

酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶的制备与研究

李梓泳¹, 陈炳耀^{1,2,3}, 李艳¹, 郑佳栋¹, 王静¹

(1. 广东三和控股有限公司, 广东 中山 528400;

2. 广东三和化工科技有限公司, 广东 中山 528400;

3. 三和精化(广东)科技有限公司, 广东 中山 528400)

摘要: 研究了气相二氧化硅种类、添加量、基础聚合物黏度、二甲硅油用量及交联剂对比对酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶性能的影响, 结果表明: 基础聚合物黏度配比从 4:4 调整为 2:6 时, 表干时间由 20 min 缩短至 15 min, 断裂伸长率从 200% 降至 182%。交联剂配比从 5:5 调整为 9:1 时, 表干时间由 20 min 延长至 25 min, 断裂伸长率则从 200% 显著提升至 270%。二甲硅油添加量从 3 份增至 14 份, 表干时间从 25 min 延长至 32 min, 断裂伸长率从 270% 提升至 320%, 但硬度从 14 Shore A 降至 12 Shore A。使用卡博特气相二氧化硅并将其添加量从 5.5 份增至 7.5 份, 产品综合性能最优, 表干时间缩短至 19 min, 抗拉强度提升至 1.32 MPa, 断裂伸长率高达 405%, 硬度达 20 Shore A。

关键词: 酸性; 硅酮; 恐龙模型; 专用胶

引用论文: 李梓泳, 陈炳耀, 李艳, 等. 酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶的制备与研究 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(5):52-55.

中图分类号: TQ330.387

文章编号: 1009-797X(2026)05-0052-04

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.05.011

古生物复原模型作为连接远古生命与现代公众认知的三维媒介, 其科学准确性与艺术表现力深刻影响着科普教育、文化传播及影视产业的效能^[1]。在各类模型中, 恐龙因独特的体型结构与生态地位成为核心复原对象。传统制作工艺依赖玻璃钢复合树脂与聚氨酯发泡雕刻, 虽能实现高精度复原, 但存在材料成本高昂、工艺复杂度高、成品笨重等局限, 尤其制约了中小型博物馆、教育机构及独立艺术家的创作能力。

为降低制作门槛, 轻质泡沫海绵因其易加工性与低密度特性逐渐成为恐龙模型的主流基材^[2]。然而, 泡沫基模型的构建面临结构黏接失效和泡沫基材腐蚀等挑战。泡沫表面能低、多孔结构导致环氧树脂、丙烯酸酯等传统黏合剂渗透性不足, 接缝处易发生界面剥离或基材脆性断裂; 而氯丁橡胶等溶剂型胶黏剂则易腐蚀泡沫表面, 破坏形体完整性。

手工雕刻泡沫难以模拟恐龙皮肤的动态褶皱, 使用油泥覆层虽可提升细节, 但显著增加重量且抗冲击性差。建筑与工业领域广泛使用的酸性硅酮密封胶展现出解决上述问题的潜力。其固化释放的醋酸可轻微蚀刻泡沫表面, 增强机械嵌合作用, 同时保持弹性缓

冲能力^[3]。未固化胶体的触变性允许嵌入纤维织物, 通过张力控制实现生物褶皱仿生。

区别于传统丙烯酸黏合剂易出现的黄变、粉化问题, 硅酮胶的硅氧烷主链具备卓越的化学惰性, 其键能显著高于紫外线能量, 赋予材料先天抗 UV 降解能力^[4]。且与泡沫基材的黏接界面无劣化迹象。这一特性使硅酮胶黏接的恐龙模型可直接暴露于 -20~70 °C 的户外环境, 满足户外雕塑、主题公园景观等长期露天展示需求, 大幅拓展了低成本模型的应用边界。

尽管硅酮胶在工业黏接中性能明确, 但其在古生物模型制作中的系统性应用研究较少。本实验以 α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷为基础聚合物, 二甲硅油为增塑剂, 添加交联剂、补强填料和催化剂等制得酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶。研究了不同气相供应商及加入量、基础聚合物黏度、硅油加入量、交联剂对比对恐龙模型黏接专用胶性能的影响, 以期成为博物馆巡回展品制作、影视特效道具开发及教育实验教具设计

