



热处理炉有效加热区测量系统精度分析

东北大学 (辽宁沈阳 110004) 王魁汉 吴玉锋

随着科学技术的发展,自动化水平在不断提高,热处理行业对测温精度的要求越来越高,尤其是“热处理炉有效加热区测定方法”中,对Ⅰ类炉的保温精度高达 $\pm 3^\circ\text{C}$ 。为了确保温度量值的准确可靠,对新制或使用中的热电偶进行定期或不定期检定是十分必要的。当前,国内仅有热电偶、补偿导线及仪表各自的检定规程,但是,没有热电偶高温计等测温系统的检定规程。因此,对于测温系统的检定,只能采用分立元件法,即对构成测温系统的元件及仪表分别进行检定。此种检定方法是离线的,而且,不能对测温系统进行在线整体检定。对于广泛应用的各种热电偶数字温度计的检定,尚无国家标准。因此,本文将热处理行业用热电偶测温精度进行分析,并提供相应的解决办法。

一、测温系统的分立元件检定法

关于测温系统的检定方法,目前有如下2种方式:分立元件检定法与整体校准法。

依据国家标准,对热电偶的检定,应在计量室进行。因此,使用中热电偶必须从安装位置上取下来,送计量部门检定。有关热电偶的检定周期,一般为半年,在特殊情况下,可依据使用条件确定。这种离线式检定方法存在如下问题。

1. 分立元件检定法存在的问题

经计量室检定合格的产品,在现场使用条件下通常是合格的,但是在有些场合下检定合格的产品,在现场使用条件下却不合格。这种现象鲜为人知,未引起人们重视,其影响因素如下。

(1) 热电偶丝不均质影响 ①热电偶材质本身不均质:热电偶在计量室检定时,按规程要求,插入检定炉内的深度只有300mm。因此每支热电偶的检定结果,确切的说只能体现或主要体现出从测量端开始300mm长偶丝的热电行为,然而,当热电偶的长度较长,使用时大部分偶丝处于高温区,如果热电偶丝是均质的,那依据均质回路定则,测

量结果与长度无关。可是,热电偶丝并非均质,尤其是廉金属热电偶丝其均质性较差,如果热电偶丝不均质又处于具有温度梯度的场合,那么其局部将产生热电动势,该电动势称为寄生电势,由寄生电势引起的误差称为不均质误差。②热电偶丝经使用后产生的不均质:对于新制的热电偶,即使是均质的,经反复加工、弯曲致使热电偶产生加工畸变,也将失去均质性,而且使用中热电偶长期处于高温下也会因偶丝的劣化而引起热电动势变化,例如:插入工业炉中的热电偶,将沿偶丝长度方向发生劣化,并随温度增高,劣化增强,当劣化的部分处于具有温度梯度的场所,也将产生寄生电动势叠加在总热电动势中而出现测量误差。

(2) 铠装热电偶的分流误差 ①分流误差:所谓分流误差即用铠装热电偶测量炉温时,当热电偶中间部位的温度有超过 800°C 的温度分布存在时,因其绝缘电阻下降,热电偶示值出现异常的现象,称为分流误差。依据均质回路定则,用热电偶测温只与测量端与参考端两端温度有关,与中间温度分布无关。可是由于铠装热电偶的绝缘物是粉末状 MgO ,温度每升高 100°C ,其绝缘电阻下降一个数量级,当中间部位温度较高时,必定有漏电流产生,致使热电偶产生分流误差。②分流误差产生的条件:将铠装热电偶水平插入炉内,其规格及试验条件为:直径4.8mm,长度为25m,中间部位加热带的长度为20m,温度为 1000°C 。在本次试验中,热电偶的测量端与中间部位的温差为 200°C 。如果测量端温度高于中间部位,则产生负误差;相反,则产生正误差。如果两者的温差为 200°C ,那么,分流误差约为 100°C 。这是绝对不能忽视的,分流误差的产生条件与铠装热电偶种类和直径等因素有关(见下表)。

铠装热电偶产生分流误差的条件

影响因素	条 件
铠装热电偶的直径	直径越细,越容易产生误差
中间部位的温度	中间部位的温度超过 800°C ,容易产生分流误差



(续)

