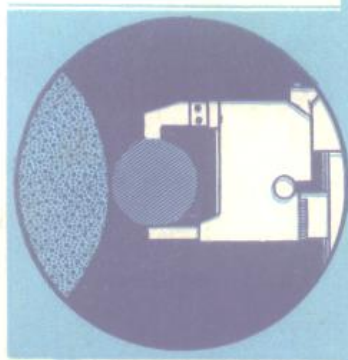


最近的精密加工 和精密测量

〔日〕中村 常郎 原著
郭素贞 袁长良 编译



计量出版社

最近的精密加工和精密测量

[日] 中村常郎 原著

郭素贞 袁长良 编译

计量出版社

1984·北京

内 容 提 要

本书从加工和测量不可分的观点出发,以大量的图例叙述了近年来精密加工和精密测量的最新技术成果和发展趋势。全书共分十章,主要内容包括:光学测量,电学测量,气动测量,加工中自动测量,精密加工,信息处理等。对光栅、激光、光导纤维、三维测量等新技术在精密测量中的应用也作了介绍。本书可作为高等院校有关专业的教学参考书,也可供广大工程技术人员、计量测试人员参考。

最近的精密加工和精密测量

(日) 中村常郎 原著
郭素贞 袁长良 编译

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中图公司上海印刷厂排版

河北省三河县中定印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

开本 787×1092 1/32 印张 6 1/8

字数 139千字 印数 1—10,000

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷

统一书号 15210·303

定价 0.95元

编 译 说 明

本书是根据日本《机械研究》(《機械の研究》)第31卷第4号至第32卷第4号连载的中村常郎先生的专题讲座《最近的精密加工和精密测量》(《最近の精密加工と精密測定》)编译而成的。为了阐述清楚和避免重复,对原著的总论做了部分修改,并删去了各章的前言,其余依照原著翻译。书中着重介绍了日本60年代到70年代的精密加工概况,在精密加工中所采用的测试方法及其基本原理,重点叙述了加工中的自动检验与控制。书中还介绍了光栅、激光、光导纤维、三维测量等新技术在精密测量中的应用,并对现存的一些难于解决的测量问题提供了解决的途径。这些内容对我国从事精密加工和精密测量的广大工程技术人员及高等院校有关专业的师生很有参考价值。

在编译过程中,承蒙清华大学梁晋文教授的审阅,并得到有关同志的热情帮助,谨致谢意。

1983年3月于太原

目 录

| | |
|--------------------------|--------|
| 第一章 总论 | (1) |
| 第一节 加工和测量 | (3) |
| 第二节 加工技术和测量技术的发展 | (4) |
| 第三节 数字测量 | (7) |
| 第二章 光学主动测量 | (12) |
| 第一节 主动测量 | (12) |
| 第二节 比较测量 | (13) |
| 第三节 激光测量 | (18) |
| 第四节 指示测量(1)——光电式标尺 | (25) |
| 第五节 指示测量(2)——刻度尺 | (29) |
| 第六节 指示测量(3)——光波干涉法 | (35) |
| 第七节 表面粗糙度的测量 | (37) |
| 第三章 流体主动测量 | (47) |
| 第一节 气动测微仪 | (47) |
| 第二节 喷嘴活瓣 | (51) |
| 第三节 射流元件 | (52) |
| 第四章 电学主动测量 | (54) |
| 第一节 电比较测量(结构型) | (54) |
| 第二节 电比较测量(物性型) | (61) |
| 第三节 电指示测量 | (66) |
| 第五章 自动测量 | (71) |
| 第一节 自动控制尺寸 | (71) |
| 第二节 刀具位置的自动修正 | (78) |
| 第三节 自动测量和自动分选 | (82) |
| 第四节 自动选配和组装 | (85) |

