

第七章 制造过程质量自动控制

第一节 制造过程质量自动控制的概念

“产品的质量首先是设计出来的”，这一观点在世界范围内已得到普遍认可。但是，如果产品质量没有稳定的制造过程作保障，产品的设计质量再高也是体现不出来的。因此，为了得到高质量的产品，除了重视产品设计过程的质量以外，还必须重视产品在制造过程中的质量保证能力。

目前，对产品制造过程的质量进行控制，主要有以下三条途径：

(1) 从管理方面着手，如通过文明生产、均衡生产、严格规章制度、完善的质量控制计划、QC 小组活动、现场管理等全面质量管理方式来进行。

(2) 从工序质量控制方面着手，如借助于各种统计质量控制工具，进行工序能力的分析、评价和提高，使过程处于受控状态，达到控制工序质量的目的。

(3) 从设备的自动检测与控制方面着手，如通过对制造过程中的质量数据进行自动采集和反馈控制，达到保证或提高产品质量的目的。

在以上三条途径中，其中前两条途径已在本书的有关章节中予以介绍，本章主要介绍第三条途径的相关内容，即制造过程质量的自动检测与控制。

制造过程的质量自动检测与控制也称在线检测与控制。狭义地讲，就是在生产线上加入某一个环节，以便对制造过程中的某些关键参数或工况进行在线或离线检测，并根据检测的结果自动调节并控制制造过程，从而使过程能稳定地生产出质量合格的产品。例如，在外圆磨床上加入外圆直径自动测量仪，就可以在磨削加工时随时检测工件的外圆尺寸，并将检测到的信息反馈给控制装置，自动控制磨削工艺过程。例如，外圆直径测量仪可以根据工艺的需要，向磨床发出控制信号，使磨削过程自动地从粗磨转换到精磨，再转到无进给磨削，达到规定的尺寸后自动停机。又如，在钢带的热轧生产过程中，可以在钢带的热轧机组上加入一套自动测量控制系统，自动控制钢带的厚度、宽度及表面质量。

制造过程质量自动检测与控制可大大地提高生产效率，降低工人的劳动强度，在现代工业生产中具有非常重要的意义。其意义可以从以下几个方面来体现：

1. 制造过程质量自动控制能使产品符合设计规范

使制造出来的产品符合设计规范是制造过程质量自动控制的主要目的。为了达到这一目的，传统的制造过程质量控制主要采用严格的质量检验（专职三检制、工检结合的三检制等）、统计工序质量控制技术（工序能力分析、控制图等）和生产现场管理（三自一控、成品管理、计划调度、严肃工艺纪律、质量责任制、文明生产、关键工序控制）等方式来完成。现代制造过程质量控制系统除了采用上述控制手段外，还强调通过制造过程的在线检测和反馈控制技术来确保产品质量达到设计规范要求。上述各种手段的综合，使得产品质量能够得到最大限度的保障。

2. 制造过程质量自动控制能减少人为因素的干扰

在传统质量控制方式下,产品质量往往会受到人为因素的影响,使得产品质量保证的可靠性下降。如果采用自动化程度更高的质量控制技术,可以有效地排除人为因素的干扰,提高产品质量保证的可靠性。

3. 制造过程质量自动控制具有更好的经济性

传统的工序质量控制方法主要是建立在数理统计理论基础上的,具有一定的滞后性,再加上管理水平和人员素质的影响,常常会造成较高的废、次品损失。具有自动检测与控制功能的质量控制系统是建立在线检测和反馈控制技术基础上的,实时性很强,其制造质量通常靠工艺系统本身来保证。因此它具有可靠性高、废次品少等特点,提高了产品质量保证的经济性。

4. 制造过程质量自动控制更适于单件小批量生产

随着产品“个性化”的趋势越来越明显,多品种、小批量生产已成为制造企业的主导生产模式。由于生产批量往往达不到统计技术所需的最低样本数,传统的统计工序质量控制方法的应用范围将越来越小。在这种情况下,产品质量的一次成功就变得极为重要。为了实现这一目的,就必须在工艺装备和工艺方法上多想办法,而采用在线检测和反馈控制技术,可经济性地实现这一目的。

5. 制造过程质量自动控制更适合于自动化程度很高的流程型生产

一般情况下,流程型生产过程的自动化程度极高,也需要实时性很高的在线检测技术和实时反馈控制技术。

第二节 制造过程质量自动检测与控制的原理

制造过程质量的自动检测与控制系统实际上就是一个复杂的自适应控制系统,它在计算机系统的控制下工作。其工作原理如图 7-1 所示。

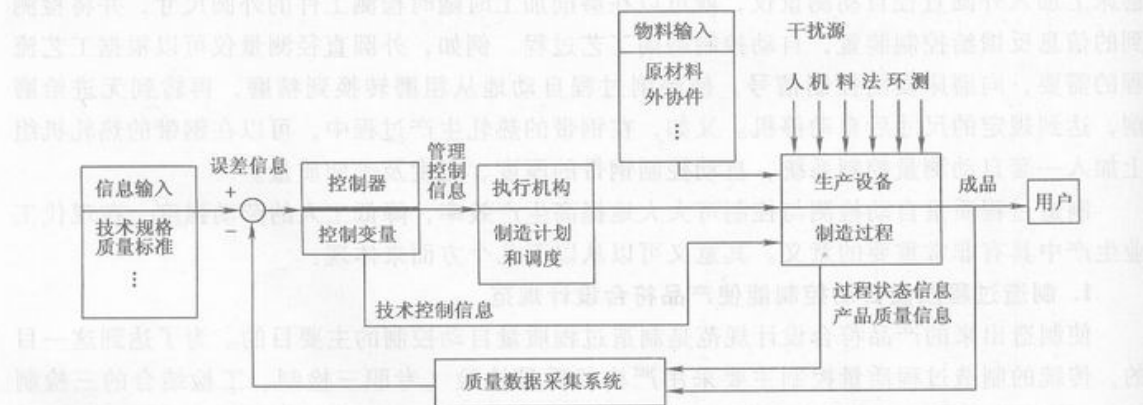


图 7-1 制造过程质量自动检测与控制系统的原理

- (1) 系统的信息输入有：产品和零件的技术规格、产品质量标准和规章制度等。
- (2) 系统的物料输入有：原材料、外协件和配套件等。
- (3) 控制器的作用是生成控制信号，去控制执行机构和生产设备进行加工制造，并使制造过程始终处于受控状态，从而以经济的方式生产出合格的产品。控制器的输出信号有两

类：一类是管理控制信号，用来控制计划的制定，实施生产调度，进行生产现场管理；另一类是技术控制信息，用来对加工过程进行控制。

(4) 执行机构的主要任务是编制制造质量的控制计划，实施生产调度，对生产现场进行管理，最终实现文明生产。管理方面的质量控制一般属于全面质量管理的范畴，它的输出直接送入制造过程。

(5) 生产设备接受来自执行机构的计划、调度等信息和来自物料输入部分的原材料与配套件，并在控制器输出的技术控制信息的控制下进行加工制造，完成产品的制造过程。在产品制造过程中所产生的质量信息主要有两大类：生产过程运行的状态信息和产品方面的成品、半成品质量信息。产品的制造质量受到操作人员素质、机器设备、物料质量、操作规程、生产制造环境、检测仪器及检测方法等因素的影响。制造过程质量控制的目的就是力求排除这些干扰，保证生产出合格的产品。

(6) 质量数据采集系统借助于传感器和其他手段获取来自制造过程的质量信息，并将这些信息处理后送入控制器。

制造过程的质量控制系统有在线和离线两种方式。其中，在线质量控制（On-Line）指的是以实时、在线的方式获取质量信息，并实现对质量的反馈控制，它包括对生产过程运行状态和对产品制造质量的控制；离线（Off-Line）质量控制指的是对产品本身的质量检测采用离线的方式来进行，再根据检测结果去调节生产过程的运行状态的方式。

计算机控制的在线质量控制系统的的工作原理如图 7-2 所示。在线质量控制系统对生产线的自动控制过程如下：如图 7-2 所示，设置在生产线上各个部位的传感器实时接收来自制造过程的工作状态信息和产品质量状况信息，经传感器接口将信息送入信号放大器，对信号进行放大和滤波；经放大和滤波后的信号为模拟信号，需要经模/数转换器将之转换为计算机能识别和处理的数字信号；随后将信号经接口送入控制计算机；控制计算机对输入信号进行分析和处理，并与生产线的正常运行状态或产品质量的标准值进行比较，生成控制信号；控制信号经数/模转换器转换成模拟信号后送入控制器；控制器再去控制驱动器

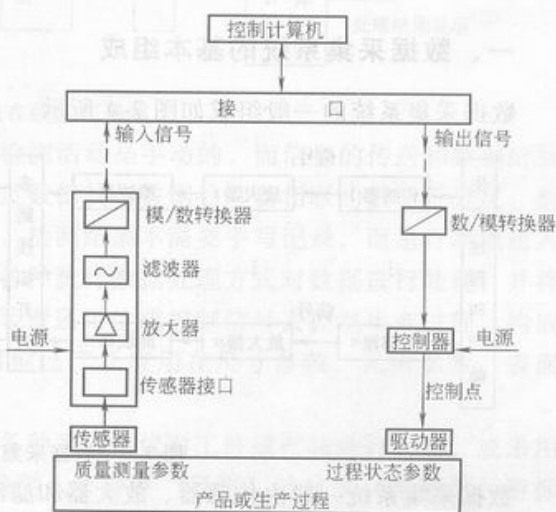


图 7-2 计算机控制下的在线质量控制系统

器改变生产线的运行参数，或者使生产线恢复到正常状态，或者使产品的质量达到标准规定的要求。由此可见，在线质量控制系统是个典型的自动检测及反馈控制系统，它既可控制制造过程的运行状态，也可控制产品的质量，它将是制造过程质量控制的主要发展方向。

离线质量控制方式的工作原理如图 7-3 所示。离线质量控制方式就是将生产线上正在加工的半成品或已完工的成品从生产设备上取下来，在专用的检测工位进行检测，然后根据检测结果调整加工参数，从而实现对产品制造质量的控制。

