

# 油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料的制备研究

刘岳麟<sup>1</sup>, 贺 辉<sup>2</sup>, 宋欢欢<sup>1,3</sup>, 何吉喜<sup>1</sup>, 侯继宗<sup>1</sup>, 王 翀<sup>4</sup>

(1.中昊北方涂料工业研究设计院有限公司; 兰州 730101; 2.中国航空工业集团公司西安飞机设计研究所, 西安 710000;  
3.重庆大学, 重庆 401331; 4.陕西飞机工业有限责任公司, 陕西 汉中 723213)

**摘要:** 开发了一种环氧聚氨酯油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料, 采用自制含氟二元醇与环氧氯丙烷制备了一种含氟环氧树脂, 将其与羟基环氧树脂 E03 进行复配, 并引入二乙醇胺作为改性剂对环氧树脂进行封端改性制备高羟基含氟环氧树脂, 以其作为基料组分, 与自制多官能度硬韧聚氨酯固化剂反应, 制备出具有极高致密性的双组分交联固化涂层体系。研究了羟基环氧树脂种类、高羟基含氟环氧树脂含量、固化剂种类及复配比例等对涂层性能的影响。结果表明, 含氟环氧树脂与羟基环氧树脂 E03 的复配比例为 0.15:1、聚氨酯弹性改性剂与 HDI 复配比例为 0.2:1、涂料体系颜基比为 (1.7~2.0):1、NCO:OH 为 (0.6~0.7):1.0 时, 涂层性能达到最优, 满足飞机油箱实际环境使用需求。

**关键词:** 油箱内壁; 低表面能; 长效防腐蚀; 聚氨酯涂料

**中图分类号:** TQ637 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)12-0001-06

## Research on the Preparation of Long-lasting Anti-corrosion Coatings with Low Surface Energy for Oil Tank Interior Wall

LIU Yue-lin<sup>1</sup>, HE Hui<sup>2</sup>, SONG Huan-huan<sup>1,3</sup>, HE Ji-xi<sup>1</sup>, HOU Ji-zong<sup>1</sup>, WANG Chong<sup>4</sup>

(1.North Paint & Coatings Industry Research and Design Institute Co., Ltd. of China Haohua, Lanzhou 730101, China;

2.Xi'an Aircraft Design and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Xi'an 710000, China;

3.Chongqing University, Chongqing 401331, China; 4.Shaanxi Aircraft Industry Co., Ltd., Hanzhong 723213, Shaanxi, China)

**Abstract:** A low surface energy long-lasting anti-corrosion coating of epoxy polyurethane for oil tank interior wall has been developed. A fluorine-containing epoxy resin was prepared by using self-made fluorinated diol and epichlorohydrin, it was compounded with hydroxyl-containing epoxy resin E03, and diethanolamine was introduced as a modifier to perform end-capping modification on the epoxy resin to prepare a high hydroxyl content fluorine-containing epoxy resin as the base material component. It was reacted with a self-made multi-functional hard and tough polyurethane curing agent to prepare a two-component crosslinking curing coating system with extremely high density. The effects of the types of hydroxyl epoxy resins, the fluorine content of high hydroxyl-containing fluorine-containing epoxy resins, the types of curing agents, and the compounding ratio on the coating performance were studied. The results show that when the compounding ratio of fluorine-containing epoxy resin and hydroxyl epoxy resin E03 is 0.15:1, the compounding ratio of polyurethane elastic modifier and HDI is 0.2:1, the pigment-to-binder ratio of the coating system is (1.7~2.0):1, and the NCO:OH ratio is (0.6~0.7):1.0, the coating performance reaches the optimal level, meeting the actual environmental usage requirements of aircraft fuel tanks.

