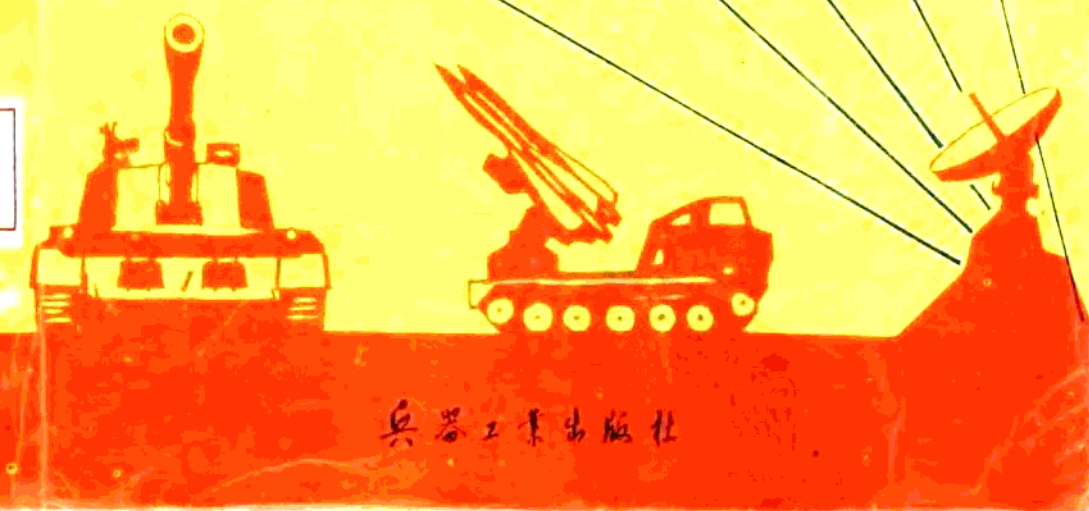


激光技术在兵器工业中的应用

魏光辉 杨培根 等编著



激光技术在兵器工业 中的应用

主 编 魏光辉

副主编 杨培根

编写人员(以姓氏笔划为序)

邓仁亮 沙定国 张承铨

杨耀宇 杨培根 高春青

阎天纵 喻其寿

前 言

自从 1960 年激光出现以来,它在军事领域的巨大应用潜力就一直受到人们的关注。通过国内外科学家和工程技术人员 30 余年的潜心研究和开发,军用激光技术已经成为一个发展迅速、影响深远、硕果累累的技术领域。

激光技术这一高新技术已经在兵器领域获得了广泛的应用,发挥了巨大的效能。激光测距、激光雷达、激光制导、激光引信、激光陀螺、激光瞄准等技术,大幅度提高了兵器的作战效能;激光致盲作为一种非致命性杀伤技术,使激光武器成为第一种实战应用的定向能武器;激光模拟为部队射击训练和战术训练提供了经济、安全、有效的器材;激光测量和加工技术则在兵器装备的生产中发挥了重大的作用。

本书选择了在兵器领域已经获得很大收益、并已比较成熟的 8 项激光应用技术,介绍其发展历程,探讨其基本原理、结构及设计考虑,简述其相关的激光器,汇集其最新的研究成果和进展,其中还包含了作者的研究心得和成果。这些激光应用技术不仅在兵器行业,而且在其它工业部门都有广阔的应用前景。本书的内容力求满足不同层次和专业读者的需要。读者可以从比较全面、深入地了解激光技术在兵器领域的应用情况。从事军用激光研究、生产、教学和管理的人员以及对激光感兴趣的相关专业的人员,都可以从中获得大量有用的知识和信息。

本书是在兵器工业情报研究所的大力支持下,由兵器行业所属有关研究所和院校的专家、教授和专业技术人员共同编撰的。其中,第一章激光测距由喻其寿编写;第二章激光制导由邓仁亮编写;第三章战术激光武器由杨培根、张承铨编写;第四章激光引信由杨耀宇编写;第五章激光对抗与防护由张承铨编写;第六章激光武器模拟器由阎天纵编写;第七章激光测量由沙定国编写;第八章激光加工由高春青编写。魏光辉、杨培根对全部内容进行了审定。

由于时间和编者水平的限制,本书难免出现错误和不当之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 激光测距	(1)
第一节 激光测距基本原理、组成及现状	(2)
一、测距方程	(3)
二、整体设计及主要限制因素	(5)
三、激光测距机的组成	(9)
四、激光测距的现状	(10)
第二节 激光发射技术	(12)
一、Nd : YAG 激光器	(13)
二、TEA CO ₂ 激光器	(35)
三、喇曼激光器	(40)
第三节 激光回波接收技术	(45)
一、直接探测技术	(45)
二、光外差探测技术	(78)
第四节 信息处理技术	(85)
一、时间间隔测定技术及要求	(85)
二、距离信息的处理及显示	(93)
参考文献	(98)
第二章 激光制导	(100)
第一节 概论	(100)
一、光学技术在武器制导中的地位	(100)
二、激光制导	(103)
第二节 激光寻的制导	(105)
一、半主动激光寻的器	(106)
二、激光目标指示器	(112)
三、主动激光寻的制导	(121)
四、被动激光寻的制导	(121)
第三节 激光驾束制导	(121)
一、激光驾束制导的单元技术	(122)
二、激光驾束制导系统	(124)
第四节 激光指令制导	(126)
一、激光视线指令制导	(126)
二、非视线激光指令制导	(128)
第五节 复合制导	(128)
一、寻的复合制导	(128)
二、遥控复合制导	(129)
参考文献	(131)