影响因素	条 件
中间部位加热带长度	中间部位加热带长度越长, 越容易产生分流误差
中间部位加热带位置	中间部位加热带位置距测量端越远, 越容易产生分流误差
绝缘电阻	绝缘电阻越低, 越容易产生分流误差
热电偶丝电阻	①K型与S型相比, K型热电偶丝电阻比S型电阻大, 故更容易产生分流误差 ②外径相同的铠装热电偶, 热电偶丝越细, 越容易产生分流误差

2. 结论

由上述讨论可以看出, 分立元件检定法有诸多弊端, 本来检定合格的产品, 在使用中却有可能不合格, 因此, 建议最好采用整体校准法。

二、测温系统整体校准法

以热电偶为传感器的测温系统的检定, 按照现行标准, 只能采用分立元件法。由误差理论可知, 这三者检定都合格, 组合起来并不一定合格。因此, 很久以前作者就曾呼吁推广整体校准法。即在计量室对其测温系统进行检定, 求出整个系统的测量误差, 而且最好能现场校准。为此必须提供标准器, 即要有相对准确的现场校验仪, 同被测系统用现场实际使用的工业炉作为比较热源, 进行校准。因此, 首先要有相对标准的热电偶高温计。该温度计事先要经过计量部门检定, 提供校准证书, 用这种带有校准证书的温度计, 就可以对被测系统进行现场校准, 可是目前我国尚无标准, 因此, 作者已向国家技术监督部门建议起草有关数字温度计的检定规程。

1. 现场校准仪的研制

目前市场上广泛流行的数字温度计精度低, 不能用作现场校准仪。作为校准系统, 不仅准确度要高, 而且其准确度应经过国家质量监督部门校准, 并带有校准证书。

(1) 工作用现场校准系统的开发 便携式测温仪是由特种热电偶保护管、铠装热电偶(K型)、测温枪及数字显示仪组成, 其特点是: 使用寿命长, 准确度高。作者通过对其元件及仪表进行精选, 以达到最佳组合。①选取Ⅰ级K型铠装热电偶, 并尽可能接近标准值。②选取精密级延伸型补偿导线。③选取高精度数显仪表, 在0~1300℃内

达0.2级。

精选后组合的测温仪经过辽宁省、沈阳市计量部门校准, 结果表明便携式测温仪的准确度均在0.4级以内, 而且, 绝大部分达到0.2级。用作现场校准仪是可行的。

(2) 工作用现场校准仪的应用 自2002年起作者开发的近30台测温仪已经在石家庄热处理研究所、大连施福圣洁公司、大连威海石油公司等十几家企业应用。基本上能满足现场校验要求, 其用户在与日俱增。

2. 分立元件检定与整体校准法的比较

(1) 分立元件检定 对于测温系统的检定, 通常采用分立元件检定法, 即分别对热电偶、补偿导线及仪表进行检定, 测温系统的误差为:

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}$$

式中 Δ_1 ——为热电偶的极限误差

Δ_2 ——为补偿导线的极限误差

Δ_3 ——为仪表的极限误差

如果采用K型热电偶, 精度为Ⅱ级, 取温度点为1000℃, 误差为7.5℃; 对于K型热电偶补偿导线为B级, 其误差为±2.5℃; 记录仪与数显仪表的精度为0.5级, 在1000下误差为±5℃。将上述各误差代入(1)式:

$$\Delta \varepsilon = \pm \sqrt{7.5^2 + 2.5^2 + 5^2} \text{℃} = \pm \sqrt{87.5} \text{℃} = \pm 9.35 \text{℃}$$

综上所述, 如采用分立元件法检定热处理行业用测温系统的误差约为±9.35℃, 无法满足工艺要求。有的工厂购入的热电偶不检定就直接使用, 分散性更大, 所测数据不可靠。不能用于指导生产。

(2) 整体校准法 ①校准精度高: 作者开发的便携式测温仪, 其整体校准精度在0.4级以内, 大部分能达到0.2级。由此可以看出整体校准法远远优于分立元件检定法。依据误差理论, 只有采用作者研制的现场校验仪, 才有可能满足Ⅱ类热处理炉有效加热精度为±5℃的要求。因此, 该种测温仪颇受用户欢迎。②按用户要求校准特定的温度点, 可进一步提高校准精度。③整体校准的系统误差可以修正。

三、结语

通过对热处理炉有效加热区测量系统精度分析证明, 现行的测温系统尚不能满足工艺要求, 建议采用整体检定或现场校准法以提高测温系统精度, 更好地满足热处理行业对测温精度的要求。

(20030828)