生产过程

所有控制与调节中找到^[108]。

过去,通过塔轮装置来驱动许多机床,能流是通过塔轮用机械方式来接通或断开。后来发展到单机驱动,在这种装置上,电动机直接安装在机床上。现在,在电动机前面用功率开关控制能流。还出现了通过电磁开关离合器作为力矩开关来改变连在电动机后面的变速箱中的能流。转速变化可以通过适当设计的电动机和放大器或者通过变速箱中的电磁离合器来完成。经常在一台机床上为了各种不同的任务要求安装几个驱动装置,由此出现了几个能流的迭加现象。在机床上这方面的许多实例是人所共知的,因为许多机床具有几个运动的机床部件,它们的位置经常是在不同方向上变化。各种驱动装置的选用和设计主要视工艺要求而定。转速、输出力矩、动态和静态特性、开关次数和发热,这些是驱动装置的主要参数。

在驱动技术领域内,形成了两种不同的类别:一种是机床特别是装有旋转刀具或工件的机床的功率较大的驱动装置,即所谓主驱动装置,它处在加工过程的主要能流内;另一种是功率较弱的伺服驱动装置,例如用于机床位置控制。对伺服驱动装置提出的要求,在很大程度上不同于对主驱动装置的要求,这些将在以后详述(见 2.2、3.3 节)。应该在此指出,这两种驱动装置都需要有一个转速调节范围,对主驱动装置而言,该范围应设计为恒功率,对伺服驱动装置而言,应设计为恒力矩。关于机床主驱动装置的设计,可参阅有关文献 [23、96、158、233]。

主传动装置和伺服驱动装置由信号控制。这些信号来自于信息的联接和处理。因此,以后要特别探讨各种处理信息的控制系统所具有的形式,它对于任务的解决方案有很大影响。为了限制机床部件的运动或在某一定位置上引发一种功能,例如提高切削速度,要使用行程传感器。在纯机械式的控制中,为了限制行程而采用机械式行程传感器。用一个凸轮通过杠杆系统直接控制各个工作溜板的位置,这是一种典型的六角自动车床的结构。只有在控制短行程和有限精度的条件下,才采用机械式行程传感器。图 1.4-1 是凸轮控制的自动车床原理。

电气限位开关广泛地用作行程传感器,图 1.4-2 是各种不同形式的限位开关。机械式动作是由预先调好的凸块完成的,例如凸块安装在铣床的立柱上。凸块压下触杆,从而启闭开关触点,引发所要求的功能。图中所示的各种结构形式适应于凸块的各种碰触条件以及各种环境条件。也有用于各种碰触速度、开关行程、精度和温度的结构形式^[223]。一个或几个凸块排列在凸块镶条上,并可调整位置,如图 1.4-3 所示。通常,是把几个凸块镶条平行安装在一起以扩大存储容量。然后,这些凸块镶条由安装在机床运动部件上的限位开关来碰触。

