

# 一种环保高性能汽车用涂料技术成果的开发及应用

谢文为<sup>1</sup>, 龚德平<sup>2\*</sup>, 郭逍遥<sup>3</sup>

(1.清远高新区创新创业服务中心, 广东 清远 511517; 2.清远市技师学院, 广东 清远 511517;

3.清远华湾材料研究院有限公司, 广东 清远 511517)

**摘要:** 伴随汽车产业的迅猛进步, 汽车涂装涂料在性能及环保方面的要求愈发严苛。本研究阐述了一种环保高性能汽车用涂料的技术成果开发及应用, 借助引入具有多种功能特性的叔碳酸缩水甘油酯和功能羟基单体, 成功合成出具备高固体低黏度特性的环保高性能丙烯酸树脂, 将其用作主体成膜物质, 确定最佳关键技术条件为: 叔碳酸缩水甘油酯添加量为15%, 流平剂添加量为0.4%, 消泡剂添加量为0.3%, 最佳施工温湿度为20~25℃、40%~60%。验证试验结果表明, 本产品具有优异的综合性能, 在汽车领域具有广阔的应用前景。

**关键词:** 汽车涂料; 环保高性能; 丙烯酸树脂

中图分类号: TQ637

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2025)12-0029-04

## Development and Application of An Environmental Protection High Performance Automobile Coating Technology

XIE Wen-wei<sup>1</sup>, GONG De-ping<sup>2\*</sup>, GUO Xiao-yao<sup>3</sup>

(1. Innovation and Entrepreneurship Service Center of Qingyuan High-tech Zone, Qingyuan 511517, Guangdong, China;

2. Qingyuan Technician College, Qingyuan 511517, Guangdong, China; 3. Qingyuan Huawan Material Research Institute Co., Ltd., Qingyuan 511517, Guangdong, China)

**Abstract:** With the rapid development of the automotive industry, the performance and environmental protection requirements for automotive coatings are increasing day by day. This paper introduces the development and application of a technical achievement of an environmentally friendly and high-performance automotive coating. By introducing glycidyl tertiary carbonate with multiple functional characteristics and functional hydroxyl monomers, an environmentally friendly and high-performance acrylic resin with high solid and low viscosity characteristics was prepared as the main film-forming substance, and the optimal key technical conditions were determined as: the dosage of glycidyl tertiary carbonate is 10%, the dosage of defoamer is 0.3%, the dosage of leveling agent is 0.4%, and the optimal construction temperature and humidity are 20~25℃ and 40%~60%. The verification test results show that this product has excellent comprehensive performance and broad application prospects in the automotive field.

**Key words:** automotive coatings; environmentally friendly and high-performance; acrylic resin

收稿日期: 2025-05-07

**作者简介:** 谢文为(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事科技成果技术转移转化运营及科技项目研究工作。E-mail: 239849081@qq.com。

\***通信作者:** 龚德平(1976—), 男, 本科, 高级实习指导教师, 主要从事教学及工艺技术、工程新材料的研究工作。E-mail: 550780683@qq.com。

## 0 引言

汽车涂料作为汽车生产工艺中的关键表面新材料, 不仅对汽车的表面装饰起着重要作用, 还直接影响汽车的品质、使用性和安全性等性能<sup>[1]</sup>。随着国家环保规定的日趋完善以及消费者对汽车高品质要求的不断提升, 开发环保高性能的汽车用表面涂装新材料成为涂料行业技术创新的重要方向<sup>[2]</sup>。传统的油性汽车涂

料中含有大量的挥发性有机化合物(VOC),在生产和施工过程中会对大气环境和施工工人健康造成严重危害<sup>[1]</sup>;同时,其在光泽度、丰满度、硬度等性能方面也逐渐难以满足现代汽车工业的发展需求。

