

## 高技术局部战争中的光电子技术\*

梅 遂 生

(华北光电技术研究所,北京 100015)

**摘 要** 高技术条件下的局部战争反映了信息化时代的基本特点.光电子技术在高技术局部战争中扮演着十分重要的角色,包括高分辨率的信息获取、特大容量的信息传输、超高密度的信息存储、特快速度的信息处理、轻小省电的平板显示,不仅使指挥控制更加灵活准确,作战周期大大缩短,而且也直接用于武器控制,提高武器的打击精度和促进武器的智能化、无人化.由于光电子技术在战场的广泛使用,光电对抗在战争中的作用日益增强.

**关键词** 光电子技术,信息获取,信息传输,信息显示,信息存储,高功率激光器

### ELECTRO - OPTIC TECHNOLOGY IN HIGH - TECH LOCAL WARS

Mei Suisheng

(North China Research Institute of Electro - Optics, Beijing 100015)

**Abstract** Local wars involving high - technology reflect the fundamental characteristics of the information era. Electro - optic technology plays an important role in high - tech local wars, high - resolution information acquisition, huge - volume information transmission, super - high - density information storing, very fast information processing and lightweight flat panel displays not only benefit command and control, shorten the action period, but may also be applied to control weapon, improve target accuracy and promote intelligent weapons. With the wide use of electro - optic technology in the battlefield, the role of electro - optic countermeasure has become more and more important.

**Key words** electro - optic technology, information acquisition, information transmission, displays, storing, high power laser

#### 1 高技术条件下的局部战争的特点

高技术条件下的局部战争就是信息化时代的局部战争,它反映了信息化时代的基本特点.归纳起来,高技术条件下的局部战争大致有以下一些特点:

(1)整个战场(以及处于“后方”的指挥系统、后勤供应系统)形成一个紧密联系的有机整

体,分布于陆地、海洋、空中、天上(卫星、飞船)的各种武器平台互相联系,互相呼应,互相支援配合.作战双方的对抗是体系同体系的对抗.

(2)作战双方运用一切侦察手段,力求增加战场“透明度”,反隐身的斗争不断升级.

(3)指挥系统、后勤供应系统、各种武器平台,乃至单兵对信息的依赖极大地增加,因而,

\* 1998 - 07 - 14 收到初稿,1998 - 08 - 20 修回

信息量和信息流猛增,对信息的获取、传输、处理、存储、分发和显示的要求愈来愈高,战场数字化和部队装备数字化成为必然趋势。

(4) 行动(作战)周期,即从侦察到判断,到决策,到行动(作战)的这个周期大大缩短。例如,在第二次世界大战期间,这个周期约为1个月,到越南战争时期就缩短为1周,海湾战争时期缩短为1天,预期到21世纪初的某个时候将缩短到1个小时。行动(作战)周期的大幅度压缩,起决定作用的因素是信息技术的发达,它在行动周期的每一个环节中都起很大作用。

(5) 精确打击成为主要作战方式。美国空军估计,在第二次世界大战中,大约需要9000枚炸弹才能摧毁一个目标;越战期间,摧毁一个目标的炸弹数降至大约300枚;而在“沙漠风暴”行动(即海湾战争)中,只需两枚,实现精确打击,除了基于信息技术的精确制导技术之外,还需要先进的情报侦察、全球卫星定位系统等其他信息技术作为技术支撑。

(6) 武器平台的智能化程度不断提高,特别是对目标的识别能力增强。近年来,无人化的武器平台发展很快,如无人侦察机在波黑战争中起了很大作用。发达国家正在大力研制各种无人机、无人侦察车和无人潜艇等无人化武器平台。

(7) 电子对抗在战争中的作用愈益突出,无论是进攻还是防御,电子对抗都成为必不可少的作战手段。光电对抗作为电子对抗的重要组成部分,引起各国军方高度重视,正在迅速发展。

## 2 高技术局部战争对光电子技术的需求

### 2.1 信息获取

由于战争涉及的地域广阔,情况复杂而且瞬息万变,对信息获取提出了很高的要求。这些要求可以概括为“三全”、“两高”和“一实”,即全球、全天时、全天候、高分辨率、高识别力和实时。作战双方,谁获取的信息更全面、更准确、更及时,谁就在战争中处于主动地位。有的军事家

