

广州铁路职业技术学院资助出版
职业教育校企合作双元开发活页式教材
高等职业院校技能型人才培养新形态一体化教材

铁路传输系统设备维护

主 编 ◎ 由彦春 徐振华

副主编 ◎ 林晓莹

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书的主要内容包括：传输技术发展历程；铁路传输系统的基本知识；SDH/MSTP 的基本原理；SDH/MSTP 设备与光接口；SDH/MSTP 系统的组网与保护；传输系统的测试与维护；PTN 的基本原理；PTM 设备的组成与工作原理；PTN 的组网与保护；DWDM 的基本原理、工作方式；OTN 的基本原理；OTN 设备组成和工作原理。

本书可作为高职院校轨道交通通信专业教材，也可作为从事轨道交通企业通信设备维护岗位工作职工的培训教材，还可作为从事通信设备维护的工程技术人员和科技人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

铁路传输系统设备维护 / 申彦春，徐振华主编. —
成都：西南交通大学出版社，2020.11
ISBN 978-7-5643-7889-9

I. ①铁… II. ①申… ②徐… III. ①铁路通信—高等职业教育—教材②铁路运输—信息系统—高等职业教育—教材 IV. ①U285②U29-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 240566 号

Tielu Chuanshu Xitong Shebei WeiHu

铁路传输系统设备维护

主 编 申彦春 徐振华

责任编辑 / 穆 丰
封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)
发行部电话：028-87600564 028-87600533
网址：<http://www.xnjdcbs.com>
印刷：四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 12.75 字数 262 千
版次 2020 年 11 月第 1 版 印次 2020 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-7889-9
定价 48.00 元

课件咨询电话：028-81435775
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前言

PREFACE

随着我国铁路运营里程的不断增加和大量线路的开通，铁路行业需要大量的通信专业技术人员。按照“十四五”铁路规划，新增城际铁路和市域（郊）铁路运营里程 3000 千米，新增城市轨道交通运营里程 3000 千米。因此，对铁路行业人员需求持续增加。其中，包括铁路传输设备维护人员。铁路传输设备维护人员主要负责对传输设备进行日常检修与维护，包括计划性检修和周期性检修，对损坏、老化的设备进行维修或更换。

本书根据国家《铁路通信工国家职业标准》，职业教育与成人教育司颁布的高等职业学校专业教学标准中的《铁道通信与信息化技术专业教学标准》，中国国家铁路集团有限公司制定的《高等职业学校铁道通信与信息化技术专业建设指导标准》等编写而成。为职业教育校企合作双元开发活页式教材，高等职业院校技能型人才培养“十三五”新形态一体化教材，适用于铁路传输设备维护人员理论知识学习和技能训练。书中配置了形式多样的数字资源，包括微课、动画、实训操作视频、习题等，扫描书中二维码即可获得。本书编写团队为广东省精品开放课程“铁路传输系统”建设团队。该课程已经在学银在线平台开课 3 期。欢迎各位老师、同学们进入在线课程，和编写团队进行在线互动学习。课程网址：

<https://www.xueyinonline.com/detail/214532808>。

本书分为 4 个项目，共 11 个任务，系统讲述了铁路传输系统设备维护的主要技术。

项目 1 介绍铁路传输系统，主要内容包括：传输系统的概念和分类；传输技术发展历程；铁路传输系统的结构、基本知识；光传输系统的结构、

介质、器件和设备。

项目 2 介绍如何构建 SDH 传输网，主要包括：SDH/MSTP 的基本原理；SDH/MSTP 设备与光接口；SDH/MSTP 系统的组网与保护；传输系统的测试与维护。

项目 3 介绍如何构建 PTN 承载网，主要包括：PTN 的基本原理；PTM 设备的组成和工作原理；PTN 的组网与保护。

项目 4 介绍如何构建 OTN 光传送网，主要包括：DWDM 的基本原理、工作方式；OTN 的基本原理；OTN 设备组成和工作原理。

本书由广州铁路职业技术学院申彦春、徐振华担任主编。具体编写分工为：任务 1、9、10、11 由申彦春编写，任务 2、3、6、7、8 由徐振华编写，任务 4、5 由广州通信段工程师林欣荣编写。作者在编写过程中得到了中国铁路广州局集团有限公司广州通信段、中兴通讯有限公司、南京柯姆威科技有限公司的大力支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免存在疏漏及不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2020 年 9 月

