

激光荧光遥感系统在地物 识别上的应用研究

徐彬彬 李德成 石晓日 周斌

(中国科学院南京土壤研究所)

沈玉其

(中国科学院南京分院)

朱永豪 张崇静 吴荣 刘南英

(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

摘 要

应用我国自行研制组装的激光荧光遥感系统,测试了包括岩石、土壤、植物、水体以及人工建筑材料在内的各种样品的激光诱导荧光光谱。研究表明,应用地物荧光峰的位置、强度及它们的组合指标,不仅能区分上述各基本类型的地物,而且还能往下级单元续分。还表明,激光荧光遥感系统具有相当广泛的应用前景,在某些方面可望超过当前常用的、以反射光谱为基础的被动式遥感。

关键词 激光荧光遥感 地物分类

地物识别是遥感应用研究的重要课题之一。作为近年来新发展的一种主动式遥感技术,激光荧光遥感系统的应用潜力正受到日益广泛的重视。虽然已有利用这类系统分别进行不同种类的油污、岩矿及植被识别的报道^[1-4],但大多属同一大类地物内的识别。然而,地物的空间分布是十分复杂的,往往重叠交错,互为背景。因此,在应用这种全新的遥感系统之前,必须首先研究地面上基本地物的激光诱导荧光光谱特征及其应用识别的可能性。本文就是为此目的而进行的初步研究结果。

一、试验设计

1. 系统简介

本研究所用的激光荧光遥感系统由中国科学院安徽光学精密机械研究所研制并组装。该系统主要由四大部分组成:氮分子激光器、高压脉冲驱动器、发射接收系统及光学光谱分析仪。测试时,由系统向目标发射波长为337nm的激光,诱导目标辐射出荧光,再由系统接收和处理,最后获得该目标的激光诱导荧光光谱(简称为LIFS)。有关

该系统的具体性能和参数详见参考文献[5]。

2. 样品收集

众所周知, 地球表面的基本地物是岩石、土壤、植被、水体及人工建筑材料。因此, 本研究也按上述大类收集样品和测试。对每一大类的样品, 再根据样品收集的可能性和样品的代表性取若干种, 并适当考虑必要的重复。

(1) 岩石类: 主要有花岗岩、辉岩、辉长岩、玄武岩、灰岩、砂岩、片麻石和角闪岩等。

(2) 土壤: 全国各地具有代表性的风干原状土样和经过研磨并过 20 孔筛 (粒径 < 0.84mm) 的粉碎状土样。如黄棕壤、水稻土、黑垆土、黄土等。此外, 还采集了一些新鲜原状土 (如黄棕壤等) 进行测试。

(3) 植被: 合肥地区 (属亚热带地区) 的乔木 (针叶和阔叶)、灌木、草类、农作物和蔬菜等植被的活体叶片。此外, 还测试了新疆地区的一些盐生植被的干样。

(4) 水体: 主要有塘水、湖水等自然水体以及蒸馏水等。

(5) 人工建筑材料: 包括红砖、黑瓦、水泥构件以及柏油路面等。

3. 测试方法

该系统既可用于室内测试, 也可用于野外测试。本文引用的结果均为室内获得。测试时, 如样品为岩石、块状土壤、植被活体叶片等时, 将其自然面 (注意表面适当平整) 直接置于光路中; 如为水体及粉碎状土样时, 则将其置于样品池或样品盒, 再置于光路中进行测试。无论哪种测试方法, 均要求样品的表面积大于激光束的光斑面积。

二、各类基本地物的激光诱导荧光光谱及其特征

由于物质的荧光光谱与其分子结构和吸收特性有关, 因此, 每一种物质都将具有一定的荧光特征。本文不准备详细叙述每一个测试样品的荧光光谱, 仅将其各基本大类的特征予以研究比较。

1. 岩 矿

由于各种岩石之间在化学组成、晶体结构和状态, 乃至颗粒大小上的差异, 因此岩石的荧光光谱较为混乱 (图 1)。

已测得的结果表明, 不同岩石的荧光光谱在谱形、峰位、峰宽及强度上均有较大的差异。如谱形, 除花岗岩外, 一般岩石多为单峰形, 峰位则在 425—580nm 范围内。再如强度, 富铁矿物 (如黄铁矿等) 的荧光强度极弱, 难于观察到, 而岩石的荧光强度竟可强于黄铁矿 10^4 倍以上, 但大部分岩石的荧光强度相对于其它样品而言, 还是较弱的, 其峰与谷的比值约为 4 左右。

