

第一章 概述

1.1 染料敏化纳米薄膜太阳电池简介^{[1][2]}

八十年代中期,瑞士洛桑高等工业学校(EPFL)的 M. Grätzel 教授致力于用 TiO_2 颗粒和光电极来研究染料敏化纳米薄膜电池,他们制备出纳米多孔 TiO_2 半导体膜,以过渡金属 Ru 以及 Os 等有机化合物制备染料,并选用适当的氧化-还原电解质为主要材料,发展一种染料敏化纳米薄膜电池,终于在 1991 年取得重大突破,在太阳光下,其光电转换效率达 7.1% (AM1.5),经过近几年的研究效率已稳定在 10% 以上。

染料敏化纳米薄膜电池主要由以下几个部分组成:透明导电玻璃、纳米 TiO_2 多孔膜、染料光敏化剂、电解质和反电极(如图 1-1 所示)。

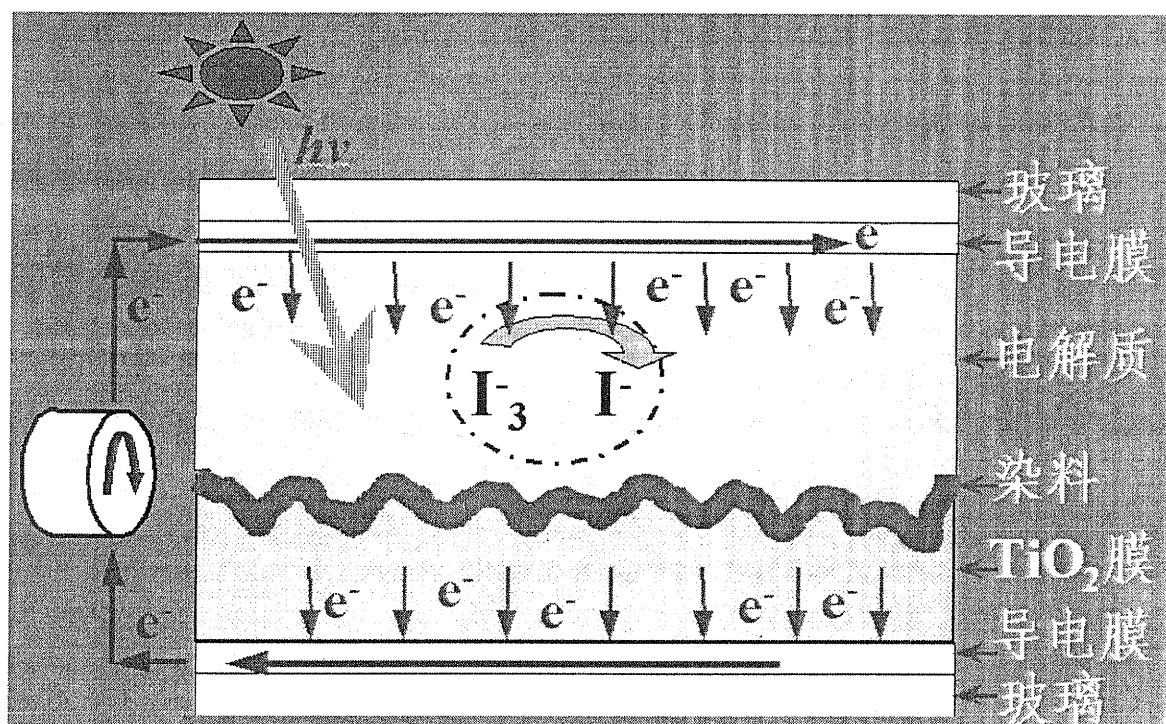


图 1-1 染料敏化纳米薄膜太阳电池示意图

导电玻璃 (TCO)就是在一般玻璃(厚约 1~3mm)上镀上一层 $0.5\sim 0.7\mu\text{m}$ 厚的掺 F 的 SnO_2 膜,在 SnO_2 膜和玻璃之间需扩散一层几 nm 的纯 SiO_2 ,目的是为了防高温烧结过程中普通玻璃里的 Na^+ 、 K^+ 等离子扩散到 SnO_2 膜中去,一般要求方块电阻为 $5\sim 20\Omega/\square$,透光率在 85% 以上,正、负电极电子的传输和收集主要是通过导电玻璃进行的。

纳米 TiO_2 多孔膜具有非常高的内部比表面积, 有助于提高电子的注入效率, 从而提高电池的光电转换效率。

染料光敏化剂是影响电池效率至关重要的一部分, 它必须具备两个基本的条件: (1) 具有很宽的可见光谱吸收; (2) 具有长期的稳定性, 即能经得起多次激发氧化还原, 寿命至少要 20 年以上。过渡金属 (如 Ru 和 Os) 的络合物, 不但具有很宽的可见光吸收区域, 而且具有很长的使用寿命。目前, 已经证实它们的性能都较为优越。

电解质主要是由 I^- 和 I_3^- 化合物组成, 如 LiI 、 KI 等低挥发性盐, 其主要作用是用来还原被氧化了的染料分子, 并起到电子传输作用。

在光阴极上, 除需一层导电 SnO_2 膜外, 还需镀上一层 Pt (约 $5\sim 10\mu\text{g}/\text{cm}^2$), Pt 除了起光阴极作用以外, 主要还起着光反射和催化剂的作用。

这种电池最吸引人的特点是其廉价的原材料和简单的制作工艺, 且性能稳定、衰减少, 具有远大的应用前景。目前, 全世界已有许多国家参与该项研究, 并在商品化上取得一定的进展。染料敏化纳米薄膜电池克服了以前只能吸附单层染料, 光电转换效率徘徊在 1~2% 的致命弱点, 这不能不说是太阳能电池上的一次革命, 对解决人类能源危机提供了一条非常有益的途径。

到 1995 年世界总的太阳能电池产量只有 175MW, 发电量远小于其它发电技术, 人们迫切需要寻求一种成本低、性能好、寿命长的太阳能电池, 染料敏化纳米薄膜电池正具有这些优点, 其成本为 5--7 元/Wp, 仅为硅太阳能电池的 1/5 至 1/10, 实用效率已达 10%, 寿命已达 20 年以上, 所以世界各国专家都密切注视。据预测, 今后几年这种电池将逐步走上市场。

1.2 自动测试系统的目的和意义

无论是目前的实验室研究阶段, 还是将来的大规模生产, 都需要对电池的性能进行严格的测试。

需要进行的测试项目有 (参见图 1-2) [3][4][5]:

