

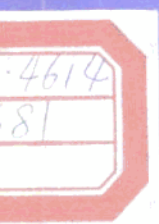
纤维光学技术在军事中的应用

科学技术文献出版社



杨家德 鲍络群 廖先炳 编著

纤维光学技术 在军事中的应用



出版社

73.4614
621

纤维光学技术在军事中的应用

杨家德 鲍络群 廖先炳 编著



科学技术文献出版社

9910088

(京)新登字 130 号

内 容 提 要

本书是光纤光学技术在军事中应用的专著,全书共十章四十六节,涉及光纤光学技术在各种军事装备和武器系统的信号传输、信号传感和信号处理的应用。

本书在内容上力求较全面反映光纤光学技术在战术通信、机载通信、舰载通信、武器制导、惯性导航、反潜探测、雷达和电子战、卫星、核试验以及智能飞行器等中的应用现状、未来发展以及相关技术。

在信号传输方面,利用光纤的低损耗、大带宽和抗电磁干扰等优点,重点介绍在野战、机载、舰载、光纤制导、雷达天线远程化和雷达信号传感、卫星通信转发等领域的应用;在信号传感方面,分别介绍以 Sagnac 效应为基础的干涉仪光纤陀螺在惯性导航和武器制导中应用以及利用光纤水听器(阵列)的声纳探测应用和利用光纤传感器和链路在复合材料中的可埋置性的智能结构/蒙皮飞行器中应用;在信号处理方面,利用光纤延迟线和集成光路,重点介绍在相控阵雷达天线系统的波束形成/控制、电子战欺骗干扰、射频测向以及雷达信号处理中的应用。

本书对推动军用光电子技术的研究、开发和应用是一本较好的参考资料,对拓宽从事军用光电子技术的人员思路有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

0034/14

光纤光学技术在军事中的应用/杨家德著.-北京:

科学技术文献出版社,1998.3

ISBN 7-5023-3041-0

I. 纤… I. 杨… II. 纤维光学-应用-军用通信 IV. E96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 06864 号

科学技术文献出版社出版、发行

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

新华书店经销

国家科委西南信息中心印刷厂印刷

重庆光电技术研究所(半导体光电)编辑部激排室激排

1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 14.125 印张 347 千字

印数:1—5 000 册

定价:20.00 元

0034/14

前 言

自 20 世纪 70 年代以后,由于半导体光电器件和光纤两大基础元器件的突破性进展,光子技术迅速地和电子技术结合起来,形成具有强大生命力的信息光电子技术和产业。以光电器件、光纤(缆)和集成光路为基础的信息传输、信息传感和信息处理已从实验室走向实用阶段,特别是光纤通信已发展成支配当今通信产业的重要角色。尽管信息传感和信息处理还存在着一些实用化问题,但是,已取得若干重大的突破性进展,相信在本世纪末或下世纪初必将进入工程应用。

光纤是本世纪 70 年代发展起来的一种理想信息传输、信息传感和信息处理媒质,由于它具有低的传输损耗、高的传输数据速率、大的带宽、轻的重量、小的体积和抗电磁干扰、抗核辐射、抗毁性以及恶劣环境适应性等优点,特别适合于野战通信、机载通信、舰载通信以及特殊环境的军事通信;以 Sagnac 效应的光纤干涉仪是构成光纤陀螺的基础,对飞机、舰船的惯性导航和弹道导弹的制导无疑是一次技术革命;以光纤延迟线和集成光路的信息处理是相控阵天线波束形成/控制和电子战信息处理的崭新技术,是构成天基雷达的最高设计;以光纤压力传感器和光纤传输网络为基本构件,可以组成反潜战应用的声纳阵,探测灵敏度超过现行任何声纳系统的探测灵敏度;埋置在复合材料构件及其蒙皮内的光纤传感器、光纤传输线和微型电路是构成智能飞行器的最高设想,是未来飞机、空间战的目标。可以这么说,凡是采用电子装备的任何武器系统,都将有纤维光学技术的应用之地,只是由于目前技术水平的限制,很多应用领域还是空白。所以,纤维光学技术的应用潜力十分宽广,军事应用往往是纤维光学技术应用的先行者。

当光纤技术还处于研究初期阶段就受到世界各发达国家军方的高度重视,尤其是美国,投资在光纤技术应用的研究、开发和生产军费逐年大幅度增加。80 年代后,光纤技术,特别是军用光纤技术的发展已举世瞩目,应用领域十分广泛,从战术系统到战略系统、从野战通信到武器系统、从太空到深海都显示出纤维光学技术的巨大生命力。可以这么说,今天,纤维光学技术已成为改造陆、海、空军军事武器系统的重要内容,也是新型武器系统必须优先考虑的先进技术。可以相信,纤维光学技术对军事系统的变革和作战能力的提高将产生深远的影响。

纤维光学技术的军事应用包含三个领域,一是军用光纤通信,主要利用了光纤的轻重量、抗电磁干扰、保密等优点,并广泛应用于野战通信、雷达、制导、卫星、运载火箭、飞机、舰船以及光纤系留飞行器等;二是军用传感,主要利用光纤的信息传感特性和小型化,并广泛应用于惯性导航、反潜战和智能蒙皮运载器等;三是军用信息处理,主要是利用光纤的延迟特性和宽带优点,并用于光控相控阵天线系统和电子战系统。表 1 列出较为详细的应用和相关的关键技术。

