

油气输送管道全生命周期施工监理控制的探讨

陈冬 (中国石油玉门油田分公司工程技术研究院, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 在油气储运行业管道项目建设过程中, 监理单位通过焊接质量控制, 消减焊接安装应力延长管线寿命, 对于管道的全生命周期控制至关重要。持续性的开展管道安装过程中的应力产生原因分析是有效的减少管道安装应力的重要手段, 监理单位通过对工程开展过程中施工作业程序、施工作业计划、材料供应计划、施工作业中人、机、料、法、环等各项因素的控制, 能有效地减少和避免安装应力产生的隐患, 以此来达到油气输送管道全生命周期控制的目标。

关键词: 管道焊接应力; 监理质量控制; 管道全生命周期

0 引言

2018年6月10日, 中缅天然气输气管线黔西南州晴隆县沙子镇段 K0975+100m 处发生泄漏燃爆事故, 造成1人死亡, 23人受伤, 直接经济损失2145万元, 燃爆口上游为螺旋焊缝管, 壁厚12.8mm, 下游为直缝冷弯管(3度), 壁厚15.3mm, 材质均为X80钢, 焊接时间为2021年11月18日, 发生爆炸时管线压力7.5MPa, 燃爆口沿焊缝断裂, 局部扩展至母材; 公布的资料显示事故直接原因为环焊缝脆性断裂导致天然气泄漏并在断裂处产生静电引发燃烧爆炸。该事故描述焊缝爆裂位置为直管与弯管的连接焊缝, 事故分析报告中没有提出造成焊缝断裂的附加异常应力以及断口的金相报告, 为此我们可以设定原焊缝存在着残余应力腐蚀造成焊缝缺陷, 依据直管段与弯管焊接的常规残余应力是形成焊缝缺陷造成裂纹成因之一, 来论述管道与管件安装过程中应力产生的原因分析及对最大化无应力安装现场控制措施, 监理单位通过管道安装质量控制来达到管道全生命周期。

1 焊接安装应力的形成分析

以某天然气长输管线工程为例, 管线设计管径为 $\Phi 323.9 \times 8$, 设计压力6.3MPa, 管道材质为L360M, 为HFW钢管, 弯管为无缝钢管, 材质为L360N无缝钢管, 设计管径为 $\Phi 323.9 \times 8.8$, 管线设计埋深2m, 管道全长12km, 有大型河流穿越、高铁穿越、高速穿越各一处, 划分为7个标段, 本工程在完成初步设计后业主进行了大宗材料如管线、设备的订货安排, 在施工图设计出版后组织施工投标方进行了现场初步勘察然后组织施工招标, 在确定施工监理后进行了现场设计交底, 施工单位开工后进行了测量放线。

上述工程中管材到货时间较早, 且施工单位进场进行测量放线过程中发现多处线路路由变更需增加弯

管, 现场形成了直线段施工完毕后大量弯管未到货的现象, 而管线弯管与直管的连接焊缝中, 包括自由端和固定端, 自由端是弯管与管线焊接的第一道口且弯管处于自由活动状态; 固定端是弯管与管线连接的第二道口且管线和弯管都处于固定状态, 这时候要做好对口的各项参数指标控制往往要采取强力组对致使安装应力的产生。

1.1 施工工序的影响

理想的安装顺序应该是管线自起始段始终沿着一个方向顺序安装, 包括管件的安装, 即所有焊口均为自由端, 这样能确保所有焊口均没有强力组对的现象, 但是现场实际情况千差万别, 首先业主的计划安排造成管线先期施工弯管后到货安装的现象, 同时受到设计现场勘查深度不够产生路由变更的影响也造成大部分管件主要是弯管在管线安装完毕后的到货安装, 由此造成管件或弯管位置至少一道焊缝为固定端焊缝从而产生强力组对的现象。

其次管线路由涉及到二类及三类地区的征地及区域生产生活的要求造成部分直线段需进行提前施工预埋的现象较为普遍, 如农田段涉及到乡村道路、三四级道路、沟渠的穿越等均要求提前预埋并及时回填管沟或管线需要穿套管敷设, 这种情况下对后续施工的不不管是直管连接还是弯管连接都会造成两端管口焊缝对口时的自由活动余量非常小而容易形成安装焊接应力。

长输管线的试压程序的不同情况也会对管线焊缝的应力形成影响, 在TSG0001《压力管道安全技术监察规程》第七十八条规定埋地管道的回填必须在耐压试验、泄漏性试验和防腐层检测合格后进行, 并且按照隐蔽工程进行验收; 这是基于管道系统在安装完毕后的耐压试验有利于系统的应力均布及消减; 在GB50369

《油气长输管道工程施工及验收规范》12.2.1 中规定一般管道下沟后应及时回填, 然后再进行压力试验, 这是基于管道区域生产生活及安全的影响, 管道回填后土壤压力在消减部分系统应力的同时也造成线路系统局部安装应力无法均布消散。

