



重防腐环氧粉末涂料在西部管道工程的应用

Application of Heavy Duty Anticorrosive Epoxy Powder Coatings
on Pipe Projects in Western China

吴希革 (大庆开发区庆鲁精细化工有限公司)

摘要: 西部原油、成品油管道工程是继著名的“西气东输”管道工程后又一标志性工程, 涉及的范围很宽、地形复杂、气候多样, 通过研究腐蚀与防护问题, 采用目前较先进的防护涂层, 即单层重防腐环氧粉末涂料及重防腐环氧粉末涂料作为底层的三层防腐结构相结合, 最大限度地保护管道, 阻缓管道腐蚀。本文通过对各种防护对策比较, 着重阐述了防腐环氧粉末涂料的制造、三 PE 结构特点及工艺。

1 前言

腐蚀与防护问题多年来一直困扰着人们, 特别是随着我国经济建设的发展, 基础建设不断增长, 对防腐提出了更多, 更严格的要求。防腐界不断探索新的材料、新的涂层来满足更高的要求, 特别是我国的著名的“西气东输”管道工程, 经专家的反复研究讨论确定为重防腐环氧粉末作为底层的三层防腐结构, 为西部原油、成品油管道工程防腐提供了许多宝贵财富。本文主要介绍重防腐熔结环氧粉末涂料的性能和涂装工艺及在西部原油、成品油管道工程中的应用。

2 西部原油、成品油管道工程

由中国石油集团投资的西部管道工程是全长近 4000 公里的西部原油、成品油管道工程, 由成品油和原油两条管道构成, 是我国实施西部大开发战略的又一项标志性工程。输油管道西起新疆乌鲁木齐市, 途经新疆、甘肃两省区的 28 个市(县), 终点为兰州市。一期工程两条干线、7 条支线, 其中输送原油的管道长约 1878 公里, 干线设计年输送量 2000 万吨, 成品油管道总计新建 1930 公里, 干线设计年输送量为 1000 万吨。该工程总投资约 146 亿元, 是我国目前设计输送量最大、距离最长、压力最大、水平最高的输油管道之一。

据西部管道公司有关人士介绍, 西部管道在甘肃省境内管道干线全长 1116 公里(双线), 设站场 8 座。原油管道沿途向玉门炼化总厂、兰州石化公司等化工企业分输, 成品油管道沿途在柳园、酒泉、张掖、武威等地建分输站, 直接给当地提供油品。

管道建成后将新疆境内、甘肃境内和东部地区、西南地区的输油管道以及石油石化企业连接起来, 形成“西油东运”管网, 与中哈原油管道组成国家能源战略通道, 极大地减少了油品转运环节, 降低运销成本, 有力地支持兰州石化 1000 万吨炼油项目、60 万吨乙烯改造项目及化工延伸加工项目的建设, 保障玉门炼化总厂的原油供应和成品油的输送, 对促进甘肃省石化工业的持续稳定发展发挥着十分重要的作用。

西部原油、成品油管道工程中单重防腐熔结环氧粉末涂料一项估计就有几千吨用量, 这还不包括各支线。所以未来几年是中国石油、天然气管道大发展的时期, 功能性重防腐熔结环氧粉末涂料有着广阔的开发前景。

3 重防腐环氧粉末涂料

重防腐环氧粉末涂料又称熔结环氧粉末, 国外简称 FBE, 最早开发于上世纪 50 年代, 60 年代实现了工业化生产, 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, 已有 10 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。

中国熔结环氧粉末技术起步较晚, 90 年代才开始引进和消化国外先进的环氧粉末及工艺设备等



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

技术。近几年国内才生产重防腐系列环氧粉末涂料，并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“西气东输”工程中的应用使国内重防腐粉末涂料有了长足的发展。

3.1 重防腐熔结环氧粉末涂料的优良特性

- 涂层具有良好的抗化学品性、抗溶剂性，能够抵御传输介质中的 H_2S 、 CO_2 、 O_2 、酸、碱、盐、有机物等物质的化学腐蚀，并能长期接触含盐地下水、海水，以及土壤中微生物产生的各种有机酸等腐蚀物质；
- 涂层坚韧耐磨，抗冲击性及抗弯曲性优良，与钢管之间有极佳的附着力，能有效防止施工中的机械损坏及使用过程中的植物根系和土壤环境应力的损坏；
- 涂层具有良好的绝缘电阻，能在阴极保护作用下抵抗化学腐蚀，达到长期保护的目的；
- 涂层具有很高的玻璃化温度，使用温度范围宽，能在 $-30\sim 100^\circ C$ 之间保持优异的使用性能；
- 熔结环氧粉末涂料 FBE 施工方便、无需底漆、固化迅速，可实现高效率的流水线作业，而且管道检测和修补简便，涂层质量容易控制。

