

干式高压环境对 TIG 焊接电弧温度的影响

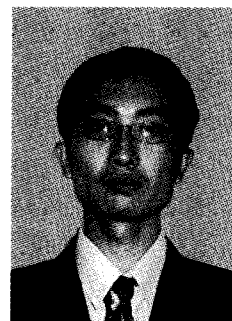
赵华夏^{1,2}, 焦向东²

(1.北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029; 2.北京石油化工学院 海洋工程连接技术研究中心, 北京 102617)

摘 要: 干式高压焊接时,环境压力对焊接电弧的影响不容忽视。电弧温度是焊接电弧物理特性的重要参数之一,测定高压环境下的电弧温度对于深入理解焊接电弧在高压环境下的物理特性,从而寻求改善水下干式高压焊接质量的新途径有重要意义。介绍了电弧等离子体光谱诊断方法,对高压环境下的 TIG 电弧光谱进行分析,建立了一套切实可行的高压环境电弧温度测量方法。对高压环境焊接电弧温度变化规律进行了分析,建立了环境压力与电弧温度的函数关系式,并对试验结果进行了讨论。研究结果对于高压环境焊接电弧物理特性的研究具有参考价值。

关键词: 电弧; 高压焊接; 温度; 光谱诊断

中图分类号: TG403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2008)11-0017-04



赵华夏

0 序 言

对高压环境下的电弧行为进行研究,有助于了解干式高压焊接过程的特点,是开发相应的焊接设备及焊接材料,并最终获得良好焊接接头的重要理论基础。

电弧温度是描述电弧等离子体的重要参数,因而测定电弧温度对于深入理解焊接电弧在不同环境下的物理特性,从而寻求改善焊接接头质量的新途径具有重要意义^[1]。Schmidt 等人^[2]的试验表明,随着环境压力的增加,电弧温度下降。而王国荣等人^[3]的研究却得到了相反的规律。因此有必要在干式高压焊接试验舱^[4]中开展进一步研究工作。

1 试验原理与试验方法

1.1 试验原理

电弧的弧柱占电弧体积的绝大部分,它是一种等离子体,当等离子体满足局部热力学平衡(LTE)和光学薄条件时,元素特征谱线的发射率 ϵ_{mn} 和其频率以及等离子体温度之间满足关系为^[5]

$$\epsilon_{mn} = \frac{1}{4\pi} A_{mn} h \gamma_{mn} \frac{g_m}{Z(T)} n_0 \cdot \exp\left[-\frac{E_m}{kT}\right] \quad (1)$$

式中: A_{mn} 为 m 能级原子跃迁到 n 能级的跃迁几率; h

为普朗克常数; γ_{mn} 为辐射谱线的频率; g_m 为 m 能级的统计权重; $Z(T)$ 为原子的配分函数; n_0 为该种原子的全部原子数的密度; E_m 为上能级 m 的激发位能; T 为电弧温度; k 为玻尔兹曼常数。

对于同种粒子任何两条谱线的发射率的比值为

$$\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} = \frac{\gamma_1 A_1 g_1}{\gamma_2 A_2 g_2} \exp\left(-\frac{E_1 - E_2}{kT}\right) \quad (2)$$

式中: r_1 和 r_2 分别为两条谱线的频率; A_1 和 A_2 为两谱线的跃迁几率; g_1 和 g_2 为两谱线的统计权重。式(2)比值与配分函数 $Z(T)$ 、等离子体数密度 $n(T)$ 无关。而且,只要知道两条谱线跃迁几率的相对值,其误差比求跃迁几率绝对值的误差要小。

对于等离子体体积较小的焊接光致等离子体而言,发射系数之比可以用等离子体发射光谱的强度之比来表示。在此基础上,式(2)可以简化为^[6]

$$T = \frac{0.6247(E_1 - E_2)}{\lg \frac{g_1 A_1}{g_2 A_2} - \lg \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - \lg \frac{I_1}{I_2}} \quad (3)$$

式中: E_1 和 E_2 分别为两条谱线的激发电位; λ_1 和 λ_2 为两线的波长; I_1 和 I_2 为其相对强度。测温用的物理参数可由相关资料查得^[7,8]。

1.2 试验方法

在一般的工业传感和辐射检测中,是将电弧整体作为一个研究对象进行分析。光谱诊断法既可以对接电弧内部温度场进行分析,也可以将焊接电弧作为整体进行分析。由于仅对高压环境中将焊接电弧作为热源时的温度变化规律进行定量分析,未

