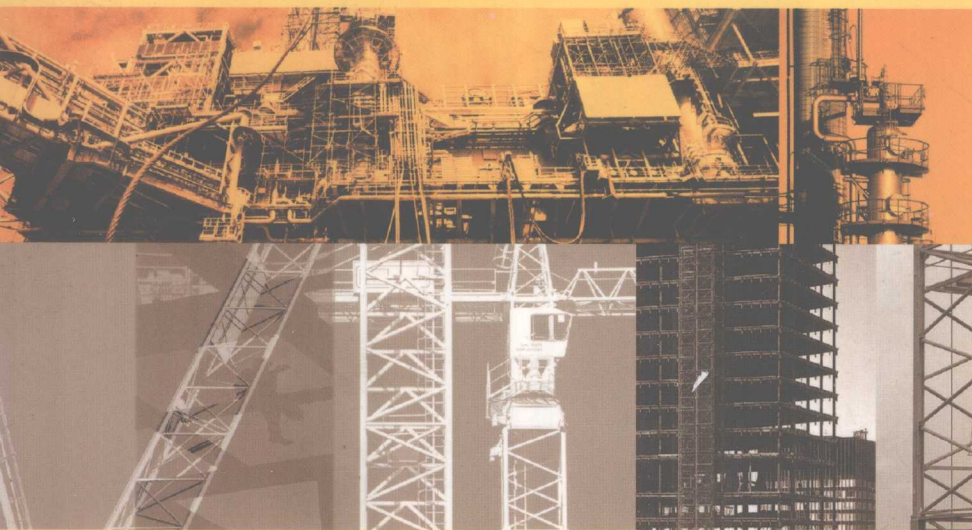


# 建筑防腐蚀工程施工及验收规范

## 实施手册

◎ 主编 黄士萍 ◎



BUILD

三秦出版社

# 建筑防腐蚀工程 施工及验收规范实施手册

主 编 黄士萍

第  
四  
卷

三秦出版社

## 第二章 地下管道防腐蚀工程施工管理

### 第一节 地下管道常用防腐层的种类、性能及施工要求

固态涂料因为具有施工自动化程度高,防腐质量易于控制,对劳动卫生和环境影响小等等特点,在地下设施的防腐方面应用广泛,使用量极大。固态涂料的涂敷一般需要使用专门的设备,对中小型构件的涂敷常常要在涂敷箱或涂漆间内进行;管道的涂敷一般是在涂敷流水作业线上进行;大型结构的涂敷就很困难,只能采用特定的材料、采取特殊的作业方式如火焰喷涂等。由于笔者长期从事管道防腐研究,加之管道在地下设施中占据的比重很大,而其他形状的构件可采用和管道防腐层同样的防腐层材料、参考其涂敷方法进行防腐,故本章的重点是介绍管道外防腐的几大类固态涂料,同时介绍最常用的液态涂料。

#### 一、石油沥青防腐层

石油沥青是原油分馏出汽油、煤油、柴油及润滑油后得到的副产物,主要物质为脂肪族直链烷烃。矿物油、树脂和沥青质是石油沥青的三大组分,油分和树脂赋予沥青流动性和塑性,沥青质决定沥青的坚硬程度和脆性。适合作地下防腐层材料的石油沥青必须具有一定的硬度和塑性,评价防腐石油沥青质量的指标主要是软化点与针入度,软化点的高低反应沥青的坚硬程度,决定防腐层的最高使用温度。提高软化点的方法是在高温下向沥青吹入空气,使沥青氧化聚合并除去轻组分。石油沥青防腐层一般使用的是 10 号建筑沥青和防腐沥青。

石油沥青防腐层有较好的电绝缘性、耐水性、抗化学药品性和防腐性,但吸水率较高,黏结力低,易受机械力破坏,土壤中某些细菌嗜食沥青,植物根可以穿透沥青层,此外在有干湿度变化的黏性土中易受土壤应力破坏,在温度和重力作用下,涂层可能产生蠕变或冷流。石油沥青防腐层主要应用在管道上。对一般构件可以用浸涂、浇涂和抹涂的方法施工石油沥青防腐层。

我国从 20 世纪 50 年代起,开始沿用前苏联的施工方法,用纯石油沥青对管道进行防腐。多年来,石油沥青在我国管道防腐层的使用量上高居各种防腐材料之首,虽然近年来石油沥青在管道上的用量受到其他防腐层的影响,但应用仍然很广泛。欧美在 20 世纪 40 年代曾大量使用石油沥青配制改性的瓷漆,但目前国外使用石油沥青瓷漆或石油沥青防腐层已经很少了。石油沥青的使用寿命较短,但如果使用得当,也可以取得长期的保护效果,如我国著名的“八三”管道石油沥青防腐层已经使用了 20 多年。石油沥青防腐层不宜在沼泽、水下、盐碱土或黏性土环境中使用,并要严格限定防腐层运行温度不超过规定使

用温度范围。防腐石油沥青适用于输送介质温度不超过 80℃ 的地下钢管防腐,在各种应用条件下适用性最好;10 号建筑沥青的适用温度在 51℃ 以下,要防止防腐管受太阳辐射热的影响使防腐层变软、变形。

### (一)石油沥青及配套材料的技术指标

石油沥青防腐层所用材料包括沥青、玻璃布及聚乙烯工业膜。防腐石油沥青的技术指标见表 8-2-1。10 号建筑沥青的质量指标参见 GB 494《建筑石油沥青》。玻璃布应采用中碱玻璃布,其技术指标见表 8-2-2。聚乙烯工业膜的技术指标见表 8-2-3。