一、开路电压

受光照的电池, 开路状态下的端电压称为开路电压。通常用 V_{oc} 表示。

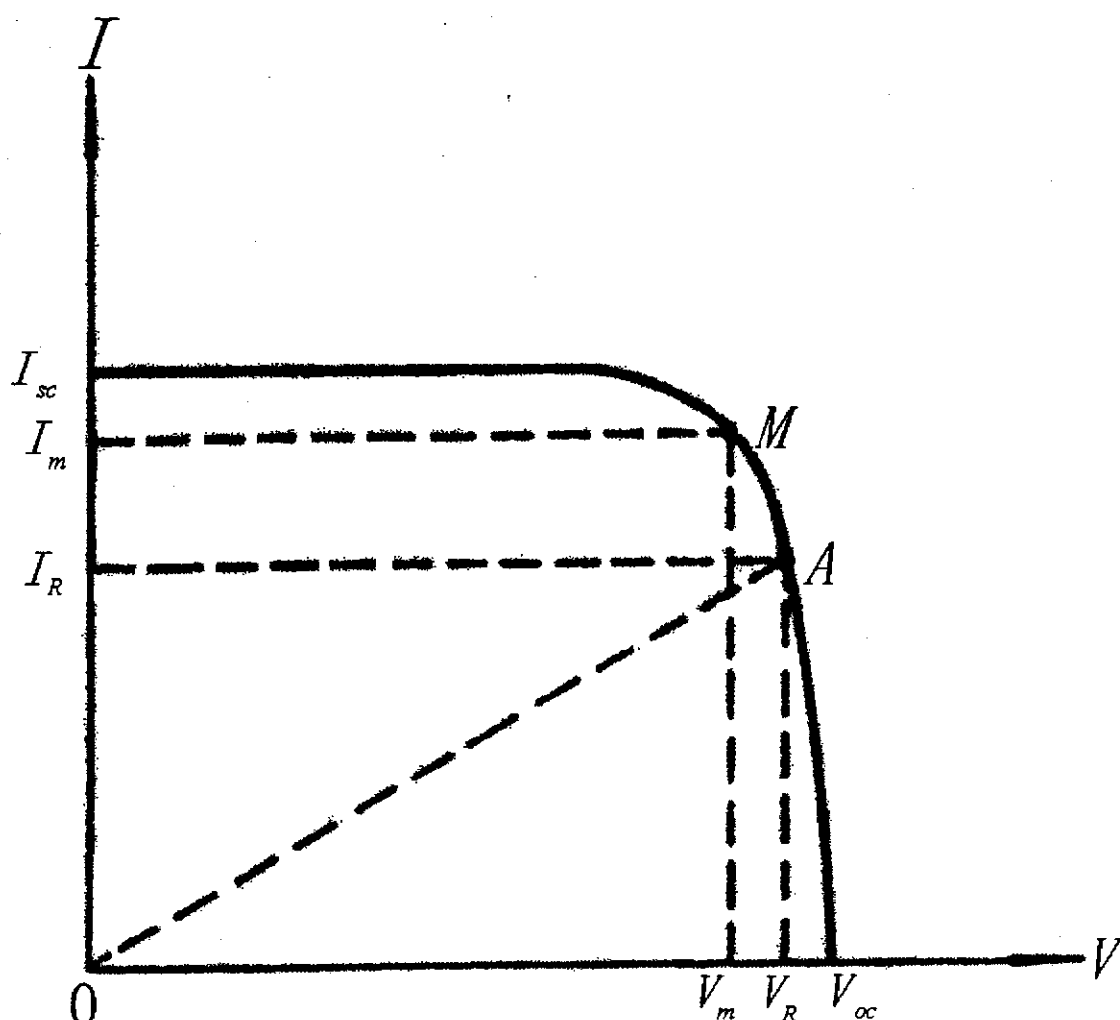


图 1-2 太阳电池的伏-安特性曲线

二、短路电流

受光照的电池，在短路状态下外电路的电流称为短路电流。通常用 I_{sc} 表示。

三、最佳工作电压

受光照的电池，在确定的伏-安特性曲线上有最大功率输出的工作点，称为最大功率点。此点对应的电压称为最佳工作电压。通常用 V_m 表示。

四、最佳工作电流

受光照的电池，在其确定的伏-安特性曲线上有最大功率输出的工作点，称为最大功率点。此点对应的电流称为最佳工作电流。通常用 I_m 表示。

五、最大输出功率

受光照的电池，在确定的伏-安特性曲线上有最大功率输出的工作点。此点对应的功率称为最大输出功率。通常用 P_m 表示。

$$P_m = V_m \times I_m \quad (1-1)$$

六、光电转换效率

光电转换效率，是指受光照的单体电池的最大输出电功率与入射到该电池受光平面几何面积上的全部光功率的百分比。通常用 η 表示。

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% \quad (1-2)$$

七、填充因数

系指电池的最大输出功率与开路电压和短路电流乘积之比。通常用 FF 表示。

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1-3)$$

由式(1-3)可得：

$$P_m = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (1-4)$$

八、伏-安特性曲线

系指受光照的太阳电池，在不同的外电路负载下，进入负载的电流 I 和电池端电压 V 的关系曲线。一般情况如图 1-2 中的实线所示。

由以上讨论可知，电池测试工作的核心内容是伏-安特性曲线的测量，由伏-安特性曲线，经过适当的数据处理即可得出各个测试项目的测试结果。

传统的测试方法如图 1-3 所示，通过手工改变可变负载的电阻值，来逐点描绘伏-安特性曲线，完成测试工作。

此方法有如下缺点：

1. 测试效率低

测试时需要手工改变负载，人工记录测试数据、计算测试结果，因

此测试效率低，测试周期长。

2. 对测试条件要求严格

由于测试周期长，而在测试期间光源和被测电池均不允许变化，否则便会增大测试误差，这就使得用自然光测试难以进行，增加了对天气的依赖程度。

3. 数据处理不便

测试时所获得的数据需要人工绘图，分析测试结果，若需进行计算机处理和打印，必须要再行手工录入。

4. 操作人员劳动强度大

操作繁琐，容易出现差错。

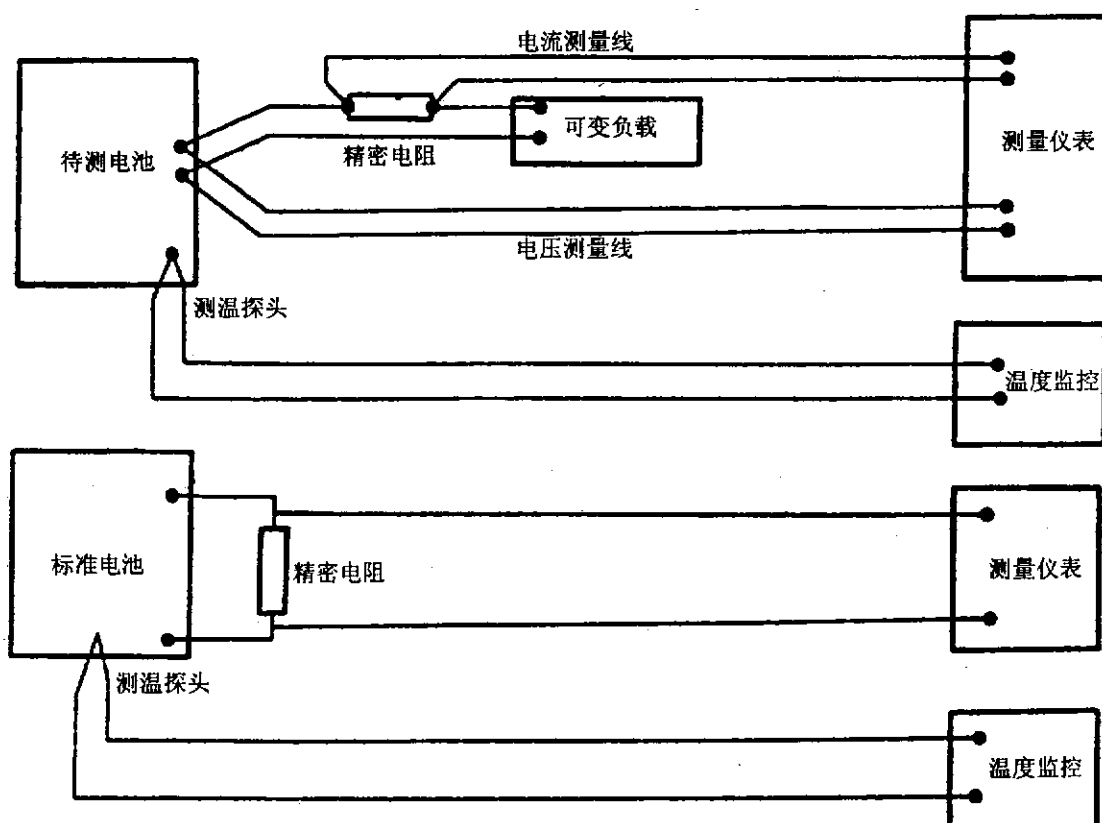


图 1-3 测量伏-安特性的电路框图

本文所采用的计算机自动测试方案，有效地克服了上述缺点，具有以下特点：

1. 测试迅速

几秒钟即可得出测试结果。

2. 操作简便

全部测试自动进行, 无需人工干预。

3. 数据接口功能强

利用 PC 机系统丰富的软、硬件资源, 测试数据可任意进行编辑、打印, 并可作为原始数据送给数据库应用程序、数学分析程序等作进一步分析处理。

经过实际使用, 证明其满足了科研工作的需求。

1. 3 本文的主要内容

本文详细叙述了太阳电池自动测试系统的三个组成部分: 太阳模拟器、伏-安特性测试系统、太阳跟踪系统的硬件和软件系统的原理与设计, 其中第二章至第四章分别介绍了硬件系统, 第五章集中分析了软件系统, 包括 PC 机的 Visual C++ 程序和微控制器的 C51 程序以及二者之间的通信协议, 第六章对测试结果作了初步的分析, 指出了今后改进的方向。

在附录中给出了全部硬件电原理图、印刷电路板图以及 Visual C++ 源程序和 C51 源程序清单。

第二章 太阳模拟器

2.1 太阳模拟器概述^[6]

太阳模拟器是模拟太阳光谱和光强的一种光源设备。可以用来测试太阳电池的电性能。

使用太阳模拟器可以克服由于太阳辐射的不可预测的变化和局限性所造成的不便，可以在实验室内反复对被测电池进行测试，并可任意改变测试条件。

在地球的大气层外，太阳在单位时间内投射到距平均日地距离处，垂直于射线方向的单位面积上的全部辐射能，称为太阳常数。其数值为 $1367 \pm \text{W/m}^2$ ，其光谱分布曲线如图 2-1 所示。

光谱辐照度 ($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$)

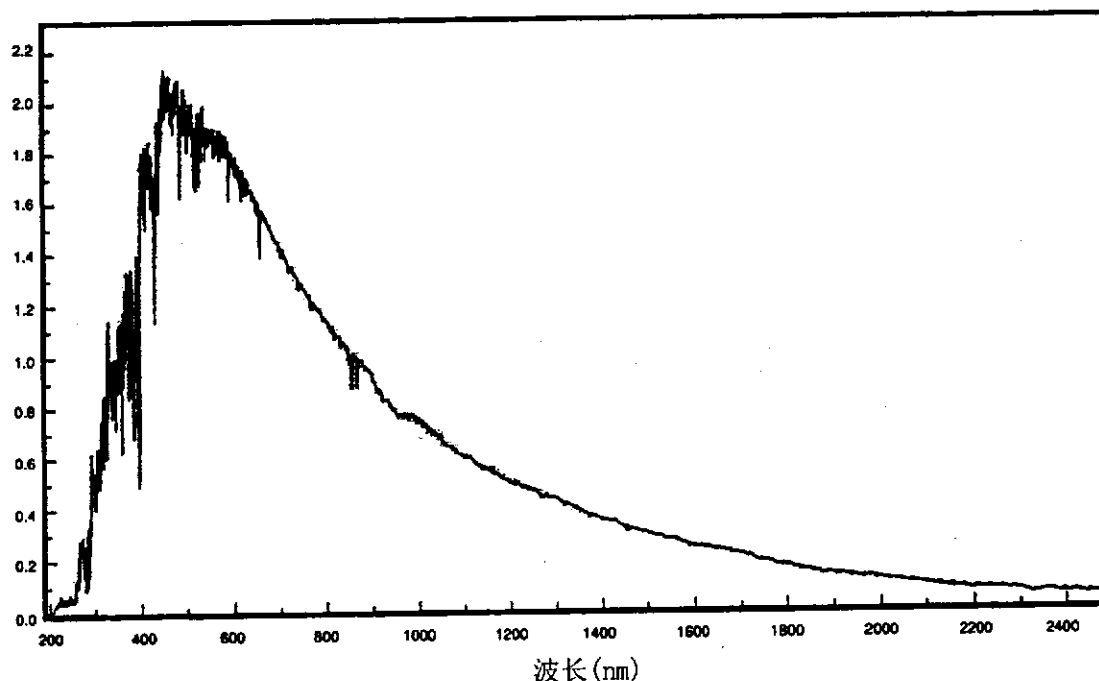


图 2-1 AMO 标准光谱

太阳辐射在到达地球表面之前，必须经过大气层。由于大气中含有水蒸气、二氧化碳、臭氧等成分，经过大气层后太阳辐照度将被削弱，光谱特性也受到影响。对应于不同的大气质量，可有 AM1、AM1.5、AM2 等多种术语来描述之。通常使用 AM1.5 标准光谱作为地面测试时的标准条件，其数值为 1000W/m^2 ，通常称为一个“太阳”，其光谱分布曲线如图 2-2 所示。

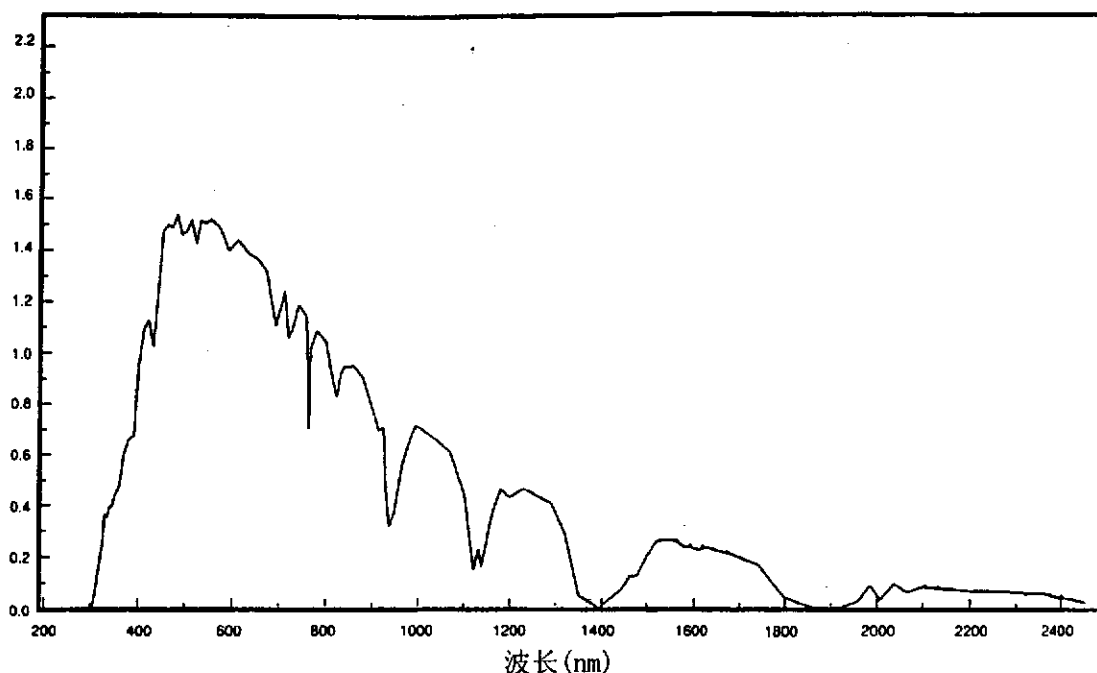
光谱辐照度 ($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$)

