

# Φ22 mm钢质管道FBE涂层涂敷技术研究

陈泊含<sup>1</sup>, 周洪涛<sup>2</sup>, 陈芳<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>邢台学院, 河北 邢台

<sup>2</sup>河北华北石油工程建设有限公司, 河北 任丘

Email: \*gj-kj-cf@cnpc.com.cn

收稿日期: 2021年5月24日; 录用日期: 2021年6月21日; 发布日期: 2021年6月28日

---

## 摘要

本文依托土库曼斯坦工程详细介绍了小口径管道FBE涂层涂敷连续喷涂方式实现的技术控制要点: FBE涂料的选用、涂装设备的改造、喷涂工艺的控制要素等; 并对产品包装、吊装拉运情况作了简单的介绍。最终, 使此工艺技术得以实现, 为同类工程施工提供借鉴。

## 关键词

直径22 mm钢管, FBE涂层, 工艺参数, FBE涂料, 涂装设备

---

---

\*通信作者。

# The Research of 22 mm Diameter Steel Pipe FBE Coating Spraying Technology

Bohan Chen<sup>1</sup>, Hongtao Zhou<sup>2</sup>, Fang Chen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Xingtai College, Xingtai Hebei

<sup>2</sup>Hebeil Huabei Petroleum Engineering Co. Ltd., Renqiu Hebei

Email: \*gj-kj-cf@cnpc.com.cn

Received: May 24<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jun. 21<sup>st</sup>, 2021; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

This article is based on Turkmenistan engineering, introducing the technical control-points of FBE coating continuous spraying method for small diameter pipeline in detail: FBE coatings selection, equipment upgrading, control factors of spraying process, etc. The product packaging, hoisting and hauling are briefly introduced. Finally, this technology can be realized, providing reference for similar engineering construction.

## Keywords

22 mm Steel Pipe, FBE Coating, Technique Parameters, FBE Paint, Spraying Equipment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

油气输送管道能否长期、安全运营至关重要，腐蚀是影响埋地管道使用寿命长短和安全性的主要因素。因此，这些埋地管道都必须有一套良好的外防护涂层保护。熔结环氧(FBE)防腐涂层是国内外油气输送管道应用较多的管道防腐涂层之一，这种防腐涂层具有优异的附着力、柔韧性以及卓越的耐腐蚀性能。FBE 涂层与 3PE 涂层相比，尤其具有价格优势，在一些开采周期短，拟降低建设成本的在建油气田建设项目中(有不少这种情况的油气田建设项目)，更是首选此种防腐结构作为油气输送管道防腐涂层。

熔结环氧粉末防腐涂层，1961 年由美国开发成功并应用于管道防腐工程，之后在许多国家得到进一步的开发和应用[1]。由于 FBE 具有优良的机械性能、抗腐蚀性能和耐久性能，所以被广泛应用于陆上、水下、海底等管线的防腐涂装，为处于各种环境中的管线长期低维护运行提供了可靠的保证。40 多年来，经过不断的发展完善，这项技术已经走向成熟。迄今为止，全球已有 20 余万公里以上的管道使用了熔结环氧粉末，铺设于世界各地——从陆地到海洋，从城市到乡村，从赤道到极地，从平原到山地、河流、湖泊，从西伯利亚草原到非洲沙漠，从美洲大陆到中东海湾，都有熔结环氧粉末的应用实例。熔结环氧粉末涂层能够在各种极端的气候条件和苛刻的机械应力作用、化学介质侵蚀的环境中得到广泛应用，足以证明熔结环氧粉末涂层是一种可靠的保护涂层，经得起实践和时间的考验。

我国 FBE 技术起步较晚, 上世纪 80 年代才开始引进国外先进的环氧粉末及工艺、设备。天津瑞远粉末涂料有限公司在国内率先推出了重防腐系列环氧粉末涂料, 打破国外产品的垄断, 在国家许多重点工程上得到应用, 取得了明显的经济效益和社会效益, 特别是在一些国家重点工程中, 瑞远公司占据了重要地位, 产品应用现场反应良好, 不仅保证了工程顺利进行, 而且为国家节约了大量工程投资。

