

# 环氧烷基胺耐高温涂料的研制

崔定伟

(上海正泰智能科技有限公司, 上海 201600)

**摘要:** 采用自制烷基胺固化剂、环氧树脂、长石粉等颜填料和特殊助剂并按一定比例混合制备出环氧烷基胺耐高温涂料。考察了树脂类型、固化剂类型、颜填料类型、当量比对环氧烷基胺耐高温涂料综合性能的影响。当采用自制烷基胺固化剂、磷酸锌防锈颜料且当量比在 0.8 时所制备的耐高温涂料综合性能最优。所研制的耐高温涂料除了具有优异的防腐性能、耐高温性能外还具有较低的 VOC。

**关键词:** 烷基胺; 环氧树脂; 耐高温; 涂料

中图分类号: TQ637 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)05-0001-04

## Preparation of Epoxy Alkyl Amine Resistant High Temperature Coating

CUI Ding-wei

(Shanghai Chint Intelligent Technology Co., Ltd., Shanghai 201600, China)

**Abstract:** Epoxy alkyl amine resistant high temperature coating was prepared by mixing self-made alkyl amine curing agent, epoxy resin, feldspar powder, filler and special additives according to a certain proportion. The effects of resin type, curing agent type, filler type and equivalent ratio on the comprehensive performance of the epoxy alkyl amine resistance high temperature coating were investigated. The resistant high temperature coating has best comprehensive performance when the equivalent ratio is 0.8 and the alkyl amine curing agent and zinc phosphomolybdate anti-rust pigment are used. In addition to excellent anticorrosion and resistance high temperature performance, the coating also has low VOC.

**Key words:** alkyl amine; epoxy resin; resistant high teperature; coating

### 0 引言

耐高温涂料一般是指能长期承受一定温度,并保持一定的物理、化学性能的特种涂料。耐高温涂料除了能使被保护对象在高温环境中正常发挥作用外,还能确保设备长期使用。经过几代工程师们坚持不懈的共同努力,目前研制的耐高温涂料不但可以应用于不同温度、不同领域,还可以满足不同使用场景的需求<sup>[1-3]</sup>。

在常规的防腐涂层中环氧涂料是综合性能的佼佼者,环氧涂料中的成膜物主要为环氧树脂,环氧树脂具

有非常优异的综合性能,如附着力高、柔韧性好、低温固化快、固化收缩率低等,此外环氧树脂还具有耐化学品性能、耐磨性能良好等特点。虽然环氧树脂具有非常多的优点,但其缺点也非常明显,例如冷热循环时环氧树脂容易变脆,并容易在涂膜表面出现裂纹等。环氧树脂搭配常规固化剂制备的环氧涂料只能在温度低于 120 °C 的环境中使用,过高的温度将使普通环氧涂层的聚合物碳化,并加快有机物分解,进而使涂层失去保护作用<sup>[4]</sup>。

目前在不同领域、不同高温环境下使用的耐高温涂料主要是有机硅耐高温涂料,由于经济的发展以及使用需求的不断变化,传统有机硅耐高温涂料的短板也越来越明显,例如大部分有机硅耐高温涂料需要高温固化,这个固化特点不利于耐高温涂料的大面积施工;也有部分耐高温涂料可以常温固化,但其与底材的

收稿日期: 2024-06-27

作者简介: 崔定伟(1979—),男,硕士,工程师,长期从事石墨烯涂料、自清洁涂料等特种涂料的研发及推广工作。E-mail:cht0727@163.com。

结合力一般不能令人满意。为了减少涂层开裂的风险,常规耐高温涂料的涂膜厚度一般只能做到 50  $\mu\text{m}$  左右,但在腐蚀比较严重的环境中,这样厚度的涂层其防腐效果非常差强人意<sup>[5-7]</sup>。

