

应用理论

超高层建筑用有机硅密封胶的制备及其拉伸粘接性能的研究

孙娜

(国能朔黄铁路发展有限责任公司, 河北 肃宁 062350)

摘要:采用 α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷和气相法白炭黑为主要原料, 制备交联剂(甲基三甲氧基硅烷与甲醇反应合成)质量分数分别为2%、4%和6%的超高层建筑用有机硅密封胶, 并对其拉伸粘接性能进行研究。结果表明: 3种不同交联剂质量分数的有机硅密封胶的理化性能达到指标要求; 在盐雾老化试验中, 随着老化时间的延长, 添加4%交联剂的有机硅密封胶的拉伸粘接强度及其保持率始终保持较高水平, 且粘接破坏面积率几乎为0; 在紫外光照老化试验中, 随着紫外光照时间的延长, 添加4%交联剂的有机硅密封胶的拉伸剪切强度和转矩降幅相对较小; 在热老化试验中, 随着热老化时间的延长, 添加4%交联剂的有机硅密封胶的粘度变化相对较小, 且热老化温度较高(80℃)时撕裂强度也未大幅降低。因此, 添加4%交联剂的有机硅密封胶的拉伸粘接性能较好, 密封效果最佳。

关键词:超高层建筑; 有机硅密封胶; 拉伸粘接性能; 密封效果

中图分类号: TQ436⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2023)11-0862-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023.11.0862



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

超高层建筑使用密封胶的目的在于确保建筑物的密封性和防水性。密封胶可以填补建筑物内外表面的缝隙, 有效防止雨水等外部物质进入建筑物内部并隔绝噪声^[1-3], 从而延长建筑物的使用寿命和提高其舒适性^[4-5]。因此, 在超高层建筑的施工过程中选择合适的密封胶对提高建筑物的质量至关重要^[6]。

许多学者对密封胶材料进行了广泛的研究。张佳阳等^[7]研究了改性苯丙硅酮密封胶的制备, 所制备的密封胶具有较好的弹性和力学性能, 但该密封胶的粘接性能并不十分理想, 尤其在高温下其粘度会显著增大。王德波等^[8]研究了双组分缩合型导热有机硅胶粘剂的制备, 所制备的密封胶具有较好的导热性能, 在高温环境下仍能保持良好的粘接效果, 但该密封胶的粘接破坏面积

较大。

有机硅密封胶目前广泛应用于建筑物的密封和防水工程中, 作为一种基于硅氧烷聚合物的高性能密封材料, 它主要由硅氧烷聚合物、填料和交联剂组成。有机硅密封胶具有不发生硬化、脱落和变形的特性^[9-10], 即使在恶劣的气候条件下使用, 也不会受潮、老化、开裂或变形, 因此被认为是一种高性能的密封材料。

针对超高层建筑所需, 本工作制备出不同交联剂含量的有机硅密封胶, 并对其拉伸粘接性能进行研究。

1 实验

1.1 主要原材料

α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷, 动态粘度为

基金项目: 河北省重点研发计划项目(21475702D)

作者简介: 孙娜(1988—), 女, 河北沧州人, 国能朔黄铁路发展有限责任公司工程师, 学士, 主要从事电气工程方面的工作。

E-mail: dwew562333@163.com

引用本文: 孙娜. 超高层建筑用有机硅密封胶的制备及其拉伸粘接性能的研究[J]. 橡胶工业, 2023, 70(11): 862-867.

Citation: SUN Na. Preparation of silicone sealants for super high-rise building and its tensile bonding properties[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(11): 862-867.

