

培养 **21** 世纪通信工程师系列教材

光同步传送网和 波分复用系统 SDH & WDM

邓忠礼 编著

0.11



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>



培养 21 世纪通信工程师系列教材

光同步传送网和波分复用系统

邓忠礼 编著

清华大学出版社

北方交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书第1~10章介绍同步数字体系(SDH),内容包括:SDH的概念,信号结构、复用和映射,光接口和电接口,传输损伤(误码、抖动和漂移),设备和网络应用,SDH网管系统,以及新一代SDH产品介绍。第11~16章介绍波分复用(WDM)系统,内容包括:WDM的概念,光纤、光缆,主要部件和技术,WDM系统技术要求,WDM网管系统,以及未来光网络简介。

本书以技术标准内容作主线,将基础理论和工程应用实际结合起来讲解,概念清楚,逻辑性强,既保持了技术标准的“原味”,又通俗易懂,每章还有思考题供读者参考。

书中有关SDH和WDM技术规范均采用国际电信联盟标准组(ITU-T)建议的最新版本,解释了若干重要建议的最新版本与原来版本的不同,由于目前国内不少标准仍然是等效采用的原来版本,尚待修订,所以这一部分内容有很强的实用性。

本书适合于大学通信专业的在校学生学习,也适合于在职的光通信专业工程技术人员和维护人员阅读。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

光同步传送网和波分复用系统 / 邓忠礼编著. —北京:北方交通大学出版社,2003.10

(培养21世纪通信工程师系列教材)

ISBN 7-81082-157-1

I. 光… II. 邓… III. ①光纤通信—同步通信网—工程师—技术培训—教材 ②光导纤维通信系统—工程师—技术培训—教材 IV. TN929.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第056220号

责任编辑:韩 乐

印刷者:北京东光印刷厂

出版发行:北方交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686045, 62237564

清华大学出版社 邮编:100084

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:33.5 字数:836千字

版 次:2003年10月第1版 2003年10月第1次印刷

印 数:5000册 定价:45.00元

前 言

谨将本书献给我曾工作了三十年的单位——原信息产业部电信传输研究所。

原信息产业部电信传输研究所成立于 1972 年,今年 3 月正式改名为信息产业部电信研究院通信标准研究所。该所是一个专门从事电信标准和体制研究的科研单位,研究和制定通信标准的主要目的是保证不同通信网络、不同通信产品互连互通。虽然大多数的通信标准都是推荐性的,但几乎所有人都会认真执行,通信标准也就成了通信业界事实上的技术法规。

长期以来都是先有一定实践之后,在总结经验的基础上再制定标准,由于不同实践者的利益冲突,不得不将既成事实的不同技术规范并列为标准,因而造成互连互通的困难。同步传送体系(SDH)标准化工作是一个突破,它在通信发展历史上,第一次用哲学家式的想像力先构思一种同步的光网络,并制定出世界统一的标准,尔后,在符合标准的前提下,允许用不同的方法实现这种同步的光网络。事实证明,这种标准先行的办法是成功的。读者从上述背景会理解到,SDH 的讲述不可避免地要围绕标准展开,并涉及较多的抽象概念和技术指标。多数掌握了 SDH 的人都有一个共识,入门要从读懂标准开始。但相对而言波分复用(WDM)会容易一些,因为本书仅涉及系统,只有很少光传送网的内容。我希望学完本书的人能比较容易读懂有关标准。

我在本书完稿付梓之后,即将退休,抚今追昔,不由得深深怀念我的老师,如:陆懋和、吴世富(小学老师),帅仲康、沈雪兆(中学老师),谢源清、葛明浩(大学老师),蒋荣福、姚景兰(工作期间导师)。他们的教诲使我终生受益。我有幸为培养 21 世纪通信工程师编写一本书,可说是对恩师们最好的回报。

