

水性音箱平面漆材料性能及涂装工艺研究

刘满东

励宝新材料科技有限公司, 广州 番禺 511450

DOI:10.61369/ME.2025030028

摘要： 本文围绕水性音箱平面漆展开，探讨了树脂基材选择、助剂协同作用、配方设计、工艺参数等多方面内容。分析了不同树脂特性，阐述助剂对性能影响，强调配方平衡，研究工艺对质量的作用，还涉及涂膜性能测试及水性漆优势与发展趋势。

关键词： 水性音箱平面漆；树脂基材；涂装工艺

Study on Material Properties and Coating Processes of Water-Based Flat Paint for Speakers

Liu Mandong

Libao New Material Technology Co., Ltd., Panyu, Guangzhou 511450

Abstract： This research focuses on water-based flat paint for speakers, discussing resin matrix selection, synergistic effects of additives, formulation design, and process parameters. It analyzes characteristics of different resins, elaborates on how additives influence performance, emphasizes formulation balance, and examines how processes affect quality. The study also covers coating film performance testing along with advantages and development trends of water-based paints.

Keywords： water-based speaker flat paint; resin matrix; coating process

引言

随着环保要求的日益提高，我国自2020年开始实施一系列严格的环保政策，对涂料行业的挥发性有机化合物（VOC）排放进行了严格限制。在这样的政策背景下，水性音箱平面漆的研究与应用显得尤为重要。它不仅要满足环保要求，还需在物理性能、声学性能等多方面达到高标准。从水性树脂基材的选择，到助剂的协同作用，再到涂料配方设计、涂装工艺以及涂膜性能测试等各个环节，都需要进行深入研究，以实现水性音箱平面漆的综合性能优化，满足音响行业的需求，推动行业的可持续发展。

一、水性音箱平面漆材料体系设计

（一）水性树脂基材选择

在水性音箱平面漆材料体系设计中，水性树脂基材选择至关重要。对于丙烯酸、聚氨酯和环氧树脂体系，需考虑其在声学振动环境中的稳定性。丙烯酸树脂具有良好的耐候性和柔韧性，但其硬度相对较低。聚氨酯树脂则在耐磨性和附着力方面表现出色，且能提供较好的弹性。环氧树脂具有较高的硬度和强度，但其柔韧性较差。同时，树脂分子量和玻璃化转变温度对涂层机械性能影响显著。分子量较大的树脂通常能提供更好的强度和耐磨性，但可能会影响柔韧性。玻璃化转变温度较高的树脂在常温下可能较脆，而较低的玻璃化转变温度则可能导致涂层在高温下变软。因此，需综合考虑这些因素来选择合适的水性树脂基材^[1]。

（二）功能助剂体系优化

消泡剂、润湿剂及纳米填料在音响平面基材表面存在协同作用。消泡剂可消除漆液中的气泡，防止涂装后表面出现瑕疵，影

响外观和性能^[2]。润湿剂能降低漆液表面张力，使其更好地在基材表面铺展，提高附着力。纳米填料则可改善漆层的硬度、耐磨性等性能。通过研究它们的协同作用机理，可建立助剂配伍模型。例如，确定不同助剂的最佳添加量及比例关系，使各助剂在体系中相互配合，发挥最佳效果。同时，考虑不同音响平面基材的特性，如材质、表面粗糙度等，对助剂配伍进行调整，以满足不同基材对水性音箱平面漆性能的要求。

二、水性平面涂料制备工艺

（一）配方设计原理

水性平面涂料配方设计需综合考虑多方面因素。在固化体系方面，对比研究HAA固化体系与双组分PUD体系具有重要意义。HAA固化体系可能在某些性能上表现出独特优势，而双组分PUD体系也有其自身特点^[3]。同时，要重点分析VOC含量与交联密度的平衡关系。VOC含量直接影响涂料的环保性能，降低VOC

含量是水性涂料的重要发展方向。而交联密度则与涂料的硬度、耐磨性等性能密切相关。合理调整配方，使 VOC 含量符合环保要求的同时，保证合适的交联密度，以实现涂料良好的综合性能，是配方设计的关键所在。

（二）生产工艺控制

砂磨工艺对颜料分散度有重要影响。合适的砂磨条件可使颜料颗粒更均匀地分散在涂料体系中，提高涂料的色彩均匀性和遮盖力^[4]。通过控制砂磨时间、砂磨介质的粒径和材质等因素，可优化颜料分散效果。同时，建立粘度 - 剪切速率模型对于优化生产参数至关重要。该模型能够反映涂料在不同剪切速率下的粘度变化规律，从而为生产过程中的搅拌速度、输送压力等参数的设定提供理论依据。依据此模型，可确保涂料在生产和施工过程中具有良好的流动性和稳定性，保证水性平面涂料的质量和性能。

