

光纤通信技术200问

殷益群 主编

郭志刚 温向明 编译

叶培大 审

北京邮电学院出版社

(京) 新登字 (162) 号

内 容 提 要

这是一本知识性和实用性很强的读物。本书以问答形式,介绍光纤通信的基本原理和基本技术,各题多为在实际工作中所关心的问题或遇到的疑点。全书共分八篇,分别阐述光纤、光缆、传输系统、光器件、设计、建设、测量、线路维护等。本书内容实际,重点突出,叙述上力求概念清楚、通俗简明。

本书可供从事光纤通信实际工作的工程技术人员、工程管理人员、通信专业的有关师生,以及关心通信事业的广大读者学习和参考。

光纤通信技术200问

主 编 殷益群
编 译 郭志刚 温向明
责任编辑 王守平

北京邮电学院出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京邮电学院印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 印张 9.75 字数 248 千字

1992年12月第一版 1992年12月第一次印刷

印数: 1—8000 册

ISBN 7-5635-0086-3/TN·28 定价: 6.50 元

序

光纤通信是70年代通信技术的重大变革，其发展速度、规模、应用领域，以及就其现在和今后对社会各个方面所起的作用，都是其他通信方式所不可比拟的。因此，光缆必将成为未来世界新型通信网络的骨干。

十几年来，光纤通信的容量日益扩大，无中继距离逐步加长，并已从点到点的通信发展到包括用户网系统在内的各类光缆信息网络。就光纤通信技术而言，一般说来已经成熟，但一批批新成果不断涌现，快速发展势头仍然很猛，不久的将来，新一代光纤通信势将与现在的面目全非。

本书以实用化的常规光纤通信系统（即用强度调制直接检测IM/DD方式）为主题，着重介绍光纤光缆传输基本技术问题，内容丰富，重点突出，同时又非常实际。书中除阐述一般原理和物理概念外，还积累了许多实践经验，二者密切结合。全书说理清楚，通俗简明，语言流畅，以图助文。

因此，这本书既适合于作具体工程工作、设计、技术管理工作等同志和有关的教师学生学习和参考，也可供不是此专业的同志作为科普读物（可以选读），它将对于理解和掌握光纤通信的基本知识、基本技术，以及开阔眼界、丰富知识，大有裨益。

诚然，一本书难以包括一切，若能以此为基础，不断拓宽内容（例如增加端机部分），这样就更可以满足广大工程技术人员对诸多方面的需要。

中国科学院学部委员
北京邮电学院名誉院长、教授



1991年12月于北京

前 言

本文参照日文“光ファイバ技術 200 のポイント”(貝淵俊二 主编, 1990.5.)一书编译。原书从光纤、光缆、传输系统、光器件、设计、建设、测量、线路维护 8 个方面, 以问答形式、图文并茂、深入浅出、通俗明了地论述了光纤通信的基本原理和光纤光缆工程技术问题。书中所列之题, 大多是在实际工作中所关心的问题或遇到的疑点。

原书从日本发展现状出发, 在内容上不仅涉及到光缆长途和市内中继线路, 而更侧重于用户网传输线路技术, 相信这对我国光纤通信网络的推广普及不无借鉴作用。

为结合国情, 并适应读者的需要, 在保持原书风貌的基础上, 对部分内容作了适当的扩充、调整, 并补充了一些新的问题。

本书承蒙中国科学院学部委员、北京邮电学院名誉院长、IEEE会士、美国麻省理工电磁科学研究院成员, 著名光通信专家叶培大教授审阅了全部书稿, 特别是对其中的第四篇(光器件)、第六篇(建设)和第七篇(测量), 作了详尽的审校和指正, 在此表示衷心的感谢。