因此,研发一种既能大幅度降低 VOC 排放,又能具备优异机械性能、装饰性与施工性能等综合性能的汽车用涂料具有重要的现实意义。特别是近年来,高固低黏技术在涂料领域受到广泛关注,成为解决涂料环保与性能矛盾的关键技术之一。开发环保高性能且具备高固低黏特性的汽车用涂料,成为行业亟待解决的关键课题。它通过科学调控配方体系提高涂料中的固体成分含量,同时借助分子结构设计降低体系黏度,在大幅减少有机溶剂使用量的同时,实现高效涂装,降低 VOC 排放,从源头契合环保趋势导向。同时,高固低黏涂料还能减少涂装次数,显著提升生产线周转效率,降低能耗与材料生产成本,对推动汽车涂料行业的绿色可持续发展意义重大。本研究通过对原材料的精心筛选和工艺的优化,以及精细化的施工工艺窗口控制,成功开发出一种环保高性能汽车用涂料,并对其性能进行了深入研究和系统化验证,为汽车涂料行业的发展提供了兼具技术创新性与工程实用性的新型解决方案。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原料与器材

甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸、叔碳酸缩水甘油酯、丙烯酸丁酯:广州昊毅新材料科技股份有限公司;异氰酸酯固化剂:科思创聚合物(中国)有限公司;消泡剂、流平剂:德国 BYK;光泽仪:德国 BYK AG-4446,深圳市时代之峰科技有限公司;精密电子天平:SAS-A30002,江苏三爱思科学仪器有限公司;铅笔硬度计:BGD 505,标格达精密仪器(广州)有限公司。

### 1.2 环保高性能丙烯酸树脂的制备

在配备有搅拌装置、温控系统和回流冷凝装置的反应釜中,加入叔碳酸缩水甘油酯 100 份、碳酸二甲酯 150 份、三苄基苯基氯化磷 0.6 份和丙二醇甲醚醋酸酯 30 份,开启搅拌,在搅拌速度为 200~250 r/min 的分散状态下使原料充分混合。然后向反应釜中通入氮气,置换反应釜内的空气,形成氮气保护环境,缓慢加热反应釜内的物料至回流状态;将甲基丙烯酸甲酯 280 份、甲基丙烯酸环己酯 30 份、丙烯酸 35 份、甲基丙烯酸羟乙酯 160 份、苯乙烯 50 份、丙烯酸丁酯 120 份、巯基丙酸 3.5 份和引发剂过氧化-2-乙基己酸叔戊酯 5 份混合均匀,配制成单体混合溶液;将单体混合溶液缓慢滴加至反应釜中,滴加速度控制在 3~4 h 内滴完。在滴加过程中,保持反应温度稳定在 133~135 ℃,同时搅拌速度

可适当提高至 250~300 r/min;滴加完毕后保温反应 1~1.8 h,使单体充分聚合反应;将剩余的引发剂(即 0.5 份过氧化-2-乙基己酸叔戊酯与 5 份碳酸二甲酯混合均匀)混合液滴加入反应釜中,滴加 15~25 min。滴加完毕继续保温反应 2.5~3.5 h;保温后停止加热,自然降温至 45 ℃,过滤出料,制得环保高性能丙烯酸树脂。

### 1.3 产品性能测试方法<sup>[4-5]</sup>

硬度测试:按照 GB/T 6739—2006《色漆和清漆 铅笔法测定漆膜硬度》进行测定。

附着力测试:依据 GB/T 9286—1998《色漆和清漆 漆膜的划格试验》进行测定。

光泽度测试:使用光泽仪,按照 GB/T 9754—2007《色漆和清漆 不含金属颜料的色漆漆膜的 20°、60° 和 85° 镜面光泽的测定》进行测定。

VOC 含量测定:依据 GB/T 23985—2009《色漆和清漆 挥发性有机化合物(VOC)含量的测定 差值法》进行测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 叔碳酸缩水甘油酯用量对树脂性能的影响

