

X80 钢级长输管线自动焊接技术探讨

董嘉琪¹ 杨小龙² 费纪纲³ 越玉杰⁴

摘要: 为满足新疆煤制气外输管道工程对焊接质量的需求,初步分析了几种自动焊接工艺组合的适用性,综合考虑工艺、设备、施工工序三方面因素,推荐使用全位置的自动焊接工艺。将国外两个全位置自动焊系统CRC-EVANS和SERIMAX(DASA)与我国某研究院自主研发的CPP900系列自动焊系统进行对比研究表明: CRC-EVANS机组技术较为成熟; SERIMAX的SATURNAX05机组所需配置工作站数量少,机组的购置费用相对较低; CPP900系统生产厂家免费提供人员培训和技术支持,后期设备维护较为方便。

关键词: X80钢; 自动焊接; CRC; SERIMAX; 内根焊; 外根焊; 综合比选

Doi:10.3969/j.issn.1006-6896.2016.11.023

Discussion on Grade X80 Steel at the Beginning of Long Distance Pipeline Automatic Welding Technology

Dong Jiaqi, Yang Xiaolong, Fei Jigang, Zhao Yujie

Abstract: In order to meet the need for the Xin Jiang coal-gas transmission pipeline engineering on welding quality and efficiency, the paper analyzed the applicability of several automatic welding processes. Taking the process, equipment and construction process into consideration, it is recommended to use the automatic welding equipments with whole process. Comparing the foreign technology of automatic welding system of CRC-EVANS and SERIMAX (DASA) with the independent research and development of CPP900 in our country. We can draw a conclusion that the technology of CRC-EVANS units is relatively mature. The Saturnax 05 units of SERIMAX required less number of workstations, purchase cost of the unit is relatively low. The manufacturers of CPP900 units System provide free training and technical support, maintenance of equipment is more convenient.

Key words: steel grade X80; automatic welding; CRC; SERIMAX; root welding; external welding; comprehensive comparison

新疆煤制气管道外输工程全线长8 372 km, 主干线将采用X80级控轧控冷微合金钢管, 管径为DN1 200 mm。这种大口径、高钢级管材的使用对管道环焊缝焊接提出了更高的要求, 选择更合理的焊接方法对新气管道工程建设具有重要的现实意义。

目前我国长输管道焊接的主要方法是半自动焊, 其焊接速度比普通手工电弧焊高30%~40%, 具有连续送丝、电弧稳定、综合经济性好等特点。然而, 近年来这种半自动焊接方法用于合金含量较高的高钢级管材时存在焊缝金属夏比冲击韧性离散的现象^[1]。在某项目的焊接工艺评定中, 某研究院

分别采用全自动焊(内根焊)、半自动焊针对所使用的DN1 200/X80钢管材进行了焊接实验。半自动焊在钢级X65以下焊接时很少出现焊接接头韧性较差的不合格现象, 但对钢级X65以上特别是X80钢的焊接时, 发现焊接接头冲击韧性不合格问题非常突出, 而使用全自动焊接时该问题并不十分明显。探求原因, 认为与母材冶金成分及焊接过程稳定性等有关。

本文从自动焊接的工艺组合、设备及施工工序三个层面对DN1 200/X80钢管全自动焊接进行探讨。

¹山东莱克工程设计有限公司 ²中石化石油工程设计有限公司新疆分公司

³中国石油天然气管道局第五工程公司 ⁴中国石油大学(北京)

1 自动焊接工艺组合

目前自动焊接常用的工艺组合方法主要有4种，对于不同管径、不同钢级的管材，这4种方法的适应性各不相同，主要区别是根焊焊接工艺的不同。下面针对DN1 200/X80钢管分析4种焊接方法的优缺点。

(1) 纤维素型焊条根焊+自动外焊机填盖。采用纤维素焊条手工焊进行打底，其特点是成本较低，设备简单，对焊工技术水平要求较高。对于DN1 200 mm大口径钢管而言，手工打底焊本身速度较慢，且根焊焊道成型不规整，要想搭配自动外焊机填盖就必须对根焊道进行修磨，这种组合工艺的质量和效率受人为因素影响严重。

(2) STT/RMD根焊+自动外焊机填盖。STT/RMD根焊特点是使用送丝机连续送丝，较手工打底焊减少了焊接接头，且仅需对根焊道中接头处的余高进行打磨，减少了焊接时间。但是焊接时焊枪仍由人工操作，在对长距离DN1 200/X80钢管作业时不能保证持续稳定的高效焊接，所以不太适应快速的流水化作业。