表 1 纤维光学技术应用领域及关键技术

应用领域	应用系统例子	关键技术及关键部件
通信	陆军 本地局域网光纤通信系统	光缆快速连接技术、 高强度光纤技术、光纤及 元器件的抗核加固技术
	战术 C ³ 系统链路	
	通信 长距战术光纤通信系统	
信	系统 本地分配系统	全光飞行控制数据总线 单片 OEIC 收/发机 飞行和发动机控制光传感器 电子光学对准装置对接 空间资格认证和标准化
	机载 机载光纤数据总线	
	光纤 航空电子设备互连网络	
号	传输 空军战术空中控制系统	舰载自适应光纤通信网络技术 SAFENT I/II 光纤局域网 舰用、水下系留光缆 声纳和磁异常光纤传感器 光缆快速连接和危急光纤抢救 1 300 nm 高速光收/发机
	系统 光控飞行控制系统	
	空军 C ³ I 系统	
传	舰载 舰载光纤数据总线	微波光纤传输线路 分支光纤延迟线 光纤信号分配技术 光调制技术、IOC 技术 光电子集成多路收/发组件
	信 舰载自适应光纤通信系统	
	号 航空母舰光纤通信系统	
雷	达 舰载高速光纤网络	雷 雷达天线远程化微波光纤传输系统
	多基地雷达网信号互连系统	
	合成孔径天线频率基准分配系统	
制	导 光纤相控阵信号分配网络	大长度、高强度光纤(>1.38 GPa) 光纤绕放线技术
	潜艇拖曳浮标光纤系统	
	卫星 卫星天线微波光纤线路	X、K 波段光纤传输技术 单片 OEIC 智能结构/蒙皮技术
输	空间站 卫星通信脉冲转发系统	
	空间站 空间站分布光纤网络系统	
	空间站 空间站光纤传感信号传输系统	智能结构/蒙皮技术
火	箭 火箭离地控制线路	
	火箭 火箭壳体健康探测	

续表 1 纤维光学技术应用领域及关键技术

应用领域	应用系统例子	关键技术及关键部件
信 号 传 感	导 航	多轴光纤陀螺
		多功能 IOC 光纤陀螺
		GaAs 超辐射光源和
		Er 掺杂光纤光源
		IFOG 去偏技术
号	反 潜	信号处理技术
		光纤海底声监视系统
		Ariadne 和 FODS
		光纤水听器及阵列制造
		光纤水听器阵列询问
传 感	智 能 飞 行 器	体系系统
		飞行器损伤控制系统
		飞行器火警告警系统
		复合材料技术
		X-30 飞行器系统分布传感
信 号 处 理	核 试 验	光纤埋置技术
		疲劳监测和战术损伤评估
		分布光纤传感及测量技术
		在线光信号处理技术
		光纤传感系统
信 号 处 理	雷 达	地下核试验核爆炸数据检测
		光纤磁场仪
		核废料处理控制与检测
		抗辐射光纤
		相控阵天线波束形成/控制系统
信 号 处 理	电 子 对 抗	光纤延迟线
		高分辨雷达接收和电子智能
		搜索系统
		分支光纤延迟线
		多普勒雷达系统噪声测试系统
信 号 处 理	卫 星	集成光路光开关
		雷达无源 RF 方向搜索
		电子对抗欺骗干扰机
		分支光纤延迟线
		集成光路信号处理器件
信 号 处 理	计 算 机	卫星测高雷达
		光纤延迟线
		光计算机存储器
		分支光纤延迟线
		光纤和 IOC 连接技术

本书以大量文献为基础,展现纤维光学技术在军事应用中的研究、开发现状、发展和预测,并较为详细地叙述纤维光学技术在各个军用系统中实施的关键技术和解决办法。本书最大的特点是将纤维光学技术在军事中应用集于一书之中,这在国内尚属首例。

本书本着通俗易懂、实用的宗旨,省去大量烦琐的数学推导,以易懂图示说明原理概念,以数据和技巧说明应用情况和技术含义。相信,通过本书的内容,会给读者全面了解纤维光学技术军事应用提供一个窗口,推动纤维光学技术的军事应用。

