

IT 先锋系列丛书

光缆现场安装指南

FIBER OPTIC INSTALLER'S FIELD MANUAL

Bob Chomycz 著

胡先志 等 译

陈永诗 审校

**Mc
Graw
Hill** Education



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

IT 先锋系列丛书

光缆现场安装指南

Bob Chomycz 著

胡先志 等译

陈永诗 审校

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

光缆现场安装指南 / (美) 乔姆斯 (Chomycz, B.) 著; 胡先志等译.

—北京: 人民邮电出版社, 2003.8

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-11329-7

I. 光... II. ①乔... ②胡... III. 光缆—安装—指南 IV. TV818-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 045329 号

IT 先锋系列丛书

光缆现场安装指南

-
- ◆ 著 Bob Chomycz
译 胡先志 等
审 校 陈永诗
责任编辑 杨 凌
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 15.5
字数: 332 千字 2003 年 8 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2003 年 8 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记 图字: 01-2003-1670 号

ISBN 7-115-11329-7/TN · 2090

定价: 27.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

版 权 声 明

Bob Chomycz

Fiber optic installer's field manual

ISBN: 0-07-135604-5

Copyright©2000 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Posts and Telecommunications Press.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳-希尔教育（亚洲）出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2003-1670 号

内 容 提 要

本书是一本详细论述光缆现场安装规程和操作技巧的专著。书中所介绍的内容包括光纤通信原理、光纤性能、光缆结构、光缆一般安装准则、接续和终结、光缆现场安装、光缆链路测试、光纤系统配置、抢修、光纤网络设计基础、暗光纤出租等主要内容。

本书的特点是：在阐述光缆现场施工规程和操作技巧的过程中十分注意将基本原理、具体计算、实际操作等有机地结合起来。因此，本书是从事光纤通信工程设计、光缆现场安装及光纤网络运行维护等工作的专业人员必备的工作手册。

译者的话

本书是根据美国麦格劳—希尔出版公司 2000 年出版 *FIBER OPTIC INSTALLERS FIELD MANUAL* 翻译而成。

本书的翻译分工为：胡先志（前言、目录、正文 1~10 章）、胡佳妮（11~16 章、27 章、附录 A~附录 H、索引）、陈汉林（17~26 章）。陈永诗教授（博士生导师）审校（1~8 章、17~26 章）、胡先志审校（9~16 章、27 章、附录 A~附录 H、索引）。全书最后由胡先志统一修改定稿。

由于本书涉及到光纤通信工程的整个领域，其内容广泛，既有理论阐述，又有施工技术规范和操作技巧。鉴于我们的专业水平和中英文功底有限，书中难免出现一些误译和不足之处，恳请读者予以斧正。

译者

2002 年 11 月 20 日

前 言

我非常高兴地向您奉献这本《光缆现场安装指南》。本书的主要目的是向读者介绍光纤通信、光纤器件和光缆安装方法。我强调的是采用工业标准的实际安装方法。

我为本书所选择的研究内容定位既不是对高深的理论的探讨，又不是试图涉及光波通信的物理内容。现已出版了许多对光纤的理论进行讨论的优秀著作，但是在真正的现实社会中论及光纤实际问题的书则很少。因为这种媒介具有独特的性质，所以许多常用的电缆安装方法都不适用了。与光纤打交道的工作人员需要的不仅是理解基本理论，而且要掌握完成这项技术工作的实际方法。本书就是要完成这项任务。

本书主要的读者对象是：电信技术员、电气技师、光缆安装人员、测试人员、电信人员、数据通信人员、工程师、工程技术人员、商人、学生及对这个领域感兴趣的其他人员，且不管他们的知识水平如何。

Bob Chomycz

目 录

第 1 章 引言.....	1
1.1 光纤革命.....	1
1.2 基本传输.....	2
1.3 优点和缺点	3
1.4 应用.....	5
第 2 章 光的性质.....	9
2.1 电磁谱.....	9
2.2 光传导.....	10
第 3 章 光纤.....	13
3.1 光纤组成.....	13
3.2 光纤中的光传输	16
3.3 多模光纤.....	18
3.4 单模光纤.....	21
3.5 光功率损耗（衰减）	21
3.6 光纤带宽.....	24
3.7 孤子传输.....	29
3.8 光纤技术规范：一个例子	30
第 4 章 光缆.....	31
4.1 室外光缆.....	31
4.1.1 松套管光缆	31
4.1.2 8 字型光缆	32
4.1.3 铠装光缆	33
4.1.4 光纤带光缆	34
4.2 室内光缆.....	35
4.2.1 紧套光缆	35
4.2.2 分支光缆	36