本研究采用环氧树脂搭配特殊颜填料、助剂等为 A 组分,自制烷基胺固化剂为 B 组分,制备出环氧烷基胺耐高温涂料。自制环氧烷基胺耐高温涂料不但可以解决常规环氧涂料不能在 150~200  $^{\circ}\text{C}$  范围内长期使用的弊端,还可以解决传统有机硅耐高温涂料防腐性能差的弊病。自制环氧烷基胺耐高温涂料长期耐温极限为 205  $^{\circ}\text{C}$ ,不仅可以满足金属设备的耐温需求(0~200  $^{\circ}\text{C}$ ),还可以满足金属设备的防腐需求;此外该耐温涂料 VOC 含量低于 250 g/L,属于绿色涂料范畴。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原材料及规格

环氧树脂:工业级,美国陶氏 DOW;烷基胺固化剂:自制;改性脂肪胺固化剂、聚酰胺固化剂:工业级,德国赢创;分散剂:工业级,美国 Lubrizol;长石粉、滑石粉、硫酸钡:工业级,烟台栖霞双峰超细滑石粉厂;有机膨润土:工业级,长安仁恒科技股份有限公司;蜡粉:工业级,阿科玛;云母氧化铁:工业级,安徽省四环颜料有限责任公司;银浆:工业级,东亮铝业有限公司;磷酸锌、磷钼酸锌、磷锑酸锌:工业级,上海君江科技有限公司;二甲苯、正丁醇、100# 溶剂和 150# 溶剂:工业级,市售。

### 1.2 主要试验仪器

BSA220 电子天平、BGD 750/2 砂磨、分散、搅拌多用机、BGD 241/1 刮板细度计、KU-2 斯托默黏度计、OU3600 涂镀层测厚仪、PosiTest AT-M 附着力检测仪、SFT600P 盐雾腐蚀试验箱、BGD 897 高低温(交变)湿热试验箱、BGD875 连续冷凝试验仪、BGD856UV 光加速老化试验箱和 GFX-9240A 高温烘箱等。

### 1.3 环氧烷基胺耐高温涂料的制备

#### 1.3.1 环氧烷基胺耐高温涂料 A 组分的制备

先在反应釜中加入配方量的双酚 A 型环氧树脂和双酚 F 型环氧树脂及正丁醇、二甲苯和 150# 溶剂的部分混合物,并在 500 r/min 的搅拌速度下搅拌均匀;在上述搅拌速度下加入分散剂搅拌均匀,然后依次加入蜡粉、膨润土搅拌均匀;再依次加入云母氧化铁、长石粉、铝银浆、滑石粉等搅拌均匀,高速分散至细度 $<50 \mu\text{m}$ ;采用剩余的正丁醇、二甲苯和 150# 溶剂的混合物调整黏度和密度,在黏度、密度达到理论值时,过滤包装即得环氧烷基胺耐高温涂料 A 组分。

#### 1.3.2 环氧烷基胺耐高温涂料 B 组分制备

在反应釜中加入配方量的自制烷基胺固化剂、丁

醇和二甲苯的混合物搅拌均匀,并采用剩余的二甲苯调整密度,在密度达到理论值时,过滤包装即得环氧烷基胺耐高温涂料 B 组分。

### 1.4 环氧烷基胺耐高温涂料样板的制备

依据 SH/T 3022—2019《石油化工设备和管道涂料防腐设计标准》要求,采用空气喷涂法进行制板,喷涂前使用环氧专用稀释剂将环氧烷基胺耐高温涂料稀释到喷涂黏度。试验用马口铁板喷涂前先用 150 目砂纸打磨,然后采用环氧稀释剂擦拭干净。试验用喷砂钢板除拉拔附着力采用 8 mm 钢板外,其余测试项目均采用 3 mm 钢板。喷涂工艺为:除油→喷砂→喷涂第一道涂料→喷涂第二道涂料。1、2 道喷涂之间间隔 24 h。喷涂完最后一道环氧烷基胺耐高温涂料后,所有样板在温度(23 $\pm$ 2)  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度(50 $\pm$ 5)%的环境下养护 7 d,然后进行相关性能测试。

