

聚天门冬氨酸酯聚脲涂料的改性研究

侯继宗, 李志宝, 宋欢欢, 陈小庆, 刘岳麟
(中昊北方涂料工业研究设计院有限公司, 兰州 730101)

摘要: 通过合成反应型附着力增进树脂和高固低黏高强韧聚氨酯固化剂对聚天门冬氨酸酯聚脲涂料体系进行改性, 附着力增进树脂的最佳用量为主体树脂量的 6%~9%, 在此用量范围内, 涂层附着力显著提高。在湿热和盐雾环境下, 涂层附着力虽有所下降, 但仍然保持较高水平。高强韧固化剂的合成中, 聚己内酯二醇与三醇的复配比例为 1.0:0.3 时涂层性能最佳; NCO/OH 的投料当量比为 (1.9~2.0):1 时, 涂层的实干时间、拉伸强度和附着力等性能均达到理想状态, 且耐介质性能良好。通过上述改性, 聚天门冬氨酸酯聚脲涂料的综合性能得到了显著提升。

关键词: 聚天门冬氨酸酯聚脲; 附着力增进树脂; 高强韧固化剂; 改性研究

中图分类号: TQ630.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-9548(2025)10-0001-07

Study on Modification of Polyaspartate Polyurea Coatings

HOU Ji-zong, LI Zhi-bao, SONG Huan-huan, CHEN Xiao-qing, LIU Yue-lin

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

Abstract: The polyaspartic acid ester polyurea coating system was modified by synthesizing reactive adhesion enhancer resin and high-solid, low-viscosity, high-strength and high-toughness polyurethane curing agent. The optimal dosage of adhesion enhancer resin was 6%~9% of the main resin amount. Within this dosage range, the adhesion of the coating was significantly improved. In damp heat and salt spray environments, although the adhesion of the coating decreases somewhat, it still remains at a relatively high level. In the synthesis of high-strength and high-toughness curing agents, when the compounding ratio of polycaprolactone diol to triol is 1.0:0.3, the coating performance is the best. When the equivalent ratio of NCO/OH feeding is (1.9~2.0):1, the properties of the coating, such as the dry time, tensile strength and adhesion, all reach the ideal state, and the medium resistance is good. Through the above-mentioned modification, the comprehensive performance of polyaspartate ester polyurea coating has been significantly improved.

Key words: polyaspartic acid ester polyurea; adhesive-enhancing resin; high-strength and high-toughness curing agent; modification research

0 引言

聚脲材料是异氰酸酯与氨基化合物反应而成的弹性体, 是近二十年来发展起来的综合性能优异的涂层材料, 因其具有无污染、无溶剂、快速固化的特点, 广泛应用于防腐涂料、防水涂料、耐磨涂料等领域。聚脲材

料发展至今已经从第一代的芳香族聚脲、第二代的脂肪族聚脲逐渐过渡到第三代聚脲。

聚脲材料作为新型弹性体, 具有广阔的应用场景, 同时, 在应用过程中也存在一些问题, 前两代聚脲由于反应速度太快, 造成漆膜流平时间不够、对基材浸润性不好, 进而容易造成附着力不好、涂膜表面状态较差等缺陷。以聚天门冬氨酸酯聚脲为典型代表的第三代聚脲, 相比前两代聚脲, 其将伯胺变成了仲胺, 同时在分子结构中引入了体积较大的丁二酸二烷基酯, 形成空

收稿日期: 2025-07-18

作者简介: 侯继宗(1988—), 男, 本科, 工程师, 主要从事特种涂料与水性涂料的研究及应用工作。E-mail: 374298921@qq.com。

间位阻效应,进一步降低了聚脲的反应速度。并且可以通过改变酯基大小和结构进一步调节反应速度的快慢。通过选择不同伯胺和马来酸酯,可以得到不同结构的聚天门冬氨酸酯,进而制备出凝胶时间不同的聚天门冬氨酸酯聚脲^[1-3]。

虽然聚天门冬氨酸酯聚脲在漆膜表面状态、反应时间、附着力等方面较第一代和第二代聚脲已经有了明显的改进,但是仍然存在与基体结合力不高、交联密度低等问题。尤其在一些受高速冲击的应用场景下,由于韧性不够强导致漆膜有脱落的现象。因此,为了提高聚天门冬氨酸酯聚脲涂层的性能,拓展其应用领域,可通过树脂及固化剂改性的方法,在保持其优点的同时增强短板性能,获得性能优异的复合材料^[4-6]。

