

油气长输管道焊接方法及焊材用量计算

李 丹

中国石油天然气管道工程有限公司, 河北 廊坊
Email: danli0117@163.com

收稿日期: 2021年7月12日; 录用日期: 2021年9月14日; 发布日期: 2021年9月26日

摘 要

本文对油气长输管道的焊接安装方法进行了简要的归纳总结, 对不同的焊接工艺采用的焊接材料的特性进行了分析, 并对焊材用量理论公式进行了修正, 得出最终修正公式, 计算出不同焊接工艺的各种焊材用量, 用于指导施工。

关键词

油气长输管道, 焊接工艺, 焊材用量

Welding Method and Welding Material Consumption Calculation of Long-Distance Oil and Gas Transmission Pipeline

Dan Li

China Petroleum Pipeline Engineering Corporation, Langfang Hebei
Email: danli0117@163.com

Received: Jul. 12th, 2021; accepted: Sep. 14th, 2021; published: Sep. 26th, 2021

Abstract

In this paper, the welding installation methods of long-distance oil and gas transmission pipeline are summarized briefly. The characteristics of welding materials used in different welding processes are analyzed. The theoretical formula of welding material consumption is corrected, and the final correction formula is obtained. The welding material consumption of different welding processes is calculated. It could provide guide for the construction.

Keywords

Long-Distance Oil and Gas Transmission Pipeline, Welding Processes, Welding Material Consumption

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

油气长输管道敷设有路线长, 被覆盖区域跨度大、范围广, 地形地貌复杂等特点, 施工现场所处的自然条件也时刻发生变化, 因而长输管道的焊接方式也随着现场环境的差异而不同。

目前, 随着管线钢性能的提高, 焊接材料、焊接技术在不断的进步, 管线焊接工艺也随之变化, 现已发展出许多种焊接工艺, 主要有手工焊条上向焊、手工焊条下向焊、自保护药芯焊丝半自动焊、熔化极气体保护焊、管道全位置自动焊等。在我国长输管道施工中最常用的是下向焊、半自动焊、气体保护焊, 这些焊接工艺可以与先进的设备相配合, 使油气长输管道施工实现机械化流水作业。

这些焊接工艺各具特点。手工焊设备简单, 进场方便, 施工时占地少, 适合局部困难地段(如设备难以到达的山区地段)以及碰死口和返修焊接。下向焊和半自动焊接工艺所需设备少, 且设备体积小、故障率低、机动灵活, 这种方式焊接质量均匀可靠, 速度快, 在管道建设上发展普及很快, 目前已成为国内大型管道焊接的主要方式。全自动焊接工艺效率高、焊接合格率高, 可以减轻焊工劳动强度, 但全自动焊设备重、设备昂贵、不宜搬迁。全自动焊接工艺适用于大口径管线, 及平原地区穿越、连头较少地段

的管线施工，在山区和地形复杂的地段难以发挥其优势。

2. 焊材用量计算

焊口截面面积相关参数要根据管道坡口具体尺寸确定。为了便于计算，分别以铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)和中缅天然气管道工程(国内段)为例，相关参数根据该工程的焊接工艺规程要求和管材合同文件来确定。

2.1. 焊条电弧焊

焊条电弧焊常采用组合焊的方式，根据管道所用材质、运行压力、介质成分等会选用不同型号或牌号的焊条。为了计算的准确性，同一焊缝中不同焊道的焊条用量应分别计算，这样就能准确掌握不同型号或牌号的焊条需求用量。油气管道焊接中，采用焊条按照药皮类型分类，主要有纤维素型、低氢钠型、低氢钾型，绝大多数为非铁粉型焊条，其消耗定额理论计算公式为[1]：