**Key words:** inner wall of the fuel tank; low surface energy; long-lasting anti-corrosion; polyurethane coating

收稿日期: 2025-09-25

基金项目: 甘肃省科技计划 24ZDGA010 资助。

作者简介: 刘岳麟(1991—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事航空及特种涂料相关产品的研发工作。E-mail: 470988998@qq.com。

## 0 引言

油箱内部环境苛刻, 涉及诸多介质均会对油箱材料造成严重腐蚀。目前均采用对基材处理后涂刷耐油防腐蚀涂料的方法对其进行防护<sup>[1-2]</sup>。近年来, 为提高燃

油性能,还会在油箱内添加双亲性强极性小分子燃油添加剂,其会对油箱内防护涂层造成严重的溶胀腐蚀。因此,研制综合性能优异的油箱内壁长效防腐蚀涂料,为油箱提供持久的防腐蚀保护具有非常重要的意义。

传统油箱保护涂料为环氧胺固化类型,环氧基同胺类固化剂固化后体系交联密度有限,对于小分子腐蚀介质不能表现出良好的阻隔作用<sup>[3]</sup>。大分子量的双酚 A 环氧树脂(环氧基当量 $\geq 2000$ )不含酯键,与铝合金基材具有突出的附着力,其分子链段羟基数量明显多于环氧基。通过研究发现,以多官能的聚氨酯固化剂同环氧树脂中的羟基反应固化,可形成结构紧密、交联密度极高的涂层体系,对酸碱介质、盐溶液以及油品的抗侵蚀性能更加优异。常用的高性能聚氨酯固化剂主要以脂肪族二异氰酸酯 HDI 的三聚体以及缩二脲为主,这类固化剂均为具有多官能的饱和结构,与环氧树脂反应生成强极性的氨酯键( $-\text{NHCOO}-$ ),与基材键合形成刚性结构,提高涂层的受热稳定性,增强涂层对带温腐蚀耐介质的抗耐性,固化后涂层具有优异的耐化学药品性能,对酸碱介质、盐溶液以及油品的抗侵蚀性能优异;其分子结构中的由 3 个 $-\text{NCO}$  聚合产生的刚性六元环(异氰脲酸)结构可赋予涂层良好的机械强度,并提高体系的玻璃化温度,增强涂层的耐温性,保证涂层在一定温度范围内使用时性能保持稳定。此外,以环氧-聚氨酯为基料树脂体系形成的涂层表面平整、致密,不利于化学腐蚀物质以及微生物等黏附,进一步保证了涂层对多相腐蚀介质的持久抗耐性。然而该体系涂层因过高的交联度而表现出硬脆的特性,涂层韧性较差,在实际使用环境中,受飞机开停机的影响,涂层面临的低温、冲击以及震动等情况,这对涂层韧性的要求极高;体系过高的内应力也不利于涂层附着力的提高以及涂层表面致密性的形成。

本研究制备了一种改性高羟基含氟环氧树脂为基料树脂,以聚己内酯多元醇改性的聚氨酯预聚物为弹性改性剂,对主体固化剂 HDI 三聚体进行物理混拼改性,最终制得多官能度硬韧聚氨酯固化剂,并通过与长效防腐蚀功能填料的复配制备出一种综合性能优异的油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料,实现防护涂层材料“硬”与“韧”的良好融合。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原料和仪器

主要原料:含氟二元醇,自制;环氧氯丙烷,济南世纪通达化工有限公司;二乙醇胺,山东恒硕化工有限公司;E03 环氧树脂,南亚;NaOH,南京盛庆和化工有限公司;PCL3057 聚己内酯三元醇,湖南聚仁化工新材料科技有限公司;异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI),康迪斯化

工有限公司;N3390,科思创;分散剂、流平剂、基材润湿剂、消泡剂、流变助剂,BYK;低气味环保稀释剂,国产(自配);催化剂,北京三安;以上原料均为工业级。

仪器设备:电子天平,上海浦春计量仪器有限公司;电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;高速分散机 BGD 740/1,标格达精密仪器(广州)有限公司;篮式砂磨机 LSM-370,上海天辰现代环境技术有限公司;刮板细度计,上海现代环境工程技术有限公司;MINI test 600 B/FN 涂层测厚仪,德国;红外光谱分析仪 SPECTRUM 2000,美国珀金-埃尔默公司;光学接触角测量仪 Attension Theta Flex,佰奥林公司。