经过十几年的发展, 管道熔结环氧(FBE)涂层喷涂工艺已比较成熟, 不乏成功应用的例子。但是, 目前此种喷涂工艺施工的管径范围还不能包含 DN60 以下管道。应用中存在的主要问题是涂层厚度薄厚不均不能满足标准要求、生产速度低下不能满足工业管道建设需求等。所以, 小口径管道通常会选用其他的防腐设计, 例如聚乙烯或聚丙烯胶粘带、溶剂型或无溶剂型涂料防腐等, 而这些防腐结构的防腐性能远远逊色于熔结环氧(FBE)涂层, 造成埋地管道使用寿命缩短, 浪费能源。这样, 小口径管道防腐问题一直是防腐设计的难点。2009 年 5 月, 我们承揽到土库曼斯坦工程直径 22 mm 钢质管道 FBE 涂层防腐施工任务, 此工程是萨曼杰佩井口设施及单井管线的缓释剂注入管线, 管线全长 114 公里, 与主管线同沟敷设。我们经过多方面的努力, 实现了直径 22 mm 钢质管道 FBE 涂层防腐施工, 并做到了与其同沟敷设的大口径 FBE 涂层管道同等质量, 同等速度施工。

本文以土库曼斯坦工程直径 22 mm 钢质管道 FBE 涂层施工为例, 详细介绍了小口径管道 FBE 涂层涂敷工艺及技术控制要点, 现场技术人员通过多次试验, 最后确定了选用的 FBE 涂料型号、改进了涂装设备、优化了喷涂工艺等, 还对防腐管道的产品包装、吊装拉运情况作了简单的介绍, 最终, 使此工艺技术得以实现。

## 2. 小口径管道 FBE 涂层涂敷技术研究

### 2.1. 环氧粉末(FBE)涂料

环氧粉末(FBE)涂料由环氧树脂基料、固化剂、添加剂和颜填料组成, 其主要成份是环氧树脂。涂层的性能指标及外观质量, 可通过选用不同的环氧树脂种类及添加剂来改变, 因此, 环氧粉末涂料是小口径管道涂层涂敷质量的关键。由于小口径钢管的钢管壁较薄, 通常在 4 mm 以下, 这样造成预热后的钢管热量散失较快, 没有足够的温度保证喷涂粉末充分的熔结、流平和固化过程, 还有可能形成涂层严重流挂、不均匀、不完整; 漏涂、针孔等质量问题。并且, 涂敷温度低也影响涂层的粘结力此项技术指标。为解决这个问题, 在工程生产试验阶段, 我们选用了 6 种粉末进行喷涂试验: 3 种低温固化环氧粉末, 喷涂温度确定为 185℃~195℃; 3 种高温固化环氧粉末, 喷涂温度确定为 215℃~225℃, 试验结果见表 1。

Table 1. Test results

表 1. 试验结果

环氧粉末序号	胶化时间 (s)	固化时间 (min)	外观	24 h 耐阴极剥离 (mm)	附着力 (级)	抗 3°弯曲	抗 1.5 冲击
1	120	1.1	流挂严重	/	/	/	/
2	100	1.0	轻微流挂	/	/	/	/
3	90	0.9	合格	5	4	无裂纹	无漏点
4	120	1.2	轻微流挂	/	/	/	/
5	100	1.1	合格	3.0	1	无裂纹	无漏点
6	90	1.0	合格	2.0	2	无裂纹	无漏点

注: ① 1#2#3#环氧粉末为低温固化粉末, 4#5#6#为高温固化粉末。② 喷涂厚度控制在 450 ± 50 μm。

从以上试验结果可以看出, 3 种低温固化粉末中, 1#、2#低温固化粉喷涂厚度达到 450 μm 后, 出现了不同程度的流挂现象, 不能在工程中应用; 3#低温固化粉的附着力指标不合格。选用的 3 种高温固

