

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.04.15

# 浅析 NADCAP 认证中热电偶的技术要求

马青松

(中航工业新航 116 厂 质量管理部, 河南 新乡, 453019)

**摘要:** AMS2750 标准规定了热处理过程热加工设备的高温测量要求, 它包括温度传感器(一般指热电偶)、仪器、热加工设备、系统精度测试和温度均匀型测试五个部分。而热电偶技术要求是高温测量的最重要的内容, 本文就热电偶的技术要求对 NADCAP 认证过程中以及日常使用维护中容易存在和忽视的问题进行了剖析。

**关键词:** NADCAP; AMS2750E; 高温测量; 热电偶

**中图分类号:** TB942

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5795(2016)04-0055-04

## A Brief Analysis of Technical Requirement Thermocouple in NADCAP Accreditation

MA Qingsong

(Quality Management Department of No. 116 Factory in AVIC, Xinhang 453019, China)

**Abstract:** AMS2750 covers pyrometry requirements for thermal processing equipment used for heat treatment. It covers temperature sensor (commonly thermocouple), instrumentation, thermal processing equipment, system accuracy tests and temperature uniformity surveys. Thermocouple application plays most important role in pyrometry. analyses the problems familiar and neglected thermocouple in NADCAP accreditation and in daily use and maintenance.

**Key words:** NADCAP; AMS2750E; pyrometry; thermocouple

## 0 引言

AMS2750(航空材料型能)标准是 SAE(汽车工程师协会)在 1980 年发布实施的。随着时间和技术的发展, 该协会在 2012 年发布推出了 AMS2750E 标准。在 NADCAP(国家航空和国防承包商认证)的构架下, 航空设备制造商目的是提高技术和质量, 要求承包商(转承包商)获得 NADCAP 认证。NADCAP 认证是国际公认的航空特殊供方认证的市场准入条件, 所以只有通过 NADCAP 认证, 才能取得国际航空生产制造供方的资格。NADCAP 特殊认证项目包括无损探伤、焊接、EDM、化学处理、热处理等。AMS2750E 高温测量工作是热处理认证中的非常重要的、也是最难的部分。

## 1 热电偶原理及分类

热电偶就是两种不同成份的导体, 两端经焊接, 形成回路, 直接测量端叫测量端(热端), 接线端子端叫参考端(冷端), 当热端和冷端存在温差时, 就会在

回路里产生热电流, 接上显示仪表, 仪表上就会指示所产生的热电动势的对应温度值, 电动势随温度升高而增长。

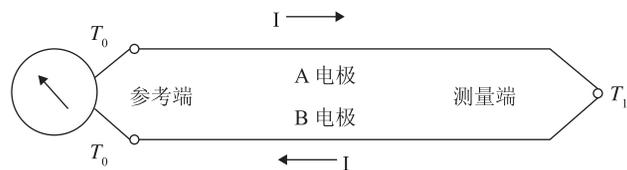


图 1 热电偶工作原理图

按照 AMS2750E 标准, 热电偶(本文中的热电偶都是按 AMS2750E 的要求)根据构成材料可以分为廉金属热电偶(包括 E、J、K、N 和 T 型热电偶)和贵金属热电偶(包括 R、S、B 型); 根据热电偶绝缘和保护层材料不同, 可以分为易耗型和非易耗型两种。

易耗型热电偶是用纤维或塑胶包覆的线制成的热电偶, 通常成卷或缠绕提供, 绝缘物通常由玻璃织物组成, 或是由每个导体上的陶瓷纤维布上加上玻璃织物罩组成; 非易耗型热电偶不用纤维或塑胶绝缘的热电偶, 一种是在裸露的电偶丝外面有陶瓷绝缘物, 有时是插入到一个管子中, 以利于稳定和保护, 另一种是将电偶丝、矿物绝缘和一个保护金属壳紧裹成小直

收稿日期: 2016-06-18

作者简介: 马青松(1975-), 男, 工程师, 从事热工计量及管理工作。

径的铠装形式。

正确掌握理解热电偶的分类方式,是使用热电偶的前提。因为不同类型的热电偶的校验周期、使用场合、使用范围、寿命等是有严格区分的。

## 2 热电偶的技术要求及分析

通过对 AMS2750E 标准的学习应用,现就 NADCAP 认证过程中热电偶最容易产生不符合项的问题、也是日常使用、管理中值得重视的问题进行阐述:

### 2.1 热电偶的校验精度

在高温测量过程用到的热电偶有二级标准、温度均匀性测试(TUS)、系统精度测试(SAT)、控制记录和监控的、负载共五类热电偶。各类热电偶根据使用场合不同和选用型号不同,其校准精度都有不同的要求。例如:温度均匀型测试(TUS)电偶无论使用的是廉金属还是贵金属其校准精度均应不大于 $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.75\%$ 读数(两者取大,下同);而系统精度测试(SAT)电偶如果使用廉金属,则其校准精度均应不大于 $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\%$ 读数,如果使用贵金属,则其校准精度均应不大于 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.25\%$ 读数(R和S型) $\pm 0.50\%$ 读数(B型)。由此可见,AMS 2750E 在热电偶校验精度上是有严格并非非常细致的要求。

### 2.2 热电偶的校验温度间隔

AMS2750E 标准中规定:除了按照 ASTM MNL 12 或其它国家标准在固定点校准的热电偶,其它所有热电偶在校准时其校准间隔应不超过 $250^{\circ}\text{F}$ ( $140^{\circ}\text{C}$ )。并且所有校准点必须在被使用的名义温度范围内校准。

关于热电偶校验温度间隔,企业的内部作业指导书中最好将每个类型、使用场合热电偶的校准点进行文件化,明确列出所有需要校验的温度点,每次校准时直接按各点进行校准即可,无需每次进行计算,避免出现校准点不一致。

### 2.3 修正系数的使用

AMS2750E 标准中规定:除了 NIST 或其它国家标准校准机构之外,任何校准机构都禁止使用外推法来计算最高校准温度以上和最低校准温度以下的校准修正系数。通过计算或绘图来确定超出检验温度范围的温度点的修正系数都是不允许的。

标准中要求仅在 SAT 和 TUS 两种应用中使用修正系数,采用的修正方法(邻近值或内插值)在使用单位的内部程序中必须明确规定,并且方法要一致。

### 2.4 热电偶的校准结果

标准中规定:传感器应具备一个合格证来确定,

校准日期、校准数据的来源、名义试验温度、实际试验温度读数、校准方法以及每个校准温度的修正系数(换句话说,可列出每个校准温度的偏差),这些校准温度可追溯至 NIST 或其它公认的国家标准。证书应清楚地表明其是否列出了偏差或修正系数。

热电偶的校准结果确认,其实就是校准方法和校准证书的要求。热电偶校准一般就是本单位内部校准和送外部校准机构校准两种途径。但是无论有何机构校准,校准证书中一定要包含标准规定的所有项目。其次,对于校准证书的结果,热处理技术人员还必须要有确认过程,确认热电偶的校准温度范围、温度间隔、校准精度、校准体系、校准周期等是否满足 AMS2750E 要求以及顾客要求。

### 2.5 热电偶的校准周期

AMS2750E 标准中规定,在不同场合、不同类型的热电偶的校准周期是严格区分的。下面摘录标准中部分表格内容来说明热电偶的校准周期。

从表 1 中可以清晰看出在不同场合使用的不同类型的热电偶的校准周期是完全不同的,这就需要使用者对使用的热电偶有明确的标识、管理使用记录,做好校准周期管理,严禁热电偶超期使用。

表 1 不同场合、不同类型的热电偶的校准周期

传感器	类型	校准周期
温度均匀型测试	廉金属	首次使用前;
	B、R 和 S 型贵金属	复校 <sup>(6)</sup> : 6 个月—S 型, 3 个月—贵金属 E 和 K 型不允许再校准
系统精确型测试	廉金属	首次使用前;
	B、R 和 S 型贵金属	再次校准: B、R 和 S 型使用六个月后 E 和 K 型使用 3 个月 其他廉金属不允许再校准
控制、记录和监控	廉金属	首次使用前
	B、R 和 S 型贵金属	
负荷	廉金属	首次使用前;
	B、R 和 S 型贵金属	再次校准: B、R 和 S 型使用六个月后 不允许对廉金属再校准

