

# 不同类型改性胺类固化剂对环氧涂层性能的影响

牛宏, 陈辉辉, 姚改宁, 杜愈拓, 董天宁, 狄正文, 王雷  
(西北永新涂料有限公司, 兰州 730046)

**摘要:** 固化剂对环氧树脂固化产物性能有很大影响, 选用不同类型的改性胺类固化剂, 通过测定涂层干燥速度、机械性能及防腐性能, 对比分析改性胺类固化剂与传统胺类固化剂对环氧涂层的性能影响, 以及不同类型改性固化剂对环氧涂层性能影响之间的差异。结果表明: 相比于传统胺类固化剂, 使用改性胺类固化剂涂层干燥速度加倍, 初期硬度从 H 提升到 5H; 不同类型的改性胺类固化剂之间存在明显差异, 改性聚酰胺固化剂耐盐雾性好, 1 872~2 400 h 涂层划痕破坏处单向扩蚀 < 2 mm; 改性酚醛胺固化剂涂层干燥性能(表干 0.5 h, 实干 4 h)和初期硬度好(5H); 改性脂肪胺固化剂涂层耐化学品性好, 在 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中浸泡 30 d 漆膜正常。

**关键词:** 环氧树脂; 防腐; 耐盐雾性; 改性固化剂

**中图分类号:** TQ635      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1007-9548(2025)08-0013-04

## Effect of Different Types of Modified Amine Curing Agents on the Performance of Epoxy Coatings

NIU Hong, CHEN Hui-hui, YAO Gai-ning, DU Yu-tuo, DONG Tian-ning, DI Zheng-wen, WANG Lei  
(Northwest Yongxin Coatings Co., Ltd., Lanzhou 730046, China)

**Abstract:** Curing agent has a great influence on the performance of epoxy resin curing products, different types of modified amine curing agents were selected, and the effects of modified amine curing agents and traditional amine curing agents on the performance of epoxy coatings were compared and analyzed by measuring the drying speed, mechanical properties and anti-corrosion properties of the coating. The effects of modified amine curing agents and traditional amine curing agents on the performance of epoxy coatings were compared and analyzed, and the differences between the effects of different types of modified curing agents on the performance of epoxy coatings were analyzed. The results show that: compared with the traditional amine curing agent, the drying speed of the modified amine curing agent is doubled, and the initial hardness is increased from H to 5H; There are obvious differences between different types of modified amine curing agents, and the modified polyamide curing agent has good salt spray resistance, and the one-way erosion of the scratch damage of the 1 872 h~2 400 h coating is < 2 mm; The drying performance (surface drying 0.5 h, solid action 4 h) and initial hardness (5H) of the modified phenalkamine curing agent coating are good, and the chemical resistance of the modified fatty amine curing agent coating is good, and the paint film is normal after soaking in 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution for 30 days.

**Key words:** epoxy resin; antisepsis; salt spray resistance; modified curing agent

收稿日期: 2024-09-02

基金项目: 甘肃省重点研发计划-工业类项目资助, 资助号 25YFG A068。

作者简介: 牛宏(1983—), 男, 本科, 工程师, 主要从事企业管理、防腐涂料研发和推广工作。E-mail: niuhong@lanquan.com。

## 0 引言

环氧树脂作为一种典型的热固性树脂, 由于韧性好、热稳定性好、固化收缩率低、力学性能优异等优点, 被广泛应用于涂料、电子电器材料、地下管道设施等工业领域。其中, 环氧树脂涂料凭借其优异的防腐性能、

抗渗性能以及与多种基材的高附着力,在风力发电、机械车辆、石油管道、建筑工程等各个领域金属防腐中发挥着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。

环氧树脂本身相当稳定,没有固化剂时,在加热的条件下也不会聚合固化,因此环氧树脂涂料必须与合适的固化剂搭配反应,转化为三维交联聚合物,才能在不同环境中应用。环氧树脂涂料固化产物的性能主要取决于环氧树脂的类型和固化剂种类,固化动力学和固化特征温度由固化剂的结构与性质决定<sup>[2]</sup>。根据固化剂的化学构成可将其分为胺类、碱类、酸酐类和催化类固化剂。胺类固化剂作为最重要的一类环氧固化剂,黏度低、与环氧树脂互溶性好,同时与环氧树脂的反应活性较低,故适用期较长,施工方便<sup>[3-5]</sup>。

