

光纤技术及其军事应用

1 概述

由于光纤作为一种传输媒质，与传统的铜电缆相比具有一系列明显的优点，因此，自上世纪 70 年代以来，光纤技术不仅在电信等民用领域取得了飞速的发展，而且因其抗电磁干扰、保密性好、抗核辐射等能力，以及重量轻、尺寸小等优点，使它也得到了各发达国家政府和军方的重视与青睐。特别是在美国，早在 80 年代中期，先后计划的光纤军事应用项目就达 400 项左右，这些项目包括固定设施通信网、战术通信系统、遥控侦察车辆和飞行器、光纤制导导弹、航空电子数据总线和控制链路、舰载光纤数据总线、反潜战网络、水声拖曳阵列、遥控深潜器、传感器和核试验等。这些项目陆续有报道取得了不同的进展。进入 90 年代以来，光纤技术的军事应用继续受到美、欧等国军方的重视。在美国，三军光纤技术开发活动的计划项目分成五大部分：有源和无源光元件、传感器、辐射效应、点对点系统和网络系统。由三军光纤协调委员会进行组织，每年投资为 5 千万美元。在面向 21 世纪的今天，美国国防部已把“光子学、光电子学”和“点对点通信”列为 2010 年十大国防技术中的两项。其中光纤技术占据着举足轻重的地位。这预示着美国等西方国家对光纤技术军事应用的研究将全面展开并加速进行。而各项先期应用及演示、验证表明。21 世纪的军事通信和武器装备离开了光纤技术将无“现代化”或“先进”可言，在未来战争中将处于被动挨打的局面。

2 光纤技术的军事应用

2.1 光纤技术的陆上军事应用

2.1.1 光纤技术的军事通信应用

光纤技术在陆上的军事通信应用主要包括三个方面：1) 战略和战术通信的远程系统；2) 基地间通信的局域网；3) 卫星地球站、雷达等设施间的链路。自从“信息高速公路”概念的出现，美国就在军用信息高速公路的发展中走在了世界各国的前面。1992年6月，美国参谋长联席会议下发了名为“武士 C4T”的关于美军 21 世纪通信和协同作战总体规划的框架文件。“武士 C4T”计划的目标是按军用“信息高速公路”的要求，建立一个全球性的实时军用通信网，即称为“信息球”的全球通信网。它将是一个连通士兵、指挥所和各种传感器的指挥网，是一个反应灵敏的 C8 系统。它的基础网就是国防信息系统网 (DISN)，由地面及卫星的军用和民用通信系统所构成。目标 DISN 是一个宽带综合业务数字网 (B-ISDN)，传输容量将高达几 Gb/s。拟分近、中、远三个阶段实施，从 1995 年起，花 10-15 年时间加以实现。战场信息系统 (BIS-2020) 则是支持美国陆军 21 世纪作战理论的未来陆军信息系统。作为支持“BIS-2020”系统的陆军战术指挥控制系统 (ATCCS)，主要是一种地理上分散的，高度机动的，通信密度大的系统。它也将分三步予以实施。第三步 ATCCS，即最终目标系统也就是“BIS-2020”系统，其研制周期为 1995~2000 年。而光纤局域网，特别是光纤分布数据接口 (FDDI) 是其中的关键技术之一。美军的 C3 系统在海湾战争中对赢得战争的胜利发挥了重

要作用。尤其是美国三军联合战术通信系统（TRI-TAC）、移动交换设备（MSE）和改进型陆军战术通信系统都发挥了重要作用。但这些系统也暴露出不少问题,因此,美军根据这些问题和未来的作战要求,从三个方面对 TRI-TAC 进行了技术改进。一是由空军负责的 TAC-1 [光缆](#)系统,它将代替同轴电缆,装备分布在全球的美军 TRI-TAC 系统;二是陆军的野战光缆传输系统（FOTS）。拟用 10000km 的光缆代替 CX-11230 型同轴电缆;三是由海军陆战队的野战光缆系统(FOCS)连接数字交换机和无线电设备。此外,本地分配系统也是 TRI-TAC 的一个组成部分,它主要将用野战光缆代替野战通信车之间的四根 26 对 CX-4566 型电缆。除此之外,美国海军和空军还都在建设自己采用异步传输模式（ATM）的宽带光纤通信网。空军的 C3I 系统是光纤技术在美国空军中应用的最大项目之一。1979 年,美国 GTE 公司从美国空军获得了 3.25 亿美元的 MX 导弹发射场 C3 系统的合同,用光缆作为作战控制中心、地区支援中心、导弹掩体和维护设施之间的互连线路,线路总长 15000km,连接 4800 处有人和无人值守场所的 5000 多台计算机。而在 1987~1996 年的十年间, MX 导弹 C3 系统的投资预算更达到 5.17 亿美元。美军还提出了在主要的军用门道配置军用卫星和光缆双重链路的设想,以便利用这两种通信方式工作特点和性能特点的互补性,保障危机情况下战略和战术综合通信的抗毁性。

