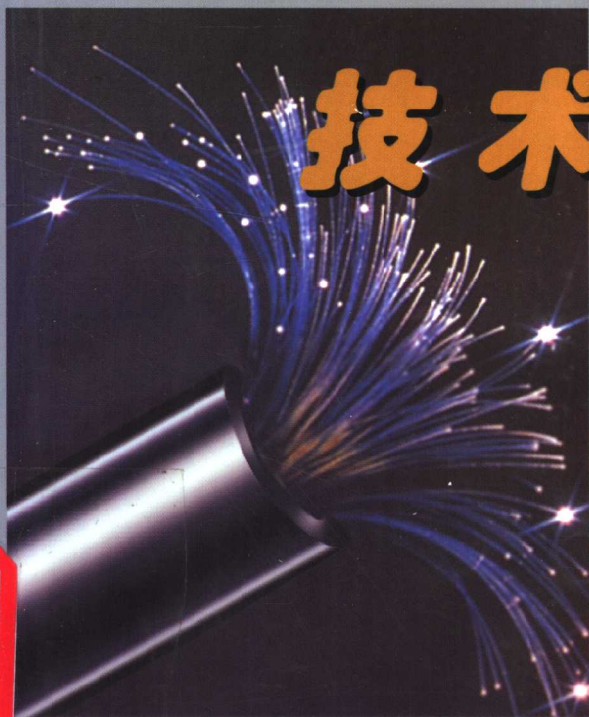


GUANGLAN JIQI SHIGONG YU WEIHU
JISHU WENDA

滕方奇 编

光缆及其 施工与维护

技术问答



中国铁道出版社

光缆及其施工与维护技术问答

滕方奇 编

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 2 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书将较广泛搜集到的有关光纤通信中光纤传输部分的论述、标准、规范、成功的经验以及存在的问题等,以分类问答的形式编撰成册,奉献给读者。内容包括:光纤和光缆的结构、特性及命名方法,光缆线路设计、施工、维护的内容及方法,光纤特性测试及其中出现问题的剖析,OTDR 的测试原理、精度、误差及仪表的正确使用,光波分复用(WDM)系统中光缆线路的有关技术问题等。

本书可供从事光缆线路施工与维护的技术工人、工程技术人员和管理人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

光缆及其施工与维护技术问答/滕方奇编. —北京:

中国铁道出版社, 2002. 1

ISBN 7-113-04530-8

I. 光… II. 滕… III. 光缆通信-通信线路-通信工程-问答 IV. TN913.33-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003141 号

书 名: 光缆及其施工与维护技术问答

作 者: 滕方奇

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 安颖芬 路电(021)73147

责任编辑: 安颖芬 编辑部电话: 市电(010)51873147

封面设计: 李艳阳

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

开 本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 7.375 字数: 185 千

版 本: 2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 7-113-04530-8/TN·142

定 价: 15.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话: 路电(021)73169, 市电(010)63545969

前 言

光纤通信技术正以超过人们想象的速度发展,在过去的10年来,光纤中光的传输速度提高了约100倍,在未来的10年也将提高100倍左右。随着光纤通信的发展,其在通信网中的地位也将越来越重要。

光缆线路的建设质量与维护质量是确保光通信网的良好和长期稳定运用的关键。目前随着光纤通信的发展,施工队伍在一个工程一个工程的施工中得到锻炼,施工技术、经验都日趋完善。而维护队伍随着光纤通信的发展也加速扩大,新人不断增加,新技术不断投入运用,维护方式也在不断更新,这一切都说明维护工作需要加强,维护人员需要不断培训。

针对光缆线路维护现场边学习、边工作的学习环境和几个小时几个小时的零碎学习时间叠加累计等特点,作者以分类问答代替章节的形式编写了这本《光缆及其施工与维护技术问答》。书中每个问题的解答是独立、完整的,学习时一般不需要翻前翻后地去寻找引用资料。另一方面,各个问题之间是紧密相关的,从整体上看将有关问题串起来就是全面介绍通信光缆线路的书籍。这就是说,本书中各个问题既有相互独立性又有彼此衔接的系统性,这对提高维护人员技术水平是有益的。

本书内容包括:光纤的结构、分类及命名方法,光纤的导光原理及光纤的传输特性;光缆的结构及命名方法,光缆的特性;光缆线路的设计与施工;光缆线路的测试及日常测试中出现问题剖析;光缆线路的维护监测,光缆线路的特性维护、护套维护、故障抢修及维护管理;有关光波分复用(WDM)系统中光缆线路设备技术问题等。

