

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0398-03

利用激光大气等离子体光谱检测大气污染

林兆祥, 陈 波, 吴金泉

(中南民族大学电信学院, 湖北 武汉 430074)

摘要 通过光谱探测的方法, 研制了可以实时监测大气污染状况的实验系统。此系统不但可以弥补以往那些大气污染检测方法的不足, 实现实时监控, 定量分析, 还可以通过光路调整, 检测从地面到高空大气中各种有害污染物的含量。初步给出了激光等离子体光谱的时间演化。该技术还可以应用于某些特定场所特定物质成分的遥控。

关键词 大气光学; 激光大气等离子体; 光谱探测; 大气污染监测

中图分类号 O657.38; TL65 **文献标识码** A

Laser-Induced Air Plasma Spectra Used in Atmospheric Surveillance

LIN Zhao-xiang, CHEN Bo, WU Jin-quan

(College of Electrics and Information Engineering, South-Central University
for Nationalities, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract A system of atmospheric surveillance is brought forward by studying the spectra of gas plasma induced by a pulsed Nd:YAG laser. The system can avoid shortcomings of other existing air pollution detection methods, and carry out an on-line quantitative analysis. By adjusting the experimental setup, the concentrations of pollutions in the air can be tested. The primary plasma spectra evolution is presented. The method can be also applied in remote controlling the particular components in certain condition.

Key words atmospheric optics; laser-induced air plasmas; spectra detecting; atmospheric surveillance

1 引 言

大气污染检测多采用化学分析的方法, 需要先采集大气样品, 然后送到实验室, 通过各种方法检测其成分, 不能实现实时检测, 对污染源的种类和污染程度的判定也都采用定性的方法, 很难做到定量分析。在日益注重空气质量的今天, 采用新方法探测大气污染势在必行。光谱探测等离子体各种成分是等离子体诊断技术中的一种比较成熟的研究方法, 其工作成果不胜枚举。国内外对激光大气等离子体的早期研究^[1~7], 大多集中在各种气压下纯净的空气、氮气、氧气和各种惰性气体在不同波长激光作用下产生等离子体的阈值分析, 近期研究激光大气等离子体光谱的报道^[8~14], 也都集中在等离子体的时间、空间演化特征的研究上。本文介绍了利用激光大气等离子体光谱探测技术研究大气污染的最新进展和一些设想。

2 实验研究

由于激光大气等离子体光谱是大气中各种成分

同时被激发后产生的激发态原子、分子、离子辐射光谱的叠加, 在相同实验条件下(相同激光波长、激光能量、气压等), 纯净空气与模拟污染大气(含不同浓度的 SO₂, NO₂, Cl₂ 等)的激光等离子体光谱的差异, 实质上就是所检测大气的组成成分含量上的差异的综合表现。总结它们的规律, 通过计算机模拟计算, 理论上可以分析出实际大气中各种杂质成分的含量, 通过进一步的工作, 可以实现对大气污染的实时监控, 并能对灾害性的污染及时报警。为此, 建成了如图 1 所示的实验装置, 从 YAG 激光器输出的脉冲激光通过凸透镜聚焦以后, 在样品室中产生脉冲等离子体, 通过中阶梯光谱仪探测等离子体的光谱及其时间演化特性。

实验系统选用美国 Spectra-Physics 公司生产的 PRO290-10 激光器, 其输出能量为每脉冲 2 J (1.06 μm), 脉宽为 10 ns, 重复频率为 10 Hz, 其短时能量稳定性小于 ±2%, 长期能量漂移小于 3%, 因此可以近似认为激光器每个脉冲的能量相同, 其产生的大气等离子体状态也相同。使用英国