表 8-2-1 防腐石油沥青技术指标

项目	质量指标	试验方法
针入度(25℃,100g), $10^{-1}$ mm	5~20	GB/T 4509—1984
延度(25℃),cm	$\geq 1$	GB/T 4508—1984
软化点(环球法),℃	$\geq 125$	GB/T 4507—1984
溶解度(苯),%	>99	GB/T 11148—1989
闪点(开口),℃	$\geq 260$	GB/T 267—1988
水分	痕迹	GB/T 260—1977
含蜡量,%	$\leq 7$	SY/T 0420 附录 A

表 8-2-2 玻璃布技术指标

项目	含碱量, %	原纱号数×股数 (公制支数/股数)		单纤维公称直径, $\mu\text{m}$		厚度,mm	密度,根/cm		长度,m
		经纱	纬纱	经纱	纬纱		经纱	纬纱	
性能及规格	$\leq 12$	22×8 (45.4/8)	22×2 (45.4/8)	7.5	7.5	0.100± 0.010	8±1 (9±1)	8±1 (9±1)	200~250 (带轴心 $\phi 40 \times 3\text{mm}$ )
试验方法	JC 176—1980《玻璃纤维制品试验方法》								

表 8-2-3 聚乙烯工业膜技术指标

项目	质量指标	试验方法
拉伸强度(纵、横),MPa	$\geq 14.7$	GB/T 1040—1992
断裂伸长率(纵、横),%	$\geq 200$	GB/T 1040—1992
耐寒性,℃	$\leq -30$	SY/T 0420 附录 B
耐热性,℃	$\geq 70$	SY/T 0420 附录 C
厚度,mm	0.2±0.03	千分尺
长度,m	200~250 (带轴心 $\phi 40 \times 3\text{mm}$ )	

## (二)防腐层结构

石油沥青防腐层的等级和结构见表 8-2-4。表中所列底漆层是由沥青溶解在汽油中制得的底漆形成的。钢管焊缝位置的防腐层总厚度不宜小于表中规定值的 65%。应当根据使用实际的要求选用防腐层等级。

表 8-2-4 防腐层结构

防腐层等级		普通级	加强级	特强级
防腐层总厚度,mm		≥4	≥5.5	≥7
防腐层结构	1	底漆一层	底漆一层	底漆一层
	2	石油沥青一层 (厚 ≥1.5mm)	石油沥青一层 (厚 ≥1.5mm)	石油沥青一层 (厚 ≥1.5mm)
	3	玻璃布一层	玻璃布一层	玻璃布一层
	4	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)
	5	玻璃布一层	玻璃布一层	玻璃布一层
	6	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)
	7	聚乙烯工业膜	玻璃布一层	玻璃布一层
	8		石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)	石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)
	9		聚乙烯工业膜	玻璃布一层
	10			石油沥青一层 (厚 1.0~1.5mm)
	11			聚乙烯工业膜

## (三)防腐层施工要求

### 1. 表面处理

石油沥青防腐层的表面处理较为经济,要求钢管表面处理质量达到 GB 8923 规定的 Sa2 级或 St3 的要求,涂敷时应保持钢管表面状况仍符合此规定。

### 2. 沥青熬制及底漆准备

将沥青破碎后投入直接火焰加热的熔化釜(锅)或导热油间接加热的熔化釜内,先缓慢加热,最后加热至 230℃左右保持 4~5 小时,以充分脱去水分。检测熬制后的沥青的软化点、针入度和延度,检测结果符合表 14-1 规定为合格。沥青熬制宜采用导热油间接加热的加热方法,并应经常搅拌,这样可以减少、防止沥青结焦。

用沥青和无铅汽油以 1:2~3 的体积比调制成底漆。

### 3. 涂敷

(1)可采用高压无气喷涂、刷涂或其他适当方法涂敷底漆。底漆漆膜应均匀连续,无漏涂、流痕等缺陷;漆膜厚度约 100~200μm。在底漆表干后、24 小时内尽快浇涂沥青。

(2)将熬制后的沥青(200~230℃)均匀地浇涂在管体外壁上,要求涂敷均匀连续;随

即螺旋缠绕玻璃布,要求缠绕紧密、无褶皱,压边 20~30 mm。如此进行,直至沥青浇涂的层数和玻璃布缠绕层数达到防腐层结构规定。

(3)最后一层沥青浇涂后,随即缠绕聚乙烯工业膜外层。要求缠绕松紧适度,和沥青表面贴合,其余要求与玻璃布缠绕相同。

(4)缠绕聚乙烯工业膜后立即水冷定型。

(5)将要求不防腐的钢管端头(预留长度)的金属表面清理出来。防腐层端面应作成规整的坡面。

为了保证钢管防腐层的施工质量,最好能够在石油沥青防腐作业线上进行涂敷。手工作业很难保证防腐层的质量,诸如沥青的涂敷温度、涂敷及缠绕的均匀性很难控制。我国管道石油沥青防腐作业线长期以来保持单根管浇涂缠绕的工艺,这样要保证管端的防腐层质量有一定难度,管端的防腐层外观无法保证。美国 CRC-EVANS 公司的涂敷作业线采用管子一根接一根地连续浇涂和缠绕的作业工艺,从而保证了管子两端防腐层的质量和外形。