三、涂膜性能综合评价

（一）基础物理性能

1. 机械性能测试

涂膜的机械性能对于其实际应用至关重要。通过铅笔硬度测试可评估涂膜抵抗硬物划伤的能力，采用不同硬度等级的铅笔在涂膜表面以特定角度和压力划过，观察涂膜表面是否出现划痕及划痕的程度，以此确定涂膜的铅笔硬度值^[5]。耐冲击性测试则是衡量涂膜在受到外力冲击时的抗破坏能力，使涂膜样板承受一定重量的冲击物从特定高度落下的冲击，检查涂膜是否出现开裂、剥落等破坏现象。附着力划格实验用于检测涂膜与基材之间的附着强度，用专用刀具在涂膜表面划格，然后用胶带粘贴并撕下，观察涂膜脱落情况，从而判断附着力的好坏^[6]。

2. 表面特性分析

涂膜的表面特性分析对其性能综合评价至关重要。利用接触角测量仪可研究涂膜的润湿性，接触角大小直接反映了液体在涂膜表面的润湿程度，其数值与涂膜的表面能相关^[6]。较小的接触角意味着较好的润湿性，这对于水性音箱平面漆在实际应用中，如可能接触到的水分或其他液体，具有重要意义，能影响其防护性能和外观保持性。同时，表面粗糙度仪可用于探究涂膜的表现质量，表面粗糙度的数值大小影响着涂膜的光泽度、触感以及对灰尘等杂质的吸附能力，进而影响音箱的整体美观和使用体验。

（二）特殊功能性能

1. 声学特性研究

建立振动阻尼测试平台，通过该平台研究涂层厚度对声波反射率的调控作用。随着涂层厚度的增加，声波在涂层中的传播路径变长，能量损耗增大，从而导致声波反射率发生变化。研究发现，在一定范围内，涂层厚度与声波反射率呈现出特定的关系^[7]。这种关系对于优化水性音箱平面漆的声学性能具有重要意义。通过精确控制涂层厚度，可以实现对声波反射率的有效调控，进而改善音箱的音质效果。同时，振动阻尼测试平台为进一步研究涂层的其他声学特性提供了有效的手段，有助于全面了解水性音箱平面漆的声学性能。

2. 环境耐受性验证

开展湿热循环、冷热冲击等加速老化实验评价涂膜耐久性。湿热循环实验可模拟涂膜在不同湿度和温度条件下的耐受性，通过多次循环，观察涂膜的外观变化、附着力等性能指标。冷热冲击实验则能检验涂膜在快速温度变化下的稳定性，这对于音箱在不同环境使用时涂膜性能的保持至关重要。在实验过程中，详细记录涂膜出现的起泡、剥落、变色等现象以及相关性能数据的变化，综合评估涂膜的耐久性，为水性音箱平面漆材料在实际应用中的环境适应性提供有力依据^[8]。

四、涂装工艺应用研究

（一）基材预处理技术

1. 木器基底处理

木器基底处理在涂装工艺中至关重要。对于含水率的控制，需精准把握，因含水率过高或过低都会影响涂层附着力^[9]。过高的含水率可能导致木材变形，涂层易脱落；过低则可能使木材过于干燥，吸收涂料中的水分，影响涂层的干燥速度和质量。同时，低温等离子体表面活化工艺的开发为木器基底处理提供了新方法。该工艺能有效改善木材表面的活性，增强其与涂料的结合力，提高涂层的附着力和耐久性，为获得高质量的涂装效果奠定基础。

2. 金属复合材料处理

金属复合材料处理在涂装工艺中至关重要。对于音响外壳这类金属复合材料，砂纸目数对其表面粗糙度有显著影响。不同的砂纸目数会产生不同的表面效果，较细目数的砂纸能使表面更光滑，而较粗目数可能会留下明显划痕。合适的表面粗糙度控制标准是确保涂装质量的关键因素之一。在实际应用中，需根据音响外壳的材质特性和涂装要求，精确选择砂纸目数，以达到理想的表面粗糙度，为后续的涂装工序提供良好的基材表面条件^[10]。