本书的出版还得到了北京邮电学院培训中心及其有关同志的支持和帮助, 在此深表谢意。

本书的第一、二、三、四、七、八篇由郭志刚编译, 第五、六篇由温向明编译, 殷益群整理、统编全书, 并撰写相关的补充内容。

为方便读者, 对本书出现的部分英文缩写名词、物理常数和单位, 简短汇编于附录中以供参考。

限于编译者水平, 书中难免存在一些错误和不当之处, 恳请读者批评指正。

编译者

1991年12月

目 录

第一篇 光 纤

问 1	为什么现代通信中的传输手段大量使用光缆而不使用金属电缆.....	(1)
问 2	光缆是否可以完全代替金属电缆.....	(2)
问 3	光的本质是什么.....	(3)
问 4	光具有什么性质.....	(5)
问 5	什么是介质的折射率.....	(7)
问 6	什么是光的全反射现象.....	(8)
问 7	光在光纤中是怎样传播的.....	(9)
问 8	为什么光可以传送声音.....	(9)
问 9	激光器发出的激光与白炽灯光有什么不同.....	(10)
问10	为什么在光通信中使用激光.....	(11)
问11	什么是光纤的传输模.....	(12)
问12	为什么渐变折射率 (GI型) 多模光纤的折射率分布是抛物线形.....	(14)
问13	为什么单模 (SM型) 光纤的芯径细.....	(17)
问14	什么是光纤的截止波长.....	(19)
问15	为什么光纤像发丝那样细.....	(20)
问16	光纤的芯径和包层外径是怎样确定的.....	(20)
问17	光纤具有哪些参数.....	(22)
问18	怎样定义光纤的带宽.....	(26)
问19	什么是色散.....	(29)
问20	芯径和模场直径有什么不同.....	(31)

问21	什么是单模光纤的零色散波长.....	(32)
问22	色散位移型光纤是怎样改变零色散波长的.....	(34)
问23	什么是菲涅尔反射.....	(36)
问24	产生光损耗的原因有哪些.....	(37)
问25	瑞利散射是怎样产生的.....	(39)
问26	吸收损耗是怎样产生的.....	(40)
问27	光纤传输距离加长时线路光损耗将怎样变化	(41)
问28	光纤传输距离加长时线路基带频率特性将怎样变 化.....	(42)
问29	光纤通信中光波长工作窗口(波长带)是怎样确 定的.....	(44)
问30	光纤损耗可降低到什么程度.....	(46)
问31	产生模式变换的原因是什么.....	(47)
问32	为什么光的相干性越好越容易产生噪声.....	(49)
问33	在近场图(NFP)和远场图(FFP)上可确定什 么.....	(50)
问34	改变相对折射率差光纤性质将如何变化.....	(51)
问35	怎样使光纤纤芯和包层的折射率发生变化.....	(52)
问36	VAD法和CVD法有什么不同.....	(53)
问37	VAD法中是如何控制折射率分布的.....	(58)
问38	VAD法中怎样进行脱氢氧根的处理.....	(60)
问39	全合成VAD法和以往的VAD法有什么不同.....	(62)
问40	一根预制棒可拉丝制成几公里长光纤.....	(63)
问41	为什么必须进行筛选试验.....	(64)
问42	光纤的寿命由什么决定.....	(66)
问43	光纤怕水吗.....	(68)
问44	为什么用玻璃制造的光纤一成心线就难以折断...	(69)

第二篇 光 缆

- 问1 光缆结构设计的要点是什么..... (71)
- 问2 光纤心线的结构是怎样的..... (72)
- 问3 裸光纤、光纤素线、光纤心线有什么不同..... (74)
- 问4 多芯光缆的光纤心线结构是怎样考虑的..... (75)
- 问5 光缆的基本结构及其考虑是怎样的..... (76)
- 问6 目前使用的光缆结构有哪几种,各有什么
特点..... (77)
- 问7 为什么光缆中要放置抗张力构件..... (80)
- 问8 为什么在某些单元式光缆中配置充气导管..... (80)
- 问9 用户建筑内的光缆结构是怎样的..... (82)
- 问10 海底光缆的结构是怎样的..... (83)
- 问11 不采用气体维护的无电磁感应 (IF) 光缆是怎样
防止水的浸入..... (84)
- 问12 怎样区别GI型光缆和SM型光缆..... (85)
- 问13 什么是复合架空地线光缆 (OPGW) 和电力复合
光缆..... (85)
- 问14 光纤光缆的型号是怎样编制的..... (87)

