

# 聚氨酯塑胶跑道助剂的应用研究

焦文哲 赵文森 梁凌杰 武志鹏 马彦龙\*

绿健体育科技(山西)股份有限公司 山西汾阳 032200

**摘要:** 聚氨酯弹性体中助剂的使用可以使材料达到一些特定的性能要求, 聚氨酯塑胶跑道是聚氨酯弹性体实际应用中比较典型的一类材料, 其中又以现浇型聚氨酯塑胶跑道应用最多, 其中一些助剂的使用可以在生产过程中简化生产工艺, 在使用过程中为使材料正常固化成型并达到设计性能要求, 以及后期使用过程中色泽鲜艳, 性能稳定, 一些助剂的使用也是不可避免的。为聚氨酯塑胶跑道的生产和施工提供参考, 以确保跑道具备良好的质量和使用效果。

**关键词:** 助剂; 聚氨酯; 塑胶跑道; 力学性能

## 引言

聚氨酯塑胶跑道以其平整度好、硬度弹性适当、耐老化等优点<sup>[1]</sup>, 广泛应用于各类体育场馆、学校操场等场所。在聚氨酯塑胶跑道的制备过程中, 助剂起着不可或缺的作用, 它们能够显著影响跑道的性能和质量, 同时也关系到施工的便捷性和环保性。聚氨酯跑道不仅重塑了运动场地的性能标准, 更承载着“安全运动、科学健身”的现代体育理念, 其技术创新与应用升级始终与全球体育产业的发展同频共振, 成为推动体育基础设施高质量发展的关键材料之一。因此, 深入研究聚氨酯塑胶跑道助剂的应用具有重要的现实意义。

## 一、聚氨酯塑胶跑道常用助剂及应用

### 1. 扩链交联剂

在聚氨酯材料领域, 扩链剂是较为常见的一类助剂。扩链剂多为二元官能团化合物(如二元醇、二元胺), 与预聚体的端活性基团反应, 使分子链线性增长, 提高聚合物分子量, 主要增强材料的拉伸强度、撕裂强度和弹性。交联剂多为三元及以上官能团化合物(如三元醇、

三元胺), 与预聚体反应时会形成“分支-连接”结构, 构建三维网状交联结构, 提高交联密度, 主要提升材料的硬度、耐热性、耐溶剂性和尺寸稳定性。聚氨酯材料中都会用到扩链剂与交联剂<sup>[2-3]</sup>。在能够实现固化的基础条件下, 聚氨酯的硬段含量便会升高, 进而可获得具有高强度、较高硬度的材料。水性羟基丙烯酸胶水交联剂, 具有环保、低气味等特点, 能提高聚氨酯材料的耐水性、耐擦洗性等性能, 交联密度适中, 可使产品有良好的柔韧性和强度。像传统的固化剂MOCA, 因其疑似存在致癌性, 已渐渐被环保型固化剂所替代。常见的环保型扩链剂, 分类型介绍, 比如二元醇类、二元胺类, 还有新型的生物基扩链剂, 因为生物基材料通常更环保, 来自可再生资源, 符合可持续发展。

二元醇类中, 像1, 4-丁二醇(BDO)虽然常用, 但需要确认其环保性, 可能生产过程是否环保, 或者是否有更环保的替代品。比如乙二醇(EG)相对低毒, 可能属于环保型。还有生物基二元醇, 比如由可再生原料(如植物油、秸秆)制备的二元醇, 比如1, 3-丙二醇(PDO), 可由生物发酵生产, 属于环保型。

二元胺类中, 传统的MOCA虽然性能好, 但有毒性, 不符合环保, 所以环保型的胺类扩链剂应该是低毒或无毒的, 比如乙二胺(EDA)虽然活性高, 但可能有刺激性, 不过是否有更环保的? 比如间苯二甲胺(MXDA), 低毒, 或者生物基胺类扩链剂, 比如由氨基酸衍生的二元胺。

另外, 可能还有一些新型的扩链剂, 比如不含甲醛、重金属, 生产过程绿色, 或者可降解的扩链剂。需要强

**作者简介:** 焦文哲(1995-)男, 山西大同人, 本科, 中级研发工程师, 研究方向: 聚氨酯塑胶跑道材料合成研究及应用。

**通讯作者:** 马彦龙(1964-)男, 硕士, 副教授, 太原工业大学、太原理工大学材料学院教师, 研究方向为高分子材料研究与应用开发, 水性高分子材料的研究应用, 包括矿用高分子加固材料、水性聚氨酯及其复合材料。

调它们的环保特性，比如低毒性、生物相容性、可再生原料来源、符合环保法规等。还要说明这些环保型扩链剂的应用场景，比如医疗级聚氨酯（需要无毒、生物相容）、食品接触材料、环保型弹性体或胶粘剂，这些领域对扩链剂的环保性要求高。