4.2.3 光缆跳线（跳线）	37
4.3 其他光缆	37
4.3.1 自承式架空光缆	37
4.3.2 海底光缆	37
4.3.3 光纤复合地线（OPGW）	38
4.4 光缆燃烧等级	38
4.5 光缆组成	40
4.6 光缆耐压性能标准	41
4.7 光缆技术规范：一个例子	41
 第 5 章 光缆采购	 43
 第 6 章 安全预防措施	 45
 第 7 章 处理光缆的方法	 48
 第 8 章 室外光缆安装	 50
8.1 直埋光缆安装	50
8.2 光缆管道	52
8.3 管道润滑剂	54
8.4 牵引带	55
8.5 管道光缆安装	55
8.6 架空光缆安装	61
 第 9 章 室内光缆安装	 65
9.1 管道和光缆托架	65
9.2 牵引箱	66
9.3 垂直安装	67
9.4 建筑物内光缆路由	68
9.5 通用的光缆安装程序	69
 第 10 章 光缆总的安装指南	 70
 第 11 章 接续和终结	 71
11.1 接头盒	71
11.2 接头托盘	71

11.3	转插板.....	72
11.4	接续.....	74
11.5	光纤终结.....	78
11.6	光缆终结.....	82
第 12 章	跳线和连接器	86
12.1	跳线和尾纤	86
12.2	传统连接器	87
12.3	小型化 (SFF) 连接器.....	89
12.4	清洁连接器	90
第 13 章	光功率计、光源和回波损耗测量	92
13.1	分贝 (dB)	92
13.2	测试设备	95
13.3	跳线损耗	95
13.4	光缆损耗测量	97
13.5	WDM 损耗测量	99
13.6	光回波损耗 (ORL) 测量	101
第 14 章	光时域反射计 (OTDR) 和光谱分析仪 (OSA)	103
14.1	OTDR.....	103
14.2	测试设备	103
14.3	典型的 OTDR 测试方法	104
14.4	阅读 OTDR 事件.....	105
14.5	确定事件的实际位置	107
14.6	OSA.....	109
第 15 章	光缆安装测试	110
15.1	光缆测试	110
15.1.1	盘测	110
15.1.2	接续安装测试	111
15.1.3	验收测试	112
15.2	光纤验收标准	113
15.3	误码率测试	114
15.4	光接收机阈值测试	115

第 16 章 光波设备	116
16.1 光调制解调器/媒体转换器	116
16.2 复用器	118
16.3 光放大器	119
16.4 光中继器	121
16.5 光源	121
16.6 光探测	122
第 17 章 WDM 和其他光器件	124
17.1 关于 WDM 技术规范的考虑	130
17.2 WDM 应用	130
17.2.1 宽带 1310nm 和 1550nm 系统	130
17.2.2 单方向的 WDM 系统	132
17.2.3 双向窄带 WDM 系统	132
17.3 光耦合器	133
17.4 光开关	135
17.5 光衰减器	136
17.6 光隔离器	137
第 18 章 SONET/SDH	138
第 19 章 局域网	146
19.1 光纤以太网和因特网	146
19.2 LAN 光缆安装	147
19.3 10/100Mbit/s LAN	148
19.4 1000Mbit/s LAN	149
19.5 其他 LAN 标准的光缆长度	150
第 20 章 光纤系统应用	151
20.1 办公室环境	151
20.2 工业设备安装	153
20.3 以太网	154
20.4 光纤分布数据接口	155
第 21 章 维护	157

