

流场+磁场双驱动—等离子体固氮技术

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/42329.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！

流场+磁场双驱动—等离子体固氮技术。



研究背景

非热等离子体技术是突破传统固氮工艺瓶颈的重要方向，其中旋转滑弧（RGA）反应器因常压运行、结构简单等优势备受关注。本研究开发了流场与磁场协同驱动的RGA反应器，系统探究了流场分布、磁场强度、N₂/O₂比对固氮性能的影响，优化了进气结构设计并筛选出最优参数组合。实验证实，均匀切向进气可显著提升电弧稳定性、抑制反向击穿。在200mT磁场强度与6:4的N₂/O₂比条件下，NO_x浓度可达7623ppm，能量消耗低至3.6MJ·mol⁻¹。该技术为等离子体辅助固氮的工业化推广奠定了理论与实验基础。

文章亮点

双场协同+进气优化，提高固氮效率

本研究最大创新在于构建流场-磁场协同体系，通过对比垂直进气、单切向进气、均匀切向进气三种方式，确定了均匀切向进气可形成对称流场、稳定电弧旋转角速度、抑制反向击穿现象；搭配环形磁铁提供的垂直磁场，利用洛伦兹力驱动电弧稳定旋转，可大幅提升气-弧相互作用时间，实现了常温常压下的高效固氮。

明确性能调控规律，参数优化有章可循

通过实验明确了关键参数对固氮性能的影响规律：磁场强度在0~200mT范围内，NO_x浓度随磁场增强而升高、能量消耗持续下降，200mT后性能趋稳，再提升磁场无明显增益；N₂/O₂比为6:4（O₂含量40%）时，NO_x浓度达峰值，能量消耗降至4.52 MJ · mol⁻¹；气体流量升高会缩短气-弧相互作用时间，NO_x浓度略有下降，但能量消耗同步降低，为工艺参数精细化调控提供了明确依据。

均匀进气模式等离子体非平衡性增强，能量利用效率提升

通过光学发射光谱（OES）表征证实，均匀切向进气模式下，等离子体非平衡性显著提升，振动温度（T_{vib}）与转动温度（T_{rot}）差值达1250K，更多电子能量用于N₂振动激发（生成N₂(v)）和电离（生成N₂⁺），而非气体加热，有效降低了反应能垒。活性物种通过低能垒路径高效生成NO，减少能量浪费，使反应器在低能耗下实现高NO_x产出，性能优于现有多数等离子体固氮系统。

文章结论

本研究系统探究了不同进气结构下流场与磁场驱动RGA反应器的固氮性能及作用机制，证实进气方式对反应器性能影响显著，固氮效率呈现均匀切向进气>单切向进气>垂直进气的趋势，其中均匀切向进气在7L · min⁻¹流量下能量消耗低至3.06MJ · mol⁻¹，较垂直进气降低30%。均匀切向进气可维持电弧稳定伸长，提升等离子体非平衡性，促进活性物种生成。该研究明确了流场、磁场与进气结构的协同作用机制，为等离子体固氮技术的优化升级提供了理论支撑。