| | |
|---------------------------------|---------|
| 第六章 形状测量 | (90) |
| 第一节 圆度测量 | (90) |
| 第二节 圆柱度测量 | (95) |
| 第三节 凸轮和齿轮的自动测量 | (101) |
| 第四节 三坐标测量机 | (105) |
| 第五节 光学测量法 | (116) |
| 第七章 绕射光栅和标准尺的刻线 | (123) |
| 第一节 全息照相绕射光栅 | (123) |
| 第二节 绕射光栅的机械刻线 | (129) |
| 第三节 标准尺的刻线 | (137) |
| 第八章 半导体、水晶的精密加工和测量 | (143) |
| 第一节 照相化学腐蚀加工 | (143) |
| 第二节 集成电路的加工和测量 | (146) |
| 第三节 薄板水晶振动元件的精密加工和测量 | (156) |
| 第九章 照相化学腐蚀法和激光精密加工 | (164) |
| 第一节 照相化学腐蚀法精密加工 | (164) |
| 第二节 激光精密加工 | (166) |
| 第十章 时间序列信息处理 | (171) |
| 第一节 利用激光进行音频信号记录和重现 | (171) |
| 第二节 加工中时间序列信息的处理 | (178) |
| 参考文献 | (187) |

第一章 总 论

零件的尺寸和形状,按设计要求规定有公称值,因此在加工前、加工中以及加工后的各个阶段,都必须对零件进行测量。加工与测量,无论从哪方面讲,都如同车子的两个轮子,它们相互依存,缺一不可。然而,过去却以加工后的测量为主。

近年来,为了提高机械加工的精度和效率,在加工过程中对必要的参数进行了主动测量,逐渐地把加工和测量结合成一个统一的系统。

本书从测量者的角度出发,阐述了精密加工和精密测量的密切关系,并列举了最新实例。主要内容有:

- ①主动测量(光学、电学、流体);
- ②自动测量和分选;
- ③形状测量;
- ④标准尺、绕射光栅的刻线及测量;
- ⑤半导体、水晶等的精密加工和测量;
- ⑥照相化学腐蚀和激光加工;
- ⑦时间序列信息的处理。

最近的精密加工大致分为两类。一类是在原有的机械加工中,增加数字控制装置或自动控制装置,在金属模的自由曲面加工中尤为常见。另一类是用新的物理化学方法加工高精度标准尺、绕射光栅的刻线和集成电路等。

与上述精密加工相适应的精密测量方法,是在零件加工过程中,对零件的尺寸、形状和位置误差进行自动测量和在加

工后进行精密测量(如光波干涉法等测量方法)。

为了能在加工中或加工后迅速地计算处理测量数据,必须使用电子计算机,然后把计算机处理的数据反馈给机床,以保证及时地控制加工情况。

加工中时刻变化的测量值是时间序列信息。加工后测得的零件的尺寸、形状、表面粗糙度等数据,也可按时间序列信息处理。研究这两种时间序列信息的相关性并用来处理测量数据,可以获得加工机床及测量仪器的动态特性。

用金刚石触针测量加工表面的凹凸及波纹时,得出的信息都属于时间序列信息。最近研制成的脉冲编码调制激光探测视频圆盘,对时间序列信息的加工、测量及其数据处理都起了很大的作用,开拓了新的领域。

从前的测量大都是由人直接读取被测量值,因此在研究测量方法时,也多基于如何使被测量值容易读取。然而,为了提高测量效率,实现测量过程自动化,特别是为了消除人为的测量误差,必须研究新的测量方法。

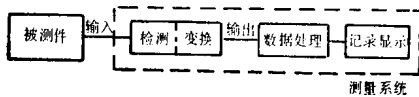


图 1.1 测量系统

测量系统的方框图如图 1.1 所示。被测之量输入到测量系统,首先是进入检测器。例如,被测件的长度输入到检测器后变为被测之量,接着再将被测之量输入到转换器,转换成容易处理的其它物理量。一般的测量装置大多是把检测器和转换器合起来,统称传感器。把检测器的输出,经中间转换器转换、放大后再经数据处理,



