

# 钢制管道三层聚乙烯结构的防腐质量控制策略

李 梁

中油宝世顺(秦皇岛)钢管有限公司 河北 秦皇岛 066200

**摘要:** 钢制管道三层聚乙烯结构防腐质量控制策略是确保管道长期安全运行的关键。该策略涵盖原材料精选、施工过程严格管理以及质量检测与监控强化等多个方面。通过确保钢管及防腐层原材料的优质、严格控制施工过程中的工艺参数和操作规范、以及采用先进的质量检测技术和设备,本文提出的策略旨在提升三层聚乙烯防腐层的耐久性和抗腐蚀能力,为钢制管道提供可靠的防腐保护,保障其长期稳定运行。

**关键词:** 钢制管道; 三层聚乙烯; 防腐; 质量控制

引言: 在现代化工业与能源传输体系中, 钢制管道扮演着举足轻重的角色。然而面对复杂多变的自然环境与介质条件, 管道的腐蚀问题日益凸显, 成为影响管道安全与使用寿命的关键因素。三层聚乙烯结构作为一种高效、可靠的防腐技术, 广泛应用于钢制管道的防护中。本文旨在探讨钢制管道三层聚乙烯结构的防腐质量控制策略, 通过科学的管理与先进的技术手段, 确保防腐层的性能稳定与持久, 为管道的安全运行提供坚实保障。

## 1 钢制管道三层聚乙烯结构防腐原理

### 1.1 三层聚乙烯结构组成及特点

三层聚乙烯(3PE)防腐层由以下三层组成: 底层: 底层为环氧粉末(FBE)涂层, 其厚度通常大于100微米。这一层直接与钢管表面接触, 利用其与钢管表面很强的粘结力, 为钢管提供初步的保护。环氧粉末涂料具有优良的附着力和防腐性能, 能有效防止钢管受到化学或电化学腐蚀。中层: 中层为胶粘剂层, 其厚度在170~250微米之间。这一层的主要作用是增强环氧粉末涂层与高密度聚乙烯防腐涂层的粘结力, 使两者紧密结合, 形成一个整体防腐层。胶粘剂层不仅提高了防腐层的整体强度, 还确保了各层之间的紧密粘接, 避免了防腐层在长期使用过程中的脱落或开裂。面层: 面层为高密度聚乙烯(HDPE)防腐涂层, 这是防腐层的最外层。高密度聚乙烯涂层具有优良的不易腐蚀性、抗冲击性能和机械强度。它能有效抵抗各种腐蚀性介质的侵蚀, 如土壤中的水分、盐分、酸碱物质以及微生物等, 高密度聚乙烯涂层还具有优良的绝缘性和抗植物根茎穿透性, 进一步提高了防腐层的整体性能。

### 1.2 防腐原理分析

三层聚乙烯防腐层的防腐原理主要体现在几个方面: (1) 阻隔作用: 三层聚乙烯防腐层通过形成一层致密的防腐层, 将钢管与腐蚀性介质(如土壤、水分、酸

碱物质等)完全隔离, 从而避免钢管受到化学或电化学腐蚀。(2) 附着作用: 底层环氧粉末涂层与钢管表面具有很强的粘结力, 确保防腐层与钢管之间的紧密结合。这种紧密的结合不仅提高防腐层的稳定性, 还防止防腐层在长期使用过程中的脱落或开裂<sup>[1]</sup>。(3) 机械保护作用: 高密度聚乙烯涂层具有优良的机械强度和抗冲击性能, 能够抵抗外部机械损伤(如挖掘、碰撞等)对钢管的影响, 进一步延长钢管的使用寿命。(4) 化学稳定性: 三层聚乙烯防腐层中的各层材料均具有良好的化学稳定性, 能够抵抗各种腐蚀性介质的侵蚀, 从而确保防腐层的长期有效性。

