

2025 年度中国光学学会科技创新奖简介

项目名称：大气分子的激光光谱理论及实验研究

获奖类别：自然科学奖

获奖等级：二等奖

主要完成单位：太原科技大学、山西大学、中国科学院合肥物质科学研究院、华东师范大学

主要完成人：李传亮、马维光、邱选兵、阚瑞峰、邓伦华、和小虎

学科分类：光谱学

推荐单位：刘伟伟（南开大学）、吴健（华东师范大学）

项目简介：

随着我国生态文明建设深入推进污染防治和“碳达峰、碳中和”战略任务，协同推进降碳减污成为绿色转型的必然选择。深入研究大气分子光谱是理解大气结构、反应动力学及气候变化机制的关键，也是实现“双碳”战略的重要保障。然而，当前大气分子光谱研究面临三大难题：电子态结构复杂导致光谱指认困难、痕量气体检测灵敏度不足、以及现有光谱数据库不完善且检测系统笨重昂贵，难以满足实时在线监测需求。

本项目围绕“大气分子的激光光谱理论及实验研究”，通过理论创新、技术突破与系统研制，形成了链条式解决方案。理论创新：提出全量子力学二阶微扰理论，首次系统计算大气分子的势能曲线、跃迁偶极矩、辐射寿命及态-态反应动力学参数，揭示了光谱重叠区域的能级微扰机制和跃迁规律，显著提升了分子指纹辨识度。技术突破：发展高灵敏激光光谱检测技术，创新性设计长光程环形光程池，结合频率调制光谱与光外差探测技术，自主研制单/双通道同步解调电路，

使测量响应时间达到微秒量级，灵敏度较传统方法提高 2-3 个量级。系统研制：成功研制小型化、实时在线痕量气体检测系统，实现对 CH₄、CO、NH₃、NO、CO₂ 等关键大气成分的 ppb 级高精度监测，解决了传统设备体积大、成本高、难以长期在线监测的痛点。

项目成果在理论层面深化了对大气分子能级跃迁机理的认识，在技术层面打破了国外高端光谱仪器的垄断格局。自主研发的检测系统已应用于大气污染监测、气候变化研究等领域，为原子分子物理学、光学精密测量及环境科学提供了关键技术支撑，为实现“美丽中国”建设目标提供了重要的科学工具和技术保障。