

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.05.010

改性 PVC 的性能

王晨光

(长治职业技术学院,山西长治 046011)

摘要: 利用对苯二甲酸二丁酯作为增塑剂,对聚氯乙烯(PVC)进行了改性。研究发现,增塑剂的含量在很大程度上影响着聚氯乙烯的性能。当对苯二甲酸二丁酯的质量分数由10%增加至50%时,PVC的拉伸强度、拉伸弹性模量和耐磨损性能下降,冲击强度、断裂伸长率和亲水性得到改善。实验结果表明,当对苯二甲酸二丁酯的质量分数为30%时,相应的聚氯乙烯样品(PVC3)的综合性能最为优异,拉伸强度为30 MPa,拉伸弹性模量为2.1 GPa、断裂伸长率为112%,缺口冲击强度为8.5 kJ/m²,磨损实验的质量保持率为90.7%,水接触角为75°,吸水率为0.36%。另外,对苯二甲酸二丁酯质量分数为30%的改性PVC在-30~40℃区间范围内,力学性能并未出现明显降低,表现出了优异的耐高低温性能。

关键词: 聚氯乙烯;工业材料;改性;性能

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)05-0049-04

Performance of Modified PVC

Wang Chenguang

(Changzhi Vocational and Technical College, Changzhi 046011, China)

Abstract : Dibutyl terephthalate was used as plasticizer to modify polyvinyl chloride (PVC). It is found that the content of plasticizer affects the properties of PVC to a great extent. When the mass fraction of dibutyl terephthalate increase from 10% to 50%, the tensile strength, elastic modulus and wear resistance of PVC decrease, while the impact strength, elongation at break and hydrophilicity are improved. The results show that when the mass fraction of dibutyl terephthalate is 30%, the comprehensive properties of the corresponding PVC sample (PVC3) are the best, the tensile strength is 30 MPa, the elastic modulus is 2.1 GPa, the elongation at break is 112%, the impact strength is 8.5 kJ/m², the mass retention rate of the wear experiment is 90.7%, the water contact angle is 75°, and the water absorption rate is 0.36%. In addition, the mechanical properties of the mass fraction of dibutyl terephthalate is 30% (PVC3) in the range of -30~40℃ does not decrease significantly, showing excellent high and low temperature resistance.

Keywords : polyvinyl chloride ; industrial material ; modification ; performance

随着社会的进步和经济的发展,人们对日常生活用品的品质要求越来越高。尤其是随着审美观念的变化,人们对建筑室内装修的需求也愈来愈多样化,从建筑室内装饰的款式、版型、配色,到建筑材料的材质都不断地推陈出新。

以往,常用的建筑室内装修基材是聚酰胺、芳香族聚酯、聚氨酯等常见的工程塑料和纤维^[1-9],这些材料虽然性能各异,但从生产成本和室内环境角度出发,在一定程度上限制了室内设计材料的发展。近年来,聚氯乙烯(PVC)成为一种新兴的建筑室内

装修材料^[10-12]。PVC与上述材料具有较大差别,首先PVC具有十分优异的透明性,其次PVC原料一般为塑料片材。这些特性使得更适用于建筑室内装修设计中的PVC的加工、设计^[13-15]。然而,建筑室内装修用PVC需要具有多方面的优异性能,例如强度、韧性、耐磨性、疏水性、着色性等,但这些性能之间往往是相互矛盾的,例如其强度提高,韧性就会相应降低;着色性提高,疏水性则会相应降低。笔者通过在PVC中加入不同含量的助剂,对PVC的性能进行改善,以制备出综合性能优异的PVC建筑用

通信作者: 王晨光,大学本科,讲师,研究方向为建筑材料性能检测与应用,建筑工程施工质量与安全 E-mail: ainiyyga7855@sina.com

收稿日期: 2021-02-21

引用格式: 王晨光. 改性 PVC 的性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(5): 49-52, 74.