为了避免机械式的操作,已制成非接触式的限位开关。此外,还希望有无触点的限位开关。

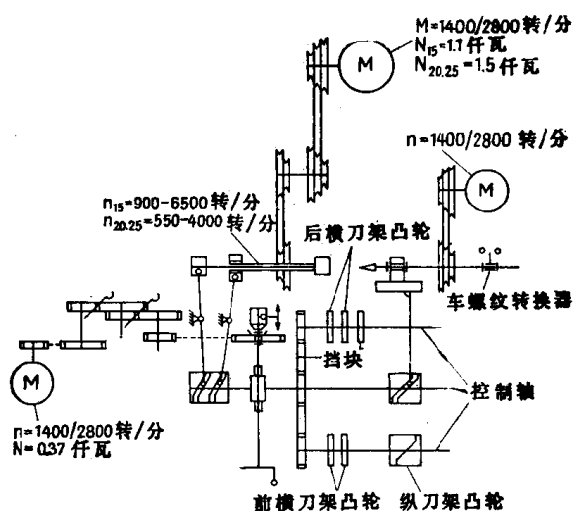


图 1.4-1 凸轮控制的自动车床原理

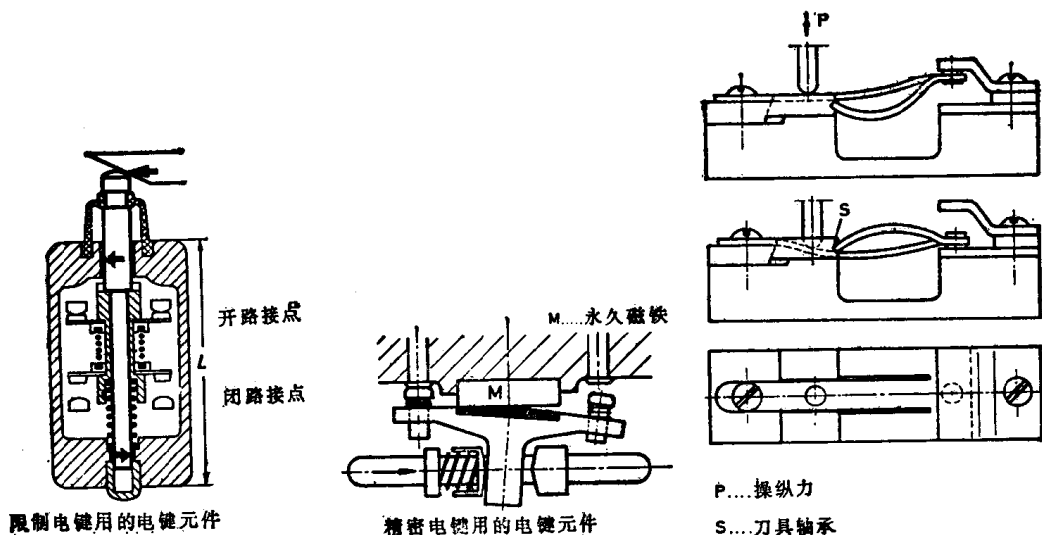


图 1.4-2 各种形式的限位开关

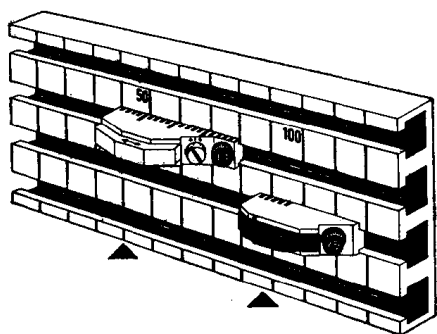


图 1.4-3 凸块镶条

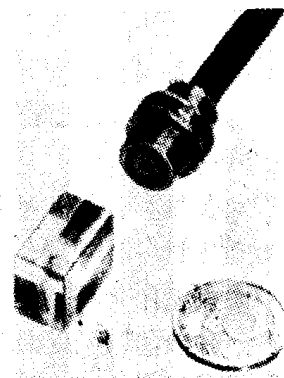


图 1.4-4 装有霍耳振荡器的开关

装有霍耳振荡器的限位开关可无接触地工作, 没有活动部件, 对碰触速度没有限制, 与半导体线路的功率水平可以很好相配合, 并具有其它的优点^[125]。这种将磁能转换为电压的元件用作限位开关, 并以一个永久磁铁作为凸块, 如图 1.4-4 所示。这种开关也如按光电原理工作的限位开关一样, 目前大都限于完成某些特殊任务。为数控机床制成了专用的位置测量仪, 对此将在 2.2、3.3 节中叙述。此外, 在监控设备和测量装置上还使用了应变片和压电传感器。

除位置测量用的传感器外, 在完成控制任务方面还需要其它物理量的传感器, 以便测出诸如转速、力矩、力、电流和温度等参数。测量传感器的输出信号经过控制系统处理, 用以减轻操作者的负担。一种装在电动机内的测量传感器, 即热感受器, 在当线圈温度过高时, 自动关闭电动机。在机床的转速监督、力矩监督或温度监督方面也作了类似的考虑。

1.4.1 功能控制

功能控制属于简单的控制型式, 在这类控制中, 所需要的机床功能都是由人引发的。在这类控制中, 把给定的信号放大, 并在某些情况下, 设有电路互锁。如果加工任务由许多分过程组成, 那么这类控制的特点是, 每个分过程都是手动引发的。这类系统的一例是接通具有两个转动方向的电气驱动装置, 接通过程是通过按钮实现的, 它的信号通过接触器放大。在两个转动方向之间有电气互锁, 以防止对这两个方向同时操作。另一些例子是用操作杠