化粉末中,只有 4#粉末达到要求防腐厚度后出现了轻微流挂,而调整了固化时间的 5#、6#高温固化粉末的性能指标均满足 SY/T0315-2005 规定的环氧粉末涂层性能指标要求。从上述分析出可以看出,选用的 5#、6#粉末可以满足小口径管道 FBE 涂层涂敷要求。

## 2.2. 涂装设备

熔结环氧粉末(FBE)涂层涂敷施工的主要设备有抛丸除锈机、中频加热装置、粉末静电喷涂系统、传动线等。小口径管道 FBE 涂层涂敷生产在现有的作业线上即可完成,根据实际需要,对一些设备进行了改进。

根据规范要求,涂装前应对焊缝表面进行处理,在喷砂机无法触及位置允许使用钢丝刷打磨。喷砂除锈后,钢材表面应达到近白色金属表面,即 Sa 2.5 级,表面粗糙度在 38 μm 至 100 μm 之间[2]。

### 2.2.1. 除锈设备

一般涂敷厂家希望除锈设备作业管径能包含较宽范围,这样,最好选用抛头在底部的除锈设备。除锈作业线的中心线是由下向上移动的,如果抛头安装在底部,小口径管道靠近抛头部位,可保证小口径钢管的除锈效果。

### 2.2.2. 中频加热设备

采用中频加热装置对小口径钢管进行加热时,若中频线圈选择不当,则使管体表面温度不能瞬间达到要求温度,尤其是对于小口径管道来讲,这种现象更为突出。产生这种现象的主要原因可用中频加热的原理来解释:钢管处在交变磁场中形成涡流能使导体产生热量,钢管表面的温度与中频线圈的尺寸、长度、疏密,以及钢管壁厚都有一定关系。选用的中频加热线圈的直径应与其施工的管径相匹配,直径过大会造成能源浪费。线圈的长度应为 1.5 m 左右(大口径管道的中频线圈长度一般为 0.5 m~0.7 m),因钢管加热有个热反应过程,线圈过短的结果是:钢管瞬间通过中频圈后,到达粉末喷涂位置时,钢管表面的温度还不能达到设定温度。因此试验中,采取了延长中频线圈长度的措施,这样就解决了钢管检测温度达不到涂敷要求温度的问题。钢管温度检测见图 1、图 2。



Figure 1. Temperature inspection before spraying  
图 1. 喷涂前温度检测



**Figure 2.** Temperature inspection after spraying  
**图 2.** 喷涂后温度检测

### 2.2.3. 喷涂设备

喷涂设备是决定涂层均匀与否的关键设备，它的关键考核指标是放电特性和出粉是否均匀。国内有些静电喷涂设备厂家的设备标称工作电压比较高，可实际输出电压无法达到充分的电晕放电状态，粉末的静电沉积率不能保证。另外，喷涂设备的喷嘴形状设计也很重要，应保证粉末喷涂均匀，扇形完整。因小口径管道 FBE 涂层涂敷厚度不易保证，所以，更应该选用一些信誉良好的生产厂家生产的设备。喷涂设备见图 3。



**Figure 3.** Spraying equipment  
**图 3.** 喷涂设备

### 2.2.4. 传动设备

FBE 涂层喷射式涂敷工艺, 对于 DN 60 以上管道效果很好, 但涂敷小口径管道时, 因管道刚度小, 易弯曲、抖动, 很难保证前行的钢管始终处在喷枪喷射范围中心; 尤其是在涂层涂敷区段, 由于钢管悬空位置长, 一般在 5 米左右, 会产生较大的弯曲弧度, 这样就造成钢管涂层涂敷厚度不能满足标准要求的偏差范围。采取的措施是在中频加热线圈前面, 安装一组长度为 1.5 m~2.5 m 支撑轮组, 这套支撑轮组可以通过调整调节丝杠调节压轮压紧高度; 传动轮的设计形状应根据钢管直径加工, 确保支撑轮组有足够的力量保证钢管在涂层涂敷区域处在喷射中心, 不产生弯曲弧度。