$$G = AL\rho(1 + Kb)/(106Kn) \quad (1)$$

少数管道焊接采用了铁粉低氢型焊条，其计算公式为：

$$G = AL\rho/(1 - Ks)/106 \quad (2)$$

式中：G——焊条用量，kg；A——焊缝熔敷金属截面积，mm²；L——焊缝长度，mm；

ρ ——焊条金属密度，7.85 g/cm³；Kb——药皮的质量系数，取 25%~40%；

Kn——金属由焊条到焊缝的转熔系数，包括燃烧、飞溅损失为 5%~10%，未利用的焊条头损失为 10%~15%，故转熔系数取 0.75~0.85。

Ks——焊条的损失系数，取 0.33~0.6。

以非铁粉型焊条电弧焊为例，焊条的消耗量与其药皮质量系数、转熔系数、焊缝面积有关。不同的牌号焊条的 Kb 和 Kn 值不尽相同，具体值可根据厂家提供的相关资料查询。焊条电弧焊焊材用量计算以铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)线路焊接为例，根焊为纤维素焊条(E6010, AWS A5.1)取值为 Kb = 0.40, Kn = 0.77 [1]，热焊、填充及盖面为低氢焊条(E5515-G, GB/T5518)取值为 Kb = 0.32, Kn = 0.80 [1]。焊条直径为Φ3.2/4.0 mm。

由于油气管道焊接以环向对接焊缝为主，其焊接位置(见下图 1)包括平焊(近似 11 至 1 点位置)、立焊(近似 1 至 5 点和 7 点至 11 点位置)及仰焊(近似 5 至 7 点位置)，各焊接位置单位长度焊条消耗量不同。在立焊位置时，焊条消耗量比在平焊位置时增加 10%，在仰焊位置时，焊条消耗量比在平焊位置时增加 20% [2]。在施工中，还存在焊条的损耗，如运输、保管过程中焊条的损失，焊接中焊条未充分利用(焊条剩余较多而弃用)，少量焊条药皮有裂纹、气泡、杂质、脱落、破裂而无法使用，还有其它原因造成的焊条弃用(如弯折、偏心度超标，引弧失败等)，因此计算焊条用量应考虑损耗量，按 1.2 的系数计算。

因此，手工电弧焊所用焊条用量可修正为：

$$G = AL\rho(1 + Kb)/(106Kn) \times 1.1 \times 1.2 \quad (3)$$

单个焊口用量为：

$$G = \pi DA\rho(1 + Kb)/(106Kn) \times 1.1 \times 1.2 \quad (4)$$

式中：G——单个焊口焊条用量，kg；D——管道直径，mm。

根据公式(3)和相关参数值，可计算出铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)线路采用手工电弧焊时单口焊条用量。计算值见下表 1。

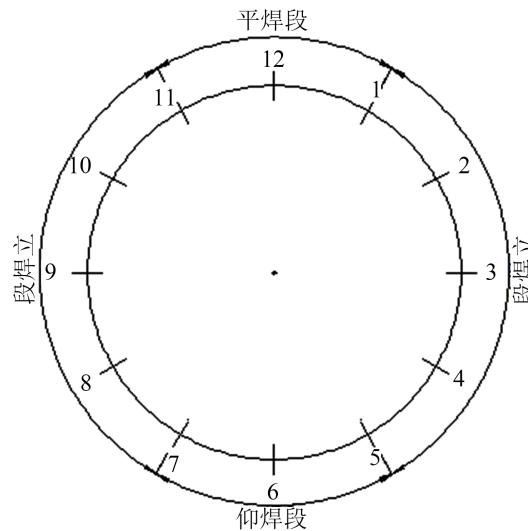


Figure 1. Diagram of welding position schematic
图 1. 焊接位置示意图

Table 1. Calculation of welding materials consumption in Tie Da safety reformation project (Anshan-Dalian)
表 1. 铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)焊材用量计算

管径 (mm)	壁厚 (mm)	对口间隙 (mm)	钝边 (mm)	计算用量(Kg/口)	
				焊条电弧焊	纤维素焊条用量(根焊)
813	11.0	2.7	1.5	0.43	3.41
813	12.5	2.7	1.5	0.43	4.29
焊条电弧焊根焊 + 药芯焊丝半自动焊				纤维素焊条用量(根焊) Kg/口	药芯焊丝(填充、盖面)
813	11.0	2.7	1.5	0.43	2.34
813	12.5	2.7	1.5	0.43	2.90