叔碳酸缩水甘油酯分子结构独特,其良好的溶解性使其在树脂分子之间均匀分散,隔开原本相互靠近、作用较强的树脂大分子,增加了分子间距,起到稀释效果;其次,叔碳酸缩水甘油酯分子中的极性基团可以与树脂分子上的相应基团发生相互作用,部分取代原有的分子间作用力,形成较弱的新作用力,使树脂分子间的结合力减弱,使分子更易相对滑动;另外,叔碳酸缩水甘油酯具有较大的空间位阻结构,在树脂体系中,其庞大的分子结构会阻碍树脂分子之间的相互靠近和缠结,防止分子间紧密结构形成,进而降低树脂体系黏度。并且在与丙烯酸共聚物大分子连接的同时释放出新的羟基,增加成膜交联基团,硬度有所改善;随着叔碳酸缩水甘油酯添加量的增加,树脂体系黏度下降<sup>[6]</sup>,添加用量占单体总量的 15% 左右,树脂黏度下降趋势缓慢接近平缓,且过量的叔碳酸缩水甘油酯可能会破坏树脂原有的分子结构和交联网络,使树脂机械性能指标下降,综合考虑确定叔碳酸缩水甘油酯最佳用量为 15%。叔碳酸缩水甘油酯用量对树脂性能的影响见表 1 所列。

表 1 叔碳酸缩水甘油酯用量对树脂性能的影响

项目	添加量/%				
	5	10	15	20	25
黏度(25 ℃)/(mPa·s)	4 999	4 580	3 909	3 900	3 898
铅笔硬度	H	H	2H	2H	H

## 2.2 助剂的选择性研究

在涂料制备和应用过程中流平剂作为关键的表面活性剂添加在涂料配方体系里,其核心作用是能够有效降低涂料表面张力,助力涂料在施工后迅速铺展流平,进而改善施工过程中的流平性能,显著减少橘皮、缩孔等常见缺陷的出现;但流平剂用量需严格控制,如添加用量过少,对施工底材不能充分地进行润湿,无法改善漆膜流平效果,过量会导致涂膜表面出现发花、浮色现象,严重影响外观质量<sup>[7-10]</sup>。通过试验设计优化,当流平剂用量控制在涂料总量的0.4%时,涂膜不仅具备优异的流平性,且无外观缺陷,从而保证汽车涂层呈现美观平整的装饰效果。流平剂用量对环保高性能汽车用涂料的性能影响见表2所列。

表2 流平剂用量对环保高性能汽车用涂料的性能影响

项目	添加量/%				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
漆膜表面	橘皮、少缩孔	微橘皮	平整光滑	平整光滑	平整、少浮色
光泽(60°)/%	89	92	97	95	91

在涂料制备生产及施工过程中,由于空气的引入和泡沫的稳定化易引起气泡问题,从而贯穿从生产到成膜的多个环节,最终会对涂料的品质、性能及使用寿命等方面造成影响,所以消泡剂的选用极为关键;消泡剂一般有着比涂料更低的表面张力,一旦将其添加到涂料里,会迅速在泡沫表面扩散开来,这一过程中,消泡剂能够降低泡沫表面特定区域的表面张力,从物理原理来讲,依据拉普拉斯方程,当表面张力下降时,泡沫的膜壁就会逐渐变薄。而泡沫膜壁变薄之后,其稳定性就会遭到破坏,最终使得泡沫破碎;消泡剂分子可以与液膜中的表面活性剂分子相互作用,改变它们的排列方式,使液膜失去弹性,在受到外界扰动时容易破裂;消泡剂还可以通过和涂料中的成膜物质、添加剂等相互作用,改变体系的界面性质,使空气难以进入涂料体系形成气泡,从而减少泡沫的产生,保证涂料制备和施工顺利进行,提高生产效率和涂层质量。然而,当持续添加消泡剂时,过量的消泡剂极有可能在涂料成膜阶段向涂层表面转移,阻碍涂料中树脂等成膜物质与基材表面的紧密结合,导致涂层在使用过程中容易出现剥落、起皮等附着力下降的现象;同时过多的消泡剂的加入导致涂料在施工过程中出现边缘处收缩,形成不均匀的涂层边缘,消泡剂局部聚集过度抑制涂料的表面张力,使涂料无法均匀铺展出现鱼眼现象和表面分布不均匀出现光线散射增加,涂料的光泽度会随之降低。经过大量的试验探索与优化,发现当消泡剂的用

