

双层熔结粉末涂料的制备及其在天然气管道上的涂装应用

卫 龙, 杨鹏刚, 李 斌, 吴晒云, 任兵兵
(陕西宝塔山信誉科技有限公司, 陕西 兴平 713100)

摘要: 采用环氧粉末涂料作为底涂层, 聚酯粉末涂料作为面涂层, 研究双层熔结粉末在天然气管道上分别喷涂后一次成膜的性能。底涂层以自制的熔结环氧粉末为主要成膜物, 面涂层以聚酯为主要成膜物, 探讨了聚酯粉末配方组成、胶化时间、固化时间等的影响因素及双涂层施工工艺对性能的影响。制备了既具有防腐性能又具有较高耐候性能的天然气管道用复合涂层, 解决了长期以来城市天然气管道仅用熔结环氧粉末涂装时存在的耐候性问题。

关键词: 天然气管道; 熔结环氧粉末; 聚酯粉末; 快速固化; 防腐; 耐候; 涂装应用

中图分类号: TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2024)10-0023-04

Preparation of Double Layer Fused Powder Coating and Its Application on the Natural Gas Pipeline

WEI Long, YANG Peng-gang, LI Bin, WU Shai-yun, REN Bing-bing
(Shaanxi Baotashan Credit Technology Co., Ltd., Xingping 713100, Shaanxi, china)

Abstract: The epoxy powder coating was used as the bottom coating, and the polyester powder coating was used as the surface coating to study the performance of the double layer fusion powder after spraying on the natural gas pipeline. The bottom coating uses self-made fused epoxy powder as the main film-forming material, and the surface coating is mainly made of polyester. The influence factors of the polyester powder formula composition, gelation time and curing time of the polyester powder and the influence of the double coating construction process on the performance were discussed. A composite coating for natural gas pipelines with both corrosion resistance and high weather resistance was prepared, which solved the weather resistance problem of urban natural gas pipelines only coated with fused epoxy powder for a long time.

Key words: natural gas pipeline; melting epoxy powder; polyester powder; fast curing; anticorrosion; weather resistance; coating application

0 引言

由于粉末涂料利用率高、环保高效等特点, 自传入我国以来, 取得了快速发展, 具有极好防腐性能的熔结环氧粉末也逐渐成为石油天然气管道的主要涂装材料之一^[1-5]。虽然熔结环氧粉末防腐性能极好, 但由于环氧树脂的苯环结构, 其涂装的架空管道容易出现变色、

粉化、脆裂等问题, 既影响了装饰性又增加了后期维护成本。

基于此, 既能保留环氧树脂的防腐性能又能解决其耐候性成了行业的发展方向。聚酯粉末涂料虽然防腐性和耐化学性能不如环氧粉末涂料, 但其具有耐候性好、装饰性佳等优点, 为此, 行业内开展了双涂层方案的研究。侯海涛等^[6]以及济南迈科管道科技有限公司均尝试了采用环氧粉末作为底涂层、聚酯粉末作为面涂层的双涂层方案。底涂层采用环氧树脂和双氰胺固化剂作为主要成膜物, 面涂层采用聚酯树脂为主要

收稿日期: 2024-04-18

作者简介: 卫龙(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事涂料用高分子树脂合成及涂料研究工作。e-mail: weilongsust@163.com。

成膜物,通过研究环氧树脂、附着力促进剂、聚酯树脂、产品粒径,胶化时间等方面的影响因素,制备了能够满足天然气管道客户对防腐、耐候高要求的双涂层粉末。济南迈科管道科技有限公司采用环氧粉末为底涂层、聚酯粉末为面涂层生产出了双层熔结粉末涂塑钢管,在实现燃气管道长效防腐的同时降低了燃气公司的后期维护成本。

本文选用以环氧树脂和酚类固化剂为主要成膜物的熔结环氧粉末作为底涂层,通过探讨底涂层胶化时间、聚酯涂层配方影响因素、施工工艺等对双涂层性能的影响,制备了一种具有较好耐候性的快速固化聚酯粉末,最终得到了既有长效防腐性能又有优异耐候性的双层熔结粉末涂料。

