



聚氨酯橡胶 PU 技术体系

橡胶技术知识图谱

PART 08

目录CONTENTS

01

PU概述与 化学基础

- PU在现代橡胶工业中的地位
- PU耐磨极强的原因与化学结构
- PU结构核心：软段与硬段

02

PU核心性能 与分类

- PU主要类型（聚酯、聚醚、TPU）
 - PU与传统橡胶对比
- PU核心性能（耐磨、强度等）

03

PU加工工艺 与应用

- PU加工工艺（浇注、注塑、挤出）
- PU在矿山与输送系统的应用
- PU水解问题与补强体系

04

PU前沿技术 与AI应用

- PU主要应用领域
- PU前沿技术（高回弹、纳米、生物基等）
 - AI与PU未来方向

05

总结与 未来展望

- PU知识图谱关联节点
- PU在橡胶工业中的真正定位

01

CHAPTER

PU概述与化学基础

PU在现代橡胶工业中的地位

聚氨酯橡胶（PU）是现代高端工业中最核心的**高耐磨 + 高承载弹性材料**之一，广泛应用于对材料性能要求严苛的工业场景。

“极端耐磨与结构承载型弹性体核心材料”

- **高端辊筒包胶：**显著提升输送系统整体寿命
- **工程机械耐磨件：**挖掘机衬套、高强度缓冲块
- **矿山设备：**高硬度耐磨衬板、筛分机筛网
- **输送系统：**滚筒包胶、刮料板、清扫器
- **汽车悬挂衬套：**兼顾舒适性与操控稳定性
- **工业滚轮：**重型脚轮、AGV导向轮
- **密封刮板：**用于冶金与水泥行业工业密封
- **液压缓冲件：**精密减震与高效吸能



PU的化学结构与核心反应

聚氨酯（PU）并非单一物质，而是一类高分子材料的统称。它的分子结构本质上源于两种核心单体——**多元醇**与**异氰酸酯**的逐步加成聚合反应。



异氰酸酯 (-NCO)

提供关键的反应活性位点，是形成材料刚性骨架的核心，决定了产品的硬度、强度与耐热性。



异氰酸酯化学品原料



多元醇 (Polyol)

引入长链柔性分子结构，构成弹性体的“软段”主体，赋予材料优异的柔韧性、回弹性及耐低温性能。



PU结构核心：软段 + 硬段

PU是典型的**嵌段聚合物**，其性能由软段和硬段协同决定，兼具弹性与强度。



01. 软段 (Soft Segment)

■ **来源：**通常由多元醇提供。

■ **作用：**赋予材料**弹性**和**低温柔韧性**。软段的长度和化学结构，直接决定了PU的低温适应性能和变形后的弹性回复能力。



02. 硬段 (Hard Segment)

■ **来源：**由异氰酸酯与扩链剂反应形成。

■ **作用：**提供**强度**、**耐磨性**和**承载能力**。硬段通过分子间氢键相互作用聚集，形成物理交联点，构成了材料的刚性骨架。

PU为什么强度极高？



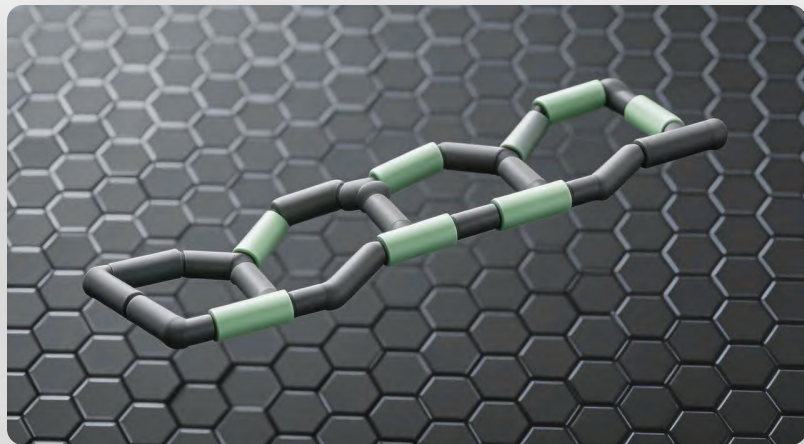
氢键作用 · “分子铆钉”

硬段中的氨基甲酸酯基团 (-NH-COO-) 之间能形成大量的氢键，如同“分子铆钉”，将硬段紧密地结合在一起，形成物理交联，极大增强分子间作用力。



微相分离 · “骨架填料”