3.2 重防腐熔结环氧粉末涂料的分类

- 按用途可分为管道内喷涂用粉、管道外喷涂用粉、石油钻管用粉，以及三层结构防腐用粉；
- 根据固化条件可分为：快速固化、普通固化两种类型，快速固化粉末一般在 $230^\circ C$ 下 $0.5\sim 2min$ 内固化，用于管道外喷涂或三层防腐结构，由于固化时间短，生产效率高，适合流水线作业。普通固化粉末的固化条件一般 $230^\circ C/3min$ ，由于固化时间长，涂层流平好，适用于管道内喷涂。
- 西部原油、成品油管道工程确定的是单层重防腐环氧粉末涂料及重防腐环氧粉末涂料作为底层的三层防腐结构相结合，在自然环境比较恶劣（如山体穿越石方段多、施工条件差）的区段一般采用三层 PE 防腐结构，其余区段采用单层重防腐环氧粉末涂料。在重防腐环氧粉末涂料作为底层的三层防腐结构中，三层 PE 粉末涂料是管道三层 PE 防腐专用的热固性纯环氧粉末涂料，它可与中间胶粘剂、外层高密度聚乙烯组成一个性能优异的防腐体系，底层环氧粉末具有良好的附着力，与中间胶层有机地结合在一起，整套防腐体系综合了环氧涂层与聚乙烯层的优点，是国际流行的防腐技术。

单层重防腐环氧粉末涂料的特性如下：

- 具有极强的附着力和良好的柔韧性、抗弯曲性。
- 无需底漆，涂敷方便，固化迅速，工作效率高，适合于流水线作业。
- 涂层坚韧耐磨，抗冲击，能抵抗土壤应力和减少运输及回填时的损伤。
- 能在较大温度范围内起到保护作用并具有长效持久的防腐效果。
- 具有优良的抗阴极剥离能力和化学稳定性能，耐水、耐油、耐酸、耐碱、耐盐。

三层 PE 粉末涂料的特性如下：

- 三层 PE 粉末涂料与基材具有极强的粘结力。
- 具有适当的胶化时间和界面性能，容易与中间胶层熔融结合并固化成为一个整体。
- 涂层能在较大温度范围（ $-20\sim 110$ ）内起到保护作用并具有长效持久的防腐效果。
- 本涂层具有优良的高温抗阴极剥离能力和良好的耐水性、耐候性。
- 三层能完全相容。
- 本防护体系可使防腐对象得到有效保护，将施工、运输中的损坏减少到最低限度。这种粉末涂料材料主要用于管道外防腐。



3.3 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料的组成

单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料是由合成树脂、固化剂（热固性粉末涂料中）、颜料、填料和助剂等几种原料组成的。因此选择好这些原料是很重要的，因为每一种原料选择是否适当直接影响 FBE 粉末涂料的使用性能（见表 1）。

表 1 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料配方

名称	规格	产地	单层	三层 PE
双酚 A 型环氧树脂 CYD-014	0.10-0.12 当量/100g	巴陵石化	60	85
线型三环氧合成树脂 Amanda1168	0.117~0.125mol/100g	大庆庆鲁	40	15
专用固化剂 Amanda969	羟值 0.38~0.60 mol/100g	大庆庆鲁	22	20
金红石型钛白粉	Z215	辛集	6	5
2-甲基咪唑	医用	武汉	0.85	0.65
填料			40	45
颜料			适量	适量
GLP-503 流平剂		奉化	4	3.5
安息香		奉化	0.4	0.4

3.4 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料的制造及性能

单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料的制备是先将合成树脂与固化剂、固化促进剂、流平剂、颜料、填料、疏松流动剂、消泡剂等按配方用量混合，经熔融混炼挤出、冷却、压片、破碎、磨粉制成产品，具体工艺过程如下：

- 上述各组份按配方比例计量混合，在高速混炼机上预混 3~7min。
- 用双螺杆挤出机将上述混合物熔融混炼，螺杆的长径比为 15:1，转速为 300r/min，挤出温度为 90~110，然后将挤出物冷却、压片、破碎。
- 将破碎料片投入 ACM 磨磨细，粒径分布符合指标要求即得到防腐熔结环氧粉末涂料。

单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料的性能见表 2，涂层物理性能见表 3，涂层耐化学品性能见表 4，涂层耐溶剂性见表 5。