使用传统胺类固化剂,环氧树脂固化时交联密度高,界面表面能高且内应力大,会导致其韧性较差,抗裂性较低等问题<sup>[6]</sup>。固化剂改性成了人们研究的热点,例如环氧固化剂使用苯环改性后环氧树脂体系的耐热性会大幅度提升;环氧固化剂经丙烯酸酯改性后环氧涂层的抗老化性和韧性将有所提高<sup>[7]</sup>。随着工业的快速发展,以及对环氧涂料性能提出更新更高更精的要求,越来越多的改性固化剂不断涌现。目前,环氧树脂底漆使用的改性胺类固化剂主要有酚醛胺固化剂、聚酰胺固化剂、脂肪胺固化剂等<sup>[8-10]</sup>。本文结合目前市场,探究几种不同类型改性胺类固化剂与传统胺类固化剂对环氧树脂底漆涂层性能的影响,主要研究环氧树脂底漆涂层的干燥性能及不同湿热环境下的防腐性能。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原材料

DO200 聚酰胺固化剂(对比样)、改性酚醛胺环氧固化剂 2777(A),山东圣泉新材料股份有限公司;改性酚醛胺环氧固化剂 CX-105X(B)、改性聚酰胺环氧固化剂 3014(C),上海君江科技有限公司;改性聚酰胺环氧固化剂 wit169(D),上海欧盛化工有限公司;改性脂肪胺环氧固化剂 2636(E),赢创特种化学有限公司;改性脂肪胺环氧固化剂 1009(F),苏州亨思特实业有限公司;E20 环氧树脂,江苏三木化工有限公司;分散剂 AT204,毕克化学;超磷锌白,河南瑞石新材料有限公司;防沉剂 3300S:济南拜文新材料有限公司;二甲苯;有机溶剂型环氧稀释剂。以上原材料均为工业级。

### 1.2 主要仪器和设备

BY970/120B 盐雾试验箱,四川思创倍科科技有限公司;QGS 型漆膜干燥时间试验器、涂膜铅笔划痕硬度仪 QHQ,天津市材料试验机厂;TQT-1 型漆膜弹性测定仪,天津市第三材料试验机厂;电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;Qi79-3Ki 型漆膜冲击

器,广州梧州市化工仪器厂;W-71 喷漆枪、BGD750 搅拌砂磨分散多用机,标格达精密仪器(广州)有限公司。

### 1.3 环氧涂料的制备

#### 1.3.1 浆料制备

本试验使用环氧树脂底漆,漆组分配方见表 1。

表 1 环氧防腐涂料基本配方

原材料	质量分数/%
环氧树脂	23~33
分散剂	0.2~1.0
超磷锌白	10~15
填料	42~52
防沉剂	3~5
二甲苯	4~6

在清洗干净的反应釜中,使用托盘天平依次称取表 1 中环氧树脂、分散剂、溶剂,将搅拌砂磨分散多用机转速调到 700~900 r/min,逐次加入,搅拌 15 min 左右,称取防锈颜料和填料在 700~900 r/min 转速下逐次加入,提速至 1 200 r/min 搅拌 30 min 至均匀,再加入防沉剂搅拌 15 min,控制分散温度不超过 60 ℃,最后用 80 目丝绢过滤即可得到漆组分。

#### 1.3.2 环氧涂料产品制备

由于不同种类固化剂的活泼氢当量不同,即与漆组分的配比不同,环氧树脂涂料漆组分与固化剂配比计算公式为: $m(\text{漆组分}):m(\text{固化剂})=100:X$ 。

根据公式可得出不同种类固化剂与漆组分的配比,见表 2。

表 2 环氧树脂涂料漆组分与固化剂配比

固化剂	活泼氢当量	$m(\text{漆组分}):m(\text{固化剂})$
对比样	198	11.3:1
A	190	11.8:1
B	142	11.8:1
C	190	11.8:1
D	200	10.1:1
E	78	26.0:1
F	95	23.6:1

将制备的漆组分分别与对比样 DO200 聚酰胺固化剂,改性酚醛胺固化剂 A、B,改性聚酰胺固化剂 C、D,改性脂肪胺固化剂 E、F 按上述计算的理论配比称取,用玻璃棒搅拌均匀,即可得到环氧涂料产品,熟化 15 min 后过滤备用。

#### 1.3.3 涂层制备

基材:根据 HG/T 4566—2013《环氧树脂底漆》,环氧涂层试验均使用金属基材,弯曲试验、耐冲击性、划

格基板为 120 mm×50 mm×(0.2~0.3) mm 的马口铁板,耐盐水、耐盐雾性基板为 150 mm×70 mm×(0.45~0.55) mm 的冷轧钢板。基材在使用前需要依次用 800、1 200、2 000 目砂纸进行打磨抛光,除去表面的氧化层及锈点,再用乙醇等有机溶剂清洗掉油污,自然风干。