本书将为从事光缆线路维护工作的技术工人、工程技术人员和管理人员提供一本实用的手册。

由于作者水平有限,本书难免存在不足甚至是错误之处,恳请专家及同行批评指正。

作 者

2001 年 12 月

目 录

一、概 述	1
1. 光纤通信的发展经历了哪些过程?	1
2. 光纤通信有什么特点?	1
二、光 纤	3
(一) 光纤的结构、分类及命名方法	3
3. 光纤的结构如何?	3
4. 光纤是如何分类的?	4
5. 光纤按折射率分布不同如何分类?	5
6. 光纤按传输模式如何分类?	5
7. 光纤按构造材料、制造方法、工作波长如何分类?	6
8. 光纤是如何命名的?	6
(二) 光纤的导光原理	7
9. 什么是斯涅尔定律?	7
10. 什么是菲涅尔公式	8
11. 什么叫光波的全反射?	9
12. 什么叫相对折射率差 Δ ?	11
13. 什么叫弱导光纤?	11
14. 什么叫光纤的传输模式?	11
15. 渐变型光纤是如何导光的?	13
16. 单模光纤的单模传输条件是什么?	13
17. 阶跃型光纤中光射线有几种?	14
18. 渐变型光纤中什么样的折射率分布叫最佳分布?	15
19. 什么叫单模光纤的双折射现象?	16
20. 什么叫最大时延差 $\Delta_{\max}$?	17
21. 什么叫光纤的色散?	18

(三)光纤的传输特性	19
22. 光纤的传输特性有哪些?	19
23. 光纤的衰减有哪些? 是何原因造成的?	20
24. 什么是紫外吸收衰减?	20
25. 什么是红外吸收衰减?	21
26. 什么是过渡金属元素吸收衰减?	22
27. 什么是氢氧根(OH^-)吸收衰减?	22
28. 什么是瑞利散射衰减?	23
29. 什么是布里渊散射和拉曼散射衰减?	24
30. 什么是结构不完善散射衰减?	25
31. 光纤为什么会产生微弯衰减?	25
32. 什么是光纤的数值孔径?	25
33. 什么是渐变型光纤的本地数值孔径?	27
34. 什么叫模式色散?	28
35. 什么叫材料色散?	29
36. 什么叫波导色散?	30
37. 色散位移光纤与色散平坦型光纤的色散 波长关系是怎样的?	31
38. 单模光纤中的偏振模色散是怎样产生的?	31
39. 什么叫光纤带宽?	32
40. 模式色散、材料色散限制光纤带宽表达式 是怎样的?	33
41. 光纤带宽与长度有什么关系?	34
42. 什么叫单模光纤的截止波长?	35
43. 什么叫单模光纤的模场直径?	36
44. 光纤的折射率分布是怎样的?	36
45. 什么叫光纤的衰减及衰减系数?	37
46. 光纤的几何特性有哪些?	38
47. 光纤的机械特性是怎样的?	39
48. 光纤的温度特性是怎样的?	40

49. 光纤的抗张强度与寿命有何关系?	43
50. 当前单模光纤有哪几种?	44
51. G.652 常规单模光纤有哪些特点?	44
52. G.652 光纤是如何分类的?	45
53. G.653 零色散位移光纤(DSF)有哪些特点?	46
54. G.654 截止波长位移光纤有哪些特点?	48
55. G.655 非零色散位移光纤有哪些特点? 是如何 分类的?	48
56. 大有效面积非零色散位移光纤(LEAF)有哪些特点?	50
57. 什么叫色散补偿光纤(DCF)?	51
58. 色散平坦型光纤(DFP)有哪些特点?	53
59. G.652、G.653、G.655、LEAF 光纤特性是怎样的?	54
60. 光纤为什么要涂碳? 涂碳密封光纤(CCF)应用 在哪些场合?	56
61. 下一代光网络需要什么样的新型光纤?	57
三、光 缆	58
(一) 光缆结构及命名方法	58
62. 光缆种类如何划分? 有哪几种?	58
63. 光缆的基本设计原则是什么?	59
64. 对光缆的强度元件(加强芯等)有哪些要求?	60
65. 对光缆的制造工艺有哪些基本要求?	62
66. 对光缆中使用的油膏有哪些要求?	62
67. 光缆外护套有哪几种?	63
68. 什么是紧结构光缆?	64
69. 什么是松结构光缆?	65
70. 什么样的结构叫带状光缆单元结构?	66
71. 单芯软光缆的结构是怎样的? 有什么特点?	67
72. V 型螺旋槽骨架型光缆的结构是怎样的? 有什么特点?	67
73. 地下敷设用光缆的结构是怎样的? 有什么特点?	67

