

地板涂装附着力影响因素探讨

对地板涂装生产而言，附着力质量控制是地板涂装质量控制的一个首要工作。因为无论地板涂装做得多好，只要出现附着问题，对地板产品而言，其他一切的工作都将失去价值。如何做好地板涂装过程中的附着力管控，本文将从地板附着的原理，对地板附着产生影响的各因素，进而得出有效管控地板涂装附着力的可行性方案。

UV 涂层与基材附着力产生的原理

底漆与基材的附着力是 UV 木地板涂料的关键问题之一。一般木质基材都有丰富的纹孔性结构，UV 涂料以酯、醚结构为主，对木质基材有足够的亲和力。底漆黏度不高时，能够向多孔基材渗透，交联固化后形成锚固结构，对提高附着力十分有利。

从表面张力的角度看，UV 涂料的总体表面张力往往低于极性较高、亲水的木材的表面张力，这样一来，UV 涂料才容易润湿木质基材，并在木纤维及微孔的毛细作用下，快速铺展开来，这种物理渗透对附着提升是非常有利的。另一方面，木质结构中含有大量的羟基、醚键，UV 涂料的酯、醚结构都可能和木质纤维的羟基形成一种“氢键”作用力，促进附着力的提升。这种氢键键能介于化学键键能和分子间范德华力之间，传统的 PU 涂料之所以在很多基材上有良好的附着，有很大原因就是氢键的作用。

从以上两个方面看，UV 涂料在木质地板材料上的附着应该没有什么难度，可为什么现实生产实践过程中，会经常发生附着不良的问题呢？这就要说一下 UV 涂料固化过程中发生的收缩应力了。

UV 在固化前主要是活性单体和低聚物，相对密度在 0.8-0.9 之间，当其接受紫外光照射，发生交联固化后，膜层密度普遍升高，膜体积收缩。因为膜内固化收缩并不是均匀发生的，既存在膜层厚度方向上的收缩，也有横向收缩。具体收缩过程如下图 1-1 所示：其实，UV 涂料在固化过程中的收缩并不会必然导致 UV 涂料与木质基材间附着产生问题。UV 涂料从接收紫外光照射开始进行自由基聚合，经过最初 0.2 秒左右的诱导期后，涂料内部低聚物和单体开始快速交联，这种交联是立体网格式交联，因为所有的反应链段在涂膜内初期都是可以任意游动的，就如“水中的鱼儿”般自由接触新的可交联链段，分子量持续增大，这个初始阶段由于涂料黏度较低，链段的“游动不受阻碍，所以反应速度很快；到交联反应进行到中期，体系黏度开始增大，在涂膜内开始形成一些类网格状节点，在这些节点，涂膜开始初步硬化，链段游动到此处时，将会受到阻碍，UV 固化过程中，漆膜的体积增加倾向在这些点位将被限制，涂膜内部逐渐会集聚大量的“内应力”，这些“内应力”在固化过程如果得不到释放，将会在固化完成后持续释放多余的内应力，而这种“内应力”后期释放对 UV 涂料对木质基材的附着提升是非常有害的。这也是许多地板早期客户反映的“刚刚做完的地板，测试 UV 涂层与木质基材的附着是 OK 的，为什么放一夜后，重新测附着力就变差的根本原因。

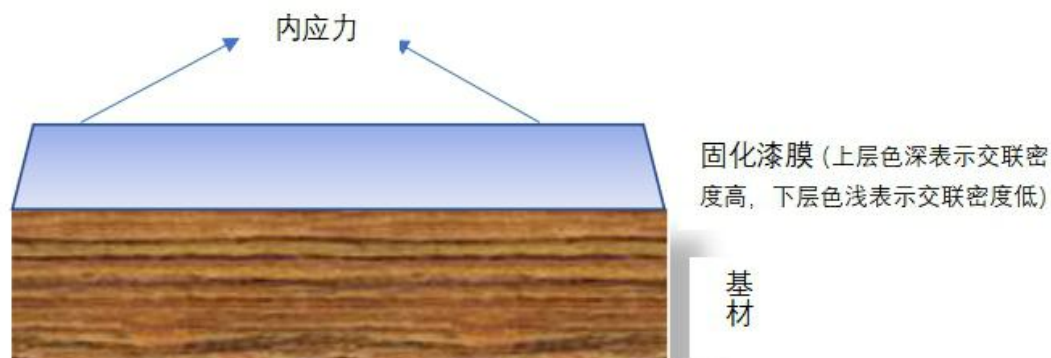


图 1 UV 固化漆膜收缩内应力示意图

- **如何降低 UV 涂料固化过程中的内应力对附着的负面影响？**

那么，如何防止或者 UV 涂料固化过程中产生内应力对附着的负面影响呢？

首先，从涂料产品的配方角度看，可以从 UV 涂料的配方设计阶段，就根据不同 UV 低聚物和活性单体的固化收缩率，将刚性基团和柔性基团合理搭配；同时合理选择单官能单体、双官能单体和多官能单体，平衡好体系黏度、漆膜硬度等理化指标要求，这样可以使 UV 涂料在更多的时间内有更大的交联自由度及应力释放空间，这样在反应阶段，就不至于集聚过多的内应力而导致附着不良。