杆手动调节一台车床的塔轮机构或者机械式或电气式操纵的多级主传动变速箱和进给变速箱。此外,作为例子还应提到用手启动的液压式或机械式工作台夹紧机构(见 8.1 节)。

1.4.2 程序控制

程序控制是一种工作与时间或与行程有关的设备。这种以预先给定的并程序化了的时间作为给定值来引发一定工作过程的设备,广泛地用于化工流程,但在机械制造工艺中很少遇到。在此方面,压铸机与时间有关的运行控制就是一例。在制造工艺中经常采用的是与行程有关的控制。机床的这种程序控制只用于很多不同的操作在一台机床上依次排列的场合,即行程信息与有关的功能在一个操作中间和在一个操作结束后都加以变换。能够存储许多依次排列的操作的控制,用自动调节技术的术语表示,叫做“随动控制”。在这种控制中,给定值,即所要求的目标值,不是固定不变的,而是在间断地或者连续地变化^[148]。这里,假定采用的是关断回路,即只能在达到预定的某一位置时进行关断,而不能校正超程。

机床上的这些控制是与行程有关的随动控制,用自动调节技术的术语表示,又叫做“位置控制”^[148]。

这类控制的进一步分类是看一个操作的行程信息如何存储起来的。这里主要有两种可能性:一种是以模拟形式存储程序,例如用凸轮、凸块位置、样板;另一种是以数字形式存储程序,如在数字控制中,可用穿孔带作为存储器。

与目前技术习惯用语相反,看来比较合理的是,把与行程有关的机床程序控制理解为带有存储器的控制,这些存储器是为了接受一个由许多依次排列的操作组成的程序用的。

因此,程序控制的概念:一方面包括了有行程信息的机械模拟存储器的控制,例如一般常见的凸块控制或仿形控制,但也还有电气存储的模拟器的控制。今天,只有这种控制被普遍称为程序控制。但是另一方面,也把在一个数字存储器中,只用数字形式输入行程信息的控制归到程序控制这个总概念内,这是很有意义的。在这种控制中,为了发出行程量的信号,在机床上不进行与工件有关的调节。

因此,数控是将所有行程信息以数字形式输入到数字存储器内的程序控制,如图 1.4-5 所示。

图 1.4-6 把符合这样定义的各种机床程序控制汇总在一起。在第一行内列出了各种控制方式及其工作任务,而其它两行是对各种存储器的说明。最后一行是制造程序的地点。

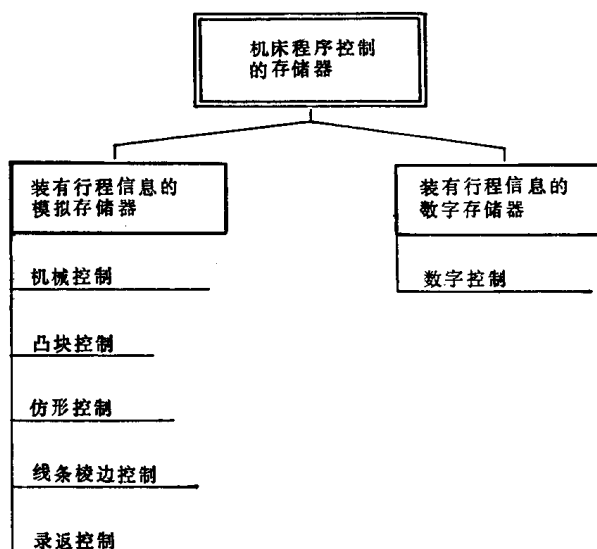


图 1.4-5 机床程序控制的存储器

对程序控制而言,也应从使用凸轮的机械式控制谈起。如图 1.4-7 所示。一个以恒定角速度 ω 旋转的凸轮,通过一个由弹簧拉紧的杠杆来控制六角头溜板的运动。凸轮作为信息存储器使用,并改变六角头溜板的行程 x 。毫无疑问,其缺点是在凸轮和六角头之间的距离有限,而且程序灵活性不高。在这些机床上通过附加的挡块进行准确的位置调定。

带有电气操纵元件的简单控制是凸块控制。这种控制从限位开关那里获得行程信息,