Wang Chenguang. Performance of modified PVC[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(5): 49-52, 74.

材料。

1 实验部分

1.1 主要原料

PVC: 牌号 S-101, 温州乐之洲塑业有限公司;
对苯二甲酸二丁酯、丙酮、无水乙醇: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器及设备

密炼机: SJGF 型, 张家港市顺科机械有限公司;
平板硫化机: BGD 型, 青岛博格达检测仪器有限公司;

万能试验机: UTM6102 型, 深圳三思纵横科技股份有限公司;

冲击试验机: DR-802 型, 东莞市东日仪器有限公司;

耐磨试验机: HD-P304 型, 东莞海达仪器有限公司;

水接触角仪: SDC-100 型, 东莞市晟鼎精密仪器有限公司。

1.3 改性 PVC 试样的制备

将 PVC 与对苯二甲酸二丁酯按照一定的比例进行充分混合, 加入到预热的密炼机中。设定密炼机料筒温度为 160℃, 转速为 60 r/min。在该条件下制备出一系列具有不同增塑剂 (对苯二甲酸二丁酯) 含量的 PVC。所制备的 PVC 样品所含增塑剂的质量分数分别为 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 分别记作 PVC1, PVC2, PVC3, PVC4 和 PVC5。然后准确称量 5 g 所制备的改性 PVC, 置于 130℃ 下预热的平板硫化机中, 热压 10 min 后, 制得 PVC 片材。

1.4 PVC 的染色

染色前, 用丙酮擦拭改性 PVC 片材表面, 并在氮气流下吹干备用。称取一定质量的溶剂染料蓝-5, 溶于无水乙醇中, 配制成质量分数为 20% 的溶液, 然后喷涂在改性 PVC 片材表面, 并涂抹均匀。置于阴凉处阴干。

1.5 性能测试

拉伸性能按照 GB/T 1040.1-2018 测试, 样条形状为哑铃型, 拉伸速率为 10 mm/min;

缺口冲击强度按照 GB/T 1043.1-2008 测试, 样条形状为长条形;

耐磨性能按照 ISO 105×12-2001 测试;

吸水率: 将称量准确的 PVC 片材浸泡在水中 24 h 后, 吸干表面附着的水分, 在氮气流下吹干, 然后称重记录数据;

水接触角测试: 通过针头将 1~5 μL 的液滴滴于 PVC 薄片表面, 待液滴形状稳定后利用接触角仪自带软件计算水的接触角。

2 结果与讨论

2.1 改性 PVC 的力学性能

首先对所制备的改性 PVC 的力学性能进行了测试, 其结果见表 1。所制备的样品 PVC1~PVC5 中增塑剂对苯二甲酸二丁酯的质量分数分别为 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 相应的改性 PVC 样品 PVC1 属于硬质 PVC, PVC2 属于半硬质 PVC, PVC3~PVC5 属于软质 PVC。增塑剂的加入会提高 PVC 的柔韧性, 使其拉伸强度和拉伸弹性模量有所下降, 但断裂伸长率有所提高。

表 1 改性 PVC 的力学性能

样品	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / (kJ·m ⁻²)
PVC1	55	2.7	61.5	5.1
PVC2	42	2.5	96.8	6.7
PVC3	30	2.1	112	8.5
PVC4	22	1.8	142	9.3
PVC5	15	1.6	161	9.9

