



# 高纤维素焊条电弧吹力的优化

聂建航, 姚润钢

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 为对高纤维素型焊条的电弧吹力进行优化, 采用均匀设计方法进行了药皮配方设计, 用焊缝熔深反映电弧吹力的大小, 建立了熔深与药皮组分之间的数学模型, 并分析了各组分对电弧吹力的影响规律, 通过计算得出性能优良的焊条配方。

**关键词:** 高纤维素; 电弧吹力; 均匀设计; 熔深

中图分类号: TG 422.1 文献标识码: A

## Improvement on Arc Force of High-cellulose Electrode

*NIE Jian-hang, YAO Run-gang*

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** The arc force of high cellulose electrode coating has been optimized using the uniform design method. As the arc force affects weld-throat deepness, a mathematical model is established between the weld-throat deepness and the compositions of the coating in which the effect of compositions of the coating on arc force is analyzed and a new type electrode with excellent properties is calculated.

**Keywords:** high cellulose electrode; arc force; uniform design; weld-throat deepness

高纤维素焊条是为适应长距离输送管道焊接工程而研制生产的一种管道焊接专用焊条, 其特点是电弧吹力大, 具有良好的“短渣”特性, 垂直下向环缝焊接, 焊接效率高。“十二五”期间, 中石油集团将要建设 5.4 万公里的油气管道, 超过其过去近 50 年的建设总里程。国内有多家单位及院校研制过高纤维素焊条<sup>[1-3]</sup>, 但在实际应用中存在电弧吹力小, 电弧稳定性差等问题, 制约着高纤维素焊条的推广。研制工艺性能优良的高纤维素焊条有巨大的市场前景与经济效益。因此, 本文拟通过配方均匀设计方案安排试验, 以期提高其电弧吹力。

### 1 试验

#### 1.1 试验材料及试验方法

试验材料包括国外优质高纤维素焊条—F

焊条, 国内生产的高纤维素焊条—S 焊条, 自制 E6010 焊条, 均为  $\phi 4.0$  mm 焊条。自制焊条采用 H08A 焊芯, 纯钠水玻璃做粘结剂。在国产 25 T 焊条压涂机上压涂焊条, 烘干后使用 Panasonic YD-400AT 直流电焊机进行焊接。焊接电流 120 A, 立向下施焊, 直流正接。焊接试板为 Q235 钢板, 试板表面平整、光洁, 焊前去除氧化皮。每根焊条焊两道, 焊缝长度不小于 150 mm, 焊后沿焊缝横截面切开, 切两道, 断面经抛光和腐蚀后, 测量其熔深, 取 4 个熔深最大值。

#### 1.2 试验方案

选取配方中成分含量较大或对工艺性影响较大的 6 种成分进行有约束的配方均匀设计, 其余成分固定。试验条件为因素数 6, 水平数 12, 约束条件为金红石: 0.25 ~ 0.45; 纤维素: 0.20 ~ 0.41; 铁砂: 0.04 ~ 0.14; 碳酸锰: 0.04 ~ 0.10; 镁

收稿日期: 2012-08-24

作者简介: 聂建航, 1985 年生, 男, 在读硕士, 主要从事焊接材料的研究。

砂: 0.04 ~ 0.10; 钛铁矿: 0.04 ~ 0.10。将试验条件和约束条件输入均匀设计软件得出如表 1 所示的试验方案。

表 1 试验焊条对熔深的影响  
Table 1 The weld-throat deepness of test electrodes

Electrode	Rutile	Cellulose	Magnetite	Rhodochrosite	Magnesia	Ilmenite	Deepness/mm
1	0.326 8	0.325 5	0.129 6	0.071 0	0.065 6	0.081 5	1.46
2	0.338 8	0.350 4	0.076 1	0.086 4	0.091 6	0.056 7	1.28
3	0.357 3	0.363 6	0.109 3	0.042 3	0.075 6	0.051 9	1.34
4	0.316 5	0.368 7	0.135 5	0.061 1	0.046 7	0.071 4	1.54
5	0.357 1	0.337 8	0.111 2	0.066 0	0.080 8	0.047 1	1.52
6	0.280 0	0.364 6	0.100 9	0.097 2	0.070 6	0.086 7	1.28
7	0.318 3	0.384 3	0.117 9	0.081 2	0.056 0	0.042 4	1.42
8	0.251 5	0.380 6	0.121 6	0.073 9	0.083 5	0.088 9	1.43
9	0.398 0	0.335 6	0.092 5	0.051 6	0.060 7	0.061 5	1.37
10	0.328 9	0.386 9	0.083 8	0.091 8	0.042 2	0.066 5	1.39
11	0.337 0	0.371 5	0.095 9	0.046 9	0.051 3	0.097 3	1.58
12	0.283 3	0.402 6	0.084 3	0.056 3	0.097 2	0.076 4	1.48
F							1.59
S							1.51

