

国内外长输管道焊接标准对焊接 工艺评定分析初探

北京睿智迎科贸有限公司 (100012) 赵志刚

一、概述

目前我国长输管道的焊接标准主要执行SY/T4103-2005, 该标准是改进采用的美国石油学会的标准API-1104(1999)版。API-1104标准目前已经更新到2010年版, 但对其中主要的部分, 即本文所讨论的焊接工艺评定的方法和标准都未做修改。

笔者查阅和对比了几个西方工业大国的长输管道焊接标准中关于焊接工艺评定的相关规定, 其中包括英国标准BS 4515-1:2009《陆上及海底油气管线的焊接》, 澳大利亚标准AS 2885.2-2007, 美国标准API 1104-2005, 加拿大标准CSA Z662-2007等。发现这些标准可以分为两类: 一类是以API 1104为代表的美国标准, 以简单实用为特色, 尽量包容各种现有的或可能出现的焊接方法, 破坏试验的评价手段要求相对简单, 但对具体问题都未做详细的规定, 给业主或执行该标准的人留下了选择的空间; 另一类是欧洲标准, 它们尽量详细的规定了各种情况下标准执行的方法, 具有操作性强的特点, 但要求的破坏性试验是在有条件的试验室内进行, 尤其是澳大利亚的AS 2885.2-2007, 不但要求有缺口冲击试验, 而且还要求有裂纹开裂试验, 这对完成试验的试验室有很高的要求。

我国原有的管道标准来源于压力容器和化工管道的建设标准, 其中化工管道的标准目前已升级为国标GB50236(2011)《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》。这个标准适用于非长输管道的安装, 其管道材料种类多, 但对每个焊缝的焊接材料组配要求少, 尤其对长输管道来说, 使用起来相对

繁琐和困难, 验收标准指标也相对严格, 因此不列入本文的讨论之列。

石油行业一直试图编制适合于长输管道施工特点的行业标准, 在经历了引进和使用API 1104标准的十几年的经验后, 我国的长输管道标准制定者开始试图在各类标准中寻找适合中国国情的标准, 20世纪90年代初, 先通过企业标准的方式融合了几个标准的焊接工艺评定方法(陕京一线企业标准), 但经过几年的实践经验, 企业越来越倾向于采用简单易行的API 1104标准, 终于在十年前, 行业标准SY/T4103 制定时, 几乎全盘引进了API 1104标准。该标准不但方便了工程应用和对国外工程的投标, 而且促进了我国管道事业的大发展。

但随着我国长输管道建设的大发展, 长输管道的焊接方法也趋向于多元化和相对固定成熟, 同时参与管道施工的队伍或管理方也多元化了。随着高强度管材应用越来越普遍, 设计压力也在不断提高, 在大家使用标准的过程中, 越来越担心在焊接工艺评定中无数据指标的问题, 和其他的不确定性的选择问题, 如破坏性试验中的面弯和根弯试件试验结果不能从数值上反应焊缝的韧性指标。另外, 焊接工艺评定试件管段长度到底最短为多少合适, 管线上的那些焊缝需要做工艺评定试验, 预热温度比规定温度降低或升高多少就需要重做工艺评定等, 这些在API 1104中都没有明确的规定, 该标准能否在新的条件下继续可靠使用, 对标准中未规定的问题该如何选择?

针对以上问题, 笔者研究对比了几个国际标准在大管径对接接头焊接工艺评定中许多相关问题的

详细规定,并提出了建议,以期给长输管道标准的使用者提供帮助。

二、标准的适用范围

1. SY/T 4103—2006 钢制管道的焊接及验收

该标准适用于使用碳钢及低合金钢管及管件,输送原油、成品油和气体燃料等介质的长输管道、压气站管网和泵站管网的安装焊接。适用的焊接接头为对接、角接和搭接。适用的焊接方法为焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极和非熔化极气体保护焊、药芯焊丝自保护焊、气焊和闪光对焊,以及上述焊接方法之间组合的焊接方法。适用的焊接位置为旋转、固定或两种方式的组合。

2. API 1104—2005 管线及附属设施的焊接

该标准适用于使用碳钢及低合金钢管及管件,输送原油、成品油、气体燃料、CO₂气体、氮气等介质的长输管道、压气站管网和泵站管网的(如适用,也可用于分输系统)安装焊接。