20 000 mPa · s, 金锦乐化学有限公司产品; 气相法白炭黑A-150, 安徽艾约塔硅油有限公司产品; 乙烯基三甲氧基硅烷LT-171, 建德市智友硅材料有限公司产品; 钛酸酯化合物D-62, 武汉卡诺斯科技有限公司产品; 二甲基硅油, 动态粘度为100 mPa · s, 山西锦洋药用辅料有限公司产品; 氢氧化钠, 衢州波涛化工有限公司产品; 偶联剂[γ -氨丙基三乙氧基硅烷、 γ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷和N-(β -氨乙基)- γ -氨丙基三甲氧基硅烷混合制成]、交联剂(甲基三甲氧基硅烷与甲醇反应合成)和锡混合物(二月桂酸二丁基锡与聚硅酸乙酯复配制成), 自制。

1.2 试验配方

试验配方(质量分数/%)为: α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷 40, 气相法白炭黑 20, 偶联剂 2, 乙烯基三甲氧基硅烷 5, 钛酸酯化合物 3, 交联剂 变量, 其他(二甲基硅油、氢氧化钠和锡混合物等) 30。

1.3 试样制备

根据配方比例, 先将 α,ω -二羟基聚二甲基硅氧烷和二甲基硅油加入动力混合机中, 搅拌5 min至混合均匀; 然后加入交联剂, 搅拌10 min, 加入气相法白炭黑, 继续搅拌25 min; 最后加入偶联剂等其他助剂, 搅拌15 min, 制得有机硅密封胶。

添加2%, 4%和6%交联剂制备的有机硅密封胶分别记为X-1, X-2和X-3。

1.4 测试分析

1.4.1 理化性能

按照GB/T 13477系列标准测试有机硅密封胶的理化性能。

1.4.2 盐雾老化试验

按照GB/T 10125—2021, ASTM C 1184—2018和GB 16776—2005对有机硅密封胶进行盐雾老化试验, 采用盐雾机对试样进行加速老化, 验证其盐雾老化后的拉伸粘接能力。

拉伸粘接强度主要指试样抵抗外部拉伸破坏的极限能力^[11-14], 经盐雾老化后的试样拉伸粘接强度可通过公式(1)进行计算:

$$T_z = \frac{F_b}{ab} \tag{1}$$

式中, T_z 为拉伸粘接强度, F_b 为试样断裂时的力, a

和 b 分别为试样的宽度与厚度。

1.4.3 紫外光照老化试验

将试样放入紫外光照老化试验箱中, 模拟紫外光照射情况, 对试样进行加速老化, 根据GB/T 7124—2008对其进行拉伸剪切强度和转矩的测试。拉伸剪切强度和转矩越高, 说明试样的粘接效果越好^[15-17]。

1.4.4 热老化试验

为评价不同有机硅密封胶在高温环境下的拉伸粘接性能, 采用热老化试验箱进行热老化试验。首先, 将试样放入热老化试验箱中进行24 h的热老化, 设置不同的热老化温度。完成试验后, 取出试样并测试其粘度和撕裂强度变化, 以反映试样的拉伸粘接效果。

使用旋转型粘度计测量试样的粘度, 并利用公式(2)计算粘度:

$$\rho = \frac{t - 6.0}{0.233} \tag{2}$$

式中, ρ 为运动粘度, t 为流出时间。

按照GB/T 529—2008测试试样的撕裂强度。

2 结果与讨论

2.1 理化性能

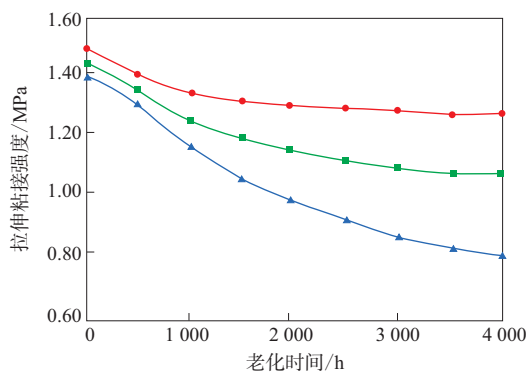
3种有机硅密封胶的理化性能如表1所示。

表1 3种有机硅密封胶的理化性能				
Tab. 1 Physical and chemical properties of three types of silicone sealants				
项 目	X-1	X-2	X-3	指标
密度/(Mg · m ⁻³)	1.3	1.3	1.3	1.2~1.4
表干时间/h	5.3	5.1	5.6	≤24
外观	合格	合格	合格	均匀, 组分间颜色存在差异
下垂度/mm	0	0	0	≤3
弹性恢复率/%	92	94	93	≥70
适用期/h	2.4	2.4	2.4	≥1.8
黄变性	轻度黄变	未黄变	轻度黄变	中度黄变