## 2. 催化剂

催化剂乃是合成树脂过程里至关重要的一类助剂。在众多聚氨酯的制造生产环节，它都是频繁使用的助剂。在聚氨酯弹性体领域，二月桂酸二丁基锡催化剂使用频率最高，它对于推动异氰酸酯基与羟基的反应成效显著。不过在某些配方里，它对水与异氰酸酯的反应也存在一定的加速效果，所以在塑胶跑道等配方中，会采用铅等特殊催化剂。铅作为重金属催干剂，虽说能够促使跑道凝固定型，却会引发永久性污染，倘若儿童长期接触，就可能引起铅中毒。自2015年起，多地接连爆发毒跑道事件，进而引发学生健康问题。以往的旧国标，对有害物质的限制不够完善，特别是TDI和重金属方面。而新国标GB36246-2018把有害物质限量从7项扩充至18项，其中涵盖了重金属，同时要求对有害物质释放量以及气味等级进行检测。劣质跑道存在铅、镉等重金属超标的情况，尤其是铅作为固化剂所引发的问题较为突出。像万华化学、巴斯夫等公司，在环保催化剂以及生物基材料方面展开研发工作，例如CUCAT系列催化剂和STP单组份弹性体<sup>[4, 5]</sup>，有效解决了此类问题

## 3. 润湿分散剂

润湿分散剂属于表面活性剂的一种，能够吸附在粉体粒子表面，形成电荷斥力以及空间位阻效应，让分散体维持稳定状态。不同类型的分散剂适用条件各有不同，例如阴离子型分散剂适用于水性体系，阳离子型分散剂或许会在特定特殊情形下使用，高分子型分散剂则适合高颜料浓度或者对长期稳定性有要求的体系。此外，选择润湿分散剂的原则可能涉及体系类型（水性还是溶剂型）、颜料种类、pH值、相容性以及环保要求等多个方面。分类方面，可能需要按结构或作用机理分。比如按结构，可能有嵌段型聚氨酯分散剂、接枝型聚氨酯分散剂等。嵌段型的可能由亲水段和疏水段组成，疏水段吸附在颜料表面，亲水段稳定分散；接枝型的可能有更多支链，提高空间位阻。

作用机理方面，应该包括润湿（降低表面张力，使液体更好地接触固体颗粒表面）、分散（通过静电斥力或空间位阻防止颗粒团聚）。聚氨酯链段的优势在于与聚氨

酯基体相容性好，避免了传统小分子分散剂可能导致的相容性问题，比如影响涂膜性能或产生气泡。

特点方面，需要强调与聚氨酯体系的相容性优异，分散稳定性高（不易分层、沉降），能提高颜料着色力和遮盖力，改善体系流平性和光泽度，可能还具有一定的增稠或流变调节作用，应用场景，比如聚氨酯涂料（溶剂型、水性）、聚氨酯色浆、聚氨酯胶粘剂（含填料的体系）、聚氨酯弹性体（添加无机填料如碳酸钙、滑石粉时）等。还要考虑用户可能的深层需求，比如选择这类分散剂时需要注意什么，比如与体系的相容性、颜料类型（有机颜料、无机颜料）、介质类型（溶剂型还是水性）等。可能需要举例说明不同类型的聚氨酯分散剂适用的场景，比如水性聚氨酯分散剂和溶剂型的区别。另外，可能需要对比其他类型的分散剂，比如acrylic类，但聚氨酯型的优势在于相容性更好，尤其在聚氨酯体系中，所以更适合。

## 4. 消泡剂

聚氨酯合成过程中产生的泡沫很多，影响操作，需消泡，有机硅是人们熟知的一种消泡剂成分，其他物质如聚丙烯酸酯等也可用作聚氨酯等体系的脱泡和消泡，消除涂层表面缺陷。每种类型的作用机理、适用条件以及优缺点都要详细说明。有机硅消泡剂消泡能力强，但可能影响涂层附着力；聚醚类在高温下稳定，但可能在某些体系中相容性差。选择原则方面，要考虑体系类型（水性、溶剂型、无溶剂）、泡沫类型（微泡、大泡）、工艺条件（温度、剪切力）、环保要求等。同时，用户可能关心如何避免消泡剂对其他性能的影响，比如流平性、光泽度，或者与固化剂的相容性。

## 5. 光稳定剂

聚氨酯材料（如弹性体、泡沫、涂料、胶粘剂等）在长期光照（尤其是紫外线）作用下，易发生光氧化降解，表现为黄变、脆化、力学性能下降（如拉伸强度降低、断裂伸长率减小）、表面开裂等，严重影响使用寿命和外观。光稳定剂能有效抑制这一过程。按照作用机理，聚氨酯光稳定剂分为光屏蔽剂、紫外线吸收剂、猝灭剂等，在聚氨酯泡沫材料中，加入受阻胺光稳定剂，能有效提高泡沫的耐光老化性能，防止其在光照下变黄、变脆。在选择光稳定剂时，需综合考虑聚氨酯制品的生产工艺、使用环境及成本等因素。如户外使用的聚氨酯产品，需重点关注光稳定剂的长期耐候性，而对成本敏感的产品，则要在保证效果的前提下，选择性价比高的光