重要图表解读

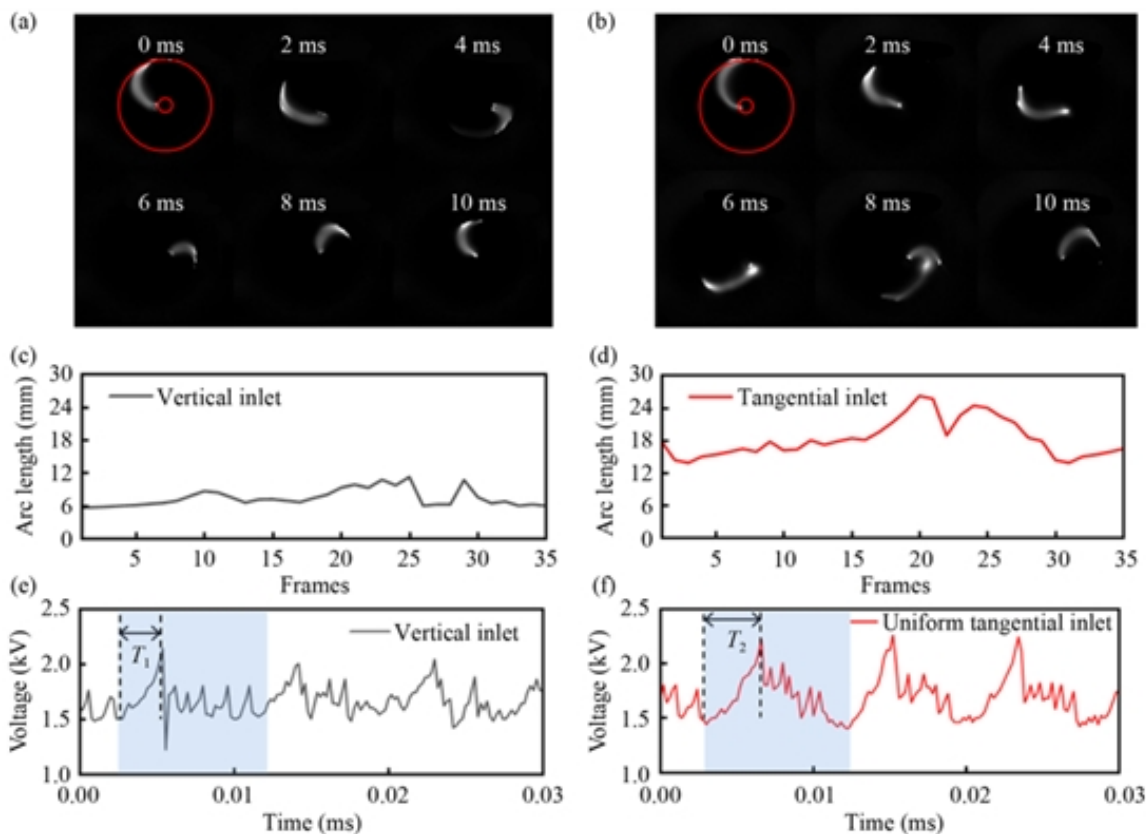


图1.垂直与切向进气的电弧特性对比。该图对比了垂直进气与切向进气两种方式下的电弧图像、电弧长度及电压波形。结果显示，切向进气相较于垂直进气，能显著延长电弧长度。此外，切向进气的电弧运动更稳定，电压波形呈现规律上升趋势，有效抑制反向击穿现象，而垂直进气的电压波动无规律，电弧长度较短，气-弧相互作用时间不足。该图直观揭示了切向进气提升固氮性能的核心机制，为进气结构优化提供了直接实验依据。