### 1.5 环氧烷基胺耐高温涂料综合性能测试

依据 SH/T 3022—2019 中对环氧烷基胺耐高温涂料综合性能的要求进行相关测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基体树脂的选择

传统溶剂型涂料在施工时需要添加大量的有机溶剂,有机溶剂的添加会造成很多挥发性有机化合物(VOC)的排出,而 VOC 会对人体健康和自然环境带来极大的损害,溶剂是涂料工业中主要的 VOC 来源,故如何减少涂料中 VOC 的排放受到人们格外的关注。在环氧涂料中对 VOC 贡献最大的就是基体树脂,环氧涂料中常用的基体树脂主要为 E-20 双酚 A 型环氧树脂、E-44 双酚 A 型环氧树脂和双酚 F 型环氧树脂,3 种常用环氧树脂的主要技术参数见表 1。

表 1 3 种环氧树脂的技术参数

项目	E-20 环氧树脂	E-44 环氧树脂	双酚 F 环氧树脂
环氧当量/(g·eq <sup>-1</sup> )	450-500	180-200	160-180
黏度/(mPa·s)	固体	11 000~15 000	1 500~6 000

从表 1 可以看出,双酚 A 型环氧树脂的环氧当量以及黏度均高于双酚 F 型环氧树脂,黏度低意味着更低的 VOC、更高的 PVC(颜料体积浓度)、更长的涂料使用期和更高的交联密度,但由于结构上的差异,双酚 A 型环氧树脂的防腐性能普遍高于双酚 F 型环氧树脂。因此本试验中为了平衡防腐性能和 VOC 的关系,采用 E-20 双酚 A 型环氧树脂、E-44 双酚 A 型环氧树脂和双酚 F 型环氧树脂进行复配。3 种环氧树脂不同复配比例制备的环氧烷基胺耐高温涂料的耐中性盐雾性能和 VOC 测试数据见表 2。

表2 环氧树脂不同配比对耐高温涂料性能的影响

项目	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
E-20 环氧树脂/%	60	50	40
E-44 环氧树脂/%	30	30	30
双酚 F 型环氧树脂/%	10	20	30
耐中性盐雾/h	1 600	1 500	1 500
VOC/(g·L <sup>-1</sup> )	400	300	200

从表2可以看出,随着E-20双酚A型环氧树脂加量的降低,涂层的防腐性能逐渐降低,VOC含量也逐步下降。出现此种情况的原因是随着低黏度双酚F型环氧树脂的加入,涂料的VOC会逐步降低,虽然此时涂层的交联密度也会逐步增高,但和结构的差异相对比,交联密度对于涂层防腐性能的提升依然相对较弱,因此在试验中就会发现随着低黏度环氧树脂的加入VOC和耐中性盐雾性能都会逐步降低。综合考虑涂层的防腐性能和VOC之间的平衡,本试验选用E-20双酚A型环氧树脂:E-44双酚A型环氧树脂:双酚F型环氧树脂=4:3:3(质量比)作为环氧烷基胺耐高温涂料的基体树脂。

## 2.2 固化剂的选择

从耐温性能的角度考虑,耐温涂料的耐温性能既取决于树脂类型也取决于固化剂类型。在树脂相同的情况下,固化剂的类型不但能影响到耐温涂料的耐温性能甚至可以决定耐温涂料的最终性能。目前用于环氧涂料的固化剂主要有聚酰胺、改性脂肪胺、芳香胺等。这些固化剂的最大优点是固化物的防腐性能、耐化学品性比较优异,但耐高温性能相对较差。为了满足本试验的耐温极限(205℃),自制了一种烷基胺耐高温固化剂以满足其耐高温的需求,由不同环氧固化剂制备的耐高温涂料的综合性能见表3。

表3 固化剂对涂膜综合性能的影响

固化剂	耐温(205℃×168h)	耐温后中性盐雾/h	中性盐雾/h
聚酰胺	明显变色、轻微起泡		1 200
脂肪胺	起泡、开裂		1 000
烷基胺	轻微变色	1 400	1 400