本研究中,我们采用马来酸二酯与 N-(β-氨基乙基)-γ-氨基三甲氧基硅烷(KH-792)发生加成反应,合成了一种反应型附着力增进树脂。该树脂分子结构中含有活性烷氧基,能够与基材发生化学键合,同时含有仲氨基,能与异氰酸酯反应,其分子链段中含有天门冬氨酸酯结构,与主体树脂具有良好的相容性。同时,制备了一种高固低黏的高强韧聚氨酯固化剂与主体固化剂进行复配,该固化剂由 IPDI 和小分子量的聚己内酯二元醇、三元醇反应而成。该固化剂黏度小,对涂料的配制施工无影响。由于聚己内酯的引入,对基料体系能够起到有效的增韧作用,改善其硬脆性;同时,固化剂保持高 NCO 基含量、高官能度,对涂料体系的强度、干性无明显影响^[7-10]。

1 试验部分

1.1 主要原材料

马来酸二乙酯,国产;N-(β-氨基乙基)-γ-氨基三甲氧基硅烷,国产;催化剂,进口;氮气,国产;NH-1420,国产;N-3390,进口;脂肪族异氰酸酯单体,国产;聚己内酯多元醇,国产;以上原材料均为工业级。

1.2 主要仪器设备

调速搅拌机,温度计,回流冷凝管,滴液漏斗,四口瓶,电子秤,真空泵,控温水浴锅,傅里叶变换红外光谱仪,附着力测试仪,拉开法附着力试验仪,漆膜干燥时间测定仪,湿热试验箱,盐雾试验箱,电热鼓风干燥箱。

1.3 试验方案设计

1.3.1 附着力增进树脂合成方案

涂料与基材的附着力大多依靠分子间作用力,若涂料的基料树脂与基材发生化学键合,则有助于形成牢固持久的附着,对提高附着力和防腐性都有明显的改善作用。使用硅烷偶联剂改性提供附着力是涂料中较为常用且非常有效的方法,特别是针对金属基材时。在涂料成膜时,硅烷偶联剂会迁移到基材与涂层的界面处,其含有的可水解基团与基材表面上的活性基团反应,水解生成硅醇基,进一步与基材表面的活性基团形成氢键或缩合成—Si—O—M 共价键(M为无机表面),氢键和共价键作用力远强于树脂分子与界面间的作用力,所以在硅烷与基材间的界面总键能要远远大于单纯的物理吸附,涂层对基材呈现出很强的附着力,其作用原理如图1所示。