### 2.6 热电偶寿命的要求

标准中规定:使用者应具有支持型数据,例如,但不限于 SAT、TUS、重新校准的数据以及书面程序,书面程序控制传感器的更换,这包括最长寿命的限制

和/或使用次数。

所以,对于使用者来说,应该有内部程序明确规定各类型热电偶的使用寿命或使用次数,以便确定何时对热电偶进行更换。如果采用的使用次数进行更换,应该详细记录热电偶的使用情况。

## 2.7 热电偶的重复使用和插入深度

标准中对于 SAT、TUS 和负载热电偶的重复使用情况用列表的形式进行描述。对在大于 260°C (500°F) 使用的任何 E 或 K 类型的传感器进行重新使用时,插入深度应不小于之前的任意一次。且禁止对在大于 500°F (260°C) 使用的任何 E 或 K 类型的传感器进行重新校准。

标准中规定 TUS、SAT 测试用热电偶重复使用的特殊要求,如果易耗型廉金属热电偶在下述公式中的“U”不超过 30,易耗型测试传感器允许重新使用。对测试热电偶来说,一次使用被定义为热电偶加热和冷却的一个循环。

$U = 650^{\circ}\text{C} (1200^{\circ}\text{F})$  以下使用的次数 + 从  $650^{\circ}\text{C} (1200^{\circ}\text{F})$  到  $980^{\circ}\text{C} (1800^{\circ}\text{F})$  使用次数的 2 倍。

但是应注意,易耗廉金属测试热电偶在  $980^{\circ}\text{C} (1800^{\circ}\text{F})$  以上仅限使用一次。

## 2.8 负载热电偶的使用

标准中规定:对于贵金属负载热电偶可以再次校准,但其校准周期不得大于六个月;对于非易耗型廉金属的负载热电偶的使用寿命,应受限于使用时的最大温度及自第一次使用以来历经的天数,且不允许对廉金属负载热电偶进行再校准。热电偶的累积使用(熔炉负载循环)的数据应当保留。

所以,对于使用负载热电偶的热处理炉,负载热电偶应该和 SAT、TUS 等其它热电偶一样,做好标识和使用记录。

## 2.9 热电偶的修复使用

标准中规定:如果异常部分(包括 K 型和 E 型热电偶暴露在  $500^{\circ}\text{F} (260^{\circ}\text{C})$  以上的部分)被修整掉,热接点被重新制作,热电偶重新校验,则允许对损坏的热电偶进行修复使用。

这里应该特别注意,对于修复后再次使用的热电偶在修补之前的使用次数应包含在总的热电偶使用次数之内。如果是线圈制成的热电偶,线圈的校准可以代替重新校准。

## 3 热电偶不符合 NADCAP 认证要求的原因分析

在热处理 NADCAP 认证过程中,由热电偶导致的

不符合项很多,究其原因主要有以下:

1)企业热电偶的校准送外部检测机构进行校准,而外部检测机构对 AMS2750E 的标准不熟悉,或一知半解。仍然是按照国内标准进行校准,导致热电偶校准温度间隔、校准数据处理、允许误差、校准周期等产生错误。

2)热处理使用的热电偶种类、型号规格较多,标识不够清晰、记录又不完整。导致热电偶超期使用或使用精度不合适的热电偶。

3)计量人员或现场使用人员对 AMS2750E 标准的学习、理解不够。标准中对热电偶的要求很多,特别是对廉金属热电偶和负载热电偶等有特殊要求,现场使用者对标准掌握不够,工作量又大,导致热电偶错误使用。

4)热电偶校准人员或管理人员多年来受国内标准、以及校准工作习惯影响,错误认为按照国内标准进行校准,仅精度满足 AMS2750E 就可以了,导致校准证书中缺少必要校准信息。

## 4 对热电偶使用管理的几点建议

为防止或减少不符合项的发生,这里就自己的体会给企业和从事高温测量工作人员几点建议:

1)高温测量工作必须专人管理,建立热电偶使用管理台帐(或者电子信息记录),记录热电偶从购置到报废全寿命周期的完整信息(这里包括线圈制成的热电偶的卷轴管理记录)。

2)对于 AMS2750E 标准要求下使用的热电偶,应设置特殊或明确标识,便于使用人员区分使用、校准人员按照 AMS2750E 标准校准。

3)送外部检测机构进行校准的热电偶,建议设计绘制“热电偶校验信息传递表”和“热电偶校验证书确认表”。将热电偶校准信息完整、准确的传递给校验机构,校准完成后对校准证书进行确认,形成一个校验工作闭环。

