

防护热板法导热仪升级改造——计量单元 电功率和护热温度的超高精度PID控制

Upgrading and Retrofitting of Thermal Conductivity Meter by Protective Hot Plate Method——Ultra-high-precision PID Control of Electric Power and Protective Heat Temperature of Metering Unit

摘要：本文针对客户提出改进保护热板法导热仪测量精度和测试规范性的要求，给出了防护热板法导热仪升级改造技术方案。升级改造方案主要包括三方面的内容，一是采用超高精度双通道PID控制器分别用于控制计量单元和护热单元温度，二是计量单元和护热单元温度控制采用无超调PID控制，三是采用多只热电偶构成的高灵敏度温差热电堆。通过此升级改造，可大幅度提高保护热板法导热仪的测量精度和测试规范性。

一、背景介绍

在低导热隔热材料的导热系数测试中，最常用的测试方法是稳态保护热板法。目前在市场上依据保护热板法的导热仪非常普遍，但国产导热仪普遍存在测量精度差和导热仪制作不规范的问题。最近有客户提出对已购置的国产防护热板法导热仪进行技术升级，以提高测量精度和规范化操作水平，具体技术要求如下：

(1) 样品热面温度要求以10的整数倍温度进行精确控制，配合相应的样品冷面温度控制，使得样品厚度方向上的温差可准确恒定控制在10、20和30℃的其中一个数值上。由此保证样品导热系数测试边界条件的一致性。

(2) 护热单元（侧向护热单元和底部护热单元）对计量单元的温度跟踪，要求采用标准测试方法GB/T 10294中规定的温差热电堆，温差热电堆至少由五对以上的热电偶组成，由此保证将计量单元的漏热降低到最低限度。

本文将针对上述客户要求，提出防护热板法导热仪升级改造技术方案。

二、升级改造方案

升级改造方案主要包括以下三方面的内容。

2.1 超高精度双通道PID控制器

为了实现既要满足计量单元电加热功率和温度高精度控制要求，又要实现PID控制、运行操作简单化和具有较低的制作成本。我们提出了的升级方案是采用超高精度的双通道PID控制器代替目前所用的普通PID控制器（调节器）。这种新型PID控制器具有以下特点：

- (1) PID调节器的模数转换（A/D）直接升级到24位，大幅提高采集精度。
- (2) PID调节器的数模转换（D/A）精度升级到16位，大幅提高控制输出精度。

(3) 采用双精度浮点运算提高计算精度，并将最小输出百分比降低到0.01%，充分发挥数模转换的16位精度。

(4) 独立的超高精度双通道控制功能，可分别用于计量单元和护热单元的温度控制。

2.2 无超调PID 控制方法

在防护热板法导热仪中，所测材料一般为低导热系数的隔热材料，在计量单元的温度控制中一旦产生温度振荡或超调，如图1所示，则需要很长时间才能恢复到设定温度点。因此，在升级改造方案中，计量单元和护热单元的温度控制都采用了无超调的PID控制方法，由此可减少不必要的控温时间。

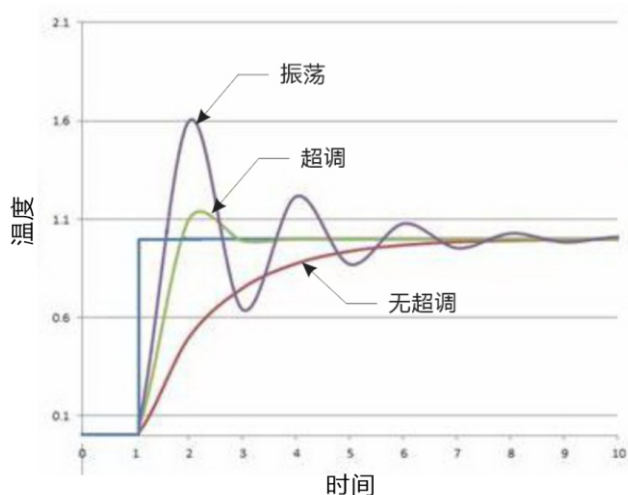


图1 无超调PID控制示意图

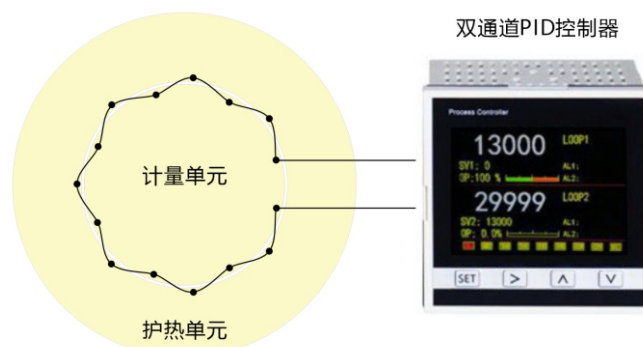


图2 温差热电偶布局示意图

2.3 高灵敏度温差热电堆

按照标准测试方法GB/T 10294中的规定，如图2所示，在计量单元和护热单元之间的狭缝两侧布置直径小于0.1mm的热电偶组成的温差热电堆。

为了提高护热单元温度对计量单元的温度一致性，温差热电堆至少由五对热电偶组成以高分辨率的检测护热单元与计量单元之间的温差。热电堆的温差输出信号作为超高精度PID控制器第二通道的采集信号。

由此，通过高灵敏温差热电堆和PID控制器的超高精度电压信号检测能力和温度控制能力，可大幅度减小计量单元的漏热，从而提高导热系数测量准确性。

三、总结

通过上述升级改造技术方案，可完全实现用户提出的技术改进要求，在保证计量单元温度和样品冷热面温差为任意设定值的前提下，可大幅减少护热温度不一致所引起的热损失，有效提高导热系数测量精度。同时所采用的无超调PID控制方法可有效缩短测试时间。