预言,由于大家都拥有相当先进的信息获取手段,因而在激战之中,一方只要比另一方早5分钟判明战场情况,就可以打败对方。

信息获取主要靠3类传感器:雷达、光电子和声学。它们有各自的优缺点,适于不同用途、不同对象,有时需将两种传感器结合起来使用,取长补短。

光电传感器的优缺点都来源于工作波长短(频率高)。其主要优点是分辨率高,包括角分辨率、距离分辨率和光谱分辨率,特别是能够获取高分辨率的图像信息;主要缺点是大气传输衰减较大(同微波雷达相比),因而在地面和中低空应用时作用距离较近,在恶劣天气时则很难发挥作用。常用的光电传感器有:CCD相机、红外(点目标)探测器、红外成像仪(又称热像仪)、多光谱相机(从可见光到红外,按光谱分为若干通道)、紫外探测器、激光测距仪、激光雷达、激光陀螺、光纤陀螺、光纤水听器和其他光纤传感器。

### 2.2 信息传输和处理

情报侦察、部队的指挥与控制以及后勤供应都有大量信息要传输和处理,高技术局部战争中的通信量剧增。美国国防部关于海湾战争致国会的最后报告中称:“在海湾地区的90天中,我们所进行的电子通信联络工作比在欧洲40年还要多”。组成美国国防部通信系统的网络和系统有:自动数字网络、国防通信系统、国防数据网络、国防卫星通信系统、国防交换网、超高频卫星通信和全球军事指挥与控制系统。卫星通信和光纤通信是这些通信网络和系统的主干线。

除特大容量信息传输外,高技术局部战争还需要超高密度存储、超快速信息处理和优质信息显示。光盘和全息存储、光信息并行处理和平板显示器等光电子技术正好适应这些要求。

### 2.3 信息融合和分发

从多种途径获取的大量信息,包括数据库中已有的信息(如数字地图、以前获取的同一地区或同一目标的信息等),需要进行融合,去粗取精,去伪存真,从大量纷繁的信息中挑出或突

显出最关心的某些信息.例如,从一个地区的地图中找出新建筑物、飞机或车辆的增减,导弹发射井和发射架,部队配置和调动情况等等.经过融合的信息可以消除大量杂乱而无用的背景,突出重要目标或事件,便于迅速、准确地了解和判断情况.

信息融合之后还要分发给有关部门和人员.分发工作要视不同对象进行筛选,并要保证及时(或适时)地送达需要那些信息的部门或人员.

当一个武器平台上有两个以上的传感器时,往往就在这个武器平台上进行一次信息融合.

## 2.4 武器的控制

各种火炮常用雷达和光电子技术进行火力控制(简称火控),即为火炮提供目标的空间坐标和运动速度等参数,以提高火炮的命中率,特别是首发命中率.自从美国在越南战场上使用了专门对付炮瞄雷达的反辐射导弹后,光电火控系统受到特别重视并迅速发展.光电火控系统一般为电视跟踪或红外跟踪加激光测距.

在精确制导武器中,光电精确制导占有重要位置.最早使用的光电精确制导武器是50年代后期出现的红外制导空空导弹.海湾战争中大量使用了红外和电视制导炸弹、激光制导炸弹.从战区外发射、低空飞行的巡航导弹也使用了激光测高和障碍回避雷达等光电子技术.

各种武器平台和许多导弹都需要精确的导航,常用的是GPS和惯性导航.激光陀螺和光纤陀螺由于没有运动的机械部件,因而体积小、重量轻、耗电省而且起动快、寿命长,已逐步进入武器和武器平台,成为新一代惯性导航的核心部件.

近炸引信是保证武器战斗部有效摧毁目标的关键部件.红外引信和激光引信抗干扰性强,已经广泛应用.

## 2.5 光电对抗

由于战场上大量使用各种光电传感器,不同档次的激光武器已经或即将投入使用,因而光电对抗在高技术局部战争中具有十分重要的

地位.光电对抗主要有以下几种:

(1)激光告警与防护.一个军事目标一旦被敌方发射的激光照射,无论是被激光测距机照射还是被激光制导的目标指示器照射,就意味着马上会被炮弹、导弹或炸弹命中.因此,激光告警成为保存自己的必不可少的装备.激光告警器应能区分照射激光的威胁等级和照射的方向,以便立即作出反应.

