

综合评述

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

“距离选通”技术及其在水下与陆上的应用

(一) 引言

人类生活和观察的范围，主要是地面和周围的空间。在晴朗的日子里，观察的范围可以超过 30 公里。物体清晰可辨，景物色调鲜明。地平线上的云彩、山脉，轮廓清楚。但在有雾霭或干霾的时候，空气中存在的小水滴或固体微粒常常使空气浑浊，视距降低。物体形状模糊不清。尤其是在大气中有较浓的烟雾时，能见度会降到 10 公里以下，甚至几十公尺以内，也不能看见物体^[1]。

占地球面积十分之七的海洋，自古以来，就是人类活动的辽阔的领域。数十年来，人们虽已成功解决了潜水及水下航行问题，但是水下远距离观察，至今犹未成功。因为海水对可见光有着极强的衰减。最洁净的海水，透明度仅达百米左右，近岸浑浊的海水，则只有几米。至于 1,700 公尺下的深海区，则是一片黑暗，若无外界的照明，那就什么东西也看不见了^[2]。

这些自然条件限制了人们对地面及水下的观察，长期未得解决，影响了人们对周围情况的了解，限制了人们的活动。对于军事

上的影响尤其显著。新近出现的“距离选通”技术，则可在上述不利自然条件下，大大增加人们的观察距离，对生产、科研、军事行动均有一定的价值。本文就此作一简略描述。由于水下观察问题较多，也较典型，最能说明问题，故以此为主，加以介绍。

(二) 从海下打捞看水下远距离观察的必要性

下举一例，说明水下远距离观察的必要性^[3,4]。

68 年 3 月，美帝飞机出事，把装载的核弹掉到西班牙的海岸附近，引起西班牙人民的极大愤怒，纷纷抗议示威。侵略者慌了手脚，急忙出动两艘深水可潜舰到一块半径与深度均约 1,600 米的海域打捞。由于该地海底地形复杂，声拿技术无法判别，只得靠普通水下观察装置进行搜索，但目视距离很难超过 5 米，因而搜索核弹比较费劲。

舰艇人员从该地地形及核弹可能留下的痕迹来判定武器的下落。经过 12 天的搜索，估计核弹可能是掉到斜坡下的海沟中去了。

又经过了好几天，才在海沟的尽头找到丢失的核弹。在第一次设法把核弹拉起来时，刚开始，缚核弹的绳子就断了，致使核弹重新丢失，又费劲找了9天，才重新找到，而这时核弹距原来的位置不过110米远。

这次打捞之所以旷时费日，当然主要是由于少爷兵不卖力气所致，但是缺少远距离观察系统，也是一个不利的因素。一向迷信技术装备的美帝海军部门因而迫切需要一种可使潜水或水下面观察者可在水中看得较深和较远的装置。

(三) 光波在水下的传输情况

观察媒质的好坏，取决于三种基本因素：传播距离、传播速度及其分辨本领^[5]。

作为传递信息的工具，显然声波是不及光波的。

光波的优点，首先在于它的传播速度快，每秒钟为30万公里。而水中的声速则只有每秒1,500米。声波刚在水中传播228米，而电磁波却已绕地球整整一周了。

其次在分辨本领上，光波也比声波高得多。分辨本领的大小，取决于波长的长短。波长越短，分辨本领越高。在可见光谱的高频端，光的波长为0.0004厘米，而在声频谱的高频端，声波的波长约为10厘米。光波的分辨率比声波高25万倍。利用光波，可以看出远方墙上有多少块砖，而在类似的情形下以声波探测时，我们就不能分辨是一群鱼或是一只船，更不用说鱼的大小或船板上有多少个钉子了。

就传播距离说来，在一般情况下，当然是光波传得远。但在有烟雾的时候，就大受

限制。至于水下，传播距离就更短了。最洁净的海水，能见度约100米，浑浊的水中，只有几米，因而不宜以之进行水下观察。这里，多年以来，均由声拿进行探测。但声波的分辨本领太低，碰到上文所举的情形或更高的要求便无能为力，因而要解决水下观察问题，仍得求助于光波。

光波在水下的传播距离，取决于所用的波长，使用的功率及水的清浊程度。

研究结果表明，在水中光的波长愈长，吸收愈大。洋面几厘米以内，红外线即被全部吸收。波长愈短，衰减也愈弱。但衰减最少的，是在5,300埃左右的蓝绿波段，这一最佳的位置称为光在水中传播的“窗口”^[6](图1)。

