

# 浙江大学



## 本科实验报告

姓名：

---

学院： 生物医学工程与仪器科学学院

---

系： 生物医学工程系

---

专业： 生物医学工程

---

学号：

---

指导教师： 周泓

---

## 1、请查阅资料，举出仪器是科学研究的“先行官”的实例。

1609 年，伽利略将荷兰眼镜商的光学玩具改造成放大 20 倍的望远镜，首次将镜头对准星空。他观察到月球表面布满环形山（推翻亚里士多德“天体完美论”）、木星卫星系统（证明并非所有天体绕地球运行），以及金星盈亏现象（直接支持哥白尼日心说）。这些发现不仅颠覆了地心说体系，更开创了实证科学的先河。正如科学史家所言：“望远镜让天文学从哲学思辨变为实证研究，其意义不亚于文字的发明。”

1674 年，荷兰布商列文虎克耗时十年磨制出放大 275 倍的单透镜显微镜，首次观察到微生物世界。他在牙垢中发现“微小活泼的生物”（细菌），在雨水里记录原生动物的运动，甚至绘制出精子的形态。这些发现彻底改变了人类对生命的认知——疾病不再是“体液失衡”，而是微生物作祟；生命起源从“自然发生论”转向细胞学说。尽管他的显微镜结构简单（仅由透镜和金属架构成），但其观察精度直到 19 世纪才被超越。

2012 年，欧洲核子中心的 LHC 通过加速质子至 99.9999991% 光速对撞，捕获到希格斯玻色子的衰变信号。这一“上帝粒子”的发现耗时 46 年，依赖于 27 公里环形隧道内的超导磁铁、粒子探测器和每秒处理百亿次碰撞的计算集群。LHC 的探测器如 ATLAS 重达 7000 吨，能在  $10^{-22}$  秒内捕捉粒子轨迹，其精度相当于从月球表面分辨地球上的高尔夫球。该发现不仅完善了标准模型，更开启了暗物质探测的新窗口。

2016 年，激光干涉引力波天文台（LIGO）利用 4 公里长的激光干涉臂，探测到 13 亿光年外双黑洞合并产生的引力波。这一发现依赖于镜面精度达皮米级（ $10^{-12}$  米）的悬挂系统、真空度  $10^{-12}$  大气压的超净管道，以及排除地震、车辆震动等干扰的算法。LIGO 的成功使天文学从“光学观测”迈入“多信使时代”，2017 年双中子星合并事件的引力波与电磁信号联合观测，更验证了广义相对论在强引力场中的预言。

1860 年，基尔霍夫与本生发明分光镜，通过分析火焰光谱发现新元素铯（光谱中两条蓝线）。此后，光谱仪成为天体化学的核心工具：哈勃望远镜通过红移光谱证实宇宙膨胀，LAMOST 巡天获取千万条恒星光谱揭示银河系结构，而系外行星探测器（如 ESPRESSO）通过恒星光谱的多普勒频移，已发现数千颗系外行星。现代光谱仪的分辨率可达百万分之一，相当于从北京分辨上海的一根头发丝。

面对美国 KH-12 卫星 0.1 米分辨率的技术封锁，中科院长春光机所自主研发 4 米级光学加工设备。通过磁流变抛光、离子束修正等技术，解决了大口径反射镜加工的“面形精度”难题，使我国航天相机分辨率提升至亚米级。该设备支撑了“高分专项”“嫦娥探月”等工程，其光学加工精度达到  $\lambda/20$ （ $\lambda=632.8\text{nm}$ ），相当于在 10 层楼高的镜面上起伏不超过 30 纳米。

这些案例揭示：仪器不仅是科研的工具，更是科学革命的催化剂。从伽利略的镜片到 LIGO 的激光臂，从列文虎克的牙垢观察到长春光机所的航天相机，仪器技术的每一次飞跃都在重新定义人类

认知的边界。正如诺贝尔奖得主朱棣文所言：“当仪器达到新的精度，自然界的新规律就会自动浮现。”

