

螺旋埋弧焊管聚乙烯防腐材料消耗 影响因素分析及控制

李宝平, 王治波, 刘占浩
(宝鸡石油钢管有限责任公司, 陕西 宝鸡 721008)

摘 要: 针对螺旋埋弧焊管 3PE 防腐生产中焊缝处聚乙烯厚度控制困难, 从而造成聚乙烯材料消耗大的问题。从螺旋埋弧焊管 3PE 聚乙烯原料、焊缝形貌、涂敷工艺等方面开展了分析, 总结出焊缝处聚乙烯消耗大的原因, 并提出降低材耗的控制措施, 为螺旋埋弧焊管生产企业降低管材的防腐成本提供参考。

关键词: 螺旋埋弧焊管; 3PE 防腐; 聚乙烯消耗; 防腐成本

中图分类号: TG174.46

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2023.03.012

Analysis and Control on Influence Factors of Polyethylene Anti-corrosion Consumption of Submerged-arc Welded Helical Pipe

LI Baoping, WANG Zhibo, LIU Zhanhao
(Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., Baoji 721008, Shaanxi, China)

Abstract: Due to the difficulty to control the polyethylene thickness at the weld seam in the 3PE anti-corrosion production of submerged-arc helical welded pipe, resulting in a large consumption of polyethylene materials, 3PE polyethylene raw material, weld morphology, coating process and other aspects of submerged-arc helical welded pipe, summarizes the reasons for high polyethylene consumption at the weld, and puts forward control measures to reduce material consumption, which provides a reference for submerged-arc helical welded pipe enterprises to reduce costs.

Key words: Submerged-arc Welded Helical Pipe; 3PE anti-corrosion; polyethylene consumption; anti-corrosion cost

0 前 言

3PE 防腐技术是管道防腐工程比较成熟的技术, 3PE 防腐层是由底部 FBE 层、中间聚合胶粘剂层、外部改性聚乙烯层复合而成的一种管道外防腐结构, 具有工艺技术成熟、防腐性能好、机械强度高、使用寿命长等诸多优点, 成为世界公认的油气输送管道防腐涂层, 在涂层市场竞争中占据显著优势^[1], 已成功应用于陕京输气管道、西气东输、中俄东线、中缅油气管道等重大工程项目管道防腐。

目前, 国内重大油气管线所采用的钢管主要为螺旋埋弧焊管和直缝埋弧焊管, 而螺旋埋弧焊

管受焊道形貌的影响, 在进行 3PE 防腐时, 焊缝处的涂层厚度要小于其他管体上的涂层厚度。虽然标准 GB/T 23257—2017《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》较 2009 版对于焊管焊缝处防腐层厚度有较大提高, 对于螺旋埋弧焊管而言, 为保证其焊缝处的涂层厚度符合 GB/T 23257—2017 的标准要求, 管体的防腐层厚度仍然过厚, 在一定程度上造成了原材料的过度浪费。由于聚乙烯涂层在整个防腐层的厚度占比最大, 因而聚乙烯的消耗量最大, 约占成本 70%^[2]。聚乙烯原料的过度消耗严重影响钢管的防腐成本, 因此, 降低螺旋焊管 3PE 防腐的原材料成本最重要的就是降低聚乙烯的消耗。

1 3PE防腐聚乙烯消耗因素分析

1.1 材料特性对消耗的影响

1.1.1 熔指指数

熔指指数,是衡量物料在受热受压状态下流动特性的重要指标。一般来说,熔指越大,物料粘度越小,挤出时流动速率越快,同时物料越软,越易受碾压变形,尤其是焊缝处涂层受碾压减薄的趋势明显,容易造成防腐层厚度偏低,厚度控制难度加大^[3];而熔指越小,则物料流动性差,挤出时易断裂,物料不易挤出,挤出摩擦力及螺杆剪切力大,挤出电流较高,挤出效率低。因此,物料的熔指不是越大越好,也不是越小越好,必须有一个平衡及合理的区间。对于3PE防腐聚乙烯而言,GB/T 23257—2017《埋地钢质管道聚乙烯防腐层》中5.2.4对聚乙烯的性能指标做了明确规定,其中熔指要求 ≥ 0.15 g/10 min,但标准只规定了熔指下限,而未规定熔指上限。试验表明,聚乙烯熔指过大不利于防腐生产过程质量控制及聚乙烯原料消耗管控。

