

激光光谱技术在环境监测中的应用专题系列(I)

光谱技术在大气环境监测中的应用*

王振亚 李海洋 周士康

(中国科学院安徽光学精密机械研究所 激光光谱学开放研究实验室 合肥 230031)

摘要 碳的氧化物、硫的氧化物、氮的氧化物和卤化物等是由人类的生产活动和社会活动产生的重要的环境污染物。它造成了温室效应、酸雨、对流层的光化学雾和平流层的臭氧耗减等环境问题。它威胁着人类的生存环境和地球上的生态平衡。光谱技术可广泛应用于环境污染监测。文章简要介绍全球面临的主要环境问题,重点介绍光谱技术(包括常规光谱技术、激光光谱技术以及激光雷达等)在大气环境监测中的应用和进展。利用这些技术,可以获得污染物的组分、浓度、温度或空间分布等方面的信息。

关键词 环境污染监测,光谱技术,激光雷达

APPLICATION OF OPTICAL SPECTRAL TECHNIQUES TO MONITORING OF THE ATMOSPHERIC ENVIRONMENT

WANG Zhen-Ya LI Hai-Yang ZHOU Shi-Kang

(Laboratory of Laser Spectroscopy, Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract Oxides of carbon, sulfur, nitrogen and halogens are serious environmental pollutants produced by the productive and social activities of humans. Global environmental problems, such as the green house effect, acid rain, photochemical smog in the troposphere and ozone depletion in the stratosphere are created by these environmental pollutants. They seriously threaten our life and the ecological balance of the Earth. Spectral techniques can be widely used in the monitoring and detection of environmental pollution. A brief introduction to global environmental problems is presented, with details on the application of traditional spectral, laser spectral and laser radar techniques to the monitoring of atmospheric environmental pollution. Information concerning the composition concentration, temperature and spacial distribution of environmental pollutants can be obtained by these techniques.

Key words monitoring of environmental pollution, spectral techniques, laser radar

1 引言

人类在自己的生产活动中学会了转变和控制各种不同的能源,如把化学能、热能转换成机械能或电能等。人类把各种机械发明和机械能或电能结合起来,完成了比人类或动物的体力劳动更强大、更精确也更可靠的工作。它不但大大提高了人类社会的生产力,也大幅度地改进了人类的物质生活。然而,人类的生产活动和社会活动也会把一些危险的废物、有毒的副产品以及一些被称作公害的化学物质排放到陆地、海洋和空气中。它们造成了全球气候变暖和臭氧层的破坏,产生了酸雨和光化学雾,使生物多样性锐减、森林遭到破坏、土地荒漠化以及海洋严重污染等。这些既是全球面临的主要环境问题,也是国际关系的热点问题。它涉及到政治、经济、科技、外交和商贸等许多领域,直接或潜在地威胁着人类的生存与可持续发展。为此,各国政府和企业对全球面临的环境问题非常关心,他们付出了巨大的人力、物力和财力来评估环境污染对空气、土地和水源的破坏程度,采取各种措施来监测、控制和治理环境污染。在人类监测、控制和治理环境污染的过程中,光谱技术

* 国家自然科学基金(批准号:29773044)资助项目
2001-01-03收到

正在发挥着越来越重要的作用.本文首先简要介绍几种大气污染过程,然后重点介绍光谱技术在环境监测中的应用.

2 大气环境污染^[1]

由地球表面散发到对流层的初级空气污染物经太阳光的照射会产生对人类和生物有害的臭氧、其他氧化性物质以及对眼有刺激性的物质,形成对流层的光化学空气污染.另一方面,通过人类的活动,如超声运输机把喷气推进剂氯氟甲烷释放到空气中,会造成平流层的空气污染.大体上来说,温室效应、酸雨、对流层中的光化学雾以及平流层中的臭氧耗减等是大气光化学污染所产生的最严重的后果.

2.1 温室效应

全球气候变暖主要是由于温室气体排放造成的.温室气体包括二氧化碳、甲烷和氧化亚氮等.太阳辐射穿过大气时,仅有很少一部分被吸收,大部分到达地面.地球表面又以红外辐射的形式(热量)向上辐射,最终达到平衡,使大气维持适宜于人类生活的温度.但若大气中由于人类活动而增加了过多的二氧化碳等温室气体,则向上辐射的热量被大气中的二氧化碳等温室气体过多地吸收,从而阻止了地球热量向空间的散发,使大气层的温度升高,增大了热效应.这种效应就像温室里的玻璃一样,使射入温室内的阳光中的红外线不易穿过这种覆盖层,在室内产生增温和保温效应,人们把这种作用称为温室效应.最重要的温室气体二氧化碳是化石燃料燃烧时排放出来的.温室效应可使地球表面平均温度上升,全球气候变暖,海平面上升以及淹没沿海低洼地和海岛等,将影响人类的正常生活.