图 1.2 控制系统

然后进行显示或记录。

控制系统如图 1.2 所示。经过检测、转换及数据处理的量,由测量系统再反馈给控制系统。

以前的测量过程多是凭人的感官,即所谓“机器对人”。为了提高测量效率和减轻劳动强度,必须实现所谓“机器对机器”的测量,也就是在被测量从进入检测器后,经中间转换器到电子计算机进行处理数据,再进入控制系统,全部测量过程都是自动地进行。

在实现“机器对机器”的全部测量过程中,也需要供给能量,因此大多数的测量装置都是先将检测器的输出量转换成应答性好、容易放大传送的电量(多是电压量),进而转换为比模拟量使用更广泛的数字量。

可以做功的量称为主动量,如电压、电流。不能做功的量称被动量,如电阻、弹性模量。把被动量转变为主动量,如长度量转换为电压量称主动转换。

例如,用扭簧比较仪测量长度是靠仪器本身的机械放大,没有主动转换,测量必须借助于人。物体的长度是被动量,而位移则可看成是主动量,因为位移与其方向上的力的乘积等于功。有位移必然存在功,有力必然产生位移或物体的变形,两者是相辅相成的。

第一节 加工和测量

加工和测量的时间配置关系如图 1.3 所示。图中,把加工做为时间轴上的原点,把测量分为加工前测量、加工中测量、加工后测量。例如在车削前测量棒料,在磨削前测量车削过的零件尺寸和形状均属加工前测量。又如在外圆磨削中测量磨削中工件的外径,并把其测量结果反馈到控制系统以实现尺寸自动控制,这种测量属于加工中的测量或动态测量。动态测量在目前测量工作中的作用已引起人们的关注。在稳定

状态下,测量加工完的零件尺寸和形状属于加工后的测量。

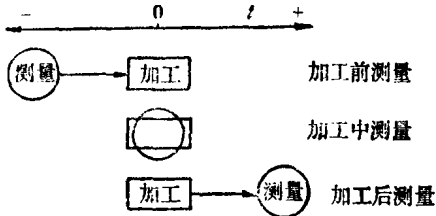


图 1.3 加工和测量的时间配置

加工过程中的测量条件很差,被测零件和传感器同处于切屑、冷却液和润滑油之中,所处的空间狭窄,运转中又会产生振动。为了准确地测量零件的尺寸、形状和表面粗糙度,并实现相应的控制,传感器必须有良好的应答性。

有时也把加工后的测量值反馈给加工中的测量,以实现控制尺寸的零点修正。在丰田工厂采用了加工信息处理系统。为实现在加工中对产品质量进行控制和管理,还使用了电子计算机,可以保障机器设备与加工质量的协调,实现自动测量。

第二节 加工技术和测量技术的发展

1900年以来,随着机床加工精度的提高,测量技术发展很快。特别在1935年之后,由于电子技术进入了测量领域,测量精度提高的速度就更快了,如图1.4(a)所示。

从1930年起,加工所用工时急剧减少,其原因是机床性能的提高和实现了自动化。可以预见,自动控制在今后将起更大的作用。图1.4(b)表示生产率提高后的工时比率。

机床加工精度的提高与量仪的测量精度有密切的关系。图1.5是历年来加工精度的变化情况。量仪的结构由机械式发展到电学式,以至引进了物理光学,测量精度可达 $0.01\mu\text{m}$ 。