稳定剂。聚氨酯光稳定剂通过吸收紫外线、清除自由基等机制，是保护聚氨酯材料免受光降解的关键助剂。其核心价值在于延长制品的使用寿命和外观稳定性。

## 6. 抗氧剂

抗氧剂主要用于防止聚氨酯热氧降解，适用条件需要考虑材料类型，比如聚氨酯、聚烯烃、聚酯等不同材料对抗氧剂的需求不同。环境因素如温度、湿度、光照等也会影响抗氧剂的选择。加工工艺中的高温处理可能需要抗氧剂有较高的热稳定性。环保要求如无毒、低迁移等也是重要因素。选择原则方面，需要考虑协同效应，比如主抗氧剂和辅助抗氧剂的复配；相容性和迁移性，避免析出或影响材料性能，成本与性能的平衡，以及特殊需求如食品接触、耐水解等。在塑胶跑道的应用案例，需要提到常用的抗氧剂组合，比如受阻酚和亚磷酸酯的搭配，或者在高温加工时选择耐高温的抗氧剂。

## 7. 发泡剂

传统聚氨酯发泡剂曾使用氟利昂作为发泡剂，对臭氧层有破坏。现在主流产品已升级为环保型发泡剂：采用环戊烷、异戊烷等烃类物质，或HFCs（氢氟烃）类，不破坏臭氧层，符合欧盟ROHS、中国国标等环保标准。无甲醛、苯等有毒挥发物，固化后泡沫稳定，适合室内环境（如家具填充、室内装修）。最佳施工温度5-35℃，低于5℃会固化变慢，高于35℃可能导致发泡过度、开裂。施工前需清洁基层（去除灰尘、油污、水分），干燥表面可提高粘结力，施工时需通风良好，避免密闭空间聚集挥发物；操作人员需戴手套、护目镜，避免直接接触皮肤（未固化泡沫有刺激性）。固化后的泡沫为可燃物，需远离明火；部分阻燃型产品可用于有防火要求的场景（需认准“阻燃级”标识）。

## 8. 其他助剂

其他类型助剂主要是一些特殊产品，近年来兴起的自结纹跑道需要用到的触变剂，水性聚氨酯面层材料用到的一些水性聚氨酯方面的助剂等。触变剂是一种能使聚氨酯材料具有触变性的助剂，即在受到外力作用时，材料的黏度降低，流动性增加，而当外力消失后，又能迅速恢复到原来的高黏度状态。在聚氨酯涂料中，触变剂可防止涂料在施工过程中出现流挂现象，使涂料在垂直面上能保持良好的涂布状态，同时也有利于涂料在干燥过程中形成均匀的膜厚。在聚氨酯密封胶中，触变剂

能使其在挤出时具有良好的流动性，便于施工。防沉剂是聚氨酯生产和应用中常用的一种助剂，主要用于防止体系中的固体颗粒沉淀。一些防沉剂分子可以吸附在固体颗粒表面，形成一层保护膜，使颗粒彼此之间难以靠近并聚集沉淀。在聚氨酯涂料中，使用防沉剂可使颜料和填料均匀分散在体系中，避免沉淀，保证涂料的色泽均匀性和遮盖力。在聚氨酯胶粘剂中，防沉剂能防止填料沉淀，使胶粘剂的性能稳定，确保在不同时间和批次使用时都能保持良好的粘接效果。

## 结语

聚氨酯塑胶跑道助剂在跑道的性能和质量方面起着关键作用。从力学性能到施工性能，再到环保性能，助剂的合理选择和使用都至关重要。随着环保意识的增强和技术的不断进步，未来需要进一步研发和应用更加环保、高效的助剂，以推动聚氨酯塑胶跑道行业的可持续发展，为人们提供更加安全、舒适的运动场地。同时，在实际生产和施工过程中，应严格按照相关标准和要求，精确控制助剂的用量和使用方法，确保聚氨酯塑胶跑道的品质。未来五年，聚氨酯塑胶跑道助剂将呈现“环保化、纳米化、智能化、功能化”四大核心趋势，政策驱动与市场需求共同推动行业向高性能、可持续方向升级。企业需重点关注生物基材料、纳米复合技术、AI辅助研发等前沿领域，同时加强国际合作以应对贸易壁垒，在全球产业链中抢占高附加值环节。

## 参考文献

- [1] 李红燕. 浇注型聚氨酯弹性体的制备工艺[J]. 山西化工, 2010, 30(4): 44-46.
- [2] 路华飞. 聚氨酯塑胶跑道技术的进展[J]. 聚氨酯工业, 2004, 19(004): 34-36.
- [3] 马继盛, 漆宗能, 张树范. 聚氨酯弹性体/蒙脱土纳米复合材料的合成、结构与性能[J]. 高分子学报, 2001, 13(03): 325-328.
- [4] 王哲广. 铺TDI聚氨酯塑胶跑道的危害和对策[J]. 环境保护, 2004, 000(003): 51-55.
- [5] 苏政权, 刘佳健, 郭艳芬等. 环保型双组份聚醚聚氨酯铺面材料的研究[J]. 新型建筑材料, 2005, (06): 41-43.