2.2 酸雨

酸雨是指 $\text{pH} < 5.6$ 的雨雪或其他形式的大气降水.酸雨形成的基本原因是由于大气中有酸性物质的存在.现在已知的酸性物质以及它们对酸雨的贡献为:硫酸 60%—70%,硝酸 30%,盐酸 5%,有机酸 2%.酸雨中的硫酸和硝酸是由石化燃料燃烧时排放的二氧化硫和氮的氧化物转化而来的.酸雨问题是一个跨地区、跨国界的全球性问题,它已引起全球的关注和重视.目前,酸雨的酸度正在上升,受酸雨影响的地区也在不断地扩大,并给这些地区的生态系统、农业、森林和水产资源带来严重的损害.

2.3 光化学烟雾

光化学烟雾是实际大气中气-粒转化过程的重要事例.它是在城市污染大气中特定天气条件下发

生的一种特殊现象,是气相物质经过化学反应急剧地向颗粒态物质转化的结果.光化学烟雾生成过程极为复杂,大致可分为两个阶段,即 O_3 浓度上升阶段和光化学烟雾生成阶段.光化学烟雾可分为两种:其一是还原性烟雾,它的主要成分是一氧化碳、二氧化硫和烟粒等;其二是氧化性的光化学烟雾,主要发生在夏季,它的主要成分是臭氧,而臭氧的前驱物质是有害的有机化合物(如苯或甲苯等)和氮的氧化物.光化学烟雾使空气的能见度降低,影响交通;它对眼睛和呼吸道有刺激作用,能诱发心脏病;有时可能导致人的死亡和植物的毁灭等.

2.4 平流层的臭氧耗减

臭氧是大气中的稀有气体,其中,10%的臭氧分布在平流层中,90%的臭氧分布在平流层中.因为臭氧化学活动性很强,对流层中的臭氧对各种物质有严重的破坏作用.相反,由于平流层中的臭氧可以大量吸收太阳光的紫外线,对人类和生物起到保护作用.近年来平流层臭氧总量呈下降趋势,不仅南极上空的臭氧洞在不断扩大,而且连北极上空也出现了臭氧洞.由于平流层的臭氧减少,更多的太阳紫外线照射到地球表面上,导致这些地区皮肤癌发病率上升,损伤人们的眼睛和免疫系统,严重影响地区的生态平衡.平流层的臭氧耗减过程十分复杂.如果从平流层气相化学的角度来讲^[2,3],与 $\text{Cl}-\text{ClO}$ 、 ClO 的二聚物以及与 $\text{ClO}-\text{BrO}$ 的反应有关的催化循环圈是破坏臭氧的重要原因,氟氯化碳和溴代甲烷是破坏臭氧的重要化学物质.如果从平流层云的异相化学的角度来讲^[4],由于平流层云冰晶的存在,它将使本来比较惰性的硝酸氯(ClONO_2)具有相当大的活性,使它和 HCl 、 H_2O 等反应生成 Cl_2 和 HOCl . HOCl 和 Cl_2 经太阳光中紫外线的照射后,发生解离,产生活性氯,从而加强了破坏臭氧的催化循环圈的作用.

3 用于大气环境监测的光谱技术

由前面的介绍可知,碳的氧化物、氮的氧化物、硫的氧化物、臭氧、氯氟化碳、溴代甲烷、卤原子、卤的氧化物、苯的衍生物和多环芳香烃等是需要监测和控制的环境污染物.在大气环境污染监测中,光谱技术是重要的监测手段.光谱学包括常规光谱学和激光光谱学两种,前者采用普通光源和光谱灯,后者则采用各种激光器作为光源.由于激光具有极高的单色性和相干性,极好的方向性,极高的功率密度,可以快速调谐等优点,它促进了光谱技术的发展,扩大了它的应用范围.现在,光谱技术可以识别

环境污染物质,确定它们的浓度,判断它们是否超过环境保护的有关规定,并可以用这些信息通过闭路反馈系统控制生产过程,对环境污染进行监测、控制和治理。

在环境污染监测中,有许多光谱技术可供使用。不过,由于篇幅有限,这里将主要介绍激光诱导荧光光谱、激光质谱、激光拉曼光谱、差分光学吸收光谱和傅里叶变换红外吸收光谱等在大气环境监测中的应用。

