

# 更清洁的未来：利用无氨天然橡胶乳胶修复环境

章羽 编译

(全国橡塑机械信息中心, 北京 100143)

**摘要：**传统天然橡胶乳胶加工依赖氨等有害化学物质，造成环境和健康风险。AFLatex Technologies 开发了一种无氨、酸性介质的绿色稳定技术，可延长乳胶保质期、提升机械性能并降低致敏蛋白含量。该技术已用于高性能黏合剂，并能显著降低水处理成本与碳排放，为橡胶行业提供兼具生态修复与经济收益的再生方案。

**关键词：**无氨天然橡胶乳胶；绿色稳定技术；再生实践；碳信用；低过敏性

**引用论文：**章羽 译. 更清洁的未来：利用无氨天然橡胶乳胶修复环境[J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(5):73-77.

**中图分类号：**TQ330.9

**文章编号：**1009-797X(2026)04-0073-04

**文献标识码：**B

**DOI:**10.13520/j.cnki.rpte.2026.04.016

如今，仅凭通常意义上的可持续性已不足以应对当前形势。为应对紧迫的气候和社会挑战，各行各业必须采用再生实践；这些方法不仅要降低损害，更要积极恢复生态系统并改善人类福祉。在天然橡胶产业中，尽管该材料具有碳减排的潜力，但传统加工方式仍会对环境造成重大损害。

传统上，天然橡胶液态乳胶的保存依赖于氨水、四甲基秋兰姆二硫化物（TMTD）和氧化锌等添加剂：这些化学物质对环境和人类健康都构成严重风险。为此，AFLatex Technologies 开发了一种创新的、无氨的稳定技术，该技术在酸性环境中发挥作用，且不使用有害化学物质。

采用这种方法生产的橡胶具有卓越的机械性能，且过敏性低，为更安全、更可持续的应用开辟了道路。基于这一突破的首个商业化产品是一种高性能黏合剂，其性能优于领先的工业替代品；这证明了再生创新既能实现技术卓越，又能减少对环境的影响。

这项技术还消除了对昂贵水处理的依赖，为行业节省了大量成本，并释放了获得可观碳信用收入的潜力。AF-Latech Technology 与制造商、种植园和供应商合作，助力天然橡胶乳胶行业向更安全、可持续和恢复性的解决方案转型，这些解决方案无缝集成，可立即为行业所用。

当今的环境挑战不仅仅要求可持续性；它们需要的是能够积极恢复生态系统并支持社会责任的解决方案。图 1 展示了从左边的传统实践到右边的再生方法的演变过程，再生方法将危害降至最低，并积极创造正面影响。传统方法往往只能达到政府机构规定的最低合规标准，但它们具有负面的社会和环境影响。其中一些负面影响可以通过采用旨在减少损害的“更绿色”方法来缓解，这是朝着最小化负面影响迈出的第一步。随着工业向更“可持续”的实践发展，它最终能够维持当前状态，而不会进一步造成社会和环境损害。完美的可持续方法是指净零或碳中和系统，这些系统旨在维持当前状态，而不会进一步退化。再生方法是对可持续性的改进，它开始修复环境和社会损害，如封存二氧化碳。最后，再生方法通过更新能源和材料，产生积极的社会和环境影响。再生方法改善了生态系统，并为每个人创造了一个健康宜居的未来。

在天然橡胶领域，这意味着需要重新思考地球上使用最广泛的材料之一的加工方式。全球橡胶产业持续增长，2024 年的年消费量达到 3 000 万 t。其中，超过 1 400 万 t 来自天然橡胶树，相当于地球上每人

**编者简介：**章羽（1991-），男，本科，主要从事橡塑技术装备方面的研究，已发表论文多篇。

**原文：**RUBBER WORLD No.11/2025, by Eric P.Adler; Tim A.Osswald, Julio C.Rodriguez and Allen J.Román, AFLatex Technologies, Lda.

