

从雷达到激光雷达

杨洋 赵远 乔立杰 刘世刚 南京达

(哈尔滨工业大学物理系 哈尔滨 150001)

雷达技术是正在迅速发展的一项高新技术,属高科技领域,它的应用十分广泛,涉及科学研究、军事工程和国民经济许多部分.本文就有关雷达技术特别是激光雷达技术的发展情况、性能特点及应用领域进行必要的论述.

一、雷达、激光雷达

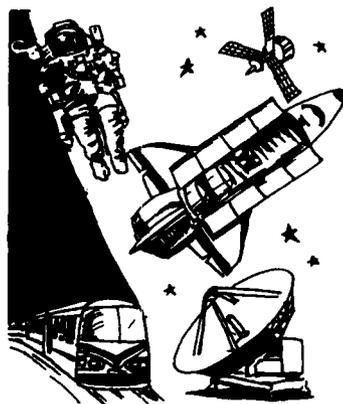
雷达是英文 Radar 的音译,它是 Radio Detection and Ranging 的缩写,原意是“无线电检测和测距”,亦即用无线电方法发现目标并测定它们的空间位置.因此雷达也称“无线电定位”.1935年,德国陆军首次应用电光通信系统,它标志着“雷达”业已问世.雷达技术的发展大致分为三个阶段:第一阶段是第二次世界大战开始前后的早期雷达;第二阶段是第二次世界大战末期到50年代前以微波雷达为主要特征的时期;第三阶段自50年代开始到目前雷达技术蓬勃发展时期.如图1所示是雷达的简化示意图.

它由一个发射天线(用来发射电磁波)、一个接收天线和一个能量检测装置(接收机)所组成.发射的电磁波中一部分能量被雷达目标所接收,并且在各个方向上产生二次反射.雷达接收天线收集反射回来的能量并送至接收机对回波信号进行处理,从而发现目标的存在,并

使药剂的温度升高,最终达到其发火温度;

3. 激光感应火花作用机理,即药剂被激光照射后,在其内部感应产生等离子体核或火花,此火花辐射的光能、热能和冲击波将炸药引爆.

随着技术水平的不断提高和实验手段的进一步完善,人们对激光点火机理的研究将更全



提取目标位置和速度等信息.当然实际雷达工作时发射和接收经常共用一个天线.

下面我们以雷达测距的基本原理来对上述描述作一具体说明.

雷达工作时,发射机向外发射一串重复周期一定的高频脉冲,如果在电磁波传播的途径上有目标存在,那么雷达就可以接收到由目标反射回来的回波.

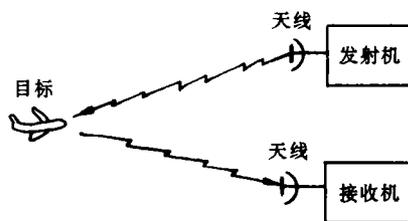


图1 雷达基本方框图

由于回波信号往返于雷达与目标之间,它将滞后于发射脉冲一个时间间隔 Δt ,如图2所示.

我们知道电磁波的能量以光速传播的,设目标的距离为 R ,则传播的距离等于光速乘以时间间隔,即:

$$2R = C\Delta t.$$

由于电磁波传播的速度很快,雷达技术中常用的时间,单位为微秒(μs),假如脉冲滞后于发射脉冲为 $10\mu s$ 时,可测得对应的目标距离 R 为:

面,更深刻.

目前,激光点火技术的广泛应用尚存在一些问题,如激光器成本较高;激光二极管的输出功率偏小;光纤的载荷能力不够强;结合部联接技术不够成熟等.然而,作为激光应用的一项新技术,激光点火已经显示了它的生命力,必将得到更快的发展和更多的应用.

