

# 无线电

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号: 2-75 国外代号: M106

# 2009年 合订本



《无线电》编辑部 编

本书附赠双光盘



《用可编程逻辑器件设计数字语音电路》视频教程完整版  
单片机源程序、印制电路板图等

## 2009年第7期~第12期

栏目

特别策划 | 音频应用 | 广播爱好者 | 火腿通信 | 测试测量 | 玩转单片机 | 实用电路制作 | 维修帮手 | 初学者园地

享受广播 - TECSUN

Enjoy broadcasting

**TECSUN**  
德生牌收音机  
中国驰名商标

## 读天下文章 听世界新闻



**DSP**  
数字信号处理

德生技术合作伙伴—美国SILICON LABS  
www.tecsun.com.cn

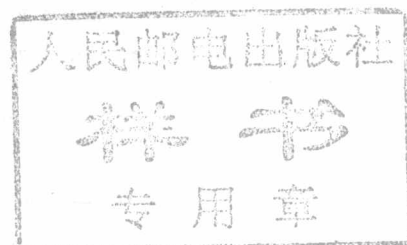
东莞市德生通用电器制造有限公司 公司与工厂地址: 中国广东省东莞市东城区莞长路189号德生大楼 邮编: 523071 电话: 0769-23167118 传真: 0769-23160700

 **人民邮电出版社**  
POSTS & TELECOM PRESS

# 无线电合订本

2009 年（下）

《无线电》编辑部 编



人民邮电出版社

北 京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

《无线电》合订本. 2009年. 下 / 《无线电》编辑部编. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.1  
ISBN 978-7-115-21841-4

I. ①无… II. ①无… III. ①无线电技术—2009—丛刊 IV. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第216726号

## 内 容 提 要

《无线电》合订本 2009 年 (下) 囊括了《无线电》杂志 2009 年第 7 ~ 12 期所有栏目的全部内容, 并经过了再次加工整理, 按期号、栏目、专题、连载系列等重新分类编排, 以方便读者阅读。

随书附赠《用可编程逻辑器件设计数字语音电路 (上)》、《用可编程逻辑器件设计数字语音电路 (下)》双光盘, 光盘中还收录了与文章相关的印制电路板图、电路原理图、源程序等。

本书内容信息量大, 涉及电子技术广泛, 文章精炼, 技巧经验丰富, 实用性强, 适合广大电子爱好者、电子技术人员、家电维修人员阅读。

### 《无线电》合订本 2009 年 (下)

- ◆ 编 《无线电》编辑部  
责任编辑 房桦 尹飞 邓晨
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 35.75  
字数: 1 166 千字 2010 年 1 月第 1 版  
印数: 1—9 000 册 2010 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21841-4

定价: 40.00 元 (附 2 张光盘)

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

### 特别策划

#### 温度测量与校准专题

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| 怎样测量温度             | 吉同根 (002) |
| 温度的标尺              | 吉同根 (003) |
| 高精度宽范围温度传感器的特点和使用  | 吉同根 (004) |
| 工业测量温度中的高精度宽范围二次仪表 | 吉同根 (006) |
| 温度测量仪表的校准          | 吉同根 (008) |

#### 新中国成立 60 周年专题

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 国产电子管收音机精彩回顾             | 陈汉燕 (026) |
| 国产品体管收音机精彩回顾             | 靳宁 (029)  |
| 衣带渐宽终不悔——我对广播和《无线电》的执着追求 | 张建雄 (032) |

#### “成都无线龙”无线网络入门专栏

|                    |          |
|--------------------|----------|
| DIY 低功耗基础无线网络      | 吴线 (021) |
| DIY ZigBee 无线传感器网络 | 吴线 (034) |
| 从 LED 到 LCD 的巨变    | 胡康 (039) |

### 音频应用

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| 使用开关电源的高保真功放☆                       | 牛歌 张新苗 (044) |
| 一款高品质的 USB 声卡的制作                    | 游宇兵 (051)    |
| 电子管前级 + 电子音调的制作                     | 古伟桓 (054)    |
| 说说 AMT 扬声器                          | 吴红奎 (056)    |
| DIY 一台有个性的 M5 桌面小甲功放                | 牛歌 张新苗 (061) |
| 用分立件打造靓声运算放大器                       | 廖茂柏 (064)    |
| DIY 的乐趣——12 元钱的摩机小记                 | 李俊杰 (067)    |
| 胆石后级皆宜的缓冲胆前级                        | 张全定 (070)    |
| 新型大功率车用音频功放集成电路 TDA7375AV 和 TDA8595 | 吴红奎 (071)    |
| A 类功放                               | 薛国雄 译 (075)  |
| 用国产扬声器单元制作一对密闭音箱                    | 何立基 (077)    |
| 用旧电脑配件打造优质影音录播一体机                   | 姚宗栋 (079)    |
| 全互补推挽三级功率放大电路的设计                    | 陈永胜 (083)    |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| NXP 用于平板电视机的新型 D 类功放芯片 (1)  | 吴红奎 (087)    |
| “天鹅”音箱的创作                   | 陆燕坪 (091)    |
| D 类功放到底动了谁的奶酪?              | 安徽老罗 (093)   |
| NXP 用于平板电视机的新型 D 类功放芯片 (2)  | 吴红奎 (096)    |
| 在组功放中对自激现象的处理               | 林芝松 (100)    |
| 魂牵梦绕全平衡 SA300 纯后级           | 牛歌 张新苗 (102) |
| 简单易制的另类音箱                   | 张全定 (110)    |
| 全手工打造 2.1 多媒体功放             | 江海洋 (112)    |
| 基于开关电源的线性功放及其摩机             | 吴红奎 (114)    |
| 打造超强的 Hi-Fi 桌面功放            | 覃斌 (119)     |
| 出类拔萃的“小胆机”                  | 张全定 (124)    |
| 基于开关电源的线性功放及其摩机 (续)         | 吴红奎 (128)    |
| 简洁至上 靓声功放——打造 A30 小型发烧级甲类功放 | 卞镜秋 (131)    |
| 改造一对损坏的 12 英寸励磁全频扬声器        | 倪文贤 (134)    |
| 巧修中低音扬声器                    | 倪文贤 (137)    |
| AKG K720 耳机的拆解与修理           | 倪文贤 (139)    |
| 手工制作平膜耳机                    |              |
| ——平膜单元的初步制作                 | 倪文贤 (141)    |
| ——平膜单元的深入制作                 | 倪文贤 (144)    |
| ——把完成的平膜单元做成一副耳机            | 倪文贤 (147)    |

### 广播爱好者

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 永远芬芳的牡丹——我的牡丹 942A 系列空气双连收音机情结      | 张建雄 (150)  |
| 德生 PL-300WT 收音机试用手记                 | 张建雄 (153)  |
| 收听 FM 音乐广播的利器——极典 R301S 收音机         | 红色电波 (155) |
| 让熊猫继续唱歌——熊猫 B623 收音机购买、修复手记         | 张建雄 (157)  |
| 一款收音机精品——美国珍妮斯 (ZENITH) 收音机 D-7000Y | 陈祖德 (160)  |

收藏佳品——春雷 605-3 晶体管收音机 张建雄 (162)  
收听 FM 音乐广播的利器——极典 R301S 收音机 (续)

红色电波 (163)

“文革”产半导体收音机复活记 罗列 (166)

德生 PL-380 收音机试用手记 张建雄 (168)

国宝在我心中——有感于南京熊猫集团广播爱好者盛会  
boris (171)

### 鉴赏与收藏

谈论早期的熊猫牌收音机 陈汉燕 (172)

珠联璧合——德生 AN-100 天线与伊顿 E1XM 收音机的

完美联姻 张建雄 (174)

十年修得同船渡——我与德生收音机的不解之缘  
张建雄 (176)

### 火腿通信

业余慢扫描电视 (SSTV) 通信 吴国光 (BA7IA) (178)

CW 爱好者的福音——音频滤波器 DIY (1)  
阮东升 (BA6QH) (182)

### HAM 设备实测报告

“大红点”短波数显驻波比表试用报告  
杨法 (BD4AAF) (185)

电台天线调谐器选购指南 聆听 (188)

自制等幅发射机 时刻 (BA6BF) (192)

业余无线电测向器材选用指南 聆听 (194)

