

激光雷达在军事及民用中的应用

刘成岳 陈美霞

早在 1917 年爱因斯坦就提出了激光的理论基础——受激辐射光放大,1960 年美国加州休斯实验室的梅曼制成了世界上第一台红宝石激光器。激光作为新型光源,具有方向性好、单色性好、相干性好以及高亮度、大功率等特点,从而成为科学研究的新手段,促进了科学技术的发展。

激光雷达是现代激光技术与传统雷达技术的完美结合,主要由发射机、天线、接收机、跟踪架及信息处理等部分组成。与传统的微波雷达相比激光雷达具有独特的优点:极高的角、距离、速度分辨率,抗干扰能力强,体积和重量小,这使其在国民经济、科技、军事等领域发挥了重要的作用,受到世界各国的关注。

激光雷达在军事上的广泛应用

导弹制导激光雷达 以惯性/GPS 装置和激光雷达寻的器为基础的制导系统,可以提供高分辨率影像,使空-地武器具有自主精确制导能力。激光雷达寻的器能形成目标的三维影像,其识别目标、轰炸目标的精度非常高,这一功能在 1991 年的海湾战争中已有应用。巡航导弹具有高核威慑力和核打击能力,是各国军界普遍关心的焦点和热点,美国休斯公司、通用动力公司和麦道公司联合为巡航导弹生产激光雷达、制导系统、地形匹配系统。激光雷达可用来取代地形匹配系统中的微波雷达高度表,并能采用多普勒速度传感技术提供高精度的低速测量数据,从而大大提高了巡航导弹的生存力。

生化战剂侦测激光雷达 生化武器是一种大规模非人道的杀伤性武器,世界各国都在积极采取有力措施加强生化战剂的探测与防范。传统的探测方法,主要由士兵携带探测装置,边走边测,速度慢、功效低,并易中毒。由于每种化学战剂仅吸收特定波长的激光,对其他波长的激光是透明的,被化学战剂污染的表面则反射不同波长的激光。根据化学战剂的这种特性,将激光雷达技术与光谱分析相结合,利用差分吸收、弹性后向散射、感应荧光等原理实现化学生物战剂的搜索、探测、识别、定量化和诊断等功能。用于生化战剂探测的激光器,主要是 CO₂ 激光器和 Nd:YAG 激光器。

超低空目标跟踪激光雷达 由于各种地物回波影响,微波雷达在探测地面或低空目标时存在无法探测的盲区。而对于激光雷达,只有被激光照射的目标才能产生反射,不存在低空地物回波的影响,同时由于激光束的方向性好、能量集中、抗电磁干扰能力强,难以受到敌方有源干扰的影响,所以激光雷达的低空探测性能好。在超低空或低空下工作时,不仅能正常跟踪,而且可得到清晰的图像。可用于导弹发射初始阶段和低空飞行目标的测量、目标姿态的测定、再入目标的测量与识别,这对于导弹发射初始阶段或水面飞行的巡航导弹的跟踪极为重要。

侦察成像激光雷达 激光雷达的工作波长是微波雷达的万分之一到千分之一。根据光学仪器的分辨率与波长成反比的原理,利用激光雷达可以获得极高的角分辨率和距离分辨率。同时激光雷达因为工作波长较短、多普勒频率灵敏度高,还具有已达到毫米每秒级的速度分辨力。致使激光雷达可获得比微波雷达清晰得多的目标图像。因此激光雷达可以捕获目标的三维图像及速度信息,再把激光雷达与红外、电视等光电设备相结合,组成地面、舰载和机载的火力控制系统,可实现对目标进行搜索、识别、跟踪和测量,广泛用于战场侦察。

障碍回避激光雷达 直升飞机在进行低空巡逻飞行时极易与地面小山或建筑物相撞,这是世界各国军界面临和力求解决的一大难题,为此各国都在研制用于地面障碍物回避的激光雷达。美国研制的直升机超低空飞行障碍回避雷达系统,使用固体激光二极管发射机和旋转全息扫描器,以及人眼安全激光技术,可探测直升机前方很宽的空域内的电线、树木、桅杆等障碍,并将地面障碍物的形状、位置、方位和距离等信息实时显示在机载平视显示器或头盔显示器上,使飞行员接收视觉报警,保障安全飞行。

水下探测激光雷达 声纳是传统的水中目标探测装置,但由于它的体积和重量过于大,给探测带来诸多不便。后来发现波长为 0.46~0.53 μm 的蓝绿激光能穿透几百到几千米的海水。1981 年,美国在圣地亚哥附近海域 12km 高度的水面上空与水下 300m 深处的潜艇间成功地进行了蓝绿激光通信试