约 2 kg。天然橡胶不仅是一种可再生材料，而且是目前使用中最具碳负性的生物聚合物。仅生产 1 kg 固体天然橡胶（不包括用于树木生长或生成蛋白质、糖分和液态乳胶中其他成分的二氧化碳），一棵巴西橡胶树就会吸收大约 3 kg 的二氧化碳，消耗约 1 kg 的水，同时向大气中释放 3 kg 的氧气（图 2）。这个行业一方面通过树木帮助修复环境，另一方面却也加剧了环境污染，破坏了自然生态系统。

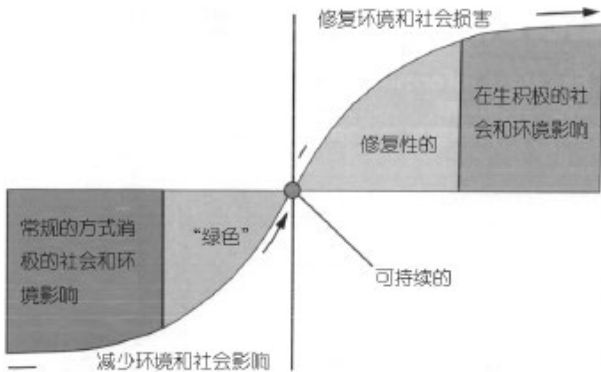


图 1 从传统方法到再生方法的路线图

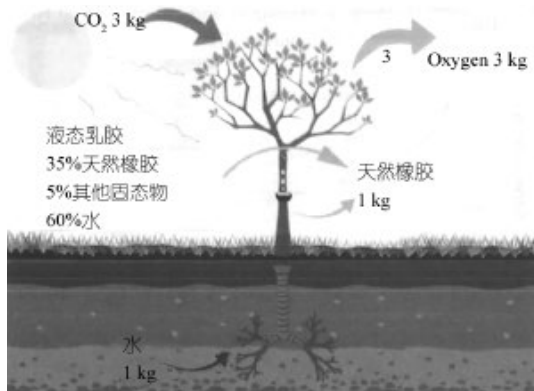


图 2 橡胶树被描绘成一棵天然聚合植物：它每吸收 1 kg 水，就能产出 1 kg 天然橡胶，同时还能固存 3 kg 二氧化碳并释放 3 kg 洁净的氧气

橡胶树是一种以二氧化碳为主要原料的生物聚合植物，它生产出一种易碎的液态乳胶，其中约 35% 为橡胶颗粒，5% 为其他固体，如蛋白质、糖、氨基酸、脂质和矿物质，以及 60% 的水（图 3）。糖、蛋白质、氨基酸和脂质使得液态乳胶在从树上提取出来接触到空气的瞬间，就容易受到细菌和其他生物的快速分解。腐败的开始会引发不希望的凝结过程，使得橡胶难以处理和加工。因此，天然橡胶生产商不得不使用氨水、四甲基秋兰姆二硫化物（TMTD）和氧化锌（ZnO）等化学物质，以稳定和保存液态天然橡胶乳胶，使其

