

摘要

在机械加工过程中造成加工误差的原因相当多，我们不可能对各个原因进行单因素分析，对单个工件的检验也不能反映整个加工过程中加工误差的性质和变化规律，并且单一工件的误差也不能代表整批工件的误差大小。要全面的反映加工过程中质量问题，必须采用统计分析法。统计分析方法就是在生产现场内以一批工件的检测结果为基础，运用数理分析的方法去处理这些结果，从中提炼其中的规律，用以找出产生误差的原因和解决问题。

本文主要内容是利用气动量仪对工件进行测量，通过数据采集卡采集数据，利用 VC++ 汇编语言编写应用程序实现数据的统计分析。本系统设计主要分三部分内容：系统电路设计，数据采集编程和数据处理编程。

系统电路有气动量仪，传感器，数据采集卡和计算机组成。数据采集部分利用 PCI-1710 数据采集卡，以 VC++ 为工作平台，编写采集程序，实现数据采集功能。数据处理是本文的主要工作，通过软件实现数据库操作，用统计分析的方法对数据进行处理，使之能够实现点图和分布图和正态分布图的波形显示，并对工件尺寸进行设定，通过图形查看是否存在不合格品，通过绘制图形来分析机械加工过程中存在的加工误差。

关键词：气动量仪，PCI-1710 数据采集卡，传感器，加工误差

Abstract

There are many reasons to cause machining error in the machining, we can not analyze every reason by method of single reason. To check a workpiece can reflect the kind and the rule of the machining error of the total machining process. And the error of one of workpieces do not stand for the error of the all workpieces. If we want to reflect the all error of the machining process, we must use the method of statistical analysis. It bases on a set of data of dimension of workpieces to deal with the data by the statistical analysis, we abstract the rule to find the reason of causing error and to deal with the prombles.

The mostly content of the paper is that use the pneumatic measuring instrument to measure the workpieces ;collect the dimension by data acquisition card.; compile the application to analyze the data. The system include three part: design the circuit of system, the program of the data acquisition and the program of disposition of data.

The circuit of system contain the pneumatic measuring instrument, the sensor, the data acquisition card and computer. The part of data acquisition use PCI-1710 data acquisition card and compile application to data acquisition. by platform of VC++. The part of disposition of data is the central body of system. By the software ,we achieve operation of database and use the method of statistical analysis to disposition of data in order to draw the normal distribution figure, point graph and histogram that can set standard dimension to compare the workpieces for graph to decide which is waster. By drawing graph to analyze the error of machining in the process of machining.

Keyword: pneumatic measuring instrument, PCI-1710 data acquisition card, sensor, machining error.

第一章 绪论

1.1 研究的目的及意义

制造技术是国民经济发展的支柱,世界上各个发达工业国经济上的竞争主要是制造技术的竞争。机械制造工业必须依靠信息科学、材料科学来改造自己,另一方面信息科学、材料科学也必须依赖于制造技术来取得新的发展。例如,在计算机的发展中最关键的问题是密集度的大规模集成电路与存储器件的制作,它们有赖于制造技术的发展^[1]。

美、日等国的专家已将制造科学与信息科学、材料科学、生物科学一起列为当今时代四大支柱科学。美国由于前几年缺乏对制造科学的重视,以至于他们许多产品缺乏竞争力。为此,美国克林顿政府已经批准将先进制造技术列为 1996 年国家预算唯一重点支持的科技领域,这已引起美国、日本、欧洲在制造技术上新一轮的竞争。

要重新认识机械制造业,尚包含着另一种意义,已经不是传统意义上的机械制造,即所谓的机械加工。它是集机械、电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、激光学、管理学等最新成就为一体的一个新兴技术与新兴工业。

检测技术是现代机械制造技术发展的根本保证,自动化生产中的许多信息需要通过检测来提供,生产中出现的各种加工误差和原始误差要通过检测去发现和防止,所需要的精度也要靠检测来保证。没有可靠的检测就没有现代化与自动化,更没有高效率和高质量。

机械制造业发展的特点是高新技术的综合利用,机械制造技术不仅在它的信息处理与控制等方面运用了微电子技术、计算机技术、激光加工技术,在加工机理、切削过程乃至所用的刀具也无不渗透着当代的高新技术,再也不是原来意义上的“机械加工”了。例如激光加工,通过控制光束与工件的相对运动,可以在一台机床上加工出孔、槽、二维、三维曲面等各种形状,完成钻、铣、镗等动作,它在 21 世纪初引起机械加工的一场新的革命。激光切割、焊接、裁剪、成形加工以及激光快速找正、激光测量等技术,已经在汽车工业中得到了广泛应用,并获得巨大经济效益。

机械制造技术向着自动化、集成化和智能化,精密工程,特种加工方法,快速成形制造,传统加工工艺的改造和革新等方向发展,其实质就是提高机械加工精度,提高加工效率,任何加工方法都不能避免存在加工误差,快速检测加工过程中的误差,可以提高机械加工精度,保证加工质量。

在机械加工过程中造成加工误差的原因相当多,我们不可能对各个原因进行逐一单因素分析,对单个工件的检验也不能反映整个加工过程中加工误差的性质和变化规律,并且单一工件的误差也不能代表整批工件的误差大小。要全面的反映加工过程中质量问

题,必须采用统计分析法。统计分析方法就是在生产现场内以一批工件的检测结果为基础,运用数理分析的方法去处理这些结果,从中提炼其中的规律,用以找出产生误差的原因和解决问题。本课题用气动量仪进行智能化的研究,对成批工件进行测量,通过计算机对数据进行采集,运用 VC++ 编制应用软件对数据进行数理统计分析,对工件进行常值系统误差分析和变值系统误差分析。

对零件几何量(尺寸、形状和相互位置、粗糙度等)测量,常用的测量方法有机械、电磁、光学、激光和气动等。

机械测量仪测量精度较低,影响测量的误差较多,人为的误差比重大,工作效率低,不能够进行精确测量。光学测量仪虽然精度较高,也能进行自动化测量,但是对环境要求较高,不能够很好的进行实时检测,且价格昂贵。利用压缩空气在流动过程中状态参量规律性变化的原理来进行的测量称为气动测量。气动测量是一种适应性较广的精密测量。采用气动测量系统,可以减小测量误差,提高测量的精度和效率,得到较好的技术经济效益。气动测量不仅用于被动测量,还可以应用于加工过程中的主动测量,为实现机械加工自动化创造条件^[4]。气动量仪相比之下有以下特点:

(1) 气动量仪可做接触、非接触测量。

气动量仪除可做任何长度参数的测量外,它的一个很突出优点是可做非接触测量。特别是被测表面不能接触或不允许接触的情况下,采用气动测量尤为优越。采用非接触测量,测量力为零,使测量误差减少。

(2) 可做特殊部位的测量。

精密长度测量,对于一般形状和长度的测量是比较方便的,但是对于一些特殊部位的零件(如过小的零件)和特殊形状(如深孔、小缝隙等)的测量,采用气动测量尤为方便。

(3) 气动测量倍率高,一般可达几千倍至少几万倍,适合于精密测量。

(4) 气动测量对环境的要求条件不高。

(5) 可实现多参数、多点位同时测量。

(6) 工作压力为中压以上的气动量仪能吹去吸附工件表面的油、水和灰尘等杂质,具有自洁作用,能提高测量精度。

(7) 气动测头与工件之间的间隙较大,不易磨损,使用寿命较长。

(8) 气动量仪操作简单,容易掌握。

(9) 稳定性好,倍率和位移的漂移小。

气动量仪是理想的选择,对气动量仪进行数字化和智能化研究,能够实现多工件实时检测,实现自动化测量和误差分析(包括分布图分析法和点图分析法)的要求,能够很好的通过波形显示来说明加工误差的变化规律和加工工艺的稳定性。

在全面质量管理中控制产品加工质量,判定某工艺是否稳定地满足产品的加工质量要求,主要是通过抽样调查,确定其工艺能力,判断工艺过程是否稳定的。应用分布图

和点图法，我们可以很好的找出工件加工误差的发展趋势和存在什么样的误差，加工尺寸的发展趋势，很好的找到误差来源，可以及时调整加工工艺，减少工件的加工误差，提高工件加工精度，并且大大提高了工件的合格率和生产效率。

数字化气动测量技术是一项集气动、电子、微机与检测技术于一体的机电一体化新技术。既有气动测量非接触、精度高、稳定性好的长处，又有测量结果数字化的优点，可方便地进行数据分析处理、数字显示与数据存储等。与传统的气动测量相比，数字化气动测量技术有以下特点：

采用微机技术，可以对气动测量的非线性进行线性修正。同样的精度条件下，量程增加 3-5 倍以上，可以提高测量精度。

采用智能化的数据处理手段，结合气动测量的特点，利用特殊软件，可以有效消除气源压力变化、环境温度变化、电参数变化等因素造成的测量数据的漂移，保证了测量的高度稳定性。

由于采用微机技术，很容易实现尺寸参数外的其它特殊参数的测量，特别是多点、多参数的实时测量及运算功能可以实现相关参数和垂直度、平行度、锥度、位移度、平面度等形位公差测量，这解决了在线测量的一大难题。

使数字化气动量仪智能化，使得对工件加工尺寸分析更加简洁，方便，直观，从而大大提高机械加工的效率和加工精度。本课题研究成果可替代原来的手工测量与画图，及对测量结果的人工分析可减小人为在线测量误差、提高工件的加工精度和工作效率，具有很高的使用性。

1.2 国内外研究状况^[2]

气动测量是一种较为古老而又成熟的精密测试技术。1914 年，世界上出现了反映空气压力变化的测量装置，1928 年，法国人梅纳逊（Mermeson）在比利时王国申请了气动量仪专利，而苏联声称在 1926 年之前就已经开始采用气动测量方法了。

美国最早使用低压水柱气动量仪，鉴于这种量仪在使用上有种种缺点，于是进行了中、高压气动量仪的研究。随着高性能的中高压空气稳压器的出现，终于从 1940 年前后开始进行高压量仪的实用研究和开发，随后作为生产现场用量仪在美国得到了推广和普及。特别是在 1941 年 Sheffield 公司研制成了浮标式气动量仪，随后，Federal 公司研制成差压式指针型气动量仪。1946 年 Shaffield 公司研制成含有气电转换器等测量元件的大规格的自动检验机和自动分选机。

在欧洲，很多国家如英国、法国、捷克斯洛伐克、瑞典等在水柱式气动量仪的基础上研制成了各种中、高压的指针型气动量仪，日本是在 1937 年左右引进气动量仪的，1950 年受美国的影响开始对高压式气动量仪进行研究，1953 年开始生产气动量仪。

我国 50 年代初期，从苏联引入了水柱式气动量仪，1958 年哈尔滨量具刀具厂开始

生产低压水柱式气动量仪,并开始研制浮标式气动量仪。成都量具刃具厂 60 年代开始生产薄膜式气动量仪。1960 年前后,上海柴油机厂、洛阳拖拉机厂等单位联合研制成功了利用差压式薄膜传感器和斜板发讯系统的针阀体中孔自动分选机。1965 年前后,大连气动量仪厂在大连工学院的协助下开始生产倾斜管式水银柱气动量仪,后来改型为立式水银柱气动量仪。在 1966 年之前,我国的气动量仪处于研制摸索的阶段。1966 年,中原量仪厂开始从日本株式会社东京精密仪器厂引进的浮标式气动量仪。但大都限于内、外径等简单参数的测量。大连组合机床研究所气动分所利用气动测量技术开发了多种综合测量机、自动分选机。

近年来,随着微电子技术的飞速发展,在数字化气动测量技术的研究中有了突破性进展。特别是利用该技术在自动化测量方面,研究开发了多项新产品。由于微电子技术应用于气动测量方面,这不仅发挥了气动测量精度高、成本低、操作简单、并且可以实现相对测量和非接触测量的优点,而且还综合了计算机计算能力强,处理速度快,能够实现数字显示等优点。但是大多数气动量仪主要是从国外进口,我国数字化气动量仪的研究主要是在扩展测量范围,提高气动量仪的使用范围,仅限于数字显示工件尺寸,很少在图形显示和数据存储方面进行研究。

数字化测量系统的发展趋势:精密自动化测量的需求导致数字电压表的产生,多点巡回测量又造就了数据采集系统,工业现场大范围多点测量使分布式数据采集系统诞生并获得应用。数字化测量系统的量程扩展和指标提高是必然趋势。数字化测量系统自身的应用技术,如集成电路工艺技术、制造技术、材料技术、计算机技术等的不发展变化和更新换代,同时推动数字化测量技术的不断变化和更新换代是必然的,如其集成化、功能化、模块化、组合化、通用化、标准化、智能化和网络化等发展趋势多源于此。经济性要求和价值规律的作用制约了数字化测量设备的无限制发展,并使其因应用场合的不同,而在指标性能上有所取舍和侧重。技术水平和工艺条件限制了数字化测量系统的发展水平。人类自身的舒适性、安全性和易用性要求,在不断推动和影响着数字化测量系统的发展。

1.3 本课题的研究内容

本课题主要内容是通过气动量仪对圆柱形零件进行测量,测量结果通过数据采集卡将数据保存到产品数据库,为统计分析提供数据源。另一部分利用 VC++编写应用软件对数据库进行操作,实现直方图、点图、分布图以及数据显示,通过 VC++编制数据采集模块、数据处理模块。通过绘制直方图、点图、分布图来分析加工过程中存在的误差,并与设定标准工件的尺寸值比较,判定工件是否合格,还要设计合理的硬件电路,使之适应各部分协调工作。本文将从以下几个方面进行研究:

1. 气动检测技术的研究

研究气动检测技术了解气动量仪的工作原理及其气动量仪电路,并设计相应的系统硬件电路。其中硬件电路中主要包括气动量仪,传感器,数据采集卡和计算机系统。通过硬件电路使得气动量仪对待测工件进行测量,经过数据采集卡采集数据,并使得计算机方便地调用数据。

2. 数据采集部分

数据采集部分是使用研华公司生产的数据采集卡,通过数据采集卡采集气动量仪检测到的数据,使用数据采集卡的前提要进行相应的软件和硬件安装,调试等工作,并对所要实现的功能进行编程。

PCL-1710 数据采集卡的使用软件主要分为以下三步:打开卡、数据采集和关闭卡。其中处理数据才是软件上的核心。流程图图 1-1 所示:

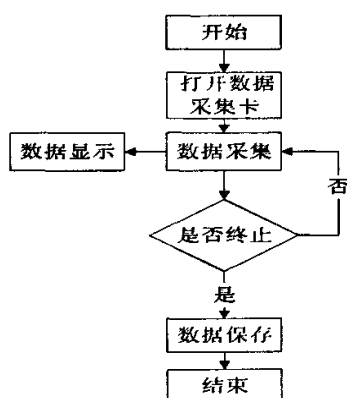


图 1-1 数据采集卡流程图

打开和关闭数据采集卡软件,在进行数据采集之前必须首先获得插入卡的数目和设备句柄,并打开卡,在数据采集完成后要关闭卡^[3]。

3. 数据处理部分

这也是本课题的主要工作,在此阶段通过软件实现数据存储,调用存储的数据进行统计分析,用数理统计的方法对数据进行处理,使之能够实现点图和分布图和正态分布图的波形显示,能够进行平均值和标准差值的计算,分析加工工件的尺寸变化规律,还能够对工件尺寸进行设定,通过图形查看是否存在不合格品,通过绘制图形来分析机械加工过程中存在的加工误差。数据处理模块按工作分成如下子模块组合实现数据处理功能。如图 1-2 所示:

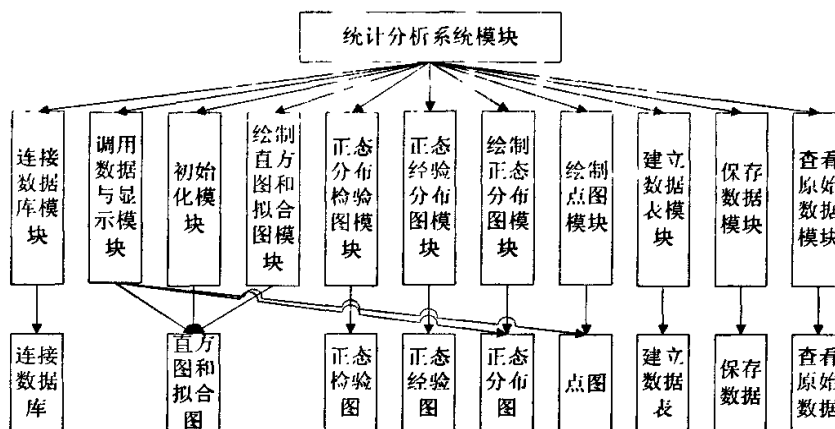


图 1-2 处理模块流程图

4. 系统测试与调试

系统线路组装和编程工作完成以后，对系统性能进行相应的调试和检测。首先通过对一组标准件进行测量，进行多次调试，修正系统存在的缺陷，最终能够使系统很好的，准确的显示相应的数据及图形，使各部分能够协调工作。

第二章 气动检测技术的研究

2.1 气动测量的理论基础

2.1.1 气体流量与有效端面^[2]

单位时间内通过某一空间曲面的流体量称为流量，此流体量可以是体积或质量，所以分为体积流量和质量流量。设某一空间曲面 S 是有效端面，如图 2-1 所示：

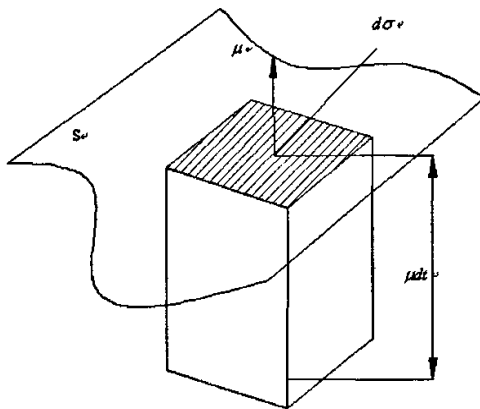


图 2-1 面积微量图

在 dt 时间内通过此断面 S 上的面积微小单元的 $d\sigma$ 的流体体积为 $dV = \mu d\sigma dt$ ，而体积流量为 $dQ = \frac{1}{dt} \mu d\sigma dt = \mu d\sigma$ 。所以通过曲面 S 的体积流量为

$$Q = \int \mu d\sigma \quad (2-1)$$

式中 μ —流体的流速。而通过曲面 S 的质量流量

$$M = \int \rho \mu d\sigma \quad (2-2)$$

式中 ρ —流体的密度。

如果流体运动是一个管流，且截面积为 F ，则由式(2-1)，(2-2)积分可得 $Q = \mu F$ ， $M = \rho \mu F$ 。如果流体运动是非定常流，因 $\mu = f(t)$ 是时间 t 的函数所以流量也是 t 的函数；若流体运动属于定常流，流速 μ 是常数，所以流量也是常数。

2.2 气体的流动特性

2.2.1 流体的连续性方程

在研究流体运动时, 我们假定流体连续的充满所在空间, 即没有空隙, 也没有汇成一点或源于一点的现象, 这一条件称为运动的连续性条件。

在连续性条件下, 根据质量不变定律, 对于任何一个空间的封闭曲面, 流出的流量与流入的流量如果不等, 必然会引起曲面内部流体密度的变化, 用数学方程描述, 可表达成下式:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} \right] = 0 \quad (2-3)$$

式中 u_x, u_y, u_z 分别为流体在空间直角坐标中沿 x, y, z 方向的分速度, 对于恒定流动, $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ 则式 (2-3) 成如下形式:

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} = 0$$

如果又是平面流动, $\frac{\partial u_z}{\partial z}$ 为 0, 则式为

$$\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} = 0 \quad (2-4)$$

若流体又是不可压缩的, 则 $\rho = \text{常数}$, $\frac{d\rho}{dt} = 0$, 则式为

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (2-5)$$

2.2.2 流量不变方程

假如流体的流动符合连续性条件, 我们考虑如图 2-2 所示。

沿流管的任意的两个截面 ω_1 和 ω_2 , 由于流体恒定, 流管表面及 ω_1, ω_2 构成了固定的空间封闭曲面, 因此其内部的流体密度恒定不变, 这样, 从 ω_1 流入的流体质量与以 ω_2 流出的流体质量相等, 即

$$\int_{\omega_1} \rho_1 u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} \rho_2 u_2 d\omega_2 \quad (2-6)$$