## 2 影响钢制管道三层聚乙烯防腐质量的因素

### 2.1 原材料质量

影响钢制管道三层聚乙烯防腐质量的第一个关键因素是原材料质量。这包括钢管材质和防腐材料两个方面。钢管材质应具有良好的机械性能和低的杂质含量, 以确保防腐层的附着力和防腐效果。如果钢管材质不符合要求, 可能会出现裂纹、夹渣、气孔等缺陷, 影响防腐层的附着力。防腐材料方面, 3PE防腐层由环氧粉末、胶粘剂和聚乙烯组成, 每种材料的质量都对防腐钢管的质量至关重要。环氧粉末应具有良好的附着力、耐腐蚀性和抗阴极剥离性能; 胶粘剂应具有良好的粘结强度和耐老化性能; 聚乙烯应具有良好的耐冲击性、耐腐蚀性和耐低温性能。如果防腐材料质量不合格, 可能会导致防腐层出现起泡、脱落、开裂等问题, 从而影响防腐钢管的使用寿命。

### 2.2 施工工艺与技术

施工工艺与技术是影响钢制管道三层聚乙烯防腐质量的另一个关键因素。这包括钢管表面处理、防腐层涂敷、固化和冷却等关键环节。钢管表面处理是3PE防腐钢管生产的关键环节之一, 表面处理的质量直接影响防腐

层的附着力和防腐效果。钢管表面应经过除锈、除油、清洗等步骤,确保表面清洁、干燥、无油污、无铁锈、无氧化皮等杂质。防腐层涂敷是3PE防腐钢管生产的核心环节,涂敷工艺的控制直接影响防腐层的质量和厚度均匀性。涂敷过程应包括环氧粉末喷涂、胶粘剂挤出、聚乙烯缠绕等步骤,确保防腐层的三层结构紧密结合、厚度均匀。固化和冷却过程也是3PE防腐钢管生产的重要环节,固化温度和时间的控制直接影响防腐层的性能和质量。如果固化温度过高或时间过长,可能会导致防腐层过固化,影响其性能。

### 2.3 质量检测与监控

质量检测与监控是确保钢制管道三层聚乙烯防腐质量的重要手段。在3PE防腐钢管的生产过程中,应对原材料、半成品和成品进行严格的质量检测与监控。原材料方面,应对钢管和防腐材料进行检验和复检,确保其质量符合规定要求。半成品方面,应对钢管表面处理后的表面质量、防腐层涂敷过程中的涂层厚度、固化温度和时间等参数进行监控和记录<sup>[2]</sup>。成品方面,应对防腐钢管进行外观检查、电火花检漏、涂层性能测试等质量检测,确保其质量符合相关标准和规定。还应建立完善的质量管理体系和质量控制流程,对生产过程中各个环节进行严格的监控和管理,确保3PE防腐钢管的质量稳定和可靠。

## 3 三层聚乙烯防腐层的施工流程

### 3.1 钢管预处理

在三层聚乙烯防腐层的施工流程中,钢管预处理是一个至关重要的起始步骤,它直接关系到后续防腐层的质量和性能,进行严格的外观检查,这一步骤至关重要,需要确保钢管表面无任何机械损伤、重皮、裂缝等缺陷,因为这些缺陷可能会成为防腐层中的薄弱环节,影响整体的防腐效果。还要对钢管的长度与尺寸进行精确测量,确保其符合相关标准规定,这是为了保证防腐层在钢管上的均匀性和完整性,避免在后续使用过程中出现防腐层脱落或开裂等问题。接下来,进行表面处理,这是提高防腐层与钢管粘结力的关键步骤。采用抛丸除锈工艺,通过高速旋转的抛丸器将钢管表面的氧化皮、铁锈、油污等杂质彻底清除,达到Sa2.5级的清洁度要求,即表面无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物,仅保留点状或条纹状的轻微色斑。还要确保锚纹深度达到50~75 μm,以增加防腐层与钢管之间的机械咬合力,提高防腐层的附着力和耐久性。

