

全国第九次光纤通信暨第十届集成光学学术会议

论文集

新华书店

PDG

中国·秦皇岛

一九九九年八月

前 言

全国光纤通信暨集成光学学术会议每二年召开一次。为了及时总结和交流国内光纤通信技术与集成光学的科研成果与经验，促进我国光纤通信网的进一步发展，由中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会、中国通信学会光通信委员会、中国电子学会通信学分会联合主办的“全国第九次光纤通信暨第十届集成光学学术会议”，于1999年8月22日至25日在河北省秦皇岛市召开，这是本世纪末召开的全国光纤通信与集成光学界最后一次盛会。

会议共收到论文261篇，经专家认真评审，收入论文集的计有241篇，并按光纤、光缆与光纤元件，集成光学与光电子元器件，网络与系统技术，光纤传感，光纤通信仪器仪表、测量技术与其它等专题编排顺序。这些论文涉及面较广，学术、技术水平较高，基本上反映了近两年来我国光纤通信技术和集成光学等方面的研究工作的新水平和新成就。

本次学术会议由燕山大学、秦皇岛市科委、秦皇岛市电信局、秦皇岛市经济技术开发区管理委员会联合承办，其组织工作由燕山大学承担。会议得到了美国康宁公司、集成光电子学国家重点联合实验室、亨通集团、武汉邮电科学研究院、长飞光纤光缆有限公司等单位的大力支持和资助。北戴河燕山大厦为大会提供了会议场所和生活服务。在此，衷心感谢对本次会议给予关心、提供支持和资助的所有单位和为会议付出辛勤劳动的同志们！

由于时间紧，任务重，编辑水平有限，《论文集》中难免有错误和不妥之处，敬请作者和读者批评指正。

一九九九年七月

主办单位

中国光学学会纤维光学与集成光学专业委员会

中国通信学会光通信委员会

中国电子学会通信学分会

承办单位

燕山大学

秦皇岛市科委

秦皇岛市电信局

秦皇岛市经济技术开发区管理委员会

赞助单位

美国康宁公司、集成光电子学国家重点联合实验室、

亨通集团、武汉邮电科学研究院、长飞光纤光缆有限公司

大会组织机构（以姓氏笔划为序）

名誉主席 王大珩 孙俊人 宋直元

主 席 于荣金

副 主 席 来国柱 赵梓森

顾问委员会 王启明 叶培大 母国光 张 煦 林为干 高鼎三
黄宏嘉 简水生

学术委员会

主 任 刘德森

副主任 刘式墉 吴吉祥 范崇澄

委 员 韦乐平 王明华 方祖捷 邓震垠 史锦珊 邬贺铨
陈才和 陈良惠 陈国骢 陈益新 陈显治 杨知行
杨恩泽 肖天鹏 邹自立 邱 昆 杜柏林 吴德明
陆荣鑫 林金桐 郑绳榘 金 锋 闻 库 高孝刚
崔广林 黄德修 董孝义 彭吉虎 曾烈光 廖延彪
潘慧珍 戴鳌前

组织委员会

主 任 王益群

副主任 孔令富 刘建军 张志勇 蔡永和

委 员 吴楚峰 高应俊 蒋丽娟 谭若鹏

秘书长 武占元

目 次

前言.....	(1)
会议组织机构	(2)

特邀报告 (7 篇)

国内外光纤光缆技术发展与市场.....	杜柏林 (1)
光传送网的基本技术和要求.....	毛谦 (23)
全光网络技术及其进展.....	原荣 (39)
世界光纤通信发展新动向.....	赵样森 (46)
全光信息网络中的某些关键半导体光电子学器件.....	黄德修 (58)
光纤光栅在传感中的应用.....	廖延彪 (64)
一般截面光波导 Maxwell 方程的求解.....	汪业衡 (68)

光纤、光缆与光纤元件 (84 篇)

分析一般截面光纤模式的扩展边界条件法.....	汪业衡 (73)
计算高双折射光纤的微元算法.....	李秀娟等 (75)
特种光纤本地模耦合理论.....	陈冠三 (77)
大有效面积非零色散位移光纤在高容量密集波分复用系统中的应用.....	刘燕明等 (79)
大有效面积非零色散位移光纤的最新发展及应用.....	商海英 (81)
大保实® (LAPOSH) 光纤的设计与制作——用 PCVD 工艺制造的新型大有效面积 非零色散位移光纤.....	吴伟 (85)
用 PCVD 工艺研制的保实光纤及其系统实验.....	黄彦斌 (87)
PCVD 光纤的强度特性	蒋晓强等 (89)
PCVD 工艺生产的光纤偏振模色散 (PMD)	王铁军等 (91)
光纤用户网用新型光缆.....	张春安 (93)
高强度光电综合缆强度研究.....	徐继东等 (96)
低烟无卤非金属型耐火光缆的开发.....	高祥萍等 (98)
ADSS 光缆若干问题探讨.....	高祥萍等 (100)
谈带状光纤骨架式光缆.....	邹林森 (102)
我国光纤制造工艺的发展浅议.....	唐仁杰 (105)
光纤在酸中的机械可靠性.....	马增良 (107)
光纤带入管螺旋绞放带装置.....	王淑斌等 (108)
汽相轴向沉积 (VAD) 光纤预制棒制造技术及工艺介绍.....	李州 (110)
用套管工艺试制大直径单模光纤预制棒.....	王村夫等 (112)
光缆线路对地绝缘的研究	张锡斌等 (114)
地线复合光缆 (OPGW) 几种结构的比较及其可靠性的研究.....	宋斌 (117)