2.1.2 光纤技术在雷达和微波系统的应用

由于光纤传输损耗低、频带宽等固有的优点,光纤在雷达系统

的应用首先用于连接雷达天线和雷达控制中心,从而可使两者的距离从原来用同轴电缆时的 300m 以内扩大到 2 ~ 5 km。用光纤作传输媒体,其频带可覆盖 X 波段 (8 ~ 12.4GHz) 或 Ku 波段 (12.4 ~ 18GHz)。目前 X 波段高频光纤系统已实用化, Ku 波段的宽带微波光纤线路系统也已有大量报道。 光纤在微波信号处理方面的应用主要是光纤延迟线信号处理。先进的高分辨率雷达要求损耗低、时间带宽积大的延迟器件进行信号处理。传统的同轴延迟线、声表面波 (SAW) 延迟线、电荷耦合器件 (CCD) 等均已不能满足要求。静磁波器件和超导延迟线虽能满足技术要求,但离实用化尚很遥远。光纤延迟线具有损耗低 (在 1 ~ 10GHz 频段内,单位延迟时间的损耗仅 0.4 ~ 0.1dB / ps), 时间带宽积大 (达 $10^4 \sim 10^6$), 带宽宽 ($> 10\text{GHz}$) 等优点,且动态范围大,三次穿越信号小,实现彼此跟踪的延迟线相当容易,而且能封装进一个小型的封装盒。用于相控阵雷达信号处理的多半是多模光纤构成的延迟线。目前国外光纤延迟线已进入成熟期。 为提高相控阵雷达天线波束扫描的灵活性,减小初始功耗,以及精密控制所需的单元相位和幅度以实现低的空间旁瓣,需要对每一天线单元提供波束 (相位) 控制信号、极化控制信号和幅度控制信号。采用光纤高速传输这些控制信号,相位稳定性好,可以大幅度减少每一有源单元的电子组件量,简化系统构成,降低雷达成本,减小体积和质量。 光纤技术在相控阵雷达的应用还包括用光纤延迟线在光控相控阵雷达波束形成所需的相移。在电光相控阵发射机中采用集成光学进行波束形成,用光纤技术进行天线的灵活遥控。利用光纤色散棱镜技术的宽带

光纤实时延迟相控阵接收机等。其中，除光纤延迟线外，光纤耦合器、波分复用 / 解复用器、集成光学、偏振保持光纤、高色散光纤、[光纤放大器](#)、光纤光栅等先进的光纤元器件技术得到了应用。

2.1.3 光纤制导导弹 (FOG-M)

利用光导纤维传输制导信息的一种新型战术导弹，主要用于打坦克，也可以打低空飞行的直升机。这种导弹的头部装有微光电视摄像机或红外成像导引头，尾部有一卷光纤与发射控制装置相联。导弹飞行时光纤从尾部放出，同时导引头的摄像机将拍摄的目标图象传到发射控制装置，控制指令通过光纤传给导弹的制导系统，控制导弹命中目标。由于光纤传输的信息量大、频带宽、功耗低、自身辐射极小，所以光纤制导导弹的目标识别能力强、制导精度高、抗干扰性好。光纤制导导弹目前仍处于工程研制阶段，美国、法国、德国和巴西等国都在研制。其中巴西研制的一种光纤制导导弹，长 1.5 米，直径 180 毫米，可从地面、舰艇和飞机上发射，最大射程达 20 公里；采用空心装药战斗部，可击穿 1000 毫米厚的钢装甲。

光纤制导导弹的概念提出于 1972 年，但其发展是在 80 年代初期。美国陆军的项目主要用于反坦克和反武装直升飞机。早期设计的射程仅 10km。美国海军的项目则主要用于空对空、空对地及舰对舰作战。美国陆军在 1989~1991 年用于 FOG-M 的开发经费都在 1 亿美元左右。进行了 40 次以上的点火试验，后因研制费用太高而于 1991 年项目被取消。海湾战争中，美军在用轻武器抗衡重武器或装甲编队时意识到，需要一种可以展开又保持攻击装甲编队所需杀伤力的轻、重