由表 1 可见, PVC1 的拉伸强度为 55 MPa, 拉伸弹性模量为 2.7 GPa, 断裂伸长率为 61.5%, 这说明 PVC1 是一种高强度、低柔性的材料; 随着增塑剂含量的提高, 改性 PVC 的拉伸强度下降, 断裂伸长率提高, 当增塑剂质量分数为 30% 时, PVC3 的拉伸强度和拉伸弹性模量分别为 30 MPa 和 2.1 GPa, 断裂伸长率为 112%, 是一种兼具较高强度和较为优异柔韧性的材料; 随着增塑剂含量继续增加, PVC4 和 PVC5 的拉伸强度、拉伸弹性模量继续降低, 断裂伸长率继续提高。PVC4 的拉伸强度仅为 22 MPa, PVC5 的拉伸强度仅为 15 MPa, 而二者的断裂伸长率分别高达 142% 和 161%, 说明这两种改性 PVC 是属于低强度、高柔韧性的材料。根据此结果可见, 样品 PVC3 的拉伸强度和断裂伸长率均处于中等水平, 是一种理想的建筑用材料。

由表 1 可见, 随着增塑剂含量的增加, 相应改性 PVC 样品的缺口冲击强度提高, 与其断裂伸长率呈现了相似的变化趋势。这说明增塑剂的加入有效地改善了 PVC 的柔韧性。当增塑剂的质量分数为 10% 和 20% 时, 样品 PVC1 和 PVC2 的缺口冲击强度分别为 5.1 kJ/m² 和 6.7 kJ/m²; 而当增塑剂的质量分数提高至 30% 后, PVC3 的冲击强度出现了明显的提升, 提高至 8.5 kJ/m²; 继续提高增塑剂的质量分数至 40% 和 50% 后, 与 PVC3 相比,

PVC4 和 PVC5 的缺口冲击强度并没有出现大幅提升, 仅提高到 9.3 kJ/m^2 和 9.9 kJ/m^2 。这说明, PVC3 样品的缺口冲击强度已经进入到了一个平稳变化的阶段, 结合拉伸性能的评估, 可以认为 PVC3 是一种兼具较高强度和韧性的材料。

2.2 改性 PVC 的耐温性能

由于夏季和冬季气温温差较大, 在我国南方夏季温度最高可达 40°C , 北方冬季最低温度可达到 -30°C 以下, 所以制备建筑所用的 PVC 需要在较宽范围内依然能够保持优异的力学性能。笔者以 PVC3 为模型, 研究了其在 $-30\sim 40^\circ\text{C}$ 范围内, 材料拉伸性能和冲击性能的变化。表 2 为 PVC3 在不同温度下的拉伸性能。由表 2 可见, 随着测试温度的变化, PVC3 的拉伸强度并没有发生明显的变化, 但是其拉伸弹性模量出现了明显的下降, 这说明在低温下, PVC 的分子链段不易发生运动, 塑性变形能力较差; 而随着温度升高, 分子链段运动变得容易, 所以拉伸弹性模量降低。另外, 在低温下 PVC 的脆性更为明显, 冲击强度较低; 而较高温度下, 其冲击强度可以保持在较为优异的水平。不过, 总体来说, PVC3 在 $-30\sim 40^\circ\text{C}$ 的温度区间内, 无论是拉伸性能, 还是冲击性能都未出现较为显著的变化, 这说明 PVC3 是一种具有较为优异的耐高低温性能的材料, 可以用于建筑材料的生产中。

表 2 PVC3 样品的拉伸性能

温度 / $^\circ\text{C}$	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	断裂伸长率 / %	缺口冲击强度 / $(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$
-30	33	2.5	103	7.2
-10	29	2.2	107	7.6
10	32	2.1	107	7.9
30	30	2.1	112	8.5
40	31	1.8	121	8.7

2.3 改性 PVC 的耐磨性能

采用失重法对所制备的 PVC 的磨耗磨损性能进行了测试, 所采用的方法为磨粒磨损法, 实验结果见表 3。由表 3 可见, 随着 PVC 基体中增塑剂质量分数的提高, PVC 的耐磨性能出现了一定程度的降低。这与其拉伸强度和拉伸弹性模量的变化趋势相似, 主要是由于材料本身刚性的下降所导致的。当 PVC 基体中增塑剂的质量分数为 $10\%\sim 30\%$ 时, 相应的改性 PVC 样品在磨损实验后, 质量保持率均高于 90% , 这说明 PVC1, PVC2 和 PVC3 均表现出了较好的耐磨性能。而随着增塑剂的质量分数进一步提升, PVC4 和 PVC5 在磨损试验后, 其质量保持率降低到了 88.1% 和 87.6% , 与另外三种改性 PVC