在线质量控制方式的实时性强、效率高，对制造质量的保证能力强，其缺点是系统复



图 7-3 离线质量控制系统的原理框图

杂，可靠性和经济性都比较差。而离线质量控制方式则相反，其实时性差，效率较低，但控制系统相对简单，可靠性高，成本也往往较在线控制方式低。

从上面的介绍我们可以知道，制造过程质量自动控制主要包括四项内容：数据采集、数据处理、反馈控制和对生产线的状态进行控制与调整。其中数据采集可以采用手工方式，也可以采用全自动方式，可以是离线采集，也可以是在线采集。而数据处理的关键是排除数据中的干扰因素，得出对质量控制有用的信息。反馈控制是根据采集并经过处理的数据与质量标准之间的差值对制造过程实施控制，其实质就是对生产线的运行状态进行在线检测，然后根据检测信息对其实施实时控制，使之一直处于正常运行状态。

第三节 质量数据采集及其自动化

一、数据采集系统的基本组成

数据采集系统的一般组成如图 7-4 所示。

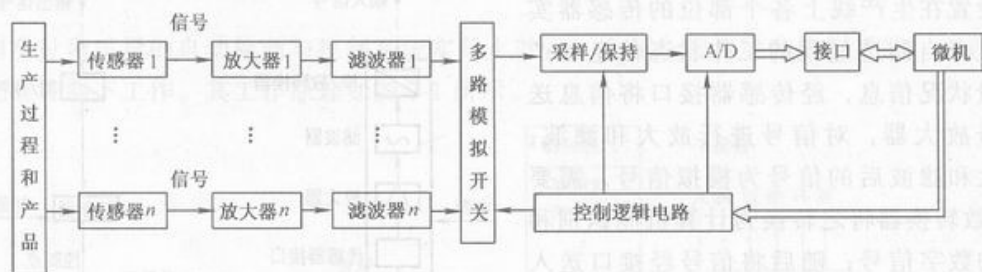


图 7-4 数据采集系统的一般组成

数据采集系统一般由传感器、放大器和滤波器在内的信号调理电路，多路模拟开关，采样/保持电路，A/D 转换器及控制逻辑电路等组成。

(1) 传感器。传感器的作用是从生产过程中获取生产线的运行状态和有关产品质量的信息。

(2) 信号调理电路。传感器输出的模拟信号往往因其幅值小，可能含有不必要的高频分量或其阻抗不能与后续电路匹配等原因，不能直接送给 A/D 转换器转换成数字量，需要对信号进行必要的处理。这些信号处理电路就叫做信号调理电路。信号调理电路的功能主要是放大和滤波。

(3) 多路模拟开关。在控制信号的作用下，将来自多个独立模拟信号源的信号按指定的顺序依次送到采样/保持电路。

(4) 采样/保持电路。其作用是保持 A/D 转换器的精度。

(5) A/D 转换器。其作用是将模拟输入信号转换成数字信号。

(6) 控制逻辑电路。其作用是集成化地控制多路模拟开关（电路）、采样/保持电路和 A/D 转换器。

二、数据采集方式分类

常用的质量数据采集方式主要有三种类型：

(1) 自动检测。自动检测是利用计算机控制的坐标测量机或其他全自动测试仪器，对工件或生产线的运行状态进行检测，可以实现质量数据的自动采集及处理，还可将分析结果自动送到生产设备的控制装置，实现“近似闭环”或全闭环的质量控制。

自动检测方式可以是在线的，也可以是离线的。在线的自动检测方式可以构成全闭环质量控制；离线检测方式则可构成“近似闭环”质量控制。图 7-5 所示是计算机自动在线数据采集方式。

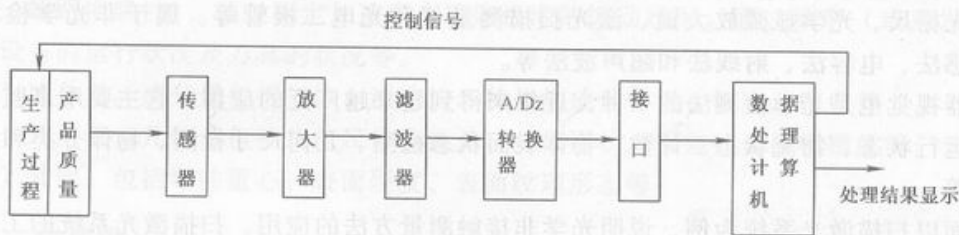


图 7-5 计算机在线数据采集

(2) 半自动检测。所谓半自动检测，是指检测活动是手动的，而信息的传送和数据的处理却是自动的。如检验人员在检测零件时，通过数据线与数据处理器相联的数显千分尺、数显卡尺、数显高度尺、数显千分表等进行检测，检测结果不需要手写记录，而是自动地送入数据处理装置存储起来。检验完毕后，可以按各种统计数据处理方式对数据进行处理，并将处理结果显示或打印出来。必要时，数据处理装置还可生成控制信号去控制生产过程，构成所谓的“近似闭环”控制方式。半自动检测目前已广泛应用在尺寸参数、几何参数、表面粗糙度、重量、力、硬度等的检测方面。

(3) 手工检测。所谓手工检测，就是利用各种手动量仪对工件或产品进行检测，或采用“目测”的方式对生产线运行状态进行检测。检测人员需要“目测”计量仪（千分尺、游标卡尺、千分表等）的读数，再把结果记入专用的表格或利用键盘把数据送入数据处理计算机。这种方式简单、经济，但花费时间长，检测精度不高（由于读数误差），数据录入时也会出错。

定尺寸检测量具，如环规、卡规和塞规等只能将零件的尺寸分成两类，不能检测出其具体值，故不能用作检测数据采集。

生产线运行参数的采集也属于质量数据采集的范畴，其目的是监控生产系统的运行状况，以发现潜在的问题并消除之，如刀具磨损的监控、刀具破损的监控、设备运行状态的监控等。过程参数采集的对象可以是电流、电压、电功率、力参数、位移参数、流量、噪声、振动、运动状态等。对于物理参数的采集可采用各种传感器，对运动状态的采集可采用工业

摄像机。

三、检测方法

产品质量数据和生产过程参数的采集方法一般可分为两类：接触式测量法和非接触式测量法。对于计算机辅助检测而言，无论采用哪种方法，大多数情况下都是通过检测系统，将加工过程参数或零件质量参数转换成电压、电流、电阻信号或一串脉冲信号，经信号调理电路放大、滤波并转换成数字信号后，再送到计算机进行处理。

(1) 接触式测量法。在接触式测量法中，常用的仪器有：坐标测量机、目视读数或自动记录的千分尺、游标卡尺、粗糙度测量仪和各种量规等。

(2) 非接触式测量法。在实际质量控制中，非接触式测量法也得到广泛应用。非接触式测量法常用在下列场合：工件无法准确定位或无需准确定位；检测速度要求很快时；不能向工件施加力时；部位独特，测头无法达到时；对接触式测头磨损较大时。

非接触式测量法通常分成两大类：光学方法和非光学方法。属于光学方法的非接触式测量有：光栅尺、光学显微放大镜、激光扫描测量仪和光电二极管等。属于非光学检测法的有：电感法、电容法、射线法和超声波法等。

机器视觉也是光学检测法的一种，近年来得到越来越广泛的应用。它主要用来监测生产设备的运行状态、物流状态、计数、物体表面状态检测、几何尺寸检测、物体分类和精密位移检测等。

下面以扫描激光系统为例，说明光学非接触测量方法的应用。扫描激光系统的工作原理如图 7-6 所示。激光器发射出一个连续的薄层光束，转动镜片使光束偏转，通过透镜扫过被测工件。光传感器（光探测器）置于透镜系统的焦点上，接受来自透镜系统的光束。当被测工件移动经过光束时，使光束产生中断。测定光束的中断间隔时间，就可以测定工件的尺寸（还应计入工件的移动速度）。最后将来自光探测器的信号送入信号处理器，经过计算确定尺寸是否合格。如果不合格，则可以给剔除不合格品的机构发出一个剔除信号，以排除生产线上的不合格品。

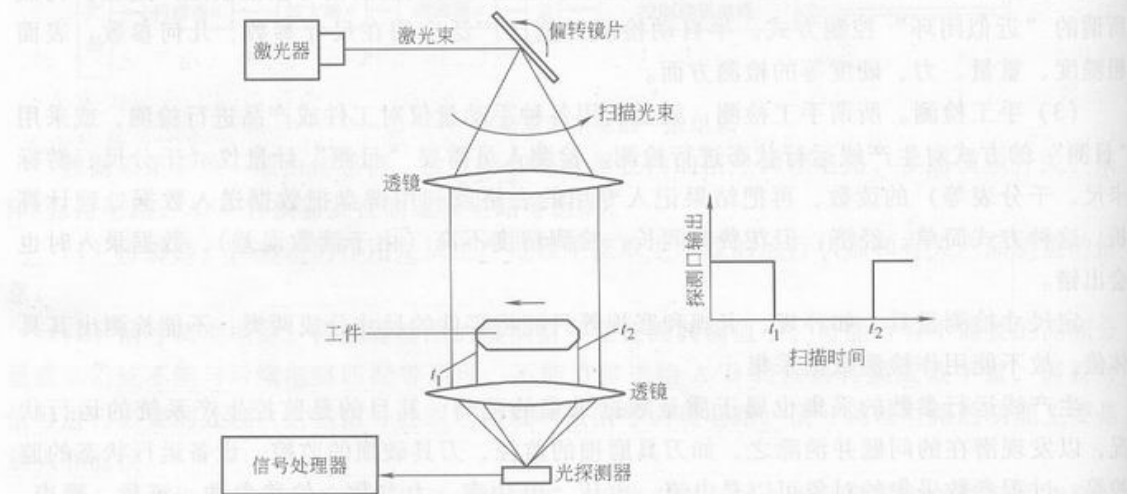


图 7-6 用扫描激光束检测工件尺寸

四、检测参数

制造过程中需要检测的量包括以下六个方面:

(1) 热工量。热工量包括温度、流量、热量、真空度和比热容等。检测温度的目的是为了确定刀具是否磨损(磨钝的刀具会产生大量的切削热,严重影响加工质量)、设备运转是否正常(主轴轴承润滑不足会产生大量的热,引起热变形,加剧轴承磨损,严重时会发生“抱轴”现象)、冷却液是否足够、环境调温设备是否运转正常等。流量测量的目的是确定是否有足够的润滑油和冷却液。