## 3. 土库曼工程直径 22 mm 钢质管道 FBE 涂层涂敷工艺参数及涂层性能指标

完成小口径管道 FBE 涂层涂敷技术研究后, 开始进行土库曼工程直径 22 mm 管道 FBE 涂层涂敷施工。FBE 涂层涂敷工艺中, 钢管表面预处理质量、涂敷温度、固化时间、行进速度等参数都是确保涂层质量的关键问题, 其中涂敷温度的控制最为关键。以下是该工程涂层涂敷施工时, 所运行的工艺参数(见表 2)以及此工艺参数下生产管道的涂层性能指标数据(见表 3)。

Table 2. Technological parameters

表 2. 工艺参数

序号	钢管行进速度 (m/min)	涂敷温度 (°C)	喷涂压力 (MPa)	喷涂电压 (KV)	喷枪支数 (支)	固化时间 (min)	冷却时间 (min)	施工环境温度 (°C)
1	3.5	215~220	0.45~0.55	35	6	0.7	2.5	30-33
2	4.0	215~220	0.45~0.55	40	6	0.7	2.2	31-35
3	4.5	220~225	0.45~0.55	45	6	0.7	2.0	32-36

注: 设计执行标准 SY/T0315-2005, 防腐要求厚度  $450 \pm 50 \mu\text{m}$ 。

Table 3. FBE coating performance index

表 3. FBE 涂层性能指标

序号	阴极剥离 (65°C, 24 h, -3.5 V), mm	抗 2.5°弯曲 (-30°C)	抗 1.5 J 冲击 (-30°C)	附着力 (75°C, 24 h)级	断面孔隙率 级	粘结面孔隙率 级
1	4.3	无裂纹	无漏点	1	2	3
2	2.0	无裂纹	无漏点	1	2	2
3	2.2	无裂纹	无漏点	1	2	2

表 3 中数据是在三种不同运行参数下取得的涂层管件, 送中国石油天然气集团公司防腐保温产品质量监督检验中心检测所得结果, 从检测结果可以看出三种工艺参数下生产的 FBE 涂层指标均满足 SY/T0315-2005 标准规定的环氧粉末涂层性能要求[3]。

## 4. 小口径管道 FBE 涂层涂敷技术控制要点

### 4.1. 表面预处理

1) 管体清洁。钢管进行除锈作业线前, 应彻底清除钢管表面的油污。这一点很重要, 避免不清洁的钢管污染传动滚轮, 造成其他钢管外表面污染。这里还特别指出, 钢管表面除了油污之外, 一些管体外表面的标识也应使用相应的溶剂擦拭掉。因有些钢管厂家会使用一些低温涂料作为标识涂料, 而我们 FBE 涂层涂敷温度一般为 210°C 以上, 因此, 喷涂在管体表面的涂料会在涂层涂敷过程中气化, 在涂层中产生针孔, 使涂层质量不能保证。

2) 预热温度。钢管抛丸除锈前, 应预热钢管, 预热温度控制在  $100^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 。温度预热有两方面的原因: 一是驱除管体潮气, 利于除锈; 二是使清除管体油污过程中残留在钢管表面的溶剂挥发掉。

3) 清洁度。喷(抛)射除锈后, 应将钢管内、外表面残留的钢丸以及外表面的锈粉微尘清除干净。若粉末喷涂在表面不洁净的钢管表面, 其附着力不能保证。保证钢管表面的清洁度需做好两方面的工作, 一是保证作业空间的清洁, 二是保证除锈机除尘系统的完好, 并做到及时清理除尘系统。

4) 锚纹深度。它是预处理质量的一项关键指标, 控制的范围宜为  $50\sim 100\ \mu\text{m}$ 。锚纹深度通过调节钢砂、钢丝段、钢丸的配比以及钢丸的粒径来调节, 一般配合比为 1:2:3, 钢丸粒径应小于  $1.2\ \text{mm}$ 。

#### 4.2. 涂层涂敷温度

与大口径管道相比, 小口径管道涂层涂敷温度的控制显得更为重要。因小口径管道的壁厚较薄, 加热后其散热速度也较快, 而粉末涂料需要在较高温度下流平、固化, 这样才能均匀、牢固的附着在钢管表面, 形成良好的防腐层。若管体涂敷温度低于要求温度, 将造成涂层附着力不能满足要求等严重质量问题。所以, 小口径管道涂敷时, 中频加热温度一定要控制在  $215^{\circ}\text{C}\sim 230^{\circ}\text{C}$  之间。