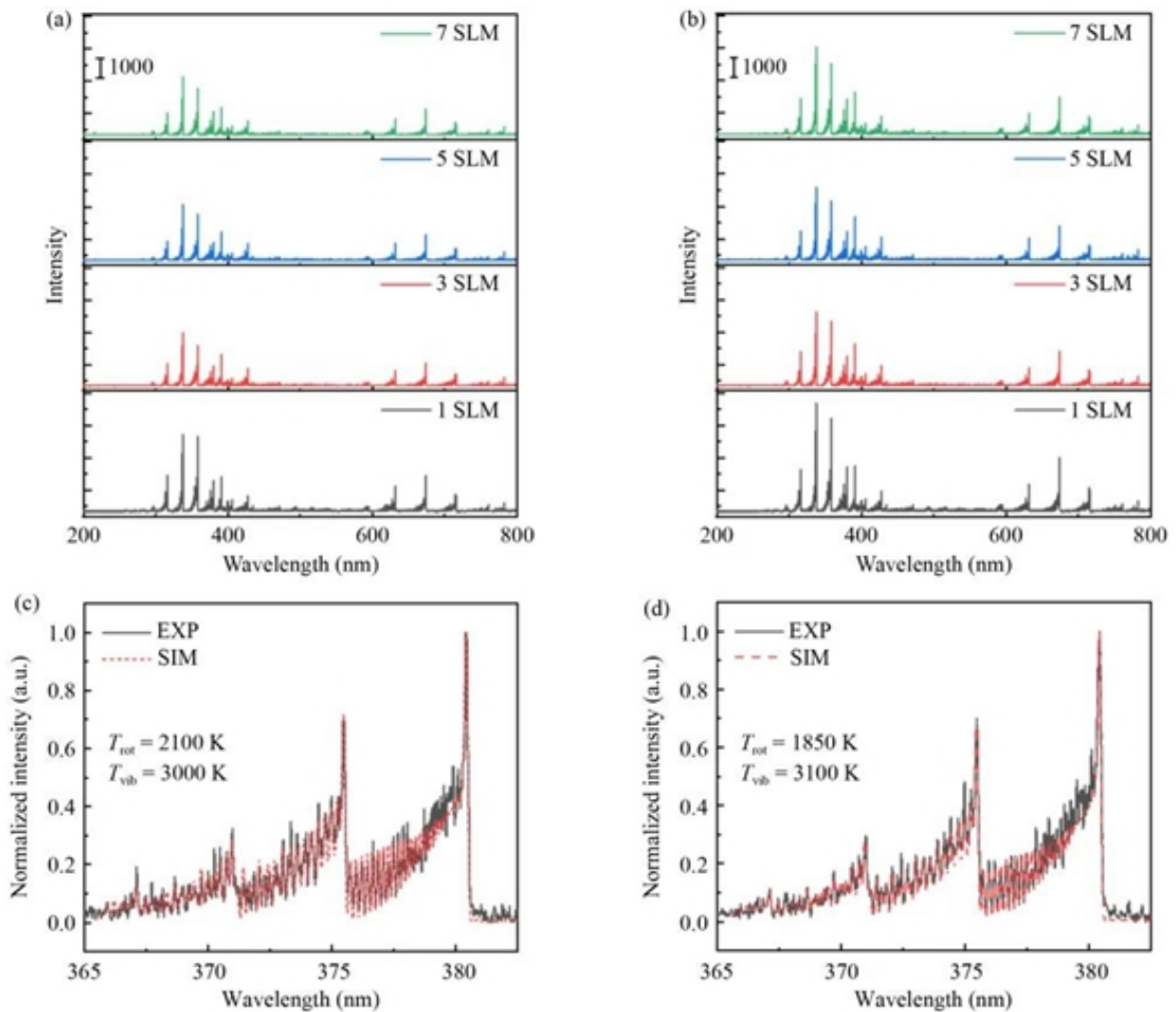


图2.不同进气模式的等离子体光谱与温度特性。该图呈现了切向进气与均匀切向进气模式下的光学发射光谱（OES）及振动温度（ T_{vib} ）、转动温度（ T_{rot} ）拟合结果。均匀切向进气模式下， N_2 第二正系统和 N_2^+ 第一负系统的发射强度更高，表明激发态氮物种浓度更高；振动温度与转动温度差值更大，等离子体非平衡性更显著，更多电子能量用于氮分子激发与电离，而非气体加热，清晰阐释了均匀进气提升能量利用效率的内在原因。

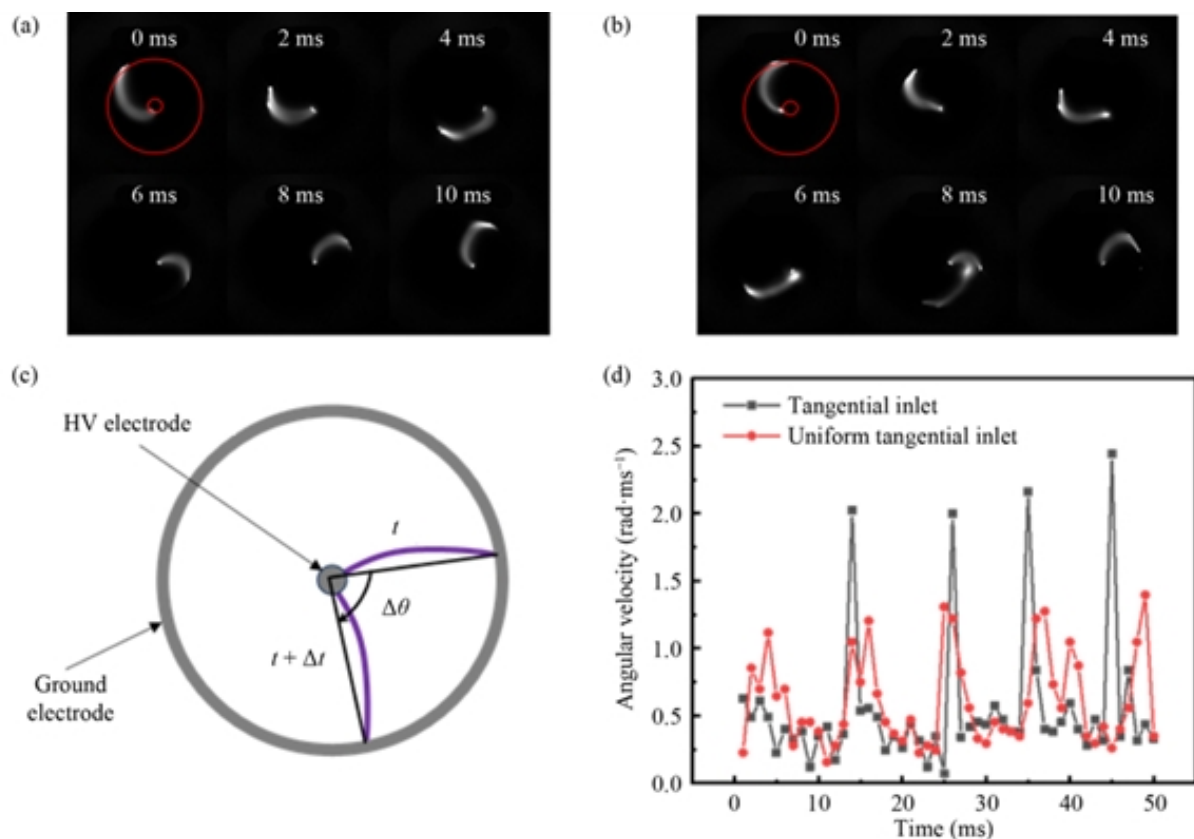


图3.两种切向进气的电弧运动特性对比。该图对比了单切向进气与均匀切向进气的电弧运动图像及角速度变化。均匀切向进气可使电弧弯曲程度降低，旋转角速度更稳定，避免出现等离子体盘缺失现象，而单切向进气因流场不均匀，电弧旋转速度波动大，易发生频繁反向击穿，限制电弧进一步伸长。该图明确了均匀切向进气优于单切向进气的关键原因，为最优进气结构的选择提供了直观支撑。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：

<https://journal.hep.com.cn/fcse/EN/10.1007/s11705-026-2628-8>

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事宜，请与我们联系。

作者：周仁武等 来源：《工程·化学工程》

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

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发