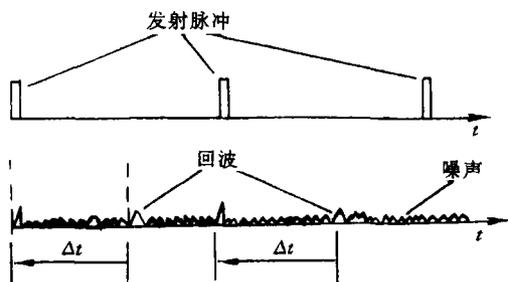


图2 雷达测距原理图

$$R = C\Delta t / 2 = 1.5\text{km}.$$

雷达起初主要用于飞机的探测,测距和跟踪.时至今日,雷达已发展成为现代战争和许多民用方面必不可少的工具,其中包括民航交通管制、通信卫星定位、内河航运和港区船只交通管制、测量暴风雨和云层的位置及其移动路线,对空中目标进行搜索,警戒和引导等.

随着60年代初初期激光器的发明,雷达技术很快延伸到电磁波谱的光频段,其主要是指近红外及可见光波段.利用激光器所发出的光代替原来的无线电波以及微波而实现雷达的原有技术的一种新型雷达,就是所谓的激光雷达.因此我们可以认为激光雷达是广义雷达中的一部分,如果从波段上分我们可以将雷达分为无线电雷达,微波雷达及激光雷达等.虽然激光雷达问世只是从1961年开始,但在短短30余年中激光雷达技术取得惊人的发展,其工作波长由最初的可见光及近红外区扩大到中红外、远红外甚至紫外区.纵观激光雷达的发展,从功能方面看,大体可分四个阶段:第一阶段是最早最简单的测距机;第二阶段的激光雷达主要用于测距和导弹初阶段的跟踪测量;第三阶段采用了相干检测技术,增加了测速手段;第四阶段是正在发展的扫描成像和多普成像雷达,它具有高精度跟踪、识别、测量提供图像、测得目标姿态和滚动速度等多种综合功能.由此可看出激光雷达几乎含盖了原雷达应用的各个领域,并利用其自身特点对原应用领域进行了一定的扩展.

二、激光雷达的特性

任何一种新系统的出现和发展,一定是当

它与已有系统相比较时具有某些新的特点和优点,又为社会所需要而发展起来的.激光雷达的出现和发展也是如此.激光雷达的工作波长较短,与微波雷达相比,相差三个以上数量级,而且激光又是单色的相干光,因而激光雷达呈现出极高的分辨本领和抗干扰能力,使激光雷达独具特色,为它在各方面应用奠定了基础,它的主要特性如下:

1. 具有极高的角分辨能力:

在光波段按照瑞利判据由于分辨率通常与波长成反比,而与光学接收孔径成正比.因此,当使用激光作为工作波长时,由于工作波长较短,采用小的光学接收孔径就能获得极高的分辨率.例如100km处仅用100cm的光学接收孔径就可分辨相距1m的两个目标.

2. 具有极高的距离分辨能力

在采用脉冲测距法时,由于激光脉冲宽度可作到皮秒量级,因此距离分辨可达毫米级,实用卫星测距仪已采用0.1nm脉宽,其距离分辨率达2cm.

3. 速度分辨率高测速范围宽.

由于当目标与雷达之间存在相对速度时,接收到的回波信号的载频就要相对于原发射信号的载频产生一个频移,即多普勒频移其表达式为:

$$f_d = 2Vr / \lambda.$$

式中 f_d 为多普勒频移, Vr 为雷达与目标之间的径向速度, λ 为载波波长.从该式中可看出,由于激光雷达工作波长短,多普勒频率灵敏度高,故具有极高的速度分辨力,其测速范围已做到0.01~3000m/s

4. 激光雷达可完成高精度距离和速度的同时测量

通常,需要同时测量目标的距离和速度(多普勒),而这种能力在微波范围因其频率较低而受到限制.根据有关理论可知,在用雷达技术同时完成速度与距离测量中存在:

$$(\Delta y)(\Delta f) = 1 \text{ 即 } (2\Delta R / C)(2\Delta V / \lambda) = 1$$

其中: Δy 是用延迟时间表示的距离分辨率, Δf 是多普勒频率的速度分辨率.因此存在 (ΔR)