## 二、煤焦油瓷漆防腐层

煤焦油瓷漆是由煤焦油分馏得到的重质馏分、煤沥青,添加煤粉和填料,经加热熬制所得制品。煤沥青重要化学成分为三环以上的稠环芳香烃化合物,分子结构紧密。煤沥青及煤焦油由油分、胶质、游离碳和酚四个组分组成。油分主要是葱油和萘油,有毒性,能影响沥青的塑性;胶质有可溶性胶质和固体树脂状晶体,前者使沥青具有塑性,后者能够增大沥青的黏度及脆性;游离碳为碳质固体微粒,其数量一定时能增加沥青的黏度及热稳定性,但含蜡高时沥青变脆。煤焦油瓷漆中的煤粉在加热情况下能够和煤沥青及重质焦油物质融合,加之滑石粉、板石粉的增强作用,使瓷漆具有比煤沥青更好的塑性及刚性,抗冲性等机械强度大大提高。

煤焦油瓷漆防腐层除具有石油沥青防腐层的优点外,其吸水率低,与钢管的黏结性、涂层的机械强度都有提高,不会受土壤微生物、植物根的破坏,具有优异的耐水性、抗生性和防腐性;但在有干湿度变化的黏性土中也可能受土壤应力的破坏,也有高温软化、低温硬脆的弱点。煤焦油瓷漆主要应用在管道上。对一般构件同样可以用浸涂、浇涂和抹涂的方法施工煤焦油瓷漆防腐层。

在欧美,煤焦油瓷漆于 20 世纪初就大量使用,长期占据管道防腐层用量的第一位。虽然近年来环氧粉末涂层、聚乙烯涂层使用量急剧增大,煤焦油瓷漆年使用量已跌至第二位或第三位,但在在役管道防腐层当中,煤焦油瓷漆所占比例远高于别的种类的防腐层。煤焦油瓷漆的使用寿命长,可达 30~100 年。煤焦油瓷漆防腐层在其他防腐层难于取得好的防腐效果的场合,如沼泽、水下及海底、盐碱土等,仍可获得长期的防腐寿命。但煤焦油瓷漆防腐层不适用于砾石和黏性土地段。防腐层材料有 A 型、B 型及 C 型三种型号的煤焦油瓷漆,在不同的安装温度、不同的运行温度要使用不同型号的瓷漆。

我国在近几年才开始生产和应用煤焦油瓷漆,并占据了管道防腐的显著位置。国产瓷漆产品质量达到国际先进标准要求,主要瓷漆材料生产厂有新疆塔里木管道防腐材料有限公司、廊坊中英合资美泰克公司及江汉油田瓷漆厂;引进涂敷作业线有两条,如西安

搪瓷厂 CRC 沥青涂敷作业线,国产作业线有数条,如管道二公司、四川油建及新疆油建的瓷漆涂敷作业线。

在我国,煤焦油瓷漆的原材料来源广泛,瓷漆防腐层造价低、寿命长、应用范围广,是适合当前国情的防腐层,值得推广。

#### (一)煤焦油瓷漆及其配套材料技术条件

煤焦油瓷漆防腐层的主要材料包括合成底漆、煤焦油瓷漆、内缠带及外缠带。合成底漆的成膜物为氯化橡胶,其作用是黏结瓷漆和金属表面;内缠带是玻璃纤维毡,其作用是增强防腐层本体的机械强度;外缠带是用煤焦油瓷漆充分浸渍的厚型玻璃纤维毡,其作用是增强防腐层外表的机械强度。

#### 1. 底漆和瓷漆

底漆的技术指标见表 8-2-5,煤焦油瓷漆的技术指标见表 8-2-6,瓷漆和底漆的组合技术指标见表 8-2-7,防腐层的使用条件见表 8-2-8。

表 8-2-5 合成底漆技术指标

序号	项目		指标	测试方法
1	流出时间(4号杯,23℃)(s)		35~60	GB 6753.4
2	闪点(闭口)(℃)		≥23	GB 6753.5
3	挥发物(105~110℃)(%)		≤75	GB 6751
4	干燥时间 (25℃)	表干(min)	≤10	GB1728
		实干(h)	≤1	

表 8-2-6 煤焦油瓷漆技术指标

序号	项目	指标			测试方法
		A	B	C	
1	软化点(环球法),℃	104~116	104~116	120~130	GB 4507
2	针入度(25℃,100g,5s),10 <sup>-1</sup> mm	10~20	5~12	1~9	SY/T 0526.3
3	针入度(46℃,50g,5s),10 <sup>-1</sup> mm	15~55	12~30	3~16	SY/T 0526.3
4	灰分(质量),%	25~35	25~35	25~35	AWWA C203
5	相对密度(25℃)	1.4~1.6	1.4~1.6	1.4~1.6	AWWA C203
6	填料粒度*(200目),余量%	≤10	≤10	≤10	AWWAC203

\* 注:该值是瓷漆生产厂对瓷漆生产所用填料的粒度要求。

表 8-2-7

煤焦油瓷漆和底漆组合技术指标

序号	项目		指标			测试方法
			A	B	C	
1	流淌, mm	(71℃; 24 h)	≤1.6	≤1.6		SY/T 0526.7
		(80℃; 24 h)			≤1.5	
2	剥离试验		无剥离	无剥离		AWWA C203
3	低温开裂试验	(-29℃)	无			SY/T 0526.12
		(-23℃)		无		
		(-20℃)			无	
4	冲击试验(25℃, 剥离面积)10 <sup>4</sup> mm <sup>2</sup>	直接冲击	0.65	1.03	—	AWWA C203
		间接冲击	0.13	0.39	—	