CW 爱好者的福音——几款音频滤波器的实测 (2) ☆  
阮东升 (BA6QH) (198)

业余数字慢扫描电视 (D-SSTV) 吴国光 (BA7IA) (202)

接收极微弱信号不再难——JT65 数字通信模式  
吴国光 (BA7IA) (204)

中国业余电台设备与市场发展回顾 (上)  
杨法 (BD4AAF) (206)

中国业余电台设备与市场发展回顾 (下)  
杨法 (BD4AAF) (208)

### 收发信机 DIY 实战

进入单边带通信的世界 时刻 (BA6BF) (212)

业余高频功率放大器 时刻 (BA6BF) (215)

自制简易单边带收发信机 时刻 (BA6BF) (218)

小功率短波功率放大器 时刻 (BA6BF) (222)

中国无线电运动协会召开空间通信工作会议  
方明 (BA6AA) (224)

五步制作电台假负载 徐建东 (BG6BAT) (225)

说说晶体管放大器的“甲乙丙” 时刻 (BA6BF) (226)

专业对讲机也能体验业余数字通信的乐趣  
——MOTOTRBO XIR P8268 使用体验 杨法 (BD4AAF) (229)

自制 QRP 开关型长线天调 卜宪之 (BD4RG) (232)

2009 业余电台热门器材年度回首 杨法 (BD4AAF) (234)

### 火腿操作入门

基地台发射操作进阶 方明 (BA6AA) (238)

基地台高级操作进阶 (上) 方明 (BA6AA) (241)

基地台高级操作进阶 (下) 方明 (BA6AA) (245)

户外通联进阶 (上) 方明 (BA6AA) (249)

户外通联进阶 (下) 方明 (BA6AA) (253)

IOTA 通联进阶 方明 (BA6AA) (256)

### 天线制作十二款

合二为一的 UHF/VHF 频段 J 型业余卫星通信天线  
吴国光 (BA7IA) (260)

偶极振子十字型对空天线 吴国光 (BA7IA) (262)

适合业余卫星通信的“打蛋器”天线 吴国光 (BA7IA) (265)

制作适合城市中架设的 LOOP 天线 刘燕北 (BD2BH) (269)

可以在阳台上使用的多波段定向天线 刘燕北 (BD2BH) (272)

人人都能架设的低波段天线——顶端容性

加载型 80m 波垂直天线 刘燕北 (BD2BH) (274)

### 测试测量

如何测试音频放大器 牛歌 (276)

电子镇流器的制作与检测 朱球辉 葛中海 (279)

用电脑声卡捕捉和分析红外遥控编码 吴巍 (282)

手机也能看波形 (上)——用蓝牙模块给虚拟示波器

添加无线连接功能 王一 (285)

手机也能看波形 (下)——用蓝牙模块给虚拟示波器

添加无线连接功能 王一 (288)

PC 和 1-Wire 总线波形测量及使用注意事项  
黄培根 凌锋 (290)

自己动手制作测试仪器 (原理篇) 林芝松 (292)

自己动手制作测试仪器 (制作改进篇) 林芝松 (297)

自己动手制作测试仪器 (应用篇) 林芝松 (301)

通用型手机充电器完全剖析 李威 葛中海 (305)

你的电器漏电吗?——DIY 数字绝缘电阻表☆ 周长锁 侯善刚 (309)

### 示波器测评专题

主流经济型四通道数字示波器横向测评 程建川 (312)

基本性能测评 (314)

主要特色功能测评 (316)

服务测评 (319)

测评总结 (321)

怎样选购示波器 王军 (322)

自制 USB 接口温度记录仪 孙红生 蔡文著 (327)

从零起步用示波器 王军 (329)

实测伊万多功能示波检测仪 EF521A 魏坤 (332)

制作一个简易宽频 DDS 信号源 卫小鲁 (BH7PCK) (335)

## 玩转单片机

图解制作电子琴☆ 周宝善 (341)

图解制作《北京欢迎你》音乐盒☆ 周宝善 (344)

精简设计为你而来 mini1608 电子时钟(制作篇)☆ 杜洋 (346)

终极原理为你而来 mini1608 电子时钟(原理篇) 杜洋 (350)

NXP 系列单片机的编程 鲍丽星 (353)

PIC 拷贝器的原理与应用 钟科 (355)

无线加速度采集仪 胡进 崔元洋 (358)

巧用红外二极管无线传送温度数据☆ 徐霄飞 李昊 陈冲冲 (361)

ATMEL 正式为中国客户开通 AVR/AVR32 在线中文技术支持 资料室 (363)

无线电铃的制作与使用(上) 黄桂梅 刘永立 (364)

无线电铃的制作与使用(下) 黄桂梅 刘永立 (368)

PIC 单片机最新编程器/调试器 PICKit3 初体验 刘作新 (371)

简易 USB 转 ISP 下载线 傅建 (376)

应用 ISP 轻松入门单片机 刘信华 (378)

多变炫目的 LED 灯牌 许勤斌 (381)

随温而动——让电风扇根据温度自动调节风量大小 梁承权 (384)

易用的三端无线供电芯片组 VOX05MP01 和 VOXR10D 古人 (387)

绿色节能的低功耗单片机 沈建华 (389)

MSP430 单片机开发环境的使用 魏小龙 邱芝贞 (393)

硬件环境与应用简介 魏小龙 邱芝贞 (395)

时钟计算器 魏小龙 邱芝贞 (396)

自行车里程表 魏小龙 邱芝贞 (397)

数字音量收音机 魏小龙 邱芝贞 (398)

数字万用表 魏小龙 邱芝贞 (399)

单片机开发工具大探秘 马晓晶 (400)

温度采集也无线(硬件设计)☆ 陈庚 (403)

DIY 能显示农历和节气的 12864 液晶万年历时钟 杨黎民 (406)

单片机开发常用工具大比拼 马晓晶 (409)

温度采集也无线(软件篇)☆ 陈庚 (411)

照猫画虎——记一次难忘的开发经历 董庆源 (413)

小巧节能的段式 LCD ☆ 周长锁 (418)

PPT 文档展示的好帮手——USB 无线翻页器☆ 刘亮 (421)

手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置(1) 付国迎 (424)

PICKit3 脱机编程实操详解 刘作新 (428)

### 用单片机制作新型数字仪表

从“开心农场偷菜钟”到智能仪表 史振道 (430)

自己动手用 AVR 单片机做智能车 李文卿 (434)

恩智浦推出低成本 Cortex-M0 微控制器——LPC1100 资料室 (440)

## 实用电路制作

用 FM 收音模块制作可显示频率的收音机☆ 唐继贤 (BD9AH) (441)

灵敏度可调的便携酒精探测器 陈天宇 (444)

实用的晶体管在线测试仪电路 张全威 (447)

绿色照明好帮手——太阳能灯的制作☆ 耿伟 袁芬 (449)

电容式白炽灯触摸开关 俞虹 (451)

冰箱关门提醒器的制作 刘潇 (453)

实用多芯电缆对线器 霍永强 (454)

我的第二版数码相框——数码相框的升级制作☆ 张彬杰 (455)

红外遥控信号无线转发器 康春雨 (457)

用辉光数码管制作数字万用表 高磊 (460)

使用超级电容器储能的太阳能灯 康春雨 (464)

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| 超级电容器与可充电电池的比较         | 康春雨 (466)   |
| 小巧实用的调频发射器             | 任杰 (468)    |
| 便携式电池电量检测器             | 齐业臻 (470)   |
| 制作中的好帮手——数字电压表头        | ksysl (472) |
| 自制 3D 鼠标——让鼠标脱离桌面实现控制☆ | 陈天宇 (474)   |
| 测测磁场有多强——用模块法自制简易高斯计   | 王超 (478)    |

