

应用研究

实验红外雷达

E. D. Mills, N. A. Sullivan, J. W. Meyer

引言

激光器的进展决不是设计光雷达的前兆，然而，把一个相干源用在可见光域及红外区域的好处鼓励着人们最近在这一方面作各种努力。事实上，法国在三十年代研制过一种光雷达，利用钨电极间的火花放电产生 40 兆瓦的光脉冲，提供了一种测量云高的有效途径。

由于红宝石激光器的重复率非常低，妨碍了它作为雷达的实用光功率源。然而，红宝石激光器的峰值功率通常可达兆瓦级。利用半导体二极管激光器，可以获得较高的脉冲重复率，但产生的峰值功率相对地低。

我们曾见过用红宝石激光器研制成的雷达，它能够探测从月球反射回来的讯号，而用半导体激光器制成的雷达，正与到达并降落在月球上的问题一起进行研究。

除了微波接收机和光检波器这一重要的差别以外，光雷达设计的元件和微波雷达所用的元件没有很大的差别。微波接收机中，噪声电平是在电压放大器中形成的，而光学检波器是功率检波器，即完全的平方律检波器。如所周知，在估算微波雷达作用距离时，脉冲能量和平均功率是主要参数，因为雷达脉冲频谱名义上是和接收机带宽相匹配的。在功率检波器的情况下，计算最小可检测信号时，接收机带宽引进一根号，结果是随着雷达峰值功率越增加，作用距离就越远。

云高指示——能见度显示器

半导体激光器低峰值功率的缺点，一定程度上被高脉冲重复率所补偿，对精确地决定云高和机场上空能见度来说，它似乎是有用的。考虑到这种应用，同未成形的雷达做了一些散射实验，叙述如下。

用相当直接的方法可以证明，对于扩展目标（扩展目标总是超过发射光束在目标处的大小），光雷达的作用距离如下：

$$R^2 = \frac{P_T \eta_T}{L} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \frac{A_R}{NEP \cdot B^{1/2} \cdot S/N}$$

式中： P_T ——峰值发射功率

A_R ——接收孔径有效面积

P ——散射目标的反射系数，即雷达散射截面 $\sigma = \frac{A_s P}{4}$ ， A_s 是散射体面积

η_T ——传输效率，由于传输损耗， $\eta_T \leq 1$

L ——系统损耗因子， $L \geq 1$

NEP ——等效噪声功率，检波器性能的一种量度

B ——接着检波器的放大器带宽

S/N ——所要求的信噪比

下列参数为：

$$P_T = 100 \text{ 瓦}$$

$$A_R = 14 \text{ 米}^2$$

$$P = 0.1$$

$$\eta_T = 0.3$$

$$L = 10$$

$$NEP = 10^{-12} \text{ 瓦} \cdot \text{赫}^{-1/2}$$

$$S/N = 10$$

$$B = 10^8 \text{ 赫}$$

雷达作用距离为 $R = 500$ 米。

一种利用三角方法的云高指示器说明书给出的最大测量距离为 600 米 (2,000 英尺)。这个最大明辨距离允许的脉冲重复率高达 250 千赫。

实验 红外雷达

用砷化镓二极管激光器作为实验红外雷达的能量(图 1)。在晚间，已接收到从 480 米处 (1,600 英尺) 砖石目标反射回来的、信噪比为 20 分贝的回波脉冲(图 2)，在白天，也接收到信噪比相同的、距离较近的木制目标的回波脉冲(图 3)。白天，树木、岩石和其他地面物体产生的回波，其信噪比较差，如图 4 所示。当发电厂排气时，在烟囱下观察到了凝缩水蒸汽的回波(图 5)。

雷达发射机

发射系统的方框图见图 6。发射机由装在微波跟踪座上的砷化镓激光二极管构成。浸在液氮(放在密封杜瓦瓶里)里的二极管以 200 安培的峰值电流、每秒 50 个脉冲的重复率工作。脉宽为 30 毫微秒，上升时间为 5 毫微秒。激光光束本身是定向的，并且用发射机里的有效孔径为 $f/1$ 的透镜系统聚焦。测得的输出功率为 100 瓦。

半导体激光雷达设计中比较困难的问题之一，是设计和阻抗非常低(0.1 欧姆)的二极管输出相匹配的狭脉冲调制器。如果二极管在低温下工作，还必须有低阻抗和低导热性的同轴线(见图 7)。