作者简介: 李梓泳 (1996-), 男, 助理工程师, 主要从事有机硅胶黏剂研究工作。

的新标准方案, 推动古生物科普资源的普惠化进程。

1 实验

1.1 实验原料

α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷: 黏度(25 °C, 下同)500 000、80 000 mPa·s, 江西蓝星星火有机硅有限公司; 二甲硅油: 黏度 350 mPa·s, 江西蓝星星火有机硅有限公司; 甲基三乙酰氧基硅烷: D-10, 湖北新蓝天新材料股份有限公司; 乙烯基三乙酰氧基硅烷: D-1906, 湖北新蓝天新材料股份有限公司; 气相二氧化硅: CQ150, 峨眉长庆新材料有限公司; 气相二氧化硅: A150, 山东东岳有机硅材料股份有限公司; 气相法二氧化硅: LM150, 卡博特(中国)有限公司; 二月桂酸二丁基锡: 工业级: 锡质量分数 18.5%, 南通濠泰化工产品有限公司。

1.2 仪器与设备

行星搅拌机: XJB-2.5, 佛山市金银河智能装备股份有限公司; 万能试验机: WDS-20, 济南中路昌试验机制造有限公司; 硬度计: LX-A, 无锡锡晶橡塑测量仪器厂; 厚漆腻子稠度测定仪: QCT, 天津市中亚材料试验机厂。

1.3 酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶的制备

在行星搅拌机中依次加入 100 份 α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷, 随后加入 6 份甲基三乙酰氧基硅烷与乙烯基三乙酰氧基硅烷复合交联剂, 启动真空系统并保持 -0.095 MPa 真空度, 以 400 r/min 转速预混合 10 min; 维持真空状态分两次加入 5.5~7.5 份经 150 °C 烘干的气相二氧化硅, 确保填料均匀分散; 最后保持真空状态加入 3~14 份低黏度硅油及 0.1 份有机锡催化剂, 调整转速至 400 r/min 持续搅拌 20 min, 经真空脱泡后形成均相体系, 压入聚乙烯瓶密封保存。

1.4 性能测试及表征

表干时间: 按 GB/T 13477.5—2002 中 A 法测试; 稠度: 按照 GB/T 1749—2008《厚漆、腻子稠度测定法》; 硬度: 按 GB/T 531.1—2008 测试; 6 mm 固化时间: 直径 6 mm 的胶条完全固化的时间; 抗拉强度、拉伸伸长率: 按 GB/T 528—2009 测试。

2 结果与讨论

2.1 基础聚合物黏度对硅酮密封胶性能的影响

选用不同黏度配比基础聚合物制备酸性硅酮恐

龙模型黏接专用胶, 研究了不同黏度配比基础聚合物对恐龙模型黏接专用胶性能的影响, 结果见表 1。

表 1 基础聚合物黏度对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

测试项目	500 000 mPa.S 基础聚合物; 80 000mPa.S 基础聚合物		
	4:4	3:5	2:6
表干时间 /min	20	17	15
稠度 /cm	8.7	9.2	10.6
硬度 /shore A	16	15	15
6mm 固化时间 /h	9	8	9
抗拉强度 /MPa	1.25	1.25	1.26
断裂伸长率 / %	200	193	182

考察了基础聚合物的黏度对比对恐龙模型黏接专用胶性能的影响。结果表明, 体系黏度降低改变施工性、力学性及固化行为, 表干时间由 20 min 降至 15 min。稠度增加从 8.7 cm 增大至 10.6 cm, 因为低黏度体系中分子链缠结度下降^[5]。黏度配比从 4:4 变成 2:6 时强度提升; 分子量降低导致端羟基浓度上升, 形成更高密度的交联网络。断裂伸长率从 200% 降至 182%, 反映高交联密度下分子链滑移能力受限^[6]。

2.2 交联剂对比对硅酮密封胶性能的影响

选用不同交联剂对比制备酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶, 研究交联剂对比对恐龙模型黏接专用胶性能的影响, 结果见表 2。

表 2 交联剂对比对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

测试项目	甲基三乙酰氧基硅烷; 乙烯基三乙酰氧基硅烷		
	5:5	7:3	9:1
表干时间 /min	20	23	25
稠度 /cm	8.7	8.5	8.1
硬度 /shore A	16	15	14
6 mm 固化时间 /h	7	8	9
抗拉强度 /MPa	1.25	1.20	1.05
断裂伸长率 / %	200	220	270

