

# 管道高温定点测厚技术

崔轲龙,雷俊良,孔朝辉,黄新泉,越立新

(中国石油独山子石化分公司,独山子 833600)

**摘要:**管道高温定点测厚过程中存在测量数据偏大以及耦合剂选用不当引起的无法读数的问题。通过高温定点测厚试验研究,将试验数据以温度与该温度下测厚所调整后的声速进行线性回归,得出高温测厚的温度-声速线性方程。该方程用于管道高温定点测厚,测量数据准确,方法简便,有效解决了测量数据偏大的问题。此外,通过试验,研究了高温耦合剂的性能,筛选出高温状态下性能稳定的高温耦合剂。

**关键词:**超声波测厚;管道;高温;耦合剂;线性回归

中图分类号:TG115.28 文献标志码:A 文章编号:1000-6656(2009)06-0478-03

## The Technology of Measuring the Thickness of a Certain Spot of the Tube Under High Temperature

CUI Ke-Long, LEI Jun-Liang, KONG Zhao-Hui, HUANG Xin-Quan, YUE Li-Xin

(PetroChina Dushanzi Petrochemical Co, Dushanzi 833600, China)

**Abstract:** The problem of big data difference and the incapability of reading data caused by using inappropriate couplant existed during the process of measuring the thickness at the certain spot at high temperatures. Linear equation of sonic speed under high temperature in different materials was derived from linear regressive analysis on the experimental data of sonic speed both under certain temperature and the temperature below. The equation was applied to measure the thickness of a certain place on the tube under high temperature circumstances accurately and conveniently which could solve the problem of coincident large data effectively. Otherwise, through the research on the performance of different couplants, the appropriate couplants which were able to effectively couple under high temperature were screened.

**Keywords:** Ultrasonic thickness measurement; Tube; High temperature; Couplant; Linear regressive analysis

原油在炼制过程中往往会产生复杂、苛刻的腐蚀环境,造成炼油设备及管道的严重腐蚀。根据炼油装置腐蚀机理特征,其腐蚀速率受温度和压力的影响非常大,在高温部位表现尤其突出,对装置的安全运行造成影响。目前,常用的腐蚀监测方法(如腐蚀探针、挂片监测和介质分析等)在高温高压部位应用时都存在一定的局限性。从国外一些炼油厂的经验看<sup>[1]</sup>,定期定点对主要设备及管道进行大量测厚是腐蚀监测的主要手段。测厚所获得的数据经过处

理后,可以定量地分析判断设备及管道的腐蚀状况,进行剩余寿命评估,评估的结果既能指导安全生产,又能准确合理地安排检维修计划。然而,超声波测厚在高温下进行测量时不可避免地存在由于温度引起的测量误差以及耦合剂选用不当引起的无法读数,难以得到精准的测量数据。笔者将重点讨论管道高温测厚时,如何快速准确获取测量数据。

### 1 高温测厚试验

通过试验测量数据,找出高温测厚的影响因素并对其进行校正,建立校正公式;筛选出中、高温定点测厚中各温度段所能够选用的最佳耦合剂。

#### 1.1 试样制备

收稿日期:2008-07-07

作者简介:崔轲龙(1981—),男,助理工程师,学士,主要从事腐蚀与防护研究工作。

试验试样选用 20 号钢、Cr5Mo、16Mn、18-8 及 316L 五种板材, 机械加工厚度分别为 5, 8 和 10 mm, 表面需光洁。

## 1.2 试验仪器

测厚仪选用德国 KK 公司 DM4 型超声波测厚仪, 配备 HT400 型高温探头。使用温度为常温~600 °C; 测量范围为 0.6~300 mm; 精度为厚度<99.99 mm 时为 0.01 mm, 厚度>99.99 mm 时为 0.1 mm; 声速范围为 1 000~9 999 m/s。

测温仪选用上海华阳公司 HY-302A 型接触式测温仪, 测量范围为 0~500 °C, 精度 1 °C。

控温炉选用上海苏进仪器厂生产的 SX<sub>2</sub> 型箱式电炉, 并用 KSW 型温度控制器控温。

## 1.3 试验方法

- (1) 分别测出常温下各试验件的精确厚度。
- (2) 在 120~420 °C 范围内每隔 20 °C 逐次测量。

(3) 试件在控温炉加热后测量温度, 将耦合剂涂抹在高温被测物体表面, 耦合剂应在被测物体表面静置 2~3 s; 当温度过高时, 耦合剂可能会融化, 但不影响测量; 同时, 在探头上也涂抹少量高温耦合剂, 测量各温度段对应的厚度, 利用试样原始厚度进行声速调节, 记录调节后的声速。

