

文章编号:1006-2467(2008)S-0119-03

利用电弧光谱对 TIG 焊接电弧弧长的检测

赵华夏¹, 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:系统地研究了电弧光谱中特征谱线辐射强度与弧长的关系,指出谱线辐射强度随弧长的改变而变化,两者之间有确定的变化规律.基于对众多谱线的分析,从中选出 ArI 801.5 nm 特征谱线,建立了该谱线辐射强度与弧长的关系方程.该方程式的建立为电弧弧长的光谱检测提供了理论基础.

关键词:电弧;光谱;弧长检测

中图分类号: TG 409

文献标识码: A

Arc Length Detection by Spectrum of TIG Welding

ZHAO Hua-xia¹, JIAO Xiang-dong²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. OEI T, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China)

Abstract: The welding arc contains abundant information. The relationship between the intensity of spectral lines and arc length was studied systematically. The conclusion is provided that the intensity of spectral lines increases with the increasing of arc length, and the relationship is specific. Basing on the analysis of multitudinous lines, the ArI 801.5 is selected to establish the formula about intensity of the line and the arc length. The establishing of the formula provides a theoretical foundation for arc length detection using arc spectrum.

Key words: welding arc; spectrum; arc length detection

焊接电弧可以看作是包含多种复杂信号的信号源.这些信号可以用来感知电弧的稳定性,从而间接获得焊接过程的稳定性.对于焊接电弧稳定性的评价又可以用来判断焊接接点的质量.目前,电弧的稳定性主要利用焊接电压和电流等电信号进行评价^[1].由于焊接缺陷的产生并不总是伴随各种焊接电参数的明显变化,因此尚无法完全基于焊接过程电信号的监控来对焊接过程稳定性和焊接质量做出可靠判断.

为了能够真正实现对焊接过程的预测和监控,就必须研究焊接过程产生的各种信号.这些信号除了电信号外还可以包括焊接电弧声音信号^[2],以及电弧光辐射^[3].

焊接电弧发射光谱分析已经用于研究电弧温度分布^[4,5],计算电弧平均温度^[5]、弧柱电导率等.对于 TIG 焊来说,弧长决定了电弧电压和电弧分布,而由此产生的对母材的热输入又影响着焊接宽度.因此,和焊接电流、行走速度一样,弧长被认为是最重

收稿日期:2008-08-21

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)重大项目(2002AA602012);国家自然科学基金资助项目(40776054)

作者简介:赵华夏(1980-),男,天津市人,博士生,主要从事焊接电弧物理研究.电话(Tel.):010-81293719;E-mail:zhhq@sina.com.

要的焊接参数之一. 尽管市场上现有的产品已经足以满足对焊接电流和行走速度的精度要求, 而高精度低成本的弧长控制系统却还十分缺乏. 本文具体考察了电弧光谱与弧长之间的关系, 并对利用电弧光谱进行弧长跟踪的可行性进行了分析.

1 实验原理

焊接电弧是一种气体放电现象, 电弧等离子体粒子所处的能量状态发生变化时, 对外就会表现为各种形式的辐射现象. 根据辐射机制及其粒子跃迁形式的不同, 主要有激发辐射、复合辐射和韧致辐射3种模式, 它们共同构成了焊接电弧光谱信息. 其中, 韧致辐射为连续光谱辐射, 复合辐射为半连续光谱辐射. 由于原子中能级是分立取值, 即量子化的, 所以激发辐射是一根根离散的谱线, 故发射光谱表现为线光谱辐射. 电弧弧柱的光辐射, 大部分都是被激发的分子、原子和离子发出的.

对某种粒子(如某种元素的原子) 从高能级 m 跃迁到低能级 n 时, 所产生的某一波长的谱线发射率为^[6]

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

式中: P_{mn} 为 m 能级原子跃迁到 n 能级的跃迁概率; 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 为温度; k 为玻尔兹曼常数.