样品相比, 下降幅度较大。因此, 通过磨损实验可知, 当增塑剂的质量分数不高于 30% 时, 相应 PVC 样品具有较为优异的耐磨性能。

表 3 改性 PVC 的耐磨性能

样品	初始质量 / g	磨损后质量 / g	质量保持率 / %
PVC1	5.77	5.37	93.1
PVC2	5.42	5.02	92.6
PVC3	5.56	5.04	90.7
PVC4	5.71	5.03	88.1
PVC5	5.82	5.10	87.6

2.4 改性 PVC 的亲水性

在 PVC 基体中加入增塑剂后, 增塑剂的极性会提高 PVC 的亲水性。通过对水接触角的测试和吸水率的测试评价了所制备的改性 PVC 的亲水性, 结果见表 4。

表 4 改性 PVC 的亲水性

样品	水接触角 / $^\circ$	吸水前质量 / g	吸水后质量 / g	吸水率 / %
PVC1	89	5.74	5.75	0.17
PVC2	85	5.44	5.45	0.18
PVC3	75	5.61	5.63	0.36
PVC4	72	5.47	5.49	0.37
PVC5	68	5.26	5.28	0.38

由表 4 的数据可知, 当 PVC 基体中的增塑剂质量分数为 10% 和 20% , 其接触角分别为 89° 和 85° ; 当增塑剂的质量分数增大到 30% 以上后, 改性 PVC 的水接触角显著减小, PVC3, PVC4 和 PVC5 的水接触角分别为 75° , 72° 和 68° 。实验结果表明, 增塑剂的质量分数提高至 30% 时, PVC 的亲水性出现了阶梯式变化, 之后增塑剂的含量继续增高, 亲水性的变化不再明显。图 1 为 PVC1, PVC3 和 PVC5 的水接触角。由图 1 的水接触角也可以直观看出, 样品 PVC3 和 PVC5 的亲水性要明显优于样品 PVC1 的亲水性。

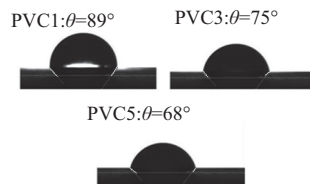


图 1 PVC1, PVC3 和 PVC5 的水接触角

由表 4 可见, PVC 的吸水率也呈现了与接触角相似的变化规律。PVC1 和 PVC2 的吸水率较低, 仅为 0.17% 和 0.18% ; 当增塑剂的质量分数提高至 30% 后, 出现了阶梯式提高, 为 0.36% ; 而进一步增大增塑剂含量, 与 PVC3 相比, PVC4 和 PVC5 的吸水率没有出现明显提升, 分别为 0.37% 和 0.38% 。

以上实验结果表明, 增塑剂的加入有效提高了

PVC的亲水性。尤其是在增塑剂的质量分数增加至30%时,PVC的亲水性得到了明显的提升。材料的亲水性提高,说明其极性得到了提升,那么印染性和粘附性也会得到有效地改善。

2.5 改性PVC的染色性能

以溶剂染料蓝-5对PVC3进行染色,染色结果如图2所示。结果表明,PVC3片材染色均匀,色泽鲜亮,且染色后的PVC片材具有一定的透光性。阴干后,染色后的PVC片材浸泡在水中24h后,未出现脱色现象;而在阳光下曝晒24h后,也没有出现脱色现象。以上结果表明,PVC3具有良好的染色性能,且染色后具有一定的牢固性。