本书编写过程中得到我的亲友和同事的大力支持,爱妻王芸高工为整理书稿和输录做了大量工作,学长高启祥高工将他的译著和译稿提供给我参考,所内外同仁应我的请求提供了一些很好的实例,特别是 UT 斯达康(中国)有限公司提供了新一代 SDH 产品的详细资料,在此谨致以衷心的感谢。

邓忠礼

于信息产业部电信研究院

通信标准研究所

2003 年 10 月

作者介绍

邓忠礼 男,汉族,出生于1940年2月26日,四川省资阳县人。先后就读于成都实验小学、重庆巴蜀中学、成都石室中学和树德实验中学。毕业于北京邮电学院无线电系电子电路专业。教授级高级工程师。曾任信息产业部电信传输研究所副总工程师、硕士研究生导师,兼任中国电子学会电子测量与仪器学会光纤与光纤通信测试分会第二届委员会委员,北方交通大学电子信息工程学院兼职教授。享受国务院颁发政府特殊津贴。

主要业绩:20世纪70年代参加中国第一条中同轴电缆载波Z-1800路工程,从事串杂音叠加规律的研究,成果有《低频谐波的叠加原理及其应用》。80年代从事数字通信研究,发表的成果论文有《基群再生中继器耐干扰能力诸度量参数间的关系》(《电信科学》1987.2)、《64kbit/s和高比特率误码性能的等效转换关系》(《电信科学》1988.5)和《数字传输误码的分布、叠加和指标分配》(《电信科学》1988.7、8)等。获邮电部科技进步三等奖成果有“电信网中脉冲编码调制音频通路总失真测试方法”、“对称电缆基准再生中继器测试方法”、“数字链路和数字段维护运行规范基础问题的研究”。90年代从事数字传输、光通信体制和标准研究。参加或主持获邮电部科技进步一等奖成果有“光同步传输网技术体制”;获邮电部科技进步二等奖成果有“数字微波传输特性测试方式的研究”、“长途传输装备基本进网要求”、“大、中城市设置多个自动长途局的相关技术体制”、“我国干线网DXC的配置规划建议”、“长途传送网现状、网络结构和生存性研究”;获邮电部科技进步三等奖成果有国家标准“同步数字体系(SDH)光缆线路系统测试方法”。发表的论文有《现代数字电信网的同步问题》(《网络电信》2000.5、6)。专著有《数字传输系统测试》(第一作者,获邮电部科技进步三等奖)、《光缆通信系统的指标与测试》(第二作者)、《光同步数字传输系统测试》(第一作者)。1992年获“有突出贡献的专家”称号。

目 录

第 1 章 什么是 SDH	1
1.1 SDH 发展历史	1
1.2 术语与概念	2
1.2.1 术语	2
1.2.2 电信和信道	4
1.2.3 交换、数字交叉连接	5
1.2.4 SDH	5
1.3 PDH 的局限性	6
1.3.1 PDH 有三种并存的地区性标准,没有统一的世界性标准	6
1.3.2 PDH 缺乏组网的灵活性	7
1.3.3 PDH 只有标准电接口系列,没有标准的光接口	8
1.4 SDH 的特点	9
1.4.1 SDH 是世界性的统一标准	9
1.4.2 SDH 具有很强的组网能力	10
1.4.3 开放的标准化光接口	11
1.5 有关 SDH 的国际建议和国内标准	11
1.5.1 有关 SDH 的国际建议	12
1.5.2 国内 SDH 标准	13
1.6 电信网的结构	15
1.6.1 引言	15
1.6.2 网络的拓扑结构	15
1.6.3 网络的逻辑功能结构	16
1.6.4 物理实体网的分层结构	18
1.6.5 目前我国的公用电信网	20
1.6.6 SDH 传送网分层模型	21
思考题	22
第 2 章 SDH 的信号结构	23
2.1 网络节点接口	23
2.1.1 网络节点接口的位置	23
2.1.2 同步传送模块和数字速率等级	23
2.2 STM-N 帧结构	24
2.3 SDH 的开销	25
2.4 STM-1 的段开销	26
2.4.1 再生段开销字节描述	26
2.4.2 STM-1 的复用段开销字节描述	28

