

激光对潜通信原理及发展

柳树要 何焰蓝

带有核弹头的战略核潜艇是现代化军事强国军事力量的重要组成部分。由于其具有极高的隐蔽性，可以在 300~400 米深水中活动数月之久，带有的核弹头足以摧毁一个国家的主要军事目标，是未来核战争中遭受第一次核打击之后保存的重要反击力量。发展核潜艇具有战略威慑意义，是各国军方竞相发展的重要装备。潜艇与基地的通信联系是关系到潜艇能否正常发挥作用的重要问题。对潜通信问题是各潜艇强国研究的热点和重点。

在水下进行通信，和陆上常规的通信相比有着明显的特点，主要原因是传播媒介的不同。现代的通信技术已经相当成熟，但是在水下实现远距离的通信如果仍然采用超短波、微波等手段，将面临很大的衰减问题。目前通常的潜艇通信方式是潜艇定期浮到天线漏出深度，将天线升出水面收报。这种方式极易被敌人发现，具有很大的危险性。另一种潜艇通信方式是利用超低频通信，在这种通信方式中潜艇要用一根数百米的漂浮电缆，可在水下 120~180 米深度，以 20 节速度在航行中通信，但基地设备非常庞大，天线就长达 130m 左右，每分钟只能传递 1 比特信息，3 个字母的命令至少要 15 分钟，无法进行实时指挥，且巨大的设备很容易受到敌人的攻击。因此自潜艇出现以后，各国都在努力探讨适合于潜艇通信的新方法。

上世纪 60 年代激光问世以来，国内外几乎同时起步研究用激光进行水下观察和潜艇通信。由于激光的频率高、方向性好、传送信息量大，且不受干扰，因此被人们称为“理想的通信方式”。尤其是蓝绿激光对海水具有极佳的穿透能力，使得水下一定范围内的测距、照明、电视、军事目标探测、通信等技术成为可能，被称为“水下窗口”，引起了国内外的普遍重视，为水下光电探测目标和对潜通信开辟了一条新的途径。美、英、法等国家先后用蓝绿激光进行了水下搜索、探测、通信、海底地貌的测绘及其他科学实验。

一、激光水下通信原理

激光对潜通信就是利用激光光波作为载波，并利用脉冲数字编码的方法来调制这一载波的水下通信方式。基本原理是将语音信号及图像信号调制到

激光光波上，经介质(水)传输到潜艇，再经潜艇接收端解调，还原成语音或图像信号，来完成通信。其基本组成包括发射控制系统和接收控制系统两大部分，原理与无线通信相似，如图 1 所示：

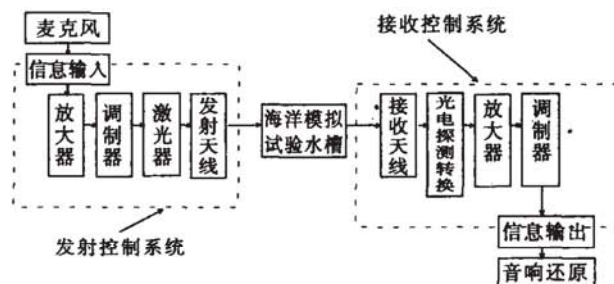


图 1 激光水下通信原理图

激光调制方式 将音频电信号加载到激光上一般采用直接调制和间接调制的方法。图 2 和图 3 分别是直接调制和间接调制的方案图。若发射控制系统中的激光器为小功率激光器，通常采用直接调制的方式传输音频信号。音频电信号经过功率放大后作为激光器的电源，使激光的光强随音频信号的变化而变化，从而实现调制。在接收端用光敏三极管接收后进行放大就能很容易地解调出传送的音频信号，再经过音响还原设备即可完成水下通信。采用直接调制激光光强的调制方式简单、方便、容易实现，但因激光器功率小，传输距离短，不太适合远距离水下激光通信。为了实现远距离水下通信，一般采用大功率激光光源，在音频信号的调制过程中一般采用间接调制的方法。

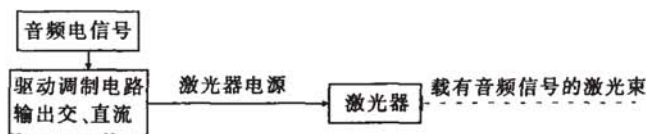


图 2 直接调制光强方案

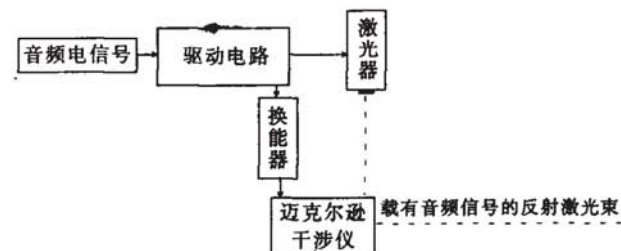


图 3 间接调制光强方案

间接调制也称迈克尔逊干涉调制，其原理是将音频电信号加到与动镜相连的压电陶瓷上，使之在干涉仪中产生有规律的周期变动，从而获得周期变化的干涉来实现激光的调制，改变激光器输出光信号的强弱；再经水下传输、光电探测、信号放大、输出监测，实现信息传输（或者采用斩波方法）。相对于直接调制来说，间接调制激光光强方法适用于远距离的水下通信，但其调制难度比较大。