其次，可以从现场施工阶段来采取措施降低 UV 固化产生的内应力。如，对一些 UV 涂层，可以采用依次半干，最后全干的固化方式，以此来减轻 UV 固化的内应力；也可以对 UV 涂料进行加温和红外加热，使涂料的温度升高，当涂料温度超过微聚节点的玻璃化转变温度 T_g 时，这些网格状节点就不再是固态，而是更易流动的半流体状，UV 涂料固化产生的内应力就可以得到有效释放，从而得到与基材更好的附着性能。这也是为何夏季 UV 涂料得到的地板涂层与木质基材附着力明显优于冬季附着力的根本原因。冬季由于环境温度更低，涂料温度、辊涂设备温度都较夏季明显低，这就会使“微聚节点”的硬化程度更高，这些节点对链段增长的阻滞效应更加明显，从而导致涂层最终固化完成后集聚的内应力急速增大，涂层刚性过大，与木质基材的附着力因“内应力”的后期释放而变差。

- **地板 UV 涂装过程的附着力影响因素及应对措施**

从目前木地板 UV 涂装的工艺看，大多数地板生产企业的涂装线配置都达到了九底三面的标准化配置，这种涂装配置可以迎合大多数地板产品（不论是平面产品、仿古产品，还是拉丝开发地板产品）的生产要求，我们就以这种九底三面的生产工艺为例就行阐述。

对地板 UV 涂装来说，对地板最终产品附着力影响最大，出现频次最高的问题主要是三类问题：1) UV 涂层对基材的附着不良；2) UV 涂层之间附着不良；3) 水性着色层与木质基材附着不良。下面，我们分别就这三种问题进行分析：

- **UV 涂层与木质基材附着不良原因及应对措施**

一般来说，UV 涂层与木质基材附着不良由以下几方面因素导致：

- 木材材种含油、含水率偏高、表面杜邦丝抛光过度等等。这种情况下，水性着色剂及 UV 涂料不易在木材表面渗透附着，导致 UV 涂层与木质基材附着不良。针对这种情形，一般可以在前端工序将木材含水率控制在（8-12）%为宜，具体以地板产品要发往的客户地域平衡含水率为准；对于含油基材可以选用特别的 UV 附着增强底漆来解决；地板前端抛光也要适当，不宜过度抛光，过度抛光将会导致后道水性着色时色料添加浓度大幅上升，成本提升，附着困难也大幅提升。
- 水性着色剂中色料（包括水性色精和色浆）的添加浓度过大，导致附着不良。在木材着色较浅时，入射的紫外光光能穿过 UV 涂层后，除去被光引发剂吸收的部分，仍有 50%左右的 UV 光能被基材重新反射回来，这样一来，UV 附着底漆可以接受到大约 150%的 UV 入射光能，从而使附着底漆的底层和面层接受到的 UV 光能差距不会很大，底部也可以达到较好的交联程度；而当水性着色剂中色料添加浓度过大时，导致木材吸色较重，木材与 UV 接触部分的颜色接近于黑色时，此时，入射 UV，