(4) 利用调节后的声速进行对应温度下的厚度测量, 每点测量三次, 取调节后声速的平均值。

(5) 将探头轻但要紧密地贴在被测物体表面, 时间不能超过 5 s, 不能随意转动但可轻轻摇动探头以获得数据。

## 1.4 试验结果与分析

以 16Mn 材质的高温测厚数据为例, 测量结果见表 1。可见, 对高温测厚结果影响最大的因素是被测试样的温度。随着温度的升高, 测量值随之升

高。因此, 必须找出影响因素并建立校正公式, 才能准确测得高温管道的实际厚度。

有学者试验得出<sup>[1]</sup>, 以温度 T、实际厚度 H<sub>0</sub>、高温测量厚度 H<sub>t</sub> 三个参数之间的相关关系拟合出碳钢及不锈钢板材的高温测厚经验公式:

$$H_{t0} = 16.26 + \frac{(H_{tt} - 16.71) - 2.235 \times 10^{-3} \times (T_t - 310)}{1.14 \times 10^{-4} \times (T_t - 310) + 1.025} \quad (1)$$

$$H_{b0} = 15.40 + \frac{(H_{bt} - 15.88) - 1.899 \times 10^{-3} \times (T_b - 310)}{1.066 \times 10^{-4} \times (T_b - 310) + 1.025} \quad (2)$$

式中 H<sub>t0</sub>—碳钢的常温计算厚度值, mm;

H<sub>b0</sub>—不锈钢的常温计算厚度值, mm;

H<sub>tt</sub>—碳钢的高温测厚值, mm;

H<sub>bt</sub>—不锈钢的高温测厚值, mm;

T<sub>t</sub>—碳钢温度值, °C;

T<sub>b</sub>—不锈钢温度值, °C。

公式(1)和(2)是以不改变声速的方法在高温下测量后计算推导被测管道的实际厚度, 此方法目前在国内同行中应用较多, 但现场进行大规模高温测厚工作时存在可操作性不强、数据处理复杂等问题。

另有学者指出<sup>[2]</sup>, 高温测厚过程中以校正声速与温度进行线性回归, 得出回归方程:

$$v = 5918 - 0.85T \quad (3)$$

式中 v 为校正后的声速, m/s; T 为温度值, °C。

公式(3)在现场进行大规模高温测厚过程中可操作性强, 测量数据直观。但管道材质不同, 其金属组分与原子排列存在差异, 超声波测厚过程中选取的声速也不同, 因此该方法测量数据精准度不高, 会出现一定的误差。

因此, 以温度与该温度下测厚所调整后的声速

表 1 16Mn 高温测厚试验数据

温度 / °C	未调整声速测量值		调整声速测量值 1		调整声速测量值 2		调整声速测量平均值	
	厚度/mm	声速/(m·s <sup>-1</sup> )	厚度/mm	调整声速/(m·s <sup>-1</sup> )	厚度/mm	调整声速/(m·s <sup>-1</sup> )	厚度/mm	调整声速/(m·s <sup>-1</sup> )
常温	10.04	5 920	10.04	5 920	10.04	5 920	10.04	5 920
140	10.46	5 920	10.04	5 675	10.06	5 675	10.04	5 675
180	10.56	5 920	10.04	5 625	10.06	5 625	10.05	5 625
220	10.62	5 920	10.05	5 580	10.04	5 580	10.04	5 580
260	10.70	5 920	10.06	5 550	10.05	5 550	10.05	5 550
300	10.79	5 920	10.07	5 505	10.04	5 505	10.05	5 505
340	10.91	5 920	10.08	5 460	10.06	5 460	10.07	5 460
380	10.96	5 920	10.05	5 420	10.10	5 420	10.07	5 420
420	11.06	5 920	10.06	5 382	10.10	5 375	10.08	5 375