### 1.2 合成工艺及涂料制备

#### 1.2.1 含氟环氧树脂的制备

将自制含氟二元醇、提纯过的环氧氯丙烷按一定比例加入全自动高温反应釜中,10 min 内加热到 50 $^{\circ}\text{C}$ ,使反应釜内混合物全部溶解,在高速搅拌状态下将一部分 NaOH 溶液缓慢滴入反应釜内,滴加完毕后,将温度升高至 95 $^{\circ}\text{C}$ ,保温回流 2 h,采用减压法回收釜内未参与反应的环氧氯丙烷,降温至 65 $^{\circ}\text{C}$ 以下,在高速搅拌状态下滴加剩余部分 NaOH 溶液,保温回流 3 h 至溶液呈黄色,冷却降温。用 90 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水将树脂高速搅拌呈浆状,静置分层后把水层虹吸去除,水洗 3~4 次至水层呈中性且无氯离子为止。加入无水乙醇,重复洗涤数次,将洗涤后的树脂移入减压蒸馏釜,在 80 $^{\circ}\text{C}$ 真空状态下脱除残留的水分及溶剂,即得到含氟环氧树脂,其合成反应机理如图 1 所示。

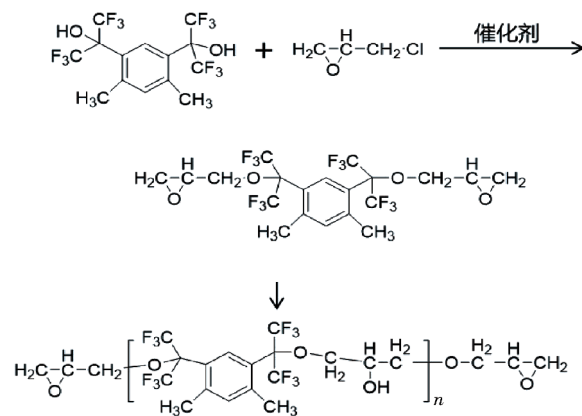


图 1 含氟环氧树脂合成反应机理

#### 1.2.2 高羟基含氟环氧树脂的制备

将所制备的含氟环氧树脂与 E03 环氧树脂按不同比例混合,用低气味环保稀释剂调整黏度,加入一定剂量的二乙醇胺,在高速搅拌状态下升温至 60 $^{\circ}\text{C}$ ,保温回流 2 h 后,每隔 0.5 h 采用盐酸-吡啶法进行环氧

值测定,待环氧值达到理论范围,水洗 3~4 次,将洗涤后的树脂移入减压蒸馏釜,在 80 °C 真空状态下脱除残留物质,即得到改性高羟基含氟环氧树脂。

### 1.2.3 多官能度硬韧固化剂的制备

将 PCL3057 在 120 °C 真空除水 3 h,降温至 60 °C 以下,加入适量低气味环保溶剂,充分搅拌分散,按一定比例加入 IPDI 和催化剂,反应 2 h 后,温度升高至 80 °C,保温至体系 NCO 含量小于等于理论值时,降温出料,即得到聚氨酯预聚物弹性改性剂,弹性改性剂的反应机理如图 2 所示,将其按一定比例与 N3390 混合均匀,出料即得到多官能度硬韧固化剂。

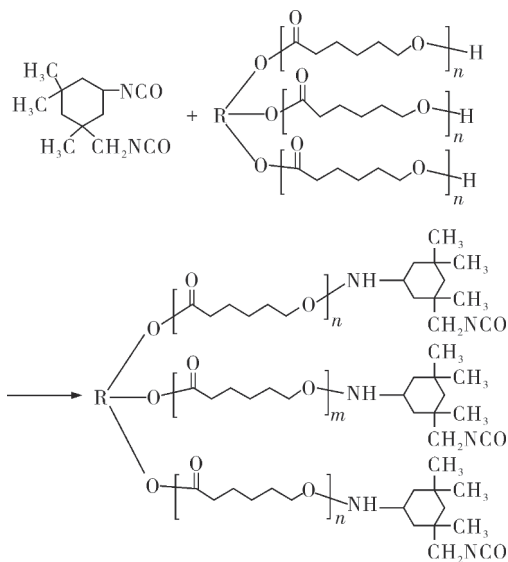


图 2 弹性改性剂合成反应机理

### 1.2.4 低表面能长效防腐蚀涂料的制备

在制备好的高羟基含氟环氧树脂中加入一定量的分散剂、流平剂、基材润湿剂、消泡剂以及长效防腐蚀功能填料,在高速搅拌下分散均匀,上蓝氏研磨至细度  $\leq 30 \mu\text{m}$ ,在中高速搅拌状态下加入流变助剂,搅拌分散 20~30 min,过滤后即得到油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料甲组分;固化剂为上节所制备的多官能度硬韧固化剂。