分别对7个不同厂家生产的聚乙烯料进行抽样,并对样本做熔指测试,熔指最小的0.16 g/10 min,最大的0.72 g/10 min,仅从测试数据来看,7个聚乙烯样本的熔指均符合GB/T 23257—2017标准要求。但生产试验表明,同一条外防腐生产线,在主要涂敷工艺参数一致的情况下,熔指在0.25~0.4 g/10 min之间的物料挤出过程稳定性最好,挤出电流和熔体压力稳定保持在良好的工艺状态,且挤出膜片的厚度、宽幅也很稳定,涂敷在钢管上能保持较小的搭接量且相对稳定;熔指在0.45~0.6 g/10 min之间时,物料挤出稳定性次之,对涂层厚度的影响较小;尤其是当熔指 > 0.65 g/10 min时,在螺杆转速不变的情况下,聚乙烯在挤出时,挤出机电流和熔体压力均出现明显下降,挤出的聚乙烯膜片的厚度变薄、宽度变窄。此时,就要提高螺杆转速,增大挤出量,但高转速生成的剪切热和摩擦热迅速增大,聚乙烯容易出现碳化或分解,影响涂敷质量。因此,聚乙烯料的熔指指数需要保持在一个适当的区间。

1.1.2 含水率

含水率是衡量物料吸水性的指标。钢管防腐所用的聚乙烯是改性聚乙烯,本质上是一种由包括聚乙烯、碳黑、抗氧剂等多种原辅料加工

而成的混合物,容易吸水,生产出来的改性聚乙烯粒子含水率较高,经烘干处理,含水率要控制在0.1%以下。聚乙烯厂家生产的聚乙烯料的含水率短期内一般都在标准要求范围内,但物料在防腐厂存储一定时间后,会随着存储时间的延长而逐渐发生吸潮现象,吸潮后的聚乙烯料在使用前如果不烘干,在挤出时聚乙烯膜片很容易产生发泡、针孔等质量问题,造成聚乙烯浪费。

1.2 焊缝形貌的影响

1.2.1 焊缝高度

钢管焊缝高度越高,在防腐时聚乙烯的消耗越多。为验证焊缝高度对涂层厚度的影响,尤其是对聚乙烯层厚度的影响,现将一根 $\Phi 508$ mm \times 7.1 mm \times 1 200 mm的钢管试样,沿轴向划线平均分成四段,对每段内的钢管焊缝进行打磨,打磨完毕后钢管试样的各段焊缝高度依次为1.8 mm、1.6 mm、1.4 mm、1.2 mm,在生产线上进行涂敷。涂敷完毕后,在防腐管上依次截取不同焊缝高度试样。对比观察每种焊缝高度的样块中焊缝处聚乙烯涂层的情况,如图1所示。



图1 不同焊缝高度涂层截面形貌

由图1可以看出,焊缝高度越高,焊缝处的涂层厚度越薄,很直观地证明了焊缝高度对涂层厚度的影响。

在管道聚乙烯防腐过程中,聚乙烯膜片经过压延辊缠绕在匀速运动的钢管上,凸起的焊缝受到压延辊的挤压力较大,迫使焊缝处的聚乙烯物料向周围扩散,焊缝处减薄趋势很明显,容易造成防腐层厚度低于标准而报废,也可能造成焊缝处防腐层开裂而报废^[4]。在压延辊整体压力不变的情况下,焊缝凸起越高,焊缝处受到的局部挤压力越大,焊缝处聚乙烯物料扩散就越严重,在膜

片厚度一定的情况下,焊缝处剩余的聚乙烯物料显然难以满足正常的厚度需求。相对于管体,焊缝处的涂层厚度控制难度较大,在实际涂敷生产中,为保证焊缝处的涂层厚度满足标准要求,难免会增大涂层整体厚度,而此时管体处涂层厚度就会远大于标准要求,无形中提高了管体的防腐成本。

1.2.2 焊缝与管体母材过渡段

焊缝与管体母材过渡不平缓或不圆滑时,焊缝呈“凸台”“马鞍”等局部缺陷,防腐过程极易造成不良焊缝处防腐层严重减薄甚至出现裂口,降低了钢管防腐一次性通过率^[5]。要保证焊缝处涂层厚度达到标准要求,就需大量聚乙烯物料来填充焊缝两侧的夹缝,而在聚乙烯膜片厚度不变的情况下,压延辊在挤压聚乙烯膜片时,焊缝存在明显死角,物料在该区域的流动阻力很大,焊缝两侧的根部难以获得足量的聚乙烯料填充。此外,由于焊缝棱角过于突出,受压延辊挤压时压应力及拉应力比别处都大,该处涂层减薄趋势非常明显,易造成防腐层厚度不均匀。为了保证焊缝处的涂层厚度满足标准要求,不得不增大膜片整体厚度来保证焊缝处涂层厚度,而此时管体处涂层厚度就会远大于标准要求,造成防腐材料的浪费。

