# 第5章 参数检测

本章内容：

* 测量、测量系统的基本概念
* 测量方法及其分类
* 测量误差
* 测量系统的结构、基本类型
* 常见物理量的测量方法

在对物理量的检测过程时，需要借助一定的检测手段取得必要的测量数据，并对其进行分析以获得检测结果。为此，本章首先阐述了测量的基本概念，测量的方法及其分类，以及测量误差。然后介绍了测量系统的基本概念、结构和基本类型。最后，在此基础上，对常见物理量的测量方法进行了简介。

# §5.1 概述

在对几何量、机械量及其他物理量进行检测时，首先需要使用一定的检测手段来获取必要的测量数据，然后分析这些数据以获得测量结果。在测量过程中，设备、仪表、被测对象、测量方法以及测量者都会受到各种内外环境因素的影响。这些因素会在不同程度上改变测量结果。另外，只有当被测量对测量系统产生作用时，测量系统才能输出结果。这通常意味着测量过程会改变被测对象的初始状态。因此，测量结果并不总是反映被测对象的真实情况，通常会存在不可避免的测量误差。可以说，误差是所有科学实验和测量过程中的常见现象。在科技迅速发展的今天，人们对产品的精度和测量技术的准确性有着更高的期望。因此，研究测量误差，了解其特性，掌握相应的处理原则，有效地减少和消除测量误差的影响，以便做出科学的判断和决策，具有重大的理论和实际应用价值。

## 5.1.1 测量的基本概念

测量就是以确定被测量为目的的一系列操作。这些操作是利用物质的物理、化学或生物特性，对被测对象的信息进行提取、转换和处理，从而获得定性或定量结果的过程。测量通常包括两个过程：一是能量形式的一次或多次转换；二是将被测量与其相应的标准量进行比较，以确定被测量对标准量的倍数。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.1） |

式中：—被测量；

—比值，无量纲（一般含有测量误差）；

—标准量，即测量单位。

这是理想的线性关系。然而，实际的测量系统应不可避免地存在非线性输出和零位输出。经测量过程所获得的被测量的量值称为测量结果。测量结果有多种表示方式，如数值、曲线或图形等。根据式（5.1）可知，无论采用何种表示方式，测量结果应包括两个部分：比值和测量单位。严格地说，还应包括测量误差或测量精度，以表明测量结果的可信程度。值得注意的是，应使用规范的测量单位。国际单位制（SI）是被世界各国普遍采用的单位制，适用于所有的测量应用。

## 5.1.2 测量方法

测量方法是实现测量过程所采用的具体方法。应当根据被测量的性质、特点和测量任务的要求来选择合适的测量方法。 根据测量手段，可以分为直接测量和间接测量；根据获得测量值的方式，可以分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量；根据传感器是否与被测对象直接接触，可以分为接触式测量和非接触式测量；根据被测对象的变化特点，可以分为静态测量和动态测量。

### 1．直接测量和间接测量

（1）直接测量。这是一种使用事先标定好的仪表，直接读取被测结果的方法。直接测量是工程技术中大量采用的方法，其优点是直观、简便、迅速，但不易达到很高的测量精度。

（2）间接测量。是一种首先对与被测量有确定函数关系的几个量进行测量，然后再将测量值代入函数关系式，经过计算得到所需结果的方法。间接测量的优点是精度高。这是因为间接测量通过计算和转换，可以消除或减小直接测量中的一些系统误差，从而提高测量的精度。同时，间接测量还可以测量那些直接测量无法或难以测量的量。然而，间接测量的过程可能更复杂，需要更多的时间和手续，这是其主要的缺点。

### 2．偏差式测量、零位式测量和微差式测量

（1）偏差式测量。在测量过程中，利用测量仪表指针相对于刻度初始点的位移（即偏差）来表示被测量的大小的测量方法，称为偏差式测量。它以间接方式实现被测量和标准量的比较。

偏差式测量仪表在进行测量时，会利用被测量产生的力或力矩使仪表的弹性元件变形。这个变形会产生一个相反的作用，直到与被测量所产生的力或力矩达到平衡。在力或力矩与被测量所产生的力或力矩达到平衡的瞬间，弹性元件的变形便会终止。这种变形可以通过一定的机构转变成仪表指针相对于标尺起点的位移，指针所指示的标尺刻度值即为被测量的数值。偏差式测量简单，迅速，但其精度相对较低。尽管如此，由于其操作简便和测量速度快的特点，这种测量方法在工程测量领域仍得到了广泛的应用。