## 维修帮手

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| 微波炉常见故障的快速检修            | 王绍华 (481)     |
| 一点通 怕冷罪魁——电解电容          | 王海梅 (481)     |
| 巧用 ET521A 示波表检修电视机的伴音故障 | 董灵江 (482)     |
| 索尼 PSP 原装电池解锁秘籍         | 潘邦文 (483)     |
| 美的电磁炉不加热故障检修            | 季成荣 (483)     |
| 警惕二极管热开路故障              | 段丽红 李洁 (484)  |
| 维修小经验 遇疑难 修电源           | 宋华 (484)      |
| 一点通“对调法”在维修中的应用         | 宋华 段丽红 (485)  |
| 用示波表快速检修液晶显示器           | 雷隆声 (486)     |
| 小贴士 安全卫士——热熔断器          | 杨宝娟 (486)     |
| 三角牌电饭煲常见故障的检修           | 余俊芳 (487)     |
| 自己动手检修自动电热水壶            | 韩军春 (489)     |
| 小贴士 不容忽视的保险电阻           | 宋华 (489)      |
| 智能公共广播系统的维修             | 于永泉 (490)     |
| 维修在你身边 自己动手维修电风扇        | 王海梅 段丽红 (493) |
| 小贴士 检测电容失效造成电磁炉铁锅不加热    | 杨舟成 (493)     |
| 维修总动员 电脑维修你我同行          | 宋华 段丽红 (494)  |
| 小贴士 耐压越高越好吗?            | 段丽红 (494)     |
| 充电时误操作引发的电动自行车罢工        | 罗列 (495)      |
| 从一个维修的实例谈起              | 王海梅 (495)     |
| 大功率有源音箱的原理与维修           | 赵幸福 (496)     |
| 生活中的小维修 如何维修电吹风         | 段丽红 (499)     |
| 话说家电维修中的几个认识误区          | 王绍华 (500)     |
| 电脑维修 DIY 怎样应对电脑蓝屏       | 段丽红 (501)     |
| 小贴士 遥控风扇“不摇头”故障检修       | 周瑞卿 (502)     |
| 艾美特电磁炉不加热故障的维修          | 李少怡 (503)     |
| 电动车充电器屡损功率管的检修          | 梁明义 (505)     |
| 维修感悟 小小压敏电阻作用大          | 李洁 (506)      |
| 色差分量接口 YCbCr 和 YPbPr 辨析 | 段丽红 (506)     |

|              |           |
|--------------|-----------|
| 短路法在彩电维修中的应用 | 王玉龙 (507) |
| 问与答          | (509)     |

## 初学者园地

### 常用元器件的识别与使用

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 无处不在的电容器          | 张晓东 (515)         |
| 阻交流传直流的电感器        | 张晓东 (519)         |
| 形态各异的变压器          | 张晓东 (523)         |
| 用途广泛的晶体二极管        | 张晓东 (527)         |
| 色彩斑斓的发光二极管        | 张晓东 (531)         |
| 功能独特的稳压二极管        | 张晓东 (535)         |
| 变压器使用常识           | 张晓东 肖影雪 张传贝 (539) |
| 一项有趣的磁悬浮试验        | 王超 梁鑫辉 (540)      |
| 太阳能电池板与蓄电池如何匹配    | 袁芬 (542)          |
| 轻松做出高亮钥匙扣 LED 手电筒 | 吴晓燕 (543)         |
| 线圈电感量的简单计算        | 张晓东 (549)         |
| 简易太阳能手机充电器的制作     | 耿伟 袁芬 (550)       |
| 洞洞板上的小电路 简易厨房定时器☆ | 温正伟 (552)         |

## 活动报道

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| 首届北京无线电广播爱好者联谊会圆满召开     | 本刊记者 邓晨 (012)     |
| 无线电爱好者的展会不仅有电台和天线       |                   |
| ——我眼中的上海国际业余无线电节        | 张峥 (BG8SF) (014)  |
| 北京无线电广播爱好者联谊会“牡丹”专题活动报道 | 本刊记者 邓晨 (018)     |
| 江苏首届青少年无线电能手大赛圆满落幕      | 本刊通讯员 (244)       |
| 记 2009 年全国青少年无线电通信锦标赛   | 俞解民 (BA4ST) (544) |
| 我的参赛手记——参加 2009 年“NEC”杯 |                   |
| 全国大学生电子设计大赛有感           | 杜灿鸿 (546)         |
| 2009 年深圳电子展展会报道         | 杜洋 (554)          |
| 第 74 届中国电子展拾萃           | 本刊记者 尹飞 (556)     |
| 爱好者视点                   | (558)             |

加☆表示配书光盘中有与该文章相关的文件

# 兴趣造就品质 爱好彰显非凡

欢迎订阅

## [精品期刊]

资讯权威无价 邮识丰富有趣  
图文精彩无限 邮友互动有情

发烧音响制作 业余电台通信  
开发实验维修 趣味基础入门



邮发代号：2-222  
定价：10元 全年定价：120元



邮发代号：2-75  
定价：10元 全年定价：120元

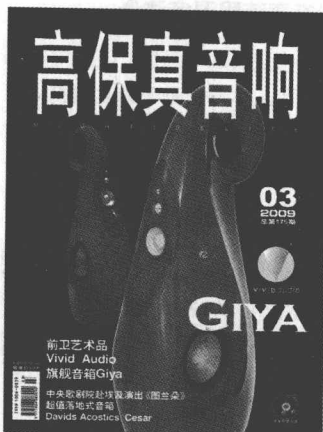
测评酷车新品 纵览赛事尘烟  
展示骑士风采 尽显激情生活

赏鉴发烧名品 聆听天籁之音  
融汇艺术科技 品味时尚生活

饱览电台设备 展现HAM风采  
尽享沟通乐趣 品味无线生活



邮发代号：2-342  
定价：15元 全年定价：180元



邮发代号：82-590 定价：20元  
全年定价：240元（每期附赠光盘）



邮发代号：80-990 定价：15元  
全年定价：90元（6期，双月刊）

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座 邮政编码：100061  
电话：010-67164806 67133910 http://www.ptpress.com.cn

# 怎样测量温度

说起温度恐怕没有人不知道，CCTV新闻联播后的定时天气预报那是家喻户晓的，可是你知道温度是怎样精确测量出来的吗？估计有不少朋友得语塞，别急，且听我慢慢道来。

温度虽然不能直接加以测量，但可以借助热平衡原理来进行间接测量：选择某一物体与被测物体相接触，当达到热平衡时，通过测量所选择物体的物理量，得出被测物体的温度数值。

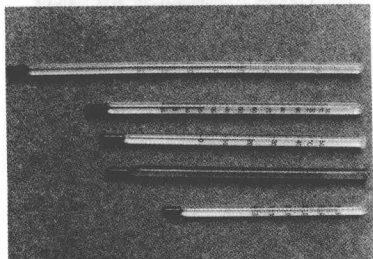
## 普通温度传感器工作原理

与我们日常生活息息相关的温度测量随处可见，无处不在。例如：

我们平常使用的酒精温度计及水银温度计等液体温度计就是利用酒精及水银热胀冷缩的物理性质加以测量的。

日光灯启辉器（跳泡）是利用双金属热膨胀系数的差异来感知温度的变化而实现启动回路的断开与接通的。

电饭锅的温控开关则是通过磁性材料的居里温度实现温度控制——锅底中央的磁性元件感受到大于 $103^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 的临界居里温度时将失去磁性，在弹簧力的作用下，加热回路被断开，进入保温状态。



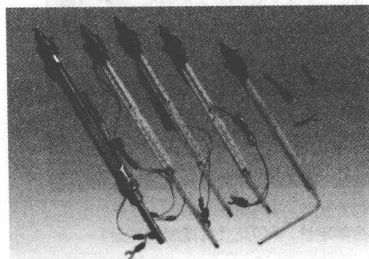
水银及酒精温度计

空调、冰箱的温控开关既有机械式的液体感温包或用金属热膨胀原理的，也有用电子式的热电阻、热电偶的。对于机械式的温控器，感温元件感受到温度的升高后会发生热膨胀变形并导致其位移，从而带动相应的触点开关动作来控制压缩机的开停；对于电子式的温控器，感温元件感受到温度的变化后将输出相应的物理电量信号（阻值的变化，电压值的变化等），这些电量信号经控制电路处理后输出控制信号来控制压缩机的启停。

以上都属于接触式感温，除此之外，还可以利用热辐射原理进行非接触测量。例如，红外测温仪就是典型的利用热辐射原理来测量温度的，它的测温原理基于：一切温度高于绝对零度的物体都在不停地向周围空间发出红外辐射能量，通过对物体自身辐射的红外能量的测量，就能准确地测定它的表面温度。