3.1 几种常规的气体光谱分析仪

对于碳的氧化物、硫的氧化物、氮的氧化物和臭氧这几类重要气体的探测来说,有一些常规光谱分析仪器可供使用。如 ML-9810 臭氧分析器是一台紫外光度计,能准确而可靠地测定环境空气中的臭氧浓度;ML-9850 二氧化硫分析器采用紫外荧光技术,能可靠地测定 SO_2 浓度;ML-9841 A 型氮氧化物分析器,采用化学发光方法,能可靠分析一氧化氮、二氧化氮等氮的氧化物;ML-9830 一氧化碳分析器,采用气体滤波相关性技术,能准确可靠地测定一氧化碳的最低浓度。这些仪器仅能做局部定点测量。为了能扩大测量样品的种类和测量范围,能在危险、不易接近或遥远的地方监测污染物,需要用其他的光谱技术来满足环境污染监测的要求。

3.2 激光诱导荧光(LIF)

虽然吸收光谱可用于测量污染成分,但灵敏度很低,对激光的输出稳定性要求高。因此,有必要采用与吸收光谱类似的其他光谱技术。用一定波长的激光辐照待测粒子,使其成为激发态。当粒子由激发态返回基态时,将辐射光子,用光电倍增管探测这些荧光光子,这就是激光诱导荧光的方法。调谐激光波长使它通过分子的适当的吸收谱带,收集从样品中发射的全部荧光,并把荧光强度描绘成激光波长的函数,可以得到荧光激发光谱。在这种情况下,由于样品对激光有吸收,就发射荧光,对激光没有吸收,就不发射荧光,所以,样品的荧光发射谱就相当于它的吸收光谱。从这些数据获得的信息与样品的激发电子态有关。把激光波长固定在样品的特殊吸收波长上,用单色仪对样品发射的荧光进行色散,把荧光强度描绘成单色仪(发射)波长的函数,可以获得样品的荧光发射光谱。用它可以确定样品的基态特性,根据光谱分出热谱带和冷谱带。

激光诱导荧光方法具有光谱分辨高、空间分辨也高的优点,在燃烧过程和大气测量方面有重要应用。从荧光的强弱可以得知粒子的多少,测量粒子的

浓度;利用其空间可分辨性还可得到粒子的空间浓度分布。用激光诱导荧光方法可以得到新生产物的温度或粒子温度的空间分布。为了减少发动机和其他燃烧系统的排放物对大气的污染,需要精确监测燃烧区的温度,测量燃烧产物的分布和浓度。他们的燃烧产物包括二氧化碳、一氧化碳、氧、各种碳氢化合物和氮的氧化物等。现在,人们已经用窄带可调谐的激光诱导荧光系统完成了这一工作^[5]。美国军方利用 LIF 光谱技术识别生物气溶胶,研究和开发生物气溶胶荧光光谱分析仪^[6,7]。此类仪器有可能用于对大气中多环芳香烃碳氢化合物的含量作出评估。利用激光诱导荧光方法已对 Cl, Br, ClO, BrO, OClO, ClOCl 等原子、分子和自由基进行了光谱和动力学研究。

3.3 激光质谱法

这里提到的激光质谱法是用激光产生离子,用质谱仪来探测离子的方法。共振增强的多光子电离光谱(REMPI)选用适当波长的强激光与分子相互作用,使基态分子相干的吸收若干个光子跃迁到某一激发态。处于激发态的分子继续吸收激光向更高的激发态跃迁,直到发生电离。本文说的质谱仪为飞行时间质谱仪。它由离子源区、自由飞行区和离子探测器三部分组成。离子源中光电离产生的离子由引出电场引进加速区。各种不同质荷比的离子在加速区中经同一加速电压作用后,得到相同的能量。然后,在自由飞行区作自由飞行至离子探测器而被探测。由于动能相同而质量不同的离子具有不同的速度,它们到达探测器的时间也就不同。根据记录下来的离子强度和时间的关系,可以确定被检测到的离子的质量。与常规质谱法相比,它结构简单,质量范围大,测量速度快。

用于环境探测的激光质谱仪法多采用紫外双光子电离,需要两个光子(同色或双色激光),一个用于激发,另一个用于电离。用它可探测海水中的污染物、汽车的排放物以及大气气溶胶中的多环芳香烃化合物等^[8]。张莲蒂等人利用激光质谱法对汽车尾气进行测量分析,测量结果如图 1 所示^[8],相应的质谱峰有: $M/Z = 28, 44, 78, 92, 106$ 和 120 , 分别对应于一氧化碳/氮气、二氧化碳、苯、甲苯、二甲苯和三甲苯。