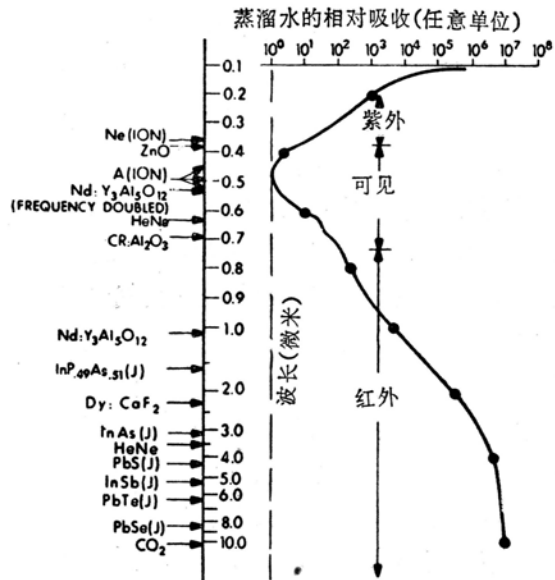


图1 水的吸收谱清楚地表明水下观察的最佳光波段为0.5微米的蓝绿窗。各种激光源的波长示于纵座标上。

所用的功率愈高，则其在水中的传输距离也愈远。但不能太高，以致在光束传输的道路上，水吸收了足够的能量而沸腾。目前还未找出此一功率的上限，但估计使每平方毫米用十兆瓦的光波问题不大^[7]。

光的传输距离，也和海水的清浊程度有关。最浑浊的近岸海水，在表层2~3米内，即损失光能85%。在最清洁的海水中，10米路程上的吸收也近20%。

光在水中衰减的主要原因为水对光能的吸收与水中的无机物与有机物等悬浮质点对光的散射。对水下观察说来，散射会引起背景光级偏高，信噪比相对降低。由于散射主要来自线度可与光波波长相比的质点，虽然蓝绿波能在水中通过较长的距离，但就散射说来，所有光波均无例外，蓝绿波也要遭受散射的损失。

因此，为了提高水下观察距离，除选择蓝绿光波，增大使用功率外，必须尽可能减小散射的影响。

(四) 用“距离选通” 技术克服反向散射

对于散射现象的进一步研究表明，前向散射对观察有利。影响观察的主要是反向散

射。反向散射并不严重到使光不能达到一定的距离，而是在目标与接收器中间这段距离上散射回许多能量，故当信号从较远的目标返回接收器时，就被大量的反向散射完全淹没，因而看不到目标。

为了克服反向散射对观察的影响，人们提出“距离选通”技术。更恰当和通俗的名称是“选距成相”。国外的科普杂志为了耸人听闻，又把它叫作“穿墙照相术”。

这种技术的实质是用很短的光脉冲来照亮被观察的物体。这一脉冲比光射到目标后又返回来的时间短得多。这时，装有快速开关的光学仪器就观察到物体。高速开关的时间是固定的，刚好当光脉冲从预定目标返回接收器时开启，脉冲进入接收器后立即关闭，观察者就只看到目标本身及其邻近的区域，这一区域的深度取决于开关开闭的时间及光脉冲的宽度。这样就消除了中途产生的反向散射带来的影响，从而提高了观察距离(图2)。

