沥青有了“抗衰老”胶囊？路面延寿的硬核科技

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41504.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

沥青有了“抗衰老”胶囊？路面延寿的硬核科技。 沥青路面低碳养护的现实需求

现代交通的基石——沥青路面，正面临严峻的老龄化挑战。长期车辆循环荷载催生微裂纹、诱发疲劳破损，每年养护施工会消耗大量沥青骨料、产生碳排放，路面长效延寿技术成为低碳交通落地的细分抓手。传统沥青仅依靠基质沥青固有的微弱自修复能力，缺陷反复开挖修补不仅推高运维成本，频繁施工也持续增加碳排放压力；行业内多采用油脂类再生剂改良自愈性能，但材料综合耐久短板明显，契合绿色基建轻量化养护的新型修复材料体系仍待完善。

瑞典皇家理工学院Denis Jelagin团队在ENGINEERING Structure and Civil Engineering期刊发表题为Self-healing of asphalt concrete under cyclic loading: Experimental and numerical study的研究论文。本研究围绕微胶囊自修复沥青展开试验和模拟测算，证实含巯基聚氨酯AR聚合物（ARP）修复沥青自愈性能更佳，同时揭示循环荷载下胶囊差异化受力激活规律，为低碳长效沥青路面提供技术支撑。

自修复路面落地的几大难题

现有自修复沥青研究存在两处核心落地瓶颈，属于路面新材料细分领域亟待补齐的技术短板。其一，多数试验采用静载制造宏观裂缝，与道路长期循环荷载产生微裂纹的真实工况脱节，无法量化车辆往复加载下损伤累积对胶囊激活的影响规律，难以指导工程实际应用；其二，市面主流含葵花籽油（SfO）胶囊修复剂仅依靠软化沥青实现愈合，修复后路面刚度、疲劳寿命提升有限，多次荷载作用下易出现性能衰减，缺少兼具粘结补强与长效自愈的修复内核材料。同时细观层面胶囊、集料、砂浆多相耦合受力机理不明，无法精准调控胶囊强度，要么正常行车荷载下提前破裂损耗修复剂，要么裂缝产生后无法及时激活，制约自修复沥青规模化推广。

两种修复材料搭配仿真模拟出新思路

研究团队结合室内实测试验和细观有限元仿真，针对性解决现存痛点，形成双维度创新成果。材料层面，创新引入含巯基聚氨酯ARP修复剂，区别于传统SfO仅软化沥青的机理，可通过化学反应粘结裂缝断面。通过接近真实工况的四点弯曲循环加载试验，发现ARP胶囊修复性能优异：静置养护7天后，它能恢复93%的原有强度刚度，优于SfO的90%和普通沥青的81%，修复完成后承载能力比普通路面高出15%。

模拟测算上搭建了包含集料、砂浆、胶囊、空隙的四相细观模型，还原长期循环荷载带来的损伤变化，清晰区分开裂区域和完好区域胶囊的受力差异，实现了胶囊遇裂激活、无损稳定的可控设