21.1 服务不受影响的维护	157
21.2 服务受影响的维护	158
第 22 章 抢修光缆	159
第 23 章 记录	163
第 24 章 故障排除	165
第 25 章 光纤设计基础	167
25.1 单模或多模光纤	167
25.2 单模或多模光纤的链路光功率预算	167
25.3 多模光纤链路的设计	169
25.4 单模光纤链路的设计	177
25.5 光纤网络拓扑	180
第 26 章 人员培训	184
第 27 章 暗光纤出租	187
附录 A 术语和缩略语词汇表	189
附录 B 单位	197
附录 C 光纤色码	199
附录 D 光纤记录	203
附录 E 相关的标准和参考文献	208
附录 F DWDM50GHz 信道间隔	209
附录 G 信号接地导体尺寸	210
附录 H 波分复用器 (WDM)	211
索引	220

第1章 引言

1.1 光纤革命

在过去 20 年间，一场持续的革命一直改变着世界的通信领域。间接地说，这场革命以极为清晰和可靠的方式来提高我们在远距离上进行信息量大通信的能力，从而改变我们大家的生活。这场革命的核心是用传输光脉冲的细玻璃纤维来替代已存在的铜线通信电缆。

由最早的历史记载得知，光早已用于远距离通信，虽然早期所用的光通信方法往往是落后和麻烦的。大气条件限制了通信——例如在大雾或暴雨中一般是不能进行通信的。通信也受到链路地点操作的限制。早在古希腊人和腓尼基人时期，在城堡之间利用镜子反射阳光来发送信号，而且这种方法以一些变化形式延续到现代。最终，人造光取代了太阳光。直到类似莫氏码出现，开/关信号变得更加井井有条。例如，军队仍使用这种方法的改进形式在两艘舰艇之间进行低速通信。

19 世纪后期，亚历山大·格雷厄姆·贝尔研究出了一个可以在光束上传送语音的“光电话机”装置。阳光从一个振动产生语音声波的镜子上反射后离开，接收机是一个将电流连通到讲话人的光电池。这个想法是好的，但是仍不能将这种技术付之实际使用。

在 1958 年激光器发明后，人们进一步进行了在大气中的光通信研究。激光器提供了能够用镜子进行转向的窄带光射线。利用光进行通信仍未实用的原因是需要一条透明可视链路。雾或雨仍是一个阻碍链路的问题。让光在玻璃媒介中传输的试验一直在持续地进行之中。试验结论表明，玻璃优于大气的两个理由是：玻璃的性质恒定不变和玻璃具有不受环境变化影响的能力。

1970 年，人们研制出了第一根低损耗光纤，它由直径大约为 $250\mu\text{m}$ （粗细与人的头发丝相当）的石英玻璃制成，被用在实验室环境中传播光。这就标志着纤维光学的诞生。

在这之后不久，制造细玻璃纤维的工艺逐渐完善。在 20 世纪 70 年代中期，康宁公司制造出可商用的光缆，这就引发了光纤革命。许多电话公司相继开展了短距离光纤通信系统试验。随着光纤通信技术的不断改进和通信距离的延长，更多的产品得到了实际应用。

1980 年，贝尔电话公司宣布在美国东北走廊敷设了 978km 光纤。而且，萨斯喀彻温电话公司宣布在加拿大敷设了 3 600km 光纤。在 1980 年莱克普拉西得冬奥会上，光纤首次用来传输电视信号。在随后的几年，光纤逐步地在电信领域中得到普及。今天，光纤是一种被广泛接受和验证的技术。用新的光纤光缆取代老的铜线通信链路是现在许多应用的标准做法。

过去使用对光进行开/关处理从而达到通信目的的基本原理与今天光纤通信中所用的原

理类似。被传输的信息信号通过实际的编码数列的开和关的方式来控制光源，或改变光源的强度。然后将光耦合进入到传导光的光纤中。在接收端，探测器对传输的光进行解码且再现出信息信号。

在自由空间中光以直线传输，但在某些限制下，光纤的玻璃性质允许以弯曲形式导光，并且允许光缆路由像标准的铜线电缆路由一样工作。传输的距离主要由光纤中的光损耗和开/关发送信号的速率决定。在光纤的另一端，光被耦合到一个将脉冲光信号再转换成为可用的电信号的光敏光电检测器。

现在的光纤技术能支持的传输速率为超过 90 亿个光脉冲每秒。这个传输速率可以转换为同时进行 129 000 个电话呼叫。一根标准的 200 芯光缆能够承载 12 000 000 部电话同时通话，而同样尺寸的铜线电缆只能承载 10 000 部电话同时通话。