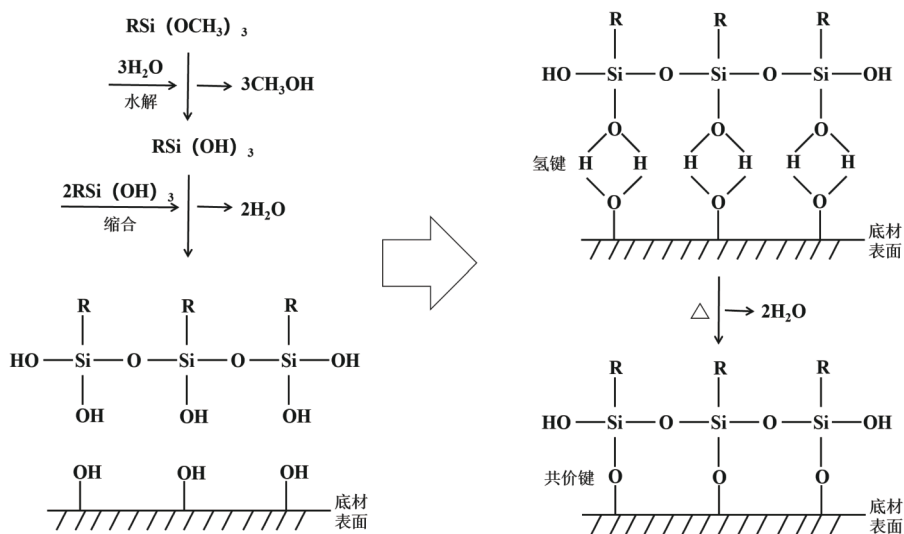


图1 硅烷偶联剂作用原理

同时,偶联剂还能够起到表面活性剂的作用,促进涂料渗入基材表面上的凹缝、微孔中并固化,通过锚固作用大大增强涂层的附着力。

常用硅烷偶联剂在使用过程中容易出现与体系相容性不好的问题,由此造成偶联剂的作用未能显现。本研究主体树脂为聚天门冬氨酸酯聚脲,为此,研究方案

设计用马来酸二酯与 N-(β-氨基乙基)-γ-氨丙基三甲氧基硅烷(KH-792)发生加成反应,合成了一种反应型附着力增进树脂,其聚合反应原理如图 2 所示。

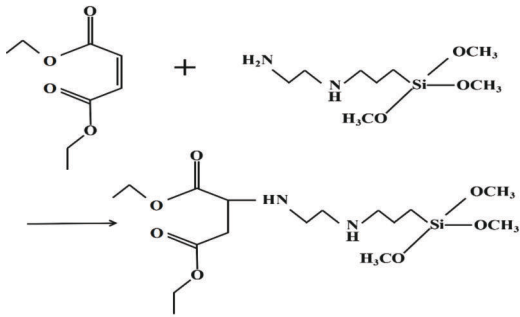


图 2 反应型附着力增进树脂合成原理

该树脂分子结构中含有活性烷氧基,能够与基材发生化学键合,同时含有仲氨基,能与异氰酸酯反应。其分子链段中含有天门冬氨酸酯结构,与研究主体树脂相似,因而具有良好的相容性。使用该树脂对主体基料树脂进行复配改性,除能够增加涂料的附着力之外,由于其分子结构的另一端可以与主体基料树脂上的异氰酸酯反应,可以实现附着长效持久性。

天门冬氨酸酯结构硅烷改性附着力增进树脂的合

成工艺流程如图 3 所示。

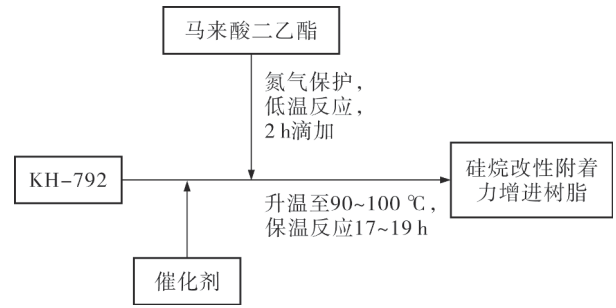


图 3 硅烷改性附着力增进树脂合成工艺流程

1.3.2 高强韧固化剂合成方案

根据本研究的技术要求以及聚脲涂料新的应用工况环境,所制备的改性固化剂必须具备以下特点:高固低黏特性、优异的耐候性以及卓越的力学性能。在本研究中以低分子量两官能、三官能聚己内酯多元醇复配为羟基组分、以脂肪族异氰酸酯单体为 NCO 组分,通过缓慢滴加、低温反应的合成工艺制备具有高固低黏特点的高强韧固化剂,其合成反应原理如图 4 所示。