表 8-2-8

煤焦油瓷漆防腐层的使用温度条件

型号	针入度, 25℃	可搬运最低环境温度, ℃	静止状态最低温度, ℃	输送介质最高温度, ℃
A	15~20	-12	-29	70
	10~15		-23	
B	5~10	-6	-15	70
C	1~9	3	5*	80

\* 数据源于布莱恩·斯考特著, 白雨译《煤焦油瓷漆——21世纪仍不过时》。

## 2. 内缠带及外缠带

内缠带表面应均匀, 有平行等距的、沿纵向排布的玻璃纤维加强筋, 无孔洞、裂纹、纤维浮起、边缘破损及其他污物(油脂、泥土等); 在正常涂敷条件下, 内缠带的空隙结构应能够使煤焦油瓷漆完全将其渗透。

外缠带表面应均匀, 玻璃纤维加强筋和玻璃毡结合良好, 无孔洞、裂纹、边缘破损、浸渍不良及其他污物(油脂、泥土等), 均匀撒布有矿物微粒; 在 0~38℃ 打开带卷时, 层间应能够分开, 不会因粘连而撕坏; 在涂敷时, 外缠带的孔隙结构应能够使煤焦油瓷漆良好地渗入其中。

缠带的技术指标见表 8-2-9。



表 8-2-9

缠带技术指标

序号	项目		技术指标		测试方法
			内缠带	外缠带*	
1	单位面积质量, g/m <sup>2</sup>		≥40	580~730	AWWA C203
2	厚度, mm		≥0.33	≥0.76	AWWA C203
3	拉伸强度, N/m	纵向 横向	≥2 280 ≥700	≥6 130≥4 730	AWWA C203
4	柔韧性		通过	通过	SY/T0526.18
5	加热失重, %			≤2	AWWAC203
6	撕裂强度, g	纵向 横向	≥100 ≥100		GB 11999 2.77
7	透气性, mmH <sub>2</sub> O		0.6~1.9	AWWA C203	

\* 外缠带基毡单位面积质量应不小于 83 g/m<sup>2</sup>。

### 3. 其他材料

其他材料主要有:用于管子焊接部位防腐(补口)或管件防腐的热烤缠带及其配套厚型底漆、用于防止太阳暴晒的防晒漆。

(1)热烤缠带是用玻璃纤维毡或涤纶毡,两面涂敷上煤焦油瓷漆得到的制品,其外观应均匀一致,无瓷漆从毡面上剥落的现象,厚度不小于 1.3 mm,缠带瓷漆应和管体所用瓷漆性能相似。使用时,先涂配套厚型底漆,底漆干燥后,烘烤热烤缠带内表面至表层瓷漆熔化,并烘烤底漆漆膜,然后把热烤缠带紧密缠绕在底漆漆膜上。

(2)防晒漆是具有一定耐久性的白色涂料,要求与煤焦油瓷漆防腐层黏结良好,耐水,漆膜可耐 90 天曝晒。用于防止太阳暴晒造成煤焦油瓷漆防腐层软化的问题。

#### (二)防腐层等级与结构

防腐层的等级及结构见表 8-2-10。防腐层结构中,第一层瓷漆的作用最大,厚度只要保证达到 1.5 mm 就具有良好的防腐性,其后的缠带和瓷漆层起加厚的作用,可以增强防腐能力和机械强度。

表 8-2-10

防腐层结构

防腐层等级		普通级	加强级	特强级
防腐层总厚度, mm		≥2.4	≥3.4	≥4.4
防腐层结构	1	底漆一层(厚 50 $\mu$ m)	底漆一层(厚 50 $\mu$ m)	底漆一层(厚 50 $\mu$ m)
	2	瓷漆一层 (厚≥2.4 mm±0.8 mm)	瓷漆一层 (厚≥2.4 mm±0.8 mm)	瓷漆一层 (厚≥2.4 mm±0.8 mm)
	3	外缠带一层	内缠带一层	内缠带一层
	4		瓷漆一层 (厚≥0.8 mm)	瓷漆一层 (厚≥0.8 mm)
	5		外缠带一层	内缠带一层
	6			瓷漆一层 (厚≥0.8 mm)
	7			外缠带一层

注:1. 当作为螺旋焊接管的外防腐层时,第一层瓷漆的厚度应不小于 2.4 mm,防腐层的总厚度均应相应增加 0.8mm。

### (三)防腐层施工要求

防腐层的施工与石油沥青防腐层相似。

#### 1. 表面处理

钢管表面处理质量应不低于 GB 8923 规定的 Sa2 级,涂敷时应保持钢管表面状况仍符合此要求。

#### 2. 瓷漆准备

和石油沥青一样,将瓷漆破碎(重约 2 kg 以下的小块)后熔化,A 型和 B 型瓷漆加热至 230~250℃,C 型瓷漆加热至 240~260℃,使瓷漆保持在这样的温度下进行浇涂。不需要像石油沥青一样进行脱水。但需要采取和沥青熬制同样的防止结焦的设备和操作方法,搅拌应更充分。

瓷漆在熔化及保温时,均应使釜盖处于密闭状态,避免轻组分的挥发、影响瓷漆质量。

#### 3. 涂敷

(1)可采用高压无气喷涂、刷涂或其他适当方法涂敷底漆。底漆漆膜应均匀连续,无漏涂、流痕等缺陷;漆膜厚度约 50 $\mu$ m。在底漆涂敷后,1 小时至 5 天内尽快浇涂瓷漆。

