

奥氏体不锈钢厚壁管道埋弧自动焊焊接工艺

田文冲 刘建国

中石化第十建设有限公司，山东青岛 266555

[摘要] 管道埋弧焊具有焊接效率高、焊缝质量稳定可靠等优点，目前已在公司大口径、厚壁管中实际应用。本文结合在大连恒力工程项目蜡油加氢高压管道焊接施工中，采用管道埋弧焊进行管道填充、盖面焊接试验，确定了管道埋弧焊管道坡口形式、焊接参数，摸索出焊接缺陷产生的原因及预防措施。

[关键词] 管道埋弧焊；焊接特点；焊接缺陷；填充盖面焊接

前言

随着石油化工业向大口径、厚壁管在工程建设中快速发展，由于焊接任务量大，对施工周期要求越来越短，常规的焊条电弧焊已满足不了高温高压大口径厚壁管道高效率焊接施工进度需求。为了适应市场的竞争，提高施工进度，降低成本，减小劳动强度，公司积极倡导开发推广新的焊接技术，提高焊接效率，保证焊接质量。

2017年，我公司承担了公司承揽的大连恒力蜡油加氢裂化装置高压管道，大口径、厚壁管道焊接任务，采用工厂化加工、自动化焊接进行高压管道的预制，是体现施工单位管道预制能力、提高高压管道施工效率和降低高压管道施工成本的一个重要举措。

1 管道埋弧焊的焊接特点；

①焊接机械化程度高：管道埋弧焊接时，引燃电弧、送丝、电弧沿焊接方向移动及焊接收尾等过程完全是通过操作控制盘上的按钮开关来实现控制，机械操作的程度高。

②焊接效率高：管道埋弧焊可使用较大的电流，熔深大，焊丝熔敷效率大大提高。

③焊缝质量高：熔渣隔绝空气的保护效果好，熔渣可降低接头冷却速度，焊接参数可以通过自动调节保持稳定，对焊工技术水平要求不高，焊缝成分稳定，力学性能比较好。

④劳动条件好：管道埋弧焊时电弧是在一层颗粒状的可熔化焊剂覆盖下燃烧，电弧光不外露，焊接时没有弧光辐射，减轻对操作者身体的伤害。而且易操作，减轻手工焊操作的劳动强度，降低焊接成本，更好的提高焊接效率。

2 管道埋弧焊主要焊接缺陷及预防措施

管道埋弧焊焊接过程中，如果焊接电流、电弧电压及焊接速度配比不合理 容易造成根部烧穿、气孔、夹渣、未熔合等缺陷。

(1) 气孔：焊前坡口未清理干净，焊剂受潮未按要求烘干或焊剂杂质多重复使用，同时焊剂颗粒度没有根据电流选取，过粗或者过细，导致透气性不好，都容易产生气孔缺陷。

预防措施：焊接前仔细清理坡口两侧的油、锈、和水等污物，焊剂严格执行烘烤标准，对于重复利用的焊剂进行筛除细碎渣壳及杂质，特别是不锈钢焊剂更容易吸收空气中的水分，根据焊接任务量随用随取，焊剂的覆盖厚度，以盖住焊丝周围，不出现闪光，保证焊接气体能均匀的溢出。

(2) 夹渣：焊接时焊枪起弧点偏移位置，造成了向下焊状态，容易产生夹渣，多层多道焊层间渣不干净，残留在焊缝内，形成夹渣。

措施：选择合适的起弧点，控制电弧始终处在焊缝中心，采用合理的坡口角度和焊接工艺参数，道间焊渣清理彻底。

(3) 未熔合：焊缝两侧坡口角度大小不一样，导致两侧受热不均匀，焊枪选用管口倒流位置过大，焊层之间未完全熔合，焊接电流过小，焊接速度过快，到不到足够的熔深，坡口角度过小，焊丝干伸过长。

措施：采用合适的坡口角度，焊丝始终对准焊缝中心，焊接过程中观察好焊丝的偏移度及时调整，焊枪处在管口倒流角度的位置合适，选用匹配的焊接工艺参数，保证合适的焊丝干伸长度与焊件距离。

3 焊接材料选用：

以大连恒力施工现场奥氏体不锈钢 TP347 管道为例，规格为 $\Phi 600 \times 32\text{mm}$ ，从保证焊缝性能同母材匹配的原则出发，焊丝选用 CHW-347R，焊剂选用 CHF-601，焊材的化学成分及熔敷金属的力学性能见表 1、表 2。

表 1 CHW-347 焊丝及熔敷金属化学成分 (%)

项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Nb
实际值	0.04	1.80	0.49	0.001	0.014	19.90	9.45	0.01	0.02	0.75