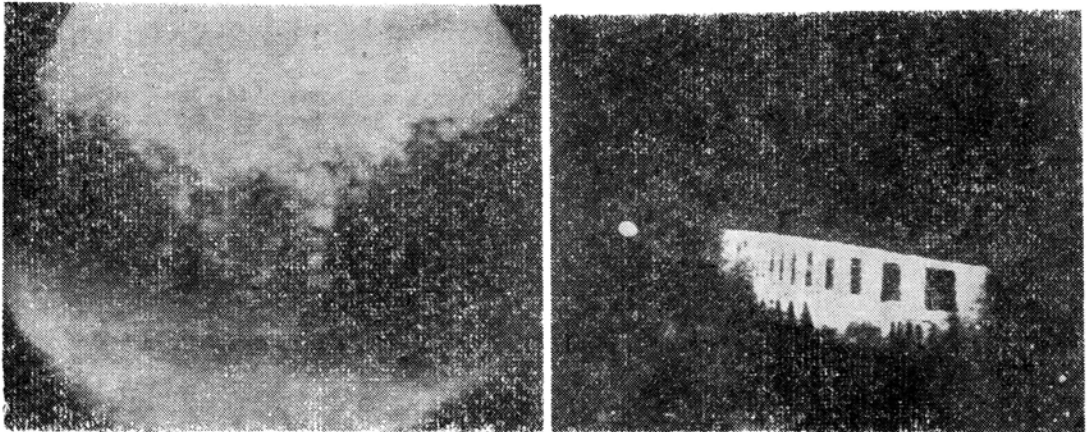


图2 左图为以一般照明方式进行水下显示，一片模糊。右图则是以“距离选通”技术显示的电视照片。

这种技术，就象人们早晚在雾中行车一样。后车的驾驶员本来可以从前车的尾灯清楚地看出前车尾部的轮廓。但如后车开亮前

灯，则前车的形象反而突然消失。后车发射的光虽然确实是穿透了浓雾射向前车，但因中途雾粒反射回来的光太多，使观察者视觉

饱和，远一些的东西便看不见了。在采用距离选通技术时，虽然由于雾的存在而导致反向散射的存在，但它却有效地排除了中途的反向散射，仅使给定距离上的景物到达人眼，这样就能看见原来看不见的东西(图3)。

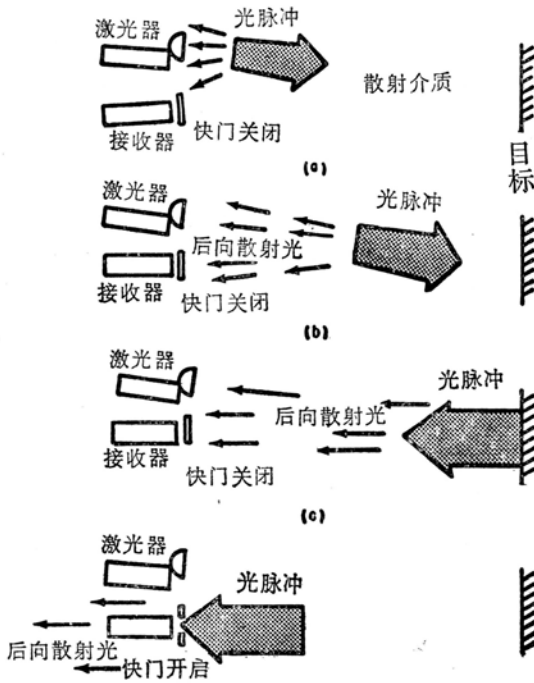


图3 距离选通作用示意图。

此外，以偏振元件区分物体反射光与背景散射光^[8]，或将光源与接收器分开放置，也可以减少反向散射，但均有一定的限制，本文不作介绍。

(五) 激光是理想的光源

这种技术很早就有人提出，但因无适当的光源而受到限制。曾试图以脉冲汞蒸汽灯照明。但因此种灯的脉冲宽度太长，在蓝绿波段发射的能量也太低，而不能使用。

激光器的出现，给距离选通技术提供了理想的光源，为其发展开拓了广阔的前景。较之非相干光源，激光有很多优点。它有很

高的亮度，单色性与方向性，可用极小的发射角与极小的发散角射向一个固定的方向，并可以被光学系统有效地接收，大大提高照明效率，增进观察距离，而Q开关激光器又很容易产生兆瓦级以上的毫微秒脉冲，故能充分满足此种技术的要求。

有两类激光器可以产生蓝绿光。一类是气体装置。以氩、氙、或氙作工作物质。其脉冲重复率很高，但峰值功率与激光效率很低。以脉冲氙激光器为例，峰值功率为12千瓦，每秒发射1,000次，脉冲宽度为2毫微秒，但其效率仅为0.01%。其余气体器件的峰值功率就更低，脉冲宽度就更宽了。

固体激光器的峰值输出功率远高于气体器件，从兆瓦至千兆瓦以上。虽然其发射波长处于红外，但可用适当的倍频装置转换到蓝绿波段，其功率仍比气体高得多。

最先采用的激光源是钜玻璃激光器，以光学晶体倍频。以后由于需要较高的脉冲重复率，而改用掺钜钇铝石榴石装置，倍频后的绿光输出达几百千瓦(图4)。迄今为止，最高重复率为每秒60次，但如需要更高的重复率，可以几台组合，顺次发射。