1.3 涂敷工艺的影响

1.3.1 聚乙烯挤出量

在钢管涂敷速率不变的情况下,挤出量、聚乙烯膜片面积和膜片厚度之间有以下关系

$$T = S \times \delta / 1\,000 \quad (1)$$

式中: T ——挤出量, m^3 ;

S ——聚乙烯膜片面积, m^2 ;

δ ——膜片厚度, mm 。

通常在模具相对位置固定后, S 就是一个定值,则膜片厚度 δ 和挤出量 T 成正比。因此,挤出量的变化会直接影响膜片厚度和幅宽。膜片太薄时,可能导致钢管防腐涂层厚度不够,造成产品不合格而报废;膜片太厚时,可能使钢管防腐涂层过厚,造成聚乙烯的浪费。膜片幅宽太窄时,可能会导致胶层搭接不上,产生涂敷质量问题;膜片幅宽太宽时,可能会导致搭接过量,造成聚乙烯的过渡消耗。

在螺杆转速恒定的情况下,聚乙烯挤出量和挤出机电流呈正相关,一般在额定范围内,挤出机的电流越大,聚乙烯料的挤出量越大。

此外,在转速一定时,挤出量随压力的升高

而降低,为了尽可能减小压力变化对挤出量的影响,必须减小聚乙烯在挤出机机筒中的回流量^[6]。

1.3.2 搭接宽度

设螺距为 M , 聚乙烯搭接宽度为 C , 涂敷时聚乙烯膜片有效宽幅 B , 缠绕层数为 N , 则

$$M = \frac{B - C}{N} \quad (2)$$

由公式(2)可以看出,在螺距与搭接层数不变的情况下,聚乙烯的搭接宽度越大,聚乙烯膜片的有效宽幅就越大,有效宽幅越大聚乙烯的消耗就越大。过搭缺陷虽不影响防腐性能,但影响外观光滑度与平整度,造成原材料浪费^[8]。因此,为了节省聚乙烯原料,必须严格控制聚乙烯的搭接宽度,在保证搭接($C > 0$)的前提下,搭接宽度越小越好。

由公式(2)还可以看出,在聚乙烯膜片的有效宽幅和缠绕层数一定的情况下,搭接宽度与螺距有关,当螺距相对稳定时,搭接宽度也相对稳定;当螺距波动较大时,搭接宽度也随之变化。因此,要保持搭接宽度稳定,必须要保持螺距稳定。

而传动轮偏角是影响螺距的直接而重要的因素^[7],螺距与传动轮偏角密切相关。设传动轮的偏角为 θ , 直径为 D , 则

$$M = \pi D \times \tan \theta \quad (3)$$

由公式(3)可以看出,螺距与传动轮偏角成正比,要保证合适的螺距必须要保证传动轮偏角适当。

1.3.3 钢管传动速度

在挤出机的挤出速度以及螺距不变的情况下,钢管传动速度越快,涂敷时聚乙烯膜片受拉伸越明显,即单位时间内聚乙烯膜片减薄的趋势越明显,聚乙烯涂层越薄;反之,钢管传动速率减慢,聚乙烯涂层变厚。

1.3.4 压延辊压力及硬度

压延辊的压力及硬度与螺旋焊管焊缝处防腐层的厚度减薄有必然关系,压延辊压力过大或硬度过大时,焊缝处防腐层的厚度减薄趋势非常明显。为了保证焊缝处的涂层厚度,必须增加钢管的整体涂层厚度,进而会增加聚乙烯的消耗量。

1.3.5 管体冷却速度

钢管涂敷过程一般采用水冷方式进行管体冷却,水冷时间长短对钢管最终的温度场分布有着决定性作用^[9]。涂层冷却必须充分,保证聚乙烯涂

层能迅速固化,若冷却太慢使聚乙烯涂层不能快速固化,则涂层会受到传动辊轮的碾压而减薄,很可能导致焊缝处涂层厚度不够而造成不合格。

2 不同直径钢管聚乙烯单耗差异分析

(1) 钢管曲率差异的影响。相比于大直径钢管,中小直径钢管的曲率较大,焊道在管体上的几何棱台分布相对突出,焊缝对管体涂层的影响较大,聚乙烯单耗就相对较高。

(2) 焊道形状差异的影响。一般来看,大直径钢管的焊道宽而平缓,中小直径钢管的焊道窄而凸,宽而平缓的焊道有利于防腐,而窄而凸焊道不利于防腐,焊道处涂层减薄趋势非常明显。