## 2、结合生活实践举出身边的仪器实例，并简述其工作原理。

日常生活中常见的电子体温计便是典型的仪器系统实例。其核心由温度传感器、信号调理电路、微控制器（MCU）及显示模块组成：当探头接触人体时，内置的负温度系数（NTC）热敏电阻因温度变化而改变自身电阻值，将温度信号转换为电信号；该微弱电信号经运放电路放大并通过低通滤波器去除环境噪声后，输入 MCU 的模数转换（ADC）接口，转换为数字量；MCU 根据预先存储的热敏电阻温度 - 电阻特性曲线（通过出厂校准获得），将数字信号换算为实际温度值；最终结果通过 LCD 显示屏输出，完成从温度感知到数值显示的全流程。

智能手环的心率监测功能同样是仪器系统的典型应用。其工作依赖光学容积法（PPG）：手环背面的绿色 LED 灯持续发射光线，穿透皮肤组织后被血管中流动的血液吸收，未被吸收的光线由光电二极管接收并转换为电信号；由于心脏跳动时血管充血程度变化，光电二极管接收的光强会呈现周期性波动，该波动信号经放大、滤波（去除运动干扰等高频噪声）后，由 MCU 提取特征频率（通过傅里叶变换或时域差分算法），最终计算出每分钟心跳次数并显示在屏幕上。这一过程集成了光学发射 / 接收模块、生物信号检测

电路、数字信号处理算法及人机交互界面，完整体现了仪器系统“感知 - 信号处理 - 数据解算 - 输出”的设计逻辑。

### 3、简要分析数字示波器的硬件与软件协同工作原理。

数字示波器的硬件与软件协同工作本质是“信号采集-处理-呈现”的全链路闭环，其核心在于硬件完成物理信号的数字化转换，软件实现数据的智能解析与可视化，二者通过实时交互共同支撑示波器的测量功能。

#### (1) 硬件

硬件是示波器的“神经末梢”与“运算基底”，主要完成信号的接入、调理、采样及初步存储。

**前端调理模块：**输入信号经探头衰减 / 放大（如 10:1 衰减器降低高压信号）后，进入硬件前端的程控放大器与抗混叠滤波器。前者根据软件设置的垂直量程（如 1V/div）动态调整增益，确保信号幅度适配 ADC 输入范围；后者（通常为低通滤波器）滤除高于奈奎斯特频率（采样率 1/2）的噪声，防止混叠失真。

**ADC 采样模块：**经调理的模拟信号由模数转换器（ADC）以软件设定的采样率（如 1GSa/s）进行离散化，转换为 10bit 或 12bit 的数字序列。采样率、分辨率等参数由软件控制寄存器配置，硬件严格按指令执行。

**存储与触发模块：**采样数据暂存于硬件高速缓存（如 DDR 内存），触发电路（硬件实现）实时比较输入信号与软件设置的触发条件（如

上升沿、电压阈值),一旦满足则锁定当前数据,通过总线(如 PCIe)将有效数据传输至软件处理单元。

## (2) 软件

软件是示波器的“大脑”，负责硬件参数配置、数据深度处理及用户交互，其与硬件的协同贯穿全流程。

**参数配置与控制：**用户通过软件界面设置垂直量程、水平时基、触发类型（如边沿触发、脉宽触发）等参数，软件将指令转换为硬件可识别的寄存器值（如 0x1234），通过总线（如 SPI、I2C）写入硬件控制芯片（如 FPGA、CPLD），实现对前端调理、ADC 采样、触发电路的精准调控。

**数据处理与算法实现：**硬件采集的原始数据（如 8 位二进制码）经软件解算还原为电压值（ $1\text{LSB} = \text{量程} / 2^n$ ），并完成数字滤波（如均值滤波去噪）、FFT 频谱分析（需调用硬件 DSP 加速）、眼图绘制（统计万次采样的叠加）等高级功能。部分实时测量（如峰峰值、上升时间）由硬件 FPGA 预计算，软件仅需调用结果，确保时效性。

**可视化与交互：**软件将处理后的数据（如波形点坐标）渲染至显示屏，支持用户拖拽缩放、标记测量点；同时监测硬件状态（如 ADC 过压报警），通过弹窗或颜色变化反馈异常（如输入信号超出量程）。用户操作（如切换“存储”模式）会触发软件向硬件发送指令（如停止实时采样），形成闭环控制。