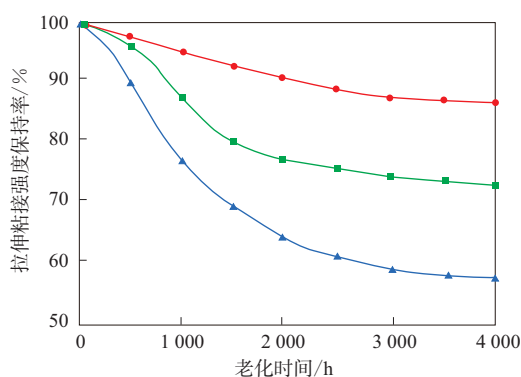
由表1可知: 3种有机硅密封胶的表干时间均较短, 大幅超过指标要求, 说明其在施工后均可快速干透; 此外, 3种有机硅密封胶的密度等其他性能均达到指标要求。

2.2 盐雾老化性能

3种有机硅密封胶盐雾老化后的拉伸粘接强度及其保持率如图1所示。



(a) 拉伸粘接强度



(b) 拉伸粘接强度保持率

▲—X-1; ●—X-2; ■—X-3。

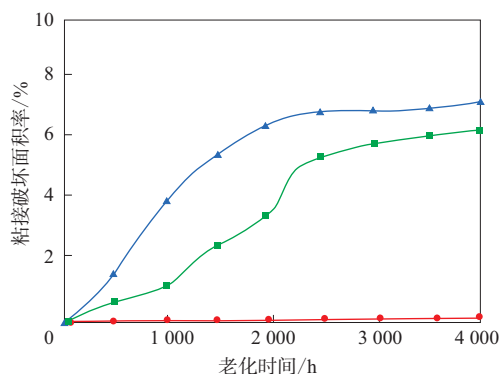
图1 3种有机硅密封胶盐雾老化后的拉伸粘接强度及其保持率

Fig. 1 Tensile bonding strengths and their retention rates of three types of silicone sealants after salt mist aging

由图1可知,随着盐雾老化时间的延长,3种有机硅密封胶的拉伸粘接强度及其保持率均呈下降趋势,这说明盐雾老化会明显降低密封胶的拉伸粘接性能。对比盐雾老化后3种密封胶,X-1的粘接能力明显较弱,当盐雾老化时间达到4 000 h时,其拉伸粘接强度仅为0.8 MPa,拉伸粘接强度保持率仅在55%~60%之间;X-2的拉伸粘接强度及其保持率始终保持在最高水平,未出现大幅下降趋势,当老化时间为4 000 h时,其拉伸粘接强度仍保持在1.3 MPa以上,拉伸粘接强度保持率也保持在80%以上,说明长时间的盐雾老化不会对X-2造成严重影响。综上所述,添加4%交联剂可以使有机硅密封胶盐雾老化后的拉伸粘接性能保持最佳。

3种有机硅密封胶盐雾老化后的粘接破坏面积率如图2所示。

由图2可知:随着盐雾老化时间的延长,3种有



注同图1。

图2 3种有机硅密封胶盐雾老化后的粘接破坏面积率

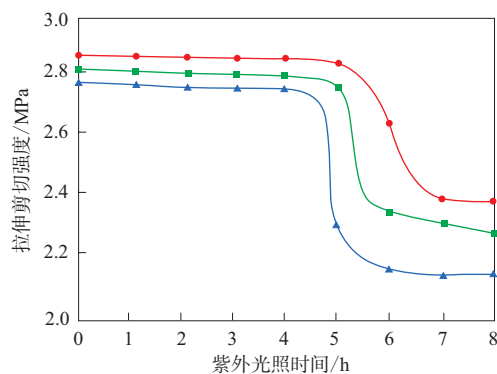
Fig. 2 Bonding failure area rates of three types of silicone sealants after salt mist aging