2.4.3 什么是远端	29
2.5 STM- N ($N=4,16,64$ 和 256) 的段开销	30
2.5.1 STM-4,STM-16,STM-64 和 STM-256 帧和段开销字节描述	30
2.5.2 开销字节在 STM- N 帧中的位置	32
2.6 高阶通道开销	34
2.6.1 高阶通道开销的位置	34
2.6.2 高阶通道开销字节描述	34
2.7 低阶通道开销	37
2.7.1 低阶通道开销的位置	37
2.7.2 低阶通道开销字节描述	38
2.8 比特间插奇偶(BIP)校验原理	40
2.9 简化功能的段开销接口	40
2.10 开销小结	41
思考题	43
第3章 复用和映射	45
3.1 复用结构	45
3.1.1 2000 年以前的复用结构	45
3.1.2 我国采用的复用结构	46
3.1.3 2000 年提出的新复用结构	46
3.2 复用单元	46
3.2.1 容器	46
3.2.2 虚容器	48
3.2.3 支路单元和支路单元组	49
3.2.4 管理单元和管理单元组	49
3.3 映射	50
3.4 2 048 kbit/s 到 STM-1 的映射和复用	50
3.5 34 368 和 44 736 kbit/s 到 STM-1 的映射和复用	58
3.6 139 264 kbit/s 到 STM-1 的映射和复用	61
3.7 N 个 AUG 到 STM- N 的复用	61
3.7.1 G.707 建议(1996) N 个 AUG 复用进 STM- N	62
3.7.2 G.707 建议(2000)AUG- n 复用 AUG- $4n$	62
3.7.3 VC-4- X_c 经由 AU-4- X_c 复用进 AUG- n	63
3.8 VC 级联	64
3.8.1 VC-4 的相邻级联	64
3.8.2 VC-4 的虚级联	65
3.8.3 VC-4 相邻级联与虚级联的互通	67
3.8.4 VC-3、VC-2 和 VC-12 相邻级联和虚级联	69
3.9 指针	70
3.9.1 指针的作用	70

3.9.2 指针调整原理	71
3.9.3 AU-4 指针正调整	72
3.9.4 AU-4 指针负调整	72
3.9.5 AU-4 指针的安排	74
3.9.6 指针的产生及解释规则	75
3.9.7 TU-3 和 TU-12 指针	76
思考题	77
第 4 章 光接口和电接口	78
4.1 光接口的分类	78
4.2 第 I 类光接口参数	80
4.2.1 一般参数	80
4.2.2 发送机的参数	82
4.2.3 接收机的参数	84
4.2.4 光通道参数	86
4.3 第 I 类光接口参数规范	86
4.4 第 II 类光接口参数	89
4.4.1 一般参数	89
4.4.2 发送机的参数	90
4.4.3 光通道参数	91
4.4.4 接收机的参数	92
4.5 第 II 类光接口参数规范	93
4.6 光接口参数的应用	98
4.6.1 光传输设计方法	98
4.6.2 最坏值设计法在第 I 类光缆线路系统设计中的应用	99
4.6.3 有光放大器的 SDH 系统光信噪比(OSNR)计算	103
4.7 电接口	105
4.7.1 一般特性	105
4.7.2 输出口规范	105
4.7.3 输入口规范	106
4.7.4 交叉连接点规范	108
4.7.5 外导体或屏蔽的接地	109
思考题	109
第 5 章 误码	110
5.1 误码的基本概念	110
5.1.1 什么是误码	110
5.1.2 常用术语	111
5.1.3 各类误码指标	112
5.2 电路的误码性能规范	113
5.2.1 背景	113