光纤并不在乎所传输的信号是什么类型，这就使得光纤成为一种多用途的媒介。实际上光纤适用于一切类型的通信，包括电话、视频、电视、图像、计算机、局域网（LAN）、广域网（WAN）、控制系统等等。敷设一根光缆就可以用来支持各种各样的应用。

随着光波理论和技术持续发展，我们希望有更好和更丰富的服务来满足我们日常生活的需要。事实上，我们已经在我们生活的许多实际领域中从光纤的多用性受益匪浅。我们的许多电话呼叫已经使用了光纤设备。有线电视公司正在纷纷增加光纤到各自的网络，以确保我们可以享受在更大范围内选择质量更好的频道。交互电视（使用光纤）正在许多地方进行试验。光纤也被用于许多工业领域将高速计算机数据传输至整个工厂或跨越几个国家。

1.2 基本传输

纤维光学涉及到光通过由玻璃或塑料制成的透明光纤进行信息传输。光源是通过调制发光二极管（LED）或激光器开/关，或者以电信息输入信号的方式来改变光强的。调制光被耦合进入导光的光纤中。在光纤另一端，一个光检测器接收调制光并将调制光再转换为与输入信号相同的电信号。

光传输技术可以分成三大类：数字调制、模拟调制和具有模—数转换的数字调制。数字调制涉及电数字输入信号转换成类似于开/关（数字）光脉冲（参见图 1-1a）编码数列。因为所有的计算机通信都使用电数字通信，这类调制非常适合于计算机数据通信。

模拟通信信号（如话音或图像传输），按电信号幅度和周期变化。模拟调制将这种电输入信号转换成类似于改变光强的光信号（参见图 1-1b）。这个方法可能是相当便宜的，并且经常用在光纤调制解调器的应用中。

在调制之前，采用模—数转换器（A/D 转换器）也可以将模拟信号转换成数字格式，然后在光纤中传输数字光信号（参见图 1-1c）。在另一端，数字光信号被检测器检测并转换成电数字信号。然后，收端的模—数转换器再将数字信号转换回其原始的模拟形式。这种方法提供信号与其他数字信号的一致性，且允许使用复接设备将许多信号组合起来送入一根光纤

中进行传输。

图 1-1 所示的传输方法只给出了一个方向的信号传输。然而，大多数系统需要的全都是同时双向通信。因此，在反方向要安放第二套相同的调制和检测设备，来形成一个全功能双向通信系统（参见图 1-2）。