2. 土 壤

据本研究所测得的各种土壤的激光诱导荧光光谱来看, 绝大部分土壤的谱形一般均

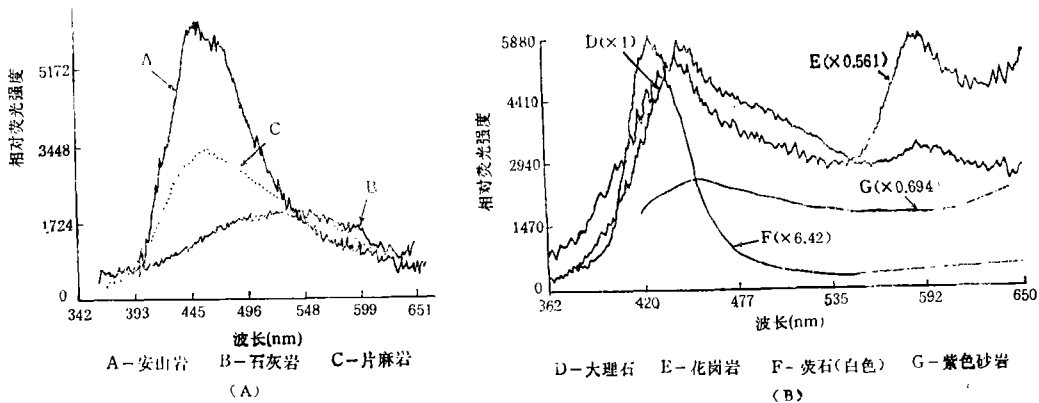


图1 几种岩矿的激光诱导荧光光谱

部分曲线引自孙修洪等撰写的研究报告: "Sensing of Minerals and Rocks from a Distance Using a Laster Fluorosensor".

Fig.1 Laser induced fluorescence spectra of some rocks and minerals

从 400nm 起逐渐上升, 到 450nm 左右形成一平缓的峰, 随后逐渐下降, 至 600nm 左右

为最低, 后又继续抬升, 整个谱形 (在 400—700nm 内) 呈“单峰平缓型”。一般来说, 土壤的荧光强度与岩石不相上下, 也较弱, 但其峰与谷的比值比岩石更低 (图 2)。研究表明, 土壤的荧光强度与其有机质、粘粒、水分等的含量有一定的关系^[6]。

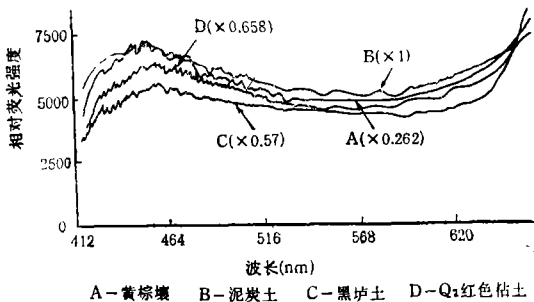


图2 几种土壤的激光诱导荧光光谱

Fig. 2 Laser induced fluorescence spectra of some soils

3. 植被

凡是绿色植被, 无论是林、灌、草, 还是农作物和蔬菜, 其激光诱导荧光光谱一般均在 440, 685 和 740nm 三处各具一个峰 (图 3)。有文献报道, 针叶树在 525nm 处还有一个峰^[7], 但我们的测试结果却并非完全如此, 松与柏之间还有差异, 尽管它们都属针叶树^[8]。已知 685 和 740nm 处的两个峰分别来自光合作用系统 II 和 I 中叶绿素 a-蛋白质的复合物, 表征 440nm 峰的物质则至今未被确认, 一般认为属胡萝卜素。植被的荧光强度与其叶绿素含量成正向关系, 与其光合效率成反向关系^[7]。植被的荧光强度一般很高, 可以达到土壤荧光强度的数倍以上。

E. W. Chappelle 等认为, 利用植被荧光光谱中各个峰的强度以及不同峰的强度之间的各种组合关系, 可以区分单子叶与双子叶植物、针叶林与阔叶林^[7]。我们的研究结果则表明, 利用植被的荧光光谱, 可将针叶、阔叶、灌草、稻麦及其它农作物予以区别^[8]。