也可以写成

$$M = \int_{\omega} \rho u d\omega \quad (2-7)$$

这就是流量不变方程。

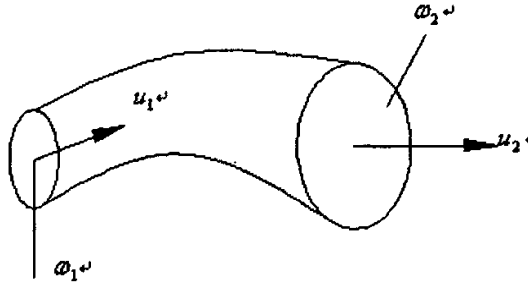


图 2-2 有效端面 ω_1 和 ω_2

如果流管有效断面内的流速相等, $u = v_1$, 则 $M = \rho v \omega = \text{常数}$ 。对于不可压缩流体, 因 $\rho = \text{常数}$, 所以 $Q = v \omega = \text{常数}$ (2-8)

从式 (2-8) 可看出, 对于不可压缩流体的恒定管流来说, 在任意一个截面, 流体的流速与有效断面积的乘积是一个常数。

2.2.3 气体的伯努力方程

气体沿流线的运动微分方程可以简化为

$$\frac{dp}{\rho} + d\left(\frac{u^2}{2}\right) = 0 \quad (2-9)$$

式中略去了气体自重对运动的影响。

不可压缩气体的密度 ρ 是个常数, 对式 (2-9) 积分, 可得 $\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} = c_1$

上式两边同时除以重力加速度 g , 得

$$\frac{p}{r} + \frac{u^2}{2g} = c \quad (2-10)$$

式中 c_1, c -常数, 且 $c = c_1 g, r = \rho g$, 上式也可以表示为

$$\frac{p_1}{r_1} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{r_2} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (2-11)$$

式 (2-10)、(2-11) 称为不可压缩流体的伯努力方程, 式中 $\frac{p}{r}$ 表示气体具有的位能 (压

强), $\frac{u^2}{g}$ 表示气体运动时具有的动能。伯努力方程表示不可压缩流体的恒定流的位能和动能可以相互转换, 但其总和不变。

如果流体气体是可压缩的, 密度 ρ 就是一个变量, 且气体的流动是等熵的, 即无摩擦损失的理想绝热流动。按状态方程中的绝热方程, 应有 $\frac{p}{\rho^k} = \text{常数}$, 设 $\frac{p}{\rho^k} = c_1$, 则

$$p = c_1 \rho^k \quad (2-12)$$

将 $dp = c_1 k \rho^{k-1} d\rho$ 代入 (2-9) 式得

$$\frac{c_1 k}{k-1} d(\rho^{k-1}) + d\left(\frac{u^2}{2}\right) = 0$$

两边积分得 $\frac{c_1 k}{k-1} \rho^{k-1} + \frac{u^2}{2} = c_2$ 将式 (2-12) 代入上式得

$$\frac{k}{k-1} \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2g} = c \quad (2-13)$$

式 (2-13) 也可以写成

$$\frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (2-14)$$

式中 k 一定熵指数, 对空气, $k=1.41$ 式 (2-13)、(2-14) 即为可压缩气体的伯努力方程。

2.2.4 气体状态参数与流速的关系

(一) 音速与马赫数

音速即声音在介质中传播的速度, 音速与介质压力、密度的关系为

$$a^2 = \frac{dp}{d\rho} \quad (2-15) \text{ 式}$$

中 a —音速。

如果传播声音的介质是空气, 因为音速很高, 可以看作绝热过程, 根据绝热过程状态方程式 $p_1 = c_1 p^k$, 两边微分得 $dp = c_1 k \rho^{k-1} d\rho = \frac{kp}{\rho} d\rho$, 所以 $\frac{dp}{d\rho} = \frac{kp}{\rho}$ 代入式 (2-15) 得

$$a^2 = \frac{kp}{\rho} \quad (2-16)$$

将气体的状态方程 $p = \rho g R T$ 代入式 (2-16) 得

$$a^2 = kgRT \text{ 或 } a = \sqrt{kgRT} \quad (2-17)$$

式中 R — 气体常数, 对空气 $R = 29.23 \text{ kg} \cdot \text{m} / (\text{kg} \cdot \text{K})$; g — 重力加速度; k — 定熵指数, 对空气: $k = 1.41$; T — 热力学 (绝对) 温度 (K); 将气体状态为空气时 R , k 值代入 (2-17) 式, 可得 $a = 20.1\sqrt{T} = 20.1\sqrt{273 + t(\text{m}/\text{t})}$ 。气体流速与音速之比称为马赫数,

即 $M = \frac{u}{a}$ 。 $M < 1$, 即气体的流速小于音速时, 称为亚音速流动; $M = 1$ 时, 即气体流速等于音速时, 称为临界状态; $M > 1$ 时, 即气体流速大于音速时, 称为超音速流动。马赫数 M 是判别气体流动状态的一个很重要的参数。

(二) 滞止值与临界条件

当气体速度为零时, 气体处于静止状态, 我们称这种状态为“滞止”, 滞止状态时的气体状态参数值称为滞止值。

由气体的状态方程可推导出气体状态参数的流动值与它的等熵滞止值是有一定关系的, 由气体的状态方程式可得

$$\frac{k}{k-1} RT_1 \frac{u_1^2}{2g} = \frac{k}{k-1} RT_2 \frac{u_2^2}{2g} \quad (2-18)$$

设截面 1 为滞止状态, 截面 2 为流动状态, 即 $T_1 = T_0, u_1 = 0, T_2 = T, u_2 = u$, 代入 (2-18) 得

$$\frac{k}{k-1} RT_0 = \frac{k}{k-1} RT + \frac{u^2}{2g}, \quad T_0 - T = \frac{k-1}{kR} \frac{u^2}{2g}, \quad \frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} \frac{u^2}{kgRT}$$

将式 (2-17) 代入上式, 得

$$\frac{T_0}{T} = \left(1 + \frac{k-1}{2} \frac{u^2}{a^2}\right) = 1 + \frac{k-1}{2} M^2 \quad (2-19)$$

$$\text{同理可以推导出 } \frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (2-20)$$

在气体流动的某个截面上, 流速达到的音速, 即 $M = 1$ 。流速达到临界状态, 这时该截面上的各状态参数称为临界值。以 $M = 1$ 代入上式, 可以通过式 (2-19)、式 (2-20), 可以得到临界值 (下角为 c) 与滞止值 (下角为 0) 的关系如下

$$\frac{T_0}{T_c} = 1 + \frac{k-1}{2} = \frac{k+1}{2}, \quad \frac{p_0}{p_c} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

对于空气, $k = 1.41$, 代入上式, 得

$$\frac{p_0}{p_c} = \left(\frac{1.41-1}{2} \right)^{\frac{1}{0.4}} = 1.894, \quad \frac{p_c}{p_0} = 0.528 \quad (2-21)$$

这就是流速达到临界状态的条件。当气流流过某个截面的前后的压力比大于或等于 1.894 时, 流过此截面的流速就达到了音速, 即流速达到了临界状态。

2.2.5 气流在节流孔的管道内流动

如图 2-3 所示, 在管道中有一节流孔, 其面积为 F_2' , 气流通过节流孔时, 产生缩流处的最小面积为 F_2 。我们在节流孔的前面取一小截面 I, 在此截面上的流速为 u_1 , 压力为 p_1 , 截面面积为 F_1 , 密度为 ρ_1 ; 在缩流最小直径处取截面 II, 该截面处的面积为 F_2 , 压力为 p_2 , 通过此截面的流速为 u_2 , 密度为 ρ_2 , 下面按流速的大小分几种情况来求通过节流孔的流量。

(1) 流速较小, 马赫数 $M \leq 0.3$

如果马赫数较小, 可看作不可压缩流体, 此时 $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, 即 $r_1 = r_2 = r$, 根据不可压缩流体的伯努力方程 (2-11) 和流量不变方程 (2-7) 可得

$$u_2' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{F_2'^2}{F_1'^2}}} \sqrt{\frac{2g}{r} (\rho_1 - \rho_2)}$$

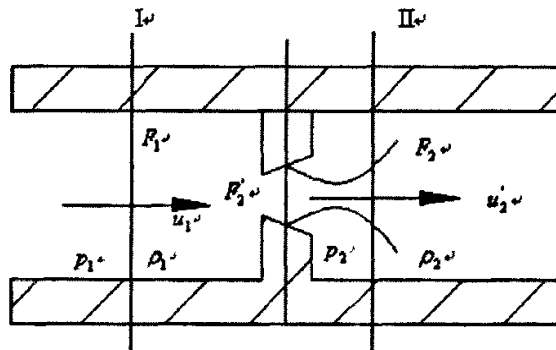


图 2-3 管道节流孔的流动

令 $u = \frac{F_2'}{F_2}$, $F_2 = uF_2'$ (u 为缩流系数), 再令 $\frac{F_2'}{F_1} = m$ (m 为开口比), 代入上式, 得

$$u_2' = \frac{1}{\sqrt{1 - u^2 m^2}} \sqrt{\frac{2g}{r} (\rho_1 - \rho_2)} \quad (2-22)$$

对于实际气流, 因具有粘性, 所以在截面 II 上的流速 u_2 要比计算的小, 设 $u_2 = \xi u_2'$ 为速度系数, 则实际流速为

$$u_2 = \frac{\xi}{\sqrt{1-u^2 m^2}} \sqrt{\frac{2g}{r}(\rho_1 - \rho_2)} \quad (2-23)$$

通过截面 II 的体积流量

$$Q = u_2 F_2 = \frac{u\xi}{\sqrt{1-u^2 m^2}} F_2' \sqrt{\frac{2g}{r}(\rho_1 - \rho_2)}$$

令 $c = \frac{u\xi}{\sqrt{1-u^2 m^2}}$, 则

$$Q = c F_2' \sqrt{\frac{2g}{r}(\rho_1 - \rho_2)} \quad (2-24)$$

c 为流量系数, 一般为试验确定。质量流量为

$$M = Q\rho = c F_2' \sqrt{2\rho(\rho_1 - \rho_2)} \quad (2-25)$$

(2) 流速的较高的亚音速流

因流速比较高, 必须考虑气体的可压缩性, 对于图 2-3 所示的截面 I 和 II, 根据可压缩气体的伯努力方程 (2-14) 可得

$$\frac{1}{2g}(u_2^2 - u_1^2) = \frac{k}{k-1} \left(\frac{p_1}{r_1} - \frac{p_2}{r_2} \right) \quad (2-26)$$

因流动是绝热的, 所以 $\frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}$ (2-27)

根据流量不变方程, 流过截面 I 和 II 的重量流量应相等, 即

$$u_1 = \frac{r_2}{r_1} \frac{F_2}{F_1} u_2' = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} u_2' \quad (2-28)$$

将式 (2-27), (2-28) 代入式 (2-26), 得

$$u_2' = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} u^2 m^2}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{r_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (2-29)$$

流过截面 II 的实际流体的流速 $u_2 = \xi u_2'$ 所以流过截面 II 的实际流体的质量流体和体积流体分别为

$$M = \frac{u \xi F_2'}{\sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} u^2 m^2}} \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 \rho_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (2-30)$$

$$Q = \frac{u \xi F_2'}{\sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} u^2 m^2}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{r_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (2-31)$$

为简化计算, 令

$$c = \frac{u \xi}{\sqrt{1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} u^2 m^2}}, \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{p_1}{p_2} \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}}$$

则式 (2-30)、(2-31) 分别简化为

$$M = c \varepsilon F_2' \sqrt{2 \rho (p_1 - p_2)}, \quad Q = c \varepsilon F_2' \sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)}{r_1}}$$

(3) 气流为音速流动

如果压力比大于或者等于 1.894, 则此时截面 II 的流速达到音速, 则 $u_2^2 = uc = ac$ 。这种情况下的流量公式与前述滞止状态下流经节流孔的流量公式相同, 即

$$M = u F_2' \sqrt{K \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}} p_1 \rho_1}, \quad Q = u F_2' \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \frac{p_1}{r_1}}$$

2.3 气动量仪的工作原理和特性

2.3.1 气动量仪的基本气路

气动量仪主要用于测量长度量及能转换成长度量的其它几何量, 大多数气动量仪的基本气路方框图如图 2-4 所示。工件被测参数的变化量由气动量仪的测量部转换成气体参数 (压力, 流量等) 的变化量, 通过量仪放大后, 在指示部进行指示, 压缩空气从气源流出后, 经过滤附件进入稳压器减压、稳压后由放大、指示部和流量部流入大气。

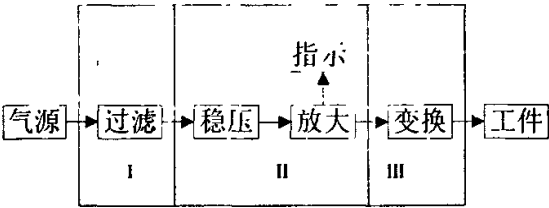


图 2-4 气动量仪的基本气路框图

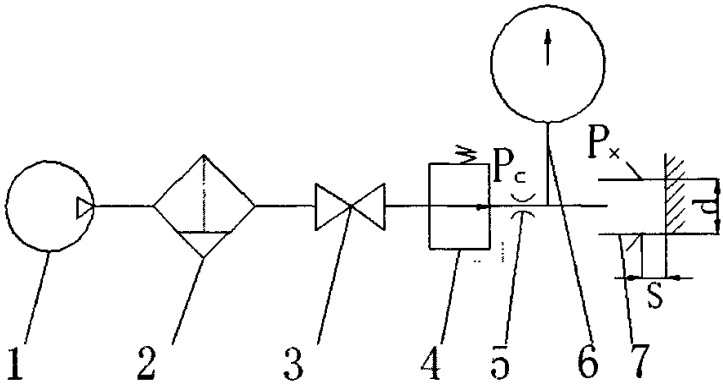
图 2-4 中 II、III 两部分构成气动量仪整体，过滤部分 I 是量仪的附件，一般气动量仪 II、III 两部分在结构上是独立的，常常称部分 II 为气动量仪本体，而部分 III 则常称为气动侧头。

气动量仪按工作原理不同可以分为：(1) 流量式气动量仪；(2) 压力式气动量仪；(3) 流速式气动量仪；(4) 真空式气动量仪，其中压力式气动量仪又分为：a 背压式气动量仪；b 差压式气动量仪。本文主要研究的是压力式气动量仪。

2.3.2 压力式气动测量的工作原理及理论特性

2.3.2.1 压力式气动测量的工作原理^[2]

此课题使用背压式气动量仪，背压式气动量仪的气体流通原理图如下：



1—气源 2—滤清器 3—进气阀 4—稳压器 5—节流孔 6—压力指示计 7—测头

图 2-5 气体流通原理图

经过压缩机压缩空气从气源 1 经过过滤器 2 过滤灰尘、水、油等杂质后进入气阀 3 进入稳压器 4，稳压器的输出压力为 p_c 。压力为 p_c 的压缩空气经节流孔 5 流向测头（图示为出气孔与被测工件表面），并有出气孔流入大气。所谓背压就是节流孔 5 与出气孔之间的管段中的气流的压力 p_x 。经过试验表明，出气孔与工件表面的间隙 S 与背压 p_x 呈一一对应的函数关系，因此可以通过压力计 6 读出背压 p_x 值来获得被测参数 S 的大小，

这个就是背压式气动量仪的基本原理。

背压 p_x 的指示有各种方式, 其功能均是将背压的变化量 Δp 转换成指示元件 (如指针、浮标, 水银柱等) 的位移量 ΔL 。在此, 不同的指示方式就形成了不同的气动量仪, 如指针式气动量仪, 液柱式气动量仪。

所谓的背压式气动量仪至少由两个转换环节构成, 即 $\Delta S \rightarrow \Delta p_x \rightarrow \Delta L$ 。其中, $\Delta S \rightarrow \Delta p_x$ 称为气动变换环节, $\Delta p_x \rightarrow \Delta L$ 称为放大指示环节。背压式气动量仪的倍率也由这两个环节的传递函数所决定, 即 $K = \frac{\Delta L}{\Delta S} = \frac{\Delta L}{\Delta p_x} \frac{\Delta p_x}{\Delta S}$ 。式中 $\frac{\Delta p_x}{\Delta S}$ 称为气动系统的变

换倍率, 而 $\frac{\Delta L}{\Delta p_x}$ 称为指示变换倍率。有些气动量仪背压式气动量仪, 其放大指示环节本

身由若干个环节组成, 但是所有的气动量仪的原理是相同的。

2.3.2.2 理论特性

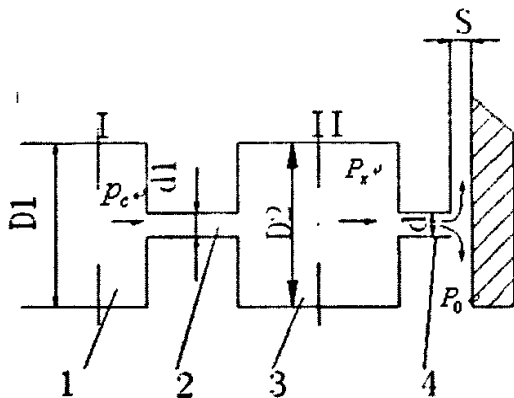
压力式气动测量系统图如图 2-6 所示, 经稳压后压力为 p_c 的压缩空气进入稳压气室, 经孔径为 d_1 的节流孔 2 (也称进气喷嘴和主喷嘴) 进入气室 3 后, 由测量喷嘴 4 和挡板 (一般为工件表面) 之间的间隙流入大气。下面讨论压力 p_x 与间隙 S 之间的关系。由于工作压力 p_c 大小不同, 通过节流孔的空气流速不同, 使得函数关系不同, 由于测量系统一般都是中高压的气动系统, 因此下面讨论中高压的气动测量的情况。

量仪的工作压力 p_c 大于 $0.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, 通过节流孔或测量喷嘴的气流速度的 M 将大于 0.3。这时必须考虑空气的压缩性, 随着量仪工作压力的提高, 节流孔或者测量喷嘴前后的压差增大, 就可能是的流过此处的气流流速达到临界状态 (即 $M = 1$), 但一般来说, 不会大于音速。

由流体力学公式 (2-21) 可知: 当 $\frac{p_c}{p_x} \geq 1.894$ 时, 流过节流孔的气体流速达到临界

状态; 当 $\frac{p_x}{p_0} \geq 1.894$ 时, 流过测量喷嘴的气体流速达到临界状态。 p_c, p_x, p_0 分别为以绝

对压力表示的工作压力, 背压和大气压。



1—稳压气室 2—节流孔 3—气室 4—测量喷嘴

图 2-6 气动测量系统

根据节流孔处的流速和测量喷嘴处的流速是否达到临界状态，可以将中高压气动测量的流动状态分成四种工况，如表 2.1 所示。

背压 p_x 时是测量间隙 S 的函数。一般来说，当测量间隙 S 由 0 逐渐增大时，背压 p_x 将由 p_c 逐渐下降并趋势于零（大气压力），在工作状态下的气动量仪，在何种工况下工作是由工作压力 p_c 和测量间隙 S 所决定的。

表 2.1 中高压气动测量的四种工况表

工况	p_c / p_x	节流孔的流动状态	p_x / p_0	测量喷嘴的流动状态
I	< 1.894	亚临界状态	< 1.894	亚临界状态
II	≥ 1.894	临界状态	< 1.894	亚临界状态
III	< 1.894	亚临界状态	≥ 1.894	临界状态
IV	≥ 1.894	临界状态	≥ 1.894	临界状态