验,这不仅打开了水上与水下联络的激光通道,也使水下的探测成为可能。激光雷达用于探测水中目标,主要是利用激光器发射大功率窄脉冲蓝绿激光,通过接收目标反射回来的回波来获取水下目标的方位、速度等参数,从而对水中目标进行警戒、搜索和跟踪,与传统声纳探测方式相比既简单精度又高。

激光雷达在民用中的应用

海水污染监测激光雷达 传统的对海洋污染的监测采取靠近海岸的海水取样带回实验室化验,这种操作方法存在无法对海水进行实时监测的缺陷,且精度不高。与传统的监测方法相比,激光雷达能对海岸附近的海水进行全天候实时监测,及时发现污染源对海水的污染程度。其原理是雷达发射器向海面射出一束激光,再通过测量反射或散射信号到达测量站的时间、强弱、频率变化等参数来确定海水成分、密度、盐浓度、浮游生物量、透明度、水温、油污染等信息,科研人员再根据这些信息来判断海水的污染程度。

大气污染监测激光雷达 工业发展和人类生活给环境带来严重影响,与人类息息相关的大气受到不同程度的污染。1948年在宾夕法尼亚州多诺拉和1952年12月在伦敦发生的空气污染事件共造成几千人丧生,大气污染监测变得日益重要。激光雷达用于大气污染监测的机理是通过被测气体对激光的散射、吸收、消光等物理作用,通过定量分析激光大气回波,来达到监测大气的目的。激光雷达可测量大气的温度、湿度、风速、能见度、云层高度、空中浮游灰尘、烟雾、城市及工矿企业上空的SO₂等污染物的排放浓度以及汽车尾气排放等。与传统的取样法监测大气污染相比,激光雷达具有高时空分辨能力、连续、实时、监测范围大等优点。用于大气污染监测的激光雷达主要有米氏(Mie)散射激光雷达、差分吸收(DIAL)激光雷达、赖曼散射激光雷达、共振荧光激光雷达。

交通管制激光雷达 激光雷达用于港口的交通管理具有相当的优越性,用扫描激光雷达可以描绘出港口和船只来往的高分辨率图像,提供显示和观测,再把海面航道叠加在显示器上,从而显示出船只的来往情况。船舰上装配有无线电通信设备,当发现一只船已偏航,可能与其他船发生碰撞的时候,交通管理中心会向其发出指令信号,使其回到原来的航向,从而减少了海上事故的发生。

激光雷达在公路交通管理中发挥重要作用。“远程”雷达可用于确定后面车辆的时速,在并道或拐弯时,驾驶员就可凭此判断是否需要减速。交通管理部门已经把这种技术应用于高速公路的监视中,可以借此看到公路上的车流量和拥堵情况以及行驶中的各种车辆的大小。另外,激光雷达与数字计算机相结合应用于空中交通管制,会提高分辨率和数据率,显著改善机场的技术工作。

激光雷达在险情预报中的应用 激光雷达技术能够精密测量角度和距离,且能以很高的精度确定垂线和局部垂线,这使其在测绘中也非常有用。通过定位雷达设备观测现有卫星的后向发射器目标及与地球有关的卫星距离变化,可以监测与地质结构漂移有关的地质物理运动,进行地震预报。

差分吸收激光雷达在天然气、石油探测以及输油管道的监视等方面有广泛应用。利用激光雷达和遥感技术可以建立早期预警安全系统。美国和英国在其天然气厂中相继安装了激光雷达系统,以预报天然气管道附近可燃性气体的危险程度。

不同种类的大气颗粒物与激光发生的散射现象不同,利用激光雷达监测系统有效区分由沙尘暴引起的沙尘颗粒物和其他大气颗粒物,并且通过研究沙尘暴的起源、传输途径、时空分布特点,能有效对沙尘暴进行预报、监测,采取相宜的措施阻断沙尘暴的传播路径,有效降低沙尘暴造成的灾害程度,同时对环境的保护提出积极的措施。

利用激光雷达进行气象侦测,可提高天气预报的准确性。用激光取代无线电波来进行气象侦测,激光雷达具有测量跟踪不含任何微粒的风的能力,可以监视大型天气系统,对其移动方向做出准确的预测,能进行长期的天气预报。未来一周的天气预报将会和现在以两天为周期的天气预报一样准确,这将对工农业生产、人民生活带来深远影响。

综上所述,激光雷达由于自身的物理特性使其在军事和民用领域有着极其广阔的应用前景。我们相信,随着科技的发展,激光雷达必将在军事、大气、环境、生态各个方面发挥更加重要的作用,为人类营造更好的生存环境。

(刘成岳,安徽合肥工业大学物理系 230009; 陈美霞,成都市四川师范大学物理与电子工程学院 610068)