高固低黏高强韧固化剂的合成工艺流程如图 5 所示。

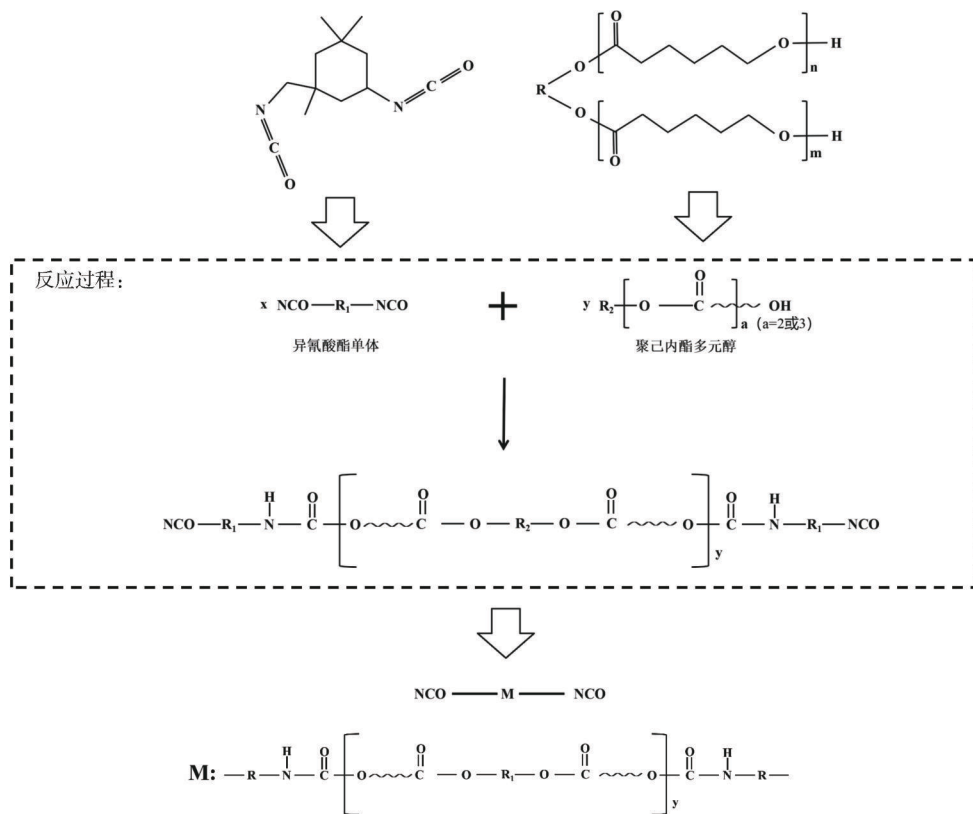


图 4 高固低黏高强韧固化剂合成原理

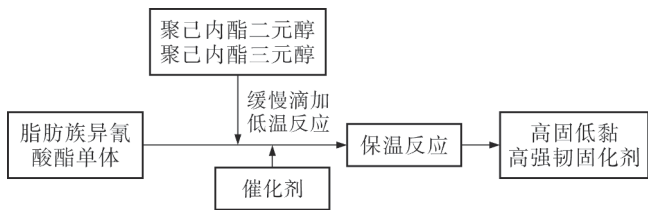


图5 高固低黏高强韧固化剂合成工艺流程

2 结果与讨论

2.1 硅烷改性附着力增进树脂的表征

在本研究中,我们分别对马来酸二乙酯、N-(β-氨基乙基)-γ-氨丙基三甲氧基硅烷以及合成的具有天门冬氨酸酯结构的硅烷改性附着力增进树脂进行红外表征,其红外谱图如图6~8所示。