(2)将瓷漆(230~260℃)均匀地浇涂在管体外壁上,要求涂敷均匀连续;随即螺旋缠绕内缠带,要求缠绕紧密、无褶皱,压边 15~25 mm。按瓷漆一层、缠带一层,如此作业,直至瓷漆浇涂的层数和内缠带缠绕层数达到防腐层结构规定,最后一层瓷漆浇涂后立即缠绕外缠带。外缠带缠绕要求和内缠带相同。

对普通级防腐层,只涂一层瓷漆并缠绕外缠带。

(3)外缠带缠绕后,立即水冷定型。

(4)将管端预留长度的管表面清理出来。防腐层端面应作成规整的坡面。

煤焦油瓷漆在涂敷时会产生一定量的有害烟气,应当安设有效的烟气净化设施,防止

对劳动卫生和环境的影 响。进口作业线,如 CRC - EVANS 公司的涂敷作业线,采用一根管子接一根管子连续浇涂和缠绕的作业工艺,管子两端的防腐层质量和外形均得到了保证。国产作业线沿用了传统石油沥青防腐作业线的单根涂敷方式,管端的防腐层质量和外观容易产生问题。

最好在煤焦油瓷漆防腐层上涂防晒漆。否则太阳暴晒可使黑色的瓷漆温度比气温高 25 ~ 30℃,在夏季易造成防腐层软化变形和防腐层之间黏连的问题;长期暴晒还可能造成轻组分的迁移、芳香族苯环的破坏,致使防腐层老化、产生裂纹。要注意瓷漆防腐层不能处在低于最低使用温度的气温条件下,否则防腐层可能产生裂纹或开裂。

### 三、熔结环氧粉末防腐层

环氧粉末涂料生产原料,在自然温度条件下无反应活性,在高温下反应迅速的固化剂、催化剂及助催化剂,此外还有流平剂、颜填料;将这几种原料混合后,送到挤出机塑炼、捏合、以薄片状挤出,经过破碎、研磨和分级,得到粒度均匀的粉末涂料。分布较宽的环氧树脂分子量不适用于制作环氧粉末涂料,因为树脂中的低分子易使粉末结团,高分子则影响涂料的流平。常用的固化剂有 4 类:双氰胺及其衍生物、咪唑类化合物、酸酐类及二酰肼。通常要求和树脂混溶性好、固化快,漆膜物理机械性能及化学稳定性好。粉末涂料熔融时,漆膜具有流动性的时间太短、流动能力太小,流平剂能够增强漆膜的流动性,消除漆膜上的针孔、橘皮等弊病。环氧粉末涂料在高温下熔融、固化形成的涂层即是熔结环氧粉末涂层(FBE)。

熔结环氧粉末防腐层具有优异的黏结力、涂层坚牢、耐腐蚀和耐溶剂性,抗土壤应力,和阴极保护配套性好、对保护电流无屏蔽作用,适用于大多数土壤环境,包括砾石地段,涂层的修复较容易;但熔结环氧粉末防腐层耐湿热性较差,不适用于水下加热输送温度过高的管道,吸水率较大,抗冲击损伤能力有限。环氧粉末涂料不含溶剂、涂敷时几乎不产生挥发物,作业卫生仅要求防止粉尘,对环境无污染。

壳牌化学公司于 20 世纪 60 年代初发明了环氧粉末涂料,喷涂施工技术在同 期也得 到长足发展,至 60 年代中期达到工业化应用水平。从此,熔结粉末涂层在管道防腐方面的应用不断增大,在美国和加拿大广泛应用于各种埋地管道的外防腐,如著名的美国阿拉斯加原油输送管道熔结环氧防腐层已经运行了 30 年。据美国《Pipeline Digest》统计,90 年代以来,熔结环氧粉末涂层连续占据年管道涂敷用量的首位。据介绍,熔结环氧粉末涂层的使用寿命为 30 ~ 50 年。熔结环氧粉末涂层运行温度为 ~ 30 ~ 100℃,但是,在地下水浸 没或极度潮湿的地段,运行温度宜限制在 70℃以下。熔结环氧粉末技术的最新发展是 双层结构,其第一层是普通粉末涂层,第二层是增塑粉末涂层,极大的改进了环氧粉末涂 层的抗磕碰能力,该技术已经有 5 年的商用历史。

我国在 20 世纪 80 年代初期以后,石油工程技术研究院、华北油田设计院等先后研制 出了管道防腐用环氧粉末涂料;石油天然气管道科学研究院,在 80 年代后期研制出了 大口径管道熔结环氧粉末外涂敷作业线,并用于黄河管道穿越工程。近年来,熔结环氧粉 末涂层在我国的用量稳步增长,所用的均为一次成膜的单层熔结环氧粉末涂层。

## (一)环氧粉末涂料的技术条件

熔结环氧粉末涂层材料只有环氧粉末涂料一种。环氧粉末涂料的技术性能应符合表 8-2-11 质量指标。还应在规范的实验室条件下,制作环氧粉末涂料涂层试件进行检查,试件质量应符合表 8-2-12 质量指标。粉末涂料生产厂粉末涂料配方有变化时,需要进行表 8-2-12 的各项检查;当供料渠道稳定,在上作业线涂敷前,只要求作 24 小时阴极剥离、抗 3°弯曲、抗 1.5 焦冲击及附着力检查。

表 8-2-11 环氧粉末涂料的技术条件

项目		质量指标	试验方法
外观		色泽均匀、无结块	目测
固化时间, min	180℃	≤5	SY/T 0315 附录 A
	230℃	≤1.5	
胶化时间, s	180℃	≤90	GB/T 6554—1986
	230℃	≤30	
热特性		符合生产厂规定	SY/T 0315 附录 B
不挥发物含量, % ≥99.4		GB/T 6554—1986	
粒度分布 (筛余物), %	150 $\mu$ m	≤3.0	GB/T 6554—1986
	250 $\mu$ m	≤0.2	
密度, g/cm <sup>3</sup>		1.3~1.5	GB/T 4472—1984
磁性物含量, %		≤0.002	GB/T 2482—1986