（2）零位式测量。使用已知的标准量来平衡或抵消被测量的作用，并通过指零式仪表来检测测量系统是否达到平衡状态，从而判定被测量值等于已知标准量的方法称作零位式测量。例如，使用天平测量物体的质量就是一个零位式测量的简单例子。

（3）微差式测量。这是一种融合了零位式测量和偏差式测量优点的测量方法。其基本思路是首先将被测量的大部分作用与已知标准量的作用相抵消，然后再将剩余部分（即两者的差值）用偏差法进行测量。在微差式测量中，总是设法将差值降至最低。因此，即使差值的测量精度不高，通过使用高灵敏度的偏差式仪表，仍能使最终结果达到较高的精度。

### 3. 接触式测量和非接触式测量

接触式测量是指测量敏感元件与被测介质直接接触的测量；否则，称为非接触式测量。

### 4. 静态测量和动态测量

如果被测量在测量过程中是固定不变的，或随时间变化非常缓慢，对这种被测量的测量称为静态测量。静态测量不需要考虑时间因素。

如果被测量在测量过程中是随时间不断变化的，对这种被测量的测量称为动态测量。动态测量必须考虑时间因素对测量结果的影响，即测量结果中一定包含有时间量。

## 5.1.3 测量误差

在检测过程中，被测对象、检测系统、检测方法和检测人员都会受到各种变动因素的影响。并且，对被测量的转换，有时也会改变被测对象原有的状态。这就造成了检测结果和被测量的客观真值之间存在一定的差值。这个差值称为测量误差。测量误差的主要来源可以概括为工具误差、环境误差、方法误差和人员误差等。

在分析测量误差时，所采用的被测量真值是指在确定的时间、地点和状态下，被测量所表现出来的实际大小。一般来说，真值是未知的，所以误差也是未知的。但有些值可以作为真值来使用，例如理论真值，这是理论设计和理论公式的表达值；还有计量学约定真值，这是由国际计量学大会确定的长度、质量、时间等基本单位。

### 5.1.3.1 误差产生的原因

产生误差的原因多种多样，根据检测系统的各个环节可分类如下：

（1）被检测物理模型的前提条件通常是理想的，但这可能与实际检测条件有出入。

（2）测量器件的材料性能或制作方法不佳使检测特性随时间发生劣化。

（3）电气、空气压、油压等动力源的噪声及容量的影响。

（4）检测线路接头之间存在接触电势或接触电阻。

（5）检测系统的惯性，也就是迟延传递特性，可能不符合检测的目的要求，因此需要同时考虑系统的静态特性和动态特性。

（6）检测环境，包括温度、气压、振动、辐射等，可能会影响测量结果。

（7）由于不同采样得到的测量值之间的差异，可能会产生误差。

（8）人为因素，包括个人读表偏差、知识和经验的深浅、体力及精神状态等，可能会造成误读。

（9）测量器件进入被测对象，破坏了所要测量的原有状态。

（10）被测对象本身变动大，极易受到外界干扰，从而导致测量结果的不稳定。

### 5.1.3.2 绝对误差、相对误差和引用误差

1．绝对误差

绝对误差是仪表的指示值与被测量的真值之间的差值，记做。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.2） |

绝对误差是有符号和单位的，它的单位与被测量相同。

引入绝对误差后，被测量真值可以表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.3） |

其中，为误差修正值，含有误差的指示值加上修正值之后，可以消除误差的影响。在计量工作中，通常采用加修正值的方法来保证测量值的准确可靠，修正值可以是数值、曲线、公式或数表等。仪表送上级计量部门检定，其主要目的就是获得一个准确的修正值。

绝对误差越小，说明指示值越接近真值或测量精度越高。但这一结论只适用于被测量值相同的情况，而不能说明不同值的测量精度。例如，某测量长度的仪器，测量10mm的长度，绝对误差为0.001mm；另一仪器测量200mm长度，误差为0.01mm。这就很难仅根据绝对误差的大小来判断测量精度的高低。这是因为后者的绝对误差虽然比前者大，但它相对于被测量的值却显得较小。因此，需要引入相对误差的概念。

2. 相对误差

相对误差是仪表指示值的绝对误差δ与被测量真值的比值，常用百分数表示，即：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.4） |

