



长输管道全自动焊气体保护药芯焊丝JQ—81T1M的研究及应用

张先龙 张昕 马强 刘永庆 刘春 贾东 郭建明

【摘要】针对中俄原油二线工程采用的X65管线钢的焊接工艺要求，通过合金成分分析及力学性能设计，从抗气孔性、低温韧性、飞溅控制、电弧穿透性、焊接操作性及脱渣性等方面进行控制，生产出适合管道全自动焊用的气体保护药芯焊丝，通过了力学性能检测，满足工艺要求，并成功应用的中俄原油二线工程中，焊接一次合格率超过97%。

关键词：全自动焊；药芯焊丝；抗气孔性；低温韧性

1. 概述

目前国内80%以上的长输管道环焊缝是采用自保护药芯焊丝半自动焊的方法进行焊接的，如西气东输管道全长3 900 km，采用气体保护自动焊的方法焊接完成了约670 km，其余焊道均采用了自保护药芯焊丝半自动焊的方法。欧美发达国家管道全自动焊的应用非常普遍，应用比例约占焊接工程量的80%。随着输送管道强度、直径和壁厚的增大，焊接施工劳动强度增强，全自动焊将是未来管道建设的趋势，因而中俄原油二线（漠大二线）施工中提出明确要求，自动焊占比超过70%，其中第四标段自动焊比例为95%以上，这是国内首次在长输管道焊接工程中大面积推广自动焊应用。

目前管道全自动焊工艺按照使用焊丝区别主要分为两类，一是实芯焊丝气体保护，二是药

芯焊丝气体保护。气体保护药芯焊丝自动焊工艺的焊接方向为上向，熔敷效率高，全位置成形好，焊机操作工人易于掌握，能够有效避免侧壁未熔合，是国外长输管道建设的主要焊接方法。

2. 合金成分及力学性能设计

针对国内管道建设的发展需要以及气体保护全自动焊接方法工艺特点，结合国内的矿产资源体系，研制开发出具有完全自主知识产权，可代替国外同类产品的国产化药芯焊丝JQ—81T1M，规格为 $\phi 1.2\text{mm}$ ，盘重为5kg，适

合X65管线钢的焊接，熔敷金属化学成分及物理性能满足AWS A5.36中E81T1—M21A4—K11及GB/T 17493—2008中E551T1—GM标准要求，具有良好的低温冲击韧性及抗裂性，保证管道焊接质量，提高现场施工效率熔敷金属化学成分如表1所示，熔敷金属力学性能如表2所示。

3. 研制过程中的难点

（1）抗气孔性控制 长输管道焊接工程为野外施工，冬季严寒，夏季炎热，风沙大，现场施工条件较为恶劣，特别是在高

表1 熔敷金属化学成分（质量分数） (%)

牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
标准值	≤ 0.15	1.00~2.00	≤ 0.80	≤ 0.015	≤ 0.025	≤ 0.20	0.40~1.00
例值	0.054	1.41	0.38	0.006	0.008	0.021	0.81

表2 熔敷金属力学性能

牌号	R_m/MPa	$R_{el}/R_{p0.2}/\text{MPa}$	$A(\%)$	$KV_2/\text{J}(-40^\circ\text{C})$
标准值	550~690	≥ 470	≥ 19	≥ 27
例值	614	562	23	114、121、119

焊接速度条件下更容易产生条状气孔，如图1所示。为了解决这一问题主要从两个方面进行。

第一，增加药芯中氟化物的含量和减少造渣剂的数量。氟化物的增加可以降低电弧气氛中氢的分压，抑制氢在熔化金属中的溶解；而造渣剂的减少，可以有效地使已形成的气泡逸出到大气之中。

第二，将药粉中的金属粉和非金属粉进行分类采取不同的温度进行高温烘烤，降低药粉中结晶水含量，减少扩散氢含量，提高焊丝的抗气孔敏感性和抗裂性，即使采用较高的焊接速度也可以有效地避免气孔的产生。

通过以上两方面的控制措施，有效避免了条状气孔的产生，焊缝成形良好，如图2所示。

(2) 低温韧性控制 随着对能源需求的增长，原油和天然气的供应地甚至扩展到冰冷极地等严峻环境的地区，于是对环焊缝低温韧性的要求更为严格。

“中俄原油二线”管道工程途径黑龙江北部湿地和原始森林地区，焊接施工需要选择土地完全冻实才能进行施工作业，施工窗口期选择冬季进行施工，环境低温将会对焊接施工质量造成重大影响，为了达到这方面的要求，针对气体保护药芯焊丝的低温韧性开展了一系列研究。

一是提高熔渣碱度和添加适量脱氧剂来减少焊缝的含氧量；二是限制钢带中 $[N] \leq 50\text{ppm}$ ($1\text{ppm}=1 \times 10^{-6}$)，适当增加药芯焊丝配方中的固氮元素Ti、B等，且减少药粉加工过程中的氮化；三是降低焊缝金属中非金属

夹杂物的含量；四是采用Mn/Si=4~7，Ti-B-Ni韧化机理改善韧性，在焊缝中控制钛，使其符合TiN化合的要求，是提高焊缝韧性的必要条件；在此基础上向焊缝中过渡适量硼元素，可使铁素体组织细化，进一步提高韧性；镍元素在焊缝中主要起韧化铁素体基体的作用。