## 高精度宽范围温度测量

无论是接触式温度计还是非接触式温度计，亦无论是一体化便携式温度计还是分体式温度计，它们都有着不同的应用场合。手持便携式温度计及非接触式温度计适合测量少量个别



可调电接点水银温度计

温度点的表面温度，它们方便实用，无需远传；对于测量有毒有害、易燃易爆设备的内部温度，则非“接触式远传测温仪”莫属。因为，这样的危险场合往往出现在工业生产中，它的测温点不但数量众多，且需远距离及时控制，稍有不慎就会酿成车毁人亡的惨痛局面。

## 1.为什么要进行高精度宽范围测温

工业用测温仪表不但要求精度高，而且需要宽范围温度测量。比如，工业用气化炉（高压容器）测温范围是 $0 \sim 1800^{\circ}\text{C}$ ，要求精度级大于等于0.5级，控制指标 $\leq 1380^{\circ}\text{C}$ ，一旦温度超标很容易诱发大爆炸事故。

再如，热转印

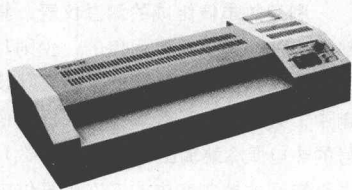


日光灯跳泡



红外温度计

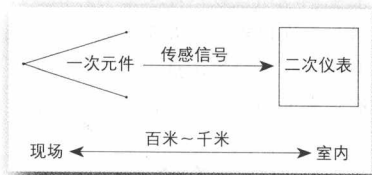
制版机，当热转印纸温度达到 $180.5^{\circ}\text{C}$ 时，热转印纸对融化的墨粉吸附力急剧下降，在压力的作用下，使融化的墨粉完全吸附在敷铜板上。敷铜板冷却后，形成坚固的印制图形，完成整个热转移过程。这里需要强调的是：整个热转移过程对温度的要求特别高，温度的控制显得尤为重要。温度过高时，过度融化的墨粉会扩散到原有线条的四周，造成图形模糊；温度过低时，又会出现转印效果差，甚至不能转印的后果。因此，热转印制版机温度传感器都是采用进口Pt1000（ $0^{\circ}\text{C}$ 时对应阻值 $1\text{k}\Omega$ ）型的薄膜铂电阻，使温度分辨率达到 $0.1^{\circ}\text{C}$ ，以满足制版对温度的要求。



热转印制版机

## 2. 高精度宽范围测温仪表的组成

出于人身安全的考虑及高效操作的原则，工业用测温仪表分为现场温度传感器（俗称一次元件）和操作室内用来显示或记录的二次仪表，它们构成一套完整的测温系统，属于典型的分体式测温仪表。具体组成见附图。



工业分体式测温仪表的组成

图中常用一次元件为热电阻或热电偶，二次仪表既有指针式记录仪，也有数字式显示仪，目前多数采用DCS（Distributed Control System——分散控制系统）电脑显示屏显示。⊗

# 温度的标尺

◎吉同根

温度，对于我们来说并不陌生，温度计，对于我们来说也不新鲜，但是，说起温标，有些朋友可能就会三缄其口了。在谈温标之前，有必要先定义一下温度。

什么是温度呢？物理学上是这样定义的：“物体分子间的运动将产生热量，而温度（Temperature）即是表征物体冷热程度的物理量。”通俗地说，我们日常生活中所感知的“热”和“冷”就是指温度的“高”和“低”。

既然温度的定义有了，那么，温度的刻度读数又是怎样划分的呢？温度的刻度读数即是温标——温度的标尺。

1714年，德国物理学家丹尼尔·家百列·华伦海特（Daniel Gabriel Fahrenheit）率先创建了“华氏温标”（Fahrenheit）——标准大气压（760mmHg）下，纯水的冰点为 $32^{\circ}$ 度，沸点为 $212^{\circ}$ 度，划分成180等份，每一等份为1华氏度（ $^{\circ}\text{F}$ ）。至今只有美国、英国仍在使用的。

1743年，瑞典天文学家安德斯·摄氏（Anders Celsius）设计的温度计——将一个标准大气压下水的冰点作为 $0^{\circ}$ 度，沸点标为 $100^{\circ}$ 度，在它们之间进行100等份刻度，每一等份为1摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。这就是常见的“摄氏温标”（Celsius scale），目前被多数国家所采用。

根据以上两位科学家的杰作即可推导出摄氏温标与华氏温标之间的换算关系是：

$$n^{\circ}\text{C} = (1.8n + 32)^{\circ}\text{F}$$

式中 $n$ 表示摄氏温标的读数。

从华氏温标和摄氏温标的刻度划分不难看出：不同的人选取不同的物质或选取相同的物质而划分成不同的

刻度所做出的温标，其差异是很大的，很难统一。为了尽快结束这种混乱不堪的局面，伟大的英国物理学家开尔文于1848年创建了“热力学温标”（开氏温标，Kelvin，也称“绝对温标”）——它规定分子运动停止时的温度为绝对零度，而与任何测温物体的物理性质无关。

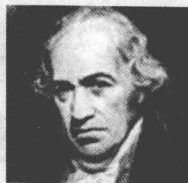
热力学第三定律告诉我们，绝对零度不可能通过有限的降温过程达到，所以说绝对零度只能是一个无限接近，却不能达到的理论最低温度。因此，“国际温标”也就应运而生。

1989年，国际计量委员会在18届国际计量大会第七号决议通过了国际温标。国际温标是用来复现热力学温标的，它规定水的三相点热力学温度（固态、液态、气态三相共存时的平衡温度）为 $273.16\text{K}$ ，把 $273.15\text{K}$ 作为 $0^{\circ}\text{C}$ ，它与摄氏温度之间的关系是：

$$t = T - 273.15$$

式中，“ $T$ ”表示热力学温度，单位是“开”（ $\text{K}$ ）；“ $t$ ”表示摄氏温度，单位是“ $^{\circ}\text{C}$ ”。

经典热力学中的温度是没有最高温度概念的，只有理论最低温度——“绝对零度”，这就如同在压强的概念中只有理论最低“绝对零压”（压强，工业上习惯称压力）是一样的道理。⊗



华伦海特（英）



摄氏阿斯（瑞典）



开尔文（英）

# 高精度 宽范围 温度传感器的特点和使用

不同的温度传感器有着不同的特点，我们只有了解它们各自的特性，熟知其原理，方可做到物尽其用，尽善尽美。

## 热电偶温度传感器

### 1. 热电偶特点

工业生产中温度测量使用的传感器主要采用国家标准热电偶及国家标准热电阻，它们都属于分体式远传温度测量仪表。热电偶相对于热电阻来说有着更为广阔的测量范围，通常可以测到1600℃的高温（如：铂铑30—铂铑6，对应分度号是“B”）和-200℃的低温（如：镍铬—镍硅，对应分度号是“K”）；特殊情况下，其极限温度可以测到2800℃的高温（如：钨—钼）和4K的低温（如：金铁—镍铬）。因此，以热电偶为温度传感元件的测温仪表具有更为广泛的应用。

### 2. 热电偶测温原理

热电偶（thermocouple）的测温原理是基于德国物理学家塞贝克（Seebeck）1821年发现的热电现象：将两种不同材质的导体或半导体

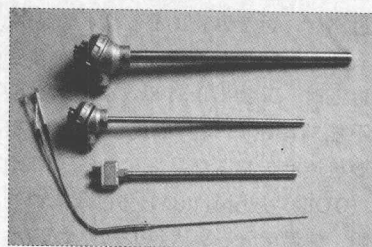
构成一个闭合回路，在形成的两个接点间如果有温差存在，则回路中将会产生微弱的热电流，这种现象称之为塞贝克热电效应。根据塞贝克热电效应，我们可以将上述回路中的任意一个接点焊接牢固并置于需要测温的地方（如炉膛），而将另外一个接点断开，这样在断开处就能测出代表温度的回路热电势。

### 3. 热电偶使用

由于热电偶测温范围不同，其所使用的材质也不相同，这当中价格相差悬殊，因此，用户有必要合理选择热电偶类型。表1是国际电工委员会推荐的8种标准化热电偶中常用的4种热电偶的测温范围及对应的补偿导线型号等参数，目前中国已采用。

热电偶在实际使用中，为了使正负极之间及正负极对设备之间保持良好的绝缘，需要在电偶丝上套上耐高温的绝缘瓷管；如果是测量带压或带酸等设备的温度，还需再安装耐高温及耐压或耐酸的保护套管，然后将热电偶插入保护套管内使用。