相对误差比绝对误差能更好地说明测量的精确程度。在上面的例子中

显然，后一种长度测量仪表的精度更高。

在实际测量中，由于被测量真值是未知的，而指示值又很接近真值。因此，可以用指示值代替真值来计算相对误差。

相对误差可以用来评定测量结果的准确程度。然而，它并不能全面地衡量测量仪表本身的质量。因为同一台仪表在整个测量范围内的相对误差不是一个定值，而是随着被测量的减小而变大。为了更合理地评价仪表的质量，要引入引用误差的概念。

3. 引用误差

引用误差是绝对误差与仪表量程的比值，通常以百分数表示，如式（5.5）所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.5） |

式中：—仪表量程。

如果以测量仪表整个量程中可能出现的绝对误差最大值代替，则可得到最大引用误差为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.6） |

对于特定的仪表或检测系统，其最大引用误差是一个定值。

测量仪表一般采用最大引用误差不能超过的允许值作为划分精度等级的尺度。工业仪表常见的精度等级有0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、5.0级。精度等级为1.0的仪表在使用时，其最大引用误差不超过±1.0％。也就是说，这种仪表在整个量程内的绝对误差最大值不会超过其量程的±1％。

在具体测量某个量值时，相对误差可以根据精度等级所确定的最大绝对误差和仪表指示值进行计算。

### 5.1.3.3 系统误差与随机误差

1．系统误差

在相同的条件下，多次重复测量同一量时，误差的大小和符号保持不变，或按照一定的规律变化，这种误差称为系统误差。检测装置本身性能不完善、测量方法不完善、测量者对仪器使用不当、环境条件的变化等原因都可能产生系统误差，例如，如果某仪表的刻度盘分度不准确，就会造成读数偏大或偏小，这可能产生恒值系统误差。另外，环境条件（如温度、气压）的变化，以及仪表电池电压随使用时间的增长而逐渐下降，都可能产生变值系统误差。

尽管系统误差对测量结果的影响具有累积性，但由于其具有规律性，可以采取以下措施来减小甚至消除这种误差：

（1）采用修正值或补偿校正的办法或一定的测量方法。

（2）从每一个环节的元、器件带来的系统误差入手来减小系统误差。然而，过分追求高质量的元、器件，只能增加仪器的成本和制造难度。

（3）若使系统误差减小至相当于其随机误差的大小时，可以不必对系统误差进行单独处理，而将其统一作为随机误差处理。

这样，就可以在保证测量精度的同时，有效地控制测量成本。这是处理系统误差时需要考虑的一个重要因素。总的来说，理解并妥善处理系统误差对于提高测量的准确性和可靠性至关重要。

2．随机误差

在相同条件下，多次测量同一量时，其误差的大小和符号以不可预见的方式变化，这种误差称为随机误差。随机误差是测量过程中，许多独立的、微小的和偶然的因素引起的综合结果。

精确度是测量的正确度和精密度的综合反映。精确度高意味着系统误差和随机误差较小。精确度有时简称为精度。图5-1清晰地展示了系统误差、随机误差对测量结果的影响，并解释了正确度、精密度和精确度的含义。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| （a） | （b） | （c） |

图5-1 系统误差和随机误差对测量结果的影响

图5-1（a）的系统误差较小，正确度较高，然而随机误差较大，精密度低；图5-1（b）的系统误差大，正确度较差，然而随机误差小，精密度较高；图5-1（c）的系统误差和随机误差都较小，也就是说正确度和精密度都较高，因此精确度高。因此，一切测量都应当力求精密而又正确。

3. 粗大误差

明显偏离测量结果的误差称为粗大误差，又称过失误差。粗大误差主要是人为因素造成的。例如，当测量人员在工作时疏忽大意，可能会出现读数错误、记录错误、计算错误或操作不当等。此外，如果测量方法不恰当，或者测量条件突然发生意外变化，也可能造成粗大误差。含有粗大误差的测量值称为坏值或异常值，需要从测量结果中剔除。在实际测量工作中，由于粗大误差的误差数值特别大，容易从测量结果中发现。一旦发现有粗大误差，就应认为该次测量无效，并剔除测量数据，以消除其对测量结果的影响。