表 2 熔敷金属的力学性能

项目	抗拉强度 b/MPa	屈服强度/ $s_{0.2}$	伸长率 $\delta_s /(\%)$
标准值	432	607	41.0

3.1 坡口形式

管道埋弧焊的焊接电流较大, 电弧具有很强的熔透力。热烧层的坡口角度大小尤为关键, 如坡口角度太小导致导电嘴送不到底层, 容易造成焊接时道间未熔合, 如果坡口角度过大, 热烧时容易造成打底层击穿。管壁厚度 $\delta \geq 40mm$ 的焊件, 选择双 V 型坡口, 坡口角度为 $60 \pm 2.5^\circ$, 对于厚度较大的焊件, 为了减少焊材填充量、提高焊缝的性能和质量, 有条件宜选择 U 型坡口。

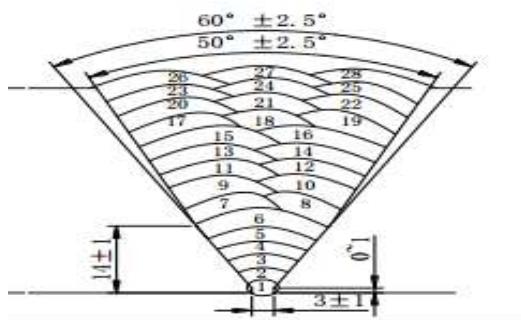


图 1 焊缝坡口形式图

4 焊接工艺参数

管道埋弧焊的参数包括: 焊接电流, 焊接电压, 焊接速度等。这些参数主要根据焊件的管径、壁厚和层次, 焊接工艺评定参数结合焊接经验来选定, 一经确定后, 严格执行是保证焊接质量的前提。

4.1 焊接电流

焊接电流是埋弧焊最重要的参数。一般焊接条件下, 焊接电流与焊缝熔深成正比, 随着焊接电流的增加, 熔深增加, 焊丝的熔化量也相应增加。随着焊接电流的减小, 熔深减小。增大焊接电流可以加快焊丝的熔化速度, 提高焊接生产率。但焊接电流过大时易造成烧穿或者焊缝余高过高。焊接电流过小时熔深太浅, 容易产生未焊透, 多层焊时还会产生夹渣, 同时电弧的稳定性也变差。

4.2 焊接电压

焊接电压增大时, 熔宽增大, 熔深变浅, 焊缝的余高变小。当焊件的组对间隙不够理想时, 可以适当地增大焊接电压, 以避免烧穿, 在增加电弧电压的同时, 还应适当增加焊接电流。但焊接电压过高焊缝成形变宽, 熔深变浅, 容易在焊缝内产生裂纹和气孔, 而焊接电压减少时, 熔深增加, 焊缝变得高而窄, 造成脱渣困难。

4.3 焊丝直径与伸出长度:

焊接参数不变而焊丝直径增加时, 焊缝宽度增加, 熔深减小。反之, 则熔深增加及焊缝宽度减小。焊接参数不变而焊丝伸出长度增加时, 电阻也随之增大, 伸出部分焊丝所受到的预热作用增加, 焊丝熔化速度加快, 结果使熔深变浅, 焊缝余高增加, 严格控制焊丝伸出导电嘴的长度。

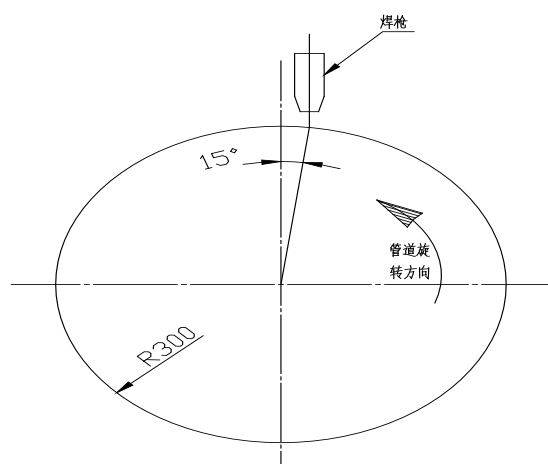


图 2 管道埋弧焊焊枪示意图

4.4 焊丝电弧位置

焊丝的电弧位置分为前倾置和后置。焊丝电弧位置不同, 电弧对熔池热作用也不同, 从而影响焊缝成形。当焊丝前置一定位置时, 焊缝宽度较小而熔深较大, 但易使焊缝边缘产生未熔合和咬边, 并且使焊缝成形变差。反之, 由于电弧指向焊接方向, 使熔池前面的焊件受到了预热作用, 电弧对熔池的液态金属排出作用减弱, 而导致焊缝宽而熔深变浅。