发射和接收天线 由于激光的方向性好，在水下对潜通信中不易被敌方发现，但是同时也给发射和接收定位带来了很大的困难。激光水下通信的发射和接收天线不同于无线电通信中的辐射发射天线。激光发射天线是一个望远镜系统，用来对准接收端，并使发射光束更加准直，传播距离更远，其主要作用就是压窄光原发散角，对光束进行准直和扩束；大大减少目标处激光光斑尺寸，以此提高激光的作用距离和作用效果。接收光学系统的作用是接收微弱光信号并汇聚至探测器表面，增大探测器的有效接收面积。发射和接收光学系统性能的优劣直接影响到通信的可靠性。光学天线系统用于激光准直和汇聚，它主要有透射式望远镜和反射式望远镜两类。

透射性望远镜既可以做发射望远镜，又可做接收望远镜。他的基础结构可分为开普勒型和伽利略型。透射式望远镜的优点是制作简单，缺点是口径不能太大，大口径物镜的制造工艺和玻璃熔炼较困难；由于自重的作用，装配后面型的精度也难以保证。

发射式望远镜一般用做激光接收系统，它主要有牛顿系统、格里高利系统和卡塞格伦系统三种形式。反射式望远镜的优点是反射镜的材料比较容易制造，特别是对大口径零件更是如此，而且望远镜的重量较轻。他的主要缺点是反射镜对光程的影响加倍，因此反射面加工精度要求比折射面要高得多，表面变形对象质影响较大。

二、激光水下对潜通信激光器

激光器是水下激光通信的关键设备，激光水下通信能否顺利实现，是否具有可行性，关键是所选的激光器各种参数能否达到使激光束在水下传输所需的深度，一般来讲所选激光器应主要考虑波长和功率两项技术指标。

激光水下对潜通信，选择激光器的首要条件是

具有适应穿透海水的波长。激光进入水中，受到水的作用将衰减。激光在水中传播时，受到海水的衰减很大。引起衰减的物理过程有两个：吸收和散射。吸收和散射的总效果使传输的激光辐射强度受到衰减。下图给出了 0.200~0.800 μm 波长范围内海水光谱衰减分布。

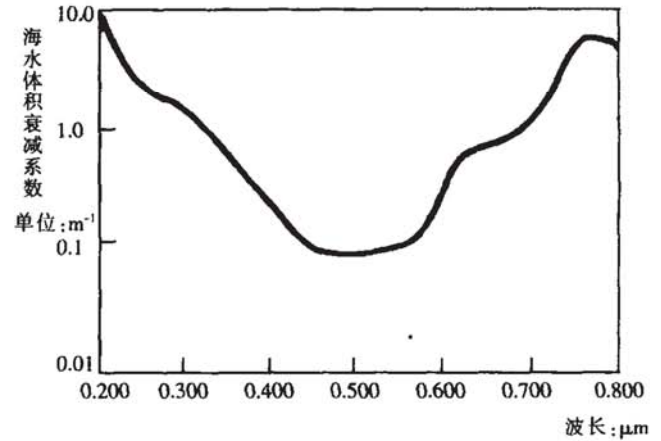


图4 海水体积散射系数随波长变化

由上图可以看出，紫外和红外波段的衰减很大，在水下无法应用。1963年，S.A.Sullivan及S.Q.Dimbley等人在研究光波在海洋中的传播特性时，发现海水对0.45~0.55波段内的蓝绿光的衰减比其他光波段的衰减要小很多，证实海洋中亦存在一个类似于大气中存在的透光窗口。在整个可见光波段，蓝绿光波的衰减最小，通常称为“水下窗口”。试验表明，衰减率最小的精确波长与海水的浊度、生物含量、温度和深度有关，在深度不超过75米时，蓝绿光穿透海水的衰减率比其他波长低；当深度超过75米时，穿透窗口移向蓝光，波长在455nm，其在海水中的衰减值可低至。按新观点，波长455nm的蓝光视为激光对潜通信的最佳波长，有着很好的应用前景。

从理论上说，激光器输出的脉冲能量越高越好，脉冲宽度越窄越好，即脉冲的峰值功率越大越有利于提高探测系统的信噪比。但实际应用中，必须考虑激光器的研究现状和预期可达到的研究水平。