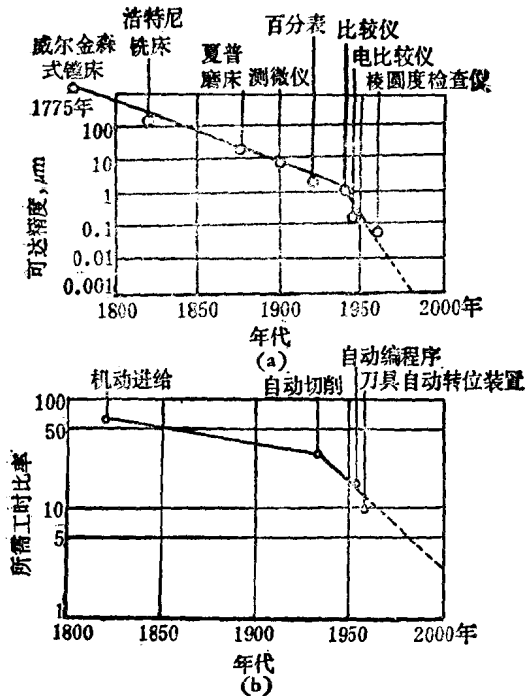


图 1.4 历年来加工与测量的关系

图中量仪的误差用实线表示，机床的误差用虚线表示，两者相差一个数量级。

国际生产加工研究会 (C.I.R.P) 总会 1971 年发表了关于今后三十年加工技术和测量技术的展望，下面介绍的是其主要内容。

一、十年后的加工技术和测量技术

十年后，在切削加工方面，加工精度和表面粗糙度至少会提高一个数量级，并且要广泛采用激光加工和物理化学加工方法，如大量研究和广泛采用电火花加工 (EDM) 和电解加工

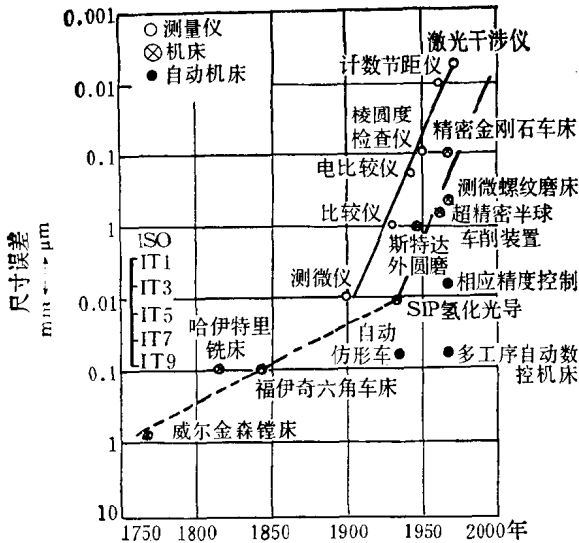


图 1.5 加工精度的变化(直径为 100mm)

(ECM).

十年以后,在机床控制方面也会有明显的发展,测量仪器或传感器也将有很大的进步。

在切削及磨削加工中,要实现加工中的测量,除控制加工精度外,还要控制加工表面的物理机械性能。应用激光、光波干涉和绕射光栅,可使工件与刀具的定位精度达 $1\mu\text{m}$ 以内。此外,在测量仪器及机床上也将广泛地使用光导纤维。

在切削及磨削加工中,研究并使用表面粗糙度测量传感器,制定能充分体现表面粗糙度特性的粗糙度标准,以确定表面粗糙度、波度及形状误差等的严密定义。

随着计算机软件技术的迅速发展,在提高劳动生产率,增加工、卡、量具的使用寿命,改善被加工零件的表面物理机械性能等方面,电子计算机将广泛用于生产线中。

二、二十年后的加工技术和测量技术

二十年后将研究出新的物理化学加工方法，并且与切削加工相结合创造出新的加工方法，这些方法可以正确地预测生产率、工具寿命、加工精度及工件的表面粗糙度。

磨削加工技术的进一步提高，即将代替一部分切削加工。随着金刚石及其砂粒的改进，可进行精密的磨削加工，并能正确地预测与砂轮磨床和工件有关的磨削各要素，如磨削率、磨削比、加工精度、工件表面粗糙度等，制定出科学的工艺。在20%的磨床上将安装与磨削要素相对应的控制装置。