注:聚酰胺、脂肪胺固化剂因耐温后起泡无法进行中性盐雾测试。

从表3可以看出,固化剂不同对涂层的耐温、耐温后盐雾以及耐中性盐雾性能均有不同程度的影响,自制的烷基胺固化剂无论是在耐温性、耐温后中性盐雾还是耐中性盐雾性能均优于聚酰胺及脂肪胺固化剂。因此,从涂层的综合性能来考虑,本试验选用自制的烷基胺固化剂作为环氧烷基胺耐高温涂料

的固化剂。

## 2.3 防锈颜料的选择

应用于耐温涂料中的颜填料除了需要在高温状态下稳定,也需要具有较好的防腐性能<sup>[8-9]</sup>,针对这些特点,本研究对比了磷酸锌、磷钼酸锌、磷铈酸锌3种防锈颜料的耐温性能及防腐性能。3种防锈颜料对涂层的耐温性、耐温后中性盐雾性能以及中性盐雾性能的综合影响见表4。

表4 防锈颜料对涂膜性能的影响

防锈颜料	耐温(205℃×168h)	耐温后中性盐雾/h	中性盐雾/h
磷酸锌	轻微变色	400	600
磷钼酸锌	轻微变色	1 500	1 500
磷铈酸锌	轻微变色	800	1 000

从表4可以看出,磷酸锌、磷钼酸锌以及磷铈酸锌均可作为耐温涂料的防锈颜料,但因防腐颜料的类型不同,其耐温性能虽然差别不大但耐中性盐雾性能以及耐温后的耐中性盐雾性能均差异较大,综合对比选择磷钼酸锌作为环氧烷基胺耐高温涂料的防锈颜料。

## 2.4 当量比的选择

当固化剂类型、树脂类型、PVC(颜料体积浓度)选定后,涂层的基本性能也就基本确定。一般来讲,随着固化剂加量(当量比)的增加,涂层物理性能逐渐提高,化学性能逐渐降低,反之则物理性能逐渐降低,化学性能逐渐提高。当量比对涂膜综合性能的影响见表5。

表5 当量比对涂膜综合性能的影响

当量比	耐温(205℃×168h)	耐温后中性盐雾/h	中性盐雾/h
0.6:1	明显变色	600	700
0.8:1	轻微变色	1 500	1 500
1:1	轻微变色	1 100	1 200
1.2:1	极轻微变色	1 000	1 000

从表5可以看出,随着当量比的增加,涂层的耐热性能有一定程度的增加(从变色程度区分),但其耐中性盐雾的性能却先增加后降低,综合对比选择当量比0.8:1作为环氧烷基胺耐高温涂料的最优当量比。

## 2.5 环氧烷基胺耐高温涂料的综合性能测试

由于涂层性能是各项性能的综合体,因此按照上述最优配比制备的环氧烷基胺耐高温涂料即为最优配方。按最优配方制备涂料并依据SH/T 3022—2019中的相关要求对自制的环氧烷基胺耐高温涂料进行综合性能测试,结果见表6。

表 6 环氧烷基胺耐高温涂料综合性能测试结果

项目	技术指标	测试结果	测试方法
容器中状态	搅拌均匀后无硬块,呈均匀状态	合格	目测
体积固体分/%	≥60	80	GB/T 9272
附着力(拉开法)/MPa	≥5	15	GB/T 5210
弯曲性/mm	≤2	1	GB/T 6742
表干时间/h	≤4	1	GB/T 1728
实干时间/h	≤6	3	GB/T 1728
耐热性(168 h,无皱皮、起泡、开裂等现象)/℃	205±5	合格	GB/T 1735
耐温变循环性(5个循环)	通过	合格	JG/T 25
耐盐雾性/h	1 440	合格	GB/T 1771
耐冷凝水/h	720	合格	GB/T 13893
耐湿热/h	1 440	合格	GB/T 1740
循环腐蚀试验(4 200 h)	通过	合格	GB/T 31415
VOC/(g·L <sup>-1</sup> )	≤420	220	GB 30981