第三篇 传输系统

- 问1 光纤通信中有哪些调制方式..... (93)
- 问2 数字光纤通信系统是怎样构成的..... (95)
- 问3 产生误码的原因是什么..... (97)
- 问4 什么是波分复用传输方式..... (98)
- 问5 为什么在日本仅在F-6M (日本制式 6.3Mb/s)

	光纤通信系统中采用波分复用传输方式.....	(99)
问 6	怎样选择系统的光工作波长.....	(100)
问 7	怎样进行光信号放大.....	(101)
问 8	数字光纤通信中主要有哪些线路传输码型.....	(101)
问 9	光纤通信中的线路码型可以统一为一种吗.....	(105)
问10	4B1H和8B1H线路码型的帧结构是怎样的.....	(107)
问11	怎样给海底光缆传输方式中的中继器供电.....	(109)
问12	在用户线系统的高速数字传输方式中怎样决定其 适用距离范围.....	(110)
问13	什么是相干光通信.....	(111)
问14	什么是光的直接放大.....	(112)

第四篇 光 器 件

问 1	什么是能带.....	(113)
问 2	什么是负温度状态.....	(114)
问 3	什么是双异质结.....	(115)
问 4	半导体发光二极管(LED)和激光二极管(LD) 有什么不同.....	(116)
问 5	发光二极管(LED)的发光原理是什么.....	(117)
问 6	半导体激光器(LD)的发光原理是什么.....	(119)
问 7	发光波长由什么决定.....	(122)
问 8	什么是半导体激光器(LD)的纵模.....	(123)
问 9	发光器件光谱特性的好坏产生什么影响.....	(124)
问10	在模拟光纤通信中使用半导体激光器光源应注意 些什么.....	(124)
问11	PIN光电二极管(PIN-PD)的工作原理是怎 样的.....	(126)

- 问12 雪崩光电二极管(APD)的工作原理是什么…… (128)
- 问13 光源和光检测器的适用范围是怎样划分的…… (130)
- 问14 什么是分布反馈半导体激光器 (DFB-LD)…… (130)
- 问15 怎样高效率地将光耦合到光纤…… (131)
- 问16 什么是光合波器、光分波器, 它们使用在什么
场合 …… (133)
- 问17 光开关的原理是什么, 目前应用于什么场合…… (136)
- 问18 为什么光可变衰减器可以改变光的强度…… (138)

第五篇 设 计

- 问 1 GI 型和 SM 型光纤的应用范围及其发展动向是
什么 …… (140)
- 问 2 如何确定光传输的最大中继距离…… (141)
- 问 3 光损耗计算式中各符号的意义是什么…… (144)
- 问 4 为何要预留光纤传输系统的线路维护余量和设备
余量 …… (146)
- 问 5 用户系光缆有哪些配线方法…… (147)
- 问 6 如何确定中继、市外光缆设备增加量…… (149)
- 问 7 怎样将光缆在局内成端…… (150)
- 问 8 光中继线配线架 (CTF) 和光用户线配线架
(光MDF、FTM) 有何不同…… (152)
- 问 9 什么是防光缆受强电影响的电磁感应抑制管… (156)
- 问10 为什么光缆通信线路要防雷…… (157)
- 问11 如何划分光用户系线路的配线区域…… (157)
- 问12 如何估计因故障对光用户系线路的备用芯
线数 …… (158)
- 问13 用户光缆为什么用连接器接续而不用熔接