应急武器，而 FOG-M 正好能满足这种极有杀伤力、存活率、高度可展开和灵活的系统的需要。为了给陆军快速反应部队提供对付远距离的直升机和坦克的手段，美国又恢复了 FOG-M 的研制。计划于 1994 年初进入演示与验证阶段。1997~1998 财政年度开始低速生产。最近有报道，美国陆军导弹司令部正在对远程光纤制导导弹进行技术演示，该导弹能击中 100km 外的运动目标。FOG-M 不仅受到美国军方的重视，德国也进行了开发研究，并得到了法国的合作，意大利也加入其中，三国共同制定了三边光纤导弹（TRIFOM）计划。其中 Polypheme 20 型用于对付师级装甲车、直升机，可装在轻型或高机动车辆上，射程为 15km；Polypheme60 型用于杀伤纵深特定的固定或低机动性的目标，射程为 60km；Polypheme SM 型用于潜艇水下数百米深处发射，反直升机或飞机，射程为 10km。在 1996 年 10 月于巴黎举办的欧洲舰艇博览会上，法国宇航公司导弹部展出了新研制的光纤制导多用途舰载导弹。巴西也在 1995 年的巴黎航空展览会上展出了 20km 射程的 FOG-M。

2.1.4 光纤系绳武器

美军军用机器人已于 1988 年开始中批量生产，年均产值达 5 亿美元。光纤遥控战车（TOV）是用一根光缆系留到基地站拖车上的高机动性多用途轮式车辆，可将各种侦察装置、传感器及武器送到危险战区，执行诸如侦察、探雷、排雷、清除障碍和弹药补给等任务，车速可达 3.5km/h，操作距离达 15~30km。如一种由 Grumman 公司研制的称为 Ranger（别动队）的光纤系留车辆在试验中成功地击中了

300m 以外的装甲目标。其最高时速达 27km。由美国海军海洋系统中心 (NOSC) 和 Sandia 国立研究所联合研制的遥控飞行器 (AR OD) 是一种用光纤系留的涵道风扇式装置, 通过电视实施侦察任务, AROD III 的活动范围达 4000m。使用系留光缆的气球载雷达侦察系统也得到了迅速发展, 气球升空高度 600m ~ 6000m, 有效载荷 100kg ~ 2000kg, 持续滞空时间 15 ~ 30 天, 可起到类似高空预警机的功能。光纤遥控水下深潜器 (ROV) 也称水下机器人或无人潜艇, 有拖曳式和系留式两种。通过装备不同的设备可进行地形测绘、调查打捞沉船和坠海飞机、营救潜艇、反潜监听装置布设、探测和排除水雷、自主布雷和水下诱饵等。鹰式电子择优诱饵是美国海军研究实验室开发的光纤系留无人飞行器, 重量 36kg, 采用旋转翼, 负载能力 6.5kg, 计划于 1997 年完成最后试验。