制板:前期得到的环氧涂料产品,添加 15%~20% 环氧稀释剂兑稀至喷涂黏度,使用 W-71 喷漆枪,根据 GB/T 1721—2021《漆膜一般制备法》的规定喷涂各性能板至 HG/T 4566—2013《环氧树脂底漆》规定的厚度,恒温(25 ℃)恒湿(相对湿度 50%)条件下养护。

#### 1.4 性能测试

不同胺类固化剂与环氧树脂搭配所得涂层的性能相差较大,本试验的 E20 环氧树脂分别与所选用的改性类固化剂按环氧当量与活泼氢当量比 1:1 搭配使用,考察涂层性能。

涂层的干膜厚度均按 GB/T 13452.2—2008 测试;涂层机械性能检测项目弯曲试验、耐冲击性、划格试验、附着力测试的涂层的干膜厚度均为(25±3) μm,根据 HG/T 4566—2013 的要求进行性能检测;耐盐水性、耐酸性、耐碱性干膜厚度均为(90±10) μm,按 GB/T 9274—1998 甲法进行;耐盐雾性能试验按 GB/T 1771—2007 进行,样板按 GB/T 1766—2008 评级;耐湿热性试验按 GB/T 1740—2007 进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 涂层的机械性能测试

不同固化剂所得涂层机械性能检测结果见表 3。

表 3 不同固化剂所得涂层机械性能检测结果

项目	对比样	样 A	样 B	样 C	样 D	样 E	样 F
附着力/级	1	1	1	1	1	1	1
柔韧性/mm	1	1	1	1	1	1	1
耐冲击性/cm	50	50	50	50	50	50	50
划格试验/级	1	1	1	1	1	1	1
初期硬度	H	5H	5H	4H	3H	2H	2H
表干时间/h	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
实干时间/h	8	4	4	5	5	4.5	4.5

由表 3 可知,环氧树脂底漆与传统聚酰胺固化剂,或者不同的改性类固化剂按理论配比搭配使用,涂层柔韧性、耐冲击性、硬度能达到最佳标准,且涂层与基材的附着力良好,均能达到 HG/T 4566—2013 的要求。机械性能差异主要体现在涂层干燥时间及涂层硬度两方面,固化剂 A、B 的干燥速度较快,初期硬度较高。

### 2.2 涂层耐介质性能测试

不同固化剂所得涂层耐介质性能检测结果见

表 4。

表 4 不同固化剂所得涂层耐介质性能检测结果

编号	耐盐水性 (5%NaCl)	耐酸性 (10%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	耐碱性 (10%NaOH)
对比样	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	7 d 起泡	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 A	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	20 d 起泡, 轻微变色	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 B	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	22 d 起泡	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 C	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	15 d 起泡	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 D	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	16 d 起泡	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 E	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂
样 F	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	30 d 涂层不起泡、 不剥落、不锈斑、 不开裂	30 d 涂层不起 泡、不剥落、 不锈斑、不开裂

环氧涂料与不同的固化剂搭配使用,试样涂层在 10%NaOH 溶液和 5%NaCl 中浸泡 30 d 漆膜均不起泡、不起皱,且无明显差异。耐酸性较差是环氧树脂涂料的通病,固化剂 A、B 制备的漆膜干燥速度快,固化强度高,交联度较好,在 10%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中浸泡 20 d 后涂层被破坏;固化剂 C、D 制备的漆膜在 10%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中浸泡 15 d 后涂层就起泡;固化剂 E、F 制备的漆膜固化强度高,交联度高,在 10%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中浸泡 30 d 漆膜正常。综合比较,改性脂肪胺固化剂与环氧树脂搭配使用时耐化学性好。

### 2.3 涂层耐盐雾性能测试

不同固化剂所得涂层耐盐雾性能检测结果见表 5 所列。

由表 5 可知,环氧树脂与不同胺固化剂搭配使用时,固化剂 A、B 所得涂层耐盐雾性在 1 000 h 时划痕破坏处单向扩蚀>2 mm;固化剂 C、D 所得涂层耐盐雾性达到 1 872~2 400 h 涂层划痕破坏处单向扩蚀<2 mm;固化剂 E、F 所得涂层耐盐雾性能<1 000 h。即涂层耐盐雾性由大到小依次为:改性聚酰胺固化剂>改性酚醛胺固化剂>改性脂肪胺固化剂。