表 2 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂料的性能

项目	单层熔结环氧粉末	三层 PE 熔结环氧粉末	检验标准
密度, g/cm ³	1.3~1.5, 因颜色不同而略有差异	1.3~1.5, 因颜色不同而略有差异	GB/T4472-84
不挥发物含量	99.4%	99.4%	GB6554-86
平均粒度及粒度分布	50~100 > 150μm 的粒子不大于 3.0%; > 250μm 的粒子不大于 0.2%, 可按用户要求调整	40~60 > 150μm 的粒子不大于 3.0%; > 250μm 的粒子不大于 0.2%, 可按用户要求调整	GB6554-86
磁性物质含量	< 0.002%	—	GB/T2482-86
胶化时间, s	90 (180) ; 30(230) ;	12 (200) ;	GB6554-86
固化条件	180 /5min, 230 /1.5min	200 /3 min	
覆盖率 m ² /kg/mm	0.6~0.8	0.6~0.8	

表 3 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂层的物理性能



项目	单层熔结环氧粉末	三层 PE 熔结环氧粉末	检验标准
外观	平整光滑、允许轻微桔皮	—	
光泽	—	—	
厚度, μm	350 ± 50	80	
抗冲击	1.5J 无针孔(- 30 ± 3)	—	SY/T0315-97
抗弯曲	3°弯曲无裂纹(- 30 ± 3)	—	SY/T0315-97
附着力	(撬剥法)1~3 级	(撬剥法) 2 级	SY/T0315-97
阴极剥离, mm	8(24h 或 48h)、 10(28d)	8(65 , 48h)	SY/T0315-97
电气强度, MV/m	30	—	GB/T1408-89
体积电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$	1.0×10^{13}	—	GB/T1410-89
耐磨性	3 L/ μm (落砂法)	—	SY/T0315-97
盐雾试验	—	—	
断面孔隙率	1~4 级	—	SY/T0315-97
粘结面孔隙率	1~4 级	—	SY/T0315-97
抗划伤划伤深度, μm	—	—	

表 4 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂层的耐化学品性能

项目	单层熔结环氧粉末	三层 PE 熔结环氧粉末
10% H_2O_4 浸泡	90d 无变化	—
10%HCl 浸泡	90d 无变化	—
10%NaOH 浸泡	90d 无变化	—
10%NaCl 浸泡	90d 无变化	—

表 5 单层、三层 PE 熔结环氧粉末涂层的耐溶剂性能

项目	单层熔结环氧粉末	三层 PE 熔结环氧粉末
油田污水浸泡	—	—
污水浸泡	常温 90d 无变化	—
原油浸泡	80 90d 无变化	80 90 天无变化
汽油浸泡	常温 90d 无变化	—
柴油浸泡	常温 90d 无变化	—
煤油浸泡	常温 90d 无变化	—

3.5 重防腐熔结环氧粉末涂料的施工及应用

熔结环氧粉末涂料的涂敷方法主要有：静电喷涂法、热喷涂法、抽吸法、流化床法等。管道内涂敷一般采用静电喷涂法，异型件一般采用流化床法或静电喷涂法。这几种涂装方法都有一个共同特点，即涂装之前需要将工件预热至规定温度，使粉末一旦接触工件即熔化，工件余热应该能使涂层流动，并在规定时间内固化，最后用水冷却终止固化过程。

3.5.1 单层重防腐环氧粉末涂料结构及涂装工艺

涂装工艺及涂层结构见图 1 和图 2。



- 涂敷方法：高压静电喷涂、摩擦静电喷涂、流化床涂敷、静电流化床涂敷。
- 涂膜厚度：普通级 300~400 μm ，加强级 500~700 μm
- 表面处理：(1) 高温速烧，除去表面的油、锈和其它疏松积淀物、水分等。(2) 喷砂或喷丸处理至 Sa2.5 级，锚纹深度 40~100 μm 。(3) 清理管壁表面，除尘至近白级。
- 工件预热：一般控制在 220~240 范围内，不得超过 260（防止氧化）。
- 将 Amanda FBE 粉末涂料喷涂于工件表面至要求厚度。
- 按固化要求进行固化。固化温度 230，固化时间：快型 30s；慢型 60s；标准型 120s。
- 涂层冷却。
- 工件降温至 90 以下进行表面检验。