铁路传输系统设备维护数字资源

序号	二维码	资源类型	页码
1	二维码 1.1 传输系统和传输技术介绍 微课	微课	P001
2	二维码 1.2 SDH 技术 微课	微课	P002
3	二维码 1.3 PTN 技术 微课	微课	P003
4	二维码 1.4 WDM 技术 微课	微课	P004
5	二维码 1.5 OTN 技术 微课	微课	P005
6	二维码 1.6 铁路传输系统 微课	微课	P005
7	二维码 1.7 光传输系统 微课	微课	P007
8	二维码 1.8 铁路传输系统主要设备 微课	微课	P008
9	二维码 1.9 光纤和光缆结构 动画	视频	P010
10	二维码 1.10 无源光器件 图片	图片	P011
11	二维码 1.11 铁路传输系统 习题	文档	P011
12	二维码 2.1 SDH 帧结构和速率 微课	微课	P012
13	二维码 2.2 SDH 复用和映射 微课	微课	P013
14	二维码 2.3 管理单元指针 动画	视频	P015
15	二维码 2.4 字节间插复用 动画	视频	P015
16	二维码 2.5 SDH 基本复用映射结构 动画	视频	p016
17	二维码 2.6 SDH 开销 微课	微课	P017
18	二维码 2.7 MSTP 原理 微课	微课	P023
19	二维码 2.8 MSTP 应用 微课	微课	P027
20	二维码 2.9 SDH/MSTP 的基本原理 习题	文档	P028
21	二维码 3.1 SDH/MSTP 设备的网元类型 微课	微课	P028
22	二维码 3.2 中兴 SDH 设备介绍 微课	微课	P030
23	二维码 3.3 中兴 SDH 设备升级能力 动画	视频	P033
24	二维码 3.4 ZXMP S325 的特点 微课	微课	P034
25	二维码 3.5 ZXMP S325 的结构 微课	微课	P034
26	二维码 3.6 网元控制单元 微课	微课	P038
27	二维码 3.7 NCP/SAI/OCS4/OCS16 单板 图片	图片	P038
28	二维码 3.8 交叉时钟线路单元 微课	微课	P039
29	二维码 3.9 光线路单元 微课	微课	P041
30	二维码 3.10 OL1/4 分系统 微课	微课	P042

续表

序号	二维码	资源类型	页码
31	二维码 3.11 OL1/4 分系统各单板 图片	图片	P043
32	二维码 3.12 OL1/4 分系统功能配置和 TPS 保护 动画	视频	P045
33	二维码 3.13 光放大单元 微课	微课	P046
34	二维码 3.14 EP1 分系统 微课	微课	P046
35	二维码 3.15 EP1 分系统各单板 图片	图片	P047
36	二维码 3.16 EP1 分系统功能配置和 TPS 保护 动画	视频	P049
37	二维码 3.17 EP3 分系统 微课	微课	P049
38	二维码 3.18 EP3 分系统各单板 图片	图片	P050
39	二维码 3.19 EP3 分系统功能配置和 TPS 保护 动画	视频	P051
40	二维码 3.20 EOS 分系统 微课	微课	P051
41	二维码 3.21 EOS 分系统各单板 图片	图片	P053
42	二维码 3.22 EOS 分系统功能配置和 TPS 保护 动画	视频	P054
43	二维码 3.23 ATM 分系统 微课	微课	P054
44	二维码 3.24 RPR 分系统 微课	微课	P055
45	二维码 3.25 电源分系统 微课	微课	P057
46	二维码 3.26 ZXMP S325 开局 微课	微课	P058
47	二维码 3.27 华为 SDH 设备 OSN 系列产品 微课	微课	P060
48	二维码 3.28 OSN3500 系统 微课	微课	P063
49	二维码 3.29 OSN3500 系统所用单板 图片	图片	P065
50	二维码 3.30 SDH 功能单元 微课	微课	P065
51	二维码 3.31 PDH 功能单元 微课	微课	P067
52	二维码 3.32 以太网功能单元 微课	微课	P067
53	二维码 3.33 交叉时钟接口单元 微课	微课	P068
54	二维码 3.34 系统控制功能单元 微课	微课	P069
55	二维码 3.35 辅助接口单元与电源接口单元 微课	微课	P070
56	二维码 3.36 风扇单元与光放大单元 微课	微课	P071
57	二维码 3.37 SDH/MSTP 设备与光接口 习题	文档	P073
58	二维码 3.38 OSN3500 设备巡检 视频	视频	P073
59	二维码 3.39 SDH 系统硬件安装 实训项目	文档与视频	P073
60	二维码 3.40 OSN 系统硬件安装 实训项目	文档与视频	P074
61	二维码 4.1 SDH 拓扑结构 微课	微课	P074

