

海洋和水环境航空光学遥感系统

王斌永*

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘 要 本文介绍海洋环境监测的要求, 以及构成航空水光学遥感系统的三种仪器——红外/紫外扫描仪、高光谱成像仪和激光荧光系统的工作原理和应用范围。

1 海洋和水环境监测

海洋信息的获取依靠海洋监测。远距离非接触性的海洋环境监测, 主要手段有卫星和航空遥感系统。卫星遥感是一种快速大面积的海表面或表层的环境监测, 可以给出波浪场、风场、流场、温场、海面地形及水色等环境参数, 在环境污染监测中它可以监测大面积的赤潮和溢油及其漂移和发展; 航空遥感适用于中小尺度和近岸海域的环境监测, 同时具有快速、机动的灵活性。对海洋进行远距离的观测, 摄取海洋景观和海洋要素的图像或数据资料, 其原理是基于海洋不断向周围辐射电磁波能量, 同时海面也反射(或散射)太阳和人造辐射源(如雷达)照射覆盖在海面上的电磁波能量, 经专门设计的传感器接收、记录这些能量, 再经过传输、加工和处理, 就可以得到海洋的图像或数据资料。

海洋环境监测航空遥感可分为主动式和被动式两种。主动式遥感, 传感器向海面发射电磁波, 然后接收海面散射回来的电磁波, 从中提取海洋信息或成像。被动式遥感, 传感器不发射电磁波, 只接收海面热辐射能量或太阳光、天空光的散射能量, 从中提取海洋信息或成像。

航空遥感技术最早是用于河口海岸制图和近海水深测量, 之后, 遥感技术开始应用于海

上溢油污染监测, 1969 年美国用航空遥感对加利福尼亚附近的海上油膜及其扩散进行了跟踪测量。1974 年, 美国建立了航空油膜污染监测系统, 随后, 美国、加拿大开始使用激光诱导荧光技术对水污染物进行探测和分类, 并且在海面油膜的覆盖范围、油膜厚度、溢油数量和污油油种监视方面取得成功。现在世界上很多国家都建立了航空遥感海洋环境监测系统, 用来开展对海洋环境的快速监测、近海海洋调查、海岸带制图, 海洋执法等工作。

2 航空光学遥感系统

航空遥感系统应用于海洋环境监测, 已经是一种成熟技术, 在各国业务运行的海洋监测飞机上一般都装备了红外/紫线性扫描仪(IR/UV 扫描仪)。随着传感器技术、数据分析和光谱技术的发展, 在水光学遥感仪器方面, 有的国家装备了高光谱成像仪和激光荧光系统。下面分别介绍这三种仪器。

2.1 红外/紫外扫描仪

红外/紫外扫描仪是二波段扫描仪, 覆盖紫外和热红外两个部分, 采用单元探测器时, 应用扫描机构, 经飞行方向形成二维图像; 采用线列器件设计的扫描仪, 不再使用扫描结构, 随飞行方向获取机下二维图像(图 1)。