如果工作压力较低， $p_c \leq 0.894 \times 10^5$ （单位为 Pa，下略）时，由表可知 p_x 的整个变化范围（ $0 \sim p_c$ ）内，量仪始终在工况 I 下工作。

如果工作压力较高，在 $0.894 \times 10^5 < p_c < 2.587 \times 10^5$ 时，测量间隙 S 由 0 逐渐增大，而背压 p_x 由 p_c 逐渐下降至 $p_x \geq 0.894 \times 10^5$ 时，量仪在工况 II 下工作；当背压 p_x 下降至 $(0.528 \times 10^5 p_c - 0.472 \times 10^5) < p_x < 0.894 \times 10^5$ 时，量仪进入工况 I 工作；当背压继续下降至 $p_x < (0.528 \times 10^5 p_c - 0.472 \times 10^5)$ 时，量仪进入工况 II 工作。

如工作压力 $p_c = 2.587 \times 10^5$ 时，系统只有两种情况，当 $p_x \geq 0.894 \times 10^5$ 时，在工况 II 下工作；当 $p_x < 0.894 \times 10^5$ 时，在工况 I 下工作。

当工作压力 $p_c = 2.587 \times 10^5$ 时，便有三种情况。测量间隙较小，背压 $p_x > (0.528 \times 10^5 - 0.472 \times 10^5)$ 时，系统在工况 III 下工作；测量间隙增大，背压降低，当

$0.894 \times 10^5 \leq p_x \leq (0.528 \times 10^5 p_c - 0.472 \times 10^5)$ 时, 系统在工况 IV 下工作; 间隙进一步增大, $p_x < 0.894 \times 10^5$ 时, 系统在工况 II 下工作。

因为亚临界状态与临界状态下气体流过节流孔的流量公式是不同的, 所以不同工况系统的特性不同。

根据流体力学知识, 通过某截面的亚临界状态的流量公式为

$$G = cF \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \rho_1 r_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

通过某一截面的临界状态下的气体流量公式为 $G = cF \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_1 r_1}$

式中 G —流过截面的重量流量; c —流量系数; F —截面积; k —定熵指数, 对空气 $k = 1.4$; p_1 —截面前的压力 (绝对压力); p_2 —截面后的压力 (绝对压力); r_1 — p_1 下的气体重度。利用以上流量公式, 可以推导出不同情况下背压 p_x 与测量间隙 S 的函数关系。

(一) 工况 I

气体流过节流孔的流量为 $G_1 = c_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_c r_c \left[\left(\frac{p_x}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_x}{p_c} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$, 式中 c_1 —

流过节流孔时的流量系数; d_1 —节流孔直径; p_c —工作压力。通过喷嘴挡板处的流量为

$G_2 = c_2 \pi d S \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_x r_x \left[\left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$, 式中 c_2 —喷嘴挡板处的流量系数; d —

测量喷嘴直径; S —喷嘴挡板处的间隙; r_x —是 p_x 下的气体重度; p_0 —大气压 (绝对大气压)。

根据流体的联系性原理, $G_1 = G_2$, 并化简得

$$c_1 \frac{d_1^2}{4} \sqrt{\frac{p_c r_c}{p_x r_x}} \sqrt{\left(\frac{p_x}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_x}{p_c} \right)^{\frac{k+1}{k}}} = c_2 d S \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (2-32)$$

由于 p_c 气室与 p_x 气室的温度是一致的。根据气体状态方程, 有 $\frac{r_c}{r_x} = \frac{p_c}{p_x}$, 代入式 (2-32) 后, 得

$$S = \frac{\left[\left(\frac{p_0}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}}}{\frac{c_2 d}{c_1 \frac{d_1^2}{4}} \left[\left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2-33)$$

式 (2-33) 为工况 I 下背压 p_x 与间隙的反函数式, 式中 p_0, k 是常数; p_c, d_1 、系统设定的参数; c_1, c_2 对于一定的结构的测量系统也是常数。设 $A = \frac{c_2 d}{c_1 \frac{d_1^2}{4}}$ 经过整理并展

开化简, 得

$$p_x = p_c - \frac{p_c \left[\left(\frac{p_0}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_c} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right] A^2 S^2}{\frac{k-1}{k} + \left[\frac{2k-2}{k} \left(\frac{p_0}{p_c} \right)^{\frac{2}{k}} - \frac{k-1}{k} \left(\frac{p_0}{p_c} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right] A^2 S^2} \quad (2-34)$$

式 (2-34) 为近似的工况 I 下流过节流孔的气流流速为音速, 达到了临界状态, 而流过喷嘴的气流为亚临界状态。

(二) 工况 II

流过节流孔的流量为

$$G_1 = c_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_c p_x} \quad (2-35)$$

流过测量喷嘴挡板处的空气流量为

$$G_2 = c_2 \pi d S \sqrt{2 \rho_x r_x \left[\left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right] \frac{k}{k-1}} \quad (2-36)$$

因为是连续流动 $G_1 = G_2$, $\frac{r_c}{r_x} = \frac{p_c}{p_x}$, 化简得

$$\frac{c_2 d S}{c_1 \frac{d_1^2}{4}} = \frac{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{k}{k+1}} \frac{p_c}{p_x}}{\sqrt{\frac{k}{k-1}} \sqrt{\left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{k+1}{k}}}} \quad (2-37)$$

设 $A = \frac{c_2 d}{c_1 \frac{d_1^2}{4}}$, $B = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{k}{k+1}}$ 代入 (2-37) 为工况 II 下背压 p_x 与间隙 S 的

函数式。

(三) 工况 III

由表 2.1 知工况 III 下流过节孔的气体流速是亚临界状态, 流过喷嘴挡板处的气体流速呈临界状态, 根据不同状态下的流量公式, 流经节流孔的流量 G_1 和流过喷嘴挡板的流量 G_2 分别为

$$G_1 = c_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \sqrt{2g p_c r_c \left[\left(\frac{p_x}{p_c}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_x}{p_c}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right] \frac{k}{k-1}}, \quad G_2 = c_2 \pi d S \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_x r_x}$$

因 $G_1 = G_2$, $\frac{r_c}{r_x} = \frac{p_c}{p_x}$, 化简得

$$\frac{c_2 d S}{c_1 \frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{\sqrt{\frac{k}{k-1}} p_c \sqrt{\left(\frac{p_x}{p_c}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_x}{p_c}\right)^{\frac{k+1}{k}}}}{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{k}{k+1}} p_x} \quad (2-38)$$

设 $A = \frac{c_2 d}{c_1 \frac{d_1^2}{4}}$, $B_1 = \frac{\sqrt{\frac{k}{k-1}}}{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{k}{k+1}}}$ 代入 (2-38) 化简并整理得

$$p_x = p_c \left[0.5 + 0.5 \left(1 + 4 \frac{A^2}{B_1^2} S^2 \right)^{0.5} \right]^{\frac{k}{1-k}} \quad (2-39)$$

(四) 工况 IV

由表 2.1 可知工况 IV 下流过节流孔和流过测量喷嘴挡板的气流均为临界状态, 所以流过节流孔和喷嘴挡板处的气体流量分别为

$$G_1 = c_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_c r_c}, \quad G_2 = c_2 \pi d S \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{2g \frac{k}{k+1} p_x r_x}$$

由于 $G_1 = G_2, \frac{r_c}{r_x} = \frac{p_c}{p_x}$ 化简整理得

$$c_1 \frac{d_1^2}{4} = c_2 d S \frac{p_x}{p_c}$$

故

$$p_x = p_c \frac{c_1}{c_2} \frac{d_1^2}{4d} \frac{1}{S} \quad (2-40)$$

式 (2-40) 的工况 IV 下测量系统的背压 p_x 与测量间隙的函数式。

从以上四种情况下, 推导出的 $p_x \sim S$ 的函数关系式可以看出, 系统中的测量压力 p_x 与工作压力 p_c 成正比, 与测量间隙 S 成反比, 无论在何种工况下, 背压 p_x 都是间隙 S 的单值函数。这些函数式是以喷嘴挡板的流出面积为 $\pi d S$ 的前提下推导出来的, 在测量过程中, 如果测量间隙 S 从小到大变化, 压力 p_x 的值也随之而变化, $\frac{p_c}{p_x}, \frac{p_x}{p_0}$ 的值也随 S 而变化, 因而其工作点也会从一个工况移到另一个工况, 所以测量系统的工况是由测量间隙 S 决定的。

将 p_c, d_1, d 的具体值代入式, 可得出气动系统的理论特性曲线, 图 2-7 为 $p_c = 0.1 \text{ MPa}, d_1 = 0.8 \text{ mm}, d = 1.5 \text{ mm}$ 时的理论 $P_x - S$ 特性曲线。

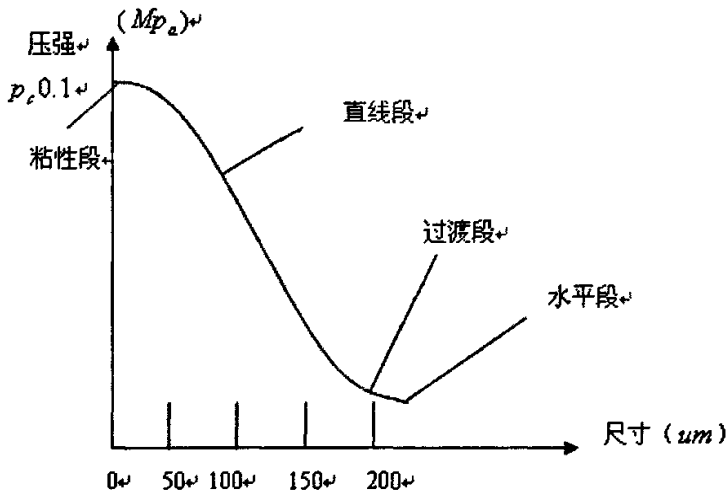


图 2-7 $P_x - S$ 特性曲线

从图 2-7 中可以看出, 气动测量的特性曲线一般均由粘性段, 直线段, 过渡段和水

平段四部分组成。粘性段的测量间隙很小的部分，如在 0.02mm 一下，由于空气粘性的影响， p_x 曲线呈明显的上凸形非线性，这部分非线性太大，一般不用；直线段是 $p_x - S$ 曲线的中间基本呈直线的部分，一般在 0.2mm 以下，这部分是可以供测量使用的；过渡段是直线部后的下凹形非线性段，这一段曲线各点的斜率小，而且是变数，所以一般也不在这部分测量；水平段即剩余压力部分，这一曲线基本呈水平，压力已是与间隙无关的常数，因此这一段不可使用^[6]。

本文以后所讨论的气动式测量，就是利用气路系统的这一 $p_x \sim S$ 变换特性，将测量间隙变化转换成压力 p_x 的变化，通过传感器将压力的变化转换成电信号，然后经过后序处理便可知其线性范围及其精度。

2.4 气动检测系统的设计

本检测系统是一个完整的系统，利用气动检测技术对工件进行气动测量，通过数据采集卡进行数据采集，保存到指定的数据库，完成数据采集。利用计算机进行操作控制，运用 VC++ 汇编语言编写应用软件进行相应的数据处理，实现测量尺寸的数据显示，对数据进行统计分析。通过绘制直方图，分布图和点图等图形使之能够直观的观测到机械加工工程中所存在的加工误差，统计系统分析能够找到误差的根源，了解误差的发展方向。本检测系统以数据采集卡对数据进行采集，通过数据采集卡和 VC++ 软件运用计算机连接进行相应的数据处理。检测系统设计如图 2-8：

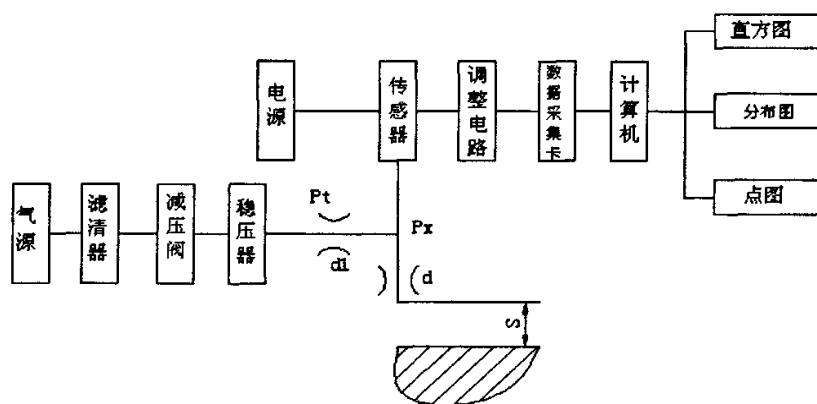


图 2-8 气动检测系统

本测量系统是通过压力式气动测量，将气动测量系统中的喷嘴与挡板之间的间隙变化转换为气路中压力的变化，这一变化经过压力传感器转变成电信号的变化。由于电信号比压力信号更易于测量和处理，所以对电信号进行采集和处理就可以很方便的进行精度分析和误差修正。

2.4.1 气动测量系统元件的选择^[14]

1.气源采用空气压缩机产生的压缩空气，压力可以设置为 0.4MPa ；

2.滤清器采用 QSL 型空气过滤器，其分水效率大于 75%，滤灰效率大于 95%，用于滤去灰尘、油水等杂质；

3.为了使空气稳压器的输出稳定，减少测量系统中压力的波动对测量结果的影响，在空气稳压器后面加上减压阀，使通过它的压缩空气的压力稳定在 0.2MPa 左右；

4.空气稳压器的选择

空气稳压器是气动测量系统的主要部件之一，除了真空式气动测量，大多数测量系统结构都需要稳定的工作压力。空气稳压器根据结构可以分为水管式稳压器，油缸重锤式稳压器，机械式稳压器；前两种稳压器有空气中含有杂质，不易移动，精度不高等缺点，不适用于自动测量系统，机械式稳压器具有结构简单，工作可靠，稳压精度高，成本低等特点，所以本系统采用无锡金海量仪厂的 QWP-2 型机械式稳压器为：

- | | |
|-----------|--------------------------|
| (1)常用输入压力 | 0.21MPa |
| (2)最大输入压力 | 0.7MPa |
| (3)输出压力 | $0\sim 0.14\text{MPa}$ |
| (4)稳压精度 | 0.1% |
| (5)灵敏度 | 70Pa |
| (6)长时间稳定性 | $90\text{Pa}/15\text{h}$ |

5.压力传感器的选择

压力传感器是系统中主要的部件，传感器的性能对测量系统的影响很大，由于本课题要求的精度为 $1\mu\text{m}$ ，测量精度要求很高，所以希望传感器的灵敏度高，精度高重复性好。压力传感器类型很多，常见的压力传感器有金属应变片式压力传感器，压磁式压力传感器，容式压力传感器，压电式压力传感器还有压阻式压力传感器。对这些压力传感器进行比较，选择压阻式压力传感器。本测量系统采用的是麦克传感器有限公司的 MPM 388 型压阻式压力变送器，该传感器是将固态压阻压力敏感芯片封装在管座和压力接口中，它利用半导体硅材料的压阻效应，实现压力信号与电压信号的转换，在这个硅元件的膜片上用离子注入的方法形成电阻并连接成惠斯登电桥。当被测介质的压力通过压力直接作用到膜片上时，电阻值发生变化并且产生一个与作用压力成正比的线性变化的输出信号，所以可以实现对压力的准确测量。

压阻式压力变送器，采用激光调阻设备对产品进行零点和温度补偿，采用计算机自动测试性能参数。它的测量范围大，能检测 10Pa 的微压，也可检测几十兆 Pa 的高压，因此广泛地应用于国民经济领域中各种精密压力的测量和控制，下面是 MPM 388 型压力变送器的各项指标为：

- (1) 电源 24VDC

- (2) 输出信号 二线选择 $4\sim 20\text{mA}$
- (3) 电压量程为 选择 $0\sim 0.1\text{MPa}$
- (4) 零位 4.00mA
- (5) 灵敏度 $160.0\frac{\text{S}}{\text{P}}$
- (6) 线性 $< \pm 0.2\%FS$
- (7) 最大压力 0.15MPa
- (8) 温度 $0\sim 50^\circ\text{C}$

6. 压力传感器调整电路

本课题使用的压力传感器为麦克公司的 MPM388 型压力变送器，其输出为 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电信号；且频率甚低。在调理电路中必须包括两步变换： I/V 转换电路，滤波电路。

(1) I/V 转换电路

考虑到后续电路中 A/D 板的要求，调理电路的输出必须在 $\pm 5\text{V}$ 或 $0\sim 10\text{V}$ 范围内。这里采用裸电阻式 I/V 转换电路，使输出在 $\pm 5\text{V}$ 范围内，如图 2-9 所示：

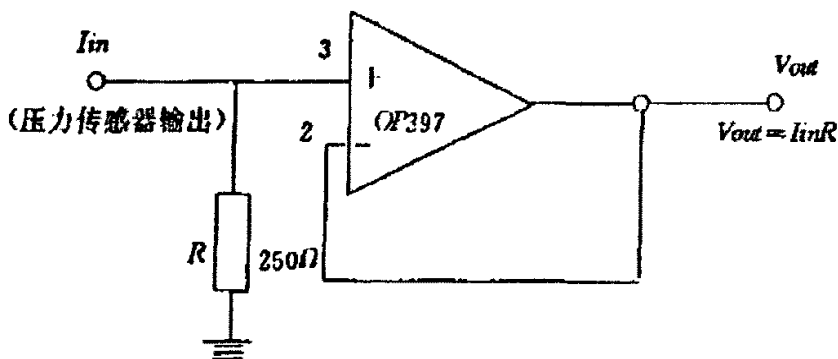


图 2-9 电流电压转换电路

输入电路直接流过基准电阻 R ，输出电压 $V_{out} = I_{in} R = 250I_{in}$ ，显然 $1\text{V} \leq V_{out} \leq 5\text{V}$ ，满足 A/D 输入条件。

(2) 滤波电路

压力变送器信号经 I/V 转换后为一直流电压信号，其中包含有干扰和其它噪声，为此必须进行低通滤波去除各种频率的干扰，由于本课题精度的要求，故设计出 $1\text{HZ} * 4$ 级点低通滤波器，如图 2-10 示。

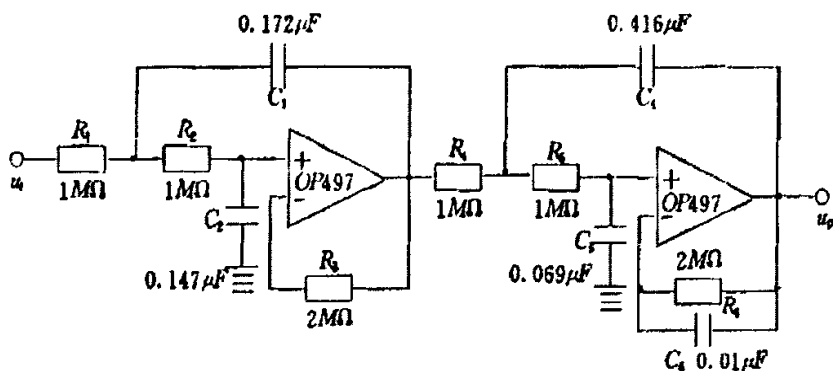


图 2-10 低通滤波器

(3) PCI-1710 数据采集卡

本系统的数据采集使用研华公司生产的 PCI-1710 系列数据采集卡，数据采集卡有信号调理电路，多路模拟开关、采样/保持电路，D/A 和 A/D 转换功能，详细见第三章。

2.5 本章小结

本章通过研究气动检测技术以及气体流动特性，了解气动检测技术的工作原理与工作特性。根据课题需求，对背压式气动量仪进行研究，设计出气动检测系统线路图，气动检测主要认为就是对工件进行参数化测量，取得需要的参数值，与后面的数据采集部分和数据处理部分组成一个完整的系统。

第三章 数据采集及其编程

3.1 数据采集基本原理

PC_Based Control 技术是融合 PC 技术、信号量测量、分析技术、控制技术、通讯技术于一体的高性能测量与控制技术,用于信号测量、工业过程数据采集与控制、运动控制、通讯控制等。包括工业电脑平台、功能卡和应用软件。通过插入各种功能卡和编程软件,形成功能强大的数据采集系统、通讯控制器和运动控制系统。

