



西气东输二线海底管道半自动焊焊接工艺

杨希军 黄超 张立强 陈超 苏钊

【摘要】结合西气东输二线香港支线海底管道工程的工程难点和焊接质量要求,对海底管道焊接工艺进行了研究,选用STT根焊+自保护药芯焊丝半自动焊填充、盖面的焊接方法,制定相应的焊接工艺规程,并对焊接接头进行工艺评定,检测结果表明接头性能符合国际标准要求。此焊接工艺在该工程中的应用取得了良好的焊接效果。

关键词: 香港支线; 海底管道; STT根焊; 自保护药芯焊丝半自动焊

1. 概述

西气东输二线工程作为第一条中国引进境外天然气资源的大型管道工程,横穿中国15个省区,最终止于香港,全工程包括主干线和八条支线,全长超过9102km。沿线地形复杂多变,局部地区地质条件较差,给施工带来极大不便,特别是香港支线,长度约为21km,管径813mm,设计压力7MPa,设计年输量60亿m³,是目前我国管径最大的海底管道,也是我国施工难度最大的海底管道工程。

面对困难的挑战和工期的压力,中国石油管道建设者提出采用STT根焊+自保护药芯焊丝半自动焊填充、盖面的焊接工艺,既充分保证了优良的焊接质量,又最大限度加快焊接效率,为该工程的顺利按期投产运营起到了保驾护航的作用。图1为海上连头的现场照片。



图1 海上连头

2. 焊接方法选择

结合本工程的实际特点和质量管理要求,选择焊接质量优秀的STT焊作为根焊,采用焊接效率较高的自保护药芯焊丝半自动焊作为填充、盖面。

(1) STT根焊 STT被称为表面张力过渡技术,是一种熔化极气体保护焊接工艺,由林肯电气公司专利研发的一种受控短路

过渡工艺。

其特点如下:

第一,与常规的恒压气体保护焊机不同,STT焊机没有电压控制旋钮,而是采用电流控制的方式来调整热输入,在不影响送丝速度的前提下,确保电极干伸长度的变化不会影响到热输入。

第二,STT技术使用较低的热输入,焊接更加容易,避免出

现过热和烧穿，也减少了焊接变形。

第三，由于电极不会发生过热，因此即使采用大直径的焊丝和100%的CO₂保护气进行焊接也不会产生大量飞溅和烟尘，并且降低了保护气、焊丝等耗材的成本。

第四，送丝速度控制熔敷速率，基值电流保证焊缝成形，峰值电流调整弧长，热输入增加电弧能量，从而确保焊道的焊接质量，焊缝成形美观，极大程度避免出现打底焊道的未熔合现象。

基于以上原因，采用STT技术作为该工程的根焊技术有利于得到优良的焊接质量。

(2) 自保护药芯焊丝半自动焊 该焊接方法是长输管道工程中应用最为广泛的一种焊接技术，与焊条电弧焊相比，该焊接技术具有以下优点。

第一，优异的抗风能力，风速≤8m/s的情况下，不需要采取特殊的抗风措施，适合野外施工作业。

第二，连续送进焊丝，焊缝接头较少，降低了焊接接头产生缺陷的倾向。

第三，具有较快的焊丝熔化速度和较高的熔敷效率，节约电能，耗电量约为焊条电弧焊的1/6。

第四，焊层较薄，脱渣效果好，清渣时间短，有利于提高施工效率。

第五，焊缝外形美观，抗气孔和裂纹能力较强。

基于以上原因，采用自保护药芯焊丝半自动焊技术作为填充、盖面焊接有利于在保证质量

的前提下提高工作效率。

3. 焊接工艺规程

(1) 焊接电源 根焊采用美国林肯公司研发的Invertec STT II型焊接电源（见图2），选用LN—23P送丝机，用CO₂作为保护气体；填充、盖面采用美国林肯DC—400恒流恒压直流电源（见图3）和与之匹配的送丝机。

(2) 母材选择 母材选用西气东输二线香港支线实际使用的管线钢材，钢级选择为API

Spec-5L的X65钢。屈服强度为473MPa，抗拉强度为581MPa，伸长率为29%，屈强比为89%。管径为813mm，壁厚22.2mm。

(3) 焊材匹配 根焊选用Fabshield的ER70S—G焊丝，焊丝直径1.2mm；填充、盖面选用Fabshield的E71T8—Ni1J焊丝，焊丝直径2.0mm。焊丝的化学成分如表1所示。

(4) 接头形式 本工程采用的焊接接头形式如表2所示，图4为坡口形式，图5为焊道示意。



图2 Invertec STT II型焊接电源



图3 林肯DC-400焊接电源

表1 焊丝化学成分（质量分数） (%)

化学成分	C	Mn	Si	S	P
ER70S—G	0.09	1.64	0.87	0.005	0.020
E71T8—Ni1J	0.09	1.35	0.75	0.015	0.025