表 8-2-12 实验室试件的涂层质量要求

项目	质量指标	试验方法
外观	平整、色泽均匀,无气泡、开裂及缩孔,允许有轻微橘皮状花纹	目测
24h 或 48h 阴极剥离, mm	≤8	SY/T 0315 附录 C
28d 阴极剥离, mm	≤10	
耐化学腐蚀	合格	SY/T 0315 附录 D
断面空隙率(级)	1~4	SY/T 0315 附录 E
黏结面空隙率(级)1~4		
抗 3°弯曲	无裂纹	SY/T 0315 附录 F
抗 1.5J 冲击	无针孔	SY/T 0315 附录 G
热特性	符合生产厂规定	SY/T 0315 附录 B
电气强度, MV/m	≥30	GB/T 1408—1989
体积电阻率, $\Omega \cdot m$	≥1 × 10 <sup>13</sup>	GB/T 1410—1989
附着力, 级	1~3	SY/T 0315 附录 H
耐磨性(落砂法), L/ $\mu$ m	≥3	SY/T 0315 附录 J

## (二)防腐层等级及厚度

防腐层的等级及厚度要求见表 8-2-13。

表 8-2-13

环氧粉末防腐层等级及厚度

序号	涂层等级	最小厚度, $\mu\text{m}$	参考厚度, $\mu\text{m}$
1	普通级	300	300 ~ 400
2	加强级	400	400 ~ 500

## (三)防腐层施工要求

### 1. 表面处理

钢管表面处理应达到 GB 8923 规定的 Sa 2.5 级。环氧粉末涂层对表面处理的要求高,在喷(抛)射除锈作业前,应当采用溶剂清洗、焙烧或高压水清理等方法,充分地清除钢管表面的污物,尤其是油性污物或石油沥青底漆。涂敷时,钢管表面应保持 Sa2.5 级的状态。

### 2. 涂敷

首先将钢管加热至粉末生产厂规定的涂敷温度,一般为  $230^{\circ}\text{C}$ ,最高不得超过  $275^{\circ}\text{C}$ 。加热方式以中频感应加热为好。

然后以静电喷涂方式将粉末涂料涂布到钢管上,要求一次成膜并达到规定厚度。喷涂要均匀。

### 3. 淬冷及端头处理

在涂层得到充分时间固化后,用水将涂层钢管冷却至  $100^{\circ}\text{C}$  以下;将管端预留长度的管表面清理出来,一般规定预留长度为  $50\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 。

熔结环氧粉末涂层施工对被涂敷钢管表面的洁净程度要求高,作业线使用的压缩空气应无水、无油,以提高涂层的黏结力、减少针孔;喷枪出粉要均匀、雾化要好,以得到厚度均一的涂层;管子的行进速度与喷粉速度、涂层固化速度应匹配得当,以保证涂层的厚度及固化程度。增加防腐层厚度可提高使用温度,厚度达  $800\ \mu\text{m}$  时,使用温度可达  $95^{\circ}\text{C}$ 。

## 四、聚烯烃防腐层

聚烯烃防腐层所用材料主要是聚乙烯(PE)塑料和聚丙烯(PP)塑料,塑料中可以加入增塑剂、抗老化剂、抗氧化剂、光稳定剂等助剂及适量填料。聚乙烯防腐层和聚丙烯防腐层在使用温度上有差别,聚乙烯的最高使用温度在  $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$  左右,聚丙烯的最高使用温度在  $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。聚乙烯防腐层在管道防腐上的使用量大,防腐层所用聚乙烯有低密度、中密度和高密度 3 种,也可将其共混使用,高密度塑料的分子量很高、结构归整、有晶体结构,使用温度高。聚烯烃涂层材料属热塑性。从其形态及涂敷方法区分,有聚乙烯胶带、粉末聚乙烯和挤出聚乙烯 3 种:

(1)粉末聚乙烯:粉末聚乙烯在涂敷方式上和环氧粉末大体相同,涂料只经过熔融成膜,水冷却至  $60^{\circ}\text{C}$  左右定型的过程。由于聚乙烯塑料基本上和钢铁没有黏结力,所以粉末涂料防腐层的黏结力有限,制约了聚乙烯粉末涂料的使用。本书不作更多介绍。

(2)聚乙烯胶带:将在本章 14.5 中介绍。

(3)挤出聚乙烯:挤出聚乙烯涂层为本节的主要内容。挤出聚乙烯防腐层有两种结构,常规结构为二层(俗称聚乙烯夹克),底层为黏结剂,一般为沥青丁基橡胶或乙烯基共聚物,面层为聚乙烯挤出包覆或缠绕层;另一种结构即三层结构,底层为环氧涂料(包括液态环氧涂料和环氧粉末涂料),面层为聚乙烯挤出层,中间为黏结底层与面层的黏结层,为乙烯基二元共聚物或三元共聚物。