(3) 自动外焊机根焊+自动外焊机填盖。使用自动外焊机根焊，焊道成型好，无需打磨，可直接进行填盖焊接^[2]。全位置的自动焊接可以确保每一个焊口的每一层焊道具有相同的焊接参数，保证了焊接质量的稳定性。相比自动内焊机根焊，其设备成本低，不受内焊机规格限制，适用管径范围广。

(4) 自动内焊机根焊+自动热焊机热焊+自动外焊机填盖。外根焊要求在管道外侧进行单面焊接双面成型，这种工艺的操作难度较大。使用内焊机打底，在管道内部实现根焊，根焊结束后短时间内在管道外侧进行一层热焊防止焊缝产生冷裂纹，保证根焊焊接质量。这种工艺在我国西气东输二线、三线工程中得到了广泛应用。

我国自20世纪90年代开始引进和研发管道自动焊技术和设备。在早期的管道建设中，由于价格原因多选择手工焊、半自动焊打底，焊接合格率很难保证。近年来我国在长输管道建设中，采用内根焊/外根焊的全位置自动焊机组取得良好的焊接效果，可确保获得较高的焊接效率和质量，故在新气输管道工程中推荐使用上述自动外焊机根焊+自动外焊机填盖或自动内焊机根焊+自动热焊机热焊+自动外焊机填盖这两种全位置自动焊工艺。

2 自动焊接设备

目前我国中石油、中石化系统内多个建设单位

引进的全位置自动焊设备为CRC-EVANS和SERIMAX系统的SATURNAX 05机组。此外，中石油廊坊管道局通过借鉴CRC-EVANS设备在西一、西二、西三线等大口径管道工程中的焊接经验，对原有国产化自动焊设备（PAW3000）进行了大幅度改进，研发出了新一代全位置自动焊系统——CPP900。

2.1 CRC-EVANS自动焊系统

CRC-EVANS管道全自动焊系统包括坡口机、内焊机、P260单焊枪外焊机、P600双焊枪外焊机。

(1) PFM坡口机。CRC-EVANS公司自主设计的双V形复合坡口为典型的窄坡口，这种设计对于大口径厚壁长输管道而言可有效节省焊材，并且焊接变形小。针对这种坡口形式特制一款PFM坡口机，其刀盘具有6把刀具，保证一个标准坡口可在2~5 min内完成，该设备由液压动力驱动。

(2) IWM内焊机。集管口组对和焊接于一体，缩短了焊接准备时间。该设备具有8个焊枪驱动系统，因此内焊机的焊接速度非常快^[3]。

(3) P260外焊机。利用计算机控制系统对焊接小车行走速度、送丝速度等重要参数进行控制。P260提供32个可编程焊道，可以完成外根焊、热焊、填充、盖面焊。为了提高生产效率，CRC-EVANS公司推荐该设备用于外焊。

(4) P600外焊机。具有2个焊枪，循环1次能完成2个焊道，对于厚壁管道可减少工作站的数量；可以完成从根焊、填充到盖面焊的焊接，并且还实时存储所有焊接数据，以便在电脑上进行处理。公司推荐该设备用于填充和盖面焊。

2.2 SERIMAX自动焊系统

SERIMAX公司现有全自动焊系统SATURNAX 05/07/09三种型号，05/07型具有低返修率、高效率的特点；09型是最强新一代焊接系统，可适应API V型坡口的焊接，特别适用于低温环境焊接。我国目前引进的是SATURNAX 05型机组，全套设备包括坡口机、气动内对口器和电焊机。

(1) 坡口机。用于加工SERIMAX公司推荐的U形坡口，该坡口更适应于外焊设备，焊材消耗较双V形坡口低，同时使用背面衬垫以便强制成型，保证焊接质量。

(2) 气动内对口器。靠自带气瓶内的压缩空气提供动力源用于支撑和爬行，支持的钢管长度为12~24 m，爬坡能力高达20°，可以在30 s内通过长24 m、13°的斜坡，其行驶速度保证了根焊速度的提高。

(3) 电焊机。每个焊接机头使用2个焊炬,能够一次完成根焊和热焊。此外,该设备能完成从根焊、热焊、填充到盖面全过程焊接,每道焊口从根焊到焊接结束不需要调换焊接设备,仅需调换焊接参数^[4]。

2.3 CPP900 自动焊系统

中石油廊坊管道局在总结了国产自动焊设备(PIW48内焊机+PAW2000/3000外焊机)施工经验后,于2015年研制出新一代自动焊系统CPP900,整个系统由坡口机、内焊机、外焊机构成。其最大特点是有触摸屏式的控制面板,焊工可以根据不同的现场环境,随时修改存储焊接参数,而对于CRC-EVANS系统,如果想修改主控板内的焊接参数,需要技术人员用电脑笔记本连接设备操作。CPP900坡口机的刀盘采用液压给进,单口加工时间更短。内焊机与外焊机性能基本接近CRC水平。