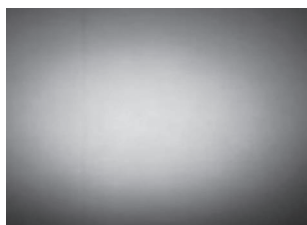


图2 PVC3样品染色照片

3 结论

制备一系列含有不同含量增塑剂对苯二甲酸二丁酯的PVC样品。通过对其拉伸性能、冲击性能、耐磨性能和亲水性的研究发现,增塑剂的加入能够有效提高PVC的柔韧性,但会同时使其强度降低。当增塑剂的质量分数为30%时,改性的PVC样品(PVC3)具有较为优异的综合力学性能,拉伸强度、拉伸弹性模量、断裂伸长率、缺口冲击强度分别为30 MPa,2.1 GPa,112%和8.5 kJ/m²。而且样品PVC3在-30~40℃区间范围内,均表现出了较为优异的综合性能。增塑剂的加入还会影响到PVC的耐磨性能和亲水性,当增塑剂质量分数不高于30%时,相应PVC样品具有较为优异的耐磨性;当增塑剂质量分数不低于30%时,相应PVC样品具有较为优异的亲水性。因此,PVC3是一种理想的建筑用PVC材料。

参考文献

- [1] 李晓刚,王锐,金丽. 室内设计中塑料类装饰材料的运用探讨[J]. 塑料科技, 2020,48(4):145-147.
Li Xiaogang, Wang Rui, Jin Li. Discussion on the application of plastic decorative materials in interior design[J]. Plastics Science and Technology, 2020,48(4):145-147.
- [2] 蒲波. 塑料类装潢材料在室内设计中的应用分析[J]. 塑料工业, 2018,46(2):144-147.
Pu Bo. Application analysis of plastic decoration materials in interior design[J]. China Plastics Industry, 2018,46(2):144-147.
- [3] 赵丹青,葛朝晖,陈英. 塑料及其复合材料产品在室内装饰材料上的应用[J]. 塑料科技, 2020,48(7):149-153.
Zhao Danqing, Ge Zhaohui, Chen Ying. Application of plastics and their composites in interior decoration materials[J]. Plastics Science and Technology, 2020,48(7):149-153.
- [4] 林溪顺. 功能性木塑复合材料制备及其性能研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
Lin Xishun. Research on preparation and properties of functional wood plastic composites[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.
- [5] 舒江,张志军. PU/CNTs复合材料的制备及其在室内设计中的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2016(33):27-29.
Shu Jiang, Zhang Zhijun. Preparation and application of PU/CNTs composite materials in interior design[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2016(33):27-29.
- [6] 范秀祝. 聚乙烯复合材料在室内设计中的应用进展[J]. 合成树脂及塑料, 2019,36(1):99-102.
Fan Xiuzhu. Application progress of PP composites in interior design[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2019,36(1):99-102.
- [7] 谢梦媛. 塑料在室内装饰材料中的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2020,37(5):99-102.
Xie Mengyuan. Application of plastics in interior decoration materials[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2020,37(5):99-102.
- [8] 潘瑜,王瑜,史莹芳. 蜂窝夹芯塑料板在室内空间装修中的应用[J]. 塑料科技, 2020, 48(11):144-148.
Pan Yu, Wang Yu, Shi Yingfang. Application of honeycomb sandwich plastic board in interior space decoration[J]. Plastics Science and Technology, 2020,48(11):144-148.
- [9] 闫长浩. 蜂窝夹芯塑料板材发展现状与室内空间装饰工程应用[J]. 塑料工业, 2017,45(9):148-151.
Yan Changhao. The development status of sandwich plastic panel with honeycomb core and its application on interior space decoration project[J]. China Plastics Industry, 2017,45(9):148-151.
- [10] 魏勇,王宇,于海洋,等. 硬聚氯乙烯通水地板辐射供暖实测分析[J]. 天津城建大学学报, 2019,25(5):14-18.
Wei Yong, Wang Yu, Yu Haiyang, et al. Measurement and analysis of radiant heating with hard pvc water type floor[J]. Journal of Tianjin Chengjian University, 2019,25(5):14-18.
- [11] 于培静. 等离子体改性热塑性树脂薄膜制备环保胶合板[D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
Yu Peijing. Thermoplastic resin film used to prepare green plywood after plasma treatment[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2019.
- [12] 高中峰. PVC改性和加工应用工艺研究进展[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6):150-153.
Gao Zhongfeng. Research progress on modification and processing

