

基于 AT89C52 单片机的指示仪表原位验准仪设计

邹明虎, 柳东方, 姚 鹏, 韩 杰

(中国人民解放军 32286 部队 80 分队, 辽宁 辽阳 111200)

摘要: 装备指示仪表是装备的关键部件, 指示仪表的准确与否对判定装备技术状态、及时预防故障发生和快速修复故障装备起着重要作用; 为解决某型装备指示仪表能在装备内仪表原位进行验准, 设计了指示仪表原位验准仪; 验准仪以 AT89C52 单片机为控制核心, 采用汇编语言编程、A/D 与 D/A 转换和数码管显示等技术, 实现了对装备电源电压检测和温度表、压力表、电流/电压表、转速表、失压表的自动验准; 介绍了 AT89C52 单片机、TCL1549 和 TCL5617 芯片; 给出了数码管显示电路、操作按键电路、电源检测电路、温度表验准电路、电流/电压表验准电路及其工作原理; 给出了主程序、功能选择程序、功能确认程序、温度表验准程序流程图和汇编语言主程序; 经实验数据分析和验证, 电源电压检测的最大相对误差为 $\pm 0.3\%$, 验准的最大相对误差为 $\pm 1.1\%$, 对不正常仪表的验准准确率为 100% , 经实际应用满足了使用和维修需求, 成效显著。

关键词: 单片机; 装备; 指示仪表; 原位; 自动验准

Design of in Situ Calibration Instrument for Indicating Instruments Based on AT89C52 Single Chip Microcomputer

ZOU Minghu, LIU Dongfang, YAO Peng, HAN Jie

(80 Sub Unit, 32286 Unit, PLA, Liaoyang 111200, China)

Abstract: Equipment indicating instruments are key components of the equipment, their accuracy plays an important role in judging technical status of equipment, avoiding faults in time and repairing faulty equipment quickly. In order to solve the problem that the indicating instrument of a certain type of equipment can be checked in situ inside the equipment, an in situ calibration instrument for indicating instruments is designed. The calibration instrument takes AT89C52 microcomputer as the control core, and uses the technologies of assembly language programming, A/D and D/A conversion and digital tube display to realize the equipment power voltage and automatic calibration tests of temperature, pressure, current/voltage, speed, pressure loss instruments. This paper introduces AT89C52 single chip microcomputer, TCL1549 and TCL5617 chips, describes the calibrating circuits and working principles of digital tube display, operation keys, power voltage, temperature, and current/voltage, provides the flow charts of the main program, function selection program, function confirmation program and temperature calibration program, as well as the assembly language main program. Through Experimental data analysis and verification, the results show that the testing maximum relative error of power voltage is $\pm 0.3\%$, the calibration maximum relative error is $\pm 1.1\%$ for normal instruments, the checking accuracy is 100% for abnormal instruments. After practical application, it meets the requirements of use and maintenance and has remarkable effects.

Keywords: single chip microcomputer; equipment; indicating instrument; in situ; automatic calibration

0 引言

装备指示仪表是装备的重要组成部分, 用于指示装备各系统、各组成单元的工作状态正常与否, 装备操作者可以在使用装备过程中通过不时观察指示仪表来判定装备的工作状态, 装备维修人员可以通过观察指示仪表

进一步分析故障原因, 准确判定故障部位, 快速修复装备。而在使用和维修中, 因仪表指示不正确, 造成装备进一步损坏, 或导致发生事故, 或使故障分析误入歧途走了弯路, 不能及时修复装备而严重影响维修效率的情况时有发生。为避免或减少此类事件, 有两种解决途

收稿日期:2025-01-14; 修回日期:2025-03-01。

作者简介:邹明虎(1966-),男,硕士研究生,高级工程师。

引用格式:邹明虎, 柳东方, 姚 鹏, 等. 基于 AT89C52 单片机的指示仪表原位验准仪设计[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(5):361-372.

径：一是提高指示仪表的可靠性。对于某种型号装备而言，一旦设计定型并选定了某型号仪表，这个型号仪表的可靠性完全取决于仪表生产厂家的生产质量，是装备操作者和维修部门不能把控的。二是通过验准仪器对指示仪表进行验准。在使用中使用验准仪器定期对仪表进行检验，对指示不正确或超出误差范围的仪表及时更换同型号仪表，以保证仪表处于正常工作状态；在维修中使用验准仪器判定仪表工作状态，从而根据仪表指示数据进一步分析装备故障原因，判定故障部位，以提高维修效率和维修质量。这种验准仪器应具有两种属性：一是原位验准性。为了能在野外作战、训练环境使用，提高环境的适应性，能利用装备提供电源，验准时不需从装备上拆下指示仪表，只需转接仪表连接电缆，在装备仪表原位上进行验准。二是便携性。考虑到装备内的使用空间狭小和携带方便，验准仪的体积要小、重量要轻。

从目前国内外装备现状看，装备对自身指示仪表不具有验准功能，当需判定指示仪表的准确性时，仍然依靠传统的方法，将指示仪表拆下，在修理工间使用通用检测仪器搭建检测环境或使用专用检测设备对某种型号指示仪表进行验准，这种验准方法，不具有原位验准性和便携性，且功能单一，程序复杂，操作步骤繁琐，验准效率低，不能快速准确完成验准。

本文为满足某型自行火炮仪表验准需求，设计研制了集装备电源电压检测，温度表、压力表、电流/电压表、转速表和失压表验准于一体的多功能指示仪表原位验准仪，该验准仪体积小、重量轻、携带方便，自动化程度高，适于野外作业现场和修理工间使用，解决了长期以来装备指示仪表不能原位验准的问题，对保持装备处于良好技术状态，提高维修的快速性和维修质量取得较好效果。

1 总体设计及功能

基于 AT89C52 单片机的指示仪表原位验准仪主要包括硬件和软件两部分。硬件部分从结构上主要包括 AT89C52 单片机验准电路板、数码管显示器板、操作按键、连接转接板；软件部分采用汇编语言编制，在后续软件程序设计中作介绍。验准仪总体结构如图 1 所示。

验准仪工作电源采用自行火炮输出的 +26 V 电源，以便在自行火炮上对指示仪表进行原位验准。验准仪具有检测自行火炮输出电源电压，对自行火炮温度表、压力表、电流/压表、转速表、失压表 6 个指示仪表进行准确性验准 7 项功能，功能的选择是通过选择键和确认键确定。连续按选择键，数码管显示器的功能位依次显示数字 1 至 7，分别代表电源电压检测、温度表验准、压力表验准、电流表验准、电压表验准、转速表验准、失压表验准 7 项功能。当功能位显示需要功能数字时，

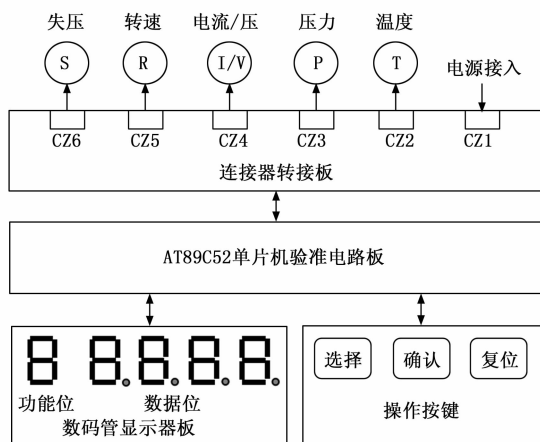


图 1 总体结构框架

按一下确认键，验准仪便自动检测自行火炮输出电源电压或对指示仪表进行自动验准，此时，数据位显示的是电源电压，或循环显示被验准仪表被验准的刻度数据，通过观察仪表的指示刻度与被验准的刻度数据是否一致来判断指示仪表的准确度或是否损坏。验准前不需拆下自行火炮的被验准仪表，只需将仪表通过专用电缆接于验准仪对应连接插座上即可。