2.4 设备应用实例

目前,CRC-EVANS机组在我国的应用较为广泛,中石油系统内共有9套该机组,其中廊坊管道局7套、新疆油建1套、四川油建1套;管道自动焊接累计达到3 000 km,在西气东输二线曾创造出连续焊接4 238道口无返修的记录;在西气东输三线西段每天平均焊接50道口以上,无损检测合格率保证达到95%以上。

SERIMAX自动焊系统在我国海底管道焊接中应用较为广泛。对于陆上管道焊接而言,SATUR-NAX05机组在中石化系统内有过应用实例,如在沙特输水管道EPC项目中(主干线DN1 500/X60),中原油建自动焊机组焊接合格率达到97%;在山东LNG输气干线工程中(DN 1000/X60),江苏油建自动焊机组可达到每天焊接60道口以上。

国产设备CPP900自动焊机组已在中石油系统内部建设单位推广,并且在刚刚开工的中俄东线(DN1 400/X80)工程中进行了应用。

3 施工工序

自动焊接的施工工序一般采用流水化作业,即各工作站只进行单一固定程序的作业。选择不同的焊接工艺和设备会导致流水化作业在工序上有略微的差别,下面针对CRC(内根焊)和SERIMAX(外根焊)系统进行分析。

3.1 CRC-EVANS自动焊系统流水化作业

(1) 坡口加工。作为第一道工序,由于不受其他因素的制约可以提前进行。CRC-PFM坡口机对口径为1 219 mm、X80钢管1道口的加工时间约为2~3 min^[5]。

(2) 预热。X80钢管焊前必须预热,如果温度达不到要求,焊口会出现延迟裂纹等缺陷。组对前使用环形加热器消除管口内部湿气,组对后进行管口中频加热。

(3) 组对内根焊。根焊的焊接速度决定着整个焊接作业组的前进速度,CRC-IWM设备具备内对口器和管内根焊焊接双重功能,管口组对无间隙,减少了组对时调节间隙时间。管口组对符合要求后4个焊枪同时引弧焊接,对于西二线管线规格为1 219 mm×18.4mm壁厚的钢管,根焊只需90 s^[5]。

(4) 热焊。根焊完成后立即进行起后热和去氢,否则根焊焊道上容易产生裂纹。采用CRC-EVANS/P260热焊系统进行焊接,焊接时间约为1~2 min^[5],使用1台热焊机可实现与根焊工序的衔接。

(5) 填充和盖面焊。采用CRC-EVANS/P600焊接系统,填充焊的焊道层数由焊接工艺评定确定,以薄层多焊原则来控制焊接质量。P600为双焊枪,该设备在一个行走过程中可以完成2层焊道的焊接。以西二线焊接工艺评定中规定的焊道层数(填充4层、盖面1层),结合口径为1 219 mm、X80管线实际焊接过程中花费的有效时间(根焊90 s、填充焊约2~3 min、盖面焊约3 min)^[5],得出1个工序间衔接较为紧凑的标准化机组配置:2套