地线复合光缆(OPGW)的结构特点及在选型中须注意的几个问题	宋斌(119)
光纤光缆多路监测的设想	周琛等(121)
光纤多路测试方法的研究和应用	周琛等(123)
中心管式 ADSS 光缆大跨距架设的应用	陈伟等(125)
啁啾光纤光栅法布里-珀罗标准具滤波器特性的模拟分析	蔡海文等(127)
光纤光栅用紫外增敏单模光纤的研制	林亦珍等(129)
一种新型的光纤光栅制作方法	黎敏等(131)
相移光纤光栅反射谱及其应用分析	杜戈等(133)
超级梯级啁啾光纤光栅和超级啁啾光纤光栅的理论研究	陈向飞等(135)
啁啾光栅色散补偿器的非理想特性对 40Gb/s 系统性能的影响	舒学文等(137)
用色心模型实验分析掺杂硼锗光纤材料的紫外光诱导光敏特性	孙英志等(139)
制作光纤光栅的 CAD&CAM 系统	余建国等(141)
光纤光栅应变传感特性研究	李燕等(142)
长周期光纤光栅 LP_{015} 包层模耦合的两个响应波长	朱雪梅等(144)
用于密集波分复用系统的光纤光栅	付浩军等(146)
硫化物光纤 LPG 的理论计算	施纯峰等(148)
光纤光栅制作中的位相模板	答孝义等(150)
采用凹陷包层光纤改善光纤光栅的短波损耗	施伟等(152)
长周期光纤光栅传感器温度和应变灵敏度分析	贾宏志等(153)
光纤光栅脉冲压缩器的理论研究	刘崇琪(155)
光纤光栅技术及其发展动向	程黎明(157)
一种新型波长选择性光纤开关	赵浩等(161)
商用多通道单模光开关	黄景元等(163)
提高光纤移动型光开关重复性的研究	胡剑冰等(165)
抑制光开关回跳抖动的研究与测量方案	胡剑冰等(167)
低损耗低回跳高速切换单模光开关小批量生产的质量控制	胡剑冰等(169)
单芯单模光纤旋转连接器研制	刘武等(171)
多通道多模光纤旋转连接器旋转变化分析	吴国锋等(173)
四通道多模光纤旋转连接器	吴国锋等(175)
航空用密封微型光缆连接器	孙福民等(177)
非匹配型保偏光纤耦合器	陈华等(179)
熔锥型光纤反射器	陈华等(181)
ZD-II 型智能式多功能连续可变数显光衰减器	农学勤等(183)
终端技术中绕模棒直径对光纤型器件回波损耗影响的实验	王黎蒙等(185)
主动锁模掺铒光纤环行激光器产生高重复率光脉冲调制方法初探	王林等(187)
多波长振荡掺铒光纤激光器的研究	孙军强(189)
激光增益箝制掺铒光纤放大器功率瞬态过程的实验研究	俞谦等(191)
用于超荧光光纤光源光谱平坦化的新型光纤滤波器	陈登鹏等(193)
包层泵浦光纤激光器用双包层光纤	宁鼎等(195)

钛宝石泵浦的掺 Yb 光纤激光器实验研究	陈兰荣等 (197)
LD 泵浦的掺 Yb 环形腔光纤激光器	陈柏等 (199)
同步泵浦掺铒光纤放大器的增益和噪声特性分析	魏莹莹等 (201)
适用于 WDM 的新型掺铒光纤放大器	陈晓燕 (203)
脉冲法光纤放大器参数测量系统	沈雅琴等 (208)
1.3 μm 光纤放大器的研究进展	陈海涓等 (210)
前向泵浦掺铒光纤放大器的实验研究	秦志强等 (212)
极化光纤中二阶非线性效应的检测	熊水东等 (214)
掺铒光纤吸收非线性的测量	宋睿等 (216)
定点干涉动态扫描法测量掺铒光纤色散非线性	张远程等 (218)
利用非线性光纤环镜得到无基座的高阶压缩光脉冲	李玉华等 (220)
偏振模色散的统计模型及其连接值	杨日胜 (222)
光缆链路偏振模色散	陈永诗 (225)
光纤偏振模色散的线路工程测量	雷非等 (227)
偏振模色散对单模光纤系统的影响:应用概述	高育选等 (229)
一种新颖的损耗色散同时补偿方案	张梓华等 (231)
功率平衡光纤级联系统中正及零平均色散下光脉冲的传输	薛文瑞等 (233)
啁啾高斯脉冲在色散补偿光纤系统中的传播	李大义等 (236)
色散补偿光纤对光纤传输系统非线性效应影响的分析	汪学强等 (238)
极化光纤的形成机理	陈哲等 (240)
应用前景广阔的塑料光纤	肖愚 (241)
双包层手征光纤特性研究	董建峰等 (243)
稀土掺杂氟化物玻璃光纤的光谱性质	李毛和等 (245)
旋光光纤的电磁场特性	刘钊等 (247)

集成光学与光电子元器件 (60 篇)