### 1.2.5 涂层制备

将油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料甲乙组分按一定当量比称量混合,用低气味环保溶剂兑稀均匀后放置熟化 20~30 min 备用。选用阳极化处理的 7075-T6 铝合金试板进行试验研究,试板尺寸为 150 mm×75 mm×(0.5~1.0) mm。按不同性能测试要求在不同厚度的试板上喷涂熟化好的涂料,并于标准条件下固化 7 d 得到测试用试板,固化后涂层干膜厚度应保持 20~40  $\mu\text{m}$ 。

## 1.3 测试与表征

### 1.3.1 环氧值的测定

采用盐酸-丙酮法测定体系的环氧值。

### 1.3.2 —NCO 含量的测定

采用二正丁胺法测定体系—NCO 含量。

### 1.3.3 涂层基础性能测试

油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料按照相关性要求及测试标准进行性能检测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 高羟基含氟环氧树脂的制备及其性能研究

双酚 A 环氧树脂结构中只含有 2 个环氧基,与胺固化交联密度受限,而大分子量的双酚 A 环氧树脂分子链段羟基数量多达 14 个以上,与异氰酸酯固化后可形成交联密度极高的涂层体系,可大大提高涂层对多相小分子强腐蚀介质的抗耐性。含氟聚合物所具备的特殊性质很大程度上来源于 F 原子和 C—F 键的特殊性,将氟元素引入环氧树脂可在保持环氧树脂优异的附着粘接性的同时赋予涂层低表面能、疏水疏油性、热稳定性、耐化学品性等功能。本研究采用自制含氟二元醇同环氧氯丙烷发生开环反应制备含氟环氧树脂,分子中羟基和醚键的存在可与基材形成良好的键合,使涂层具有优良的附着力和抗化学品性,芳环与醚键的调配在保证涂层硬度的同时,赋予涂层一定的韧性。

#### 2.1.1 羟基环氧树脂的选择研究

表 1 为常用环氧树脂所含羟基数量以及羟基当量等特性参数。

表 1 常用环氧树脂特性参数

牌号	分子量	平均羟基数	环氧当量	羟基当量
E-20	1 000	2.0	500	500
E-12	1 900	5.5	850	345
E-06	4 500	14.4	2 250	312.5
E-03	6 500	16.0	3 250	406

从表 1 可以看出,E-20 环氧树脂羟基当量与环氧当量基本一致,设计—OH 参加固化反应对体系的交联密度提升不明显。因此,本文以 E-12、E-06 及 E-03 环氧树脂为基础树脂,以 HDI 三聚体为固化剂进行涂层的耐介质腐蚀性研究,性能检测结果见表 2。

从表 2 结果可以看出,以 E-06 为基料的涂层耐介质腐蚀性能方面要明显优于其他两个固化体系,但 E-06 的漆膜过于硬脆,与基材附着力不佳,考虑漆膜的综合指标,选择 E-03 环氧树脂作为本研究的基料树脂体系。

表 2 不同种类环氧-聚氨酯涂层腐蚀性能检测结果

检测项目	E-12	E-06	E-03
铅笔硬度	3H	4H	2H
柔韧性/mm	2	2	1
划格附着力/级	1	2	0
耐水性(30 d)	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级
耐小分子添加剂(30 d)	涂层轻微起泡,涂层失去附着力	涂层局部漆膜脱落,硬度下降 1 级	涂层有个别小泡,有部分漆膜脱落
耐盐水和燃油(30 d)	涂层完好,附着力无损失,铅笔硬度下降 1 级	涂层完好,附着力无损失,铅笔硬度下降 1 级	涂层完好,附着力无损失,铅笔硬度下降 1 级