功能 1—电源电压检测。将自行火炮的 +26 V 电源通过电源电缆接于验准仪的 CZ1 插座，接通电源开关，验准仪处于上电复位状态，连续按选择键，数码管显示器功能位显示 1 时按确认键，数据位则显示自行火炮输入的电源电压值。

功能 2—温度表验准。将自行火炮的温度表在原位通过专用电缆接于验准仪的 CZ2 插座。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 2 时按确认键，数据位则循环显示温度表被验准的刻度数据 0、20、40、60、80、100、120、100、80、60、40、20、0，每个数据显示 5 S，同时，验准仪把对应代表温度的信号通过转接板的 CZ2 插座和电缆传给温度表，温度表应指示出与数据的对应值。其中 120 为温度表的最高满刻度值 120 °C。

功能 3—压力表验准。将自行火炮的压力表在原位通过专用电缆接于验准仪的 CZ3 插座。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 3 时按确认键，数据位则循环显示压力表被验准的刻度数据 0、3、6、9、12、15、12、9、6、3、0，每个数据显示 5 S，同时，验准仪把对应代表压力的信号通过转接板的 CZ3 插座和电缆传给压力表，压力表应指示出与数据的对应值。其中 15 为压力表的最高满刻度值 15 kg/cm²。

功能 4—电流表验准。将自行火炮的电流表在原位通过专用电缆接于验准仪的 CZ4 插座。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 4 时按确认键，数据位则循环显示电流表被验准的刻度数据 0、50、100、150、200、

250、300、250、200、150、100、50、0，每个数据显示 5 S，同时，验准仪把对应的电流信号通过转接板的 CZ4 插座和电缆传给电流表，电流表应指示出与数据的对应值。其中 300 为电流表的最高满刻度值 300 A。

功能 5—电压表验准。电压表与电流表是复合表，只是读取的刻度不同。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 5 时按确认键，数据位则循环显示电压表被验准的刻度数据 0、5、10、15、20、15、10、5、0，每个数据显示 5 S，同时，验准仪把对应的电压信号通过转接板的 CZ4 插座和电缆传给电压表，电压表应指示出与数据的对应值。其中 20 为电压表的最高满刻度值 20 V。

功能 6—转速表验准。将自行火炮的转速表在原位通过专用电缆接于验准仪的 CZ5 插座。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 6 时按确认键，数据位则循环显示转速表被验准的刻度数据 0、500、1 000、1 500、2 000、1 500、1 000、500、0，每个数据显示 5 S，同时，验准仪把对应的转速信号通过转接板的 CZ5 插座和电缆传给转速表，转速表应指示出与数据的对应值。其中 2 000 为转速表的最高满刻度值 2 000 r/min。

功能 7—失压表验准。将自行火炮的失压表在原位通过专用电缆接于验准仪的 CZ6 插座。连续按选择键，数码管显示器功能位显示 7 时按确认键，数据位则无显示，同时，验准仪把对应的失压信号通过转接板的 CZ6 插座和电缆传给失压表，失压表应指示在失压状态。

2 硬件电路设计

硬件电路主要包括 AT89C52 单片机电路、数码管显示电路、操作按键电路、电源电压检测电路、温度表验准电路、压力表验准电路、电流表验准电路、电压表验准电路、转速表验准电路和失压表验准电路。这里以单片机电路、数码管显示电路、操作按键电路、电源检测电路、温度表验准电路、压力表验准电路、电流表验准电路和电压表验准电路为例做以介绍。

2.1 单片机电路

选用 AT89C52 单片机作为验准仪的控制中心，其内有 8KB 程序存储器，256 字节数据存储器，能够满足自行火炮验准仪的设计需求。其作用：一是控制采集自行火炮的电源电压值，并送数码管显示器；二是向数码管显示器送出被验准仪表刻度数据，同时控制对应的信号产生电路产生被验准仪表所需的验准信号。AT89C52 单片机共 40 个引脚，引脚功能见表 1，P1 口与 P3 口替代功能见表 2^[1-4]。

2.2 LED 数码管显示电路

数码管显示电路如图 2 所示^[5]，一是用来显示功能数字，二是显示自行火炮电源电压值，三是显示仪表的被验准刻度数据。

表 1 引脚功能表

引脚	功能
VCC	电源输入
GND	电源地
P0 口	8 位双向 I/O 口
P1 口	带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口
P2 口	带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口
P3 口	带内部上拉电阻的 8 位双向 I/O 口
RST	复位输入端，高电平有效
EA/VPP	外部程序存储器访问允许信号
ALE/PROG	输出正脉冲，可作外部定时脉冲使用
PSEN	外部程序存储器读选通信号，低电平有效
XTAL1	片内振荡器反相放大器和时钟发生线路的输入端
XTAL2	片内振荡器反相放大器的输出端

表 2 P1 口与 P3 口替代功能

引脚	替代功能	说明
P1.0	T2	定时器 2 的外部事件输入端；可编程脉冲输出端
P1.1	T2EX	定时器 2 的捕捉/重装触发器输入端；定时器 2 的计数方向控制端
P3.0	RXD	串行数据接收
P3.1	TXD	串行数据发送
P3.2	INT0	外部中断 0 申请
P3.3	INT1	外部中断 1 申请
P3.4	T0	定时器 0 外部事件计数输入
P3.5	T1	定时器 1 外部事件计数输入
P3.6	WR	外部 RAM 写选通
P3.7	RD	外部 RAM 读选通

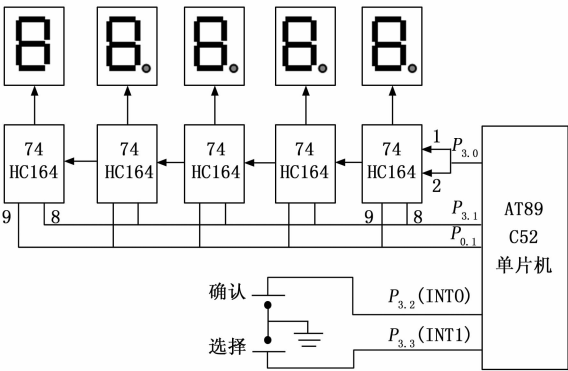


图 2 数码管显示电路与操作按键电路

数码管采用共阴 LED 数码管，共 5 位，分别接于 5 个 8 位移位寄存器 74HC164 输出端。5 个 8 位移位寄存器 74HC164 采用串行连接方式。单片机 P3.0 (RXD) 引脚接于 74HC164 的 1 脚和 2 脚；单片机 P3.1 (TXD) 引脚接于 5 个 74HC164 的 8 脚；单片机 P0.1 引脚作为 74HC164 的清 0 输入，接于 5 个 74HC164 的 9 脚。P3.0 (RXD) 引脚和 P3.1 (TXD) 引脚工作于串行通信方式，前者向 74HC164 发送数字字形码，后

者发送同步脉冲, 这样, 数码管显示电路在同步脉冲的作用下, 将功能位数字字形码、自行火炮输入的电源电压值数字字形码、被验准的刻度数据数字字形码, 通过 P3.0 (RXD) 引脚串行输出给 5 个 8 位移位寄存器 74HC164, 并显示在 5 位数码管上。

2.3 操作按键电路

操作按键电路如图 2 所示^[6-7], 用于对验准仪进行功能选择, 使其执行相应的检测程序, 完成相应验准功能。方法是利用单片机的两个外部中断请求输入端。当验准仪上电复位后, 单片机运行初始化程序, 使数码管显示电路显示“1———”, 然后, 每按一下“选择”键, 单片机响应一次 P3.3 (INT1) 引脚端对应的中断服务程序, 使功能位加 1, 依次显示“1———”、“2———”、…、“7———”, 显示“7———”时, 再按一次“选择”键, 中断服务程序使功能位又回到“1”, 重新从“1———”开始依次显示。