在机床制造厂，测量技术也将得到发展，可以在加工过程中检测所有的加工条件，实现机床最合理的控制方式。全息照相法也将应用于生产的管理中。

在切削和磨削加工中，由于广泛使用表面粗糙度控制装置，可以正确地预测表面粗糙度数值。

由于研制出新的自动测量、自动分选、自动组装方式和标准模板，并且在组装中使用了粘结剂，因此在大批量生产中，可采用自动装配。

在大尺寸加工系统中，使用计算机加工，可以实现加工、管理的自动化，并可用计算机给机床供料和从事调度。这样，生产过程可由中央控制台控制，全面地实现生产线的自动化。

第三节 数 字 测 量

近年来，数字测量在测量技术中发挥了相当重要的作用。用数字表示数量，就是把大量的数据储存在存储器中并高速地整理记录下来、准确地传输出去。由于数字量容易引入电子计算机和控制装置，因此转数、频率这些本来就是离散的数字

量,可以直接计数脉冲数,而长度等连续的模拟量,则需先经模-数转换(A-D)整量化(量子化)为数字量,再计数脉冲数。

近年来,一般是把长度、位移等模拟量转换成电压量,再经 A-D 转换,变成数字量。

数字测量的基本特点是使连续量整量化,再计数整量化的数。下面先叙述计数方法,然后叙述(A-D)模-数转换。

一、计数方法

将数据的数值转换为相应的脉冲数,再进行电气计数。电气计数器的计数速度为 $0.2 \mu\text{s}/\text{脉冲}$,也就是每秒可计数 5×10^7 次。这种高速性是数字测量的优点之一。

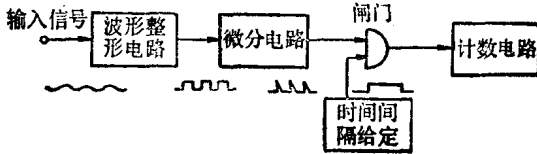


图 1.6 数字测量原理

数字信号的波形通常是不固定的,如图 1.6 所示。先由波形整形电路整形成方波,再经过微分电路进行微分,变成脉冲信号,时间闸门按一定的时间间隔工作,只有当时间闸门打开时,脉冲信号才能进入计数器。

计数器是使用二进制双稳态触发器 FF 计数法。这种计数电路是以 FF 电路作为单元电路(电路有 0 和 1 两种稳定状态,每输入一个脉冲,电路翻转一次),如图 1.7(a),把 N 个单元电路串联,构成 2^N 进制计数电路。图 1.7(b) 表示每输入 2^N 个脉冲,输出一个脉冲送到下一段,形成 2^N 进制计数电路的波形变换。