* 2000 级硕士研究生

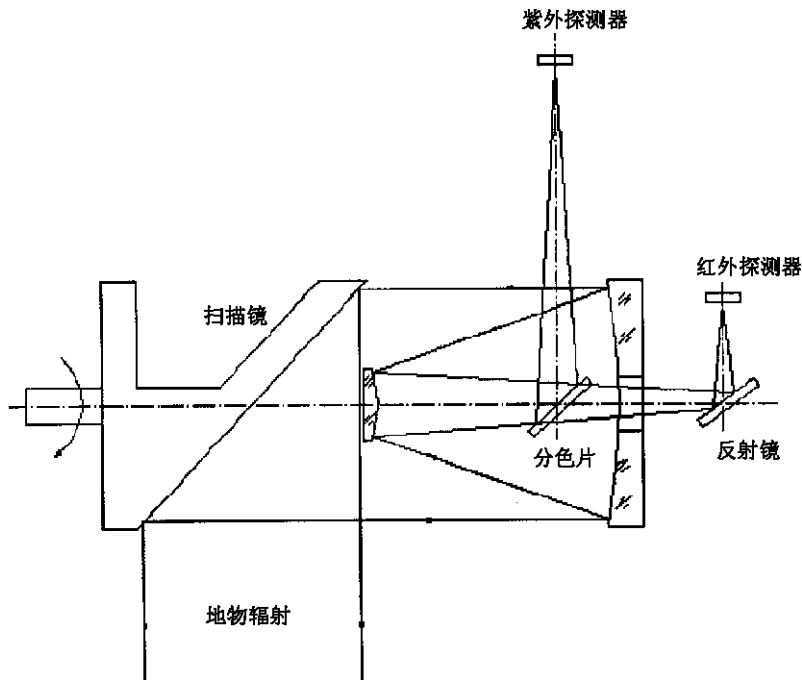


图 1 红外 / 紫外扫描仪光学系统原理图

扫描仪采用的红外和紫外，利用油膜和水的不同辐射和反射光谱特性，监测海洋、河口、海岸、港口的油污染。在 $8\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$ 红外波段，海水的发射率 ϵ 为 0.988，而大多数油的 ϵ 为 0.964 ~ 0.971。根据辐射定律， ϵ 小的物体辐射温度低，所以，在红外图像上，油膜显得比周围海水“冷”些。而在紫外波段 ($0.28\mu\text{m} \sim 0.38\mu\text{m}$)，油膜的反射率比海水高，所以在紫外图像上，油膜呈现亮色调。一般机载扫描仪采用移动窗实时观察图像，因此能够很直观地解译图像。红外 / 紫外扫描仪最早在海洋环境监测中应用，我国在 1987 年建立的航空环境监视监测系统中就集成了红外 / 紫外扫描仪。

2.2 高光谱成像仪

成像光谱技术是 20 世纪 80 年代发展起来的新兴研究领域，高光谱成像仪在经过概念设计、仪器研制、运行实验、发展和完善等几个阶段，正在进入实际应用。在海洋遥感中，光学传感器接收到的海洋水体后向散射光，携带着海水本身和水中含有的各种物质的光信息。海洋光学遥感与水体光谱特性密切相关。通过对海洋高光谱特性的测量研究，可以更准确地了解海洋光谱结构，识别海水中不同物质成分的光

谱特征，掌握近岸水域光学参数的分布、变化规律，高光谱成像仪在海洋光学遥感中的地位和作用十分明显。

在赤潮监测方面，可见 / 红外多光谱辐射计可给出赤潮发生全过程的位置、范围、水色类型、海面磷酸浓度变化及赤潮扩散、漂移方向等信息。

对海洋遥感定量分析精度的关键仍是光谱的分辨率，面对当前海洋的排污、赤潮、溢油等污染事件不断发生，人们都希望通过高光谱技术的应用对海洋环境中各种物质的成分进行定量分析。因此许多国家把图像光谱合一的高光谱技术作为海洋环境监测的发展方向。

高光谱成像仪一般采用硅探测器，面阵 CCD 器件的一维用于空间成像，另一维获取光谱信息，其工作原理如图 2 所示。

阳光照射的地物，反射光通过物镜成像在狭缝平面上，狭缝使一个穿轨方向的地物条带像通过，挡掉其余部分；此地物条带像光线经过准直镜后平行射出，经色散器件在垂直方向按光谱色散，由会聚镜会聚成像在探测器光敏面。