综上，硬件负责信号的高速采集（如 10GSa/s 采样率）与低延迟处理（触发判断仅需纳秒级），确保原始数据的准确性；软件通过算法（如插值重构、误差校正）弥补硬件缺陷（如 ADC 非线性误差），并提供灵活的功能扩展（如自定义数学通道）。例如，当用户选择“高分辨率模式”时，软件会指令硬件降低采样率（减少噪声），同时调用平均算法（软件实现）对多帧数据求平均，最终在保持带宽的前提下提升垂直分辨率。二者的协同使示波器既能应对 GHz 级高频信号的实时捕获，又能完成复杂协议（如 I2C、CAN）的解码分析，成为电子测量领域的“多面手”。

#### 4、简要描述数字万用表可视化的设计思想。

数字万用表的可视化设计思想以“信息高效传达与用户体验优化”为核心，旨在通过合理的界面布局、清晰的视觉呈现和人性化交互，将测量数据、功能状态及操作反馈直观传递给用户。

其设计兼顾专业性与易用性，在有限的显示空间内实现关键信息的优先级区分：

核心测量数值通常以大尺寸字体或高亮区域突出显示，配合单位符号（如 V、A、 $\Omega$ ）形成视觉焦点；

辅助信息（如量程、测量模式、电池电量、过载警告等）以图标或小型字符环绕分布，通过颜色编码（如红色警示过载、绿色表示正常）增强辨识度；

对于具备高级功能的型号，可视化还需支持多参数同屏显示（如电压值与波形示意图结合）或菜单层级的逻辑引导，确保用户通过按键操作时，显示屏能实时同步功能切换状态（如档位图标动态变化、量程自适应提示）。

此外，显示技术的选择（如 LCD 背光亮度调节、阳光直射环境下的反显模式）与交互逻辑的适配（如旋钮调节时的数值动态跳变预览）也是重要考量，最终目标是让用户无需频繁查阅说明书，即可通过视觉反馈快速理解设备状态并完成精准测量，实现“人机交互”与“数据呈现”的无缝融合。

## 5、简要列举数字万用表的功能指标与性能指标。

数字万用表的功能指标主要涵盖其可实现的测量项目与附加功能，包括**基础测量功能**如直流电压 / 电流、交流电压 / 电流、电阻的测量，扩展功能如电容、电感、二极管导通压降测试、通断蜂鸣检测、温度（需配热电偶探头）测量等，以及**实用辅助功能**如自动量程切换、数据保持（冻结当前读数）、最大值 / 最小值记录、相对值测量（清零参考值）、频率与占空比测量（针对交流信号）、电池电量显示、过载报警（声光提示）和部分高端型号具备的 PC 通信功能（通过 USB、蓝牙或红外传输数据）、谐波分析等。

性能指标则聚焦于测量能力与精度相关参数，例如测量精度（如直流电压精度  $\pm 0.05\% + 2\text{dgt}$ 、交流电压精度  $\pm 0.5\% + 5\text{dgt}$ ）、量程范围（如直流电压  $0.1\text{mV} \sim 1000\text{V}$ 、电阻  $0.1\Omega \sim 100\text{M}\Omega$ ）、分辨



率（由显示位数决定，如三位半为 1999、四位半为 19999）、采样速率（每秒完成测量的次数，影响实时性）、输入阻抗（电压档通常 $\geq 10\text{M}\Omega$  以减少负载效应）、频率响应（交流测量时的有效频率范围，如 20Hz~10kHz）、温度系数（精度随温度变化的漂移量，如  $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ）、过载保护能力（保险丝熔断或软件限制防止硬件损坏）以及电池续航时间（碱性电池或充电电池的持续工作时长）等，这些指标共同决定了万用表的适用场景与测量可靠性。

## 6、根据仪器系统的经济性原则，简述玩具汽车控制器的设计思路。

### （1）硬件选型

#### ①主控芯片选择

采用 8 位单片机（如 STC89C52）作为核心控制器，其成本仅为 1-2 元，远低于 16 位或 32 位芯片，且足以满足基础控制需求（如 PWM 调速、按键扫描）。若需简单通信功能，可集成内置 UART 或 SPI 接口的型号，避免额外通信模块成本。

