



紫外线对分子链的破坏。因此，漆膜的结构致密性、界面结合强度、化学稳定性以及抗紫外线能力等，共同构成了其耐候性与耐水性的结构基础。

### 3 超高耐候水性户外木器漆的漆膜结构优化方向

#### 3.1 提升漆膜的致密性

提升漆膜致密性是优化其耐候、耐水性能的首要方向，核心在于减少漆膜内部的孔隙和缺陷，构建连续均匀的阻隔结构。从成膜物质的角度出发，通过共聚改性优化聚合物分子结构是关键手段。例如，将丙烯酸酯单体与含氟单体或硅烷单体进行共聚，氟原子和硅原子的引入可改变聚合物分子的极性和空间构型，使分子链排列更加紧密，同时降低漆膜的表面能，减少水分和污染物的附着。含氟单体中的氟碳键键能高，还能提升漆膜的抗紫外线能力，延缓光老化进程。

交联体系的优化也是提升漆膜致密性的重要途径。采用多重交联机制，如物理交联与化学交联相结合，可显著提高漆膜的交联密度。物理交联主要通过聚合物分子链间的氢键、范德华力等实现，而化学交联则通过交联剂与聚合物分子中的官能团（如羟基、羧基、氨基等）发生化学反应形成共价键。选择具有多官能团的交联剂，如异氰酸酯类交联剂、环氧类交联剂等，可在分子链间形成更多的交联点，使三维网状结构更加致密。此外，控制成膜过程中的干燥条件，如干燥温度、湿度和时间等，也能影响漆膜的致密性。缓慢且均匀的干燥过程有助于聚合物分子链充分舒展和排列，减少因水分快速挥发而形成的孔隙和缺陷。

#### 3.2 增强漆膜与木材的界面结合性能

漆膜与木材表面的良好界面结合是确保其长期保护作用的前提，若界面结合力不足，外界侵蚀因子易从界面侵入，导致漆膜剥落。木材表面具有多孔性和极性，含有大量的羟基等官能团，因此增强界面结合性能的核心在于实现漆膜与木材表面的化学结合和物理锚固。

界面改性是提升界面结合力的有效方法。在涂覆木器漆前，对木材表面进行预处理，如采用硅烷偶联剂处理。硅烷偶联剂分子结构中同时含有与木材表面羟基反应的烷氧基团和与漆膜成膜物质反应的有机官能团，能够在木材与漆膜之间形成化学桥键，将两者紧密连接起来。

成膜物质的相容性优化也至关重要。选择与木材表面极性相近的成膜物质，或在成膜物质中引入能够与木材羟基发生反应的官能团，如羟基、氨基等，可促进漆膜与木材表面的分子间相互作用，提升界面结合强度。

#### 3.3 功能性成分的协同优化

功能性成分的合理搭配与协同作用，能够进一步优化漆膜结构，提升其耐候性与耐水性。紫外线吸收剂和受阻胺光稳定

剂的协同使用是提升漆膜抗光老化性能的关键。紫外线吸收剂能够优先吸收紫外线能量，并将其转化为热能释放，减少紫外线对聚合物分子链的破坏；受阻胺光稳定剂则能够捕获自由基，抑制氧化老化反应的进行，两者配合使用可形成完整的抗光老化体系，显著延长漆膜的使用寿命。

颜填料的选型与分散优化也能发挥重要作用。选择具有耐候性好、化学稳定性高的颜填料，如金红石型钛白粉、氧化锌等，不仅能够提供良好的遮盖力，还能反射部分紫外线，辅助提升漆膜的抗光老化性能。通过添加分散剂改善颜填料的分散性，避免颗粒团聚，使颜填料均匀分布在漆膜中，填充聚合物分子链间的空隙，提升漆膜的致密性。此外，添加疏水剂可进一步降低漆膜的表面能，提高其疏水性能，减少水分在漆膜表面的附着和渗透，与致密的漆膜结构形成协同作用，增强耐水性。

### 4 超高耐候水性户外木器漆的耐老化机制分析

#### 4.1 户外老化的主要影响因素及作用方式

户外环境中，漆膜的老化是多种因素共同作用的结果，主要包括紫外线辐射、水分、氧气、温度变化以及微生物等，这些因素相互协同，加速漆膜的老化进程。紫外线辐射是导致漆膜光老化的核心因素，其波长范围在200-400nm的紫外线，尤其是280-320nm的中波紫外线，能量较高，能够破坏漆膜中聚合物分子链的化学键，如碳-碳键、碳-氧键等，引发分子链的断裂或交联。分子链断裂会导致漆膜的分子量降低，机械性能下降，出现粉化现象；而分子链交联则会使漆膜变脆，易发生开裂。