因极性差异，软硬段发生微观相分离。硬段聚集形成刚性“微区”，如同分散在弹性软段基体中的“增强填料”，构成稳固的承载骨架。



最终性能结果

形成了“微区硬质骨架”与“软区弹性网络”的协同结构，从而赋予PU材料优异的拉伸强度、耐磨耗性与高动态承载能力。

02

PU核心性能与分类

CORE PERFORMANCE & CLASSIFICATION OF PU

PU主要类型



01 聚酯型PU

特点：耐磨极强，物理强度高，可适用的硬度范围非常宽。

缺点：耐水解性能较差，在湿热环境下容易老化，不适宜长期使用。



02 聚醚型PU

特点：耐水解性和耐霉菌性能优异，耐低温性能突出，弹性回复性好。

缺点：耐磨性能和机械强度略低于同硬度的聚酯型聚氨酯。



03 TPU热塑性聚氨酯

特点：无需硫化，可像塑料一样加热熔融、挤出或注塑成型，加工工艺方便，且制品废弃后可回收利用。

地位：兼具橡胶和塑料的特性，是目前应用最广泛的PU类型之一。

PU与传统橡胶区别



vs. NR / SBR

(通用橡胶)

PU 核心优势

耐磨性是其数倍以上，承载能力和机械强度远高于通用橡胶，更适合重负荷、高摩擦的工况环境。



vs. NBR

(丁腈橡胶)

PU 核心优势

具有更高的整体机械强度，以及更优异的耐冲击磨损性能，在动态和冲击载荷下表现更为可靠。



vs. FKM

(氟橡胶)

FKM 优势：耐化学腐蚀和耐高温性能更强，适用于严苛的化学工况。

PU 优势：在耐磨性和承载能力上远胜于FKM，是高负荷场景下的性价比之选。

PU核心性能



耐磨性能 (核心指标)

耐磨性是天然橡胶的**10-20倍**，是所有橡胶中最高的，这是PU材料最显著的核心竞争优势。



超高拉伸强度

拉伸强度通常在**30-50 MPa**之间，远超普通橡胶材料，在高负荷拉伸场景下依然保持优异的结构完整性。



灵活的硬度范围

硬度可在**60 Shore A 至 98 Shore A**之间精确调控，覆盖了从软质弹性体到硬质塑料的广阔材料特性范围。



优异的撕裂强度

撕裂强度远高于普通橡胶，在受到尖锐物体切割或外力强烈冲击时，材料不易破损，具有出色的抗切割和抗冲击性能。

03



PU加工工艺与应用

PROCESSING TECHNOLOGY AND APPLICATION

PU加工工艺



01 浇注成型 (Casting)

特点:将液态PU原料注入模具中反应成型, 适合制造大型、厚壁、高性能制品, 定制化程度高。



02 TPU注塑成型

特点:将TPU颗粒加热熔融后注射入模具, 生产效率高, 适合大批量、精密零件的生产。



03 挤出成型

特点:用于制造密封条、管材、板材等连续型材, 生产连续性强, 可满足长尺寸产品需求。

PU为什么适合矿山工业?

💡 矿山环境特点



强冲击

矿石装载和运输过程中的剧烈冲击



强磨损

矿石对设备表面的持续研磨作用



高负载

大型机械设备需承受巨大的重量



PU材料的核心优势

- **抗切割**: 高撕裂强度, 有效抵抗尖锐矿石切割, 减少破损。
- **抗冲击**: 优异的回弹性, 能有效吸收冲击能量, 保护设备。
- **高耐磨**: 耐磨性是普通橡胶数倍, 显著延长设备部件使用寿命。

应用场景: 输送辊筒 · 耐磨衬板 · 振动筛网等



PU水解问题与解决方案



聚酯型PU的痛点：水解

核心问题：湿热环境下的结构破坏

在高温、高湿的环境中，聚酯型PU分子链中的酯键（C-OO-C）容易与水发生化学反应，导致分子链断裂，进而引发材料物理性能的不可逆下降。

典型表现

材料逐渐变软、表面发粘、机械强度大幅降低，严重影响使用安全和产品寿命。



聚醚型PU的改进：耐水解

解决方案：原料替换与分子结构优化

以化学性质更稳定的**聚醚多元醇**替代聚酯多元醇，合成聚醚型PU，从分子结构源头解决水解隐患。

原理与效果

聚醚链段(C-O-C)的化学惰性远高于酯键，不易与水分子发生反应。改进后，材料在潮湿、户外等严苛工况下的使用寿命得到**显著延长**，适用范围更广。

PU补强体系

PU本身强度已经很高，但通过添加不同种类的填料，可以针对性地优化其力学性能、电学性能和成本控制，以满足不同工业场景的严苛要求。

常用填料体系



炭黑 (Carbon Black)