#### ②传感器与执行器简化

红外避障：选用单价 0.19 元（千片级）的特加特二极管类红外传感器，通过反射式检测实现基础避障，替代成本更高的超声波或激光传感器。

电机驱动：采用 L298N 电机驱动模块（约 5 元），支持双电机控制，满足玩具车前进、后退、转向需求，无需复杂的伺服系统。

输入控制：使用 4-6 个轻触按键（单价 0.05 元）实现基础功能切换，或集成 2.4GHz 无线模块（约 10 元）实现遥控功能，避免定制遥控器的高成本。

### ③电源方案优化

电池选择：采用 4 节 AA 电池（成本约 5 元）供电，适配市场通用电池，降低用户更换成本。若需可充电设计，选用 3.7V 锂电池（约 8 元）并集成 TP4056 充电模块（1 元），兼顾续航与复用性。

低功耗设计：通过 MCU 休眠模式（如 STC89C52 的掉电模式）和电机停转时的电源切断，延长电池寿命，减少用户更换频率。

## （2）生产工艺规模化与标准化

### ①模块化设计

将控制器划分为电源模块、主控模块、驱动模块等独立单元，通过标准化接口（如排针）连接。模块化生产可降低组装复杂度，提升产线效率，减少人工成本。

### ②PCB 布局优化

双面 PCB：采用 FR4 基材双面 PCB（成本约 1 元 / 平方厘米），减少元件占位，降低布线难度。

SMT 工艺：使用表面贴装元件（如 0805 封装电阻电容），配合 SPI 焊膏检测和 AOI 自动光学检测，提升焊接良率至 99% 以上，减少人工补焊成本。

### ③外壳与结构设计

塑料注塑：采用 ABS 塑料（成本约 10 元 / 千克）注塑外壳，通过模具复用（开模成本约 5000 元）降低单壳成本至 0.5-1 元。

集成化结构：将按键、指示灯、电池仓集成于一体，减少零部件数量，降低组装时间。

### （3）轻量化与高效性软件设计

#### ①算法简化

PWM 调速：采用 8 位 PWM 输出（0-255 级）控制电机速度，通过查表法实现线性调速，避免复杂 PID 算法的资源占用。

红外避障逻辑：通过定时器中断（如 10ms 间隔）扫描红外传感器，当检测到障碍物时触发电机反转，代码量不足 200 行，降低开发成本。

#### ②代码优化

内存管理：使用紧凑数据类型（如 unsigned char 替代 int），将代码存储控制在 4KB 以内，适配低成本 MCU 的 Flash 容量。

异步处理：利用定时器中断实现多任务调度（如按键扫描、红外检测、电机控制），避免阻塞式编程，提升实时响应能力。

#### ③功能取舍

核心功能优先：聚焦前进、后退、转向等基础操作，剔除蓝牙连接、APP 控制等附加功能。若需扩展，可通过预留 I/O 口后期升级，避免初期成本增加。

低成本反馈：使用蜂鸣器（0.2 元）和 LED 灯（0.02 元）实现简单声光提示，替代 LCD 屏幕或语音模块。

## （4）供应链与成本控制

### ① 供应商管理

批量采购：与芯片代理商（如深圳华强北供应商）签订年度协议，8 位单片机采购价可压降至 0.8 元 / 片（万片级）。

替代方案：当某元件缺货时，设计兼容电路（如同时支持 L298N 和 L293D 驱动芯片），避免停产风险。

### ② 生产成本核算

物料成本：主控芯片（1 元）+ 驱动模块（5 元）+ 传感器（0.5 元）+ 电源模块（2 元）+ PCB（2 元）+ 外壳（1 元） $\approx$  11.5 元 / 套。