接续	(159)
问14 光用户线路的设备增加量应考虑几年合适	(160)
问15 何谓光用户线路的带宽补偿心线	(161)
问16 光用户系线路进行环形配线时一个环长为多少公里合适	(162)
问17 环形配线中分上行、下行线吗	(163)
问18 难燃光缆适用于什么场合	(164)
问19 怎样确定光用户线路必要的心线数	(165)
问20 敷设光缆的人孔大小有限制吗	(167)
问21 环形配线法有哪些优点	(167)
问22 怎样把光缆敷设到用户楼内	(168)
问23 何谓数字业务单元 (DSU) 及其应用	(170)
问24 在高速光纤数字传输业务中怎样配对使用新旧型号的 SLT 和 DSU 终端设备	(170)

第六篇 建设

问1 为什么光缆线路能够超长敷设	(172)
问2 为什么要计算敷设张力	(173)
问3 怎样计算敷设张力	(173)
问4 光缆牵引机是怎样的	(174)
问5 光缆牵引控制器是怎样的	(176)
问6 使用光缆牵引机有什么优点	(177)
问7 何谓光缆牵引机的过载控制	(178)
问8 为什么光缆牵引机的最大牵引力定为 200kgf ...	(179)
问9 敷设管道光缆时使用哪些导引工具	(181)
问10 敷设隧道光缆时使用哪些导引工具	(182)
问11 敷设架空光缆时使用哪些导引工具	(183)

问12	如何在架空敷设时使用光缆牵引机.....	(184)
问13	为什么在导引工具的滚轮上装有传送带.....	(185)
问14	光缆上能否使用电缆扣.....	(186)
问15	为什么使用光缆牵引机时必须用光缆专用牵引绳	(187)
问16	敷设光缆的牵引设备有哪些.....	(188)
问17	同一管孔里可以敷设多条细径光缆吗.....	(189)
问18	为何在管道、隧道、架空区间敷设光缆时允许的牵引张力各不相同.....	(190)
问19	如何确定光缆的敷设速度.....	(191)
问20	怎样确定光缆的允许曲率半径.....	(192)
问21	如何保证标准光缆接头盒既能防水又密封不漏气	(193)
问22	光纤心线接续有哪些方法.....	(194)
问23	为什么光纤接续难度大.....	(196)
问24	为什么要使用PC型连接器.....	(197)
问25	如何确定光纤心线的接头余长.....	(199)
问26	光纤心线允许的曲率半径是怎样规定的.....	(200)
问27	光纤心线对照是怎样进行的.....	(200)
问28	光纤的熔接原理是什么.....	(202)
问29	为何光纤熔接接续时不会把纤芯和包层熔融混合在一起.....	(203)
问30	熔接接续时允许几次放电.....	(203)
问31	为什么光纤熔接接续必须在眼睛监视下进行	(206)
问32	F-21型熔接机纤芯直视法的原理是什么.....	(207)
问33	F-21型熔接机接续SM型光纤时的接续损耗是怎样推算的.....	(209)

问34	海底光缆的接续有什么特殊要求.....	(209)
问35	怎样进行带状多芯光纤心线的接续.....	(210)
问36	产生接续损耗的主要因素是什么.....	(212)
问37	为何心线接续处需要加固, 加固的方法有 哪些.....	(213)
问38	光缆能否象CCP电缆那样, 从光缆导引处进行心 线继续向下方延伸的分支接续.....	(215)
问39	何谓全自动熔接机.....	(216)
问40	光纤活动连接器有哪些种类.....	(217)
问41	为什么光纤连接器的端面需要研磨.....	(224)
问42	为什么光纤连接器需要使用匹配剂.....	(225)
问43	怎样在现场制作连接器.....	(225)
问44	如何在用户建筑内敷设光缆.....	(227)
问45	怎样固定垂直布放的光缆.....	(228)
问46	光缆专用终端盘能否装在现有的终端箱里.....	(230)
问47	怎样敷设室外光缆.....	(231)
问48	室内光纤配线有哪些方法.....	(232)
问49	地毯下配线、明面配线和隐蔽配线各有哪 些特点.....	(233)
问50	为什么光缆上没有红端和蓝端的区别.....	(234)
问51	MT连接器和SSF连接器的套管孔是怎样制 成的.....	(234)
问52	光纤熔接机有哪些种类.....	(235)