### 4. 补偿导线



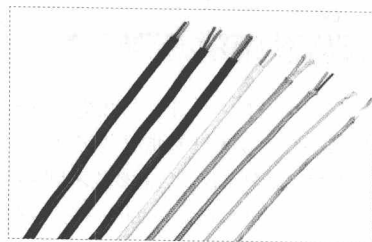
热电偶热电阻

利用热电偶组成的测温仪表，其热电势往往都是需要远传的，少则几十米，多则上千米。因此，在实际使用中，必须将现场装置中代表温度信号的热电偶冷端输出电压值（mV数）送至较远的控制室内的二次仪表供内操人员读数。

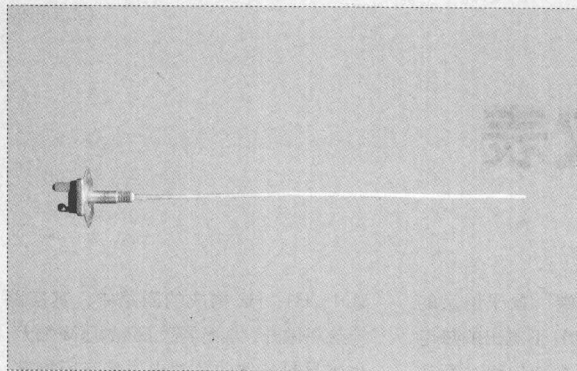
是不是可以直接用一个较长的热电偶延伸至室内呢？不可以。是不是可以用普通导线将热电偶延伸至室内呢？也不可以。为什么？因为，热电偶所用金属材料都是较为昂贵的金属，这样的代价太大，况且，由于其柔韧性远不及普通铜导线，不利于敷设安装；同样，如果用普通铜导线将热电偶冷端直接延伸至室内，由于冷端与二次仪表之间温差不能被热电偶测出，这将导致测量误差显著加大。有没有好的办法将冷端与二次仪表之

表1 常用热电偶及对应补偿导线部分参数

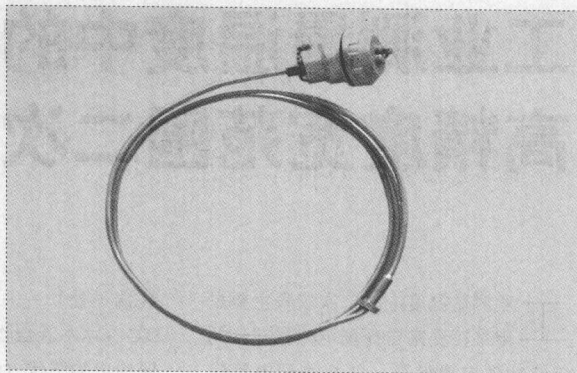
| 热电偶分度号      | S       | K         | E        | J        |
|-------------|---------|-----------|----------|----------|
| 热电偶名称       | 铂铑10—铂  | 镍铬—镍硅     | 镍铬—康铜    | 铁—康铜     |
| 热电偶测温范围（℃）  | 0—1300  | -200—1200 | -200—750 | -200—350 |
| 热电偶对应补偿导线型号 | SC      | KC        | EX       | JX       |
| 补偿导线正极线芯材料  | SPC（铜）  | KPC（铜）    | KPX（镍铬）  | JPX（铁）   |
| 补偿导线正极绝缘层颜色 | 红       | 红         | 红        | 红        |
| 补偿导线负极线芯材料  | SNC（铜镍） | KNC（康铜）   | KNX（铜镍）  | JNX（铜镍）  |
| 补偿导线负极绝缘层颜色 | 绿       | 蓝         | 棕        | 紫        |



补偿导线



热电偶

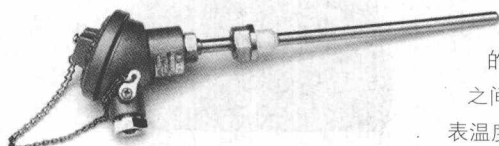


铠装热电偶

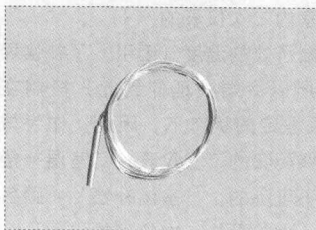
间的温差问题解决呢？

较为经典的办法就是采用补偿导线将热电偶的冷端延伸至室内。何谓“补偿导线”？也就是在一定温度范围内（0℃～100℃），其热电特性与热电偶的热电特性几乎相同（在允许的误差范围内），而其造价相对于热电偶却十分低廉。通常情况下，冷端和二次仪表之间的温差是不可能达到100℃的，通过补偿导线的引入也就很好地解决了热电偶远传所带来的测量误差问题。

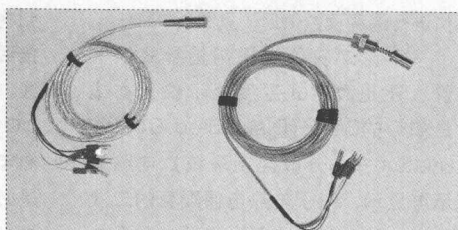
除此之外，随着微电子技术的不断发展，微型热电偶温度变送器（简称“温变”）的出现也有效地解决了这个问题。微型热偶温变可以直接安装在现场热电偶的接线盒内，并将电偶输出的毫伏（mV）信号转换为标准的4～20mADC（direct current）输出，这样就可以通过2根信号线将其送入DCS（Distributed Control System——分散控制系统）控制室。这2根线既是24VDC电源线，同时又是4～20mADC回路线。当然，热电偶温变内一定是要带有“室温补偿”电路的。



铠装热电偶



热电阻



## 热电阻温度传感器

### 1. 热电阻特点

热电阻的种类选择远不及热电偶多，工业上多用Pt100（0℃时阻值100Ω）铂热电阻作为测量元件（传感器）。按照国际电协会IEC标准规定，Pt100的测温范围是-200℃～850℃。虽然铂热电阻的测温范围不及热电偶宽，但是它精度高、易提纯，而且可以制成极细的铂丝（ $\Phi \leq 20 \mu\text{m}$ ），这些都是热电偶无法与之抗衡的。

另外，热电阻还有一个显著的有别于热电偶的信号传输特点：为了克服远距离非稳定的线路电阻（导线电阻也会随着使用环境的变化而变化，

比如，环境温度的变化，线路的长短等）给测量带来的误差，一次元件和二次仪表之间必须采用“三线制”传输代表温度的电阻信号。当然，如果在现场热电阻接线端子处加接热电阻温

度变送器，那就另当别论了。

热电阻信号的“三线制”传输为维修人员辨别现场正在使用的一次元件（带外套的铠装热电阻及热电阻常常外形相似）到底是热电偶还是热电阻提供了一种简便直观的方法。

### 2. 热电阻测温原理及使用

热电阻温度计的测量原理是基于金属导体或半导体的阻值与其所感受的温度具有一定的函数关系来实现温度测量的。函数关系式如下：

$$R_t = R_{t_0} [1 + \alpha (t - t_0)]$$

其中， $R_t$ 代表温度为 $t$ 时的电阻值， $R_{t_0}$ 代表温度为 $t_0$ 时的电阻值， $\alpha$ 为电阻温度系数——温度每升高1℃时的电阻值相对变化量。

热电阻在实际测量当中的使用同样需要遵循热电偶的一些使用方法，如，为了使正负极之间及正负极对设备之间保持良好的绝缘，需要在电阻丝上套上耐高温的绝缘瓷管……

# 工业测量温度中的 高精度宽范围二次仪表

工业测量温度中的二次仪表主要是用来接受来自现场传感器部分的传感物理电量信号，并将物理电量信号进行转换、补偿等处理后供内操人员进行温度读数使用，见图1、图2。

不论二次仪表采用指针式记录仪，还是数字式温度显示仪，亦或是如今的DCS（Distributed Control System——分散控制系统）电脑显示屏显示，对于与热电偶配套的二次仪表，其内部电路至少包括“室温补偿”电路，对于宽范围温度测量的室内仪表还要加“非线性校正”电路用以消除热电偶输出的热电势与其温度之间的非线性关系。另外，二次仪表通常都附带有“断偶”提示电路。同样，对于与热电阻配套的二次仪表，其内部电路至少包括“三线制”测量电路。