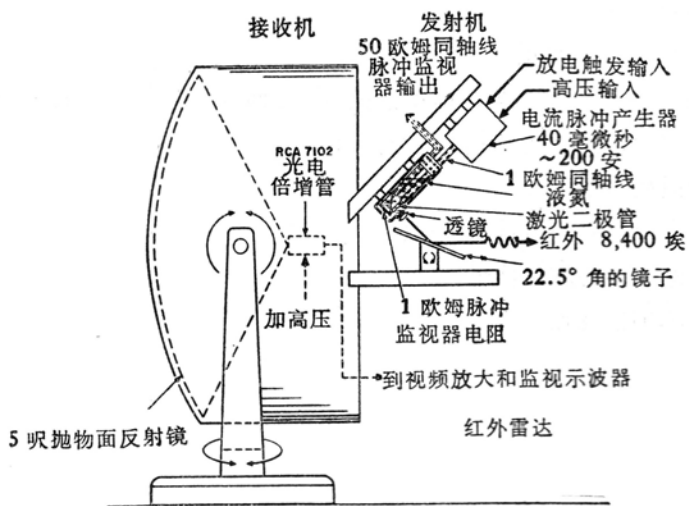


图 1 红外雷达示意图。发射系统装在 60 吋的探照灯接收光学系统上。放二极管的液氮杜瓦瓶，装成 45° 角，能改变方位和俯仰角，不会洒出液氮。辅助反射平板必须使发射和接收光轴平行。