（二）施工工艺优化

1. 喷涂参数控制

喷枪压力、喷涂距离等喷涂参数对成膜质量有着关键影响。利用响应曲面法可对这些参数进行优化研究。通过合理设计实验，改变喷枪压力和喷涂距离等变量，测量不同条件下的成膜质量相关指标。分析实验数据，建立各参数与成膜质量之间的数学模型。基于模型，能够直观地了解各参数对成膜质量的影响规律以及它们之间的交互作用。从而确定最佳的喷枪压力和喷涂距离组合，以实现最优的成膜质量，提高水性音箱平面漆的涂装效果，满足音箱外观质量的要求，同时提高生产效率和降低成本。

2. 干燥工艺研究

建立梯度升温干燥曲线，深入研究红外固化对涂膜收缩率的影响。在干燥工艺中，通过精确控制温度的变化，形成合理的梯度升温曲线。这一曲线的建立有助于优化涂膜在干燥过程中的性能表现。红外固化作为一种重要的干燥方式，其对涂膜收缩率有着关键作用。研究发现，不同的红外固化参数会导致涂膜收缩率产生差异。通过对这些参数的细致调整和研究，可以找到使涂膜

收缩率达到理想状态的条件，从而提高涂膜的质量和稳定性，确保水性音箱平面漆的涂装效果符合要求。

（三）典型应用案例

1. 专业音响设备应用

在 Hi-Fi 音响系统中，水性音箱平面漆涂层展现出对音质稳定性的改善效果。该涂层具有特殊的物理和化学性质，能有效减少音箱表面的振动和共振。其均匀的涂覆使得音箱表面更加平整光滑，减少了声波在传播过程中的散射和反射，从而提高了声音的清晰度和保真度。同时，水性漆的环保特性也符合现代音响设备制造对绿色材料的需求。通过实际的声学测试和主观听感评价，验证了这种涂装工艺在专业音响设备中的应用价值，为高品质音响的制造提供了一种新的技术手段和材料选择。

2. 智能音箱量产实践

在智能音箱量产实践中，水性音箱平面漆的涂装工艺至关重要。涂装过程中需严格控制关键工艺参数以提升自动化涂装线良品率。对于喷枪的参数设置，需依据音箱的形状、大小以及漆的特性进行精确调整，确保漆的均匀喷涂。同时，烘干温度和时间也是关键因素，不合适的烘干条件可能导致漆层出现裂纹、色泽

不均等问题。此外，涂装环境的温湿度也会影响漆的干燥速度和质量，需保持在适宜的范围内。通过对这些关键工艺参数的深入研究和精准控制，能够有效提高智能音箱的涂装质量，提升自动化涂装线的良品率，满足大规模量产的需求。

五、总结

水性音箱平面漆具有诸多优势。在环保性能方面，其挥发性有机化合物（VOC）含量低，符合环保要求，减少对室内空气质量的影响。在物理性能上，具备良好的附着力、硬度和耐磨性，能有效保护音箱表面。同时，涂层的外观质量高，色泽均匀，具有良好的装饰性。然而，为进一步提升其性能，可基于环保型交联剂进行开发。通过改进交联剂，有望增强涂层的耐水性、耐化学性等性能。展望未来，声学功能涂层智能化制造将是发展趋势。智能化制造可实现精确控制涂层厚度、均匀性等参数，提高生产效率和产品质量，满足音箱行业对高性能涂层的需求，推动行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 钱颖. 稀土改性石墨烯 / 水性环氧树脂复合涂料涂装工艺研究 [D]. 西安理工大学, 2022.
- [2] 汤浩. 扬州漆艺家具涂饰材料及工艺研究 [D]. 东北林业大学, 2022.
- [3] 王宁. 基于 MotoSim 涂装生产线三维仿真及水性漆喷涂关键技术研究 [D]. 江苏科技大学, 2021.
- [4] 杨梦琦. 漆首饰中的材料与工艺研究及实践表现 [D]. 山东工艺美术学院, 2023.
- [5] 陶加乾. A 公司水性漆产业化项目可行性研究 [D]. 南京理工大学, 2021.
- [6] 苏晓卫. 谈涂装水性漆工艺升级改造方案 [J]. 汽车实用技术, 2021, 46(2): 158-160.
- [7] 邱岩岩. 水性涂料的涂装工艺及其质量提升策略探讨 [J]. 现代盐化工, 2022, 49(2): 71-72.
- [8] 高素青. 浅析水性涂料的涂装工艺及其质量控制措施 [J]. 现代盐化工, 2021, 48(1): 78-79.
- [9] 刘恩, 刘晓旭, 尤华伟. 碳纤维复合材料表面涂装工艺研究 [J]. 涂料工业, 2021, 51(6): 85-88.
- [10] 王艳, 代瑞珍. 铁路客车用水性涂料性能要求及涂装工艺研究 [J]. 涂层与防护, 2023, 44(9): 1-5.