图 1.8(a) 是低速十进制计数电路的线路图,图 1.8(b) 是动作波形。设置段间反还,作为二十进制计数器,当输入

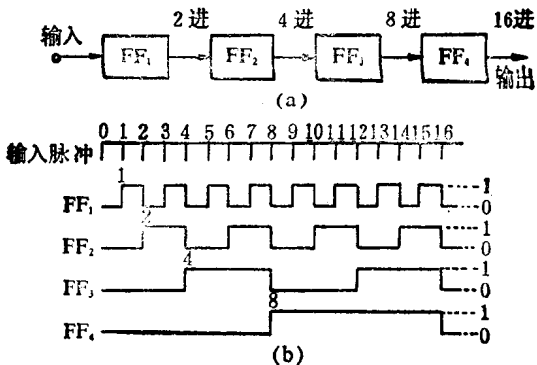


图 1.7 2^n 进制计数电路的原理

第十个脉冲时，电路的状态复原，同时再产生一个进位脉冲。若设置闸门电路，此计数器可用作高速计数。

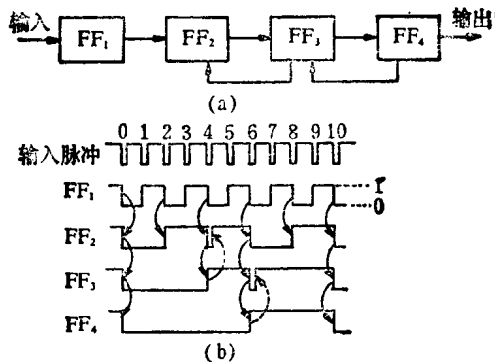


图 1.8 低速十进制计数电路的原理

二、A - D 转 换 法

把连续的模拟量转换为离散的数字量，其基本步骤是：取样—量化—编码。进行 A-D 转换的转换器有很多种，其精度对十进制的而言，通常是 4—5 位有效数字。下面介绍计数型和比较型转换器。

计数型 A-D 转换器是先把需要转换的模拟量,转化为与此量成比例的时间长度,或者转换成重复脉冲的频率再进行计数的方法。图 1.9 是计数脉冲数的转换器,图中模拟量是输入的电压波形,此波形与锯齿波比较,当输入电压大于锯齿波电压时,方波门打开,使取样脉冲通过并计数脉冲数,实现整量化,然后再由计数系统进行编码。

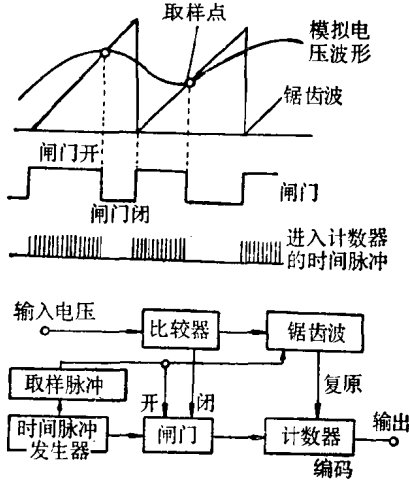


图 1.9 计数型 A-D 转换器

比较型 A-D 转换器。图 1.10(a) 是电路的线路图,图 (b) 是动作示意图。输入的模拟电压 E_x 进入比较器,在比较器与经过 D-A 转换模拟化了的电压 E_R 比较。因而要求电压比较器有比较高的精度。转换过程是由顺序信号发生电路把二进制的数,从高位开始依次送出,由 D-A 转换器转换成基准电压 E_R ,在比较器内与 E_x 比较。当 $E_R \leq E_x$ 时,计数器中的 FF_n 变成 on,以符号 1 的形式作为数字输出。 E_x 值自 2^n 位依次相减,直至 $E_x = E_R$,计数动作停止。因此,计数器的

数字输出可以用与输入的模拟量相对应的二进制码表示。量化误差取决于最后的位数，图 (b) 表示 FF_n 将 13V 的电压转换成二进制数字 01101 的过程。

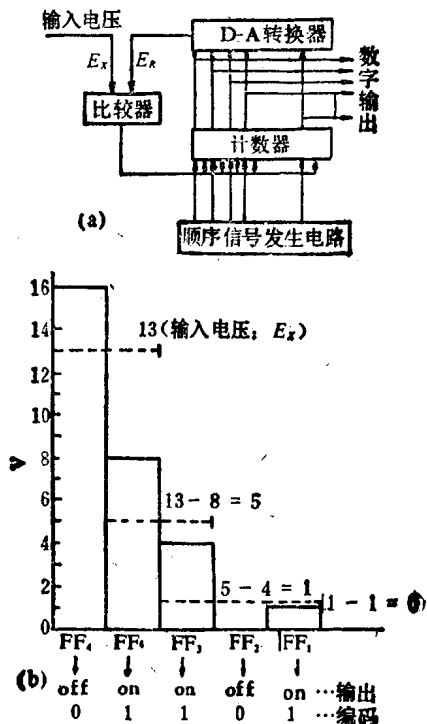


图 1.10 比较型 A-D 转换器