图 2-2 AM1.5 标准光谱

2.2 太阳模拟器电路设计

太阳模拟器的结构示意图见图 2-3。

图中，卤素灯作为光源，选用 24V 250W 的氙灯；轴流风机为氙灯提供散热条件。

待测电池和参考电池并列放在活动平台上，通过移动活动平台，可使待测电池处于不同的测试光强下。

活动平台由步进电机经过蜗杆带动滑块驱动。

太阳模拟器的方框图如图 2-4 所示，电原理图详见附录 A，印刷电路板图详见附录 B。

一、步进电机^[7]

图中步进电机选用混合式 42BYG020 型，其主要技术数据为：

步距角： 1.8°
相数： 4
电压： 12V
电流： 0.6A
最大静转矩： 0.17Nm

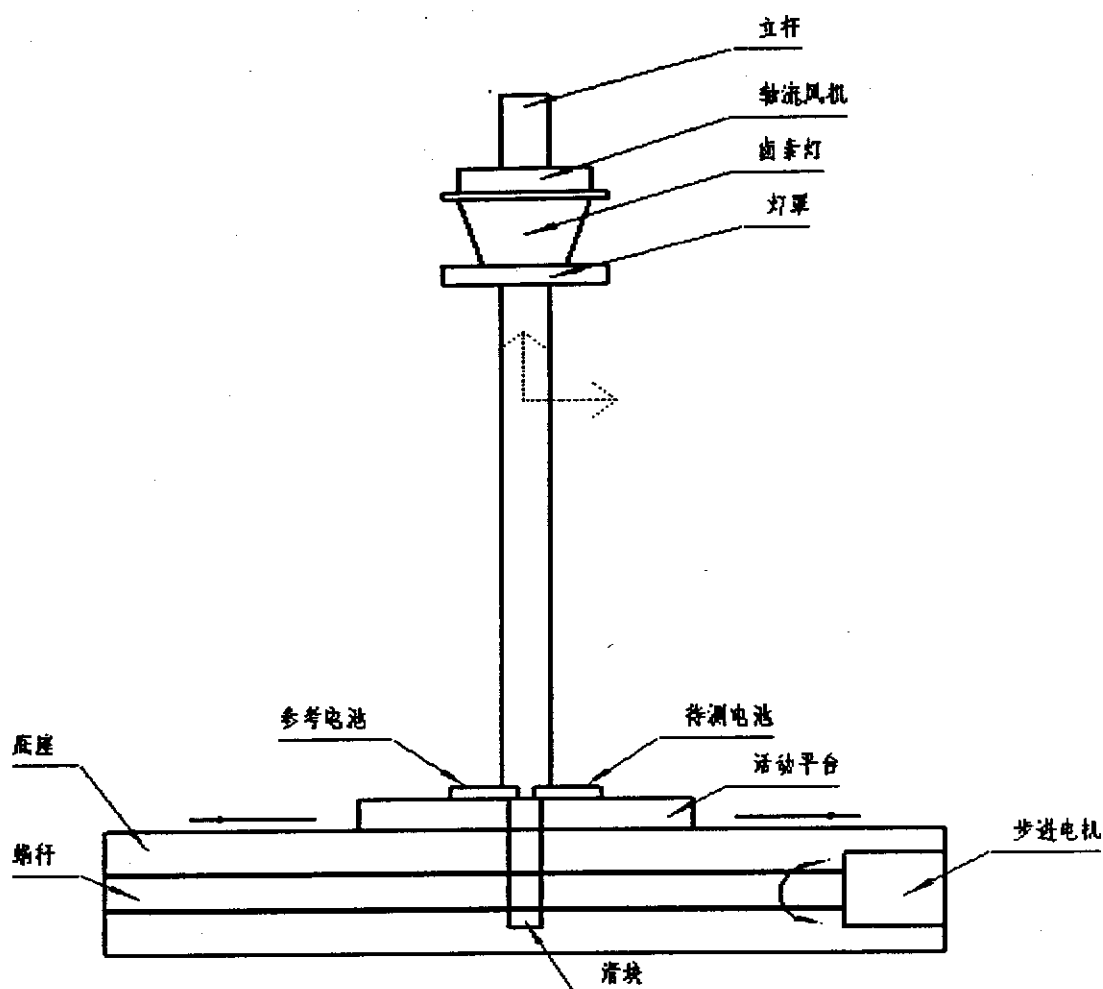


图 2-3 太阳模拟器结构示意图

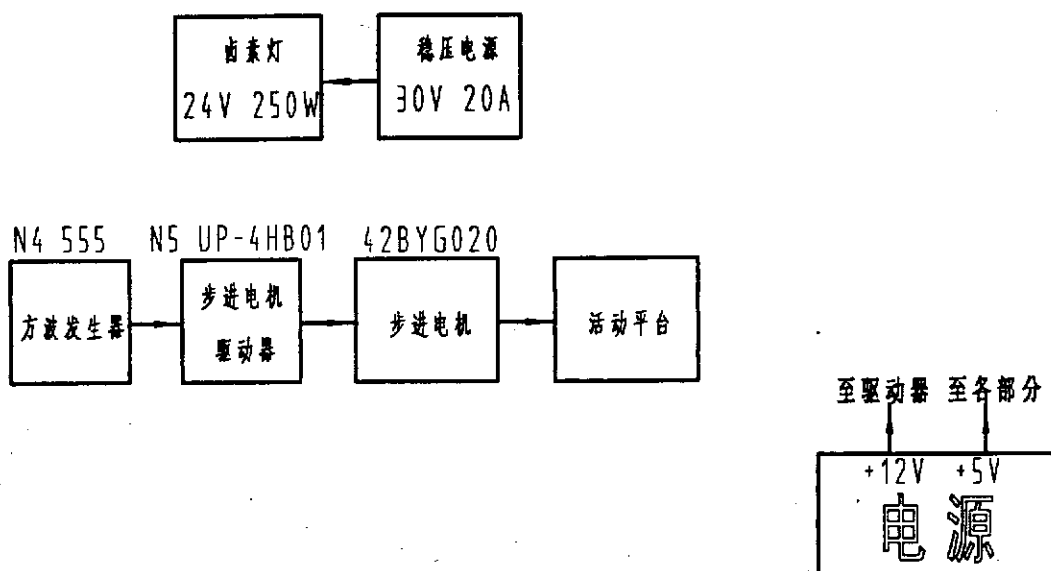


图 2-4 太阳模拟器方框图

二、步进电机驱动器^[8]

使用 UP-4HB01 步进电机驱动器来驱动 42BYG020 型步进电机, 该驱动器的特点为:

超小型模块化, 采用厚膜工艺, SIP12 封装;

极低的电源损耗, 极高的开关效率;

高压驱动, 低压锁定功能;

四相八拍励磁方式, 驱动电流 1A;

具有半电流锁定功能, 当步进脉冲 CP 端悬空或其停止输入约 0.5 秒后, 驱动器自动将输出电流降低至工作电流的 60% 左右以降低功耗。

其各个引脚功能如下:

CP: 步进脉冲输入端, 上升沿有效, 每来一个脉冲电机走一个步距角

U/D: 电机步进方向控制端, 高低电平分别对应正反转

FREE: 脱机控制端, 高电平有效。此端为 1 时, 电机处于释放状态; 此端为 0 或悬空时, 电机处于正常工作状态

HOLD: 低压锁定控制端, 低电平有效。此端为 0 时, 电机的驱动电压由 V_H 降低到 5V, 以降低电机的工作电流, 减少发热; 此端为 1 或悬空时, 电机的驱动电压为 V_H , 以获得较高的转速

VCC, V_H , GND: 电源端, 分别接 +5V, 驱动电源 (5—24VDC), 地

COM, A, /A, B, /B: 分别接电机绕组的公共端, A 相, /A 相, B 相, /B 相

其工作原理如下:

在附录 A 的原理图中, SB1 为移动按钮, 平时处于断开状态, N4 无脉冲输出, 且 VT1 处于截止状态, FREE 端为高电平, 步进电机处于释放状态; 当 SB1 按下后, 接通方波发生器 N4 的电源, 产生步进脉冲, 同时 VT1 处于饱和状态, FREE 端为低电平, 步进电机处于正常工作状态, 从而使活动平台移动; SA1 用来选择电机的步进方向, 从而决定了活动平台的移动方向。

三、方波发生器

N4 接成多谐振荡器模式, 产生连续的方波信号, 其输出送到 UP-4HB01 的 CP 端, 作为步进脉冲。

脉冲占空比由下式决定:

$$q = (R_3 + R_4) / (R_3 + 2R_4) \quad (2-1)$$

脉冲频率由下式决定:

$$f = 1 / ((R_3 + 2R_4) \times (C_{12} // C_{ext}) \times \ln 2) \text{ (Hz)} \quad (2-2)$$

其中 $C_{12} // C_{ext}$ 表示 C_{12} 与通过 SA2 与之并联的电容的等效电容值。

因此通过 SA2 改变与 C_{12} 并联的电容，可以改变脉冲频率，从而决定活动平台的移动速率。

面板上的发光二极管 VD5 作为电源指示灯，VD6 用来指示步进脉冲，通过 VD6 的闪烁可以直观地获悉步进脉冲的频率。

第三章 伏-安特性测试系统

3.1 伏-安特性测试系统概述

如第一章所述, 伏-安特性测试系统的目的是通过逐点扫描, 得到电池的伏-安特性曲线, 由伏-安特性曲线, 经过适当的数据处理, 可获得待测电池下列项目的测试结果:

1. 开路电压 V_{oc}
2. 短路电流 I_{sc}
3. 最佳工作电压 V_m
4. 最佳工作电流 I_m
5. 最大输出功率 P_m
6. 光电转换效率 η
7. 填充因数 FF