当功能位显示的数字是欲执行验准功能对应的数字时, 按一下“确认”键, 单片机则响应 P3.2 (INT0) 引脚端的中断申请, 运行对应的中断服务程序, 判定功能位的数值, 根据此数值, 转而运行对应的验准功能程序, 将被检测的自行火炮输入电源电压值送数码管显示电路的数据位, 完成电源电压的检测, 或将被验准的刻度数据送数码管显示电路的数据位, 显示被验准刻度数据, 相应的验准信号送被验准仪表, 按规定的验准刻度自动循环验证, 完成对被验准仪表的验准。

2.4 电源检测电路

验准仪能否对指示仪表准确验准, 自行火炮提供 +26 V 电源的稳定性是一个重要因素, 故首先对电源电压进行检测, 此时, 验准仪相当于一个数字电压表^[8], 电路如图 3 所示。

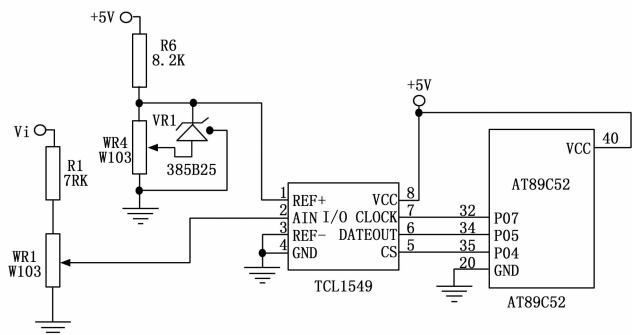


图 3 电源电压检测电路

图中 TLC1549 是一款由美国德州仪器公司生产的 10 位串行 A/D 转换芯片^[9], 对于采集单路量程为 40 V, 保留 1 位小数精度的电源电压, 它与其它 A/D 转换芯片相比, 具有连接与控制简单, 精度满足要求, 无空闲资源, 成本低廉等特点。如 ADS1115 是一款 16 位

4 通道模数转换芯片^[10-16], 接口与控制上, ADS1115 是按 I²C 总线进行通信, 而 TLC1549 是通过片选、时钟、数据三条线进行通信, 相对于 ADS1115 控制上相对简单; 精度上、资源与成本上, TLC1549 可以将量程 40 V 电压, 分成 1 024 份, 每份 39 mV, 完全满足精度要求, 而 ADS1115 是 16 位, 除存在精度不必要过高, 还空闲 3 个通道, 造成资源浪费和成本相对偏高。

TCL1549 芯片的 1 脚 (REF+) 和 3 脚 (REF-) 分别为正、负基准电压输入端; 2 脚 (ANALOG IN) 为模拟信号输入端; 4 脚 (GND) 为公共端, 通常接地; 6 脚 (DATA OUT) 为 A/D 转换结果三态输出端; 5 脚 (CS) 为片选端; 7 脚 (I/O CLOCK) 为时钟信号输入/输出端; 8 脚 (V_{CC}) 为电源端。

在 5 脚 (CS) 为高电平时, 6 脚 (DATA OUT) 处于高阻状态, 在 5 脚 (CS) 为低电平时, 6 脚 (DATA OUT) 由前一次转换结果的 MSB 值值成相应的逻辑电平; 5 脚 (CS) 由高电平到低电平变化将复位内部计数器, 并控制和使能 DATA OUT 和 I/O CLOCK, 5 脚 (CS) 由低电平到高电平变化将在一个设置时间内禁止 I/O CLOCK。如果将负基准电压输入端与公共端 (GND) 相连接, 则当 A/D 转换器模拟信号输入端的输入为 0 V 时, 它的数字信号输出端输出位 0000000000, 如果将正基准电压输入端与公共端 (GND) 相连接, 则当 A/D 转换器模拟信号输入端的输入为 0 V 时, 它的数字信号输出端输出位 1111111111。

TCL1549CP 工作时序如图 4 所示。

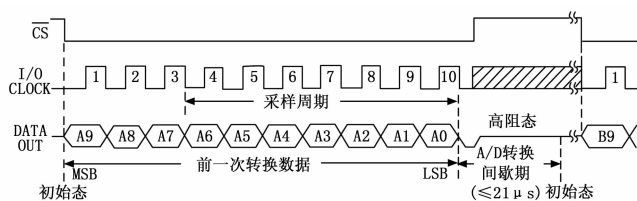


图 4 TCL1549CP 工作时序

TCL1549CP 在 CS 信号由高电平变低电平时开始转换和传送过程, I/O CLOCK 的 10 个上升沿将 10 个输入数据键入内部数据寄存器, 同时, 它将前一次转换的 10 位数据移出 DATA OUT 端, 在 I/O CLOCK 下降沿时数据变化。当 CS 为高电平时, I/O CLOCK 被禁止, DATA OUT 为高阻态。

在图 3 电源电压检测电路中, REF+ 引脚上由 TI385B25 提供一个较稳定的基准电压。TI385B25 是一款精密的稳压二极管, 具有较低的温度系数, 多用于数字电压表和运放调节电路中作为较高精度的 2.5 V 电压基准。正极引脚连接 10 K 电位器, 可以方便的微调该基准电压和温度系数。ANALOG IN 引脚通过 10 K 电位器和 75 K 分压电阻接自行火炮提供的 +26 V 电源。

由 AT89C52 的 P04 脚向 TCL1549CP 的 5 脚提供 CS 信号片选控制信号, P07 脚提供时钟信号, 由 AT89C52 的 P07 脚读取 TCL1549CP 的 5 脚在时钟控制下的 10 位输出数据。

单片机 AT89C52 读取 10 为数据后, 由软件程序将 10 为二进制数变换为十进制数, 保留 1 位小数, 将十进制数字形码和功能位“1”字形码一并送数码管显示电路进行显示。由于检测电路的量程设计为 40 V, 在调整检测电路时, 将稳压电源的输出端接于检测电路的模拟输入端 V_i , 输出电压调整为 40.0 V, 阻值由小至大调整电位器 WR1, 使数码管显示电路的数据位显示“40.0”, 也就是从 TCL1549CP 的 5 脚读取的数据为“1111111111”, 此时, 检测的量程已设定为 40 V。

2.5 温度表验准电路

在自行火炮中，温度表是通过温度传感器随着温度的变化，改变串接在温度表指示回路中的热敏电阻值来指示温度，热敏电阻采用正温度系数热敏电阻，当温度升高时，串接在温度表指示回路中的热敏电阻值随之增大，引起流过温度表的电流减小，从而指示出不同温度值。

根据这一原理,温度表验准电路如图 5 所示。温度表 1 脚接串联电位器,2 脚接 +24 V 电源,3 脚为接地端。温度表的最高量程为 120 °C,选定 0、20、40、60、80、100、120 °C 共 7 个刻度值为被验准刻度。调整 R51 电位器使 R51 为温度表指示 0 °C 时串入的电阻值,调整 R52 电位器使 R51+R52 为指示 20 °C 时串入的电阻值,调整 R53 电位器使 R51+R52+R53 为指示 40 °C 时串入的电阻值,这样依次类推,直至调整 R57 电位器使 R51+R52+R53+...+R57 为指示 120 °C 时串入的电阻值。

单片机开机上电复位后,经过初始化程序,将控制继电器 J1 至 J7 的引脚 P10、P12、P14、P27、P25、P23、P16 均置为高电平“1”,经缓冲驱动器 U1 (DM7404)、U2 (DM7404)、U3 (DM7404)后,使继电器负端处于高电平,线包不工作,各继电器触点均处于断开状态。按“选择”键,在数码管显示电路功能位为“2”时按“确认”键,单片机进入温度表验准程序,将“2 * * * 0”送入 5 位数码管显示电路进行显示,“*”代表显示位,同时,单片机将 P10 脚置为低电平“0”,经缓冲驱动器 U1 的 1 脚和 2 脚,使继电器 J1 负端为低电平,线包工作,触点处于吸合状态,电位器 R51 串入温度表指示回路,使温度表指针指示 0 刻度,此状态延迟 5 s,完成 0 刻度的验准。接着单片机将“2 * * 20”送入 5 位数码管显示电路进行显示,P10 脚置为高电平“1”,P12 脚置为低电平“0”,继电器 J1 负端为高电平,线包不工作,触点处于断开状态,P12 脚