单量子阱半导体激光器模拟分析	张励等 (249)
InGaAs/InGaAsP 应变补偿量子阱激光器的线性增益和微分增益	马春生等 (251)
InGaAsP/InP 异质体材料光荧光图谱中的对称性多声子伴线	丁国庆 (253)
ZnCdSe/ZnSe 非对称双量子阱的 MOCVD 生长及其光学特性研究	范希武等 (255)
1.3 μm 低电流超辐射发光二极管组件	李金良等 (257)
GaInAsSb 中红外探测器的设计与制作	陈兴国等 (259)
调谐外腔半导体激光器的双稳环宽	陈建国等 (260)
基于光纤光栅外腔激光器的波长转换器件	陈高庭等 (262)
光纤光栅外腔半导体激光器的动态光谱特性	曹根娣等 (264)
窄线宽光纤光栅外腔半导体激光器	周胜等 (266)
载流子渡越时间对高速 PIN 探测器线性的影响	徐之韬 (268)
Mini-DIL 型封装 2.5Gb/s PIN-TIA 组件	王世明 (270)
低成本小型化 2.5Gb/s 光收发模块	王世明等 (272)

采用半导体光放大器的全光波长变换技术的新近发展	肖学智等 (274)
基于半导体光放大器的交叉相位型全光波长转换器的研究	张新亮等 (276)
利用群速度均衡 NOLM 实现全光波长变换	宋立军等 (278)
一种新型的 1310/1550nm 的波分复用器件	孙一翎等 (280)
光纤陀螺用 GaAs 集成光学芯片	李瑾等 (282)
LiNbO ₃ 光波导集成芯片技术研究	石邦任等 (284)
用于自相位调制器的 KTP 离子交换光波导	李玉善等 (285)
掺铈铌酸锂波导激光器的设计	胡维晟等 (287)
Ti:LiNbO ₃ 条波导的研制	叶修齐等 (288)
分析扩散沟道光波导的条形传递函数方法	冯莹等 (290)
一维时域有限差分法计算一维光子晶体的带隙结构	何晓东等 (292)
非线性色散方程的一种简明表达式	张卓等 (294)
克尔介质非线性剖面平板波导中横电波的传播	康寿万 (296)
用于集成光器件设计与分析的时域有限差分 (FDTD) 算法	吴青松等 (297)
用简化的 SOA 增益响应模型分析 TOAD 的开关窗口特性	刘贤炳等 (298)
阵列波导光栅复用/解复用器光栅孔径的设计	雷红兵等 (301)
阵列波导光栅及其应用	敖发良等 (303)
新型波分复用器件—阵列波导光栅	李丽君等 (305)
基于阵列波导光栅复用器的新型光交叉连接结构	陈德华等 (307)
干涉拍频噪声对光交叉连接性能影响的计算方法比较	陈德华等 (309)
用于波分复用通信的光栅辅助上/下路复用器	许振鄂等 (311)
10Gb/s III-V 族半导体马赫-曾德调制器特性及其对系统传输的影响	董毅等 (312)
用外调制法产生 10GHz 超短光脉冲	王桐等 (314)
视频模拟光电耦合器	魏爱新等 (316)
一种利用偏振干涉的半导体光放大器超快非线性光开关	陈兴忠等 (318)
非线性光栅自调制光限幅特性研究	徐迈等 (320)
有机聚合物热光型光电子器件的热学特性分析	杨建义等 (322)
新型电光聚合物波导缓冲层薄膜的制备及光学特性表征	张平等 (324)
极化聚合物取向有序度及其寿命的表征	高福斌等 (326)
物理老化的温度对极化聚合物稳定性的影响	单吉祥等 (328)
物理老化的时间对极化聚合物稳定性的影响	单吉祥等 (330)
光漂白制备有机聚合物脊型波导的新方法	张爱华等 (332)
变形微腔激光器中形变量与光子轨道演化的关系	廖常俊等 (334)
掺杂聚合物微腔激射行为的研究	吴东江等 (336)
PPV 共聚合物蓝、绿光电发光器件	刘明大等 (338)
聚合物电光波导传播常数与损耗系数的微扰解	张学亮等 (339)
高性能 AOTF 的 EDA 设计与波分复用中 OADM 技术的最新研究	戴恩光等 (341)
一种新型光波导及其应用	裴丽等 (343)
一种低同频串扰的 OADM 结构	陶振宁等 (345)

WDM 单纤双向集成组件的研制.....	黄水清等 (347)
新型 SLALOM 用于帧标志的偏振识别.....	陈明华等 (350)
非平衡光纤马赫-曾德干涉仪温度调谐特性的研究.....	瞿荣辉等 (352)
突发模式光接收模块测试系统的研制.....	唐义兵等 (354)
突发模式光收发模块及其在 PON 系统中的应用.....	汪润泉等 (356)
氢化非晶氧化硅多层薄膜的光学特性.....	郭震宁等 (358)
用亚甲蓝敏化的重铬酸明胶实现全息交叉光互连.....	梁国栋等 (360)
折射型微小透镜列阵的复制.....	高应俊等 (361)

网络与系统技术 (59 篇)