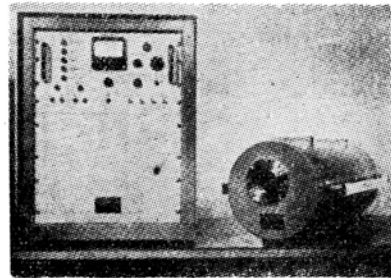


图4 水下观察用的高重复率Q开关激光系统。

以前所用的倍频物质为磷酸二氢钾等，从红外光到绿光的转换效率为3~5%，有的达30%。最近已研制成将染料激光器放到固体激光腔中，从红外光产生各种可见光，以

及用铈酸钡钠晶体从红外光产生绿光，效率在 80% 以上^[9]，这也是一个有利的条件，它将降低消耗功率，增加输出光的强度。

(六) 三种可能的系统

使用这种技术，可能有以下三种系统：

1. 脉冲观察系统：这种系统最简单，也最容易办到。它以光电调制器进行距离选通，置于窗口及观察装置之间。用一个象增强器，就可以提高能见度；

2. 同步显示系统：显示器与选通脉冲同步，可以随着闪光显现目标的图象，可检测照度较低的物体；

3. 扫描电视系统：使用扫描技术，备有光电倍增管除进行实时显示外，还可以将扫描所得的信息加以存贮，以供未来比较或分析之用。

此种系统较为复杂，但其性能也最好，所需之设备为^[10]：

(1)光源：激光器应能发出短而强的光脉冲，可以聚焦为一狭窄光束，以传输至远处。其峰值功率应可以变化，脉冲重复率可以

增加，以便在中间距离成象，如在较近距离处需进行高分辨扫描时，激光器应能连续运转。

(2)发射光学系统：为了进行搜索与成象，必须包括扫描机构。此外，光束必须聚焦至尽可能窄的宽度。应包括偏振元件，以区分需要光与不需要的光。

(3)接收检测器：在扫描系统中，这可能是一个使用大接收角光学系统的光电倍增管；而在成象系统中，则可能由灵敏的摄像管组成，带有象增强器，用于短脉冲距离选通。

(4)接收光学系统：可能包括偏振分析器、滤光片，以压缩背景光，还包括成象器或积分器与扫描机构。

(5)控制电路：包括选定距离的定时器，及使激光脉冲与摄像管扫描器同步的设备，发射器功率与接收器灵敏度应能在较宽的动态范围内调准。

6. 数据处理与显示电路：将接收光学系统得来的图象加以汇集，送给阴极射线管显示器，存贮距离选通信息以进行数据处理（参见图 5）。

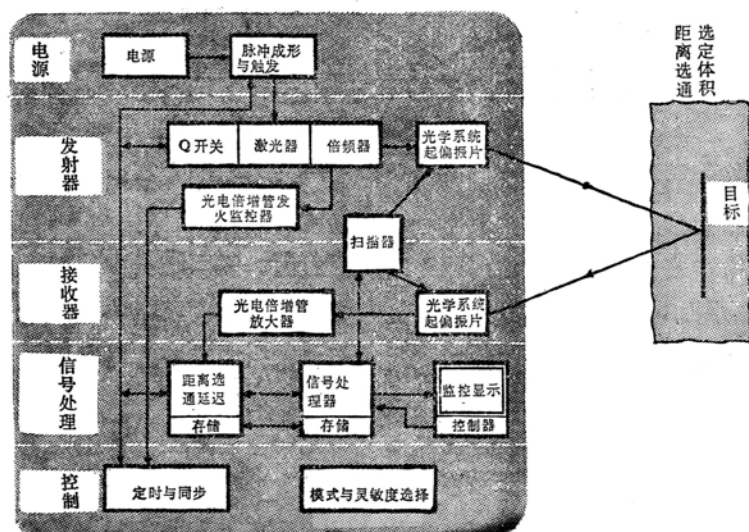


图 5 扫描与距离选通水下激光系统元部件与配置方框图。

(七) 水下和陆上的应用范围

应用这种技术,已使水下观察距离达 50 米以上,为普通观察距离的七八倍。理论上可达 300 余米,有关人员认为达到这样的距离还是可能的。

这种技术的可能应用如下:

(1)用于水下搜索或考察:这种系统可用于一般的水下探测或科学考察中,并可以帮助铺设水下管道与海底电缆。装有这类系统的可潜舰,则因此而增加其观察范围与深度。例如,一艘可潜舰的最大潜水深度为 2000 米。配上这种装置,在不改换和增添舰艇设备的情况下,又可以增加观察深度 100 米。

(2)用作潜艇探测器:配有此种系统的潜水艇,可以此了解海底地形,进行水面观察,防止碰撞。高分辨力的实时视频显示系统可以协助声拿设备,及时判定声拿所接收的信号究竟是来自鱼群、船只、冰山,还是可能出现于海上或港内的其他障碍,特别是当潜水艇在深海中受到攻击时,可协助船长利用海底有利地形,躲避追击。

(3)从空中对水下侦察:使用选通成像技术,可以在飞机上穿过空气与水的界面,观察水下的情况。探测深度可达百余公尺,一般的系统,可分辨清洁海水水下 70 公尺处近 1 米左右的物体,这对探测潜艇与水下设施很有帮助(参见图 6)。

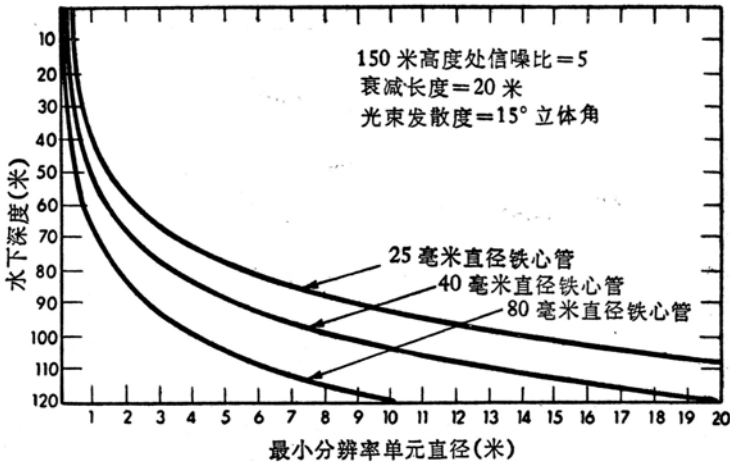


图 6 以计算机模拟激光系统的性能,算出的一组输入参量下分辨力与观察距离的关系。

(4)进行水下地形测绘:可用机载水下观察系统进行沿海浅水区和江河湖泊的水下地形测绘。飞机在水面 60 公尺至 300 余公尺处飞行(飞行高度可视扫描宽度而定),可利用光学装置进行高精度测绘,其位置误差为 30 厘米左右。

这种装置在地面与大气层中的应用,大体与水下类似,但其作用范围会较水下高很多,从而大大增加了人们在不良天候下的观

察距离。“穿墙照象”是不行的,但它却可以穿过雨、雪、轻云和薄雾,使人们看到原来看不见的东西、或者使肉眼看来模糊不清的物体变得清晰鲜明。它可以在白天工作,也可以在夜晚使用;可以用于地面观察,也可以用于空对地或地对空观察,因而也是一种很好的侦察工具。

由于这种装置只在精确选定的距离上成象,故又可以反过来利用这种性能,从成象

所需的时间来测定被摄目标的距离，这样，它就兼有摄影和测距两种功能，在航空摄影中，可在等高线地图上加上距离的信息，有利于精确测绘，进一步发展，可以成为摄影雷达或显象雷达。不但能对目标进行定位测距，又可以清晰地看见被测目标的形象，还可以消除周围环境中固定障碍物所反射的雷达回波，从而提高雷达的使用性能。则其在国防上的作用就更大了。

(八) 各国发展简况

1. 美帝

这一技术在地面的应用，由空军负责。1964年9月份举行的电影与电视工程师学会的技术会议上，即有成果报导。以60毫微秒的红宝石激光照明，以光电图象变换器适当延迟曝光时间，以消除反向散射，并在室内模拟雨雪，进行实验，其距离分辨率为十余公尺^[11]。