## 2 试验结果及分析

### 2.1 药皮组分对熔深的影响

把每个配方的最大熔深数据输入计算机,借

助 DPS 数据处理系统软件<sup>[4]</sup> 通过偏最小二乘回归建立二次多项式回归模型,选择有关参数并确认后,可以得到各个自变量对因变量作用的标准回归系数,见表 2。

表 2 各个自变量对因变量作用的标准回归系数

Table 2 The standard regression coefficient about independent variables on dependent variable

	Standard regression coefficient	Influence tendency		Standard regression coefficient	Influence tendency		Standard regression coefficient	Influence tendency
$x_1$	-0.109 2	seventh	$x_4 \times x_4$	-0.181 3	second	$x_2 \times x_4$	-0.069 9	
$x_2$	0.110 4	sixth	$x_5 \times x_5$	0.066 4		$x_2 \times x_5$	0.044 2	
$x_3$	0.129 8	fifth	$x_6 \times x_6$	0.096 1		$x_2 \times x_6$	0.058 4	
$x_4$	-0.064 4		$x_1 \times x_2$	-0.011 8		$x_3 \times x_4$	0.143 0	fourth
$x_5$	-0.090 3		$x_1 \times x_3$	0.052 3		$x_3 \times x_5$	-0.005 6	
$x_6$	0.084 8		$x_1 \times x_4$	0.147 5	third	$x_3 \times x_6$	-0.106 5	eighth
$x_1 \times x_1$	-0.068 9		$x_1 \times x_5$	-0.042 3		$x_4 \times x_5$	0.016 3	
$x_2 \times x_2$	0.069 8		$x_1 \times x_6$	0.107 0	ninth	$x_4 \times x_6$	-0.182 4	first
$x_3 \times x_3$	0.024 3		$x_2 \times x_3$	-0.104 1	tenth	$x_5 \times x_6$	-0.071 7	

Note:  $x_1$  - Rutile  $x_2$  - Cellulose  $x_3$  - Magnetite  $x_4$  - Rhodochrosite  $x_5$  - Magnesia  $x_6$  - Ilmenite.

标准回归系数绝对值的大小反映了各个因素对因变量的影响程度的大小。从表 2 中可以看出,金红石、碳酸锰和镁砂对考察指标的作用为负效应,纤维素、铁砂和钛铁矿对考察指标的作用为正效应。并且金红石、纤维素和铁砂对熔深的影响程度较大。碳酸锰、镁砂和钛铁矿影响程度较小。药皮组分之间组合关系对焊缝熔深大小存在复杂的关系,是多维空间的连续性曲线。药皮组分的单一组分以及它们之间的交互作用均不可忽视,但大部分以交互作用的方式起作用。譬如,铁砂和钛铁矿对因变量均为正效应,但是它们的交叉项对因变量却是负效应。表中列出了前十种对熔深影响较大的作用项,大部分为交互作用项或是某组分的平方项。

2.1.1 TiO<sub>2</sub> 的影响

TiO<sub>2</sub> 凝固温度高,高温下粘度低,有利于全位置立向下焊接,是高纤维素型焊条形成短渣的关键。TiO<sub>2</sub> 还具有稳定电弧的作用。有研究表明<sup>[5]</sup>,在药皮中加入 TiO<sub>2</sub> 纳米粒,可以提高焊缝金属中 Ti 含量,并且降低 Mn 和 Si 含量,从而增加了针状铁素体含量,提高了 -30 °C 冲击韧性。如果 TiO<sub>2</sub> 含量不足,则不能形成短渣,立向下焊接困难。但是 TiO<sub>2</sub> 对电弧吹力起负作用,加入量过高又会影 响电弧吹力。

2.1.2 纤维素的影响

纤维素高温分解时产生大量气体,是形成高纤维素型焊条电弧吹力的主要来源。但纤维素分解温度较低,一般为 200 ~ 300 °C<sup>[6]</sup>,焊接时由于焊条电阻热的作用,纤维素提前分解放出气体,丧失药皮原有作用,使焊条工艺性恶化,甚至导致立向下焊接不能进行,故单纯依靠提高纤维素含量实现强的电弧吹力和较大熔深是不够的。

