

第 1 章 导论

随着微电子技术的不断发展，微处理器芯片的集成度越来越高，已经可以在一块芯片上同时集成 CPU、存储器、定时器 / 计数器、并行和串行接口、看门狗、前置放大器甚至 A/D、D/A 转换器等电路。人们把这种超大规模集成电路芯片称作“单片微控制器” (Single Chip Microcontroller)，简称单片机。单片机的出现引起了仪器仪表结构的根本性变革。以单片机为主体，取代传统仪器仪表的常规测量电子线路，可以容易地将计算机技术与测量控制技术结合在一起，组成新一代的所谓“智能化测量控制系统”。这种新型的智能仪表在测量过程自动化、测量结果的数据处理以及功能的多样化方面，都取得了巨大的进展。目前在研制高精度、高性能、多功能的测量控制仪表时，几乎没有不考虑采用微处理器使之成为智能仪表的，而在仪器仪表中使用最多的微处理器就是单片机。在测量控制仪表及数据采集系统中采用单片机技术，使之成为智能仪表后能够解决许多传统仪表不能或不易解决的难题。同时还能简化仪表电路，提高仪表的可靠性，降低仪表的成本以及加快新产品的开发速度。这类仪表的设计重点已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的单片机模板或功能部件、接口电路及输入输出通道的设计，以及高性能集成电路的组合和通用或专用软件程序的开发。我们相信，这类仪器随着科学技术的进一步发展，其智能程度将越来越高。

1.1 智能仪器与数据采集系统的基本组成及特点

1.1.1 智能仪器与数据采集系统的基本组成

智能仪器实际上是一个专用的微型计算机系统，它主要由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分主要包括主机电路、模拟量输入输出通道、人机联系部件与接口电路、标准通信接口等部分。其中，主机电路通常由微处理器、程序存储器、输入输出 (I/O) 接口电路等组成，或者它本身应是一个具有多功能的单片机。模拟量输入输出通道用来输入输出模拟量信号，主要由 A/D 转换器、D/A 转换器和有关的模拟信号处理电路等组成。人机联系部件的作用是沟通操作者和仪器之间的联系，它主要由仪器面板中的键盘和显示器等组成。标准通信接口电路用于实现仪器与计算机的联系，以便使仪器可以接受计算机的程控命令。目前生产的智能仪器一般都配有 GP-IB，RS232C，RS485 等标准的通信接口。

软件部分主要包括监控程序、接口管理程序和数据处理程序三大部分。其中监控程序面向仪器面板键盘和显示器，其内容包括人机对话的键盘输入及对仪器进行预定的功能设置，对处理后的数据以数字、字符、图形等形式显示等。接口管理程序主要通过接口电路进行数据采集、输入 / 输出通道控制、数据的通信及数据的存储等。数据处理程序主要完成数据的滤波、数据的运算、数据的分析等任务。

1.1.2 智能仪器的主要特点

传统的电子测控仪器对输入信号测量的准确性完全取决于仪器内部各部件的精密性和稳定性。例如，一台普通数字电压表其内部就需要多级放大器、滤波器、衰减器、A/D转换器及参考电源等主要部件，这些部件所存在的温度漂移电压和时间漂移电压都将会反映到测量结果中去。如果所采用的仪器精密性高些，则这些漂移电压就会小些，但客观上讲，这些漂移电压总是存在的。另外，传统仪表对于测量结果的正确性也不能完全保证。所谓正确性，是指仪表应在其各个部件完全无故障的条件下进行测量。而传统仪表在其内部某些部件发生故障时仍然继续进行测量，并继续给出测量结果值。显而易见，这时的测量结果将是不正确的。智能化测控仪的出现使上述问题的解决有了突破性的进展。

与传统的电子仪器相比，智能仪器具有以下特点：

微处理器的运用极大地提高了仪器的性能。例如，智能仪器利用微处理器的运算和逻辑判断功能，按照一定的算法可以方便地消除由于漂移、增益的变化和干扰等因素所引起的误差，从而提高了仪器的测量精度。智能仪器除具有测量功能外，还具有很强的数据处理能力。例如，传统的数字多用表只能测量电阻、交直流电压、电流等，而智能型的数字多用表不仅能进行上述测量，而且还具有对测量结果进行诸如零点平移、平均值、极值、统计分析以及更加复杂的数据处理功能，使用户从繁重的数据处理中解放出来。目前，有些智能仪器还运用了专家系统技术，使仪器具有更深层次的分析能力，帮助人们思考，解决专家才能解决的问题。

智能仪器运用微处理器的控制功能，可以方便地实现量程自动转换、自动调零、触发电平自动调整、自动校准、自诊断等功能，有力地改善了仪器的自动化测量水平。例如，智能型的数字示波器有一个自动分度键，测量时只要一按这个键，仪器就能根据被测信号的频率及幅度，自动设置好最合理的垂直灵敏度、时基以及最佳的触发电平，使信号的波形稳定地显示在屏幕上。又例如，智能仪器一般都具有自诊断功能，当仪器发生故障时，可以自动检测出故障的部位并能协助诊断故障的原因，甚至有些智能仪器还具有自动切换备件进行自维修功能，极大地方便了仪器的维护。

智能仪器具有友好的人机对话能力。使用人员只需通过键盘打入命令，仪器就能实现某种测量和处理功能。与此同时，智能仪器还通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态以及对测量数据的处理结果及时告诉使用人员，使人机之间的联系非常密切。

智能仪器一般都配有 GP-IB 或 RS232C 等接口，使智能仪器具有可编程操作的能力，从而可以很方便地与计算机和其它仪器一起组成用户所需要的多种功能的自动测量系统，来完成更复杂的测试任务。

智能仪器使用键盘代替传统仪器中的旋转式或琴键式切换开关来实施对仪器的控制，从而使仪器面板的布置和仪器内部有关部件的安排不再相互限制和牵连。例如，传统仪器中与衰减器相连的旋转式开关必须安装在衰减器正前方的面板上。这样，可能由于面板的布置受仪器内部结构的限制，不能充分考虑用户使用的方便；也可能由于衰减器的安装位置必须服从面板布局的需要，而给内部电气连接带来许多的不便。智能仪器广泛使用键盘，使面板的布置与仪器功能部件的安排可以完全独立地进行，明显改善了仪器前面板及有关功能部件的结构的设计，这样既有利于提高仪器技术指标，又方便了仪器的操作。

1.2 智能仪器及数据采集系统的设计要点与方法

智能仪器及数据采集系统设计的主要内容通常包含硬件（连同单片机在内的全部电子线路）、软件（包括监控管理程序及各种功能模块）及仪表结构工艺三大部分。设计者应当熟悉要设计的仪表的工作原理和技术性能，应能对仪表的硬件部分独立地进行设计和计算；能够根据该仪表的各项测量功能独立地进行软件设计；还要能够根据所设计的原理电路，综合考虑仪表的性能和技术要求，合理地布置元器件，绘制出仪表的线路图；最后，对所设计的仪表进行总调，发现设计中的错误之处及时修正，直至所设计的智能化测控仪表达到预期的要求。