基于 EDFA 的 AM/QAM 系统容量的研究.....	陈轶鸿等 (362)
光纤宽带传输中光放大增益与系统非线性失真的研究.....	汪学强等 (364)
谐振式 CATV 光接收模块的研究.....	胡均权等 (366)
用于光纤有线电视网的掺铒光纤放大器 (EDFA) 的研制.....	钟祖平等 (368)
混合光纤/同轴接入网中关键技术的全数字实现方案.....	陈轶鸿等 (370)
光纤 CATV 系统中光源的非线性失真及补偿.....	王辉等 (372)
光纤 CATV 模拟数字混合传输系统中噪声对误码率影响的研究.....	王辉等 (374)
DWDM HFC 接入网.....	胡台光 (376)
光通信设备在农村接入网建设中的应用考虑.....	黎红长 (378)
宽带接入网的 MAC 层的协议研究.....	杨祎等 (380)
一种突发模式光信号接收机.....	戎福恩 (382)
城市内光纤网络组网问题的探讨.....	张志勇等 (384)
秦皇岛建兴里智能化小区建设规划方案.....	张志勇等 (386)
光纤用户接入网的网管技术探讨.....	李和璋 (388)
1310nm 光纤有线电视 (CATV) 传输系统设计.....	田锦 (390)
一种可用于城域网 (MAN) 内的 $1.3\mu\text{m}$ -ELED 单模光纤用户环路传输系统 的带宽能力分析及其实现.....	冯显杰等 (392)
光纤通信在军事上的作用和地位.....	唐玉麟等 (394)
利用无源光器件组成的 SDH 自愈环.....	吴志宏 (396)
BIP 校验在 SDH 光纤传输系统中的作用.....	陈阳 (398)
2Mb/S 信号向 STM-1 的映射新算法.....	徐东明 (400)
SDH 传输网 Y2K 问题研究.....	苗新 (402)
一种基于环路的 SDH 网络的优化方法.....	金德鹏等 (404)
光信道上的 IP 技术.....	徐荣等 (406)
为 IP 业务构筑最佳传送网.....	陈云志 (408)
ATM 无源光纤接入网中的突发技术.....	洪小斌等 (410)
无源光网络中的 ATM 信元.....	王志立等 (412)
无源光网络 (PON) 中上行快速同步的实现.....	蒋玲等 (414)
基于 ATM 的无源光网络的媒质接入协议设计.....	乔耀军等 (416)

APS 协议应用于 SDH 自愈环网中的同步策略.....	黄婷熙等(418)
Intranet/Internet 网络安全规划和设计.....	王新生等(420)
对光缆传输网维护管理工作的几点思考.....	李晓明等(422)
光中继器监控技术的研究.....	肖石林等(424)
考虑噪声因素的 XGM 全光波长变换器动态模型的性能分析.....	迟楠等(426)
单纤双向多级放大 WDM 传输系统分析.....	陈海涓等(428)
8×10Gb/s 80Km 常规单模光纤传输实验研究.....	王晖等(430)
四波混频效应对“WDM+SOA”系统的影响.....	陈章渊等(432)
大保实®光纤 8×10 Gb/s 系统实验.....	程铭等(434)
波分复用新技术及系统应用.....	王冬(436)
一种全新的采用 AOTF 的波分复用+EDFA 系统的光波增益连续性均衡技术.....	戴恩光等(438)
利用注入锁模实现 2.5Gbit/s 归零码光时钟提取.....	徐磊等(440)
未来的宽带网:多波长光网络概念.....	吴家兴(442)
量子保密通信—理论与应用.....	曾贵华等(444)
光纤 CDMA 通信技术的应用研究.....	张宝富等(446)
光纤 CDMA 的双极性系统性能分析.....	蒲涛等(449)
“双网结构”的光码分多址通信网的研究.....	殷洪玺等(451)
使用双硬件限幅器的直接检测异步光纤 CDMA 系统性能分析.....	刘宁等(453)
一个实现远程切换的光纤双向传输系统.....	季晓飞等(455)
WDM-EOC 在 S12 中的应用.....	张俊根(457)
采用 LiNbO ₃ Mach-Zehnder 外调制器的 2.5Gb/s 光发射机.....	张旭斌等(459)
惠州市光纤接入网建设及碰到的一些问题.....	钟卫平(461)
34 Mbit/s 大气传输光通信系统的研制.....	陈刚等(463)
受控水下装置自动引爆光缆双向传输系统.....	王应发等(465)
新型小型实用化光纤制导水面智能器光端机.....	王应发等(466)
SEA-ME-WE3 海底光缆系统.....	裘文荣(467)
深圳移动电话 SDH 光纤传输网.....	徐浩(469)
高比特率通信系统中光源谱宽和脉冲初始啁啾对传输距离的影响.....	张梓华等(471)
色散补偿传输系统的最佳补偿方案.....	谢崇进等(473)
采用终端色散管理法优化 8×10Gb/s NZ-DSF 长距离光传输系统性能.....	周立嵩等(475)
无背景噪声下的光 PPM 信道容量分析.....	邹传云等(477)

光纤传感 (21 篇)

光纤传感器在精密测角系统中的应用.....	袁一方等(479)
应用光纤传感技术校正两相流体流量测量误差的方法研究.....	徐荣等(481)
消除光源幅度噪声的光纤应变传感技术的研究.....	毕卫红等(483)
实时测量海水叶绿素-a 浓度的水中光纤荧光计.....	郑龙江等(485)
光纤磁光传感器在流量测量中的应用.....	喻洪波等(487)
集成光波导电场传感器新结构.....	马少杰等(489)