(2) 电工量。电工量包括电压、电流、功率、电荷、频率、电阻和磁场强度等,可以通过电工量的测量确保电气设备的运行状态。机械设备的工作状态和加工过程的状况也可通过对电工量的检测来判断。

(3) 机械量。机械量包括位移、速度、加速度、应力、力矩、重量、振动、噪声、平衡和计数等。通过测量位移确定零件尺寸精度,通过测量速度来确定零件的加工精度(表面粗糙度、螺距准确性),通过测定加速度来确定机床的振动状况,通过噪声(或声发射)测量确定设备的运行状况及刀具的状况等。

(4) 成分量。成分量包括气体、液体的各种化学成分含量、浓度、密度等。

(5) 几何量。几何量包括几何尺寸及误差、几何形状及误差、表面粗糙度等。

(6) 其他。包括零件重心、表面硬度、表面纹理形态等。

五、传感器

传感器是最常用的数据采集硬件。检测元件的种类很多,原理各异,无法一一介绍,表7-1列出了几种机械量检测中常用的传感器类型,供参考。

对传感器常有如下性能要求:①灵敏度。灵敏度为传感器在稳定状态下输出与输入的比值。一般情况下,希望灵敏度高一些,但有时过高的灵敏度反而会引起超前动作或不必要的频繁动作。②线性度。传感器输出量和输入量的关系曲线与理想直线的偏离程度称为线性度。一般情况下,希望传感器有良好的线性度,必要时(非线性情况比较严重时)可采取“线性化”措施,使传感器在测量范围内有较好的线性度。③滞环。当输入增加或减小时,传感器的上升曲线和下降曲线不重合,即特性不一致而形成滞环。滞环包围的面积代表传感器中的能量损失。一般希望上升曲线与下降曲线的不重合度越小越好。④动特性。要求传感器对输入的响应快、失真小、稳定度大、滞后小、重复性好、死区小等。

表 7-1 机械量检测中常用的传感器

工作原理	常用传感器的类型	使用举例								
		几何尺寸（位 移、角度）	速度 加速度	扭 矩	力	重 量	转 速	振 动	计 数	探 伤
电阻式	电位器式、应变式、压阻式、湿敏式等	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
电容式	可调极距式、变换介质式等	✓			✓			✓		
电磁式	感应同步器式、涡流式等	✓	✓				✓	✓	✓	✓
光电式	光电管式、光电倍增管式、光敏电阻式等	✓	✓	✓			✓	✓	✓	

(续)

工作原理	常用传感器的类型	使用举例								
		几何尺寸(位 移、角度)	速度 加速度	扭 矩	力	重 量	转 速	振 动	计 数	探 伤
压电式	压电石英式、压电陶瓷式等		✓		✓	✓		✓		
半导体式	PN 结式、磁敏式、力敏式、霍尔变换式等	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
电感式	自感式、差动变压器式	✓	✓		✓			✓		
射线式	X、 α 、 β 、 γ 等	✓								✓

六、坐标测量机

坐标测量机 (Coordinate Measuring Machine, CMM) 是一种高柔性、高精度的检测设备。CMM 适用于对各类零件的尺寸、形状进行快速、精密测量。随着计算机控制的 CMM 的出现, 大大提高了 CMM 的自动化程度。

CMM 除能对各类零件进行自动测量外, 还能对测量数据进行自动处理, 输出用户需要的结果。根据是否使用计算机控制, CMM 可以分成两大类: 计算机控制的 CMM 和一般的 CMM。计算机控制的 CMM 具有全自动检测、自动数据处理和打印输出结果的功能; 一般的 CMM 仅具有手动控制功能或手动控制加示数功能。随着计算机技术在制造企业的大量应用, 目前基本上所有新生产的 CMM 都配有计算机控制系统。

CMM 的主要优点是操作简便, 可以对不同形状的零件进行不同项目的测量, 可以有效消除人为因素造成的测量误差, 特别适合于对精密和复杂形状零件的测试。它的主要缺点是价格昂贵, 对使用环境要求很高。因此, 目前 CMM 在制造企业仍属于稀有设备, 但随着对制造质量的要求和对自动化的要求越来越高, CMM 将会在制造企业中得到越来越广泛的应用。

CMM 在制造过程的应用方式主要有以下三种:

1. 在独立的检测工位使用

此时, CMM 采用离线工作的方式, 即从加工工位取下半成品或成品, 运到 CMM 检测工作站进行检测, 再将检测后的结果送去调整和控制生产线。在这种工作方式下, CMM 也可以用来判断工件是否合格。

2. 用于反求工程中

所谓反求工程 (Reverse Engineering), 是指对一台设备或零件进行测绘, 从而进行仿制的过程。反求工程在技术引进时特别有用, 可以紧跟国际先进技术, 但又不用付出很多的研制开发费, 是目前发展中国家紧跟世界先进水平的一种主要方式。当然, 如果在反求过程中同时进行分析、改进和创新, 则可在紧跟的基础上以最经济的方式和最短的时间超越竞争对手。在反求工程应用方式中, CMM 应与 CAD/CAM 系统集成。此时, 应用 CMM 对实物进行测量, 并将测量所得的数据送到 CAD 系统进行处理, 如重建零件形状、放大、缩小、修改等, 并生成 CAD 模型。然后将 CAD 模型送入 CAM 系统进行工艺设计, 并生成数控代码。最后送入制造系统进行加工制造。这一过程如图 7-7 所示。

3. 与制造系统集成

在现代制造系统中, 特别是在柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System) 中,

为了自动地加工出高质量的产品,倾向于将 CMM 集成进整个系统中。在这种应用方式下, CMM 实现的—般是半在线或在线质量控制功能。因为此时工件并不需要从生产线上取下,而只要从加工工位送到检测工位进行检测,并根据检测结果去控制加工过程。

图 7-8 所示是一典型的 CMM 结构示意图。可以看出, CMM 一般是由底座、工作台、立柱、横梁、测头、坐标位移测量装置和计算机控制装置等组成。

(1) 底座。CMM 的底座一般是用优质花岗岩制成的。由于花岗岩内应力小,对温度的变化不敏感,因此具有吸振、稳定、耐久及便于保养等特点,是制造高精度机床底座的理想材料。

(2) 工作台。工作台一般也是由花岗岩制成。为使移动灵活,减少“爬行”现象,底座和工作台之间的导轨一般采用滚柱导轨或特殊的减摩滑动导轨。

(3) 立柱。立柱一般是用金属材料制成,横梁可以在其上做上下调整运动。

(4) 测头。测头可以在横梁上做前后移动。为了使移动灵活,同时也为了减小导轨表面缺陷对移动精度的影响,在测头的头架与横梁之间一般采用低摩擦系数的空气轴承连接。测头在计算机的控制下沿被测表面移动,移动过程中测头将测量数据送给计算机,计算机根据记录的测量结果计算被测零件形状和尺寸。

为减少测头的磨损,在移动过程中,测头并不与被测表面相接触,而只是在检测点才发生接触(只是对接触式测头而言)。测头是 CMM 中的关键部件之一。CMM 之所以能实现高精度测量,在很大程度上归功于高精度测头。测头实质上也是一种传感器,有接触式和非接触式两大类。接触式测头有触发式和模拟式两种;非接触式包括激光三角测量、激光成像和工业摄像机等,均属于光学测量传感器。图 7-9 所示是最常见的接触式测头结构。测头的探针处于由三个圆柱棒 B 和六个球 A 形成的唯一确定的位置上,用一个高灵敏度的、有一定预紧力的弹簧将探针维持在这一位置上。由六个球组成的触点按图中的方式依次连接,并接—恒定电流源。当探针接触被测表面时,就会产生微小的位移,此时六个触点中将有一个或一个以上的触点断开,从而使回路中的电阻迅速增大。当回路中的电阻增大到一定数值时,就会使回路两端产生一定的电压差,向开关电路发出信号,利用此信号就可以读取当前的测量位置数据,这种触头具有三维特性,即探针沿 x 、 y 、 z 三个方向的偏移均能引起触发。因此,可以从不同的方向接触被测表面,而不会影响测量结果。探针的端部是个红宝石球,采用红宝石的主要目的是提高探头的耐磨性。