74. 无金属光缆的结构是怎样的？有什么特点？	68
75. 带状结构光缆主要有哪几种？有什么特点？	69
76. 不填油膏的堵水光缆有什么特点？	71
77. 哪些光缆最适宜在接入网中使用？	71
78. 新型松管材料光缆有什么特点？	72
79. 小型自承式架空光缆的结构是怎样的？有什么特点？	72
80. 光/电混合缆有什么特点？	73
81. 水底光缆有什么特点？	73
82. 室内光缆的结构是怎样的？有什么特点？	74
83. 气送光缆有什么特点？	76
84. 防弹光缆的结构是怎样的？	77
85. 海底光缆的结构是怎样的？有什么特点？	77
86. 什么样的光缆可以在高压输电线上使用？	78
87. 铁路通信中使用的综合光缆的结构是怎样的？	79
88. 光缆的型号是怎样命名的？规格参数是如何规定的？	79

(二) 光缆的特性

89. 光缆的温度特性是怎样的？	82
90. 光缆的机械特性是怎样的？	84
91. 光缆应进行哪些例行试验？	85
92. 松结构光缆中光纤应变与光缆应变有什么样的关系？	89

四、光缆线路的设计与施工

(一) 光缆线路设计

93. 光缆线路再生中继段长度是如何设计的？	91
94. 如何选择光缆线路路径？	91
95. 光缆线路受强电线路影响时应如何保护？	92
96. 光缆线路防雷应采取哪些措施？	93
97. 光缆应如何防蚀？	94

(二)光缆线路施工	94
98. 光缆线路的敷设施工有哪些规定?	94
99. 怎样敷设地区直埋光缆线路?	97
100. 怎样敷设架空光缆?	98
101. 怎样敷设水底光缆?	98
102. 光缆的引入和分歧怎样施工?	99
103. 通信光缆线路施工的一般规定中包括哪些内容?	100
104. 如何做好光缆及其附件的运输和检查?	100
105. 光缆工程敷设有何规定?	101
106. 光缆线路工程中光缆接续有何规定?	103
107. 怎样识别光缆的端别与纤序?	104
108. 光缆线路工程施工怎样配盘?	105
109. 如何选择光缆接头盒?	107
110. 光纤的熔接损耗与哪些因素有关?	108
111. 光纤连接匹配与否是指哪些方面?	110
112. 接头盒中光纤余留长度有哪些收容方式?	111
113. 光缆在施工中为什么不能严重受力?	112
114. 光缆施工接续时怎样测试接头损耗?	113
115. 通信光缆线路工程验收都有哪些具体内容?	114
五、光缆线路测试	117
(一)OTDR 测试原理、测试精度及有关问题	117
116. 用 OTDR 测试光纤的长度衰减特性是基于什么原理?	117
117. 用 OTDR 测试光纤长度产生的偏差与哪些因素有关?	118
118. 用 OTDR 测试光纤接头损耗,测试精度与什么有关?	119
119. 用 OTDR 测试,其两点分辨力为什么与测试脉冲宽度有关?	120
120. 用 OTDR 测试中继段光纤衰减特性,为什么必须	

测试较长的时间衰减曲线才能显示清楚?	121
121. OTDR 的动态范围与维修测试有什么关系?	122
122. OTDR 说明书中标定的测试距离是什么含义?	123
(二)光中继段光纤衰减测试及测试中经常出现的问题	124
123. 光中继段的光纤衰减特性由哪几部分组成?	124
124. 用 OTDR 测试光纤故障时,大多数出现大反射峰, 但有时出现大衰减点,这是为什么?	125
125. 光纤的熔接损耗会不会出现负值?	126
126. 用 OTDR 测试光纤接头损耗,为什么必须用两个方向 测试值的代数平均值来计算?	127
127. 用 OTDR 测试光纤接头,为什么测试值有时会出现 负值? 会不会两个方向测试结果都是负值? 出现 负值是不是施工质量问题?	129
128. 光纤接头损耗有哪些测试方法?	131
129. 在光纤接头损耗测试方法中,哪种方法叫“4P” 测量法?	132
130. 光纤衰减的测量法有哪几种?	134
131. 怎样分析用 OTDR 测量的光中继段衰减分布曲线? ...	136
132. 用 OTDR 测试光纤衰减特性曲线,有时会出现“鬼影”, 是什么原因?	137
133. 怎样测试 S 点的回波损耗和 S、R 点间最大离散反射 系数?	140
134. 光缆故障测试有哪几种方法?	140
六、光缆线路维护	142
(一)概述	142
135. 光缆线路维护的目的和内容是什么?	142
136. 光缆线路可以采用哪几种维护方式?	143
137. 光缆线路的可维护参数有哪些?	143
(二)光缆线路监测系统	144
138. 对光缆线路自动监测系统的组成有哪些技术规定? ...	144