通过调节甲基三乙酰氧基硅烷与乙烯基三乙酰氧基硅烷的配比, 探究对恐龙模型黏接专用胶固化行为、力学性能的影响。表干时间从 5:5 配比的 20 min 延长至 9:1 的 25 min, 归因于乙烯基的吸电子效应显著强于甲基的给电子效应, 使得乙烯基三乙酰氧基硅烷分子中的硅原子正电性更强^[7]。乙烯基三乙酰氧基硅烷的乙烯基活性位点减少, 有效交联点密度下降, 网络承载能力减弱, 拉伸强度下降^[8]。甲基三乙酰氧基硅烷的柔性甲基链段主导网络构象, 赋予分子链更高运动自由度, 实现弹性增强, 断裂伸长率上升。

2.3 二甲硅油添加量对硅酮密封胶性能的影响

选用二甲硅油加入量制备酸性硅酮恐龙模型黏接

专用胶,研究了二甲硅油加入量对恐龙模型黏接专用胶性能的影响,结果见表3。

表3 二甲硅油加入量对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

测试项目	二甲硅油加入量 / 份		
	3	8	14
表干时间 / min	25	27	32
稠度 / cm	8.1	9.4	11.4
硬度 / shore A	14	13	12
6 mm 固化时间 / h	9	10	11
抗拉强度 / MPa	1.05	1.20	0.95
断裂伸长率 / 份	270	290	320

如表4所示,硅油添加量上升,体系黏度下降,挥发通道变小,降低表面水分渗透与缩合反应,表干时间从25 min延长至32 min。硅油加入量上升,增强聚合物链润滑作用,稠度由8.1 cm降至11.4 cm。硅油加入量从3份增至14份时,硬度从14 shore A变成12 shore A。硅油加入量升高,分子链间作用力下降,物理交联网络作用下降,增塑剂稀释效应增强。断裂伸长率从270%升至320%,反映增塑作用削弱,导致链段运动能力下降^[9]。固化时间从3份添加量的9 h增加至14份的11 h。

2.4 不同厂家气相对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

选用不同厂家的气相制备酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶,研究了不同厂家的气相对恐龙模型黏接专用胶性能的影响,结果见表4。

表4 不同厂家气相对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

测试项目	不同厂家气相		
	峨眉长庆	东岳	卡博特
表干时间 / min	32	30	25
稠度 / cm	11.4	11.0	10.7
硬度 / shore A	12	15	16
6 mm 固化时间 / h	11	11	11
抗拉强度 / MPa	0.95	0.97	1.05
断裂伸长率 / 份	320	325	336

由表4可见,长庆气相粉、东岳气相粉和卡博特气相粉的表干时间分别为32、30、25 min。稠度随比表面积增大而降低,主因是颗粒分散尺度效应:高比表面积的卡博特气相形成更均一、致密的网络结构,通过限制聚合物链大尺度运动降低流动阻力。长庆气相粉制备恐龙模型黏接专用胶的硬度为12 Shore A,硬度随比表面积增大提升。这源于界面补强面积效应:高比表面积的卡博特气相具有更大总界面面积,通过增强的物理吸附和氢键作用优化应力传递效率;低比表面积的长庆气相粉界面作用薄弱,补强效果劣化。固化时间在三种体系中均稳定为11 h,表明比表面积

的差异仅影响表界面过程,而本体深层固化由水分扩散速率及聚合物交联本征动力学主导,与填料比表面积无关。

2.5 不同气相加入量对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

选用不同气相加入量制备酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶,研究了不同的气相加入量对恐龙模型黏接专用胶性能的影响,结果见表5。

表5 不同气相加入量对恐龙模型黏接专用胶性能的影响

测试项目	气相加入量 / 份		
	5.5	6.5	7.5
表干时间 / min	25	22	19
稠度 / cm	10.7	10.0	8.8
硬度 / shore A	16	17	20
6 mm 固化时间 / h	11	11	11
抗拉强度 / MPa	1.05	1.18	1.32
断裂伸长率 / %	336	355	405

由表5可见。表干时间从5.5份加入量的25 min缩短至7.5份加入量的19 min,归因于填料添加量增加导致单位体积内表面硅羟基密度上升。这些活性位点加速了密封胶表层与空气中水分的交联反应动力学。稠度同步从10.7 cm降至8.8 cm,因为添加量大时形成连续气相二氧化硅网络。该网络通过物理阻隔效应限制聚合物链的宏观流动^[10]。添加量增至7.5份时,硬度提升至20 Shore A,主因是气相二氧化硅高比表面积特性被放大,更多纳米颗粒提供更大有效界面面积,通过物理吸附与氢键作用形成密集物理交联点,提高载荷传递效率^[11]。断裂伸长率从336%提升至405%。