2.1.3 铁砂的影响

铁砂主要成分为 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>,是强氧化剂,在药皮反应区阶段受热分解释放出大量氧气,增加了电弧气氛的氧化性,抑制了焊缝金属产生气孔,并且可提高电弧吹力。但是铁砂有稀渣倾向,加入量过高会发生淌渣,立向下焊难以进行。

2.2 模型的建立与优化

根据偏最小二乘回归分析<sup>[7]</sup>,对因变量进行优化,得到如下二次多项式回归模型,  $y = 2.6540941 - 0.865901x_1 - 6.528895x_2 + 3.942395x_3 + 6.537827x_4 - 3.134992x_5 - 7.044875x_6 - 3.469643x_1 \times x_1 + 12.856414x_2 \times x_2 + 7.544355x_3 \times x_3 - 64.588945x_4 \times x_4 + 23.686312x_5 \times x_5 + 35.478316x_6 \times x_6 - 1.568448x_1 \times x_2 + 9.649380x_1 \times x_3 + 25.423288x_1 \times x_4 - 8.038851x_1 \times x_5 + 21.077262x_1 \times x_6 - 23.284496x_2 \times x_3 - 24.361682x_2 \times x_4 + 10.339275x_2 \times x_5 + 18.145080x_2 \times x_6 + 54.685833x_3 \times x_4 - 1.470819x_3 \times x_5 - 45.780324x_3 \times x_6 + 5.592227x_4 \times x_5 - 58.696857x_4 \times x_6 - 29.002733x_5 \times x_6$

表 3 数据标准化后模型误差平方和及决定系数和 Press 残差

Table 3 The model error square sum and determination coefficient and press residual after data standardization

Dependent variable	Error square sum	Determination coefficient R <sup>2</sup>	Press residual
y	1.814 5	0.844 1	10.875 1

由表 3 可以看出,回归模型误差平方和较小,说明模型拟合较好。

根据 DPS 数据处理系统所得出的试验处理结果,最优指标时各因素的组合以及指标预测值 y' 见表 4。

表 4 最优指标时各个因素组合

Table 4 The results of independents variables base on optimal index

y' /mm	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>
1.67	0.284 6	0.402 6	0.076 1	0.042 3	0.097 2	0.097 3

2.3 试验验证

按照表 4 中各组分的配比,其余成分不变,压制焊条。按上述方法测量焊缝熔深,验证结果

为 1.60 mm。验证值与预测值基本吻合,说明回归方程预测精度较高。

该结果与 S 焊条以及 F 焊条相比有了提高,

说明用均匀设计优化配方组分提高电弧吹力是有效果的。

## 4 结论

(1) 在焊条药皮配方设计试验中,应用均匀设计方法可以减少试验次数,而且回归方程精度较高。

(2) 药皮组分对焊接工艺性影响较为复杂,并且交叉项之间影响因素较大,运用均匀设计的配方试验可清晰地获得各组分对焊接工艺性的影响,并且可以获得性能优良的结果。

### 参考文献:

- [1] 吴伦发,王明林,朱丙坤,等. 国产高纤维素焊条的研制[J]. 管道技术与设备, 2005(3): 30-31.  
Wu L F, Wang M L, Zhu B K, et al. Development of home-made high-cellulose electrode [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2005(3): 30-31.
- [2] 徐爱生,柳忠恩. SH·E6010 (GB E4310) 高纤维素钠型焊条的研制[J]. 焊接技术, 1996(6): 18-20.  
Xu A SH, Liu Z E. SH·E6010 (GB E4310) Development of high-cellulose sodium electrode [J]. Welding Technology, 1996(6): 18-20.
- [3] 张清辉. 改进型 E4310 纤维素焊条的研究[J]. 焊接技术, 2001, 30(4): 43-44.  
Zhang Q H. Study on improved cellulose electrode E4310 [J]. Welding Technology, 2001, 30(4): 43-44.
- [4] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.  
Tang Q Y, Feng G M. DPS data processing system for practical statistics [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [5] Fattahi M, Nabhani N, Vaezi M R et al. Improvement of impact toughness of AWS E6010 weld metal by adding TiO<sub>2</sub> nanoparticles to the electrode coating [J]. Materials Science and Engineering A, 528 (2011): 8031-8039.
- [6] 张子荣,等. 电焊条[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998. 7.  
Zhang Z R et al. Electrode [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.
- [7] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.  
Wang H W. Method and application of partial least-squares regression [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999.

(编辑: 房威)