第三章 战术激光武器	(136)
第一节 概论.....	(136)
一、战略激光武器与战术激光武器.....	(136)
二、战术激光武器的特点与地位.....	(136)
第二节 战术激光武器的发展.....	(137)
一、发展历程.....	(137)
二、激光枪.....	(137)
三、车载激光武器.....	(138)
四、舰载激光武器.....	(139)
五、机载激光武器.....	(140)
第三节 激光武器的物理基础.....	(140)
一、激光对眼睛的伤害.....	(140)
二、激光对光电探测器的损伤.....	(145)
第四节 战术激光武器效能的理论研究.....	(150)
一、激光测距机的致盲.....	(150)
二、人眼的致盲.....	(152)
第五节 板条激光器和金绿宝石激光器.....	(157)
一、板条激光器.....	(157)
二、金绿宝石激光器.....	(162)
参考文献.....	(163)
第四章 激光引信	(165)
第一节 概论.....	(165)
一、引言.....	(165)
二、术语及定义.....	(166)
三、激光引信的种类.....	(167)
第二节 激光引信的原理、组成和设计考虑.....	(167)
一、激光引信的作用原理.....	(167)
二、激光引信的组成部分.....	(168)
三、设计依据及总体设计考虑.....	(170)
第三节 目标与背景特性.....	(171)
一、目标反射特性.....	(171)
二、反射比的工程测量.....	(172)
三、背景辐射特性.....	(175)
第四节 激光引信主要部件的设计.....	(177)
一、激光器及激励源.....	(177)
二、光学系统.....	(180)
三、探测器和前置放大器.....	(186)
四、信号处理电路.....	(191)
参考文献.....	(195)

第五章 激光对抗与防护	(196)
第一节 激光侦察	(198)
一、理想的激光警戒接收机.....	(198)
二、激光识别的原理和方法.....	(199)
三、激光警戒接收机的分类.....	(200)
四、激光警戒接收机设计考虑.....	(202)
五、典型的激光警戒接收机.....	(210)
六、探测光学窗口的激光雷达.....	(223)
第二节 激光干扰	(226)
第三节 激光反干扰与激光防护	(227)
一、测距机的抗激光干扰.....	(227)
二、激光护目镜.....	(227)
参考文献.....	(231)
第六章 激光武器模拟器	(232)
第一节 激光武器模拟器发展概况	(232)
第二节 激光武器模拟器的基本原理	(233)
第三节 激光武器模拟器的基本技术要求	(235)
第四节 激光武器模拟器的设计考虑	(236)
一、激光发射/接收系统.....	(236)
二、测距系统.....	(239)
三、抗干扰系统.....	(239)
参考文献.....	(239)
第七章 激光测量	(240)
第一节 激光准直测量	(240)
一、激光准直原理.....	(240)
二、激光准直仪.....	(241)
三、激光准直的应用.....	(245)
第二节 激光衍射测量	(248)
一、激光衍射测量原理.....	(249)
二、激光衍射测量系统.....	(253)
三、激光衍射测量的应用.....	(255)
第三节 激光扫描测量	(262)
一、激光时(空)间扫描测量.....	(262)
二、激光调制扫描测量.....	(271)
第四节 激光干涉测量	(274)
一、单频激光干涉测长仪.....	(275)
二、双频激光干涉仪.....	(277)
三、激光横向剪切干涉仪.....	(285)
四、激光点光源干涉仪.....	(291)

参考文献	(293)
第八章 激光加工	(294)
第一节 概论	(294)
一、激光加工的发展和现状	(294)
二、激光加工的特点	(295)
三、应用范围和加工领域	(295)
四、发展趋势和展望	(296)
第二节 激光加工的物理基础	(296)
一、激光与材料的热相互作用	(296)
二、激光与有机物的作用	(301)
第三节 激光表面处理	(302)
一、激光相变硬化	(303)
二、激光表面合金化和涂覆	(307)
三、激光表面处理的其它方法	(309)
第四节 激光焊接	(309)
一、激光焊接的基本方法	(310)
二、激光焊接的主要工艺参数	(311)
三、激光焊接应用实例	(314)
第五节 激光切割	(315)
一、激光切割的基本方法及机理	(315)
二、激光切割的工艺参数	(318)
三、不同材料的激光切割	(320)
第六节 激光打孔	(322)
一、引言	(322)
二、激光打孔的原理及方法	(323)
三、激光打孔的工艺参数分析	(324)
四、激光打孔的应用	(325)
第七节 激光打标	(326)
一、激光打标的基本机理	(326)
二、掩模式激光打标机	(327)
三、雕刻式激光打标机	(328)
四、激光打标的应用	(331)
第八节 激光加工常用高功率激光器及其光束质量评价	(331)
一、激光加工常用的高功率激光器	(331)
二、激光加工中常用高功率激光器的光束质量评价	(334)
参考文献	(340)