3.4 激光拉曼散射

拉曼散射,是一种容易实现的和相当简单的光谱技术,它需要一台固定频率的激光器和单色仪。当频率为 ν_0 的光子把分子从初始态激发到某一虚态

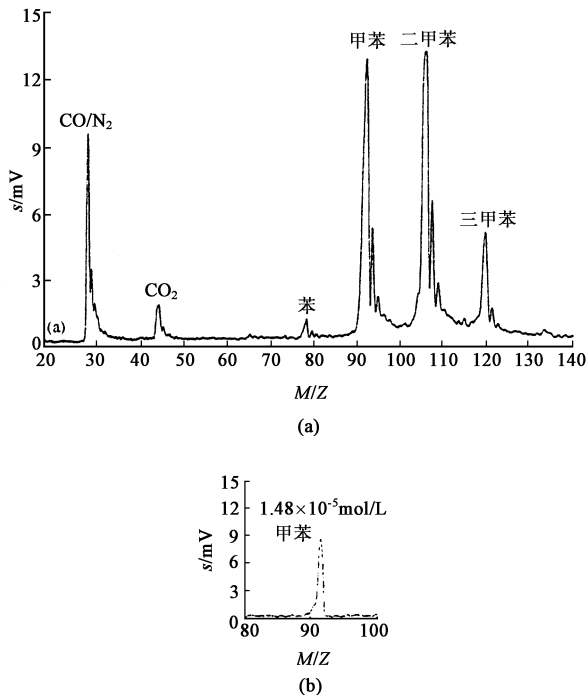


图1 机动车尾气在波长为 266nm 激光作用下飞行时间质谱图(a)和定标标准图(b)

时,在它的散射光中,有与入射频率相同的瑞利散射光,还有频率为 $\nu_0 \pm \nu_1, \nu_0 \pm \nu_2$ 等的散射光存在,这种散射称为拉曼散射.其中,位于入射光长波方向的拉曼散射为斯托克斯线,位于入射光短波方向的拉曼散射为反斯托克斯线.

拉曼频移与分子的振动频率相对应,不同种类的分子具有不同的拉曼频移.因此,利用拉曼光谱可以测量分子振动,可以识别污染物的组分,鉴定化合物的结构基团,判断化学键的性质及其变化.另外,由于拉曼谱线的强度与入射光的强度和样品分子的浓度成正比,可以利用拉曼谱线进行定量分析.采用拉曼散射光谱作定量分析的优点是具有较高的准确度,可应用于水溶液样品,同时测量多组分^[9].以煤为燃料的电厂的排放物中含大量的一氧化碳、二氧化硫以及氮的氧化物.以前用不同的光谱仪器去测量它们,现在用一台拉曼光谱仪就能做到^[10].美国陆军实验室准备把声光调谐滤波器用于探测环境气体,并用它研制出一台全固化的拉曼光谱仪,用于 10^{-6} 量级的神经战剂和化学污染物的测量.新开发的紫外拉曼光谱仪可用于探测水中的多环芳香烃(PHAs)有机化合物^[11].近年来,由于拉曼光谱仪采用了全息光栅滤波器、低噪音的 CCD 相机、紧凑的全固态激光器、光学纤维、计算机和逐步完善的拉曼

光谱数据平台等,使它可进行单点和多点测量,在线分析和遥感测量,常规测量和在危险地点测量,提高了它的测量速度和精度.与此同时,它的应用范围也不断扩大:如过程控制,环境监测,成像光谱,拉曼显微以及生物肿瘤采样等^[12].路铁群等人用他们研制的激光拉曼机动车综合测试仪测量了机动车尾气的激光拉曼散射谱(见图 2)^[24],他们清楚地分辨出 $\text{CO}_2, \text{O}_2, \text{NO}_2, \text{NO}, \text{CO}, \text{N}_2$ 和 H_2S 分子的拉曼光谱.