加工成本：SMT 贴片（0.01 元 / 点）+ 组装（0.5 元 / 套）+ 测试（0.3 元 / 套） $\approx$  1.3 元 / 套。

总成本：约 12.8 元 / 套，目标售价控制在 20-25 元，毛利率 36%-49%。

### ③ 测试与品控

自动化测试：开发基于 Arduino 的测试夹具，通过串口指令模拟按键和传感器输入，自动验证电机响应和功能逻辑，减少人工测试时间。

抽样检测：每批次抽取 5% 产品进行老化测试（如连续运行 24 小时），确保长期稳定性，降低售后返修率。

## （5）市场与用户需求适配

### ① 功能分层

基础款：仅支持按键控制，售价 20 元，面向 3-6 岁儿童。

进阶款：增加红外遥控功能，售价 35 元，面向 7-12 岁儿童。

高端款：集成声控或 APP 控制（通过蓝牙模块扩展），售价 50 元，吸引科技爱好者。

## ②用户体验优化

耐用性设计：电机轴采用金属材质（如不锈钢），齿轮箱使用 POM 塑料（耐磨且静音），提升产品寿命。

易维护性：外壳采用卡扣设计，无需工具即可拆卸，方便更换电池或维修。

## 7、拟设计一款家用电子水表，如何选择微处理器？

家用电子水表的微处理器选择需围绕低功耗、高精度、通信能力、可靠性四大核心需求展开。

家用电子水表的核心功能包括流量计量、数据存储、无线通信、阀门控制，同时需满足 10 年以上电池寿命、IP68 防水、抗电磁干扰等要求。微处理器需支撑以下特性：

超低功耗：待机电流需低于  $10\ \mu\text{A}$ ，工作电流控制在  $1\text{mA}$  以内。

多通信接口：支持 NB-IoT、LoRa、红外等通信协议。

集成外设：内置 ADC（流量传感器信号采集）、RTC（时间同步）、LCD 驱动（本地显示）。

安全加密：支持 AES、SM4 等算法防止数据篡改。

| 参数          | 华大 CIU32L041         | 国民技术 N32L436         | TI MSP430FR5969    | STM32L051          |
|-------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 内核          | Arm Cortex-M0+       | Arm Cortex-M4F       | 16 位 MSP430        | Arm Cortex-M0      |
| 主频          | 48MHz                | 108MHz               | 16MHz              | 32MHz              |
| 功耗          | 待机 10 $\mu$ A        | 待机 2 $\mu$ A         | 待机 0.5 $\mu$ A     | 待机 2 $\mu$ A       |
| 存储          | 128KB Flash/16KB RAM | 256KB Flash/32KB RAM | 128KB FRAM/8KB RAM | 64KB Flash/8KB RAM |
| 通信接口        | UART/LPUART/SPI /I2C | USART/SPI/I2C/ CAN   | UART/SPI/I2C       | UART/SPI/I2C       |
| 安全特性        | AES/SM4 硬件加密         | 硬件 ECC / 加密存储        | 硬件加密               | 硬件加密               |
| 成本<br>(千片级) | 约 2.5 元              | 约 3 元                | 约 4 元              | 约 3.5 元            |
| 典型应用        | 超声波水表                | 无磁计量水表               | 电池供电仪表             | 工业传感器              |

华大 CIU32L041：待机电流 10  $\mu$  A，支持 VBAT 备份电源（纽扣电池供电），适合需长期离线运行的场景。例如，配合 NB-IoT 每日上报一次数据，一节 8500mAh 电池可续航 8 年。

国民技术 N32L436：待机电流 2  $\mu$  A，集成无磁计量算法，抗 4000 高斯强磁干扰，适合水质复杂的环境。例如，其 LC 线圈计量方案可精确至 1L。



STM32L051：支持低功耗 UART（LPUART），可直接驱动 NB-IoT 模块（如 BC95-B8），波特率最高 9600bps，满足远程抄表需求。

TI MSP430FR5969：内置 FRAM 存储器，读写速度快（100ns），适合频繁存储数据的场景（如每小时存储一次用水量）。

对于国产 MCU vs 国际品牌，华大、国民技术等国产 MCU 价格比国际品牌低 30%-50%，且提供本土化技术支持。例如，华大 CIU32L041 集成 LCD 驱动，可省去外部显示芯片；而 TI、ST 的生态系统更完善，如 STM32CubeMX 可自动生成代码，降低开发难度。

## 8、简要描述家用型扫地机器人的初步设计方案。

家用型扫地机器人的初步设计方案需围绕**智能化、高效清洁、低成本**三大核心目标，通过硬件架构、传感器系统、软件算法的协同设计实现自主清扫功能。

### （1）硬件架构

①主控芯片：选用兆易创新 GD32F103VCT6（ARM Cortex-M3 内核，108MHz 主频），支持多任务处理和低功耗模式，满足传感器数据实时处理需求。该芯片集成 3 个 12 位 ADC 和 USB OTG 接口，可直接驱动激光雷达和通信模块。