交流相位跟踪零差补偿技术在光纤加速度地震检波器中的应用研究.....	郝永杰等 (491)
多参数检测的 10Km LD 分布式光纤传感器系统.....	张在宣等 (493)
光纤光学传感系统和信息处理在军事上的应用.....	宋全祥 (495)
方波调制干涉式光纤陀螺中的温度相位噪声研究.....	张桂才 (497)
光纤干涉仪臂差的测量.....	李毛和等 (499)
空间载体用光纤零位传感器研究.....	张美敦等 (501)
可变包层光波导在光纤传感中的应用.....	裴丽等 (503)
光纤激光共焦扫描显微镜扫描系统非线性补偿方案的探讨.....	杨琪霞等 (505)
无源光纤传象系统有关误差因素对波分复用改善象质的影响分析及处理.....	李坤宇等 (506)
无源光纤传象系统的实用化进展与影响传象效果的主要因素分析.....	迟泽英等 (507)
应用光纤延时线的动态定距探测系统改进方案的研究.....	齐鑫等 (509)
光纤全息散斑内窥系统的研究.....	王国志等 (510)
光纤延迟线收发组件设计与制作.....	刘连英 (511)
光纤元件在光电子技术中的应用.....	黄玉金等 (513)
纤维光锥在 CCD 相机中的应用.....	高应俊等 (515)

光纤通信仪器仪表、测量技术与其它 (10 篇)

单模光纤非线性参数 n_2/A_{eff} 的测量.....	张颖艳等 (516)
光功率计及探测器非线性检定装置.....	周波等 (518)
智能化多通道高稳定度光源.....	梅建华等 (520)
光缆测试仪器的新进展.....	张盛武 (520)
一种基于光纤放大器的可调谐激光光源的研究.....	肖石林等 (523)
掺铒光纤放大器测试系统研制.....	卢文全等 (525)
利用莫尔条纹技术自动控制检测位移量.....	李丰丽等 (527)
彩色图像的分形压缩.....	狄红卫等 (528)
脉冲法光纤放大器参数测量系统.....	沈雅琴等 (530)
Peremolov SU(1, 1) 相干叠加态.....	王晓光等 (532)

产业介绍

秦皇岛经济技术开发区.....	(533)
武汉邮电科学研究院.....	(534)
长飞光纤光缆有限公司.....	(535)
亨通集团.....	(536)
亨通集团.....	(封三)
美国康宁公司.....	(封底)

国内外光纤光缆技术发展与市场

杜柏林

中国亨通集团

(一) 前言

自第一套光纤通信设备进入商用市场至今尽管仅 22 年时间,可是光纤通信以其强有力的发展势头,已跻身于组建现代化通信网三大支撑技术之一。其干线通信网主体和构筑通信平台基础的显要位置已有目共睹。据实验推算,光纤本身固有的带宽极大,即将投入运行的传输系统的速度即便已高达 40Gb/s,然而现今被开发的出的带宽,仍占光纤本身所固有带宽的极少部分。因此继续探索新技术,并力图使之成为超大容量,超长传输距离的新一代光纤传输系统,用以满足信息化社会的用户对带宽的需求,是当前光纤通信领域的热门话题。

自 1977 年世界上第一套光纤通信传输设备进入商用市场至今,大致经历了以下四个发展阶段:

1. 试开发、商业试运行阶段:(1977 年-1980 年),其宗旨是通过敷设一些局间短距离线路,组建一些传输速率在三次群以下的小容量系统。在实际商用场合考察和验证传输系统在设计、技术指标及各部分元器件的工艺等方面的可行性,在经济效益和社会效益上与其它通信手段相比,是否具有竞争力和开发潜力。通过三年多的产品试生产和现场商用考察,其结论是肯定的,即技术上可行,经济上很具竞争力,开发潜力巨大,这就为其后的发展奠定了坚实的基础。

2. 初期发展阶段:(1980 年-1985 年)。其技术发展特征是:光纤从多模光纤发展到单模光纤;波长从 $0.85\mu\text{m}$ 发展到 $1.3\mu\text{m}$;光源从发光二极管发展到激光二极管;系统传输距离从短距离的局间通信发展到长达数千公里的长距离干线通信甚至越洋海底光缆通信;传输速率从二次群发展到四次群,现五次群已有产品面市;PDH(准同步系列)产品基本趋向成熟。

3. 大规模发展阶段:(1986 年-1993 年)其发展特征是:大量推广应用 PDH 系列产品;单模光纤开始进入干线和局间通信网;在制式上着手从 PDH 向 SDH(同步数字系列)过渡并重点开发 SDH 光路设备;研制与开发 EDFA(掺铒光纤放大器);开发第三窗口 $1.55\mu\text{m}$ 最低损耗光纤即 DSF(色散移位光纤)和 NZDF(非零色散光纤);研制与开发新型高效光源——分布反馈单频激光器;开发 WDM(波分复用)扩容技术;提出了用 DSF+EDFA+WDM 来构筑新一代光纤传输的新概念。

在此期间,光纤通信与卫星通信相比发生了戏剧性的变化。根据美国 130 家单位在全球使用数字网的业务量统计列于下表 1:

表 1 全球数字网业务量统计

	1988 年	1990 年	1991 年
光纤通信%	2	40	56
卫星通信%	98	60	44

光纤通信形成这种快速增长势头的主要因素是 SDH 系列设备。单模光纤及 $1.55\mu\text{m}$ 最低损耗光纤等新技术产品进入市场,全球组建了若干高速率大容量传输系统,并以光纤通信为主体组建了若干长距离干线通信网和局间市话网。

4. 新技术进入市场,着手研制超大容量传输系统。1993 年至今光纤通信进入九十年代后涌现出了大量新技术,人们在挖掘光纤的巨大带宽潜力方面迈出了一大步,进而充分估价到了光纤通信在构筑信息大通道(信息高速公路)和加快信息化社会进程中所起的作用,因此在竭力促进新技术实用化,其中主要有:SDH 进入商用市场;EDFA 开始实用化;1.55 μm 第三窗口最低损耗光纤开始用于干线通信网;同时还开发出非零色散光纤(NZDF)和色散补偿光纤(DCF);分布反馈单频激光器实用化;2.5Gb/s 与 5Gb/s SDH 系列设备进入市场;WDM 研制成果大量出现等等。

