

文章编号:1002-025X(2007)01-0033-03

# 高压环境下电弧电特性及管道焊接工艺的研究

宋广贺<sup>1</sup>, 王中辉<sup>2</sup>, 蒋力培<sup>2</sup>, 焦向东<sup>2</sup>, 周灿丰<sup>2</sup>, 薛 龙<sup>2</sup>, 吕 涛<sup>2</sup>

(1.鞍钢附企综企冶金车辆厂, 辽宁 鞍山 114041; 2.北京石油化工学院 北京市重点实验室, 北京 大兴 102617)

**摘要:**利用自制的高压干法水下焊接模拟试验平台, 首次研究了高压空气环境下的GTAW电弧电特性, 研究表明:随着环境压力的升高, 气体密度增大, 电离度降低, 弧柱电场强度增加, 导致电弧静特性曲线上移。利用多元线性回归方法, 建立了高压空气环境下的电弧电压数学模型, 并在此基础上进行了高压模拟管道焊接工艺试验。研究表明, 随着环境压力的增大, 焊接电流减小, Ar流量增大。在0.1, 0.3, 0.5和0.7 MPa压力下, 选用合理的焊接工艺参数, 对于X56管线钢, 均获得单面焊双面成形的良好效果。

**关键词:**高压干法焊接; 电弧电特性; 焊接工艺

**中图分类号:** TG457.6 **文献标识码:** B

高压干法水下焊接是水下主要结构、管道修复中使用最为广泛的技术, 由于GTAW具有电弧稳定、适于全位置焊接、易于实现自动化等特点, 是常用的高压干法水下焊接技术<sup>[1]</sup>。高压干法水下焊接属于严酷条件下的焊接, 焊接水深和环境压力对焊接过程有显著的影响。为了有效地进行高压环境下的管道焊接, 必须首先清楚高压环境下GTAW的特点。本文在自制的高压焊接模

拟试验系统中进行了一系列试验, 研究了高压空气环境下GTAW的电弧特性。在此基础上进行了高压环境下管道全位置焊接工艺试验, 研究了环境压力对焊接参数的影响, 在0.1, 0.3, 0.5和0.7 MPa压力下, 均获得单面焊双面成形的良好效果。

## 1 高压干法水下焊接模拟试验平台

高压干法水下焊接模拟试验平台主要由高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱、高压气体管路系统、全位置自动焊接机器人、焊接过程高速摄像系统、舱内场景与焊接过程监控系统 and 高压环境气体测控系统7部分组成。高压气体管路系统首先为高压环境气体调配储罐配备空气, 然后将气体输送到高压

收稿日期: 2006-08-18; 修回日期: 2006-12-21

**基金项目:**国家“十五”863重大计划项目“水下干式管道维修系统”(2002AA602012-3); 北京市自然科学基金暨北京教育委员会科技发展计划重点项目“干式高压TIG焊接电弧行为及其控制的研究”(Z200410017008); 北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目

铁, 咬边研磨不充分, 焊接电流过小, 焊接速度过快, 由于焊条、焊机或操作原因出现偏弧等。为了避免未熔合的产生, 必须注意以下几点: 选择合适的焊接参数, 避免使焊接电流过小或焊接速度过大; 通过打磨或刷擦将管口及焊道层间清除干净; 出现焊接电弧偏吹时, 认真进行技术处理并查找原因。

### 4.4 未焊透

未焊透大都存在于焊缝根部, 是由于错口或操作角度不合适而产生的, 这类缺陷比较容易消除, 一般通过提高焊口组对质量和调整焊工的操作手法即可避免。

### 4.5 裂纹

对管道而言, 裂纹是最危险的缺陷, 主要是冷裂纹, 具有延迟性, 危害极大。裂纹的出现主要与环境温度、焊接冷却速度和应力有关。本公司在西南成品油管道施工中出现的裂纹缺陷次数虽然很少, 仅6次, 但由于其危害性大, 每当出现都经过了认真的分析, 一般都与应力有关, 6次裂纹仅有1次是正常焊接时产生, 其它5次都是在返修过程中应力诱发所致。为避免裂纹的产生, 主要应严格控制环境温度, 避免出现强力组