2.1.2 高羟基含氟环氧树脂制备研究

1)高羟基含氟环氧树脂氟含量对涂层性能的影响  
设计合理的氟含量可兼顾涂层的防护性能及与配

套相容性,在本研究中,通过调配含氟环氧树脂与 E03 羟基环氧树脂的复配比例,探究不同氟含量对涂层性能的影响,测试结果见表 3。

表 3 氟含量对涂层性能的影响

项目	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
n(含氟环氧树脂):n(E03)	0:1	0.1:1	0.15:1	0.2:1	0.3:1
疏水角/(°)	80.82	92.55	98.84	101.36	104.90
拉开法附着力/MPa	20.4	19.6	17.8	13.0	10.2
耐水性(30 d)	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级	涂层完好,硬度下降 1 级
耐小分子添加剂(30 d)	涂层满板均匀分布小泡	涂层局部个别小泡	涂层完好	涂层完好	涂层完好
与密封剂相容性/(kN·m <sup>-1</sup> )	7.441	6.878	6.014	4.779	4.202

从表 3 可以看出,随着氟含量的增加,涂层表面张力不断降低,耐腐蚀介质渗透性显著提高,但是由于表面能的降低,涂层层间附着力及与密封剂之间的相容性呈下降趋势。综合考虑,在制备的高羟基含氟环氧树脂中,含氟环氧树脂与羟基环氧树脂 E03 的复配比例不宜超过 0.15:1。

2)高羟基含氟环氧树脂表征

对制备的高羟基含氟环氧树脂进行红外光谱表征,结果见图 3。

图 3 中 3 458.77 cm<sup>-1</sup> 处的宽吸收峰归因于羟基吸收峰,1 220.37 cm<sup>-1</sup> 为 C—F 键的吸收峰,1 738.55 cm<sup>-1</sup> 和 1 452.93 cm<sup>-1</sup> 为苯环的特征吸收峰,912 cm<sup>-1</sup> 处的弱峰为环氧基特征峰,说明大部分的环氧基已与二乙醇胺反应,2 968.23 cm<sup>-1</sup> 和 2 900.78 cm<sup>-1</sup> 处由环氧基团中亚甲基和次甲基吸收产生,3 675.06 cm<sup>-1</sup> 为氨基吸收峰,以上证明了高羟基含氟环氧树脂已成功制备。

2.2 多官能度硬韧固化剂的制备研究

为避免因交联度过高而产生较大的内应力,本文以三官能聚己内酯多元醇为—OH 组分,以含有饱和环状结构的异佛尔酮二异氰酸酯(IPDI)为—NCO 组分,通过结构设计,合成制备了一种高强、高效聚氨酯弹性改性剂,以此改性剂对主体固化剂 HDI 三聚体进行增韧改性,制得多官能度硬韧聚氨酯固化剂。选用分子量为 550 的 PCL-3057 进行试验,该树脂羟值高达 306 mgKOH/g,其羟基当量仅为 183。方案中,聚己内酯多元醇相作为软段提供弹性,特殊的结构使得制备的防护涂层具有优异的机械强度、耐油品性和回弹性,三官能单体的引入能够提供固化剂树脂的支化度,在

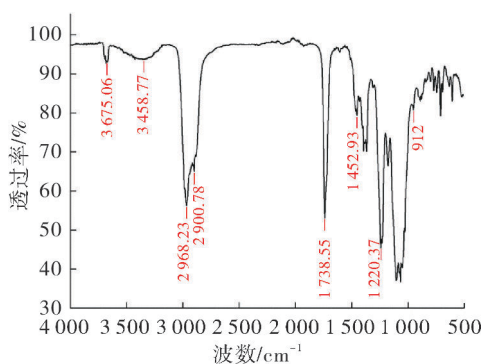


图 3 高羟基含氟环氧树脂红外光谱

不牺牲体系交联密度的前提下实现涂层的韧性增强。

本文探究了所制备的聚氨酯弹性改性剂与 HDI 复配比例对涂层性能的影响,结果见表 4。

随着聚氨酯弹性改性剂含量升高,涂层柔韧性、低温柔性及划格附着力有所提高,硬度及耐介质性能下降。综合考量,将复配比例控制在 0.2:1 左右。

### 2.3 配方优化设计研究

#### 2.3.1 体系颜基比(P/B)对涂层性能的影响

以多官能度硬韧异氰酸酯固化剂固化高羟基含氟环氧树脂为基体树脂,搭配长效防腐蚀功能填料,在保证涂层机械性能的前提下,就 P/B 对涂层性能的影响进行了研究,试验结果见表 5。