处于稳定的可流动状态。另外，橡胶树种植园使用甲酸、乙酸或硫酸等酸类，在腐败开始之前，让液态乳胶经历一个可控的凝结过程。

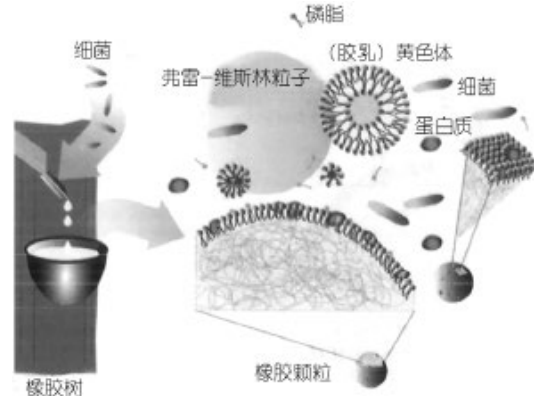


图 3 腐烂开始前天然橡胶乳胶的结构及其凝固过程

所有这些化学物质都会对环境以及接触经过防腐和稳定处理的天然橡胶液态乳胶的人员造成危害。这些化学物质的存在，尤其是液态乳胶散发出的强烈氨味，在野外、加工厂、制造设施甚至最终产品中都是显而易见的。格雷格·米特曼（Gregg Mitman）在其 2021 年出版的《橡胶帝国》（Empire of Rubber）一书的序言中写道，在访问利比里亚的凡世通工厂时，“加工厂里氨水的气味令人难以忍受，当我无意中弯腰嗅闻工厂里快速流动的乳胶时，几乎被熏得失去知觉。”米特曼在书中报告称，割胶工在处理氨水时没有佩戴手部和眼部防护装置。他进一步描述了氨水如何“渗透到割胶工的手部毛孔，使指尖麻木，指甲受损。”他还讲述了有些人“因腐蚀性和碱性化学物质进入眼睛而失明”的情况。粗略查看材料安全数据表，可将氨水或含氨水的混合物归类为腐蚀性物质，会导致不可逆的皮肤和眼部损伤。氨水还会对水生环境造成严重危害。与氨水类似，三甲基二硫化碳（TMTD）和氧化锌也被视为有害有毒化学物质，可引起皮肤和眼部刺激，并且是具有环境破坏性的物质，对河流和湖泊构成严重危害。

液态乳胶中防止其凝固的化学物质所产生的稳定作用会随时间推移而减弱，这迫使生产商必须在几个月内将乳胶加工成固体橡胶或橡胶制品；稳定乳胶的最长保质期为六个月。提取固体橡胶后留下的废料需要进行处理，其中含有氨、糖、蛋白质、氨基酸和脂质，由于与氨和 TMTD 接触，这些物质已失去作用。因此，处理固体天然橡胶或液体乳胶加工厂废水的处理厂需要包括好氧池、厌氧池和兼性池，这些池需要大面积

的场地，以便废水暴露在阳光和氧气中。

如今，许多国家都认识到有必要对加工厂排放的废水中的化学物质含量进行监管。其中一些限值很难达到，特别是对于小规模种植者和加工厂而言；90%的橡胶种植者和加工商都是小规模经营。因此，由于小型加工厂未经处理就直接排放废水，或者由于处理设施维护不善，仍然存在大量污染，导致橡胶加工厂的废水中氨浓度很高。这种高浓度的氨会导致湖泊和河流中的营养物质过剩，从而促进有害藻类的密集生长，导致动物死亡；在东南亚等一些地方，还会影响水稻田。

本文提出了一种新型的液态乳胶保鲜与稳定技术，该技术环保且不含氨、TMTD、ZnO 或其他有害化学物质。由于不含氨，该新方法制得的天然橡胶乳胶气味怡人，且挥发性脂肪酸（VFA）含量显著降低。此外，在离心或提取固体天然橡胶后，残留物不再对环境造成不良影响，而且糖、氨基酸、蛋白质和脂质可以被提取出来，用于其他应用。最后，借助新型稳定剂和防腐剂，液态乳胶的保质期从几个月延长到几年，而凝固和干燥后的固体天然橡胶的强度也得到了提高。

### 1 酸性介质中乳胶的绿色稳定与保存

已开发出两种完全绿色的技术，用于在酸性介质中稳定和保存液态乳胶。第一种技术使用 2%（体积比）的十二烷基苯磺酸（DBS）来稳定和保存液态乳胶（图 4）。类似地，第二种方法结合使用 1%（体积比）的乙氧基化十三烷醇（用于稳定胶体液态乳胶悬浮液）和 0.4%（体积比）的 50/50 氢氟酸 / 水溶液（作为防腐剂）。这两种方法均已证明能够保存和稳定天然橡胶田乳胶以及离心乳胶至少 6 年，这一时间远长于传统氨基技术的保存时间。

这些无氨配方在稳定和保存液态乳胶方面，其主要创新之处在于采用了与直觉相悖的酸性环境。传统上，人们认为氨水溶液所创造的碱性条件是维持乳胶稳定性的理想环境；而硫酸和甲酸等酸则用于促进其凝固过程。虽然氨能成功地保存和稳定天然橡胶乳胶，但这是以牺牲负责增强机械性能的蛋白质和许多生物为代价的，并导致产生大量致敏性蛋白质。因此，这种新型的无氨保存和稳定技术可生产出具有优异机械性能的天然橡胶产品，例如黏合剂。图 5 展示了采用无氨保存和稳定技术以及氨化乳胶制得的固体橡胶的