从式(1)可以看出, 谱线发射率 ϵ_{mn} 与原子数密度和温度具有确定的函数关系, 而原子数密度和温度又与其他各种粒子数密度以及压力 p 有关. 由此可见, ϵ_{mn} 与电弧这一热力学系统的各种基本状态参量相互关联, 每一种参量的变化都可能引起 ϵ_{mn} 的变化. 而根据已有理论^[7], 弧长的变化将导致热输入的微小变化, 由此造成电弧内部各状态参量的相应调整. 根据前述分析, 弧长的变化将最终导致谱线发射率的变化.

2 实验及结果分析

实验在平板焊接试验平台上进行. 利用数字脉冲氩弧焊机产生 TIG 电弧. 电弧光谱采集系统的响应范围为 200~1 100 nm.

图1对 TIG 电弧 650~950 nm 波段的 15 条特征谱线进行了标注. 这些谱线在焊接电弧光谱中稳定性较好, 不随焊接参数的变化而出现较大幅度的衰减和展宽, 可以作为可靠的信号源.

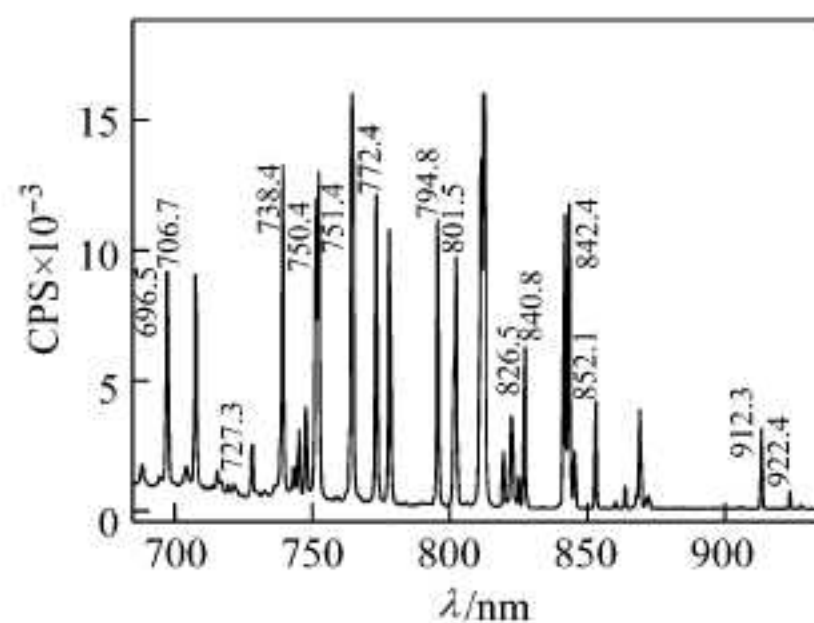


图1 15条 ArI 特征谱线在光谱图中的位置

Fig. 1 Position of the 15 lines in arc spectrum

实验中采用直流正接 TIG 焊, 电弧长度从 2 mm 逐步增长到 6 mm, 步长 1 mm. 考察不同弧长下的光谱波形图, 由图2可见, 随着弧长的增长, 特征谱线的辐射强度出现不同程度的增长. 对其中 8 条 ArI 特征谱线在不同弧长下的辐射强度值进行统计分析, 得到一束斜率始终为正值的曲线(见图3), 也就是说特征谱线辐射强度均随弧长的增长呈现逐步增长的趋势.