由于作者水平有限,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正。

编者 1997.10

目 次

第一章 战术通信应用的纤维光学技术	(1)
§ 1-1 光纤 C ³ I 在现代战争中的地位和作用	(1)
§ 1-2 光纤 C ³ 系统链路	(3)
§ 1-3 陆军战术光纤通信	(5)
§ 1-4 战术通信用光缆	(15)
§ 1-5 光纤通信系统	(21)
第二章 机载应用的纤维光学技术	(35)
§ 2-1 纤维光学技术在飞机上的潜在应用	(35)
§ 2-2 机载光纤数据总线	(36)
§ 2-3 光控飞行控制	(41)
§ 2-4 飞机光传感系统	(42)
§ 2-5 未来开发设想	(45)
第三章 舰船应用的纤维光学技术	(49)
§ 3-1 纤维光学技术在舰船中应用的可行性和迫切性	(49)
§ 3-2 舰船纤维光学技术的开发	(51)
§ 3-3 舰船纤维光学系统	(53)
§ 3-4 舰船纤维光学应用的关键技术	(60)
§ 3-5 舰船纤维光学应用面临的困境和发展前景	(71)
第四章 武器制导应用的纤维光学技术	(73)
§ 4-1 光纤制导导弹	(73)
§ 4-2 光纤制导鱼雷	(76)
§ 4-3 光纤制导武器系统的关键技术	(77)
第五章 惯性导航应用的纤维光学技术	(80)
§ 5-1 光纤陀螺的工作原理	(80)
§ 5-2 光纤陀螺的应用	(83)
§ 5-3 I-FOG 的现有水平及发展方向	(92)
§ 5-4 I-FOG 的关键技术和元器件	(96)
第六章 反潜战应用的纤维光学技术	(108)
§ 6-1 Ariadne 开发计划和光纤分配系统计划	(108)
§ 6-2 光纤水听器及其阵列开发现状	(109)
§ 6-3 光纤水听器的类型和基本工作原理	(111)
§ 6-4 光纤声纳阵列及其系统	(115)
§ 6-5 相位调制的探测	(118)

第七章 雷达应用的纤维光学技术	(121)
§ 7-1 雷达信号传输	(121)
§ 7-2 基于光纤延迟线的雷达信号处理及其在雷达中的应用	(125)
§ 7-3 纤维光学技术在相控阵天线中的应用	(144)
第八章 电子战应用的纤维光学技术	(163)
§ 8-1 欺骗干扰机	(164)
§ 8-2 超带宽测向处理器	(166)
§ 8-3 相控阵和多波束电子战系统	(167)
§ 8-4 最大熵自适应滤波器	(168)
§ 8-5 用于电子战的信号处理器件	(171)
第九章 智能结构/蒙皮应用的纤维光学技术	(171)
§ 9-1 光纤智能结构/蒙皮概念	(173)
§ 9-2 光纤智能结构/蒙皮的应用	(178)
§ 9-3 光纤智能结构/蒙皮的研究现状	(182)
§ 9-4 光纤智能结构/蒙皮的关键技术	(198)
第十章 其他军事应用的纤维光学技术	(198)
§ 10-1 军用机器人系统	(198)
§ 10-2 光纤磁强仪	(200)
§ 10-3 核辐射剂量检测	(202)
§ 10-4 通信卫星应用的纤维光学技术	(203)
§ 10-5 空间站应用的纤维光学技术	(206)
§ 10-6 运载火箭应用的纤维光学技术	(207)
§ 10-7 地下核试验应用的纤维光学技术	(210)
主要参考文献	(212)

第一章 战术通信应用的纤维光学技术

§ 1-1 光纤 C³I 在现代战争中的地位和作用

一、纯电子 C³I 的缺陷

C³I是指指挥、控制、通信和情报(Command, Control, Communication and Information)的英文缩写,C³I是现代战争的需要。在现代战争中,战场态势瞬息万变,各种武器的预警时间越来越短,要在极短(少至秒级)的时间内判明来袭的目标,并通报有关单位作出决策反应,而且还得给部队留出一定的行动时间,没有一个统一的、高度连网的、高度自动化,反应快速而准确的指挥控制系统是根本不行的。C³I系统的核心是军事电子设备和线路,就C³I的组成而言,它是最高指挥当局到各级指挥员对其所属部队发号施令时所用的设施、设备、程序和人员的总称,它包括目标的探测、信息传输、信息数据处理及显示等系统。目标的探测要依赖各种雷达(如战术雷达和相控阵雷达)、光电探测器(可见光的和红外光的)及各种信息获取手段;信息传输要依靠各种频段、各种方式的通信设备及其所组成的网系;数据处理要依赖各种电子设备、计算机和外部设备;显示系统要依靠各种规模的显示设备和有关的人机接口。

现代化的C³I系统就是把情报信息获取系统、通信设备与系统、数据分析和处理系统、显示系统等综合成一个统一的智能的军事电子系统。由于现代战争观念和策略的更新,人们已将C³I系统置于一个相当突出的位置上,有人将C³I称之为“军力倍增器”、“新型武器系统”、“第二次世界大战以来军事上的第三次革命”等,这些提法充分说明C³I在现代战争中的作用和地位。美军一直重视C³I的发展,美国防部在1998财年国防预算中,C³I的国防预算仍保持增长势头,总投入达400亿美元,其中陆军战场数字化工作为1亿美元。

常规的C³I系统的信息获取基本上是采用纯电子系统设备,信息传输主要是采用同轴电缆、电缆、金属波导,数据处理也是采用纯电子的处理系统。今天看来,这样的C³I系统已是够先进的了,这样的系统有的已投入使用,有的还在继续研制之中。事物发展总有它的两面性,即有先进性一面,也有缺陷一面,纯电子学的C³I系统在以下几个方面已显示出它的弱点:(1)生存力差。由于电缆、金属波导的抗电磁干扰能力差和电磁波传播能力(特别是在超高频波段)差,特别是对机载、舰载和雷达系统。电缆和波导产生的电磁辐射,很易成为袭击目标。此外,防窃军事情报也是现代战争的特点之一,纯电子C³I系统的情报信息泄漏是难以克服的;(2)通信容量有限,中继距离短。同轴电缆很难组建起大容量的长距离传输系统。以同轴电缆为例,传送10⁴路电话时,中继距离仅1.5 km;(3)严重的串扰,必须采取严格的屏蔽措施;(4)容易出现电漏和电击问题;(5)体积大,重量重,敷设较困难,机动性较差。