表2 焊接接头形式

对口形式	接头形式	焊接位置	坡口形式	坡口角度 (°)	钝边/mm	间隙/mm	余高/mm	错边	盖面焊缝宽/mm
内对口器	水平对接	5G	V形	46	1.0~2.0	1.0~3.5	0~2	≤2mm，且不大于钢管壁厚的1/8	坡口上口每侧增宽0.5~2.0

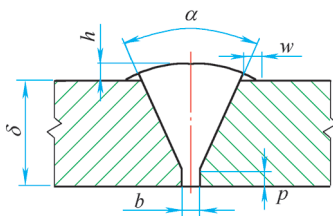


图4 坡口形式

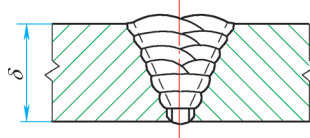


图5 焊道示意

(5) 焊前准备 焊接之前需要做好的准备工作如下:

第一, 预热处理。预热方式可采用火焰或中频加热, 预热温度为100~150℃, 预热宽度为坡口两侧各100mm。

第二, 坡口组对。需确保两根钢管间直焊缝错开50mm。

第三, 接头清理。使用钢丝刷或者动力角向砂轮机清理焊口表面。

第四, 防护措施。在环境温度小于5℃, 根焊环境风速大于2m/s, 填充、盖面环境风速大于8m/s等情况下, 需要准备有效的防护措施。

(6) 工艺要求 焊接过程中, 需要保证层间温度在100~200℃之间, 根焊焊丝的干伸长度10~15mm, 填充、盖面焊丝干伸长度15~25mm, 严禁在坡口以外起弧, 相邻焊道起弧或收弧均应错开30mm以上。焊接参数如表3所示, 图6为管道现场组对焊接的照片。

4. 焊接检测

为确保该焊接工艺的可靠性, 按照国际规范DNV-OS-F101的相关规定对焊缝进行NDT(无损检测)试验和力学性能试验。

(1) NDT试验 焊接完成后对焊口进行水冷处理, NDT检测在水冷完成24h后进行。检测结果没有发现裂纹。

(2) 力学性能试验 第一, 拉伸试验。横向拉伸的抗拉强度为612MPa, 于母材处断裂; 全焊缝拉伸的屈服强度为549MPa, 抗拉强度为669MPa, 伸长率为21%, 符合规范要求。

表3 焊接参数

焊道名称	根焊	填充、盖面
焊接方式	STT焊	自保护药芯半自动焊
焊材型号	ER70S—G	E71T8—Ni1J
规格/mm	1.2	2.0
焊接方向	下向	下向
极性	DC+	DC-
电弧电压/V	—	16~24
焊接电流/A	基值: 50~65; 峰值: 380~425	180~280
送丝速度/cm·min ⁻¹	130~160	180~280
焊接速度/mm·min ⁻¹	160~250	80~120
气体流量/L·min ⁻¹	15~35 (100%CO ₂)	无

注: 1. DC+表示焊丝接电源正输出端。
2. DC-表示焊丝接电源负输出端。
3. CO₂气体: 纯度≥99.5%, 含水量≤0.005%。



图6 管道焊接现场

第二, 弯曲、刻槽试验, 未出现明显缺陷, 符合要求。

第三, 冲击试验。冲击吸收能量: 焊缝位置为84J, 熔合线处为170J, 熔合线+2mm处为256J, 熔合线+5mm处为258J, 符合要求。

第四, 硬度试验。维氏硬度计HV10, 最大硬度为254HV, 符合要求。

第五, CTOD试样。焊缝区域CTOD值最小为0.178, 热影响区CTOD值最小为0.353, 符合要求。

NDT试验和力学性能试验的检测结果表明, 确保该焊接接头具有优良的焊接质量。

5. 工程进展

中国石油管道建设者坚守“环保优先、安全第一、质量至上、以人为本”理念, 攻坚克难, 精益求精, 通过编制合理的焊接工艺规程, 在确保工程质量

的基础上提高工作效率, 全力以赴推进工程建设, 管道焊接一次合格率高达99.2%, 确保了“零事故、零伤害、零污染、依法合规”四大目标的实现, 建成国内领先、国际一流的优质工程, 成为造福香港人民的绿色生态文明工程。

6. 结语

(1) 按照国际规范DNV-OS-F101的相关规定, 结合X65管线钢的材料性能, 设计出合理的焊接工艺规程, 通过焊接工艺评定的检测, 形成一套切实可行的海底管道焊接技术。

(2) 针对工程难点和特殊要求选择合适的焊接工艺, 在保证工程质量的前提下, 极大地提高了工作效率, 缩短了工期, 保证了工程进度, 节省了成本。

作者简介: 黄超等, 中国石油天然气管道工程有限公司。

MW 20161025