

应用研究

以光雷达考察天空

R. T. H. 科里斯

光雷达*是光频波段的雷达。正如名称所指出的那样,这种技术是用光能代替射频能量。相应的元件也随之改变,因为虽然光雷达的聚焦和定向系统类似于微波天线,而所用的光源和光电探测器则与无线发送器和接收器大不相同。从光波长比一般用的雷达波长约短100,000倍的事实看来,这是不足为奇的。正是这个事实使光雷达成为观察大气的唯一有力的装置。

在光波长和近光波长处,能量能被极小的粒子(甚至气体的分子)所散射。因此光雷达能用来探测大气中的尘埃或水的质点的集合物,象微波气象雷达能探测较大的沉淀粒子(雨、雪和雹)一样。现在可用光雷达观察云和霾,并具有一定的测量精度,甚至当云雾太薄,远非肉眼所能看见的时候,用来探测物质微粒。

斯坦福研究所的光雷达——虽然在光频区域以各种形式应用雷达原理的概念并不是新的,但是直到作为很有用的光源的光激光器出现后,这种理想才被实现。最先做这种工作的人中有斯坦福研究所的利格达(M. G. H. Ligda)博士。这位气象雷达的先驱利用该所正在从事激光工艺的其他组的实验结果,于1963年制成的一系列气象光雷达的第一个产品。

这些光雷达都用巨脉冲红宝石光激光器制成,发射脉冲的峰值功率高到30兆瓦,持续时间为25毫微秒(即0.025微秒)。光激光器的特点是发射光束能高度聚焦,光束传播一公里扩展仅约一米。探测微弱反向散射光的接收器为光电倍增管,用滤光片去除散射日光的“噪音”。由于激光光束有明确的波长,滤光片可以有很窄的通带(几埃),因而完全可以在白天操作。

发送器和接收器各有各的光学系统,使用折射或反射透镜。和在雷达中一样,不同距离的回波以及给定方向上的强度根据光束返回接收器的时间间隔记录。能够分辨小到5米的距离差。一般用有偏振片照相机的示波器记录回波,而最微弱的信号,可用数字脉冲计数器计算光电倍增管在距离增量上的响应来探测。