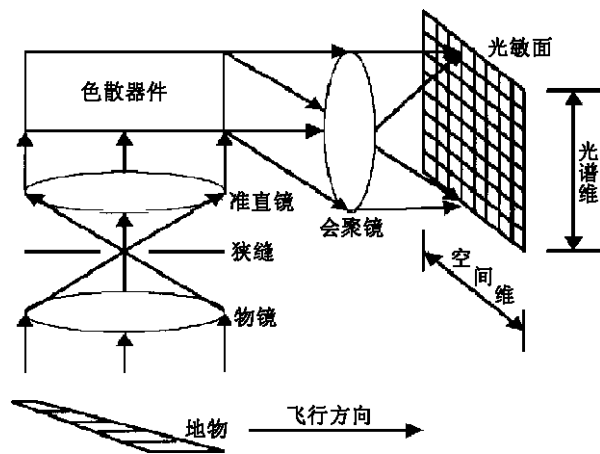


图 2 高光谱成像仪推帚成像原理

面阵探测器的行扫描与狭缝相对应构成空间成像扫描，行扫描方向的探测器列阵单元决定系统的空间分辨率。场扫描与色散方向相对应构成光谱扫描，场扫描方向的列阵单元决定系统的光谱通道。这样，面阵探测器的每场数据就是一个穿轨方向地面条带的光谱数据，加上飞机的运动就得到地面二维图像和图像中各像元的光谱数据。通常，由帧转移面阵探测器以推帚方式凝视成像的超光谱成像仪，每个像元的驻留时间与单个探测器机械扫描系统相比为推帚用的像元数倍率，这也是能够达到高光谱分辨率和高灵敏度的关键所在。

根据工作原理设计的高光谱成像仪，无运动部件，一般具 200 个以上的波段，光谱分辨率小于 5nm，覆盖光谱范围在可见近红外 (400nm ~ 950nm) 波段。

高光谱成像仪系统的定标分为光谱定标和辐射定标两部分。

光谱定标，采用一台高精度单色仪通过平行光管照射到光学头部的物镜，根据不同单色光的波长进行光谱响应数据的采集和记录，分析后汇总得到各波段光谱的中心波长。

辐射定标采用积分球作标准辐射源，其辐射充满仪器口径和视场，辐射强度由工作灯数目决定。在不同亮度的辐射下读取全部帧数据，可以得到每个像元的辐射响应曲线。

上海技术物理研究所根据海洋水色研究应用要求而研制的高光谱成像仪，已在赤潮研究、海洋油污染、水色检测等方面同国家海洋局北海分局合作，获得成功应用。目前，正根据数据评价作改进提高，向业务化系统发展。

2.3 激光荧光系统

激光荧光计是鉴别海洋油污染油种的较好仪器，一般用 $0.337\mu\text{m}$ 的氮分子激光和接收光路同轴发射，接收目标发射的荧光信号，根据荧光光谱区分油种。

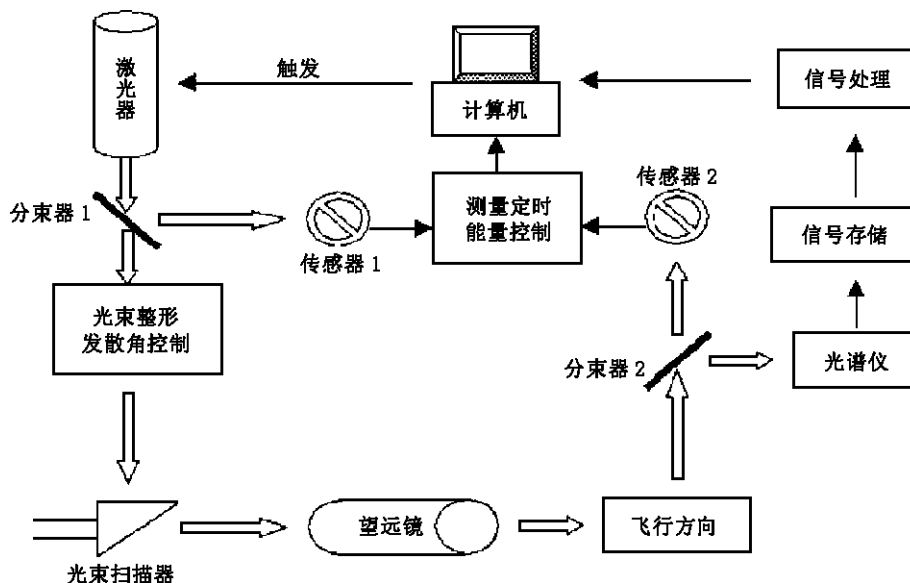


图 3 机载激光荧光系统工作原理框图

激光与海洋水体的相互作用主要是研究海水激光荧光光谱、受激喇曼散射。海洋激光雷达所激起的海水激光荧光光谱是探测海水化学组分的基本遥测方法。海水受激喇曼散射随温度增高而红移，这种物理现象是激光雷达遥测海洋表层温度剖面的有效方法，精度可达 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 。