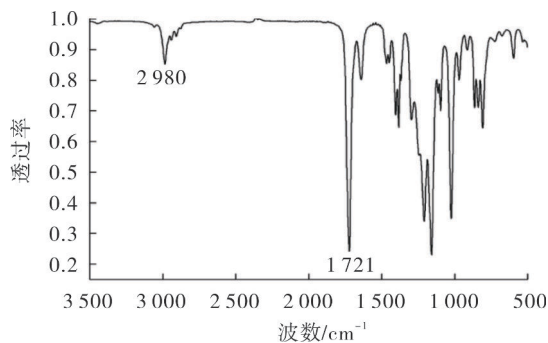


图6 马来酸二乙酯红外谱

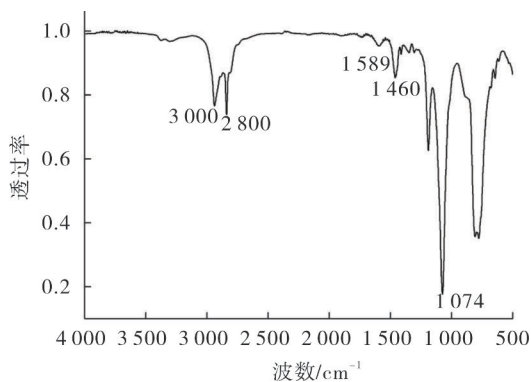


图7 N-(β-氨基乙基)-γ-氨丙基三甲氧基硅烷红外谱

从上述表征可以看出,图6中 2980 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2$ 、 $-\text{CH}$ 的吸收峰, 1721 cm^{-1} 处为羰基($-\text{CO}-$)的吸收峰。图7中 2800 cm^{-1} 至 3000 cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_3$ 基团的吸收峰, 1074 cm^{-1} 处为 $\text{Si}-\text{O}$ 键的特征吸收峰; 3200 cm^{-1} 和 3500 cm^{-1} 为伯胺和仲胺的特征吸收峰, 1589 cm^{-1} 为伯胺的特征峰, 1460 cm^{-1} 处为仲胺的特征峰。图8中, 1589 cm^{-1} 处伯胺特征峰消失, 1460 cm^{-1} 处仲胺的特征峰加强,证明伯胺与马来酸二乙酯发生了加成反应。

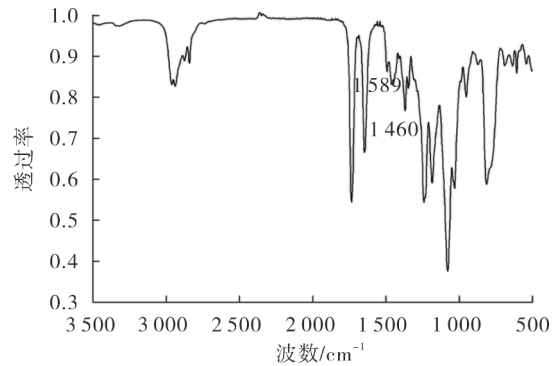


图8 硅烷改性附着力增进树脂红外谱

2.2 附着力增进树脂对聚天门冬氨酸酯聚脲涂层附着力的影响

在本研究中我们考查了不同用量的附着力增进树脂对聚天门冬氨酸酯聚脲涂层附着力的影响,其中聚天门冬氨酸酯聚脲涂层为N-3390固化NH-1420聚天门冬氨酸酯树脂体系。试验的具体结果如表1所列。

表1 附着力增进树脂对涂层附着力的影响

树脂用量/%	0	3	6	9	12	15
附着力/MPa	4.5	5.0	6.3	6.5	6.4	6.3

注:附着力增进树脂的用量为占主体树脂量的质量分数。

从表1可以看出,当附着力增进树脂的用量从0增加至6%时,涂层附着力呈现明显上升趋势,而后继续增加用量涂层的附着力变化不大。

研究发现,在原树脂体系中引入附着力增进树脂后,极大地增强了涂层的附着力,这是由于反应型附着力增进树脂的引入,使得涂层的附着由物理吸附变为化学键合和物理吸附相结合的方式提供。同时,随着反应型附着力增进树脂的引入,更大程度上破坏了原来体系中硬链段分子的规整性,从而使得软硬链段的结合更加紧密,涂层强度增加。当附着力增进树脂的用量超过9%时,聚天门冬氨酸酯聚脲涂层的附着力不再增加。经试验确定附着力增进树脂的最佳用量为主体树脂量的6%~9%。

2.3 湿热盐雾环境对附着力增进树脂性能的影响研究

本研究涂层的使用环境为南海环境,是典型的高湿热高盐雾环境,所以在研究中分别考察了湿度及盐雾对附着力增进树脂性能的影响,在湿度因素方面考察了相对湿度为 $(50\pm 5)\%$ 、 $(65\pm 5)\%$ 、 $(80\pm 5)\%$ 三个条件下附着力的变化,试验时附着力增进树脂的用量定为8%。

为了调整湿度,试验在湿热试验箱内进行。先将试

板在湿热箱中放置 24 h, 然后在该湿度下涂装涂料。涂料干燥 2 h 后, 开启湿热周期循环, 24 h 为一个循环周期。一个循环周期内温度变化区间为 30~60 ℃, 在开始的 4 h 之内温度均匀上升, 由 30 ℃ 上升至 60 ℃, 在 60 ℃ 条件下维持 4 h, 然后在 8 h 内均匀降温至 30 ℃, 在 30 ℃ 内再维持 8 h, 此为一个循环。重复此循环 7 次, 取出试验件, 放置 24 h 后测试涂层的附着力, 测试结果如表 2 所列。