在智能化仪器仪表的设计研制过程中，要按仪表的功能把硬件和软件分成若干个模块，对各个模块采用“自顶向下”的顺序分别进行设计和调试，最后将各模块连接起来进行总调。首先应进行总体设计，按仪器应完成的任务确定其功能。例如，仪器是用于过程控制还是用于数据采集的处理，要求的精度如何；仪器输入信号的类型、范围如何；是否需要隔离；仪器的输出采用什么形式，是否需要打印输出；仪器是否需要具有通信功能，采用并行还是串行通信；仪器的成本应控制在什么范围之内等等。另外，还要对整台仪器的结构、外形、面板布置、使用环境等给予充分的考虑。在总体设计中要绘制出仪器的系统总图及各功能模块的流程图，并拟定详细的工作计划。完成总体设计后，再根据这些计划按流程图对仪器各部分硬件和软件进行具体的设计。

在智能化测控仪表中，单片机是核心，因此在硬件设计时首先要考虑单片机的选择，然后再确定与之配套的外围芯片。在选择单片机时，要考虑的因素有字长（即数据总线宽度）、寻址能力、指令功能、执行速度、中断能力以及市场对该种单片机的软、硬件支持状态等。

用于工业现场以测量控制为主要目的的单片机，以及用于通用计算机系统以大量数据处理为主要目的的通用微处理器，由于它们的应用领域和应用目的有很大的不同，因而它们的发展方向也不尽相同。通用微处理器为了满足大量数据处理对于高速性、大容量的要求，其数据总线宽度从8位向16位、32位甚至更宽的范围发展是十分必要的；而用于测量控制的单片机，其大多数测控参数如温度、压力、流量等对于运算速度和数据容量的要求则相对有限，在单片机的主振频率已达20~40 MHz的范围时，其数据处理速度已退居控制功能之后。因此，新一代的单片机并不急于增加数据总线的宽度，而是大力发展其控制功能和控制运行的可靠性。由于8位单片机的价格低，适用范围广，在智能化测控仪表领域内有着十分广阔的应用前景。未来的单片机市场上，8位单片机仍会稳定一个相当长的时期。目前在我国，MCS-51系列单片机已经形成主流局面。在世界市场上，由于PHILIPS、HYUNDAI、WINBOND、ISSI、TEMIC等大电气商的介入，特别是PHILIPS、HYUNDAI、WINBOND、ISSI公司在MCS-51基础上发展了新一代的80C51系列单片机，将使我国对于8位单片机的应用需求量在短期内不会有很大的改变。MCS-51系列单片机具有数据存储器 and 程序存储器两个寻址空间，其大小都为64 KB。这种寻址空间，对于一般的智能仪器来说已经足够了。在指令功能和执行速度上，MCS-51系列单片机也是比较合理的。它的算术和逻辑运算指令功能较强，而且还有乘除指令和位操作指令（即布

尔操作指令)在全部 111 条指令系统中,仅有 17 条 3 字节指令,其余均为单字节或双字节指令。一般而言,指令的字节数越少,则其执行速度越快。MCS-51 系列单片机的中断源有 5~7 个(PHILIPS 单片机 80C552 的中断源多达 15 个),因此其中断处理能力较强,能满足一般实际应用的要求。MCS-51 系列单片机的市场支持能力也十分巨大,其外围扩展芯片十分丰富,尤其是 PHILIPS 单片机 80C51 的多功能系列可适用于不同的应用领域。例如:需要可靠的参数保护可选用该系列中有片内 256 字节 EEPROM 的 8XC851;在小电压、低功耗应用时可选用 8XCL410;需要大量 I/O 口时可选用 8XC451;需要综合性能优异且带片内 A/D 转换器、片内 PWM 的可选用 8XC552 等。此外,PHILIPS 公司的 80C51 还提供一种 IIC BUS 芯片间总线)使单片机应用系统的随意性(结构、规模、形态)得以充分发挥,使用户可方便地组成自己的模块化系统。另外,ISSI 公司的 89C54、89C58 等单片机除片内程序容量大之外,还具有加密好的特点。

在充分考虑上述各种因素正确选择了单片机之后,还要进行输入和输出接口和其它功能组件的设计。输入输出接口是智能化测控仪表与外部设备交换信息的通道,它包括 A/D 和 D/A 转换接口、键盘显示器接口、打印机接口以及各种通信接口等。在进行上述各种接口的设计过程中,要画出详细电路图并进行参数计算,标出各个芯片的型号、器件参数值,然后根据电路图在试验板上进行调试,发现设计不当之处随时修改,调试成功之后再制作印刷电路板。在试验板上改动硬件设计比在印刷板上改动要容易得多。最后还应指出,在硬件电路设计时还应考虑到仪器的可维修性,即在电路上适当增加若干故障检查手段,如各种短路点及跳线等。这样做虽然会增加一些成本,但可节省今后产品维修的费用。

软件设计也是智能化仪器的一个主要内容。设计者不仅应能熟练地进行各种硬件电路的设计,同时还必须掌握软件的设计方法。通常的软件设计方法是先画出程序流程图,然后根据流程图写出程序。

常用的程序设计方法有下面三种。

1. 模块法

模块法是把一个长的程序分成若干个较小的程序模块进行设计和调试,然后再把各个模块连接起来。智能仪器仪表监控程序总的可分为三大模块,即监控主程序、接口管理程序和命令处理子程序。命令处理子程序通常又可分为测试、数据处理、输入/输出、显示等子程序模块。由于程序被分成一个个较小的独立模块,因而方便了编程、纠错和调试。

2. 自顶向下设计法

研制软件有两种截然不同的方式,一种叫做“自顶向下”法,另一种叫做“自底向上”法。所谓“自顶向下”法,概括地说,就是从整体到局部,最后到细节。即先考虑整体目标,明确整体任务,然后把整体任务分为一个个子任务,子任务再分成子任务,同时分析各子任务之间的关系,最后拟定各子任务的细节。这犹如要建造一座房子,先要设计总体图,再绘制详细的结构图,最后一块砖一块砖地建造起来。所谓“自底向上”法,就是先解决细节问题,再把各个细节结合起来,从而完成整体任务。“自底向上”是传统的程序设计方法。这种方法有严重的缺点,由于从某个细节开始,对整体任务没有进行透彻的分析与了解,因而在设计某个模块程序时很可能会出现原来没有预料到的新情况,以至于要修改或重新设计已经设计好的程序模块,造成返工,浪费时间。目前,一般趋向于采用“自顶向下”法。