低电平经缓冲驱动器 U1 的 3 脚和 4 脚, 使继电器 J2 负端为低电平, 线包工作, 触点处于吸合状态, 电位器 R51、R52 串入温度表指示回路, 使指针指示 20 刻度, 此状态又延迟 5 s, 完成 20 刻度的验准。同理, 按照 0、20、40、60、80、100、120、100、80、60、40、20、0 的顺序自动循环进行各刻度验准, 直至验准完毕, 通过“选择”键转入其他指示仪表的验准。

2.6 压力表验准电路

在自行火炮中,压力表是通过压力传感器随着压力的变化,改变串接在压力表指示回路中的压敏电阻值来指示压力,压敏电阻采用正压力系数压敏电阻,当压力增大时,串接在压力表指示回路中的压敏电阻值随之增大,引起流过压力表的电流减小,从而指示出不同压力值。

压力表也是 1 脚接串联电位器, 2 脚接 +24 V 电源。压力表的最高量程为 15 kg/cm^2 , 选定 0、3、6、9、12、 15 kg/cm^2 共 6 个刻度值为被验准刻度。

基于压力表指示电路的原理与温度表相同,故压力表验准电路与温度表验准电路相仿,不同之处只是压力表被验准刻度为6个,比温度表验准刻度7个少了1个,相应的验准电路比温度表少了1组继电器和电位器,按照0、3、6、9、12、15、12、9、6、3、0的顺序自动循环进行各刻度验准,其验准原理与温度表相同,此处不再赘述。

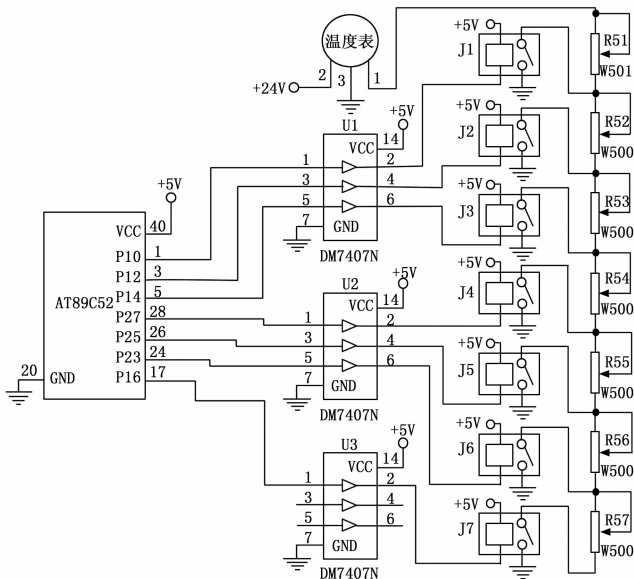


图 5 温度表验准电路

2.7 电流表与电压表验准电路

电流表与电压表校准电路如图 6 所示, 电路选用一个 TCL5617 可编程双路数模 (D/A) 转换器, 分别完成电流支路与电压支路的数模转换, 转换后的电压供校准电流表与电压表, 两者电路原理相同, 这里只介绍电

流表验准电路。

TCL5617 可编程双路 D/A 转换器，是带有缓冲基准输入的双路 10 位电压输出 D/A 转换器，共 8 个引脚，功能见表 3。

TLC5617 可通过 CMOS 兼容的 3 线串行总线实现单片机对其数字控制。器件接收用于编程的 16 位字的前 4 位产生数据的传送模式，中间 10 位产生模拟输出，最后 2 位为任意的 LSB 位。输出电压为基准电压的两倍，且单调变化。数字输入端带有施密特触发器，具有较高的噪声抑制能力。TLC5617 在 5 V 电源下工作，功耗极低（慢速方式 3 mW，快速方式 8 mW），并具有上电复位功能。

表 3 TLC5617 引脚功能

编号	引脚名称	I/O	功能
1	DIN	I	串行数据输入
2	SCLK	I	串行时钟输入
3	CS	I	芯片选择,低电平有效
4	OUTB	O	DACB 模拟输出
5	AGND	—	模拟地
6	REFIN	I	基准电压输入
7	OUTA	O	DACA 模拟输出
8	VDD	—	正电源

选用 TCL5617 芯片，主要出于精度、接口形式、体积、成本四点考虑。现 D/A 转换芯片精度为 10 位至 16 位，接口形式为 CMOS 兼容 3 线串行总线的很多，且电路中经 D/A 转换后还接有模拟放大器，故精度和接口均能满足要求。在精度和接口形式满足要求时，更侧重于考虑体积和成本。如 MCP4922 也是一种 12 位双路 D/A 转换器，但它为 14 引脚，相比 8 引脚的 TCL5617 体积稍大，且成本相对较高，故选用 TCL5617 芯片作为转换器。

TLC5617 工作时序如图 7 所示，原理框图如图 8 所示。

当片选信号为低电平时，输入数据在时钟控制下，以最高有效位在前的方式读入 16 位移位寄存器，在 SCLK 的下降沿把数据移入寄存器 A、B，然后当片选信号上升沿到来时，再把数据送至 10 位 D/A 转换器，开始 D/A 转换。16 位数据的前 4 位（D15~D12）为可编程控制位，其功能见表 4，中间 10 位（D11~D2）为数据位，用于模拟数据输出，最后 2 位（D1~D0）为任意填充位。

表 4 可编程控制位 D15~D12 功能

编程位				器件功能
D15	D14	D13	D12	
1	×	×	×	串行接口寄存器的数据写入锁存器 A,并用双缓冲锁存器锁存数据更新锁存器 B
0	×	×	0	写锁存器 B 和双缓冲锁存器
0	×	×	1	仅写双冲锁存器
×	1	×	×	12.5 μ s 建立时间
×	0	×	×	2.5 μ s 建立时间
×	×	0	×	上电(powered_up)操作
×	×	1	×	断电(powered_up)方式

从表 4 可知，TLC5617 有以下 3 种工作方式^[17]：

方式 1（D15=1，D12=×）：串行接口寄存器的数据写入锁存器 A，双缓冲锁存器的数据写入锁存器 B，而双缓冲器的内容不受影响，这种方式允许两个 DAC 通道同时输出。