对, 焊接操作应严格按焊接工艺规程执行。

## 5 结论

(1) 混合向下焊焊缝金属强度高, -50℃时的冲击韧性优良, 适合于高强度、高韧性要求的材料焊接。

(2) 要想得到外形美观且质量优良的焊接接头, 选择合理的焊接参数和操作手法尤为重要。

(3) 采用低氢型焊条和小热输入向下立焊工艺进一步有利于细晶粒高强度管道接头的焊接, 这种焊接方式金属熔敷效率比向上立焊高80%~100%。

## 参考文献:

- [1] 赵 事. 混合向下焊焊接工艺的应用[J]. 焊接, 1997, 41(11): 28-31.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊操作手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

**作者简介:**陈自振(1971—), 男, 河南唐河人, 高级工程师, 长期从事长输管道、油气田地面建设的生产技术管理工作。

焊接试验舱,全位置自动焊接机器人在高压焊接试验舱中进行工件的全位置焊接。焊接过程高速摄像系统对焊接电弧进行高速摄像,舱内场景与焊接过程监控系统对舱内场景与焊接过程进行实时监控,高压环境气体测控系统完成气体输送过程的自动控制以及高压环境气体调配储罐、高压焊接试验舱的气体环境参数的实时采样与监控。电极采用 $\phi 3.2$  mm的钨钨极,焊丝采用 $\phi 0.8$  mm的H08Mn2SiA,母材为16Mn钢板,规格为510 mm $\times$ 100 mm $\times$ 10 mm。

## 2 高压空气环境下电弧电特性的研究

### 2.1 高压空气环境下的电弧静特性

焊接电弧是一种气体放电现象。因此,在不同压力的气体介质中,电弧的特性也是不同的<sup>[2]</sup>。为此,对不同压力下电弧的静特性进行了研究。图1为焊接电弧的静特性曲线。由图可以看出,在一定的电弧长度下,电弧静特性曲线随气体介质压力的升高而上移。这说明在焊接电流和电弧长度相同的条件下,在高气压下的电弧电压比在常压下高。

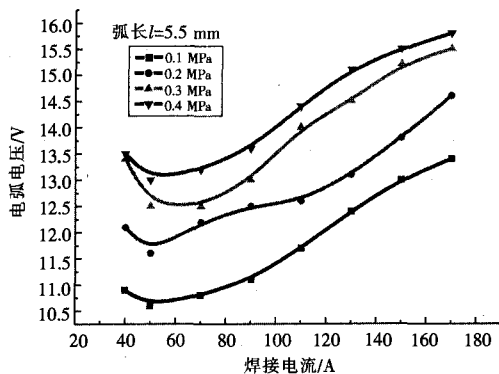


图1 焊接电弧的静特性曲线

### 2.2 高压空气环境下的电弧电压及电弧电场强度

图2为在一定条件下(焊接电流150 A时)电弧电压与电弧长度的关系。由图2可以看出,随着电弧弧长的增加,电弧电压也增加。随着环境气体压力的升高,同一电弧弧长的电压增加。

图3为焊接电流170 A时,电弧电场强度与环境压力的关系,由图可以看出,随着环境压力的增大,电弧电场强度增大,近似关系式为:

$$E=0.099\ 29+3.321\ 46P-3.357\ 25P^2. \quad (1)$$

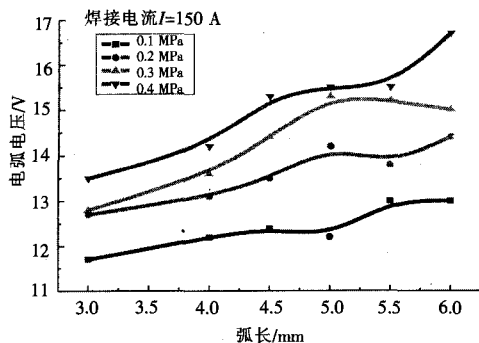


图2 电弧电压与电弧长度的关系

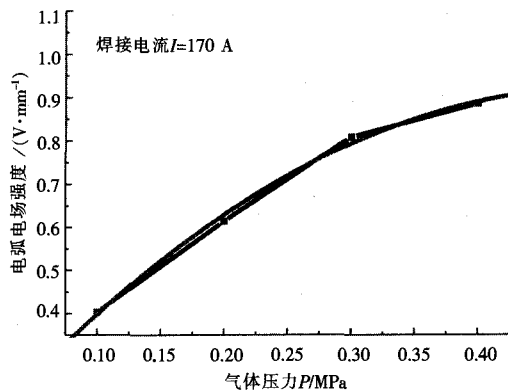


图3 电弧电场强度与环境气体压力的关系

### 2.3 环境压力对电弧阴阳极压降之和的影响

图4为焊接电流170 A时,阴阳极压降之和与环境气体压力的关系。由图可以看出,随着环境压力的增大,阴阳极压降之和增加。

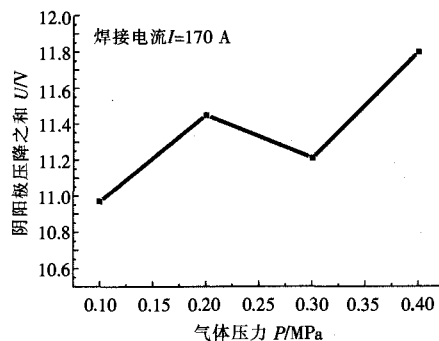


图4 阴阳极压降之和与环境气体压力的关系

### 2.4 环境压力对电弧形态的影响

随着环境气体压力的升高,不仅使电弧的电特性发生变化,而且使电弧的形状也发生变化。图5是通过观察窗利用高速摄像系统拍摄的不同气体压力下氩弧的形态(焊接电流120 A,弧长5 mm,从左向右压力依次为0.1, 0.3, 0.5, 0.7 MPa)。从图中可以看出,随着环境气体压力的升高,电弧逐渐收缩,由常压下的钟状变为高压下的柱状,焊接电弧的亮度也随压力的升高而增加。

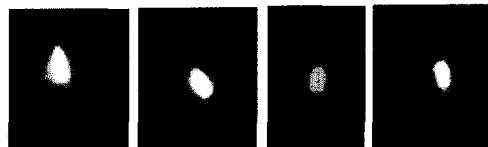


图5 电弧形态变化

### 2.5 高压空气环境下GTAW电弧电压的数学模型

对试验数据进行多元线性回归,得到高压空气环境下电弧电压的数学模型:

$$U=5.344\ 5+9.841\ 67P+0.633\ 3L+0.019\ 72I. \quad (2)$$

## 3 高压环境下管道焊接工艺

### 3.1 试验所用的材料

电极采用钨钨极,焊丝采用 $\phi 0.8$  mm的H08Mn2SiA,试验用母材为API 5L X56输送管线钢,规格为 $\phi 168.3$  mm $\times$ 9.5 mm。

其化学成分及力学性能分别见表1和表2。

表1 API 5L X56管线用钢化学成分 (质量分数) (%)

元素	C	Mn	P	S	Nb	V	Ti
成分	≤0.26	≤1.35	≤0.040	≤0.050	≥0.005	≥0.005	≥0.005

表2 API 5L X56管线用钢管力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率 (%)	最大试验压力/MPa
489.545	386.12	22	20.685

3.2 焊缝坡口寻优

焊接坡口形式有多种，常用的有U形、V形和Y形，因为板厚为10 mm左右，所以选择V形和Y形坡口，对比试验结果见表3，在相同的条件下，对于相同厚度的钢板，V形坡口与Y形坡口金属填充量相差不大，而且在打底焊时，Y形坡口比V形坡口需要更大的焊接电流来实现单面焊双面成形，而V形坡口在较小的焊接电流条件下就容易实现单面焊双面成形（小焊接电流是由高压环境决定的，同时，高压环境下选用小焊接电流，避免钨极过度烧损），经比较，最终选择加工简单、生产效率高的V形坡口。

表3 3种焊缝坡口焊接试验数据

坡口类型	坡口截面积/mm <sup>2</sup>	打底焊电流/A	填充焊道数	盖面焊道数	坡口加工成本
U形坡口	91	95	6	2	高
Y形坡口	57	160	3	1	低
V形坡口	77	130	3	1	低