机硅密封胶的粘接破坏面积率逐渐增大。其中,X-1的粘接破坏面积率相对较大,达到6%~7%,说明添加2%交联剂的密封胶粘接效果较差;X-3的粘接破坏面积率小于X-1,但大于X-2,说明过量的交联剂也会导致密封胶的粘接能力下降;经过盐雾老化后,X-2和X-3虽出现破坏,但粘接破坏面积率始终小于7%,不会对密封胶的粘接性能造成严重影响;添加4%交联剂的密封胶的粘接破坏面积率几乎为0,表明其具有较强的粘接性能。

2.3 紫外光照老化性能

3种有机硅密封胶紫外光照老化后的拉伸剪切强度如图3所示。

由图3可知:在紫外光照老化初期阶段,3种有机硅密封胶的拉伸剪切强度变化很小,说明其拉伸粘接能力并未受到明显影响;当紫外光照时



注同图1。

图3 3种有机硅密封胶紫外光照老化后的拉伸剪切强度

Fig. 3 Tensile shear strengths of three types of silicone sealants after UV light aging

间超过4 h后,密封胶的拉伸剪切强度开始有所降低,其中,X-1的拉伸剪切强度降幅相对较大,下降至2.1~2.2 MPa,X-3的拉伸剪切强度下降至2.2~2.3 MPa,而X-2的拉伸剪切强度在2.3 MPa以上。综上所述,添加4%交联剂的有机硅密封胶可以在紫外光照下维持较高的拉伸剪切能力,其粘接效果更好,不易发生断裂、开裂等现象,有效地防止介质泄漏,提高密封效果。

对有机硅密封胶在紫外光照老化后的转矩进行测试,以验证其拉伸粘接能力,结果如图4所示。

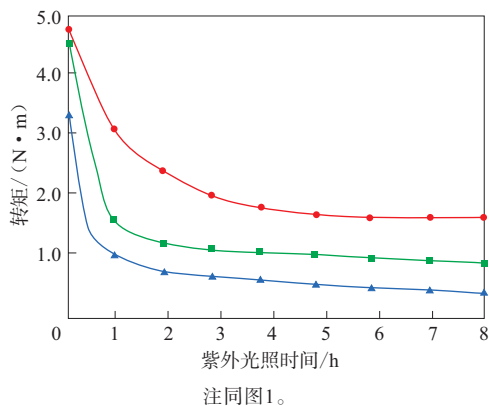


图4 3种有机硅密封胶紫外光照老化后的转矩
Fig. 4 Torques of three types of silicone sealants after UV light aging

由图4可知:随着紫外光照时间的延长,3种有机硅密封胶的转矩降低;当紫外线光照时间达到8 h时,仅X-2的转矩在1.5 N·m以上,而X-1和X-3的转矩均低于1.0 N·m;在紫外光照老化前,3种密封胶的转矩也存在区别,其中X-2的转矩相对较高,这表明其具有较高的初始粘接性能,并且不容易受到紫外光照的影响而发生较大变化。综上所述,添加4%交联剂的有机硅密封胶在紫外光照老化后仍具有优异的粘接性能,不会因为受力而脱落或剥离,进一步提高了密封效果。