方式 2（D15=0，D12=0）：将串行接口寄存器的数据写入锁存器 B 和双缓冲锁存器，锁存器 A 不受影响。

方式 3（D15=0，D12=1）：将串行接口寄存器的数据写入双缓冲锁存器，锁存器 A 和 B 的内容不受影响。

采用方式 1 与方式 2 分别用 A 路和 B 路进行电压表验准与电流表验准。

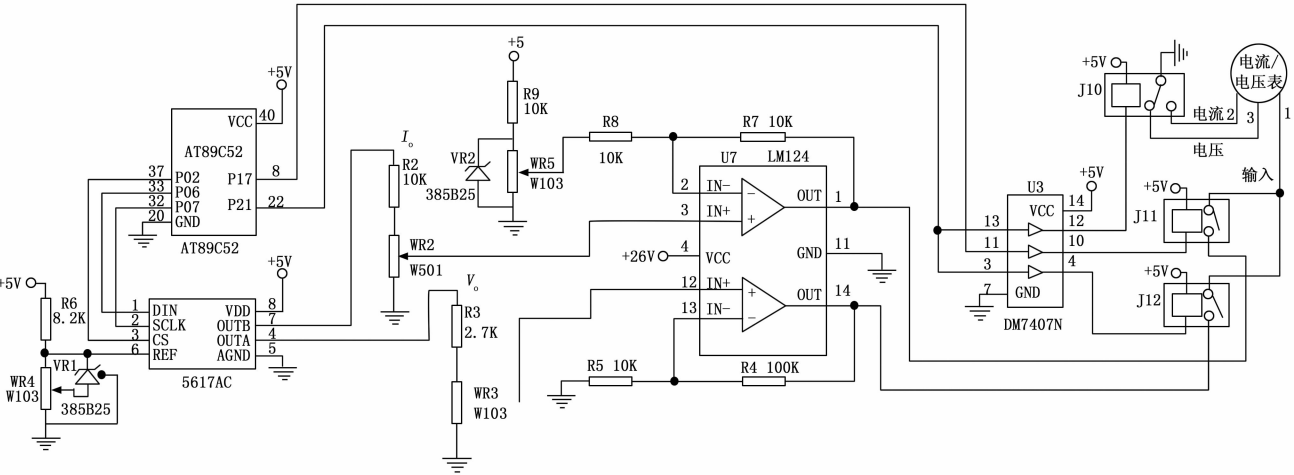


图 6 电流表与电压表验准电路

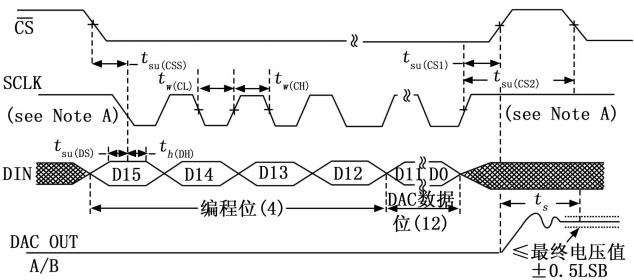


图 7 TLC5617 工作时序

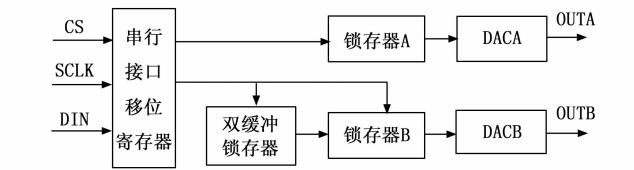


图 8 TLC5617 原理框图

电流表验准电路的工作过程如下:

电路中, TLC5617 的 6 脚 (REF) 由 TI385B25 提供一个较稳定的高精度 2.5 V 电压基准。集成运放芯片 (LM124) 中的集成运放由 1 脚和 2 脚通过 R7、R8、电位器 WR5 和稳压二极管 TI385B25 组成一个电压负反馈放大器, 电位器 WR5 和 TI385B25 为放大器提供一个较稳定的基准电压。

单片机将 P21 引脚置高电平, P17 引脚置低电平。P21 引脚高电平经缓冲驱动器 U3 的 13 脚和 12 脚, 使继电器 J10 负端为高电平, 线包不工作, 触点处于自然吸合状态, 电流/电压表中电流表的负极通过继电器 J10 触点接于地; P17 引脚低电平经缓冲驱动器 U3 的 11 脚和 10 脚, 使继电器 J11 负端为低电平, 线包工作, 触点动作, 处于吸合状态, 电流/电压表中电流表的正极通过继电器 J11 触点接于电流验准支路集成运算放大器输出端 (LM124 的 1 脚), 使电流表构成回路。至此, 电流表接入验准电路。

电流表的最高量程为 300 A, 选定 0、50、100、150、200、250、300 A 共 7 个主要刻度为被验准刻度。调整电位器 WR2 和 WR5, 使 TLC5617 的 1 脚 (DIN) 输入的 DAC 数据为满度 1111111111 时, 运算放大器 LM124 的输出端 1 脚为验准最高量程 300 A 刻度时的电压值, 即电流表指针指示为满刻度时的电压值; 1 脚输入的 DAC 数据为 0000000000 时, 运算放大器 LM124 的输出端 1 脚为验准 0 A 刻度时的电压值, 即电流表指针指示为 0 A 刻度时的电压值。在此基础上, 通过计算和调整 TLC5617 的 1 脚 (DIN) 输入的 DAC 数据, 使运算放大器 LM124 的输出端 1 脚分别为验准 50、100、150、200、250、300 A 刻度时的电压值, 相应的 DAC 数据即确定为验证 50、100、150、200、250

A 刻度时的 DAC 数据。

按“选择”键, 在数码管显示电路功能位为“4”时按“确认”键, 单片机进入电流表验准程序, 将“4 * * * 0”送入 5 位数码管显示电路进行显示, “*”代表显示位; 将 P21 脚置高电平, P17 脚置低电平, 使电流表接入验准电路。

单片机按照 TLC5617 工作时序, 使 TLC5617 在 3 脚输入的 CS 片选信号和 2 脚输入的 SCLK 时钟信号控制下, 将 1 脚输入的 16 位数据 0000 0000 0000 0000 转换为模拟电压, 从 7 脚 (OUTB) 输出, 其中前 4 位为可编程位, 选择工作于方式 2, 中间 10 位为 DAC 数据位, 转换为模拟电压输出, 后 2 位为任意填充位 (不关心)。7 脚 (OUTB) 输出的模拟电压经运算放大器 LM124 后, 从 1 脚输出验准 0 A 刻度时的电压值, 经继电器 J11 触点加至电流表输入端, 使电流表指针指示 0 A 刻度, 此状态延迟 5 s, 完成 0 A 刻度的验准。接着, 单片机将“4 * * 20”送入 5 位数码管显示电路进行显示, 将 20 A 对应的 16 位数据从 TLC5617 的 1 脚输入, 从 7 脚 (OUTB) 输出的模拟电压经运算放大器 LM124 放大后, 从 1 脚输出验准 20 A 刻度的电压值, 经继电器 J11 触点加至电流表输入端, 使电流表指针指示 20 A 刻度, 此状态延迟 5 s, 完成 20 A 刻度的验准。同理, 按照 0、50、100、150、200、250、300、250、200、150、100、50、0 A 的顺序自动循环进行各刻度验准, 直至验准完毕, 通过“选择”键转入其他指示仪表的验准。

3 软件程序设计

验准仪软件采用汇编语言编制, 包括主程序, 功能选择程序, 功能确认程序, 电源电压检测程序, 温度表验准程序, 压力表验准程序, 电流表验准程序, 电压表验证程序, 转速表验准程序, 失压表验准程序, 共 10 个程序。除主程序外, 功能选择程序是单片机通过响应 INT1 端的中断请求, 执行相应的功能选择程序; 其余 8 个均是通过响应 INT0 端的中断请求, 执行相应的确认、检测或验准程序。这里只介绍主程序、功能选择程序、功能确认程序和温度表验准程序, 其中, 功能选择程序、功能确认程序和温度表验准程序只给出流程图。

3.1 主程序

验准仪主程序流程如图 9 所示^[18]。主要是对单片机和验准仪电路初始化设置, 包括将串口 RXD 选为工作方式 0, 数码管点亮控制位设置为点亮, 设置查表始址等, 初始化后, 将“1——”字形码通过串行数据口 RXD 送 5 位数码管进行显示, 设置中断优先级和开中断, 然后, 程序原地踏步, 等待“选择”键或“确认”键输入的中断请求, 以便执行相应的选择、确认、