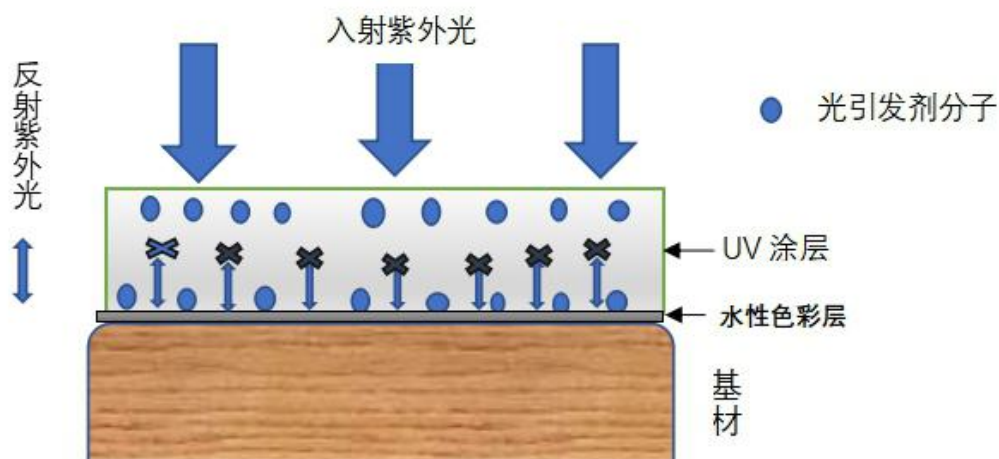


图 2 木材深色水性着色对 UV 附着的影响原理示意

光能经过 UV 涂层，如图 2 所示，除去被光引发剂分子消耗的光能，仍有 50%左右的光能可以到达深色木质部，但由于此时木质部分颜色很深，吸收了大部分 UV 光光能，导致本应被反射回 UV 涂层的 UV 光能没有了，从而直接影响 UV 附着底漆的底部不能吸收到足够 UV 光能，交联程度严重削弱，底部固化不足，从而最终表现为同样在浅色基材表现很好的 UV 附着底漆，在深色基材上，附着明显变差。

- **底漆选择不当。**

地板加工厂家有时为了满足客户对地板产品硬度或者耐磨的要求，在选择第一道 UV 底漆时，仅仅将硬度支撑或耐磨支撑作为唯一考量因素，那么，底漆的脆性过大，未能提供相当的柔韧性来适应木质地板在进入终端消费者家中可能的形变，极可能带来油漆从地板基材上剥离或者崩裂的风险。

针对以上三种因素，在地板生产时，需要从前端工序开始管控，对包括含水率、着色工艺、附着底漆的选择等方面综合考虑。木材含水率控制在 8-12%之内；生产深色地板时，选择附着和深层固化更好的 UV 附着底漆；对含油较重的树种，可以选择对应可以与这种木材发生有效交联反应的附着底漆，必要时，可以在 UV 附着底漆中添加 1-2%的 UV 硬化剂，提升深层固化效果和交联程度，得到更好更稳定的地板产品。

- **UV 涂层层间附着不良的原因及应对措施**

- **底/面漆固化程度不当**

UV 底漆在进行 UV 固化时，如果在不需要砂光的工序固化过度，表面太干，就会导致与后道 UV 涂层的层间结合不良的问题。这是因为，此时前道 UV 底漆过度固化后，其漆膜表面的可反应基团基本没有了，后道的 UV 涂料无法和前道 UV 底漆产生化学键合反应，其层间结合力仅仅是分子间作用力，远远小于涂膜内部的化学键合力，从而易出现层间附着不良。

而在需要砂光的工序，如果底漆干燥不良，砂带砂光一定平方的地板后，沙砾被没有完全干的漆粒堵住，这些漆粒在砂带砂磨后面的地板时会覆盖在地板表面，这些漆粒会成为层间附着的不良点，导致层间附着不良。而在需要砂光的工序，底漆如果固化过度，漆膜过于坚硬，砂带损耗很快，导致一段时间后，砂带对底漆基本丧失打磨作用，从而导致层间附着不良。

针对这些因素，建议在不砂光工序，底漆保持足够粘性；而在需要砂光的工序，底漆的干燥程度以指触不粘，指甲轻划有白痕为宜，当然，这些建议是泛指的，具体到具体产品和工序，需要根据涂装现场实际情况而定。

- **砂光或者除尘不当。**

砂光底漆固化完成后，需要底漆砂光机对底漆表面进行砂光，除去颗粒物，得到更加平滑的表面效果，同时是漆膜表面保持足够的微观粗糙度，以利于下道 UV 涂料的渗透附着。而当砂光机操控不当或者砂带没有及时更换，对地板砂光不够充分或者砂光产生的粉尘没有及时有效地清除，则会容易产生层间附着不良。

应对措施：定期检查砂光板面效果，对砂光机参数进行及时修正，保证良好砂光；同时可以在砂光机后，加装 3 轴除尘装置，并配以人工吹气除尘，避免板面砂光后粉粒影响后道附着。

- **耐磨底之后的 UV 底漆涂布量不够。**

UV 耐磨底漆是为了提升地板产品的长期使用耐久性而开发一款产品，该产品还有大量的大粒径无机颗粒，这些颗粒在地板上的均匀分布才是地板耐磨性的保证。这些耐磨颗粒需要后面的底漆对其进行完全覆盖后，才可以进行砂光，否则，当耐磨颗粒未被后道 UV 底漆树脂包覆，砂光后，这些无机颗粒将完全暴露在漆膜表面，在这些暴露的无机颗粒点上，后道 UV 涂料无法和其产生化学键合，从而在这些点上，漆膜的附着力层级是大幅下降的，最终导致附着不良。