表 2 湿热环境对附着力增进树脂性能的影响

相对湿度/%	附着力/MPa					平均附着力/MPa
50±5	6.65	6.53	6.82	6.35	6.49	6.57
65±5	6.56	6.21	6.38	6.15	6.21	6.30
80±5	5.98	6.17	6.21	5.65	5.88	5.98

从表 2 可以看出, 随着湿度的增大, 涂层的附着力稍有下降。

在本研究中, 盐雾环境参照 GB 1771 中性盐雾试验的规定进行, 首先用化学纯试剂配制浓度为 (5±1)% 盐溶液, 盐溶液的 pH 控制在 6.5~7.2。将试验样板放在盐雾试验箱中, 喷雾 2 h 后取出。一组样板用软化水冲洗表面的盐溶液之后进行涂料涂装, 另外一组不做任何表面处理, 进行涂料涂装。涂装完的样件在室温环境下放置 24 h 后再放入盐雾试验箱中, 7 d 后取出测试附着力, 测试结果如表 3 所列。

表 3 盐雾环境对附着力增进树脂性能的影响

样组	附着力/MPa					平均附着力/MPa
1#	6.54	6.32	6.47	6.28	6.73	6.47
2#	3.26	3.13	3.85	3.65	3.32	3.44

注: 1# 样板用软化水冲洗表面, 2# 不做任何表面处理。

从表 3 可以看出, 在盐雾环境下, 未将基材表面的盐分清洗干净则会导致涂层的附着力明显下降。

2.4 高固低黏高强韧固化剂的表征

图 9 和图 10 分别为聚己内酯二元醇和三元醇的红外谱图, 图 11 为合成的高固低黏高强韧固化剂的红外谱图。

因为在聚己内酯多元醇分子中存在较强的氢键作用, 所以在图 9 和图 10 中可以看到在 3 442 cm^{-1} 附近出现了与羟基相关的强而宽的伸缩振动吸收峰, 在 2 936 cm^{-1} 和 2 864 cm^{-1} 处出现了尖锐的吸收峰, 其为 $-\text{CH}_2$ 和 $-\text{CH}_3$ 基团的对称和反对称伸缩振动峰, 在 1 730 cm^{-1} 处出现了羧基伸缩振动的吸收峰。在图 11 中 2 260 cm^{-1} 处为 $-\text{NCO}$ 的吸收特征峰, 3 450

cm^{-1} 与羟基相关的强而宽的伸缩振动吸收峰消失, 在 3 370 cm^{-1} 处出现强的氢键缔合的 $-\text{NH}$ 震动峰, 表明聚己内酯中的 $-\text{OH}$ 已经和 $-\text{NCO}$ 发生了反应。

