

管道全位置自动焊机的专用电源及焊接工艺

陈树君¹, 卢振洋¹, 任福深^{1, 2}, 梁君直³, 闫政³, 陈江³

(1. 北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022;

2. 大庆石油学院 机械科学与工程学院, 黑龙江 大庆 163318;

3. 中国石油天然气管道科学研究院, 河北 廊坊 065000)

摘 要: 为实现管道全位置自动根焊, 突破了传统的气体保护焊“恒压、等速送丝”系统的电压和送丝速度(即电流)的搭配关系, 采用短路能量与燃弧能量自适应调节技术, 研制成功专用的电弧能量调节器, 通过 IGBT 的高速开关作用调节短路过渡 MAG 焊接过程中短路能量和燃弧能量的分配, 保证电弧在更低电压、更大电流条件下稳定燃烧, 以适应管道全位置根焊在小熔池基础上的高能量输入, 实现了长输管线的全位置立向下自动根焊工艺。结果表明, 其焊接效率较传统的手工纤维束焊条或 TIG 焊接工艺打底有明显的提高。

关键词: 管道焊接; 根焊; 全位置焊接; 单面焊接双面成形

中图分类号: TP271.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2009)02-0013-04



陈树君

0 序 言

长输管道运输是继“铁路、公路、海运、航空”之后的第五大运输行业。国内能源分布偏重在西部和北部, 为缓解铁路运输的紧张局面, 应该积极开展管道运输。国内现有管线总长不及美国的1/10, 不及原苏联的1/6, 建设更多管线已成为能源建设的重要内容^[1]。目前, 国内长输管线的建设多采用焊条电弧焊和半自动 CO₂ 焊接方式。现场施焊时, 管子不能转动, 必须进行全位置焊接, 焊接质量极大地依赖于焊工的操作技能。中国钢质管道环焊缝焊接技术经历了几次大的变革, 目前已经开始全面推广熔化极气体保护自动焊工艺。

管道自动焊工艺主要采用熔化极气体保护焊方法, 在长输管道焊接施工中, 根焊工艺是制约着施工效率的关键环节。目前国内管道焊接施工采用的根焊方法主要有焊条电弧焊根焊、STT 根焊、内焊机自动根焊、单面焊双面成形自动根焊以及背部衬垫强制成形自动根焊。

焊条电弧焊根焊采用纤维素型焊条, 主要与焊条电弧焊和自保护药芯焊丝半自动焊焊接工艺相匹配, 也可用于自动焊工艺的根部焊接, 但由于手工清根以及管口组对间隙不一致等因素的影响, 往往造成自动外焊机填充、盖面焊时形成坡口边缘未熔合和夹渣。

STT 根焊是基于短路液桥表面张力过渡理论的熔化极气体保护焊方法, 具有操作灵活, 焊接速度快、焊道光滑、不易出缺陷等优点, 但其抗风能力较差。内焊机根焊焊接效率高, 焊接质量好, 但是这种根焊工艺对管口组对要求非常严格。单面焊双面成形自动焊设备(PWT CMSV. 02NRT)是针对西气东输管道工程从国外引进的焊接专机, 设备投资大。该设备不仅能完成一般的自动焊工作, 更为突出地是解决了不用背面衬垫的单面焊双面成形根焊问题, 根焊厚度达4.5~5 mm, 远高于内焊机的焊接厚度(1.0~1.2 mm), 而且采用计算机控制, 焊接质量高(返修率≤2%), 焊接效率比较快, 对于 $\phi 1016 \text{ mm} \times 14.6 \text{ mm}$ 的钢管根焊需时7 min左右。由于管口组对方便, 与其它外焊自动焊机共用轨道等辅助机具, 整体效率不低于内焊机根焊, 而且对各种管径的管道只需更换轨道即可, 适应性更强。

未来的管道建设为获得施工的高效率和高质量, 将优先考虑熔化极气体保护自动焊工艺, 其中研制管道焊接的新一代自动焊装备, 特别是解决管道根部焊接问题, 是当前管道焊接装备发展的趋势。采用研制专用的电弧能量调节器, 通过 IGBT 的高速开关作用调节短路过渡 MAG 焊接过程中短路能量和燃弧能量的分配, 实现双面成形自动根焊工艺, 以其高度智能化控制的特点和有效解决根焊的能力, 克服管道自动焊接的“效率瓶颈”, 真正展现出自动焊的优势。

1 管道全位置自动根焊技术特点

1.1 单面焊接双面成形焊接工艺

单面焊双面成形是一种先进的焊接工艺方法,采用该工艺可以降低生产成本、提高生产率.单面焊双面成形有自由成形和强迫成形两种形式.所谓自由成形,就是完全依靠熔池金属的表面张力来承托熔池金属,使之在自由状态实现焊缝背面成形的方法.而强迫成形,就是利用强迫成形装置,如背面衬垫及铜滑块等托住熔池金属,实现强迫成形.