1 试验部分

1.1 主要原材料

环氧底粉,自制;钛白粉(R960):杜邦;碳黑(MA-100):三菱;有机黄(H4G):科莱恩;沉淀硫酸钡:陕西富化;硅灰石:滁州格锐矿业;聚酯树脂(ZW016702P、P3226):帝斯曼;聚酯树脂(ALBESTER5070):昕特玛;固化剂(TGIC):牛塘;固化促进剂(SM700),思迈尔;消泡剂(SW5060),思迈尔;流平剂(T-988A)、增光剂(BLC701B)、安息香:南海化学;以上均为工业级。

1.2 试验设备及仪器

双螺杆挤出机 GSJ-30EF:烟台万亨智能设备有限公司;多功能粉碎机 1000C:东莞市房太电器有限公司;高压静电喷枪 JG-2000:西安精石工科技发展有限公司;电热鼓风干燥箱 DHG-9070A:上海一恒科学仪器有限公司;胶化时间测定仪 GT-150 型:四川科仪诚科技有限公司;盐雾试验箱 BGD881/S、漆膜磨耗仪 BGD523、氙灯老化试验箱 BGD860:标格达精密仪器(广州)有限公司;耐阴极剥离试验机 DK-YJ70:德卡;低温冷冻试验仪 KRY-475:无锡冠亚恒温制冷技术有限公司;冲击试验机 QJL:天津精科材料试验机厂;高低温试验箱 ZB408:江苏正瑞泰邦电子科技有限公司;数显拉拔仪 F506:英国易高。

1.3 双层粉末涂料配方

双层粉末涂料配方见表 1~2 所列。

1.4 粉末涂料制备工艺

按配方准确称取各组分,用高速混料机混合均匀,双螺杆挤出机挤出压片,冷却后用多功能粉碎机 1000C 粉碎,过 140 目标准筛后,制得粉末涂料。将基材或工件在电热鼓风干燥箱中预热至 180~240 ℃,然后将环氧底粉采用高压静电喷涂后,静置 5 s 趁热喷涂聚酯面粉,经过 2 min 后冲水冷却至室温,于恒温放置 24 h 后进行涂层性能测试。控制环氧底层膜厚 \geq

150 μm ,聚酯面层膜厚 \geq 150 μm 。

表 1 环氧粉末基础配方

原料名称	质量分数/%
环氧树脂	50~65
环氧固化剂	10~15.6
增光剂	0.8~1.0
安息香	0.3~0.5
消泡剂	0.3~1.0
流平剂	1.0~1.5
颜填料	37.6~15.4

表 2 聚酯粉末基础配方

原料名称	质量分数/%
聚酯树脂	50~65
TGIC	3.76~4.90
增光剂	0.8~1.0
安息香	0.3~0.5
消泡剂	0.3~1.0
流平剂	1.0~1.5
颜填料	43.84~25.10
固化促进剂	0~1.0

1.5 测试与表征

按照 GB/T 37594—2019 表 2、表 4、表 5 进行各项性能测试。

2 结果与讨论

2.1 环氧底粉的选择

环氧粉末具有优秀的附着力和抗阴极剥离能力,非常适合作为底涂层使用或作为无耐候要求的面涂层使用。粉末涂料中,环氧涂层常用固化剂为酚类固化剂、胺类固化剂、咪唑类固化剂等,在管道重防腐环氧粉末涂料中,酚类固化剂应用最为广泛^[1-4],因此选用以环氧树脂与酚类固化剂的体系作为底粉。选用符合 GB/T 37594—2019 表 2 性能但胶化时间有所差异的环氧粉末进行测试,试验底粉胶化时间对配套涂层的影响,不同环氧底粉胶化时间见表 3 所列。

表 3 不同底粉的胶化时间及涂层外观

项目	环氧底粉 A	环氧底粉 B	环氧底粉 C
胶化时间(200 ℃)/s	12~15	18~22	26~30
涂层外观	轻微橘皮	流平好	流平好

2.2 聚酯面粉的选择

粉末面涂层主要提供耐候性、装饰性。常规聚酯

粉末涂料一般 200 °C/10 min 固化，双层熔结粉末由于是在管材的余热下进行固化的，因此必须采用快速固化的方式，一般要求 200 °C/3 min 内必须完全固化。