## 室温补偿电路

由于热电偶感受的温度与其对应输出毫伏（mV）数之间的关系是基于国家标准规定的将热电偶参考端（接

线端子处）——“冷端”置于恒定的0℃（冰水混合物温度）下测出的热电偶输出的毫伏（mV）数热电势；而在实际测量中，是无论如何也不可能做到将室内二次仪表的“+”、“-”接线端子处的温度（因引入了补偿导线，所以冷端被延伸到此）控制在0℃且恒定的状态下。因此，作为与热电偶配套的二次仪表，其室温补偿是必不可少的。“室温补偿”？顾名思义，也就是将二次仪表的“+”、“-”接线端子处的温度和0℃之间的未被热电偶所测量的温度加以测量补偿。

常见的室温补偿电路见图3，图中VD1为室温补偿敏感元件二极管，通过选取适当的电阻R1、R2的阻值及其配比可获得满意的补偿效果。为了尽量减小测量误差，VD1通常都是紧贴在二次仪表背面的信号输入端子处安装。补偿原理如下：

当室内温度（严格讲应该是二次仪表的“+”、“-”接线端子处温度）升高时，VD1的压降将有所下降，由

VD1、R1、R2构成的回路中，其回路电流将微升，从而导致R2的压降加大，也就是热电偶的负端电位将有所抬高，这样也就将室内二次仪表的“+”、“-”接线端子处的温度和0℃之间的未被热电偶所测量的温差电势通过室温补偿电路产生的电势串联叠加进热电偶输入回路，起到了很好的补偿效果。

另外，还有利用铜电阻作为温敏元件的室温补偿电路。比如，将图3中的VD1短接去除，将R2换成用铜漆包线双向绕制的无感电阻，通过选取适当的电阻R1、R2及其阻值配比同样可以获得满意的补偿效果。补偿原理从略。

## 断偶提示电路

断偶提示电路见图3。图中，R3为断偶提示用电阻。在电偶未断的正常情况下，取值较大的电阻R3中通过微弱的电流，经过内阻很小的热电偶及R2对“地”形成回路，R3中的电流在热电偶“+”端形成的电位几乎可以忽略不计。这里需要说明的是：实际上R3也参与了室温补偿电路，R3中的

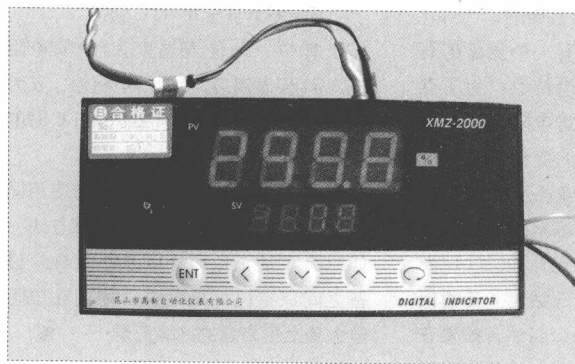


图1 数显仪

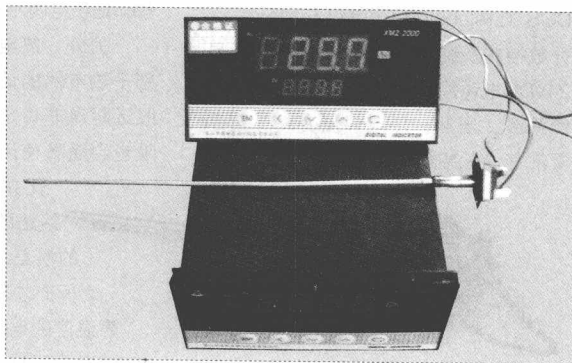


图2 热电偶测温

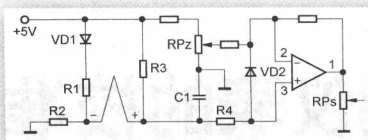


图3 室温补偿及断偶提示电路

电流在R2上也叠加了一定的压降，不过，这些都可以通过二次仪表内部的“调零”电位器RP2的调整予以抵消。

当电偶因故断开（如温度过高将电偶熔断或接线端子处接触不良）时，+5V电压将通过R3、R4加到运放的同相输入端，为了防止过高的输入电压损坏运放，在运放的输入端加有限幅二极管VD2；即使在限幅的情况下，VD2的压降也远远大于热电偶满量程输出的毫伏（mV）数，常用热电偶在最高温差下很少有上百的毫伏（mV）数。因此，断偶时二次仪表的读数必然是其自身能达到的超正常的最大刻度值，起到了很好的“断偶提示”作用。

图3中，C1为抗干扰电容，R4为运放的平衡电阻，RP3为仪器的满度调整电位器。

## 非线性校正

热电偶的温差和其所对应的热电势输出之间的关系存在一定的非线性，当需要测量的温度范围较大时，这种“非线性”引起的误差有可能超过二次仪表的精度等级（通常工业用仪表精度等级 $\geq 0.5$ 级），此时就不得不在仪表内加入非线性校正电路了。

常用的非线性校正电路有两种，简要介绍如下：

一是“折线逼近”法，将热电偶分度曲线分段用直线来代替，所分的段数直到满足仪表的精度要求为止。段数分多了，仪表电路将变得复杂；段数分少了，满足不了仪表精度。每个直线段的斜率尽管不同，但是，可以通过放大电路设置不同的放

大倍数来实现。

二是“查表”法，将代表温度数值的电偶毫伏（mV）数转换成0~5VDC进行A/D（Analog/Digital，模拟/数字）转换、锁存（比如IC AD0809），锁存输出的数字信号作为地址码访问并读取EPROM（紫外光擦除，电可编程只读存储器，如IC 2716）中存放的预先做好的“非线性”（此“非线性”数据和热电偶分度曲线的非线性正好相互“抵消”）“表格”。如果后续电路用数显表头来显示温度，比较典型的就是用IC AD7107构成的数显表头电路。那么，读取的EPROM中“非线性”数据还需通过D/A（比如IC DA0832）转换成代表温度的0~2V线性模拟信号送入AD7107。有关AD7107的使用可参考笔者1997年在《无线电》第1期的撰文——《自制简易数显温控仪》。

## 热电阻三线制测量电路原理

“三线制”测量电路是针对一次测温元件为热电阻，且需远距离传送时，与之配套的二次仪表与一次元件热电阻之间必须采用三线制信号传输方式。原因无非是：热电阻输出的信号是代表温度的电阻值物理量，与之串联的导线同样具有一定的电阻值，而且导线的电阻值是随着环境温度的变化而变化的，与其长短也不无关系。

图4是热电阻三线制测量电路原理图。在二次仪表中采用了很经典的电桥测量电路将Pt100铂热电阻的阻值通过电桥转换为不平衡电流或电压输出，供后续电路使用。

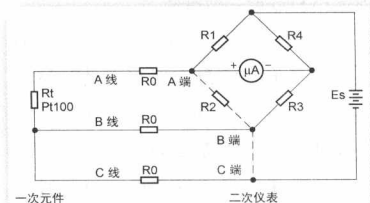


图4 热电阻三线制测量原理

图4中，如果将热电阻Pt100替代电桥中的R2接入电桥测量电路，B端和C端相连，那么就构成了典型的普通两线制测量回路。由于是远距离传输，因此，线路电阻R20往往达到5、6Ω以上，而铂热电阻的平均温度系数约为0.385Ω/℃，可想而知，这将带来达20℃左右的测量误差，而且，这个误差不是固定的，它是随着环境温度的变化而变化的——金属铜导线也是一个感温导体。这样的糟糕情况在工业温度测量中是绝对不允许出现的，否则，会带来难以预料的恶果。

既然导线电阻导致测量误差达到了不能忽略的地步，那么，就得想办法加以消除。

图4中，将热电阻Pt100替代电桥中的R2接入电桥测量电路，B端和C端不可相连，这样就构成了三线制测量回路。在热电阻三线制测量桥路中，C线连接桥源的负端构成电源回路，A线电阻R0与Pt100电阻之和充当一个桥臂，而B线电阻R0与电阻R3之和充当另一个相邻桥臂。当电桥平衡时，可以得到下式：

$$R1 \times (R3 + R0) = R4 \times (Rt + R0)$$

在电桥设计时，只要满足 $R1 = R4$ ， $R3 = Rt = 100\Omega$ （Pt100铂电阻0℃时的电阻值是100Ω），那么，此时的电桥就是平衡的，输出为0。此刻，任由线路电阻R0的阻值怎么变化，电桥总是平衡的，输出总为0。因为A线及B线电阻R0分别构成了相邻桥臂的分支对称电阻，在电桥平衡时，它们总是相互抵消的。这就是三线制测量电路可以抵消导线电阻的原理。