### 3.2 防腐层涂敷

防腐层涂敷是三层聚乙烯防腐层施工的核心环节,

它直接关系到防腐层的厚度、均匀性和完整性。首先,进行中频预热,通过加热钢管表面,驱除其表面的潮气和水分,预热温度控制在40℃~60℃之间,这是为了保证后续涂敷工艺的顺利进行,同时也有利于环氧粉末的固化和胶粘剂的粘结。接着,进行环氧粉末涂敷,将环氧粉末均匀涂敷在钢管表面,并控制涂敷温度,确保环氧粉末能够充分固化,形成一层坚固、耐腐蚀的底层。环氧粉末的涂敷要均匀、连续,避免出现漏涂或涂层过厚的情况。在环氧粉末胶化过程中进行胶粘剂涂敷,胶粘剂要均匀涂敷在环氧粉末表面,并控制涂敷速度和厚度,确保胶粘剂能够与环氧粉末紧密结合,形成牢固的中间层。胶粘剂的涂敷要均匀、连续,避免出现气泡或夹杂物等缺陷。最后,采用侧向缠绕工艺进行聚乙烯层包覆,聚乙烯带要紧密贴合在钢管表面,确保搭接部分密实无压伤,形成一层完整、光滑的保护层。聚乙烯层的包覆要均匀、连续,避免出现皱褶或搭接不良等问题。

### 3.3 冷却与检验

冷却与检验是三层聚乙烯防腐层施工的最后一个环节,也是确保防腐层质量和性能的关键步骤。第一、进行水冷却,将钢管温度降低至不高于60℃,这是为了保证环氧粉末能够完全固化,形成稳定的防腐层。冷却过程中要注意控制水流速度和温度,避免对防腐层造成冲击或损伤。第二、进行防腐层外观检查,观察防腐层表面是否平滑、无暗泡、无麻点等缺陷,这是为了确保防腐层的完整性和美观性。同时还要检查防腐层的厚度和均匀性,确保符合设计要求<sup>[3]</sup>。第三、使用电火花检漏仪进行漏点检测,检漏电压为25kV。电火花检漏仪通过检测防腐层表面的放电现象,可以判断其是否存在针孔等缺陷。检测过程中要注意控制检漏电压和检测速度,避免对防腐层造成损伤或漏检。

## 4 钢制管道三层聚乙烯防腐质量控制策略

### 4.1 原材料质量控制

在钢制管道三层聚乙烯防腐层的施工中,原材料的质量控制是确保防腐层质量和性能的首要环节。原材料的质量直接关系到防腐层的耐久性、附着力和抗腐蚀能力。对于钢管的选择,应确保其材质符合相关标准,如API 5L等,并具有良好的机械性能和低的杂质含量。钢管表面应光滑、无裂纹、无锈蚀,且尺寸公差应在允许范围内。在采购钢管时,应对供应商进行严格的资质审核,确保其生产能力和质量管理体系符合要求。对于三层聚乙烯防腐层的原材料,包括环氧粉末、胶粘剂和聚乙烯,应严格控制其质量。环氧粉末应具有良好的附着力、耐腐蚀性和抗阴极剥离性能,胶粘剂应具有良好

的粘结强度和耐老化性能,聚乙烯应具有良好的耐冲击性、耐腐蚀性和耐低温性能。在采购这些原材料时,应对供应商进行严格的评估,包括对其生产工艺、质量管理体系和检测手段的考察,原材料在使用前应进行检验和复检,确保其质量符合相关标准的要求。对于原材料的储存和运输,也应有严格的管理措施,储存环境应干燥、通风、无腐蚀性气体,且温度应在规定范围内。运输过程中应避免阳光直射、雨淋和撞击,以确保原材料的质量和性能不受影响。