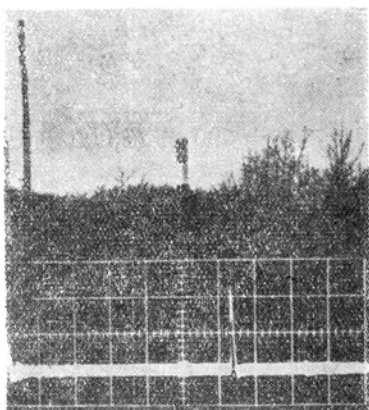


图 2 在调整实验雷达时，电站的烟囱作为标准检测目标。涂有红白相间条纹的烟囱在 A 型示波屏上产生很强的检测信号。

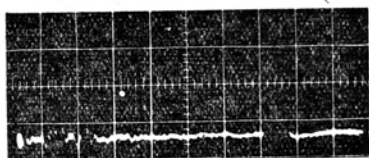


图 3 白天，距离约 100 米，从 8×8 平方呎胶合反射板来的回波。

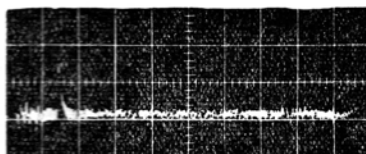


图 4 白天，距离约 100 米，直径 3 呎的岩石的回波。

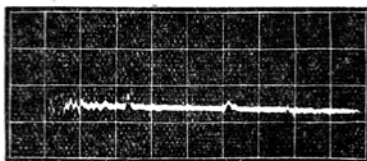


图 5 在示波器第六分格附近是从凝缩水蒸汽来的回波，第三分格旁边的脉冲是视场中部分树木在低仰角情况下的回波（示波器分格格 0.5 微秒）。

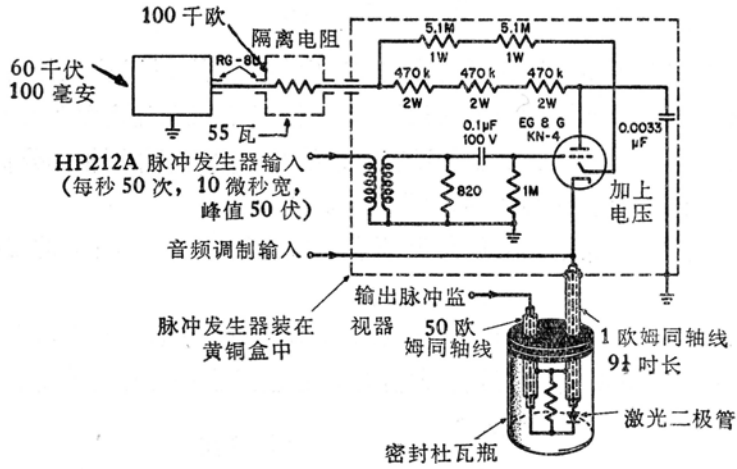


图 6 雷达发射机方框图。

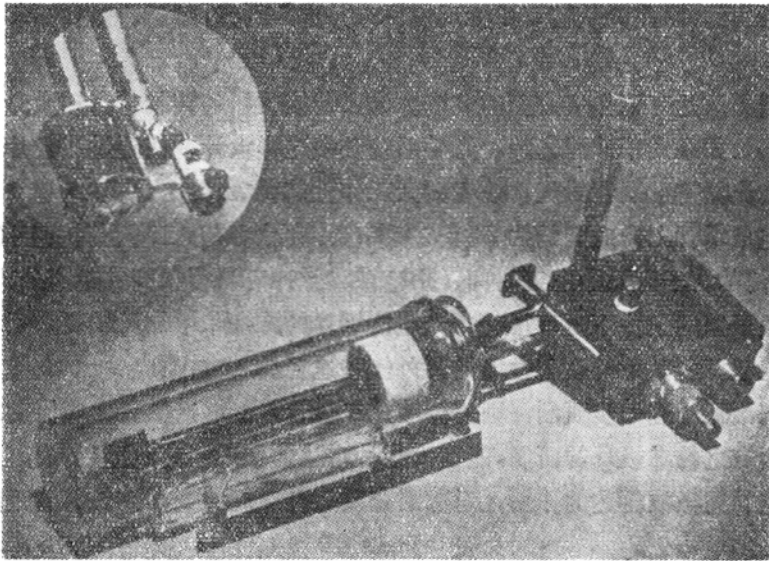


图 7 发射机头和液氮杜瓦瓶以及左上角的二极管支架和电流显示电阻局部细节图。

脉冲发生器用电阻电容电路，由一个小型冷阴极触发管开关，用低电容作储能元件，通过一个大电阻充电至 3.6 千伏。当管子触发时，电容器通过电阻为 1 欧姆的同轴线对二极管放电。因为二极管的正向电阻在大电流时很低，所以同轴线用一个 1 欧姆的串联电阻匹配，它也作为二极管电流的取样电阻。

脉冲发生器放在密封杜瓦瓶的上部，1 欧姆的输出线和 50 欧姆的电流脉冲监视线，插进密封杜瓦瓶的顶部。为了使同轴线有低的热导率和较低的电阻，它由薄壁管状的铜镍合金做成。

接 收 机

接收系统由 5 呎的探照灯抛物面反射镜和位于它焦点处的 7102 光电倍增管组成。因为反射镜的焦距短(约 26 吋),焦点所对的角约为 120 度。因为进入光电管套的光线倾斜,不太可能利用这个光学系统的整个孔径。虽然没有对系统的光学效率作严格的分析,但有效孔径可能不会超过 1.92 平方米的几何孔径的六分之一。

光电倍增管的输出经宽带放大器放大 20 分贝,放大器的通带和脉冲的视频频谱宽度接近。

从 1,600 呎远的砖石目标反射回来、并进入 7102 光电倍增管的功率,计算如下。接在示波器输入端的 90 欧姆电阻(作为视频放大器的负载电阻)上的脉冲峰值电压为 40 毫伏。

$$P = \frac{(4 \times 10^{-2})^2}{90} = 17.7 \times 10^{-6} \text{ 瓦}$$

视频放大器的增益为 20 分贝,因此输入到视频放大器的功率为 17.7×10^{-8} 瓦。在 7102 光电倍增管 90 欧姆负载电阻上的光电流为 4.4×10^{-5} 安培,而报道的 7102 光电倍增管灵敏度为 400 微安/微瓦。因此,从砖石目标反射回来并进入到光电倍增管里的峰值信号约为 10^{-7} 瓦。

这种未成型的雷达可以作多方面的改进。为了使接收器的接收带宽和激光相匹配,应该使用窄带滤光器。如果用干涉滤光片,光学系统必须这样设计,使通过滤光片的光束是平行的。应用匹配滤光器可减弱背景光,改善白天工作性能。

所用的光电倍增管上升时间约为 2×10^{-9} 秒,限制了最狭的工作脉冲宽度(约 5×10^{-9} 秒左右)。设计专门的管子可减小上升时间,用毫微秒脉冲可获得很高的距离分辨率。

在背景无法限制的条件下,可用冷却光电倍增管的方法来增加灵敏度,后检波积分和测距选通是雷达工程师所熟悉的改善性能的另外一些途径。

更有效的调制器的进一步研制,则需要改进二极管,能够产生更大峰值功率或者脉冲能量,或两者兼而有之的二极管的研制,能增大这种雷达的作用距离,也能扩展其应用范围。显然,这种雷达能补充微波雷达的作用,对散射介质适合于短的光学波长的测距问题有现实的贡献。

云、雾对光的散射是云高-能见度指示器的独特的优点,而在其他地面雷达及通讯问题中,则限制了激光器的应用。

参 考 文 献

- [1] Bureau R., "Altimetrie des Nuages par Impulsions Lumineuses," *La Meteorologie*, July 1946, pp. 292—301.
- [2] Hansen W. W., "Surveying by Pulsed Light Radar," *Electronics*, July 1948.
- [3] Smullin L. D. and G. Fiocco, "Project Luna Sec," *Proc. IRE*, Vol. 50, 1962, pp. 1703-4.

原载 *Microwave J.*, 1966, 9, №2, 33~37 (胡企铨译,叶碧青校)