(5) 坐标位移测量装置。坐标测量机的坐标位移测量装置一般采用高灵敏度的光栅尺。

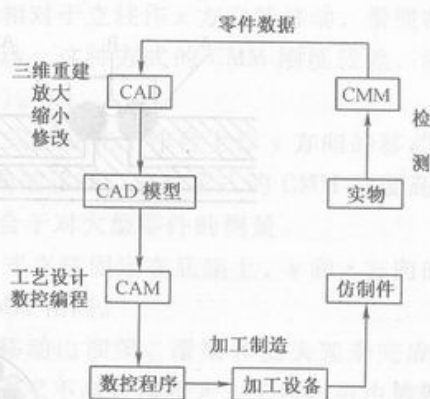


图 7-7 CMM 用于反求工程

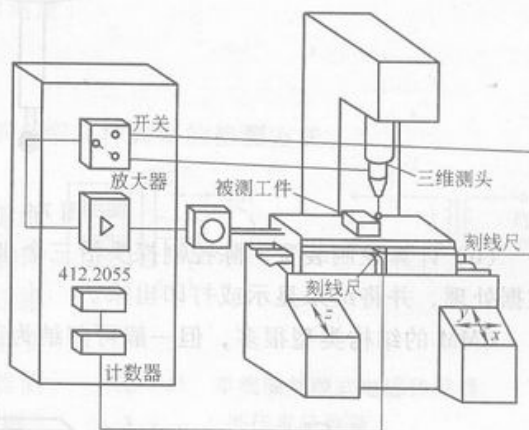


图 7-8 CMM 的结构示意图

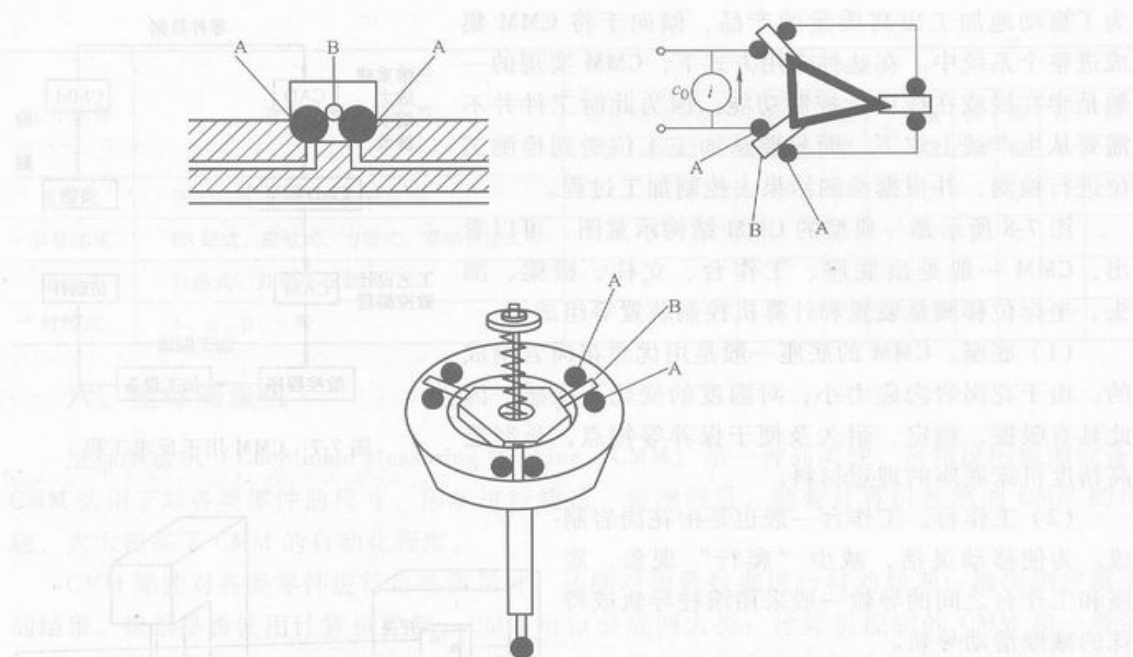


图 7-9 测头结构

(6) 计算控制装置。除控制探头沿三个坐标方向自动检测外, 还可记录检测结果, 进行数据处理, 并将结果显示或打印出来。

CMM 的结构类型很多, 但一般可归纳为五种, 如图 7-10 所示。

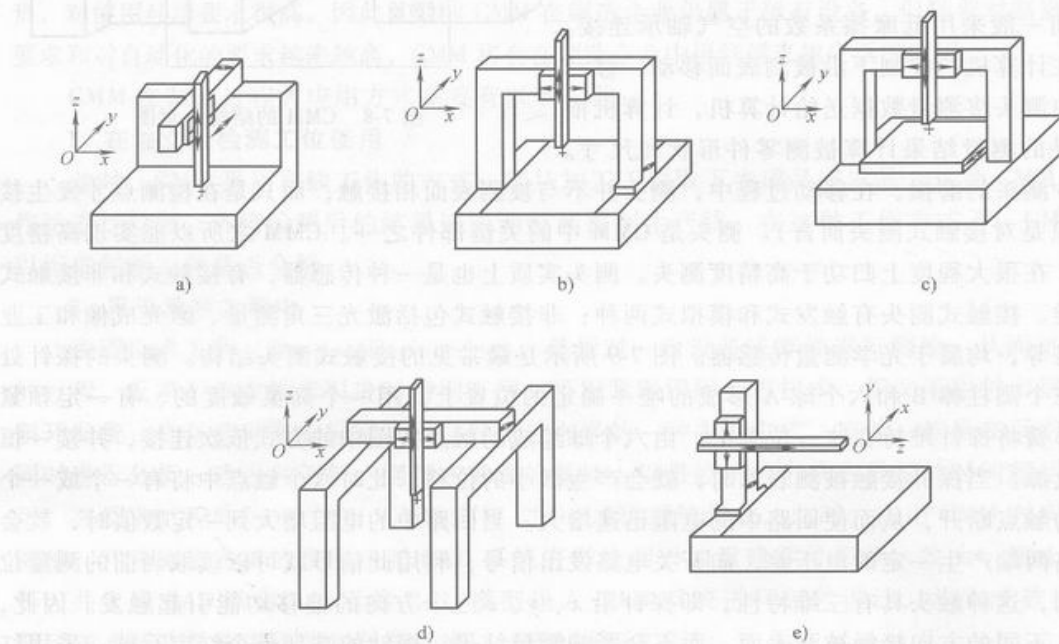


图 7-10 CMM 的结构类型

图 7-10a 所示为悬臂式 CMM，其结构特点是：横梁相对于立柱作 x 方向的移动，滑架在横梁上作 y 方向的移动，测头架在滑架上作 z 方向的移动。这种方式的 CMM 刚度较差，测量精度较低，但适用于对较大型零件的测量（局部测量）。

图 7-10b 所示为移动桥式 CMM，其结构特点是：桥式立柱在工作台上作 y 方向的移动，横梁在立柱上作 x 方向的移动，测头架在横梁上作 z 方向的移动。这种形式的 CMM 刚度较高，因此测量精度也相对较高，但由于封闭空间有限，不适合于对大型零件的测量。

图 7-10c 所示为固定桥式 CMM，其结构特点是：桥式立柱固定在底座上， x 和 z 方向的移动由横梁与测头架完成。其他结构特点与移动桥式 CMM 相同。

图 7-10d 所示为龙门式 CMM， x 、 y 、 z 三个方向的移动由横梁、滑架和测头架来完成。两个龙门式立柱直接固定在工作台上，由于对工作台的要求不高且体积大，工作台可由铸铁制成。龙门式 CMM 主要用来测量特大型零件。

图 7-10e 所示为水平悬臂式 CMM， x 、 y 、 z 三个方向的移动分别由立柱、横梁和测头架完成。这种形式的 CMM 也适用于对大型零件的测量。

七、典型检测方法

自动检测包含的内容很多，这里我们只简单介绍几种典型的检测方法。

1. 直径检测

图 7-11 所示为用于外圆磨床的单线圈气隙式电感传感器原理图。变压器的一次侧为 LC 串联谐振电路，当工件加工尺寸发生微小变化时，通过推杆使铁心移动发生变化 δ ，使输出电压 E_2 发生变化。在加工中，当工件送到测量位置时，传感器测量其外径，如工件磨削余量过大，则不送“粗磨”信号，以避免砂轮与工件相撞。如磨削余量在规定值内，则发粗磨信号，启动机床磨削。加工到达预定尺寸时，传感器发“精磨”信号，使机床进给量变小，进行精磨。到达光磨尺寸时，则发出“光磨”信号，当工件的尺寸到达最终要求时，发出结束信号，控制机床磨头退回，并自动将工件卸下。这个系统不仅包括检测部分，同时也包括数据（或信号）处理及反馈控制部分。

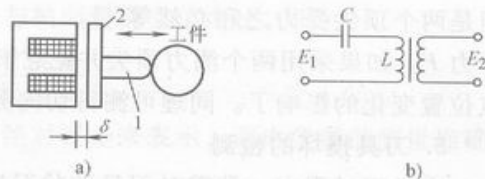


图 7-11 单线圈气隙式电感传感器

进行直径测量

a) 结构 b) 电路

1—推杆 2—动铁心

2. 长度尺寸测量

长度尺寸测量是位移测量的一种。位移测量可以采用各种位移传感器，如变阻器式、差动变压器、电容式、同步机、计量光栅、激光比长仪等。这些传感器均可进行连续的位移测量和长度尺寸的测量。现代数控机床上一般配备专用的测量头，可以进行直径和长度的检测。在加工过程中，首先完成半精加工，然后根据测量所得到的尺寸与最终尺寸的差值，修正刀具的位置进行精加工，一般可以得到比较高的加工精度。

3. 形位公差测量

形位公差的测量一般采用“离线”的方式，在柔性制造系统中则在专用的检测工位上进行。形位公差一般不能在加工过程中进行控制。但有些形位公差项目（如回转表面的圆度、圆柱度、位置度等）可以进行加工中的连续检测及补偿。这种测量多属于非接触式动

态测量。对于圆度测量，一般不仅需要知道误差的大小，还应该知道误差的方位。有些机床上还装有调整机构用来进行误差补偿。对于圆柱度测量，则还要知道被测部位的轴向位置，一般情况下，圆柱度在轴向方向的误差比较容易测量和补偿。

4. 切削力检测

切削力是加工过程中最基本的物理现象之一。研究切削力对揭示切削过程的物理实质，改善加工质量，提高生产率都有着极为重要的作用。根据切削力的检测结果，还可进行恒切削力自适应控制。图 7-12 为利用测力顶尖进行磨削力测量的例子。应变片贴在顶尖削扁部分，导线可通过中心孔引出，密封套可防止冷却液侵入。进行外圆纵磨时，磨削分力 F_y 的作用点一直在变化，因此每个顶尖受力是变化的，但是两个顶尖受力之和必然等于力 F 。如果采用两个测力顶尖并把它们的应变片串接起来组成电桥，就不会受磨削力作用点位置变化的影响了。同理可测得切向分力 F_z 。

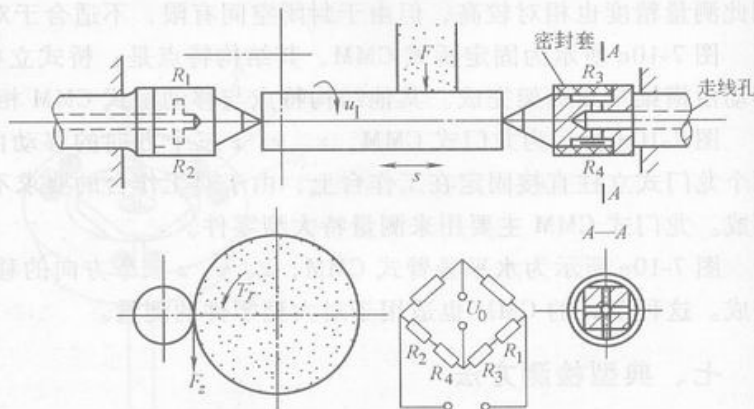


图 7-12 外圆磨削时的测力方法

5. 刀具损坏的检测

在加工过程中，常需对刀具的状况进行检测。刀具检测有两项内容：一是检测刀具的过度磨损；一是检测刀具的破损。刀具的过度磨损可以通过对切削功率、切削力、切削热、工件的形状误差和噪声的检测来确定。对刀具损坏的检测常采用测量刀尖位置的方式来进行。对车刀破损的检测可利用 NC 机床上的测头来完成。下面介绍几种钻头损坏的检测装置。