既适用于新管道建设,也适用于在役管道的维护焊接。适用的焊接接头为对接、角接和搭接。适用的焊接方法为焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极和非熔化极气体保护焊、药芯焊丝自保护焊、药芯焊丝焊接、等离子焊接、气焊和闪光对焊,以及上述焊接方法之间组合的焊接方法。适用于手工焊、半自动焊、全机械焊接和自动控制焊接。适用的焊接位置为旋转、固定或两种方式的组合。

焊接方法还可以包含以上未含括的焊接方法,只要提供相关资料即可。

3. BS 4515—1:2009 陆上及海上管线焊接规范

该标准适用于管径 $\geq 21\text{mm}$,壁厚 ≥ 3 的碳钢、碳锰钢,以及低合金钢强度 $\geq \text{L555 (X80)}$ 的陆上及海上管线的焊接,输送介质为气体、液体或固体悬浮液体。焊接方法包括电弧焊方法、压力焊及钎焊,在附录中有规定。

4. AS 2885.2—2007 管线焊接燃气与石油管线

该标准适用于碳钢及碳锰钢的新建管道或

在役管道的维修,不适用于防腐蚀的合金钢管道的焊接。适用于管壁厚 $\geq 3.2\text{mm}$,焊接方法包括焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极和非熔化极气体保护焊、药芯焊丝焊接和气焊,以及上述焊接方法之间的组合的焊接方法。适用于手工焊、半自动焊、自动焊接。适用的焊接位置为旋转、固定,或两种方式的组合。

5. 对比与分析

适用范围最宽的是API 1104,明确适用于几乎所有的碳钢及碳锰钢管道和管件的焊接,尺寸和壁厚都无限制。焊接工艺方法为新工艺的适用也留出了空间,既适合于新建,也适合于在役管道的修理,BS 4515 规定了适用的管径、壁厚和强度范围,但没有明确指出是否适用于在役管道的焊接,澳洲标准也规定限制最小的壁厚,可适用于新建和在役管道的焊接。

只有我国的SY/T 4103 明确规定了适用于新建管道的安装焊缝。

三、焊接工艺评定的比较

1. 需要焊接工艺评定的焊缝范围

(1) API 1104、CSA Z662、BS 4515和SY/T4103 都只是将管线上的焊缝按照焊缝接头形式分为对接、角接和搭接三种,并分别做工艺评定。目前,我国是主要做主干线上的对接焊缝的工艺评定,对管线上接管部位等一些边缘焊缝,如搭接和角接焊缝只是在甲方要求的情况下才做。

(2) AS 2885.2 规定了需要进行基本工艺评定的焊缝接头,包括主干线上的环缝接头、连头焊缝、特殊等级接头(如不能够进行压力试验的接头)的焊缝,以及返修焊缝、部件上的焊缝、临时安装焊缝。对在役焊缝和维修时的焊缝工艺评定用其他条款进行评定。

2. 焊接工艺评定的方法和程序

(1) API 1104 规定在生产焊缝焊接前,都要通过试验法进行焊接工艺评定,以确定焊缝的强度、韧性和硬度达到规定的要求,但是只有通过破坏性试验的工艺才能通过工艺评定。只是规定了试验焊缝必须是可以接受的焊缝

(soundness), 但是没有规定如何是可以接受的焊缝, 通常的理解是焊缝成形规整, 无外观明显的缺陷。并没有要求进行外观检查和无损探伤。SY/T4103对此点要求未做任何改动。

但在实践中, 我国对进行焊接工艺评定的试验接头都要求先通过外观检查和射线探伤, 然后才能进行破坏性试验。

(2) BS 4515 在程序上进行了详细的规定, 包括: ①编制工艺指导书(pWPS)及相应的返修方法和程序。②模拟现场条件下, 用全管子进行试验。③有甲方或第三方见证。④如果有点焊焊缝, 试验焊缝则必须带有点焊焊缝。⑤焊接焊缝必须经过24h以上, 冷却到室温后, 才能进行无损探伤和破坏性试验, 且必须通过无损探伤和破坏性试验, 未通过则需要重做。