进行线性回归,得出不同材质的温度-声速线性方程,能够在高温下准确测量管道的壁厚。以表 1 中的温度及调整声速的平均值进行线性回归,得出曲线(图 1)及回归方程如下:

$$v = -1.05T + 5839.5 \quad R^2 = 0.9983 \quad (4)$$

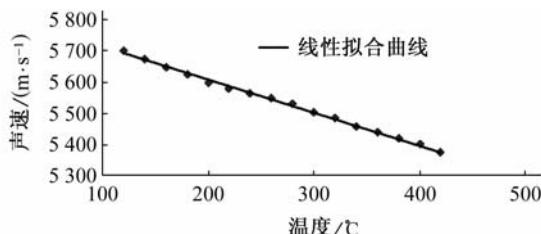


图 1 16Mn 温度-声速曲线图

同样可以通过试验得出 20 号钢、Cr5Mo、18-8 及 316L 等材质的高温测厚温度-声速的线性回归方程。公式(4)仅适用于 120~420°C 温度范围内的高温测厚过程中的超声波测厚仪声速校正。另外,在使用公式(4)计算出校正声速后,须将个位作为有效数字进行修约。

### 1.5 耦合剂选择

常温下,超声波测厚过程中耦合剂的选择相对容易,普通甘油便可达到良好的耦合效果。但是,在温度较高的情况下,耦合剂的理化性能会发生改变,特别是在 300°C 以上,绝大多数耦合剂会出现结焦,难以达到良好的耦合效果。因此,选取高温下性能稳定的耦合剂成为高温测厚的关键因素之一。试验中共选取了德国 KK 公司的 ZGM 系列、美国 SONOTECH 公司的 SONO 系列及山东济宁鲁科公司的 GW 系列耦合剂,结果见表 2。

可见,高温测厚在 120~200°C 时可以选择 ZGM、GW-II 及 SONO600;在 200~300°C 时可选择 SONO600 和 SONO900,但 SONO900 性能更加稳定;在 300~420°C 可选择 SONO900 和 SONO1100。

## 2 现场高温测厚实例

### 2.1 测厚点选点原则

(1) 下列易腐蚀和冲刷部位应优先考虑布点:  
 ① 管线腐蚀冲刷严重的部位,如弯头、大小头、三通及喷嘴、阀门、调节阀和减压阀等。② 流速大于 30 m/s 的部位,流速小于 1 m/s 的部位。③ 环烷酸、硫腐蚀环境下的气液相交界处和液相部位。④ 流体的下游端(包括焊缝、直管)容易引起严重冲刷的部位。⑤ 同一管线的热端。⑥ 换热器、空冷器的流体入口管端。⑦ 塔、容器和重沸器、蒸发器的气液相交界处。⑧ 盲肠和死角部位。

(2) 输送腐蚀性较强介质的管道,直管段长度 >20 m 时,一般纵向安排三处测厚点,长度为 10~20 m 时,一般安排两处,<10 m 时可安排一处。

(3) 介质腐蚀性较轻的管道一般在直管段(两个弯头间的连接管)和弯头处各安排一处测厚点。

(4) 管线上的弯头、大小头及三通等易腐蚀、冲刷部位应尽可能多布置测厚点。

(5) 考虑现场实际,一般不要将在线测厚点选在测厚人员不易操作的位置(腐蚀特别严重,需特别重视的部位除外)。

### 2.2 现场测厚结果

笔者于 2007 年 12 月在其 I, III 蒸馏部分高温管线进行了现场高温测厚,并与 2007 年 8 月停工检修时的常温测厚数据进行了比对,部分结果见表 3。可见,高温测量数据精准,现场测厚应用效果良好。

## 3 结论

(1) 通过试验找出了对高温测厚检测数据影响较大的两个因素,即温度和高温耦合剂。

(2) 利用温度与该温度下测厚所调整后的声速进行线性回归,得出不同材质的温度-声速线性方程,能够准确用于管道高温定点测厚。测量数据准

表 2 高温耦合剂对比试验结果统计表

耦合剂 型号	外观 形态	温度 范围/°C	不同温度下对比试验结果			
			120°C	200°C	300°C	420°C
ZGM	棕色,膏体	≤550	轻微发烟,良好耦合	严重发烟,能够耦合	出现结焦,无法使用	无法使用
GW-II	深红色,膏体	200~350	良好耦合	发烟,能够耦合	出现结焦,无法使用	—
GW-III	红棕色,膏体	300~500	—	—	严重发烟,很难耦合	出现结焦,无法使用
SONO600	无色透明,膏体	0~315	良好耦合	轻微发烟,良好耦合	轻微结焦,耦合困难	—
SONO900	粉色,膏体	315~480	—	—	缓慢熔化,良好耦合	迅速熔化,轻微发烟,良好耦合
SONO1100	棕色,膏体	370~590	—	—	—	缓慢熔化,良好耦合

(下转第 505 页)