



大口径厚壁P91管道埋弧焊 焊接工艺研究

程文俊 毛春生 李胜利 苗慧霞

【摘要】 本文介绍了采用手工钨极氩弧焊打底，电弧焊+埋弧焊填充盖面的焊接工艺对大口径厚壁P91管道进行焊接的工作。在整个焊接及管理过程中研制出了一套适应的装置和施工方法。这种应用自动焊设备采用新工艺的施工方法将制造厂焊接工艺与现场施工特点、难点相结合。具有一定的借鉴意义。

关键词： 埋弧焊；温度；试验

1. 概述

随着电力工业的迅速发展，超临界、超超临界机组不断兴建，单机容量已达到1000MW，温度提高到605℃，与此同时，电站管道的壁厚也在不断增加。基于此，发展自动焊接，提高焊接质量，减轻焊工劳动强度，提高经济效益，缩短施工工期是一个必然趋势。埋弧焊是一种电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。由于焊接质量稳定、焊接生产率高、无可见弧光及烟尘很少，抗风能力强、熔深大，可以在露天操作，不受场地限制等特点，所以特别适合野外管道自动化预制。由其在在大径厚壁P91管道的焊接中采用埋弧自动焊是一种理想的焊接方法，有广阔的应用前景。

2. 埋弧焊特点

(1) 管道埋弧焊是一种将焊炬头固定在平焊位置不动、而

管道转动的焊接方式。

(2) 由于管子不断的旋转，熔化的焊剂和熔池金属因离心力的作用而有离开电弧燃烧区的倾向，因此管道自动焊时，焊丝的位置要有一段偏移量，使熔池旋转到中心位置时正好凝固，在偏离平焊位置地方的焊剂由于重力作用会脱落，不能很好的覆盖在待焊焊缝部位，进而影响焊缝的质量。

(3) 管道埋弧焊的焊接位置为平焊位，管子不断的旋转下，熔化的焊剂和熔池金属因离心力的作用而有离开电弧燃烧区的倾向，因此管道自动焊时，焊丝的位置要有一段偏移量。

(4) 大口径厚壁管对预热温度及层间温度的要求极其严格，当管道转动时用红外线测温仪测量，存在测温不准确和不能持续下去且温度的记录也不方便，若采用热电偶固定时，则存在随着管道转动而发生测温线缠

绕问题。

(5) 保持持续恒定的预热温度是高合金钢特别是马氏体耐热钢成功焊接的关键基础条件之一。同热电偶测温问题一样，找出合适的预热方法，既不影响测温，又不影响焊接操作也是研究内容之一。

(6) 埋弧焊由于采用的电流较大，如何控制好热输入也是焊接接头获得具有较高冲击韧性的难点之一。此外焊剂的堆放高度和层间温度的控制，也是焊接接头获得较高冲击韧性的关键因素。

3. 工装、夹具制作

(1) 通过研究与实践，研发出如图1所示的防埋弧焊焊剂脱落装置，通过此装置的钢丝刷与管道表面紧密接触和后部的移动小刷，很好的防止在焊接过程焊剂的脱落问题，有力的保证了焊缝质量。

(2) 通过多次试验，保持焊丝偏离平焊中心位置



图1 埋弧焊防焊剂脱落装置

30~50mm,使熔池旋转到中心位置时正好凝固,达到最佳的焊接效果,如图20所示。

(3)为了解决旋转测温难问题,制作出了一套连续测温装置如图3所示,通过碳刷、热电偶、测温线、导电环等一系列装置的配合使用成功解决了埋弧焊连续、准确测温问题。

(4)为了解决恒定预热问题,在焊接过程当预热温度达到规定的预热温度后,断开加热装置与导线的连接,适时观测测温点温度。当达到规定的预热温度下限时,连接导线进行预热,当预热到规定温度的中间值左右时,再断开连接进行焊接。

4. 焊接实施

(1)以材质为SA-335P91,规格为 $\phi 453\text{mm} \times 42\text{mm}$ 的管道为例介绍SA-335P91的焊接工艺。其化学成分如表1所示。

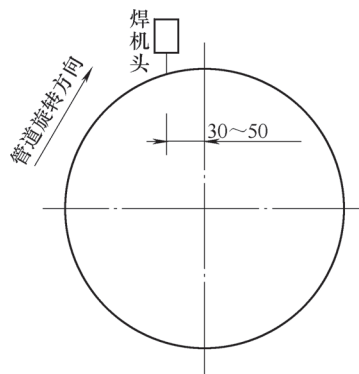


图2 焊丝偏离位置

(2)坡口选择,为降低较大的热输入,尽量选用如图4所示的窄间隙双V形坡口。

(3)焊接方法及材料:首先,焊接方法采用手工钨极氩弧焊(GTAW)+手工电弧焊(SMAW)+埋弧焊(SAW)。

其次,手工钨极氩弧焊焊丝采用日本神钢所产的 $\phi 2.4\text{mm}$ 的TG-S90B91焊丝;焊条选用

日本神钢所产直径 $\leq 3.2\text{mm}$ 的CM-95B91焊条;埋弧焊焊丝选用直径 $\leq 3.2\text{mm}$ 的US-9Cb焊丝;埋弧焊焊剂为与埋弧焊丝相匹配粒度为 10×48 的烧结焊剂PF-200S(使用前进行 250°C 、 $1 \sim 2\text{h}$ 的烘焙),埋弧焊焊丝US-9Cb化学成分如表2所示。