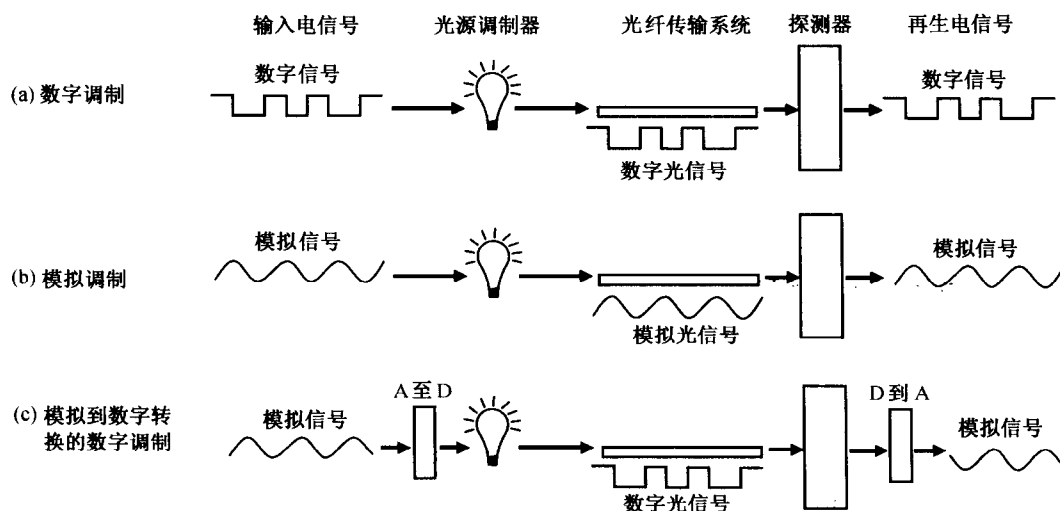


图 1-1 光纤传输基础

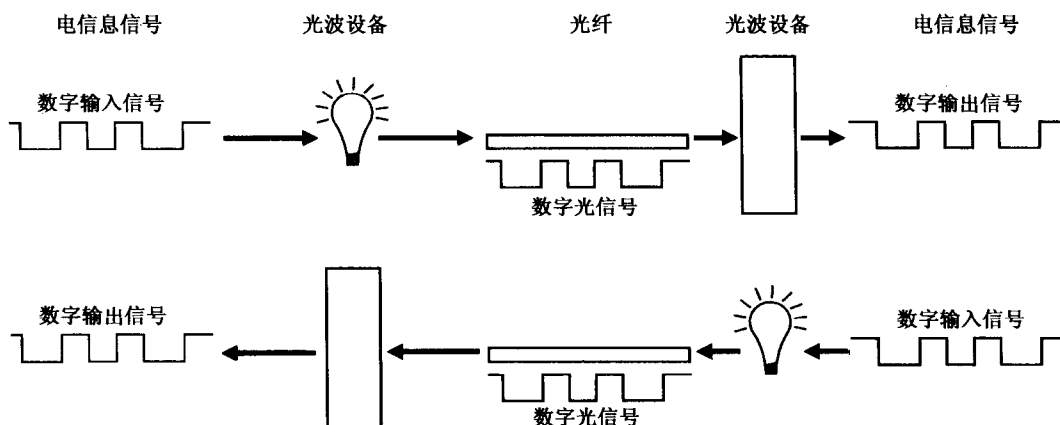


图 1-2 双向通信

1.3 优点和缺点

光纤已变成很多通信需要的一种普遍使用的媒介。这种局面归功于光纤具有许多超过传统的电传输方法的优点。然而，这种光波传输媒介也有一些缺点。在着手进行光纤敷设之前，

我们应该研究一下光纤的缺点。下面将阐述光纤的一些优缺点。

1. 优点

(1) 大容量。光纤具有传输大量信息的能力。以现在的技术水平, 只在两根光纤上就能同时承载 2 000 000 部电话通话。一根包含 200 芯的光缆将会使链路上的通话容量增加到 200 000 000 个。与传统的铜线电缆相比, 大对数电缆能传输 500 个通话, 同轴电缆能传输 10000 个通话, 微波无线电或卫星链路能传输 2000 个通话。

(2) 尺寸与重量。与类似容量的铜线电缆相比, 光缆的直径更小且重量更轻。这就使得光缆的安装更容易, 特别是在已有的电缆空间是非常珍贵的地方。

(3) 电干扰。光纤不会受到电磁干扰 (EMI) 或射频干扰 (RFI), 而且光纤不会产生任何自身干扰。在大多数恶劣的 EMI 环境中, 光纤能提供优质的通信信道。电力部门沿高压电力线使用光纤可以在他们的交换局之间建立起清晰的通信。光纤之间也没有串扰。即使一根光纤受到闪电的辐射作用, 另一根光纤也不会受到闪电的再作用。

(4) 绝缘。光纤是一种绝缘体。玻璃纤维消除了通信通道需要的电流。真正的全介质光缆是不含电导体且能为许多应用提供完全的电绝缘。该类光缆能够消除由接地环形电流引起的干扰或者由如闪电或电气故障引起电流放电至通信链路的潜在的恶劣条件的影响。光纤是真正的安全媒介, 常常用于电绝缘要求较高的场所。

(5) 保密。光纤提供高度的保密性。利用传统的电方法, 如表面传导或电磁感应不能对光纤进行窃听, 且光的窃听是非常困难的。光线在光纤中心传输, 只有很少或没有光线的泄漏。即使窃听成功, 也可以通过监测终端接收的光功率被发现。无线或卫星通信信号通过解码则容易获得。

(6) 可靠性与维护。光纤是一恒定的媒介且不易褪变。合理地设计的光纤链路都不会受到温度和湿度条件的影响, 甚至能够用作海底光缆。光纤也具有长期使用寿命, 有些光缆的使用寿命估计超过 30 年。光缆需要的维护工作量很小。缆中没有会产生腐蚀的铜, 不会引起中断或信号丢失, 而且光缆不受短路电流、电源波动或静电的影响。