但事情不是绝对的，不少程序设计者认为，这两种方法应该结合起来使用。一开始在比较“顶上”的时候，应该采用“自顶向下”法，但“向下”到一定的程度，有时需要采用“自底向上”法。例如，对某个关键的细节问题，先编制程序，并在硬件上运行，取得足够的数据后再回过头来继续设计。

3. 结构化程序设计

结构化程序设计是 20 世纪 70 年代起逐渐被采用的一种新型的程序设计方法，它不仅在许多高级语言中应用，而且其基本结构同样适用于汇编语言的程序设计。结构化程序设计的目的是使程序易读、易查、易调试，并提高编制程序的效率。在结构化程序设计中不用或严格限制使用转移语句。结构化程序设计的一条基本原则是每个程序模块只能有一个入口、一个出口。这样一来，各个程序模块可以单独设计，然后用最少的接口组合起来，控制明确地从一个程序模块转移到下一个模块，使程序的调试、修改或维护都要容易得多。大的复杂程序可由这些具有一个入口和一个出口的简单结构组成。

理论和实践证明，采用上述三种设计方法可构成任何程序。结构化程序设计具有许多优点，但也有缺点。例如，用结构化程序设计的程序，其速度较慢，占用的存储器较多，使某些任务难于处理等。

1.3 智能仪器的典型处理功能

1.3.1 硬件故障的自检

所谓自检，就是利用事先编制好的检测程序对仪器的主要部件进行自动检测，并对故障进行定位。自检功能给智能仪器的使用和维修带来很大的方便。

1. 自检方式

智能仪器的自检方式有三种类型。

1) 开机自检

开机自检在仪器电源接通或复位之后进行。自检中如果没有发现问题，就进入测量程序，如果发现问题，则及时报警，以避免仪器带病工作。开机自检是对仪器正式投入运行之前所进行的全面检查。

2) 周期性自检

周期性自检是指在仪器运行过程中间断插入的自检操作，这种操作可以保证仪器在使用过程中一直处于正常状态。周期性自检不影响仪器的正常工作，因而只有当出现故障给予报警时，用户才会觉察。

3) 键盘自检

具有键盘自检功能的仪器面板上应设有“自检”按键，当用户对仪器的可信度发出怀疑时，通过该键来启动一次自检过程。

自检过程中，如果检测仪器出现某些故障，应该以适当的形式发出指示。智能仪器一般都借用本身的显示器，以文字或数字的形式显示“出错代码”，操作人员根据“出错代码”，查阅仪器手册便可确定故障内容。仪器除了给出故障代号之外，往往还给出指示灯的

闪烁或者音响报警信号，以提醒操作人员注意。

智能仪器的自检项目与仪器的功能、特性等因素有关。一般来说，自检内容包括 ROM、RAM、总线、显示器、键盘以及测量电路等部件的检测。仪器能够进行自检的项目越多，使用和维修就越方便，但相应的硬件和软件也越复杂。

2. 自检算法

1) ROM 或 EPROM 的检测

由于 ROM 或 EPROM 中存储着仪器的控制软件，因而对 ROM 的检测是至关重要的。ROM 故障的检测常用“校验的”方法，具体作法是：在将程序机器码写入 ROM 的时候，保留一个单元（一般是最后一个单元）此单元不写程序机器码而是写“校验字”；“校验字”应能满足 ROM 中所有单元的每一列都具有奇数个 1。自检程序的内容是：对每一列数进行异或运算。如果 ROM 无故障，各列的运算结果应都为“1”即校验和等于 FFH。

理论上，这种方法不能发现同一位上的偶数个错误，但是这种错误的概率很小，一般可以不予考虑。若要考虑，须采用复杂的校验方法。

2) RAM 的检测

数据存储器 (RAM) 是否正常是通过检验其“读写功能”的有效性来体现的。通常选用特征字 55H(01010101B) 和 AAH(10101010B) 分别对 RAM 每一个单元进行先写后读的操作。但这种检测属于破坏性检验，只能用于开机自检。若 RAM 中已存有数据，在不破坏 RAM 中原有内容的前提下进行检验就相对麻烦一些。常用的方法是“异或法”，即把 RAM 单元的内容求反并与原码进行“异或”运算，如果结果为 FFH 则表明该 RAM 单元读写功能正常，否则，说明该单元有故障。最后再恢复原 RAM 单元内容。

3) 总线的自检

许多智能仪器中的微处理器总线都是经过缓冲器再与各 I/O 器件和插件等相连接的，这样即使缓冲器以外的总线出了故障，也能维持微处理器正常工作。这里所谓总线的自检是指对经过缓冲器的总线进行检测。由于总线没有记忆能力，因此设置了两组锁存触发器，分别用于记忆地址总线上的信息。这样，只要执行一条对存储器或 I/O 设备的写操作指令，地址线和数据线上的信息便能分别锁存到地址锁存触发器和数据锁存触发器中。我们通过对这两组锁存器分别进行读操作，便可判知总线是否存在故障。

总线自检程序应该对每一根总线分别进行检测。具体作法是，使被检测的每根总线依次为 1 态，其余总线为 0 态。如果某总线停留在 0 态或 1 态，说明有故障存在。总线故障一般是由于印刷电路板工艺不佳使两线相碰等原因引起的。需要指出的是，存有自检程序的 ROM 芯片与 CPU 的连线不应通过缓冲器，否则，总线出现故障便不能进行自检。

4) 显示器与键盘的检测

智能仪器显示器、键盘等 I/O 设备的检测往往采用与操作者合作的方式进行。检测程序的内容为：先进行一系列预定的 I/O 操作，然后操作者对这些 I/O 操作的结果进行验收，如果结果与预先的设定一致，就认为功能正常，否则，应对有关 I/O 通道进行检修。

显示器的检测一般有两种方式。一种是让各显示器的各段全部点亮，当显示表明显示器各发光段均能正常发光时，操作人员只要按任意键，显示器应全部熄灭片刻，然后脱离自检方式进入其它操作。第二种方式是让显示器显示某些特征字，几秒钟后自动进入其它操作。

键盘检测的方法是，CPU 每取得一个按键闭合的信号，就反馈一个信息。如果按下某个按键无反馈信息，往往是该键接触不良，如果按某一排键均无反馈信号，则一定与对应的电路或扫描信号有关。

3. 自检软件

上面介绍的各自检项目一般应该分别编成子程序，以便需要时调用。在编写自检程序时，应预先将故障内容编成序号，且与所编的子程序对应，并设计一个故障代码表。编程时，由序号通过代码表来寻找某一项自检子程序入口，若检测有故障发生，便显示其故障代号。对于周期性自检，由于它是在测量间隙进行的，为不影响仪器的正常工作，有些周期性自检项目不宜安排，例如显示器周期性自检、键盘周期性自检、破坏性 RAM 周期性自检等。而对开机自检和键盘自检则不存在这个问题。由于各类仪器功能及性能差别很大，一台智能仪器实际自检软件的编程应结合各自的特点来考虑。