主线路焊接工艺主要为：纤维素焊条根焊 + 自保护药芯焊丝半自动焊填盖，纤维素焊条根焊 + 低氢焊条填盖。钝边高度 p 为 1~2 mm，平均取 1.5 mm；坡口角度 α 为 44°；焊缝余高 h 平均取 2 mm；根部对口间隙 b 为 1.0~3.5 mm，平均取 2.7 mm；焊缝宽度 c (均值)与焊道数：壁厚 11 mm 的为 12.93 mm，焊道 4 层，其中填充层数 m 为 1 层(不计热焊层)，壁厚 12.5 mm 的为 14.14 mm，焊道 5 层，其中填充层数 m 为 2 层(不计热焊层)；根焊层厚度 δ_1 ：3.0 mm，热焊层厚度 δ_2 取 2.5 mm；焊条规格为 E6010 ($\Phi 3.2/\Phi 4.0$ mm)，自保护药芯焊丝规格为 E71T8-Ni1J ($\Phi 2.0$ mm)，焊条电弧焊每层打磨厚度为 0.4 mm。

2.2. 自保护药芯焊丝半自动焊

自保护药芯焊丝半自动焊焊接工艺一般与其它根焊工艺组合使用，根焊选用焊条电弧焊或 STT 焊接。自保护药芯焊丝的定额计算公式见式(4)。

$$G = AL\rho/(1000Kn) \quad (5)$$

式中： Kn ——金属由焊丝到焊缝的转熔系数，包括烧损、飞溅等损失，药芯焊丝 Kn 取 0.72~0.75。

不同的焊接位置，焊丝单位消耗量也不同，对于管道全位置焊接，焊丝用量与焊条用量一样，可乘以一个 1.1 系数；施工中还存在焊丝未充分利用、损失的情况，可乘以 1.05 系数，焊丝耗量的理论公式可以修正为：

$$G = 3.14DA\rho/(1000Kn)\times 1.10\times 1.05 \quad (6)$$

采用手工电弧焊 + 药芯焊丝半自动焊工艺，可计算出铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)线路(Φ813 管道)采用药芯焊丝半自动焊时单口焊材用量，计算值见表 2。

采用 STT 根焊 + 药芯焊丝半自动焊工艺，根焊焊丝计算同公式(6)；填充、盖面药芯焊丝计算均同公式(6)，其中气体保护焊实心焊丝转熔系数 K_n 取 0.9~0.95，可计算出中缅天然气管道工程(国内段)线路采用 STT 根焊 + 药芯焊丝半自动焊时单口焊材用量，见下表 2。

Table 2. Calculation of welding materials consumption in Myanmar-China oil & gas pipeline project
表 2. 中缅天然气管道工程(国内段)焊材用量计算

管径 (mm)	壁厚 (mm)	对口间隙 (mm)	钝边 (mm)	气体保护焊实心焊丝(根 焊) Kg/口	药芯焊丝(填充) Kg/口	药芯焊丝(盖面) Kg/口
				ER70S-G	E81T8-Ni2J	E551T8-K2
1016	12.8	3.0	1.0	0.28	3.45	0.74
1016	15.3	3.0	1.0	0.27	4.63	0.88

主线路管道规格为 Φ1016 × 12.8 mm, Φ1016 × 15.3 mm; 钝边高度 p 为 0.6~1.4 mm, 平均取 1.0 mm; 坡口角度 α 为 44°; 焊缝余高 h 平均取 2 mm; 根部对口间隙 b 为 2.5~3.5 mm, 平均取 3.0 mm; 焊缝宽度 c (均值); 壁厚 12.8 mm 的为 15.04 mm, 壁厚 15.3 mm 的为 17.06 mm; 根焊层厚度 δ1: 2.5 mm。

2.3. 全自动焊

全自动焊采用气体保护焊实心焊丝进行焊接，其根焊与填充盖面焊采取不同型号规格的焊丝，应分别计算。

由于上述公式计算非常复杂，为了提高效率和确保计算的精确性，可利用 Excel 表格中的自动计算功能，将相关公式编制设定，输入参数后自动生成结果，可得出需要的数值。以规格为 Φ813 × 11 mm 的管道纤维素焊条根焊 + 药芯焊丝半自动焊填盖工艺用量计算为例，见下表 3。