伏-安特性测试系统的方框图如图 3-1 所示, 电原理图详见附录 C, 印刷电路板图详见附录 D。

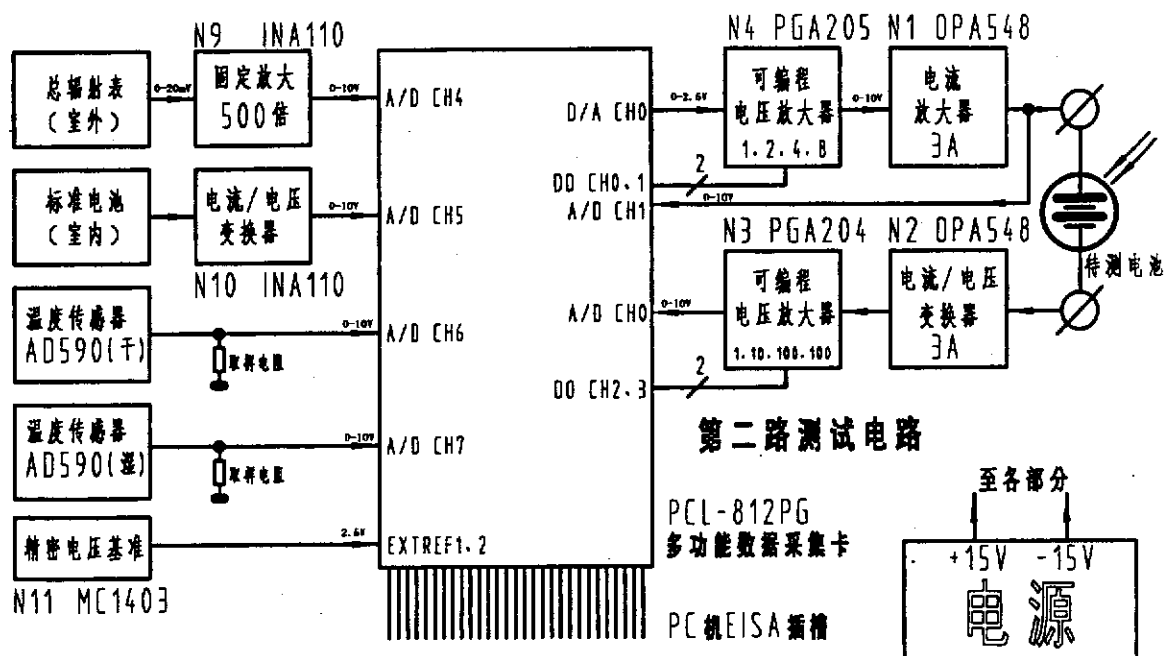


图 3-1 伏-安特性测试系统方框图

上图中各部分功能如下:

一、 PCL-812PG 多功能数据采集卡^[9]

此卡插在 PC 机上, 受软件系统控制, 完成以下功能:

- 1、用于各个模拟量输入, 并将 A/D 转换后的结果储存在 PC 机内;
- 2、输出模拟量, 作为电池测量时的给定信号;
- 3、输出数字量, 控制可编程放大器的增益, 以切换电压、电流的量程。

二、 可编程电压放大器 (N4)^[10]

此放大器用来将 PCL-812PG 多功能数据采集卡 D/A 通道输出的 0-2.5V 模拟电压加以放大, 产生电池测量所需的 0-10V 电压。

增益由 PCL-812PG 卡的两路数字量输出通道来选择。

三、 电流放大器 (N1)^[10]

此放大器用来将 N4 输出的 0-10V 模拟电压加以电流扩展, 输出电流容量可达 3A, 足以驱动待测电池。

四、 电流/电压转换器 (N2)^[10]

此放大器用来将流过待测电池的 0-2A 电流转换为电压。

五、 可编程电压放大器 (N3)^[10]

由于 N2 输出的电压较小, 需经过放大才能够与 PCL-812PG 卡的输入电压范围 ($\pm 10V$) 相匹配, 因此由 N3 加以放大。

PCL-812PG 卡的两路数字量输出通道用来选择增益, 从而切换电流测量范围。

六、 总辐射表^[11]

总辐射表用于测量室外太阳辐照度, 作为室外测试电池时计算射入太阳电池的光强的依据。

选用 TBQ-2 型总辐射表, 该表的感应元件采用了绕线电镀式多接点电热堆, 当有光照时, 冷热结点产生温度差, 产生温差电势, 从而将光信号转化为电信号输出。在线性误差范围内, 输出电信号与太阳辐照度成正比。

灵敏度为 $10 \mu V/(Wm^{-2})$ 左右, 在一个太阳 ($1000 Wm^{-2}$) 时, 输出电压为 10mV 量级。

七、标准电池

标准电池用于在室内测量时, 测量太阳模拟器的输出光强, 作为室外测试电池时计算太阳电池效率的依据。

八、温度传感器

温度传感器 AD590 将温度转化为电流信号, 在取样电阻上产生电压降, 送给 A/D 用。

使用了两个温度传感器。干的温度值作为温度之值输出; 湿的温度值与干的温度值之差经过计算之后得出湿度值。

九、精密电压基准

精密电压基准产生一个稳定的基准电压, 供给 PCL-812PG 多功能数据采集卡作为 D/A 的外部基准电压。

3.2 PCL-812PG 多功能数据采集卡简介^[9]

PCL-812PG 是一个用于 IBM PC 及其兼容机的高性能、高速多功能数据采集卡。

PCL-812PG 卡具有以下功能:

- 1、 16 路单端输入 12 位 A/D, 最高采样速率 100kHz (DMA 方式)
程控增益 $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$, $\times 16$
- 2、 2 路乘法型 12 位双缓冲 D/A
- 3、 16 路数字量输入
- 4、 16 路数字量输出
- 5、 1 个 16 位定时器/计数器通道

其框图如图 3-2 所示。

一、模拟输入通道

由外部进入的 16 路单端输入模拟量, 包括待测电池的电压、电流, 室外太阳辐照度, 室内太阳模拟器的光强, 温度 (干、湿) 等, 经过 16 通道单端多路器选择一路, 送到程控放大器 AD526, 可通过软件选择增益 $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$, $\times 16$, 放大后的信号送到 ADS774 进行 A/D 转换, 最后将转换结果送到数据总线上。

启动转换的方式有软件触发、定时触发、外部触发三种。

数据传输的方式有软件查询、中断、DMA 三种。

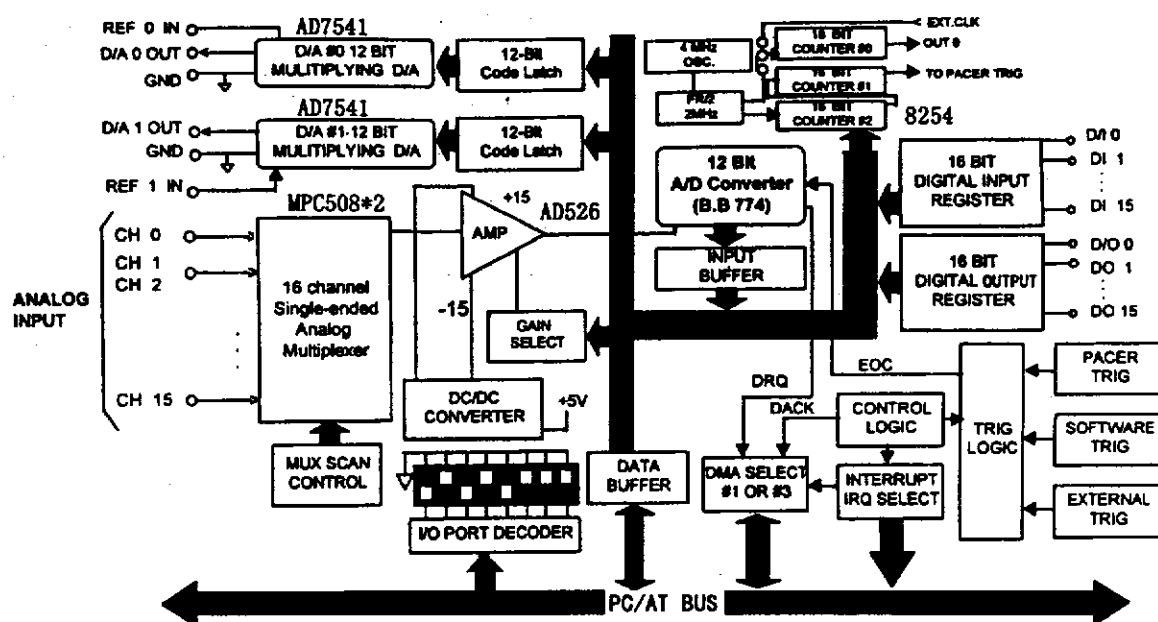


图 3-2 PCL-812PG 方框图

二、模拟输出通道

两只 AD7541 各自将来自数据总线上的数字量转换为模拟电压，输出电压的极性和大小可以通过外部基准电压来设置。

此两路模拟输出电压用来作为电池测试的给定电压。

三、数字输入通道

由外部进入的 16 路数字量, 经过锁存后送到数据总线上。

四、数字输出通道

来自数据总线上的数字量经过锁存后输出，用来控制可编程放大器的增益，从而选择测试电压、电池电流的范围。

五、定时器/计数器通道

PCL-812PG 卡上有一只 8254, 其内部有 3 个 16 位定时器/计数器, 其中 2 个级连后作为定时采样的时间发生器, 另外的 1 个提供给用户使用, 可作为外部事件计数器或定时器之用。

3.3 伏-安特性测试系统电路设计

在伏-安特性测试系统中, 使用了美国 Burr-Brown 公司的可编程仪表放大器 PGA204/PGA205, 仪表放大器 INA110, 高电压、大电流运算放大

器 OPA548, 以及 Analog Device 公司的半导体集成温度传感器 AD590, 和 Motorola 公司的电压基准 MC1403。下面分别予以介绍。

一、PGA204/PGA205^[10]

PGA204/PGA205 是低价格, 通用型可编程仪表放大器, 其中 PGA204 的增益为 1, 10, 100, 1000; PGA205 的增益为 1, 2, 4, 8。

通过两个 TTL 或 CMOS 兼容的地址线 A0 和 A1 来选择增益。模拟输入引脚有内部输入保护, 可以经受 $\pm 40\text{V}$ 而不损坏。

PGA204/PGA205 具有很低的输入偏置电压 ($50\mu\text{V}$), 温度漂移 ($0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$), 很高的共模抑制比 ($G=1000$ 时为 115dB)。其外引脚如图 3-3 所示, 内部结构如图 3-4 所示, 典型接法如图 3-5 所示。

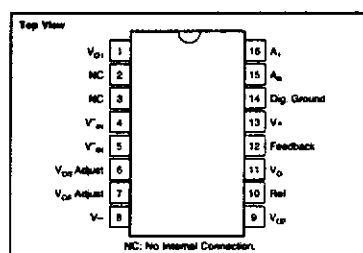


图 3-3 PGA204/205 引脚图

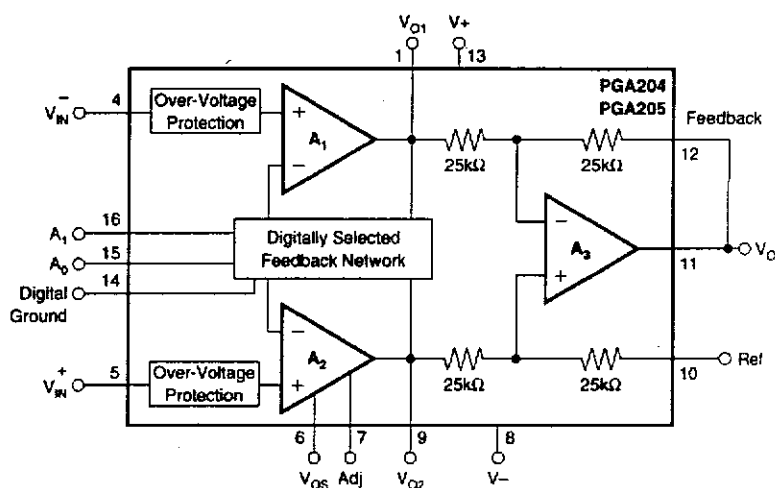


图 3-4 PGA204/205 内部结构图

在图 3-5 中, 数字输入 A0 和 A1 根据逻辑表来选择增益。逻辑“1”定义为比数字地电位 (引脚 14) 高 2V 以上。数字地可以连接到从 V- 到比 V+ 低 4V 的任意电位上, 通常连接到模拟地上。数字输入可以直接与 TTL 和 CMOS 逻辑器件接口。数字输入 A0 和 A1 未加锁存, 输入的改变立即选择新的增益。接在 6, 7 脚之间的电位器用来调整输入偏置电压。

