

# 不同改性剂对PVC管材材料性能影响分析

张 凯

宝钛集团有限公司 陕西 宝鸡 721000

**摘 要：**PVC管材作为广泛应用的热塑性塑料管材，其性能受改性剂影响显著。本文介绍了PVC管材的基本特性及常见改性剂类型，包括增韧剂、热稳定剂、加工助剂和填充剂等，并分析了不同改性剂对PVC管材力学性能、热稳定性、加工性能和耐化学腐蚀性的影响。进而提出基于性能需求的改性剂选择策略，涵盖不同应用场景的性能要求、改性剂的单一与复合应用及选择注意事项。

**关键词：**改性剂；PVC管材；材料性能；影响分析

## 1 PVC 管材及改性剂基础

### 1.1 PVC管材的基本特性

PVC即聚氯乙烯，是应用广泛的热塑性塑料，PVC管材性能独特，应用广泛。物理性能上，它重量轻，密度在1.38-1.50g/cm<sup>3</sup>之间，远低于钢管，安装运输便捷，成本降低。且耐水性佳，吸水率小于0.1%，潮湿环境或长期接触水时，性能稳定，能防水分渗透致结构损坏与性能下降。化学性能方面，对多数酸、碱、盐耐受性好，一定浓度和温度下，面对硫酸、盐酸等能保持稳定，在化工、排水领域应用广泛<sup>[1]</sup>。但对丙酮、氯仿等有机溶剂耐受性差，接触可能溶胀或溶解。机械性能上，有一定强度和刚度，拉伸强度在30-60MPa之间，不过韧性比金属管材差，受较大冲击力易脆性断裂，硬度适中，便于加工安装，可按需切割、连接。

### 1.2 改性剂的作用

纯PVC树脂有韧性不足、热稳定性差、加工性能不理想等缺陷，限制了应用，需添加改性剂改善PVC管材性能以满足不同需求。改性剂首要作用是改善物理性能，如增韧剂可提高管材韧性，增强抗冲击性，扩大在地下埋设、易受撞击等对韧性要求高场合的应用范围。化学性能上，添加特定改性剂能进一步提升对某些化学物质的耐受性，特殊稳定剂可增强管材对强酸、强碱的抵抗能力，使其在恶劣化学环境中长期稳定使用。加工性能方面，PVC树脂加工易分解，加工助剂可降低熔融粘度，改善流动性，让加工更顺畅，提高生产效率、降低能耗。填充剂添加能降低成本，还能调整管材的密度、硬度等性能。

## 2 常见改性剂类型

### 2.1 增韧剂

增韧剂是用于提高PVC管材韧性的重要改性剂。常见的增韧剂有丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、

氯化聚乙烯（CPE）、乙烯-醋酸乙烯酯共聚物（EVA）等。ABS具有良好的韧性和冲击强度，与PVC树脂相容性较好。添加ABS后，PVC管材在受到外力冲击时，ABS颗粒能够吸收能量，阻止裂纹的扩展，从而提高管材的抗冲击性能。同时，ABS还能改善管材的表面光泽和加工性能。当ABS添加量为5%-15%时，PVC管材的冲击强度可提高30%-80%，具体数据如表1所示：

| ABS添加量（%） | 冲击强度提升比例（%） |
|-----------|-------------|
| 5         | 30          |
| 10        | 60          |
| 15        | 80          |

CPE是一种性能优良的增韧剂，它具有优异的耐候性、耐臭氧性和化学稳定性。CPE在PVC树脂中能够形成海岛结构，当管材受到冲击时，CPE粒子作为应力集中点，引发银纹和剪切带，吸收能量，从而显著提高管材的韧性。而且，CPE的添加对PVC管材的其他性能影响较小，不会明显降低管材的强度和热稳定性。一般CPE添加量在8%-12%时，管材韧性提升效果最佳。EVA具有良好的柔韧性和弹性，添加到PVC管材中可以使管材更加柔软，提高其抗弯曲性能。EVA还能改善管材的低温性能，使其在低温环境下不易变脆，保持较好的韧性。当EVA添加量为6%-10%时，PVC管材在-20℃环境下的抗冲击性能可提高50%-70%。

### 2.2 热稳定剂

PVC树脂受热易分解，释放氯化氢气体，致使树脂变色、性能劣化。热稳定剂可抑制其分解，提升热稳定性。常见类型有铅盐类、金属皂类、有机锡类和稀土类。铅盐类（如三盐基硫酸铅、二盐基亚磷酸铅）热稳定与润滑性能优良、价格低，曾广泛用于PVC管材生产，但有毒，随环保要求提升，使用受限。金属皂类（如硬脂酸钙、硬脂酸锌）常与其他热稳定剂复配，兼