5.2.2	范围和规范对象	113
5.2.3	误码性能事件和参数	114
5.2.4	误码性能指标	114
5.2.5	指标的分配策略和分配结果	115
附录 5.2	可用和不可用时间	115
5.3	通道的误码性能规范	115
5.3.1	背景	115
5.3.2	范围和规范对象	115
5.3.3	块的定义和测试	116
5.3.4	误码性能事件和参数	117
5.3.5	误码性能指标	118
附录 5.3A	进入和退出不可用状态准则	120
附录 5.3B	PDH 通道性能监视和以块为基础的参数间的关系	121
附录 5.3C	SDH 通道性能监视和以块为基础的参数间的关系	124
附录 5.3D	说明异常、缺陷、误块(EB)、误块秒(ES)和严重误块秒(SES)识别 的流程图	127
5.4	同步数字通道的误码性能规范	127
5.4.1	背景	127
5.4.2	范围和规范对象	127
5.4.3	块的定义和测试	128
5.4.4	误码性能事件和参数	128
5.4.5	误码性能指标	129
5.4.6	指标的应用	130
附录 5.4A	进入和退出不可用状态准则	132
附录 5.4B	通道性能监视和以块为基础的参数间的关系	133
附录 5.4C	识别异常、缺陷、误块、ES 和 SES 流程图解	136
5.5	国际 PDH 通道、段和传输系统的维护规范	136
5.5.1	背景	136
5.5.2	范围和规范对象	138
5.5.3	指标及其分配	138
5.5.4	投入业务限值	139
5.5.5	保持网络运行(维护)限值	140
5.5.6	系统恢复限值	142
附录 5.5A	64 kbit/s 投入业务(BIS)性能限值	142
附录 5.5B	2 048 kbit/s 投入业务(BIS)性能限值	143
附录 5.5C	8 448 kbit/s 投入业务(BIS)性能限值	144
附录 5.5D	34 368 kbit/s 投入业务(BIS)性能限值	144
附录 5.5E	139 264 kbit/s 投入业务(BIS)性能限值	145
5.6	国际 SDH 通道和复用段的维护规范	146

5.6.1	背景	146
5.6.2	范围和规范对象	146
5.6.3	指标及其分配	147
5.6.4	投入业务限值	150
5.6.5	保持网络运行(维护)限值	153
5.6.6	系统恢复限值	155
附录 5.6A	VC- n 和 STM- N 投入业务指标	156
附录 5.6B	不可接受的性能水平门限值	160
5.7	有关误码若干问题的深入讨论	161
5.7.1	产生误码的原因	161
5.7.2	为什么不用误码率作为系统传输性能指标	162
5.7.3	误码概率并非无用	164
5.7.4	投入业务限值要用 S_1 和 S_2 两个门限值的原因	166
5.7.5	维护用的性能指标配额应用	167
5.7.6	传输分析仪提供的 G.821 和 G.826 建议分析结果有何不同	168
5.7.7	G.821 和 G.828 建议的比较	170
思考题		170
第 6 章	抖动和漂移	172
6.1	抖动和漂移的基本概念	172
6.1.1	概述	172
6.1.2	常用术语	173
6.1.3	抖动和漂移的时域解释	176
6.1.4	MTIE 和 TDEV 的含义	176
6.1.5	SDH 的抖动和漂移指标概貌	179
6.2	PDH 网络的抖动和漂移	182
6.2.1	背景	182
6.2.2	范围和规范对象	182
6.2.3	定义和参考模型	183
6.2.4	缩略语	184
6.2.5	业务流接口的网络限值	184
6.2.6	同步接口的网络限值	187
6.2.7	网络接口的抖动和漂移容限	192
6.3	SDH 网络的抖动和漂移	195
6.3.1	背景	195
6.3.2	范围和规范对象	195
6.3.3	网络接口的抖动和漂移网络限值	196
6.3.4	SDH 传输系统漂移指标的计算方法	197
6.4	单个 SDH 设备的抖动和漂移特性	197
6.4.1	复用设备和再生器的抖动和漂移产生	197