1968年底，美帝一家实验室已研制成一种手提式距离选通激光观察器（见图7、8）。这种装置使用七个镓砷激光二极管（发射峰值功率50~100瓦），S-1光电阴极象转换器，连电源共重15磅^[12-14]。在通常能见度为3米时，采用选通观察装置，能见度便增至30米。在晴朗的黑夜，不加特殊光学系统，作用距离约为50米。在30米处视场的直径为20米。目前最大作用距离已达100米。如采用较好的象转换器管，观察距离尚可进一步增加。它可在雨、雾、风沙、大雪或黑夜中大大增加人们的能见度，在不良天候和完全黑暗的情况下，使原来只能缓慢行驶的车辆以普通速度行进。由于砷化镓发射不可见的近红外光，故很适于军事应用。



图7 距离选通激光观察器，可使观察者在不良能见度条件下观察3米至30米的距离，或者在晴朗的夜里观察50米。七个GaAs二极管发射近红外光50至100瓦(峰值)。脉冲宽度为100毫微秒时，景深17米。



图8 装在汽车中的距离选通观察系统，可使车辆在不良天候下以正常速度行驶。

采用类似原理的等距轮廓成象可用以拍摄与显示瞬时地貌图，加强图象反差，突出主要部分，探测景物中的运动。可以直接观察，也可以记录。这种技术，去秋亦有成功报导^[15]。激光发射脉冲宽度为5毫微秒，接收器的选通频率为100兆赫。接收器快门不断地开关，则物体每隔1.5米的等距轮廓图依次进入接收器，如图9、10所示。图中汽车车身与瞄准轴线的夹角约45°，停于100米外。

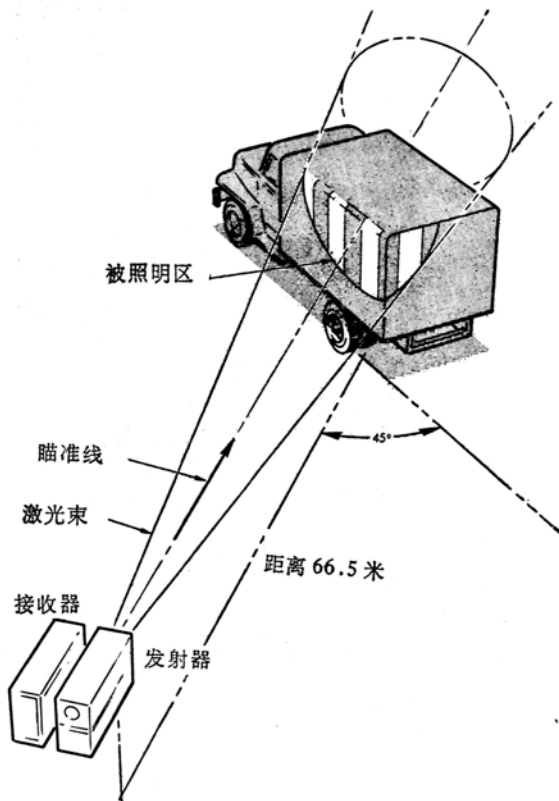


图 9 等距轮廓成像试验装置。

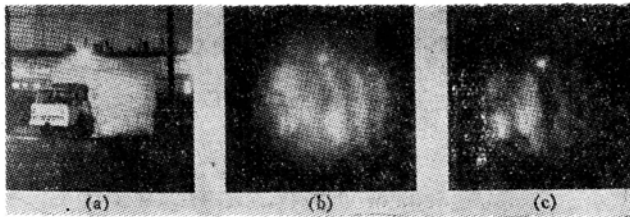


图 10 (a)100 米以外的汽车图。(b)以等距轮廓成像法拍摄的照片。(c)与(b)相同,但选通位相反。

帆布篷用绳子捆着时,篷的突起部分清晰可见,这表明实时直接观察等距轮廓图可以提高图象细节的分辨力,揭示低反差的运动。

1964 年,美帝海军即已组织人员研究可探测水下物体的机载光学测距与探测系统^[16]。以后几年,在这方面进行了不少工作,取得一定的进展,但未见成功的报导。

水下观察工作,由海军水下战中心负责,

十多家公司与学校的工作均与此有关。迄今已进行三次实验^[17]。

第一次在 1966 年完成,其目的在于证实距离选通系统的可能性。采用的激光装置为掺钕玻璃系统。每 4~5 秒输出一个脉冲。红外光倍频后的绿光输出为 10 千瓦。接收器为变象管照相机。结果表明,在十分浑浊的水中可分辨近 30 公尺处的目标,此时肉眼的视距只有两三米。