管道外焊机自动根焊是自由成形的单面焊双面成形工艺,与有衬垫的强迫成形焊接工艺比较,无衬垫条件下难度在于对熔池的温度及停留时间的要求较高,否则极易造成烧穿和未焊透缺陷,尤其是对全位置焊.以平焊为例,熔池金属的受力情况如图 1 所示^[3].

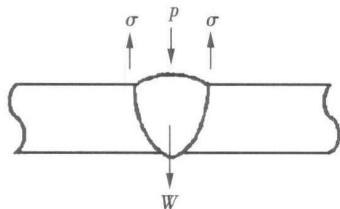


图 1 熔化金属受力情况

Fig. 1 Force of melting metal

图 1 可以表示为: $2\sigma = p + W = p + \rho HB$, 其中: ρ 为熔池金属比重, H 为熔池深度, B 为熔池宽度, p 为电弧对熔池的总作用力, σ 为熔池金属表面张力系数, W 为熔池金属重力. 当 ρ 和 B 一定时, 依靠表面张力托承的熔池深度取决于电弧力的大小, 而熔深和电弧作用力同时又与焊接电流有关, 熔宽则取决于电弧电压. 随熔池尺寸的增加, 表面张力增大, 但同时熔池体积的增大较表面积的增大快得多, 造成熔池增加到一定程度后, 表面张力将不能平衡电弧作用力和熔池重力, 熔池金属下流, 造成烧穿.

1.2 连续击穿法的 CO₂ 气体保护单面焊接双面成形

CO₂ 气体保护单面焊双面成形工艺^[3], 采用了连续击穿焊法. 连续击穿焊法是在焊接过程中利用 CO₂ 焊电弧热量集中、穿透能力强的特点, 直接熔透坡口根部, 使坡口根部两侧各熔化 1~2 mm, 这样就在熔池前沿形成了一个大于装配间隙的熔孔. 焊接时, 熔敷金属一部分过渡到焊缝根部及背面, 另外大部分熔敷金属则在正面与母材形熔池, 当焊枪向前移动时, 表面张力使熔融金属向熔孔后方流动, 该处

熔融金属在电弧吹力、液体金属重力与表面张力相互作用下保持平衡. 冷却时, 熔孔在电弧后方锁闭, 熔池不断冷却结晶, 最终形成完全熔透的正反面焊缝. 由于焊接时采用了连续焊法, 这样不仅电弧燃烧稳定, 热量集中, 对坡口根部加热均匀, 而且气体对熔池保护良好, 冶金反应彻底, 加上采用较小的焊接参数, 使得收弧时不易产生缩孔, 因此大大提高了焊缝的质量. CO₂ 气体保护单面焊双面成形虽然有很多优越性, 但是对坡口的加工、焊工的操作技术和工艺参数的掌握提出了较高的要求.

1.3 管道全位置自动根焊的自身特点

管道全位置自动根焊包含薄板单面焊双面成形和全位置焊接两种技术, 又有不同于这两者的自身特点. 薄板单面焊双面成形要求较高的焊丝熔化效率和对母材较小的热输入, 一般采用较小的送丝速度的短路过渡和脉冲焊接工艺; 全位置焊接技术的关键是保持较小的焊接熔池, 也就是较小的母材热输入, 一般用较低的平均电弧电压, 以短路过渡和“一脉一滴”的脉冲焊接工艺.

对于管道根焊工艺, 由于具有良好的散热条件, 对单面焊双面成形来说, 需要的是一定的焊接速度下有更高的母材热输入以保证熔透; 而为保证实现全位置焊接又不能提高电弧电压. 在管道全位置焊接工艺中, 图 1 中重力的方向将随着焊接的改变而变化, 在下角焊和仰焊位置, 电弧压力不仅要平衡表面张力的分量, 还要克服熔池重力的分量, 而且电弧压力还必须有助于将电弧的热量传递到熔池底部以保证背面的熔透.

为此, 管道全位置自动根焊的工艺要求是: 在保证一定的熔敷效率(送丝速度)条件下, 采用较低的电压(小熔池)和较大的焊接电流(保证熔透), 并保证焊接过程的稳定性.