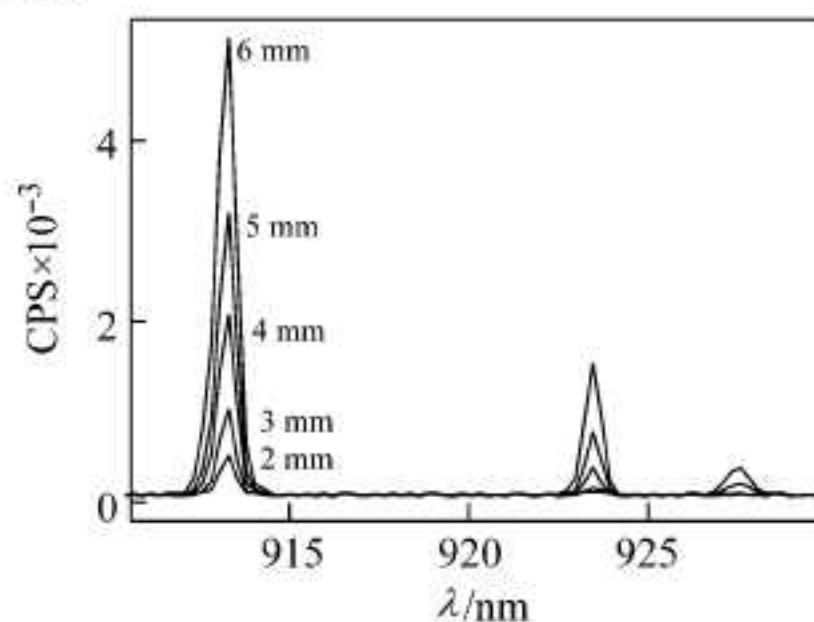


图2 不同弧长谱线强度比较

Fig. 2 Spectral intensity in different arc length

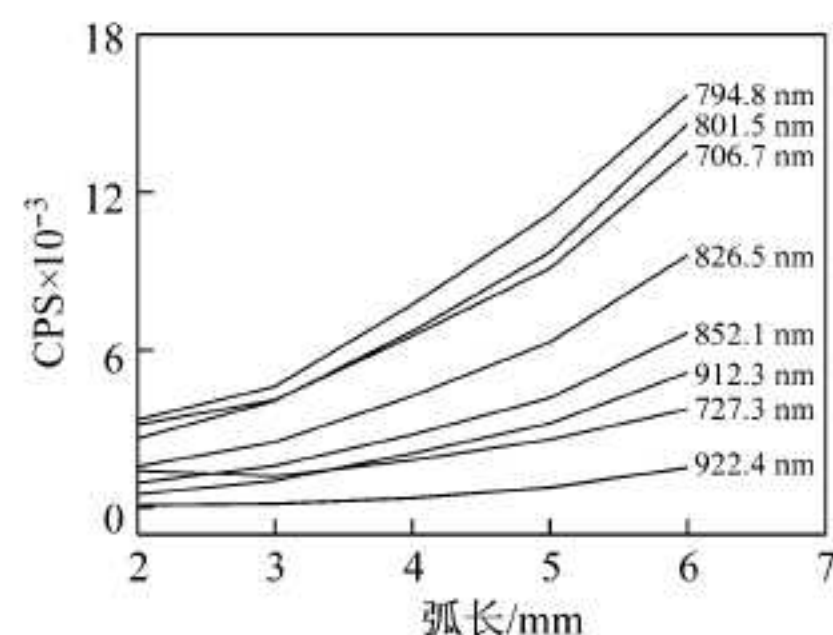


图3 不同弧长谱线强度变化曲线

Fig. 3 Curve of spectral intensity in different arc length

由图3可见, 辐射强度的增长幅度与各谱线的辐射强度大小有关, 辐射强度越大的特征谱线, 其强度变化越敏感. 例如图中最下面 922.4 nm 特征谱线的增长幅度明显小于 826.5 nm 特征谱线的增长幅度.

图3中8条特征谱线 ArI 801.5 nm 谱线在相

同的弧长变化范围内,辐射强度变化较为显著,可以看作理想的弧长检测用谱线.详细记录不同弧长时 ArI 801.5 nm 特征谱线的相对强度,并对谱线强度随弧长变化规律进行多项式拟合,得到一个 2 次多项式:

$$Y = 0.52 + 6.59 \times 10^{-4} X - 1.97 \times 10^{-8} X^2$$

其中: X 为 ArI 801.5 nm 特征谱线强度; Y 为电弧长度.图 4 为实测数据点及其拟合曲线.