最后,手工钨极氩弧打底(根部进行充氩气保护)厚度为

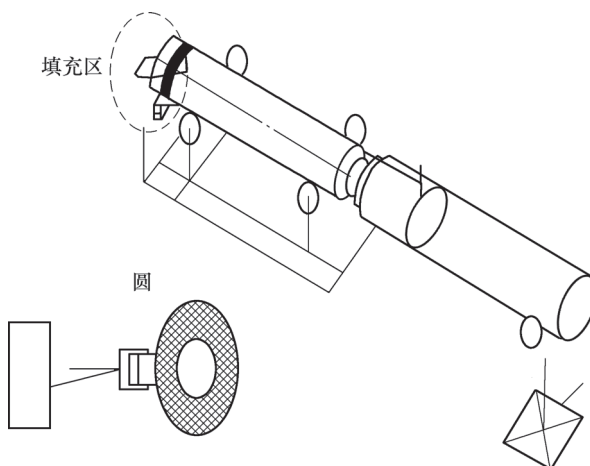


图3 管道埋弧焊测温装置

表1 SA-335P91化学成分(质量分数) (%)

化学元素	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
含量	0.09	0.51	0.24	0.005	0.010	8.92	0.03	0.02	0.87
化学元素	Al	Ti	V	Nb	N	Zr	—	—	—
含量	0.005	0.002	0.22	0.07	0.042	0.002	—	—	—

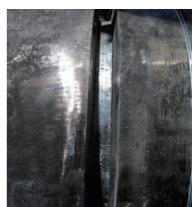
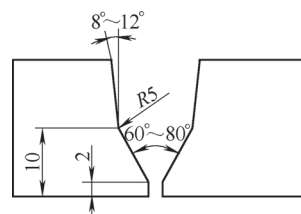


图4 窄间隙双V形坡口

表2 埋弧焊焊丝化学成分(质量分数) (%)

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb
含量	0.09	0.12	1.79	0.004	0.001	0.02	0.55	8.71	0.91	0.24	0.05

3mm左右;焊条电弧焊焊接厚度为5mm左右;其余用埋弧焊进行焊接。

(4) 根部不带衬垫。

(5) 预热温度及层间温度:①预热温度GTAW: 150~200℃; SMAW: 200~250℃; SAW: 200~300℃。②层间温度GTAW: 150~250℃; SMAW: 200~250℃; SAW: 200~300℃。③层间温度的测量采用经计量合格的红外线测温仪进行测量。

(6) 焊接参数选择:首先,电流、电压、极性如表3所示。

其次,管道转速的控制以满足下列公式要求为准: $UIt/\pi < 2000J/mm$, 其中 U 为电压; I 为电流; t 为转一圈所用的时间, D 为所焊处管直径。

(7) 操作要点:①在焊接过程焊机头固定牢稳。②引弧时,焊丝紧密接触管件表面,熄弧时,与起弧部位交叉15~20mm后再熄弧,接头部位事前清除焊渣。③每道焊缝宽度 $\leq 13mm$,厚度 $\leq 3.2mm$ 。④在靠近坡口壁的焊丝距坡口壁间距最佳以焊丝直径为准;同一层的上一道与下一道焊丝之间距离以8~10mm为最佳;焊道布置,在靠近坡口的一道时,焊机头向焊缝中心线倾斜15°左右;其他焊道,焊机导电嘴垂直于工件表面。⑤焊剂堆积高度宜30mm左右为宜,使焊缝的热量易散失。

(8) 焊后热处理:焊后焊

件温度降到80~100℃时,保温1~2h,再进行 $\leq 145℃/h$ 的升降温速度,恒温温度750~770℃,恒温时间4.4h的焊后高温回火热处理。

5. 试验结果

(1) 试验结果如表4所示。

(2) 金相组织如图5所示。

试验结果完全符合DL/T868-2014《焊接工艺评定规程》。

6. 结语

(1) 以上装置的实施成功的

解决了在施焊过程各类问题,有力的保证了焊缝质量。

(2) 施焊时焊接热输入 $\leq 2000J/mm$,及层间温度 $\leq 300℃$ 及焊层厚度的合理布置,对提高焊缝的冲击韧性有至关重要的要用。

(3) 合理的焊道布置和及时的层间焊渣清理,有效的避免了各类焊缝缺陷的产生

(4) 正确的选择热处理温度和保温时间,是保证焊缝获得良好力学性能的关键。

(5) 与手工电弧焊工艺相比,埋弧焊焊接施工效率可提高到3倍左右,工期大大缩短。

表3 焊接参数

焊接方法	焊接电流/A	电弧电压/V	极性
GTAW	80~100	8~12	直流正接
SMAW	90~110	20~26	直流反接
SAW	380~450	28~33	直流反接

表4 试验结果

检验项目	超声检测	拉伸试验/MPa	弯曲试验	冲击试验	硬度HBW	金相
试验结果	无缺陷	676	无裂纹	焊缝均值95J	近表面区均值214	母材板条马氏体
		673	无裂纹			焊缝回火马氏体
		664	无裂纹	热影响区均值125J	近根部区均值216	δ 铁素体含量<2%
		708	无裂纹			

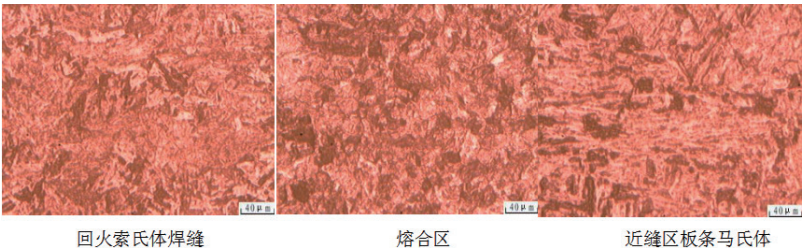


图5 焊接接头金相

参考文献:

[1] 陈祝年. 焊接工程师手册[M] 第2版.北京:机械工业出版社.

作者简介:程文俊等,山东电力建设第一工程公司。

MW 20171026