从表 6 可以看出,自制的环氧烷基胺耐高温涂料完全可以满足 SH/T 3022—2019 对于环氧烷基胺耐高温涂料综合性能的要求。尤其在 VOC 方面,自制的环氧烷基胺耐高温涂料符合 GB/T 35602—2017 《绿色产品评价 涂料》对于绿色涂料 VOC 的要求,属于绿色涂料范畴。

### 3 结语

1)采用自制的烷基胺固化剂制备了环氧烷基胺耐高温涂料,考察了基体树脂类型、固化剂类型、防腐颜料类型、当量比等对环氧烷基胺耐高温涂料综合性能的影响。

2)通过测试发现,自制的环氧烷基胺耐高温涂料除了具有优异的防腐性能,其持续耐高温性能(205 ℃)也非常优异,此外 VOC 含量也非常低,属于绿色涂料范畴,大规模使用此类涂料可以助力国家“双碳”政策的实施。

### 参考文献:

- [1] 沈孝忠,王兆安,田育廉.有机硅耐高温涂料防腐性能分析[J].涂料工业,2004,34(5):48-50.
- [2] 徐忠革,韩文礼,张彦军,等.耐高温涂料研究进展[J].全面腐蚀控制,2011,25(7):8-12.
- [3] 黄淑芬,王小妹,马志平.正硅酸乙酯制备无机耐高温涂料的研究[J].涂料工业,2012,42(1):46-49.
- [4] O'DONOGHUE M, DATTA V P. From trauma totranscendence corrosion under insulation[C].Northern Area Western Conference,Calgary: NACE,2010.
- [5] 丛海涛.保温层下腐蚀及防腐对策分析[J].涂料技术与文摘,2014,35(6):7-9.
- [6] 饶兴鹤.炼油设备保温层下腐蚀与防治[J].腐蚀与防护,2001,22(8):346-370.
- [7] 郭中宝,刘杰民.环氧改性有机硅树脂涂料耐温性研究[J].化工新材料,2007,35(4):57-59.
- [8] 方健君,靳美亮,马胜军,等.酚醛环氧耐高温涂料的研制及性能研究[J].涂料工业,2015,45(8):14-20.
- [9] 郭中宝,刘杰民,范慧俐,等.颜填料对环氧改性有机硅耐高温涂料综合性能的影响[J].现代涂料与涂装,2007,10(3):13-18.

## 《现代涂料与涂装》征稿启事

征稿范围:

- ★ 涂料涂装行业关键核心技术自主创新及进口替代进展
- ★ 最新涂料涂装政策、标准解读及应对措施
- ★ 环境友好型涂料及特种功能型涂料的研发及创新应用
- ★ 涂装行业 VOC 源头控制、过程管理、末端治理技术及设备,涂料涂装废水处理技术及设备
- ★ 涂料涂装行业安全生产管理创新
- ★ 传统制造业(汽车、工程机械、轨道交通、船舶)、战略性新兴产业和新型基础设施涂装智能化及新工艺、新材料和新设备

征稿要求:

- (1)来稿涉及技术保密问题需通过作者单位审查;来稿请注明作者单位(中英文)、地址及邮编。
- (2)请勿一稿多投,如欲改投,请提前告知本编辑部。稿件收到后即发回执,稿件一经刊发,即按规定付给稿酬,并赠送期刊 3 本。
- (3)稿件要求内容新颖、主题明确、逻辑严谨、文字精炼、格式规范、数据真实,全文字数不少于 5 000 字,相似度不高于 15%,附 200 字左右的摘要并列关键词(3~8 个)及相应的英文。
- (4)稿件一律采用法定标准计量单位名称和符号。
- (5)文章标题以 3 级为限,文题简洁,表格一律为三线表,文中插图要清晰。
- (6)参考文献勿省略,置于文末,并在文中注明序号、排好次序。

投稿方式:

请访问现代涂料与涂装官网(<https://xdtlytz.magtechjournal.com>)进行在线投稿。