

# 光固化制备建筑装饰APE涂层及其性能表征

李衍冬

(新乡职业技术学院建筑学院,河南省新乡市,453000)

**摘要** 磷酸酯(APE)涂层具有优秀的修复效果,在建筑装饰领域得到广泛应用。通过光固化方式制备得到建筑装饰用APE涂层,并对其性能开展表征分析。研究表明:涂层内部并未形成孔道,证实了APE涂层可达到高致密标准。随着HEMA加入量的增加,LYCO比例减少,限制了软段链的活动能力,减少成膜涂层形变能力。当硬段链比例增加到55%后,软段链活动能力完全丧失,导致失去自修复的作用,硬段链比例提升后使APE涂层自修复次数发生显著下降。

**关键词** 磷酸酯;光固化;自愈合;涂层

中图分类号:TG174.4 文献标识码:B  
文章编号:1008-0899(2026)04-0057-02

自修复材料相较于需要依赖热量、应力或是光照来启动修复机制的自修复材料,表现出了更优越修复效果<sup>[1]</sup>。相关研究成果为聚磷酸酯自修复材料的开发提供了重要理论支持。磷酸酯材料在自修复过程中完成从液态到固态膜结构的转变需花费较长时间,限制了其在实际应用中的推广<sup>[2-3]</sup>。

该领域正吸引越来越多科研人员关注。赵宁等<sup>[4]</sup>通过共价键将磷酸二乙酯与环氧树脂反应,制得环氧磷酸酯,有效提升了固化涂层的力学性能和耐腐蚀性。黄志雄等<sup>[5]</sup>将改性石墨烯分散于环氧树脂中,制备出石墨烯/环氧涂层,利用石墨烯的物理阻隔性显著增强了对基体的防护效果。紫外线(UV)固化技术因固化速率快、节能降耗而备受青睐。其中,经丙烯酸酯改性的磷酸酯(APE)不仅能大幅缩短固化周期,还保留了磷酸酯的优异特性,展现出良好的发展潜力。本文在前人研究基础上,采用光固化技术制备了适用于建筑装饰的APE涂层,并对其性能进行了表征分析。

## 1 实验方案

### 1.1 涂层制备

本文采用两步合成的过程制备磷酸酯预聚体。首先是将HEMA、HSH330、LYCO充分混合后,再将

温度升高到80℃,在反应期间一直通入氮气作为保护气体;接着加入BDO进行扩链。首先,保持温度为30℃的条件下搅拌处理0.5h,由此获得均匀分布的混合物。接着将混合物升温至75℃,经过3h反应后再降到50℃。以体积为2:1的条件将乙酸丁酯和环己酮配制成溶剂,持续搅拌15min,随后加入定量BDO,彻底搅拌均匀后,将混合物升温至70℃,在此温度下保持3h后,最终降至常温以制备得到APE预聚体。反应过程中,根据体系的黏度变化,适时补充混合溶剂。均匀涂抹在聚四氟乙烯槽表层,实施紫外光固化成膜。

### 1.2 性能表征

借助LEXT分析表面粗糙度,通过悬滴法测定样品接触角,以称重方法测定了样品吸水比率。根据GB/T 528-2009标准并利用Labthink XLM电子拉伸机按照35mm/min的拉伸速率对其力学性能参数进行测试。

## 2 分析讨论

### 2.1 成膜性

本实验分别控制不同HEMA添加量,成功制备了一系列硬段链比的APE涂层,之后对其实施成膜效果评估,不同硬段链比例APE涂层的表面成膜性能的相关数据见表1。通过观察表1发现,涂层由软硬两个链段构成,HSH330和LYCO是软链段,而HEMA和BDO则属于硬链段。在保证聚合过程中-NCO和-OH摩尔比不变的前提下,引入HEMA能够有效提升涂层中硬链段比例。当硬链段比例增加

作者简介:李衍冬(1992~),男,河南辉县人,硕士,讲师,研究方向:工程。

时,涂层表面呈现更粗糙的质感。

表1 不同硬段链比例APE涂层的表面成膜性能

硬段链比例/%	15	25	35	45
粗糙度/mm	0.12	0.17	0.26	0.33
接触角/ $^{\circ}$	98.6	103.8	104.5	106.3
吸水率/%	37.1	29.8	20.6	3.8