以上的分析是建立在电桥平衡时得出的结论，随着测量温度的变化，电桥将失去平衡，导线电阻带来的测量误差将不能完全被抵消，但即使这样，它与两线制测量电路相比，其线路电阻对测量结果的影响也已经大为减少。✕



# 温度测量仪表的校准

◎吉同根

**校准** (calibration, 过去称“校验”, 现在计量管理用“校准”)是整个仪表使用过程中的关键所在, 再好的仪器如果校准不得法, 仪器的优良性能将会丧失殆尽, 甚至酿成重大安全事故。

在谈校准之前不得不提的两个基本概念——“精度级”及“分辨率”。为何这么说呢? 因为, “精度级”与“分辨率”这两个计量术语一般人不容易搞清楚, 往往将高分辨率等同于高精度测量, 这实在是一个严重的误区!

## 精度级与分辨率

精度就是精确度, 又称准确度。精度等级就是最大引用误差值去掉“±”及“%”。国家规定的精度等级由高到低依次是: 0.02、0.05、0.1、0.2、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5。精度等级通常在仪表的铭牌框上都能找到。

测量仪表的分辨率是指测量器具对所测量物理量的最小可靠分辨能力。很显然, 对于数显表, 小数点后面保留的位数越多其分辨率越强。

说到精度级与分辨率不由得让笔者想起赫赫有名”的DS18B20, 名在哪里? 名在它的高分辨率——小数点后4位以上。这样的高分辨率很容易使常人混淆为高精度温度测量。

DS18B20是美国DALLAS半导体公司继DS1820之后最新推出的一种改进型智能温度传感器, 它是单片机爱好者的良师益友, 是一种用来制作温度传感与测量显示一体化的便携式测温仪表所用IC。初次接触DS18B20时, 笔者大为吃惊——吃惊它的高分辨率! 吃惊之余不得不提出疑问: 它的测温精度到底是几级呢? 基于测量准确度考虑, 这样的高分辨率有意义吗? 当务之急查找DS18B20说明书, 翻来覆去只看到如下“指标”: “精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 测温范围是 $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ , 固有测温分辨率为 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。”说实话, 我只看懂了测温范围这项指标, 其他的真是模棱两可。它内部的感温元件是半导体PN结, 根据经验揣摩它的精度应该是0.5级。如此一来, 可以计算出它的允许误差是:

$$\begin{aligned} \text{允许绝对误差} &= \pm \text{精度级} \% \times (\text{量程上限} - \text{量程下限}) \\ &= \pm 0.5 \% \times [125 - (-55)] \\ &= \pm 0.9^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

按照这样的允许误差, 其分辨率保留小数点后一位就够了。

对于一台1级的测量仪表, 如果有哪位朋友通过自身的努力而使其达到0.5级的标准, 这将是一个了不起的伟大壮举! 相对于精度级而言, 一台3位半数显测量仪表的分辨率, 可以轻而易举地将其提高到4位半, 甚至于5位

半的分辨率——然而, 这对于提高仪表的测量精度来说却是徒劳的!

根据《中华人民共和国计量法》及国家相关计量检定规程的规定, 仪表的测量精度级别必须是由持有相应有效证书的检定人员通过比被校表高3~10倍精度级且合格的标准表在规定的条件下校准并检定得出的。按照计量管理要求, 量值传递必须具有溯源性。

正因为对测量仪表精度级的确认有如此苛刻的要求, 才造成了不良厂商有机可乘。作为一般的使用者, 除了相信厂家说明书上提供的精度指标



过程校验仪



便携式校验仪

外（有的居然找不到这样的指标），其他的别无选择。使用者只能相信自己的一双“慧眼”——精确到小数点后好多位，那说明测量很准啊。殊不知，这双慧眼已经被高分辨率所俘虏。请看如下示例。

一台测温仪表，精度级为1级，温度测量范围是 $0^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，根据误差公式计算如下：

$$\text{允许绝对误差} = \pm \text{精度级} \% \times (\text{量程上限} - \text{量程下限})$$

$$= \pm 1\% \times (1000 - 0) = \pm 10^{\circ}\text{C}$$

上式说明，这台仪表显示的温度数值偏离真实值（标准表示值）相差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。即假如这台仪表现在显示值是 $500^{\circ}\text{C}$ ，那么，可以认为现在的实际温度是 $490^{\circ}\text{C} \sim 510^{\circ}\text{C}$ 范围内的某一点。可以肯定的是现在的实际温度就是在 $490^{\circ}\text{C} \sim 510^{\circ}\text{C}$ 范围内的某一点，但却无法肯定具体在这一范围内的哪一点。这就是仪表误差造成的结果（精度级别越高，测量误差越小）。试想，如果使用者通过各种途径将仪表的分辨率提高，让它指示为 $500.01258^{\circ}\text{C}$ ，这样的高分辨率读数有意义吗？很显然

是毫无意义的。同时，由于改动了仪表内部电路来抬高分辨率，只怕其后果是还不及原来的精度级别。

妄想通过小数点后面保留多位数的高分辨率显示仪表来提高仪表的测量精度，显然是自欺欺人，这常常是不良商家玩的一种噱头——有心术不正之嫌疑！当然，精度高的仪表，其分辨率肯定要高，但够用即可。像允许误差为 $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 的测量仪表，如果不保留小数点后一位，将会直接影响到仪表的精度。

根据精度级与允许误差的计算公式可知：在精度级无法提高的情况下，可以通过调校测量仪表，缩小其测温范围，从而使得测量仪表的误差显著减小。比如在上例中，将仪表的测温范围缩小为 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，那么，其测量误差将变为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。当然，作为一台成品仪表，其测量范围也不是可以无限制缩小的。

## 二次仪表校准

工业用分体式测温仪的校准分为一次元件的校准与二次仪表的校准，其中，对于二次仪表的校准显得尤为重要，因为其内部电路既有可调元件，又有元器件老化的问题，在使用的过程中，常常会造成误差不断加大，相比之下作为一次元件由于没有可调部件，其性能相对稳定。下面以与热电偶配套的二次仪表——数显仪为例，说明一下与校准相关的事宜。

### 1. 二次仪表数显仪校准原理

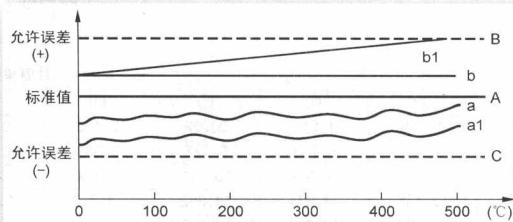


图1 被校表误差曲线图

图1是被校表误差曲线图。图中，A线为标准的零误差理想曲线，B线是正偏差界限线，C线为负偏差界限线，a线为误差曲线，b线为假设的零误差曲线。

当给定零点信号调试修正零位时，所谓的零位电位器RPz实际上是“零位迁移”电位器（见图2），它是用来实现整体位移的，就如同图1中的误差曲线a经过RPz的向上调整（零位正迁移），从而得到整体向负向平移的曲线a1。由此可见，调零位并不影响仪表的测量范围，它只是起平移作用，使整个测量范围上移或下移。

当给定满度信号调试修正满度时，所谓的满度电位器RPs实际上是测量范围“跨度”电位器（见图2），它的作用是实现整个测量范围跨度调整，就如同图1中假设的零误差曲线b经过RPs的向上调整（增加测量范围跨度），从而得到倾斜上翘的直线b1。由此可见，调满度对零位没有影响（对于零刻度非零起始的输入信号有稍微影响。如 $4 \sim 20\text{mA}$ 输入信号时，调整满度对零位有微小影响），它只是用来缩小或扩大测量范围的。

