



# 基于在线校准的 高精度温度测量系统

凌飞翼 (0 不是 1) 2011-8-28

## 1. 关于精度与校准

对数控机床而言，一般是精度最低的机械装置决定机床的加工精度，象丝杠磨损后产生的间隙，会导致机床的加工精度下降。

如果我们已经测得了间隙数据，通过设置间隙补偿数据，可以减少因间隙导致的加工精度下降，提高机床加工精度。

同样的道理在仪表检测系统中是否也有效呢？

答案也是显而易见的，只要我们能够准确获得误差数据，就可以对测量值进行修正，从而提高测量精度。

事实上有许多智能仪表为了提高测量准确度，大都包含了非线性修正，如测厚仪、湿度仪，热电偶温度计也常用查表法进行非线性校正。

也还有线性不佳的同时重复性也很差的现象，例如速度类仪表，靠近零的时候，误差极大，因此这类仪表会给出保证精度的量程区间。

## 2. 一般应用——工业测量

无论在工业控制还是产品性能测试中，常常遇到各种各样的物理量需要进行测量、处理。是不是用高精度的传感器、变送器、AD 转换器等，就能实现高精度测量了？

答案是：不一定。因为获得一个准确的测量值，还与电缆质量、安装质量、以及工作电源是否稳定、周围电磁干扰程度有关。

如果说一个未经现场标定的系统，最终的测量精度到底能保证多少呢？

对于将传感器、仪表分别送检的校准做法，必须对每个环节进行精度控制，才会保证构成系统后的理论精度。

如何选择各个单元的精度呢？

一个系统的精度与所选设备的精度都有关系，并且具有“挡板”效应，也就是说，是精度最低的那个设备决定你系统的精度！所以，各设备的精度等级要相匹配，否则就是浪费了。一般



工业控制百分之几的精度已经足够。多选 B 级精度的传感器和 0.5%到 1%的变送器。

### 3. 标准的高要求

常用的温度传感器

级 别：1/3DIN B（指标优于 A 级）

零度时阻值误差 %:±0.04

温度误差 °C:  $\pm(0.10+0.0017t)$

温度系数 TCR 误差  $\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ :  $0.003851\pm0.000004$

隔离变送器参数:

输出电流: 4~20mA

线 性 度: 0.1% FS

误 差: 0.2%FS

这样的传感器、变送器的精度，温度跳变 0.2°C是正常的，精度已经很高了。

然而制冷行业国家标准规定精度不低于 0.1°C。所以在 S7-200 组成的系统中，不能选择分辨率只有 0.1 的温度模块，只能用变送器+电压（电流）输入的模拟量模块实现测量。即便如此也不能满足标准要求，因为理论误差最高 0.2°C也是超差的。

有没有办法提高测量精度呢？

答案是：有，用现场校准的方式对测量系统进行误差修正。

### 4. 现场校准-对整个测量回路的评判

鉴于标准的高要求，制冷行业的测量装置逐渐推广了测量参数的在线校准，就是把整个系统的传感器、变送器、包括数据处理在内，作出一个综合考评。

校准方法一般用恒温槽（恒温炉）和二等铂电阻测温仪作为比对标准。

温度在线校准点，一般应包括零点，量程上限、量程下限，以及包括量程 50%在内不少于 5 点。校准读数在满足 0.01°C/6min（即 6min 内温度变化不大于 0.01°C）时读取。

### 5. 高精度测温

理论上讲，传感器的精度决定了系统的最高精度，但是如果我们不把传感器当做一个测量单元对待，而只把它作为整个系统的一个关键件呢。毕竟在测量回路中传感器是最容易损坏的



部件。我们希望用稳定性、重复性足够的传感器、变送器（高稳定性、高精度）和分辨率足够的模拟量输入模块（高稳定性、高精度）实现更准确的测量。

传感器的指标-----线性度、灵敏度、迟滞和回复特性。基于在线校准的系统，不需要考虑传感器的互换性，有良好的稳定性、重复性，就足够了。

遵循以下原则：选择尽可能小的量程区间；合适精度的传感器、变送器；合理的误差修正软件。就可以通过在线校准构建高精度的测量系统。

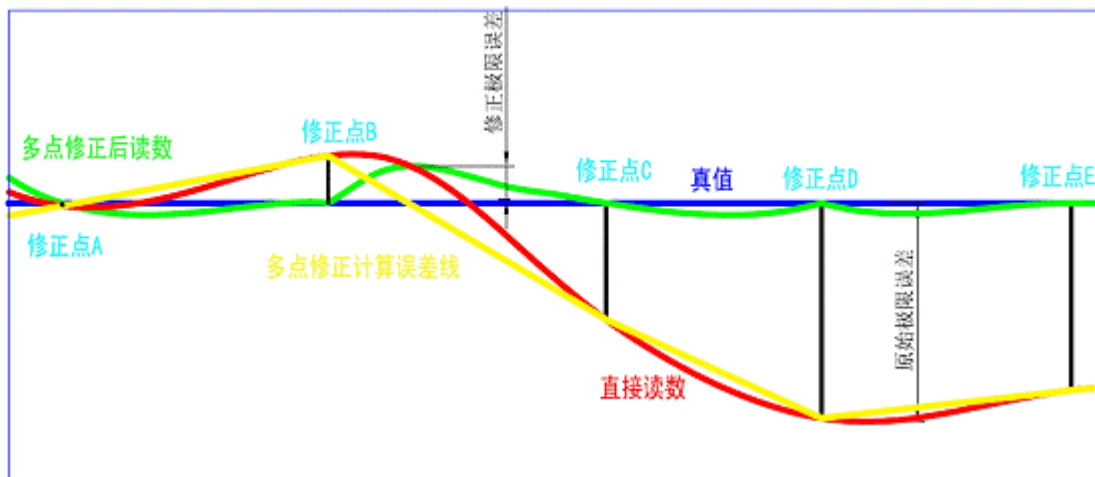
误差具有稳定的再现特性，就能够通过软件计算的方法进行修正。而系统测量的线性度误差，用“智能多点误差修正法”实现对测量值的分段修正（即多段线性插值法），让测量误差更加接近真值。