检测或验准程序，主程序如下：

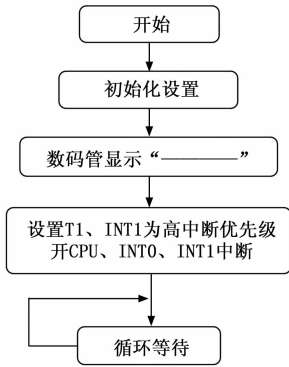


图 9 验准仪主程序流程图

```

ORG 0080H
START: MOV P1, 0FCH ;温度表控制位初值初始
化为 0
MOV SCON, 00H ;串口初始化工作为方式 0
SETB P0.1 ;5 位数码管点亮控制位置高电平
MOV DPTR, 0050H ;数字字形码表始址送指针
寄存器

MOV R3, 00H ;表变址寄存器清 0
INC R3 ;表变址加 1
MOV R2, 05H ;设置数码管个数为 5
MOV A, R3 ;表变址送 A
MOVC A, @A+DPTR ;“1”字形码送 A
LOOP: MOV SBUF, A ;串行输出“1”字形码
JNB TI, ;一帧输出完?
CLR TI ;已完,清中断标志
DJNZ R2, NEXT ;若未传送完 5 位数字,
则 NEXT

MOV SP, 70H ;设置栈底地址为 70H
SETB PT1 ;设置定时器 T1 为高中断优
先级

SETB PX1 ;设置 INT1 为高中断优先级
SETB EA ;开 CPU 中断
SETB EX0 ;开 INT0 中断
SETB EX1 ;开 INT1 中断
SJMP ;循环等待

NEXT: MOV A, 02H ;“—”字形码送 A
SJMP LOOP ;转移输出显示“—”字形码
  
```

3.2 功能选择程序

功能选择程序流程如图 10 所示，按一下“选择”键后，单片机运行一次功能选择程序，将 5 位数码管功能位的数字加 1，然后返回主程序踏步等待。当数字为 7 时，再按一下“选择”键，功能位的数字又返回 1，重新开始加 1。

程序中，延迟 10 ms 是消除按键时产生抖动引起的反复执行功能选择程序，延迟 2.5 ms 是消除松开键时

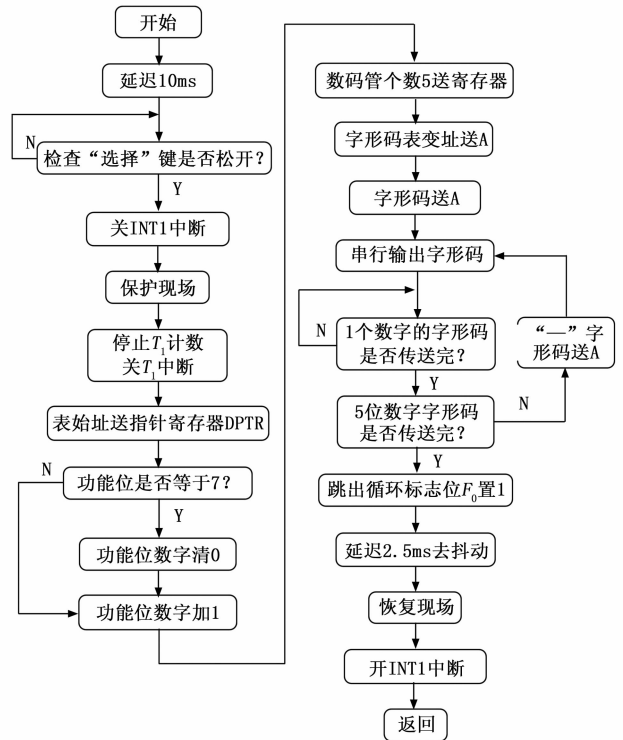


图 10 功能选择程序流程图

产生抖动引起的反复执行功能选择程序；跳出循环标志位 F0 是循环验准仪表刻度时，为跳出循环而设置的标志位。确认“选择”键按下后，关 INT1 中断和保护现场，将累加器 A、串行口控制寄存器 SCON 和数据指针寄存器 DPTR 中的数据保存起来，待功能位加 1 后的 5 位数字送数码管后，恢复现场数据用，现场数据恢复后，开 INT1 中断，返回主程序原地踏步等待。

3.3 功能确认程序

功能确认程序流程如图 11 所示。当 5 位数码管功能位显示的数字是要被验准仪表对应的验准功能数字时，按一下“确认”键，单片机响应 INT0 中断请求，运行功能确认程序，通过判定功能位数字是 1 至 7 中哪个数字，转而执行相应的检测或验准程序，程序相对简单，这里不再赘述。

3.4 温度表验准程序

温度表验准程序流程如图 12 所示，图中“*”代表不显示空位。进入程序后，单片机先对 P0、P1 和 P2 端口进行初始化，接着将“2 * * * * 0”数据送 5 位数码管进行显示，然后，将 0℃ 控制数据送 P1 口，控制 J1 继电器动作，给温度表提供 0℃ 的验准电压，验准时间为 5 s 钟，到 5 s 钟后，检查跳出循环标志位 F0 是否为 0，若不为 0，则有“选择”键按下，执行跳出循环程序，将功能位加 1 后，将“3———”送数码管显示，并返回主程序踏步等待，若为 0，则将“2 * * * 20”数据送 5 位数码管进行显示，然后，将 20℃ 控

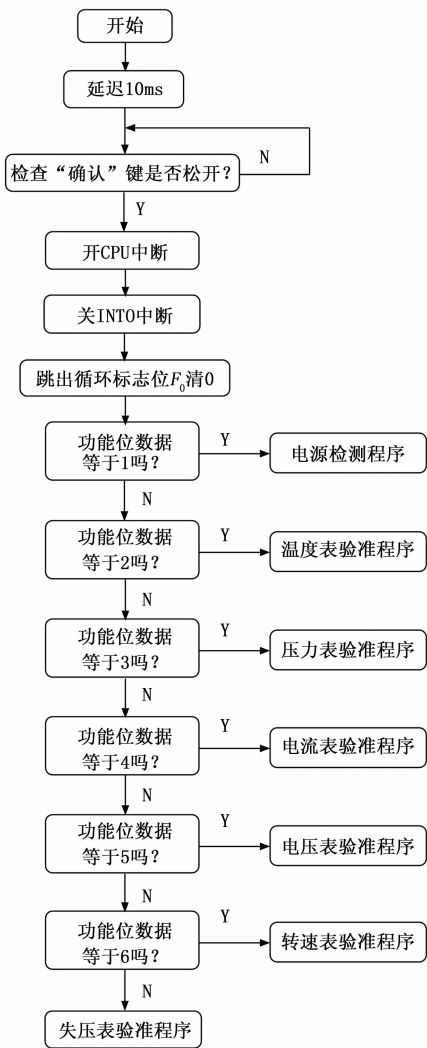


图 11 功能确认程序流程图

制数据送 P1 口，控制 J2 继电器动作，给温度表提供 20℃ 的验准电压，同理，验准时间为 5 s 钟，到 5 s 钟后，检查跳出循环标志位 F0 是否为 0，若不为 0，则有“选择”键按下，执行跳出循环程序，将功能位加 1 后，将“3——”送数码管显示，并返回主程序踏步等待，依次类推，按照 0、20、40、60、80、100、120、100、80、60、40、20、0℃ 的顺序自动循环，通过给 P1 口和 P2 口送不同的数据，控制继电器提供不同的验准电压，进行各刻度验准，直至有“选择”键按下，转入执行其他指示仪表的验准程序。