第一章 激光测距

准确而快速地测定任意两个空间点的距离,对人类活动的许多方面都是重要的。正因如此,对测距技术的研究几乎与人类文明史同样长远。最初,人们是用一个共同约定的长度单位与被测距离(或长度)进行比较操作而测定的。这种原始测量方法现在仍被广泛采用,只不过度量单位更精确、更国际化了。显然,用这种方法测量两个较远空间点的距离是很困难的。首先,我们无法保证这种比较操作是在同一条直线上进行的,而两空间点的距离被定义为两点间的最短距离,即直线距离;其次,如果被测两点间、或任一被测点是人们无法徒步到达或接近的(如两点间有一条深谷或河流,或者被测点之一在空中等等),这种比较操作就无法完成。

由测地需要而发展起来的几何测量法虽然部分地解决了这些问题,但采用交会作业法仍需对基线进行比较操作测量,这种测量方法的精度显然取决于基线和角度的测量精度。其次,这种方法在复杂地形地貌区域进行时往往困难重重。第一,两个观测点不一定能同时看到指定被测点;第二,即使能同时看到,但由于从不同观测点看到的被测点的外貌有差别,很难相互指认同一交会点;第三,这种测量方法不但精度难以保证,而且需要较长的时间,这就难于用它测定活动目标的距离了。虽然用现代技术这些问题可得到局部解决(比如用两台电影经纬仪及计算机系统可获得单调背景下运动目标的瞬时距离),但这将使测量系统过于复杂而很难推广应用。

到本世纪 40 年代,由于电磁理论和电子技术的巨大发展,也由于战争的迫切需要,首先在英国制出一种崭新的测距装置——雷达。它的出现是测距技术的一项历史性突破,它使人们首次实现在一个固定点上迅速测定不同方向上各种目标的瞬时距离。但它所发射的电磁波波长较长、波束较宽、空间分辨率较低,比较适合于对单调背景目标的探测。波束宽虽有利于大空间角范围的搜索和跟踪,但也带来了易受干扰和攻击的严重缺点。

激光由于它亮度高、单色性和方向性好,是人们早就渴望得到的理想的测距光源,因此在它出现后不到一年的时间就被用于测距^[1]。可以说激光测距是激光最早、也最成熟的应用领域之一。激光测距的原理虽然只是雷达测距原理在光频段的自然延伸,在原理上虽未带来新的东西,但说它是测距技术的又一次重大技术突破是一点也不过分的。因为它的出现才使人类实现了以厘米级精度测定地球到月球这样遥远的距离。

目前,激光测距系统种类繁多,功能也千差万别,但从体制上看不外脉冲和连续波两类。连续波相位测距系统所用激光器目前大多为毫瓦量级,因此这种系统要求在被测点安置合作目标,这就使它显然被排除在战场应用领域之外,但考虑到波导型气体激光器的迅速发展,研制出非合作目标的相位测距系统是完全可能的。本章只扼要地介绍其测距原理,重点仍放在脉冲测距方面。

30 年来激光测距技术已取得多次重大发展,激光测距机已作为一种距离传感部件被广泛用于各种不同功能的综合系统中。不同系统对它的要求不尽相同,因此,我们既不可能,也没有必要去讨论这类综合系统。本章只讨论测距技术的若干共同技术课题。

第一节 激光测距基本原理、组成及现状

激光测距与雷达测距在原理上是完全相同的:在测距点向被测目标发射一束短而强的激光脉冲,光脉冲发射到目标上后其中一小部分激光反射回测距点被接收器所接收。假定光脉冲在发射点与目标间来回一次所经历的时间间隔为 t , 那么被测目标的距离 R 为

$$R = \frac{1}{2}ct \quad (1-1)$$

式中: c —光速。

真空中的光速是一个精确的物理常数

$$c_0 = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

海平面或近地面的平均大气折射率 n 为

$$n = 1.000275266$$

故近地面大气中的光速 c 为

$$c = 2.9971 \times 10^8 \text{ m/s}$$

当不考虑大气中光速的微小变化时,测距精度 ΔR 主要是由测时精度 Δt 确定的

$$\Delta R = \frac{1}{2}c\Delta t \quad (1-2)$$

对脉冲测距系统,时间间隔的起始时刻是由取出一小部分发射激光脉冲经光电探测器转换成电信号形成的,时间间隔的终止时刻则是由目标激光回波到达测距机经光电探测器转换成电信号形成的。这两个信号既可由同一探测器提供,也可用两个探测器提供。

对相位测距系统,连续激光光束被调幅成正弦波。假定调制频率为 f , 相应的角频率 $\omega = 2\pi f$ (rad/s)。若调制光束在发射点和目标间往返一次所产生的总相位变化为 φ , 则光的往返时间为

$$t = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\varphi}{2\pi f} \quad (1-3)$$