近年来,PC_Based Control 技术向着更快速、更精确的测控方向发展。PC_Based Control 核心技术包括^[3]: ①Compact PCI; ②高速采集技术; ③与传统测试仪器联网; ④PC_Based 运动控制系统; ⑤易于使用的编程方式: 虚拟仪器编程, 控件, 组态式开发; ⑥易于使用和调试。

数据采集与控制系统的的基本任务是物理信号(电流或者电压)的产生或测量。但是计算机系统能够测量物理信号, 必须使用传感器把物理信号转换成电信号(电压或者电流信号)。有时不能把被测信号直接连接到数据采集卡, 而必须使用信号调理辅助电路, 先将信号进行一定的处理。总之, 数据采集与控制系统是硬件板卡/远程采集模块的基础上借助软件来控制整个系统的工作(包括采集原始数据、分析数据、给出结果等)。

3.2 数据采集卡

以往的数据采集都是通过放大器、整流、滤波、A/D 转换器和计算机等来实现, 虽然也能实现数据的采集功能, 但是整个采集过程存在很大的误差, 不能很好的控制温漂和周围环境引起的误差, 相比之下数据采集卡具有温度补偿功能, 采集数据稳定性好, 自动进行数模和模数转换, 具有光电隔离功能, 响应快, 大大提高了整体采集的精度和速度。所以选择数据采集卡来实现的采集。

PCI-1710 是一款 PCI 总线多功能数据采集卡, 它完全可以满足数据采集和数据控制方面的全部需要, 具有编程容易, 使用简单, 数据采集可靠方便等特点。其先进电路设计使得它具有更高的质量和更多的功能, 这其中包括五种最常用的测量和控制功能: 12 位 A/D 转换、D/A 转换、数字量输入、数字量输出及计数器/定时器功能。还有硬件上特有功能^[4]:

(1) 即插即用功能

PCI-1710 完全符合 PCI 规格 Rev2.1 标准, 支持即插即用。在安装插卡时, 我们不需要设置任何跳线和 DIP 拨码开关。实际上, 所有与总线相关的配置, 比如基地址、中

断，均有即插即用功能完成。

(2) 单端或差分混合的模拟量输入

PCI-1710 有一个自动通道/增益扫描电路，该电路能代替软件控制采样期间多路开关的切换。卡上的 SRAM 存储了每个通道不同的增益值和配置，这种设计能使得对不同通道使用不同增益，并自由组合单端和差分输入来完成多通道的高速采样。

(3) 卡上 FIFO（先入先出）存储器

PCI-1710 卡上有一个 FIFO 缓冲器，它能存储 4K 的 A/D 采样值。当 FIFO 半满时，PCI-1710 会产生一个中断。该特性提供了连续高速的数据输入及 Windows 下更可靠的性能。

(4) 卡上可编程计数器

PCI-1710 提供了可编程的计数器，用于 A/D 变换提供可触发脉冲。计数器芯片为 82C54 或者与其兼容的芯片，它包含了三个 16 位的 10MHZ 时钟的计数器。其中有一个计数器作为事件计数器，用于对输入通道的事件进行计数。另外两个级联在一起，用作脉冲触发 32 位定时器。

(5) 用于降低噪声的特殊屏蔽电缆

PCI-10168 屏蔽电缆是专门为 PCI-1710 所设计的，它用来降低模拟信号的输入噪声。该电缆采用双绞线，并且模拟信号线和数字信号线是分开屏蔽的。这样能使信号间的交叉干扰降到最小。

(6) 16 路数字输入和 16 路数字输出

(7) 短路保护

PCI-1710 在 +12V (DC) / +5V(DC) 输出管脚处提供了短路保护器件，当发生短路时，保护器件会自动断开停止输出电流，直到短路被清除大约两分钟后，管脚才可开始输出电流。考虑本课题的要求，选择 PCI-1710 数据采集卡进行数据采集。

3.3 数据采集卡安装、调试及电路连接

3.3.1 WindowsXP 下板卡的安装

安装流程图，如下：

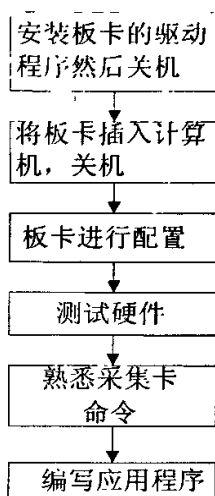


图 3-1 安装流程图

3.3.2 软件的安装

首先安装 Device Manager 和 32bitDLL 驱动，将启动光盘插入光驱，安装执行程序将会自动启动安装，按着里面的步骤一步一步安装完毕，将相应的所选用的数据采集卡的驱动安装到电脑上，当安装完 Device Manager 后相应的驱动手册也会自动安装。点击自动安装界面的 Example&Utility，选择对应的语言安装实例程序。

Labview 驱动程序安装，首先安装完前面的步骤的 Device Manager 和 32bitDLL 驱动后，labview 驱动程序才可以正常工作。光盘自动运行点击 Installation 再点击 Advance Option。点击 LabView Drivers 来安装 labview 驱动程序和 labview 驱动手册。

Active Daq 控件安装，研华提供 Active Daq 控件，供可视化编程使用。安装前也要把前面的安装完毕后才可安装。

3.3.3 硬件的安装

第一步：关闭计算机，将板卡插入到计算机后面空闲的 PCI 插槽中。第二步：检查板卡是否安装正确，可以通过右击“我的电脑”，点击“属性”，弹出“系统属性”框；选中“硬件”页面，点击“设备管理器”。第三步：从开始菜单/程序/Advantech Device Driver V2.1/Advantech Device Manager, 打开 Advantech Device Manager，如图 3-2



图 3-2 安装界面

当计算机上已经安装某个产品的驱动程序后，它前面将没有红色叉号，说明驱动程序已经安装成功。PCI 总线的板卡插好后，计算机操作系统会自动识别，Device Manager 在 Installed Devices 栏中 My Computer 下也会自动显示出所插入的器件，这一点和 ISA 总线的板卡不同，如上图所示。

点击“Setup”弹出如下图形，可设置模拟输入通道是单端输入或是差分输入以及两个模拟输入通道 D/A 转换的参考电压。

3.3.4 数据采集卡安装测试

软件和硬件安装完毕后，对板卡进行测试，点击上图 Test 命令, 将出现如图 3-3 所示：

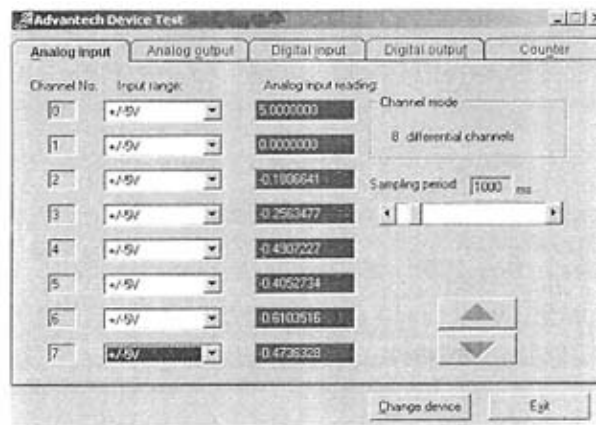


图 3-3 测试界面

模拟信号输入连接有两种连接方式，一种是单端模拟输入连接，另一种是差分式模拟输入连接。根据课题需求，选择单端模拟输入连接即可以实现所需功能。PCI-1710 系列数据采集卡有 16 个模拟输入通道，当测量一个单端信号时，只需要一根导线将信号连接到输入端口，被测量的输入电压以公共地为参考。没有接地端的信号源称为“浮动”信号源，在这种模式下，PCI-1710 为外部浮动信号源提供一个参考地。通过引脚图我们可以清楚的看到有 16 位模拟量输入，16 位模拟量输出，16 位数字量输入，16 位数字量输出等。选择相应的引脚，本课题需要输入模拟量，输出数字量，所以使用 AI0-AI15 之间的引脚，输出选择 DO0-DO15 之间的引脚^[4]。

AI0	69	34	AI1
AI2	67	33	AI3
AI4	66	32	AI6
AI6	66	31	AI7
AI8	64	30	AI9
AI10	63	29	AI11
AI12	62	28	AI13
AI14	61	27	AI15
AIGND	60	26	AIGND
AO0_REF*	59	25	AO1_REF*
AO0_OUT*	58	24	AO1_OUT*
AOXND*	57	23	AOXND*
DI0	56	22	DI1
DI2	56	21	DI3
DI4	54	20	DI6
DI6	53	19	DI7
DI8	52	18	DI9
DI10	51	17	DI11
DI12	50	16	DI13
DI14	49	15	DI15
DGND	48	14	DGND
DO0	47	13	DO1
DO2	46	12	DO3
DO4	46	11	DO6
DO6	44	10	DO7
DO8	43	9	DO9
DO10	42	8	DO11
DO12	41	7	DO13
DO14	40	6	DO15
DGND	39	5	DGND
CNT0_CLK	38	4	PACER_OUT
CNT0_OUT	37	3	TRG_GATE
CNT0_GATE	36	2	EXT_TRG
+12V	35	1	+5V

图 3-4 管脚图

PCI-1710 有两个 D/A 转换通道，AO0-OUT、AO1-OUT，使用内部提供的-5V/-10V 的基准电压产生 0 到+5/+10 的模拟量输出，也可以使用外部基准电压 AO0-REF，外部基准电压范围是-10V/+10V,连接方法如图 3-5:

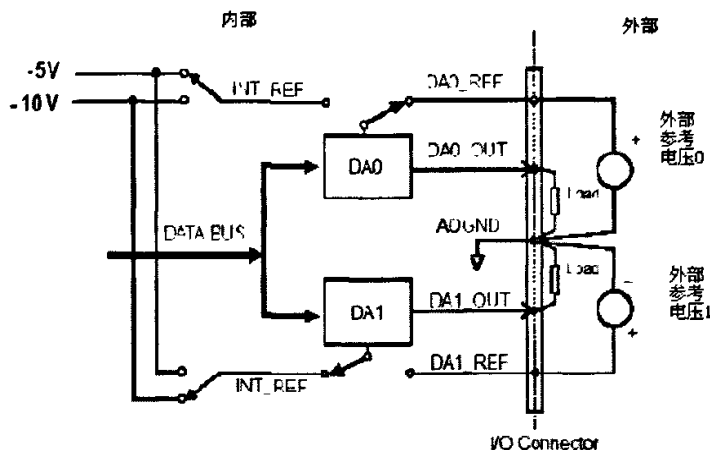


图 3-5 模拟信号电路连接图

3.4 数据采集编程

3.4.1 设置动态连接库

PCI-1710 数据采集卡具有强大的软件支持，分别基于 DOS 和 Windows 平台，可以方便的在各种编程软件下应用（如 Delphi, Borland C++, Visual C++, Visual Basic 等），强大的功能和多方面的软件支持使得 PCI-1710 成为各行业和科研实验设备的理想选择。

Windows XP/2000/NT 的 32 位 DLL 的函数库是动态连接，动态链接库并不直接编译到应用程序的可执行文件中，而只是将动态链接库的路径信息保存在可执行文件中。设备驱动程序只是在可执行程序执行过程中动态链接库被调用的时候才被连接到应用程序。

导入库 (*.LIB) 包含了它们的动态链接库定义的外部函数。它们隐含了动态链接库的位置。如何使得应用程序引入动态链接库的路径消息，是通过导入函数库还是通过函数声明的方法，取决于所使用的开发工具。

本课题采用研华的设备驱动程序结合微软的可视化平台来开发系统，研华设备驱动程序支持 Visual C++6.0。

使用研华驱动程序需要按以下步骤使用动态链接库。

- (1) 打开 VC++6.0，点击 File|New 菜单，创建一个新工程。
- (2) 选择新工程的类型为“Win32 Application”，确定应用平台为“Win32”，并

为指定一个文件目录。填写工程名为 keti，点击确定。

(3) 要使用研华提供的设备驱动程序及其库函数来开发应用程序，必须首先在 VC++ 中添加头文件，点击对话框中 Project—Add to project—file，从中选择研华驱动程序中的 Driver.h 文件并加入到工程中，相应的 driver.h 就添加到工程。在加入头文件之后，这个文件定义了研华在动态连接库中要用到的函数和变量，这些变量和函数都可以在这个新创建的工程中使用。为了能够调用所有的动态连接库，我们需要在工程导入 ADSAPI32.LIB，方法和 driver.h 一样，通过对话框顶部的 Project—Setting 选项来进行设置，单击 Setting 菜单后弹出 Project Setting 对话框，选择其中的 Link 属性页，在其中的 object、Library modules 框里面输入 adsapi32.lib 的路径，然后点击确定按钮，这样编译程序的时候就可以把 adsapi32.lib 函数库编译并连接到执行文件中。

一种比较简单方法就是将 driver.h 和 adsapi32.lib 直接复制到工程目录下，在添加到工程中。



图 3-6 对话框

3.4.2 中断方式采集数据

数据采集卡的进行编程使用的方式主要有以下三种：软件触发方式，中断方式，DMA 方式。

软件方式实际上就是采用系统提供的时钟在毫秒级的精确等级上，通过对寄存器的查询来实现数据采集，由于其数据采集速度比较慢，多用于低速数据采集场合。

中断传输方式，需要编写中断服务程序，将板卡上的数据传到预先定义好的内存变量中，每次 A/D 转换结束后，EOC 信号都会产生一个硬件中断，然后有中断服务程序完成数据传输，但是要确定中断级别。

DMA 数据传输方式应用比较复杂,但是由于不需要 CPU 参与,所以适合应用于大量数据的高速采集,和中断方式一样,也要指定 DMA 级别。

基于课题的需要选择中断方式,选择中断方式来完成对数据采集卡进行编程。通过 DRV_FAIntStart 函数启动了中断功能,此功能运行于后台,可以使用 DRV_FAICheck 函数检查工作状态,同时可以使用 DRV_FAITransfer 函数传输数据。当工作结束,或者任何时刻,都可以采用 DRV_FAIStop 来停止工作。

为了防止在数据采集时丢失数据,特别是在像 Windows 这样的多任务操作系统下,通常板卡完成 A/D 转换后,将数据写入到数据输出寄存器中,接着使用中断服务功能将数据传输到 CPU/内存,所以 PCI-1710 数据采集卡添加 FIFO 功能。如果没有 FIFO 功能,当每一次硬件完成 A/D 转换后,会改写保存在数据寄存器中的值,从而造成数据的丢失。如果使用 FIFO 功能后,使得新数据会一次存到缓冲区中。

单通道模拟量数据采集编程(中断模式):通过 DRV_FAIntStart 函数启动了中断功能,此功能运行与后台,可以使用 DRV_FAICheck 函数检查工作状态,同时可以使用 DRV_FAITransfer 函数传输数据,当工作结束,或者任何时刻,都可以采用 DRV_FAIStop 来停止工作。

3.4.3 创建对话框框架

首先将建立的工程打开,编辑对话框,在对话框中添加按钮和选择控件中的命令按钮,添加五个按钮,修改按钮的标题,分别设置为“数据采集”,“显示数据”,“清空表格”,“建立数据表”“保存数据到数据库”,改变五个按钮的属性,也可以默认系统提供的属性,并在对话框中添加一个列表框(CListBox 类),用来显示采集到的数据,为了能够按照采集的顺序显示数据修改列表框的属性,在 ListBox 的属性框里面选择风格页,取消列表框的自动排序选项,Sort 前面的对号去掉。默认系统提供对话框上面的两个按钮,即确定和取消按钮,将确定按钮改为关闭采集卡按钮,默认取消按钮属性。得到的对话框如图 3-7 所示:

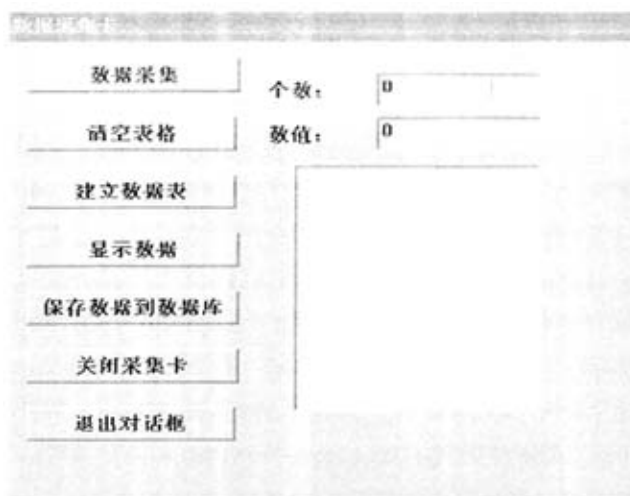


图 3-7 数据采集对话框

为命令按钮添加函数，选择 Class Wizard 中的属性页，给五个按钮添加相应的函数，分别选中五个按钮的地址名称，同时选中 BN_CLICKED，单击添加功能按钮。分别给五个按钮添加消息处理函数，点击 OK。

为了显示数据，定义一个列表框指针：CListBox *pDataList。对变量进行相应的初始化，添加程序如下：

```
pDateList=(CListBox*)GetDlgItem(IDC_LIST1);
```

3.5 数据采集模块化编程

在 shuju.cpp 文件的开始部分添加所需要的变量，定义变量和初始化完成后，接着对五个按钮编写相应的程序，使之实现所完成的功能。为了在编写程序时方便调试，便于发现错误，在这里我们引用模块化设计，模块化的意义详细介绍查看第四章。

为了进行数据采集，编程过程中主要将程序分成四个模块进行编写，所以在 shuju.h 头文件中添加四个成员功能函数，分别定义为 kaOpen(), DCollect(), kaClose(), DateList()。下面详细介绍四大模块及其其他功能的实现。

数据采集流程图如图 3-8:

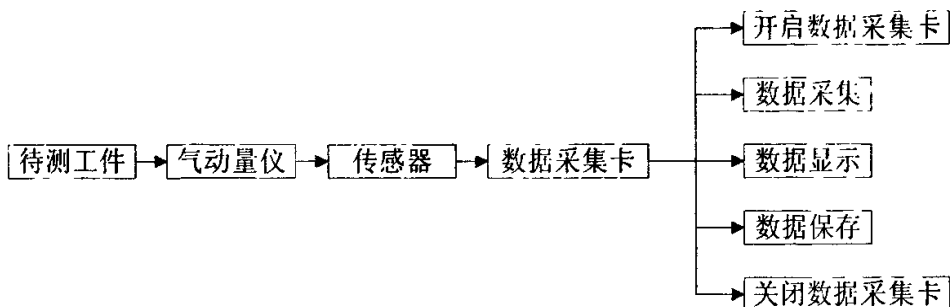


图 3-8 数据采集流程图

3.5.1 启用数据采集卡模块

在 `kaOpen` 函数首先初始化前面定义的变量，变量设定初值，主要包括设置设备号、采样频率、采样点数、采样通道等等。初始化完成以后，定义一个 `a[100]` 数组并清零，使用这个数组存放数据。为了在打开数据采集卡时能够很好的发现错误，在程序中一定编写捕捉异常语句。如果数据采集卡没有反应，通过这些判断语句可以发现什么地方出现了错误，并通过警告信息提示给我们，这样有利于我们进行程序调试。
`ErrCde=DRV_DeviceOpen(DeviceList[gwDevice]. dwDeviceNum,(LONG far*) & DHandle)`，此功能将数据采集卡打开，打开设备的操作是在使用设备进行数据采集等编程操作之前必须进行的。`DRV_DeviceOpen` 函数的功能就是将数据采集卡打开，为了得知数据采集是否打开，该函数的返回值为一个设备打开成功与失败的标记，通过程序中的 `if` 语句来判断，如果数据采集卡没有打开，错误就可以通过消息框显示出来。

```

ptDevFeatures.buffer=(LPDEVFEATURES)&DevFeatures;
ptDevFeatures.size=sizeof(DEVFEATURES);
if((ErrCde=DRV_DeviceGetFeatures(DHandle,(LPT_DeviceGetFeatures)&ptDevFeatures))!=SUCCESS)
{
    AfxMessageBox("不能获得设备特征");
    DRV_DeviceClose(&DHandle);
    return;
}
    
```