1.2 管线安装过程的不利因素的影响

常规沟上焊的施工顺序主要是对管线下沟后在水平方向没有控制好调整直线度造成局部轴线偏差过大会对焊缝形成应力, 在垂直方向上施工方对管沟开挖的纵向变坡的平缓圆弧控制程度不够, 造成管线下沟后存在管底受力不均匀或局部悬空的现象而且如果未采取填垫措施而后的回填会对管线施加较大的压力而对焊缝产生应力, 重点是沟底的纵向变坡角度在开挖时纵断面弹性放线的每个切线段为直线段, 施工单位往往忽略了切线段连接部位的平缓过度的人工清理, 管线下沟后管底局部悬空位置的细砂补充填垫对管线应力的消减也不会产生较大的改善, 尤其是纵向弯管位置的连接对口中固定口的应力集中现象均来源于沟底纵向标高的误差和后续管底细砂填垫的措施不当形成的。

焊接工艺对管线焊缝的应力形成也有一定的影响, 管线焊接工艺评定一般都是按照直管段管材制作试件进行焊接工艺评定, 如本例工程 L360M 管线焊接根据 SY/T4125-2013《钢制管道焊接规程》中要求确定焊接工艺为 SMAW, E6010 纤维素焊条打底, E5015 焊条填充盖面; 其中管材、弯管及焊缝的力学性能试验如表 1:

焊接工艺评定中焊缝的试验抗拉强度为 526MPa, 在 GB/T9711-2017《石油天然气工业管线输送系统用钢管》中 L360M HFW 管体抗拉强度为 514MPa, 无缝弯管 L360N 的抗拉强度为 518MPa。

从表 1 中可以看出使用 L360N 无缝钢管热煨的弯管碳含量及 Nb、Ti、V 含量均高于直管, 这也符合设计原则中管件强度及拉伸性能等级高于管线, 但焊缝两侧母材材质和强度的不对等也会造成焊缝在焊接及

长期的使用过程中的应力产生; 在焊接工艺评定中焊接试件焊缝的抗拉强度高于两侧母材的抗拉强度, 同时管线焊缝焊条的化学成份及力学性能与两侧母材之间的差异致使通常情况的焊缝强度高于母材强度也会使焊缝两侧产生应力。焊接工艺形成的应力影响通常排除在管线安装应力影响评价之外但是如果安装过程中的应力集中的隐患分析特别是管线全寿命周期分析中不能排除焊接工艺形成应力的因素。

1.3 管线焊接过程的影响

Φ323.9×8 管道材质为 L360M, 焊接工艺规程中填充盖面焊接电流为 90A-150A, 电压为 18V-28V, 填充层数为三层, 随着层数的增加施焊电流应该是由小到大在焊接过程中进行调节, 这在实际操作中很多管理人员及电焊工操作人员往往忽视这一问题, 没有做到层间的电流调节且在施焊过程中某一个动作或位置的不利因素产生的焊点停留时间延长而增加了线能量造成层间热循环温度超过 1394℃以上, 尤其是起弧点和收弧点的 0 点位和 6 点位, 易造成焊缝金相中贝氏体和马氏体增多使焊缝金属和母材金属的不均相范围扩大也会形成焊缝内部应力的产生。

2 管线焊接安装应力容易产生的部位分析

管线安装产生的应力主要包括形变应力和焊缝内部应力, 形变应力包括强力组对、管沟在施工过程中的不规范及管线下沟、管沟回填中的水平和垂直方向的轴线偏差形成的应力; 焊缝内部应力包括焊缝及两侧母材的材质不均相、力学性能的差异、焊接过程的缺陷形成的会造成焊缝金相中晶粒内部饱和碳析出产生晶间腐蚀电池从而形成的内部应力。

安装过程中容易产生安装应力的重点部位是直管线和弯头的连接焊缝、管段间的连头焊缝、标段间的金口焊缝以及返修焊缝, 返修焊缝主要是在焊缝的基础上在一次进行的热加工极易造成焊缝金相中相变产生渗碳体而使不良组分如马氏体的增多和集聚。

3 监理单位施工质量控制

从工序安排上要考虑到施工顺序自起始点到末端

表 1

名称	化学成份 (质量分数 %)											抗拉强度 MPa
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Nb	
弯管 L360N	0.24	0.45	1.4	0.025	0.015				0.10	0.04	0.05	518
直管 L360M	0.22	0.45	1.4	0.025	0.015				Nb+Ti+V ≤ 0.15%			514
打底焊条 E6010	0.16	0.12	0.56	0.014	0.005	0.02	0.03	0.01	0.01			430
填充盖面焊条 E5015	0.092	0.4	1.2	0.027	0.014	0.043	0.02	0.0054	0.0046			526