(1) 探针式检测装置。通过检测已加工孔深的办法间接检查刀具的折断。

(2) 电磁感应式检测装置。如图 7-13 所示，电磁感应头 2 与隔磁板 3 粘接后，固定在钻模板 4 上。当机床处于原始位置时，钻头 1 如图所示处于电磁感应头 2 内。若钻头已折断，电磁感应头的电感量发生明显变化，发出报警信号，并停机换刀。

(3) 光电式检测装置。如图 7-14 所示，当钻头退回原位压下行程开关 S 后，接通光源。若钻头完好，则小孔遮住，光线射不进去。若钻头断掉，光线经过小孔照射到光敏二极管 VD 上，使之导通，继电器动作，切断机床电路并报警。

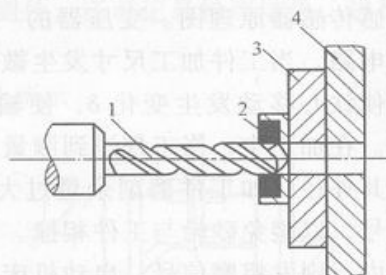


图 7-13 电磁感应式检测装置

1—钻头 2—电磁感应头
3—隔磁板 4—钻模板

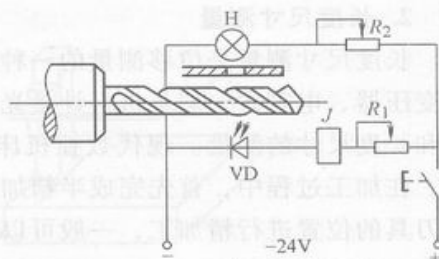


图 7-14 光电式检测装置

八、测量误差处理

由于受到各种因素的干扰,在测量过程中总是会出现各种各样的误差,从而影响质量数据的可靠性,因此,在数据采集过程中,要采取措施减少乃至完全消除(理想状态)各种测量误差,以提高质量检验和质量控制的精度和可靠性。本节简要介绍一下测量误差的基本概念及减少测量误差的措施。

1. 测量误差的概念

所谓测量误差,就是测量所得值与被测量真实值之差。即:

$$\text{测量误差} = \text{观测值} - \text{被测量真实值}$$

如此定义的测量误差称为绝对误差。但在实际中,仅仅用绝对误差并不能完全说明测量结果的准确度。因为测量结果的准确度除与绝对误差有关外,还与被测量本身的大小有关。例如,如果我们测量两个大小分别为 $\phi 100\text{mm}$ 和 $\phi 10\text{mm}$ 的直径尺寸,所得结果分别为 $\phi 100.2\text{mm}$ 和 $\phi 10.1\text{mm}$,那么,单从绝对测量误差看, $\phi 100\text{mm}$ 的误差(0.2mm)显然大于 $\phi 10\text{mm}$ 的误差(0.1mm)。但是, $\phi 100\text{mm}$ 的测量准确度却远远高于 $\phi 10\text{mm}$ 的测量准确度。因为从每一毫米分摊的测量误差来看,前者的误差是 0.002mm ,而后者的误差是 0.01mm ,两者相差了 20 倍,因此,为了正确评价测量精度,还应引入相对误差的概念。

我们把相对误差定义为:测量结果的绝对误差与被测量真实值之比。即:

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{被测量真实值}}$$

在数据处理过程中,几何量的测量准确度常用绝对误差来表示,而电学量的测量准确度常用相对误差表示。

2. 测量误差分类

根据误差的特征和出现的规律,一般可将测量误差分为以下三类:

(1) 系统误差。在顺次测量中,其测量误差的大小和方向按一定的规律变化或保持不变,这样的误差称为系统误差。若误差的大小和方向都保持不变,则系统误差称为恒值系统误差;若误差随测量次序或时间呈线性变化,则系统误差称为线性系统误差。另外,还有周期性系统误差和复杂规律系统误差。系统误差可以采用变量替换法或抵消法予以消除。

(2) 随机误差。在同一条件下对同一被测量进行多次反复测量时,各测量数据的误差值或大或小,或正或负,其取值大小从表面看似没有确定的规律性,这样的误差称为随机误差。随机误差服从统计规律,可以用统计方法作出估计。处理随机误差的关键是确定其分布参数,主要指标是平均值和标准差,前者反映了随机变量平均变化量的大小,后者反映了随机变量的分散范围。

对于随机误差,可采用平均值法(即用平均值代表质量特性)或用数字滤波法(用低通滤波器)去除随机误差的高频影响。

(3) 粗大误差。超出正常范围的大误差称为粗大误差。一般情况下,粗大误差是由一些不正常因素造成的,如计数或记录错误、操作不当、突然的冲击振动、电路系统的瞬时故障等。粗大误差的剔除较容易,常采用统计方法予以剔除。

3. 影响测量精度的因素

测量过程中的误差通常是由下列因素造成的:

(1) 测量过程的原理误差。阿贝误差就是典型的例子,它是由于测量结果必须通过某种函数换算关系计算时而出現的。

(2) 理论运算误差。它是由测量原理中存在小数有效位数的取舍造成的。

(3) 间接测量误差。它是指在间接测量中,各独立分量的误差反映在最后被测量上引起的误差。

(4) 测量仪器误差。它是测量仪器本身精度不够而产生的误差。

(5) 定位误差。它是由于定位元件不精确,在测量过程中发生位移、定位基准不重合、定位基准不恰当而引起的误差。

(6) 变形误差。零件的自重变形(如细长零件水平两点支承放置)、测量装置结构受力变形(悬臂式坐标测量机)和零件接触变形均可造成变形误差。

(7) 人为误差。它是由于检测人员操作不当、不负责任、技术水平不高造成的。

(8) 校准误差。测量仪器校准时所用标准器件或标准仪器的误差造成的校验不准。

(9) 环境条件误差。它是指环境条件的波动造成的误差。

如果上述误差均为已知,那么可以采用平方和再开根的方式确定总的测量误差。

4. 测量器具的正确选择

在进行检测时,正确地选择检测仪器和测量方法,不仅可以提高测量结果的准确性,而且对降低检测成本、提高检测效率都很有好处。在选择测量仪器时,可以考虑以下一些因素:

(1) 首先应考虑被测件的结构特殊性。如果零件的尺寸大小变化范围较大,但测量精度要求很高时,应选择精度高且示值范围大的检测仪器;如果零件的材质较软、刚性又差时,应选择非接触式量仪;如果零件较大较重时,应选择上置式仪器,放在零件上去测量,或选择悬臂式测量机。

(2) 要考虑被测件的尺寸大小和精度要求。要根据被测件的具体情况,选用度量指标(包括测量范围、示值范围、示值误差等)适当的检测仪器,选择不确定度过高或过低的计量仪器都是不合理的。有时,应根据允许的测量不确定度和被测零件公差之间的关系,经计算确定。

(3) 不可盲目追求测量的高精度。在测量误差允许的前提下,要尽量选择较为经济的检测仪器,以降低检测成本,盲目追求所谓的高精度检测,往往在经济性和生产率等方面会受到损失。

(4) 应遵守基准一致的原则。应熟悉被测件的加工方法,了解加工定位基准,以便在选择测量方法时尽量实现测量基准与设计基准或加工基准相一致,可以有效保证测量结果的准确性。

(5) 应充分考虑生产批量。对于单件小批量生产,应选择通用测量仪器;对于成批或大量生产,应采用检测效率较高的专用量规或自动化测量仪器。

(6) 要结合企业的实际。尽可能首先选择企业已有的检测设备,本企业现有检测设备实在达不到要求时,才考虑选择其他设备(租赁或购买)。

5. 减少测量误差的方法

在前面讲述影响测量精度的因素时,我们列举了九种情况。归纳起来,对测量误差起决定作用的是如下六个因素,即测量仪器的固有误差,测量方法的原理误差,由于校准所引起

的校准误差,环境条件变化而引起的误差,由于被测对象相关影响因素引起的误差,由于人的素质不高引起的人为误差。因此,要减少测量误差,就应从这六个方面着手去解决,其中,人员的素质是第一位的,因为其他因素都要受到这一因素的影响。即使是高精度的测量设备,如果交给一个漫不经心的人员去使用,同样会造成各种测量误差。

要减少测量误差,可以从以下几个方面着手:

(1) 编制好检验规程,并严格执行。

(2) 选择检测仪器时,要充分考虑安全裕度。一般情况下,由于各种测量误差引起的测量不确定度应在公差范围的 $1/10 \sim 1/14$ 之间。

(3) 考虑测量基准时,要特别注意基准一致的原则。应尽量做到设计基准、工艺基准和测量基准三者的统一,否则就会出现较大的系统误差。

(4) 在选择测量方法时,要实现最短测量链原则。因为测量链越短,出现误差的环节就越少。

(5) 在测量过程中,要遵守阿贝原则,并提倡多次重复测量,取平均值为测量结果。例如,游标卡尺的结构在原理上没有遵守阿贝原则,因此在测量中就会出现阿贝误差,在使用时应注意。

所谓阿贝原则,是指若要使测量结果准确无误,就必须将仪器的读取刻度尺处在被测尺寸线的延长线上。如果不遵守该原则,所产生的误差就称为阿贝误差,图 7-15 所示是符合阿贝原则的测量实例。图 7-16 所示的用游标卡尺进行的测量,就不符合阿贝原则,就会出现 Δl 的阿贝误差。