#### 4.2 施工过程质量控制

施工过程的质量控制是确保三层聚乙烯防腐层质量和性能的关键环节。在施工过程中,应严格控制各个环节的工艺参数和操作规范,以确保防腐层的均匀性、附着力和耐久性。在钢管预处理阶段,应确保钢管表面的清洁度和粗糙度符合要求。抛丸除锈应达到Sa2.5级或更高,锚纹深度应在规定范围内,应严格控制预热温度和预热时间,以确保钢管表面的温度均匀且符合涂敷要求。在防腐层涂敷阶段,应严格控制环氧粉末、胶粘剂和聚乙烯的涂敷温度和速度,以确保涂层的均匀性和厚度<sup>[4]</sup>。涂敷过程中应避免出现漏涂、涂层过厚或过薄等问题,应确保胶粘剂与环氧粉末和聚乙烯之间的粘结强度符合要求,避免出现分层或脱落等问题。在聚乙烯层包覆阶段,应采用侧向缠绕或螺旋缠绕等工艺,确保聚乙烯带与钢管表面紧密贴合,且搭接部分密实无压伤,应严格控制聚乙烯带的厚度和宽度,以确保防腐层的整体性能和外观质量。在施工过程中还应加强现场管理,确保施工人员具备相应的技能和资质,并严格按照操作规范进行施工,应建立质量追溯体系,对每道工序进行记录和监控,以便在出现问题时能够及时追溯和纠正。

#### 4.3 质量检测与监控强化

质量检测与监控是确保三层聚乙烯防腐层质量和性能的重要手段。通过严格的质量检测和监控,可以及时发现和纠正施工过程中的问题,确保防腐层的质量和性能符合设计要求。首先,应建立完善的质量检测体系,包括原材料检验、半成品检验和成品检验等环节。原材料检验应包括对钢管、环氧粉末、胶粘剂和聚乙烯等原

材料的质量进行检测和复检;半成品检验应包括对钢管预处理后的表面质量、防腐层涂敷过程中的涂层厚度和均匀性进行检测;成品检验应包括对防腐钢管的外观质量、涂层厚度、附着力和耐腐蚀性进行检测。其次,应采用先进的质量检测技术和设备,如电火花检漏仪、涂层测厚仪、附着力测试仪等,以确保检测结果的准确性和可靠性,应定期对检测设备进行维护和校准,以确保其性能和精度符合要求。在质量检测过程中,还应加强监控和记录。应对每道工序进行实时监控和记录,包括工艺参数、操作规范和质量检测结果等。应建立质量数据库,对检测数据进行统计和分析,以便及时发现和纠正问题。另外,还应加强质量管理的培训和宣传,提高施工人员和管理人员的质量意识和技能水平。通过培训和教育,使施工人员和管理人员了解三层聚乙烯防腐层的施工要求和质量控制要点,掌握相应的技能和知识,以确保施工质量和防腐层性能符合要求。

#### 结束语

钢制管道三层聚乙烯结构防腐质量控制策略的实施对于保障管道的长期安全运行具有重要意义。通过全面加强原材料质量控制、施工过程管理和质量检测与监控,可以有效提升防腐层的质量和性能。未来,随着技术的不断进步和管理的不断完善,钢制管道三层聚乙烯结构防腐质量控制策略将更加科学、系统和高效,为管道行业的可持续发展提供有力支持。

#### 参考文献

- [1]马云娜.钢制管道三层聚乙烯结构的防腐质量控制策略[J].全面腐蚀控制,2021,35(9):67-68.DOI:10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2021.09.067.02.
- [2]付伟,谭哲,郑安升,等.气体极化技术在三层聚乙烯管道补口中的应用[J].涂料工业.2019,(12).DOI:10.12020/j.issn.0253-4312.2019.12.68.
- [3]宋海涛.三层PE防腐管道补口质量缺陷及其解决办法[J].中国战略新兴产业(理论版).2019,(15).0183-0184.
- [4]林东,岑康,蒲昌兴,等.在役燃气聚乙烯管材老化性能评价指标研究[J].煤气与热力,2019,39(5):A28-A31,B43.