4)在企业经济允许的条件下,每台热处理炉每个使用场合尽可能使用固定的热电偶或者使用一种类型热电偶,便于使用者熟悉,不至于混淆。

5)加强高温测量工作的学习培训,对 AMS2750E 标准的理解运用是一个循序渐进的过程,需要不断学习和实践反复进行,互相促进。

## 5 总结

AMS2750 标准的引入是对国内原来高温测量工作

以及从事高温测量的人员一个很大的冲击，原来的思想观念和工作模式需要转变。总的来说，导致很多不符合项产生主要是企业对热处理 NADCAP 认证工作不够重视和从事高温测量工作人员对标准学习理解不到位，AMS2750 标准在企业内运用需要一个较长的实践

过程。

参 考 文 献

- [1] AMS2750E 高温测量[S].
- [2] ASTM E 220 通过比较技术进行热电偶校验[S].

(上接第 25 页)

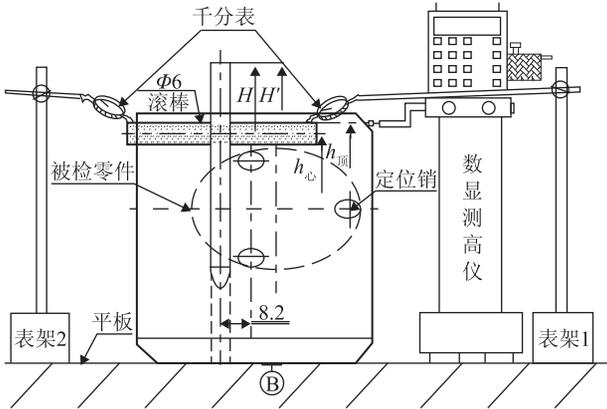


图 4 专用测具空间尺寸 H 的检测原理示意图

3 比较验证

3.1 测量方法比较

在相同条件下，采用较高精度的坐标测量机和改进后的双表平台测量法及单表平台测量法分别对 H 值、半圆平面台阶长 (1.292±0.04) mm 各检测三次，取其平均值作为测量结果进行对比，如表 1 所示。通过比较可知，采用改进后的双表平台交换测量法得到的实测值与使用较高精度的坐标测量机检测得到的结果相当，好于单表平台测量法得到的结果。

表 1 三种方法测量结果对比表 mm

尺寸参数	坐标测量机检测	双表平台测量法检测	单表平台测量法检测
H	0.003	0.001	0.006
1.292±0.04	1.286	1.285	1.288

3.2 H 值的测量不确定度

结合前述的检测方法及检测过程涉及使用的测量器具，分别计算或查得 H 值的各标准不确定度分量值，如表 2 所示。

表 2 H 值不确定度分量一览表

序号	测量不确定度来源	分量	分量值/μm	评定方法
1	测量重复性	$u_1$	1	A
2	00 级平板最大允许误差	$u_2$	2.5	B
3	0 级数显测高仪最大允许误差	$u_3$	(2+L/200), 取 2 即可	B
4	千分表(分度值 0.001 mm)在任意 0.02 mm 最大允许误差	$u_4$	2	B

合成标准不确定度<sup>[3]</sup>

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2} = \sqrt{1^2 + 2.5^2 + 2^2 + 2^2} = 3.905 \approx 4 (\mu\text{m})$$

取  $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U_{95} = ku_c = 2 \times 0.003905 \text{ mm} = 0.0078 \text{ mm} \approx 0.008 \text{ mm}$$

经分析评定，检测 H 值的扩展不确定度小于设计图要求的 H 值尺寸公差 0.015 mm，所以改进后的方法可行。

4 结论

针对科研生产所用的专用测具周检效率低、实测值误差较大等问题，本文在讨论传统的单千分表测量缺陷的基础上，通过对专用测具的结构要求及其复杂空间尺寸 H 值测量方法进行研究，将基于精密平台的单千分表测量法改进为双千分表交换触测方式。测量方法比较和测量结果的不确定度评定表明，本文为同类型专用测具检测提供了很好的借鉴方法。

参 考 文 献

- [1] 张昌泰. 平台测量法解析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 339-358.
- [2] 国防科工委科技与质量司. 计量技术基础[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJF1059-2012 测量不确定度的评定与表示[S]. 北京: 中国计量出版社, 2012.