(3) 低烟尘、低飞溅的控制 近年来各工业部门对改善工作环境给予了很大关注，长输管道施工现场也在考虑摆脱脏、累和危险的工作条件。因而此次开发的管道全自动气体保护药芯焊丝，在保留原有焊接工艺特性的同时，大幅度地降低了烟尘和飞溅的产生。主要措施：①增加焊丝中钛的含量，降低焊丝中碳的含量，从而减少焊接发尘量。②增加药芯中低电离电位的碱性金属钾、钠等，有利于降低电弧温度，提高电弧稳定性，实现降尘和减少飞溅。

通过以上技术措施，焊丝的发尘量减少了15%~20%，其飞溅量降低了20%~30%，不仅改善了现场工作环境，还有效地减少焊接过程中焊枪喷嘴上的飞溅，有

助于焊接自动化。

(4) 电弧穿透性的控制 管线全自动焊接采用AUT检测，对焊接缺陷灵敏度高，尤其是对于未熔缺陷，因而必须提高药芯焊丝的电弧穿透性，减少焊接缺陷，提高合格率。主要措施：①通过增加药芯中氟化物的含量是有明显作用的，随着氟化物的增多，电弧吹力增大，从而产生更大的焊透深度。②通过增加脱氧剂的量来提高熔化金属的粘度，使熔池相对稳定，改善坡口边缘的熔合性。从而减少在窄坡口和低焊接速度下焊接时，容易出现熔合不良现象。

通过以上调整，在任何焊速下都能得到良好的焊透性，达到AUT检测合格率。

(5) 全位置焊接操作性及脱渣性的控制 管道焊接过程中立焊或仰焊时，容易因熔化金属烧穿而形成不良的焊道形状，采取小电流进行熔深达不到要求，为了防止在大电流条件下引起熔化金属烧穿，通过增加熔渣量来加大熔化金属的抗力，再通过提高熔化金属和熔渣的粘度来确保焊道形状的稳定。增加脱氧剂可



图1 焊缝条状气孔



图2 成形优良焊缝

降低熔化金属的含氧量而增加其粘度，提高造渣剂中氧化铝的含量则可提高熔渣粘度和凝固点，从而增强熔化金属的抗力。药芯焊丝中药粉组分的最佳配比达到“稀渣快凝”效果，满足管道全位置焊接的需求，并且具有良好的脱渣性，更加有利于全自动焊接的操作。焊缝脱渣现场如图3所示。

4. 综合测试

通过以上技术基础措施，开发的管道全自动焊气体保护药芯焊丝JQ—81T1M，不仅具有良好的低温韧性，同时也保持了高效率和良好的焊接性。在管道自动化焊接中得到了高度评价，采用CPP900、CRC P260、熊谷A300X等多种设备焊接，具有广泛的适用性，通过中国石油天然气管道研究院焊接技术中心“中俄原油管道二期工艺评定”、“中俄原油管道二期系列冲击试验评价报告”，进行全自动全位置环焊缝对接接头立向下焊接试验，通过拉伸、刻槽、弯曲、冲击、金相及硬度的全方位测试，确定韧脆转变温度为-55℃，完全可满足中俄原油管道二线现场



图3 焊缝脱渣现场

工艺要求。

(1) 焊接工艺操作性评价通过表3中10项焊接性评定，研制的管道全自动焊气体保护药芯焊丝焊接综合性能好。

(2) 环焊缝接头力学性能对采用管道全自动焊气体保护药芯焊丝焊接的焊缝进行了力学试验，满足工艺和标准要求，力学性能数据如表4~表6所示。

5. 结语

目前管道全自动焊气体保护

药芯焊丝JQ—81T1M已成功应用于中俄原油管道二线工程，累计完成焊接150km，一次合格率平均达到97%以上，有效提高了生产效率，缩短工程周期，降低施工工程综合成本，同时也为即将开工的中俄东线天然气管道工程全自动焊接奠定良好基础。随着社会工业的不断发展，必然对焊接行业产生深远的影响，同时为即将建设的中俄天然气东线做好技术储备。

表3 焊接性评定结果

序号	焊接性	评定结果	序号	焊接性	评定结果
1	电弧稳定性	较好	6	焊接发尘量	一般
2	全位置操作性	较好	7	填充盖面气孔倾向	小
3	脱渣性能	良好	8	熔敷效率	良好
4	焊缝成形	良好	9	引弧性能	好
5	飞溅率	正常	10	电弧集中度	好

表4 拉伸试验结果

试样编号	试样厚度/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断裂部位和特征
1	16.00	545	605	断于母材
2	16.23	543	598	断于母材
3	16.05	550	603	断于母材
4	15.99	569	617	断于母材

表5 冲击试验结果

试验编号	试件尺寸 /mm×mm×mm	缺口类型	取样位置	试样温度 /℃	冲击吸收能量 /J
1	10×10×55	V	焊缝	-20	109
2					79
3					75
4	10×10×55	V		-20	82
5					118
6					98
7	10×10×55	V	热影响区	-20	273
8					175
9					259
10	10×10×55	V		-20	240
11					281
12					223

表6 硬度试验结果 (HV10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
196	203	189	211	210	192	188	202	189	204	191	217	211	196	201	190

作者简介：张先龙等，大庆油田工程建设公司培训中心；张昕，大庆油田工程建设公司建材公司；马强，天津市金桥焊材集团有限公司。

MW 20170526