3 结论

本研究表明,通过精准调控配方组分可有效定制酸性硅酮恐龙模型黏接专用胶的性能:采用低黏度2:6的基础聚合物配比可获得15 min的快速表干与1.26 MPa的抗拉强度;使用高甲基9:1的交联剂配比可实现270%的高断裂伸长率与25 min的适宜表干时间;将二甲硅油添加量提升至14份可制备出12 Shore A低硬度且具有320%高断裂伸长率的产品;而优选卡博特气相二氧化硅并将其添加量增至7.5份时,产品综合性能最优,表现出19 min的表干时间、1.32 MPa的抗拉强度、405%的断裂伸长率和20 Shore A的硬度,这为恐龙模型黏接专用胶开发提供了明确的技术路径。

参考文献：

- [1] 侯刚. 基于古生物三维模型的化石图像检索技术研究 [D]. 西北大学软件工程, 2021.
- [2] 李奇生, 闫莹芝, 薛官胤, 等. 亚洲象姿态标本制作技术优化研究 [J]. 野生动物学报, 2025,46(1):207-212.
- [3] 陈家荣, 李灵潇. 一种快固化型环保酸性硅酮密封胶的制备方法 [J]. 中国建筑防水, 2024(2):22-25.
- [4] 王燕婷, 李云峰, 马德龙, 等. 端羟基聚二甲硅氧烷黏度对硅酮胶性能的影响研究 [J]. 黏接, 2025,52(08):43-46.
- [5] 潘聪, 陈炳耀, 彭小琴, 等. 107 胶的黏度对酸性硅酮胶的性能影响 [J]. 化学与黏合, 2021,43(05):399-401.
- [6] 陈文浩, 周兴, 蒋金博, 等. 107 胶分子量分布对单组分脱醇型有机硅密封胶性能的影响 [J]. 有机硅材料, 2024,38(2):49-53.
- [7] 李志林, 彭小琴, 陈炳耀, 等. 混合交联剂不同配比对硅酮胶性能的影响 [J]. 黏接, 2021,48(11):29-31.
- [8] 罗元章, 付子恩, 蒋金博, 等. 助剂对脱醇型低模量有机硅密封胶性能的影响 [J]. 有机硅材料, 2022,36(3):34-37.
- [9] 欧佳丽, 陈炳耀, 全文高, 等. 白油添加量对脱醇型硅酮密封胶的性能影响 [J]. 化学与黏合, 2023,45(1):90-92.
- [10] 杨育其, 炳耀, 彭小琴, 等. 填料对硅酮胶性能的影响 [J]. 化学与黏合, 2021,43(6):488-490.
- [11] 刘思阳, 陈屿恒, 张婧, 等. 脱醇型单组分陶瓷化有机硅密封胶的研制 [J]. 有机硅材料, 2020,34(01):19-24.

Preparation and study of a special adhesive for bonding acidic silicone dinosaur models

Li Ziyong¹, Chen Bingyao^{1,2,3}, Li Yan¹, Zheng Jiadong¹, Wang Jing¹

(1. Guangdong Sanhe Holding Co. LTD., Zhongshan 528400, Guangdong, China;

2. Guangdong Sanhe Chemical Technology Co. LTD., Zhongshan 528400, Guangdong, China;

3. Sanhe Fine Chemical (Guangdong) Technology Co. LTD., Zhongshan 528400, Guangdong, China)

Abstract: This paper investigates the effects of various factors on the performance of a special adhesive for bonding acidic silicone dinosaur models. These factors include the type and addition level of fumed silica, the viscosity of the base polymer, the dosage of dimethicone, and the ratio of crosslinking agents. The results indicate that when the viscosity ratio of the base polymer is adjusted from 4:4 to 2:6, the surface drying time decreases from 20 minutes to 15 minutes, while the elongation at break decreases from 200% to 182%. When the ratio of crosslinking agents is adjusted from 5:5 to 9:1, the surface drying time increases from 20 minutes to 25 minutes, and the elongation at break significantly increases from 200% to 270%. When the dosage of dimethicone is increased from 3 parts to 14 parts, the surface drying time increases from 25 minutes to 32 minutes, and the elongation at break increases from 270% to 320%, but the hardness decreases from 14 Shore A to 12 Shore A. Using Cabot fumed silica and increasing its addition level from 5.5 parts to 7.5 parts results in the best overall performance of the product, with the surface drying time reduced to 19 minutes, the tensile strength increased to 1.32 MPa, the elongation at break reaching up to 405%, and the hardness reaching 20 Shore A.

Key words: acidity; silicone; dinosaur model; specialized adhesive

(R-03)