粉末涂料聚酯树脂以 HAA 为固化剂时，由于反应过程中有水生成，涂膜表面容易产生针孔等缺陷，而以 TGIC 为固化剂时，则无此问题，因此，选用 TGIC 固化聚酯进行试验，按表 2 配方制备粉末涂料，测试粉末涂料的胶化时间及 200 °C/2 min 固化后涂层外观、耐冲击性、光泽、孔隙率等，结果见表 4 所列。ZW016702P 为高酸值聚酯，与 TGIC 按 90:10 质量比进行固化，酸值高胶化速度快，断面孔隙率高，流平性与耐冲击性均较差。P3226 与 TGIC 按 93:7 质量比固化，胶化时间长固化速度慢，断面孔隙率低，虽然流平性好，但固化不良导致涂层耐冲击性欠佳，ALBESTER5070 为超低温固化聚酯，与 TGIC 按质量比 93:7 固化，胶化时间短，固化速度快，断面孔隙率适中但流平性欠佳。

表 4 聚酯树脂的性能对比

项目	ZW016702P	P3226	ALBESTER5070
胶化时间(200 °C)/s	11~13	50~55	10~13
涂层外观	橘纹严重	流平性佳	橘纹严重
耐冲击性(50 cm)	不通过	不通过	通过
光泽(60°)/%	65	96	94
断面孔隙率/级	5	1	2

采用 ZW016702P 与 P3226 复拼、ALBESTER5070 与 P3226 复拼继续试验，结果见表 5~6 所列。

由表 5~6 可知： $w(\text{ALBESTER5070}):w(\text{P3226})=1:1$ 、 $w(\text{ALBESTER5070}):w(\text{P3226})=1:2$ 时，各项性能基本符合预期。将 $w(\text{ALBESTER5070}):w(\text{P3226})=1:1$ 时的聚酯面层命名为聚酯面粉 A，将 $w(\text{ALBESTER5070}):w(\text{P3226})=1:2$ 时的聚酯面层命名为聚酯面粉 B 进行后续测试。

表 5 聚酯 ZW016702P 与聚酯 P3226 复配的固化效果

项目	$w(\text{ZW016702P}):w(\text{P3226})$				
	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3
胶化时间(200 °C)/s	10~13	12~15	14~17	16~20	23~26
涂层外观	橘纹严重	橘纹严重	橘纹严重	流平性佳	流平性佳
耐冲击性(50 cm)	不通过	不通过	通过	通过	不通过
光泽(60°)/%	45	54	47	46	53
断面孔隙率/级	4	4	3	3	3

表 6 聚酯 ALBESTER5070 与聚酯 P3226 复配的固化效果

项目	$w(\text{ALBESTER5070}):w(\text{P3226})$						
	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4
胶化时间(200 °C)/s	11~13	12~15	12~16	14~17	15~20	18~23	24~30
涂层外观	橘纹严重	橘纹严重	橘纹严重	轻微橘纹	流平好	流平好	流平好
耐冲击性(50 cm)	通过	通过	通过	通过	通过	不通过	不通过
光泽(60°)/%	89	90	92	90	93	91	95
断面孔隙率/级	3	3	2	2	1	1	1

2.3 胶化时间对双涂层性能的影响

对于双层熔结粉末胶化时间过短不利于流平，胶化时间过长则涂层无法在管件余热完成固化。试验环氧底粉 A、环氧底粉 B、环氧底粉 C 与聚酯面粉 A、聚酯面粉 B 配套时涂层的外观及性能，结果见表 7 所列。

表 7 环氧底粉与聚酯面粉的配套试验

项目	聚酯面粉 A			聚酯面粉 B		
	环氧底粉 A	环氧底粉 B	环氧底粉 C	环氧底粉 A	环氧底粉 B	环氧底粉 C
涂层外观	明显橘纹	轻微橘纹	流平性佳	轻微橘纹	流平性佳	流平性佳
耐冲击性(3 J 无漏点)	通过	通过	不通过	通过	通过	不通过
附着力(拉开法)/MPa	15	23	6	21	27	4

由表 7 可知，相比底粉，聚酯面粉的胶化时间对双涂层流平性影响更大，另外底粉胶化时间过长或过短均会影响涂层附着力，胶化时间(200 °C)18~22 s 的环氧底粉 B 与胶化时间(200 °C)15~20 s 的聚酯面粉 B 配套性最佳。