在伏-安特性测试系统中, N4 用来放大由 PCL-812PG 卡 D/A 通道输出的给定电压, 其增益决定了测试电压的范围;

N3 放大已经过电流/电压转换后的待测电池的电流值, 其增益与 PCL-812PG 卡上 AD526 的增益相互配合, 决定了测试电流的范围, 使得测试电流可以在 5mA 至 2A 的宽广范围内任意切换。

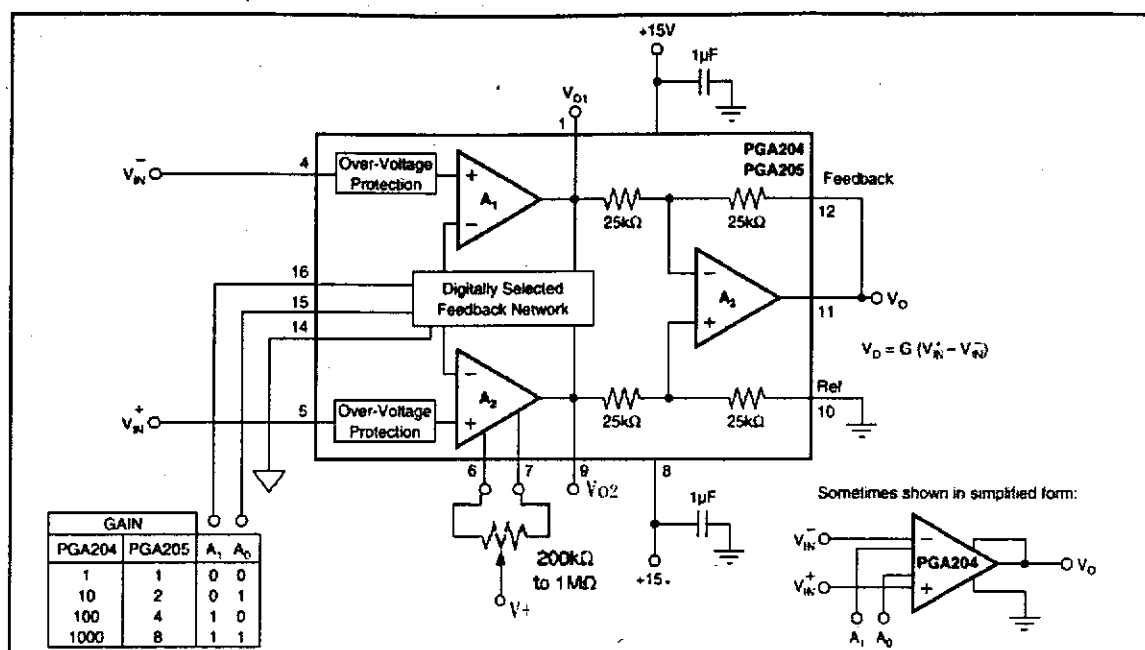


图 3-5 PGA204/205 典型接法图

二、 $\text{INA110}^{[10]}$

INA110 是多用途单片 FET-输入仪表放大器。它的电流反馈电路拓扑和激光修正的输入级提供了优异的动态性能和精度。

其内置的增益设定电阻提供了 1, 10, 100, 200, 500 倍的增益值。

其外引脚如图 3-6 所示, 其内部结构如图 3-7 所示, 其典型接法如图 3-8 所示, 偏置调整电路如图 3-9 所示。

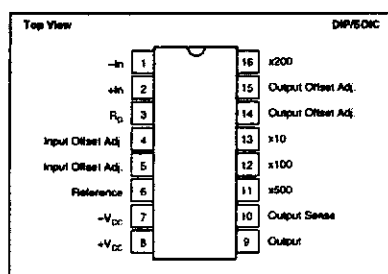
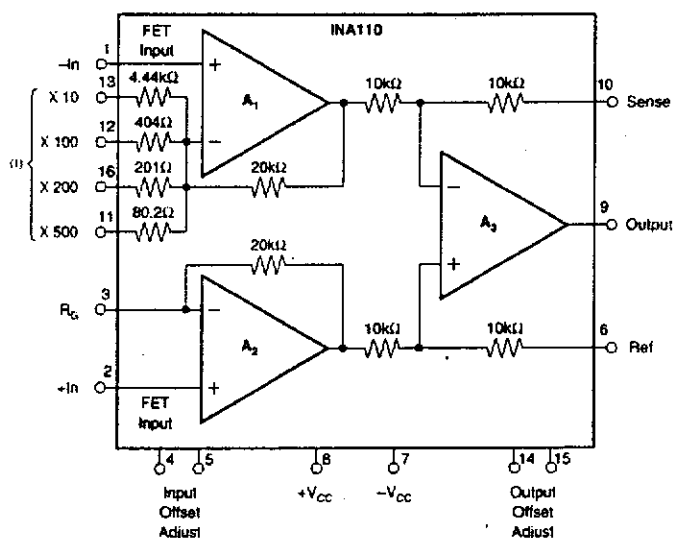


图 3-6 INA110 外引脚图



NOTE: (1) Connect to R_G for desired gain.

图 3-7 INA110 内部结构图

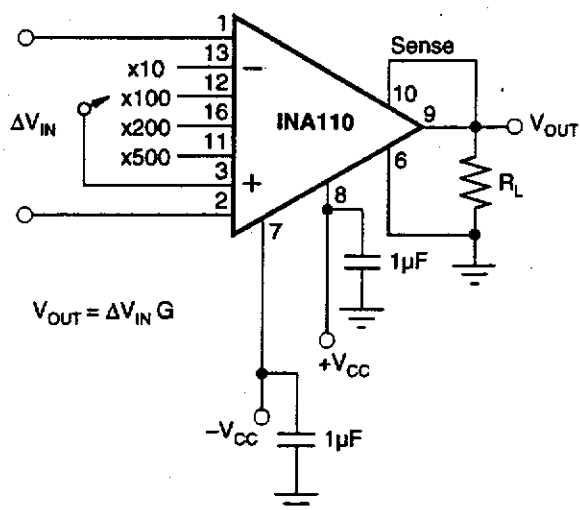


图 3-8 INA110 典型接法图

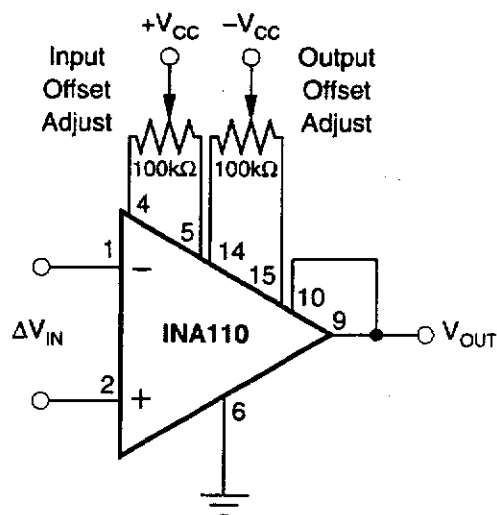


图 3-9 偏置调整电路

在图 3-8 中，可以通过如下接法选择增益：

增益	接法
1	3 脚悬空
10	3-13
100	3-12
200	3-16
300	3-12-16
500	3-11
600	3-11-12
700	3-11-16
800	3-11-12-16

对于其他的增益值 G ，可将引脚 11，12，16 并联，然后串联一个电阻 R_G 与引脚 3 相连即可。 R_G 之值由下式决定：

$$R_G = 40000 / (G - 1) - 50 \quad (\Omega)$$

在图 3-9 中，接在 4，5 脚之间的电位器用来调整输入偏置电压，接在 14，15 脚之间的电位器用来调整输出偏置电压。在高增益 (>100) 时，仅需调整输入偏置电压；低增益时，仅需调整输出偏置电压。

在伏-安特性测试系统中，N9 将来自总辐射表的 10mV 左右的信号固定放大 500 倍，以满足 PCL-812PG 卡对输入电压范围 ($\pm 10V$) 的要求，供测量太阳辐照度之用；

N10 将标准电池的电流转换为电压后送往 PCL-812PG 卡的模拟输入通道, 供测量太阳模拟器光强之用。

三、OPA548^[10]

OPA548 是低价格, 高电压/高电流放大器。作为激光修正的单片集成电路, 它提供了优异的低电平信号精度和高的电压与电流。

OPA548 既可在单电源又可在双电源下工作。在单电源下工作时, 输入共模电压范围可低于地电位。

OPA548 内部有过温度保护和过电流保护。另外, OPA548 设计为可提供一个精确的、用户可选择的电流限制。不象其他的设计需要一个与输出电流通路相串联的功率电阻, OPA548 间接检测负载。这就允许用一个 0 到 330 μ A 的控制信号来调节 0 到 5A 的输出电流限制。这可以很容易地通过一个电阻器/电位器来实现, 或者用电压输出或电流输出的 DAC 来实现数字控制。

使能/状态 (E/S) 引脚有两个功能。此引脚作为输入时 (接 V^-), 不但禁止输出级以有效地切断负载而且减小静态电流以节省功耗。此引脚作为输出时, 可以用来确定 OPA548 是否热关断, 热关断时此引脚电位为 $(V^-) + 0.35V$ 。