以上编程为了取得设备设置，首先初始化 `ptDevFeature` 结构变量中的变量 `buffer`，`size`，然后调用 `DRV_DeviceGetFeatures` 取得该设备的特征，其他语句进行出错判断。

对驱动程序内存分配及锁定编程如下：

```

if(hBuf=(USHORT far *)GlobalAlloc(GHND,sizeof(USHORT) * gulConvNum))==0)
{
    AfxMessageBox("驱动内存");
}
    
```

```

        DRV_DeviceClose((LONG far *)&DHandle);
        return;
    }

```

将数据采集所需要变量的内存分配及锁定编程如下:

```

ptFAIIntStart.buffer = (USHORT far*)GlobalLock(hBuf);
ptFAITransfer.DataBuffer = (FLOAT far*)GlobalLock(hUserBuf);
这两条语句用前面准备好的变量来初始化 ptFAIIntStart 结构体中的变量。
ptEnableEvent.EventType=ADS_EVT_INTERRUPT|ADS_EVT_BUFCHANGE|ADS_EVT
_TERMINATED|ADS_EVT_OVERRUN;
ptEnableEvent.Enabled=gwEvtFlag;
ptEnableEvent.Count=512;
if ((ErrCde=DRV_EnableEvent(DriverHandle,(LPT_EnableEvent)&ptEnableEvent))!=0)
{
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,(LPSTR)szErrMsg);
    MessageBox((LPSTR)szErrMsg,"Driver Message",MB_OK);
    GlobalUnlock(hBuf);
    GlobalUnlock(hUserBuf);
    DRV_DeviceClose((LONG far*)&DriverHandle);
    return;
}

```

以上编程所要实现的功能确定中断事件类型, 并设置其可以进行中断。

开始中断模式传输数据编程如下:

```

ptFAIIntScanStart.TrigSrc = gwExtTrig;
ptFAIIntScanStart.StartChan = gwStartChl;
ptFAIIntScanStart.NumChans = gwNumChl;
ptFAIIntScanStart.GainList=&ReorderGainCode[0];
ptFAIIntScanStart.SampleRate = gdwPacerRate;
ptFAIIntScanStart.count = gulConvNum;
ptFAIIntScanStart.cyclic = gwCyclicMode;
ptFAIIntScanStart.IntrCount = 1;

```

启用数据采集卡模块主要是将数据采集卡打开, 并将数据传输通道和数据缓冲区进行设定。上面程序设定了数据采集类型为中断触发方式进行数据采集, 初始化一些数据参数, 为后面的数据采集奠定基础。

3.5.2 数据采集模块

数据采集模块 DCollect()中首先调用开启数据采集卡模块,以后通过一个程序 ErrCde=DRV_FAIntScanStart(DHandle,(LPT_FAIntScanStart)&ptFAIntScanStart))==0 来判断是否能够进行数据采集,后面就是不能进行数据采集时所要做的工作。通过 ErrCde=DRV_FAICheck (DHandle , (LPT_FAICheck)&ptFAICheck))!=SUCCESS 来判断数据采集是否完成,能否正常检测数据等。通过数据采集卡采集压阻式传感器变化电压,为了取得电压值通过编写如下命令:

```
ptFAITransfer.ActiveBuf=0;
ptFAITransfer.DataType=gwDataType;
ptFAITransfer.start=0;
ptFAITransfer.count=gulConvNum;
ptFAITransfer.overrun=&gwOverrun;
DRV_FAITransfer(DHandle,(LPT_FAITransfer)&ptFAITransfer);
for(int i=0;i<(int)gulConvNum;i++)
a[i]=((FLOAT far *)ptFAITransfer.DataBuffer)[i];
```

数据采集模块设定了采集数据类型,数据个数等,通过数组将采集到的电压值存放的数组中,为后面数据存储和数据显示操作提供数据资源。

3.5.3 数据显示模块

通过调用开启数据采集卡模块和数据采集模块以后,数据暂时保存到数据采集卡的缓冲器中。为了查看采集的数据值,就需要将数据显示出来,所以需要编写一个数据显示模块来实现此功能。编写如下程序:

```
if (gwDataType==0)
    top=(USHORT far*)ptFAITransfer.DataBuffer;
else
    top=(float far*)ptFAITransfer.DataBuffer;
for (j=0;j<100;j++)
{
    if (gwDataType==0)
        str.Format("Buf[%ld]=%4x",j,((FLOAT far *)ptFAITransfer.DataBuffer)[j]);
    else
        str.Format("Buf[%ld]=%10.6f",j,((float far*)top)[j]);
    StDate[j]=str;
}
```

在前面的对话框中,已经定义了一个列表框,此模块所要实现的功能就是将数据通

过列表框显示出来。通过列表框显示需要的类型是字符型，所以对采集的数据进行一个数值型向字符型的转变，Format 命令实现类型变化。定义一个字符型指针，利用指针将数据赋值给先前定义的数组。(ErrCde=DRV_FAIStop(DHandle)!=0 来判断数据采集是否停止。整个程序通过一个 if 判断语句来判断数据的类型，如果不同的数据类型输出的数据精度是不一样的。

3.5.4 停止采集模块

前面启用数据库模块已经通过 Open 命令将数据采集卡打开，当数据采集完成以后，我们必须将数据采集卡关闭，所以停止采集模块就是实现这个功能，通过 ErrCodeDvcClose=0; ErrCodeDvcClose= DRV_DeviceClose((LONG FAR *)&DHandle);两条语句来关闭采集卡，与前面的 Open 对应。

3.6 数据采集

双击数据采集按钮进入数据采集编程界面，为了能够对每一个工件测量数据进行很好的采集，防止数据丢失，必须对数据采集要设定一定的采集频率。采集频率的确定要按照工作条件来确定。所以整个采集过程要调用时间功能函数，将 WM_Time 函数添加到 shuju.cpp 中。

为了实现数据采集，在时间函数中添加 DCollect(), m_speed=a[i], m_time=i 等语句，首先调用数据采集模块，第二句是为了将采集的数据通过编辑框进行数据显示，第三句是则是通过编辑框显示数据所显示的第几个数。对 Time 功能编写完成以后，进入数据采集按钮编程界面，添加 SetTimer(1,1000,NULL)命令，设定数据采集频率，此时设定采集频率为每秒采集一次数据，要根据工作条件定采样频率。这样就实现了数据的采集并时时显示采集的数据值。

3.7 建立数据表

通过 ODBC 建立一个数据库，为了保存数据，必须在数据库中建立数据表，将数据保存到数据表中。通过建立数据表按钮进入编辑框，将数据采集到数组中，利用 ADO 数据库开发技术中的 Connection 对象建立 m_pConnection 指针，通过 m_pConnection->Open("Provider=Microsoft.Jet. OLEDB.4.0 Data Source= date.mdb", "", "", adModeUnknown)语句来连接数据库，里面的参数看第四章。
m_pConnection->Execute("CREATE TABLE new(num INTEGER,data DOUBLE)", &RecordsAffected,adCmdText)语句来执行 SQL 语句对数据库的操作，建立一个新的数据

表。定义数据表名称为 new, 包括两个字段一个为 num, 定义类型为 int 型, 一个字段为 data, 类型为 double 型。这样就在数据库为 date 中建立一个数据表, 用来存储数据。

3.8 数据保存

整个数据采集过程主要目的就是要获得对工件测量的数据, 利用数据采集卡采集到数据以后数据暂时存放在缓冲区中。数据统计分析的特点是对一批工件进行分析, 所以要采集到一定数量的数据以后才使用数据, 为了防止数据的丢失, 我们对数据采集卡采集的数据要进行保存, 所以可以将数据保存到建立好的数据库中, 当需要数据时, 可以从数据库中取出数据, 为后面数据处理提供数据源。

双击数据保存按钮进入编辑界面, 先调用 kaOpen 和 DCollect 模块将数据采集到 a[i] 数组中。为了实现数组中的数据向数据库中保存, 利用一个循环语句, 将数据通过 SQL 语句中的 INSERT 命令逐一的插入到数据表中。关键程序程序如下:

```
for(int i=0;i<gulConvNum;i++)
{
    CString strSQL;
    strSQL.Format("INSERT INTO new VALUES (%d,%3.4f)",i,a[i]);
    m_pConnection->Execute((_bstr_t)strSQL,&RecordsAffected,adCmdText);
}
```

利用数据连接指针执行 SQL 语句实现对数据保存, 其中 gulConnum 为数据采集个数。

3.9 数据显示

对数据采集卡进行数据采集和保存后, 为了查看所采集的数据, 确定数据采集卡能否能够正常工作, 可以通过显示数据按钮, 将数据在列表框显示出来, 这样可以很清晰查看所采集数据的大小。选中对话框中的显示数据按钮, 双击此按钮, 进入编程状态。首先要调用数据显示模块, 并列出主要程序:

```
for(int i=0;i< gulConvNum;i++)
{
    pDateList->AddString(strData[i]);
}
```

通过调用数据显示模块, 通过一个循环语句将采集的所有数据显示出来, 显示数据的个数可以根据工件采集的数量。数据的显示通过列表框指针通过 AddString 命令将前

面字符型数组显示出来。

3.10 清空数据

当数据处理完毕以后，我们需要对数据库中的数据需要进行清空，为以后采集数据提供数据空间。如果不清空数据表，数据就会累计数据表中，会使得数据混乱，影响下次分析数据的准确性。

清空数据也是通过 ADO 技术，首先要 Connection 对象定义一个指针，连接数据库，利用 `m_pConnection->Execute("DROP TABLE new",&RecordsAffected,adCmdText)`语句来执行数据表的删除工作。

3.11 关闭数据采集卡

数据采集功能完成以后，就可以退出此系统，退出此操作系统前，必须对数据采集卡编写关闭命令，前面使用开启数据采集命令，这里必须对其进行关闭卡的编程操作，这样整个的编程才能算完善。关闭数据采集卡命令如下：

```
if(DriverHandle!=NULL)
```

```
DRV_DeviceClose((LONG far*)&DriverHandle);
```

如果不关闭数据采集卡，数据采集就会一直处于工作状态，占用大量线程，使得计算机运行缓慢，当数据采集卡一直处于打开状态时，数据采集卡安装一定的频率进行数据采集，当气动量仪处于非工作状态时，数据采集卡将会采集一些非工件数据，将会覆盖缓冲器中的数据。为了采集数据的准确性和节约线程，在数据采集完成以后需要对数据采集卡进行关闭操作。

3.12 本章小结

本章阐述了数据采集卡的功能，介绍了数据采集的硬件安装，电路连接和调试。主要工作是对数据采集卡利用 VC++编程语言编写应用程序，实现数据采集功能，并把气动量仪所测量的数据存储到已经建立的数据库中，可以显示采集的数据等功能。这一章利用数据采集卡采集数据，使得整个系统获得数据来源，为后面的数据处理提供了数据资源。

第四章 统计系统分析程序设计及实现

4.1 统计分析系统总体结构及工具选择

4.1.1 统计分析系统总体结构及工作流程图

在机械加工过程中造成加工误差的原因相当多,我们不可能对各个原因逐一进行单因素分析,对单个工件的检验不能反映整个加工过程中加工误差的性质和变化规律,并且单一工件的误差也不能代表整批工件的误差大小。要全面的反映加工过程中质量问题,必须采用统计分析法。统计分析法就是在生产现场内以一批工件的检测结果为基础,运用数理分析的方法去处理这些结果,从中提炼其中的规律,用以找出产生误差的原因和解决问题。统计分析法主要分为分布图分析法和点图分析法。

分布图分析法的作用:(1)可以判别加工误差的性质,假如加工过程中没有变值系统性误差,那么其尺寸应从正态分布,由这个特点可以判断实际分布与正态分布相符合,也可以判断加工过程中没有变值系统误差或者很小,可以进一步根据 $\bar{x}$ 是否与公差带中心重合来判断是否存在常值系统性误差。(2)可以确定各种加工方法所能达到的精度,通过多次统计的基础上,求其标准偏差 σ 值,可以通过分布范围 6σ 的规律,即可确定各种加工方法所能够达到的精度。(3)可以确定工序能力及其等级。(4)可以估算不合格率。

点图分析法的作用:能够反映加工误差的变化趋势,点图对工件没有数量限制。

统计分析法就是利用分布图和点图很好的互补作用,通过统计分析法能够很好的分析加工过程中存在的误差。

作为一个可运行的资源环境管理系统,它由三个层次构造体系组成:底层数据库,中间层功能模块和上层用户图形界面。底层数据库主要包括图形数据和属性数据;中间层功能各模块采用 VC++ 编程实现,并通过 ADO (ActiveX Data objects, Active 数据对象)与底层数据库进行接口;用户图形界面采用 VC++6.0 设计。系统能将空间信息和属性信息的处理完美结合起来。为了提高系统的可变性,最有效的方法是采用模块化的方法,即将整个系统看成一个模块,然后按照功能分解为若干个子模块。一个模块只执行一种功能,一种功能用一或者若干个模块实现,这样设计出来的系统才能做到可变性好并具有生命力。

统计分析系统工作流程图如图 4-1:

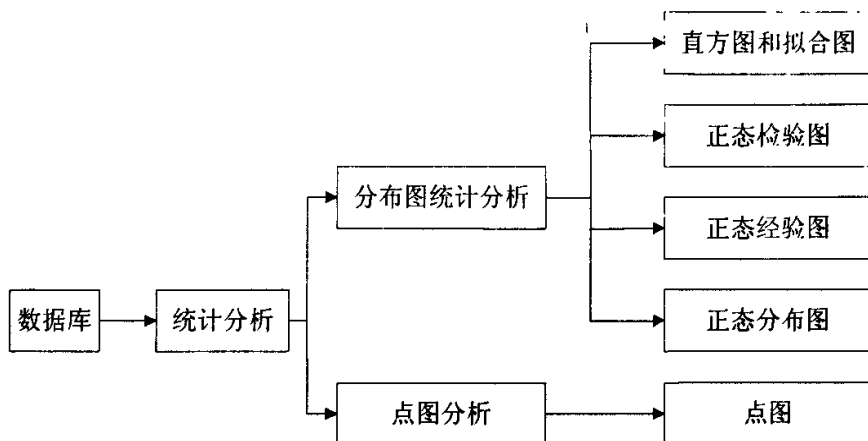


图 4-1 统计分析系统流程图

4.1.2 开发环境和工具的选择

具体来讲，本系统在 VC++ 里实现数据的查询、分析、管理、统计分析、绘图，应用 OLE（对象链接与嵌入）技术，通过 ADO 建立与数据库的连接，在 SQL Server2000 中编写存储过程，实现对属性数据的管理。

（1）硬件平台

本系统对硬件平台没有特殊要求，基本配置就可满足需要，建议内存 256M 以上。

（2）系统操作平台

适合于运行在 Microsoft Windows 中文版本下，包括 Windows98、Windows2000、Windows Me、Windows XP 或更高版本操作系统下。

（3）数据库平台

SQL Server2000 是一种可缩放、高性能的关系数据库管理系统。它不仅是一个巨大的数据容器，更是一个非常强大的数据处理工具。对数据的处理主要包括查询、添加、删除、修改、统计分析等。本系统要对数据库数据进行统计分析，所以选择 SQL Server2000 做为数据库管理系统，编写存储过程，方便程序的调用。

本系统通过 ADO 对数据库进行操作，ADO 是 Microsoft 最重要的数据库访问技术，它是微软的 Active-X 组件，它随着 IIS 的安装而自动安装，是用来存取数据库中记录的一种程序。

（4）开发工具 VC++

程序设计的软件环境是 Visual C++6.0，是 Microsoft 公司开发的 Visual Studio 集成开

发环境中功能最大、代码效率最高的开发工具。利用 Visual C++6.0 可以应用两种方式编写 Win32 应用程序,一种方式是基于 Windows API 的 C 编程方式,另一种是基于 MFC 的 C++编程方式。C 编程方式是传统的,另一种是基于 MFC 的 C++编程方式。C 编程方式是传统、久经考验的编程方式,代码的效率高,尤其 MFC(Microsoft Foundation Class)类库提供了一个功能完整的应用程序框架,可以将其方便地扩展为一个完整的 Windows 应用程序。这使得程序设计不必完全重新设计,节省了大量的开发时间,而且 MFC 类库提供的大量以类为基础的代码块可以指导编程时某些技术和功能的实现。MFC 类库的优越性表现在以下几个方面^[33]:

① MFC 几乎完整地封装了 Windows API 函数。包括窗口函数、消息、控件、菜单、对话框、GDI 对象、对象链接,以及多文档界面等。

② MFC 支持多线程,所有的应用至少有一个线程,这个线程由 CWinApp 类的对象创建,被称为“主”线程。为方便多线程编程,MFC 还提供了同步对象类。

③ MFC 库提供了自动消息处理功能。MFC 库自动处理每一个 Windows 消息,且每一条 Windows 消息被直接映射到一个进行处理的成员函数。

④ 用类编程,将代码和数据封装在类中,大大减少了编程的复杂性。以前用 Windows 的 API 编程,需要清楚 2000 多个函数的使用,而用 MFC。只需要了解 100 多个类的用法,在这些类中,常用的只有几十个。

⑤ 通过继承实现了基本的代码重用。在 MFC 中定义了大量类,所以可以在编程中通过继承来使用这些类。另外,MFC 还在这些类中定义了大量的虚函数,也就是说,对于这些函数,不但可以保存他们原有的特性,还可以对这些函数进行修改,使之具有新的特性。

⑥ 提供大量的工具方便编程。在 MFC 中,可以使用 AppWizard(应用程序向导)来建立应用程序的框架,可以使用 Class Wizard(类向导)在程序中添加类、变量以及在程序中传递各种信息。用 Control Wizard(控件向导)创建可以在 Windows 中注册的控件等。

⑦ 借助设计良好的类库通常可以减少代码规模。

4.2 数据处理技术

数据处理系统所基于的操作系统环境为 Window XP,使用 Visual C++6.0 完成的。目前,用于数据库开发的前端工具有很多,例如:Delphi,Java,Viusual Basic,PowerBuilder 等。但 Vusual C++作为一个功能非常强大的可视化应用程序开发工具,是计算机界公认的最优秀的应用开发工具之一。Microsoft 的基本类库 MFC 使得开发 Windows 应用程序比以往任何时候都容易。Visual C++作为一种程序设计语言,它同时也是一个集成开发工具,提供了软件代码自动生成和可视化的资源编辑功能。

4.2.1 数据库访问技术特点

Visual C++中提供了多种多样的数据库访问技术, 包括: MFC(Microsoft ODBC 类; DAO (数据库访问对象); RDO(远程数据对象类); OLE DB (对象链接嵌入数据库); ADO(ActiveX 数据对象)。这些技术各有特点, 共同组成了强大的数据库应用集成开发环境。特点如下:

(1) 简化开发过程

由于 VisualC++ 6.0 提供了 MFC 类, 模板类亦即 Appwizard, Class wizard 等一系列的 Wizard(向导)用于开发应用程序, 从而大大简化了应用程序的设计, 能够顺利开发出一个完整的数据库应用程序。而且, VisualC++6.0 的集成开发环境中提供了各种支持数据库的开发的工具, 使用这些工具可以帮助开发者有效地管理开发过程。

(2) 灵活多变的开发方式

Visual C++中提供了丰富的类和方法, 从而使开发者可以根据应用的特点来选择。例如, 某个应用可以采用单文档、多文档或者基于对话框的形式, 而不像 Access 数据库那样必须采用多文档的界面。