· $(\Delta V) = C\lambda/4$ 的关系,正因为激光波长较微波短的多,因此对距离 R 及速度 V 的测量精度可以高得多。

5. 抗干扰能力强

当激光雷达在超低空或低空下工作时,不仅能正常跟踪,而且由于前述的各项特点,还可得到清晰的图像,由于它采用单色光,且发射光束极窄,故隐蔽性好,抗干扰性好。

6. 可用于水下探测和 underwater 通讯

由于激光光谱中某些波长的激光在水下传播时(如蓝绿光频段)基本不会被水分子吸收,即水对某些波长的激光是“透明”的,这一光波频段也被称为“窗口”,因此利用这一特性可实现卫星与深海潜艇的通讯,如与 300m 水下潜水艇的通讯。这是其他雷达无法比拟的。此外,与其他雷达相比还具有体积小、质量轻等优点。

任何事物都有它的两重性,激光雷达也有它的局限性。其缺点主要是:

1. 全天候性能低于微波雷达;
2. 波束窄,搜索目标困难;
3. 效率低,技术上的难度大且一些关键技术不够成熟。

正因为如此,目前微波雷达也好,激光雷达也罢,它们彼此都在发挥着作用。目前还不存在用激光雷达全面取代微波雷达的可能性。相反在许多场合还会使用由上述两种雷达组合在一起的微波—激光雷达,并以此发挥各自之所长。

三、激光雷达的应用

激光雷达的应用十分广泛,已从地面发展到空中,从空中发展到太空,从陆地发展到海面,从海面发展到水下,并涉及到多个学科领域。

以测距为例,利用激光雷达技术测量地球与月球的距离,其测距误差在 3 厘米以内。此外,通过定位激光雷达设备观测现有轨道卫星的反向反射器目标及与地壳漂移有关的卫星距离的变化,可以监视与地质结构漂移有关的地球物理运动,进而完成地震预报的工作。据称采用这一方法地球表面小至 2 厘米的相对位移都可以用激光雷达测量出来。

激光雷达在军事上的应用更是广泛。仅就雷达种类上分就有:反潜探测激光雷达、巡航导弹导航激光雷达、对空激光跟踪测距雷达,航载低空搜索和跟踪激光雷达、火控系统激光雷达、营救人员激光雷达、导弹发射初始跟踪测量激光雷达,再入反导跟踪测量识别激光雷达、星战跟踪激光雷达、航天飞机载激光雷达等。

其中,反潜探测激光雷达主要是为了对付核潜艇而研制的。现代潜艇由于采用核动力,可在水下隐蔽潜航数月之久。核潜艇不仅对水面舰船是一种重大威胁,即使对千里之外的地面目标威胁也很大。为此,国外已研制出反潜探测激光雷达,利用它来监视、跟踪、定位水下潜艇活动轨迹。这种雷达采用蓝绿激光。这种激光在水下有个“窗口”。美海军于 60 年代初就找到了这个“窗口”。根据实验研究表明,海水对蓝绿激光的衰减最小。一般最佳透射波长在 470—540nm 之间,因此这种激光不仅可对潜艇通讯,还可作为浅海的海底探测。反潜探测激光雷达即可安装在反潜侦察机上,也可安装在卫星上。

激光雷达在其他方面如精确跟踪、瞄准、定位、通讯、制导、飞船导航、气象测量、大气研究、遥感遥测、交通管制、环境监测与研究等均有广泛的应用。它已成为目前高科技领域的技术群之一。

超导机理研究新发现

据《中国科学报》报道 在高温铜氧化物超导体中,源于电子自旋波动的磁激发在控制超导性方面可能起着关键作用。但最近有人发现,两种主要类型的高温超导体(即单层和双

层)具有不同类型的电子自旋,这一发现说明,磁激发可能并不是超导现象的惟一机理。现在,这一疑问已经解决。最新得到的中子散射成像数据表明,在两种主要类型的超导体中,磁激发事实上是非常相似的。