人眼和光电传感器很易受到激光伤害.尽管国际上正在酝酿像禁止化学和生物武器那样禁止激光致盲武器,提出了一个条约草案,但它只禁止生产专门用于致盲的激光武器,不能根本解决激光致盲问题.美国在海湾战争中就运去了两部装有“鱼”激光致盲武器的布雷德利战车,海湾战争后又生产了若干台.因此,对人眼和光电传感器的激光防护已成为现实的紧迫任务.对付固定波长的激光可以用防护镜,而对付可变波长的激光尚无良策.

(2)红外干扰.空空导弹和地空导弹多采用红外制导技术.作战飞机为了自身的生存,必须对来袭的红外制导导弹进行干扰.办法之一就是投放红外干扰弹,发射强的红外辐射,将来袭导弹引开.抛撒适当尺寸的箔条可以进行无源干扰.

(3)反光学观瞄.光学和光电观瞄仪器的光学系统有所谓“猫眼效应”,容易被激光探测出来.即用激光扫描时,其视场中如果有光学系统,就会产生强烈的反射.一旦发现它,就可以对其发射强的激光,将光学系统后面的光电探测器或人眼烧坏.

(4)反光电精确制导武器和卫星.光电精确制导武器的制导头是最脆弱的部分.只要选择的波长正好在它的响应波长范围内,就可以用较强的激光使其光电探测器饱和而暂时失效;若功率再大,就会使光电探测器永久失效.美国军方1997年10月进行了激光反卫星的试验.所用激光器为连续波氟化氙化学激光器,被照射卫星为轨道高425km的MSRI-3卫星,据说仅有30W(另一说法为200W)功率就使卫星上的光电传感器饱和.如何有效地干扰和破坏

军事卫星以及如何有效地防止激光对卫星的干扰破坏,已成为军事科技研究面临的一个重大课题。

### 3 军用光电子技术的若干发展趋势

#### 3.1 获取和显示更清晰的图像信息

图像信息的信息量最大,可以说是信息的最高形式。图像信息可以分为静止的和活动的,还可分为黑白的和彩色的,还可为二维和三维的,后者的信息量远比前者为高。在军事斗争中,为了取得优势,总是不断地追求更加清晰的图像信息。由于光电子技术的固有和潜在优势,在军事需求的有力牵引下,在图像信息的获取和显示方面不断推出新技术和新产品。有些新技术将赋予武器装备新的功能,促成武器装备的更新换代。

在新的成像器件和技术方面有:

(1) 红外焦平面阵列(IRFPA)和基于它的新一代红外成像仪。经过十几年的研究开发,到90年代初,IRFPA开始成熟。美、法、英等发达国家决定以IRFPA取代已经使用十多年的多元红外探测器组件。首先进入装备的是288×4元扫描型长波IRFPA,它被用于英、法、德3国合作研制的Trigat反坦克导弹作远程观察用热瞄准具的核心器件。同时,64×64元凝视型长波IRFPA用于Javelin(标枪)反坦克导弹。基于FPA的成像系统在3个方面有显著提高,即提高了系统的热分辨率,提高了系统的空间分辨率,降低了系统的成本和缩小了体积重量。换句话说,新一代的热像仪的作用距离更远(远40%—100%),体积更小,价格更便宜。现在的努力方向是:改进碲镉汞工艺,提高成品率,降低造价;向更大规模(更多像元)发展;寻求新的材料,大幅度提高材料均匀性和成品率。

(2) 大规模多色凝视FPA。由于多色FPA能同时响应两个或更多波段的光辐射,具有更强的抗干扰和目标识别能力,因而在情报侦察、精确制导和搜索跟踪系统中有重要应用。

(3) 非制冷IRFPA。IRFPA的制冷一直是

令人头疼的事,原因是制冷系统结构复杂、成本高,严重地制约IRFPA的推广应用。经多年研究开发,两种非制冷IRFPA商品终于问世。一种是电阻微型测辐射热计阵列,另一种是铁电微型测辐射热计阵列。例如,有一种320×240元非制冷IRFPA,等效噪声温差在0.075K至0.1K之间。即将推出640×480元非制冷IRFPA。非制冷IRFPA价格将随着工艺成熟和产量扩大而大幅度下降,其应用不仅限于轻武器观瞄,还将用于战场监视、远距离警戒和某些导弹。在国民经济中用途更广。