被测距离为

$$R = \frac{c}{4\pi f} \varphi \quad (1-4)$$

若以 π 弧度作 φ 的度量单位, φ 总可表示为 n 个 π 和不到 π 的小数部分 $\Delta\varphi$ 之和

$$\varphi = n\pi + \Delta\varphi$$

于是

$$R = \frac{c}{4f} \left(n + \frac{\Delta\varphi}{\pi} \right) \quad (1-5)$$

令

$$\frac{c}{4f} = L_0 \text{—— 调制波长的四分之一}$$

$$\frac{\Delta\varphi}{\pi} = \Delta n$$

上式简记为

$$R = L_0(n + \Delta n) \quad (1-5A)$$

由于现代电子技术很容易做到 0.3° 的测相精度,故当调制频率为 30MHz 时,测距精度为

$$\Delta R = L_0 \Delta n = 2.5 \times \frac{0.3}{180} = 4.17 \text{ mm}$$

一、测距方程

激光测距方程是在一系列简化条件下导出的,它虽然不够精确,但对系统设计却有指导价值。

假定:激光在大气中的传播是遵守几何光学规律的;大气是均匀的、各向同性的;目标对入射光的反射或者是漫反射的,或者是镜反射的;激光光束内的能量分布是近似均匀的或至少是轴对称的;接收系统与发射系统紧密结合在一起,且光轴是彼此平行的。设激光器每个脉冲的能量为 E_i ,发射光学系统的透过率为 τ_i ,光学系统出射光束的束散角为 θ_i ,激光能量通过大气单位长度的衰减系数为 μ_a ,则不难得到在距离 R 处激光光斑单位面积的激光能量为

$$\frac{4E_i\tau_i}{\pi R^2\theta_i^2}e^{-\mu_a R}$$

当激光光束照射的目标面积为 A_s ,且被照射部分平均表面法线与入射线的夹角为 θ 时,则被目标所拦截的激光能量为

$$\frac{4E_i\tau_i A_s \cos\theta}{\pi R^2\theta_i^2}e^{-\mu_a R}$$

(一)漫反射目标

当目标表面是粗糙的无规表面(即目标表面的不平整度超过入射激光光波的波长)时,我们就认为它是漫反射目标。其漫反射系数记作 ρ ,那么目标在截获入射激光能量后,向入射方向的半球空间均匀漫反射的总能量为

$$\frac{4E_i\tau_i A_s \cos\theta \rho}{\pi R^2\theta_i^2}e^{-\mu_a R}$$

当它反射回测距机处,被有效接收面积为 A_r ,透过率为 τ_r 的接收系统所接收,而到达光敏元件光敏面上的回波能量 E_r 为

$$E_r = \frac{2E_i\tau_i\tau_r A_s A_r \cos\theta \rho}{\pi^2 R^4 \theta_i^2}e^{-2\mu_a R} \quad (1-6)$$

换成功率表示时

$$P_r = \frac{2P_i\tau_i\tau_r A_s A_r \cos\theta \rho}{\pi^2 R^4 \theta_i^2}e^{-2\mu_a R} \quad (1-7)$$

当目标尺寸大于光斑时, $A_s \cos\theta$ 只取光斑尺寸即 $\frac{\pi}{4}(R\theta_i)^2$, 则

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{E_i\tau_i\tau_r A_r \rho}{2\pi R^2}e^{-2\mu_a R} \\ P_r &= \frac{P_i\tau_i\tau_r A_r \rho}{2\pi R^2}e^{-2\mu_a R} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

由于每个激光光子的能量为 hc/λ ,式(1-8)可化为用光子数表示

$$\left. \begin{aligned} N_r &= \frac{2E_i\lambda\tau_i\tau_r A_s A_r \cos\theta \rho}{hc\pi^2\theta_i^2 R^4}e^{-2\mu_a R} \quad (\text{小目标}) \\ N_r &= \frac{E_i\lambda\tau_i\tau_r A_r \rho}{2hc\pi R^2}e^{-2\mu_a R} \quad (\text{大目标}) \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

若用 q 表示光电探测器的量子效率, M 表示它的内增益, n_s 表示光电探测器输出端的信号光电子数时,式(1-9)可进而改写为

$$\left. \begin{aligned} n_s &= \frac{2E_i \lambda q M \tau_i \tau_r A_r A_s \cos \theta \rho}{hc \pi^2 \theta_i^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \quad (\text{小目标}) \\ n_s &= \frac{E_i \lambda q M \tau_i \tau_r A_r \rho}{2hc \pi R^2} e^{-2\mu_s R} \quad (\text{大目标}) \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