二、 光纤 C³I 的优越性

如果用光纤(缆)去替代 C³I 系统中的同轴电缆,这便构成早期概念的光纤 C³I 系统。如果再用光纤传感、光纤信息处理去替代 C³I 系统中的部分信息获取和信息处理,这便构成未来的光纤 C³I 系统。单就用光纤(缆)替代同轴电缆的结果,便使 C³I 的面目一新,传输方式的概念从电学传递信息改为光学传递信息,由此带来一系列优越性。

(一)通信容量大

以激光作载频的光纤通信,其载频频率可达($10^{13} \sim 10^{15}$) Hz,比微波频率还高($10^4 \sim 10^5$)倍。理论上,按通信带宽为载频的 1/100 计算,那么它的通信带宽比微波宽($10^4 \sim 10^5$)倍。若取典型频率(f)为 3×10^{14} Hz,则通信带宽为 $3 \cdot 10^{12}$ Hz。若按每话路 4 Hz,每路彩色电视 10 MHz 带宽计算,理论上光纤通信可容纳 7.5 亿话路或 30 万路电视。目前直接检测的常规光纤通信系统已实现 10 Gb/s 以上的速率。

(二)损耗小,中继距离长

目前,光纤的传输损耗已下降到 0.14 dB/km(单模光纤),可实现几百公里无中继传输。目前实用水平是:多模光纤达(1~3) dB/km,单模光纤达 0.5 dB/km,中继距离可达(50~60) km。表 1-1 列出光纤通信与其他通信距离的比较。

表 1-1 光纤通信与其他通信的中继距离比较

通信手段	最大通信容量(话路数)	中继距离(km)	耗铜量($t \cdot km^{-1}$)
中同轴电缆	1 800	6.0	1.2(8 管)
大同轴电缆	10 800	1.5	4.0(8 管)
微波中继通信	3 600	40.0	—
光纤通信(140 Mb/s)	1 920	50.0	—
光纤通信(565 Mb/s)	7 680	40.0(1.3 μm), 65.0(1.5 μm)	—
光纤通信(1.6 Gb/s)	23 000	40.0	—

由于中继距离长,不但节省了中继设备,而且减少了通信设施建筑和维护人员。例如以北京(经兰州)至乌鲁木齐的长途通信线路为例,如果是使用同轴电缆,这条线路至少要相当于两个团的通信兵力来维护;若采用光缆,在相同通信容量下,其中继距离增大了 20 倍,使其线路维护的人员大为减少。

(三) 高可靠

光纤不受电磁干扰,能避免核爆炸电磁脉冲引起的信号衰减和设备性能的降低,也不易受太阳辐射的电离干扰。同时光纤自身也不向外辐射电磁能量,这为高可靠、高保密的通信提供了可靠的保证。

(四) 光纤通信是光子传输方式

无需短路和接地环路,且信道间无串扰,这是高质量通信系统所必须的。

(五) 通信系统体积小、重量轻

1 kg 石英玻璃可拉制 100 km 长的光纤,成缆后的重量也比电缆轻得多,一般仅为电缆重量的 1/10, 1/100 或 1/1 000。轻的光缆不仅便于敷设,而且有利于快速转移和直升机快速布线。就整个通信系统而言,光通信设备体积较之电缆通信设备的体积大大减小。而中继距离

又长,可使中继器个数减少 80%。所以,光纤通信系统的总重量较电缆通信的减少了 67% ~ 75%。

早期的 C³I 系统利用它的轻重量和抗干扰等特性,主要用于战术通信系统,随着光纤技术和光电子技术的发展,使 C³I 的工作频率范围进入吉赫(10^9 Hz)波段。所以,今天的 C³I 系统已不是单纯的通信系统,而是一个包括传输、探测、传感和信息处理的多功能、立体化的综合网络系统。

三、光纤 C³I 系统对现代军事系统的贡献

光纤 C³I 系统对现代军事系统的贡献是:(1) 完全适应现代战争对军事通信控制系统提出的高度机动性和快速组建网络的要求,例如,可用直升飞机进行快速布线、用极少战车作快速转移;(2) 可以组建长距离控制的战略、战术武器系统,例如美国 MX 和平捍卫者导弹的发射控制系统就是一个大型武器控制系统,整个系统用光缆将 MX 导弹掩体、导弹发射台、导弹和遥控中心连接起来,系统线路的总长度达 15 000 km,遍及世界几大洲,设有几千个中继站,几千台工作和支援设备;(3) 提高武器的命中率,以机载光纤系统为例,装在飞机上的飞行及攻击综合光纤系统和人工射击相比,在空-空作战(平飞)时,命中率提高了 3 倍,射击机会增加了 4 倍,射击时间增加了 4 倍,进入射击位置的机会增加了 2 倍;在空-地作战中,精度提高了 2 倍,对地攻击失效率减少了 90%;(4) 提高通信设备的隐秘性,由于消除了具有电磁辐射的布线电缆,使通信设备和人员遭受攻击的几率降至最小程度,同时也减小噪声干扰;(5) 提高了电子战的性能指标,采用光纤延迟线的数字瞬时频率测量(DIFM)接收机,可将电子对抗的带宽提高到 30 GHz 以上。