应对措施：在耐磨底漆后，最好保证有 2 到 UV 砂光底漆的涂布，其涂布量之比最好控制在 $\geq 1:1.8$ ，即如果耐磨底漆涂布量为 20g/m²，那

么后面两道的 UV 砂光底漆的涂布量最好控制在 (36-40) g/m², 否则, 发生层间附着不良的风险将会大增。

UV 底/面漆进行加色, 色精添加比例不当。

UV 修色是指一些地板生产厂家为了地板色彩的效果, 在 UV 底漆或者面漆中添加色精来二次着色达到较好色彩效果的工艺。一般 UV 着色都是使用的色精, 色精添加比例从 5%到 30%甚至更多不定。这种工艺在 20 世纪 90 年代最为盛行, 现在逐渐变少。

色精颗粒非常容易吸收 UV 光线, 对于需要吸收 UV 光线才能产生自由基的光引发剂来说, 这些色精粒子就是巨大的竞争对手, 当 UV 底漆或面漆中添加的色精含量超过一定比例如 10%时, 底层的引发剂分子无法吸收到足够的 UV 光, 进而底部涂层内可以引发 UV 交联反应的活性自由基浓度大大低于涂层表面, 这就会导致加色 UV 涂层表层已经表干, 而底层却只有非常低的交联密度, 从而加色底部及其与前一道的底漆交联强度远远低于表层交联强度, 从而形成如图 1 所示明显的内应力, 最终表现为加色涂层和其下的底漆层附着不良。

应对措施: 避免一次性加色过重, 每道加色色精添加比例不易超过 8%; 在必须加色且加色比例偏高的情况下, 可以在色漆中添加 3-5%的深层固化剂, 辅以镓灯+汞灯的干燥方式, 利用长波 UV 的穿透能力来提升加色底漆/面漆的底部固化程度, 从而降低内应力风险, 避免层间附着不良。

返工板或者隔夜板重新上线。

地板涂装生产过程中, 会有一定比例的底漆下线板和面漆下线板, 这些地板多数有一定的表面缺陷, 经修补后, 重新上线涂布完工; 也有一些地板产品需要中途下线, 经过一段时间后重新上线涂布。一般底漆下线板, 下线时的表面干燥程度要比普通底漆干燥效果弱一些。因为 UV 固化虽然需要光引发剂吸收紫外光产生自由基, 然后开始 UV 交联反应, UV 固化体系迅速由低粘度状态进入凝胶态, 聚合过程中产生的链自由基被高黏态环境所包围, 原本容易发生的“双基偶合终止历程”被抑制, 链自由基成为活性的长效自由基, 即使在地板离开 UV 灯箱后的至少 1 个小时内, 由于板面温度仍然较高, 涂层内残存的小分子活性单体因体积小, 运动活性高, 仍然有可能缓慢穿行于 UV 涂层的“网格”内, 扩散到活性自由基附件与之发生加长, 继续缓慢交联。虽然交联速度明显不如在 UV 灯照射时反应速度那么快, 但多位专家的研究已经证实了 UV 涂料离开 UV 灯后的“暗反应”的存在。暗反应完成的交联程度和初始离开 UV 光照射时完成的交联程度有关, 最高可提高 20-30%。这就意味着这些下线的 UV 底漆在下线后, 漆膜内仍然会发生交联反应, 导致漆膜表面残存的可以与后道漆层反应的活性基团由于“暗反应”的缘故而大幅减少。这样一来, 后道 UV 涂料将很难与这道下线后的 UV 底漆产生有效的化学键合作用, 最终表现为层间附着不良。

应对措施: 1) 对下线后二次上线的地板进行砂光处理, 是漆膜保持粗糙状态, 利于后道 UV 涂料的渗透附着; 2) 对一些放置时间过久的下线板, 建议砂光后, 涂布一道 UV 修复剂 621331 (上海坚弗涂料有售), 在漆膜表面增添更多的活性锚定基团, 为后道 UV 附着提供良好基础。

UV 固化箱温控失灵。

所有的 UV 固化箱上方都有一个温控探头，当箱体温度超过某个设定温度值时，UV 固化箱上方的抽风电机的运转速度会明显提升，以降低灯箱的温度。而当这个温控探头出现故障，导致固化箱体内温度长期保持在一个偏高的状态时，从这道 UV 灯箱固化的底漆很容易和下道底漆发生层间附着不良的问题。