(3) 更快捷的数据库访问

Visual C++6.0 中引入新的数据库访问技术 OLE DB(Object Link and EmbeddingDatabase)和 ADO(ActiveX Data object)。OLE DB 和 ADO 都是基于 COM 接口的技术, 可直接对数据库的驱动程序进行访问, 大大提高了访问数据的速度。DAO 提供了使用 Microsoft 数据库引擎的层次来访问数据库, 用户可通过代码来创建和操纵数据库; OLE DB 是一套 COM 接口, 它为应用程序提供一个统一的接口以访问存储在不同信息资源中的数据。它是一种底层接口技术, 仍需编制大量代码; ADO 技术是一种基于 OLE DB 的访问接口, 它是在 OLE DB API 基础上提供一种面向对象的与语言无关的接口, 它属于高层接口。ODBC 技术为用户提供了一个访问关系数据库的标准接口, 它可以通过 MFC 或 API 使用应用程序独立于源数据库管理系统, 它建立一组高层应用程序调用接口和一套基于动态链接库的运行环境, 我们可以用这样一组接口规范开发应用程序, 而使用标准函数和结构化查询语言 (SQL) 对数据库进行操作。

(4) 扩展性强

VisualC++6.0 中提供了 OLE 技术和 ActiveX 技术, 这些技术增强了开发应用程序的能力。使用 OLE 技术和 ActiveX 技术可以使开发者利用 Visual C++中提供的各种组件, 控件以及与第三方提供的组件来扩展自己的应用程序, 从而使应用程序组件化。

此外, 还具有易于使用, 功能强、高速、低内存开销的特点。

4.2.2 ADO 技术访问数据库

ADO 是应用层的编程接口,它通过 OLE DB 提供的 COM 接口访问数据,它适合于各种客户机/服务器应用系统和基于 Web 的应用,尤其在一些脚本语言中访问数据库操作是 ADO 的主要优势。ADO 是一套用自动化技术建立起来的对象层次结构,它比其他的一些对象模型如 DAO(Data Access Object)、RDO(Remote Data Object)等具有更好的灵活性,使用更为方便,并且访问数据的效率更高。SQL 是强大的数据库操作系统,通过 ADO 和 SQL 语句的配合,我们可以实现对数据库的一系列操作,例如创建数据库、创建表、创建索引,实现数据库的多重查询、高级查询和数据的汇总等技术。

ADO 采用了 COM 技术,可以在任何语言平台被调用,一般用 3 个智能指针来完成数据库的访问(智能指针,类似于 3 个对象的接口,通过指针来调用对象所开放的功能)。这 3 个常用智能指针简介如下:

(1) `_ConnectionPtr`, 数据库连接指针。只有建立了与数据库服务器的连接后,才能进行其他有关数据库的访问和操作。ADO 使用 `Connection` 对象来建立与数据库服务器的连接,所以它相当于 MFC 中的 `CDatabase` 类。和 `CDatabase` 类一样,调用 `Connection` 对象的 `Open` 方法即可建立与服务器的连接。

数据类型 `_ConnectionPtr` 实际上就是由类模板 `_com_ptr_t` 而得到的一个具体的实例类,其定义可以到 `msado15.tlh`、`comdef.h` 和 `comip.h` 这三个文件中找到。在 `msado15.tlh` 中有: `_COM_SMARTPTR_TYPEDEF(Collection, __uuidof(Collection));`经宏扩展后就得到了 `_ConnectionPtr` 类。`_ConnectionPtr` 类封装了 `Connection` 对象的 `Idispatch` 接口指针,及一些必要的操作。我们就是通过这个指针来操纵 `Connection` 对象。类似地,后面用到的 `_CommandPtr` 和 `_RecordsetPtr` 类型也是这样得到的,它们分别表示命令对象指针和记录集对象的指针。

(2) `_RecordsetPtr`, 记录集指针。通过它调用 `Recordset` 对象的 `Open` 方法,即可打开一个记录集。所以 `Recordset` 对象与 MFC 中的 `CRecordset` 类类似,它也有当前记录、当前记录指针的概念。

(3) `_CommandPtr`, 命令指针,使用带参数的命令 `Command` 对象所代表的就是一个 `Provider` 能够理解的命令,如 SQL 语句等。使用 `Command` 对象的关键就是把表示命令的语句设置到 `CommandText` 属性中,然后调用 `Command` 对象的 `Execute` 方法就行了。一般情况下在命令中无需使用参数,但有时也使用参数。那么使用 `_Command` 提供的方法获取符合条件的记录集,可以增加程序的灵活性和效率。但要注意,用 `Command` 和 `Connection` 对象的 `Execute` 方法得到的 `Recordset` 是只读的。因为在打开 `Recordset` 之前,我们无法设置它的 `LockType` 属性(其默认值为只读)。而在打开之后设置 `LockType` 不起作用。发现用上述方法得到记录集 `Rs1` 后,不但 `Rs1` 中的记录无法修改,即使直接用 SQL 语句修改同一表中任何记录都不行。

4.3 数据处理编程

4.3.1 建立数据处理对话框

第三章已经通过数据采集卡将气动量仪检测的工件尺寸数据存储到指定的数据库中，这章就对存储在数据库中的数据进行处理，实现统计分析。

首先建立一个独立操作的对话框，专门进行数据库操作。在已有的工程中，添加一个 Dialog 对话框，如图 4-2 所示：



图 4-2 建立对话框图

添加一个对话框之后，选中对话框点击右键选择属性，将对话框的地址修改成 IDC_SHUJUKU，用鼠标双击对话框。将会出现创建新类对话框，点击确定，创建一个新类，类名为 shujuku，在工程中就自动生成 shujuku.h 和 shujuku.cpp 文件，在新生产的对话框中添加按钮，如图 4-3 所示

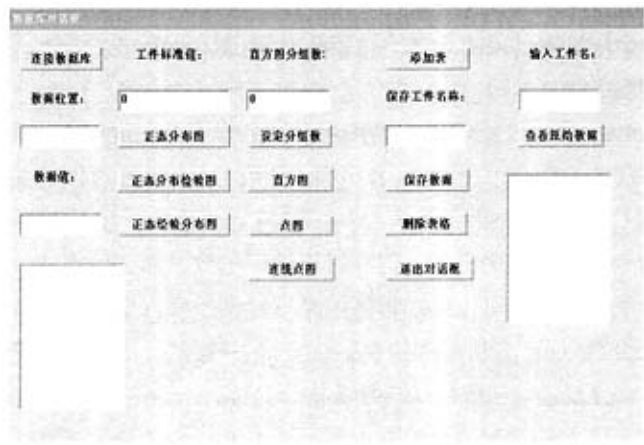


图 4-3 对话框界面

添加十三个按钮控件，两个列表框控件，八个静态框，八个编辑框控件。添加十三

个按钮以后，分别修改十三个按钮的属性：连接数据库按钮对应的属性地址为 IDC_LIANJIESHUJUKU；直方图按钮对应属性地址是 IDC_ZHIFANGTU；点图按钮所对应的属性地址 IDC_DIANTU；设置合格值按钮的地址为 IDC_SETN；正态分布图按钮对应地址为 IDC_FENBU；添加表按钮属性地址为 IDC_ADDTABLE；保存数据按钮的属性地址设置成 IDC_DATASAVE；删除表格按钮为 IDC_DELETE；查看原始数据按钮地址为 IDC_XIANSHI；正态分布检验图按钮地址设置为 IDC_CHECKP；正态分布经验图地址属性为 IDC_EXPRIENCE；连线点图按钮地址为 IDC_LINEPOINT；删除原有对话框中的确定按钮，保存取消按钮并将名称该为退出对话框。地址设置完毕以后，对这十三个按钮分别添加消息处理功能，通过 Class Wizard 绑定功能。分别对八个编辑框设定属性地址分别如下，并将编辑框分别绑定各自变量，变量类型和名称按括号里面所显示的内容来设定，IDC_SHUZUSHU(int m_fenzushu)，IDC_DATE(CString m_date)，IDC_LMAX(double m_Lmax),IDC_LMIN(double m_Lmin),IDC_NUM (CString m_num)，IDC_STANDARD(double m_standard)，IDC_WORKNAME (CString m_workname)，IDC_DATAIN (CString m_datain)，列表框的属性地址为 IDC_LIST 和 IDC_DATA LIST，将其绑定变量类型及变量分别是以 CListBox 类的变量为 m_List 和 m_list1。将控件属性修改完毕以后，基础操作已经完成。

4.3.2 模块化设计

由于对数据库操作涉及到很多相同编程语句的应用，所以这里引用模块化编程技术。模块化设计是指把一个大程序按人们能理解的大小规模进行分解。由于经过分解后的各模块比较小，即容易编程，也方便调试。在进行模块化程序设计时，应重点考虑两个问题，首先按什么原则划分模块，并且如何组织好各模块之间的联系。

模块的划分有两种划分方法：

(1) 按功能划分模块

划分模块的基本原则是使每个模块都易于理解。按功能来划分模块最为自然，在按功能模块划分模块时，要求各模块的功能尽量单一，各模块之间的联系尽量少的，满足这些要求的模块有以下优点：

其可读性和可理解性都比较好；各模块间的接口关系比较简单；当要修改某一功能时，只涉及到一个模块；其他应用程序可以充分利用已有的一些模块；

(2) 按层次组织模块

在按层次组织模块时，一般上层模块只指出“做什么”，只有在最底层的模块中才精确地描述“怎么做”。如图 4-4

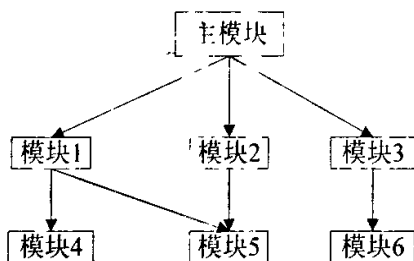


图 4-4 模块图

在图所示的层次结构中，主模块只需要指出总任务就可以了，而模块 1，模块 2 与模块 3 分别指出各自的子任务，模块 4，模块 5 与模块 6 才精确描述“怎么做”。

4.4 数据处理系统模块化编程

4.4.1 连接数据库模块

在计算机上安装 MDAC2.5 以上版本，ADO 不支持数据库定义及相应的 SQL，可以 ADOX 来实现程序创建 jet 库。同时使用 ADO/ADOX 对 ACCESS 数据库创建或访问时，需要引入各自的库文件。在 stdafx.h 中的所有 include 语句后，添加代码：
#import"C:\Program Files\Common Files\System\ado\msado15.dll" no_namespace rename ("EOF","adoEOF")，调用 jet 引擎库，其中路径名根据电脑系统安装的 ADO 支持文件的路径来自行设定。当编译器遇到#import 语句时，它会为引用组件类型库中的接口生成包装类，#import 语句实际上相当于执行了 API 函数 LoadTypeLib()。#import 语句会在工程可执行程序输出目录中产生两个文件，分别为*.tlh(类型库头文件)及*.tli(类型库实现文件)，它们分别为每一个接口产生智能指针，并为各种接口方法、枚举类型、CLSID 等进行声明，创建一系列包装方法。语句 no_namespace 说明 ADO 对象不使用命名空间，rename ("EOF", "adoEOF")说明将 ADO 中结束标志 EOF 改为 adoEOF，以避免和其它库中命名相冲突。为了解决库文件中变量或函数同名的问题，使用 namespace 进行隔离。如果仅是引入这两个库文件，由于在程序中使用 ADO 方法的机率要大，为了方便写代码，所以可以对 ADOX 库进行 namespace 进行 name 限制，而 ADO 库就不需要命名空间的限制。

4.4.1.1 初始化COM

ADO 是采用了 COM 接口技术，所以程序运行前需要初始化 COM 环境，在程序退出时释放这个环境。在 BOOL CKetiApp::InitInstance()中添写 AfxOleInit()语句，对 COM

接口进行初始化。对 COM 接口初始化以后,在程序的最后必须用 `CoUninitialize()` 命令释放程序占用的 COM 资源。注意这两个命令一般成对出现。为了能够对数据库进行操作,这里需要用的 `_ConnectionPtr` 数据库连接指针和 `_RecordsetPtr` 记录集指针,所以在 `shujuku.h` 中定义一个数据库连接指针和记录集指针,在公共条件下定义为 `_ConnectionPtr m_pConnection; _RecordsetPtr m_pRecordset`。

4.4.1.2 连接数据库

连接数据库模块的功能就是打开数据库,在 `shujuku.cpp` 中添加 `void shujuku::lianjieshujuku()` 函数,添加连接数据库命令程序,通过 `m_pConnection.CreateInstance("ADODB.Connection")` 命令来创建连接对象。为了使得程序能够判断是否存在连接错误或者警告,使用一个 `HRESULT` 定义一个变量 `hr`,设置 `hr=m_pConnection.CreateInstance("ADODB.Connection")`,通过 `if` 语句判断如果创建连接,才运行打开数据库指令,打开数据库命令通过 `open` 来执行的,命令编写如下 `hr=m_pConnection->Open("Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;DataSource=shuju.mdb","", "",adModeUnknown)`;通过 `m_pConnection` 指针应用 `open` 命令打开数据库。上面一句中连接字符串中的 `Provider` 是针对 `ACCESS2000` 环境的,对于 `ACCESS97`,需要改为 `Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.3.51`。数据源就是前面创建的数据库,将数据库名字写到数据源的位置,数据源后面一个是用户名,一个用户密码,编写的程序没有设置用户名和密码,所以不要填写任何数据。为了通过程序表现打开数据库是否成功,运用 `catch` 命令来捕捉异常,对应前面的 `try` 命令。在 `ado` 操作中要常用 `try`、`catch()` 来捕获错误信息,如果出现错误就通过 `AfxMessageBox` 命令将错误显示出来。

4.4.2 调用数据与显示模块

连接数据库以后,需要对数据库里面的数据进行操作,为了取得数据需要运用记录集指针,连接数据库运用的是数据库连接指针,取得数据需要用 `m_pRecordset` 来进行编程,首先创建记录集对象,通过 `CreateInstance` 来创建。直接使用 `Recordset` 对象进行查询取得记录集,命令如下: `m_pRecordset->Open( " SELECT * FROM shuju",m_pConnection.GetInterfacePtr(),adOpenDynamic,adLockOptimistic,adCmdTableDirect)`。`Open` 命令的原型为 `HRESULT` 定义记录集: `Open ( const _variant_t & Source, const _variant_t & ActiveConnection, enum CursorTypeEnum CursorType, enum LockTypeEnum LockType, long Options )` 其中:

- (1) `Source` 是数据查询字符串。
- (2) `ActiveConnection` 是已经建立好的连接(我们需要用 `Connection` 对象指针来构

造一个 `_variant_t` 对象)。

(3) `CursorType` 光标类型, 当 `adOpenUnspecified = -1` 时不作特别指定 `adOpenForwardOnly = 0` 意义为前滚静态光标。这种光标只能向前浏览记录集, 比如用 `MoveNext` 向前滚动, 这种方式可以提高浏览速度。但诸如 `Bookmark`, `RecordCount`, `AbsolutePosition`, `AbsolutePage` 都不能使用, `adOpenKeyset = 1` 意味着采用这种光标的记录集看不到其它用户的新增、删除操作, 但对于更新原有记录的操作对是可见的。`adOpenDynamic = 2` 为动态光标。所有数据库的操作都会立即在各用户记录集上反应出来。`adOpenStatic = 3` 为静态光标。它为你的记录集产生一个静态备份, 但其它用户的新增、删除、更新操作对你的记录集来说是不可见的。

(4) `LockType` 锁定类型, `adLockUnspecified = -1` 说明未指定锁定类型; `adLockReadOnly = 1`, 意味着只读记录集; `adLockPessimistic = 2`, 悲观锁定方式。数据在更新时锁定其它所有动作, 这是最安全的锁定机制。`adLockOptimistic = 3`, 乐观锁定方式。只有在调用 `Update` 方法时才锁定记录。在此之前仍然可以做数据的更新、插入、删除等动作 `adLockBatchOptimistic = 4`, 乐观分批更新。编辑时记录不会锁定, 更改、插入及删除是在批处理模式下完成。

(6) `option` 中选择 `adCmdTableDirect`, `adCmdTableDirec` 将 `CommandText` 视为资料表名称, 其资料行全部被传回。

取得数据以后, 接着就是将数据在列表框中显示出来, 通过 `ResetConent` 命令重新设置列表框内容, 对列表框内容清零, 通过 `try` 与 `catch` 进行错误捕捉, 为了让指针指到数据库中数据的第一个数据, 通过 `m_pRecordset->BOF` 来判断是否是第一个数据, 如果不是第一个数据通过 `Movefrist` 命令将指针指到第一个数据上。指针指到首位以后, 通过 `GetCollect` 命令得到对应数据库中目录行, 将数据取到指针上, 利用 `MoveNext` 命令逐个将数据从数据库取出, 用 `AddString` 命令将其数据显示在对话框中, 通过 `SetCurSel(0)` 设置当前显示第一个数据。

4.4.3 初始化模块

初始化模块针在数据处理中对经常出现的一些变量及其数组和命令行进行初始化, 并设置通用数值, 在其他程序中作为公共参数应用。例如数据库中的最大数、最小数, 平均数, 数据库中采集的数据个数等通过一个独立的程序将其包含其中, 由于数据库中的数据通过取得数据和显示模块已经将数据取出来。我们可以通过已经定义的 `CList` 类型的 `List` 指针函数 `GetHeadPosition()` 命令获得数据中的初始位置, 通过列表指针获得数据, 通过对每一个数据之间进行比较来确定最大值和最小值, 通过 `Getcount` 获得数据个数等。初始化模块设定了那些通用数据, 在运用通用数据时, 可以只调用这个模块就可以, 这样使得程序紧凑, 简单。

4.4.4 绘制直方图模块

4.4.4.1 Matlab 和 VC++ 混合编程

Matlab 是 Mathworks 公司推出的数学软件,它将数值分析、矩阵计算、信号处理和图形显示结合在一起,包含大量高度集成的函数可供调用,命令语句功能十分强大,为科学研究、工程设计及众多学科领域提供了一种简洁、高效的编程工具。但是 Matlab 使用的是解释性语言,大大限制了它的执行速度;源代码的公开不利于算法和数据的保密;局限于 Matlab 运行环境而不能用于开发商用软件。Visual C++ 是 Windows 平台下主要的应用程序开发环境之一,它能方便实现软件开发,开发的系统具有界面友好、执行速度快、易维护和升级等优点。但是在工程计算方面,和 Matlab 相比编程显得复杂的多。因此实现 VC 与 Matlab 混合编程,使两者结合起来,协同工作,必将提高软件开发效率,使所开发的软件具有更高的性能,更大的应用范围,也可以为科学研究和工程技术提供更强的技术支持。通过 VC++ 调用 Matlab 引擎可以实现以下功能:①调用一个数学函数或者子程序来处理数据;②调用 MATLAB 的图形函数库,将一些 Visual 编程复杂程度高、难以实现的图形显示任务由 Matlab 处理,这时,Matlab 就是一个功能强大的图形函数库;③利用 Matlab 编程高效和强大的计算能力,结合 VC++ 之类的通用编程平台输入、输出功能强大,编写图形界面简单的特点,可以为特定的任务建立一个高效的、界面友好的系统,达到缩短开发周期、降低开发难度的目的。

Matlab 与 VC++ 语言混合编程主要有以下几种方法:

(1) 用 Matlab 引擎,采用客户机/服务器 (Client/Server) 的计算模式。在 VC 中设计程序框架,作为前端客户机,通过调用 Matlab 引擎与后台 Matlab 服务器建立连接,实现命令和数据信息的传递。这种方式需要 Matlab 在后台运行,离不开 Matlab 环境。不利于软件的开发,但是它可以充分利用 Matlab 的功能,包括调用工具箱函数和图形函数。

(2) 用 Matlab 的编译器将 .m 源文件转化为 C、C++ 等各种不同类型的源代码,并在此基础上根据应用需要生成 MEX 文件、独立可执行应用程序等文件类型,大大提高程序的运行速度,提高代码的执行效率。主要是使用 mcc 命令实现文件的转化。但是这种方法不支持图形函数,不能编译一些 Matlab 的内建函数,并且转换的代码可读性不太好。

(3) 使用 Matcom 编译器可以将 Matlab 源代码译成同等功能的 C++ 代码,既保持了 Matlab 的优良算法,又提高了执行速度。它还支持一定的图形显示,生成代码的可读性很好。其简单便捷、功能强大、应用灵活。