139. 光缆线路自动监测系统有哪些功能?	145
140. 监测站是如何组成的? 其功能有哪些?	149
141. 监测中心是如何组成的? 有哪些功能?	150
142. 监测终端是如何组成的? 有哪些功能?	153
143. 对自动监测系统有哪些技术要求?	153
144. 当前在光缆线路中运用的全自动监测系统的组成 与功能是怎样的?	154
145. 当前在光缆线路中运用的半自动监测系统的组成 与功能是怎样的?	156
(三) 光缆线路的特性维护	158
146. 怎样进行光缆线路的定期测试?	158
147. 怎样分析光中继段的衰减特性曲线?	159
148. 怎样进行光缆线路特性维护?	161
(四) 光缆线路的护套维护	164
149. 光缆线路的护套维护包括哪些内容?	164
150. 光缆线路有哪几种防雷方法?	166
151. 光缆线路为什么要间隔一段时间之后就进行一次 径路探测及塑料护层故障探测?	167
152. 为什么光缆线路维护中接头盒是重点?	168
(五) 光缆线路的故障抢修	169
153. 光缆线路出故障时应如何抢修?	169
(六) 光缆线路的维护管理	172
154. 怎样做好光缆线路的维护管理工作?	172
七、WDM 系统中的光缆线路	175
(一) WDM 系统组成	175
155. WDM 系统的基本结构和工作原理是怎样的?	175
156. WDM 系统有哪几种基本形式?	176
157. 有线路光放大器的 WDM 系统是怎样的?	178
158. 无线路光放大器的 WDM 系统是怎样的?	180
159. 光纤色散效应对传输有什么影响?	181

160. 光纤非线性效应对传输有什么影响?	181
161. 什么叫色散管理技术?	183
162. 光通道有哪些参数?	185
163. 对 EDFA 的特性有哪些要求?	188
(二) 光纤放大器	189
164. 掺铒光纤放大器(EDFA)的组成和工作原理是 怎样的?	189
165. 光纤放大器为什么具有放大功能?	192
166. 用于 WDM 系统中的 EDFA 应有哪些特性?	193
167. EDFA 有哪几种基本应用形式?	196
168. 使用 EDFA 有哪些安全措施?	197
八、光缆线路及监测系统中应用的光器件	202
169. 单模光纤活接头有哪些主要技术性能? 其结构 是怎样的?	202
170. 光定向耦合器的结构和工作原理是怎样的?	203
171. 光衰减器的工作原理和基本结构是怎样的?	205
172. 光隔离器的基本原理和结构是怎样的? 主要 参数是什么?	206
173. 什么叫波长可调谐滤光器?	208
174. 什么叫 F-P 腔型滤光器?	208
175. 什么叫光纤 F-P 腔型可调谐滤光器?	209
176. 什么叫 F-P 标准具型可调谐滤光器?	210
177. 什么叫光纤环行腔式滤光器?	211
178. 什么叫声光可调谐滤光器?	211
179. 光波分复用器是如何分类的? 其主要 技术性能有哪些?	212
180. 什么是棱镜型光波分复用器/解复用器?	214
181. 什么是光栅型光波分复用器?	214
182. 什么是介质膜滤光片型光波分复用器?	215
183. 什么是熔融光纤型光波分复用器?	215

184.什么是平面光波导型光波分复用器?	216
185.光开关的作用是什么? 其主要性能有哪些?	217
186.什么是方向耦合式电子光开关器件?	218
187.什么是半导体光放大器式光开关器件?	219
188.什么是空间光调制器电子式光开关器件?	220
参考文献	220

一、概 述

1. 光纤通信的发展经历了哪些过程？

利用光导纤维作为光的传输媒介的光纤通信,其发展只有二三十年的历史,它的发展是以 1960 年美国人 Maiman 发明的红宝石激光器和 1966 年英籍华人高锟(C. K. Kao)博士提出利用 SiO_2 石英玻璃可制成低衰减光纤的设想为基础的,这种设想到 1970 年美国康宁公司研制出衰减为 20 dB/km 的光纤,才使光纤进行远距离传输成为可能。自此以后,光纤通信的研究在世界范围内展开并得到迅猛发展。