连续击穿法的 CO₂ 气体保护单面焊双面成形焊接工艺虽然其在薄板焊接中获得较好应用, 但在管道全位置自动根焊应用中主要有以下几点不足.

- (1) 必须留有一定的坡口间隙, 增加管口组对的难度.
- (2) 130 A 左右的焊接电流限制了效率的提高.
- (3) 电弧能量不足导致背面成形不良, 而增加焊接电流又难以保证全位置焊接的要求.

2 短路过渡 MAG 焊的全位置自动根焊技术方案

传统的焊接工艺, 电压和送丝速度(电流)有着固定的配合关系, 对于 MAG 焊工艺为 $U = 14 + 0.05I$, 传统的焊接电源又是基于这一配合关系进行

设计的,脱离这个配合会出现焊接过程不稳定.用传统的焊接电源进行管道全位置自动根焊,采用低电压带来的小电流难以保证熔透和背面成形,采用大电流带来的高电压难以形成小熔池保证全位置焊接,强行进行低电压、高送丝速度的设置焊接过程不稳定而出现穿丝现象,这三种配合对应着根焊过程中经常出现的“未熔”、“下淌”、“烧穿”三种现象.

管道自动根焊的特点是实现单面焊接双面成形和全位置焊接,二者的共同要求是较小的焊接熔池和一定的电弧力.小熔池需要低电压,提高电弧力需要增加电流峰值.所以管道根焊工艺特点必将对焊丝的能量输入比例将超过普通短路过渡焊接的工艺.而管道根焊的强冷却条件又恰恰需要较高的母材输入能量以保证焊缝质量.所以从焊接过程稳定性考虑,必须提高焊丝的能量输入比例,而从焊接接头质量考虑又必须提高母材能量输入比例.

研制一套能稳定实现进行低电压大电流施焊的专用焊接电源系统确保根焊过程的稳定性,同时采用复合坡口形式减小母材的熔化量以弥补母材能量输入低的不足.

2.1 电弧能量调节器的原理

通常的短路过渡焊接中,燃弧时间和短路时间有一固定的比例关系,燃弧阶段是加热并熔化焊丝和母材金属的主要能量源,而短路阶段仅焊丝受电阻热作用被预热,熔池却处于冷却状态.

如能控制燃弧时的能量和短路时的能量,就可以改变母材熔化和焊丝熔化的比例,改变电弧作用力.母材的熔化主要依靠燃弧时的能量输入,焊丝的熔化与燃弧和短路时的能量,短路过渡的电弧力主要依赖短路结束时的爆破力,而爆破力的大小和焊接电流峰值有直接关系.

短路过渡MAG焊的燃弧时电压是电源电压和输出滤波电抗器感应电压的和.高的短路电流峰值意味着高电弧电压,高电弧电压又导致大的焊接熔池,这正是普通短路过渡MAG焊难以实现全位置自动焊接的单面焊接双面成形.

电弧能量控制器的主要功能是调节燃弧、短路的波形,进而在一定范围内控制燃弧和短路时的电源能量输出.通过控制焊接电弧力和电弧在母材与焊丝上的能量分配比例,使这种短路过渡焊接工艺适合于自动根焊工艺的单面焊双面成形.

电弧能量调节器是通过大功率IGBT的高频开关作用,根据短路、燃弧状态的判定调整等效电感量,也就是短路期间和燃弧期间的输出电抗器的电感可以不相等,这就大大扩展了短路、燃弧能量比例

的调节范围.电弧能量控制器的基本原理如图2所示.

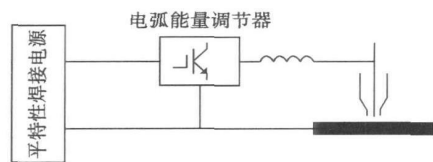


图2 电弧能量调节器的基本原理

Fig.2 Principle of electric arc energy regulator

通过电弧能量调节器改变根焊时的焊接电流、电弧电压波形,短路时间在整个周期的比例远超过普通CO₂焊,而焊接电流峰值较大而且熔滴过渡频率较快.

短路期间采用较大的电感(改变短路电流波形),燃弧时间变短,目的是限制短路电流上升速度和短路峰值电流,减少飞溅;燃弧期间采用较小的电感,减小电弧对熔滴的排斥力,减少短路小桥的电爆炸能量.短路时间和燃弧时间的分配关系也改变了焊丝熔化和母材熔化的比例,影响熔池的形状与尺寸,改变了熔池的受力状态,改善了焊缝成形.