(4) 有源像素传感器(APS)。CCD相机在宇宙射线等粒子和光子连续不断轰击下,CCD的Si基片材料被损伤,使电荷转移效率降低,严重时甚至会完全失效,这就是所谓“CCD的辐射软化”。90年代初,研究开发出一种全新的图像传感器,称为APS。它的每个像素有其自己的选择和读出晶体管,工作原理类似RAM器件。它将在高辐射环境应用领域取代CCD。

(5) 激光距离选通成像技术。这是一种主动成像技术,用激光脉冲照射目标,用带距离门和像增强器的CCD探测从目标反射的回波成像。距离门的开启时间和门宽是可调节的。借助很窄(几个纳秒至几百纳秒)的距离门宽可以滤除绝大部分背景噪声而获得清晰的图像,同时获得目标距离。这种成像技术主要用于散射较强的传输介质中的目标探测,如对水下目标和雾中目标的探测。

在新的显示器件和技术方面,除军民两用性很强的彩色等离子体显示器和有源矩阵液晶显示器继续发展提高外,发达国家的军方很重视适于飞行员头盔用的高分辨率微型液晶显示器。它也可用于虚拟现实。这种双目微型平板显示器实际是三维显示,使人有身临其境之感。

#### 3.2 不断提高信息传输速率

由于交换和共享的信息量与日俱增,因而采用多种方法提高信息传输速率。

(1) 进入特比特(Tbit)时代的光纤通信。光纤通信自1970年开始实用化以来,其传送容量一直以很高的速度增长,大约每4至5年增长

4 倍. 1995 年开始引入 10 Gbit/s. 此后, 由于波分复用(WDM)技术的发展, 传输速率继续大幅度增长. 1996 年, 光孤子传输技术试验已达到 Tbit/s( $10^{12}$  bit/s). 本世纪末, 光纤通信即将进入 Tbit.

(2) 空间激光通信重新活跃. 70 年代中期, 空间激光通信的研究曾活跃了一个时期. 那时的主要方案是采用卤钨灯泵浦的 Nd:YAG 激光器作为发射器, 借用信标光源实现两颗远隔千里以上的卫星间的对准. 由于泵浦灯的寿命等原因, 一直没有大的进展. 现在由于二极管泵浦固体激光器(DPSSL)和大功率二极管的成熟, 空间激光通信, 包括卫星间和卫星对地面通信的研究重新活跃起来. 星对地的激光通信会不会由于云雾的遮挡而中断? 经分析认为, 如果在地面选择恰当的站址, 只要有 3—5 个地面站, 则至少一个站处在无云雾视线上的概率为 99%—99.9%. 这就为星对地激光通信扫除了一个障碍.

### 3.3 追求更高的存储密度

光存储的优点是存储密度高, 保存时间长. 目前流行的光盘存储经加固后可用于军事领域. 从今后发展来看, 现有基于面存储的光盘容量还不够高, 不能满足卫星上的要求. 人们寄希望于全息体存储, 其理论存储密度可以高达  $10^{12}$  bit/cm<sup>3</sup>, 研究工作正在加紧进行.

### 3.4 提高激光功率和光束质量

激光既可作为探测手段, 又可作为对抗手段. 高的激光功率和光束质量意味着远的作用距离和大的破坏力. 因此, 军用激光研究总是不断追求功率和光束质量. 目前氟化氙和氧碘两种化学激光器功率达 MW 和 100kW, 已经被用于激光武器. 中近期可望在军事上获得应用的高功率激光器主要有以下几种:

(1) 高功率激光二极管阵列(HPLDA). LDA 可以作为固体激光器的泵浦源, 又可以直接使用. 80 年代中后期成熟起来的量子阱技术为高功率 LDA 奠定了基础. 目前, 售价昂贵是推广应用的制约因素, 如准连续的 LDA 每峰值瓦售价 10—20 美元, 每平均瓦则要贵 4 至 10

倍. 如果扩大产量, 改进工艺, 价格有可能降至十分之一或更低. 正在研究中的量子线、量子点等新技术如果突破, 有可能从根本上大幅度提高 LDA 性能和降低价格.

为了红外对抗的需要, 正在研究发射波长为 2—5 $\mu$ m 的 LDA, 要求做到室温工作, 具有高功率输出和高光束质量.