6.4.2 STM- <i>N</i> 输入端口抖动和漂移容限	198
6.4.3 SDH 复用设备的映射抖动和结合抖动	202
6.4.4 抖动和漂移转移特性	204
思考题	205
第 7 章 同步与定时	207
7.1 同步的基本概念和术语	207
7.1.1 基本概念	207
7.1.2 术语	211
7.1.3 定时信息传输的质量要求	211
7.2 SDH 网的同步	213
7.2.1 SDH 网同步与数字同步网的关系	213
7.2.2 SDH 同步网结构	215
7.2.3 SDH 网同步方式	216
7.2.4 SDH 设备的定时工作方式	216
7.3 与 SDH 同步有关的技术问题	218
7.3.1 SDH 网的同步和指针调整	218
7.3.2 SDH 怎样传送数字同步网的定时信息	221
7.4 指针异常调整的原因及维护	223
7.4.1 指针调整事件的维护要求	223
7.4.2 解决 SDH 指针调整过于频繁的方法	224
附录 7.4 SDH 传输系统的漂移的计算	227
7.5 SDH 设备时钟(SEC)主要特性	227
7.5.1 频率准确度	228
7.5.2 牵引入和牵引出范围	228
7.5.3 噪声产生	228
7.5.4 噪声容限	231
7.5.5 噪声传递	233
7.5.6 瞬变响应和保持性能	233
7.5.7 接口	235
7.6 SDH 网同步的应用	235
7.6.1 SDH 网同步规划的一般原则	235
7.6.2 工程应用的例子	236
7.6.3 定时环路的产生和防止	237
7.6.4 再定时原理	239
思考题	239
第 8 章 设备与网络应用	241
8.1 SDH 设备	241
8.1.1 SDH 设备概述	241
8.1.2 终端复用设备	246
• VI •	

8.1.3 高阶复用设备	246
8.1.4 分插复用设备	248
8.1.5 数字交叉连接设备	250
8.1.6 多光口分插复用设备	253
8.1.7 再生器	254
8.2 原子功能模型	257
8.2.1 为何要用原子功能模型	258
8.2.2 什么是功能建模	258
8.2.3 引入功能模型的基本考虑	258
8.2.4 网络建模的基本概念	259
8.2.5 原子功能模型	262
8.2.6 原子功能模型应用	270
8.3 SDH 传送网体系结构	278
8.3.1 传送网的体系结构部件	278
8.3.2 SDH 传送网体系结构示例	285
8.4 SDH 网络的保护和恢复	290
8.4.1 网络生存性	290
8.4.2 网络自愈	291
8.5 线状网保护	293
8.5.1 线状复用段保护概念	293
8.5.2 线状复用段保护结构	293
8.5.3 线状复用段的保护倒换协议	295
8.5.4 1+1 线状(复用段)保护的功能模型	298
8.6 环网保护	299
8.6.1 环网保护的概念	299
8.6.2 各种环网保护的工作原理	300
8.6.3 复用段共享保护环的保护倒换协议	307
8.6.4 2 纤复用段共享保护环的功能模型	308
8.7 以 DXC 为基础的网络恢复	311
8.7.1 基本概念	311
8.7.2 恢复原理和控制方法	315
8.7.3 DXC 网络应用示例	320
思考题	322
第 9 章 网络管理	324
9.1 电信管理网和 SDH 管理网	324
9.1.1 电信管理网(TMN)	324
9.1.2 SDH 网络管理系统	325
9.2 SDH 网络管理分层结构及网管产品类型	325
9.2.1 SDH 网络管理分层结构	325