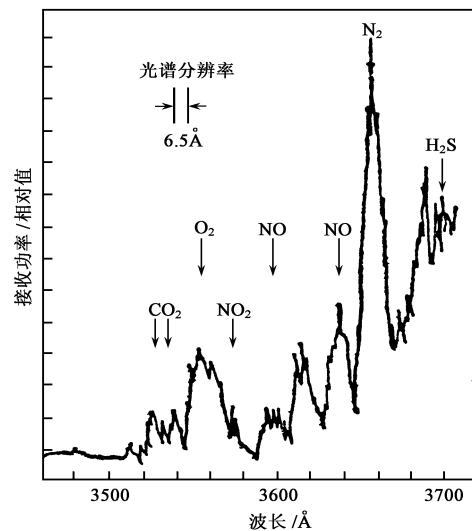


图2 机动车尾气激光拉曼散射光谱

3.5 差分光学吸收光谱(DOAS)

差分吸收光谱的基本原理是利用待测分子的吸收特性来测量气体的浓度.采用两束波长相近的同轴激光,一束激光的波长选在待测气体的吸收波长;另一束激光的波长选在测量气体的低吸收处,测量气体对它吸收很小或者没有吸收.从两束激光回波强度的差异中可以得到待测分子的吸收,确定待测分子的浓度.

DOAS 系统采用紫外可见光谱灯作光源,由球面反射镜准直成平行光出射,传输一段距离之后,由望远镜系统接收,经光纤耦合导入分光系统,用光栅光谱仪得到吸收光谱.将它们与标准浓度的参考光谱比较,可计算出浓度.一般说来,DOAS 方法只能对具有窄带吸收的光谱特征的分子进行浓度测量^[13].瑞士 OPSIS 公司和美国热电子公司销售的 DOAS 系统,可用于城区大范围内的各种污染分子的同时监测;也可用于化工厂、水泥厂排放物的监测和控制.德国海德堡大学利用地基、机载和星载的 DOAS 技术测量对流层中的 NO_x 和 CO_2 ,以及平流层中 ClO 和 BrO 的分布情况^[14];研究北极平流层中 O_3

物理

的破坏过程以及测量大气中 OH 等自由基的浓度。

3.6 傅里叶变换红外光谱吸收技术

FTIR 技术长期以来用于化学分析和获得许多化学成分的光谱信息,包括大的有机分子或者酸性有机物质,如丙烯醛、苯和氯仿等。对于特征吸收光谱在红外大气窗口 $3-5\mu\text{m}$, $8-12\mu\text{m}$ 内的分子都可以采用 FTIR 方法进行其浓度的探测。

在测量中,它的红外光准直成平行光射出,传递一段距离后,由望远镜系统接收,传递到干涉仪上,而后会聚到红外探测器上。它的迈克耳孙干涉仪,将光束分成两束射到各自的反射镜上,其中一面镜子可前后移动,使两束光产生相位差,相位差由光束的光谱成分决定。具有相位差的两束光干涉产生信号幅度变化,形成干涉图,通过快速傅里叶变换获得气体成分的光谱信息。用 FTIR 技术可以同时获得测试样品中全部光谱数据,它没有分光元件,不用光谱扫描,可同时测量多种分子。这种技术已用于测量火山爆发时的喷出物的成分,如 H_2O , CO_2 , HCl 和 H_2S 等^[15],测量各种燃烧条件下的排放气体,确定一些分子如 H_2O , CO_2 , CO , CH_4 的浓度和温度^[16]。

4 激光雷达用于环境污染监测

激光遥感测量是激光光谱学的重要应用之一,它开始于 20 世纪 60 年代,现已进入实用阶段。激光遥测的基本原理与无线电雷达基本相同,由于它以激光束代替无线电雷达中的射频电磁波束或微波束,所以这种测量设备称之为激光雷达。一般说来,激光雷达系统由激光器、发射光学系统、接收光学系统和检测系统组成。由于激光雷达信号中包括瑞利和米氏散射、拉曼散射和荧光信号等,因此,测到的信号可以反映目标状态的各种信息。

激光雷达的主要应用领域为:测量风的剖面特征,目标的获取、跟踪和定位,监测大气污染、遥感化学战剂和生物战剂。差分吸收激光雷达(DIAL)和荧光激光雷达已用于监测大气污染和遥感化学战剂与生物战剂,它是一项非常重要的研究和开发领域。

4.1 差分吸收激光雷达(DIAL)

差分吸收雷达(DIAL)是根据差分光学吸收光谱学的原理研究和开发出来的,可以用来测量分子的吸收光谱。其中最典型的例子是用它来测量某种特殊的化学物质。该雷达可发射两束短脉冲激光,它们的波长略微不同。待测化学物质对波长为 λ_{on} 的第一束激光有高吸收,对波长为 λ_{off} 的第二束激光不吸收。当吸收光束和参考光束经过待测物质反射后进

入 DIAL 的探测系统时,分别记录它的强度和到达时间,然后,再经过一定的数学运算来获得待测化学物质浓度方面的信息^[17]。如果在垂直和水平扫描中,在 10 到 20 个方向上进行重复测量,就可获得二维或三维的空间分辨数据。