图3 焊枪位置示意图



图4 焊接操作过程

4.5 焊剂粒度和堆散高度的控制

焊剂层太薄或太厚都会在焊缝表面引起凹坑、斑点及气孔，形成不平滑的焊道形状，焊剂层的厚度要控制在 25-40mm 范围内。当使用烧结焊剂时，由于密度小，焊剂堆高比熔炼焊剂高出 20%-50%。焊丝直径越大焊接电流越高，焊剂层厚高也相应加大；由于施焊过程操作不规范，细粉焊剂处置不合理，焊缝表面会出现断续的不均匀凹坑，无损检测合格但外观质量受到影响，局部削弱了壳体厚度。

5 填充层焊接

焊接前，由于厚壁管的坡口角度都是 U 形坡口，坡口角度小，埋弧焊枪垂直于 12 点位置，而且又不能摆动，提前对移动式管道升降托持小车的角度进行调整，把焊枪进行轻微的转动方向前置，有利的保证坡口两层充分熔合。填充第一道焊接时，把埋弧焊枪从钟表方位 12 点偏前位置开始焊接，由于打底焊缝较薄，焊枪垂直 12 点焊接容易把焊缝击穿，底层填充焊接的电流，电压，焊接速度要稍快，随着焊接层数的增多，适当加大焊接参数，提高焊接效率。焊件旋转方向为逆时针，这样焊缝成形较好，也不至于使层间接头处过高。

在焊接过程中，管件在压紧式管道驱动器转动时存在一定的偏移，应及时手动微调焊枪离工件的距离大小，否则，易造成焊枪喷嘴接触焊件或电弧太长；要及时手动微调焊枪左右位置，使焊枪喷嘴始终对准焊缝坡口中心，否则，易造成焊偏或未熔合，焊接时及时从焊缝的渣壳的脱落和焊缝为金黄色或者银白色来判断焊层的温度，有效的控制层间温度及管道背面焊缝氧化。



图5 不锈钢热焊层示意图



图6 不锈钢填充焊渣自然脱落示意图

5.1 埋弧焊盖面焊接

盖面层焊接时，由于坡口角度大或者错边，需采用窄焊道，焊层薄，多层多道焊，焊接电流与焊接速度适当降低，应及时提高焊接电压，增加焊缝的宽度，由于管道埋弧焊焊接时电弧在焊剂下燃烧观察不到熔池，焊工焊接时通过观察和听声音，如果电弧燃烧的声音清晰均匀一致，说明焊接参数合适稳定，电弧燃烧的声音高低不一及熔池上的渣壳不规则，电流与电压的配比不合适应及时提调整，更好的确保焊缝圆滑过渡，所以焊工要加强理论与实践的学习运用确保焊接质量。



图 7 多层多道焊示意图



图 8 不锈钢盖面成型示意

表 3 管道埋弧焊主要焊接参数

焊件材质	规格	焊接层次	焊接方式	焊材		电源极性	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (cm/min)
				牌号	直径 (mm)				
TP347	Φ 700x71	1-2	SAW	CHW-347	2.4	直流反接	200-290	30-33	40-50
TP347	Φ 700x71	3-6	SAW	CHW-347	2.4	直流反接	190-260	30-33	40-45
TP347	Φ 700x71	7-10	SAW	CHW-347	2.4	直流反接	160-250	30-32	39-50
TP347	Φ 700x71	11-15	SAW	CHW-347	2.4	直流反接	160-220	30-31	40-45

6 结束语

我公司在大连恒力蜡油加氢裂化装置高压管道焊接施工中，采用工厂化预制，管道施工有序化、焊接自动化，对高压管道前期详细的策划和周密的组织保证了焊接质量，有效的提高施工效率，经过调研和分析制定合理的焊接方法，共预制 19860 寸，管道焊缝无损检测一次焊接合格率 99.2%，同比其它焊接施工方法有效降低施工成本，充分发挥组合式管道埋弧自动焊的优势，实现流水线焊接和生产，解决了高压管线的焊接焊接施工诸多难题，降低了劳动强度，既保证了焊接质量，又提高了施工效率，焊接接头力学性能良好，充分发挥管道埋弧自动焊的优势，实现流水线生产，值得大力推广使用。

[参考文献]

- [1] 焊工手册：《埋弧焊．气体保护焊．电渣焊．等离子弧焊》主编 周昭伟 机械工业出版社 2003 年 4 月
- [2] 《石油化工铬镍不锈钢、铁镍合金、镍合金焊接规程》SH/T3523-2009
- [3] 不锈钢焊接冶金学及焊接性 主编 陈剑虹 机械工业出版社 2008 年 10 月
- [4] 《承压设备无损检测》NB/T4013-2010