本文扼要地介绍世界各国通信用光纤光缆的技术进展情况,并对光纤光缆市场作初步的探讨。

(二) 干线光缆中光纤技术的发展

在过去的 10 多年中,干线光缆在结构方面已比较成熟。今后的主要发展方向是扩大光纤的传输容量。光纤的传输容量常用传输信号速率(B)和传输距离(L)的乘积 BL 来表示。众所周知,光信号在光纤中的传输遭受光纤的衰减和色散的影响而劣化,而色散的作用几乎与信号速率的平方成正比。于是扩大光纤的传输容量就归结到克服衰减与色散对光信号的劣化作用。兹分述于后:

1. 常规光纤和色散位移光纤

到目前为止,最多使用的光纤为 G.652 单模光纤。这种光纤的零色散波长在 1310nm 附近,与早期比较成熟的光器件的工作波长相一致。这种光纤常称为非色散位移光纤(NDSF)或常规光纤,以区分于 G.65x 系列中的其他光纤。然而常规光纤在 1310nm 的衰减约为 0.36dB/km,远大于在 1550nm 的最低衰减 0.22dB/km。为了能充分利用这种低衰减,世界各国都努力开发工作波长为 1550nm 的光器件而很快得到了成功。1550nm 波长的采用使 622Mb/s 及以下速率系统的再生间隔从约 80 公里延长到 100 公里以上。然而,随着 SDH 的广泛采用和传输速率的不断增加,常规光纤在 1550nm 波长上的 +17ps/nm.km 的色散起了越来越大的限制作用。例如,在常规光纤上的 2.5Gb/s 系统的再生间隔仍然被限制于约 80 公里。于是人们纷纷从各个方面解决这个问题。采用零色散波长位于 1550nm 的色散位移光纤(DSF)是较早采用的一个方法。这种光纤很快被当时的 CCITT 所采纳,并制订了 G.653 建议书。这种光纤在有些国家曾一度被推广使用。我国也在京九干线上采用了一段包含 G.653 光纤的光缆。

自从光纤放大器和波分复用技术的迅速发展,人们发现 DSF 在 1550nm 附近的零色散会由于光纤非线性效应而变成有害。光纤的非线性效应通过受激布里渊散射(SBS)而引起噪声和衰减的增大;通过自相位调制(SPM)和交错相位调制(XPM)使传输的信号失真;通过四波混频(FWM)在不同的波长间产生新的频率与串音;通过受激拉曼散射(SRS)而引起差分信道损耗等。在没有光纤放大器时,光纤中的信号功率密度较小使光纤中的非线性效应可以忽略。当采用光纤功率放大器时,注入光纤的功率可达 +14~+20dBm。在 1550nm 波长上光纤的低衰减使光纤中的大功率信号在大长度上相互作用而使其危害性突出起来。由于这些原因,DSF 光纤的使用场合可能会有所减少。

2. 非零色散位移光纤

为了克服色散位移光纤的非线性效应带来的危害,出现了非零色散位移光纤(NZDSF)。这种光纤在 1550nm 波长上有较的小色散。色散的改变是通过光纤的折射率分布来实现的。这种光纤已被 ITU-T 采纳,列入 G.655 建议书中,故也称为 G.655 光纤。IEC 也正

在考虑把这种光纤作为 B4 类光纤纳入 IEC793-2 中。上述两个标准都规定在 1530~1565nm 波长范围内的色散应有 0.1 与 6.0ps/nm.km 之间。美国朗讯 (原 AT&T) 和康宁公司都有 NZDSF 的商品。康宁正在研制另一种大有效面积的非零色散位移光纤 (Large Effective Area Fiber 简称 LEAF)。对于抑制非线性效应和改善熔接特性方面都有作用。表 2 列出它们的特性。

表 2 非零色散位移光纤在 1550nm 波长上的特性

特性名称		单位	ITU-T (G.655)	真波光纤 (AT&T)	SMF-LS 光纤 (康宁)	LEAF 光纤 (康宁)
衰减		dB/km	≤0.35	0.20*	≤0.25	≤0.32
色散	波长	nm	1530~1565	1550*	1530~1560	1530~1565
	数值	ps/nm.km	0.1~6.0	2.3*	-0.1~-3.5	1.0~6.0
零色散波长		nm			1567.5*	
零色散斜率		ps/nm ² .km			0.07*	
芯/包层 同心度误差		μm	≤1	0.2*		
有效面积		μm ²		55		72
模场直径		μm	(8~11) ±10%		8.40±0.50	9-10
偏振模色散		Ps/km ^{1/2}	≤0.5		≤0.5	

注:带*号者为典型值。

3. 色散补偿光纤

在常规光纤上开通 1550nm 的系统时,当速率在 2.5Gb/s 或更高时,常规光纤的大约 ±17ps/nm.km 的色散就成为再生间隔的限制因素。于是出现了各种具有大负色散的色散补偿器。色散补偿器可大致分为两类:一类是色散补偿光纤 (DCF); 另一类是线性 chirp 光栅。其中 DCF 比较常用。DCF 利用基模的波导色散来取得大的负色散,以补偿串接在一起的常规光纤的正色散。DCF 的折射率分布由一个大折射率差 (>1.5%) 的细纤芯和包围着它的多层包层组成。表 3 列出 DCF 的典型性能。常把 DCF 的色散与衰减之比定义为质量因数。目前市上已有质量因数大于 200ps/nm.dB 的 DCF 商品。一般把适当长度的 DCF 圈起来装在盒中,所以要求 DCF 具有优良的弯曲性能。