§ 1-2 光纤 C³ 系统链路

一、MX 导弹的 C³ 系统链路

1980 年,美空军与 GTE 公司签订了发展 MX 洲际弹道导弹通信设备的合同,着手建立 MX 导弹的 C³ 系统,用以提供 MX 导弹的远程自动化作战控制手段。该系统具有经受核袭击后发起反击的强生存能力,是兼有先发制人及后发制人能力的现代化 C³ 系统。1980 年计划初期,空军投资 3.25 亿美元,用于开发纤维光学元器件及系统设备,1985 年又投资 3.25 亿美元扩展 MX-C 导弹 3 系统的布署。

该系统的核心是建立一个总长度为 15 000 km 的指挥、控制、通信(C³)网络,用于连接 2 个作战控制中心、4 个地区支援中心、4 600 个有人与无人值守的场所设施、200 个移动式发射台和一系列设备维修点。全网有上千个中继站,可传输指挥与状态数据、仪表遥测数据等高速数据和飞行测控中心用电视的视频信息。系统中的两个作战控制中心负责监视设备状况和远距离现场的安全情况,并接受国家指挥当局与战略空军司令部的命令。

MX 导弹 C³ 系统的第一步是在范登堡基地建立光纤传输系统。系统于 1982 年投入运行,总长 147 km,用于控制与监视 MX 导弹地面与飞行试验。系统采用耐核辐射的(0.85 ~ 0.90) μm 和 1.3 μm 双窗口光纤光缆,采用直埋式及架空式光缆敷设。指挥、控制、遥测及仪表等各种信号的传输速率为 100 b/s ~ 3.2 Mb/s,干线速率为 8 Mb/s,无中继距离可达 9 km,闭路电视(CCTV)信号为频分复用-调频(FDM-FM)式,传输距离为 3 km。为满足未来导

弹的地面与飞行试验要求,范登堡基地的光纤系统正向民兵式导弹试验场延伸。表 1-2 给出截止 1996 年的 MX 导弹 C³ 系统的费用。

表 1-2 MX 导弹 C³ 系统的费用统计 单位:百万美元

年度	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
费用	75	65	65	65	65	65	50	67	67	70	65	60	50	50	45	30	30

MX 导弹 C³ 系统的优点为:(1)传递信息速度快,缩短了指挥命令及导弹状态信息的传递时间;(2)抗多种核武器效应(如高低空电磁脉冲效应、大气干扰、核粒子效应);(3)保密性好,这是因为光缆不向外辐射电磁能量,截获通信信息比较困难;(4)不易受其他电子设备产生的电磁干扰的影响;(5)便于以后增加其他系统(如低空防御系统),以应付各种新的威胁,也易于满足增加阵地的需要;(6)能进行远距离通信;(7)可使指挥员在具有向清晰屏幕显示的控制台前了解阵地实际战斗情况,下级指挥员可坐在控制台前接受命令,大大提高了部队作战现代化水平。

二、陆军的 VBIT 光纤系统

VBIT(Video Based Information Transmission)是视频信息传输的英文缩写。Artel 通信公司为美国陆军提供的 VBIT 光纤系统,1984 年建成,是为满足视频和音频会议和电路交换分配的通信要求而开发的。该系统主要用于战术环境下的 C³ 车之间的连接,可为分散的指挥所提供有效的视频图像及电话会议等的保密通信手段。该系统可传输 1 路实时双向彩色视频信号和 4 路实时双向会议音频信号等信息。系统拥有 18 个站,站间距离为 6 km。系统主要采用现有硬件,光纤为西康公司标准的 50 μm 芯径渐变型光纤,光缆为二芯高强度、高硬度光缆,可经受车辆碾压。在作战环境下,VBIT 可分为若干个作战、战斗支援、后勤支援和情报汇总室,总司令部可通过 VBIT 系统获知部队状况、敌方位置、气候条件、地图、后勤保障等有关信息。同时,所有各室之间可进行点对点通信或接收同一室的信息,由指挥部决定哪些节点获得哪类信息。这种 VBIT 光纤系统已成功用于美国第三军团在德克萨斯州 Fort Hood 的军事演习和北大西洋公约组织的年度军事演习。