4. 水体

纯净的水不产生荧光 (如图 4 中去离子蒸馏水的荧光光谱), 仅在 375nm 左右呈现

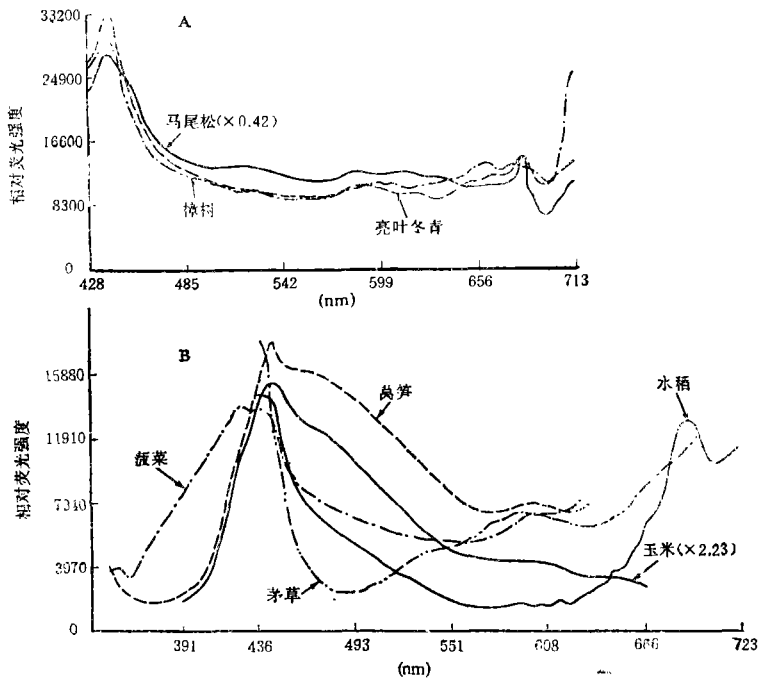


图 3 几种植物的激光诱导荧光光谱

Fig. 3 Laser induced fluorescence spectra of some plants

出尖锥状喇曼峰，其余波长上几乎无响应，而自然水体的荧光则取决于水中的泥沙、叶绿素含量等因素。如图 4 中比较洁净的水库水，由于含有微量的叶绿素，而产生一定的荧光响应，在 740nm 处呈现一个明显的小峰。对人工配制的系列叶绿素浓度溶液的激光诱导荧光光谱的分析也表明，水体荧光光谱与其内各种成分的含量有关（图 5）。此外，一旦水体受到外来油类污染，其荧光光谱也将产生一定的变化¹⁾。

5. 建筑材料

图 6 是几种常见的人工建筑材料的激光诱导荧光光谱。由图可见，由粘土制成的红砖、黑瓦等的荧光光谱与土壤较为一致，也呈

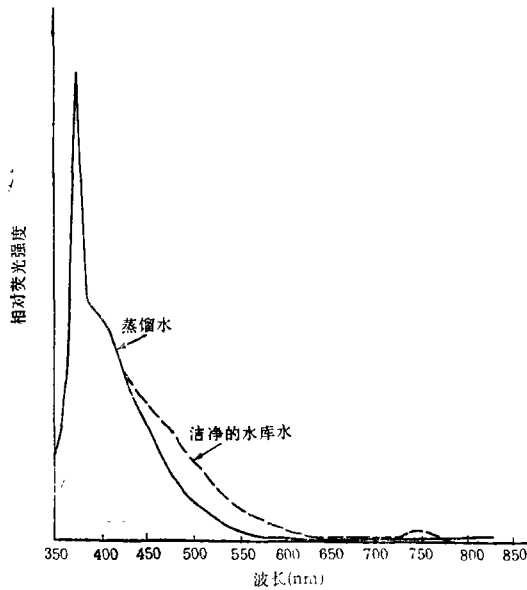


图 4 水的激光诱导荧光光谱

Fig. 4 Laser induced fluorescence spectra of water

1) 荀毓龙等, In Situ Determination of Oil-Spills Using a Laser Fluorosensor.

“单峰平缓型”，峰位也在 450nm 左右，峰与谷的比值也较低。而水泥的荧光光谱则在

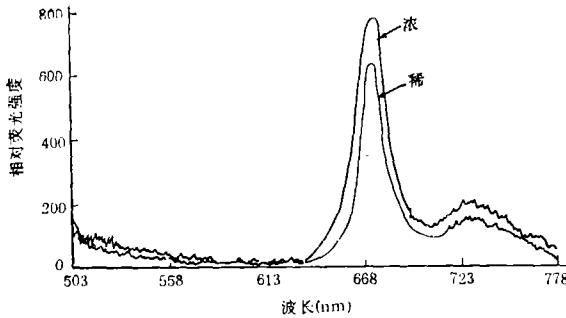


图 5 不同叶绿素浓度溶液的激光诱导荧光光谱

Fig. 5 Laser induced fluorescence spectra of chlorophyll at various concentrations

