

激光雷达的选择

刘燕京 博士

激光雷达主要部件包括：二维激光扫描仪，GPS,IMU

二维激光扫描仪：二维激光扫描仪是激光雷达的核心部分。

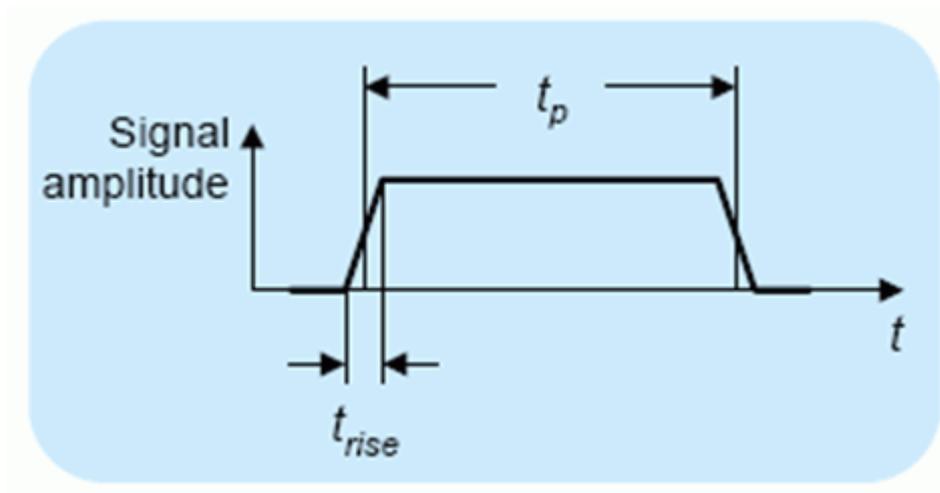
二维激光扫描仪的激光特点

用于激光雷达的二维激光扫描仪的激光器所输出的激光波形有两种：一种是脉冲式的，另一种是连续波（continuous wave, CW）。脉冲式的激光器一般是半导体激光器，或用半导体激光器泵浦的Nd-YAG (neodymium-doped yttrium aluminium garnet, Nd:Y₃Al₅O₁₂)激光器。他们的特点是输出的功率大，峰值功率可达到几 MW。Optech 和莱卡公司使用的是 Nd-YAG 激光器, 波长为 1064 nm, 安全等级为 IV 级; 而 Riegl 和 TopSys 使用的是波长为 1550nm 的半导体激光器, 安全等级为 I 级。安全等级为 I 级的激光器即使在面对面使用是也不会对人眼和动物的眼睛造成伤害。

脉冲式激光雷达的测距分辨率 ΔH 由公式

$$\Delta H = C \cdot t_p / 2$$

给出。C 是光速， t_p 是光的一个脉冲周期时间。



一个脉冲光在一个周期时间里所通过的距离：脉冲宽度 $L_p = 2 \Delta H$ 。

如果 $t_p = 1 \text{ ns}$, $L_p = 300 \text{ mm}$; 如果 $t_p = 1 \text{ ns}$, $L_p = 3 \text{ m}$ 。

脉冲宽度越短，测距的分辨率越高

一般： $t_{\text{rise}}=1\text{ns}$ 。

激光器的峰值输出功率 E_p 一般是 2000W,那么每发射一个脉冲光所需要的能量 E 为 $E=E_p \cdot t_p=2000\text{W} \cdot 10\text{ns}=20\mu\text{j}$

因而，如果激光器的发射频率 f 为 10,000 赫兹，所需要的激光器的发射功率为 $P=E \cdot f=0.2\text{W}$ 。如果 f 为 100,000 赫兹，所需要的激光器的发射功率为 2W。

目前市场上的二维激光器的距离测量精度在 1000 米的距离时为 2 厘米—5 厘米。

光的色散

我们都知道，光会产生色散现象。我们平时经常会看到，汽车的大灯随着光照距离的增加，其射出的光斑越来越大，这就是色散。

激光是目前所有已经知道的光中发散度最小的。通常我们用弧度来表示光的色散 γ 。如果我们以激光器的光窗的孔径为 D ,激光的波长为 λ ,光的色散大小的极限值与光衍射相关。当超过它的极限时，光斑会出现模糊。因而，