2.4 基材温度对涂层性能的影响

熔结粉末一般采用热喷涂方式进行涂装，粉末在基材余热的作用下进行固化。底材预热温度对涂层性能的影响见表 8 所列。

表 8 基材温度对双涂层的影响

项目	基材预热温度/°C			
	180	200	220	240
涂膜外观	流平好	流平好	轻微橘皮	严重橘皮
耐冲击性(3 J 无漏点)	不通过	通过	通过	通过
粘结界孔隙率/级	1	1	1	3
底层断面孔隙率/级	1	1	2	4
面层断面孔隙率/级	1	1	2	3

由表 8 可知,底材预热温度较低不利于粉末固化,预热温度过高涂层流平较差且粘结面孔隙率及涂层断面空隙率明显提高,预热温度 200~220 °C 时涂层固化、流平效果及孔隙率均相对较好。

2.5 喷涂间隔时间对涂层性能的影响

在 200 °C 下试验喷涂间隔时间对涂层性能的影响,结果见表 9 所列。

由表 9 可知,底粉喷涂后 18 s 以内喷涂聚酯面粉则双涂层性能较好。底粉喷涂后间隔时间过长可能由于基材没有足够余热使面粉固化或底粉胶化后处于半固化状态影响面粉附着性而导致双涂层抗冲击性能和附着力出现下降。

表 9 喷涂间隔时间对双涂层的影响

项目	底粉喷涂后停留时间/s							
	0	3	8	13	18	23	28	33
涂膜外观	流平好	流平好	流平好	流平好	流平好	流平好	流平好	流平好
耐冲击性(3 J 无漏点)	通过	通过	通过	通过	通过	通过	通过	不通过
附着力(拉开法)/MPa	25	28	27	27	22	15	16	6
底层断面孔隙率/级	2	1	1	1	1	1	1	1
面层断面孔隙率/级	2	1	1	1	1	1	1	1

2.6 防腐涂层的性能测试

按照 GB/T 37594—2019《钢制管道抗紫外线三层熔结粉末防腐外涂层技术规范》表 5 相关要求对所制

备的双层熔结粉末涂料进行性能测试,结果见表 10。

由表 10 可知,所制备的双层熔结粉末防腐涂层的性能可达到抗紫外线三层熔结粉末的相关技术要求。

表 10 防腐涂层的性能

试验项目	指标	测试结果	试验方法
外观	平整、色泽均匀、无弊病、允许轻度橘皮	通过	目视
电火花检漏	5 V/ μm 无漏点	通过	SY/T 0063
断面孔隙率/级	1~4	1	SY/T 0315
粘结面孔隙率/级	1~4	2	SY/T 0315
附着力(24 h)/级	1	1	SY/T 0315
附着力(28 d)/级	1~3	2	SY/T 0315
压扁试验	无裂纹无漏点	通过	GB/T 37594 附录 A
抗冲击性	3 J 无漏点	通过	SY/T 0315
铅笔硬度	$\geq\text{H}$	H	GB/T 6739
热特性	$ \Delta T_g \leq 5\text{ }^\circ\text{C}$	3.6	SY/T 0315
热特性	固化百分率 $\geq 95\%$	97.3	SY/T 0315
耐阴极剥离(65 °C, 48 h, 1.5 V)/mm	≤ 6.5	4.3	SY/T 0315
盐雾试验	1 000 h 无起泡、生锈、开裂、剥落等异常现象	1 200 h 无起泡、生锈、开裂、剥落等异常现象	GB/T 1771
耐人工加速老化	1 200 h, 变色 ≤ 2 级, 失光 ≤ 2 级, 无粉化、起泡、开裂、剥落等异常现象	合格, $\Delta E=4.82$, 失光 26.4%	SY/T 0315
耐化学腐蚀	90 d	通过	SY/T 0315

3 结语

采用低温固化聚酯制备了可快速固化的熔结聚酯粉末,通过与环氧底粉的搭配测试确定了双层粉末涂料配方;通过测试胶化时间、基材温度、时间间隔等因素对涂层的影响,确定了双层熔结粉末的施工参数;所

制备的双层熔结粉末具有优良的防腐性能和耐候性能,涂层性能可以达到 GB/T 37594—2019《钢制管道抗紫外线三层熔结粉末防腐外涂层技术规范》表 5 防腐涂层的性能要求,可以满足石油天然气管道客户的高标准要求。(下转第 62 页)