这是为什么呢？UV 固化的速度和最终转化率都受温度影响。在 UV 光固化后期，环境温度升高，有利于交联体系内链段和残余单体的运动，促进进一步的聚合反应。相当于将体系升温至其玻璃化转变温度以上进行反应，克服玻璃态对链段和残余单体的运动阻碍效应。从而最终体系的转化率明显升高。

在 UV 固化箱温控失灵的情况下，UV 底漆的实际转化率远高于理想值，使得原本应该在漆膜表面残留的活性基团全部反应掉了，后道 UV 和这道漆膜就很难实现化学键合，从而导致层间附着不良。

应对措施：定期检查涂装线设备，当发现 UV 灯箱箱体过热或者突然生锈，就有可能是温控失灵，需要及时排除，更换零件了。

UV 底漆红外烘道温度超温。

许多 UV 地板涂装线在 UV 耐磨底漆之后的第一道 UV 透明底或者砂光底漆涂布后，UV 固化前，会增设一道红外加温烘道，使 UV 砂光底漆或透明底漆可以更好流平，得到更平滑的效果。有时候红外加热温度过高，也很容易导致层间附着不良。

这是因为，红外烘道温度超温后，经过烘道的 UV 涂料温度就会比设定的理想值更高，而 UV 涂料本身温度越高，在 UV 光照条件不变的情况下，又有利于交联体系内链段和残余单体的运动，其固化速度和转化率就越高，从而导致该道涂层的实际表干效果要远高于理想设定值，其表面残余活性基团数量锐减，最终表现为层间附着不良。

应对措施：经常检查烘道温度，以不超过 40-50° C 为宜。

水性着色层与木质基材附着不良的原因及应对措施

水性着色层与木质基材附着不良常见如下几种情况：水性 UV 着色剂中色精色浆添加比例过高；纯白或灰白色水性遮盖色自身交联度不高。下面针对这些情况一一述说：

水性 UV 着色剂中色料添加比例过大

用于地板着色的水性着色剂一般包括两大类：水性 UV 着色剂和水性 PU 着色剂。水性 UV 着色剂的干燥需要先进行红外干燥除去水分，之后再行 UV 固化干燥；水性 PU 着色剂则只需要依靠红外干燥即可。一般而言，在加色浓度低于 20% 的情况下，水性 UV 着色体系的附着力性能会明显优于水性 PU 体系；而当水性 UV 着色剂中的色料添加比例超过 30% 或者更高时，体系内过多的色料微粒在进行 UV 照射时，将会吸收绝大多数的 UV 光线，而导致水性 UV 着色剂底部的光引发剂吸收不到足够的 UV 能量，从而导致底部交联程度非常低，着色层与地板木质基材结合力很差。

应对措施：当的确需要在水性着色体系再添加高比例的色精或色浆来得到理想的着色效果时，方法有二：1) 是采用水性 PU 着色剂代替水性 UV 着色剂，由于水性 PU 着色剂只需要红外干燥即可达到上下一致的干燥效果，在重着色体系内，水性 PU 着色剂可以更容易得到更好的附

着性能；2）在水性 UV 着色剂体系内添加一定量的水性交联剂，提升着色剂底部的交联程度，从而提升与基材的附着力。

纯白色或灰白色遮盖色自身交联强度差

最近几年来，灰色或纯白遮盖色地板产品所占比重越来越大，这种遮盖色地板产品的附着和耐水煮性能的重要性逐渐被广大地板加工企业认识到。由于这种白色或者灰色地板产品内都需要使用大量的白色色浆或者白色遮盖底漆，添加比例常常超过 60%，这种纯遮盖的地板产品由于大量无机二氧化钛的引入，导致涂层 PVC 急剧升高，涂层本身的内聚力明显下降，导致与基材和与后道 UV 涂层附着的降低。

应对措施：1）对于全遮盖的地板产品，尽量使用水性白色遮盖底漆，因为这种白色遮盖底漆具有本身的交联性能；当然，具体水性白色遮盖底漆的品种需要选择主体树脂对基材亲和力强，耐水性佳的产品。而在水性着色剂中添加白色色浆的方法，对于全遮盖的着色效果是不适用的，因为这种方法导致这道水性涂层内聚力变差。2）在对于附着和耐水煮性能要求较高的产品，可以在水性白底中添加 1%左右的水性交联剂，提升遮盖白底自身及遮盖白底与基材的交联强度，消除附着隐患。