Matcom 是 Mathworks 公司推出的第一个由 Matlab 到 C++ 的编译开发软件平台,它的可视化界面,方便丰富的调试功能和对数学库的强大支持受到广大技术人员的重视。

现在的最高版本为 Matcom4.5。

我们可以通过在 Matcom 中 file 菜单下的 compile to exe or dll 调用.m 文件编译, 在 Matcom 的 debug 目录下找到生成的 cpp、exe、dll 文件。把需要的文件加到 VC 开发环境的工程中, 再包含头文件就可以实现调用。也可以直接在 VC 环境下使用科学运算库, 即 Matcom 的 Matrix<LIB>, 它是按照 Matcom 的语法在 VC 中实现类似于 Matlab 函数的方法。但是这里还有一种将 Matcom 集成到 VC 环境的方法, 即安装 Visual Matcom 的方式, 这种方式操作更加简便易行, 只需要熟悉 Matlab 编程, 经过简单的步骤就可以轻松实现 VC 环境中调用 Matlab。

Matcom 与 VC++混合编程确实方便好用, 但是 Matcom4.5 软件里面默认的 Matlab 中的命令是有限的, 在绘制一些简单命令时方便快捷, 但是在编写正态分布图时, Matcom 不承认 normpdf 命令, 不能绘制正态分布图。使用 Matcom 软件绘制正态分布图不可行, 所以选用 VC++调用 Matlab 引擎来进行编程。

4.4.4.2 VC++调用 Matlab 引擎

通过 Matlab 引擎, 应用程序会打开一个新的 Matlab 进程。可以控制它完成任何计算和绘图工作, 对所有的数据结构都提供支持。因此, 实际上应用程序是预先存储了 Matlab 的命令, 然后自动地送给 Matlab 执行。

与其他各种编程接口相比, Matlab 引擎方式最简单也最全面, 而且工作时不需要 Matlab 整个与应用程序相连, 只需要一小部分引擎通信函数库与程序相连。因此, 它大大节约了系统资源。

当在 Visual C++环境下调用 Matlab 引擎时, 编译接口环境主要有两步:

(1) 添加 Matlab 引擎库的头文件和库函数的路径

打开 keti 工程, 将菜单中“Tool”, 选取“Option—>Direction”。在“Show direction for”选项卡选取“include files”, 添加“C:\Matlab6p5\Extern\Include”。它是 Matlab 引擎库的头文件 engine.h 所在的目录。然后在“Show directories for”选项卡中选取“Library file”, 添加“C:\Matlab6p5\extern\lib\Win32\Microsoft\MsVisual C++6.0”, 因为这些引擎库用到的动态链接库都在此目录下。如图 4-5 所示:



图 4-5 Library file 路径配置对话框

(2) 完成 Matlab 引擎对应的静态链接库的导入工作

在菜单“Project→Setting”下，选取“Link”选项卡，在“Object/Library Modules”里面添加 Libmx.lib、libmex.lib 和 libeng.lib。三个文件中间要通过空格分开。如图 4-6 所示：



图 4-6 Engine 方式静态链接库设置

4.4.4.3 直方图模块

直方图模块就是实现绘制直方图功能，为了取得数据库中的数据，需要通过前面的几个模块共同作用才能绘制出直方图。利用 Matlab 绘制直方图时，首先通过 Engine *ep 定义 Matlab 引擎变量，通过 engOpen 命令打开 Matlab 打开引擎，编译判断语句来判断引擎是否打开，并用 engSetVisible 来显示 Matlab 窗口。从数据库中采集到的数据放到数组中，为了使得数组数值能够在 Matlab 中能够识别，需要通过 Engine.h 中的函数 mxArray

生成两个数组指针变量,将两个指针分别给赋值,分别取得数据库中的数据值和一个分组数变量值。将数组的数据值通过 `mxCreateDoubleMatrix`, `memcpy`, `mxGetPr` 命令转换成 Matlab 默认的字符型参数,通过 `engPutVariable` 命令将转换的参数放到 Matlab 引擎中,利用 `engEvalString` 命令编写 Matlab 命令绘制直方图和拟合图。

4.4.5 正态分布检验图模块

正态分布检验图模块就是检测试验数据是否服从正态分布,通过检验图来判断数据的分布情况,如果服从正态分布,我们就对试验数据进行正态分布图的绘制,不服从正态分布图,可以通过点图和直方图查看加工中存在那些误差,或者是不是这些数据不是一组数。通过定义一个引擎变量,定义一个数组指针变量,将数据转换成 Matlab 识别的参数,利用 Matlab 中的 `normplot` 命令绘制检验图。

4.4.6 正态经验分布图模块

正态经验分布图模块绘制正态经验分布图,利用经验图来验证数据分布情况,通过图形查看经验值与正态检验图一同验证采集的数据是否服从正态分布。经验图的绘制是通过 Matlab 中的 `cdfplot` 命令实现,通过建立一个引擎变量,打开 Matlab 引擎,利用指针变量将数据转换成 Matlab 能够识别的参数,实现绘图功能。

4.4.7 绘制分布图模块

在 `shujuku.cpp` 文件中添加头文件 `matlab.h` 和 `engine.h`。双击正态分布图按钮,进入编程界面。

绘制正态分布图也是需要调用数据库中的数据,所以首先要调用数据采集模块,将指针指到数据库的顶部,通过指针将数据给数组赋值,并通过判断语句求出最大值、最小值,利用 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 求出平均值,通过 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$ 求出标准偏差。并将数据进行 Z 变换,转换成标准正态分布图格式。通过 `Engine *ep` 定义 Matlab 引擎变量,通过 `engOpen` 命令打开 Matlab 打开引擎,编译判断语句来判断引擎是否打开,并用 `engSetVisible` 来显示 Matlab 窗口,通过 `mxArray` 命令来生成矩阵,因为 Matlab 只能对矩阵进行处理,不能够对数组进行数据操作。将数据库中的数据保存到矩阵中以后,通过 `engPutVariable` 命令将矩阵变量写入 Matlab 引擎的工作区, `engEvalString` 来执行 Matlab 命令。使得 Matlab 执行 `normpdf` 命令,将平均值和标准偏差代入 `normpdf` 命令中,来绘制正态分布图。

正态分布图可以判断加工误差的性质, 确定各种加工方法所能达到的精度, 确定工序能力及其等级, 估算不合格品率。但是分布图分析加工误差存在如下缺点: 不能反映误差的变化趋势。由于必须等一批工件加工完毕以后才能得出分布状况, 因此不能在加工过程中及时提供控制精度的资料。采用点图法来弥补上述不足。

4.4.8 绘制点图模块

用点图来评价工艺过程稳定性采用的是顺序样本, 样本是由工艺系统在一次调整中, 按顺序加工的工件组成。这样的样本可以得到在时间上与工艺过程运行同步的相关信息, 反应加工误差随时间变化的趋势。

点图就是根据所采集数据的顺序逐一的将数据显示出来, 这样能够直观的看到加工过程中, 加工误差的变化趋势。绘制点图模块将数据按着采集数据的顺序逐一绘制出来了, 利用 Matlab 命令中的 plot 命令绘制点图, plot 命令具有强大的绘图功能, 可以设置点的形状和颜色。首先调用 Matlab 引擎, 通过两个数组指针将数据和顺序号参数转换成 Matlab 的应用命令, 绘制点图。当绘制出点图以后, 如果采集的数据过多, 一些区域点的密度比较大, 为了区分数据采集的数据, 将点连接成折线, 这样就能够很好的发现数据的次序和变化情况。

4.4.9 建立数据表模块

当数据统计分析完成以后, 我们需要对当前数据保存到储备数据库, 所以需要在数据库中建立一个表, 存储分析完成的数据。建立数据表模块就是通过 ADO 技术访问数据库, 通过 SQL 中的 CREATE TABLE 命令来实现。在创建表时目录我们要多添加一个 name 字段, 为后面保存数据和调用数据提供索引, 便于查询数据和区分不同的试验数据。

4.4.10 保存数据模块

建立数据表以后, 我们就对分析过的数据保存到数据表中为了以后查看当前的分析过程, 为此提供数据依据。为了区分每次存储的数据, 我们需要多每一次的存储的工件数据起用一个名称, 为了以后查找方便, 通过一个编辑框输入定义工件数据的名称, 当需要当前数据的时候, 我们可以通过数据名称查找所有的数据。

4.4.11 调用原始数据模块

对数据库的操作主要就是通过 ADO 技术利用 SQL 语句实现, 但是在 VC++ 中进行

数据操作的时候要注意数据类型的转换。调用原始数据模块就是通过一个编辑框输入需要查找的数据名称，可以将所有在名称下的数据通过列表框显示出来，并对其进行统计分析。通过调用原始数据模块我们能够很好的了解先前做的试验和分析过程。

4.4.12 模块组合

各个模块编写完毕以后，为了实现功能，需要对各个模块进行组合，实现各自的目的，最终构成一个完成的统计分析系统。整个统计系统模块组合框图如下所示：

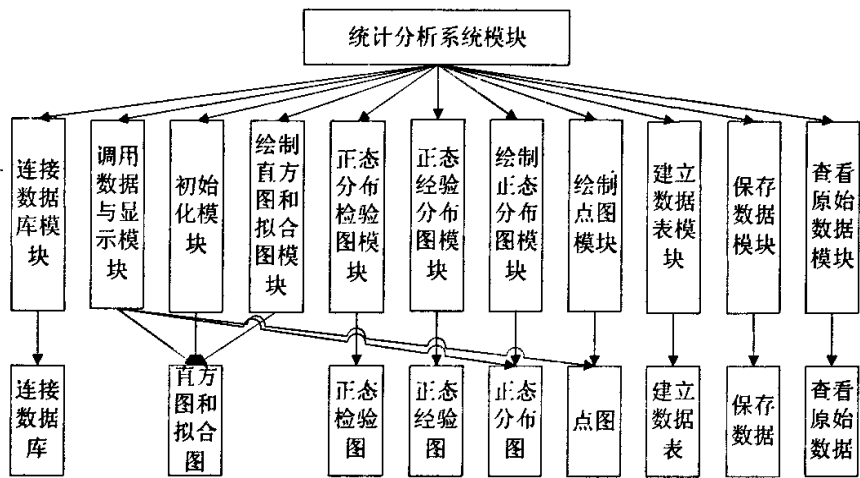


图 4-7 模块组合框图

4.5 本章小结

本章主要通过 ADO 技术对 ODBC 数据库进行访问，通过 SQL 语句对数据库进行操作将数据从数据库中读取出来，通过编写数据处理模块，实现对数据处理，利用 VC++ 绘制点图、直方图和正态分布图困难很大，在这里利用 Matlab 强大的绘图功能，通过与 VC++ 的混合编程实现统计分析图的绘制，绘制图形简单、方便，提高了系统性能。通过对所绘制的图形进行分析，我们能够很好的了解机械加工过程中所存在的误差及其类型，加工过程中误差的发展趋势。

第五章 系统测试及调试

为保证数据采集与处理系统在以后的使用中能够正常的工作,在系统各部分初步完成以后,需要进行整个系统的性能及功能的测试工作。通过系统进行运行操作,对其进行性能测试来发现系统可能存在的问题,并及时调试及修正。

5.1 系统组装

完整的气动检测采集系统与处理系统由以下四部分组成:气动量仪、传感器、PCI数据采集卡,计算机。系统总体框架如图 5-1:

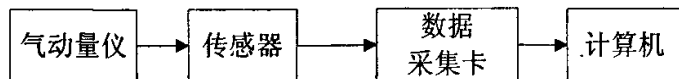


图 5-1 系统框架

利用气动量仪对工件进行测量,对工件进行测量时,由于随着工件尺寸的变化相应的引起气路压力的变化,通过压组式传感器改变电路电阻。通过数据采集卡采集变化的电压值作为模拟量输入。运用 VC++ 软件编写程序,对采集的数据进行相应的数理统计处理,绘制分析图,分析加工工件的加工过程中存在的误差及其发展趋势等。

5.2 软件系统功能测试

为了验证数据采集与处理系统的正确性,前面的气动量仪检测技术已经发展很成熟,所以检测技术不需要进行测试,只对软件系统进行必要的功能测试。通过对指定的数据库进行人为的数据设定,将设定的数据存储在指定的数据库中,作为数据源,对其进行测试。测试内容主要包括两部分:(1) 验证数据采集功能的准确性;(2) 验证数据处理功能的准确性。对于其他相关的分析的测试,由于没有相应的仪器,只能从对理论上的值进行验证。其他功能模块,限于篇幅就不再加以阐述。

5.2.1 数据采集系统的测试

首先来验证数据采集系统的准确性,这里我们将数据采集卡设置悬空位置,由于设置基本电压为正负 5V,信号频率设为 1HZ。

数据采集卡参数设置如下:

通道号: 0;

触发方式: 中断触发;

输入方式：单端输入；

采样点数为：100；

运行编写的数据采集卡的程序，生成对话框如图 5-2 所示：

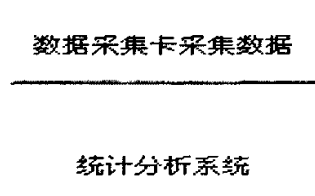


图 5-2 运行对话框

点击数据采集卡采集数据按钮，进入数据采集卡采集数据界面。点击数据采集按钮，系统开始采集数据，并将数据在编辑控件中显示出来，如图 5-3：

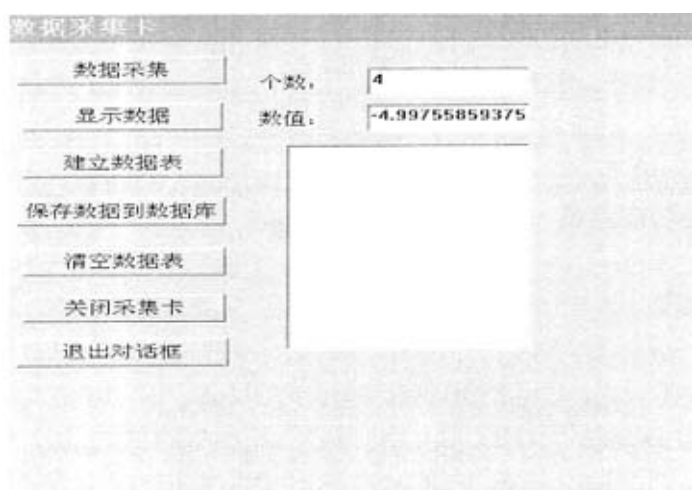


图 5-3 数据采集界面

数据采集完毕以后，关闭采集卡，点击数据显示按钮，通过列表框可以将所有的数据显示出来，结果如图 5-4：

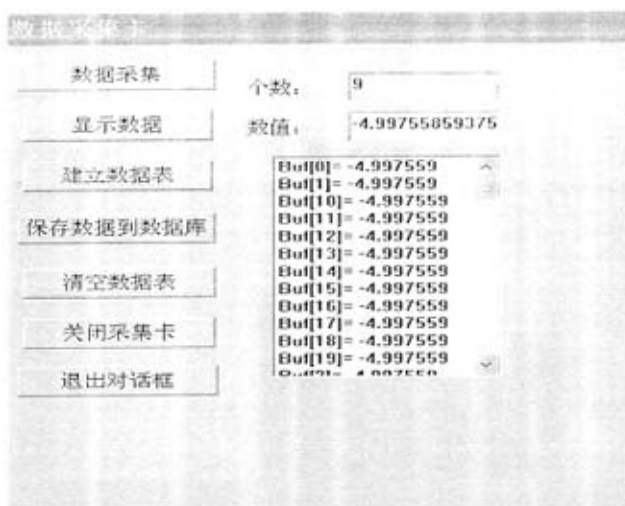


图 5-4 显示数据界面

为了对数据进行统计分析处理，所以必须将数据保存到数据库中，以备数据处理使用，所以点击数据保存按钮，将数据保存指定的数据库中。完成上面操作，则数据采集系统调试成功。通过试验验证数据采集卡能够完成数据采集功能。

5.2.2 统计分析系统测试

对数据的分析首先将通过 ADO 技术打开数据库，将数据从数据库中取出来，通过绘制点图和统计分析图来分析加工过程中存在的加工误差。点击图 5-2 中的统计分析系统按钮进入数据分析系统界面，点击数据采集按钮，列表框中和编辑框中会显示相应的数据。

首先测试直方图功能，点击直方图按钮，由于系统默认的将数据分成六组，所以直方图出现如图 5-5 所示：

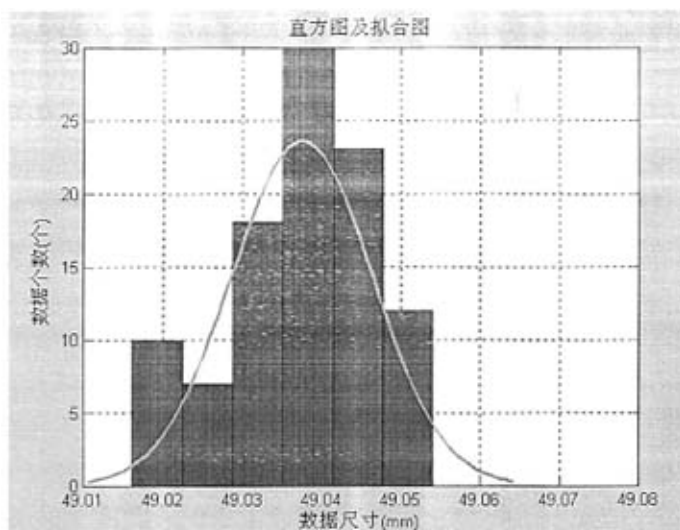


图 5-5 直方图及拟合图 1

当设置分组数为 9 时，绘制的直方图如下：

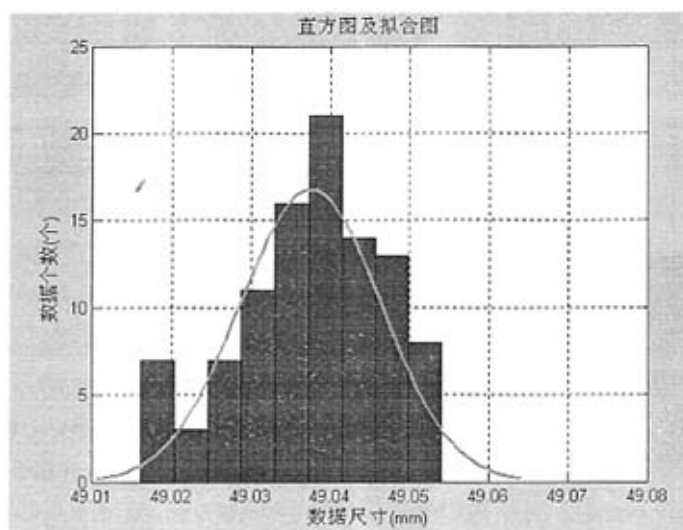


图 5-6 直方图与拟合图 2

通过绘制直方图可以看出工件尺寸分布情况，通过两个图形可以得到该批工件的尺寸分散范围大部分居中，要进一步研究该工序的加工精度问题，必须找出频率密度与加工尺寸间的关系，所以要分析正态分布图图形。