计思路，为胶囊力学参数优化提供量化依据，填补了循环荷载下胶囊损伤激活的数值分析空白。

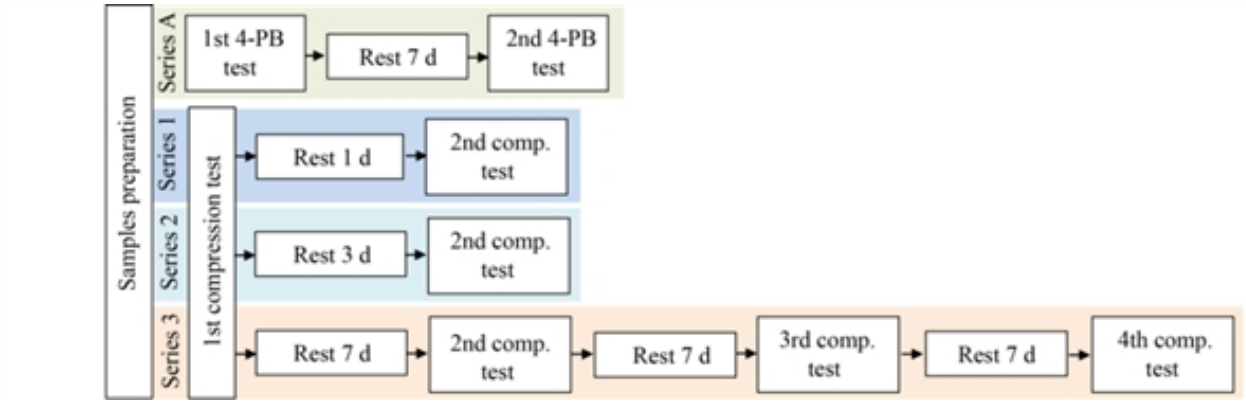

图1.压缩与弯曲试验示意图

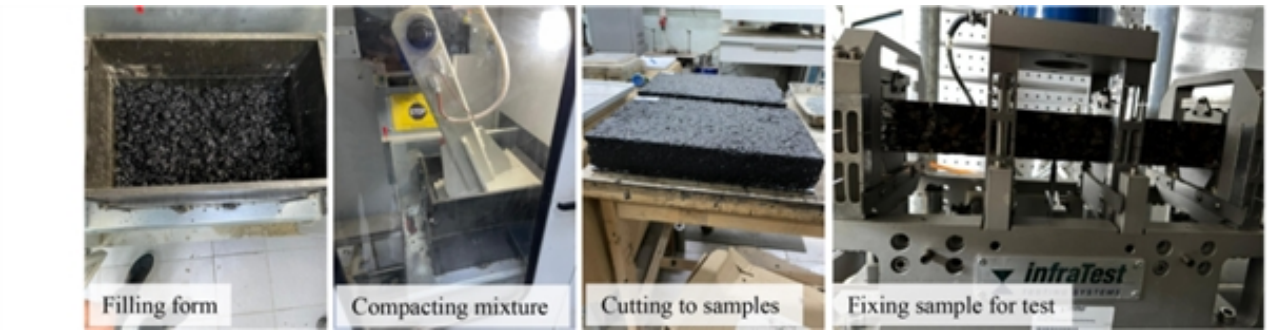

图2.样品制备与四点弯曲试验方案

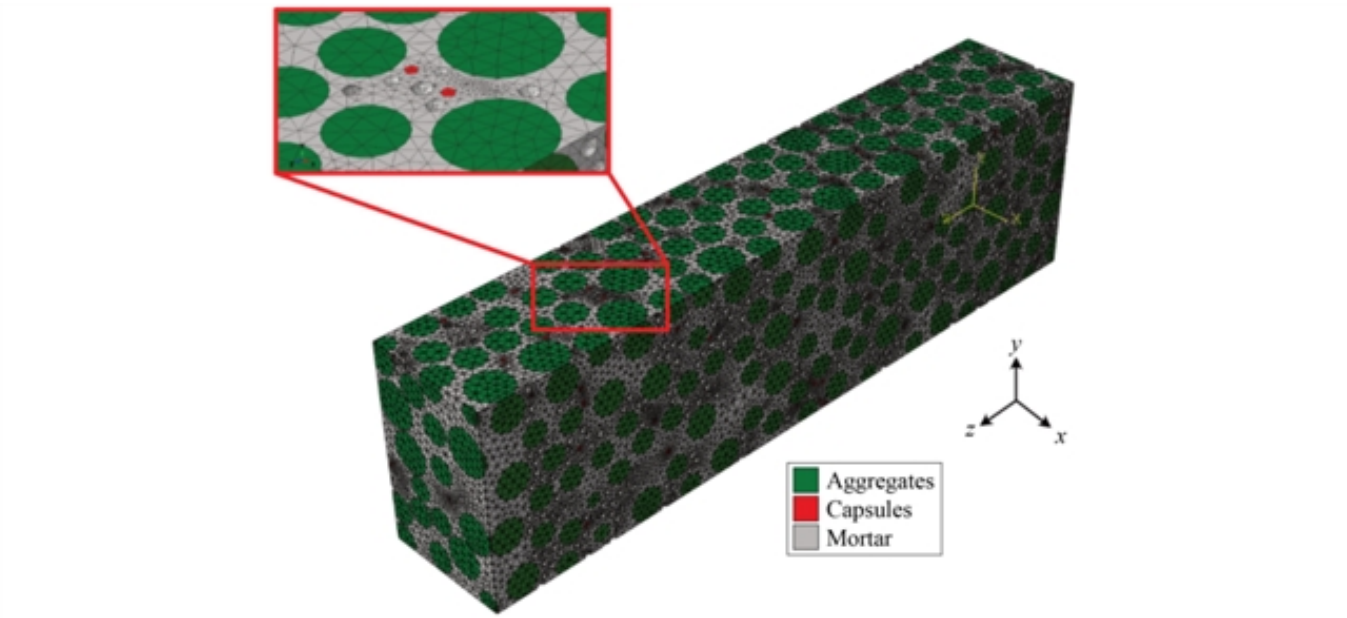

图3.四点弯曲模拟中所使用模型的网格

长效路面助力交通低碳发展

研究团队提出的ARP胶囊自修复沥青，能有效延长路面使用寿命，减少后期养护作业，节约建材并降低运维碳排放。同时还搭建了试验与细观模拟一体化评价体系，完善了长效路面材料研发体系，降低了道路全周期运维成本，推动绿色铺面材料产业化应用。为了全面量化愈合胶囊在沥青中的作用，当前建立的有限元模型仍需进一步更新，以纳入破损胶囊周边损伤的愈合效应。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://journal.hep.com.cn/fsce/EN/10.1007/s11709-026-1292-x

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：Denis Jelagin 来源：《工程·结构与土木工程》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发