续表

序号	二维码	资源类型	页码
62	二维码 4.2 传输网管的基本操作 微课	微课	P075
63	二维码 4.3 2M 业务配置 微课	微课	P077
64	二维码 4.4 以太网业务配置 微课	微课	P080
65	二维码 4.5 以太网业务验证 动画	视频	P082
66	二维码 4.6 SDH 同步技术 微课	微课	P082
67	二维码 4.7 时钟源配置 微课	微课	P090
68	二维码 4.8 公务配置 微课	微课	P091
69	二维码 4.9 保护的概念 微课	微课	P094
70	二维码 4.10 保护的原理 微课	微课	P097
71	二维码 4.11 二纤双向通道环保护原理 微课	微课	P100
72	二维码 4.12 二纤双向通道环保护配置 微课	微课	P102
73	二维码 4.13 二纤双向复用段保护原理 微课	微课	P104
74	二维码 4.14 二纤双向复用段保护环工作原理 图片	图片	P105
75	二维码 4.15 二纤双向复用段保护配置 微课	微课	P105
76	二维码 4.16 四纤双向复用段保护原理 微课	微课	P106
77	二维码 4.17 四纤双向复用段保护配置 微课	微课	P107
78	二维码 4.18 SDH/MSTP 系统的组网与保护 习题	文档	P108
79	二维码 4.19 OSN3500 网管配置 视频	视频	P108
80	二维码 4.20 SDH 时钟配置 实训	文档及视频	P109
81	二维码 4.21 SDH 2M 业务配置 实训	文档及视频	P109
82	二维码 4.22 SDH 以太网业务配置 实训	文档及视频	P109
83	二维码 4.23 SDH 通道保护配置 实训	文档及视频	P109
84	二维码 4.24 SDH 复用段保护配置 实训	文档及视频	P110
85	二维码 4.25 OSN 时钟配置 实训	文档及视频	P110
86	二维码 4.26 OSN 2M 业务配置 实训	文档及视频	P110
87	二维码 4.27 OSN 以太网业务配置 实训	文档及视频	P110
88	二维码 4.28 OSN 通道保护配置 实训	文档及视频	P110
89	二维码 4.29 OSN 复用段保护配置 实训	文档及视频	P111
90	二维码 5.1 设备维护作业 微课	微课	P112
91	二维码 5.2 常用工具、材料、仪表 微课	微课	P115
92	二维码 5.3 单板维护 微课	微课	P115

续表

序号	二维码	资源类型	页码
93	二维码 5.4 设备电源维护 微课	微课	P116
94	二维码 5.5 网管维护作业 微课	微课	P116
95	二维码 5.6 网管维护作业图示 图片	图片	P120
96	二维码 5.7 光功率测试 微课	微课	P120
97	二维码 5.8 误码测试 微课	微课	P121
98	二维码 5.9 OTDR 测试 微课	微课	P122
99	二维码 5.10 常见告警的分析 微课	微课	P122
100	二维码 5.11 传输设备常见故障处理 微课	微课	P123
101	二维码 5.12 传输系统的测试与维护 习题	文档	P126
102	二维码 5.13 传输机房维护 视频	视频	P126
103	二维码 5.14 传输机房上下电操作 视频	视频	P126
104	二维码 5.15 传输网检修作业 视频	视频	P126
105	二维码 5.16 传输网业务主备倒换作业 视频	视频	P126
106	二维码 5.17 通信电源检修作业 视频	视频	P126
107	二维码 5.18 配电柜检修 视频	视频	P126
108	二维码 5.19 蓄电池检修 视频	视频	P126
109	二维码 5.20 光功率计测试 实训	文档及视频	P127
110	二维码 5.21 误码仪测试 实训	文档及视频	P127
111	二维码 5.22 光纤熔接机测试 实训	文档及视频	P127
112	二维码 5.23 线路故障处理 实训	文档及视频	P127
113	二维码 5.24 设备故障处理 实训	文档及视频	P127
114	二维码 5.25 数据故障处理 实训	文档及视频	P128
115	二维码 5.26 设备供电维护 实训	文档及视频	P128
116	二维码 6.1 PWE3 技术 微课	微课	P129
117	二维码 6.2 PWE3 业务承载 动画	视频	P131
118	二维码 6.3 分组传送技术 微课	微课	P132
119	二维码 6.4 MPLS 网络模型 动画	视频	P133
120	二维码 6.5 LSP 的形成 动画	视频	P134
121	二维码 6.6 报文转发过程 动画	视频	P137
122	二维码 6.7 PTN 的基本原理 习题	文档	P139
123	二维码 7.1 中兴 PTN 设备 微课	微课	P139