2.4 高温热老化性能

3种有机硅密封胶在不同温度热老化后的粘度如图5所示。

由图5可知:随着热老化温度的升高和热老化时间的延长,3种有机硅密封胶的粘度提高,粘接效果减弱;对比3种有机硅密封胶,X-2的粘度始终

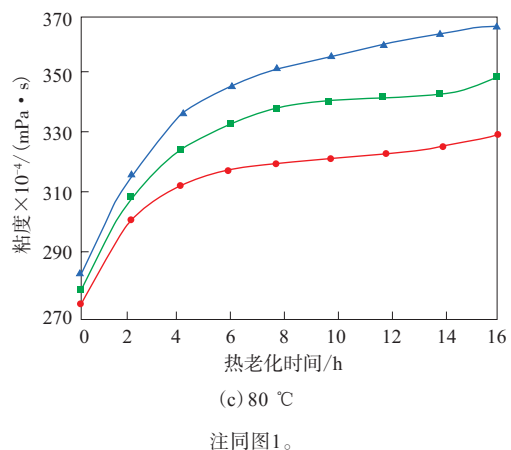
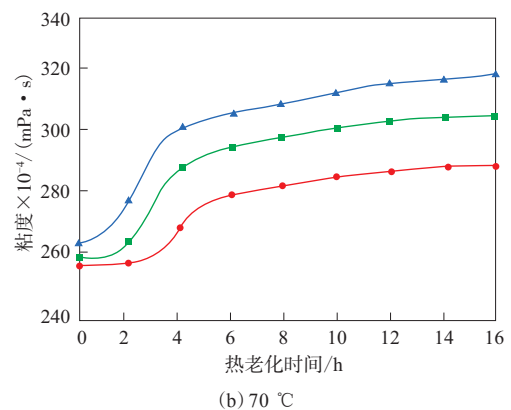
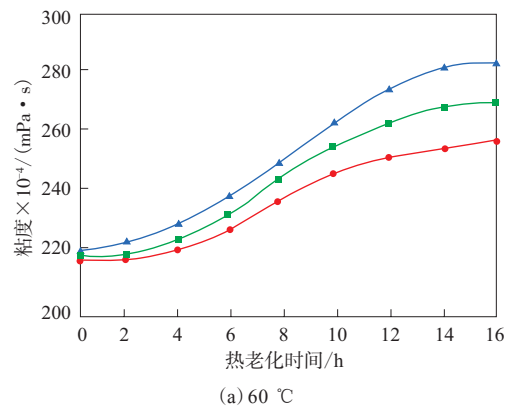


图5 3种有机硅密封胶在不同温度热老化后的粘度
Fig. 5 Viscosities of three types of silicone sealants after different temperature heat aging

最低,而X-1和X-3的粘度相对较高。综上所述,添加4%交联剂的有机硅密封胶可以在较高温老化后依然保持良好的粘接效果,避免了胶层脱落,优化了密封质量。

3种有机硅密封胶在不同温度热老化后的撕裂强度如表2所示。

表2 3种有机硅密封胶在不同温度热老化后的撕裂强度
Tab.2 Tear strengths of three types of silicone sealants after different temperature heat aging $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$

有机硅密封胶	热老化时间/h				
	0	6	12	18	24
60 ℃					
X-1	10.5	9.6	8.5	7.8	7.2
X-2	12.4	12.1	11.4	10.8	10.1
X-3	11.2	10.4	9.7	9.2	8.4
70 ℃					
X-1	8.3	7.5	6.7	6.1	5.7
X-2	11.2	10.5	10.1	9.5	8.9
X-3	9.4	8.3	7.6	6.4	6.1
80 ℃					
X-1	6.4	5.3	4.7	4.1	3.4
X-2	9.8	8.5	7.4	6.4	5.2
X-3	7.3	6.8	6.1	5.6	4.2

由表2可知,热老化温度越高,3种有机硅密封胶的撕裂强度越低,说明其拉伸粘接性能越低。当热老化温度为80 ℃时,在24 h的热老化时间范围内,X-1,X-2和X-3的最低撕裂强度分别为3.4,5.2和4.2 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$,可以看出X-2的最低撕裂强度相对较高;当热老化温度为60和70 ℃时,X-2的撕裂强度依然保持较高水平,说明添加4%交联剂的有机硅密封胶具有良好的抗撕裂能力,可以有效保障自身拉伸粘接性能,提高密封效果。

3 结论

- (1) 3种不同交联剂质量分数的有机硅密封胶的理化性能符合国家标准要求。
- (2) 在盐雾老化试验中,随着老化时间的延长,添加4%交联剂的有机硅密封胶的拉伸粘接强度及其保持率始终保持较高水平,且粘接破坏面积率几乎为0。
- (3) 在紫外光照老化试验中,随着紫外光照时间的延长,添加4%交联剂的有机硅密封胶的拉伸剪切强度和转矩降幅相对较小。
- (4) 在热老化试验中,随着热老化时间的延长,添加4%交联剂的有机硅密封胶的粘度变化相对较小,且热老化温度较高(80 ℃)时撕裂强度也未大幅降低。
- (5) 综上所述,添加4%交联剂的有机硅密封胶拉伸粘接性能较好,密封效果最佳。