$$\gamma \cong 2.44\lambda/D$$

也就是说，如果激光器的发射光窗不变，光的色散随着光的波长的增加而增大；如果光的波长不变，光的色散随着光窗的增加而减小。

例如：如果光的波长为 1060nm,光窗的直径为 100mm,那么，光的色散为 0.26mrad。

如果光的波长为 1550nm,光窗的直径为 100mm,那么，光的色散为 0.38mrad。

通常，激光器的发射和接收光窗的直径 D 为 5-15 厘米。

打到地面的光斑的直径 D_L 由上图推出

$$D_L=D+2h(\tan\gamma/2)= 2h(\tan\gamma/2)= 2h\gamma/2= h\gamma$$

我们以 0.3mrad 来举例说明它的意义。

当测量距离为 100 米时，光斑的直径为 30mm;当测量距离为 1,000 米时，光斑的直径为 300mm。

一般讲，光斑越小，激光的空间分辨率越小。

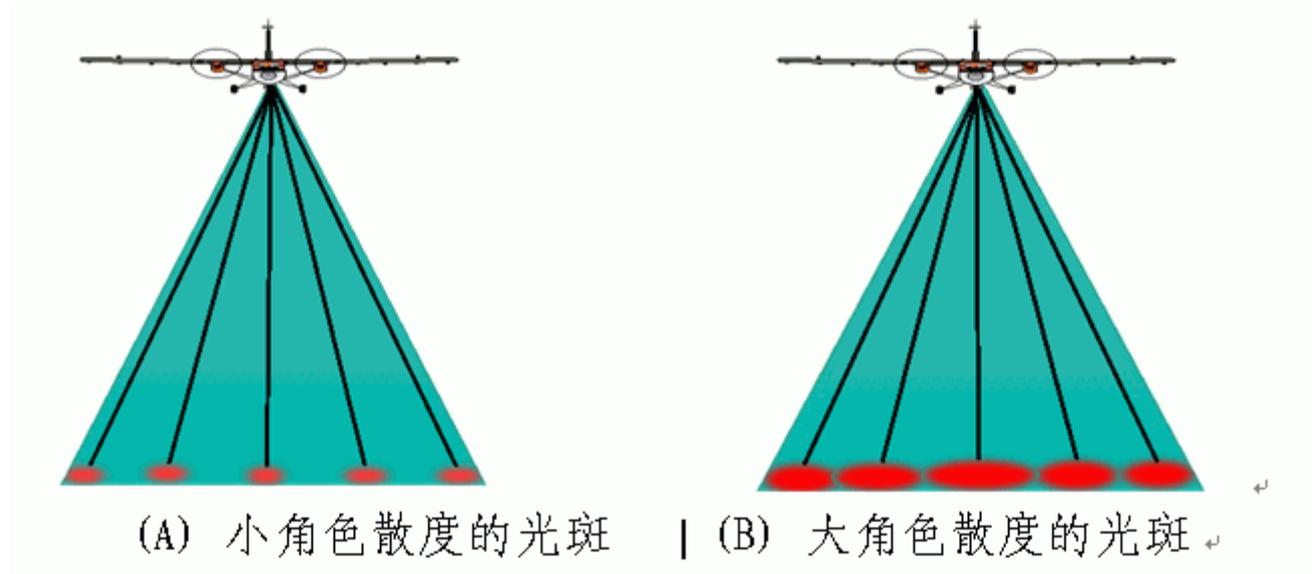
连续波激光器一般用于卫星遥感或高空遥感。

目前市场上常用激光雷达的激光器及其最大发射频率。

目前市场上的激光雷达的激光发射的最大频率范围为 10,000 赫兹—240,000 赫兹。均为 Riegl 公司所生产。Optech 公司和莱卡公司的激光器的最大发射频率分别是 160,000 赫兹和 150,000 赫兹。TopSys 的是 125,000 赫兹。在上个月在北京召开的 2008 ISPRS 会议上，徕卡公司推出了新的 ALS60 系统，其激光器的最大发射频率为 200,000 赫兹。另外，根据内部消息，Riegl 公司也将在 9 月底的 2008 INTERGEO 会议上推出新的激光雷达系统。

莱卡和 Optech 公司采用的是大功率的波长为 1064 纳米的安全等级为 IV 级（I 级是最安全的，II 级以上越来越不安全）的 Nd-YAG 激光器。当低空飞行时，就必须增大激光的光斑，并且采用强度衰减器来降低输出激光的强度。

而 Riegl 公司和 TopSys 公司采用的是对人和动物眼睛安全的波长为 1550 纳米的近红外激光器。因此无论是低空飞行还是中高空飞行都不需要增大激光的光斑和衰减激光的强度。