**例5-1** 某1.0级电流表，满度值，求测量值分别为，，时的绝对误差和相对误差。

解：因为精度等级，即最大引用误差为：

所以可求得最大绝对误差为：

依据误差的整量化原则，仪器在同一量程的各示值处的绝对误差均等于。故三个测量值处的绝对误差分别为

三个测量处的相对误差分别为：

由例5-1可见，为了减小测量误差，在选择量程时应使示值尽可能接近满度值，通常不小于其。

## 5.1.4 测量系统

### 5.1.4.1 测量系统的结构

测量系统是由传感器和数据传输、数据处理和数据显示等环节组合在一起，为了完成信号测量目标而形成的一个有机整体。典型测量系统的结构框图如图5-2所示。

  
图5-2 测量系统的结构框图

传感器：能够感知被测量的大小并输出相应可用信号的设备或装置。

数据传输环节：负责在测量系统的各个功能环节之间传输数据。

数据处理环节：负责处理和转换传感器的输出信号，如放大、滤波、运算、线性化、A/D或D/A转换等，以便于显示、记录和处理。

数据显示环节：负责将测量结果转换为易于理解的形式并输出，以便于监视、控制或分析。显示方式可以是模拟或数字，具体形式如数字、图表、声音等，取决于显示设备（如仪表、监视器、打印机、扬声器等）。

### 5.1.4.2测量系统的基本类型

根据是否存在反馈通道，或信号在其中的传递情况，可以将测量系统分开环测量系统与闭环测量系统两种基本类型。

1. 开环测量系统

如果测量系统没有反馈通道，全部信息的变换只沿着一个方向进行，这样的测量系统称为开环测量系统，如图5-3所示。

  
图5-3 开环测量系统框图

在图5-3中，是输入量，是输出量，为各个环节的传递系数，则输出可表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.7） |

当开环测量系统受到外界干扰时，系统的输出不仅取决于各环节的传递系数和输入量，还会受到各环节干扰的影响。如果不提高各环节的抗干扰能力，开环测量系统将很难获得高的测量精度。因此，开环测量系统一般用于简易测量。

开环测量系统是由各个环节串联而成的，其相对误差（）等于各个环节相对误差（、、…、）之和，即：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.8） |

开环测量系统的灵敏度等于（）等于各环节灵敏度（、、…、）之积，即：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.9） |

由式（5.8）、式（5.9）可知，如果要提高测量系统的灵敏度，需要增加环节的个数或提高环节的灵敏度。如果增加环节的个数，仪表的相对误差将会增大。如果不增加环节的个数，而提高环节的灵敏度，那么对应较小的输入信号，就能得到相同的指针偏转，这将导致仪表的测量范围减小。如果绝对误差不变，那么随着灵敏度的增大，系统的相对误差也必将增大。因此，当开环测量系统的灵敏度增加时，系统的相对误差也会相应增大，这将降低系统的测量精度。另一方面，灵敏度的增加会大大降低系统的稳定性。为了保证仪表的稳定性，开环测量系统的灵敏度不应过高。一般来说，在同一量程条件下，灵敏度高的系统的精度不一定都高。但是，如果一个系统的精度高，那么它的灵敏度通常也会较高。

2. 闭环测量系统

闭环测量系统有两个通道：一个是正向通道，另一个是反馈通道，如图5-4所示。

  
图5-4 闭环测量系统框图

在图5-4中，为正向通道的输入量，为反馈环节的传递系数，正向通道的总传递系数。经推导可得:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.10） |

当时，有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.11） |

由式（5-10）可知，对于闭环结构的测量系统，如果正向通道的传递系数足够大，则整个系统的输入、输出关系由反馈环节的特性（）决定。这意味着，即使正向通道的放大器等环节特性（）发生变化，也不会影响测量结果。这个特性对于设计和制造仪表有很大的好处。只需要精心挑选反馈通道所需的元器件，而无需对正向通道有过高的要求，就可以获得高精度和高灵敏度的测量系统。

闭环测量系统的相对误差为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.12） |

式中：—测量系统的相对误差；

—反馈通道的相对误差。

闭环测量系统的灵敏度为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.13） |

式中：—测量系统的灵敏度；

—反馈通道的灵敏度。

# §5.2 电量测量

## 5.2.1 交流信号电压的测量

### 5.2.1.1 峰值

周期性交流电信号偏离零电平的最大值称为峰值。典型的周期性交流电信号是正弦信号，其中不含直流成分的正弦信号可表示为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.14） |