4 实验结果与分析

验准仪实际应用前对电源电压检测及仪表验准功能均进行了实验，其实验方法、实验数据、实验数据分析及实验结论如下^[19-20]。

4.1 实验方法及实验数据

4.1.1 电源电压检测功能实验

将稳压电源接于验准仪的电源输入端 CZ1，用数字

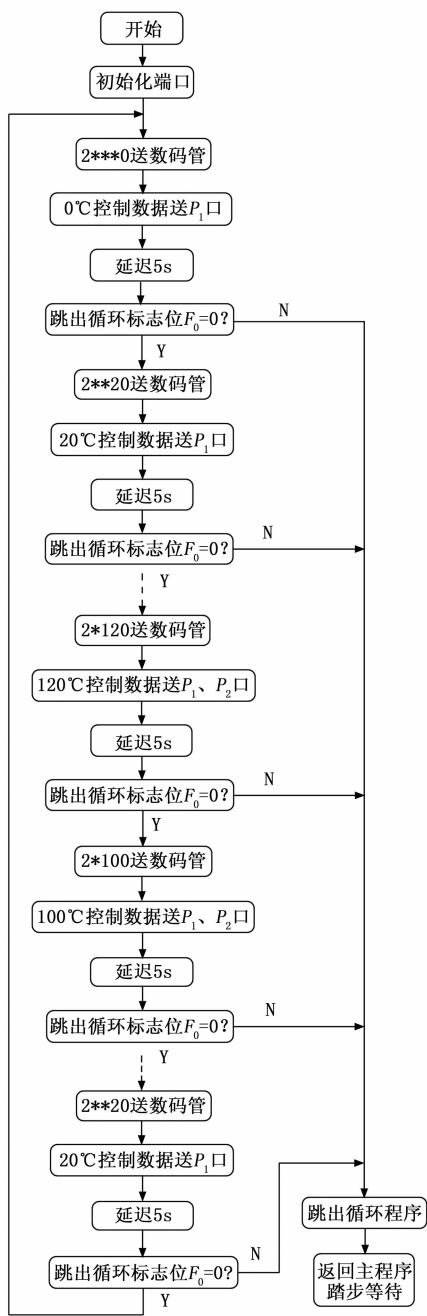


图 12 温度表验准程序流程图

万用表监测输入电压值，对量程内 10 个不同电压值进行 15 次检测实验，判定验准仪电源电压检测的准确性，其中 1 次实验数据如表 5 所示。15 次实验的绝对误差均不大于±0.1 V，相对误差均不大于±0.3%。

4.1.2 温度表验准功能实验

用 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个温度表进行验准功能实验。

将 15 个指示准确的温度表依次接于温度表接口 CZ2，对每个温度表 7 个被验准刻度进行 15 次循环实验，绝对误差均不大于±1℃，相对误差均不大于±1.0%，其中 1 个表的 1 次实验数据如表 6 所示。

表 5 电源电压检测功能实验数据

序号	稳压电源输出值/V (万用表监测)	验准仪 检测值/V	绝对误 差/V	相对误差
1	0.0	0.0	0.0	0
2	5.0	5.0	0.0	0
3	10.0	10.0	0.0	0
4	15.0	15.0	0.0	0
5	20.0	20.0	0.0	0
6	25.0	25.0	0.0	0
7	30.0	30.0	0.0	0
8	35.0	35.0	0.0	0
9	38.0	37.9	−0.1	−0.26%
10	40.0	39.9	−0.1	−0.25%

表 6 准确温度表验准功能实验数据

序号	验准刻度/℃	温度表指 示值/℃	绝对误差/℃	相对误差
1	0	0	0	0
2	20	20	0	0
3	40	40	0	0
4	60	60	0	0
5	80	80	0	0
6	100	101	−1	−1.0%
7	120	119	+1	+0.8%

将 15 个指示不准确的温度表依次接于温度表接口 CZ2，对每个温度表 7 个被验准刻度进行 15 次循环实验，温度表指示值均与预期值不一致，证明 15 个温度表指示不准确，验准准确率 100%。其中 1 个表的 1 次实验数据如表 7 所示。

表 7 不准确温度表验准功能实验数据

序号	验准刻度/℃	预期指示值/℃	温度表指 示值/℃	验准结果
1	0	0	2	不准确
2	20	20	17	不准确
3	40	40	35	不准确
4	60	60	55	不准确
5	80	80	74	不准确
6	100	100	94	不准确
7	120	120	102	不准确

4.1.3 压力表验准功能实验

用 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个压力表进行验准功能实验。

将 15 个指示准确的压力表依次接于压力表接口 CZ3，对每个压力表 6 个被验准刻度进行 15 次循环实验，绝对误差均不大于±0.1 kg/cm²，相对误差均不大于±1.1%，其中 1 个表的 1 次实验数据如表 8 所示。

将 15 个指示不准确的压力表依次接于压力表接口 CZ3，对每个压力表 6 个被验准刻度进行 15 次循环实

验，压力表指示值均与预期值不一致，证明 15 个压力表指示不准确，验准准确率 100%。其中 1 个表的 1 次实验数据如表 9 所示。

表 8 准确压力表验准功能实验数据

序号	验准刻度 kg/cm ²	压力表指示值 kg/cm ²	绝对误差 kg/cm ²	相对误差
1	0	0.0	0.0	0
2	3	3.0	0.0	0
3	6	6.0	0.0	0
4	9	8.9	+0.1	+1.1%
5	12	11.9	+0.1	+0.8%
6	15	14.9	+0.1	+0.8%

表 9 不准确压力表验准功能实验数据

序号	验准刻度 kg/cm ²	预期指示值 kg/cm ²	压力表指示值 kg/cm ²	验准结果
1	0	0.0	0.0	不准确
2	3	3.0	2.0	不准确
3	6	6.0	4.0	不准确
4	9	9.0	6.5	不准确
5	12	12.0	9.2	不准确
6	15	15	11.8	不准确

4.1.4 电流表验准功能实验

用 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个电流表进行验准功能实验。

将 15 个指示准确的电流表依次接于电流表接口 CZ4，对每个电流表 7 个被验准刻度进行 15 次循环实验，绝对误差均不大于±3 A，相对误差均不大于±1.0%，其中 1 个表的 1 次实验数据如表 10 所示。

表 10 准确电流表验准功能实验数据

序号	验准刻度/A	电流表指 示值/A	绝对误差/A	相对误差
1	0	0	0	0
2	50	50	0	0
3	100	100	0	0
4	150	149	+1	+0.7%
5	200	199	+1	+0.5%
6	250	248	+2	+0.8%
7	300	297	+3	+1.0%

将 15 个指示不准确的电流表依次接于电流表接口 CZ4，对每个电流表 7 个被验准刻度进行 15 次循环实验，电流表指示值均与预期值不一致，证明 15 个电流表指示不准确，验准准确率 100%。其中 1 个表的 1 次实验数据如表 11 所示。

4.1.5 电压表验准功能实验

电压表与电流表是复用表，按下电流表上转换开关，即可将电流表转换为电压表，用 15 个指示准确和

15 个指示不准确的 30 个电压表进行验准功能实验。

表 11 不准确电流表验准功能实验数据

序号	验准刻度/A	预期指示值/A	电流表指示值/A	验准结果
1	0	0	0	不准确
2	50	50	45	不准确
3	100	100	88	不准确
4	150	150	130	不准确
5	200	200	165	不准确
6	250	250	213	不准确
7	300	300	255	不准确

将 15 个指示准确的电压表依次接于接口 CZ4，对每个电压表 5 个被验准刻度进行 15 次循环实验，绝对误差均不大于±0.1 V，相对误差均不大于±1.0%，其中 1 个表的 1 次实验数据如表 12 所示。

表 12 准确电压表验准功能实验数据

序号	验准刻度/V	电压表指示值/V	绝对误差/V	相对误差
1	0	0.0	0.0	0
2	5	5.0	0.0	0
3	10	10.1	−0.1	−1.0%
4	15	15.1	−0.1	−0.7%
5	20	20.0	0.0	0

将 15 个指示不准确的电压表依次接于接口 CZ4，对每个电压表 5 个被验准刻度进行 15 次循环实验，电压表指示值均与预期值不一致，证明 15 个电压表指示不准确，验准准确率 100%。其中 1 个表的 1 次实验数据如表 13 所示。

表 13 不准确电压表验准功能实验数据

序号	验准刻度/V	预期指示值/V	电压表指示值/V	验准结果
1	0	0.0	0.0	不准确
2	5	5.0	4.0	不准确
3	10	10.0	8.6	不准确
4	15	15.0	12.2	不准确
5	20	20.0	15.7	不准确

4.1.6 转速表验准功能实验

用 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个转速表进行验准功能实验。

将 15 个指示准确的转速表依次接于转速表接口 CZ5，对每个转速表 5 个被验准刻度进行 15 次循环实验，绝对误差均不大于±19 r/min，相对误差均不大于±1.0%，其中 1 个表的 1 次实验数据如表 14 所示。

