

硅烷偶联剂对有机硅密封胶性能的影响

罗炜盈¹, 陈炳耀^{1,2,3}, 黄国彪¹, 陈亮¹

(1. 广东三和化工科技有限公司, 广东 中山 528400 ;

2. 广东三和控股有限公司, 广东 中山 528400 ;

3. 广东阜和实业有限公司, 广东 中山 528434)

摘要 : 以 α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷、二甲基硅油、纳米碳酸钙、甲基三甲氧基硅烷、硅烷偶联剂和催化剂作为原料, 制备有机硅密封胶。探究 γ -氨丙基三乙氧基硅烷(KH550)、 γ -(2,3-环氧丙氧基)丙基三甲氧基硅烷(KH560)、N- β -(氨乙基)- γ -氨丙基三甲氧基硅烷(KH792)、 γ -巯丙基三甲氧基硅烷(KH590)四种硅烷偶联剂对有机硅密封胶的表干时间、力学性能和 PP、PE、PET 等基材的黏接性能的影响。结果表明, 添加 KH550 和 KH792 可缩短密封胶的表干时间, 加快 24 h 固化速度, 但对力学性能的提升作用有限, 且基材黏接效果较差, 添加 KH560 和 KH590 能够有效提高基材的黏接效果, 但添加 KH590 的密封胶的力学性能略差于 KH560, 添加 KH560 的有机硅密封胶的综合性能最优。

关键词 : 硅烷偶联剂; 密封胶; 黏接性能; 有机硅

引用论文 : 罗炜盈, 陈炳耀, 黄国彪, 等. 硅烷偶联剂对有机硅密封胶性能的影响 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(8):56-59.

中图分类号 : TQ330.387

文献标识码 : B

文章编号 : 1009-797X(2026)08-0056-04

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.08.012

0 前言

有机硅密封胶是以 α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷(107 硅橡胶)、补强填充剂、交联剂、硅烷偶联剂和催化剂等为原料, 在特定条件下经缩合反应生成的可交联弹性体^[1]。其中, 硅烷偶联剂的分子结构中存在两种化学性质截然不同的基团^[2]。其一为亲无机物基团, 能够与无机物发生化学反应; 其二是亲有机物基团^[3], 不仅可以与聚硅氧烷或其他聚合物发生反应, 还能通过生成氢键实现相互溶解^[4]。凭借这种独特的结构特性, 硅烷偶联剂能够有效改善无机物与有机物分子间的界面作用, 显著提升材料的复合性能^[5]。正因如此, 硅烷偶联剂可以提高有机硅密封胶对于不同基材的黏接性能^[6], 使其应用领域不再局限于建筑行业, 已广泛拓展至汽车、家用电器、电子、光伏^[7]、医疗器械、航空航天等领域。本文主要探究不同类型的硅烷偶联剂对有机硅密封胶的表干时间, 24 h 固化速度, 力学性能, PVC、PP、PE、PET、PMMA、ABS、阳极氧化铝等基材的黏接性能的影响。

1 试验部分

1.1 试验原料

α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷: 黏度 (25 °C)

20 000~80 000 MPa·s, 蓝星化工新材料江西星火有机硅厂; 二甲基硅油, 黏度 (25 °C) 350 MPa·s, 济南创世化工有限公司; 纳米碳酸钙: 平均粒径 60~100nm, 浙江汇翔新材料科技股份有限公司; 甲基三甲氧基硅烷, 工业级, 湖北科沃德化工有限公司; 有机钛催化剂, 工业级, 上海迈瑞尔化学技术有限公司; γ -氨丙基三乙氧基硅烷 (KH550)、 γ -(2,3-环氧丙氧基)丙基三甲氧基硅烷 (KH560)、N- β -(氨乙基)- γ -氨丙基三甲氧基硅烷 (KH792), 工业级, 湖北新蓝天新材料股份有限公司; γ -巯丙基三甲氧基硅烷 (KH590), 工业级, 南京联硅化工有限公司。

1.2 试验仪器

实验室行星动力混合机, 佛山苏佳意智能装备有限公司; 实验室小型真空捏合机, 佛山市南海金昶泰机械设备有限公司; 电热恒温鼓风干燥箱, 上海善志仪器设备有限公司; LK-103B 型电子万能力学试验机, 东莞市力控仪器科技有限公司。