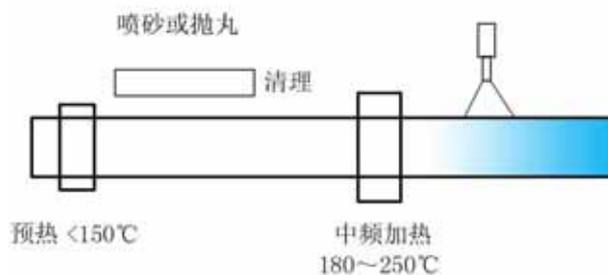


图 1 单层重防腐环氧粉末涂装工艺

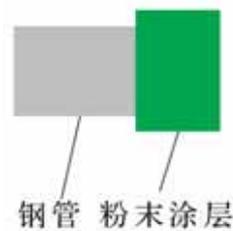


图 2 单层重防腐环氧粉末涂层结构

3.5.2 三层防腐结构及工艺

(1) 三层防腐结构组成包括熔结环氧粉末底层、聚合物胶粘剂中间层和聚乙烯面层(如图 3 所示)。其中环氧粉末底层的作用是形成连续的涂膜，与钢管表面粘结、固化而提供良好的附着力，并具有很好的耐化学品性和抗阴极剥离能力；聚合物胶粘剂的作用是在环氧粉末涂料胶化之前与之融合，并与外层的聚乙烯粘结，使三层成为一个整体，最外层一般选用中高密度聚乙烯（国外有的使用聚丙烯）。这种三层防腐结构综合了环氧粉末的附着性、防腐性与聚乙烯层的耐候性、抗机械损伤性，弥补了各自的缺点，从而大大提高了涂层的使用寿命。它是目前我国大型管道工程上首选的涂层结构。PE 三层结构防腐层从 1995 年在库鄯线、陕京线应用以来，用户反映是国内所用过的最好的覆盖层。“西气东输”工程经专家论证后确定采用 PE 三层结构。PE 三层结构防腐层造价相对较高。

图 3 三层防腐结构示意图



图三层防腐结构示意图

(2) 施工工艺：主要工序（见图 4）为：前处理与熔结环氧单涂层相同；用静电喷涂法将熔结环氧粉末均匀涂敷在钢管表面，涂层厚度 60~150 μm ；在胶化过程中将胶粘剂涂于粉末层表面；将挤出



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co. Ltd

的粘流态聚乙烯带侧向缠绕于胶粘剂之上，并辊压使之与胶层牢固结合，从而使三层成为一个整体（如图所示）。工艺条件控制为：工件预热 180~220 范围内；将热熔胶在近似熔点温度时缠绕施工于环氧粉末涂层之上，最小厚度 200 μ m；将聚乙烯表层在其熔点温度（约 240 ）时挤出、缠绕施工于中间胶层之上，并用压辊将三层压实，防止造成层间气泡；涂层冷却。

4 结束语

西部原油、成品油管道工程采用单层重防腐环氧粉末涂料及以重防腐环氧粉末涂料作为底层的三层防腐结构防腐涂层，事实证明对管道的防护是正确、科学的。这些管道腐蚀与防护对策都凝结了生产厂家、研究部门、设计部门、监理部门集体的结晶，我们有理由相信通过合理选择，正确使用，严格把关，合理施工会有一个满意的答卷，重防腐粉末涂料也将会越来越受到人们的重视，其市场应用前景将会愈来愈广阔。

图 4 三层防腐结构施工工艺

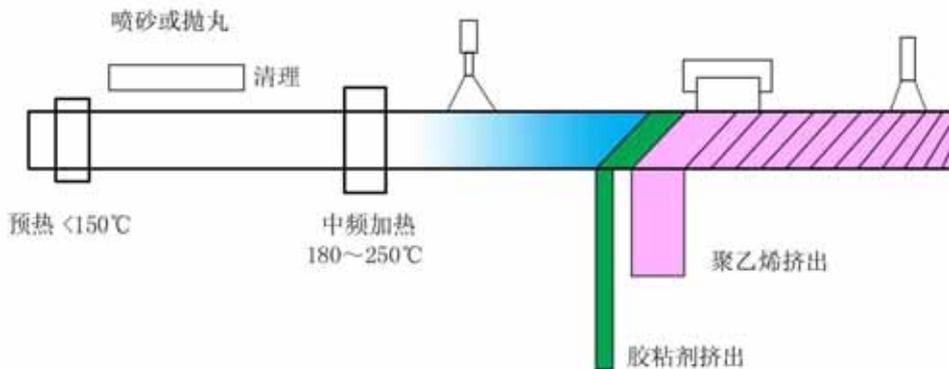


图 2 三层防腐结构施工示意图

参考文献：

- [1]陈振发，周师岳，《粉末涂料涂装工艺学》，上海科学技术文献出版社：2000
- [2]叶杨祥，潘肇基，《涂装技术实用手册》，机械工业出版社：1998
- [3]毕学振，粉末涂料在西气东输工程上的应用，粉末涂料与涂装，2002（12）
- [4]谭竹洲，《涂料工艺学》，化学工业出版社：1997
- [5]刘国杰，《现代涂料与涂装技术》，中国轻工业出版社：2002
- [6]SY/T0413-2002，埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准
- [7]SY/T0315-97，钢质管道熔结环氧粉末外涂层技术标准

作者简介

吴希革（1966）男，大庆开发区庆鲁精细化工有限公司 总工程师 主要从事合成树脂、高分子材料、热熔胶及涂料的研究 黑龙江大庆 163316

电话：13351857286 0459—6287286

E-mail:qlamanda@163.com