(2) 高功率固体激光器(HPSSL). 80 年代末 90 年代初, 固体激光器的平均功率达到 1kW, 近年达到 4—6kW. 为了进一步提高功率和改善光束质量, 正在研究高平均功率相位共轭技术、多程放大技术和多光束功率合成技术. 从可靠性、光束质量和转换效率考虑, 高功率固体激光器最终都将发展成二极管泵浦的固体激光器, 即 DPSSL.

(3) 高功率光纤激光器(HPOFL). 光纤激光器采用 LDA 作泵源, 效率高, 散热好, 单根光纤可以做到 100W. 研究目标是将 1 万根光纤并联, 由一个主控振荡器信号控制, 组成输出功率为 1MW 的武器级固态激光器系统.

### 3.5 光电子器件和系统的微型化

微电子、微机械和微光学的结合, 产生了各种微型机电和光机产品. 人们正在研制具有各种功能的微型机器人、微型卫星和微型飞机, 设想用它们去执行各种军事任务, 比如侦察、警戒、破坏等. 这些微型机器人大多需要光电传感器. 为此, 光电子器件和系统的微型化是势在必行的.

### 3.6 光电子技术同微波技术的融合

光电子技术和微波技术的融合过程早已开始, 现在由于光电子技术的成熟和需求的牵引, 二者的融合正在加快, 并且展现了十分广阔的前景. 融合的方式有下列几种:

(1) 用电波控制光波. 主要是光调制器和光开关. 前者的调制频率在微波波段, 后者的上升时间在纳秒量级, 都属微波技术.

(2) 用光控制电波. 主要有光纤微波延迟线(其体积、重量比传统的电缆延迟线小得多)、相控阵天线(采用光纤可以做成共形天线)、光信号处理中极短脉冲波的生成、光变换型电场采

样头等。

(3) 有线电视和移动通信. 有线电视可用同轴电缆和光纤传输, 后者的容量和无中继传输距离比前者大得多, 因而成本较低. 为了用光波传输微波信号, 采用 LD 直接调制技术或副载

波调制技术以及图像信号副载波波分复用技术. 移动通信遇到建筑物遮挡或在隧道内、地下街道中会产生极大衰减. 此时就可以在这些遮挡处用光纤通信代替微波, 也就是形成微波与光纤混合的传输通道.

## 采用最早到达光透过高散射介质成像\*

侯比学 陈国夫

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学技术国家重点实验室, 西安 710068)

**摘要** 综述了最早到达光方法透过散射介质成像技术, 详细地介绍了克尔快门时间空间选通成像技术、共焦扫描条纹相机成像技术、非线性二次谐波产生 - 互相关选通成像技术及电子学全息选通成像技术, 对这几种选通成像技术目前的发展状况、优缺点给出了评述.

**关键词** 最早到达光, 散射介质, 选通, 成像

### IMAGING THROUGH HIGHLY SCATTERING MEDIA USING FIRST-ARRIVING-LIGHT

Hou Bixue Chen Guofu

(State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics,  
The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

**Abstract** The technique of imaging through highly scattering media using first - arriving - light is summarized. Four kinds of time - resolved imaging techniques are described in detail, including the Keer - gate, confocal scanning streak camera, second - harmonic - generation cross - correlation, and electronic holography. Their current development and their advantages and disadvantages, are discussed.

**Key words** first - arriving - light, scattering media, gating, imaging

## 1 引言

透过高散射介质(特别是生物组织)成像一直是人们最感兴趣、最具有挑战性的研究方向之一. 其原因之一是这个课题的发展在医学诊断等领域有着潜在的应用前景, 因而在国际上是非常热门的一个课题, 但是它在国内才刚刚起步. 在各种透过高散射介质成像技术中, 最早到达光方法是最有发展前途的方法之一, 这种方法是基于最早到达光概念. 一个窄的光脉冲

通过高散射介质后, 由于严重的散射, 从介质的另一面出射的光是依次射出的, 散射不严重的光较早地出现于介质的另一侧, 而严重散射的光较迟地出现, 这样通过散射介质以后的光脉冲将被展宽. 展宽后的脉冲可分为三部分<sup>[1,2]</sup>: 弹道光(ballistic light)、蛇行光(snake light)和散射光(diffusive light). 弹道光沿入射光方向直线透过散射介质, 蛇行光在介质内散射次数不多, 在前进方向上很小的一个锥角内传播, 这

\* 1998 - 07 - 17 收到初稿, 1998 - 11 - 02 修回