

中国激光

“基于光丝激光雷达的大气污染多组分监测技术研究” 项目专题前言

以差分吸收激光雷达、拉曼激光雷达等为代表的大气污染光学探测技术虽然具有实时、远程的优势,但在多组分监测,特别是在测量气溶胶、金属等大气污染物化学成分和浓度等方面具有局限性。而飞秒光丝激光雷达是一种可远程、快速探测多组分大气污染物的技术。

当高功率飞秒激光在大气中传输时,能量不会发散,而是形成一个高光强激光通道,这个通道被称为“光丝”,这一过程则被称为“成丝现象”。光丝内的激光强度足以诱导电离、多光子荧光、受激拉曼散射、四波混频等各种非线性光学效应,激发出具有物质特征的光谱信号,从而为多组分大气污染物监测提供数据。

科研人员相继提出利用光丝产生的超连续吸收光谱进行大气温湿度遥感和通过激发双光子荧光探测气溶胶的技术。但这两种技术探测机制还是源于传统激光雷达原理,探测信号所携带的物质光谱特征主要出现在光丝区域之外,在后续研究中未能成为飞秒光丝激光雷达技术发展的主要方向。当前,飞秒光丝激光雷达研究的重点是利用光丝诱导等离子体荧光谱测量大气污染物的新技术。因为光丝内超高激光强度可以电离各种形态的分子,进而激发它们的等离子体指纹荧光谱,所以通过分析这些特征光谱,便可监测出包括气体、生化大分子、浮尘、气溶胶、金属甚至核辐射物质等各种污染物的化学成分和浓度。成丝现象目前仍然是唯一可以在如此远距离产生如此高光强从而诱导物质电离的激光技术,因此基于光丝诱导等离子体光谱的激光雷达技术代表一种全新概念的大气污染多组分探测技术的发展方向,具有丰富的物理内涵和巨大的应用潜力。

作为一种先进的大气污染监测技术,光丝激光雷达主要的物理机制和可行性虽然已经得到验证,但在应用层面面临着探测距离远、大气环境复杂等艰巨挑战。针对这些问题,在国家重点研究计划的支持下,南开大学现代光学研究所牵头,组织北京空间机电研究所、华东师范大学、上海理工大学等单位于2018年开始了“基于光丝激光雷达的大气污染多组分监测技术研究”项目研究(项目号:2018YFB0504400),开展了高重复频率泵浦激光器、长距离光丝品质调控技术、高灵敏光谱

中国激光

探测技术、光谱处理和识别算法、超远程光纤传输数值模拟方法及星载可行性论证等研究工作。项目组通过时空相干合成、时空相位调控、深度机器学习算法等关键技术,研制了单路能量达到 10 mJ、重复频率为 1 kHz 的飞秒光纤激光放大器,在氯化钠气溶胶中实现了灵敏度为 $6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 Na^+ 远程探测,初步建立了 20 多种大气污染物的光纤诱导等离子体指纹荧光光谱数据库,设计了数据处理和识别软件、复杂大气光纤传输动力学数值模拟软件、天基系统初步方案等。本专刊收录了项目承担单位以及多家合作单位的相关论文,结合相关方向的国内外研究进展,综合介绍了项目重点研究内容、主要技术路线和标志性成果,并进行了展望。

飞秒光纤激光雷达的作用实际上已经超出普通污染监测的范畴,对于及时应对突发重大污染事故及探测和预警生化武器都有重要的应用价值,将是保障国家安全的重要战备设施。“千淘万漉虽辛苦,吹尽狂沙始到金。”经过长期探索,飞秒激光雷达技术的研究必将前景广阔,大有可为。

刘伟伟
2023-03-18