应力松弛曲线，与氨化系统相比，其强度提高了两到三倍。

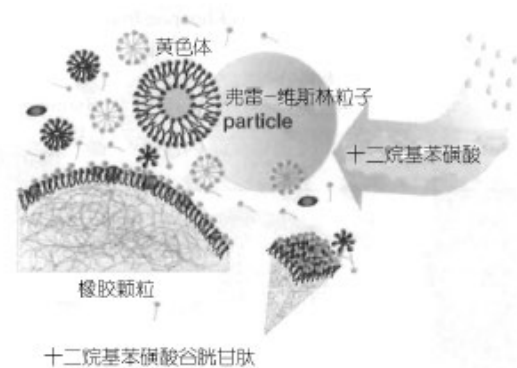


图 4 DBS 稳定并保存的天然橡胶乳胶结构

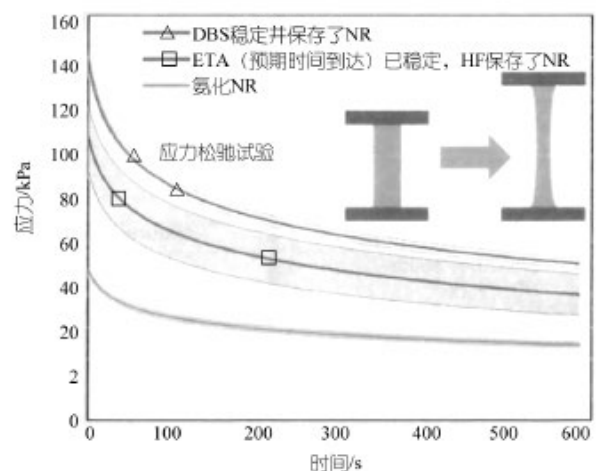


图 5 对矩形试品施加 30% 拉伸应变后的松弛试验结果；实线表示平均值，而阴影区域表示每个试品的标准偏差

电泳和酶联免疫吸附试验（ELISA）的结果也表明，与含氨乳胶相比，无氨保存和稳定技术可使致敏蛋白含量降低 65%。

### 2 应用

采用乙氧基化十三烷醇和氢氟酸进行稳定和保鲜处理的新型环保无氨天然橡胶乳胶，被用于制备一种具有优异力学性能且易于操作的黏合剂。该绿色配方利用了纤维素和胶原蛋白等天然生物添加剂，且不使用有机溶剂。如图 6 所示，这种新型无氨黏合剂的性能优于常见的鞋类和地板黏合剂；而使用该绿色无溶剂黏合剂黏接的皮革样本在剥离测试（ASTM F2256）中的结果，与氨化天然橡胶乳胶制成的黏合剂以及两种溶剂型黏合剂相当。

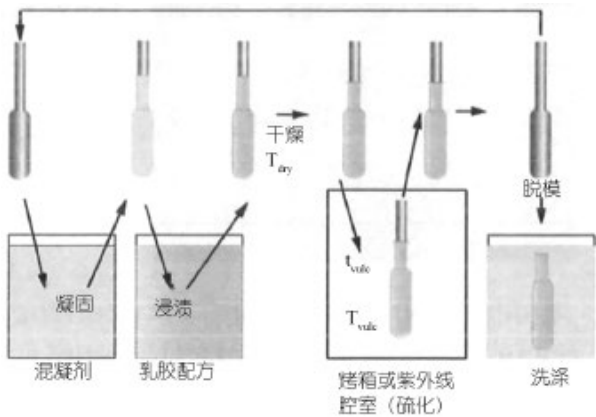


图6 根据 ASTM F2265 标准对皮革用黏合剂的 T 型剥离强度测试结果的比较

氨的强效作用会导致聚合物链降解，从而降低最终性能；因此，无氨黏剂性能的提升很可能是由于无氨乳胶能够支撑涉及磷脂和蛋白质分子的分子网络，从而增强了胶黏剂的稳定性。正因如此，目前正在开发更多无氨天然乳胶基黏剂，这将形成一种适用于高性能应用的新型可持续且环保的黏剂。