### 2.4 涂层连续冷凝试验

不同固化剂所得涂层连续冷凝试验结果见表6。  
由表6可知,涂层按 GB/T 1740—2007 进行连续

冷凝试验 6 120 h 后,涂层均正常,无起泡、生锈、剥落、开裂,环氧涂料与固化剂固化反应后,固化产物致密性良好,对水能达到很好的屏蔽效果。

表5 不同固化剂所得涂层耐盐雾性能检测结果

编号	试验时间/h	未划痕区破坏结果等级				划痕区破坏结果等级
		起泡	生锈	剥落	开裂	
对比样	816	未起泡 0(S0)	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	816 h 划痕线单向扩蚀>2 mm(局部锈蚀约 5 mm)
样 A	1 000	未起泡 0(S0)	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	1 000 h 划痕线单向扩蚀>2 mm(局部锈蚀约 5 mm)
样 B	1 000	未起泡 0(S0)	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	1 000 h 划痕线单向扩蚀>2 mm(局部锈蚀 3~4 mm), 1 000 h 退出试验
样 C	1 872	1(S4)级	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	1 801~1 872 h 划痕线单向扩蚀<2 mm,1 872 h 退出试验
样 D	2 400	1(S4)级	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	0~2 472 h 划痕线单向扩蚀<2 mm,2 472 h 退出试验
样 E	848	3(S4)级	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	0~848 h 划痕线单向扩蚀<2 mm,648 h 退出试验
样 F	936	1(S4)级	未生锈 0(S0)	未剥落 0(S0)	未开裂 0(S0)	0~936 h 划痕线单向扩蚀<2 mm,936 h 退出试验

表6 不同固化剂所得涂层连续冷凝试验检测结果

编号	试验时间/h	起泡	生锈	剥落	开裂
对比样	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 A	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 B	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 C	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 D	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 E	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级
样 F	6 120	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级	无起泡 0(S0)级

### 3 结语

通过一系列试验探究了改性胺类固化剂对环氧树脂底漆涂层性能的影响,得出以下结论:

1)相比于传统 DO200 聚酰胺固化剂,环氧树脂与改性固化剂搭配使用,涂层的附着力、柔韧性、耐冲击性等机械性能无明显差异,但涂层干燥性能及初期硬度大幅度提升。其中改性酚醛胺固化剂的干燥速度最快(表干 0.5 h,实干 4 h),初期硬度最高(5H)。

2)E20 环氧树脂与不同改性固化剂分别按环氧当量与活泼氢当量 1:1 搭配使用,不同类型的改性固化剂所得涂层耐湿热性均良好,但耐盐雾性能之间存在较大差异。改性聚酰胺固化剂耐盐雾性好,1 872~2 400 h 涂层划痕破坏处单向扩蚀<2 mm;改性酚醛胺固化剂涂层干燥性能和初期硬度好,表干 0.5 h,实干 4 h,初期硬度能达到 5H;改性脂肪胺固化剂涂层耐化学品性好,在 10% $H_2SO_4$  溶液中浸泡 30 d 漆膜正常。生产厂家可根据客户需求和施工环境选择最佳的固化剂。

#### 参考文献:

[1] 唐晓东,姚美君,李晶晶,等.环氧树脂固化剂的研究新进展[J].塑料工业,2023(9):30-38.

[2] 黄远征,黄智勇,胡继元.新型聚酰胺环氧固化剂制备及固化动力学研究[J].中国胶粘剂,2018(9):20-24.

[3] 郭铭,张锋,许永辉.几种典型固化剂对环氧树脂涂料性能的影响[J].中国涂料,2002(5):27-28

[4] 李蔡伟.环氧树脂及聚酰胺固化剂的研究[J].广东化工,2017(21):97-104.

[5] 王坤,刘振忠,王福新,等.不同环氧树脂与固化剂的耐性研究[J].科学技术创新,2023(14):50-54.

[6] 焦阳,骆怡欣,尹吉鑫,等.胺类环氧树脂固化剂改性研究进展[J].武汉工程大学学报,2023(3):251-255

[7] 杨玉伟,余红伟,李曦,等.改性聚酰胺固化剂的制备及其表征[J].弹性体,2022(4):23-29.

[8] 李尚儒,林中华,马超.一种改性脂肪胺类固化剂的合成及在环氧涂料中的应用[J].中国涂料,2020(4):69-73.

[9] 张宏伟.改性胺类环氧树脂固化剂的研制及其应用[J].热固性树脂,1999(1):53-54.

[10] 赵明亮,KIM YUN-MI.腰果壳油改性酚醛胺环氧树脂固化剂性能研究[J].黏接,2014(2):57-60.