1.3.2 自动处理功能

1. 自动量程转换与自动测量功能

自动量程转换可以使仪器在很短的时间内自动选定在最合适的量程下，使仪器获得高精度的测量，并简化操作。许多智能仪器，例如数字示波器、智能电桥、数字多用表等都设置有自动量程转换功能。

自动量程转换一般由初设量程开始，逐级比较，直至选出最合适的量程为止。若用继电器等作为转换开关，因转换时有一个短暂的过程，所以在每次改变量程之后要安排一定的延迟时间，然后再进行正式的测量和判断。为避免在两种量程的交叉点上可能出现的跳动，还应考虑使低量程的超量程比较值和高量程的欠量程比较值之间有一定的重叠范围。

智能仪器的另一特点是测试过程的自动化。智能仪器通常都含有自动量程转换、自动零点调整、自动校准功能，有的仪器还能进行自动触发电平调节。这样，仪器操作人员就省去了大量烦琐的人工调节，同时也提高了测量精度。由于不同仪器的功能及性能差别很大，因而测试过程自动化的设计应结合具体仪器来考虑。

2. 自动触发电平调节和自动零点调整

示波器、通用计数器等仪器在进行测量时，其触发电平的设定是很重要的。例如，为了避免某些可能产生的误差，最理想的触发电平是在波形的中点。有时为了满足其它测量的要求，例如，测定波形上升时间或下降时间时，又需要将触发点调节在波形的 10% 或 90% 处。过去，要迅速而准确地自动找到理想的触发点是困难的，然而借助微处理器，并辅以一定硬件支持，可以很好地实现这项功能。

自动触发电平调节的实现，可由输入信号经过可编程衰减器传送到比较器，而比较器的比较电平是由 D/A 转换器来置定的。当经过衰减器的输入信号的幅度达到某一比较电平时，比较器输出将改变状态。触发探测器将检测到的比较器输出的状态送到微处理器，这样就把触发电平测出来了，并能驱动相应电路实现电平触发。

仪器零点漂移的大小以及零点是否稳定是造成测量误差的主要来源之一。消除这种影响最直接的办法是选择优质输入放大器和 A/D 转换器，但这种办法代价高，而且也是有限度的。例如，目前高精度数字电压表在最低量程上的分辨率可 10nV，因此要从硬件上确

保零点稳定是困难的。尤其在环境温度变化较大的场合下，问题更大。智能仪器的自动零点调整功能，可以较好地解决这个问题。

一般自动零点调整功能的完成，首先由微处理器通过输出口控制电子开关或继电器使仪器输入端接地，启动一次测量并将测量值存入 RAM 的某一确定单元中。此值便是仪器衰减器、放大器、A/D 转换器等模拟部件所产生的零点偏移值。接着微处理器通过输出口控制电子开关或继电器释放，使仪器输入端接被测信号。此时的测量值应是实际的测量值与零点值之和。最后微处理器再做一次减法运算，将零点值减掉，作为纯的测量值。很显然，上述测量过程有效地消除了硬件电路零点漂移对测量结果的影响。

3. 自动校准

为保证仪器预定精度的可靠性和合法性，仪器必须定期进行校准。传统仪器校准是通过已知标准源直接测量，或通过与更高精度的同类仪器进行比较测量来实现。这种校准过程必须由专业人员操作，仪器校准后，有时还需要根据检定部门给出的误差修正表对测量结果进行修正。

一些智能仪器为用户提供一种极为方便的自动校准方式。自动校准时，操作者按下自动校准的按键，仪器显示屏便提示操作者应输入的标准电压，操作者按提示要求将相应标准电压加到输入端之后，再按一次键，仪器就进行一次测量并将标准量存入到“校准存储器”，然后显示器提示下一个要求输入的标准电压值，再重复上述测量存储过程。当对预定的校正测量完成之后，校准程序还能自动计算每两个校准点之间的插值公式的系数，并把这些系数也存入“校准存储器”，这样就在仪器内部固存了一张校准表和一张内插公式系数表。在正式测量时，它们将同测量结果一起形成经过修正的准确测量值。

上述校准方法称“校准存储器法”。校准存储器应采用电可控只读存储器或采用电池供电的非易失性 RAM，以确保断电后，数据不被丢失。

除上述“校准存储器法”之外，智能仪器还广泛采用动态自校法。这种方法的优点是不需要采用 EEPROM 或非易失性 RAM，而在内部设置基准电压，使上述校准过程全部自动地进行。然而内部基准也需要定期校准，因此，这种方法还不属于仪器校正的范畴。动态自校主要解决由衰减器、放大器、D/A 转换器等模拟部件不稳定而引起的精度下降问题。

1.3.3 仪器测量精度的提高

智能仪器的主要优点之一是利用微处理器的数据处理能力减小测量误差，提高仪器测量的精确度。测量误差按其性质和特性可分为随机误差、系统误差、粗大误差三类。

1. 随机误差的处理方法

随机误差是由于测量过程中一系列随机因素的影响而造成的。就一次测量而言，随机误差无一定规律；当测量次数足够多时，测量结果中的随机误差服从统计规律，而且大多数服从正态分布。因此，消除随机误差最为常用的方法是取多次测量结果的算术平均值。一般取的测量次数越多，消除随机误差就越彻底，但所需要的测量时间也就愈长。通常根据实际情况而定。实际上，这种方法同时对随机干扰也有很强的抑制作用，因而可以理解为一个等效的滤波过程。

2. 系统误差的处理方法

系统误差是指在相同条件下多次测量同一量时，误差的绝对值和符号保持恒定或在条件改变时按某种确定的规律而变化的误差。系统误差的处理不像随机误差那样有一些普遍适用的处理方法，而只能针对具体情况采取相应的措施。

1) 利用误差模型修正系统误差

先通过分析来建立系统的误差模型，再由误差模型求出误差修正公式。误差修正公式一般含有若干误差因子，修正时，先通过校正技术把这些误差因子求出来，然后利用修正公式来修正测量结果，从而削弱系统误差的影响。

2) 利用校正数据表修正系统误差

当对系统误差的来源及仪器工作原理缺乏充分的认识而不能建立误差模型时，可以通过建立校正数据表的方法来修正系统误差。实际上，这种方法是用两点间一条直线来代替原曲线的内插方法，因而精度有限。如果要求更高的精度，可以采取增加校点的方法，或者采取更精确的内插方法，例如 n 阶多项式内插、三角内插、牛顿内插等。

3) 通过曲线拟合来修正系统误差

曲线拟合是指从 n 对测定数据中求得一个函数 $f(x)$ 来作为实际函数的近似表达式。曲线拟合的实质就是找出一个简单的、便于计算机处理的近似表达式来代替实际的非线性关系。因此，曲线 $f(x)$ 并不保证通过实际的所有的其它点。