做对接接头的试验, 管段要求在做破坏性试验前, 必须通过外观检查、磁粉表面探伤和射线探伤, 以及业主要求的其他检验。

(3) AS 2885.2 规定将焊接工艺评定方法分为4类: ①通过试验的方法进行评定。②通过原有的文件进行评定, 该原有文件是已经做过试验的且通过了批准的工艺评定。③通过无试验的预资格评审的方法, 该方法的使用限制是不适用于0℃以下运行的管道, 不适用于管件, 不适用于在役管线。④通过现场监察的方法, 该方法只适合于使用纤维素焊条焊接X60级以下钢管, 壁厚在4.8~10mm之间, 层数大于3层, C_E 小于0.40%, 严格限制了焊接条件的管线的焊接工艺。

从以上规定可以看出, 通过②、③、④方法可以免去很多重复性的工作, 尤其适合于我国的现状, 可在以后的标准制定中参照执行。

焊接的试验条件也要求必须是悬吊的全尺寸管进行焊接, 要模拟恶劣的焊接环境和条件, 其预热温度、热输入或焊条燃烧速度都采用与焊接工艺接近规定范围的下限值。

AS 2885.2中通过试验的方法进行评定与其他标准比较的特点是限制了各个参数的变化范围值, 超出范围值的要求重新进行评定, 同时也要求在模拟现场环境的恶劣条件下进行焊接, 如焊接时取焊接参数范围的上限, 预热、热输入和焊

条燃烧速度取规定范围内较低的数值, 试验过程中不允许随意修补焊接等。

试验焊缝完成后, 必须通过外观检查和管线将采用的无损探伤检查。

3. 破坏性试验的方法

(1) API 1104 破坏性试验方法主要包括三类: ①带接头的横向强度试验, 主要检验全接头的抗拉强度是否满足要求。②刻槽锤断试验, 有两种断裂方法, 既可以在拉伸试验机上拉断, 也可以简易支撑两端锤断中间带槽焊缝。该试验主要检验焊缝的断面缺陷, 另一方面可以检验焊道氢气孔积聚的程度, 所谓的纤维素焊条焊接出焊缝的鱼眼缺陷。用拉伸机以缓慢的加载速度拉断, 会使鱼眼的面积加大。③弯曲试验, 包括检验根部变形能力的根弯和检验盖面焊道变形能力的面弯试验。当壁厚较厚时采用侧弯试验。检验主要焊缝部分的变形能力。

事实上能否顺利通过弯曲试验, 试件的制备方法非常重要, 往往影响试验的结果。

但是这种试验方法存在以下的问题: 试件的取样避开了12点、3点、6点和9点的位置, 其实是避开了在管道焊接中最容易出现问题的地方, 如12点是整条焊缝的起点位置, 3点和9点是下向焊时速度最快, 甚至需要补充填充层的位置, 而6点位置是最容易出现焊接缺陷和成形缺陷的位置, 焊接参数一般都在此发生较显著的变化, 为此林肯药芯半自动焊机在此处专门设计了一档慢速送丝开关, 使电流减小, 并使干伸长度增加才能完成。

弯曲试验采用特殊的U形模具和压头进行试验, 所以对厚壁管无法进行面弯和背弯, 只能进行侧弯, 因而对最易出现裂纹开裂的背弯地方没有进行检验。

总之, API 1104的破坏性试验通过接头强度试验评价的是整个焊接接头的综合强度指标, 用面弯和背弯试验检验焊缝的韧性、抗裂及止裂性能, 但是不能显示数据指标, 用刻槽锤断的方法检验内部缺陷, 并通过鱼眼侧面反映了扩散氢的含量。它采用固定取样位置方法, 如图1所示。由于没有要求进行通过无损检测, 因

此对缺陷的控制是通过指定位置的刻槽锤断试件来反映的。API 1104 规定的这些破坏性试验方法,在现场非常简单实用,深受施工单位的欢迎,因此得到了广泛的使用。

SY/T 4103在破坏性试验的方法和要求上未对 API 1104的标准进行改动。

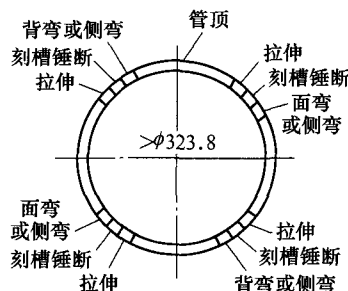


图1 API 1104标准破坏性试验取样

(2) BS 4515的破坏性试验方法包括四类:

①拉伸试验,当管径>50mm时,要求拉伸试件去除焊缝两面的表面加厚高,因此实际上是测试了焊缝和热影响区的抗拉强度。②焊缝和热影响区的缺口冲击韧性,用Charpy V 的方法试验。缺口要分别开在焊缝和热影响区上。③接头断面的硬度试验,分别测量靠近根部和表面的焊缝、热影响区及母材处的硬度值。④接头断面的宏观组织观察,取样位置和数量如图2所示。宏观组织及硬度试样为位置1、6和10;拉伸试样为位置4和8;焊缝缺口韧性试样为位置2、5和9;熔合线韧性试样为位置3、7和11。

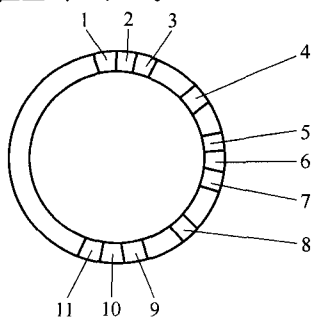


图2 BS 4515 标准破坏性试验取样

注:1~11为取样位置

从图2可看出,拉伸试样选取了45° 的位置,但其他试样都选在了易出现问题的12点、3点和6点的位置。

BS 4515 采用了通常的正规焊缝金属的试验方法,需要具有资质的试验室才能完成试验。一般在现场条件下已经无法完成。

试验结果可以用数据来评价,并分别要求观察宏观组织,硬度分布和冲击韧性,因此可以对管道的环缝焊接接头进行全面的性能评价和组织分析,更能确保焊接接头的性能。

(3) AS 2885.2 的破坏性试验方法 对管径>φ323.9、壁厚<13mm的对接管,要求进行4个试件的拉伸试验,4个侧弯试验,两个宏观组织观察和两个硬度试验。两件焊缝CharpyV试件。对壁厚>13mm的对接管焊缝,要求在上面的试验基础之上,增加一个CTOD裂纹撕裂试验。

该标准没有规定焊缝试件取样的位置,并要求试件应尽量避免开经无损探伤已经确认的缺陷位置。

(4) 关于破坏性试验的建议 根据以上讨论可以看出,美国标准更偏向于方便应用,而欧洲标准更偏向于实际焊缝的力学性能数据和组织结构,但需要由专业试验室来完成。根据我国国企是石油管道建设主力军,有相当的实力可以做相对细致工作的特点,可以将长输管线的焊接工艺评定分为两类:一类称之为研究性焊接工艺评定,主要用于引入新管材、新型焊接工艺方法、新焊接材料类别等场合;另一类称之为应用性焊接工艺评定,也可称之为焊接工艺审定,主要用于已经应用成熟的焊接工艺及其组合和已经广泛应用的钢管。

研究性焊接工艺评定要求采用以下的方法进行:①采用在模拟现场恶劣条件下的全尺寸管道的焊接,且至少焊接两个焊口。②焊工能较容易用掌握的方法焊接试验管口,且完成的焊缝能像熟练焊工完成的焊道,并通过外观检查。③不要求射线探伤结果做基本评价,但要求射线探伤做辅助参考。④破坏性试验的项目应为:采用接头拉伸和去掉加厚高的焊缝拉伸作为强度评价指标;采用背弯、面弯,侧弯试验评价焊缝的抗弯曲开裂能力;采用CharpyV及CTOD的试验评价焊缝及熔合线的缺口韧性指标;采用接头断面硬度试验评价焊材、母材及焊接工艺配合的合理性;采用宏观组织观察焊接接头组织是否可接受或是否出现异常;采用BS 4515作为采样位置的参考。

而应用性焊接工艺评定(或焊接工艺审定)

可完全执行API 1104的标准,以方便推广使用。

4. 焊接工艺评定中的重要因素比较

(1) 管材的规定 API 1104:按照强度等级分组,小于X42, X42到X65, X70以上各级别必须重新评定。

BS 4515:只要是强度等级增加,就必须重新进行评定。管材的热处理条件的改变。

当 C_E 减小0.06%或增加0.03%,化学成分要求 $w_C \pm 0.04\%$, $w_{Mn} \pm 0.25\%$, $w_{Si} \pm 0.20\%$, w_S 增加0.015%, w_P 增加0.015%,都需要重新评定。