参考文献:

[1] 李静,李锋,李炳章,等. 石墨镀镍FIP加成型有机硅密封胶的制备和性能研究[J]. 中国胶粘剂,2021,30(6):37-40.
LI J, LI F, LI B Z, et al. Study on preparation and performance of nickel-plated graphite FIP addition silicone sealant[J]. China Adhesives,2021,30(6):37-40.

[2] 江金贵. 防指纹玻璃显示设备用有机硅压敏胶的粘接性能研究[J]. 中国胶粘剂,2021,30(1):44-47,52.
JIANG J G. Study on bonding properties of silicone pressure sensitive adhesive for anti-fingerprint glass display equipment[J]. China Adhesives,2021,30(1):44-47,52.

[3] 刘长健,刘洪丽,韩雪,等. 埃洛石改性聚醚密封胶的制备及性能研究[J]. 化工新型材料,2021,49(3):252-255,260.
LIU C J, LIU H L, HAN X, et al. Preparation and property of halloysite modified polyether sealant[J]. New Chemical Materials, 2021,49(3):252-255,260.

[4] 高瑞晓,王剑云. 微生物矿化沉积碳酸钙技术修复混凝土既有微裂缝研究进展[J]. 材料导报,2023,37(1):92-101.
GAO R X, WANG J Y. Research progress of microbial mineralization and deposition of calcium carbonate technology for repairing existing micro-cracks in concrete: A review[J]. Materials Reports, 2023, 37(1):92-101.

[5] 韩强强,路伟,姜鲁,等. 微生物菌落体系对混凝土裂缝自修复效果的影响综述[J]. 硅酸盐通报,2022,41(9):2993-3007.
HAN Q Q, LU W, JIANG L, et al. Review on effect of microbial colony system on self-healing of concrete cracks[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society,2022,41(9):2993-3007.

[6] 古栋列. 纳米碳酸钙对建筑用硅酮密封胶粘接性能的影响研究[J]. 中国胶粘剂,2021,30(6):46-50.
GU D L. Study on the effects of nano-calcium carbonate on the bonding properties of building silicone sealant[J]. China Adhesives, 2021,30(6):46-50.

[7] 张佳阳,卜小环. 纳米SiO₂/有机硅复合弹性体改性苯丙硅酮密封胶的制备[J]. 合成树脂及塑料,2022,39(6):38-42.
ZHANG J Y, BU X H. Preparation of styrene acrylic silicone sealant modified by nano-SiO₂/silicone elastomer[J]. China Synthetic Resin and Plastics,2022,39(6):38-42.

[8] 王德波,王艺臻,赵志斌. 双组分缩合型导热有机硅胶粘剂的制备及性能研究[J]. 中国胶粘剂,2021,30(8):11-16.
WANG D B, WANG Y Z, ZHAO Z B. Study on preparation and properties of two-component condensed thermal conductive silicone adhesive[J]. China Adhesives,2021,30(8):11-16.

[9] 夏朝湘,胡超波,金钊. 自干型超疏水有机硅涂料的制备及性能研究[J]. 涂料工业,2023,53(1):30-36.
XIA C X, HU C B, JIN Z. Preparation and property study of air-dryable superhydrophobic silica coatings[J]. Paint & Coatings Industry,2023,53(1):30-36.