采用曲线拟合对测量结果进行修正的方法是，首先定出 $f(x)$ 的具体形式，然后再通过对实测值进行选定函数的数值计算，求出精确的测量结果。

这里需要指出的是，目前仪器用的传感器、检波器或其它器件多数具有非线性的特征，为了使智能仪器能直接显示被测参数的数值，确保仪器在整个测量范围内都具有高的精度，往往采用曲线拟合的方法对被测结果进行线性化处理。虽然这种线性化处理与系统误差的修正的意义不完全相同，但处理方法是一致的。

3. 粗大误差的处理方法

粗大误差是指在一定的测量条件下，测量值明显地偏离实际值所形成的误差。粗大误差明显地歪曲了测量结果，应予以剔除。在测量次数比较多时 ($N \geq 20$)，测量结果中的粗大误差宜采用莱特准则判断；若测量次数不够多时，宜采用格拉布斯准则。在一般情况下，可直接将采样数据作为测量结果，或进行一般滤波处理即可，这样有利于提高速度。

1.3.4 干扰与数字滤波

在实际测量过程中，被测信号中不可避免地会混杂一些干扰和噪声，在工业现场这种情况更为严重。为抑制这些干扰和噪声，仪器仪表施加了多种屏蔽和滤波措施。

在传统的仪器仪表中，滤波是靠选用不同种类的硬件滤波器来实现的。在智能仪器中，由于微处理器的引入，可以采用不增加任何硬件设备的数字滤波方法。所谓数字滤波，即通过一定的计算程序，对采集的数据进行某种处理，从而消除或减弱干扰和噪声的影响，提高测量的可靠性和精度。数字滤波具有硬件滤波器的功效，却不需要硬件投资，从而降低了成本。不仅如此，由于软件算法的灵活性，因而其还能产生硬件滤波器所达不到的功效。它的不足之处是需要占用机时。

数字滤波的方法有多种，每种方法有其不同的特点和适用范围。常用的方法有，中值滤波、平均滤波、低通数字滤波和高通数字滤波等。

1.4 智能仪器及数据采集系统的现状及发展

近 20 年来，由于微电子学的进步以及计算机应用的日益广泛，智能化测量控制仪表已经取得了巨大的进展。从技术背景上说，硬件集成电路的不断发展和创新是一个重要因素。各种集成电路芯片都在朝超大规模、全 CMOS 化的方向发展。CMOS 电路具有功耗低、工作温度范围宽的特点，近年来又采用“硅门”技术取代了原来的“金属门”，使 CMOS 电路的速度与 NMOS 及 PMOS 基本相同，输入保护技术也已经有效地克服了静电损坏的问题。目前已经出现了许多超大规模的 CMOS 集成电路芯片，如 89C52、89C55、89C58、97C54 等新一代增强型单片机芯片。这种新一代单片机不仅与 MCS-51 单片机在指令系统上完全兼容，而且在其芯片内部集成了许多新的功能部件，如片内 A/D 转换器、片内看门狗电路 (Watch Dog Timer)、片内脉宽调制器电路 (PWM)、芯片间串行总线等，从而使用户有了更大的选择范围。一个全 CMOS 电路系统的功耗只是普通 TTL 系统功耗的 1/10。采用这种 CMOS 芯片组成的智能化测量控制仪表可以采用干电池供电，从而从根本上解决了市电工频干扰的问题，同时还可以使仪器小型化，以便于野外使用。如今还出现了许多专用的数字信号处理芯片，例如美国 TI 公司生产的 TMS320 系列数字信号处理电路，其运算速度非常快，特别适用于数字信号处理仪表，如各种逻辑分析仪等设备。

随着仪器的不断完善以及新的设计思想及新的集成电路的发展，软件的重要性与进一步发展的迫切性变得越来越突出。可以肯定，测试界今后的巨大变化将发生在对新器件的应用和软件的设计方面。

1. 独立式智能仪器及自动测试系统

独立式智能仪器即前述的自身带有微处理器能独立进行测试的电子仪器，智能仪器是现阶段智能化电子仪器的主体。

独立式智能仪器在结构上自成一体，因而使用灵活方便。这类仪器在技术上已经比较成熟，同时借助于新技术、新器件和新工艺的不断进步，这类产品还在不断发展，不断地推陈出新。目前，不仅大多数传统的电子仪器已有相应换代的智能仪器产品，而且还出现了不少全新的仪器类型和测试系统体系，使现代电子测量与仪器发生了根本性的变化。

智能仪器几乎都配有通信接口。GP-IB 是国际电工协会 1978 年正式推荐的一种仪用标准接口总线，已被世界各国普遍采纳。凡是配有 GP-IB 这种标准接口的仪器和计算机，不分生产国别、厂家，都可以借助于一条无源电缆总线按积木式互连，灵活地组成各种不同用途的自动测试及数据采集系统，以完成较复杂的测试任务。

从计算机系统结构的角度来看，由智能仪器组成的自动测试系统是一个分布式多微机系统，系统内的智能仪器在任务一级并行工作，它们各自具备完备的硬件和软件，因而能相对独立地工作，相互间也可通信，它们之间通过外部总线松散耦合。

自动测试系统一般由计算机、多台程控仪器以及 GP-IB 三者组成。计算机作为系统的控制者，通过执行测试软件，实现对测量全过程的控制及处理；各程控仪器是测试系统的执行单元，具体完成采集、测量、处理等任务；GP-IB 由计算机及各程控仪器中的

标准接口和标准总线两部分组成，它如同一个多功能的神经网络，把各种仪器设备有机地连接起来，完成系统内的各种信息的变换和传输。

自动测试系统具有极强的通用性和多功能性，对于不同的测试任务，只需增减或更换“挂”在它上面的仪器设备，编制相应的测试软件，而系统本身不变。这种自动测试系统特别适用于要求测量时间极短而数据处理量极大的测试任务中，以及测试现场对操作人员有害或操作人员参与操作会产生人为误差的测试场合。

2. 个人仪器系统及 VXI 仪器系统

个人仪器是在智能仪器的基础上，伴随着个人计算机(PC)登上电子测量舞台而产生的一种崭新的仪器品种。它是将原智能仪器中的测量部分配以相应的接口电路制成各种仪器电路卡，插入到 PC 的总线插槽或扩展箱内，而原智能仪器所需的键盘、显示器以及存储器等均借助于 PC 机的资源，从而构成了个人仪器。

个人仪器系统是由不同功能的仪器卡、插卡箱和一台 PC 机有机结合而构成的自动测试系统。由于个人仪器和个人仪器系统充分地利用了 PC 机的软件和硬件资源，因而相对传统智能仪器和由智能仪器构成的 GP-IB 总线仪器系统来说，极大地降低了成本，大幅度地缩短了研制周期，显示出广阔的发展前景。