②电机驱动：采用双直流无刷电机（3000rpm），配合 L298N 电机驱动模块实现差速转向，支持 PWM 调速（0-255 级）。边刷电机独立控制，可调节转速以适应不同地面材质（如地毯、瓷砖）。

③传感器：

| 传感器类型 | 功能描述                               | 选型参考            |
|-------|------------------------------------|-----------------|
| 激光雷达  | 构建二维地图，实现SLAM 导航(探测距离 8 米，精度 ±2cm) | 思岚科技 RPLIDAR A2 |
| 红外避障  | 检测前方障碍物（有效距离 0-30cm）               | HC-SR501        |
| 悬崖检测  | 防止跌落（5 组红外对管，检测高度差≥10cm）           | TCRT5000        |
| 碰撞传感器 | 机械触点式检测（触发力≤5N）                    | 微动开关            |
| 灰尘传感器 | 检测地面脏污程度（灵敏度 0.1mg/m³）             | GP2Y1010AU0F    |

④电源管理：采用 22.2V 锂电池组（5200mAh，松下电芯），支持快充（3 小时充满），配合 BQ24733 电源管理芯片实现过充 / 过放保护，续航时间约 120 分钟。

（2）软件系统

①导航与避障：

SLAM 算法：基于激光雷达数据，采用粒子滤波（PF-SLAM）构建地图，结合 A \* 算法规划最优路径，定位误差 $\leq 5\text{cm}$ 。

动态避障：实时融合红外和碰撞传感器数据，通过 PID 算法调整电机转速，实现 0.1 秒内响应障碍物。

## ②清扫策略：

弓字形清扫：覆盖效率达 95%，适合大面积清洁。

沿边清扫：针对墙角和家具边缘，边刷转速提升至 1500rpm。

重点清扫：灰尘传感器触发时，在脏污区域重复清扫 3 次。

## ③用户交互：

APP 控制：通过 Wi-Fi 模块（ESP8266）连接手机，支持远程启动、禁区设置、地图查看等功能。

语音提示：内置蜂鸣器和语音模块（ISD1820），播报电量、故障等信息。

## （3）机械结构

①外形尺寸：直径 35cm，高度 8cm，可进入大多数家具底部（如沙发、床）。

②材质选择：机身采用 ABS 塑料（成本约 10 元 /kg），耐磨且轻量化；边刷使用 TPU 材料（硬度 85A），减少毛发缠绕。

## ③清扫系统：

主刷：滚刷式设计（直径 6cm，长度 25cm），内置金属轴承，支持拆卸清理。

吸尘功率：1500Pa 真空度，配合 0.4L 集尘盒，满足 150 m<sup>2</sup> 家庭清洁需求。

运动底盘：双驱动轮（直径 8cm）+ 万向轮，爬坡能力 $\leq 15^\circ$ ，越障高度 $\leq 2\text{cm}$ 。

#### （4）成本控制与量产优化

①物料成本：主控芯片（3 元）+ 激光雷达（80 元）+ 电机驱动（5 元）+ 电池（50 元）+ 传感器（20 元）+ 其他（40 元） $\approx 200$  元 / 台。

②生产工艺：

模块化组装：将电路主板、电池仓、传感器模块独立封装，通过排针连接，产线效率提升 40%。

注塑模具：开模成本约 5 万元，单壳成本压降至 8 元（千片级采购）。

③测试方案：

功能测试：使用 Arduino 开发测试夹具，自动验证传感器响应和电机转向。

老化测试：连续运行 48 小时，确保稳定性，返修率控制在 1% 以内。

通过上述设计，扫地机器人可在保证基础功能的前提下，实现成本与性能的平衡，满足大众家庭对智能清洁的需求。

9、进一步查阅资料，理解 JTAG 和 ISP 在仪器系统程序下载和调试中的异同点。

JTAG（联合测试行动小组）与 ISP（在系统编程）是仪器系统程序下载与调试的两种核心技术，二者在功能定位、硬件依赖和应用场景上既有重叠又有显著差异。

JTAG 最初是为集成电路边界扫描测试设计的国际标准（IEEE 1149.1），其核心是通过 4 线接口（TDI/TDO/TCK/TMS）实现芯片内部信号的实时监控与控制。除了测试功能，JTAG 还支持程序下载与在线调试，例如通过专用调试器（如 TI XDS560v2）实现断点设置、单步执行和寄存器读写。