第二次在 67 年 9~12 月进行,其目的是了解系统的分辨能力。实验证实了水下距离选通的问题可以解决。所用的激光装置为每秒 30 次的掺钕钇铝石榴石 Q 开关激光器,脉冲宽度 10 毫微秒。用铈酸锂倍频至兰绿波段,峰值输出 400~500 千瓦。接收器由静电聚焦的变象管与电视摄像机组成,在洁净的海水中,系统能看到 50 公尺以上。

第三次试验在 68 年夏天进行,目的是了解由水的透明度所决定的分辨能力。采用的器件仍是掺钕钇铝石榴石,每秒钟输出 60 个脉冲,以磷酸二氢钾倍频,脉冲宽度为 5 毫微秒,峰值功率 500~800 千瓦。接收器由双平面变相管照相机组成

(68 年 5 月份仍在实验室校验)。装置为密封的,可在水下 150 米处工作。利用这些设备,可发展出一种实时显示系统。实验结果,尚未见报导。

2. 苏修

这种技术的原理,早在 1934 年即由列别捷夫提出,名叫“脉冲照相机”。由于长期以来,缺乏强而短的脉冲光源,而使其应用

受到限制。

苏修期刊在 67 年 9 月份即已报导苏修研究者曾在地面进行这种实验^[13]。采用的发射装置为 Q 开关红宝石激光器, 输出 0.5 焦耳, 脉宽 30 毫微秒。将带有五角星形图案

的木板置于 800 米外, 在板与照明器间, 以纱布模拟薄雾。利用距离选通技术, 成功地拍摄下木板的照片, 改变选通的延迟时间, 则图象消失。利用这一现象又可以测定目标的距离, 误差不超过 5 米(参见图 11)。

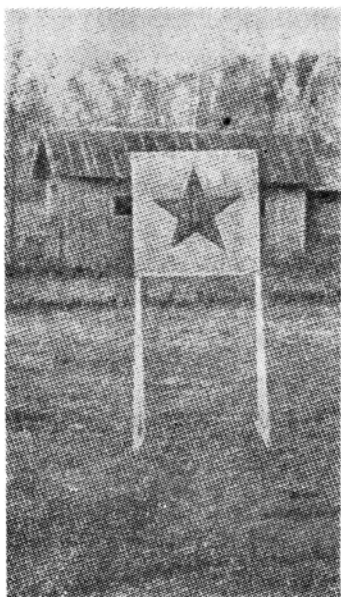
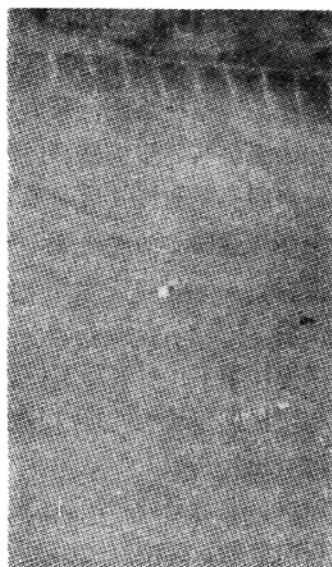
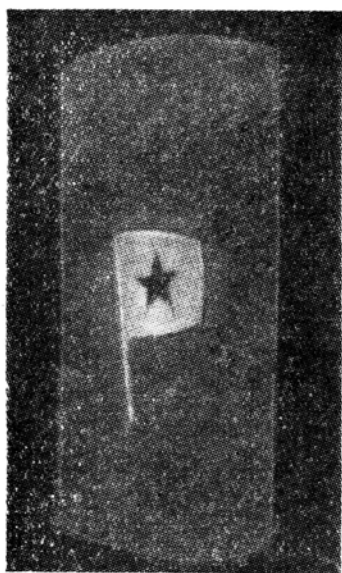


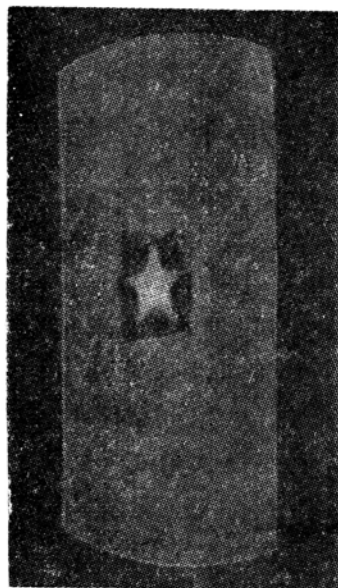
图 11 (1) 实验用的木板, 板上挖出一个五角星形的开口, 置于 800 米外。