早期的个人仪器及系统存在两方面的缺陷。一方面是由于个人仪器及系统是利用 PC 机的内部总线，因而仪器卡在 PC 机内受到了严重的干扰，各仪器卡间也不能同步触发，无法传递模拟信号。为了克服这些方面的缺点，许多仪器生产厂家各自生产专门的扩展仪器卡箱并定义仪器总线。另一方面是早期的个人仪器强调硬件最少，通常不含微处理器，而将各仪器的控制和处理工作统一由 PC 机来处理，使得个人仪器系统的工作速度不高。随着功能强、价格低、集成度高的单片计算机的出现，各厂家普遍将仪器插卡装入微处理器而构成多微机分布式结构，这样不仅可以提高仪器系统的工作速度，还简化了系统的组建和测试软件的开发。这种高级的个人仪器系统吸取 GP-IB 仪器系统灵活的模块化结构的优点，同时由于共享 PC 机的外设和软件资源，仍能保持个人仪器系统性能价格比的优势，这就使个人仪器系统发展进入一个新的阶段。

显然，由于上述的个人仪器系统的总线是由各生产厂家自行定义而无统一标准，使用户在组建个人仪器系统时难以在不同厂家产品中进行配套选择，妨碍了个人仪器的推广和发展。为此，几年前 HP、泰克等五家仪器公司在经过一段扎实的工作之后，联合提出了适用于个人仪器系统的接口总线 VXI 标准，并为世界各厂家所接受。VXI 总线及 VXI 总线仪器系统的问世被认为是测量和仪器领域发生的一件最重要事件，围绕着 VXI 总线仪器系统出现了一系列的国际性标准和支持技术，从而使测试仪器系统进入了一个划时代的崭新阶段。

VXI 总线是一个开放式结构，它对所有仪器生产厂家和用户都是公开的，即允许不同生产厂家生产的卡式仪器都可在同一机箱中工作，从而使 VXI 总线很快就成为测试系统的主导结构。VXI 总线系统一般由计算机、VXI 仪器模块和 VXI 总线机箱构成。VXI 总线是面向模块式结构的仪器总线，与 GP-IB 总线相比较其性能有了较大幅度提高。其中 VXI 总线中的地址线 and 数据线均可高至 32 位，数据传输速率的上限可高至 40 Mb/s，此外还定义了多种控制线、中断线、时钟线、触发线、识别线和模拟信号线等。由此可见，VXI 总线仪器集中了智能仪器、个人仪器和 GP-IB 系统的很多特长，并具有使用灵活方便，

标准化程序高，可扩展性好，能充分发挥计算机的效能以及便于构成虚拟仪器等诸多优点，因而得到迅速发展和推广，被称为未来仪器和未来系统。

3. 软件技术的高速发展及虚拟仪器

在新一代的仪器系统中，计算机软件和测试仪器更加紧密地结合在一起。为了使仪器系统的硬件设备尽量少，传统仪器的许多硬件乃至整个仪器都被计算机软件所替代。例如，只使用一块 A/D 卡，借助于计算机的计算功能，在软件的配合下就可能实现多种仪器的功能，如数字多用表、数字存储示波器、数字频谱分析、数字采集系统、数字频率计等。在新一代的仪器系统中，计算机处于核心地位。

除此之外，使用者还希望对仪器本身的技术问题的关注尽量少，而将更多的精力转向测试对象，这样即使是用 C、C++ 及 VB 等高级语言编制、调试测试程序，也不能适应现代仪器系统对缩短仪器系统开发时间的要求，因而需要寻求新的编程方法。出于这些考虑，近年来许多公司开发出了很多出色的仪器开发软件包，其中基于图形设计的用户接口和软件开发环境是最流行的发展趋势。在这方面最有代表性的软件产品是 NI 公司的 LabVIEW 和 HP 公司的 VEE 等。这些仪器开发系统软件包不仅可以管理 VXI 仪器，还可以管理 GP-IB 仪器、RS232C 仪器等。这些软件系统本身就带有各厂家生产的各类仪器的驱动软件、软面板等，同时还提供上百种数学运算及包括 FFT 分析、数字滤波、回归分析、统计分析等数字信号处理功能。当测试人员建立一个仪器系统时，只要调出代表仪器的图标，输入相关的条件和参数，并用鼠标按测试流程将有关仪器连接起来，就完成了全部的设计工作。利用这些软件，用户可以根据自己的不同要求和测试方案开发出各种仪器。这就彻底突破了过去仪器功能只能由厂家定义而用户无法按自己意愿改变的传统模式，获得传统仪器无法比拟的效果。

所谓虚拟仪器或集成仪器，是指在通用计算机上添加几种带共性的基本仪器硬件模块通过软件来组合成各种功能的仪器或系统。其中激励信号可由微机产生数字信号，再经 D/A 转换器产生所需的模拟信号。大量的测试功能可以通过对被测信号的采样，再经 A/D 转换得到测量的结果。许多功能还可以完全由软件来实现。这样就摆脱由硬件构成的一件件仪器再连成系统的传统概念。因而从某种意义上说，计算机就是仪器，软件就是仪器。

虚拟仪器或集成仪器这种新的仪器设计思想早在 20 世纪 70 年代中期就已提出，只不过 VXI 总线仪器系统和图形化仪器开发系统软件的问世为它的实现提供了方便条件。

第 2 章 信号放大器件及应用电路

2.1 概 述

信号放大电路的主要任务是对电信号进行各种加工，如放大和滤波、运算、恢复信号特征、抑制伪迹与干扰等。一般来说，信号的运算有加、减、微分、积分、对数、指数、相除、乘方和开方等。信号处理电路的另一大类是信号比较电路以及由比较电路所构成的功能更多、更复杂的电路。

放大器是任何一台智能测量仪器不可缺少的基本电路。越灵敏的仪器，越需要高增益、高性能的放大器。根据实际仪器的功能和要求的不同，对放大器也有这样或那样的性能要求，如增益的高低，频带的宽窄，输入阻抗的高低，等等。实际上，放大器的参数远不止这些，还可用许许多多的参数来表征放大器，如非线性放大器，程控放大器，差动放大器，微功耗放大器等。所以，放大器的种类举不胜举。往常，通用运算放大器是设计工程师们的“宝库”，不管什么样的放大器都用通用运算放大器来设计。虽然有的运算放大器在某个或某些参数上具有突出的特性，比较适合于某些应用场合，但可以说，最适合应用于某种场合的放大器一般都不是采用通用运算放大器所构成的放大器，而是采用具有某些特色的运算放大器或专门设计的放大器芯片，如仪表放大器、数据放大器等。因而可以说，设计放大器也应该选用新的器件加以解决。