将 15 个指示不准确的转速表依次接于接口 CZ4，对每个转速表 5 个被验准刻度进行 15 次循环实验，转速表指示值均与预期值不一致，证明 15 个转速表指示不准确，验准准确率 100%。其中 1 个表的 1 次实验数

据如表 15 所示。

表 14 准确转速表验准功能实验数据

序号	验准刻度/(r/min)	电压表指示值/(r/min)	绝对误差/(r/min)	相对误差
1	0	0	0	0
2	500	496	+4	+0.8%
3	1 000	993	+7	+0.7%
4	1 500	1 487	+13	+0.9%
5	2 000	1 982	+18	+0.9%

表 15 不准确转速表验准功能实验数据

序号	验准刻度/(r/min)	预期指示值/(r/min)	转速表指示值/(r/min)	验准结果
1	0	0	0	不准确
2	500	500	442	不准确
3	1 000	1 000	750	不准确
4	1 500	1 500	1 220	不准确
5	2 000	2 000	1 690	不准确

4.1.7 失压表验准功能实验

用 15 个指示正常和 15 个指示不正常的 30 个失压表进行验准功能实验。

将 15 个指示正常的失压表依次接于失压表接口 CZ6，对每个失压表进行 15 次失压状态指示实验，15 个失压表均能指示为失压状态；同理，将 15 个指示不正常的失压表依次接于接口 CZ6，对每个失压表进行 15 次失压状态指示实验，15 个失压表均不能正常指示为失压状态，证明 15 个失压表指示不正确。失压表验准准确率为 100%。其中 1 个指示正常失压表的 15 次实验数据和 1 个指示不正常失压表的 15 次实验数据如表 16 所示。

表 16 失压表验准功能实验数据

正常失压表验准功能实验					不正常失压表验准功能实验			
次数	验准状态	预期指示	失压表指示	验准结果	验准状态	预期指示	失压表指示	验准结果
1	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
2	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
3	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
4	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
5	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
6	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
7	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
8	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
9	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
10	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
11	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
12	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
13	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
14	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确
15	失压	失压	失压	正确	失压	失压	非失压	不正确

4.2 实验数据分析与实验结论

从表 5 实验数据及 15 次实验的绝对误差均不大于 $\pm 0.1 \text{ V}$ ，相对误差均不大于 $\pm 0.3\%$ 可以看出，验准仪对电源电压的检测值满足精度要求，验准仪对电源电压检测准确。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个温度表的验准功能实验可以看出，15 个指示准确温度表 7 个被验准刻度的绝对误差均不大于 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，相对误差均不大于 $\pm 1.0\%$ ，验准精度满足要求；对 15 个指示不准确的温度表验准准确率为 100%。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个压力表的验准功能实验可以看出，15 个指示准确压力表 6 个被验准刻度的绝对误差均不大于 $\pm 0.1 \text{ kg/cm}^2$ ，相对误差均不大于 $\pm 1.1\%$ ，验准精度满足要求；对 15 个指示不准确的压力表验准准确率为 100%。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个电流表的验准功能实验可以看出，15 个指示准确电流表 7 个被验准刻度的绝对误差均不大于 $\pm 3 \text{ A}$ ，相对误差均不大于 $\pm 1.0\%$ ，验准精度满足要求；对 15 个指示不准确的电流表验准准确率为 100%。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个电压表的验准功能实验可以看出，15 个指示准确电压表 5 个被验准刻度的绝对误差均不大于 $\pm 0.1 \text{ V}$ ，相对误差均不大于 $\pm 1.0\%$ ，验准精度满足要求；对 15 个指示不准确的电压表验准准确率为 100%。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个转速表的验准功能实验可以看出，15 个指示准确转速表 5 个被验准刻度的绝对误差均不大于 $\pm 19 \text{ r/min}$ ，相对误差均不大于 $\pm 1.0\%$ ，验准精度满足要求；对 15 个指示不准确的转速表验准准确率为 100%。

从 15 个指示准确和 15 个指示不准确的 30 个失压表的验准功能实验可以看出，对 30 个失压表的验准准确率为 100%。

5 结束语

以 AT89C52 单片机为控制核心，采用汇编语言编程、A/D 与 D/A 转换和数码管显示等技术设计的指示仪表原位验准仪，实现了对某型装备的电源电压检测和温度表、压力表、电流/电压表、转速表、失压表的原位自动验准，解决了装备使用和维修中，难以在指示仪表原位准确判定仪表的准确性问题。实验和应用结果表明，验准仪具有验准速度快、自动化程度高和携带使用方便等优点，满足了日常使用和维修需求，也为其他型号装备仪表原位验准和新型在研装备增加仪表原位验准功能提供了方法和途径，应用前景广阔。

参考文献：

[1] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术 (第 4 版) [M]. 北

京: 清华大学出版社, 2018.

- [2] 董秀英, 韩修林, 沐 娟. 基于 AT89C52 单片机的自动存取钱柜的设计 [J]. 黑龙江工业学院学报 (综合版), 2024, 24 (5): 110-117.
- [3] 张金萍, 刘海华, 卢亚娟. 基于 AT89C52 的直流电机 PWM 调速实验创新教学研究 [J]. 河南工学院学报, 2023, 31 (2): 76-80.
- [4] 何建新. 基于 AT89C52 单片机的粮仓多点温度监控系统设计 [J]. 黄冈职业技术学院学报, 2023, 25 (5): 136-139.
- [5] 张少玉. 基于 8051 单片机的 LED 动态显示汇编程序设计 [J]. 电子技术, 2023, 52 (4): 46-48.
- [6] 周择文, 邵婷婷. 基于 ST89C52 单片机的指环脉搏测量仪设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (2): 246-250.
- [7] 张中沉, 张 军. 基于 STM32 单片机的大学生体能检测仪设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (2): 292-298.
- [8] 蒙 欢, 李泽滔. 基于单片机 AT89C51 的数字电压表显示 [J]. 智能计算机与应用, 2022, 2: 139-142.
- [9] 商 杰, 武洪涛. 10 位串行模/数转换器 TCL1549 在单片机系统中的应用 [J]. 现代电子技术, 2005, 12: 8-9.
- [10] 李雨桐, 乔 佳, 王 宇. 基于 ADS1115 的 FPGA 接口设计 [J]. 信息技术与信息化, 2024, 3: 136-139.
- [11] 徐栋义, 朱耀东, 朱 涛, 等. 基于双通道光纤传感器的生理数据采集系统研究 [J]. 计算机时代, 2023, 12: 125-129.
- [12] 欧阳明星. 基于 B/S 架构的远程实验数据采集系统设计 [J]. 电子技术, 2022, 51 (11): 46-48.
- [13] 钱涵舟, 冯辰宇, 石垒垒, 等. 基于物联网技术的心电监护仪设计 [J]. 电子制作, 2022, 21: 65-68.
- [14] 赵 磊, 曹广忠, 梁芳萍, 等. 基于 Arduino 的磁编码器轴角解算系统设计 [J]. 自动化仪表, 2022, 43 (2): 6-11.
- [15] 王炜富, 沈剑峰. 一种超低功耗无线电流检测终端设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, 17: 221-222.
- [16] 欧阳柏添, 蔡家富, 刘桂雄. 基于 LabVIEW 的装配车体挠度无线快速测量系统 [J]. 现代信息科技, 2021, 5 (14): 158-161.
- [17] 李 利, 陈 刚. 串行数模转换器 TLC5617 与 DSP 接口设计 [J]. 电测与仪表, 2004, 41 (8): 50-53.
- [18] 曾 强, 王 李, 丁家会, 等. 基于 AT89C51 单片机的新型病房呼叫系统设计 [J]. 电子制作, 2024, 8: 96-99.
- [19] 邹明虎, 朴相范, 洪作鑫. 基于 C 语言的车载交换机检测仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (12): 274-278.
- [20] 邹明虎, 王振楠, 冷育明, 等. 车载网络通信控制器检测仪设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (6): 280-284.