光纤通信的发展可分为以下几代进程:

第一代光纤通信系统,是以 1973 ~ 1976 年的 850 nm 多模光纤通信系统为代表,传输速率为几十兆比特每秒,中继距离约 10 km 左右;第二代光纤通信系统,是 70 年代末、80 年代初的多模和单模光纤通信系统,工作波长为 1 310 nm,传输速率是 140 Mbit/s,中继距离约 20 ~ 50 km;第三代光纤通信系统是 80 年代中期以后的长波长单模光纤通信系统,其工作波长为 1 310 nm,传输距离约 50 km;第四代光纤通信系统,是指进入 90 年代以后的同步数字体系(SDH)光纤传输网络,传输速率可达 2.5 Gbit/s,中继距离为 80 km 左右,在此传输网络中,开始采用光纤放大器(EDFA)以及光波分复用技术,传输媒介也由 G.652 光纤发展到 G.655 非零色散位移光纤以及大有效面积光纤。随着信息时代对通信的要求,在光纤通信领域中,一些更先进的光纤通信系统,如相干光通信系统、光孤立子通信系统将逐步走向实用。

2. 光纤通信有什么特点？

光纤通信之所以能够飞速发展,是由于它具有以下的突出优点而决定的。

(1)传输频带宽,通信容量大。

由信息理论可知,载波频率越高通信容量越大,目前使用的光波频率比微波频率高 $10^4 \sim 10^5$ 倍,所以通信容量约可增加 $10^4 \sim 10^5$ 倍。

(2)衰减低。

目前使用的光纤均为 SiO_2 (石英)系光纤,要减小光纤衰减,主要是靠提高玻璃纤维纯度来达到,由于目前制成的 SiO_2 玻璃媒质的纯净度极高,所以光纤的衰减极低,在光波长 $\lambda = 1550 \text{ nm}$ 附近,衰减有最低点,可低至 0.2 dB/km ,已接近理论极限值。

由于光纤的衰减低,因此中继距离可以很长,在通信线路中可以减少中继站的数量,降低成本且提高通信质量。

(3)不受电磁干扰。

因为光纤是非金属的媒介材料,因此它不受电磁干扰。

(4)线径细,重量较轻。

由于光纤的直径很小,只有 0.1 mm 左右,因此制成光缆后,直径要比电缆细,而且重量也轻,这样在长途干线或市内干线上,空间利用率很高,而且便于制造多芯光缆。

(5)资源丰富。

光纤通信除上述主要优点之外,还有抗化学腐蚀等优点。

光纤本身也有缺点,如光纤质地脆、机械强度低;要求比较好的切断、连接技术;分路、耦合比较麻烦等。

二、光 纤

(一) 光纤的结构、分类及命名方法

3. 光纤的结构如何？

光纤的基本结构为纤芯与包层两个同心圆柱体, 未经涂覆和套塑时称为裸光纤, 其示意图如图 2-1 所示。折射率高的中心部分叫做纤芯, 其折射率为 n_1 , 直径为 $2a$; 折射率低的外围部分称为包层, 其折射率为 n_2 , 直径为 $2b$ 。

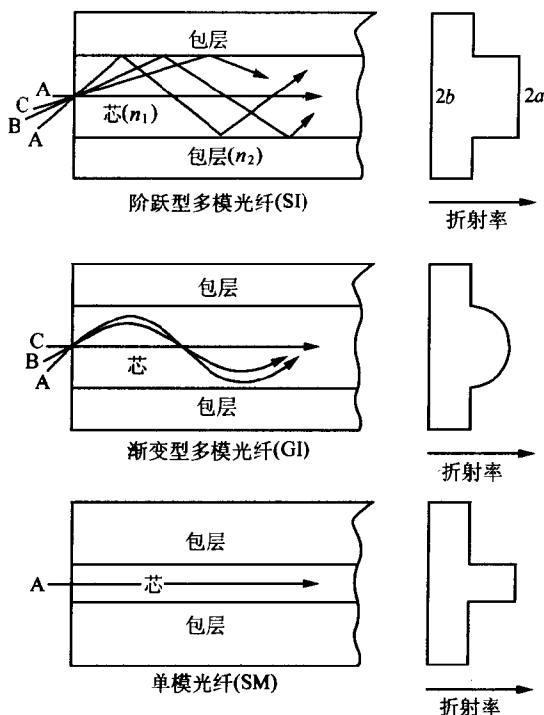


图 2-1 光纤基本结构示意图