
宁波材料所等在玻璃态物质的应力记忆效应方面获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25447.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！

玻璃材料是一类非平衡态材料，涵盖金属玻璃、有机玻璃、硅酸盐玻璃等多种类型。玻璃材料在各类工程领域中常作为结构材料，并得到广泛应用。当这些玻璃结构材料在恒定形变条件下服役时，会出现应力松弛现象，即随着服役时间的增长，应力逐渐降低，从而削弱材料的承载能力和稳定性，影响构件的服役期限。因此，研究提高玻璃材料抗应力松弛的能力并开发有效策略，对于延长构件在工程应用中的使用寿命和提高其可靠性，具有重要的科学价值和实际应用意义。

玻璃的机械性能与其能量状态紧密相关。其中，玻璃在应力松弛过程中的行为与退火过程中的老化现象相似，均涉及从高能状态到接近热力学平衡态的过程。在对抗玻璃老化的研究领域，美国威斯康星大学麦迪逊分校教授Kovacs于1963年提出了创新的双步退火方法——先低温退火，再高温退火。这一方法被证实能够引起玻璃能量状态的先升后降。这种非常规的能量上升，即“年轻化”（rejuvenation）现象，被命名为Kovacs记忆效应。近年来，中国科学院宁波材料技术与工程研究所非晶合金磁电功能特性团队进一步揭示了深度弛豫和较大的激活熵是触发Kovacs记忆效应的关键因素。基于此，是否可以通过双步加载实现类似的应力记忆效应，从而提高玻璃材料抵抗应力松弛的能力？

近日，宁波材料所非晶合金磁电功能特性团队发现，对不同玻璃材料（铁基、钛基金属玻璃以及PVC高分子玻璃）先加载高应变再加载低应变，应力将呈现先升高再降低现象。这种反常的应力递增现象为应力记忆效应（图1）。在更大的预加载应变和更高的温度下，玻璃的记忆效应强度

更大，且应力递增的持续时间 t_p

也更长

（图2）。同

时，科研人员在不同玻璃

中观察到，记忆效应强度随预加载时间 t_w

的增长呈现出由短时间不显著到长时间快速增长的双阶段特征（图3）。研究通过即时动力学分析及可逆弛豫分析发现，记忆效应只有在大激活能的协同运动过程才显著表现（图4）。研究通过原位拉伸高能同步辐射和可逆滞弹性弛豫分析揭示，由小原子主导的可逆弛豫是应力记忆效应的本质（图5）。上述成果深化了先前关于大激活熵深度弛豫作为焓记忆效应关键因素的认知

，揭示了记忆效应本质上是可逆弛豫的物理图形，有效支持了Tool-Narayanaswamy-

Moynihan（TNM）和Amir-Oreg-Imry（AOI）等唯象模型中关于记忆效应中快弛豫成分的假设。

第二阶段恒应变加载时出现的反常应力递增现象，可以显著抵抗因应力衰减导致的结构失效。该工作为探讨玻璃材料抵抗应力松弛能力开辟了新路径。

该研究由宁波材料所和西班牙加泰罗尼亚理工大学合作完成。相关研究成果以Strain-driven Kovacs-like memory effect in glasses为题，发表在《自然-通讯》(Nature Communications)上。研究工作得到国家自然科学基金、国家重点研发计划和宁波市等的支持。

[论文链接](#)

图1. 玻璃中的应力记忆效应。(a) 双步应变加载 (ϵ_1 、 ϵ_2) 示意图；(b) 固定应变 $\epsilon_1=0.5\%$ ，不同 ϵ_2 拉伸时TiZrHfCuNiBe金属玻璃的应力演化曲线，当 $\epsilon_1 > \epsilon_2$ 时，应力呈现先递增再递减；(c) 在铁基、钛基金属玻璃以及PVC有机玻璃中加载高—低双步应变时，会诱发出反常应力递增现象—应力记忆效应。

图2.

更大的预加载应变及温度都会促进应力记忆效应，具有更大记忆效应峰值时间 t_p 和强度。

图3.

在三种玻璃材料中均观察到记忆效应随预加载时间 t_w

呈现双阶段演化特征：即在较短的预加载时间内，记忆效应表现较为微弱；当预加载时间超过某一特定阈值后，记忆效应会迅速增强，达到相对较大的数值。

图4. 预加载应力松弛呈现双阶段，短时间为可逆弛豫具有较小的激活能，为弛豫过程；长时间为不可逆弛豫的协同运动过程，具有较大的激活能。

图5. 原位拉伸高能同步辐射和可逆滞弹性弛豫分析，揭示应力记忆效应的本征是由小原子主导的局域可逆弛豫。

研究团队单位：宁波材料技术与工程研究所

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](https://www.iikx.com)转发