ISP 则是一种在系统编程技术，允许通过通用接口（如 SPI、UART）对芯片进行编程，无需拆卸器件。其核心功能是程序烧录，例如通过 USB 转串口工具将固件写入 MCU 的 Flash 存储器。部分 ISP 协议（如 IAP）还支持运行时固件更新，但调试能力较弱。

| 维度   | JTAG                              | ISP                               |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 接口类型 | 4 线（TDI/TDO/TCK/TMS）+ 可选复位线（TRST） | 2 线（SPI）、3 线（UART）或 4 线（I2C）      |
| 通信协议 | 专用 JTAG 协议(IEEE 1149.1)           | SPI、UART、I2C 等通用协议                |
| 硬件依赖 | 需专用调试器（如 ST-Link、J-Link）          | 可通过 USB 转串口、编程器（如 AVRISP mkII）    |
| 引脚占用 | 4-5 个引脚（含复位）                      | 2-4 个引脚（如 SPI 的 MOSI/MISO/SCK/CS） |

JTAG 的 4 线接口支持全双工通信,数据传输速率可达 MHz 级别,适合高速调试。例如, TI XDS560v2 调试探针通过 JTAG 实现系统级跟踪,捕获总线活动和内核状态。ISP 则依赖低速通用接口,例如 UART 的波特率通常不超过 115200bps,适合低成本烧录。

#### (1) 在程序下载上:

JTAG:

支持高速下载(如 10MB/s 以上),适用于大容量固件(如 FPGA 配置文件)。例如, Xilinx FPGA 通过 JTAG 接口实现 Bitstream 文件的快速加载。

支持加密烧录,例如 MAXQ 微控制器的 JTAG 启动加载程序通过硬件加密防止数据篡改。

ISP:

下载速度较慢(如 KB/s 级别),但支持批量烧录。例如, AVR 单片机通过 SPI 接口实现量产烧录,成本低至 0.5 元 / 片。

支持远程升级,例如通过 NB-IoT 模块实现固件 OTA (Over-The-Air) 更新。

#### (2) 在调试能力上:

JTAG:

提供实时调试功能,例如:

断点控制:在代码任意位置设置硬件断点,精确暂停程序执行。



寄存器 / 内存读写：直接修改 CPU 寄存器或访问片外 RAM，用于验证算法逻辑。

跟踪分析：捕获程序执行轨迹，分析性能瓶颈（如 TI XDS560v2 的系统跟踪功能）。

ISP：

调试功能有限，仅支持简单的烧录状态反馈（如校验失败提示）。若需调试，需结合仿真器或示波器。

（3）在应用场景上：

JTAG：

开发阶段：复杂系统（如 SoC、FPGA）的硬件调试与软件联调。

生产测试：通过边界扫描检测 PCB 互连故障（如短路、开路）。

ISP：

量产烧录：低成本 MCU（如 STC89C52）的批量编程，节省人工拆卸芯片的时间。

现场维护：智能家居设备通过 Wi-Fi 实现固件远程更新。

（4）在成本与复杂度上：

JTAG：

硬件成本高（如 J-Link 调试器约 200 元），但开发效率高。例如，STM32CubeIDE 通过 JTAG 实现代码一键下载与调试，缩短开发周期。

需预留专用引脚，可能增加 PCB 设计复杂度。

ISP：

硬件成本低（如 USB 转串口模块约 10 元），适合低成本项目。

例如，Arduino 通过 UART 接口实现 ISP 烧录，无需额外硬件。

软件实现复杂，需编写烧录协议（如自定义 SPI 通信）。

| 需求场景   | 推荐方案     | 理由                      |
|--------|----------|-------------------------|
| 开发阶段调试 | JTAG     | 支持实时监控与单步执行，加速问题定位      |
| 量产批量烧录 | ISP      | 低成本、高速度，支持并行烧录          |
| 远程固件升级 | ISP（IAP） | 无需物理连接，通过网络实现固件更新       |
| 复杂硬件测试 | JTAG     | 边界扫描检测 PCB 互连故障，确保硬件可靠性 |
| 低功耗设备  | ISP      | 无需专用调试器，节省功耗与成本         |