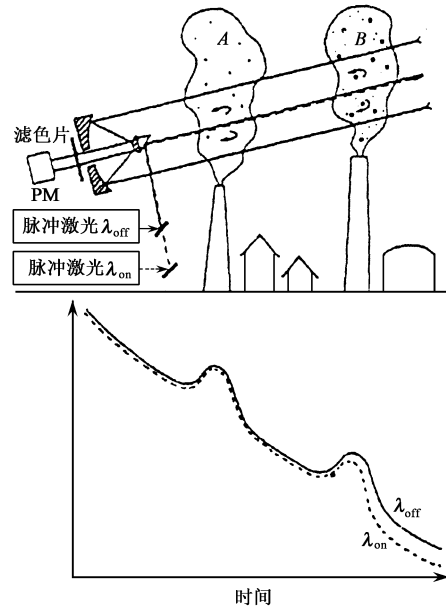


图 3 差分吸收激光雷达的基本结构示意图^[13]

图 3 为差分吸收雷达的基本结构示意图,使用脉冲激光器,如重复率高和输出能量稳定的 XeCl 准分子激光器和 Nd:YAG 激光器的激光束射入空气后,被待测气体后向散射回来,由望远镜系统会聚接收。1994 年,科学家在希腊雅典用 DIAL 雷达,测量了该市上空的光化学雾,获得了一些大气污染物空间分布的数据,如 SO_2 、 NO_2 、甲苯、苯、臭氧和气溶胶等^[17]。瑞典正在利用激光雷达探测海岸线、近海水域海底的地貌以及海水的污浊程度等;美国利用差分吸收光谱系统探测有毒废料的地理位置,用红外半导体激光雷达评价土壤和空气的质量。有些红外激光雷达可以探测多种化合物。德国、瑞士、意大利、奥地利以及斯洛伐尼亚的科学家在欧共体的资助下,用差分激光雷达系统测量阿尔卑斯山地区的臭氧和气溶胶的浓度^[18]。1999 年,法国和德国研究和开发太瓦级的白光脉冲雷达系统,准备用于监测大气污染^[19]。在 $3-13\mu\text{m}$ 光谱范围内,用半导体激光器作差分吸收激光雷达的光源,获得了满意的测试结果。因此,他们认为半导体激光气体传感器将成为一种行之有效的早期报警系统^[20]。胡欢陵等人曾利用 UV-DIAL 给出了试运行和常规运行两个阶段得

到的平流层臭氧垂直廓线的部分测量结果(见图4)^[21].它们显示出平流层臭氧变化的一般特征,即峰值位于20至25km处,峰值区以上臭氧浓度逐渐减少.

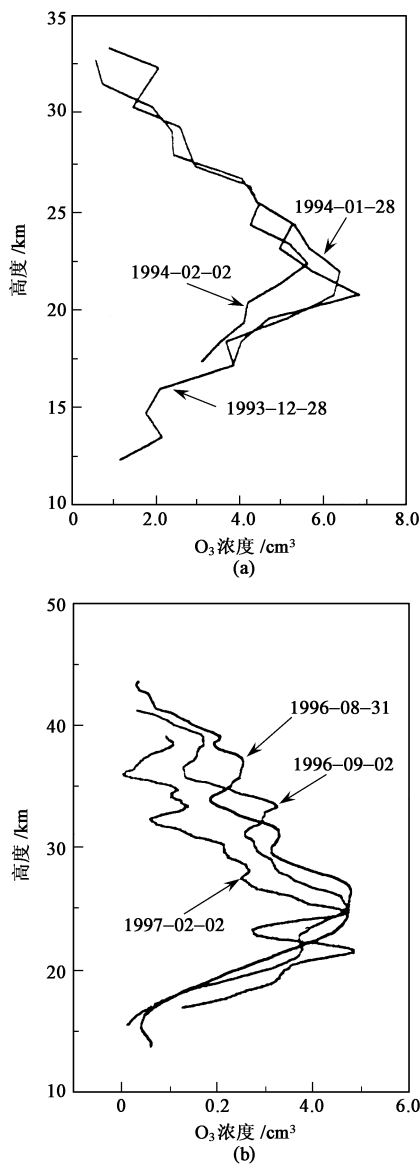


图4 UV-DIAL测量平流层臭氧部分结果

4.2 激光荧光雷达

荧光雷达是根据激光诱导荧光光谱原理研究和开发出来的,图5是常用的激光荧光雷达示意图,它用来接收来自探测目标的荧光信号.荧光是激发态分子的自发射光,许多分子,特别是大量的芳香族分子、燃料及其他的油类化合物,在光的激发下都有荧光发射,而不同种类的分子有不同的荧光谱.分子的荧光谱的位置和带宽通常是固定的,它们相对于激发光的波长有一红移.荧光雷达就是根据这些特