9.2.2 网管产品类型	327
9.3 SDH 网管的管理功能	328
9.3.1 告警与故障管理	328
9.3.2 配置管理	333
9.3.3 性能管理	337
9.3.4 计费管理基础信息	338
9.3.5 安全管理	339
附录 9.3 本地维护终端的要求	340
9.4 多厂家环境的传输网网管结构	340
思考题	342
第 10 章 新一代 SDH 产品	343
10.1 多业务传送平台(MSTP)	343
10.1.1 提出多业务传送平台的背景	343
10.1.2 MSTP 的优点	343
10.1.3 新一代 MSTP 节点设备	344
10.1.4 新一代 MSTP 设备功能块模型	344
10.2 多业务平台光传输产品 NetRing 介绍	345
10.2.1 155 Mbit/s 622 Mbit/s 接入层设备	345
10.2.2 2.5 G 汇聚层设备介绍	347
10.2.3 10 Gbit/s 核心层设备介绍	350
10.2.4 多业务传送技术	351
10.3 NetRing 系列支持业务的主要技术	352
10.3.1 以太网业务透明传输	352
10.3.2 以太网业务二层功能	354
10.3.3 以太环网功能	354
10.3.4 弹性分组环(RPR)	355
10.3.5 ATM 层处理功能	356
10.3.6 传统的复用段共享保护环(MS-SPRing)和 NetRing MS-SPRing 的保护机制协调	357
10.4 网管系统	357
10.4.1 OMC-O 概述	357
10.4.2 OMC-O 基本操作和维护功能	358
第 11 章 什么是波分复用	367
11.1 WDM 发展历史	367
11.2 WDM	367
11.3 TDM	368
11.4 实用化的 WDM 系统	368
11.5 WDM 系统的分层结构	369
11.6 WDM 系统的组成	369

11.7 WDM 相关标准	370
思考题	371
第 12 章 光纤和光缆	373
12.1 光学基础知识	373
12.1.1 光的波动性	373
12.1.2 光的粒子性	373
12.1.3 光媒质的性质	374
12.2 光纤	375
12.2.1 光纤的结构	375
12.2.2 光纤的分类	375
12.3 光纤传输损耗	377
12.3.1 瑞利散射损耗	377
12.3.2 红外吸收损耗	377
12.3.3 氢氧根引起的吸收损耗	378
12.3.4 光纤可使用的低损耗区	378
12.3.5 光纤衰减的限制	378
12.4 色散	379
12.4.1 模式色散	379
12.4.2 材料色散	380
12.4.3 结构色散	380
12.4.4 光纤色度色散的限制	380
12.4.5 偏振模色散(又译为极化模色散)	382
12.5 非线性	382
12.5.1 概念	382
12.5.2 受激拉曼散射	383
12.5.3 受激布里渊散射	384
12.5.4 自相位调制	385
12.5.5 交叉相位调制	386
12.5.6 四波混频	386
12.6 光纤光缆标准	387
12.6.1 概述	387
12.6.2 单模光纤	388
12.6.3 新 G.652 和 G.655 建议简介	389
思考题	393
第 13 章 主要部件和技术	394
13.1 光发送机	394
13.1.1 发光原理	394
13.1.2 发光二极管	395
13.1.3 半导体激光器	396

13.1.4	调制激光源·····	403
13.1.5	光发送机原理框图·····	404
13.2	光接收机·····	405
13.2.1	光检测器·····	405
13.2.2	PIN 光电二极管·····	405
13.2.3	雪崩光电二极管·····	406
13.2.4	光接收机原理框图·····	407
13.3	合波器和分波器·····	408
13.3.1	概述·····	408
13.3.2	光纤耦合器·····	408
13.3.3	光纤布喇格光栅光波分复用器·····	409
13.3.4	介质膜滤波器光波分复用器·····	410
13.3.5	阵列波导光栅光波分复用器·····	413
13.4	光放大器·····	416
13.4.1	概述·····	416
13.4.2	掺铒光纤放大器·····	417
13.4.3	其他类型的光放大器·····	420
13.5	波长转换器·····	421
13.5.1	概述·····	421
13.5.2	波长转换器的结构·····	421
13.5.3	波长转换器的应用·····	422
13.6	色散管理·····	423
13.6.1	概述·····	423
13.6.2	色散补偿光纤·····	424
13.6.3	色散补偿·····	424
13.6.4	其他色散补偿技术·····	425
	思考题·····	428
第 14 章	WDM 系统技术要求 ·····	429
14.1	国际和国内标准简介·····	429
14.1.1	国际标准·····	429
14.1.2	国内 WDM 行业标准·····	430
14.2	WDM 系统构成·····	430
14.2.1	WDM 系统原理构成·····	430
14.2.2	光发送机·····	430
14.2.3	光中继器·····	431
14.2.4	光接收机·····	431
14.2.5	光监控通路·····	431
14.2.6	网管系统·····	432
14.3	光波长区的分配·····	432
	· X ·	