上述推导是在极端简化条件下进行的,下面作些稍接近实际的局部修正。

目标反射方向性的近似修正

实际上,粗糙表面对入射激光的反射并不是各向均匀的,入射方向上的反射最强,与入射光线的夹角增加时反射逐步减弱,当此角达到 $\frac{\pi}{2}$ 时反射光强度几乎下降到零。由于反射光强的具体角分布情况显然随目标表面不同而千差万别,很难给出一个准确的表达式。但从定性方面讲,用余弦分布代替后向均匀分布显然更接近实际一些,即认为入射方向的反射强度至少比平均值大一倍,于是常用的功率表示式应为

$$\left. \begin{aligned} P_r &= \frac{4P_i \tau_i \tau_r A_r A_s \cos \theta \rho}{\pi^2 \theta_i^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \quad (\text{大目标}) \\ P_r &= \frac{P_i \tau_i \tau_r A_r \rho}{\pi R^2} e^{-2\mu_s R} \quad (\text{大目标}) \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

光束中能量角分布修正

假定光束内能量分布是非均匀的,这对大目标测距影响不大,但对小目标测距则有很大影响。对于基模或低阶模工作的激光测距机,可近似认为光束内的能量分布是轴对称的高斯分布

$$E_i(\theta_1) = \frac{a}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\theta_1^2/2\sigma_1^2} \quad (1-12)$$

式中: θ_1 ——偏离光轴中心的角度;

σ_1 ——波形系数;

a ——比例系数。

对整个空间积分(1-12)式显然等于发射的能量 E_i ,由此得

$$a = \frac{E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma_1}$$

代入式(1-12)得

$$E_i(\theta_1) = \frac{E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} e^{-\theta_1^2/2\sigma_1^2} \quad (1-13)$$

通常我们将光束发散半角 $\left(\frac{\theta_i}{2}\right)$ 处的能量定义为光束中心($\theta_1=0$)能量的 $1/e$,于是

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\theta_i}{2\sqrt{2}} \\ E_i(\theta_1) &= \frac{4E_i}{\pi\theta_i^2} e^{-4\theta_1^2/\theta_i^2} \end{aligned} \quad (1-14)$$

当目标小于光斑尺寸时,目标所拦截的能量显然应对 A_s 积分

$$\frac{4E_i \tau_i}{\pi R^2 \theta_i^2} e^{-\mu_s R} \int_{A_s} e^{-4\theta_1^2/\theta_i^2} ds \approx \frac{4E_i \tau_i A_s}{\pi R^2 \theta_i^2} e^{-\mu_s R} e^{-4\theta_1^2/\theta_i^2}$$

设目标的平均反射率为 ρ ,则

$$P_r = \frac{2P_i \tau_i \tau_r A_r A_s \rho}{\pi^2 \theta_i^2 R^4} e^{-2\mu_s R} e^{-4\theta_1^2/\theta_i^2} \quad (1-15)$$

若将 θ_1 理解为光束中心偏离目标中心的瞄准误差角,便可用上式方便地估算接收回波功率随瞄准误差角变化而变化的数值结果。

不难看出,当 $\theta_1=0$ 时,(1-15)式回复到(1-7)式;当 $\theta_1=\frac{\theta_1}{2}$ 时, $P_r\left(\frac{\theta_1}{2}\right)=\frac{1}{e}P_r(0)$,即回波功率将下降到 $\theta_1=0$ 时的 $1/e$ 。

(二)合作目标

为简化起见,这里略去合作目标的具体技术细则,仅用如下参数描述它:有效入射截面积为 A_s 、反射系数为 ρ_s (对正入射, $\rho_s \approx 1$),后向反射束散角为 θ_s (对设计和加工良好的后向反射器, θ_s 可达 10^{-6} rad)。仿前可得

$$\left. \begin{aligned} E_{rs} &= \frac{16E_t \tau_t \tau_r A_t A_s \rho_s}{\pi^2 \theta_t^2 \theta_s^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \\ P_{rs} &= \frac{16P_t \tau_t \tau_r A_t A_s \rho_s}{\pi^2 \theta_t^2 \theta_s^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \\ N_{rs} &= \frac{16E_t \lambda \tau_t \tau_r A_t A_s \rho_s}{hc \pi^2 \theta_t^2 \theta_s^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \\ n_{rs} &= \frac{16E_t \lambda q M \tau_t \tau_r A_t A_s \rho_s}{hc \pi^2 \theta_t^2 \theta_s^2 R^4} e^{-2\mu_s R} \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

作为比较,假定两类测距机的系统参数相同,漫反射和合作目标的有效截面积相等,且均为正入射则由式(1-6)和(1-16)得

$$\frac{E_{rs}}{E_r} = \frac{8\rho_s}{\theta_s^2 \rho}$$

对合作目标, $\rho_s \geq 0.8$, $\theta_s \approx 10^{-5} - 10^{-6}$ rad,而大多数漫反射目标 $\rho \leq 0.2$,由此得

$$\frac{E_{rs}}{E_r} = 3.2 \times (10^{11} - 10^{13})$$

这种比较虽然不完全恰当,但它却充分反应了使用后向反射器的巨大优越性,而这种优越性主要是由后向反射束散角贡献的,故它也是设计合作目标优先考虑的主要技术指标。

上述公式加一调制深度系数 $m(<1)$ 项即可用于漫反射和合作目标的调幅连续波测距机。

二、整体设计及主要限制因素

整体设计的主要目的,是通过计算和分析,选择一组合适的参数以达到所要求的战术技术指标。计算用基本公式为测距方程,各项参数的数值根据总体要求和有关技术目前可能达到的技术水平确定。