(3) 钢管运转平稳性的影响。大直径钢管在涂敷过程中前进速度慢,加上钢管自重大,运行平稳,涂层厚度波动较小,厚度均匀性好;而中小直径的钢管涂敷过程中前进速度快,钢管质量相对轻,运行过程易抖动,造成涂敷过程平稳性较差,使得焊缝处涂层厚度不足的风险增大。

3 降低聚乙烯材料消耗的控制措施

(1) 加强聚乙烯材料的质量检测、存储管理及生产验证。按照聚乙烯防腐专用料的标准要求进行来料质量检测,尤其是物料的熔指、密度、含水率。熔指最好控制在 $0.2\sim 0.4\text{ g}/10\text{ min}$,密度应控制在 $0.940\sim 0.960\text{ g}/\text{cm}^3$,聚乙烯料的含水率应 $\leq 0.1\%$ 。在生产之前,对聚乙烯料在 $50\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行加热,降低含水率。

(2) 降低螺旋焊管焊缝高度,改善焊缝形貌。从钢管焊接开始严格控制焊缝高度,尽量使焊道低而宽、表面平整,无“鱼脊”等形貌缺陷,使其与钢管母材过渡平缓。

(3) 挤出工艺的优化控制。控制挤出机螺杆转速,确保挤出量稳定,同时精调螺距,严控搭接宽度。

(4) 压延辊的调整与选择。在螺旋焊管3PE防腐涂覆过程中,在能保证聚乙烯层与胶粘剂层有效粘合且与环氧粉末涂层粘结牢固的情况下,压延辊压力适当小些为好^[10],一般

控制在 $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$;压延辊邵氏硬度一般在 $10\sim 15$ 为宜,在焊缝处挤压时可形成一定量的弹性形变,使压延辊能紧贴钢管表面。

(5) 提高涂层冷却效率。冷却温度应控制在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,实现涂层快速冷却固化。

4 结束语

对螺旋埋弧焊管3PE防腐生产过程中影响聚乙烯材料消耗的因素进行了分析,得出影响聚乙烯材料消耗大的原因,在螺旋埋弧焊管生产过程中应从聚乙烯材料质量控制、焊缝高度、优化涂敷工艺等几个方面进行控制,从而提高螺旋埋弧焊管3PE防腐质量,降低材料消耗。

参考文献:

- [1] 赵君,孙万磊,邵磊,等.3PE防腐层管道外腐蚀控制薄弱点分析[J].油气储运,2016,35(11):1203-1205.
- [2] 冯晓东,翟棚,王欢,等.钢管3PE防腐施工中聚乙烯原材料的消耗控制[J].防腐保温,2011,30(4):303-304.
- [3] 姚红艳,刘会才,王中必.螺旋焊管钢管3PE防腐层厚度分析及控制[J].天然气工业,2005,25(12):128-130.
- [4] 侯昭勇,王刚,朱旭.影响钢管3PE防腐层厚度均匀性的原因及控制方法[J].管道技术与设备,2018(3):60-62.
- [5] 王海力,雷小兵.不良外焊缝形状对钢管3PE防腐的影响及控制措施[J].焊管,2020,43(7):59-62.
- [6] 毕宗岳.螺旋埋弧焊管3PE防腐涂层厚度不均的原因分析及处理方法[J].腐蚀与防护,2006,27(1):38-40.
- [7] 章洋,国苏新.3PE防腐管道涂敷工艺参数研究与计算[J].金属腐蚀控制,2014,28(5):24-26.
- [8] 巩忠旺,陈红昌,张晓慧,等.钢管3PE防腐层外观缺陷分析及控制[J].焊管,2018,41(11):64-68.
- [9] 屈磊,臧彤,王涵.钢管3PE防腐生产线水冷过程有限元分析[J].焊管,2014,37(2):53-55.
- [10] 李健民,周小霞,李喜军,等.螺旋埋弧焊管三层PE防腐涂层厚度不均匀的原因分析及处理方法[J].石油工程建设,2010,36(10):35-38.

作者简介:李宝平(1988—),男,工程师,主要从事钢管防腐生产工艺技术研究及聚烯烃类高分子材料在管材领域的应用研究工作。

收稿日期:2022-07-22

修改返回日期:2023-01-05

编辑:任永峰