放大器和滤波器往往是难以分开的。一方面，任何一个放大器都不可能具有无限的带宽，而任何一种测量仪器都不会要求放大器具有无限的带宽。实际上，从提高仪器测量信噪比的角度出发，往往是要求限制放大器工作在某个或某些频带。另一方面，几乎所有工作在低频段的测量仪器的滤波器都采用有源滤波器的形式，而有源滤波器中的核心部件是放大器。当然，随着芯片的集成度越来越高，功能越来越多，要求严格、准确地将某些芯片归类将是困难的。本章只是粗略地将某些高性能的新型的实用的集成芯片向读者介绍。我们知道，即使是运算放大器，也有很多种类可供选择使用。例如低噪声放大器、高速放大器、高频放大器、高输入阻抗放大器、精密放大器、低功耗与微功耗放大器、大功率放大器、低偏置电流放大器、双运算放大器、四运算放大器，等等。

要选用合适的放大器，应对放大器的主要参数有所了解。运算放大器的参数有很多，但放大器类型的选择取决于最关键指标。例如，如果要为交流应用选择一种高输入阻抗的放大器，那么电压失调和漂移可能比偏置电流的重要性小得多，而它们与带宽相比，可能都不重要了；再如，如果要为直流弱信号放大选择一种放大器，那么电压失调和漂移可能是最重要的参数了。

我们知道，运算放大器的两个极端性能是最高速度和最高精度。高速运算放大器以转换速率高、建立时间短和频带宽为特征。快速建立时间对缓冲器、DAC和多路转换器中的

快速变化或切换模拟信号等应用是特别重要的。小信号宽频带在前置放大和处理宽频带交流小信号应用中是很重要的。高转换速率与快速建立时间相关，所以它对处理大幅度失真交流信号也是很重要的，因为大信号带宽与转换速率紧密相关。最精密单片运算放大器具有极低的非调整失调电压、偏置电流、漂移以及极高的开环增益和共模抑制比，此类放大器用于高精度仪器、低电平传感器电路、精密电压比较和阻抗变换等。

2.2 38 MHz 低噪声高精度运算放大器 MAX410/412/414

MAX410/412/414 运算放大器其独特的电路设计，不仅在 $\pm 5\text{ V}$ 工作时具有极低的噪声，而且具有极低的功耗（每个放大器仅消耗 2.5 mA 电流），它在正、负电源供电下，能以较大的峰值电压驱动负载。为了使电源的使用具有更大的灵活性，MAX410 系列运放在设计上可以保证电源在 $\pm 2.4\sim\pm 5\text{ V}$ 之间工作。

该运放单位增益稳定，带宽达 28 MHz ，转换速率达 $4.5\text{ V}/\mu\text{s}$ 。能广泛用于低噪声频率合成器、红外检测器、高质量音频放大器、超低噪声仪表放大器和电桥信号调整等领域。MAX410/412/414 的结构按照工业标准的单/双/四路运放引脚排列，可提供双列直插及 SO 封装。

2.2.1 主要性能参数

输入失调电压：	$\pm 120\sim\pm 250\ \mu\text{V}$
输入偏置电流：	$\pm 150\sim\pm 320\ \text{nA}$
输入失调电流：	$\pm 80\sim\pm 120\ \text{nA}$
差分输入电阻：	$>20\ \text{k}\Omega$
共模输入电阻：	$>40\ \text{M}\Omega$
共模输入电压：	$>\pm 3.5\ \text{V}$
共模抑制比：	$>115\ \text{dB}$
电源电压抑制比：	$>96\ \text{dB}$
大信号增益：	$>115\ \text{dB}$
转换速率：	$>4.5\ \text{V}/\mu\text{s}$
稳定时间：	$<1.3\ \mu\text{s}$
通道隔离度：	$>135\ \text{dB}$
电源电压范围：	$\pm 2.4\sim\pm 5\ \text{V}$

2.2.2 典型工作电路及使用说明

1. 典型工作电路

MAX410/412/414 和其它运放一样具有许多用途，特别是在低噪声高精度放大器的设计中，往往将其用作前置放大。图 2.1(a)是高性能长波红外检测前放电路。红外照射在探测光二极管上，形成微弱电位，经 MAX410 滤波放大约 1000 倍后输出。图 2.1(b)是由 MAX412 构成的低噪声仪表放大电路。其中，R5 为增益调节，R3 为共模抑制调节。图 2.1 中电阻应取 1%精度的金属膜电阻。

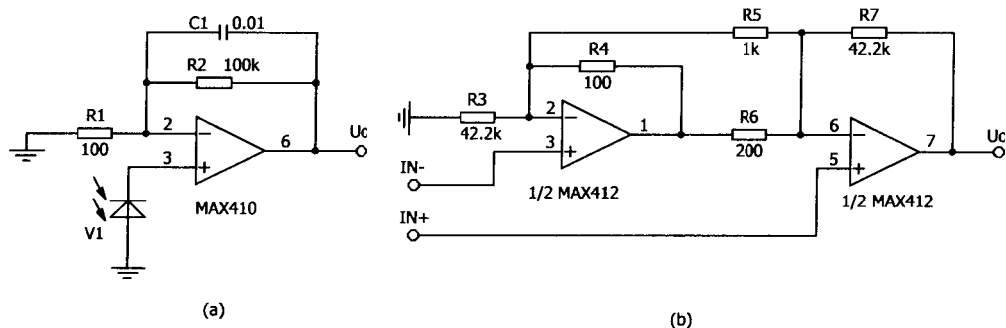


图 2.1 MAX410/412 应用电路
(a) 红外光检测前置放大器; (b) 低噪声仪表放大器

2. 正确使用说明

由于 MAX410/412/414 具有低的电压噪声特性，在使用时应在输入级中加有大的集电极电流。这是因为电压噪声与输入级集电极电流的平方根成反比。然而运放的电流噪声与输入级集电极电流的平方根成正比，并且输入偏置电流与输入级集电极电流成正比，所以为了获得最佳的低噪声性能、直流精确性及交流稳定性，要求反馈电阻和源电阻的阻值要尽可能小。一般来说，在等效源电阻小于 $200\ \Omega$ 的情况下，放大器的电压噪声为主要项。当等效源电阻增大时，电阻噪声成为主要项，最终会使来自 MAX410/412/414 的电压噪声成分可以忽略不计。当等效电阻进一步增大时，则电流噪声成为主要项。例如，在 $1\ \text{kHz}$ 的情况下，当等效电阻大于 $3\ \text{k}\Omega$ 时，电流噪声成分就比电阻噪声成分大。实践证明，在等效源电阻小于 $10\ \text{k}\Omega$ 的情况下，可得到 MAX410/412/414 最佳的噪声性能和最小的总噪声。

为防止放大器输入端有过量的差分输入电压，大多数的运放都含有输入保护二极管和限流电阻，这些电阻增大了放大器的输入折合噪声。MAX410/412/414 确实含有背靠背的输入保护二极管，对于 $\pm 1.0\ \text{V}$ 的过量差分输入电压，它们将起到保护放大器作用。如果必须防止放大器更高的输入差分电压，可在运放输入端串接一外部限流电阻以限制输入电流小于 $20\ \text{mA}$ 。