(2) 在木板与接收器间, 放一个框架, 上蒙一层纱布, 以模拟薄雾。木板就看不见了。



(3) 用距离选通技术拍下的木板照片, 虽隔有纱布, 图象仍很清晰。



(4) 把接收系统的延迟时间稍增加一点, 拍摄到的相便不是木板本身, 而是它在背后板棚墙上的影子。

一些美帝研究人员认为,苏修公开发表这种技术,表明他们在这方面已有相当的成就,其水平也许比美帝还高^[19]。

3. 英国

英国原子能局已制成脉冲距离选通激光照相机系统,发射机的脉冲宽度为10毫微秒或更短,水下距离的分辨力可短于2.5米,较普通光源作照明提高能见度三倍以上^[20]。现正研制同步激光电视系统,采用高重复率激光源、扫描系统与同步光栅,以改进成象质量。并将照明光源与接收器的观察平面偏置,以进一步增强图象的对比度,消除返回光的小角散射。

4. 法国

据法国海洋学工作者科斯图(J. V. Cousteau)说^[21],法国以传统的声拿技术搜索一艘沉没的潜艇已告失败。他认为水下照明应由激光来解决。发射毫微秒的光脉冲可消除水分子的反向散射,以增进照明距离。虽然还没有从报刊上看到法国在这方面作了些什么工作,但从他的谈话及法国电子学及激光技术发展的水平来判断,他们很可能在这方面进行工作。

(九) 小 结

“距离选通”技术原理可靠,条件现实,应用范围宽广,是一种很有用的新技术。虽然早在三十多年以前即已提出,但由于技术条件限制,未得发展,直到激光出现,方才重新开展。1965年,即有成功的报导,近三年来进展极快,已引起各国重视,积极开展研制工作,取得一定的成就。

我国领土辽阔,气候复杂,海岸线漫长,水域深广,尤应大力开展这项工作,使之成为阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动服务,特别是为国防建设服务。用毛泽东

思想武装起来的中国人民,一定会很快取得卓越的成就,把美帝、苏修远远抛在后面。

参 考 文 献

- [1] 大气现象, (苏) 查莫尔斯基著, 科学普及出版社, 1958年, 63~73页。
- [2] 海洋科学, 科学出版社, 1955年, 42~44页。
- [3] W. E. Wilks, *Aerospace Technology*, 1968, 21, № 23, 30~31。
- [4] *Laser Letter*, 1, № 35, 4~5。
- [5] 声拿原理, (美) J. W. 霍顿著, 国防工业出版社, 1965年, 15~17页。
- [6] N. E. Johnson, *Research/Development*, 1968, 19, № 4, 28~31。
- [7] E. Kornstein, H. Weitzstein, *Electronics*, 1968, 41, № 21, 140~150。
- [8] I. V. Lemaire, *Lasers*, 1967, № 8, 120~121。
- [9] R. N. Einhoven, *Electronic Design*, 1968, 16, № 19, 58~68。
- [10] H. Kornstein, H. Weitzstein, *Electronics*, 1968, 41, № 21, 140~150。
- [11] D. B. Neumann, *J. SMPTE.*, 1965, 74, № 4, 313~319。
- [12] *Microwaves*, 1969, 7, № 1, 67。
- [13] *Laser Focus*, 1969 (Dec.), 4, № 23, 19~20。
- [14] *Laser Weekly*, 1968 (Dec. 28), 2, № 15, 2。
- [15] W. R. Hook et al., *Proc IEEE*, 1968, 56, № 7, 1218~1219。
- [16] *AW & ST*, 1964 (Ang.), 81, № 7, 72。
- [17] W. E. Wilks, *Aerospace Technology*, 1968, 21, № 23, 30~31。
- [18] В. М. Арпишкин, М. П. Ванюков, и др., *Спутико-Механическая Промышленность*, 1967, № 9, 1~3。
- [19] *Industrial Research*, 1968 (July 1), L1。
- [20] T. H. Kilpatrick, *Microwaves*, 1968, 7, № 5, 73~75。
- [21] *Laser Weekly*, 1968, 1, № 32, 2。

(激光情报编辑组编写)