

自动控温系统中热电偶测温精度分析

摘要

本文应用误差理论，分析了各种测温误差产生的原因，误差值的计算方法，以及减小测温误差的途径。

前言

热电偶是依靠热介质将热量传给它的热端，根据赛贝克（Seebeck）效应产生的热电势大小来判断温度高低的。热介质向热端传热的前提是必须有温差的存在。因此测得的温度并不是实际的热介质温度，即存在着测温误差。如果再考虑到测温系统各组成部分的误差，测温的动态误差，气流及热交换引起的误差等项的影响，实际的测温误差可达 $30^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，甚至可能超过 100°C ，对产品的质量和数量的影响是很大的。

机械厂的锻造加热炉、热处理炉，工业用窑炉及化工反应釜等都需控制温度（ 600°C 以上），有的还要严格控制温度（测温允差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ ），因此提高热电偶测温精度是十分必要的。例如某些合金钢的始锻温度不准，会使锻件在锻造时开裂或锻造温度范围过窄，增加了火次和烧损。热处理温度控制不准，影响金属内部的组织结构和机械性能。窑炉控温不准，影响烧制件质量。化学反应控温不准，会有危险。

当前采用的自动控温系统，可以消除某些测温误差，却不能基本上消除测温误差。因为测温系统中各部件选择、安装不合理，热工参数选择不当，没有采取减小测温误差的适当措施，依然会产生较大的测温误差。

本文应用误差理论，综合分析了热电偶测温时各种测温误差产生的原因、减少测温误差应采取的措施。

测温系统各部件产生的测温误差

1. 热电偶材料不均引起的测温误差

用退火法不能完全消除。慈孝误差虽属系统误差，但其大小无法估计，一般并入热电偶分度误差中考虑。

2. 热电偶的分度误差

热电偶的热电特性与统一分度表的差值，常给定极限范围。例如铂铑——铂热电偶测温超过 600°C 时，允许误差范围为被测温度的 $\pm 0.5\%$ （超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）。此项误差属系统误差，定期对热电偶进行校验，可仅考虑校验误差。

3. 补偿导线与热偶丝热电特性不同引起的测温误差
误差值较小，可以忽略。例如铂铑——铂热电偶的冷端低于 100°C 时，误差值仅为 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 。
4. 热电偶安装位置引起的测温误差
当温度梯度较大时，热电偶的热端应准确地位于待测温度点。否则将引起较大的测温误差。
5. 冷端温度 t_0 的补偿误差
采用机械零点调节法时，需将机械零点调至 $E(t_0, 0)$ 处，这里既包含了 t_0 的测试误差，仪表调整及示值误差，还有 t_0 不断变化引起的误差。这个误差值较大而且计算麻烦。
采用冷端恒温（但 $t_0 \neq 0$ ）补偿或电桥补偿时，存在着冷端温度变化范围内的非线性误差。采用控温系统，此项误差可基本消除。
6. 显示仪表的示值误差
由显示仪表的精度确定。
7. 线路电阻值引起的误差
动圈式仪表对外接总电阻值有严格的要求，当 $R_{\text{线}}$ 值有偏差或随时间变化时，会引起测温误差。
8. 自动控温系统各元件的输出误差及反馈时间之后引起的误差

以上各项误差是相互独立的，其中 1 至 4 项为未定系统误差，宜用绝对和法合成。5 至 8 项为随机误差，应按独立随机误差求和公式合成。

动态测温误差

由于热电偶是一个时间常数为 τ 的一阶测试系统。当被测温度变化时，热电偶及其显示仪表因热惯性和机械惯性来不及立即显示变化了的温度，产生动态测温误差，包括在测量恒温阶段、等速升温阶段、自动控温阶段三个阶段的误差。

欲减小动态测温误差，必须减小热电偶的时间常数 τ 。工业用热电偶 $\tau=30\sim 60$ 秒，故经过 2~5 分钟后才能近似地反映稳态温度。

欲减小 τ 值，常用的办法有：

- 1 选用导热系数大的热偶丝材料（热阻小）。
- 2 减小热偶丝体积（热容小）。
- 3 增加热气流的速度。

热气流产生的测温误差

燃煤（油）炉的炉膛、烟道、烟囱内有热气流流过，化工反应管道中也有热气（液）体流过。这时，运动中热介质总能量定于分子无规则运动的平均动能 $Q_{\text{静}}$ 与规则运动的动能 $Q_{\text{动}}$ 之和。测量气流速度较高的总温时，要求使用稳定的具有较高恢复系数的热电偶，高精度测温时应对热电偶逐个进行恢复系数 γ 值得检定。

热交换产生的测温误差

热电偶感受到的温度减去实际测得的温度即为测温误差，该误差的原因是存在着热传导、对流换热及热辐射等项损失。

一、欲减小因热传导引起的测温误差应采取以下措施：

- 1 将露在炉壁外的热电偶端部保温隔热，减小端部向大气散热。
- 2 热电偶应尽可能多地插入炉膛内。
- 3 采用外径小的热偶丝。
- 4 当测烟道内温度时，热电偶热端应尽量位于烟道中心线上，这时热气流与热电偶之间放热系数最大
- 5 热偶丝的导热系数值尽量取小一些，可以减小测温误差

二、欲减小对流换热产生的测温误差，可采取如下措施：

- 1 增大气流速度，可采用抽气热电偶。
- 2 采用直径小且裸露的热电偶。
- 3 减小气体压力。

三、欲减小由热辐射损失引起的测温误差，可采取如下措施：

- 1 在热电偶外面加装（2~3）层隔离罩，使热端与内罩内壁的温差很小，几乎没有辐射损失。而外罩外壁与炉膛内壁的辐射热交换，对测温没有影响。
- 2 选用表面全辐射温度系数较小的保护套，如耐热合金钢，减小热电偶表面的全辐射。
- 3 炉膛外壁加保温材料以增大炉内壁温度。
- 4 用零直径外推法求炉温。
- 5 双热电偶法测炉温。
- 6 增加对流换热系数。

推荐

综上所述，部分测量误差是不可避免的，辉达工控 XMB 系列仪表均为万能分度号输入，其中热电偶输入可测 B 型、R 型、S 型、N 型、K 型、E 型、J 型、T 型、Wre 型和辐射高温计 F1 型、F2 型，各分度号的测量精度均达到 0.5%，测温误差小精度高，能满足不同客户不同温度段的控温需求。

**武汉辉达工控技术有限公司**

热处理自动化一站式解决方案提供商

电话: 027-83537266

传真: 027-83592799 / 83592766-802

网址: www.rclgz.com

地址: 武汉市硚口区古田二路汇丰企业总部 1 号楼 A 座 601