这种信号的正负峰值是相等的。如果交流电信号的正负峰值不相等，可以用和来分别表示信号的正负峰值。

### 5.2.1.2 平均值

周期性交流电信号的平均值定义为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.15） |

为信号的周期。显然，正弦信号的平均值为零。

在电子测量中，经常要测量交流信号检波（整流）后的平均值。交流信号的整流分为全波整流和半波整流两种，其中全波整流的平均值为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.16） |

### 5.2.1.3 有效值

如果某个交流电和一个直流电分别加在同一个纯电阻上，当它们产生的焦耳热相等时，这个交流电的有效值等于直流电。这个关系可以写成：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.17） |

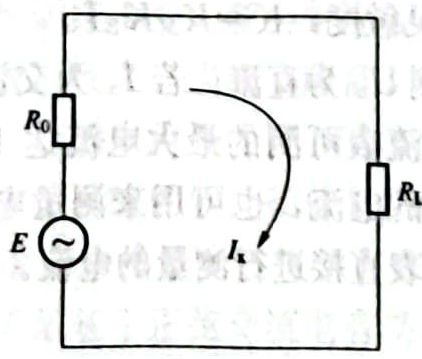
值得注意的是，当我们使用交流电压表测量交流电时，其输出显示的就是这个有效值。

## 5.2.2 电流的测量

电流的测量方法分为直接测量法和间接测量法。直接测量法是指在被测电流的通路中串入量程适当的电流表进行测量；间接测量法是指把电流转换成电压、频率、磁场强度等物理量进行测量。

### 5.2.2.1直接测量法

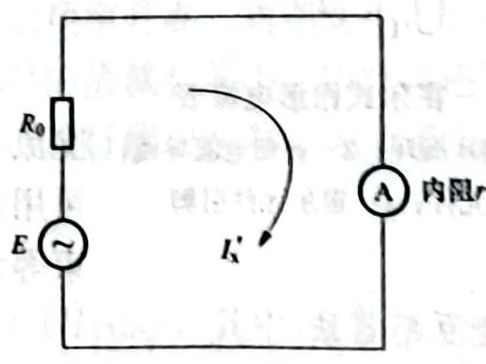
直接测量电流的方法通常是在被测电流的通路中串入适当量程的电流表，让被测电流的全部或一部分流过电流表。从电流表上直接读取被测电流值或被测电流分流值。电流表直接测量的示意图如图5-5所示。

  
图5-5 电流表直接测量示意图

在图5-5中，被测电流实际值为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.18） |

考虑电流表本身的内阻，可将图5-5所示的示意图等效为：

  
图5-6 电流表串接测量示意图

在图5-6中，流过电流表的电流为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.19） |

相对误差为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.20） |

由式（5.20）可见，为使电流表读数值尽可能接近被测电流实际值，电流表的内阻r应尽可能接近于0。换句话说，电流表的内阻越小，其性能越好。

当直接使用电流表测量不方便或没有合适的电流表时，可以采用间接测量的方法。这种方法是将电流转换为电压、频率、磁场强度等其他物理量进行测量，然后根据这些测量值与被测电流之间的关系来计算电流值。

### 5.2.2.2 电流-电压转换法

在被测电流回路中串入一个很小的标准电阻r，以将被测电流转换为被测电压，如式（5.21）所示。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.21） |

当满足条件时，有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.22） |

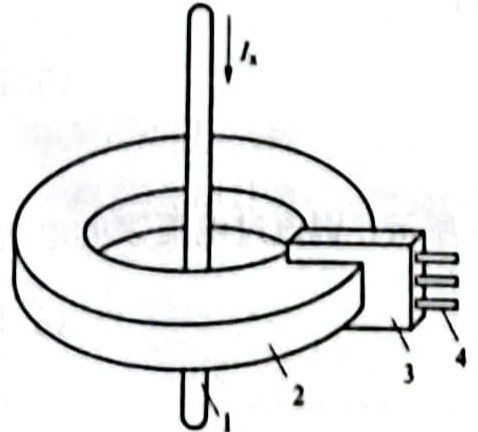
则，或。

若被测电流很大，可以直接用高阻抗电压表测量标准电阻两端电压。若被测电流较小，应将放大到接近电压表量程的适当值后，再由电压表进行测量。此外，电压放大电路应具有极高的输入阻抗和极低的输出阻抗。