2.2 焊接工艺试验

基于以上思路,采用IGBT逆变焊接电源然后输出到焊接能量控制设备,来实现上述功能.焊接电源输出电压、电流经过能量控制器转换后,经过波控电路,然后经过转换,完成焊接波形控制和能量控制,改变了电压和电流的匹配关系.焊接波形如图3所示.

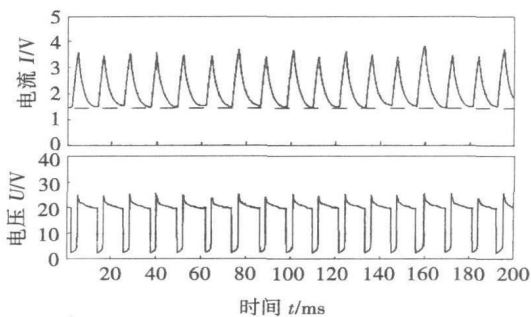


图3 管道自动根焊的电流和电压波形

Fig.3 Current and voltage waveforms of automatic root welding on pipeline

分析以上焊接电流、电弧电压波形曲线,可以发现燃弧时间明显减少,短路电流峰值较大,但同时熔

滴过渡频率加大,一定程度上细化焊缝,改善焊缝成形. 焊接时工艺参数较大,平均焊接电流可以达到 220 A,而电弧电压较低,约为 16~17 V. 电弧挺度增大,提高了电弧穿透力,可以实现焊缝背面成形. 与现有的 PAW 2000 型自动焊机配合,成功地实现了 1016 管道的全位置单面焊接双面成形,焊接过程和焊接质量的重复性和一致性达到了意大利进口焊机 PWT-NRT 的水平,连续多道口焊缝合格率达到 98%;焊接电源的输出波形均匀一致,焊接过程稳定.

焊缝的正反面成形如图 4 和图 5 所示. 可以看到,这是一种短路过渡过程,短路频率较高达 80~100 Hz,电流波形均匀,焊接电流达 170~220 A. 所以焊接效率较高,焊缝成形美观. 焊缝的宏观金相形貌如图 6 所示.



图 4 自动根焊的正面成形

Fig. 4 Face formation of automatic root welding

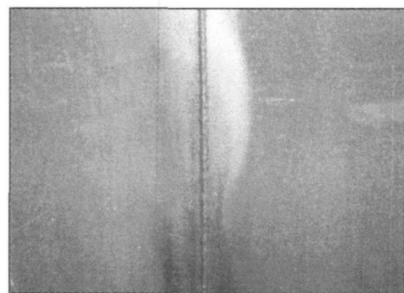


图 5 自动根焊的背面成形

Fig. 5 Back formation of automatic root welding

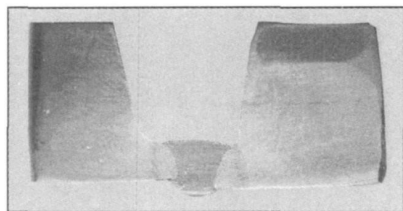


图 6 根焊缝截面形状

Fig. 6 Seam cross-section of root welding

3 结 论

(1) 焊接能量控制器采用短路能量与燃弧能量自适应调节技术,可改善焊接时的能量分配,进而改变焊材和母材的熔化比例,改善熔池形状和受力状态.

(2) 电弧能量调节器突破了传统的气体保护焊“恒压、等速送丝”系统的电压和送丝速度(即电流)的搭配关系,可以保证电弧在超过普通短路过渡负载线的更低电压、更大电流条件下稳定燃烧,以适应管道全位置根焊在小熔池基础上的高能量输入,实现了长输管线的全位置立向下自动根焊工艺.

参考文献:

- [1] 薛振奎, 隋永莉, 黄福祥, 等. 长输管道焊接施工工艺[J]. 焊接, 2002(8): 28-30.
Xue Zhenkui, Sui Yongli, Huang Fuxiang et al. Welding procedure of long distance pipeline construction[J]. Welding & Joining, 2002 (8): 28-30.
- [2] 刘晓波. 细丝 CO₂ 单面焊双面成形的研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2000, 32(2): 71-73.
Liu Xiaobo. Study of welding by one side and both sides formation with fine wire CO₂ arc welding[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2000, 32(2): 71-73.
- [3] 吴 强, 何思根. CO₂ 气体保护焊单面焊双面成形技术及应用[J]. 焊接技术, 1996(2): 42-45.
Wu Qiang He Sigen. The use and technology of CO₂ gas shield welding in single side weld with double side formation[J]. Welding Technology, 1996(2): 42-45.

作者简介: 陈树君, 男, 1971 年出生, 博士, 教授. 主要研究方向为新型焊接电源、电力电子技术、电磁兼容技术和焊接自动化. 发表论文 30 余篇.