整体设计的初始参数是:在规定天候条件下对某类目标的最大测程、最大允许的体积和质量。通过计算和平衡,最终要求确定的主要参数是:激光器最低输出峰值功率 $P_{\min}$,束散角 θ_t ,最小探测灵敏度 $P_{\min}$,接收口径 D_r ,光路结构形式等。

主要用于近地面或复杂背景的激光测距机,往往要求束散角尽可能小(1mrad 或更小)。这类激光测距机的设计应使体积和质量尽可能小,测程尽可能大。而各种对空激光测距机,虽然背景单调,但被测目标运动速度高,现有伺服跟踪系统的跟踪精度较差,要求较大的束散角和较高的重复频率。

对激光测距系统,大气通道对激光束的传输衰减是主要限制性因素。图 1-1~图 1-4 对波段的选择、各种天候条件下衰减系数的选择都是重要的。

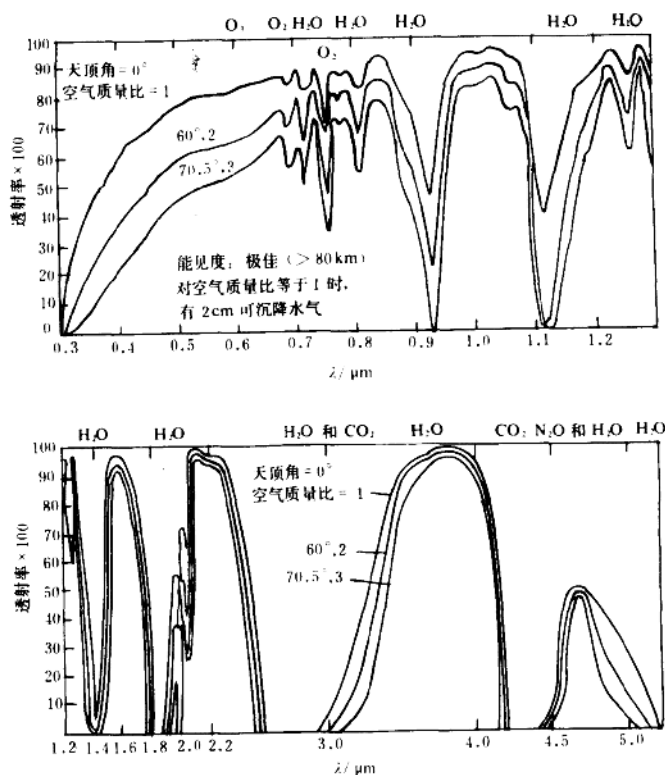


图 1-1 大气的光谱透射率^[2]

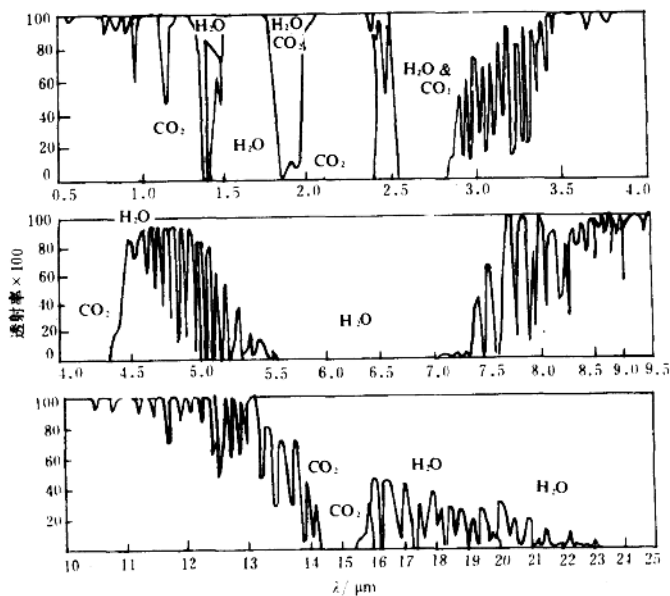


图 1-2 海平面上, 304.8m 水平空气路程上的透射率^[3]
(温度为 26.1°C (79°F), 并包含有 5.7mm 可沉降水)