涉及电弧温度场的分布规律,又鉴于高压环境试验的可操作性,因此将焊接电弧作为一个整体进行研究。

需要指出的是,任何光源都有一定的形状和大小,只有当测试距离比光源本身的线度大得多,即光源的线度可以忽略时,才可以将光源当作点光源来处理。对于焊接电弧等离子体,当钨极到阳极距离为 5 mm 时,较亮发光区域不超过中心半径 10 mm。整体光谱采集试验中光纤探头距离电弧大于 200 mm,大大高于电弧本身尺寸的 10 倍,所以可以把电弧当作点光源来处理^[9]。

对实际拍摄的焊接电弧进行分析,从中筛选出 4 条 ArI(氩原子)谱线,并将其两两组合,得到 4 组测温谱线组(表 1)。试验中,对拍摄的每一幅电弧光谱图计算出 4 组温度值,以便进行统计分析。

表 1 用于焊接电弧温度诊断的 4 组谱线
Table 1 Four groups of spectrum lines used in arc spectral diagnostics

测温谱线组序号	谱线 1 波长	谱线 2 波长
	λ_1/nm	λ_2/nm
1	675.283 4	714.704 2
2	675.283 4	727.293 6
3	687.128 9	714.704 2
4	687.128 9	727.293 6

2 试验结果及分析

试验在水下干式高压焊接试验舱中进行^[4],对 0.1,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7 MPa 压力环境下的电弧温度进行了分析。焊接工艺参数为:焊接电流 100 A,电弧弧长 3 mm,氩气流量 20 L/min,曝光时间 1~5 ms,钨极直径 2 mm。

图 1 中的 3 幅图分别是在 0.3,0.4,0.5 MPa 压力环境下拍摄的 TIG 焊接电弧光谱图。图 2 为 0.1,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7 MPa 焊接电弧温度分析图,图中包括 1~4 组温度点描折线以及由 4 组温度值计算得到的平均温度线。从 0.1 MPa 温度图中可以看出,3 谱线组计算出来的电弧温度最低,基本维持在 10 100 K 左右,其平均温度为 10 145 K,2 谱线组计算得到的电弧温度最高,平均温度值为 12 469 K。4 组谱线各自计算出来的 10 个温度值变化不大。至于 4 组谱线计算温度相互间存在的温差,主要是由于各条谱线的吸收率略有不同造成的,通过计算 4 组温度的平均值可以有效减少由此造成的误差。

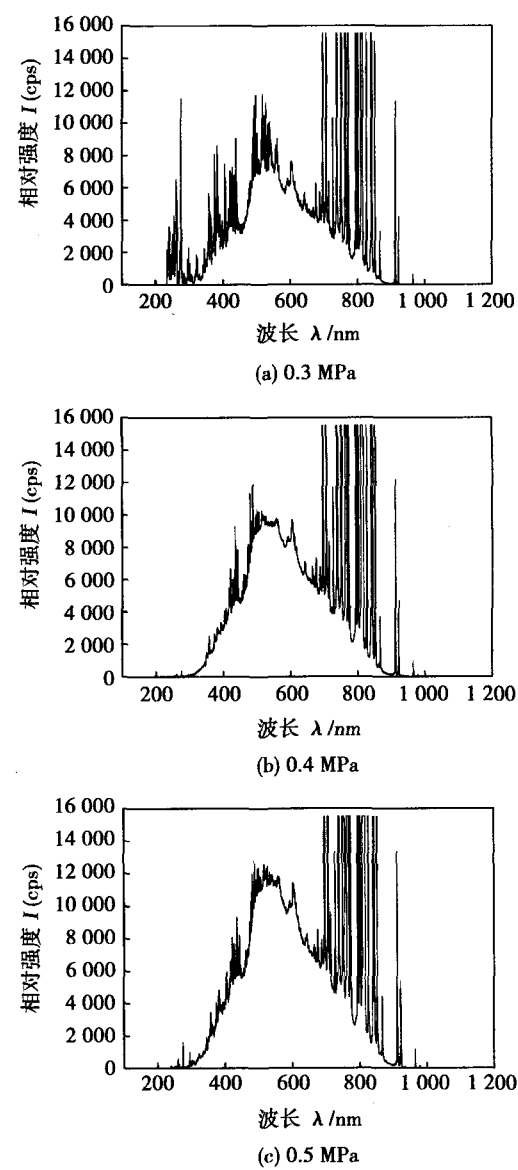


图 1 不同压力环境下电弧光谱
Fig.1 Arc spectrum in different pressure

0.3 MPa 压力环境下使用 4 组谱线计算出来的电弧温度分布范围没有明显的差别,除了第 4 组计算温度离散程度较大以外,其它 3 组计算温度基本分布在 8 000~9 000 K 范围内。0.4 MPa 压力环境下,4 组谱线计算出来的电弧温度又开始略有分化,2 谱线组计算出来的温度相对最高,3 谱线组计算出来的温度相对最低,4 组谱线各自计算出来的 10 个温度值变化不大。0.5 MPa 环境压力下 4 组谱线计算出来的电弧温度平均值差异幅度继续增大,但各自计算的 10 个温度值波动幅度依然不大。