具良好润滑性与一定热稳定性，能改善加工性能，且毒性较低。有机锡类（如二月桂酸二丁基锡、马来酸二丁基锡）热稳定性、透明性、耐候性优异，添加后管材色泽鲜艳、久用不易变色，适用于外观要求高的场景，不过价格高，限制了大规模应用。稀土类是我国自主研发的新型热稳定剂，高效、无毒、环保，能与PVC树脂中不稳定氯原子反应，抑制分解，提升热稳定性与加工性能，应用前景广阔，有望取代传统有毒热稳定剂。

2.3 加工助剂

加工助剂主要用于改善PVC树脂的加工性能，提高生产效率和产品质量。常见的加工助剂有丙烯酸酯类聚合物（ACR）和甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物（MBS）。ACR具有良好的润滑性和分散性，能够降低PVC树脂的熔融粘度，改善其流动性，使树脂在加工过程中更容易塑化，减少加工时间，提高生产效率。ACR还能促进其他助剂在树脂中的分散，提高助剂的使用效果，改善管材的表面质量。添加1%-3%的ACR，可使PVC树脂的熔融粘度降低20%-40%，加工时间缩短15%-25%。MBS除了具有改善加工性能的作用外，还能在一定程度上提高PVC管材的韧性<sup>[2]</sup>。它在PVC树脂中形成网状结构，能够吸收能量，阻止裂纹扩展，从而提高管材的抗冲击性能。MBS通常用于对管材透明性和韧性要求较高的场合。当MBS添加量为4%-8%时，PVC管材的冲击强度可提高40%-60%，同时管材的透明度可保持在80%以上。

2.4 填充剂

填充剂的主要作用是降低成本，同时调整PVC管材的密度、硬度等性能。常见的填充剂有碳酸钙、滑石粉、高岭土等。碳酸钙是最常用的填充剂之一，分为轻质碳酸钙和重质碳酸钙。轻质碳酸钙具有较大的比表面积，能够与PVC树脂更好地结合，提高管材的强度和硬度。重质碳酸钙价格较低，主要用于增加管材的体积，降低成本。适量添加碳酸钙可以改善PVC管材的加工性能，但添加量过多会导致管材的韧性下降。当轻质碳酸钙添加量为10%-20%时，PVC管材的硬度可提高15%-30%，拉伸强度变化不大；但当添加量超过30%时，管材的冲击强度会下降20%-30%。滑石粉具有良好的润滑性和耐热性，添加到PVC管材中可以改善管材的表面光滑度和加工流动性，同时提高管材的耐热性能。添加5%-10%的滑石粉，可使PVC管材的表面粗糙度降低30%-50%，耐热温度提高5℃-10℃。高岭土具有较好的化学稳定性和绝缘性，能够提高PVC管材的尺寸稳定性和电绝缘性能。但高岭土的添加对管材的韧性有一定影响，需

要合理控制添加量。当高岭土添加量为8%-12%时，PVC管材的尺寸收缩率可降低20%-30%，但冲击强度会下降15%-20%。

3 不同改性剂对 PVC 管材性能的影响

3.1 对力学性能的影响

增韧剂对PVC管材力学性能影响显著。以CPE为例，其添加量增加会大幅提高管材冲击强度，添加量达10%时，冲击强度可提升约5倍。这是因为CPE粒子形成应力集中点，受冲击时引发银纹和剪切带吸收能量，阻止裂纹扩展。不过，增韧剂会降低管材拉伸强度和硬度，添加10%的CPE时，拉伸强度下降10%-15%，硬度降低5%-10%，因其分子链柔韧性好，使管材更易变形。填充剂对力学性能影响复杂。适量添加碳酸钙等填充剂可提高管材硬度和刚度，添加15%时，硬度提高约20%，刚度提高15%，因填充剂颗粒起增强作用。但添加过多，颗粒团聚加剧，管材内部出现缺陷，力学性能下降，如碳酸钙添加量超25%，冲击强度下降30%-40%，拉伸强度下降20%-25%。

3.2 对热稳定性的影响

热稳定剂是提升PVC管材热稳定性的关键。不同类型热稳定剂影响各异，通过刚果红试验测定其热稳定时间（见表2）：180℃时，铅盐类热稳定时间约60分钟，在低温下能有效抑制PVC树脂分解，短期热稳定性好，但随温度升高和时间延长，会逐渐失效，加剧树脂分解；有机锡类热稳定时间达120分钟，长期热稳定性优异，能在高温下长时间维持树脂稳定，因其可与不稳定氯原子反应生成稳定化合物；稀土类热稳定时间为90分钟，兼具铅盐类和有机锡类的优点，既有良好短期热稳定性，又有优异长期热稳定性，还无毒环保<sup>[3]</sup>。如表2所示

| 热稳定剂类型 | 180℃热稳定时间<br>( min ) | 200℃热稳定时间<br>( min ) |
|--------|----------------------|----------------------|
| 铅盐类    | 60                   | 30                   |
| 有机锡类   | 120                  | 80                   |
| 稀土类    | 90                   | 50                   |