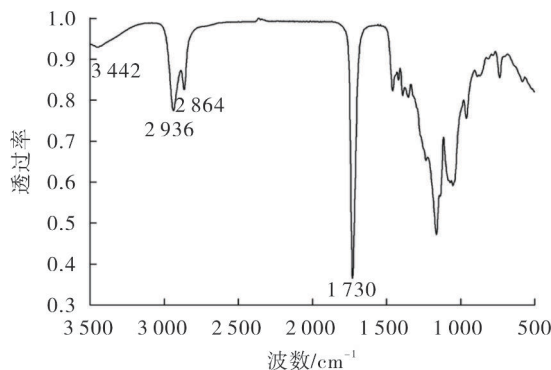


图 9 聚己内酯二元醇的红外谱

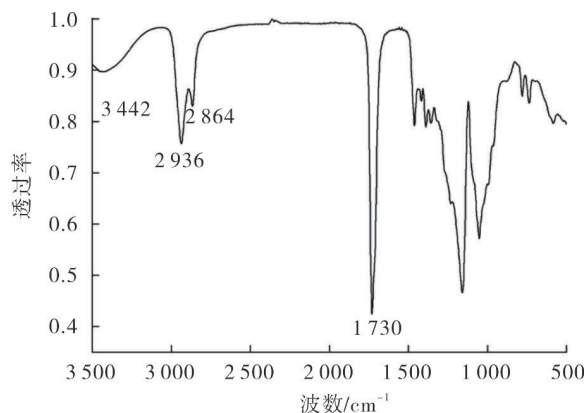


图 10 聚己内酯三元醇的红外谱

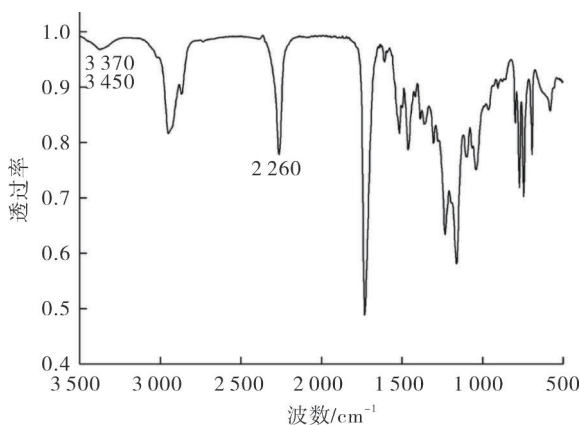


图 11 高固低黏高强韧固化剂的红外谱

2.5 固化剂合成中聚己内酯多元醇复配比例研究

在聚己内酯多元醇复配体系中, 聚己内酯二醇提供韧性, 聚己内酯三醇赋予涂层高强度, 两者相互协同并最终制备得到研究所需的高强韧固化剂。在本研究

中,以两官能的聚己内酯二醇树脂为基础,引入三官能的聚己内酯三醇,能够在保证涂层韧性的基础上有效

提高涂层的强度,并增强涂层耐流体介质性能。表4为不同复配比例条件下制备的涂层性能测试结果。

表4 固化剂合成中二元、三元醇复配比例对涂层性能的影响

项目	二元醇:三元醇(当量比)					
	1.0:0	1.0:0.1	1.0:0.2	1.0:0.3	1.0:0.4	
拉伸强度/MPa	13.33	16.30	20.80	21.60	23.10	
附着力/MPa	6.75	7.80	12.70	12.82	11.28	
耐介质性能	RP-5 航空煤油, 24 h	完好	完好	完好	完好	完好
	RP-5 航空煤油, 168 h	无变色, 轻微发软	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好
	15 号航空液压油, 28 d	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好	完好
	4109 合成航空润滑油, 28 d	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好	完好

从表4可以看出,随着聚己内酯三醇引入量的增加,涂层拉伸强度以及耐流体介质性能增强,在一定加量范围内,强度的增加提高了涂层抗内聚力破坏的能力,涂层系统的拉开法附着力随着提高。当聚己内酯三醇加量过高时,涂层体系内应力不断提高,对涂层与基材的结合力产生影响,表现为涂层系统的拉开法附着力下降。综合考虑,本研究最终确定聚己内酯二醇与聚己内酯三醇的复配比例为1.0:0.3。

2.6 固化剂合成中 NCO/OH 的当量比研究

随着 NCO/OH 投料当量比由小到大变化,导致聚氨酯固化剂中 NCO 含量随之提高,与聚天门冬氨酸酯

交联固化后,体系中高内聚能的脲基结构含量随之增加,体系中分子间氢键作用力增强,漆膜干性变好,拉伸强度增大。由于极性基团的增加,对基材的黏结性能随之增加。但当量比过大,尤其是超过理论计算值2:1时,体系中会残留较多小分子游离单体,虽然有利于涂层硬度的提升,但对于涂层的韧性会产生不良的影响。此外,由于游离单体的反应活性高,过大的残留量也会严重缩短涂料的适用期。本研究在固化剂合成过程中,考察了不同 NCO/OH 投料当量比下合成的高强韧固化剂对聚天门冬氨酸酯聚脲涂层性能的影响,其配漆后的涂层性能检测结果如表5所列。

表5 固化剂合成中 NCO/OH 当量比对涂层性能的影响

项目	NCO : OH(当量比)					
	1.7:1	1.8:1	1.9:1	2.0:1	2.1:1	2.2:1
适用期/h	≥5	≥5	≥5	≥5	≤5	≤5
实干/h	≥1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
拉伸强度/MPa	12.80	16.30	21.60	22.66	21.20	19.66
附着力/MPa	7.88	10.31	12.38	13.60	13.98	14.62
耐介质性能	RP-5 航空煤油, 24 h	完好	完好	完好	完好	完好
	RP-5 航空煤油, 168 h	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好	完好
	15 号航空液压油, 28 d	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好	完好
	4109 合成航空润滑油, 28 d	无变色, 轻微发软	完好	完好	完好	完好