目前蓝绿激光器的种类如表1所示。从目前国内水平来看，表1中几类激光器用于蓝绿激光对潜通信都具有相当好的基础，这方面的工作已为光通信打下了良好的基础。

国外利用这些激光器都完成了蓝绿光对潜通信的原理及技术实验。如美国国防部远景规划局经

过 7 年的努力耗资 1.2 亿美元,用 XeCl 准分子激光泵浦 Pb 蒸气获得 4590 埃喇曼散射激光,然后经过 Cs 蒸气共振滤光片,完成了机载激光潜艇通信实验,美国利用 HgBr 激光器完成了机载与海下 200m 潜艇通信实验,苏联利用了 Nd: YAG 倍频激光经过卫星反射器与海下潜艇通信实验,早期还有用氩离子激光及铜蒸气激光送行通信试验。因此就蓝绿光通信而言, XeCl- Pb- Cs 路线仍是优先考虑的路线之一。重复率目前可达 200Hz,在八·五期间可达 kHz。美国利弗莫尔已有了 4000Hz 的准分子激光器。太阳能微波激励的准分子激光器在美国正在大力研制,体积可以大大减少。这些都是蓝绿光(XeCl- Pb- Cs)通信的乐观条件。Nb: YAG 倍频激光器是一个好的候选者, Pb 原子共振滤波器可以匹配、但是目前尚未取得突破。在波长匹配、效率等方面,仍未取得大的进展,停留在实验阶段,若没有好的原子滤波器相匹配, Nd: YAG 激光系统在通信上无法与 Xe- Cl- Pb- Cs 抗衡。HgBr, Cu 蒸气激光器,它们的波长也在大气海洋窗口之内功率也很高。由于没有找到相匹配的原子共振滤波器,故也不是很合适的光源。探索与这些激光器相匹配的原子滤波器也是今后的研究重点之一。

表 1 蓝绿光光源

激光器	波长	重复率	平均功率
XeCl 准分子激光器	3080 埃	100Hz	20W
Cu 蒸气激光器	5106 埃	5000Hz	10W
	5782 埃	5000Hz	10W
Nd: YAG 倍频激光器	5300 埃	100Hz	10MW
XeCl 泵浦激光器	4590 埃	100Hz	0.5MW
HgBr 激光器	4980 埃	1000~2000Hz	10*W(峰值功率)
	5013 埃		
	5073 埃		
掺钛宝石激光器	可调		目前功率很小

三、激光水下通信现状及发展趋势

目前,已提出的运用蓝绿激光对潜通信主要有三种方案。

一种方式是岸基方式,由陆上基地台发射出强激光束,经低轨道"反射镜"中继卫星到深海潜艇的激光传输,实现与水下潜艇的通信。这种方式可通过星载反射镜扩束成宽光束,实现一个相当大范围内的通信;也可以控制成窄光束,以扫描方式通信。这种方案灵活,通信距离远,可用于全球范围内光束所照射到的海域,通信速率也高,不容易被敌人截获,

安全、隐蔽性好,但实现难度大。

第二种方式是天基方式,把大功率激光器置于卫星上完成上述通信功能,地面通过电通信系统对卫星上设备实施控制和联络。还可以借助一颗卫星与另一颗卫星的星际之间的通信,让位置最佳的一颗卫星实现与指定海域的潜艇通信。这种方法不论是隐蔽性还是有效性都不容置疑,应该说它是激光对潜艇通信的最佳体制,当然实现的难度也很大。第三种方式是空基方式,将大功率激光器置于飞机上,飞机飞越固定海域时,即光束以一定形状的波束(15km 长、1km 宽的矩形)扫过目标海域,完成对水下潜艇的广播式通信。

美国海军大力发展卫星对潜蓝绿激光通信,解决远距离深潜核潜艇的指挥控制,还与水面舰船、陆地组成了通信联网,定时控制潜艇的深度、航速及水下声纳、水雷等兵器。在 1981 年、1984 年及 1986 年,美海军用机载激光器和潜艇上的光接收机对各种环境模型进行了一系列通信试验。试验结果证明了,在若干个不同海域、在极恶劣的海水和云层的条件下、在作战深度上激光对潜艇的通信能力。其中 1985 年美国海军利用星载激光器与"海脉"号潜艇进行了通信试验,深度达 250m、航速 30 节,通信容量达数 kb/s,并取得了惊人的数据。因此,美国海军曾预言,蓝绿激光将取代现有 ELF 通信系统。但前苏联曾认为目前解决对潜通信的最好办法是实施全部通信手段,保证系统最大限度的可靠性。未来对潜通信的发展趋势很可能是 ELF 系统和蓝绿激光通信系统并驾齐驱,形成相辅相成的局面。

激光对潜通信能否成功在技术上主要受到激光器功率和可靠性的限制,尤其是星载激光器可靠性问题更为重要。再一个限制就是光接收机的灵敏度。因此研制高灵敏度的接收机和适合对潜通信的蓝绿激光器是以后激光对潜通信的发展重点。

发展下一代三军共用的通信卫星,这种通信卫星能适应战略和战术机动部队在核战时具有抗干扰的全球通信能力;通信方式可同时采用极高频(上行 44GHz、下行 20GHz)和毫米波对潜通信及蓝绿激光对潜通信。

采用多波束自动调零天线,这种天线的方向由星上波束成形网络控制,具有很强的(下转 71 页)