斯坦福研究所最近的光雷达示于图1。

光雷达的运转——当发送器的光束照射大气中的微粒或质点时,一小部分能量被各个微粒或质点反射。任何瞬间折回的总能量来自被光束宽度和脉冲长度决定的所谓贡献体积内存

* Lidar 是 Light Detection and Ranging 的缩写。

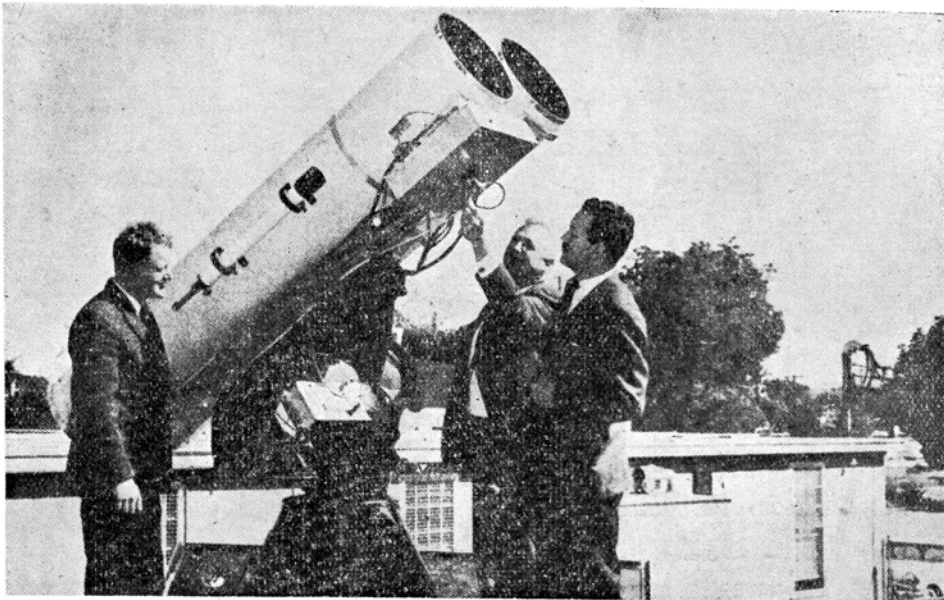


图 1 斯坦福研究所最近的实验型红宝石光雷达，其发射器和接收器是一对 12 吋的牛頓型望远镜系统，发射光束的峰值功率为 15 兆瓦，持续时间为 30 毫微秒。

在的全部散射体(脉冲持续时间约 25 毫微秒时，贡献体积仅约 5 米长)。折回的量将取决于存在的水滴或质点的数目及大小。

图 2 示出了一般大气组成的大小范围，也包括对其他质点的比较资料。当质点的直径与波长同级时，散射是一个复杂的函数，正如图 2 所示，许多大气质点在光频区域的情况就是如此。但是，通常反向散射信号的大小随大气浊度的增加而有规则地增加。

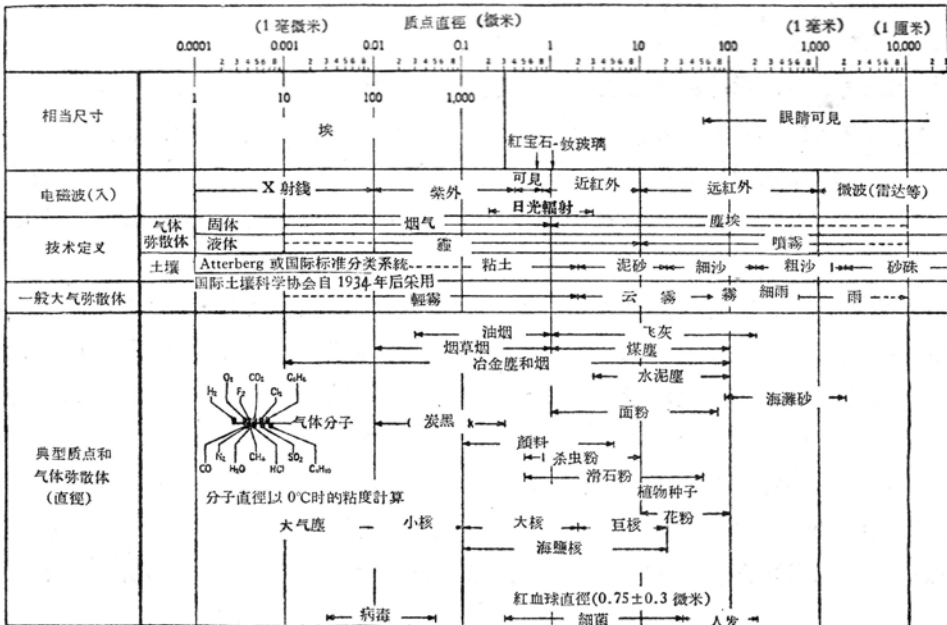


图 2 粒子和水滴的大小和电磁波谱波长的关系，标出了红宝石和玻璃的发射波长。

除部分能量返回光雷达，使探测成为可能外，还消除前进方向光束的能量。大气中的气体或微粒散射体本身的任何能量吸收也产生衰减。返回接收器的反向散射能量自然也有这些衰减。净结果是甚至在完全均匀的大气中，由于大气的散射，信号强度也随距离迅速减少。反之，对较长的厘米波段的雷达来说，衰减则可以忽略，气象雷达的回波是反向散射强度的直接读数。判断来自气象光雷达的信号必须考虑这些因素。

在许多情况下，例如，光雷达经过比较清洁的介入大气观测云层，回波的重要意义是显著的。光雷达能用来探测云层的存在，及由所提供的方向和距离资料，测量云层底部和顶部的高度。图 3 就是一个好的例子，其中示出了一系列云层产生的典型回波(图 3(a),图 3(b)，则示出了肉眼看到的云层情况。因为这种无定形的云层没有其他的仪器能如此有效地测量其底部，图 3(c)(原文误为 3(b)，示出的用光雷达在雨天观察云基时的一个特别好回波尖峰。当光束进入云层时，出现显著的衰减。但如云不太密，则能够从较高的层中获得光雷达的回波。