其次测试正态分布图功能，点击正态分布检验图按钮，将会出现如图 5-7

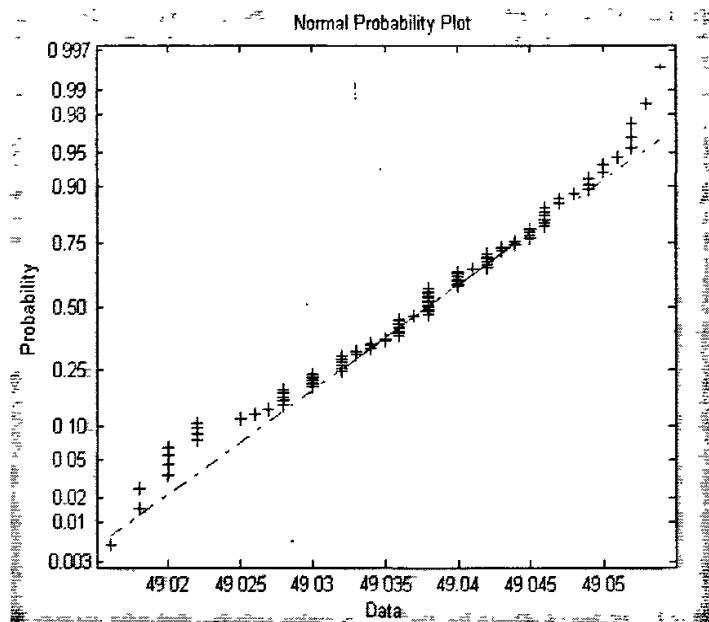


图 5-7 正态分布检验图

点击正态分布经验图按钮绘制图形如下：

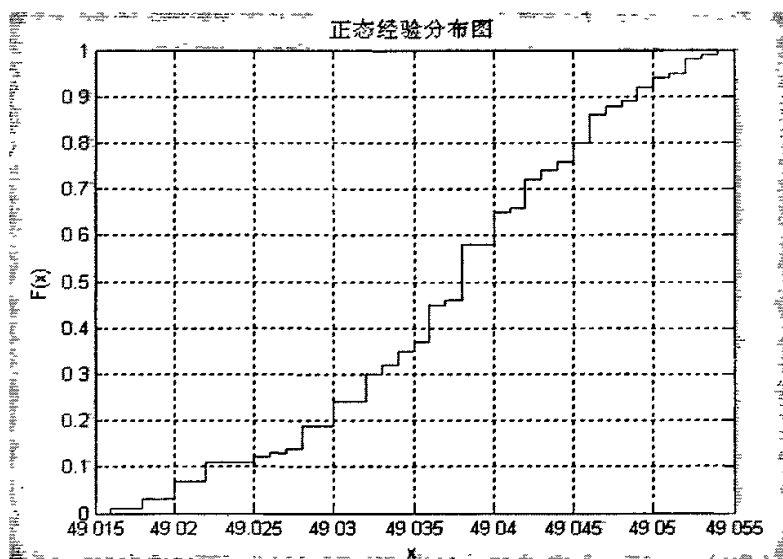


图 5-8 正态经验分布图

通过正态检验图和正态经验图分析得出工件尺寸符合正态分布，所检测的数据可以断定同一组数据。通过绘制正态分布图来判断加工过程中是否存在常值系统误差。

点击正态分布图按钮，绘制图如下：

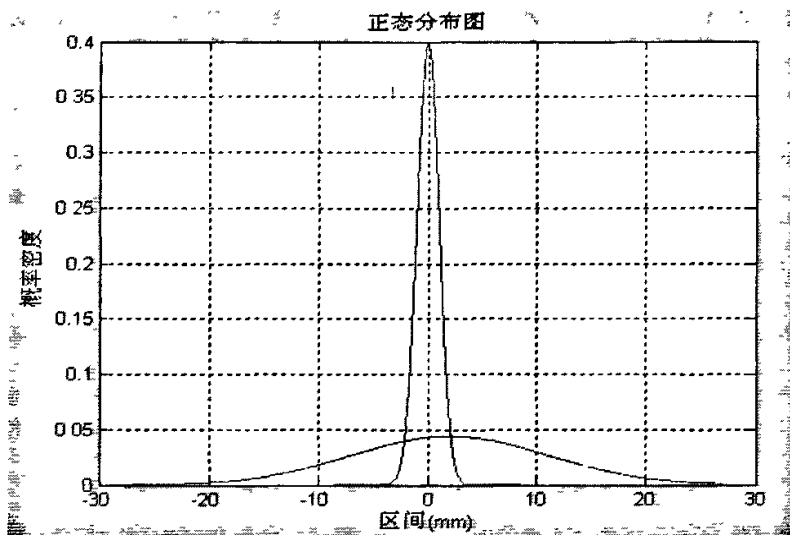


图 5-9 正态分布图

通过对直方图和正态分布图的分析，可以判断加工过程中是否存在变值系统误差和常值系统误差，如果不服从正态分布图说明存在变值系统误差。如果服从正态分布图，但是实际分布与标准分布中心不重合，说明存在常值系统误差。通过上面图形可以了解数据存在常值系统误差，不存在变值系统误差。还可以通过图形确定工序的能力及其等级，确定各种加工方法所能达到的精度，估算不合格率。但是不能反映误差的变化规律。通过绘制点图来避免以上缺点。

当点击点图按钮，对话框将会绘制如下图形：

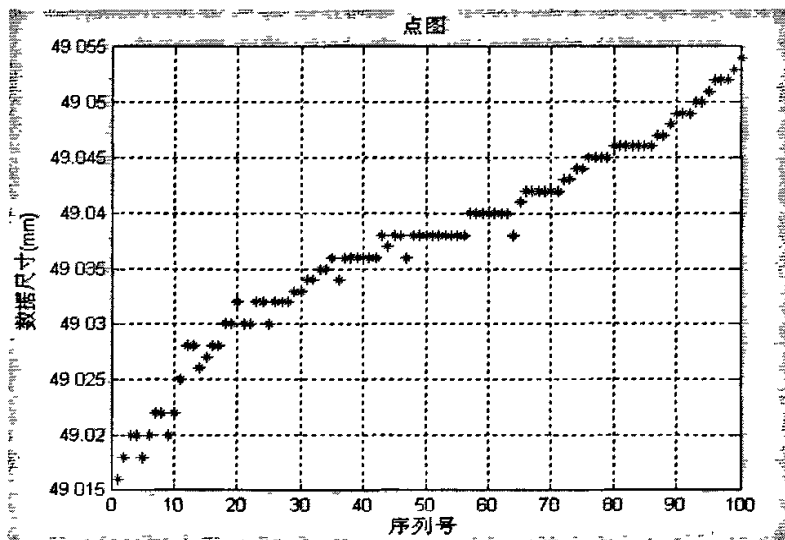


图 5-10 点图 1

通过以上图形可以看出，当数据过多的时候，不能很好的分辨出出现次序，所以将各个点按照采集的顺序连成线，这样可以很好的观看数据变化。点击连线点图按钮，绘制点图如下：

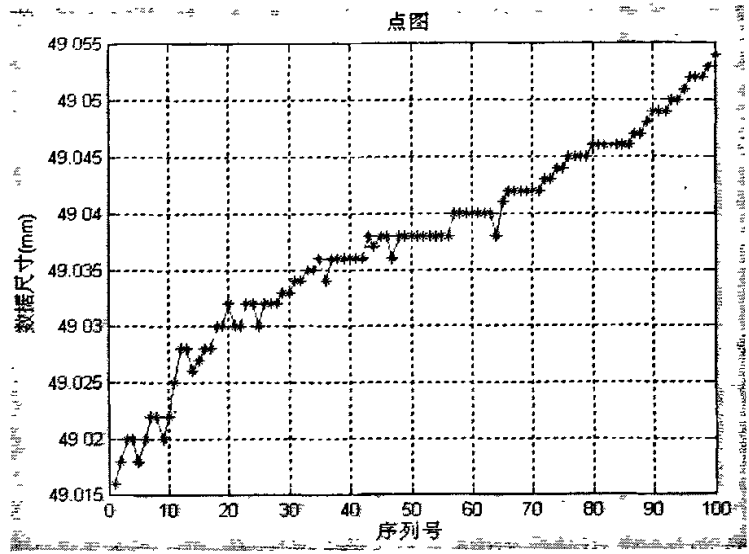


图 5-11 点图 2

为了直观的观测数据的是否合格，要对其进行合格区域设定，输入合格区域值以后绘制点图如下：

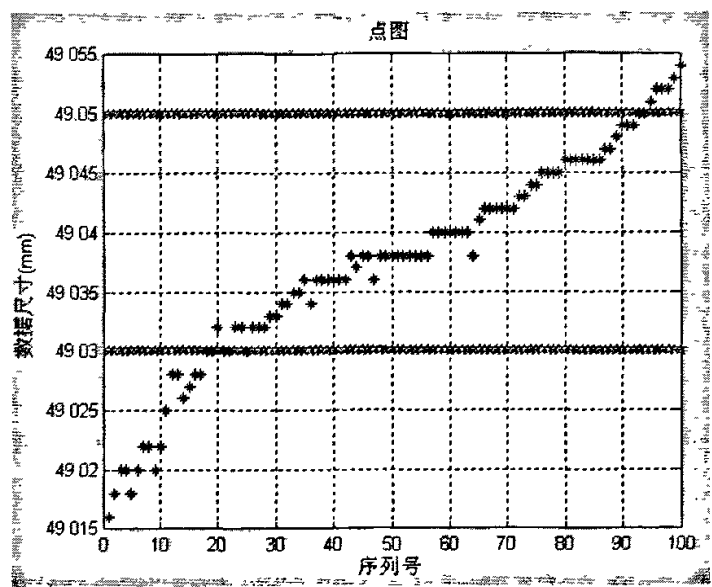


图 5-12 点图 3

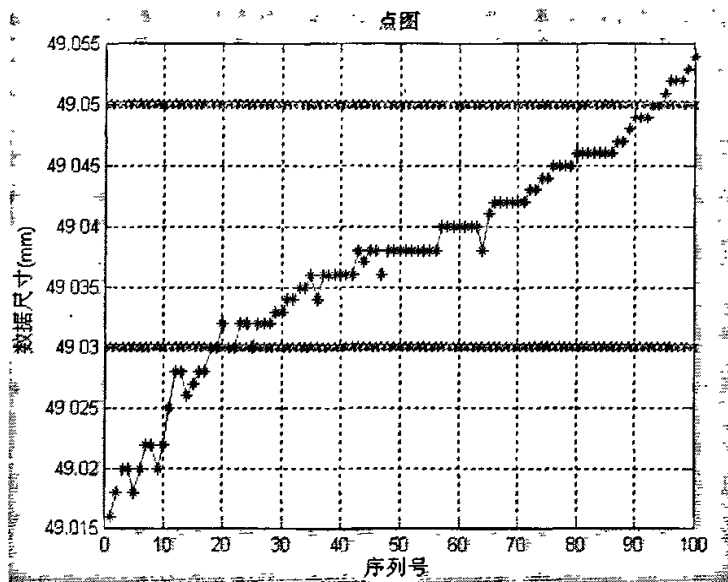


图 5-13 点图 4

数据分析完成以后,我们需要将数据保存的数据库中,为了以后查看数据分析过程,并将每一组的数据定义相关的工件名,以备以后调用。在输入保存工件名编辑框输入文件名,点击数据保存按钮,就实现了本次数据操作的保存。

数据保存以后,系统还具有数据查询功能,查询功能主要是为了调用以前所采集的数据,为了了解以前做过的数据分析,我们可以将以前文件名输入编辑框,点击查看原始数据按钮就可以看到相应的文件名下的数据,并可以进行统计分析,经过测试能够实现此功能。

经过对系统的测试可以判断数据采集卡能够完成数据的采集功能,并很好的为统计系统提供数据源。通过绘制分布图和点图,验证了系统能够很好的完成数据的统计分析功能。

5.3 本章小结

本章主要完成了机械加工精度统计系统的最后测试,通过利用数据采集卡采集电压信号并分析验证了该系统各功能的正确性与准确性。从以上系统测试的结果来看,该数据采集与数据处理系统基本功能已经实现。

第六章 结论

经过一段时间的工作终于完成了气动检测技术机械加工精度统计系统的总体设计,并对部分功能进行测试,设计基本实现了预期要求,总体实践经验可以得到如下结论:

1. 基于气动检测技术的机械加工精度统计分析系统的设计应用于计算机辅助教学,利用本系统处理试验数据可以扩大原来的试验面。通过计算机实现加工误差分析,快速、直观的了解加工过程中存在的误差在试验教学中显得尤为重要。

2. 通过气动检测技术研究,了解气动量仪的工作原理与工作特性,并通过对背压式气动量仪工作原理分析,设计相应的气动检测系统线路图,使得系统简单紧凑,精度高。

3. 阐述数据采集卡的功能和汇编语言,介绍了数据采集卡的硬件安装,电路连接等。主要工作是利用数据采集卡进行数据采集,将气动量仪测量的数据采集到相应的数据库中,通过 VC++ 编程语言编写应用程序,可以通过数据采集卡能够进行适时采集,并显示采集的数据等功能。通过数据采集卡采集数据,运行速度快,能够迅速响应系统要求,抗干扰能力强,提高整个系统的精度。

4. 通过 ADO 技术对 ODBC 数据库进行访问,通过 SQL 语句对数据库进行操作将数据从数据库中读取出来,ADO 是一套用自动化技术建立起来的对象层次结构,它比其他的一些对象模型如 DAO(Data Access Object)、RDO(Remote Data Object)等具有更好的灵活性,使用更为方便,并且访问数据的效率更高。SQL 是强大的数据库操作系统,通过 ADO 和 SQL 语句的配合,我们可以实现对数据库的一系列操作。利用 VC++ 可视化编程软件编写数据处理模块,实现对数据处理,绘制数据直方图和点图。通过 VC++ 调用 Matlab 引擎,绘制正态分布图。与其他各种编程接口相比,Matlab 引擎方式最简单也最全面,而且工作时不需要 Matlab 整个与应用程序相连,只需要一小部分引擎通信函数库与程序相连。因此,它大大节约了系统资源。

5. 本研究设计开发的机械加工统计分析系统是在现有的试验台上进行的,主要是数据采集卡数据采集和软件部分的设计。本试验的实施还需要进一步的开发,同时由于时间和作者水平的限制,本系统尚有不足之处,如整个系统还不能实现在线检测,还不能对工件进行多参数的分析,系统的稳定性等还需要有待进行更深入的研究。

致 谢

本论文是在导师董锋教授的悉心指导下完成的。

在研究生近三年的学习期间，董老师在学习上给予了淳淳教诲，在生活上给予了无微不至的关怀和照顾，我深受感动。在论文写作期间，董老师给予了许多有益的指导和帮助。在论文完成之际，向我的导师董锋教授致以最诚挚的敬意和最真诚的感谢！

实验室的赵庆志老师，张桂香老师对我的学习和科研工作给予了很多帮助和关怀，在此表示深深的谢意！

亲爱的学友宋风敏、严纪兰、邵梅、牟娟等曾对论文的完成提供了很多帮助，在此一并表示感谢！感谢研 2004 级的各位同学在学习和生活上的无私帮助！

感谢院系领导和老师三年来在学习上所给予的关怀与帮助！

最后，我要向敬爱的父母表达最崇高的敬意，感谢父母多年来在生活和学习上所给予的精神上和物质上的理解与支持！

参考文献

- [1] 范承前, 机械制造业发展的特点和趋势, 山西农机, 2005, (6),p31-32
- [2] 刘玉初, 气动量仪, 机械工业出版社, 1991.6, p18-p23,p44-p45
- [3] 数据采集系统应用与编程 Taiwan : Advantech Technology Inc. July,2004
- [4] PCI-1710 Series 12/16bit Multifunction Card User's Manual Taiwan, Advantech Technology, Inc. November 2003
- [5] David J. Kruglinski. Visual C++ 技术内幕 北京: 清华大学出版社, 1999
- [6] 陈霞, 气动量仪的机理的研究, 合肥工业大学硕士论文, 1999.3, p18-p25
- [7] 王慧清, 高精度的中、小量程气动量仪的研究, 合肥工业大学硕士论文, 2001.4
- [8] 张勇, 新型数显气动量仪的研制, 哈尔滨工业大学硕士论文, 2001.7
- [9] 单成祥, 传感器的理论与设计基础及其应用, 国防工业出版社, 1999.8
- [10] 宋振会, C++语言编程基础教程, 清华大学出版社, 2005.5
- [11] 毛新军, 面向主体的软件开发, 清华大学出版社, 2005.6
- [12] 张文祥、肖四友、李超, Visual C++试验与案例分析, 科学出版社, 2005
- [13] 求是科技、王正军, Visual C++6.0 程序设计从入门到精通, 人民邮电出版社
- [14] 石森森, 气动测量, 中国计量出版社, 1992.2
- [15] 关玉祥, 机械加工误差与控制, 机械工业出版社, 1994.5
- [16] 王仁富, 精密气动计量仪器, 机械工业出版社, 1987.12
- [17] 李力、欧阳等, Visual C++6.0 实用数据库编程, 中国科学技术大学出版社, 1999.7
- [18] Chuck Wood, Visual C++6.0 数据库编程大全, 电子工业出版社, 2000.2
- [19] 杨高波、元波, 精通 MATLAB7.0 混合编程, 电子工业出版社, 2005
- [20] 郑修本, 机械制造工艺学, 机械工业出版社, 1999.5
- [21] 《电脑编程技巧与维护》杂志社, Visual C++编程技巧图例案例解析—图形处理与数据库篇, 中国电力出版社, 2005.1
- [22] 罗军辉、冯平等, MATLAB7.0 在图形处理中的应用, 机械工业出版社, 2005.6
- [23] 梁虹、普园媛、梁洁, 信号与线性系统分析—基于 MATLAB 的方法与实现, 高等教育出版社, 2005.11
- [24] 张戌社、吴书迎, 机械加工精度的计算机分析系统, 河北工业科技, 2001
- [25] 刘子香, 精密气动测量系统的研究及其应用, 武汉理工大学硕士论文, 2001.10
- [26] 赵继文, 传感器与应用电路设计, 北京科学出版社, 2002
- [27] 张宝芬, 自动检测技术及仪表控制系统, 化学工业出版社, 2000.12
- [28] 沈炜、徐慧, Visual C++数据库编程技术与实例, 人民邮电出版社, 2005

- [29] 东方人华, Visual C++6.0 范例入门与提高, 清华大学出版社, 2003
- [30] 张建志, 数字显示测量仪表, 中国计量出版社, 2004
- [31] 王道顺, 新型数字式气动量仪, 工具技术, 2001
- [32] 王立洲, 浅谈气动量仪的选用, 计量技术, 2001.4
- [33] 刘小石 郑淮 马林伟等, 精通 Visual C++6.0, 清华大学出版社, 2003.5
- [34] Ma,j ;Yan,y Design and evaluation of electrostatic sensors for the measurement of velocity of pneumatically conveyed solids September, 2000, pp. 195-204
- [35] Ravina, E. A pneumotronic equipment for acoustic measurements, Mechatronics Volume: 11, Issue: 2, March 1, 2001, pp. 183-197
- [36] Yan , Yong; Byrne, Ben ,Measurement of solids deposition in pneumatic conveying,Powder Technology Volume: 91, Issue: 2, May 15, 1997, pp. 131-139
- [37] Carter, Robert M.; Yan, Yong; Cameron, Stuart D. On-line measurement of particle size distribution and mass flow rate of particles in a pneumatic suspension using combined imaging and electrostatic sensors , Flow Measurement and Instrumentation Volume: 16, Issue: 5, October, 2005, pp. 309-314
- [38] Messina, Arcangelo; Giannoccaro, Nicola Ivan; Gentile, Angelo , Experimenting and modelling the dynamics of pneumatic actuators controlled by the pulse width modulation (PWM) technique, Mechatronics Volume: 15, Issue: 7, September, 2005, pp. 859-881
- [39] k.Vacharanukul,s.mekid,the university of Manchester school of mechanical aerospace and civil Engineering M60 IQD Manchester UK Recevied 26, April 2004;received in revised from 17 May 2005;accept 21 July 2005,Available online 9,September 2005
- [40] Cleve B.Moler 著、喻文健 译, 数值计算, 机械工业出版社, 2006,p217-222
- [41] 曾建军、李世航、王永国等, MATLAB 语言与数学建模, 安徽大学出版社, 2005.10

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- PCI-1710 数据采集卡在气动量仪中的应用 机械工程与自动化 (已录用).3 排 1
- 自动化测量系统中 PCI-1710 数据采集卡的应用 现代制造技术与装备 (录用通知),3 排 1
- 基于气动检测技术机械加工误差统计分析系统的研究 工具技术 (已投稿), 3 排 1