### 6. 智能多点误差修正

多点修正是基于假设两修正点间误差为线性分布，修正后读数视为直接读数平移并以误差修正曲线与真值夹角旋转后的结果。由于采用多段线性修正，可以很好地对直接读数的非线性误差进行修正，修正后的极限误差更小。

采用 5 点智能修正技术，通过合理选择各修正点（比如用 5 个修正点尽可能小的包容常用的测量范围），就可以通过 B 级精度的传感器（前提是具有良好的重复性、稳定性）获得比常规手段下 A 级精度传感器更加准确的测量结果。

所谓智能 5 点修正，是指软件对误差修正数据进行智能化处理，可以使用从 0~5 点的修正数据，根据有效修正点数量，自动采用不同的修正算法。对于输入数据，也不要求在输入时排序，只要“修正点”与该点的“误差”对应准确即可。对于两个“修正点”相同而“误差”不同的数据，自动合并该点，“误差”取两个不同“误差”的算术平均值。





## 7. 智能多点误差修正的应用

- a) 由于这种方式与特定点关系密切，您如何确定修正点 ABCD 的？

根据测量常用区域确定，例如测量区间在  $5^{\circ}\text{C}$  -  $45^{\circ}\text{C}$  之间，可以定  $A=5$ 、 $B=15$ 、 $C=25$ 、 $D=35$ 、 $E=45$ 。

- b) 如何用高等级的传感器修正？

用符合计量溯源等级及时效要求的仪表进行在线校准。至少进行两次校准：先是比对获得误差数据、输入误差数据，再进行修正后校准并记录存档。

- c) 更换传感器以后，要做哪些工作？

这是一个通用系统，可移植性很强，更换传感器后需要修改“量程、误差数据”。误差数据录入是通过上位机组态软件完成的。无需修改软件，但必须获得授权。

不更换传感器，也需要在计量周期到达时再次进行校准。如果传感器有变更或者有维修，必须再次进行校准。

## 8. 调节精度因准确测量而提高

以往在 PLC 的 PID 调节回路，多用 AIW 直接作为 PV 值输入。由于我们对测量信号进行了智能多点修正，PID 调节的反馈信号不再直接用 AIW，而是用经校准修正后数据，根据使用区间进行规格化（设定值需要和反馈值的使用区间相等--相当于量程上下限）。

以往的控制回路，因为没有中值滤波，些许干扰都可能造成 PID 输出的波动，造成调节阀的抖动，中值滤波库可以消除 AIW 的大部分脉冲干扰，同时又保证了测量精度。经过滤的信号再做 PID 运算，明显减少了波动、延长了调节阀寿命。

PID 调节案例：

- 湿球温度：设定值  $17.0^{\circ}\text{C}$ ，波动下限  $16.86^{\circ}\text{C}$ ，上限  $17.21^{\circ}\text{C}$ （标准要求  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）。
- 干球温度：设定值  $23.0^{\circ}\text{C}$ ，波动下限  $22.94^{\circ}\text{C}$ ，上限  $23.03^{\circ}\text{C}$ （标准要求  $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ ）。
- 出风静压：设定值  $20\text{Pa}$ ，波动下限  $19.81\text{Pa}$ ，上限  $20.48\text{Pa}$ （标准要求  $\pm 2.54\text{Pa}$ ）。

## 9. 题外话

- a) 学而不思则罔，思而不学则殆---工控人切记：实践是检验真理的唯一标准！
- b) “异想天开”永远是探索发现的原动力。



- c) 有的“事实”用自己掌握的“理论”知识解释不通，不是“事实没有道理”，是我们还“未知”，或者其中的道理暂时还没有“悟出”。
- d) 更多的理论是总结出来的，先是发现了事物本身有规律的重复，然后再通过大量实验，验证重复的条件，继而总结规律，提升到理论。

## 10. 特别感谢

特别感谢西门子技术论坛的网友，感谢您支持、感谢您反对、感谢您喝倒彩、感谢您提供素材和新视角，至少我要感谢您的关注。

以跟帖先后为序

鹅卵石--侠圣	yanxiao--奇侠	VOLLMER--侠士
合--总坛主	Zane--至圣	bulesoft--侠客
Iranbing--奇侠	kinkin--侠圣	鼠老爹--侠圣
寒音--侠圣	万泉河--奇侠	伊默--侠圣
永远的巴乔--侠士	翼飞凌 (Laohuai) --侠圣	依然---侠圣
凌波微步--侠圣	老兵--奇侠	