串入测量电路的标准电阻要求很小，即满足。如果不满足这个条件，那么测量结果可能会受到影响。

### 5.2.2.3电流-磁场转换法

无论是直接使用电流表测量电流，还是通过电流-电压转换法间接测量，都需要切断电路并接入测量装置。当不允许切断电路或被测电流过大时，可以通过测量电流产生的磁场来间接获取电流值。一个典型的例子是使用霍尔式钳形电流表进行测量，如图5-7所示。

  
图5-7 霍尔式钳形电流表

在图5-7中，作用于霍尔片的磁感应强度B为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.23） |

式中：—电磁转换灵敏度。

霍尔片输出电压为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.24） |

式中：—霍尔片控制电流；

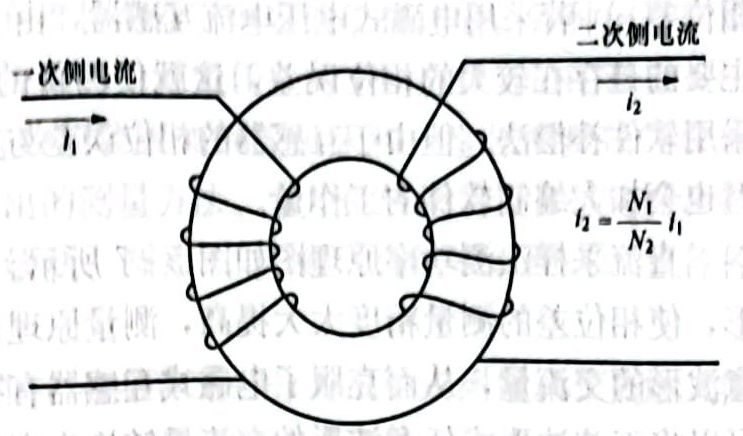
—霍尔片灵敏度；

—电流表灵敏度，。

若为直流，则为直流；若为交流，则为交流。霍尔式钳形电流表可以测量的最大电流超过，这使得其可以用于测量输电线上的电流。此外，它还可以用于测量电子束、离子束等无法用普通电流表直接测量的电流。

### 5.2.2.4 电流互感器法

电流互感器法可以在不切断电路的情况下测量电路中的电流，如图5-8所示。

  
图5-8 电流互感器法

假设被测电流为，原边匝数为，副边匝数为，则副边电流为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.25） |

只要测得副边电流，就可得知被测电流的大小。

## 5.2.3 电功率的测量

第3章已经介绍了霍尔功率传感器。在本小节，将重点讨论如何利用霍尔传感器测量交流电功率。

### 5.2.3.1 采用瞬时采样法测量交流电功率

微型机和单片机的运算速度正在提高，同时，高速A/D转换器也在不断发展。这些进步使得直接采用交流采样的方法测量电参数成为可能。当被测波形为非正弦波或正弦波发生畸变时，采用传统的直流采样技术可能会带来较大的误差。因此，对于需要高精度的电参量测量，可以考虑采用交流采样法来测得交流量的真有效值。交流电功率的计算公式为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.26） |

将其离散化，即在一个周期内采样次，由采集到的瞬时值计算，即可求得被测值为:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.27） |

显然，交流采样法的精度取决于一个周期内的采样点数。越大，精度就越高。如果单片机主频为12MHz，并且A/D转换器的转换时间为级，则在400Hz交流波形的一个周期内，采样点数可以达到几十个，基本可满足精度的要求。

交流瞬时采样原理图如图5-9所示。

  
图5-9 交流瞬时采样原理图

在公式（5.27）中，采样点数是固定的。然而，如果被测信号的频率变化，而一个周期内的采样点数保持不变，就会产生较大的测量误差。如果频率升高，周期缩短，那么测得的值将比实际值偏大。相反，如果频率降低，周期延长，那么测得的值将偏小。因此，需要采用频率跟踪技术，以确保将一个周期均匀地等分为N点，进行瞬时采样。这样可以保证测量精度，但同时也会增加系统硬件和软件的复杂程度。

### 5.2.3.2 采用霍尔传感器和直流采样法测量交流电功率

本方法基于正弦交流电有功功率的定义，即。在这个公式中，、分别代表电压和电流的有效值，而则代表负载功率因数。这种方法的关键问题在于如何准确测量出、和相位差。如果采用电磁式电压电流互感器，由于互感器的非理想性，不仅存在变比误差，而且还存在较大的相位误差，这就使得测得的值不能真实地反映负载的性质。为了解决这个问题，通常会采用软件补偿法。然而，由于互感器的相位误差与其工作状态有关，因此不易得到完全补偿。这也会增加编制软件的工作量。