目前，相关工作正在进行中，各方也在建立合作伙伴关系，旨在研发合适的配方，将这种无氨、低过敏性的天然橡胶液态乳胶应用于气球、避孕套、手套以及运动球用气囊的浸渍工艺，以及鞋底制造中的浇筑工艺。为实现这一目标，必须调整现有的制造工艺，以适应乳胶中 pH 值及化学成分等差异。已对凝固剂、乳胶和清洗配方进行了优化，以便使用新型无氨天然橡胶乳胶进行浸渍工艺。图 7 展示了一个典型的浸渍工艺流程图，该工艺可能采用替代性硫化方法，例如高温或紫外线固化技术。

### 3 修复技术的经济优势

尽管该技术对环境和社会的影响已有充分记录，但同样重要的是要考虑其经济优势。用于稳定和保存天然橡胶液态乳胶的添加剂，在成本上相较于工业中传统使用的有毒化学品更具竞争力。然而，真正的经济效益在于水处理设施的运行。目前，这些设施对于橡胶的加工和稳定处理至关重要，因为产生的废水必须经过处理，以防止污染土壤和水道，否则可能导致有害藻类大量繁殖，并对人类和野生动物的健康构成风险。生产橡胶制品（如离心乳胶和带纹烟熏片（RSS））通常每生产 1 kg 橡胶平均消耗 20 L 水。为这些工艺

运行水处理厂的成本约为每 kg 橡胶 0.13 美元。假设全球液态乳胶市场全面转向绿色技术，橡胶种植园每年可合计节省约 2.2 亿美元，从而显著改善其利润状况。

AFLatex Technologies 与由欧盟共同资助的伊比利亚气候加速器计划（Iberian ClimAccelerator）合作，开展了一项气候影响评估，旨在评估橡胶行业向环保生产工艺转型所带来的环境效益。该评估假设全球 140 亿 kg 天然橡胶中有 20% 将采用绿色稳定化技术，前五年的年过渡率为 4%。研究表明，仅通过改用这些添加剂，第一年的二氧化碳净排放量即可减少 35 kt 二氧化碳当量（ktCO<sub>2</sub>e<sub>q</sub>），到第 5 年，这一数字将增至每年 173 ktCO<sub>2</sub>e<sub>q</sub>。此外，还评估了目前每 kg 橡胶所需 20 L 水（主要用于橡胶清洗和废水处理）所产生的排放量。到第五年，消除这种用水量将使二氧化碳当量排放量每年额外减少 182 千 t。

这些减排量为产生碳信用额提供了极具吸引力的机会。无论是通过总量控制与交易计划，还是通过第三方核查在自愿碳市场上出售，这些信用额（每份代表避免或清除一吨二氧化碳）均可实现货币化。鉴于自愿碳市场价格在每份 40~80 美元之间，种植园和橡胶贸易商到第五年时每年可产生多达 35.5 万份碳信用额，这意味着每年潜在收入可达 2 800 万美元。这不仅提升了该解决方案的环境价值，同时也为全行业推广提供了切实可行的财务激励。

### 4 走向工业应用的途径

天然橡胶乳胶无氨稳定化技术的开发，标志着行业向创造更安全、更环保且性能更优越的材料方面迈出了重要一步。展望未来，AFLatex Technologies 致力于展示该技术如何轻松融入现有制造体系，帮助合作伙伴以最小的干扰完成转型。

该公司不仅与制造商、供应商和产品开发人员合作，定制配方并拓展应用领域，还支持种植园和加工厂有效采用并实施这项绿色技术。与行业领导者开展的试点项目已经启动，旨在将该技术扩展到浸渍制品、模塑产品和涂料等新领域。通过帮助企业 and 生产商将修复技术融入其运营，据称，该公司正在构建一个未来，到那个时候，可持续材料将不仅仅是一种选择，还会变得更加智能且经济高效。