1.3 试验制备

1.3.1 有机硅密封胶基料的制备

首先, 将 α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷与二甲基

作者简介 : 罗炜盈 (2003-), 女, 本科, 现主要从事有机硅产品研究和开发工作。

硅油一同投入真空捏合机内，启动高速搅拌程序。待物料充分混合均匀后，添加纳米碳酸钙，并持续保持高速搅拌。随着搅拌的进行，当料温逐步上升至 120 ℃ 时，开启抽真空功能，在真空环境下继续高速搅拌 3 h。历经上述步骤，搅拌结束，基料制备完成。

1.3.2 有机硅密封胶的制备

基料冷却至室温后，将其转移至行星动力混合机的搅拌缸内，先进行 5 min 搅拌。随后，加入交联剂，将设备内抽真空至 -0.90 MPa，继续搅拌 15 min。待充分混合后，再添加偶联剂、催化剂等助剂，再次抽真空至 -0.90 MPa，持续搅拌 20 min，确保各组份均匀分散。最终，将混合好的胶样灌装至塑料胶瓶内完成制备流程。

1.4 性能测试及表征

1.4.1 表干时间

按照 GB/T 13477.5—2017 标准中 B 法要求进行测试。

1.4.2 固化程度

按照 GB /T 32369—2015 标准中方法三（固化杯法）要求进行测试。

1.4.3 贮存稳定性

按照 GB/T 3512—2001 标准测试，对试样分别用电热恒温鼓风干燥箱进行 80 ℃ 72 h 热老化处理，通过对比表干时间、24 h 固化程度判断其贮存稳定性。

1.4.4 拉伸强度、断裂延伸率

按照 GB/T 528—2009 标准测试，将试样裁制为哑铃状 1 型，使用符合 ISO 5893 规定的拉力试验机

进行测定。

1.4.5 邵氏 A 硬度

按照 GB/T 531—1999 标准测试，将试样制成大于 6 mm 的厚度，固化 168 h 后，再进行硬度测试。

1.4.6 基材黏接性

按照 GB/T 43747—2024《密封胶黏接性的评价胶条剥离法》标准中 5.2.1 无模具法进行测定。

2 结果与讨论

2.1 硅烷偶联剂对有机硅密封胶表干时间的影响

由表 1 数据可知，使用不同种类的硅烷偶联剂对密封胶的表干时间和固化程度有一定程度上的影响。例如未添加偶联剂和 KH560、KH590 的密封胶，其标准环境下的表干时间相近，但其固化速度却有所不同，经热老化后，添加 KH590 的表干时间和固化程度均有增加，由于 KH590 含有的巯基可促进硅氧烷缩合反应，从而缩短密封胶固化时间；对比未添加偶联剂、添加 KH550、KH792 的密封胶，表干时间呈现缩短的趋势，固化程度增加，经热老化后也呈现和标准环境下一样的增加趋势，是因为 KH550 和 KH792 分子结构中均含有氨基，氨基具有吸水性，可吸附空气中的水分，加速密封胶反应固化速度。氨基的水解活性较高，在热老化过程中，含有氨基偶联剂优先发生水解，产生的副产物小分子会攻击有机硅氧烷主链，导致其表干时间延长^[8]。

表 1 硅烷偶联剂对密封胶对表干时间和固化程度的影响

测试项目	标准环境		热老化 (80 ℃ ×72 h)	
	表干时间 /min	24 h 固化程度 /mm	表干时间 /min	24 h 固化程度 /mm
未添加	15	2.83	16	2.81
KH550	12	3.27	20	3.44
KH560	7	2.95	11	3.15
KH590	8	3.02	13	3.22
KH792	8	3.47	16	3.60

2.2 硅烷偶联剂对有机硅密封胶力学性能的影响

由表 2 数据可知，添加硅烷偶联剂后，有机硅密封胶的拉伸强度和断裂伸长率均有不同程度的提升。未添加硅烷偶联剂时，其拉伸强度和断裂伸长率在 5 种密封胶中最低，添加不同类型硅烷偶联剂后，拉伸强度和断裂伸长率对比未添加硅烷偶联剂均有不同程度的增强。其原因为硅烷偶联剂可与纳米碳酸钙形成

稳定 Si—O—Ca 键^[9]，对密封胶的拉伸强度和断裂伸长率有一定的影响。实验表明，相较于其他类型的硅烷偶联剂，添加 KH560 的密封胶在拉伸强度和断裂伸长率方面表现更为优异。这一结果充分说明，在促进纳米碳酸钙对有机硅密封胶的补强作用上，KH560 效果最佳^[10]。此外，邵氏 A 硬度主要取决于填料用量、二甲基硅油用量，以及密封胶的交联密度等关键因素^[11]。从表 2 可看出，未添加偶联剂与添加偶联剂的密