此，可以认为，470—500nm 左右的峰是沥青类物质引起的。

三、遥感识别地物的可能性

通过对上述几个基本地物类型的激光诱导荧光光谱特征的初步归纳可以看出，应用激光荧光遥感系统识别地物具有一定的潜力。从现已掌握的资料看，可从荧光光谱中获取诸多信息充作地物识别指标，如荧光峰位、荧光强度、荧光峰形（半峰宽度等）、荧光峰间和峰谷间的强度比值等。

图 7 是本研究以 N_2 激光作光源所得出的、以利用荧光峰位为主的地物分类枝状图。由图可见，在整个可见光波段中，利用各类地物的激光诱导荧光光谱中的峰位，除了可将水体、植被和无植被覆盖的地面予以区分外，还可对某些类进行续分。如水体，可按在可见光波段及 680 和 740nm 处有无荧光峰而将洁净的水、含叶绿素的水和含油污水予以识别。再如岩石，虽然它的谱形较为复杂，但仍可看出，火成岩中的喷出岩（如安山岩、流纹岩等）峰位一般在 450—470nm，而火成岩中的深层岩（如辉岩、橄榄岩等）峰位一般在 550nm。同样，沉积岩和变质岩类按其产状及主要矿物等特征，也可归纳出某些趋势。

若利用荧光强度作为识别指标时，则基本地物类的平均荧光强度在可见光波段范围内依次为植被 > 岩矿、土壤、人工建筑材料 > 水体。利用荧光强度这一指标，同样可对植被和土壤类进行续分^[8, 8]。

当应用荧光光谱中峰、谷强度的比值指标时，则不仅可在植被中把针、阔叶树、灌丛、农作物等加以区分，还能监测植物的病虫害和生长状况^[8, 9]。该指标用于区分岩石和土

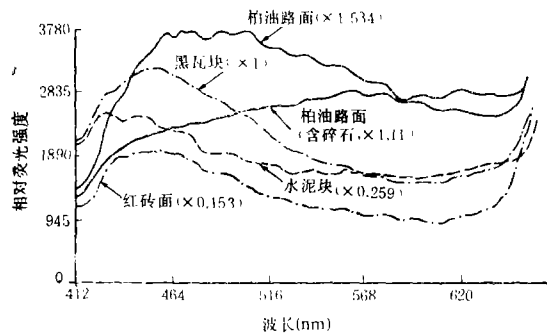


图 6 几种建筑材料的激光诱导荧光光谱

Fig. 6 Laser induced fluorescence spectra of some man-made building materials

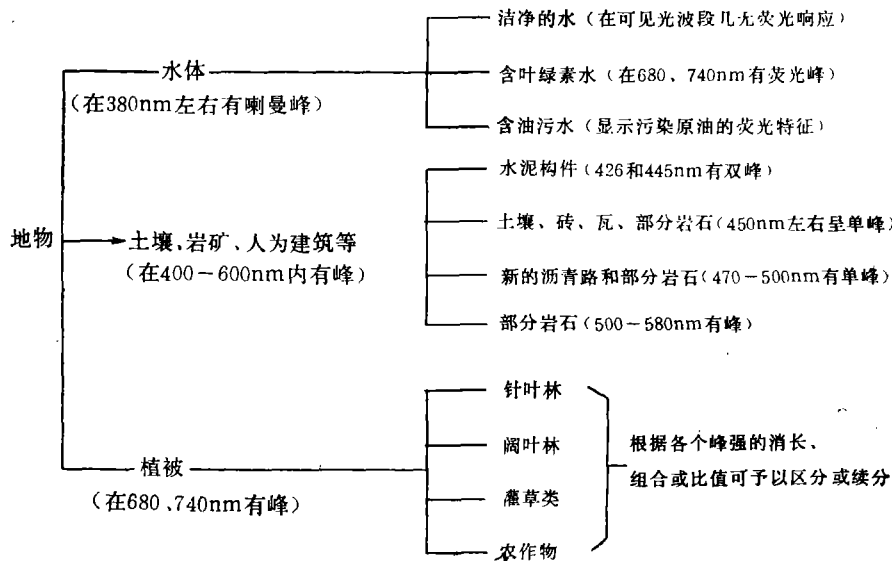


图 7 应用激光荧光遥感系统对基本地物分类的枝状图

Fig. 7 Branch-chart of terrestrial identification using remote sensing system of laser fluorescence

壤也极为有利。因为, 从已测的几十种岩石的荧光光谱看, 除少数岩石 (如砂岩、辉岩等) 的峰谷强度比小于 2 以外, 绝大部分均在 2 以上, 平均可达 4.2, 而土壤则相反, 几乎所有土壤的峰谷强度比都小于 1.5。实质上, 这个指标的差异, 从谱形上也能直观地看出, 比值大的, 曲线的峰较陡; 反之, 则曲线平缓。