量控制在涂料总量的0.3%时,所形成的涂膜呈现出理想的平整光滑状态,光泽度高、附着力好,保证汽车涂层装饰效果和使用性能。消泡剂用量对环保高性能汽车用涂料的性能影响见表3所列。

表3 消泡剂用量对环保高性能汽车用涂料的性能影响

项目	添加量/%				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
漆膜表面	粗糙、少气孔	微粗糙	平整光滑	平整、少缩边	平整、少针孔
附着力/级	1	0	0	0	1
光泽(60°)/%	89	92	97	95	91

## 2.3 施工温湿度条件研究分析

施工环境中的温湿度条件,对于涂料性能有着不容忽视的作用,会在很大程度上左右涂料的最终表现。当施工环境温度过低,涂料干燥进程变缓,可能出现涂膜流平性不佳、硬度不足的情况,还容易吸收空气中水分,引发涂膜发白、起泡等问题。温度过高,溶剂挥发过快,涂料黏度迅速增加,不利于施工操作,还可能使涂膜产生针孔、橘皮等缺陷。湿度方面,湿度过高时,涂膜表面会凝结水分,阻碍溶剂挥发和树脂交联反应,致使涂膜附着力和耐水性下降。经大量试验探究发现,该涂料在施工时,温度保持在20~25℃、相对湿度处于40%~60%的环境下最为适宜。在此温湿度区间内,涂料的施工过程更为顺畅,能够展现出良好的施工性能,最终形成的涂膜质量也更有保障,从而使涂料所具备的优异性能得以充分发挥。

## 3 验证试验

在对各类原料及助剂开展系统优化研究之后,以白色涂料的制备为例,按照预先设定的比例,称取一定量的环保高性能丙烯酸树脂,将其置于分散容器中,依次加入分散剂、适量消泡剂、适量流平剂、粉料及功能助剂,启动高速分散设备,充分混合均匀后进行研磨处理,直至物料的细度达到合格标准( $\leq 10 \mu\text{m}$ ),制得浆体,然后再依次加入剩余环保高性能丙烯酸树脂、适量消泡剂以及流平剂等助剂,对物料的黏度进行调整,同时启动搅拌设备,使物料充分搅拌均匀,最后,对物料进行过滤处理,去除其中可能存在的杂质,过滤完成后进行包装,制得环保高性能汽车用涂料,也就是组分A,其基本配方如表4所列。

将组分A与作为组分B的脂肪族多异氰酸酯按照 $m_A:m_B:m_{\text{稀料}}=2:1:0.2$ 的比例混合均匀,获得可施工喷涂的成品,其喷涂黏度为15s(涂-4杯,25℃);施工温度20~25℃,相对湿度为40%~60%。该环保高性能汽车用涂料的相关检测指标如表5所列。

表 4 环保高性能汽车用涂料基本配方

原料	质量分数/%	
分散 研磨	环保高性能丙烯酸树脂	30.0
	分散剂	2.8
	流平剂	0.3
	消泡剂	0.1
	钛白粉	32.0
	醋酸丁酯	8.0
配漆	环保高性能丙烯酸树脂	25.0
	流平剂	0.1
	消泡剂	0.2
	功能助剂	1.5
合计	100.0	

表 5 环保高性能汽车用涂料的相关检测指标

项目	测试结果	测试方法
容器中状态	均匀无杂质	目测
漆膜外观	平整光滑	目测
VOC/%	22.1	GB/T 23985—2009
光泽(60°)/%	97	GB/T 9754—2007
铅笔硬度	2H	GB/T 6739—2006
附着力/级	0	GB/T 9286—1998