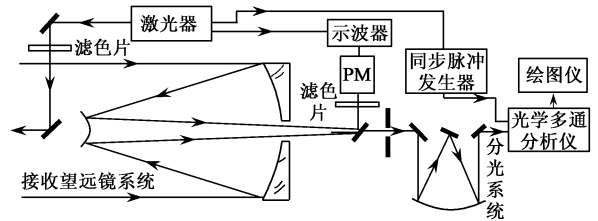


图5 常用激光荧光雷达示意图^[9]

征荧光光谱来对不同的分子进行鉴别的.时间分辨荧光光谱技术是荧光雷达中常用的光谱技术.它采用紫外脉冲激光来激发待测的化学物质,所发射的特征光谱可用于待测化学物质的浓度测量.

众所周知,石油是海洋的最为普遍的污染物之一,环境保护要求监测散落和扩散到海洋中的石油.基于油类分子的荧光特性,常用荧光雷达检测油和水环境中的有机溶解物质.氮分子激光器和准分子激光器可用作紫外荧光雷达的光源,而水的拉曼信号可作为定标信号^[9].由荧光雷达获取的海水的光谱信号示于图6中,它的激发波长为532nm,是Nd:YAG激光的二次谐波.另外,病菌和病毒等都含有蛋白质,而蛋白质又包含了在紫外光谱范围内发射特征荧光的色氨酸等,所以上述技术可用于生物气溶胶和生物战剂的探测.1994年,美国陆军爱德华研究和开发工程中心用一台紫外荧光雷达系统对生物气溶胶进行遥感探测和模拟探测^[22].他们用266nm的激发光源,探测到生物气溶胶粒子的弹性散射光、荧光激发光谱和色散发射光谱数据.生物气溶胶粒子的浓度可以利用收集到的荧光信号与大气中的 N_2 和 O_2 分子的拉曼信号之间的关系来决定.1996年,美国陆军化学和生物战剂防御指挥部与弗

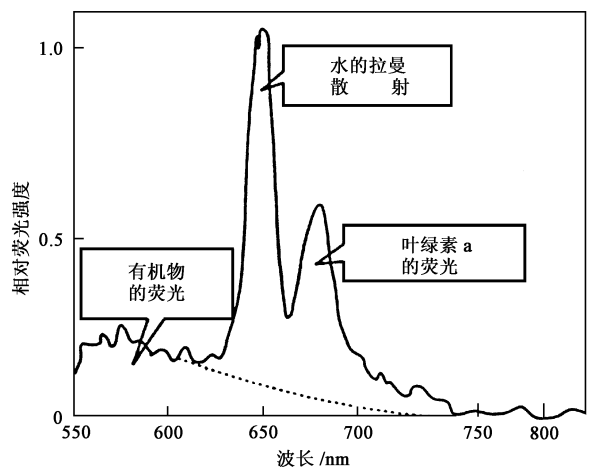


图6 用激光荧光雷达从海洋中获得的光谱信号^[9]

吉尼亚州郝恩登光纤技术公司联合研制用于探测生物战剂的荧光雷达系统,他们用 289nm 的激发光源,对生物气溶胶云进行跟踪和探测,区分生物气溶胶粒子和非生物气溶胶粒子^[23].他们还用长距离的生物传感器系统,测量了 30km 处的气溶胶云团.