表 3 色散补偿光纤在 1550nm 波长上的典型性能

纤芯直径	<3 μm	色散	-90ps/nm.km
纤芯折射率差	1.8%	色散斜率	-0.15ps/nm ² .km
模场直径	5.0 μm	质量因数	180ps/nm.dB
衰 减	0.5dB/km		

4. 低偏振模色散光纤

在光纤中传播的基模由两个正交的偏振模组成。如果在这两个偏振模之间有相对延迟就产生偏振模色散 (PMD)。这种相对延迟的原因有内在的,即纤芯的椭圆度与掺杂浓度的不均匀;也有外来的,即光纤所受到的外界侧向负载。两个正交模之间的模耦合会减小 PMD。这种模耦合也可以是内在的,即光纤玻璃内部的耦合点;也可以是外来的,即光纤的弯曲、扭转或挤压。

PMD 是随机性的,它与光纤长度的平方根成正比。在长度上不超过百来公里的光纤

上，一般是可以忽略的。OFA 的应用使光纤链路上再生器之间的距离大为延长，使光纤的 PMD 变成必须注意。DSF 和 DCF 的 PMD 一般较大，尤宜加以注意。80 年代中期与后期安排的光缆也可能具有较大的 PMD 值。TIU-T 第 15 研究组提出了光缆再生段上总的平均 PMD 指标如下：

- 622Mb/s 系统 (STM-4) 160ps
- 2.5 Gb/s 系统 (STM-16) 40ps
- 10 Gb/s 系统 (STM-64) 10ps

G.652 单模光纤的建议中已增加了 PMD 的项目，其具体指标尚在研究中，但这种光纤通常具有一个低于 0.5ps/km^{1/2} 的偏振色散系数。

由于 PMD 的随机特性，它不能像色度色散那样预先计算出来而进行补偿，在成缆过程中设法引入模耦合来减小 PMD 的方法又没有足够的可靠性，所以要减小 PMD 只有从光纤本身着手。例如改进预制棒的制作，严格控制不圆度；优选光纤的折射率差并采用三包层的光纤；在拉光纤过程中将光纤来回旋转，使外界对光纤的影响均匀化等。

(三) 带状光缆

随着光缆进入用户接入网，光缆内的光纤数目大为增加。于是人们在光缆中开始使用叠置在一起的光纤带来代替单根光纤。这种光缆常称为光纤带光缆或带状光缆。带状光缆有以下优点：

- 提高光缆内光纤的集装密度，即在给定外径的光缆中能容纳更多的光纤；
- 光纤带可以进行集体接续，大大节省接续时间和接续成本；
- 使光缆中的光纤排列整齐而便于维护。

1. 带状光缆的结构

1) 光纤带的结构

边粘型光纤带——厚度薄，适用于松套管光缆

密封型光纤带——能抵抗横向压力，适用于骨架槽式光缆（见图 1、图 2）

表 4 光纤带的几何尺寸

光纤数 n	带型	宽度 w(μm)	厚度 t(μm)	水平间距 μm		平面度 P(μm)
				相邻光纤 d	两端光纤 b	
4	包封	1220	460	280	795	30
	边粘	1115	320			
8	包封	2140	460	280	1880	30
	边粘	2040	320			
12	包封	3400	460	300	2915	40
	边粘	3235	320			
16	包封	4480	460	300	3930	50
	边粘	4300	320			

表 5 光纤带色谱

光纤序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
光纤颜色	蓝	桔	绿	棕	灰	白	红	黑	黄	紫	粉红	海蓝
注：四种规程光纤带的色谱为：4 芯带取 1-4 号色谱；8 芯带取 1-8 号色谱；12 芯带取 1-12 号色谱；16 芯带取 1-8 号色谱，然后再重复一次。												
各国、各企业标准不同，亦可按用户要求配置。												

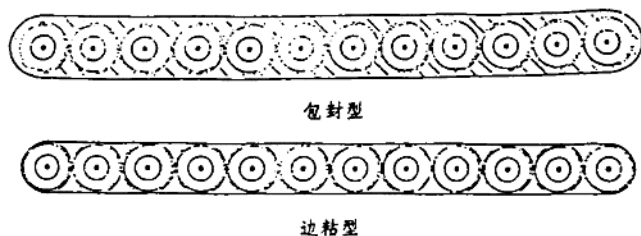
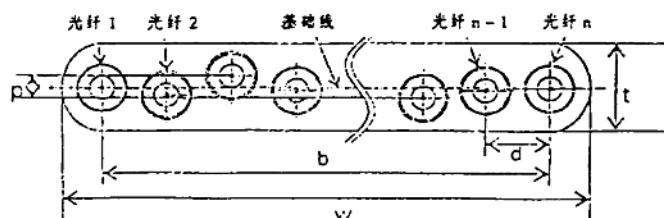


图 1 光纤带类型



w : 宽度
 t : 厚度
 d : 水平分离(相邻光纤)
 b : 水平分离(两端光纤)
 p : 偏离度

图 2 光纤带结构尺寸

2) 带纤光缆的结构和规格

(1) 结构

骨架式——最佳为 5 槽 (见图 3)

圆管式——中心式、层绞式 (见图 4, 图 5)