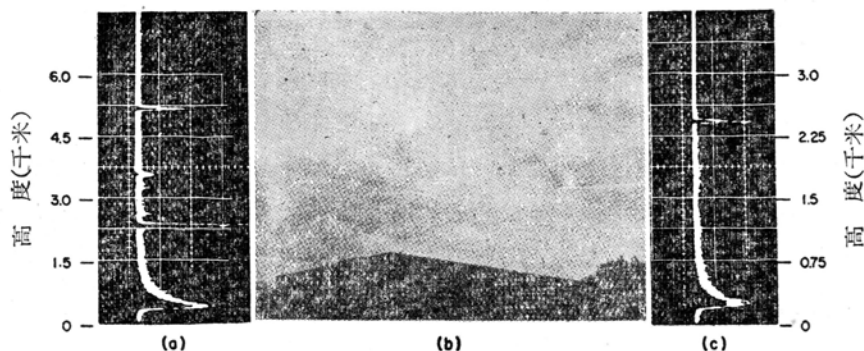


图 3 多层云的观测

(a)典型的光雷达观测不同的云层；(b)肉眼所看到的云；
(c)光雷达观测中等雨的云基。

表示云层结构的横截面和云基随时间的改变，甚至用现有的低脉冲重复频率(斯坦福研究所的光雷达每分钟约 2 个脉冲)的光雷达即能完成。具有较高脉冲率的光激光器正在研制，它们的诞生将使扫描系统和熟悉的图表位置指示器或距离高度指示器出现于雷达实践中。

能量也被霾层或在一定程度上，为“清洁”空气所反向散射。虽然霾层或霾斑与云比较将产生较强的回波，而由于其不均匀性较不明显，将使回波轨迹由于不大连续而不明显。例如从“清洁”空气层到较清洁的空气层时，信号的减弱将标志这个界面。

图 4 所示的一系列的观察表示出光雷达能够以这种方法观察亚可见大气。在晴朗的白天，图 4(a)所示的光雷达断面观察指出薄霾层的存在(在低温时反转的顶部)和不连续性的存在，标志接近地面的“混合层”的垂直范围。这些云层与图 4(b)所示的以无线电高空测候气球所获得的温度和风的资料一致。在无线电高空测候器的观察中不明显的第三层也出现了。当用肉眼观察时，天空是蔚蓝的。

在光的衰减强的地方(例如在云或雾中)或由于不明显的混浊所导致能见度减少的地方，

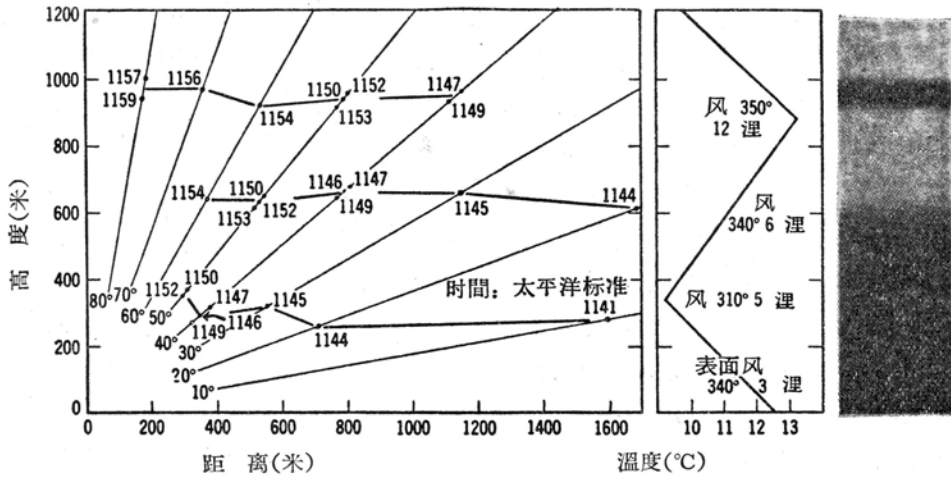


图 4 光雷达观测“清洁”空气中的层理

(a)光雷达测得的不连续剖面；(b)无线电气象测高仪得到的风和温度剖面；
(c)推断的粒子密度变化的描绘。

可分析回波强度随距离的变化率能提供关于大气均匀度和阴暗度的资料。这种方法在测量飞机的着陆道等的能见度方面可能有用。

基本的光雷达技术由光雷达可见的大气的各部分产生的反向散射改变而获得信息。我们由这种资料能够观察或在很大程度上推断出许多存在于大气中的云或其他微粒物质，且具有较肉眼大的分辨率和较微波气象雷达大的灵敏度。使用红外甚至紫外频率可以扩展光雷达的探测距离，而增进光激光器的脉冲重复率将是可喜的和重大的进步。然而，基本概念已经建立，且其许多应用已十分明显。在取得经验后，还会出现其它的应用。