(7) 通用性。光纤通信系统适合于大多数数据、话音和视频通信形式。系统适用于 RS232、RS42、V.35、以太网、Arcnet、FDDI、T1、T2、T3、Sonet (同步光纤网)、2/4 线话音、电磁信号、全电视和更多形式的通信。

(8) 扩容。合理设计的光纤系统扩容方便。为低速率设计的系统, 例如 T1(1.544Mbit/s) 通过变换电子器件可以升级到更高数据速率系统 OC-12(622Mbit/s), 光缆装置本身仍可以保持不变。

(9) 信号再生。现在的技术水平能够确保光纤通信距离长达 70km(43 英里)而不需要进行信号再生。通过使用激光放大器, 光纤通信距离可以延长到 150km(93 英里)。将来的技术可以将信号再生距离延长到 200km(124 英里), 而且有可能达到 1000km(621 英里)。这主要是为了节省中继器设备投资和维护费用。传统的电缆系统则相反, 每隔几公里距离就需要添加中继器。

2. 缺点

(1) 电—光转换。在连接电信号到光纤之前,电信号应被转换成光波谱[850、1310 或 1550 纳米(nm)]。这种转换是在发射端通过电子器件来完成的,它合适地格式化通信电信号,并用 LED 或固体激光器将电信号转换成光信号。然后这个光信号通过光纤进行传输。在光纤的接收端,光信号必须被转换成有用的电信号。在所用的应用中,应该考虑电—光信号转换和光—电信号转换所需要附加的电子器件的费用。

(2) 通行权。光缆敷设需要实际的通行权。光缆可以直埋、敷入管道中或沿着公用道路架空悬挂,这可能需要购买或租用所有权。有些通行权是不可能获得的。对于一些地方,如山区或一些城市环境,采用其他无线通信方法可能更为合适。

(3) 特殊安装,因为光纤主要是由石英玻璃组成的,所以光缆工程和安装需要采用特殊的方法。传统铜线电缆安装方法,如压接、线缠绕或焊接已不适用。测试和验收光纤也需要用专用的光纤设备。光缆安装技术人员应该经过光缆安装和验收方面的培训。

(4) 修复。修复出现故障的光缆并不像修复许多铜线电缆那么容易,需要由训练有素的技术人员借助专用设备来完成修复过程。在有些情况下,需要替换整根光缆。如果在该光缆设备上拥有大量的用户,这个问题将变得更为复杂了。因此,采用具有物理上不同路由的合适系统设计来处理这样的偶然事故是重要的。

虽然人们选用光缆鉴于它有许多优点,但是对每一应用的缺点应该仔细权衡。人们应该分析光纤设备的构成和工作的所有成本。

1.4 应 用

当前,光缆正在许多不同的应用场所被用作通信媒介。例如,许多电话公司正在使用光纤来提供中心局(CO)之间以及遍及城市、跨越国家和横跨长的大洋路由的通信(参见图 1-3)。当今的计划是实现光纤到家庭,进行高质量可视电话的传输。光纤为语音、数据和视频业务提供了可靠的大容量链路。

有线电视公司正在用光缆将它们的高质量信号从主端中心传送到城市周围的集线器的地方(参见图 1-4)。光纤改善了电视信号质量并增加了可用频道数。未来的计划会包含光纤直接到家庭,为用户提供更多的新业务,如交互电视、家庭银行业务或未来家庭办公系统这些新业务正在计划中。

对数据通信来说光纤是理想的。在细直径光缆上可以得到极高的数据速率。信号不会受到办公室的干扰而失真,而且信号本身也不会引起任何干扰。光纤的绝缘性能在计算机、终端和工作站之间提供了一个安全接口,有害的接地环路电流将不再危及用户或损坏昂贵的计算设备。

许多计算机中心正在使用光纤在自己的 LAN 中提供高速数据通信(参见图 1-5)。很多产品适合于各种不同的用途。高速数据信息通路,如光纤分布数据接口(FDDI)、异步转移模式(ATM)、吉比特以太网和 SONET 都可用于提供骨干网与各种网络的连接。这些新技术