2.1.5 在地下核试验中的应用

由于光纤在核环境中具有两大优点, 一是不受电磁脉冲的影响, 二是光纤在暴露于强辐射武器爆炸后几秒钟内就能恢复。因此, 美国军方将光纤技术用到了地下核试验中。

2.1.6 在夜视装置中的应用

据报道, 美军在新式的夜视装置中加进了光纤元件来增强图像。这种光纤元件主要是光纤熔融面板。

2.2 光纤技术的海上军事应用

2.2.1 舰载高速光纤网

由于现代化的舰艇装备有大量的通信、雷达、导航、传感器系统和武器指挥系统等电子设备，加上其它电气设备，因此造成了严重的电磁干扰、射频干扰等问题，为此，80年代初美国海军实施了开发大型新舰船用光纤区域网作为计算机数据总线的计划-AEGIS（宙斯盾）计划。1986年初，美国海军海洋系统司令部又在此基础上成立了SAFENET（能抗毁的自适应光纤嵌入网）委员会。并于1987年成立工作组指导制定了SAFENET-I和SAFENE-15两套标准。分别于1991年1月和1992年1月完成。前者是一种军用加强型IEEE802.5令牌环网，传输速率16Mb/S，后者是基于ANSI 3XT9.5 FDDI（光纤分布数据接口）令牌环网，传输速率100Mb/s。这些系统已安装在CG-47 Aegis导弹巡洋舰、DDG 51级导弹驱逐舰、乔治·华盛顿号航空母舰等舰艇上。美国海上系统司令部和国防高级研究计划局还联合制定了利用同步光网（Sonet）、宽带综合业务网（B-ISDN）和异步传输模式（ATM）标准，开发高速光网（HSO）原型的计划，由海军研究实验室（NRL）负责开发和评价，从1991年年中开始为期三年。该网利用单模光纤，传输速率从155Mb/S（OC-3）到2.4Gb/S（OC-48）。1992年实现了1.7Gb/S的第一阶段目标。美国小石城号航母上的雷达数据总线传输容量就达到了1Gb/S，并使原来重量达90吨的同轴电缆被半吨重的单模光缆所代替。高级水下作战系统（SUBACS-Submarine Advanced Combat System），SUBACS是美国海军最大的舰载水下光纤通信计划项目，该项目计划在所有的洛杉矶688级攻击型核潜艇和新型“三叉戟”弹道导弹潜艇中装备光纤数据

总线，将传感器与火控系统接入分布式计算机网，从而大大提高潜艇的数据处理能力，这就是所谓的 AN/BSY-1。据报道，整个计划头两年的研制开发经费为 6.38 亿美元，生产合同预计至少 20 亿美元。以后又在 1989 年以后生产的“海狼”SSN-21 级攻击型潜艇中采用通用电气公司海战部开发的 AN/BSY-2 综合光纤作战控制声学系统。1997 年 11 月，美国在核动力航空母舰“杜鲁门号”(CYN75)上采用气送光纤技术完成了光纤敷设。后来又成功地在“企业号”(CVN 65)上进行了敷设。还计划在“里根号”(CVN 76)、“尼米兹号”(CVN68)及“USSWasp”号(LHD-1)上用气送光纤技术敷设光纤系统。其中“杜鲁门号”上所用光纤达 67.58km。

2.2.2 光纤水听器系统

光纤水听器是利用光纤技术探测水下声波的器件，它与传统的压电水听器相比，具有极高的灵敏度、足够大的动态范围、本质的抗电磁干扰能力、无阻抗匹配要求、系统“湿端”质量轻和结构的任意性等优势，因此足以应付来自潜艇静噪技术不断提高的挑战，适应了各发达国家反潜战略的要求，被视为国防技术重点开发项目之一。光纤水听器的主要军事应用为：

- 全光纤水听器拖曳阵列
- 全光纤海底声监视系统（Ariadene 计划）
- 全光纤轻型潜艇和水面舰船共形水听器阵列
- 超低频光纤梯度水听器
- 海洋环境噪声及安静型潜艇噪声测量

美国对这项技术的研究始于 70 年代末，到 1992 财政年度已投入超过 1 亿美元的研究和开发经费。美国海军研究实验室(NRL)、海军水下装备中心(NUWC)、Gould 公司海事系统分公司、和 Litton

制导和控制公司联合开发了全光纤水听器拖曳阵列 (AOTA)、潜艇和水面舰船共形水听器阵列 (LWPA) 等各种不同反潜应用类型的海试系统, 经过大量海上试验, 已达可以部署的状态。目前他们正在开发大规模 (几百个单元) 的全光纤水听器阵列系统及其相关技术。近十年来, 美国已对全光纤水听器及其阵列的各种应用场合都进行了试验, 试验结果很成功。英国对水听器的研究主要由 Plessey 国防研究分公司、海军系统分公司和马可尼水下系统有限公司承担, 开发了全光纤水听器拖曳阵列、海底声监视系统等各种不同反潜应用的海试系统, 也进行了一系列海上试验。

2.2.3 光纤制导鱼雷

与光纤制导导弹一样, 光纤制导鱼雷能大大改善鱼雷的攻击性能。美国海军海洋系统中心试验的光纤制导鱼雷, 制导距离 5km, 速度 18 节 (33km / h), 进一步的试验将达 70 节 (130km/h), 射程则将扩大到 100km。其关键是光缆及其放线技术和先进的光纤水听器, 法国也进行了成功的光纤制导鱼雷的试验, 制导距离达到了 20km。