密封胶的邵氏 A 硬度差异并不大, 由于本实验中的变量因素为硅烷偶联剂, 其他原材料均保持一致, 故而实验结果与理论相符。

表 2 硅烷偶联剂对有机硅密封胶力学性能的影响

测试项目	未添加	KH550	KH560	KH590	KH792
拉伸强度 /MPa	2.23	2.35	2.52	2.37	2.40
断裂延伸率 /%	309	359	463	409	418
邵氏 A 硬度	42	44	45	46	43

2.3 硅烷偶联剂对有机硅密封胶基材黏接的影响

由表 3 数据可知, 未添加硅烷偶联剂的密封胶对 PVC、ABS、PP、PE 这四种塑料基材的黏接性都不佳, 对 PMMA、PET 和阳极氧化铝的黏接性较好。有机硅密封胶的主链为硅氧链段, 属于非极性结构, 硅氧链段中含有硅氧烷键, 可与 PMMA、PET、PVC、ABS 这四种基材极性材料接触交联, 但 PVC 和 ABS 的表面能低于密封胶, 导致密封胶难以充分浸润基材表面, 密封胶与基材界面接触面积小, 致使其黏接效果不佳; PP 和 PE 为非极性材料, 且 PP 和 PE 的表面能低, 分子链中不含活性基团, 难以与密封胶中的硅羟基发生反应。随着硅烷偶联剂添加后的密封胶, 其对基材的黏接效果有着明显的提升, 硅烷偶联剂中含有亲无机物基团和亲有机物基团, 可以作为有机密封胶和无机基材连接的“桥梁”^[1], 提升了密封胶对基材的黏接效果。但对于 PP 和 PE 这两种基材的黏接效果仍较差, 原因可能为 PP 和 PE 基材表面有脱模剂的存在, 致使其黏接效果较差, 在测试过程中并未对 PP 和 PE 使用底涂剂进行处理。

表 3 硅烷偶联剂对有机密封胶基材黏接的影响

测试项目	未添加	KH550	KH560	KH590	KH792
PMMA	△	△	√	△	△
PET	△	△	√	○	√
PVC	×	○	△	√	√
ABS	×	√	√	√	△
PP	×	×	×	×	×
PE	×	×	×	×	×
阳极氧化铝	○	○	△	√	○

注: “√”表示密封胶经剥离后, 基材表面仍有 70%~100% 残胶; “△”表示密封胶经剥离后, 基材表面仍有 40%~70% 残胶; “○”表示密封胶经剥离后, 基材表面仍有 1%~40% 残胶, “×”表示密封胶经剥离后, 基材表面无胶残留。

3 结论

KH550、KH560、KH590、KH792 四种不同类型的硅烷偶联剂对有机硅密封胶的性能有不同的影响效果。含有氨基的 KH550 和 KH792, 相较于未添加偶联剂及 KH560、KH590, 能显著加快密封胶的表干时间和 24 h 固化速度, 对拉伸强度和断裂延伸率有所提升, 对于阳极氧化铝的黏接效果较差; 添加 KH560 和 KH590 的密封胶, 其表干时间与 24 h 固化速度区别不大, 对基材的黏接效果也是如此, 但前者的拉伸强度和断裂延伸率略优于后者。综上所述, 添加 KH560 的有机硅密封胶综合性能最好。

参考文献:

- [1] 罗元章, 付子恩, 戴飞亮, 等. 硅烷偶联剂对脱醇型有机硅密封胶性能的影响 [J]. 有机硅材料, 2020,34(06):25-28.
- [2] 李汉堂. 橡胶工业用偶联剂的研究进展及特性 [J]. 中国橡胶, 2009, 25 (03):36-39+1
- [3] 叶世明, 李来伟, 曾军豪, 等. 长链烷基酯改性氨基硅烷偶联剂及其应用探究 [J]. 有机硅材料, 2023,37(06):19-23.
- [4] 罗洋, 霍延平, 梁亮, 等. 多功能有机硅增粘剂的合成及应用 [J]. 有机硅材料, 2019,33(05):365-370.
- [5] 杨静, 周煜华, 刘广生, 等. 硅烷偶联剂在密封胶中的应用 [J]. 有机硅材料, 2019,33(05):390-394.
- [6] 金东. 硅烷偶联剂在橡胶中的应用研究进展 [J]. 精细与专用化学品, 2019, 27(08):21-23.
- [7] 陶小乐, 郑苏秦, 高建军, 等. 硅橡胶在太阳能光伏组件领域的应用 [J]. 有机硅材料, 2014,28(01):44-48.
- [8] 朱超, 王俊和, 何涛, 等. 硅烷偶联剂对热硫化绝缘硅橡胶性能的影响探析 [J]. 有机硅材料, 2023,37(05):29-32+37.
- [9] 周熠, 付子恩, 温子巍, 等. α -氨基硅烷催化脱醇型 RTV 硅橡胶的力学与黏接性能研究 [J]. 黏接, 2023,50(05):5-7.
- [10] 刘亚雄, 姚理修, 滕辉. 改性纳米碳酸钙用于硅酮胶的触变性研究 [J]. 中国建筑防水, 2021(08):20-25.
- [11] 杜年军. 纳米碳酸钙在硅酮胶中的应用解析 [J]. 中国建筑防水, 2018(01):19-23.

The influence of silane coupling agents on the properties of silicone sealants

Luo Weiying¹, Chen Bingyao^{1,2,3}, Huang Guobiao¹, Chen Liang¹

(1. Guangdong Sanvo Chemical Technology Co. LTD., Zhongshan 528400, Guangdong, China;

2. Guangdong Sanhe Holding Co. LTD., Zhongshan 528400, Guangdong, China;

3. Guangdong Fuhe Industrial Co., Ltd., Zhongshan 528434, Guangdong, China)

Abstract: Silicone sealant was prepared using α,ω -dihydroxyl polydimethylsiloxane, dimethyl silicone oil, nano-calcium carbonate, methyltrimethoxysilane, silane coupling agent, and catalyst as raw materials. The effects of four silane coupling agents, namely γ -aminopropyl triethoxysilane (KH550), γ -(2,3-epoxypropoxy)propyl trimethoxysilane (KH560), N- β -(aminoethyl)- γ -aminopropyl trimethoxysilane (KH792), and γ -mercaptopropyl trimethoxysilane (KH590), on the surface dry time, mechanical properties, and adhesion performance to substrates such as PP, PE, and PET of the silicone sealant were investigated. The results showed that the addition of KH550 and KH792 could shorten the surface dry time of the sealant and accelerate the curing speed within 24 hours, but the improvement in mechanical properties was limited, and the adhesion effect to substrates was poor. The addition of KH560 and KH590 could effectively enhance the adhesion effect to substrates, but the mechanical properties of the sealant with KH590 were slightly inferior to those with KH560. The silicone sealant with KH560 exhibited the best comprehensive performance.

Key words: silane coupling agent; sealant; bonding performance; silicone

(R-03)

930 美元 /t！印度拟对华橡胶助剂加税

\$930/t! India plans to increase taxes on rubber additives from China

近日，印度商工部建议对从中国、欧盟、韩国和泰国进口的橡胶防老剂 N-(1,3-二甲基丁基)-N'-苯基对苯二胺（6PPD），也称 PX-13，征收为期五年的反倾销税。

印度贸易救济总局在 6 月 25 日发布的终裁中表示，该项调查由印度生产商 Nocil 于去年 3 月提出申请，Nocil 占印度总产量的 65%。

贸易当局在终裁结论中指出, 其认为 " 有必要征收反倾销税以抵消倾销和损害 ", 并建议按国家和生产商分档征税, 幅度为 307~930 美元 /t。

根据建议，中国出口商面临 511~930 美元 /t 的关税，其中安徽圣奥、山东圣奥和泰安圣奥各适用 511 美元 /t 的低税率。所有其他中国生产商将面临 930 美元 /t 的关税。

从欧盟进口的产品将被征收 576 美元 /t 的关税。

对于韩国，贸易当局建议征收 551~768 美元 /t 的关税，其中锦湖石化适用 551 美元 /t 的低税率，其他韩国生产商适用 768 美元 /t。

泰国生产商将面临 307~541 美元 /t 的关税，其中泰国圣奥适用 307 美元 /t，其他出口商适用 541 美元 /t。

调查期为2023年10月1日至2024年9月30日,损害评估考察了2021年4月至2024年9月期间的市场状况。商工部建议反倾销税的有效期为5年,最终决定有待印度政府作出。

摘编自“综合信息”

(R-03)