这种 VBIT 光纤系统的优点为:(1)保密性强。因为光纤通信无电磁信号辐射,敌方无法探测;(2)分布范围广,生存能力强。因为光纤系统中站与站之间的距离可达 6 km,不易形成密集的具有高价值的攻击地带;(3)易于敷设与维护。2 km 标准的 26 对屏蔽线重量达 900 kg,而 2 km 光缆(包括缆轴)总重量仅 77 kg,可由两个士兵进行敷设;(4)可以快速敷设。由于光缆小而轻,整个系统及掩蔽物可装载在两辆载重 2.5 t 的卡车上运载与敷设,在 12 h 内便可使系统 50% 的设备投入运转。在(18~24) h 内,整个系统全部投入运行。这样,如遇有紧急情况,整个通信系统便可在一天之内降临于阵地并立即投入运转;(5)成本低。由于系统小巧,节省了大量敷设费用,加之光缆的价格在不断下降,目前 VBIT 系统中使用的光缆价格在 \$US 1000/km 左右。

目前,VBIT 系统已用于保密通信设施,在美国佐治亚洲固定安装在陆军部队司令部整个大楼内,站与站之间长度一般为(1~2) km。

VBIT 系统的出现使陆军增加了一种新的通信手段,一旦电缆及其他通信手段无法工作

时, VBIT 系统便可投入工作, 使分散的军团级指挥部的通信继续畅通。

三、 战术通信车之间的光纤传输系统

这种系统是通过光缆组件将位于战术蓬车内的遥控光学装置(ROA)连接起来, 实现战术通信车之间的通信, ROA 在战术系统中称之为 CA-3895/G 和现场测试装置 TS-4117/G。ROA 的作用是战术通信蓬车内与车外的数字通信设备之间的全双工传输的电光变换。表 1-3 示出 ROA 标准光接口参数。

表 1-3 ROA 标准光接口参数

项目	参数
最小输出光功率(dBm)	-21.7 (+52 ℃)
最大输出光功率(dBm)	-7.5 (-35 ℃)
标准输出功率(dBm)	-15.0 (+25 ℃)
最小输入功率(dBm)	-44.5
最大输入光功率(dBm)	-7.5
工作波长(μm)	1.29±0.2 (25 ℃)
数据速率(Mb/s)	23.4 Mb/s(扰码非归零, 格式可根据需要改变)

§ 1-3 陆军战术光纤通信

陆军战术光纤通信系统主要有局域网(LAN)系统、短距离本地分配系统、长距离战术通信系统和飞机快速布缆系统等。

一、LAN 系统

目前, 在许多现役军事通信系统中都已装备光纤 LAN, 以取代用金属缆作传输介质的局域网, 提高传输速度, 扩大网络半径。现役的光纤 LAN 是按以太网标准(IEEE302.3)组建的, 采用环形或者有源星形拓扑结构, 工作速率为 10 Mb/s, 用载波监听多址访问/碰撞检测(CS-MA/CD)方法, 这是军用电缆 LAN 过渡到光纤 LAN 的第一步, 也称作军用光纤以太网, 在性能上可以满足军方要求。军事通信对 LAN 系统运行的要求主要是: (1)灵活性。因体积小、重量轻, 采用标准化组件; (2)适应性。易于增加或减少节点; (3)抗毁性。可在各种恶劣战争环境下工作; (4)冗余性。在各种故障条件下, 可适度降低等级, 保证系统继续正常工作; (5)易于架设。在最短时间内开通新线路。

目前开发的高性能 LAN 系统的主要特点是: (1)战术蓬车内或蓬车之间的计算机终端机工作站实现互连; (2)由于采用标准协议, 为局域网与开放系统互连(PSI)兼容提供了可能; (3)某个部件或某个节点出现故障时, 其系统仍能可靠地工作; (4)每个节点都能和主机通信, 节点与主机之间采用双向传输方式; (5)每个节点都可以提供足够的缓冲, 以保证每个主机可同时传输和接收数据和指令信息; (6)适应性强, 可以根据用户的要求方便地增添或减少节点; (7)

网络可汇集多条链路数据率,汇集的数据总量可超过 450 Mb/s。

这种高性能的军用光纤 LAN 在运行中有如下功能:(1)每一个网络接口都可以发送或接收指令信息;(2)网络控制中心设有特殊节点,可启动起始程序、监视和报告网络工作状态、监视和报告设备功能执行情况、远距离启动诊断、执行自我检测和诊断、周期性汇集统计数据,如链路应用和情况统计、节点通过数据量以及计算网络性能和定期汇集节点工作状态报告,并提出新的连接和功能矩阵程序等功能。节点还可定期自我诊断,并向网络控制中心报告运行状态信息,这些信息包括:(1)节点部件工作状态;(2)主机节点跟节点的连接状态;(3)网络工作状态变化情况;(4)节点优先权;(5)节点的数据和指令平均通过量。

性能更好、速率更高的光纤分布数据接口(FDDI)网络也已用于现场,它采用令牌双环结构,速度达 10 Mb/s,是在 IEEE802.5 基础上发展起来的新一代 LAN 接口标准。它可用作各个宽带工作站之间的互连,也可作为骨干网,使 IEEE802 低速率 LAN 互连,站间距离最长可达 2 km,总长 100 km,500 个节点。网络可适于同步或异步数据传输,适用宽带实时通信。网络充分利用光纤固有带宽能力,并能增强系统抗毁性,是提高战术通信性能的有效手段。