的完整性的最大化,首先是尽量避免管件尤其是弯管和管材的到货时间的不统一,这样可以确保管子管件的同步安装,避免管子全部安装完毕后再单独进行弯头的安装;其次是对施工单位要将焊接设备、电焊工、管工、对口组对方式、焊条烘干保温领用等方面的管理做到区域位置的一致性设置,尽最大化的做到人、机、料、法、环的区域统一以确保管道施工统一完整性,不要随意调整和改变;第三是尽量要求施工单位在一个区域内按照顺序安装并减少分段以确保工程在施工方面的完整性,从一个方向顺序施工是避免施工安装应力产生的最好的方法。

对于管道焊接尽量采用含有 Nb、Ti、V、Cr、Ni、Mo 的低氢碱性焊条以做到焊缝晶粒的细化从而避免晶粒内部的饱和碳的析出而造成腐蚀电池的生成以减小焊缝应力的产生;对于 L360M 天然气管线钢管尽量采用氩弧焊打底以减小线能量,填充盖面使用 E5015 或 E5016,由于 E5016 焊条中 Si 含量比 E5015 少 0.15%,能较好地减小晶粒中饱和碳的析出从而降低焊缝晶粒的粗大化,但是 E5016 在施焊过程中由于熔融金属的粘性特征较强及易形成的气孔现象对电焊工是较大的考验。

在线路工程施工中二三类地区往往涉及到提前预埋管段的施工,尤其是县乡道路、灌溉沟渠等由于涉及征地计划及减小对其使用功能的影响而需要提前开挖预埋管道,这一种类的施工不可避免的形成了弯管后续安装的现象,现场严格控制管线轴线的偏移度,尤其是水平方向的轴线偏移如果数值较大那么在后续的管线对接工序中会影响管口垂直度为零的要求而产生强力组对;要采取预埋段整体管线的轴线偏移控制措施,一般情况下使用细砂先期找准然后使用沙袋固定以确保回填产生的外力造成轴线偏移;如果是对于未知弯管尺寸的直管段管端的预留长度且一般是水平安装的弯管要保持易长不易短的原则以确保后续弯管安装管口加工精度的控制;如果是采用管段连接那就要确保管段焊缝的无应力对口安装也是避免产生强力组对的方法。

管沟开挖中对垂直方向和水平方向的弹性敷设段的施工往往会由于管沟开挖和管线安装的施工作业缺乏统一协调而造成现场的 $< 3^\circ$ 的管线安装产生的管口垂直度大于 0° 的违规现象的产生,而后续的整改由于开挖难度的加大会造成管线强力组对的发生,采用 1000D 半径现场采用经纬仪或全站仪使用坐标法

可满足要求,水平方向的弹性敷设放线采用土工法或仪器定点法可以能够较好地控制开挖弧度;垂直方向的弹性敷设只能按照图纸中的变坡点坐标及高程计算出各点的开挖深度然后进行现场控制,现场一定要避免在弹性敷设的施工单位采用经验目测的手段放线开挖,

在现场管线焊接过程中严格要求填充盖面每层的焊接电流的控制,现阶段在焊接作业过程中尤其是填充盖面工序为了进度的考虑许多电焊工在每层焊道施焊时较少考虑对焊接电流随着层数的增加进行调节,没有按照焊接工艺评定中的焊接电流范围进行层间焊接的电流调节,每层焊道使用统一的大电流会造成焊缝金相中贝氏体和马氏体含量过高而造成焊缝韧性下降脆性增强的隐患,所以在现场施工作业中要求施工单位必须专注于焊接电流由小到大的调节,切实确保了管线焊缝的使用寿命。

4 总结

通过文章可以看出,管线施工过程中,监理单位如何进行管道焊接安装质量控制,可以看出这是一个复杂的过程,施工任何一个环节的出错都有可能产生焊接安装应力,只有通过现场管理以及技术方面加强质量控制,从材料供货计划、管线及管件材质、施工计划安排、焊接工艺评定、现场施工组织的人、机、料、法、环等方面要进行系统完整性的质量控制安排,能有效地减少和避免焊接安装应力产生的隐患。在油气储运行业中,监理单位可以通过焊接质量控制,避免或者减少管线焊接安装产生应力,来达到管道全生命周期控制目标。

参考文献:

- [1] 姜德林,张光琳.压力管道安装焊接质量控制探究[J].建设科技,2009(11):94-95.
- [2] 田金柱.压力管道施工焊接质量控制[J].管道技术与设备,2020(3):45-46.
- [3] 李旭.天然气压力管道的安装技术与质量控制探析[J].科技传播,2014(1).
- [4] 沈俊,沈勇.探讨油气长输管道工程监理精细化管理[J].低碳世界,2016(28):2.
- [5] 张志军,吴长礼,付群.油气长输管道工程监理工作精细化管理[J].油气田地面工程,2021,30(10):1.

作者简介:

陈冬(1991-),男,汉族,江西高安人,本科,中级工程师,研究方向:工程监理、压力容器。