3.3 高压空气环境下全位置单面焊双面成形试验

在自制的高压焊接模拟试验装置中，分别进行了4个压力级别（0.1，0.3，0.5，0.7 MPa）的焊接工艺试验，选择合理的焊接参数，可得到良好的单面焊双面成形焊接接头，如图6所示。

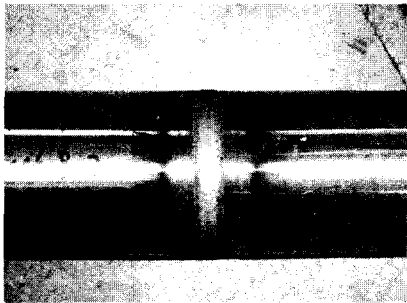


图6 管道焊缝外观

3.4 高压空气环境下焊接工艺试验结果分析

3.4.1 环境气体压力对焊接电流（打底焊平均电流）的影响

由于环境气体压力增加，要维持恒定的焊接弧长，电弧电压将升高。在熔透焊接时要使焊接热输入一定，必然要相应减小焊接电流。图7为打底焊平均焊接电流随环境气体压力的变化趋势，由此图可以看出，在电弧长度（4.5 mm）一定的情况下，平均焊接电流与环境气体压力呈线性关系，随着环境气体压力的增加，焊接电流减小。其直线关系式为：

$I=132.5-25P,$  (3)

式中： $I$ 为焊接电流， $P$ 为环境气体压力。

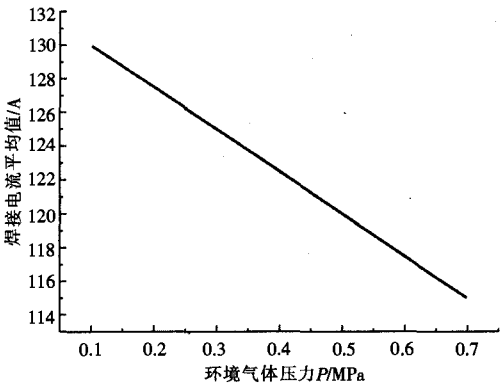


图7 焊接电流与环境气体压力的关系（弧长4.5 mm）

3.4.2 环境气体压力对保护气体氩气流量的影响

图8为打底焊氩气流量随环境压力的变化趋势，由图8也可以看出，随着环境气体压力的增大，氩气流量必须加大，二者也呈线性关系。其它位置的氩气流量与环境气体压力的关系也符合这一规律。

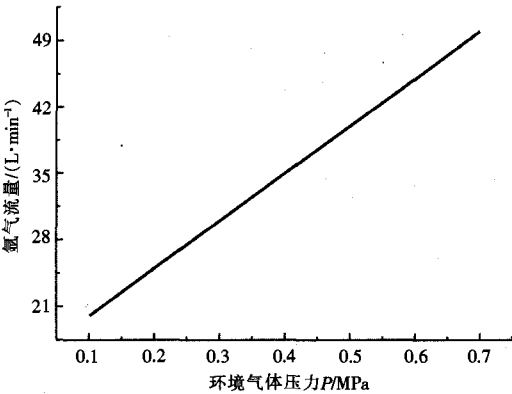


图8 打底焊氩气流量随环境气体压力的变化关系

4 结论

- (1) 在试验基础上，利用多元线性回归的方法建立了高压焊接电弧的数学模型，为高压干法水下焊接提供了理论依据。
- (2) 进行了高压管道模拟焊接试验，选用易于实现单面焊双面成形的GTAW，选用空气作为环境保护气体，采用安全的接触引弧方式，选用易加工、填充量少、焊接电流小的V形坡口，分别在0.1，0.3，0.5和0.7 MPa压力下，对X56管线钢均获得单面焊双面成形的良好效果。

参考文献：

[1] 哈尔滨焊接研究所. 高压干法TIG焊研究[R]. 黑龙江 哈尔滨: 哈尔滨焊接研究所, 1988.  
[2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册（第2版）（焊接方法及设备）[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.138-139.

作者简介：宋广贺（1974—），男，工程师，主要从事焊接工艺的研究。