挤出聚乙烯防腐层的特点是:极为优异的机械性能,搬运及安设过程中损伤极少;水汽渗透率极低;抗土壤应力的破坏;柔韧性好、有良好的低温性能;防腐性好。聚乙烯同黏结剂的黏结力不是很好,尤其是在较高温度时、在水汽等的作用下,黏结性丧失;和阴极保护的匹配性较差,夹克外层可能在保护电流的作用下失去黏结性,并对电流产生屏蔽。三层结构克服了二层聚乙烯防腐层的缺点,尤其是底层采用熔结环氧粉末,综合了聚乙烯和熔结环氧粉末的优点,有很好的防腐性能;其缺点是防腐层施工、质量控制复杂,现场补口、补伤及管件防腐很困难。

美国 Saumel Moore 公司在 20 世纪 50 年代初,研制出二层聚乙烯防腐技术,以后挤出聚乙烯防腐技术逐步在世界各地得到发展和应用,尤其是在欧洲,如德国等国家为首选管道防腐层。挤出聚乙烯在管道防腐层方面的年使用量,近年来位居第三或第二。随着三层结构的出现,近一两年使用量有所扩大。我国从 1980 年由华北油建一公司和北京化工研究院联合研制出第一条聚乙烯夹克涂敷作业线起,聚乙烯夹克开始得到应用,应用范围主要是油田中小口径管道,一直到 1993 年为陕京天然气管道建设引进了三层结构涂敷技术,聚乙烯防腐层即三层结构开始在大口径、长输管线上应用,并且其用量开始占据重要位置。现在,国内已有亚东防腐有限公司、华龙石油防腐有限公司等的涂敷作业线,但涂层材料主要靠进口。

底层为液态环氧涂料,面层为挤出聚乙烯,中间为乙烯基二元共聚物,或三元共聚物的三层结构,在欧洲已成功应用了 20 年。聚乙烯防腐层发展趋势是采用厚度为 300 ~ 650 $\mu\text{m}$  的 FBE 作防腐层,化学改性聚乙烯作外层或三层结构的中间层,化学改性聚乙烯和 FBE 具有化学及物理结合力,黏结性优于以往的各种黏结剂。三层结构的使用寿命据称可达 40 ~ 60 年。Dennis Neal 在《两种涂层在市场首要位置上的竞争》一文中讲到,根据水渗透率的研究,三层结构的使用寿命超过 40 年,但该项分析的前提是:

(1)FBE 层没有针孔,这要求 FBE 层的厚度达到 250  $\mu\text{m}$ ,因为厚度低于 150  $\mu\text{m}$  的 FBE 涂层存在相当多的针孔;

(2)中间层处于理想黏结状态;

(3)补口防腐层的性能和管体防腐层一致。

文章作者还认为,三层结构不能用于螺旋焊接管,压辊不可能始终压到焊缝上,也就不能全面消除焊缝位置涂层之下的气隙。但是,在实际使用中,FBE 层的厚度一般控制在大约 100 $\mu\text{m}$  附近,这也就不可避免针孔的大量存在;补口通常不使用三层结构,而采用其他更方便的补口技术;在我国螺旋焊接管大量使用,也已采用了三层结构防腐层。三层结构的性能是防腐界的争论热点,值得注意。三层结构的实际应用时间还不长,其使用效果及寿命有待时间的检验。但不容置疑,三层结构是二层聚乙烯涂层的进步和发展,有更

好的防腐效果和更长的使用寿命。

### (一)材料技术条件

#### 1. 环氧粉末涂料

环氧粉末涂料的质量应符合表 8-2-14 的规定。

表 8-2-14 环氧粉末涂料的性能指标

项目	性能指标	试验方法
环氧粉末涂料	粒径, $\mu\text{m}$	60 ~ 150
	挥发分, %	$\leq 0.6$
	胶化时间(200 $^{\circ}\text{C}$ ), s	15 ~ 50
	固化时间(200 $^{\circ}\text{C}$ ), min	$\leq 3$
FBE 涂层	附着力, 级	$\leq 2$
	阴极剥离(65 $^{\circ}\text{C}$ , 48 h), mm	$\leq 10$

#### 2. 胶黏剂

二层结构使用的胶黏剂的性能、三层结构胶黏剂的性能应分别符合表 8-2-15、表 8-2-16 规定。

表 8-2-15 二层结构用胶黏剂的性能指标

项目	性能指标	试验方法
软化点, $^{\circ}\text{C}$	$\geq 90$	GB/T 4507
蒸发损失(160 $^{\circ}\text{C}$ ), %	$\leq 1.0$	GB/T 11964
剪切强度(PE/钢), MPa	$\geq 1.0$	GB/T 7124
剥离强度(PE/钢, 20 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), N/cm	$\geq 35$	GB/T 2792

表 8-2-16 三层结构用胶黏剂的性能指标

项目	性能指标	试验方法
密度, $\text{g}/\text{cm}^3$	0.920 ~ 0.950	GB/T 4472
流动速率(190 $^{\circ}\text{C}$ , 2.16kg), $\text{g}/10\text{min}$	5 ~ 10	GB/T 3682
维卡软化点, $^{\circ}\text{C}$	$\geq 80$	GB/T 1633
脆化温度, $^{\circ}\text{C}$	$\leq 50$	GB/T 5470