5 国内大气污染光谱探测研究进展

近年来,我国政府和企业十分关注环境保护和生态平衡,科研单位和环境保护部门在大气污染的光谱探测研究方面作了大量的研究工作,取得了一些进展.这里简单介绍一下中国科学院安徽光学精密机械研究所的工作.长期以来,他们从事大气环境污染机理的激光光谱研究,大气光学研究,大气环境污染的光谱探测技术研究,以及包括激光雷达技术在内的激光遥感研究等.1985年,第一个用 CO₂ 激光红外差分吸收雷达,在上海金山石化总厂,对乙烯进行现场实时连续探测,达到了指标要求.1991年,用 N₂ 分子激光器为光源的荧光激光雷达测量了海洋的石油污染和陆地上的植被分布.1993年以来,用自己研制的紫外激光差分吸收雷达,在合肥地区对平流层臭氧廓线进行常规探测,积累了一批测量资料.今年,安徽光学精密机械研究所研制出车载紫外差分吸收激光雷达,可以流动监测城市上空的大气污染.不久前,该所利用紫外差分吸收光谱法,又开发出烟道 SO₂ 在线监测系统.最近,又研制出一台小型化的可移动激光质谱装置,可以对机动车辆尾气中的芳香类物质进行多组分实时测量,它有望用于气溶胶中的多环芳香烃有机化合物的测量.另外,安徽光学精密机械研究所正在用各种光谱技术对平流层的臭氧耗减、酸雨和光化学雾形成过程中所涉及到的分子、自由基和化学过程进行探索研究.该所的大气臭氧探测及其高度分布特征和变化规律研究,对于中层大气光化学、全球环境变化、大气辐射平衡、大气气候模式以及大气传输有重要的实际意义.探测大气污染的拉曼散射激光雷达也正在研究和开发之中.上述有关项目的研究进展将在以后的文章中加以介绍.

6 结束语

现在,科学家们正利用从紫外到近红外光谱范围内的各种光源和光谱技术进行大气环境污染监测.事实上,用得比较多的还是激光诱导荧光、拉曼散射和差分吸收光谱技术等.激光诱导荧光技术既

可以用于研究污染分子,也可用于研究生物气溶胶和生物战剂,拉曼散射多用于近距离的高浓度的污染源的探测;然而,在这三种方法中,差分吸收光谱技术监测灵敏度比较高,可以达到 10⁻⁹,它多用于长距离和大区域的探测,可以测量多种重要的污染物,测量范围可以从几十米到数公里.激光雷达可用于化学和生物战剂的遥感探测,而它的最文明的应用则是环境污染监测.总之,由于光子学的发展而派生出来的大气光学、环境光学和生态光学将帮助人类揭开环境的秘密,创造一个更加舒适和美好的生存环境.

参 考 文 献

- [1] 王明星.大气化学.北京:气象出版社,1999.5[Wang M X. Atmospheric Chemistry. Beijing: Weather Press, 1999.5 (in Chinese)]
- [2] Molina M J. Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 1996, 35: 1778
- [3] Rowland F S. Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 1996, 35: 1786
- [4] Crutzen P J. Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 1996, 35: 1758
- [5] Margalith E *et al.* Photonics Spectra, 1997, 31(3): 94
- [6] Nachman P *et al.* Appl. Opt., 1996, 35: 1069
- [7] Chen G, Nachman P, Pinnick R G *et al.* Opt. Lett., 1996, 21: 1307
- [8] 张莲蒂,魏杰,郑海洋等.科学通报, 2000, 45(16): 1785 [Zhang L D, Wei J, Zheng H Y *et al.* Chinese Science Bulletin, 2000, 45(16): 1785 (in Chinese)]
- [9] 陆同兴,路铁群.激光光谱学技术原理及应用.合肥:中国科学技术大学出版社, 1999.340—350[Lu T X, Lu Y Q. Principle and Application of Laser Spectroscopic Technique. Hefei: Press of USTC, 1999.340—350 (in Chinese)]
- [10] Tatterson K G. Photonics Spectra, 1997, 31(10): 48
- [11] Asher S A, Chi Z. Laser Focus World, 1997, 33(7): 99
- [12] Denton B. Photonics Spectra, 1997, 31(1): 96
- [13] 谢品华,刘文清,魏庆农.量子电子学报, 2000, 17(5): 389 [Xie P H, Liu W Q, Wei Q N. Chinese J. Quantum Electronics, 2000, 17(5): 389 (in Chinese)]
- [14] Harder H. Geophys. Res. Lett., 1998, 25: 3844
- [15] Oppenheimer C. Appl. Phys., B, 1998, 67: 505
- [16] Jory H. SPIE., 1998, 3493: 2
- [17] Bourdon A. Photonics Spectra, 1997, 31(3): 102
- [18] Grant B. Photonics Spectra, 1998, 32(4): 120
- [19] Brinkmann U. Laser Focus World, 1999, 35(11): 36
- [20] Tatterson K G. Photonics Spectra, 1998, 32(4): 110
- [21] 胡欢陵,王志恩,吴永华等.大气科学, 1998, 22(5): 701 [Hu H L, Wang Z E, Wu Y H *et al.* Scientia Atmospherica, 1998, 22(5): 701 (in Chinese)]
- [22] Christesen S D. SPIE., 1994, 2222: 228
- [23] Mendonsa R A. Photonics Spectra, 1997, 31(2): 20
- [24] 路铁群.私人通信(Lu Y Q. The private communication)