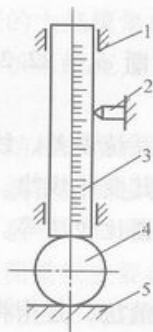


图 7-15 符合阿贝原则的测量

1—导轨 2—指示器 3—刻线尺 4—被测工件 5—工作台

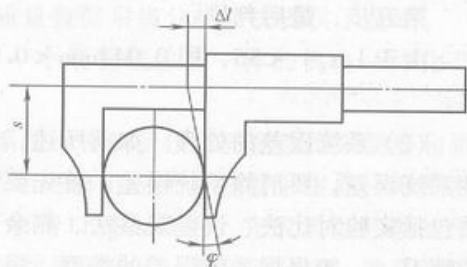


图 7-16 不符合阿贝原则的测量

(6) 在测量中要重视和遵守最小变形原则。从零件的安装、检测方法和仪器的选择方面去考虑。

(7) 要注意控制环境条件,必须实行等温测量原则。

6. 测量数据的处理

如前所述,在测量过程中出现各种测量误差是不可避免的。因此,在得到测量结果后,应对数据进行处理,以去除各种误差带来的影响。

测量数据的处理步骤是:首先判断数据中是否存在粗大误差,如果存在就把它剔除;然后判别数据是否存在系统误差,如果存在就把它消除;最后对既无法剔除又无法消除的随机误差采用数理统计的方法予以处理。

(1) 粗大误差的处理。粗大误差的处理包括判别和剔除两项内容。粗大误差的判别一般用统计的方法,其判别和剔除均是比较简单的。判别的方法一般都采用 3σ 法(也称莱因达准则)。 3σ 判别准则的基本原理认为,正态分布的随机误差有 99.73% 落入 $\pm 3\sigma$ 范围内,超出这个界限的误差只占 0.27%,是个小概率事件。根据统计学原理,小概率事件实际上是不可能发生的。因此,可以把绝对值超过 3σ 的误差均判断为粗大误差,应从数据中予以剔除。

例如,使用千分尺检验 $\phi 22_{+0.21}^{+0.06}$ mm 的轴径,共测量 5 次,结果如下:

$\phi_1 = 22.14$ mm, $\phi_2 = 22.15$ mm, $\phi_3 = 22.20$ mm, $\phi_4 = 22.16$ mm, $\phi_5 = 22.13$ mm

在这组数据中, ϕ_3 最有可能成为粗大误差,因此必须进行计算加以判别。

第一步,先求出测量结果的算术平均值:

$$\bar{\phi} = \frac{22.14 + 22.15 + 22.20 + 22.16 + 22.13}{5} \text{ mm} = 22.156 \text{ mm}$$

第二步,计算各项数值的残余误差 μ_i :

$\mu_1 = -0.016$ mm, $\mu_2 = -0.006$ mm, $\mu_3 = 0.044$ mm, $\mu_4 = -0.004$ mm, $\mu_5 = -0.026$ mm

第三步,计算标准偏差 σ 的估计值 S :

$$S = \sqrt{\frac{0.016^2 + 0.006^2 + 0.044^2 + 0.004^2 + 0.026^2}{4}} \text{ mm} = 0.027 \text{ mm}$$

第四步,计算判别界限 $3S$:

$$3S = 3 \times 0.027 \text{ mm} = 0.081 \text{ mm}$$

第五步,最后判别:

由于 $|\mu_3| < 3S$, 即 $0.044 \text{ mm} < 0.081 \text{ mm}$, 由此可以判断 $\phi_3 = 22.20 \text{ mm}$ 不属于粗大误差。

(2) 系统误差的处理。如前所述,系统误差可分为恒值系统误差、线性系统误差和周期性系统误差。要消除系统误差,首先要识别误差是否存在及其变化规律。识别系统误差的方法包括实验对比法、误差观察法、剩余误差校核法、计算数据比较法等。对于存在系统误差的情况,一般根据系统误差的类型,采用不同的误差消除法。

对于恒值系统误差,一般采用抵消法予以消除。所谓抵消法,是指将测量数据中的每一个值都减去误差值。例如,使用四块量块(40mm、1.6mm、1.05mm、1.005mm)组成的 43.655mm 的量块组作为测量时的工作标准,查阅量块鉴定书中的检定结果,得到它们的长度偏差分别为:

$$L_1 = 40 \text{ mm} \quad \Delta_1 = -0.85 \mu\text{m}$$

$$L_2 = 1.6 \text{ mm} \quad \Delta_2 = 0.54 \mu\text{m}$$

$$L_3 = 1.05 \text{ mm} \quad \Delta_3 = 0.51 \mu\text{m}$$

$$L_4 = 1.005 \text{ mm} \quad \Delta_4 = 0.35 \mu\text{m}$$

则量块组总的恒值系统误差为 $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = 0.55 \mu\text{m}$ 。

只要将每个测量数据减去 $0.55 \mu\text{m}$, 就可消除量块组恒值系统误差的影响。

对于线性系统误差,一般采用标准量代替法、平均斜率法或最小二乘法予以消除。具体分析计算方法从略。

(3) 随机误差的处理。当把粗大误差和系统误差消除后,剩下的就只有随机误差了。对

随机误差的处理主要是减少误差分布的标准差（分散范围）。常用的方法是平均值法、排队剔除法和数字滤波法。

平均值法是对某个参数进行反复多次独立测量，然后将其平均值作为质量特性。

排队剔除法是将几次独立测量的结果按大小顺序排列，剔除最大和最小的数据，然后对剩下的数据求平均值。

数字滤波法是采用低通滤波器去除随机误差的高频影响。

九、数据采集方法实例

在本节中，比较全面地介绍了质量数据采集系统的各种内容，下面从两个典型的实例对质量数据采集系统作进一步的介绍（这两个实例来自参考文献1）。

1. 便携式质量数据采集与分析系统简介

随着计算机技术和检测技术的飞速发展，机电一体化技术在质量检测中得到了广泛应用。国外在这方面的起步比较早，目前在尺寸参数、几何参数、表面粗糙度、重量、力、硬度等的检测方面，都开发了具有数显功能，并具有数据输出接口的检测量仪。同时还开发了与这些数显量仪连接的质量数据采集分析器，为实现质量数据采集、传递、分析的自动化提供了保证。例如意大利马波斯公司（MARPOSS）生产的自动测量仪器；美国 DataMyte 公司生产的各种类型的数据采集分析器及其网络等。

国内在这方面的研究起步较晚，但发展很快。近年来，许多量具厂已开发出各种类型的数显检测量仪，如数显卡尺、数显千分尺、数显高度尺、数显千分表等。同时，我国已研制出用于数显检测量仪的大规模集成电路，这些为研制质量数据采集分析系统提供了基础。

质量数据采集分析系统正是在这种背景下研制的一个集软硬件于一体的机电一体化产品。

（1）系统的总体结构。便携式质量数据采集分析系统由检测量仪、质量数据采集器和微机接口软件等组成。质量数据由检测量仪采集，经 BCD 码输出到质量数据采集器，采集器进行质量数据存储、监测，并把检测数据经 RS-232 串行口送入微机，完成质量数据的采集、传递和存储。检测量仪主要包括各种数显量仪，如数显千分尺、数显千分表、数显高度尺等，系统进一步扩充后，可以和模拟检测量仪相连。采集器是采集系统的核心，主要完成生产现场质量数据的采集、存储、传递和简单的处理功能，如合格性判定、 C_{pk} 值计算等。由于采集器体积小、重量轻，便于生产现场使用。

（2）采集器的电路结构。根据采集器的设计思想，采集器采用单片机进行开发。单片机为常规的 80C31 应用系统，单片机系统结构紧凑，电路设计简单，可靠性高，可以应用于生产现场。单片机经存储器、键盘、液晶显示、数显量仪接口等扩展后，形成采集器电路结构框图，如图 7-17 所示。

（3）便携式质量数据采集系统的主要功能。采集器是连接检测量仪和微机的桥梁，它除了把检测量仪的测量数据传递到微机外，还具有较强的本机质量数据处理功能。图 7-18 是采集器的功能。这些功能可以简述如下：①机号设置主要用于采集器机号的设置，这对于多台采集器的管理是十分有用的。②时间设置主要用于修改采集器内部的时钟，完成采集时间的功能。③文件设置主要用于记录需要测量工件的标准信息和检测信息，测量的结果以文件的形式在采集器内存储。进行测量前，应进行文件设置，确定检测工件、检测项目、检测方

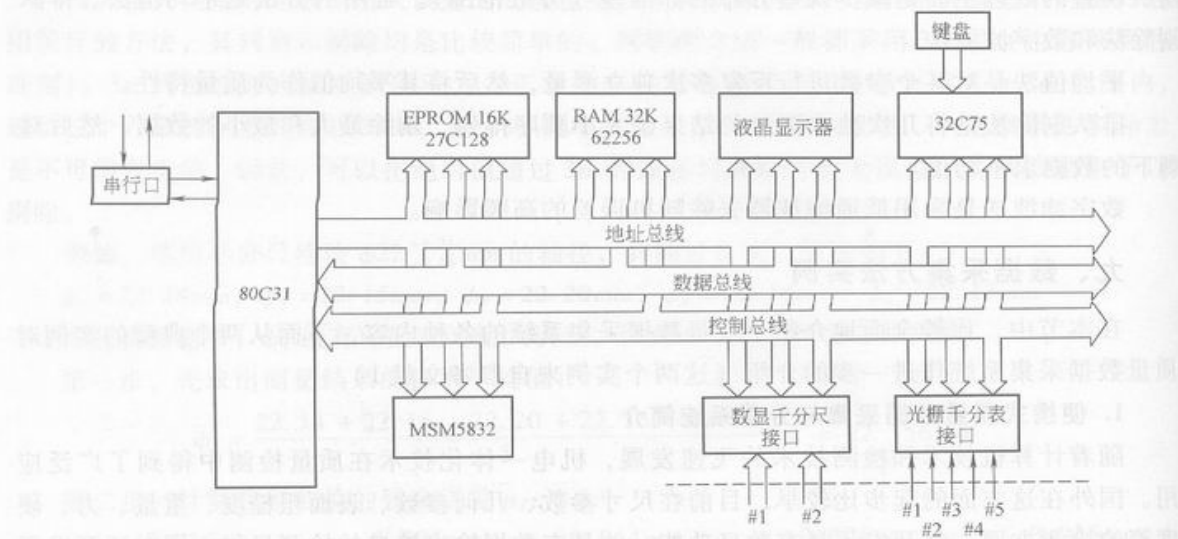


图 7-17 质量数据采集器电路结构框图

式和检测量仪等。④文件修改主要是对已设置的文件进行修改，一是设置文件出错时进行，二是新的文件在老文件的基础上修改使用。⑤文件删除主要用来删除采集器内部的数据文件及数据，当检测结果保存到 PC 后，采集器的数据文件需要删除。⑥文件查询主要用于对存储在采集器中的数据文件的浏览和检测数据的浏览。⑦数据采集主要完成质量数据的输入、监测和存储。测量完工件后，数据直接进入采集器接口，经过合格性判定，存储到采集器的存储器中。⑧系统自检主要在检测开始前，完成存储器、显示屏、键盘以及量仪接口的自检。当上述检验正常时，方能进行质量数据的采集。