0.6 MPa 压力环境下,4 组谱线计算的温度值都出现较大幅度的波动,这说明在该压力环境下,电弧稳定性较差,这种结果可以用来解释实际焊接时在该环境压力范围内,引弧困难且容易熄弧的现象。正是由于在该压力下电弧在时域范围内的明显不稳

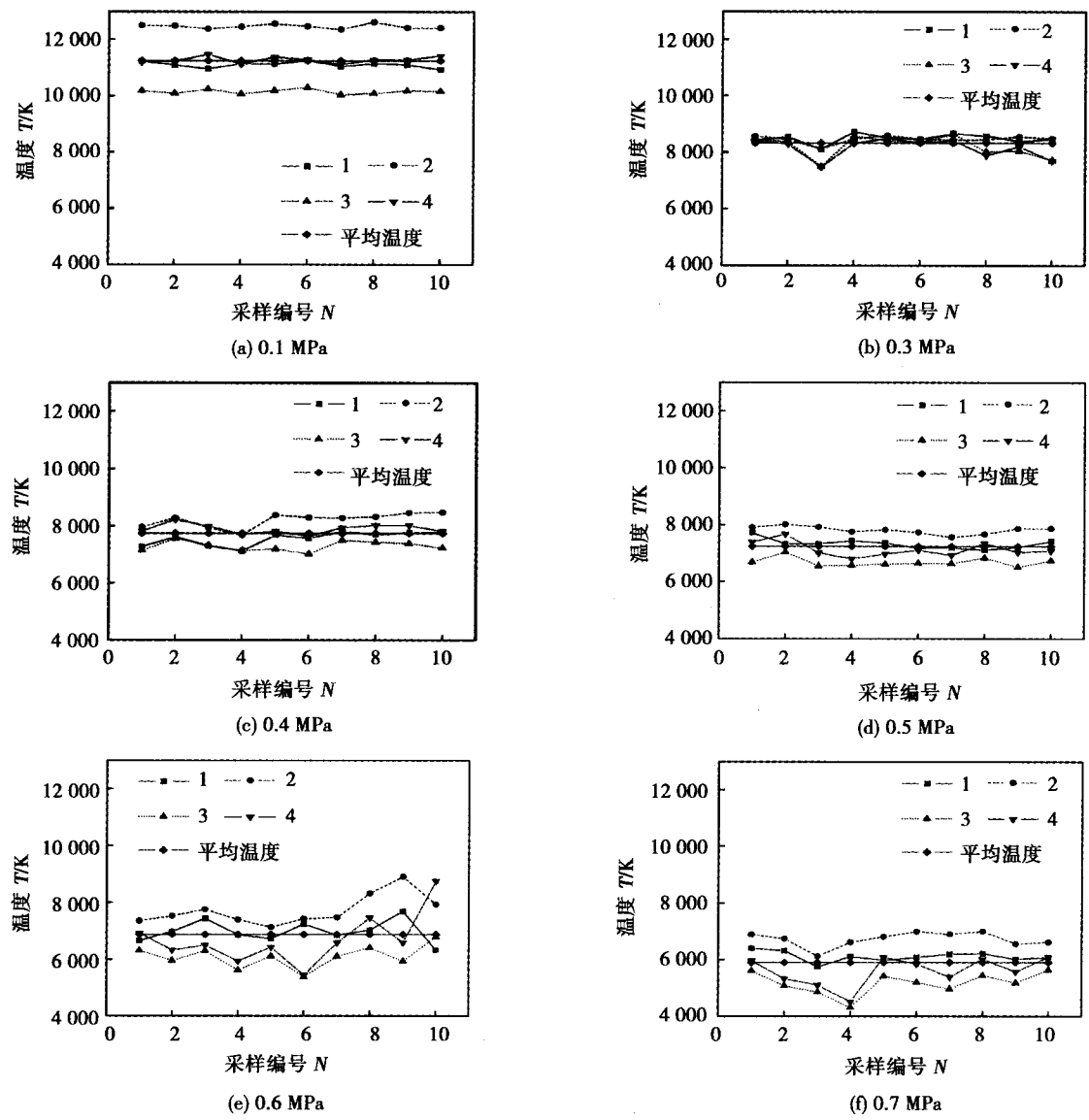


图 2 不同压力环境电弧温度统计曲线
Fig.2 Graph of arc temperature in different pressure

定性导致了实际焊接时出现的上述问题。但此时 4 组谱线各自计算得到的平均温度高低次序依然没有改变。0.7 MPa 压力环境下,电弧温度在时域范围内仍然存在较为明显的波动,但与 0.6 MPa 时相比温度波动幅度略有下降。这说明通过 0.6 MPa 压力关口后焊接电弧又开始趋于稳定,实际焊接中,此时引弧较 0.6 MPa 时相对容易,焊接过程中电弧也不再容易熄弧。

以上 6 组试验数据得到的电弧温度平均值见图 3,从图中可以看出,随着环境压力的升高,电弧温度呈现下降趋势。从 0.1~0.3 MPa 这个过程中,电弧温度下降较为明显,从 0.3~0.6 MPa 这个过程中,电弧温度的下降逐渐趋缓。整体温度变化趋势可以认为符合指数衰减规律,对统计数据进行拟合,得到相同工况下焊接电弧温度与环境压力之间的函

数关系式

$$T = 5\,029 + 8\,120e^{-\frac{p}{0.36}} \tag{4}$$

式中: T 为电弧温度; p 为环境压力。

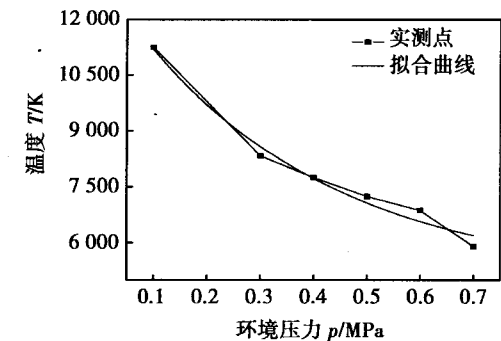


图 3 不同压力环境焊接电弧温度变化曲线
Fig.3 Welding arc temperature curve in different pressure

3 结 论

(1) 0.6 MPa 压力环境下电弧温度波动剧烈,由此可以说明,在该压力环境下电弧稳定性下降。

(2) 随着环境压力的增大,TIG 焊接电弧温度呈现指数下降的趋势。

(3) 所建立的焊接电弧温度与环境压力之间的函数关系式能够反映实际规律,该关系式对于研究高压环境焊接电弧物理特性具有普遍意义。

参考文献:

- [1] 赵华夏,焦向东. 输油管 TIG 焊接电弧温度的光谱诊断[J]. 焊接技术, 2006, 35(6):55-57.