最常用的补强填料之一，能显著提高材料的耐磨性、拉伸强度，并赋予材料优异的导电性能。



白炭黑 (Silica)

一种高性能补强剂，主要用于提升材料的撕裂强度、定伸应力和弹性模量，且不会影响材料的透明度。



碳酸钙 (Calcium Carbonate)

作为主要的增量填充剂使用，能有效降低生产成本，同时可适度提高材料的硬度和刚性模量。



增强机制解析

填料颗粒通过物理吸附和化学键合作用，紧密地嵌入并分散在PU的高分子链网络结构中。这一过程不仅增加了材料内部的机械互锁力，还通过限制大分子链的相对运动，显著提升了PU材料的拉伸模量、硬度和抗磨损性能，有效改善了材料在动态负荷下的疲劳寿命和力学稳定性。

04

PU前沿技术与AI应用

FRONTIER TECHNOLOGY & AI APPLICATION

PU主要应用领域



01 / 工程机械

广泛应用于挖掘机衬套、推土机履带板、机械缓冲块等关键受力部件，凭借优异的耐磨性和抗冲击性延长设备使用寿命。



02 / 矿山设备

适用于输送辊筒包胶、抗磨损衬板、浮选机叶轮等易损件，能有效应对复杂恶劣的矿山环境，降低维护频率与成本。



03 / 汽车工业

在悬挂衬套、各类减震缓冲件、防尘套以及安全气囊等组件中发挥关键作用，兼顾舒适性与行车安全性。



04 / 工业滚轮

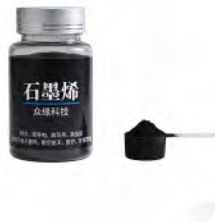
涵盖各类重型脚轮、物流输送滚轮、机械导向轮等，具备低噪音、高负载及耐油耐腐蚀的特性，适应多种工业场景。

PU前沿技术



01. 高回弹PU

应用：用于高端减震、缓冲领域，提供优异的能量吸收和回复性能，是运动鞋底、精密仪器包装的优选材料。



02. 纳米PU

技术：在分子链中加入石墨烯、碳纳米管(CNT)等高性能纳米填料。

效果：显著提升材料的拉伸强度、导热系数及耐磨性能。



03. 生物基PU

方向：利用玉米、大豆等生物质资源制取的多元醇，部分或全部替代传统石化原料。

优势：显著降低碳足迹，产品可生物降解，符合绿色可持续发展趋势。



04. 3D打印PU

技术：基于光固化或熔融沉积(FDM)工艺，使用高适应性的PU弹性体材料。

应用：实现医疗护具、定制化鞋垫、汽车复杂结构件的快速原型及小批量生产。

05

总结与未来展望

SUMMARY AND FUTURE OUTLOOK

PU 知识图谱关联节点



上游 · 基础原料

- 多元醇 (Polyol)
- 异氰酸酯 (Isocyanate)
- 催化剂与扩链剂



配方 · 核心组分

- 填料：炭黑、碳酸钙、白炭黑
- 助剂：增塑剂、抗氧化剂、阻燃剂
- 交联体系与发泡剂



工艺 · 成型技术

- 浇注成型 (Casting)
- 注塑成型 (Injection Molding)
- 挤出成型 (Extrusion)



产品 · 工业应用

- 重工业：滚筒包胶、输送带系统
- 汽车/机械：工程衬套、减震块
- 物流设备：工业轮、脚轮

PU在橡胶工业中的真正定位

PU 本质上是：

“高耐磨结构型弹性体”

其核心价值不在于弹性极限，而在于**高负载 + 长寿命 + 抗磨损能力**的综合优势。
因此，PU 成为现代**矿山机械、工业输送、重载工程**等领域中不可替代的重要结构材料节点。



感谢聆听

THANKS FOR LISTENING