在电压跟随器电路中，当驱动 $100\ \text{pF}$ 左右的电容性负载时，MAX410/412/414 能保持稳定。但当驱动比 $100\ \text{pF}$ 更大的电容性负载时，可以在电压跟随器电路中增加一个输出隔离电阻。此电阻将负载电容从放大器输出端隔离开来，并使放大器的驱动能力增强。

虽然规定了 MAX410/412/414 用 $\pm 5\ \text{V}$ 电源电压供电，但它们也能在电压低到 $4.8\ \text{V}$ 时，用单电源工作。

对于 MAX410 失调电压的调整，可在 1、8 脚间加 $10\ \text{k}\Omega$ 电位器，且中心抽头接正电源来实现。此调零电路可提供大约 $\pm 450\ \mu\text{V}$ 的失调电压调整范围，在整个工作温度范围内，它足以使失调电压归零。

⑥ 该器件的工作温度范围是：C 挡为 $0^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ ，E 挡为 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ ，MJ 挡为 $-55^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 。储存温度范围为 $-65^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ 。引脚焊接温度 $10\ \text{s}$ 最大为 $+300^\circ\text{C}$ 。使用时若超出温度范围，可能导致器件的永久性损坏。

2.3 宽带互导型放大器 MAX435/436

MAX435/436是高速、宽带互导型放大器（WTA），具有理想的差分、高阻抗输入端。其独特的电路结构提供了精确增益，不用负反馈就可消除传统高速运放存在的闭环相移。WTA的输出是电流，它与外加的差分输入电压成正比，提供了输出短路的保护。电路的增益由两个阻抗的比值和一个内部设定的电流增益因子来决定。

电流输出未设计负反馈，使得MAX435的输出能够实现275 MHz的带宽及800 V/ μ s的转换速率。单端输出的MAX436能够实现200 MHz的带宽及850 V/ μ s的转换速率。这两种放大器都可在10 MHz处以53 dB的共模抑制比（CMRR）给出优越的宽带共模抑制特性，在300 μ V输入失调电压下能给出高速运放中很少遇到的直流精确性。

和电流反馈放大器不一样，MAX435/436具有完全对称的高阻抗输入端，可耐受大范围的差分输入电压而不致严重失效或使放大器饱和，实际上消除了过载恢复时间。这些WTA独特的性能特征，使得MAX435/436适合于广泛的用途，如高速的仪表用放大器、高增益带通放大器、高速滤波器、差分传输线路接收器和差分传输线路驱动器等应用场合。

MAX435/436的引脚排列见图2.2所示。其中，V+为正电源端，一般接+5 V电压；V-为负电源端，一般接-5 V电压；IN+为放大器同相输入端；IN-为放大器负相输入端；Z+为正互导端；Z-为负互导端；IO-为反相差分输出端；IO+为同相差分输出端；IS为电源电流设置端。

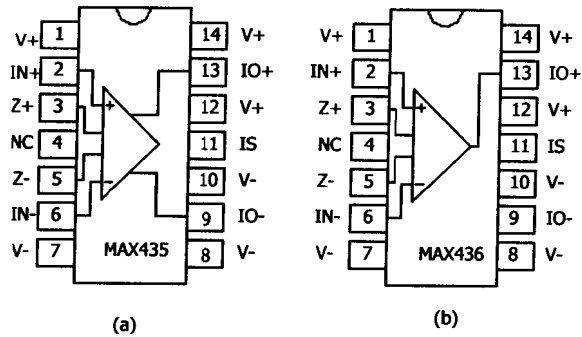


图 2.2 MAX435/436 的引脚排列

(a) MAX435 引脚排列；(b) MAX436 引脚排列

2.3.1 主要性能参数

输入失调电压：	0.3~3.0 mV
输入偏置电流：	1.0~10 μ A
输入电压范围：	-2.5 ~ +2.5 V
输入失调电压温漂：	3.5 μ V/ $^{\circ}$ C左右

输出失调电流 每一端):	$-100 \sim +100 \mu\text{A}$
差分输出失调电流:	$-140 \sim +140 \mu\text{A}$
输出失调电流温漂:	$2.3 \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ 左右
差分输入电阻:	$200 \sim 800 \text{k}\Omega$
输出阻抗:	$3.5 \text{k}\Omega$ 左右
输出电流:	$-10 \sim +10 \text{mA}$
输出电压范围:	$-3.5 \sim +3.5 \text{V}$
共模抑制比:	53dB 左右
电源电压抑制比:	77dB 左右
到 1% 的建立时间:	18ns 左右
转换速率:	$550 \sim 800 \text{V}/\mu\text{s}$
电源电压范围:	$\pm 4.75 \sim \pm 5.25 \text{V}$

2.3.2 典型工作电路及应用

1. 典型工作电路

MAX435/436 的典型工作电路如图 2.3 所示。由于器件内部工作不带反馈，其闭环相移对放大器稳定性的影响不大，所以器件本身是内在的稳定。互导型放大器 (WTA) 和常用的电压型放大器不一样，它不需要由内部设定主极点来补偿。而电压型放大器则需要这个极点来防止由高频相移引起的振荡，但结果使开环增益下降了。MAX435/436 的独特结构使得单端 (MAX436) 或差分 (MAX435) 信号增益能够由用户选择的互导元件或网络阻抗 (Z_t) 及输出负载阻抗 (Z_l) 两个阻抗的比值来设定。WTA 实质上是电压控制的电流源。

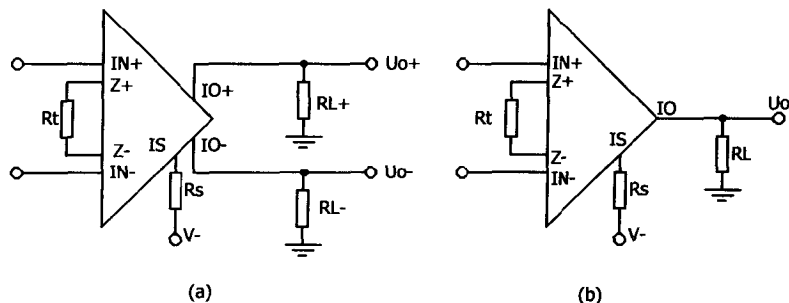


图 2.3 MAX435/436 的典型工作电路

(a) MAX435 工作电路; (b) MAX436 工作电路

MAX435/436 的输出是电流，它与差分输入电压成正比并与用户选择的互导元件或网络阻抗 (Z_t) 成反比。电流输出方式提供了对输出端的短路保护。

2. 基本应用电路

由于 MAX435/436 (WTA) 的独特设计，使许多特殊应用电路能够得以实现。下面介绍其中的一些基本应用电路。为了清晰起见，电路图中都未给出旁路电容器和 R_s 的电阻