正在考虑各种先进的技术，例如，发出的光雷达光束被高度地偏振——光在一个所希望的角度上振动——并且正在以实验探明，在观察反向散射光中的退偏振时，能获得甚么另外的资料。

应用——在大气研究中，光雷达可作为研究云系形态的一种新工具。因为云是大气动力学的有价值的指示器，故精确地从远处观察云的能力是很重要的。光雷达观测“清洁”大气的不可见组成的能力可揭露云的构造和运动。均匀的空气中微粒的含量可用来鉴别它们，不同类型的空气层之间的界面能从远处观察。温度变化的发生和高度或其他的不连续性都可推出。

在运转方面，最为明显的应用是测量云的高度。包括卷云层(40,000呎以上)在内的一切高度上的云都能观察，并可通过薄的较低云层或浓密而低的云层的缝隙获得上部云的读数。无论在白天或黑夜，甚至模糊的天气和雨天，都可以确定云的顶部。远距离积云的垂直发展可立刻从云顶产生的光雷达回波的角度和斜距来计算。雾带的存在和运动能在飞机场或海上探测。

进一步的发展可使光雷达用于与能见度测定有关的其他目的。根据上部空气中的云或亚可见分子物质间的关系的研究结果及射流或风剪层的动力学特点，可能将光雷达用来探测众

所周知的对于高空飞行的飞机是危险的清洁空气湍流。(偶然,认为单纯由于湍流运动大气会偶然产生可识别的回波,完全是不可靠的。)

光雷达观察清洁空气中微粒物质垂直分布的能力,在气候预报和空气污秽控制方面将有重要的应用。

根据理论判断,有许多可能性取决于技术的发展,但这些技术研究的进展还没有超出概念阶段。这些可能性包括同时应用几种波长,以获得不同类型的质点对不同的波长给出最强回波的优点。还提出以多普勒技术探测湍流的运动——包括测量从运动目标产生的回波中的波长移动。

虽然这些应用都还处在光雷达的早期发展中,而它的现实性和可能性已得到有力的证明。对于光激光器来说,所有令人兴奋的可能性中,用于气象学光雷达的前途是特别光明的。

译自 *New Scientist*, 1965, 27, №450, 27~29 周碧秀译 杨天龙、王克武校

超精度激光雷达

用雷达测定高空飞行的航空体高度等其精度受到限制,这是因为测定雷达波束的往返时间的计时精度和波束到达航空体再返回地面时的束宽发散所致。于十亿分之一秒的时间间隔,雷磁波行程约为二分之一呎,因此,即是几千万分之一秒之误也会引起测距上相当大的误差。此外,若雷达波束发散变宽的话,在广泛范围之内只测到最高的物体,结果其他许多目的物没有测到。

尤其当用雷达摄影绘制航空图时要求测定精度高,所以美国里顿公司和爱尔特洽公司合作,研制一种激光高度计用作新型雷达,测定十万呎的高度时其误差可达小于3呎的超高精度。

这样新型雷达的第一个特点是返回地面的波束相当窄,用普通雷达测定十万呎高度返回地面的束宽约二千六百呎,同样条件下新型雷达的波束宽仅为25呎,故新型雷达的束宽为普通雷达束宽的1%,这是把激光波束应用于实际的初步实现。

第二个特点是,时间的测定精度提高到十亿分之一秒。新方式的相干振荡器是为消除普通指型计算机常有的1计数误差,用作为确定位相的新技术。

因而研制了电子标尺方式,使用两组微波计时器。第一组计时器在十兆周运转,假如以十亿分之一秒为时间单位的话,一周就成为百单位的时间。第二组计时器在十一兆运转,用同样时间单位,一周就成为99单位时间。当光激光器脉冲开始输出同时,十兆周的计时器开始计数,直到反射光束被检出时为止的脉冲数是记下来了,其返射光束作用于11兆周计时器的阀门使它开始计数,那个脉冲波也同时被送向接收回路,10兆周的第1计时器和11兆周第2计时器位相一致同时被检出时,第二计时器的脉冲波停止。因此,第1计时器是以千万分之一秒的时间间隔把光束往返时间指示出来,第2计时器是以十亿分之一秒时间间隔把最后的到达时间可以指示出来。

译自《科学新闻》,1965, №1100, 3 郑秀云译 林青柏校