AS 2885.2:从<X70到 $\geq$ X70, X70以上各级必评。 $C_E < 0.35$ 时, C_E 每增加0.05%,则需要评定;当 $C_E \geq 0.35$ 时, C_E 每增加0.03%,则需要评定。

(2) 壁厚的规定 API 1104: <4.8mm一组, 4.8~19.1mm为一组, >19.1mm为一组,壁厚组别的变化需要重新评定。

当BS 4515:壁厚变化超出0.75T或1.5T, T为试验管的壁厚。AS 2885.2:壁厚变化超出0.5T或1.2T时需重新评定。

(3) 管径变化的规定 API 1104: >323.9mm以上没有分组。BS4515:管径变化超出0.5D或2D, D为试验管的管径。AS 2885.2:管径设为3组, ≤ 60.3 mm, >60.3mm和 ≤ 508 mm, >508mm,组别的变化需要重新评定。

(4) 焊接材料的规定 API 1104:按照组别,纤维素焊条分了两组, E6010和E7010一组, E8010和E9010一组, 低氢焊条一组, 实芯焊丝一组, 药芯自保护焊丝分两组: E71T8-K6一组, E91T8-G一组。对直径变化没有要求。

BS4515:根焊热焊及盖面焊道焊材直径的任何变化,其他焊道焊条直径的增加;对要求冲击韧性试验的管线,焊材厂家及牌号的变化,对低氢焊条,任何烘干保温条件的降低。

AS 2885.2:焊接材料分组的变化;根焊焊材直径的变化,对单面焊双面成形的焊缝及角焊缝,焊材厂家及品牌的变化;对高于E4110(相当于E8010焊条),每层焊道所占焊缝比例的显著变化,对使用药芯焊丝或实芯焊丝的焊材,当直径、厂家及配方发生变化。

(5) 预热温度的规定 API 1104:规定的最低预热温度的降低。BS4515:预热温度有 $\pm 50^\circ\text{C}$ 的变化,预热方法的变化,控制预热方式及测量预热温度的方法改变,不要求预热温度的最低环境温度要求的降低,层间最大或最小温度的降低。AS 2885.2:对<X70的管道,预热温度要求降低25 $^\circ\text{C}$ 或超过75 $^\circ\text{C}$ 时;对 $\geq$ X70的管道,预热温度要求降低10 $^\circ\text{C}$ 或超过75 $^\circ\text{C}$ 时。

(6) 焊接参数范围的规定 API 1104:只规定了焊接速度范围的变化。BS 4515:干伸长变化 ± 5 mm,电压变化 $\pm 10\%$,送丝速度或电流变化 $\pm 10\%$,纤维素焊条电流变化 $\pm 15\%$,焊接速度变化 $\pm 10\%$ 。AS 2885.2:熔滴过渡方式的变化,普通焊机与有波形控制焊机的变化,干伸长增加10%,电流电压超出规定范围。

(7) 焊接层数的规定 API 1104:无规定。BS 4515:从单焊道到排焊道的变化,反之亦然。AS 2885.2:当焊层减少到4层以下时。其他重要因素,如焊接工艺变化的规定,坡口变化的规定,电特性、焊接方向等,各个标准的规定相近,不在这里深入探讨。

总之,对比以上几个标准,可以看出每个标准对重要因素的侧重点非常不同,但API 1104规定的最不详细,参照其他标准的相关规定,对解决焊接工艺评定试验出现的具体问题大有参考价值。

四、结语

(1) 对比美国和欧洲关于长输管道焊接的标准,可以看出美国标准简单易行,方便施工队伍使用,但缺乏数据指标和相关的详细规定;而欧洲标准规定详细,但试验必须具备一定的条件。

(2) 笔者根据国内实际情况,建议对焊接工艺评定分为研究性焊接工艺评定(简称焊接工艺评定)和应用性焊接工艺评定(简称焊接工艺审定)分别适用于不同的情况,既可方便一般施工单位的使用,又能够对采用新材料和新工艺的管道焊接掌握详细的数据及进行科学评价。

MW (20120426)