2.2.4 桅杆式光电观测装置

从 80 年代开始, 美、英、德等国的潜望镜制造厂商都开始研制一种不穿透潜艇耐压船体的多功能传感器成像系统, 即潜艇光电桅杆, 它将用来代替传统的潜望镜, 装置 90 年代中、后期乃至 21 世纪初服役的新型潜艇。英国海军于 90 年代先后建造的 4 艘 “前卫” 级弹道导弹核潜艇采用的自防护组合式光电潜望镜系统, 就由光电桅杆

和光学潜望镜组成,而光电桅杆的可回转多传感器头与艇内操纵控制台之间的信息则由光缆进行传输。这种桅杆式光电观测装置还被用到了装甲车辆及直升飞机上。

2.3 光纤技术的航空航天军事应用

光纤技术在航空领域的应用主要有以下四个方面:

- 代替铜线用于点对点的光纤数据传输
- 用于高速网络和计算机的互连
- 用于飞行和发动机的控制,即所谓的“光控飞行”
- 智能结构和智能蒙皮

2.3.1 点对点数据传输和网络应用

目前已在飞机中少量使用的点对点链路主要用于航空电子装置“黑盒子”之间的数据传送。这些链路在 F/A-18、AV-88 及黑鹰直升飞机中表现良好,数据速率从 $10\text{Mb/s} \sim 100\text{Mb/s}$ 。由于光纤系统价格较贵,低损耗及宽带能力不能充分利用,因此配备数量较少,只用于存在严重电磁干扰和电磁脉冲问题的场合。随着复杂性的增加,光纤数据总线的带宽也将增加。如 F-22 和 RAH-66 Comanche 要求 $100\text{Mb/s} \sim 1\text{Gb/s}$ 的高速光纤数据总线用于通信和传感器接口。

2.3.2 光控飞行 (Flight-by-Light)

由于电磁干扰(EMI)、电磁脉冲(EMP)、高强度无线电频率(HIRE)以及新的威胁(如直接能量武器)会严重威胁配备电控飞行的飞行器

的飞行安全，因此人们不得不采取适当的屏蔽措施，但这样将造成重量的增加，而光控飞行可起到一箭双雕的作用。对于战术飞机来说，如用光控飞行替代电控飞行，重量约可节省 90 ~ 317kg，而且，光纤系统不仅可进行飞行控制，还可用来控制和监测飞行器的子系统，机载光纤系统在“隐形”飞机中也很重要，因为机内长达数公里的电缆的噪声辐射将成为辐射源而易被雷达所发现，采用光纤系统则不存在这个问题。光控飞行的研制工作始于 1980 年美国陆军的“先进的数字光控制系统（ADOCS）计划，由 Boeing Vertol Co. 公司承担，后来安装于 Sikorski UH-60A “黑鹰”直升飞机上成功地进行了演示。打算安装在各种军用直升飞机上。1985 年，美国航空航天局（NASA）和国防部合作，开始了一项“光纤控制系统总成（FOCSI）”的计划。该计划于 1993 年秋天在美国海军的 F-18 战斗机上进行了开放环路飞行试验，重点是飞行控制传感器，以及用于总压力、静态压力、马赫数、攻击角度的传感器，以及用于一个完整的综合推进 / 飞行控制系统所需的总体温度的传感器。NASA 还准备在一项“推进管理光学接口系统（OPMIS）”计划中对光纤控制飞行进行另一项演示。美国高级研究计划局（ARPA）和 NAS 已开始着手光控飞行计划，这项计划称之为“光控飞行先进系统硬件技术再投资项目（FLASH）”，由 Wright 实验室实施。

2.3.3 光纤技术在导弹及航天飞行器的应用

除了前面所述的 MX 导弹发射场用光纤链路外，光纤可以在运载火箭的三个子系统中替代电缆，并大大提高运载火箭的可靠性。这三

个子系统是：1) 起飞倒计时 (T-0) 脐带系统；2) 航空电子设备互连网；3) 监控传感器。据报道，欧洲航天局 (ESA) 与英国 Sira 公司签订合同，要求该公司设计一种低成本、无源、且高度灵活的航天器光纤监测系统，以解决航天器缺乏视觉数据，特别是不完全展开的问题，并打算安装在计划于 1998 年底发射的 ENVISAT 宇宙飞船上，以及在标准化后装配到所有宇宙飞船上。美国 Rockwell International 公司对光纤技术在液体燃料火箭发动机的仪表和控制应用的可行性进行了研究。应用场合包括：用于涡轮叶片温度测量的光纤高温计；燃烧过程的光纤拉曼温度传感；涡轮泵轴承磨损的光纤挠度计测量等。