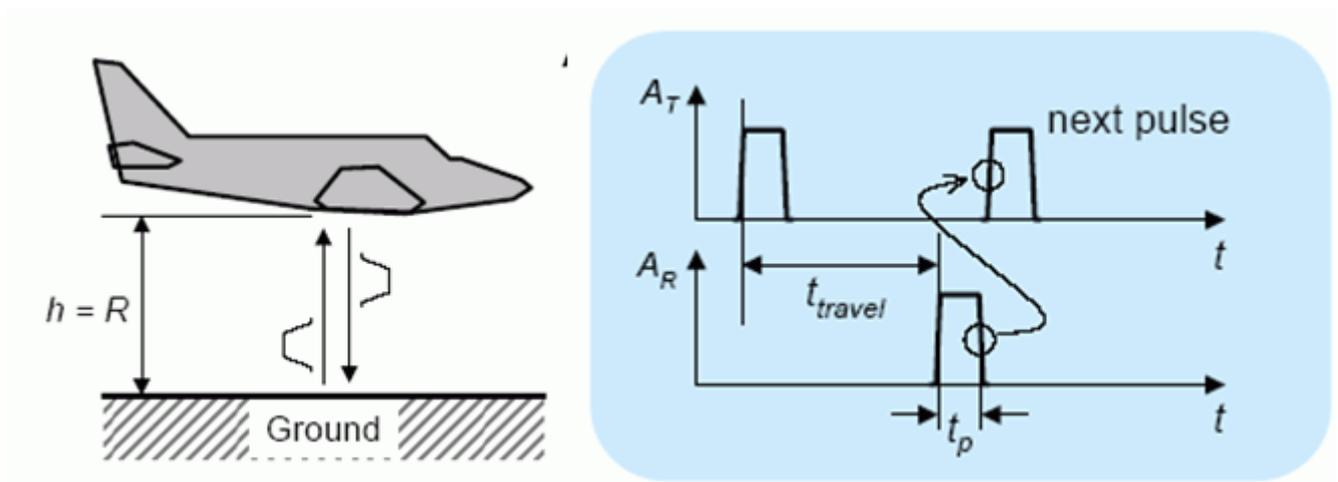


小角发散度的光斑的优点：空间分辨率高，水平 X-Y 测量精度高，容易穿透植被。

大角发散度的光斑：在低空飞行如小于 700 米时，使用大功率的安全等级为二级、三级和四级的激光器会对人眼和动物眼睛造成一定的损害，因此采用增大激光点光斑的直径，并通过强度衰减器来降低输出的激光强度，从而减少激光对人和动物可能造成的伤害程度。由此带来的负面影响是所获取的结果的空间分辨率降低，测量精度下降。

最大发射频率与高度的关系

机载激光雷达并不是在所有的高度都能够以它的最大的频率来发射激光。



根据时间-飞行差原理，激光由飞机上的激光器发射打到地面上被发射回到机载雷达的接收器上所经历的时间 $t=2H/C$ 。这里 C 是光在真空中运行的速度，这里更准确话，我们应该用 V (光在空气中运行的速度)来代替 C 。当飞行高度为 1000 米时，所需时间为 6.7 微秒。

那么激光发射频率 $f=1/t$ 。于是，

最大发射频率 PRF(Pulse Repetition Frequency)与光速和激光器到标靶的距离相关。

$$f_{\max} = \text{PRF} = V/2H_{\max}$$

这里 V 是光在空中运行的速度， $V=C/\epsilon$ ， C 为光速， ϵ 为空气的介电常数，一般在 1—1.2 之间。由于空气受到了严重的污染，其中含有大量的灰尘颗粒和水-粉尘-有机物胶体，我们可取 ϵ 值在 1.0—1.8 之间。 H_{\max} 代表在此频率下激光所能够达到的最远距离。

如果我们取 $\epsilon=1.1$ ，那么 $V=C/1.1=272,727$ 公里/秒。

由此我们可获得以下的 PRF 与飞行高度之间的关系，取 $V=C$ 。

飞行高度 AGL(米)	激光发射最大频率 PRF(赫兹)
200	750,000
400	375,000
500	300,000
600	250,000
700	214,000
800	187,000
1000	150,000
1500	100,000
2000	75,000
3000	50,000
4000	37,500
6000	25,000

因此我们明白了不论是那家的产品，它所标定的最大发射频率都是在一定的高度以下才能达到的。