

---

# 金属所低氧稀土钢研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19998.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！**

稀土元素电子结构独特，具有优异的磁、光、电等物理和化学特性，在多种材料中发挥重要作用。20世纪20年代提出稀土在钢中加入以来，研究表明微量稀土添加显著提高钢的韧塑性、耐磨、耐热、耐蚀性能等。然而，稀土钢在工业应用时遭遇难题：工艺不顺行，存在浇口严重堵塞的问题；稀土在钢中添加后，钢的性能剧烈波动，存在稳定性问题。这些难题尚未有效解决，导致稀土钢的研究与应用由热变冷，逐步走入低谷。

近日，中国科学院金属研究所沈阳材料科学国家研究中心先进钢铁材料研究部研究员李殿中团队受前期氧致偏析新机制的启发（Inclusion flotation- driven channel segregation in solidifying steels, Nature

Communications

, 2014），通过长达十余年的机理研究和工业实验，发现稀土钢性能波动、浇口堵塞问题的根源在于氧含量。研究通过降低钢液和稀土金属中的氧含量，并与金属所相关研究团队合作，结合实验、计算和表征揭示了稀土在钢中的关键作用机制，控制夹杂物和稀土固溶，制备出性能优越、稳定的低氧稀土钢。9月8日，相关研究成果以Low-oxygen rare earth steels为题，在线发表在Nature Materials上。

研究发现，不仅仅是钢液中的氧含量影响稀土钢的性能，更重要的是长期被学界和产业界忽视的稀土金属中的氧含量，对稀土钢的性能具有决定性影响。稀土金属极为活泼，在稀土金属电解制备时易形成大尺寸稀土氧化物，这些稀土氧化物随稀土金属或合金加入到钢液中，带入的大尺寸稀土夹杂物难以上浮去除，导致稀土钢性能波动并与耐火材料反应堵塞浇口。

基于上述发现，研究进一步开发了“双低氧稀土钢”技术即钢液低氧和稀土金属低氧的控制技术，有效解决了稀土钢工业应用中的问题。在高纯净度的GCr15轴承钢中应用后，与不加稀土的轴承钢相比，稀土轴承钢 $\pm 800$ MPa拉压疲劳寿命提升了40倍，滚动接触疲劳寿命提升了40%，而添加现有的商业稀土金属（稀土金属中氧含量为270ppm）的对比样品疲劳寿命出现明显波动（图1）。

研究利用自主发明的夹杂物萃取三维表征技术，分析了稀土GCr15轴承钢和进口的某轴承钢中的夹杂物形貌，发现在三维尺度上进口轴承钢中以氧化铝和大尺寸硫化锰夹杂物为主（图2a），而稀土轴承钢中夹杂物主要是细小的球状稀土氧硫化物（图2b）。稀土氧硫化物的硬度仅为氧化铝的1/5左右，略高于轴承钢基体硬度，与脆硬的氧化铝夹杂物相比，尺寸细小、与基体硬度匹配性良好的稀土氧硫化物在疲劳加载过程中可以发生塑性变形，引发夹杂物周围应力集中显著减小，有效延缓了疲劳裂纹的萌生。

双低氧稀土钢不仅有效减少、细化、改变了钢中夹杂物，解决了稀土钢性能波动、堵塞浇口的问题，而且为稀土在钢中的固溶奠定了良好基础，为稀土发挥微合金化作用提供了可能。以往研究通过对比一些钢种添加稀土后的性能变化推测部分稀土可能以固溶形式存在于钢中，发挥了微合金化的作用，但始终没有直接的实验证据且难以获得稳定的效果。研究通过第一性原理计算发现，当钢中存在铁空位时，空位与稀土原子交互作用可以大幅降低稀土的固溶焓，促进稀土固溶。同时，计算发现，与钢中常见的合金元素相比，稀土更易在晶界偏聚。研究使用球差校正电镜观察到钢中的固溶稀土团簇，从而证实了钢中存在一定数量的固溶稀土。

第一性原理计算进一步揭示了固溶的稀土元素显著提高了钢中碳的扩散激活能。在稀土偏聚晶界和提高碳扩散激活能的共同作用下，使用双低氧技术在钢中添加ppm量级的稀土，即可显著降低钢中扩散型相变的相变开始温度。研究进一步设计了扩散偶实验，证实了稀土显著降低钢中碳的扩散系数，展示出稀土强烈的微合金化能力，这为通过调控碳扩散优化钢的显微组织和力学性能提供了新途径。