3.3 对加工性能的影响

加工助剂对PVC管材的加工性能改善明显。ACR能够降低PVC树脂的熔融粘度，使树脂在加工过程中更容易塑化。添加2%ACR后，熔融粘度从2000Pa·s降至1000Pa·s，塑化时间从3分钟缩短至1.5分钟。在挤出成型过程中，添加ACR的PVC树脂能够在较低的温度和压力下顺利通过模具，减少能源消耗和设备磨损。同时，ACR还能提高树脂的流动性，使管材表面更加光滑，减少缺陷的产生。MBS除了改善加工性能外，还能提高管

材的熔体强度。添加3%MBS后,熔体强度从0.5N提高到1.5N,在吹塑成型等加工过程中,较高的熔体强度能够防止管材在拉伸过程中出现破裂,提高成型成功率。填充剂的添加对加工性能的影响与填充剂的种类和添加量有关。适量添加轻质碳酸钙(10%)可以改善PVC树脂的加工流动性,熔融粘度从2000Pa·s降至1500Pa·s;但添加量超过30%时,熔融粘度增至3000Pa·s,加工困难。

### 3.4 对耐化学腐蚀性的影响

在探讨改性剂对PVC管材性能的影响时,其耐化学腐蚀性方面虽受改性剂影响相对较小,但特定改性剂仍能发挥显著作用。如添加5%稀土类稳定剂后,在5%硫酸溶液中浸泡30天,重量损失率从1%降至0.3%;在10%氢氧化钠溶液中,重量损失率从0.8%降至0.2%。这是因为部分含有特殊官能团的稳定剂,在与化学物质接触时,能主动发生化学反应,在管材表面形成一层致密的保护膜。然而,填充剂的添加则需谨慎考量。如添加30%碳酸钙的PVC管材,在5%盐酸溶液中浸泡30天,重量损失率从1%升至3%,这是因为碳酸钙与盐酸发生反应,破坏了管材内部结构,导致管材出现裂纹、孔洞等缺陷,进而降低其耐化学腐蚀性。

## 4 基于性能需求的改性剂选择策略

### 4.1 不同应用场景的性能要求

PVC管材应用广泛,不同场景性能要求有别。建筑给排水领域,管材需耐水、耐压、耐腐蚀,冲击强度超15kJ/m<sup>2</sup>,热稳定时间不少于60分钟。选改性剂优先考虑热稳定性好、能提升表面质量的,如有机锡类热稳定剂和ACR加工助剂,需增韧则加CPE。化工领域,管材要耐化学腐蚀,5%硫酸浸泡30天重量损失率低于0.5%,应选稀土类热稳定剂和高岭土填充剂,加碳酸钙提强度。农业灌溉领域,管材要耐候、抗冲击且成本低,冲击强度

超10kJ/m<sup>2</sup>,成本8元/米内,可选铅盐类(环保允许)或稀土类热稳定剂,搭配CPE和碳酸钙<sup>[4]</sup>。

### 4.2 改性剂的单一应用与复合应用

实际生产中,单一改性剂难满足PVC管材综合性能要求,常复合应用。比如提高热稳定性和加工性能,可将有机锡类热稳定剂与ACR加工助剂复合,前者热稳定时间达120分钟,后者使熔融粘度降至1000Pa·s,提升生产效率和产品质量。同时提高韧性和强度,可复合CPE增韧剂与碳酸钙填充剂,如加5%CPE和10%碳酸钙,冲击强度达20kJ/m<sup>2</sup>,拉伸强度保持45MPa,二者协同改善管材综合性能。

### 4.3 改性剂选择的注意事项

选改性剂,首先要考虑与PVC树脂相容性,相容性好才能均匀分散、发挥改性作用,否则会致管材性能不均、有缺陷。其次关注环保性能,应选无毒无污染的,如稀土类、有机锡类热稳定剂。还要考虑成本,不同改性剂价格差异大,在满足性能要求时选低价者,以降低生产成本、增强竞争力。同时注意添加量,如CPE最佳添加量为5%-10%,碳酸钙为10%-20%,过量添加不仅增加成本,还可能对管材性能产生负面影响。

## 参考文献

- [1]姜华,吕贝贝,涂锐.建筑管材用PVC/芭蕉树纤维复合材料的力学性能及防腐性能研究[J].塑料科技,2022,50(3):62-65.
- [2]袁忠堂,贺盛喜,南军明.新型绿色增韧新材料在PVC硬质管材中的应用研究[J].聚氯乙烯,2022,50(9):18-24.
- [3]谢忠,甄兴新.高性能PVC管材用的纳米活性碳酸钙的研制[J].广东化工,2021,48(9):62-63,104.
- [4]杜瑾,武元鹏,纪兰香,等.POE增韧改性PVC/CaCO<sub>3</sub>复合材料效果研究[J].聚氯乙烯,2022,50(6):17-21.