600 芯以上用 12 芯带

以下用 4、8 芯

薄层光纤 $\Phi 180 \mu\text{m}$ (日本采用)

(2) 规格:

表 6 光缆芯数结构对应表

分 类	光 纤 芯 数
低密度 (4 芯带)	4、8、12、16、20、24、28、32、36、40
标准密度 (4 芯带、6 芯带)	48、72、96、108、144、192、216、240、288
高密度:	
8 芯带	320- -960
12 芯带	768- -2016
16 芯带	1536- -3456

注: 可按用户需要选定合理的芯数。

3) 缆芯结构

(1) 成缆结构优选原则

主要理由

- | | |
|------------------|------------------|
| ① 能用光纤带, 尽量不用光纤束 | 发挥光纤带优点, 除非无带纤工具 |
| ② 能用小芯带, 不用多芯束 | 小芯带容易做 |
| ③ 能用中心管式, 不用层绞式 | 减低成本及售价 |
| ④ 能用管数少的, 不用管数多的 | 减少工作量 |
| ⑤ 能用一次层绞, 不作两层层绞 | 保证余长一致, 减少工序影响 |
| ⑥ 光纤带重叠尽量接近方 | 实现管径最小, 减少光纤扭绞应力 |

型结构, 尽量少用厚叠层

(2) 成缆推荐结构

主要采用于

- | | |
|-----------------------|-------|
| 1-12 芯光缆采用光纤束中心管结构 | 美国 |
| 12-144 芯光缆采用光纤束层绞式结构 | 欧洲 中国 |
| 144-288 芯光缆采用光纤带中心管结构 | 美国 |
| 288 芯以上光缆采用光纤带层绞式结构 | 中国 |
| 1000 芯以上光缆采用光纤带骨架式结构 | 日本 |

其结构图见图 3、图 4、图 5。

4) 光缆护层结构

护层的选用主要根据以下几个要求:

- (1) 缆芯大小;
- (2) 中心管式或层绞式;
- (3) 使用场合 (架空、管道、地下埋设、水下);
- (4) 受拉、受压的情况;
- (5) 特殊要求 (防雷、防干扰、防鼠、防白蚁等)。

根据不同要求进行不同设计和配置, 主要有以下几种配置和型号, 见表 7。

2. 带状光缆的制造技术

1) 带状光缆生产流程见图 6。

2) 着色工艺要点

① 原材料要求:

- 光纤: 要严格要求进行筛选配盘。
- 油墨: 不得过期使用, 充分搅拌后使用。
- 工业纯氮气: 不带水及油

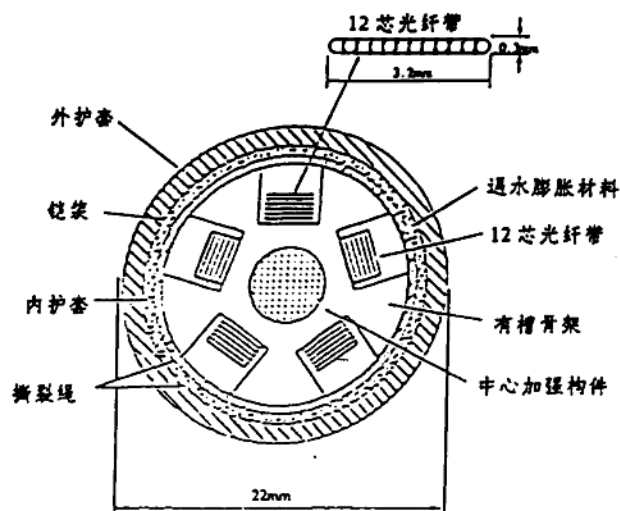


图 3 骨架带纤光缆结构截面示意图

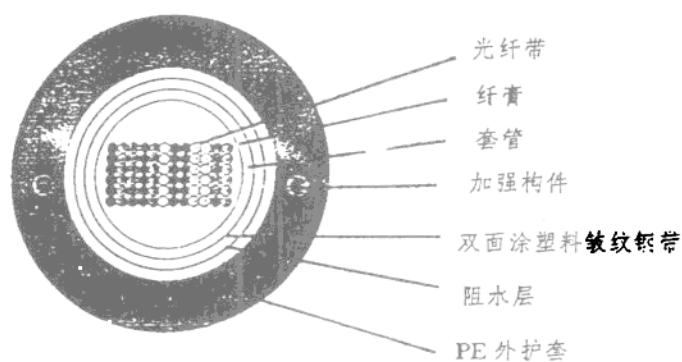


图 4 GYDXTW 中心管光纤带光缆

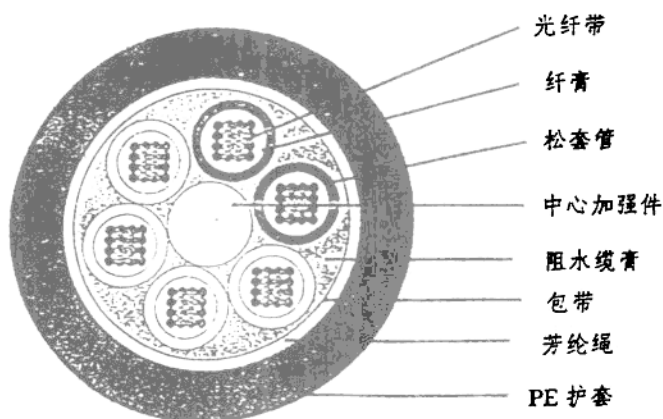


图 5 光纤带松套管光缆结构