该研究揭示了稀土钢性能波动的根源在于氧，只有在低氧条件下稀土才能在钢中稳定发挥出深度净化钢液、细化改变夹杂物和强烈微合金化的作用。该研究表明，吨钢只需添加百余克的镧铈轻稀土，在成本基本不增加、工艺流程基本不改变的条件下即可显著提升钢的性能，这对于发挥我国稀土资源优势，平衡稀土资源利用，提升优特钢的品质具有重要意义。

研究工作得到国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项等的支持。

## 论文链接

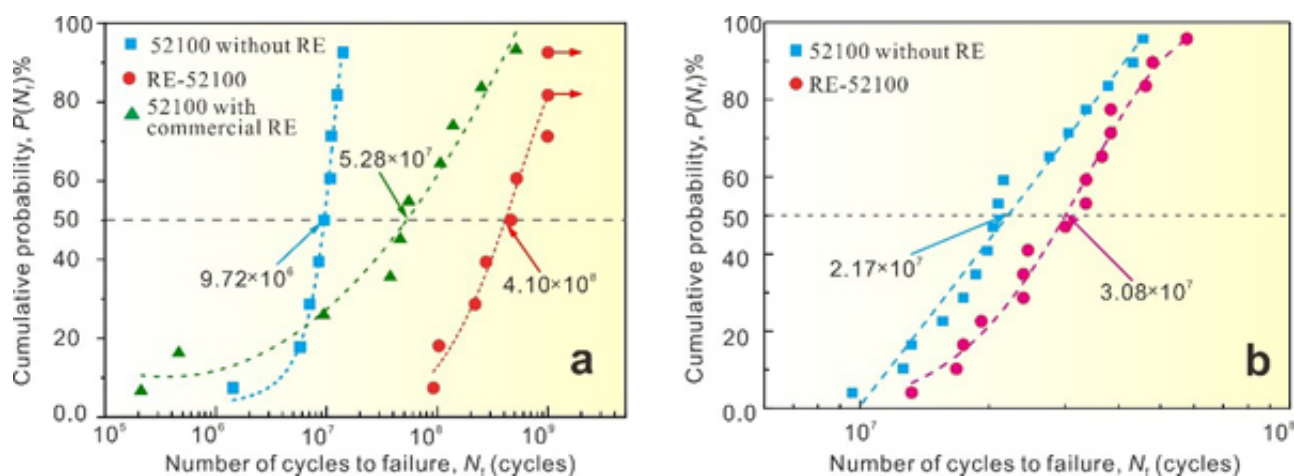


图1.稀土轴承钢与不加稀土的轴承钢、添加商业稀土的轴承钢的拉压疲劳和滚动接触疲劳寿命对比

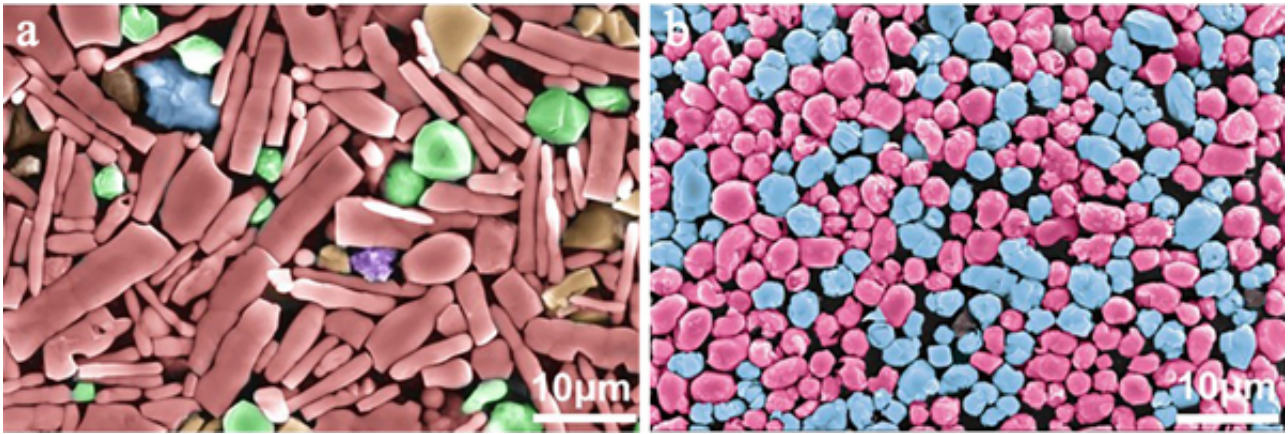


图2.某进口轴承钢（a）与双低氧稀土轴承钢（b）中的夹杂物对比

研究团队单位：金属研究所

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](http://www.iikx.com)转发