### 2. 二次仪表数显仪校准步骤

表1为仪表校准报告，各单位的仪表校准报告（过去称“校验单”）虽然不尽相同，但至少涵盖如表1中的内容。

根据表1中的内容，用检定合格的标准表“特稳便携式校验仪”（0.02级）模拟热电偶信号输入给数显仪，将仪器

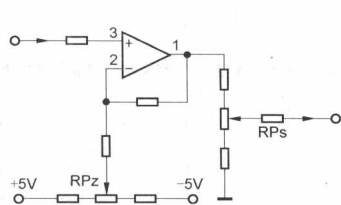


图2 零点满度调整回路

通电预热 30min, 并准备一支经过检定的水银温度计供测量室温用。房间环境应尽量恒温, 比如, 关闭门窗、风扇等。

(1) 查看仪表铭牌框, 找到精度等级是 0.5 级, 温度测量范围是 0 ~ 500℃, 所配用热电偶型号是 K 型。

(2) 根据规定 5 等分温度测量范围校准点 (见表 1), 并根据表 2 数据查表填写对应校准点标准输入毫伏 (mV) 数, 同时计算允许误差及允许变差填表。

$$\begin{aligned} \text{允许绝对误差} &= \pm \text{精度级} \% \times (\text{量程上限} - \text{量程下限}) \\ &= \pm 0.5 \% \times (20.640 - 0) = \pm 0.1032\text{mV} \end{aligned}$$

根据此公式也可计算出温度值允许误差为  $\pm 2.5^\circ\text{C}$ 。

根据变差的定义: “变差也叫回程变差。机械传动类仪表由于有可动部件, 往往会产生变差, 规定其允许变差 = |允许绝对误差|; 而对于无传动装置的电子电路类仪表则规定其允许变差 =  $1/2$  |允许绝对误差|。”可知, 允许回程变差为 0.0516mV, 对应的温度值允许变差是  $1.25^\circ\text{C}$ 。

(3) 打 (输入) 信号逐点记录原始数据。

(4) 给定零点标准信号并调整图 2 中的 RP2 校准仪表零位。注意, 因为配合热电偶测温的数显仪内部有室温补偿电路, 所以, 这里的零位信号就不是真正意义上的 “0” 了。怎么办? 对于热电偶数显仪零位的校准必须反接输入室温标准信号。比如, 标准水银温度计测得仪表背面接线端子处的室温为  $20^\circ\text{C}$ , 查表 2 得 0.798mV, 此时,

表1 仪表校准报告

| 仪表校准报告 |                                |                |            |         |            |          |          |
|--------|--------------------------------|----------------|------------|---------|------------|----------|----------|
| 被校仪表   | 使用单位                           | 泰山化工总厂苯装置      |            |         |            |          |          |
|        | 仪表名称                           | 热电偶温度数显仪       |            |         |            | 位 号      | TI058    |
|        | 测量范围                           | 0~500℃         |            | 精度等级    | 0.5        | 型 号      | SXT101   |
| 标准仪器   | 仪器名称                           | 特稳便携式校验仪       |            |         |            |          |          |
|        | 信号范围                           | 0.000~20.640mV |            | 精度等级    | 0.02       | 型 号      | JY821-K2 |
| 标准值    |                                | 被校仪表原始值        |            | 被校仪表显示值 |            | 基本误差     |          |
| 输 入    | 输 出                            | 正 向            | 反 向        | 正 向     | 反 向        | 正 向      | 反 向      |
| mV     | ℃                              | mV             | mV         | mV      | mV         | mV       | mV       |
| 0      | 0                              | 0.110          | 0.115      | 0       | 0          | 0        | 0        |
| 4.095  | 100                            | 4.200          | 4.204      | 4.090   | 4.092      | -0.005   | -0.003   |
| 8.137  | 200                            | 8.245          | 8.240      | 8.131   | 8.134      | -0.006   | -0.003   |
| 12.207 | 300                            | 12.314         | 12.314     | 12.205  | 12.203     | -0.002   | -0.004   |
| 16.395 | 400                            | 16.500         | 16.508     | 16.396  | 16.392     | -0.003   | -0.003   |
| 20.640 | 500                            | 21.650         | 21.655     | 20.640  | 20.640     | 0        | 0        |
| 最大基本误差 |                                | -0.006mV       |            | 最大回程变差  |            | 0.003mV  |          |
| 允许基本误差 |                                | ±0.1032mV      |            | 允许回程变差  |            | 0.0516mV |          |
| 校准员    | 王 某                            | 校准日期           | 2008.02.12 |         | 有效期限       |          | 结 论      |
| 检定员    | 李 某                            | 检定日期           | 2008.02.15 |         | 2009.02.15 |          |          |
| 备 注    | 一次元件, K型热电偶; 室温, 20℃; 仪表外观, 良好 |                |            |         |            |          |          |

我们必须输入 - 0.798mV 给被校表 (反接输入信号), 然后细调 RP2 使仪表归零。同样, 在校准其他各点时, 都应用标准信号毫伏 (mV) 数减去 0.798mV, 包括原始数据的记录。

(5) 给定满度标准信号并调整图 2 中的 RP3 校准仪表满度 (俗称 “量程”, 有些不妥, 称 “量程上限” 确切些)。

(6) 反复调整零点及满度 2 ~ 3 次, 并综合考虑其他各点的误差, 直至合格。

(7) 校表并计算基本误差填表。例如, 计算  $300^\circ\text{C}$  点正向基本误差如下:

$$\begin{aligned} \text{绝对误差 (基本误差)} &= \text{测量值 (被校表示值)} - \text{标准值} \\ &= 12.205 - 12.207 = -0.002\text{mV} \end{aligned}$$

根据比例关系同样可以计算出此点的温度数值误差:

$$\begin{aligned} \therefore \frac{\text{温度测量范围}}{\text{对应mV数测量范围}} &= \frac{-\text{温度误差}}{\text{对应mV数误差}} \\ \therefore \text{温度误差} &= -\frac{(500-0) \times (-0.002)}{20.640-0} \end{aligned}$$

$\approx 0.048^\circ\text{C}$

注意: 温度误差和对应毫伏 (mV) 数误差是反相的, 因为在固定温度不变的情况下, 如果 mV 数偏差是负数, 那么, 在固定 mV 数不变的情况下, 温度偏差必然是正数。

这里的  $0.048^\circ\text{C}$  代表着仪表显示的温度值比标准温度值偏高  $0.048^\circ\text{C}$ , 也就是在  $300^\circ\text{C}$  这个温度测量点上, 仪表显示的是  $300^\circ\text{C}$ , 而实际上应该是  $299.952^\circ\text{C}$ 。这是不是和前述的 “精度级与分辨率” 中的内容相矛盾呢? 其实不然。这里的  $299.952^\circ\text{C}$  之所以能被读出来, 是因为有 0.02 级的标准表缘故, 是用高精度标准表读出来的。如果离开了标准表, 我们根本不可能知道它的真实温度就是  $299.952^\circ\text{C}$ , 而只能知道它的真实温度是在  $300 \pm 2.5^\circ\text{C}$  范围内。

校准中的两点说明:

(1) 校准分为 “调” 和 “校”, 先调后校。“调” 是指输入校准点标准信

表2 镍铬-镍硅 (K) 热电偶分度表部分数值

| ℃   | 0      | 10     | 20     | 30     | 40     | 50     | 60     | 70     | 80     | 90     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0   | 0.000  | 0.397  | 0.798  | 1.203  | 1.611  | 2.022  | 2.436  | 2.850  | 3.266  | 3.681  |
| 100 | 4.095  | 4.508  | 4.919  | 5.327  | 5.733  | 6.137  | 6.539  | 6.939  | 7.338  | 7.737  |
| 200 | 8.137  | 8.537  | 8.938  | 9.341  | 9.745  | 10.151 | 10.560 | 10.969 | 11.381 | 11.793 |
| 300 | 12.207 | 12.623 | 13.039 | 13.456 | 13.874 | 14.292 | 14.712 | 15.132 | 15.552 | 15.974 |
| 400 | 16.395 | 16.818 | 17.241 | 17.664 | 18.088 | 18.513 | 18.938 | 19.363 | 19.788 | 20.214 |
| 500 | 20.640 | 21.066 | 21.493 | 21.919 | 22.346 | 22.772 | 23.198 | 23.624 | 24.050 | 24.476 |

数值单位: mV 参考端 (冷端) 温度:  $0^\circ\text{C}$