Table 3. Calculate welding materials consumption with Excel table formula
表 3. 焊材用量 Excel 公式计算表

K_n	金属由焊丝到焊缝的转熔系数 (烧损、飞溅和未利用的焊丝损失)	取 0.72~0.75	0.75	K_b	药芯焊丝药 粉重量系数	0.15~0.2	0.15
K_n	纤维素焊条的转熔系数(烧损、飞 溅和未利用的焊条头损失)	0.53	K_b	纤维素焊条药 皮重量系数	0.40	壁厚 11.0 焊口数	壁厚 12.5 焊口数
A1	根焊缝熔敷金属截面积			9.01		3017	1836
A3	半自动药芯焊丝填充、盖面焊缝熔敷金属截面积			75.82		纤维素 焊条用量	1900.16
G 根	纤维素(根焊)焊条用量理论值(单口量/总量)			0.48	1439.52	纤维素焊条用量	1900.76
G 填	填充、盖面焊丝用量理论值(单口量/总量)			2.33	7032.72	药芯焊丝用量	7890.71
G 根实	纤维素(根焊)焊条用量实际值(单口量/总量)			0.63	1900.76		
G 填实	药芯焊丝用量实际值(单口量/总量)			2.62	7890.71		

3. 计算结果分析

以铁大线安全改造工程(鞍山 - 大连段)第一标段线路为例，其主线路及连头焊接均已完成，全部采用纤维素焊条根焊 + 自保护药芯半自动焊填盖，根据 EPC 项目部焊材领用消耗明细提供的数据，纤维素

焊条与药芯焊丝消耗系数分别为 0.69 Kg/口、2.47 Kg/口；壁厚 11 mm 的管道焊口 3017 个，壁厚 12.5 mm 的管道焊口 1836 个，根据上表 2 的计算数据，折合到单口纤维素焊条与药芯焊丝计算用量分别为 0.43 Kg/口、2.55 Kg/口。对比焊材消耗计算与实际值，根焊(纤维素)焊条消耗计算值偏小，与实际用量偏差较大，药芯焊丝消耗计算值与实际值基本吻合。对比现行定额[3]，半自动焊根焊焊条、药芯焊丝的计算用量略小于定额用量；根焊焊条实际用量稍大于定额用量，药芯焊丝实际用量略小于定额用量。由此可分析判断出该标段纤维素焊条在现场施工中的使用效率偏低，未充分利用，损耗浪费较多。

4. 结论

长输管道焊接是一个长期的动态过程，焊材用量的确定存在诸多不确定因素，如焊工的熟练度、个人习惯不同，每道焊口对口间隙不一致，不同批次管材的坡口可能不同，管材实际壁厚与名义壁厚存在偏差，施工现场环境、场地的变化，焊接设备调试的状况，相同型号不同牌号的焊材质量、性能和参数(如焊条药皮系数、转熔系数)的不同，焊材运输、保管、领用过程中的损耗不同等。因此以上公式计算的结果与实际值会存在偏差，但其计算结果对其它工程可提供参考，在不同的工程中根据实际修正相关参数，让计算值与实际值的偏差尽可能减小，提高准确性，这样上述计算方法可准确地指导施工，确定消耗定额，避免焊材过量造成浪费，并导致库存积压，增加了保管成本；也可避免焊材不足影响采办和施工进度，并导致二次追加增加运输成本，尤其国际项目存在距离远、运输成本高，物资清关时间长的特点，焊材用量计算准确性更显重要。

参考文献

- [1] 徐小兵. 油气长输管道工程施工技术手册[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 27-29.
- [2] 扎伊采夫, 著. 长输管道焊接安装工程手册[M]. 李荣恩, 译. 北京: 石油工业出版社, 1991: 53.
- [3] 王勤民, 孟庆峰, 章雪峰, 等. 石油建设安装工程预算定额(第九册)长距离输送管道工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2014: 197-199.