其外引脚如图 3-10 所示, 其典型接法如图 3-11 所示。

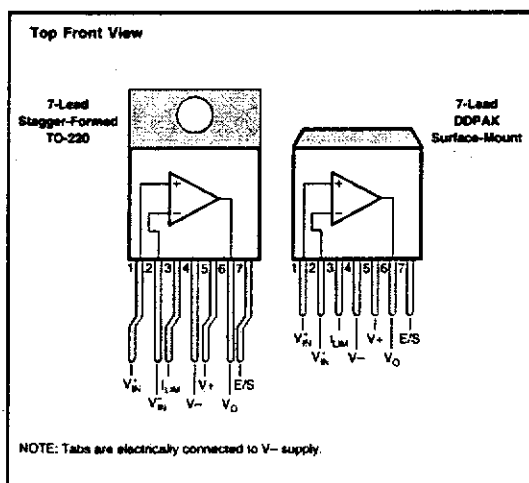


图 3-10 OPA548 外引脚图

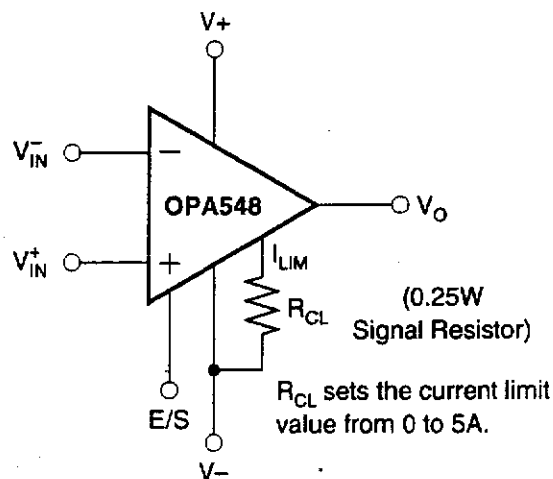


图 3-11 OPA548 典型接法图

在图 3-11 中, 限流电阻 R_{CL} 之值由下式决定:

$$R_{CL} = 15000 \times 4.75 / I_{LIM} - 13750 \quad (\Omega) \quad (3-1)$$

其中 I_{LIM} 为限流值, 单位为 A。

在伏-安特性测试系统中, N1 将来自 N4 的给定电压缓冲后去驱动待测电池;

N2 将流经电池的电流转换为电压信号, 送到 PCL-812PG 卡的模拟输入通道, 以获取流经待测电池的电流值。

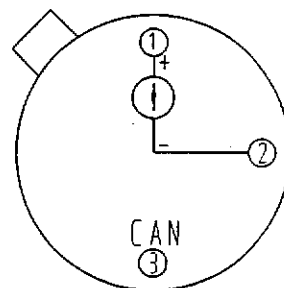
N1、N2 的限流值均取为 3A, 以满足电池测量之需。

四、AD590^[12]

AD590 是一种二端式的集成温度传感器, 其外引脚如图 3-12 所示。

其主要技术参数有:

- 1) 测温范围为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$
- 2) 工作电压为 $+4\text{V} \sim +30\text{V}$, 由于 AD590 是一种恒流源形式的温度传感器, 只需在其二端加上一定的工作电压, 则其输出电流随温度变化而变化, 其线性电流输出为 $1\mu\text{A/K}$, 即温度每变化 1°C , 其输出电流变化 $1\mu\text{A}$; 它以热力学温标零点作为零输出点, 因此在 25°C 时其输出电流为 $298.2\mu\text{A}$ 。
- 3) 精度: 经过激光平衡调整, AD590 的校准精度可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 全温区范围 ($-55^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$) 线性度可达 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (AD590M), 当其在 10°C 温区范围内校准后测量, 精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 在全温区范围内使用, 精度也可高达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。



T0-2 底视

图 3-12 AD590 外引脚图

由于 AD590 是一种电流型的温度传感器, 因此具有较强的抗干扰能力, 适用于计算机进行远距离温度测量和控制, 远距离信号传递时, 可以采用一般的双绞线来完成; 其电阻比较大, 因此不需要精密电源对其供电, 长导线上的压降一般不影响测量精度; 不需要温度补偿和专门的线性电路。由于 AD590 上述独特优点, 使其在温度测控领域中得到了广泛的应用。

在伏-安特性测试系统中, 两只 AD590 分别与采样电阻串联, 从而将温度值转换为电压信号后送到 PCL-812PG 卡的模拟输入通道, 以获取测试时的温度和湿度值。

五、MC1403^[12]

在进行 A/D、D/A 转换时, 为了保证输出精度, 常要用到高精度的电

压基准作为参考电压源。高精度电压基准集成电路具有输出精度高、温漂小、输出噪声小、动态内阻小等优点。

MC1403 是一种输出电压为 $2.5V \pm 0.025V$ 的高精度电压基准集成电路，其外引脚如图 3-13 所示，其典型接法如图 3-14 所示。

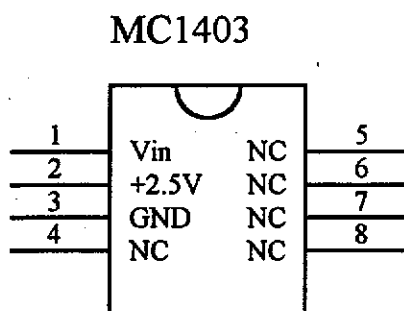


图 3-13 MC1403 外引脚图

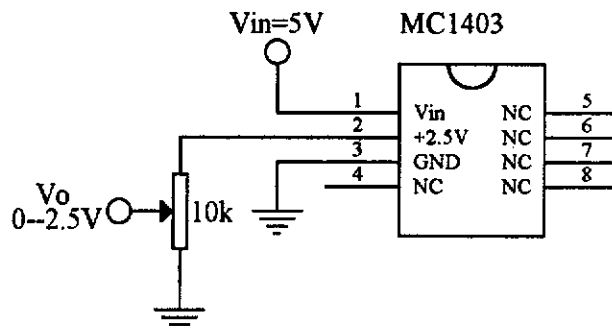


图 3-14 MC1403 典型接法

MC1403 的主要技术参数如下：

输出电压 V _o :	$2.5V \pm 0.025V$
输出电压温度系数 $(\Delta V_o/V_o)/\Delta T$:	$\leq 60\text{ppm}/^\circ\text{C}$
电压调整率 S _v :	$\leq 0.01\%$
电流调整率 $\Delta V_o/\Delta I_o$:	$\leq 1\Omega$

在伏-安特性测试系统中，MC1403 输出的基准电压送给 PCL-812PG 卡，作为 D/A 用的基准电压。

由于 MC1403 的输出电压较低，因此在给定电压较低时，D/A 可以获得较高的分辨率；在给定电压较高时，则可以增大 N4 的增益以得到较高的测试电压。

采用此方法，既获得了较高的分辨率，又满足了测试电压的要求。

第四章 太阳跟踪系统

4.1 太阳跟踪系统概述

太阳跟踪系统用以使待测电池与太阳光线保持垂直关系,以便待测电池能有效地接收太阳辐射能,使电池始终处于最佳工作状态。

太阳跟踪系统的方框图如图 4-1 所示,电原理图详见附录 E,印刷电路板图详见附录 F。

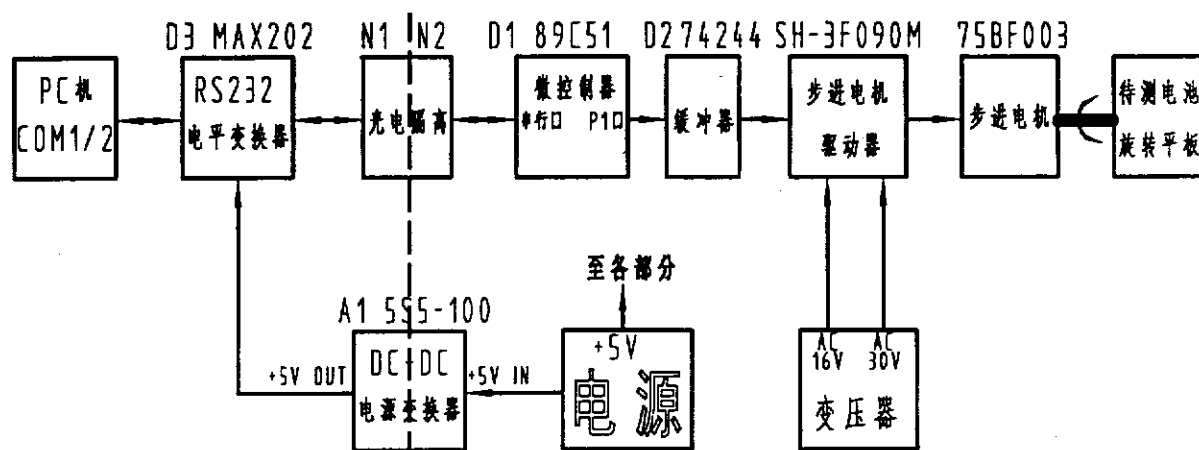


图 4-1 太阳跟踪系统方框图

上图中各部分功能如下:

一、微控制器 (D1) [13][14]

微控制器是太阳跟踪系统的核心,它在片内软件系统的控制下,完成以下功能:

- 1、等候 PC 机发出命令;
- 2、与 PC 机通讯,接收跟踪参数;
- 3、根据跟踪参数,计算相应的步进电机驱动参数,通过并行口传到步进电机驱动器,完成一次跟踪动作。

二、缓冲器 (D2)

由于微控制器的驱动能力有限 (8 个 LS TTL 负载),不能满足步进电机驱动器输入级的要求,故使用缓冲器来扩展微控制器的输出能力,缓冲器的输出送给步进电机驱动器。

三、步进电机驱动器^[15]

它将来自微控制器的脉冲信号转变为步进电机的驱动信号，其内部有相应的功率放大器、细分电路、保护电路等，其输出直接与步进电机相连接。

步进电机驱动器所需要的交流电压由一台单独的变压器提供。

四、步进电机^[16]

步进电机是太阳跟踪系统的执行元件，它接收来自步进电机驱动器的驱动信号，将此驱动信号转化为最终的角位移。

装有待测电池的旋转平板与步进电机同轴相连，因此步进电机的旋转角度即为跟踪角度。

五、直流-直流变换器 (A1)

用来给 RS232 电平变换器提供直流电源，从而将微控制器侧与 PC 机侧的地电位隔离，避免两边互相干扰，可有效地提高通讯的可靠性，提高系统的电磁兼容性能。

六、光电隔离器 (N1、N2)

使用光电耦合器件为串行通讯信号提供通路，可抑制噪声干扰，改善通讯可靠性。

七、RS232 电平变换器 (D3) ^{[17][18]}

用来将 TTL 电平转化为 RS232 电平，与 PC 机的串行通讯口 (COM1 或 COM2) 相连接，完成物理层的传输路径。

TTL 电平“1”对应的 RS232 电平为 -5V~-15V;

TTL 电平“0”对应的 RS232 电平为 +5V~+15V。

经过转换后的 TXD 脚与 PC 机串行通讯口的 RXD 相连; RXD 脚则与 PC 机串行通讯口的 TXD 相连，如图 4-2 所示:

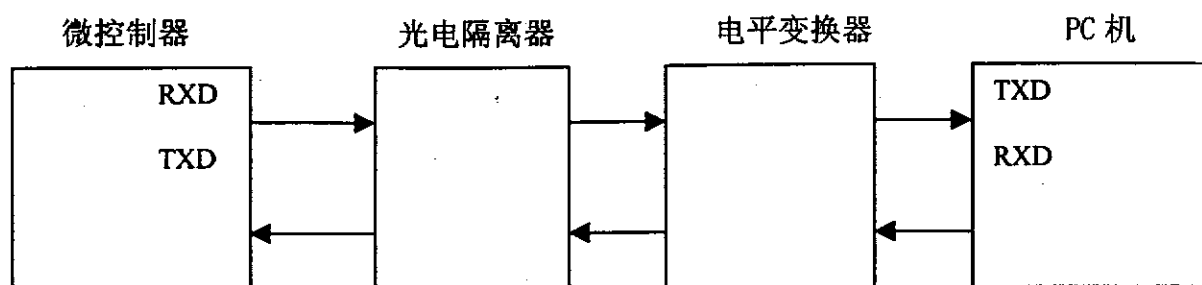


图 4-2 串行通信信号连接示意图

4.2 太阳跟踪系统电路设计

一、微控制器^{[13][14][18]}

微控制器选用 ATMEL 公司的 89C51，它具有以下特点：

1、内部含闪速存储器

89C51 片内含有 4096 字节的闪速存储器 (Flash Memory)，作为程序存储器使用，可擦写 1000 次而不损坏。因此在系统的开发过程中可以十分容易地进行程序的修改，这就大大缩短了系统的开发周期。同时，在系统运行过程中，能有效地保存一些数据，即使外界电源损坏也不影响到信息的保存。

2、和 80C51 引脚兼容

89C51 的引脚是和 80C51 一样的，所以，当用 89C51 取代 80C51 时，可以直接进行代换。

3、采用 8031 内核

89C51 以 8051 内核构成，它和 8051 系列微处理器是兼容的，指令系统完全相同。这对于以 8051 为基础的系统而言是十分容易进行取代和构造的。对于熟悉 8051 的用户来说，用 89C51 取代 8051 的系统设计是轻而易举的事。

4、静态时钟方式

89C51 采用静态时钟方式，可以节省电能，这对于降低便携式产品的功耗十分有用。

在太阳跟踪系统中，89C51 工作在单片模式，使用片内程序存储器，所有的 32 根口线皆可作为输入/输出口，这里使用了 89C51 的 P1 口作为与步进电机驱动器的接口，通过 P1 的两根口线输出步进电机驱动器所需的信号（步进脉冲 CP、方向电平 DIR），P0 口、P2 口备用，可作为数字量输入/输出之用。

使用串行口作为与 PC 机的通讯口, 串行口工作于标准异步通信方式 (方式 1), 通信格式为每帧 10 位, 其中包括一个起始位 (0), 8 个数据位 (低位在先), 一个停止位 (1), 格式如图 4-3 所示:

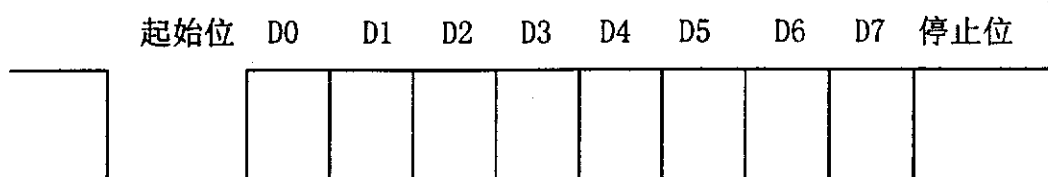


图 4-3 串行通信数据格式

二、 缓冲器

选用 74HC244 三态缓冲器/总线收发器, 其输出电流为 25mA, 满足了步进电机驱动器的需要 (15 mA)。

三、 步进电机驱动器^[15]

选用 SH-3F090M, 它适用于驱动三相反应式步进电机, 与 75BF003 步进电机相配套。

其输入端为光电隔离型, 可以避免其自身工作时对输入信号造成干扰, 输入电平与 TTL 相兼容, 电流为 15 mA。

其最大相电流为 5A, 电机相电流可用 DIP 开关在 1.5A 至 5.0A 之间以 1.5A 为步距任意设定。

内部有细分电路, 细分数可在不细分、5、10、20、40 之间任选。

步进电机驱动器所需要的交流电源为 16V 0.6A (驱动器内部控制电路使用), 30V 3A (步进电机使用)。

四、 步进电机^[16]

步进电机为 75BF003 型, 其主要技术数据为:

步距角:	1.5°
相数:	3
电压:	30V
电流:	4A
最大静转矩:	0.882Nm

与步进电机驱动器 SH-3F090M 相配合使用, 在 40 细分时步距角可小到 $1.5^\circ / 40 = 0.0375^\circ$, 可充分足够满足对跟踪精度的要求, 并可

以提高输出力矩，完全消除了电机的低频振荡现象。

五、 直流-直流变换器

使用 5S5 型，其输入电压为 5V，输出电压为 5V，输出电流为 100mA，转换效率 $> 85\%$ 。

六、 光电隔离器

由于对速度的要求不高，故选用 4N25 型通用光电耦合器。

七、 RS232 电平变换器^{[17][18]}

选用 MAX202 作为 RS232 电平变换器。

该芯片内部有一对开关式泵电源以产生 RS232 标准所需的电压，外部仅需单一电源，配接 4 只 100nF 的电容器即可完成 TTL 电平与 RS232 电平相互转换的工作。

第五章 软件系统

5.1 软件系统概述

一、软件系统的目的和意义

在硬件系统设计定型后,可以说软件系统就成了决定整个测试系统功能强弱的关键因素。软件系统必须与硬件系统协调配合,才能完成对电池的测试工作。软件系统决定了系统的人机界面、测试速度、测试精度、易用性等指标,同时,软件系统自身的可维护性、可扩充性、可移植性也必须予以足够的重视。

基于以上考虑,并结合测试系统对软件系统的需求,经过反复比较,确定了以 C 语言为软件系统的程序设计语言,这是因为 C 语言相对于其他语言,具有以下优点^{[19][20]}:

1. C 语言是中级语言

C 语言之所以被称为中级语言,是因为它把高级语言的成份同汇编语言的功能结合起来了。作为中级语言, C 允许对位、字节、字和地址这些计算机功能中的基本成份进行操作。C 语言程序非常容易移植。

2. C 语言是结构化语言

结构化语言比非结构化语言更易于程序设计,用结构化语言编写的程序的清晰性使得它们更易于维护。

3. C 语言是程序员的语言

C 语言实现了程序员的期望:很少限制、很少强求、块结构、独立的函数以及紧凑的关键字集合。用 C 语言编程,程序员可以获得高效的机器代码,其效率几乎接近于汇编语言代码,同时又具有良好的结构。可以用 C 语言代替汇编语言。

二、软件系统的组成

软件系统分为两个部分:PC 机部分^{[21][22][23]}和微控制器部分^{[24][25]}。

PC 机部分的软件系统为标准的 Windows 应用程序,作为一个可执行文件保存在 PC 机的硬盘上;微控制器部分的软件系统为 MCS-51 指令,固化在 89C51 的 4096 字节程序存储器(闪速存储器 Flash Memory)内。

PC 机为上位机,其软件系统具有人机接口、数据采集、数据分析计算、绘图、打印、串行通讯等功能,可独立运行;微控制器为下位机,其软件系统具有太阳跟踪、串行通讯等功能,仅在需要进行太阳跟踪时,

才接收跟踪参数，经计算后控制步进电机作出相应动作。二者通过串行通讯端口进行数据交换。

二者之间的关系如图 5-1 所示，PC 机源程序清单详见附录 G，微控制器源程序清单详见附录 H。

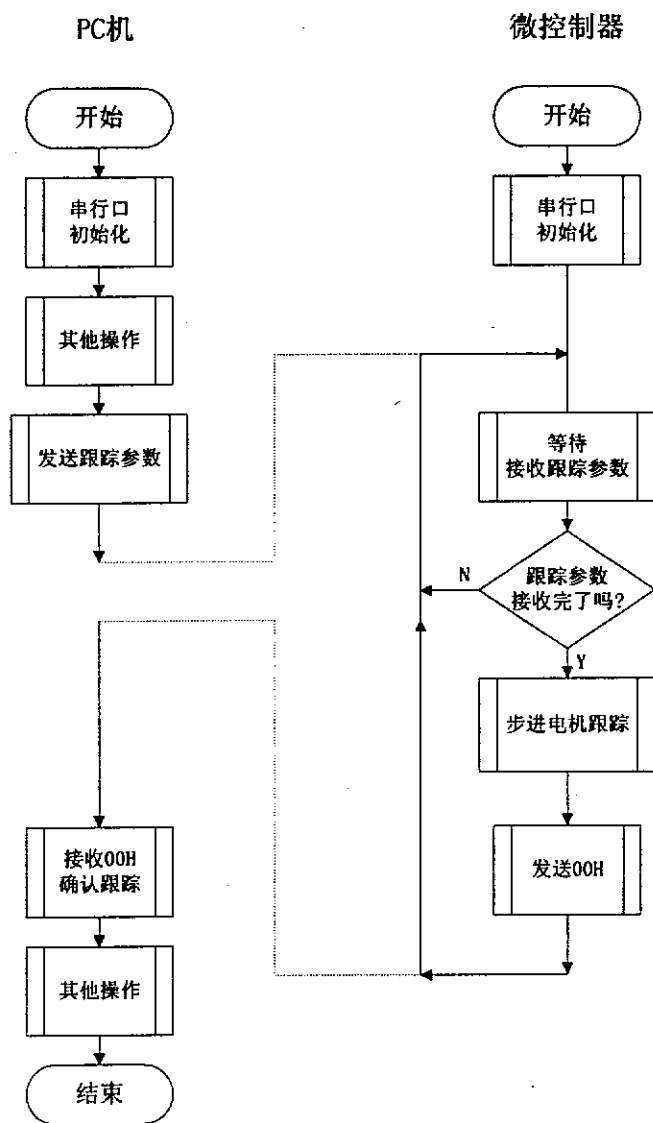


图 5-1 PC 机程序与微控制器程序的关系

三、PC 机与微控制器通信协议^[24]

PC 机与微控制器既可以作为发送者，也可以作为接收者。

现假定 A 机为发送者，B 机为接收者。当 A 机开始发送时，先送一个“AA”信号，B 机收到后回答一个“BB”，表示同意接收。当 A 机收到“BB”后，开始发送数据，然后再发送数据一次作为校验和。

B 机第一次接收数据并将其存储起来, 第二次接收校验和, 将二者比较。若二者相等, 说明接收正确, B 机回答 00H; 若二者不等, 则说明接收不正确, B 机回答 0FFH, 请求重发。

A 机收到 00H 的回答后, 结束发送。若收到的答复非零, 则将数据重发一次。

双方约定的传输波特率为 1200 波特。

程序流程图如图 5-2 所示。

相应的 PC 机发送函数为 `comsend()`, PC 机接收函数为 `comrcv()`, 微控制器发送函数为 `srlsend()`, 微控制器接收函数为 `srlrcv()`。其具体实现请参阅附录 G、附录 H 中的相关部分。

PC 机发送给微控制器的跟踪参数格式如下:

```
byte1: 跟踪单位低字节; 1 个跟踪单位 =  $0.0375^\circ$ 
byte2: 跟踪单位高字节;
byte3: 0;
byte4: 0;
byte5: 0;
byte6: 0;
byte7: 跟踪方向; 0: 顺时针; 1: 逆时针
byte8: 0;
byte9: 0;
byte10: 跟踪速度; 1 个单位 =  $4.5^\circ/\text{秒}$ 
byte11: 0;
byte12: 0;
```