- [10] 边峰, 张志文, 郭盟, 等. 有机硅改性聚氨酯底涂剂的制备及性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2021, 30(7): 64–66, 72.
BIAN F, ZHANG Z W, GUO M, et al. Preparation and properties of organosilicone modified polyurethane primer[J]. China Adhesives, 2021, 30(7): 64–66, 72.
- [11] 刘爽, 李俊叶. 环氧树脂胶粘剂在道路新旧混凝土粘接中的应用[J]. 中国胶粘剂, 2021, 30(11): 41–45.
LIU S, LI J Y. Application of epoxy resin adhesive in bonding of new and old road concrete[J]. China Adhesives, 2021, 30(11): 41–45.
- [12] 赵洪宝, 马丹, 马超群, 等. 纤维增强树脂基复合材料厚度方向拉伸试验方法研究[J]. 化工新型材料, 2022, 50(6): 188–191.
ZHAO H B, MA D, MA C Q, et al. Research on tensile test method of carbon fiber reinforced resin matrix composite in thickness direction[J]. New Chemical Materials, 2022, 50(6): 188–191.
- [13] 李义, 陈辉, 梁继才, 等. 环氧树脂胶膜配方开发与粘接性能[J]. 吉林大学学报(工学版), 2022, 52(5): 1022–1029.
LI Y, CHEN H, LIANG J C, et al. Formulation development and bonding performance of epoxy resin film[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2022, 52(5): 1022–1029.
- [14] 刘晓庆, 赵贵哲, 刘亚青, 等. 酚醛树脂/氯丁橡胶胶粘剂的制备及其对45[#]钢与天然橡胶粘接性能的影响[J]. 橡胶工业, 2021, 68(4): 269–275.
LIU X Q, ZHAO G Z, LIU Y Q, et al. Preparation of phenolic resin/CR adhesive and its effect on bonding properties to 45[#] steel and NR[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(4): 269–275.
- [15] 李敏, 韩龙, 郭旭虹, 等. 有机硅改性水性聚氨酯涂层的制备及其防污性能[J]. 功能高分子学报, 2021, 34(4): 379–386.
LI M, HAN L, GUO X H, et al. Preparation and antifouling properties of silicon-modified waterborne polyurethane coatings[J]. Journal of Functional Polymers, 2021, 34(4): 379–386.
- [16] 王德, 张泰峰, 高茜, 等. 湿热环境下CFRP复合材料吸湿过程的仿真分析[J]. 计算机仿真, 2021, 38(7): 236–240.
WANG D, ZHANG T F, GAO Q, et al. Simulation analysis of moisture absorption process of CFRP composites in hygrothermal environment[J]. Computer Simulation, 2021, 38(7): 236–240.
- [17] 潘成, 王有治, 庞坤海, 等. 加速老化试验对建筑用有机硅结构胶拉伸粘接性能的影响[J]. 有机硅材料, 2018, 32(2): 118–123.
PAN C, WANG Y Z, PANG K H, et al. Effect of accelerated aging test on tensile adhesion of silicone structural adhesives[J]. Silicone Material, 2018, 32(2): 118–123.

收稿日期: 2023-05-16

Preparation of Silicone Sealants for Super High-rise Building and Its Tensile Bonding Properties

SUN Na

(Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd, Suning 062350, China)

Abstract: Using α , ω -dihydroxypolydimethylsiloxane and fumed silica as the main raw materials, silicone sealants for super high-rise buildings were prepared with mass fractions of 2%, 4% and 6% of cross-linking agent (synthesized by the reaction of methyltrimethoxysilane and methanol), and their tensile bonding properties were studied. The results showed that the physical and chemical properties of the three silicone sealants with different cross-linking agent mass fractions met the index requirements. In the salt mist aging test, as the aging time increased, the tensile bonding strength and its retention rate of silicone sealant adding 4% cross-linking agent always remained at a high level, and the bonding damage area was almost 0. In the UV light aging test, as the UV light exposure time increased, the decreases of the tensile shear strength and torque of silicone sealant adding 4% cross-linking agent were relatively small. In the heat aging test, as the heat aging time increased, the viscosity of silicone sealant with 4% cross-linking agent changed relatively little, and the tear strength did not decrease significantly when the heat aging temperature was high (80 °C). Therefore, the silicone sealant adding 4% cross-linking agent had better tensile bonding properties and the best sealing effect.

Key words: super high-rise building; silicone sealant; tensile bonding property; sealing effect