从表5可以看出,当 NCO/OH 投料当量比在较低水平时,涂料的适用期以及涂层的实干时间都不能满足本研究的要求,且耐介质性能也有欠缺。随着 NCO/OH 投料当量比的提高,适用期及干性逐渐改善,耐流体介质性能变好。此外,随着 NCO/OH 投料当量比的提高,在分子结构中表现为高极性脲基结构含量的提

高,宏观表现为涂层对基材附着强度的提升,但其作为硬段结构,含量过高则对涂层的韧性产生不利影响。通过以上试验结果确定本研究在高强韧固化剂合成时 NCO/OH 的投料当量比为(1.9~2.0):1。

3 结语

本文针对聚天门冬氨酸酯聚脲涂料体系在交联密

度、与基体结合力等方面的不足,通过合成反应型附着剂增进树脂和高固低黏高强韧聚氨酯固化剂,成功实现了对其性能的有效改性。

1)研究表明,附着力增进树脂的最佳用量为主体树脂量的6%~9%。在此范围内,涂层的附着力得到显著提升,这归因于该树脂与基材形成化学键合以及破坏原体系硬链段分子规整性,使软硬链段结合更紧密的双重作用。同时,在湿热环境下,随着湿度的增加,涂层附着力虽有所下降,但仍能保持较高水平;

2)研究发现,聚己内酯二醇与三醇的复配比例为1.0:0.3时,涂层的拉伸强度和耐流体介质性能达到最佳平衡。此外,NCO/OH投料当量比在(1.9~2.0):1时,涂料的适用期、实干时间、拉伸强度和附着力等性能均达到理想状态,同时保持了良好的耐介质性能。

3)通过上述改性措施,聚天门冬氨酸酯聚脲涂层材料的综合性能得到了全方位的改进。不仅在力学性能上表现出更高的拉伸强度和附着力,还在耐介质性能上展现出优异的稳定性,使其能够更好地适应复杂的应用场景和严苛的环境条件。

综上所述,本研究通过合理设计和优化改性方案,解决了聚天门冬氨酸酯聚脲涂层材料在应用中存在的关键问题,为其在更广阔领域的应用做了初步的探索,拓展了其在防腐、防水及耐磨等领域的应用潜力,为相关涂料的研发和应用提供了宝贵的理论和实践依据。

参考文献:

- [1] 黄微波.喷涂聚脲弹性体技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 廖有为,熊平凡,赵舒超,等.聚天门冬氨酸酯涂料的研制与应用[J].涂料工业,2006,36(3):38-40.
- [3] 薛守成,席发臣,冯俊忠,等.新型聚天门冬氨酸酯的合成及其在弹性聚氨酯涂料中的应用[J].现代涂料与涂装,2009,12(11):1-4.
- [4] 段衍鹏,赵云鹏,刘景,等.聚天门冬氨酸酯聚脲及其涂料[J].现代涂料与涂装,2015,18(6):6-9.
- [5] 李颖华.聚天门冬氨酸酯涂料及其在风电叶片上的应用[J].上海涂料,2014,52(7):32-35.
- [6] 刘保磊,陈芳.聚天门冬氨酸酯涂料及其在工程机械上的应用[J].现代涂料与涂装,2014,17(3):41-42.
- [7] 孙世刚,常友,李同信.聚天门冬氨酸酯的合成及其在聚脲中的应用[J].全面腐蚀控制,2015,29(6):74-78.
- [8] 刘培礼,刘光晔,黄微波.聚天门冬氨酸酯聚脲的制备与研究[J].聚氨酯工业,2005,20(4):16-19.
- [9] 吕平,徐研,黄微波.不同硬段含量聚天门冬氨酸酯聚脲涂层耐海洋环境老化性能[J].腐蚀与防护,2008,29(3):116-118.
- [10] 吕平,陈国华,黄微波.新型聚天门冬氨酸酯合成脂肪族聚脲涂层[J].高分子材料科学与工程,2007,23(3):55-58.

《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5000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。



期刊网站