实际工作时, 除了可以同时使用上述各项识别指标以提高综合评判能力外, 还可以考虑运用以下三个要素来提高分类识别的准确性和有效性。首先, 选择适当的遥感季节。因为, 在我国, 除极端干旱的地区外, 大部分地区都长有自然植被或人工栽培植物。随着气候的四季变化, 地表植物也自然的更替和繁衍, 土壤也随之周而复始的裸露乃至全覆盖。同时, 也因热量、降水、生物等的影响, 在土壤湿度等方面产生周期性变化。因此, 可根据遥感的主体对象和该地区的物候及农事历, 选择最适宜的遥感季节。其次, 可选择合适的激发波长。因为, 物质的荧光光谱有以下几个特性^[10], 其一是发光光谱对于激发光谱的独立性, 即激发波长不同, 并不影响物质荧光光谱的峰、谷波长位置, 但荧光强度却与该物质的吸收特性有关, 即激发波长不同, 会导致物质的荧光强度不同; 其二为发光的波长永远大于激发的波长, 即常说的斯托克斯 (Stokes) 位移, 利用这些特性, 我们可以选择不同的激发波长, 既可避免其它地物的干扰, 又有可能相对增加该地物在某个峰的荧光强度, 如用 470nm 作激发波长来遥感植被, 那么土壤背景的荧光峰 (450nm 左右) 将不出现, 而植被的 685 和 740nm 的荧光峰有可能会得到相对加强, 因为 470nm 正处于叶绿素 a 的吸收带中; 第三, 可考虑与 GIS 相联系, 因为, 在国内不少地区和单位已建立和尝试应用 GIS, 不乏成功之例。遥感技术不仅为 GIS 提供了可靠的信息源, 也增加了遥感本身的判读能力。本研究所涉的激光荧光遥感技术也不例外。

从本文以及本研究所获得的结果来看, 主动式激光荧光遥感系统有其独到之处, 如岩

石的激光诱导荧光光谱形和强度上的变幅, 植被的激光诱导荧光光谱对其生理生化过程反映的敏感程度均明显强于反射光谱。这无疑为该系统的应用提供了良好的前景。

参 考 文 献

- [1] Measures, R. M., *Laser Remote Sensing (Fundamentals and Application)*, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [2] Lehmann, F., et al., *Laser Remote Sensing Measurements of Natural Target Reflectivities*, IGARSS'84, Vol. 2, 793—796.
- [3] Kahle, A. B., et al., *Demonstration of an active airborne IR laser system for geologic remote sensing*, IGARSS'84, Vol.2, 797—799.
- [4] Vodacek, A., et al., *Environmental Effects on Laser-Induced Fluorescence Spectra of Natural Waters*, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 21, No. 1, 83—95, 1987.
- [5] 刘南英等, 激光荧光雷达系统的测量方法与应用, 本期增刊。
- [6] 石晓日等, 土壤激光诱导荧光遥感研究初探, 本期增刊。
- [7] E. W. Chappelle, et al. (郭云枫译), 植物的激光诱导荧光 (LIF), 国外激光进展, (1), 1986.
- [8] 张崇静等, 不同植物的激光诱导荧光光谱特征及其在遥感上的意义, 本期增刊。
- [9] 吴 荣等, 应用荧光光谱特征对受害植物判别指标的研究, 本期增刊。
- [10] 程极济, 光生物物理学, 高等教育出版社, 1987 年。

Application Study on Identification of Terrestrial Features with Remote Sensing System of Laser Fluorescence

Xu Binbin Li Decheng Shi Xiaori Zhou Bin

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Shen Yuqi

(*Nanjing Branch of Academia Sinica*)

Zhu Yonghao Zhang Chongjing Wu Rong Liu Nanying

(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia sinica*)

Abstract

Laser induced fluorescence spectra of various samples, including rocks, minerals, soils, plants, water, and man-made building materials were measured using remote sensing system of laser fluorescence designed and assembled by China itself. The study showed the locations, intensities, and their combined indices of fluorescence peaks from terrestrial features can be used not only to distinguish various terrestrial features above-mentioned, but also to distinguish their sub-unites. The study, additionally, showed remote sensing system of laser fluorescence has considerable extensive prospect of application, and can be expected, at some aspects, to exceed the currently often used passive remote sensing based on reflectance spectra.

Key words Laser fluorescence remote sensing Terrestrial classification