#### 4.3. 喷枪排布

粉末喷枪合理排布, 可以有效的保证涂层厚度均匀。涂敷时, 将 12 把喷枪分成两组, 每组 6 把: 一组喷枪喷涂, 另一组备用。因为在实际生产中, 喷枪经常会出现出粉不均匀, 而影响涂层厚度的现象。每组喷枪中, 每 3 把喷枪平均分布在同一圆周平面内, 并形成一个喷涂截面, 该截面与待喷涂的钢管呈正切位置; 另 3 把喷枪与前一组喷枪相距  $50\ \text{mm}\sim 100\ \text{mm}$ , 再形成一个截面, 该截面同样与钢管呈正切位置; 而且, 从与截面垂直的位置看, 这两组喷枪正好把  $360$  度圆周分成了 6 等分。这样排布喷枪, 可以保证涂层均匀, 偏差范围达到  $\pm 50\ \mu\text{m}$ , 又可以保证喷涂到  $450\ \mu\text{m}$  厚度, 而不产生流挂。

#### 4.4. 涂层冷却

若采取通常采用的冷却工艺, 在 FBE 涂层涂敷完毕,  $3\sim 4\ \text{m}$  处(一般为喷粉室后第一个拖轮处)就开始水冷降温的冷却方式, 不利于涂层涂敷生产。因这么近的距离就开始冷却, 势必会带走管体的大量热量, 会加快小口径管道热量散失速度, 不能保证粉末涂层充分的流平、固化。解决的办法是传动拖轮上缠上耐高温硅胶带, 采取自然冷却降温方式冷却 15 分钟后, 再用水冷降温, 这样, 可以长时间的保持管体温度, 保证涂层质量。冷却工艺见图 4。



Figure 4. Cooling process

图 4. 冷却工艺

#### 4.5. 产品包装、吊装运输

和涂敷一样，产品的包装和运输也非常重要。因多数防腐钢管会经过多次倒运才能到达施工现场。为保证钢管的涂层不被破损，我们采用了合理有效的包装方式：就是单根防护、整体吊装运输。土库曼工程就采取了如下包装方案，每根 8 米长的钢管套上 4 个胶圈，防止运输时钢管间涂层摩擦损伤；每捆钢管再打上四圈钢带牢固固定，每捆钢管的重量一般控制在 2.5 吨左右。与涂层接触的钢带部位再垫上多层苫布加以防护，钢带外面则捆绑草绳，避免堆放时损伤其它涂层；然后再在整捆防腐管外面套上防晒布，以防止运输过程中，涂层受到雨水和紫外线的侵蚀；最后在钢管中间部位安装两根吊带，吊带的间距为 1 m，每次吊装时直接吊装即可。实践证明这个方案是非常有效的：历经两个月运抵土库曼斯坦施工现场的防腐管，涂层质量完好。成品见图 5；施工现场见图 6。



Figure 5. Finished product

图 5. 成品



Figure 6. Construction site

图 6. 施工现场



## 5. 结束语

经过研究,我们开发出了采用作业线连续喷涂方式,涂敷小口径管道 FBE 涂层的工艺技术,顺利完成了土库曼斯坦工程直径 22 mm 钢质管道 FBE 涂层施工,产品质量完全达到 SY/T0315-2005 标准要求。

## 参考文献

- [1] 张其滨,张丽萍,赫连建峰,刘金霞.管道外防腐涂层技术的发展与应用现状[J].防腐保温技术,2005,13(3):34-39,46.
- [2] 宋艳媛,傅建华,等.GB/T 8923.1-2011《涂敷涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》[M].北京:中国标准出版社,2012.
- [3] 张瑛,许传新,等.SY/T0315-2013《钢制管道熔结环氧粉末外涂层技术规范》[S].北京:石油工业出版社,2014.