第七篇 测 量

问1	YAG激光器和半导体激光器有什么不同.....	(237)
问2	光时域反射计(OTDR)中掩蔽罩的工作原理是	

	怎样的	(233)
问 3	为什么减小探测光脉冲宽度会提高分辨率而使远 距离测量却变得困难.....	(240)
问 4	为什么光时域反射计中采用最小二乘法求取接头 损耗	(242)
问 5	什么是光时域反射计中的平均化处理 功能.....	(244)
问 6	怎样设定光时域反射计中掩蔽罩的位置和掩蔽 宽度	(246)
问 7	光时域反射计的测量原理是怎 样的.....	(248)
问 8	海底光缆通信系统中怎样使用光时域反 射 计...	(249)
问 9	光时域反射计的种类及其适用范围是怎 样的...	(250)
问10	光时域反射计中用于测量 GI 型光纤和SM型光纤 时的光学部分有什么 不同.....	(250)
问11	为什么用光时域反射计测量接续点处的波形台阶 有时向 上.....	(251)
问12	为什么用光时域反射计精确测定接头损耗时需要 从两个方向测量然后取其平 均 值.....	(253)
问13	光时域反射计是怎样应用五点法测定接头损 耗的	(255)
问14	光时域反射计所显示的距离是否包含了光缆的扭 弯率	(256)
问15	什么时候使用ID测 试 器.....	(257)
问16	是否可使用光时域反射计进行全区间线路损耗 测量	(258)
问17	为什么光缆中继区间的损耗测量需要使用两台光 功率计	(260)
问18	光线路损耗测量中怎样考虑光功率计的电平修 正值	(260)

- 问19 测量光纤损耗和光纤带宽（只限于GI型光纤）时的激励方法是怎样的…………… (261)
- 问20 导通试验中夹住了工作光纤将产生什么影响… (264)
- 问21 光纤测量中应该注意什么…………… (266)
- 问22 光纤损耗、光纤基带特性与数字传输的质量有什么关系…………… (266)
- 问23 光纤通信中的信噪比 (S/N) 有什么特点…… (268)

第八篇 线路维护

- 问1 怎样进行光缆外护套的修补…………… (270)
- 问2 怎样用简单易行的方法连接带有弯曲变形的光纤心线…………… (271)
- 问3 为什么需要防止对光缆的电磁感应…………… (272)
- 问4 敷设在桥梁上的光缆会发生怎样的移动…………… (274)
- 问5 怎样进行光缆线路的应急修复…………… (275)
- 问6 怎样进行光缆故障位置的准确探测…………… (276)
- 问7 光纤性能劣化将产生什么影响…………… (278)
- 问8 光缆内为什么要充气…………… (278)
- 问9 防止光缆蠕动的的方法和电缆的有什么不同…… (279)
- 问10 光缆压力发信器的设置间隔是怎样决定的…… (279)
- 问11 什么是设备维护的界线标准、维护标准和设备目标值…………… (280)
- 问12 为什么触及布放在标准光缆接头盒内的光纤心线会发生瞬断故障和应采取的措施…………… (281)
- 附录 英语缩写名词、单位、物理常数和数学常数…… (283)

第一篇 光 纤

问 1 为什么现代通信中的传输手段大量使用光缆
而不使用金属电缆

答 光纤光缆与金属电缆相比具有如下优点:

1. 损耗低

例如, 如若使光线穿过数厘米厚的窗玻璃, 就将损耗掉一半的能量; 如若使光线通过诸如天体望远镜之类的光学透镜, 则穿过数米后, 其能量减少一半; 然而, 当光波在光纤中传输时, 假设光波长为 $1.55\mu\text{m}$, 那末经传输 15km 以后, 输入的光能量才减少一半。可见光纤的损耗是很低的。