(4) 采集系统的主要特点。为了适应不同种类零件参数的测量，适合于生产现场使用，根据系统的设计思想，采集系统的主要特点如下：①两种供电方式。采集器可以在充电电池供电方式下最长工作 8 小时，也可以用交流电供电，两种方式均提供断电保护。

②多种测量方式。采集器具有可编程、多种采集方式设置等功能，可以方便地实现单表、多表、动态、连续等组合方式的数据采集，可应用在不同检测场合。③采集器的初始化设置和自检。采集器可以对它的机号、时间、测量项目、测量数据个数、测量方式等进行初始化设置，同时具有系统的自检、键盘检查、量仪接口检查等功能。④质量分析功能。采集器除了进行质量数据采集、存储和传递外，还具有超差报警及均值、极值、工序能力指数等计算功能。⑤采集器的功能。采集器是一种新型的、可编程的、便携式仪器，可应用于生产现场，

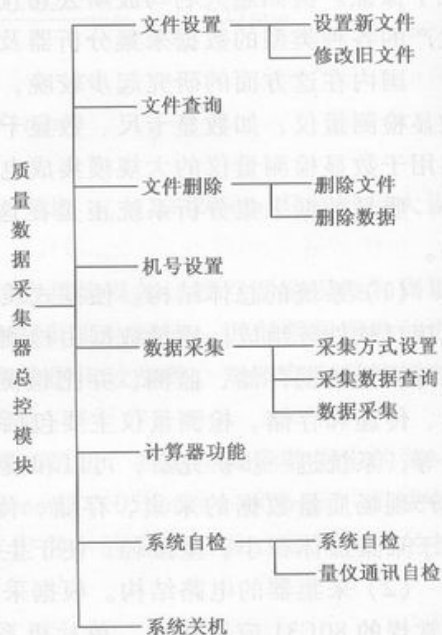


图 7-18 质量数据采集器功能

充、数据处理系统、执行机构和接口系统等四大部分组成。下面将简要介绍制造力检测与控制系统的设计要点。

数据采集系统的选择

其系统的核心是传感器技术。数据采集的精度和可靠性主要受传感器的影响，因此数据采集系统时对传感器提出了很高的要求，它包括：

传感器的静态特性

精度。传感器的理想输入/输出特性应是线性的。但由于各种原因，造成它的输出变为非线性的。非线性特性往往会带来检测误差。因此在选择传感器时，应选用的，在设计时，可以用直线代替传感器实际输入、输出曲线的某一段，称为传感器的“线性化”。这两者之间的偏差称为传感器的非线性误差。在线性化时，应尽量控制在某一范围内。

灵敏度。灵敏度是指传感器在静态信号输入的情况下，输出变化对输入量变化的比值。传感器的灵敏度高一些，并且在满量程范围内是恒定的。

迟滞性。它反映传感器在正反行程期间输入、输出特性曲线不重合的程度，如图 7-20 所示。产生迟滞性的主要原因是机械的间隙、摩擦或电子方面的磁滞等原因。一般情况迟滞越小越好。

重复性。重复性反映了传感器在输入量按同一方向做全量程多次测试时所得特性曲线重合的程度，如图 7-21 所示。在多次重复测试的条件下，曲线越重合则说明重复性越好。在选择时，应选择重复性好的传感器。

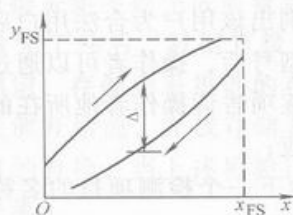


图 7-20 迟滞特性示意图

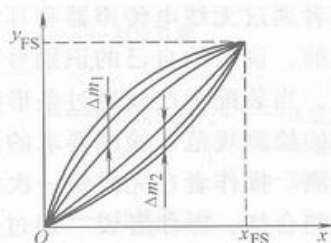


图 7-21 重复性示意图

传感器的动态特性

静态信号时，因为被测信号不随时间变化，因此测量和记录不受时间限制。而在动态信号时，被测量值是动态的，此时不仅要精确测量信号幅值的大小，而且需要测量和记录信号的变化过程。传感器的动态特性是指传感器的输出（响应）对输入（激励）的一个动态特性好的传感器，其输出能完好地再现输入的变化规律。在选择传感器时，应选择动态特性好的传感器。在工程上，常常采用常系数线性微分方程来描述输入-输出关系，利用传递函数和频率响应函数对传感器进行建模和研究。在选择传感器时，应参考表 7-2 所示的技术指标。

基

1. 量程指标
- 力等
2. 灵敏度指
- 输出、分辨率
3. 精度有
- 度、重复性、
4. 动态性能
- 尼系数、衰减

二、

信号变
根据要求
实现的。最
各种信号变

三、

数据处
各种图表
控制图等。

四、

自动
用的是可
一般情况

五、

伺服
动作。常
伺服驱动
响，应根

六、

自动
能否实现
很高的要
需要选择

表 7-2 传感器指标

基本参数指标	环境参数指标	可靠性指标	其他指标
1. 量程指标: 量程范围、过载能力等 2. 灵敏度指标: 灵敏度、满量程输出、分辨率、输入及输出阻抗等 3. 精度有关指标: 精度、线性度、重复性、迟滞等 4. 动态性能指标: 固有频率、阻尼系数、衰减率、频率响应范围等	1. 温度指标: 工作温度范围、温度误差、温漂等 2. 抗冲振指标: 容许各向抗冲振的频率、振幅及加速度、冲振所引入误差的数值 3. 其他环境参数: 抗潮湿、抗介质腐蚀能力及抗电磁场干扰能力等	工作寿命: 平均无故障率时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻、耐压及抗电弧等	1. 使用有关指标: 内阻、供电方式(直流、交流及波型等)各项分布参数值 2. 外型尺寸、重量、壳体材质及结构特点 3. 安装方式、馈线电缆等

二、信号变换装置选择

信号变换装置包括电桥、滤波器、放大器、模/数转换器和数/模转换器等。这些装置可根据需要来选择,但要注意它们之间的参数匹配关系。传统的信号变换过程都是由硬电路来实现的。最近几年,随着计算机在测试技术中的应用,已可采用虚拟电路技术,用软件实现各种信号变换的功能。

三、数据处理系统设计

数据处理系统的功能是对输入计算机中的数字信号进行分析处理,生成反馈控制信号或各种图表信息。数据处理常用第六章中介绍的各种统计技术,如排列图、直方图、散布图、控制图等。在计算机广泛应用的今天,数据处理主要由计算机来完成。

四、自动控制装置设计

自动控制装置的作用是控制执行机构实现位置控制、速度控制、自适应控制等。目前常用的是可编程控制器 PLC 和通用数控系统。PLC 和数控系统均可在市场上买到现成的产品,一般情况下不需要特殊设计。

五、伺服驱动装置设计

伺服驱动装置的功能是接受来自自动控制装置的控制信号,然后驱动功能部件实现控制动作。常见的伺服驱动装置有电磁铁、伺服电机、步进电机、液压马达、液压缸、气缸等。伺服驱动机构的性能、精度、响应速度及可靠性对整个系统的性能和质量都有着重要的影响,应根据需要选择。

六、精密机械装置设计

自动反馈控制系统的执行机构一般都是机械机构,其主要功能是实现部件的微量位移。能否实现高质量反馈控制,机械系统起着至关重要的作用,因此对机械系统的设计也提出了很高的要求,如高精度、高刚度、低的热变形、体积小、重量轻、静压轴承等结构,应根据需要选择。

七、系统总体方案拟定

系统总体方案的拟定一般分为三个步骤：首先根据系统的主功能要求和构成系统的功能要素进行主功能分解，划分出各功能模块，确定它们之间的逻辑关系和接口关系；然后对各功能模块输入输出关系进行分析，确定功能模块的技术参数和控制策略、系统的外观造型和机械总体结构；最后以技术文件的形式交付设计组讨论和审定。

系统功能分解应综合运用机械技术和电子技术各自的优势，力求使系统构成简单化和模块化。常用的设计策略如下：

- (1) 尽量减少机械传动部件，简化机械结构，提高系统的动态响应性能和运动精度。
- (2) 注意选用标准、通用的功能部件，以提高系统的可靠性，加快设计开发进度。
- (3) 充分运用硬件功能软件化原则，这已是目前的主要发展趋势。
- (4) 以计算机系统为中心的设计策略。

在方案设计完成后，还应对系统的精度、可靠性和经济性进行分析和设计。

八、产品质量和过程状态自动控制系统实例

1. 加工尺寸的自动补偿

提高加工精度最有效的办法是采用自动补偿技术。在机械加工中，由于刀具的磨损会直接影响到被加工工件的尺寸精度。特别是对于精度要求较高、长度较长的零件的加工，更要注意刀具的自动补偿问题。对于较短的零件，在一次走刀完成后，测量实得尺寸与目标值的差异，然后进行刀具位置补偿。对于较长的零件或直径较大的端面的加工，可以采取加工过程中的连续测量和连续补偿作业。在有些情况下，机床零部件的几何精度无法满足加工精度要求时，可以预先测量出机床的误差，根据误差值制成校正尺，也可以利用精度较低的机床加工出较高精度的零件。

图 7-22 所示为加工尺寸自动补偿系统的工作原理图。

工件在机床上加工之后，及时送到测量装置上进行检验，当由于刀具磨损而使工件尺寸变大到一定值时，测量装置发出信号，经放大装置、控制线路操纵机床上的自动补偿装置，使刀具向工件移动，补偿由于磨损造成的刀尖位置的变化。这种方式是利用前面已加工的零件的结果，控制后面零件的质量，属于“滞后”控制。