#### 4 结语

本研究成功开发出一款环保高性能汽车专用涂料,通过科学筛选对叔碳酸缩水甘油酯、羟基单体、助剂的合理选择和工艺优化,结合工艺参数调试以及对施工条件的严格精细化管控,使其具备优异的综合性能。该涂料不仅在硬度、附着力、光泽度等性能方面表现优异,并且具备低 VOC 排放的环保特性。多维度验证试验结果有力证实了该涂料在汽车领域的良好应用

成效,能够满足现代汽车工业对涂料高性能和环保的双重需求,具有广阔的市场应用前景,有望推动汽车涂料行业向绿色化、高性能化方向进一步发展。未来,可进一步研究该涂料在低温、高湿度等不同特殊工况下的性能表现,以及探索与纳米材料、石墨烯等其他新型材料的复合应用路径,以持续不断提升其性能和拓展应用范围。

#### 参考文献:

[1] 郭逍遥,汤汉良,赵果.水性汽车实色面漆的研制[J].上海涂料,2015,53(7):10-12.

[2] 汤汉良,郭逍遥.一种高性能汽车表面水性涂料的制备[J].现代涂料与涂装,2021,24(8):17-19.

[3] 黄鑫.新型环保涂料在汽车涂装中的应用研究[J].汽车维修技师,2024(2):121-123.

[4] 徐帮学.最新涂料配方创新设计与产品检验检测技术标准规范实施手册 第4卷[M].河北:银声音像出版社,2004:1414-1418.

[5] 刘登良.涂料工艺[M].4版.北京:化学工业出版社,2010:872-907.

[6] 王波,谢静,李勇,等.叔碳酸缩水甘油酯在粉末涂料聚酯树脂合成中的应用研究[J].现代涂料与涂装,2021,24(5):8-12.

[7] 郭逍遥,汤汉良,李树伟,等.快干水性汽车表面涂装新材料的研究[J].现代涂料与涂装,2015,18(6):1-3.

[8] 王小荣,王丹,秋文龙,等.消泡剂的研究进展及其消泡机理[J].化学工程师,2024,38(9):67-70.

[9] 朱永闯,黄兰.多聚醚改性有机硅流平剂制备及性能研究[J].广东化工,2022,49(23):24-26.

[10] 王志军.助剂的环保创新技术和发展[J].涂料工业,2024,54(1):25-30. ◆



(上接第 28 页)含量<0.05%);改进研磨工艺采用分段研磨、规定研磨介质粒径和转速、控制漆浆温度,确保研磨时间≤1.5 h。

若采购的滑石粉达不到标准要求且分段研磨法不易实施,可优化配方,采用复合填料体系即重钙:硫酸钡=3:1的方案。

后续将继续探索纳米填料改性技术及高低羟值丙烯酸树脂在半光涂料中的搭配应用,进一步提升颜色稳定性。

#### 参考文献:

[1] 赵彤彤,聂东锐,曹冬梅,等.滑石粉白度表示方法对白度值

影响的研究[J].中国非金属矿工业导刊,2013(3):28-29.

[2] 王红光,陈瑶.TFT-LCD 技术新趋势下彩色滤光片行业发展研究[J].电子世界,2019(23):22-24.

[3] 刘登良.涂料工艺(上册)[M].4版.北京:化学工业出版社,2009:504-505.

[4] 李焕,李俊峰,李婵,等.矿物颜料颗粒度对色彩的影响[J].包装学报,2015,7(4):29-34.

[5] 周铭,支玲敏.影响塑料涂料调色的因素[J].上海涂料,2015,53(4):46-48.

[6] 李儒剑,徐祥麟,刘寿兵,等.城轨车辆用聚氨酯半光漆光泽稳定性研究[J].涂料工业,2019,49(1):18-21. ◆