二、长距离战术光纤传输系统

长距离战术光纤系统(FOTS-LH)属于美三军战术通信网(TRI-TAC)的一个组成部分,是美军开发光纤通信在军事上应用的重要工程项目,计划用 10 000 km 的光缆来替换早在 70 年代初就在美军师级以上部队使用的 CX-11230G 双同轴电缆系统,以改造 AN/TTC 型电路交换机之间的传输功能。1982 年,美陆军通信研究与发展司令部正式确立了这一计划,同年投资 475 万美元。1983 年又第二次投资 610 万美元。英国的标准电信公司作为承包方参加了这一计划。该计划经过 3 年的运作,显示出重大军用潜力,1985 年转为多兵种通信部队负责,成为整个三军的计划。1987 年,陆军又与 Fibercom 公司签订了 750 万美元的合同,用于设计和制造 FOTS-LH 系统中电子设备——远距离光电装置(ROA)及测试设备。ROA 系统用于掩蔽所与战场通信车辆间的数字传输。按合同,Fibercom 公司在 4 年内为美军提供了 1 656 个 ROA 及 142 台测试设备。最终,光缆系统将取代所有采用 CX-11230 同轴电缆的长距离军用通信系统,发展成遍布三军、坚固可靠的新型战术有线通信系统。图 1-1 示出典型的应用,表 1-4 示出 FOTS-LH 计划费用统计。

表 1-4 FOTS-LH 计划费用统计

年度	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
研制*	6	9	14	11	9	10	15	25	27	25	24	26	21	19	15	15	12
装备	0	0	0	5	5	5	11	7	9	11	14	16	16	17	18	19	19

* 包括有其他通信项目的费用

美军之所以用光缆来更新野战通信系统的 CX-11230G 同轴电缆,是由于同轴系统的低速率、窄带宽、短中继距离,很不适应现代化战争对通信的要求。当速率恢复器以 2 304 kb/s 速率再生传输数据时,同轴电缆系统每 1.6 km 需设置一个低速脉冲恢复器,所以 19.2 Mb/s 速率再生数据的高速率脉冲恢复器的距离间隔仅为 0.4 km。这样,低速率电缆系统的最长距离若达 64 km 时,则需设置 195 个中继器,即使高速率电缆系统最长距离达 3 km 时,也需要设置 19 个中继器。为此,发达国家的军事部门从 80 年代初都陆续开始组建野战通信传输系统。

此外,表 1-5 还给出光缆系统与 CX-11230G 同轴电缆系统性能的比较,从表中所列数据可以看出,在同等传输距离和传输速率情况下,在价格和重量方面光缆系统都优于同轴电缆系统。

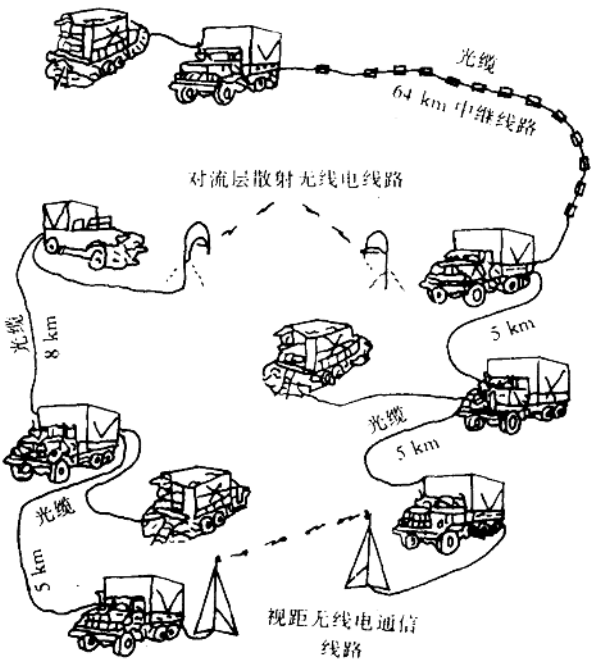


图 1-1 FOTS-LH 系统的典型应用
长距离光纤传输系统有 FOTS-LH、AN/GAC-1 LHOTS、“松鸡”光纤分系统等。

表 1-5 光缆系统与 CX-11230 同轴电缆系统的性能比较

项 目	CX-11230 同轴电缆		光 缆	
距离(km)	8	64	8	64
速率(Mb/s)	19.6	2.3	19.6	2.3
中继器数(个)	19	39	0	7
缆造价(美元)	7 000	56 000	9 000	72 000
中继器造价(美元)	15 000	36 000	0	5 600
总线路造价(美元)	22 000	92 000	9 000	77 600
系统重量(kg)	1 100	8 700	280	1 900
装车量	四辆两吨卡车		一辆两吨卡车	

(一)FOTS-LH

表 1-6 FOTS-LH 的性能

项目	性能
无中继	6 km(要求值);64 km 带 10 个中继器(要求值)
有中继	8 km(目标值),64 km 带 7 个中继器(目标值)
用户数据速率(Mb/s)	0.28、0.576、1.152、2.304
军用战术通信系统	4.915 2 Mb/s
综合战术通信系统	72 kb/s~18.72 Mb/s
线路传输速率	18.944 Mb/s 和 20.206 933 Mb/s
比较误码率	64 km 线路带有 10 个中继器时最大为 10^{-9}
维护指令信道信噪比	35 dB
系统平均故障间隔	500 h
故障定位	以最后一个工作的中继器来鉴别 1 000 m 区间内误差: ± 2 m
库存及运输温度	-46 $^{\circ}$ C ~ 71 $^{\circ}$ C
连续工作温度	-46 $^{\circ}$ C ~ 52 $^{\circ}$ C
运输	能承受运输期间的装卸影响
插入测试/维修诊断	故障检测率大于 98%,不真实性小于 1%