直流采样法测功率原理图如图5-10所示。霍尔传感器可以不失真地传递原边的波形，从而大大提高了相位差的测量精度，使测量原理更为简便。此外，它还可以测量从直流到100kHz的任意波形的交流量，从而克服了电磁式互感器只能在特定的额定频率下工作的弊端。交、直流真值转换器可以将正弦波形或任意波形的交流量转换为直流量，且直流输出的大小正比于交流量的有效值，转换精度可达0.5％。

  
图5-10 直流采样法测功率原理图

霍尔传感器对交流电压和电流进行隔离和衰减。经过变送器转换，这些信号变为直流，其大小与原始交流信号的有效值成正比。这些直流电压经过A/D转换后被存储在微计算机中。另外，传感器副边输出的正弦交流信号被转换为方波，这样就可以计算出电压和电流的相位差和功率因数。求得、及后，即可由求得有功功率。

如要求三相负载的总功率，则可分别测得每相电压、电流的有效值及功率因数，并计算得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （5.28） |

由上可见，采用霍尔电压和电流传感器可以减小变比和相位误差。如果同时采用直流采样技术，可以大大降低硬件的成本，减小软件的工作量，并得到较高的测量精度。因此，这是一种实用的方法。

# §5.3 非电量测量

## 5.3.1 温度检测

温度是表征物体冷热程度的物理量。温度作为工业生产过程中一个常见且重要的物理量，直接和安全生产、产品质量、生产效率、节约能源等重大技术经济指标相联系，物体的许多物理现象和化学性质都与温度相关，对温度的测量和控制是许多生产系统必不可少的环节。

温度不能直接加以测量，只能借助于冷热不同的物体之间的热交换以及物体的某些物理性质随着冷热程度不同而变化的特性进行间接测量。温度的间接测量方法可分为接触式和非接触式两大类。

接触式测温要求温度敏感元件与被测对象接触，依靠热传导来进行热交换。。这些元件包括热电偶、热电阻、热敏电阻或集成温度传感器等。当被测介质与感温元件达到热平衡时，温度敏感元件与被测介质的温度相等。这类温度传感器具有结构简单、工作可靠、测量精度高、稳定性好、价格低廉等优点。然而，它们的缺点是有较大的滞后现象，不适宜测量运动物体，测温范围受到感温元件材料性质的限制，被测对象的温度场受接触传感器的影响。

非接触式测温时，温度敏感元件不与被测对象接触，而通过热辐射实现热交换。这种方法使用的设备包括红外测温仪、微波测温仪、光纤温度传感器等。物体的辐射能量大小与其温度有关，以电磁波的形式向四周散发。当选择合适的接收检测装置时，可以测得被测对象发出的热辐射能量，并将其转换成可显示的各种信号，从而实现对温度的测量。非接触式测温可以测量高温、腐蚀、有毒、运动物体以及固体或液体表面的温度，而且不会干扰被测温度场。然而，这种方法的缺点是测量精度较低，测量结果容易受到测量距离和中间介质的影响。

## 5.3.2 湿度检测

湿度测量的基本原理是利用湿敏传感器与被测介质的接触，以确保水分的存在能引发感湿元件的物理和化学变化。这些变化会使感湿元件的特性参数发生与被测介质湿度信息有关的改变。通过测量电路，我们可以将这些改变转化为湿度读数，从而得到被测介质的湿度大小。目前，应用和发展较成熟的湿敏传感器及其分类如表5-1所示。

表5-1 湿敏传感器分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类 别 | 常见类型 | 特 点 |
| 水分子亲和型 | 电解质湿度传感器 | 响应速度低，可靠性差，不能很好地满足工业生产和日常生活的使用要求 |
| MOS陶瓷湿度传感器 |
| MOS膜式湿度传感器 |
| 高分子湿度传感器 |
| 非水分子亲和型 | 热敏电阻式湿度传感器 | 响应速度快。灵敏度高，发展迅猛，应用越来越广泛 |
| 红外吸收式湿度传感器 |
| 微波式湿度传感器 |
| 超声波湿度传感器 |