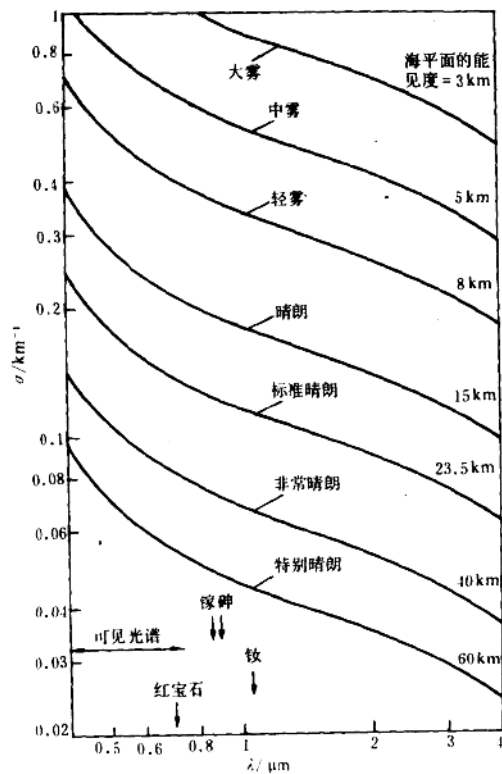


图 1-3 不同大气条件下,海平面衰减系数随波长的近似变化曲线

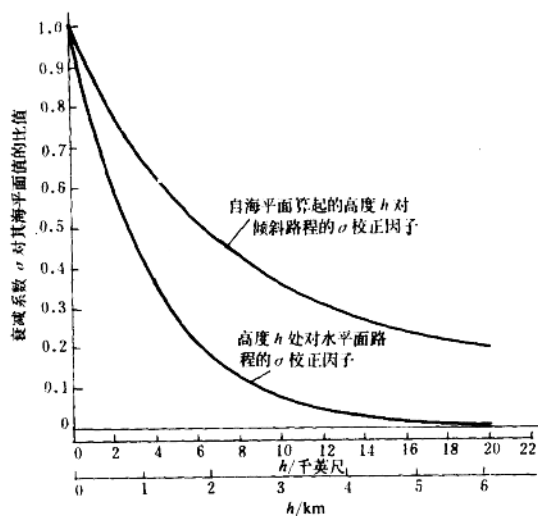


图 1-4 倾斜路程和水平路程的衰减系数对海平面的近似值

激光测距系统设计的第二种限制性因素是目标特性。图 1-5~图 1-11 列出了可供参考的各种自然和人为目标对各种波长的漫反射率。

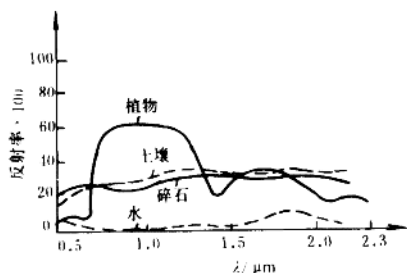


图 1-5 几种自然目标对 0.5~2.3 μm 波长激光的漫反射率

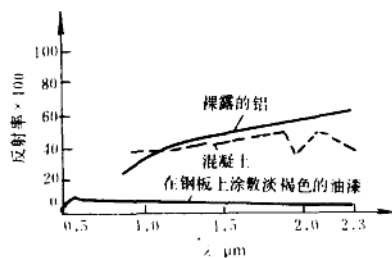


图 1-6 几种人造目标对 0.5~2.3 μm 波长激光的漫反射率

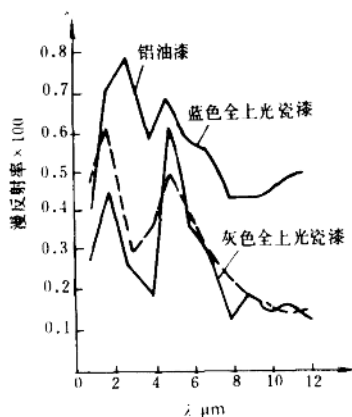


图 1-7 几种漆的漫反射率

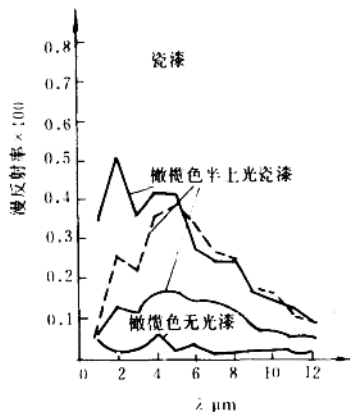


图 1-8 几种瓷漆的漫反射率

对系统设计的第三种限制性因素是在选用波长处,可利用的光电探测器可能达到最小探测功率。这将在第三节中讨论。

选定激光波长后,根据图 1-1~图 1-11 和最小可探测功率,便可由测距方程确定如下基本参数:最低峰值功率 $P_{\min}$,束散角 θ ,接收口径 D_r 。至此整体设计便基本完成了。

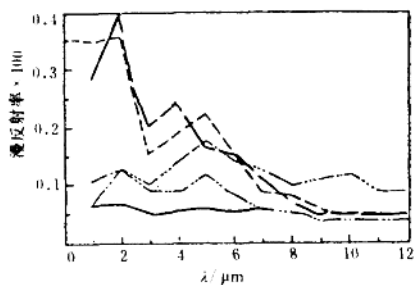


图 1-9 几种纤维的漫反射率

- 棉布上的氯丁橡胶(蓝色)维尼龙;
- 玻璃纤维(绿色);
- 尼龙(白色);
- 尼龙(蓝色);
- - - - 棉布(橄榄色)。

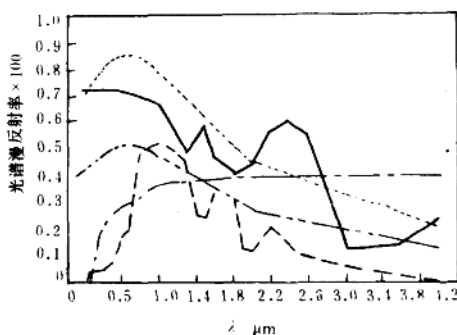


图 1-10 云和几种地物的光谱漫反射率

- 云(数据取自中层云的反射)
- 冬天的雪和冰(数据取自积雪的反射)
- 夏天的冰(数据取自夏天人造冰的反射)
- - - - 土壤和岩(数据取自砂砾、湿粘土、干粘土、凝灰岩底岩和沙质的肥土两个方向反射的平均值)
- - - - 植物(数据取自很多种植物反射的平均值)