表 4 聚氨酯弹性改性剂与 HDI 复配比例对涂层性能的影响

项目	弹性改性剂/HDI(当量比)				
	0:1	0.10:1	0.15:1	0.20:1	0.30:1
铅笔硬度	4H	3H	3H	2H	2H
划格附着力/级	1	1	1	0	0
耐冲击性	50 cm 正冲较轻微裂纹,反冲涂层脱落	50 cm 正反冲均较轻微裂纹	50 cm 正冲过,反冲较轻微裂纹	50 cm 正反冲均完好	50 cm 正反冲均完好
柔韧性	1 mm 涂层明显裂纹	1 mm 涂层轻微裂纹	1 mm 完好	1 mm 完好	1 mm 完好
低温柔韧性	轻微裂纹,但无漆膜脱落	轻微裂纹,但无漆膜脱落	无裂纹,不掉漆现象	无裂纹,不掉漆现象	无裂纹,不掉漆现象
耐 4109 滑油(14 d)	涂层未发软,铅笔硬度下降 0 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层发软,铅笔硬度 2B
耐小分子添加剂(30 d)	涂层未发软,铅笔硬度下降 0 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层未发软,铅笔硬度下降 1 级	涂层发软,铅笔硬度 2B
耐水性(30 d)	无涂层变化,涂层硬度下降 0 级	无涂层变化,涂层硬度下降 1 级	无涂层变化,涂层硬度下降 1 级	无涂层变化,涂层硬度下降 1 级	涂层发白,涂层硬度 HB

表 5 P/B 对涂层性能的影响

项目	P/B				
	2.5:1	1.5:1	1.7:1	2.0:1	2.3:1
铅笔硬度	2H	3H	3H	4H	4H
柔韧性	1 mm 涂层轻微裂纹	1 mm 完好	1 mm 完好	1 mm 完好	1 mm 涂层明显裂纹
耐冲击性	50 cm 正反冲均完好	50 cm 正反冲均较轻微裂纹	50 cm 正反冲均完好	50 cm 正反冲均较轻微裂纹	50 cm 正反冲均较轻微裂纹
划格附着力/级	1	0	0	1	2
低温柔韧性	有轻微裂纹,轻微掉漆	无裂纹,无掉漆现象	无裂纹,无掉漆现象	有轻微裂纹,轻微掉漆	有轻微裂纹,轻微掉漆
耐水性(30 d)	涂层有轻微发白	涂层完好	涂层完好	涂层有较明显鼓包出现	涂层有明显的鼓包出现

由表 5 可以看出,随着 P/B 值的增加,涂层各项性能均呈现出先增强后减弱的趋势。综合考虑,最终确定 P/B 值为(1.7~2.0):1 时配漆后涂层的综合性能最好。

#### 2.3.2 n(NCO)/n(OH)对涂层性能影响的研究

本文所制备的涂料体系依靠—NCO 同—OH 反应进行固化,因此,恰当的 NCO/OH 比值是涂层性能优异的重要保证,表 6 为不同 n(NCO)/n(OH)比值所制涂层性能检测结果。可以看出,随着 NCO/OH 比值的增大,涂层硬度、耐介质性能逐渐提升,但脆性增强,当 NCO/OH 为(0.6~0.7):1.0 时,涂层具有较佳的综合性能。

### 2.4 涂膜综合性能检测及对比

对本文所制得的油箱内壁用低表面能长效防腐蚀

涂料按实际使用需求进行综合性能测试,并与传统油箱保护涂料性能进行对比,测试结果见表 7。

从表 7 可以看出,本文研制的油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料全部性能满足技术指标要求,尤其在对小分子的抗耐性方面较传统环氧胺固化类型油箱保护涂料有明显的优势,就其原因有如下 3 点:

1)传统油箱保护涂料重点突出涂层的韧性和附着力,同胺类固化剂固化后体系交联密度有限,对于小分子等多相苛刻腐蚀介质不能起到良好的阻隔作用;