微控制器在跟踪结束后发送给 PC 机的应答信号格式如下:

```
byte1: 0;
byte2: 0;
```

发送两个 0 表示跟踪正常结束, 其他情况为异常结束。

5.2 PC 机软件系统

一、Visual C++语言简介^{[21][22]}

Visual C++是 Microsoft 公司开发的一个开发环境, 既可以开发纯 32 位的 Windows 应用程序, 也可以开发 16 位的 DOS 应用程序。它完全可以取代 Windows 3.X 下的应用程序开发工具包 (SDK)。

Visual C++中含有 Microsoft 基本库 (MFC), 它可以作为 Windows

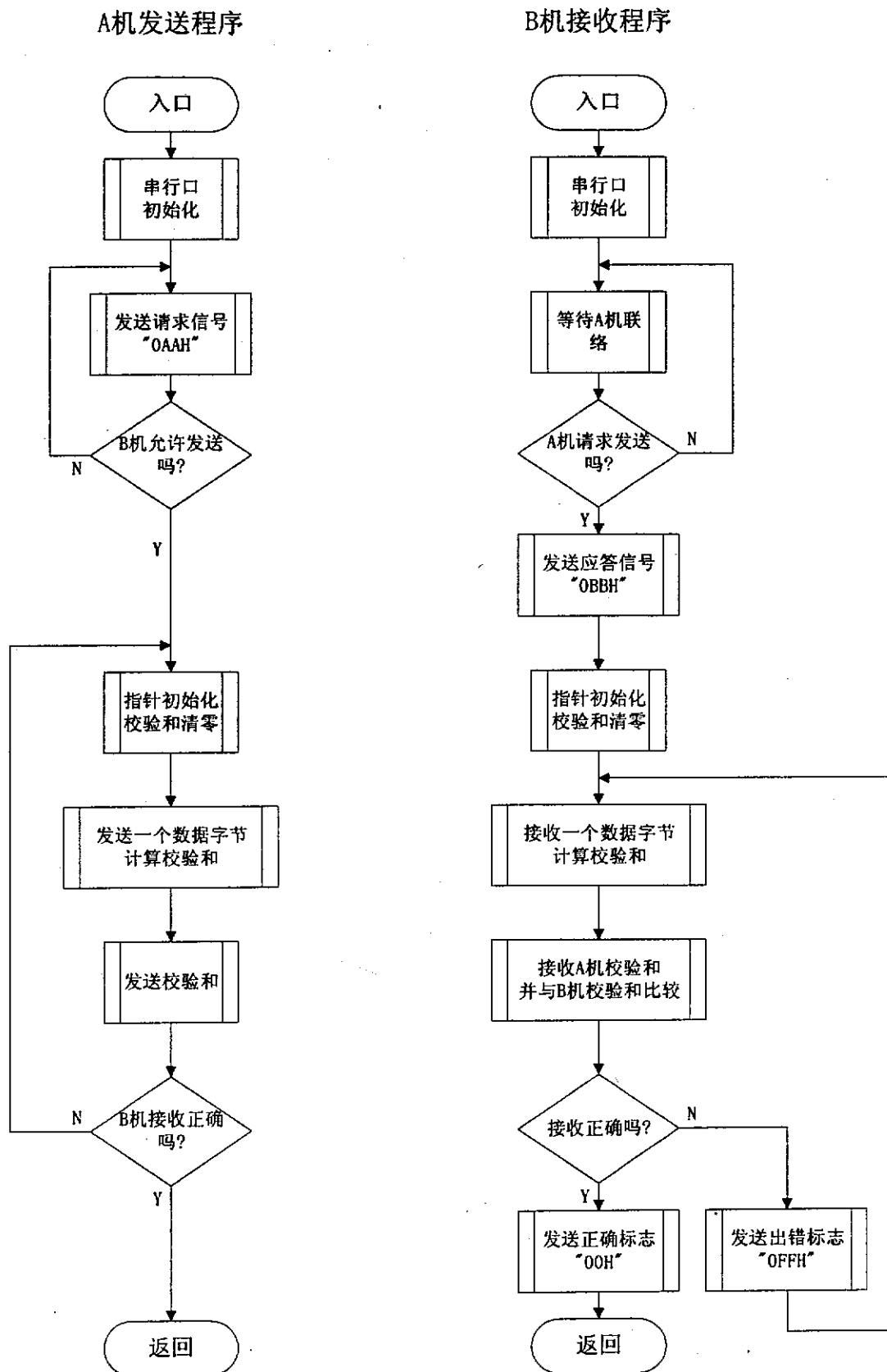


图 5-2 PC 机程序与微控制器通信程序流程图

的 C++ 语言编程接口来调用。

用 Visual C++ 开发应用程序的过程如图 5-3 所示。

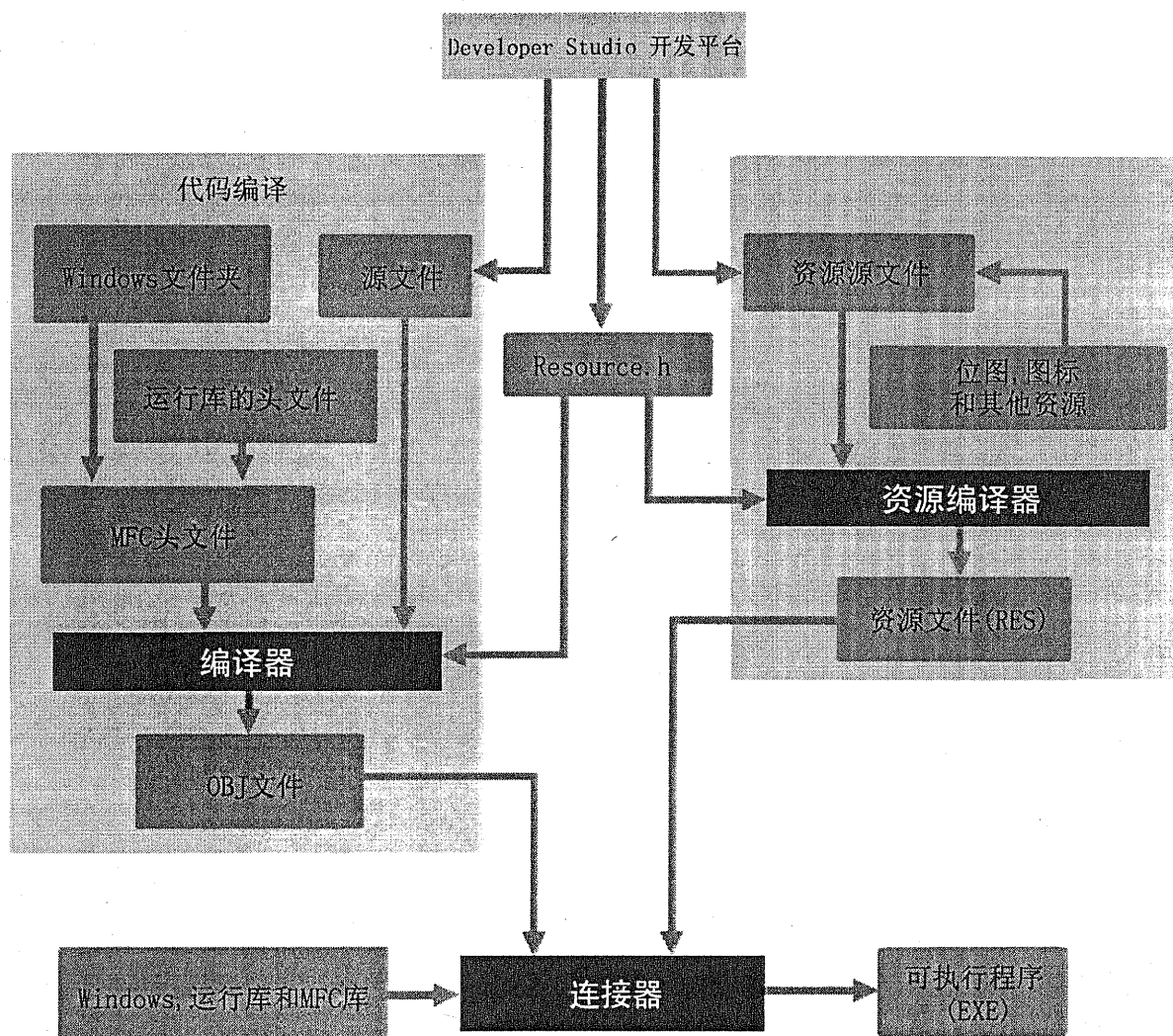


图 5-3 Visual C++ 应用程序的创建过程

Visual C++ 开发环境主要由以下部分组成：

1. Microsoft 开发工作室 (Developer Studio)

Developer Studio 是一个运行于 Windows 机器上的集成开发环境 (IDE)，它提供了一个程序开发环境，把各种工具集成在一个统一的界面下，可提高程序开发的效率，并管理一个项目相关的所有文件。

2. 资源编辑器

它是一个所见即所得的编辑器，可用于编辑 Windows 应用程序所需的菜单、对话框、工具栏图标等各种资源。

3. C/C++ 编译器

该编译器与所有的 ANSI 标准兼容，包括 C++ 库工作组的最新建议，

还增加了一些 Microsoft 扩充内容。

4. 资源编译器

Visual C++资源编译器从资源编辑器读取一个 ASCII 资源描述(RC)文件,并生成一个二进制 RES 文件提供给连接器。

5. 连接器

连接器读入由 C/C++编译器产生的 OBJ 文件和由资源编译器产生的 RES 文件,同时处理 MFC 的 LIB 库文件、运行时库代码及 Windows 代码,然后产生项目的 EXE 文件。

6. 调试器

Visual C++有一个内嵌的功能强大的调试器,可以中断被调试程序的执行,对变量和表达式进行检查和修改,在代码中设置断点并且对断点附加特定的条件。

7. 应用程序向导(AppWizard)

AppWizard 是一个代码生成器,它会按照用户通过对话框指定的特性、类名及源代码文件名来产生 Windows 应用程序的工作框架。用户可以在这个工作框架的基础上添加自己的程序模块。

8. 类向导(ClassWizard)

ClassWizard 能够给出原型、函数体以及将消息同应用程序框架相联系的相应代码。它极大地方便了 Visual C++类代码的编写工作。

二、PC 机软件设计

PC 机程序总流程图如图 5-4 所示。它主要由以下模块组成:

1. 初始化

该模块完成应用程序类的实例化,从而创建应用程序;设置主框架窗口的风格,创建主框架窗口,并显示之。对各个类实例进行初始化,设置各个变量、标志的初值。

2. 参数设置

参数设置模块用来接收用户输入的测试参数(电池批号、电池尺寸、最大测试电压、测试电流量程、采样点数、每点平均次数等)和环境参数(入射光强、温度、湿度),并将参数写入到参数文件中。

3. 入射光强测量

该模块用来测量总辐射表通道的电压,并根据总辐射表常数计算出入射光强,将入射光强值写入到参数文件中。

4. 温湿度测量