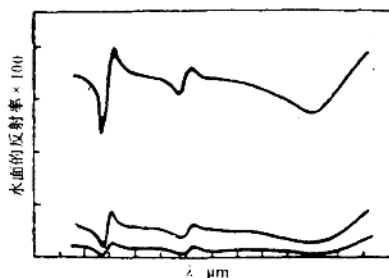


图 1-11 入射角为 0°, 60° 和 80° 时计算得到的水面反射率

三、激光测距机的组成

脉冲激光测距机由激光器、发射光学系统、接收及瞄准光学系统、取样及回波探测放大系统、计数及显示器和电源几部分组成,如图 1-12 所示,与连续波相位测距机的组成大体相似,仅在激光器与发射光路间设置可实现 1 至几种频率的调制器,并将计数器换为相移测定及解算器即可。

激光测距技术目前已十分成熟,运用它们来设计一种满足特定要求的新机型已不会碰到特别难于解决的技术问题。一般地说,激光测距机的体积和质量主要是决定于光路系统尺寸。因此,在满足战术技术指标前提下,应尽可能选择小的发射和接收口径,或者将发射、接收和瞄准光路组合成尽可能紧凑和简化的形式。

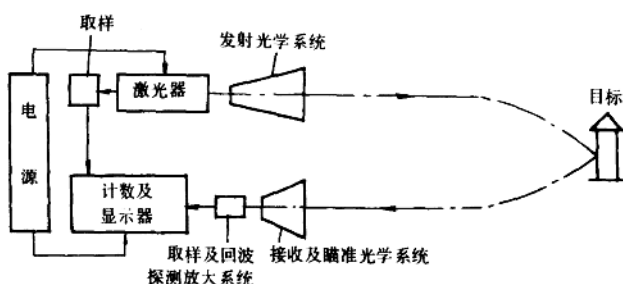


图 1-12 脉冲激光测距机组成框图

尽可能减小激光测距机的总功耗,是设计时应考虑到的又一个重要问题。通常这可由尽可能简化电路,对各功能部件采取时序供电,以及提高电源电路的效率来实现。

结构设计的主要要求是首先保证光轴的稳定性,并同时考虑到装调、维修的方便。

四、激光测距的现状

从柯利达 I 型红宝石激光测距机的诞生(1961 年)到首次装备陆军(1969 年)只经历了 9 年时间。目前,激光测距机已大量应用于坦克、地炮、高炮、飞机、军舰、潜艇及各种步兵武器,如榴弹发射器、步枪、迫击炮、火箭筒、反坦克导弹等。目前,红宝石激光器在激光测距机领域中已基本被淘汰,Nd:YAG 激光器是现有激光测距机的主要激光光源。坦克、地炮和步兵使用的激光测距机,重复频率一般为几次/min~1 次/s,Q 开关大多采用可饱和吸收染料,测程在 150~15000m 以内,测距精度为 $\pm 10\text{m}$ 、 $\pm 5\text{m}$,束散角为 1mrad 左右,接收元件大多为硅雪崩光电二极管。高炮、机载和舰载激光测距机的重复频率通常为 5~20Hz,Q 开关主要采用电光 Q 开关。

目前装备和研制中的军用激光测距机有如下特点:

1. 小型化、标准化和固体组件化

小型化和低成本是激光测距机能否普遍应用和大量装备部队所要解决的首要问题。在低重复频率激光测距机中采用可饱和吸收染料 Q 开关、硅雪崩光电二极管和大规模集成电路,是实现小型化、低成本、低功耗的主要技术途径。这类激光测距机于 70 年代中后期研制成功,中程激光测距机的质量为 2kg 左右,外形和大小像一副标准的军用双筒望远镜,可手持使用,也可放置在带有测角装置的三脚架上,或装在战车、飞机、军舰上使用。1979 年美国研制成的 LRR-104 微型近程激光测距机的质量为 540g,测程范围为 30~4000m,体积为 $130 \times 140 \times 40 (\text{mm}^3)$ 。

为了进一步降低激光测距机的成本和实现小型化、固体组件化,目前广泛使用的技术是将激光器的谐振腔固体化,即在 YAG 棒的一端镀上介质膜作输出反射镜,另一端则将染料片(或盒)及全反射镜粘结为一体。这种固体组件化的谐振腔体积小,质量小、成本低、稳定性高。同样,将接收光电器件与前置放大器、视频放大器和阈检电路组件化、固体化而构成标准化部件,则可大大降低结构设计的复杂性。