2. 加工中心在线检测及反馈控制系统

在现代加工中心机床上，往往配置有在线检测及反馈控制系统。这种功能是通过三维测头和数控装置共同完成的。一般情况下，三维测头安放在机床的刀库中，在加工关键尺寸前，由机械手把三维测头从刀库中取出，像安装刀具一样安装在主轴孔中（对于车削中心，三维测头安装在刀架上）。首先由三维测头对工件的关键尺寸进行检测，通过接口装置将检测结果送到机床数控系统，数控系统对检测结果进行分析，确定与最终尺寸间的差值，并将该差值转换成控制信号去调整刀具相对于工件的位置，以实现高精度零件的加工。图 7-23 是这种系统的示意图。

3. FMS 加工质量检测及控制

柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System) 是一种高度自动化的加工系统。为了提高 FMS 的工作效率，完整的 FMS 中常包括计算机控制的坐标测量仪。在零件精加工前

或加工完毕后,由物料输送装置把工件运送到测量工位后,由坐标测量机对工件进行自动测量(在主控程序控制下),然后把测量结果送入分析系统进行分析,并与零件的技术标准进行比较,得出误差数据。系统再对误差原因进行分析,并针对误差原因采取补偿措施,最后实现对加工过程或设备的控制。系统的工作过程如图 7-24 所示。

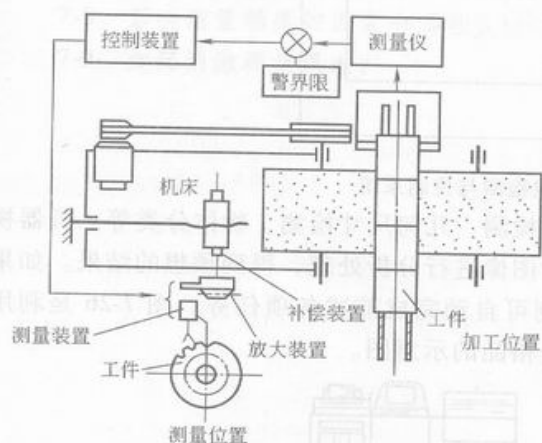


图 7-22 加工尺寸自动补偿原理

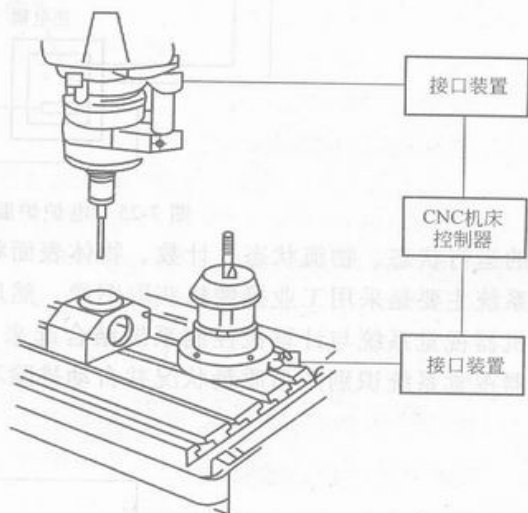


图 7-23 加工中心在线检测及反馈控制系统

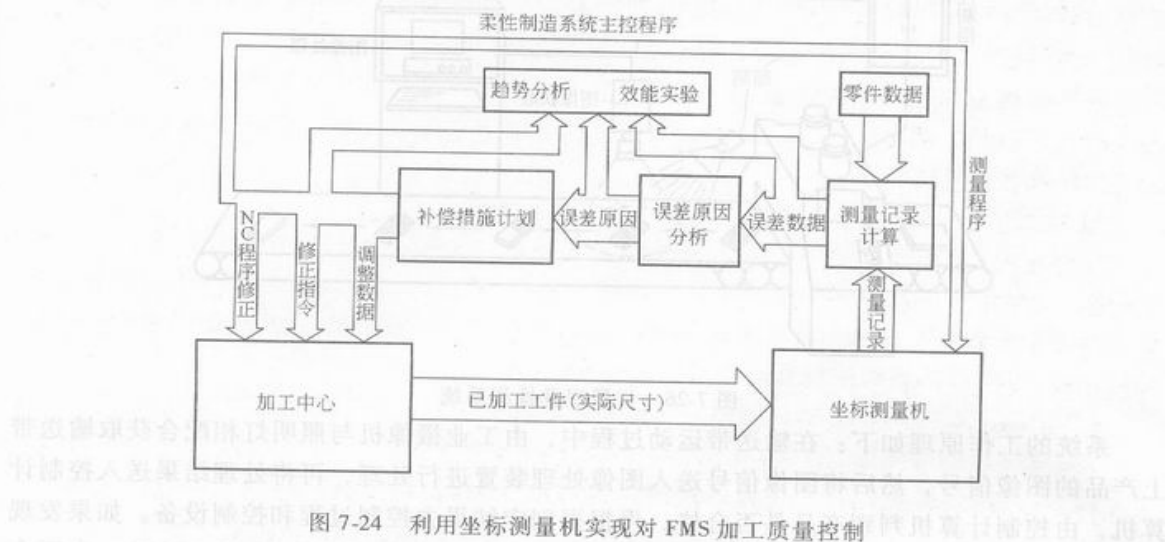


图 7-24 利用坐标测量机实现对 FMS 加工质量控制

4. 电炉炉温在线检测及自动控制系统

如图 7-25 所示,由热电偶在线检测出炉温,并将炉温转变成毫伏电压信号,然后与给定毫伏电压进行比较,其差值即为实际炉温与要求炉温的偏差毫伏信号,该信号经电压放大和功率放大后,驱动极性可逆电动机,当炉温偏高时,使自耦变压器减小加热电流;反之加大加热电流,从而完成对炉温的自动检测与控制。

5. 机器视觉检测系统

机器视觉是光学检测法的一种,近年来得到越来越广泛的应用。它主要用来监控生产设

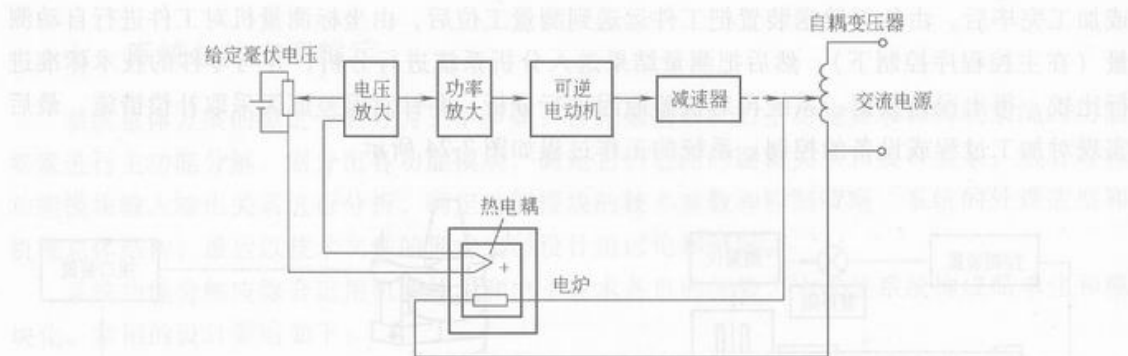


图 7-25 电炉炉温在线检测与控制系统

备的运行状态、物流状态、计数、物体表面状态检测、几何尺寸检测、物体分类等。机器视觉系统主要是采用工业摄像机获取图像，然后对图像进行分析处理，得到预想的结果。如果将机器视觉系统与计算机控制系统结合起来，则可自动完成前述各项任务。图 7-26 是利用机器视觉系统识别产品质量状况并自动排除不合格品的示意图。

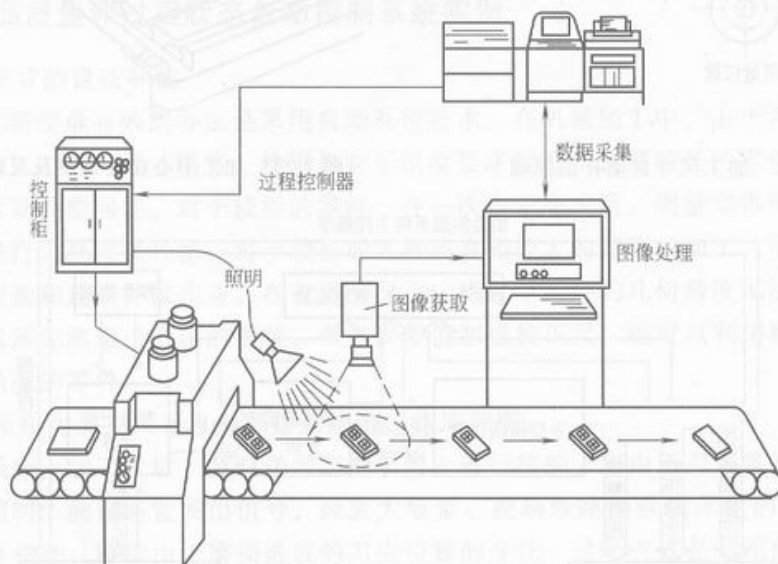


图 7-26 机器视觉检测系统

系统的工作原理如下：在输送带运动过程中，由工业摄像机与照明灯相配合获取输送带上产品的图像信号，然后将图像信号送入图像处理装置进行处理，再将处理结果送入控制计算机，由控制计算机判别产品是否合格，再根据判定结果去控制过程和控制设备。如果发现不合格品，或者起动排除装置将它排除出输送线，或者起动打标志装置（如喷漆），在不合格品上作出标记。从工作原理看，这种系统是在线自动检测及反馈控制系统的组合。

复习思考题

7-1 为什么要进行制造过程质量的自动控制？

7-2 制造过程质量自动控制系统由哪几部分组成？各部分的作用是什么？

7-3 何为在线控制? 何为离线控制? 试比较它们之间的差异。

7-4 数据采集系统由哪几部分组成? 它们的功能是什么?

7-5 常用的数据采集方式有哪几类? 各有什么特点?

7-6 说明坐标测量机的结构组成和特点。

7-7 有哪几种测量误差? 它们是如何产生的?

7-8 影响测量精度的因素有哪些?

7-9 如何消除测量误差?