#### 3. 聚乙烯塑料

聚乙烯塑料的性能指标以其挤出片材的性能来衡量, 见表 8-2-17。

#### 4. 防腐层材料适用性试验

符合上述规定的材料, 应在作业线上进行涂敷试验, 检查涂敷得到的防腐层的性能, 包括对割取的聚乙烯层的检查、防腐管上或切割试件上的防腐层的检查, 结果应符合表

8-2-18的要求。

表 8-2-17

聚乙烯材料的挤出片材的性能指标

项目		性能指标	试验方法
拉伸强度, MPa		$\geq 20$	GB/T 1040
断裂伸长率, %		$\geq 600$	GB/T 1040
维卡软化点, °C		$\geq 90$	GB/T 1633
电气强度, MV/m		$\geq 25$	GB/T 1408
体积电阻率, $\Omega \cdot m$		$\geq 1 \times 10^{13}$	GB/T 1410
脆化温度, °C		$\leq -65$	GB/T 5470
耐环境应力开裂(F50), h		$\geq 1000$	GB/T 1842
耐化学介质腐蚀(7d), %	10% HCl	$\geq 85$	SY/T 4013 附录 C
	10% NaOH	$\geq 85$	
	10% NaCl	$\geq 85$	
耐热老化*, %	(100°C, 2 400 h)	$\leq 35$	GB/T 3682
	(100°C, 4 800 h)	$\leq 35$	
耐紫外光老化(336 h), %		$\geq 80$	SY/T 4013 附录 D

\* 设计最高使用温度为 50°C, 试验条件为 100°C、2 400 h;

设计最高使用温度为 100°C, 试验条件为 100°C、4 800h。

表 8-2-18

防腐层材料适用性试验指标

项目			性能指标		试验方法
			二层	三层	
聚乙烯层	拉伸强度	轴向, MPa	$\geq 20$		GB/T 1040
		周向, MPa	$\geq 20$		
		偏差*, %	< 15		—
	断裂伸长率, %		$\geq 600$		GB/T 1040
	耐环境应力开裂(F50), h		$\geq 1000$		GB/T 1842
压痕硬度, mm	23°C ± 2°C	$\leq 0.2$		SY/T 4013 附录 E	
	50°C ± 2°C 或 70°C ± 2°C	$\leq 0.3$			
防腐层	剥离强度, N/cm	20°C ± 5°C	$\geq 35$	$\geq 60$	SY/T 4013 附录 F
		50°C ± 5°C	$\geq 25$	$\geq 40$	
	阴极剥离(65°C, 48 h), mm		$\leq 15$	$\leq 10$	
冲击强度, J/mm		$\geq 5$		SY/T 4013 附录 G	
抗弯曲(2.5°)		聚乙烯无开裂		SY/T 4013 附录 H	

\* 偏差为轴向和周向拉伸强度的差值与两者中较低者之比。



## (二)防腐层的等级、结构及厚度

二层结构聚乙烯防腐层和三层结构聚乙烯防腐层的等级、结构及厚度见表8-2-19。

表 8-2-19

防腐层的等级、结构及厚度

钢管公称直径 DN, mm	防腐层最小厚度, mm		胶黏剂层, $\mu\text{m}$		FBE 层, $\mu\text{m}$
	普通级	加强级	二层	三层	
DN $\leq$ 100	1.8	2.5	200 ~ 400	170 ~ 250	60 ~ 80
100 < DN $\leq$ 250	2.0	2.7			
250 < DN < 500	2.2	2.9			
500 $\leq$ DN < 800	2.5	3.2			
$\geq$ 800	3.0	3.7			

## (三)防腐层施工要求

## 1. 表面处理

二层结构钢管表面处理与三层结构表面处理,应分别达到 GB 8923 规定的 Sa 2 级、Sa 2.5 级。由于环氧粉末底层薄,三层结构要求表面处理后的钢管表面锚纹深度为 50 ~ 70 $\mu\text{m}$ 。涂敷时,应保持钢管表面状况仍符合上述要求。

## 2. 涂敷

在各项工艺参数调整好之后,将钢管加热至适宜涂敷的温度,最高不得超过 275 $^{\circ}\text{C}$ 。加热时要求不影响钢管表面状况,以中频感应加热方式为好。

三层结构环氧粉末底层涂敷时,钢管温度应符合粉末生产厂的规定,一般为 180 ~ 200 $^{\circ}\text{C}$ 。环氧粉末的喷涂方法和要求见本章的有关要求,膜厚应达到规定要求。

胶黏剂的涂敷可采用挤出纵向包覆、侧向缠绕或热喷涂的方法。三层结构的胶黏剂普遍采用侧向缠绕的工艺,胶黏剂的挤出温度一般控制在 230 ~ 250 $^{\circ}\text{C}$ ,要求胶黏剂层连续,厚度达到规定。

聚乙烯层的涂敷可采用纵向挤出或侧向缠绕的方法,挤出温度一般控制在 230 ~ 260 $^{\circ}\text{C}$ 。500 mm 口径以上的钢管宜采用侧向缠绕的工艺。要求压边部分及焊缝位置的聚乙烯完全辊压密实,并防止压伤表层,厚度应达到规定要求。

## 3. 冷却及端头处理

涂敷完成后,用水将涂层钢管冷却至 60 $^{\circ}\text{C}$  以下;对三层结构而言,水冷前应保证环氧粉末层有充分的时间固化。将管端预留长度的管表面清理出来,预留长度为 100 ~ 150 mm,防腐层端面处理成小于或等于 45 $^{\circ}$  的斜面。

为了保证三层结构防腐层的施工质量,必须严格控制胶黏剂的涂敷过程,应当在环氧粉末层胶化期间涂敷胶黏剂,胶黏剂的温度应满足环氧粉末层固化需要。这样,胶黏剂在环氧粉末层处于活性状态时与之贴合,可以保证二者表层的相互融合和化学反应结合。此外,要采用有弹性的胶辊进行辊压,压辊宽度应大于挤出聚乙烯的宽度,辊压力度要适当,要防止黏辊,压辊有伤必须立即更换。