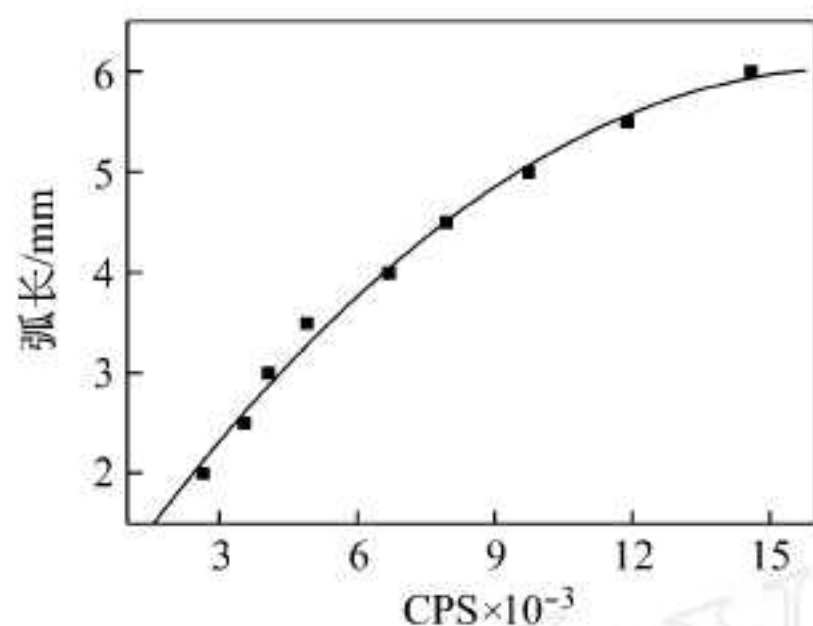


图 4 ArI 801.5 nm 谱线的辐射强度—弧长拟合曲线

Fig. 4 Arc length in different intensity of ArI 801.5 nm

3 结 语

焊接电弧特征谱线的辐射强度与弧长之间存在特定关系,因此利用焊接电弧发射光谱控制电弧弧长在理论上是可行的.通过前面的分析还发现,谱线辐射强度的增长趋势与其强度大小有关,辐射强度越大的谱线,对电弧弧长的变化越敏感,因此实际应用中应考虑尽量选取辐射强度较大的特征谱线.

文中建立了 ArI 801.5 nm 特征谱线辐射强度与电弧长度的关系方程,该方程与实测数据吻合良

好.特征谱线与电弧长度的关系方程建立后,利用一台小型光谱仪,配合计算机自动计算程序就可以很容易实现对焊接电弧弧长的实时检测,进而实现对电弧弧长的自动控制.

参考文献:

- [1] Adolfsson S, Bahrami A, Bolmsjo G, *et al.* On line quality monitoring in short-circuit gas metal arc welding [J]. **Welding Journal**, 1999 (2): 59-73.
- [2] Ladislav Grad, Janez Grum. Feasibility study of acoustic signals for on-line monitoring in short circuit gas metal arc welding [J]. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, 2004, 44 (4): 555-561.
- [3] Wang Q, Li P, Zhang W. A new close-loop droplet transfer control system in the pulsed GMAW [J]. **Welding in the World**, 1994, 34 (5): 217-226.
- [4] Weglowski M. Determination of GTA and GMA welding arc temperature [J]. **Welding International**, 2005, 19 (3): 186-192.
- [5] Farmer A J D, Haddad G N, Kovitya P. Temperature distributions in free-burning arc. IV. Results in argon at elevated pressures [J]. **Journal of Physics D: Applied Physics**, 1988, 21: 432-436.
- [6] 李俊岳, 宋永伦. 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.
LI Jun-yue, SONG Yong-lun. Basic theory and method of welding arc spectrum information [J]. **Transaction of the China Welding Institution**, 2002, 23 (6): 5-8.
- [7] 安藤弘平, 长谷川光雄. 焊接电弧现象[M]. 施雨湘译. 北京: 机械工业出版社, 1985.