2. 频带宽

金属电缆中, 除了有直流电阻损耗外, 还有称之为趋肤效应的高频损耗, 以及介质的漏电导引起的介质损耗, 致使金属电缆工作频带不能很宽。以同轴电缆为例, 当传输的信号频率在 10MHz 左右时, 每传输 1km , 大约就要损失信号功率的一半(能量减半)。可见, 金属电缆的频率特性较差, 频带较窄。对于光纤来说, 光纤的带宽与光纤的折射率分布、纤芯直径大小和光纤材料的不同种类而有较大的差异。例如, 石英系单模光纤(SM型光纤), 其带宽可达数十 $\text{GHz}\cdot\text{km}$ 以上, 可见频带是非常宽的。

3. 线径细

光纤只有发丝那样的粗细, 即便光纤成缆以后光缆也可以做得很细。无论在任何使用场合, 与金属电缆相比光缆的占空可以

得到大幅度的改善。

4. 重量轻

光纤的主要材料为石英玻璃，其比重只为铜的 $1/4$ ，成缆之后也很轻，便于敷设施工。

此外，由于光纤损耗低，频带宽，故使用光缆传输可以减少中继器的数量，甚至可以完全不经过中继器即可将大量信息长距离地传输到对方，从而可使传输成本显著降低。

随着 ISDN 业务的逐渐普及，今后图像、高速传真、高速数据等这些高速、宽带传输业务的需求势必不断增加，光纤正是可以满足这些要求的最为有效的传输手段。

另外，因为光缆比较细，重量比较轻，所以在光缆的运输和敷设等作业中，工作效率和经济效益均较高。同时，由于容易实现长距离敷设，故链路中的每段光缆都比较长，从而减少了接续点的个数，进一步提高了系统的可靠性。

由上可见，光缆必将代替以往使用的金属电缆，并且目前就已广泛地应用于各种传输线路中。

问 2 光缆是否可以完全代替金属电缆

答 传输线路大体上可分成：连接市内电话局之间，或市内电话局与长途局之间的市内局间中继线路、市外长途通信线路，以及连接电话局和用户间的用户线路。其中，中继线路、长途线路是局间接续，它使用一条高速、大容量的传输线路，可以承载许多业务，有很高的经济效益。特别是对于连接大城市之间的长途干线，其应用性就更强。因此，早期的光纤通信就是在局间中继线路和长途线路方面积极引入了光纤传输方式。可以预测这种倾向今后一定更加突出，以至不久的将来，中继线路、长途线路将全部被光缆所代替。

在用户线系统方面，目前就大多数用户来说，只需要一条电话线，而对于大的工厂、公司、银行等单位来说，除了需要提供容量较大的电话线路以外还要求传输高速、宽带的通信业务，例如高速数据和活动图像等业务，因此，对于目前的用户系统，光纤光缆的使用仅限于在大的工厂、机关单位、公司、银行等内部以及它们与电话局间的连接。但是，今后随 ISDN 业务的发展，光纤光缆正积极地向用户系统更广泛的方面扩展，必将进入家庭用户之中。可以预测，用户线路也将会逐步被光纤光缆所代替。

问 3 光的本质是什么

答 如果问光是什么？那么从物理学角度来说，光是一种电磁波。在电视、广播和无线通信中所使用的电波，以及用于 X 光摄影中的 X 射线，用于放射线治疗的 γ 射线，这些也都是一种电磁波。因此，可以说光就是这些电磁波的同类。

电磁波谱中的各种频率（或波长）的波，如图 1.3-1 所示。其中光波波长范围是从数纳米 ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 到数百微米 ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)。通常所说的电波是指远比光波波长长的电磁波，而 X 射线和 γ 射线是指比光波波长更短的电磁波。

在光谱范围内，如按波长进一步分类，可得到如图 1.3-2 所示的各种波长的光。但各类光谱之间没有明确的界线。作用于人眼并可以引起视觉的光，其波长是从 $380\sim 400\text{nm}$ 附近到 $760\sim 800\text{nm}$ 附近之间，这区域的光通常称之为可见光。波长不同意味着颜色的不同。可见光中波长长的光呈红色，波长短的光呈蓝色（参照图 1.3-3）。

（图见下页）