本实验利用红外光谱分析仪检测了包含25%硬段的APE涂层中不同官能团吸收峰,谱图数据见图1。观察图1可知,在 $3306\text{cm}^{-1}$ 处,出现-NH键典型振动峰,判断涂层中已经存在氨基甲酸酯结构;在 $833\text{cm}^{-1}$ 处观察到C=C键振动峰,由此证实了HEMA的存在,表明丙烯酸酯键已成功接枝。综合以上结果可以推断本实验已成功制备出了APE涂层。

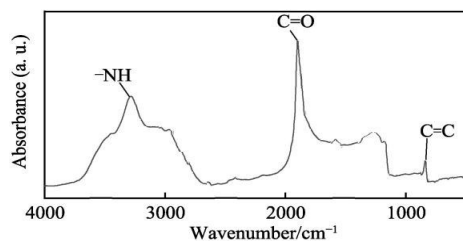


图1 含25%硬段链APE涂层的红外光谱

## 2.2 力学性能

表2给出了不同硬段链比例的APE涂层表面成膜性能测试结果。结果表明,随着HEMA加入量的增加,硬度表现出来增加的规律;弹性模量和断裂强度表现出来增加的变化,而伸长率表现出来减小的变化。这是因为LYCO比例的有所减少会增强材料的力学性能,但会降低塑性。增加硬段链含量后,APE链段之间形成了更牢固的氢键结构,进而实现更高交联密度,整个链段的活性大幅降低,导致涂层具备更高弹性模量,减少成膜涂层形变能力。

表2 不同硬段链比例的APE涂层表面成膜性能

硬段链比例/%	15	25	35	45
硬度/HV	23.64	37.41	45.82	61.35
弹性模量/MPa	0.32	0.59	1.41	4.82
断裂强度/MPa	1.16	2.08	3.44	6.12
伸长率/%	16.28	13.62	9.83	5.74

## 2.3 自愈合性能

对包含不同比例硬段链的APE涂层断裂后结构进行原位修复经过10日后测试,见图2所示数据可知,随着HEMA含量增加,APE涂层中形成了更多数量的硬段链,导致自修复率发生一定程度的下降。当HEMA含量达到某一临界值时,硬段链占比达到

55%,此时制备得的APE涂层已丧失了修复能力。软段链移动能够促进断口重新排列,实现APE涂层自修复。当硬段链比例增加到55%后,软段链活动能力完全丧失,无法通过运动过程形成断口愈合所需氢键,导致失去自修复的作用。

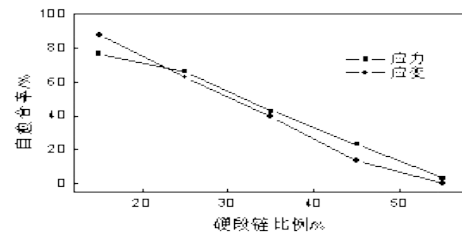


图2 不同硬段链比例APE涂层的自愈合率

表3展示了不同硬段链比下APE涂层反复拉伸处理的自修复次数分布。可以看出,随硬段链比例提升,涂层自修复次数显著下降,主要因HEMA含量增加导致硬段结构增多,从而降低了自修复性能。

表3 不同硬段链比例APE涂层的自愈合次数

硬段链比例/%	15	25	35	45
自愈合次数	8	7	5	2

## 3 结论

光固化制备建筑装饰APE涂层,涂层内部并未形成孔道,证实了APE涂层可达到高致密标准。随着HEMA加入量的增加,LYCO比例减少,限制了软段链的活动能力,减少成膜涂层形变能力。当硬段链比例增加到55%后,软段链活动能力完全丧失,失去自修复的作用。

## 参考文献

- [1] 郭跃海.形状记忆辅助自修复材料的研究进展[J].化学研究与应用,2024,36(06):1185-1196.
- [2] 马孟起,沈禹键,阮文红,等.自修复材料在绝缘领域的研究进展及应用[J].功能高分子学报,2023,36(06):512-526.
- [3] 阮英波,张光喜,卢红斌,等.基于Diels-Alder反应的石墨烯基自修复材料[J].固体火箭技术,2021,44(05):678-686.
- [4] 赵宁,胡振文,陈于健,等.环氧磷酸酯的制备及其在金属防护领域的应用研究[J].涂料工业,2023,53(06):30-38.
- [5] 黄志雄,胡新军,田建平,等.芳基磷酸酯盐改性石墨烯/水性环氧涂层的耐腐蚀性能研究[J].材料导报,2023,37(13):227-233.