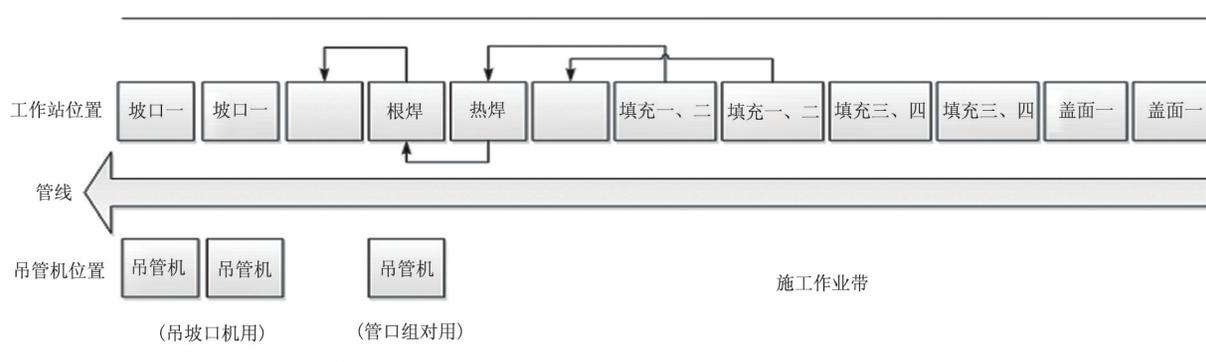


图1 CRC-EVANS自动焊系统流水化作业工作站布置图

坡口机、1套内根焊工作站（IWM）、1套热焊工作站（P260）、6套外焊工作站（P600）。各工作站在现场的布置如图1所示。

3.2 SERIMAX自动焊系统流水化作业

（1）坡口加工。推荐使用U型坡口。使用SERIMAX配套坡口机，加工1道标准坡口的时间约为4 min。

（2）管口组对。使用内对口器进行组对。目前常采用带铜衬垫的气动内对口器，它是在传统内对口器的环向上加入铜靴使其作为根焊的衬垫，保证背面成型的质量。

（3）预热。与CRC焊接系统所采用的预热方

法相同，均采用火焰、中频加热，或是二者组合加热。

（4）外根焊和热焊。由于SATURNAX 05设备使用双焊炬，且根焊、热焊的焊接工艺参数基本相同，因此该设备能够实现根焊和热焊一次完成。相比CRC机组可以减少一个热焊工作站。

（5）填充和盖面焊。与CRC-P600相比，同样可以实现设备在一个行走过程中完成2层焊道的焊接。工作站布置原则与CRC机组布置原则类似。

3.3 综合比选

3种全位置自动焊系统综合比选见表1。各系统目前存在的主要问题：

表1 3种全位置自动焊系统综合比选

对比项目	CRC-EVANS	SATURNAX 05	CPP900
根焊形式	内根焊	外根焊	内根焊
效率	最高	较高	一般
机组造价	2 750万元	2 460万元	2 330万元
后期养护费用	最高	较高	免费
现有设备数量	中石油共9个机组 中石化无	中石油无 中石化共5个机组	还未规模配套应用
优点	易操作，设备非常可靠	不需设置专门的热焊工作站，适用管径范围广	设备国产，备品配件易获得，人员培训和后期技术支持免费
缺点	设备成本高、人员培训费用高、后期养护费用高	铜衬垫易磨损，且每种壁厚对应一个衬垫；与内焊机相比，根焊速度慢	较国外进口设备易发生故障

（1）CRC自动焊系统内焊机价格昂贵，且机组内无其他设备可以完成内根焊操作，如内焊机发生故障则会导致整个机组搁置，备用内焊机是最好的方案，但会大大增加成本。

（2）SERIMAX自动焊系统使用带铜衬垫的内对口器以保证外根焊在管道内部的成型平整、美观。但在焊接过程中产生的高温热量会使铜衬垫部分熔化，发生微量铜元素渗入环焊缝现象，这也是西气东输工程拒绝使用该工艺的主要原因。关于渗铜是否对焊缝质量有影响问题，SERIMAX公司曾对X70管道做过一系列实验，实验结果表明渗铜现象对管道焊缝不存在明显不利因素。但针对X80钢级管材，目前尚无实验验证渗铜产生的影响。

4 结论与建议

（1）推荐使用全位置自动焊接工艺，保证焊接的质量和效率。

（2）CRC-EVANS机组技术较为成熟，其效率和质量在3种设备中最好，在我国西气东输二线、三线工程中对DN1200/X80管道有比较成功的焊接经验。但若使用此套设备，则需保证每个机组搭配备用内焊机。

（3）SERIMAX的SATURNAX05机组所需配置工作站数量少，机组的购置费用相对较低。若使用

此套设备，必须对X80钢级管材进行实验，以验证渗铜的影响。

（4）CPP900系统生产厂家免费提供人员培训和技术支持，后期设备维护较为方便。其前身PAW3000在西三线中有较为成功的应用，但新一代CPP900的焊接质量和效率还需在中俄东线工程中进行验证。

参考文献

- [1] 隋永莉, 吴宏. 我国长输油气管道自动焊技术应用现状及展望[J]. 油气储运, 2014, 33 (9): 913-921.
- [2] 袁少山. 管道自动焊与全自动超声波检测技术在西气东输管道工程中的应用[J]. 石油工程建设, 2004, 30 (5): 36-41.
- [3] 牛虎理, 唐德渝, 龙斌, 等. 西气东输二线自动焊设备性能分析及应用[J]. 电焊机, 2009, 39 (5): 41-47.
- [4] 许再胜, 张治权, 张彦昌, 等. 大口径长输管道带铜衬垫高速自动焊接[J]. 基建管理, 2013, 32 (9): 109.
- [5] 李远智. CRC EVANS全自动焊技术在西气东输二线管道工程中的应用[J]. 石油工程建设, 2009, 35 (5): 29-32.

作者简介

董嘉琪：2014年毕业于中国石油大学（华东）油气储运工程专业，从事长输管道油气储运工程设计工作，13396471257，460400020@qq.com，山东省东营市东营区济南路49号山东莱克工程设计有限公司，257026。

收稿日期 2015-08-03

（栏目编辑 樊韶华）