2)胺固化环氧树脂体系中含有高浓度的氮原子,而氮原子具有孤对电子,极易受到 H<sup>+</sup> 的进攻,试验涂层中键能最小的 C—N (E=304.60 kJ/mol)键断裂,降

表 6 不同 NCO/OH 比值所制涂层的性能

检测项目	$n(\text{NCO}):n(\text{OH})$				
	0.5:1.0	0.6:1.0	0.7:1.0	0.8:1.0	0.9:1.0
铅笔硬度	2H	3H	3H	4H	4H
划格附着力/级	0	0	0	1	2
柔韧性	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm 明显裂纹	1 mm 明显裂纹, 裂纹处有少量涂层脱落
耐 4109 滑油 (14 d)	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 1 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级
耐小分子添加剂 (30 d)	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 1 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 无锈点, 铅笔硬度下降 0 级
耐水性(30 d)	涂层完好, 铅笔硬度下降 1 级	涂层完好, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 铅笔硬度下降 0 级	涂层完好, 铅笔硬度下降 0 级

表 7 油箱内壁用低表面能长效防腐蚀涂料综合性能测试结果

检验项目	本研究产品	传统油箱涂料	检测标准
干燥时间表干/h	1	2	GB/T 1728
干燥时间实干/h	8	12	GB/T 1728
铅笔硬度	3H	2H	GB/T 6739
划格附着力/级	0	0	GB/T 9286
柔韧性/mm	1	2	GB/T 1731
耐冲击性/cm	50	50	GB/T 1732
低温柔韧性	无裂纹, 无掉漆现象	无裂纹, 无掉漆现象	
耐水性(30 d)	涂层无起泡、无起皱, 硬度下降 1 级	涂层无起泡、无起皱, 硬度下降 2 级	GB/T 1733
耐盐水和燃油(30 d)	涂层无起泡、无起皱, 硬度下降 1 级	涂层无起泡、无起皱, 硬度下降 1 级	
耐小分子添加剂(30 d)	涂层无起泡、无起皱, 硬度下降 1 级	漆膜满板起皱, 丧失附着力	

解为小分子, 表现出对酸性腐蚀介质及酸性盐雾等抗耐性不足;

3) 本研究制备的高羟基含氟环氧树脂同多官能硬韧聚氨酯固化剂反应可形成结构紧密、交联密度极高的涂层体系, 同时, 小分子胺改性剂的引入将极性基团转化为交联结构体, 进一步提高树脂结构中—OH 含量, 增加体系交联点, 提升涂层致密度, 使涂层具有优异持久的防腐蚀屏蔽性。

### 3 结语

1) 本文通过采用具有持久的防腐蚀性环氧聚氨酯基料树脂体系以及长效防腐蚀功能填料组合, 制备出具有极高致密性的双组分交联固化涂层体系, 同时, 将氟元素引入环氧树脂可在保持环氧树脂优异的附着粘接性的同时赋予涂层低表面能、疏水疏油性、热稳定性、耐化学品性等功能, 保证了涂层对小分子添加剂、燃油和盐水等强腐蚀介质具有极佳的抗耐性以及优异的屏蔽作用。

2) 试验表明, 优选 E-03 为羟基环氧树脂、含氟环氧树脂与羟基环氧树脂 E03 的复配比例为 0.15:1、聚

氨酯弹性改性剂与 HDI 复配比例为 0.2:1、涂料体系 P/B 为 (1.7~2.0):1、 $n(\text{NCO}):n(\text{OH})$  为 (0.6~0.7):1, 涂层综合性能达到最优。

### 参考文献:

[1] 安然, 刘岳麟, 宋欢欢, 等. 运载交通油箱用防燃油扩散涂料的制备研究[J]. 现代涂料与涂装, 2022(7): 12-16.

[2] 樊超, 薛瑞丽, 宋欢欢, 等. 黏结底涂对整体油箱防腐涂料与密封胶相容性影响的研究[J]. 涂料工业, 2024(6): 60-64.

[3] 俞建, 徐金文, 刘岳麟, 等. 油舱内壁用环保型无溶剂环氧抗静电防腐涂料的制备及性能研究[J]. 现代涂料与涂装, 2025(4): 9-13.