## 5.3.3 位移检测

位移是指物体上某一点在一定方向上的位置变动，位移包括线位移和角位移。在工程应用中，位移测量分为模拟式测量和数字式测量两大类。

模拟式测量常用的传感器有电阻式传感器、电磁式传感器、电容式传感器、电涡流式传感器、光电式传感器、光导纤维传感器、超声波传感器、激光及辐射式传感器和薄膜传感器等。将上述传感器与相应的测量电路结合在一起，可以组成工程中常用的测量仪器和仪表，如电阻式位移计、电感测微仪、电容测微仪、电容液位计等。需要注意的是，各种位移测量仪表的测量范围和测量精度各不相同，在使用时应根据测量任务选择合适的测量方法和测量仪表。

数字式测量主要是指在精密数控装置如数控机床和三坐标测量仪等设备中，将直线位移或角位移转换为数字脉冲信号输出的测量方法。常用的转换装置有感应同步器，旋转变压器、磁尺、光栅和各种脉冲编码器等。

## 5.3.4 速度检测

物体运动时单位时间内的位移变化量称为速度，单位是。速度检测根据不同的分类标准有多种检测类型。根据物体运动的形式可分为线速度测量和角速度测量。根据运动速度的参考基准可分为绝对速度测量和相对速度测量。根据速度的数值特征可分为平均速度测量和瞬时速度测量。根据获取物体运动速度的方式可分为直接速度测量和间接速度测量。速度的测量方法如下：

### 1. 定义法

根据速度的定义，通过测量物体在时间内通过的距离来计算平均速度。

### 2. 加速度积分法或位移微分法

如果能够测量到运动物体的加速度或位移，就可以通过对测量结果进行时间积分或微分来计算速度。这种方法在振动测量中有典型的应用。例如，可以使用加速度计来测量振动体的振动加速度，然后通过电路积分来计算振动速度；或者，可以使用振幅计来测量振动体的位移，然后通过微分来计算振动速度。

### 3. 利用物理参数测量速度

可以利用速度与某些物理量之间的已知关系来间接测量物体的运动速度。例如，在固定磁感应强度的磁场中，当有效长度为的导线移动时，它会切割磁力线并产生感应电动势。然后，可以根据公式即可计算运动物体的速度。

### 4. 多普勒效应测速度

多普勒效应是指当发射机和接收机之间的距离发生变化时，发射机发出信号的频率和接收机接收到信号的频率将不相同的现象。基于多普勒效应，可以通过测量运动物体反射的发射信号和接收信号的频率来实现速度的测量。

## 5.3.5 加速度检测

加速度是表征单位时间内速度改变程度的矢量，是描述物体速度变化快慢的物理量，等于速度变化量与发生这一变化所用时间的比值，单位是。加速度是矢量，其方向是物体速度变化量的方向，与合外力的方向相同。

加速度传感器是一种能够测量加速度的测量装置。这种传感器通常由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和信号调理电路等部分组成。在加速过程中，传感器通过测量质量块所受的惯性力，利用牛顿第二定律来计算加速度。根据加速度传感器的敏感元件的类型，可以将加速度传感器分类为电容式、电感式、压阻式和压电式。

## 5.3.6 压力检测

压力是工业生产过程中的重要参数之一。许多生产工艺要求在一定的压力条件下进行，以保证产品质量。此外，压力的监控往往也是安全生产的要求。因此，压力测量与控制在工业生产中具有特殊的地位和意义。

压力在物理学上称为压强（单位：Pa），定义为单位面积上的受力大小，因此，它是力和面积的导出量。压力测量可以转化为作用在已知面积上的力的测量。因此，压力的测量方法与力的测量方法基本相同。

压力传感器广泛应用于各种工业自控环境，涉及水利水电、铁路交通、智能建筑、生产自控、航空航天、军工、石化、油井、电力、船舶、机床、管道等众多行业。

工业生产中选用压力传感器的基本原则是，依据不同的应用场景和实际工艺生产过程，压力测量的用途、工艺指标、量程、精度要求、温度范围、介质特性、电和机械要求及生产安全等因素，对传感器做合理的选型，要经济合理，使用方便。

# 习题5

1. 什么是测量？测量方法有哪几种？

2. 什么是绝对误差、相对误差和引用误差？

3. 什么是系统误差？其产生的原因是什么？

4. 请描述测量系统的结构及各部分的作用。

5. 测量系统是如何分类的，各有何特点？

6. 某开环测量系统由传感器、放大器和记录仪组成，各环节的灵敏度分别为：，，，求该系统总的灵敏度。