基金项目: 湖北省自然科学基金(2005aba312)资助课题。

作者简介: 林兆祥(1971—), 男, 博士, 中南民族大学讲师。E-mail: lin_zhaox@126.com

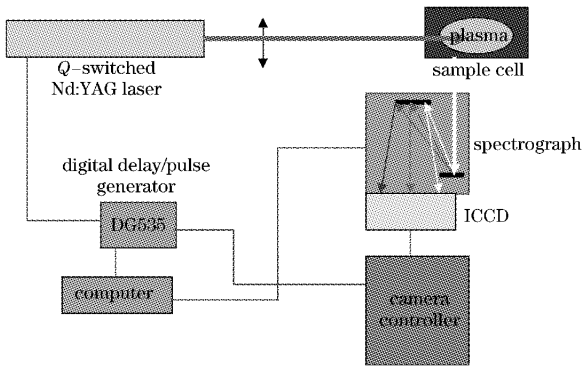


图1 实验系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

ANDOR 公司生产的 ME5000 中阶梯光谱仪进行光谱探测,工作原理如图 2 所示,其特点是不需旋转光栅即可一次覆盖较宽光谱范围,只需更换色散模块,就可以得到不同的光谱分辨率,满足不同实验的要求。如果与高性能 ICCD 配合使用可获得高分辨率的光谱图像,通过特制的数据采集控制卡和软件可以直接得到光谱信息,调整 ICCD 的曝光时间和闸门宽度,还能够得到光谱的详细演化过程。

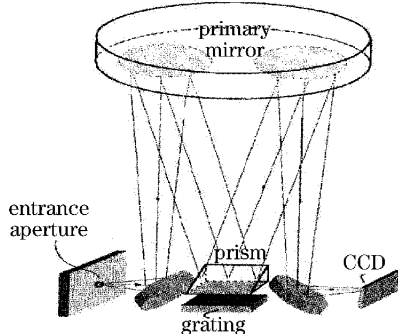


图2 中阶梯光谱仪的工作原理

Fig. 2 Schematic representation of the echelle design

我们的实验装置能够在 200~850 nm 范围内采集脉冲等离子体光谱,其分辨率小于 0.05 nm,通过调整 ICCD 的时间闸门可以采集等离子体激光脉冲后各种延时时间的光谱,如图 3 所示。图 3 是 100 kPa 下纯净空气的激光等离子体光谱的时间演化过程,其门宽(gate pulse width)取 5 ns,门延时(gate pulse delay)分别取激光产生后 20 ns, 100 ns, 0.5 μ s, 1 μ s, 5 μ s 和 10 μ s,为了便于比较对各数据还进行了去本底噪声后放大等必要的处理,其放大倍数也一并标在相应的谱图上。通过对大量含有不同浓度不同成分“杂质”的激光光谱演化过程和图 3 进行比较研究,可以找出一些相对于各“杂质”浓度

反映敏感的“特征谱线”,这些谱线的衰减过程随特定“杂质”浓度的细微改变而明显变化。通过大量的定标实验,具体研究各“特征谱线”的衰减过程与大气中各种粒子含量的关系,将能够从激光光谱时间演化过程反演出各“杂质”的含量。

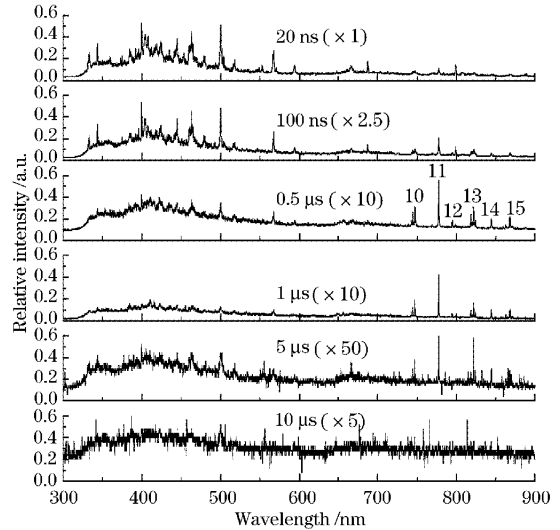


图3 激光大气等离子体光谱的时间演化

Fig. 3 Temporal evolution of laser-induced air plasmas spectra

目前,我们正在开展近场条件下光谱基础数据的采集和归纳总结工作:激光击穿 100 kPa 下纯净空气产生的等离子体光谱的演化过程,激光击穿 100 kPa 下含不同浓度 NO_2 (或 SO_2 , Cl_2) 的空气等离子体光谱的演化过程等基础工作。拟通过此类研究总结出模拟污染大气中各种污染源的种类和浓度对光谱的影响规律,并希望能通过计算机模拟的方法获得模拟污染大气激光等离子体光谱的演化过程。通过进一步的研究,制造出专门的设备用于大气环境的检测或监测。从已有的部分实验结果看,采用此方法测量污染气体浓度的灵敏度和浓度范围均可能达到或优于现有的其他检测方法。