10、简要描述通用型数字万用表的测试方案。

通用型数字万用表的测试方案需围绕功能完整性、性能指标、安全性及环境适应性展开，结合行业标准与实际应用场景，通过分层测试与自动化工具实现高效验证。

（1）测试环境与设备配置

测试系统需构建高精度基准源与干扰模拟环境，确保被测仪表（DUT）的测量结果可溯源至国际标准。例如，使用福禄克 5100B 校准源（直流电压精度 ± 0.003%）作为基准，配合泰克 DP07054 示波器（带宽 500MHz）监测信号完整性。

测试夹具需支持多通道并行测试，例如通过 ATECLOUD 云平台实现 100 点 / 秒的数据采集与实时曲线绘制。

## (2) 核心测试项目与方法

### ①基础功能验证

直流电压（DCV）：

使用校准源输出 0.1V 至 1000V 的步进信号（步进间隔 10% 量程），验证显示值与标准值的误差是否在  $\pm(0.5\% \text{ 读数} + 3 \text{ 字})$  范围内。例如，输入 100V 时，DUT 显示应在 99.5V 至 100.5V 之间。

交流电压（ACV）：

模拟 50Hz/220V 市电信号，叠加 10% 谐波失真，测试 DUT 的真有效值（TRMS）测量误差 $\leq 1\%$ 。

电阻（ $\Omega$ ）：

测试 400 $\Omega$  至 40M $\Omega$  量程，重点验证低阻（如 0.1 $\Omega$ ）与高阻（如 10M $\Omega$ ）场景下的稳定性。例如，使用 10M $\Omega$  标准电阻时，读数波动应 $\leq 0.5\%$ 。

电流（A）：

串联精密分流器（如 0.1 $\Omega$ /10A），测试 400mA 至 10A 量程的线性度，误差需 $\leq \pm(1.5\% \text{ 读数} + 3 \text{ 字})$ 。

### ②性能指标测试

| 指标 | 测试方法 |
|----|------|
|----|------|

分辨率 在 400mV 量程下，验证最小可读值是否为 0.1mV（3.5 位显示）。

响应时间 切换量程后，测量稳定读数所需时间，要求 $\leq 500\text{ms}$ 。

输入阻抗 在 1000V 量程下，使用高阻电压表测量输入阻抗，应 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。

过载保护 输入 1200V 直流电压（超出量程 20%），验证保险管熔断或自动恢复功能。

### ③自动量程与抗干扰测试

自动量程：

输入 10V 至 1000V 的随机跳变信号，验证 DUT 是否在 20ms 内完成量程切换，且无 “OL” 误报。

抗干扰：

在射频电磁场(10V/m, 1GHz)环境下测量 100mV 直流电压，误差应 $\leq \pm 0.2\%$ 。

### ④环境适应性测试

温度影响：

在  $-10^{\circ}\text{C}$  至  $50^{\circ}\text{C}$  范围内，每隔  $10^{\circ}\text{C}$  测试基准电压（如 10V），验证温度系数 $\leq 0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 。

湿度与振动：

置于 85% RH 环境 24 小时后，测试绝缘电阻 $\geq 100\text{M}\Omega$ ；在 5Hz 至 500Hz 正弦振动（振幅 0.35mm）下，测量值波动 $\leq 0.5\%$ 。

## (3) 安全性与合规性测试

电气安全：

执行 1500V/1 分钟耐压测试（漏电流 $\leq 1\text{mA}$ ），并验证接地连续性电阻 $\leq 0.1\ \Omega$ 。

防爆认证：

若用于危险环境，需通过 ATEX 或 IECEx 认证，测试外壳防护等级（IP67）与本质安全电路设计。

#### （4）测试流程与工具链

自动化测试：

通过 ATECLOUD 平台编写测试工步，实现从设备连接、参数配置到报告生成的全流程自动化。例如，电阻持续测量可配置 100 次 / 秒的采样率，并自动生成时间 - 电阻曲线。

数据追溯：

所有测试数据需包含时间戳、环境参数（如温湿度）及 DUT 序列号，支持 CSV/Word 格式导出。

异常处理：

当误差超过阈值时，系统自动触发邮件报警，并记录故障波形供分析。

通过上述方案，可确保数字万用表在功能、性能、安全及环境适应性上满足 IEC 61010 等国际标准，同时通过自动化工具提升测试效率与数据可靠性。