- [2] Schmidt H P. Experimental and theoretical investigation of high-pressure arcs-part I: The cylindrical arc column[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 1996, 24(4): 1229-1238.
- [3] 王国荣,杨乾铭. 水下焊接电弧温度的光谱诊断[J]. 华南理

工大学学报(自然科学版), 1997, 25(2): 8-13.

- [4] 焦向东,陈家庆,周灿丰,等. 干式高压焊接实验系统及其关键问题[C]//中国机械工程学会焊接学会. 第十一次全国焊接会议论文集(2). 黑龙江,2005: 265-268.
- [5] 李俊岳,宋永伦,李 桓,等. 焊接电弧光谱信息的基本理论和基本方法[J]. 焊接学报,2002,23(6):5-8.
- [6] 张 刚. 激光深熔焊接光致等离子体温度测量的试验研究[D]. 湖南:湖南大学,2004.
- [7] Ralchenko Y, Kramida A E, Reader J, *et al.* NIST atomic spectra database[EB]. [2005-06-30]. <http://physics.nist.gov/asd3>.
- [8] Griem H. Principles of plasma spectroscopy[M]. New York: Cambridge University Press, 1997.
- [9] Jovicevic S, Ivkovic M, Pavlovic Z, *et al.* Parametric study of an atmospheric pressure microwave-induced plasma of the mini MIP torch-I. Two-dimensional spatially resolved electron-number density measurements[J]. Spectrochimica Acta Part B, 2000, 55(7): 1879-1893.

作者简介: 赵华夏,男,1980年出生,博士研究生。主要从事高压环境焊接电弧物理特性的研究。发表论文2篇。

Email: zhhq@sina.com