3 结 论

介绍了利用激光大气等离子体光谱检测大气污染的实验原理和方法。认为通过归纳含各种“杂质”的激光大气等离子体光谱中各种特征谱线时间演化的差异,可以分析出实际大气中各种杂质成分的含量,通过进一步的软件设计,能够建立一套可以实时监控大气环境污染的装置。此系统可以弥补其他大气污染检测方法的部分缺陷,实现实时监控,定量分

析,可直接用于对冶金、化工等重点企业废气排放的实时监控,并能对重点区域灾害性大气污染事件的发生进行及时报警,其应用前景相当巨大。如果进一步研究远距离光谱采集技术和大气压对等离子体光谱的影响等,还可以检测从地面到高空(各高度)大气中各种有害污染物的含量。应用该技术方法的思路,进行一些必要参量的测量,还可以遥感测量某些特定场所特定物质成分,如航空发射场、核爆炸区域内相关粒子的含量等。

参 考 文 献

- 1 Claudio Demichelis. Laser induced gas breakdown: a bibliographical review [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1969, **QE-5**(4): 188, and references therein
- 2 Yu P. Raizer. Optical discharges [J]. *Sov. Phys. Usp.*, 1980, **23**(11): 789 and references therein
- 3 Yosr EE-D Gamal, M Abdel Harith. Molecular gas breakdown by short laser pulses [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1981, **14**: 2209-1~2209-14
- 4 J. Stricker, J. G. Park. Experimental investigation of electrical breakdown in nitrogen and oxygen induced by focused laser radiation at 1.06μ [J]. *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**(2): 851~855
- 5 R. A. Armstrong, R. A. Lucht, W. T. Rawlins. Spectroscopic investigation of laser initiated low pressure plasmas in atmospheric gases [J]. *Appl. Opt.*, 1983, **22**(10): 1573~1577
- 6 D. I. Rosen, G. Weyl. Laser-induced breakdown in nitrogen and rare gases at 0.53 and $0.35 \mu\text{m}$ [J]. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 1987, **20**: 1264~1276
- 7 Guy M. Weyl. Physics of Laser-Induced Breakdown: An Update [M]. In *Laser-Induced Plasmas and Applications*, Radziemski L. J., Cremers D. A. ed., New Mexico: Marcel Dekker, Inc., 1989. 1~68
- 8 R. C. Alam, S. J. Fletcher, K. R. Wasserman *et al.*. Time-resolved emission spectroscopy in laser-generated nitrogen plasmas [J]. *Phys. Rev. A*, 1990, **42**(1): 383~390
- 9 Nordstrom R J. Study of laser-induced plasma emission spectra of N_2 , O_2 , and ambient air in the region 350 nm to 950 nm [J]. *Appl. Spectroscopy*, 1995, **49**(10): 1490~1499
- 10 Y. L. Chen, J. W. L. Lewis, C. Parigger. Spatial and temporal profiles of pulsed laser-induced air plasma emissions [J]. *J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2000, **67**: 91~103
- 11 F. Martin, R. Mawassi, F. Vidal *et al.*. Spectroscopic study of ultrashort pulse laser-breakdown plasmas in air [J]. *Appl. Spectroscopy*, 2002, **56**(11): 1444~1452
- 12 Lin ZhaoXiang, Chang Qihai, Cheng Xuewu *et al.*. Spectrum-study of air plasmas by laser-induced breakdown [J]. *Nuclear Physics Review*, 2002, **19**(Suppl.): 88~90
林兆祥,常启海,程学武等. 常压下激光击穿大气的等离子体的光谱研究 [J]. *原子核物理评论*, 2002, **19**(增刊): 88~90
- 13 Lin Zhaoxiang, Li Xiaoyin, Cheng Xuewu *et al.*. Spectroscopic study on the time evolution behaviors of the laser-induced air plasma [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2003, **23**(3): 421~425
林兆祥,李小银,程学武等. 激光大气等离子体时间演化特性的光谱研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, **23**(3): 421~425
- 14 Li Xiaoyin, Lin Zhaoxiang, Liu Yuyan *et al.*. Spectroscopic study on behaviors of the laser-induced air plasma [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(8): 1051~1056
李小银,林兆祥,刘焜炎等. 激光大气等离子体光谱特性实验研究 [J]. *光学学报*, 2004, **24**(8): 1051~1056