Email: sjchen@bjut.edu.cn

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Self-adaptive control method of the pulsed CO₂ welding inverter

JIANG Lipai¹, ZOU Yong^{1,2}, YU Jianrong¹ (1. Opto-Mechatronic Equipment Technology Beijing Area Major Laboratory, Beijing Institute of Petro-chemical Technology, Beijing 102617, China; 2. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China). p1—3

Abstract: The pulsed CO₂ welder, which controls its pulse current wave by the constant current control method, is need to solve an important problem of automatical regulating the pulsed CO₂ welding arc voltage, since without the constant arc voltage output curve it will lose the ability of self-adjusting arc length. In this paper, a new method is proposed for self-adaptive control of the pulsed CO₂ welding arc voltage. Its operating principle is through arc voltage feedback control of the peak current time to make the pulsed CO₂ welder yield sloping output characteristics so as to realize the self-adaptive adjusting of its arc voltage. By taking the slope rate as the criterion of its algorithm, this control method can determine the slope rate of welder output curve and adjust the self-adaptive control intensity in quantity.

Key words: pulsed CO₂ welding; arc voltage; self-adaptive control; inverter

Sensing and control on the keyhole condition during controlled pulse key-holing plasma arc welding

JIA Chuanbao¹, WU Chuansong¹, ZHANG Yuming² (1. Institute for Materials Joining, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. Center for Manufacturing, University of Kentucky, Lexington KY 40506, USA). p4—8

Abstract: According to the strategy of controlled pulse key-holing, a new sensing and control system is developed for monitoring and controlling the keyhole condition during plasma arc welding (PAW). Through sensing and processing the efflux plasma voltage signals acquired during the welding processes with different levels of welding current, the quantitative relationship of the welding current, efflux plasma voltage and backside weld width of the weld is established. PAW experiments show that the efflux plasma voltage can reflect the state of keyhole and backside weld width accurately. Based on this, welding experiments under closed-loop control are conducted on ordinary plate and workpiece with varied thermal conditions, which have validated the stability and reliability of the developed keyhole PAW system.

Key words: controlled pulse key-holing; efflux plasma voltage; keyhole; plasma arc welding

Full-load range zero-voltage zero-current soft switching inverter arc welding power supply

ZHU Zhiming, ZHAO Gang, CHEN Jie, WANG Linhua (Key Laboratory for Advanced Materials Pro-

cessing Technology, Ministry of Education, Tsinghua University, Beijing 100084, China). p9—12

Abstract Depending on the research and classification of typical full-bridge soft-switching power converters, a full-load range zero-voltage zero-current soft-switching full-bridge power converter topology with auxiliary resonant network was put forward, designed and analyzed. By using dead time adaptive regulated phase-shift control method, which makes the dead time conjugate with the resonance processes affected by the circuit energy, the full-load range zero-voltage turn-on and proximate zero-voltage soft turn-off with effective results are realized for the power devices of converter's lead leg. At the same time, aimed at the problem of soft turn-on and soft turn-off being difficult to be compatible in the full-load range for the power devices of converter's lag leg, a realizing method of soft-switching is proposed, which makes the zero-voltage and zero-current technology combined together. Through the cooperative function of various auxiliary measures, the full-load range zero-voltage turn-on and soft turn-off combined zero-voltage with zero-current are realized for the power devices of converter's lag leg.

Key words: zero-voltage zero-current soft-switching; auxiliary resonant network; dead time; full-load range; inverter arc welding power supply

Special welding machine and welding process for all position automatic pipeline welding

CHEN Shujun¹, LU Zhenyang¹, REN Fushen^{1,2}, LIANG Junzhi³, YAN Zheng³, CHEN Jiang³ (1. School of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. School of Mechanical Science and Engineering, Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China; 3. Pipeline Research Institute of CNPC, Langfang 065000, China). p13—16

Abstract A special arc energy regulator is developed to realize the all position automatic root welding of pipeline welding. This generator adopting the self-adaption technology of short circuit energy and burning energy, breakthrough conventional matching relationship of the output voltage and the wire speed for the GMAW. Ensure the arc stability under the lower voltage and higher current, to adapt the high energy input of the all position root welding of pipeline.

Key words: pipeline welding; root welding; all position welding; single sided weld with double sided formation

Analysis of arc interference and control strategy for double wire

AC-DC SAW GAO Ying, LI Huan, HUANG Zongren, YANG Xinxin (School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p17—20

Abstract In the AC-DC double wire SAW system, the interference of two arc is serious. It makes the welding process unstable.