一般激光荧光计的工作原理是，测量工作从激光器触发开始，激光器输出的一小部分被分束器分出，经探测器进入斜距测量定时和能量输出监控装置，这部分能量有两个作用，启动对靶斜距测量系统和监测激光能量输出。激光输出的主要部分则被送往光束整形和发散角控制系统，经准直后与望远镜共轴反射，由反射或折射系统组成的光束扫描器为发射与接收系统所共用。

接收部分主要包括一具孔径足够大的望远镜，目前应用较多的是 Cassegrain 型。视场控制是整个系统最重要的部件之一，可调整视场使接收器尽可能对准靶表面被激光照射的区域，为此，视场应与光束发散角匹配，以尽量阻止背景噪声进入接收器，从而使系统白天也能工作。根据具体应用条件，典型条件下，白天时可将瞬时视场设为 6 毫弧度，夜间工作时可调到 20 毫弧度。接收信号经准直后到达分束器 2，一部分通过窄带干涉滤波器进入时域测量系统；另一部分进入光谱仪供荧光谱分析所用。分束器 2 是激光雷达内部设置时域测量和频域测量的关键器件。

飞机是激光荧光雷达实践应用的主体。据文献记载，用激光雷达对海洋溢油等污染进行监控时，很多国家都有机载系统。

对机载激光雷达系统而言，在海洋环境监测中，一般采用扫描机构，减小飞机的飞行速度和高度及光束最大扫描角，可使相应的空间分辨率成比例提高，但却使单位时间的扫描面积或监测速度成比例减小；而扫描速度的提高将使沿飞机方向飞行的分辨率提高，同时使沿扫描方向的分辨率下降，因而需要综合考虑，提高脉冲重复率则可有效提高沿扫描方向的分辨率，或允许扫描速度取较大的值，从而提高沿飞机飞行方向的分辨率。

3 结束语

以上从仪器的角度说明了海洋环境监测和航空水光学遥感系统的关系。鉴于海洋主权和巡航执法，世界各国都建有自己的航空遥感监测系统，所采用的水光学遥感器可为三个仪器之一，较先进的国家将三种仪器集成为水光学遥感系统，光谱范围覆盖了紫外、可见光、热红外；被动遥感和主动遥感相结合；激光荧光计可以在夜间工作。除恶劣天气以外，该系统具有全天时工作能力。

参考文献

- [1] 环境监测激光雷达, 阎吉祥等, 科学出版社, 2001.
- [2] 地对观测技术与数字城市, 周心铁, 科学出版社, 2001.
- [3] 海洋遥感特征及其发展趋势, 李四海, 遥感技术与应用, Vol. 11, No. 2.
- [4] 机载推帚式超光谱成像仪, 王斌永, 技术物理所文集, 1998-1999.
- [5] NASA's AIRBORNE OCEANOGRAPHIC LIDAR, C. Wayne Wright, osb. wff. nasa. gov.
- [6] 海洋环境监测与现代传感器技术, 朱光文, 海洋技术, Vol. 19, No. 3.

简 讯

火炮热瞄准器

ATCOP 的火炮热瞄准器能够让主战坦克和其他战车的操作人员在白天、夜间和不利天气条件下捕获

目标。这种火炮热瞄准器原来是专门为俄罗斯制造的 T-54 和 T-55 主战坦克设计的，但现在看来它却在巴基斯坦陆军的其他一些型号的主战坦克和战车中获得了最大的成功。目前巴基斯坦陆军拥有约 700 辆 59 型主战坦克和同等数量的其他战车。

□ 顾聚兴