- of instantaneous stress in hot plate welded joint of plastic pressure pipe[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2006(1):21-25, 114.
- [5] 丁金森. 聚乙烯燃气管道焊接质量分析研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- Ding Jinsen. Study on welding quality analysis of polyethylene gas pipeline[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [6] Riahi M, Arab H, Ghanati M F. Analysis of pressure exertion's effect on electrofusion welding process of polymer pipes[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 57(1-4):183-188.
- [7] 宋晓娟, 彭星煜, 喻建胜, 等. 含工艺缺陷 PE 管道热熔焊接接头力学性能测试分析[J]. 热加工工艺, 2020, 49(15):100-103, 109.
- Song Xiaojuan, Peng Xingyu, Yu Jiansheng, et al. Test and analysis of mechanical properties of hot melt welded joint of PE pipe with process defect[J]. Hot Working Technology, 2020, 49(15):100-103, 109.
- [8] 马利斌. PE 燃气管道焊接技术的探讨[J]. 居舍, 2019(21):71-72.
- Ma Libin. Discussion on welding technology of PE gas pipeline[J]. Home, 2019(21):71-72.
- [9] 陈胜利, 贺建平. 基于 PE 燃气管道焊接工艺的研究[J]. 塑料科技, 2018, 46(1):51-54.
- Chen Shengli, He Jianping. Study on welding technology of PE gas pipeline[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(1):51-54.
- [10] 王晓芹. 聚乙烯管材热熔对接焊拉伸性能的研究[J]. 甘肃科技, 2017, 33(11):52-54.
- Wang Xiaoqin. Study on tensile properties of polyethylene pipe hotmelt butt welding[J]. Gansu Science and Technology, 2017, 33(11):52-54.
- [11] 何慧娟. 含缺陷聚乙烯燃气管道热熔接头力学性能研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2015.
- He Huijuan. Study on mechanical properties of hot melt joint of gas pipeline containing defective polyethylene[D]. Chengdu: South West Petroleum University, 2015.
- [12] 范自伟, 李俊, 李涛, 等. 温度对 PE 燃气管热熔焊接接头性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(1):36-39.
- Fan Ziwei, Li Jun, Li Tao, et al. The influence of temperature on the performance of PE gas pipe hot melt welding joint[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(1):36-39.
-
- (上接第 52 页)
- application of PVC resin[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6):150-153.
- [13] 林旭东, 贾明印, 薛平. 连续玻纤增强 PVC 预浸料的制备成型工艺[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(3):50-54.
- Lin Xudong, Jia Mingyin, Xue Ping. Moulding process of continuous glass fiber reinforced PVC prepreg[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):50-54.
- [14] 杨良波, 欧相麟, 魏耀富, 等. PVC/ABS 合金成型及模具设计[J]. 现代塑料加工应用, 2019, 31(3):52-55.
- Yang Liangbo, Ou Xianglin, Wei Yaofu, et al. Forming and mold design of PVC/ABS alloy[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(3):52-55.
- [15] 贾小波, 肖恩琳, 侯斌. 聚氯乙烯压延生产中的常见问题及解决措施[J]. 齐鲁石油化工, 2019, 47(2):44-48.
- Jia Xiaobo, Xiao Enlin, Hou Bin. Common problems and solutions on calendaring production of PVC[J]. Qilu Petrochemical Technology, 2019, 47(2):44-48.