水分的作用具有双重性，一方面，水分的渗透会导致漆膜发生溶胀，破坏分子链间的相互作用，降低漆膜的结构稳定性；另一方面，水分会与紫外线、氧气协同作用，引发水解反应和氧化反应，加速漆膜的老化。氧气在老化过程中主要参与氧化反应，在紫外线或高温的作用下，聚合物分子链容易形成自由基，氧气与自由基结合形成过氧自由基，过氧自由基进一步夺取分子链上的氢原子，形成氢过氧化物，氢过氧化物不稳定，易分解产生更多的自由基，引发链式氧化反应，导致漆膜性能持续下降。温度变化会导致漆膜发生热胀冷缩，产生内应力，当内应力超过漆膜的承受极限时，就会出现开裂、剥落等现象，同时高温会加速化学反应速率，进一步促进光老化和氧化老化的进程。微生物侵蚀则主要是霉菌、真菌等在适宜的温湿度条件下在漆膜表面生长繁殖，其代谢产物会对漆膜产生化学腐蚀，破坏漆膜结构。

#### 4.2 结构优化对耐老化性能的提升机制

通过漆膜结构优化，能够从多个方面抑制或延缓老化过程的发生，从而提升漆膜的耐老化性能。首先，致密化的漆膜结构能够有效阻隔外界侵蚀因子的侵入。紧密的分子链排列和高

交联密度减少了漆膜内部的孔隙和通道,显著降低了水分、氧气的渗透速率,使侵蚀因子难以到达漆膜内部和木材表面,从而减缓了水解反应和氧化反应的进行。同时,致密的结构也能在一定程度上阻挡部分紫外线的穿透,减少紫外线对漆膜内部聚合物分子链的破坏。

增强漆膜与木材的界面结合强度,能够提高漆膜的抗剥离能力。优化后的界面通过化学桥键和机械锚固作用,使漆膜与木材紧密结合,即使在水分渗透或温度变化产生内应力的情况下,也不易发生界面分离,避免了侵蚀因子从界面侵入导致的漆膜失效。此外,界面结合力的增强还能提升漆膜的整体力学性能,使漆膜能够更好地承受外界环境的冲击和应力变化,减少开裂现象的发生。

功能性成分的协同作用则针对性地抑制了老化反应的关键环节。紫外线吸收剂和受阻胺光稳定剂的配合使用,形成了完整的抗光老化体系,紫外线吸收剂优先吸收紫外线能量,减少紫外线对聚合物分子链的直接破坏;受阻胺光稳定剂则通过捕获自由基,终止链式氧化反应,抑制氧化老化的进行。疏水剂的添加降低了漆膜的表面能,使水分在漆膜表面形成水珠滚落,减少了水分的附着和渗透,从源头减少了水分引发的老化问题。颜填料的均匀分散不仅提升了漆膜的致密性,其自身的紫外线反射能力也能辅助降低紫外线的危害,进一步增强漆膜的抗光老化性能。

此外,优化后的成膜物质分子结构也具有更强的化学稳定性。例如,含氟、含硅共聚物形成的漆膜,由于氟碳键、硅氧键的键能较高,能够抵抗紫外线和化学物质的侵蚀,不易发生化学键的断裂,从而从分子层面提升了漆膜的耐老化性能。同

时,合理的分子结构设计减少了亲水性基团的含量,降低了漆膜对水分的吸附能力,进一步增强了耐水性和耐老化性。

## 5 结论

超高耐候水性户外木器漆的研发与应用是实现户外木器绿色保护的关键,而漆膜结构优化是提升其耐候性与耐水性的核心途径。本文通过对漆膜结构特性与性能关联的分析可知,漆膜的致密性、界面结合强度、化学稳定性以及功能性成分的协同作用,共同决定了其耐候性与耐水性。通过成膜物质的共聚改性、交联体系优化以及成膜过程控制,可显著提升漆膜的致密性,减少内部孔隙与缺陷;借助界面改性和相容性优化,能够增强漆膜与木材的界面结合力,避免界面失效;功能性成分的合理搭配则能针对性地抵御紫外线、水分等侵蚀因子的作用。

从耐老化机制来看,户外漆膜的老化是紫外线、水分、氧气等因素协同作用的结果,其本质是聚合物分子链发生光降解、氧化降解和水解降解的过程。而漆膜结构优化通过构建致密的物理屏障、增强界面结合稳定性、抑制自由基反应等方式,从多个环节阻断了老化进程的发生,从而显著提升了漆膜的耐候性能。未来,超高耐候水性户外木器漆的发展方向应聚焦于新型成膜物质的研发,如高性能共聚物、生物基聚合物等,进一步优化漆膜的分子结构与微观形貌;同时,加强多功能助剂的协同作用研究,实现漆膜性能全面提升。通过不断的理论创新与技术突破,推动水性户外木器漆在耐候性、耐水性等方面达到更高水平,为户外木器提供更持久、环保的保护,促进户外木器行业的可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 高文军.水性木器漆在户外门窗中的应用[C]//2016 山东省涂料行业协会第一届环境友好型涂料研讨会论文集.2016:48-52.
- [2] 任玉林,杨伦,季永新.干性油脂胺多元醇改性水性聚氨酯木器漆树脂[J].高分子材料科学与工程,2023,39(11):64-74.
- [3] 魏珺,丁泽强,黄学敏.水性聚氨酯木器漆的研究现状[J].山西化工,2023,43(10):23-25.
- [4] 王虎军,高圩,杨斯盛.影响水性木器漆用丙烯酸乳胶漆膜打磨性的因素探究[J].涂料工业,2022,52(1):54-57.