14.3.1	光纤可利用的波长区	432
14.3.2	绝对频率参考和最小通路间隔	432
14.3.3	标称中心频率	432
14.3.4	光通路分配表	432
14.3.5	中心频率偏移	435
14.4	波分复用器件	435
14.4.1	合波器和分波器	435
14.4.2	波分复用器件的参数	436
14.4.3	合波器和分波器的指标	436
14.5	光放大器	437
14.5.1	光放大器参数定义	438
14.5.2	光放大器的参数要求	438
14.5.3	安全要求	441
14.5.4	可靠性要求	442
14.5.5	光放大器自动增益控制要求	442
14.6	光接口	442
14.6.1	有线路光放大器系统的参考配置	442
14.6.2	系统分类和应用代码	443
14.6.3	WDM 系统中的 $S_1 \sim S_n$ 和 $R_1 \sim R_n$ 接口	444
14.6.4	WDM 系统主光通道参数	445
14.6.5	不中断业务光监测接口	449
14.7	波长转换器	449
14.7.1	波长转换器的功能	449
14.7.2	OTU 的位置	450
14.7.3	OTU 接口指标	451
14.8	WDM 系统监控通路要求	452
14.8.1	光监控通路要求	453
14.8.2	监控波长规定	453
14.8.3	监控波长速率规定	453
14.8.4	线路编码	453
14.8.5	监控通路定时	453
14.8.6	监控通路接口参数	454
14.8.7	监控通路的帧结构	454
14.8.8	公务通路和使用者的通路接口	454
14.8.9	误码性能	454
	思考题	455
第 15 章	网管系统	456
15.1	概述	456
15.1.1	WDM 的网管现状	456

15.1.2 设计 WDM 网管系统参考的标准	457
15.2 管理接口	457
15.2.1 网络管理层接口	457
15.2.2 工作站接口	458
15.2.3 本地维护终端接口	458
15.3 网元管理系统	458
15.3.1 WDM 系统网元划分	458
15.3.2 网元管理系统接口	458
15.3.3 网元管理系统自身的管理功能	458
15.3.4 网管和被管相对独立性	459
15.3.5 网元管理系统和网络管理系统接口考虑	459
15.4 网元管理系统的管理功能	459
15.4.1 故障管理	459
15.4.2 性能管理	460
15.4.3 配置管理	461
15.4.4 安全管理	461
15.5 网元管理系统的通道保护	462
15.6 本地维护终端	462
思考题	462
第 16 章 未来的光网络	463
16.1 概述	463
16.1.1 电层联网和光层联网	463
16.1.2 灵活光节点	463
16.1.3 2000 年以前对光层联网的构想	464
16.2 以 WDM 为基础的初级阶段光网络	464
16.2.1 点对点的 WDM 传输系统	464
16.2.2 以 WDM 为基础的 SDH 传送网	465
16.2.3 光分插复用器和 WDM 环网	465
16.2.4 光交叉连接设备和 WDM 网状网	466
16.3 光传送网	468
16.3.1 光传送网的目标和优点	468
16.3.2 OTN 标准概貌	469
16.3.3 光传送网的结构	472
16.3.4 光交叉连接设备	475
16.3.5 光传送网的保护与恢复	477
16.4 自动交换光网络	478
16.4.1 为什么需要自动交换光网络	478
16.4.2 ASON 和 ASTN 的标准概貌	479
16.4.3 自动交换传送网和自动交换光网络	482