FOTS-LH 是 1986 年美陆军在韩国组建的较大工程项目,全长 667 km,系统采用单模和多模 12 芯光缆,速率为 45 Mb/s,系统由 4 部分组成:CV-3895/G 光学装置信号远程变换器(可进行在光缆上传输的全双工电光变换);CX-13295/G(采用耐辐射两芯光缆);TC-4117/G 光通信测试设备;MK-2595/G 光缆修理箱。其中 CV-3895/G 光学装置信号远程变换器可避免由于各军兵种采用不同的传输方式实现勤务线路而产生的不兼容性和不协调性等问题。

FOTS-LH 已被列为美三军的计划,并用于三军联合战术通信系统中。在三军联合战术通信系统中的光纤系统可代替目前部队用的电缆通信线路,能用于各个指挥层的通信设备,并可在将来与机动用户设备一起使用,且不需要更改现有的电子设备以及装备电子设备的掩蔽部。表 1-6 示出 FOTS-LH 的性能。

(二)AN/GAC-1 LHOTS

AN/GAC-1 LHOTS 为美陆军野战通信系统,中继距离为 6 km。该系统既可与现有 TD-660 和 TD-976 型多路传输机对接,也可与新型三军联合战术通信系统多路传输机对接,还可以同时处理模拟信号(300 Hz~3 400 Hz)、数字信号(16 kb/s)、遥测信号(2 kb/s)。

(三)“松鸡”光纤分系统

这是英国防部“松鸡”计划办公室于 1976 年提出的在新型全数字化的松鸡战术通信系统中应用的光纤技术。该分系统可用于通信节点间,连接相距 10 m 到 2 km 之间的车辆,也可用于干线节点,连接车辆及其远距离多路传输和无线电设备。该系统采用芯径为 50/125 μ m

的双芯光缆,全双工传输,传输速率分别为 256 kb/s、512 kb/s 和 2.048 Mb/s,在后面的表 1-9 中给出了松鸡光纤分系统的性能。

三、本地分配系统

表 1-7 光缆系统与 CX-4566 电缆系统比较

项目	CX-4566 电缆	光缆
链路重量(kg)	138	8
缆造价(美元)	2 300	300
缆体积(m ³)	0.2	0.02
端机造价(美元)	300	2 600
端机重量(kg)	9	18
总造价(美元)	2 600	2 900
总重量(kg)	147	26
功耗	电池	26 W

本地分配系统亦是美三军战术通信网的一个组成部分,它与长距离光纤传输系统相配套,共同更新美军战术通信的性能。长距离传输系统是用来替换 CX-11230 同轴电缆干线的系统,而本地分配系统则是用来替换美野战通信车之间的 4 根 26 扭绞对 CX-4566 型电缆,该电缆用于 AN/TTC-39 和 AN/TYC-39 之间。AN/TTC-39 与 AN/TYC-39 分别是大容量的信息交换机和信息处理机,是三军战术通信系统的核心部分,用以处理大容量的模拟和数字话音及数据信号,为话音信息提供自动转换,为综合数据信息提供存贮转发。如果不用光缆来沟通互联,它们之间的传输手段便成了美三军战术通信系统中的卡脖子段。因此,美军用光缆更新战术通信系统的性能时,首先替换这两种交换及处理之间的传输线路 CX-11230 同轴电缆和 CX-4566-26 扭绞对电缆,表 1-7 是使用光缆后的系统与 CX-4566 电缆系统比较。

地面发射巡航导弹光纤数据传输系统是本地分配系统在基地内信息传输、野战车计算机互联的典型应用。主要是通过光纤数据传输系统将巡航导弹的 2 个发射控制中心(LCC)和 4 个可移动的发射架(TEL)连接起来,用以传输数据和话音信号,并在大约 100 个彼此分开的终端之间传输数据,如图 1-2 所示。该系统可用来传递基地内部信息,在各终端之间传输数据,控制导弹发射。一般系统由两个信号传输单元、掩体内的光缆以及掩体之间的光缆(包括光缆的组件)组成。信号传输系统的信号传输设备由光纤数据传输线和信号复用装置构成。光缆是芯径为 125 μm 的抗辐射 12 芯光纤缆,光缆外层是抗热辐射的特氟隆套管。通过耦合器监控发射控制中心和可移动发射架上的光接收机。光收发两用机带有两套检测装置,可询问和测量发射控制中心的响应特性,提供检测信息,进行信息取样和比较,并可检测光输入功率和模拟核辐射条件下的光缆损耗。发射控制中心的数据处理系统显示出检测结果,并提供发射控制中心和移动发射架的光收发两用机的工作状态、光缆工作状况和线路监视情况等。本地分配光纤系统的另一个典型应用是 AN/TTC-39 自动通信中心系统,该系统是通过光缆将多