续表

序号	二维码	资源类型	页码
124	二维码 7.2 ZXCTN6200、6300 微课	微课	P140
125	二维码 7.3 RSCCU2 微课	微课	P143
126	二维码 7.4 ZXCTN 6200 业务板 微课	微课	P145
127	二维码 7.5 PTN 设备组成和工作原理 习题	文档	P150
128	二维码 7.6 PTN 系统硬件安装 实训	文档及视频	P150
129	二维码 8.1 6200 设备初始化 文档	文档	P150
130	二维码 8.2 创建网元 微课	微课	P152
131	二维码 8.3 基础数据配置 微课	微课	P153
132	二维码 8.4 以太网业务类型 微课	微课	P154
133	二维码 8.5 配置 EPL 业务 微课	微课	P156
134	二维码 8.6 配置 EPTREE 业务 微课	微课	P157
135	二维码 8.7 配置 EPLAN 业务 微课	微课	P158
136	二维码 8.8 同步技术 微课	微课	P159
137	二维码 8.9 时钟源配置 微课	微课	P163
138	二维码 8.10 PTN 保护 微课	微课	P164
139	二维码 8.11 PTN 的组网与保护 习题	文档	P169
140	二维码 8.12 IP 承载网组网及实践 实训	文档及视频	P169
141	二维码 8.13 PWE3 业务配置 实训	文档及视频	P170
142	二维码 8.14 VPLS 业务配置 实训	文档及视频	P170
143	二维码 8.15 PTN 链型网保护配置 实训	文档及视频	P170
144	二维码 8.16 PTN 环型网保护配置 实训	文档及视频	P170
145	二维码 8.17 PTN 综合业务组网配置 实训	文档及视频	P170
146	二维码 9.1 DWDM 的基本概念 微课	微课	P171
147	二维码 9.2 DWDM 的基本原理 习题	文档	P176
148	二维码 10.1 OTN 帧结构和速率 微课	微课	P177
149	二维码 10.2 OTN 复用和映射 微课	微课	P180
150	二维码 10.3 OTN 的开销 微课	微课	P183
151	二维码 10.4 OTN 的网络结构和网元类型 微课	微课	P185
152	二维码 10.5 OTN 的基本原理 习题	文档	P185
153	二维码 11.1 OTN 产品介绍 微课	微课	P186
154	二维码 11.2 OTN 产品 习题	文档	P188

续表

序号	二维码	资源类型	页码
155	二维码 11.3 OTN 点对点业务配置 实训视频	视频	P188
156	二维码 11.4 OTN 穿通业务配置 实训视频	视频	P188
157	二维码 11.5 OTN 网元 (OTM) 硬件安装 实训	文档及视频	P188
158	二维码 11.6 OTN 网元 (OADM) 硬件安装 实训	文档及视频	P189
159	二维码 11.7 OTN 系统光纤连线 实训	文档及视频	P189
160	二维码 11.8 OTN 设备 WDM 业务配置 实训	文档及视频	P189
161	二维码 11.9 OTN 设备 PWE3 分组业务配置 实训	文档及视频	P189
162	二维码 11.10 OTN 设备 VPLS 分组业务配置 实训	文档及视频	P190
163	二维码 11.11 OTN 设备 SDH 业务配置 实训	文档及视频	P190
164	二维码 11.12 OTN 网络保护配置 实训	文档及视频	P190
165	二维码 11.13 OTN 综合业务组网 实训	文档及视频	P190



目录

CONTENT

项目 1 铁路传输系统认知	001
任务 1 认识铁路传输系统	001
项目 2 构建 SDH 传输网	012
任务 2 理解 SDH/MSTP 的基本原理	012
任务 3 SDH/MSTP 设备与光接口	028
任务 4 SDH/MSTP 系统的组网与保护	074
任务 5 传输系统的测试与维护	111
项目 3 构建 PTN 承载网	129
任务 6 理解 PTN 的基本原理	129
任务 7 理解 PTN 设备组成和工作原理	139
任务 8 PTN 的组网与保护	150
项目 4 构建 OTN 光传送网	171
任务 9 理解 DWDM 的基本原理、工作方式	171
任务 10 理解 OTN 的基本原理	177
任务 11 了解 OTN 设备组成和工作原理	186
参考文献	191



项目 1

铁路传输系统认知

任务 1 认识铁路传输系统

1.1 传输系统分类

传输系统按其传输媒质可分为有线传输系统和无线传输系统两类，如图 1.1 所示。



二维码 1.1

传输系统和传输技术介绍 微课

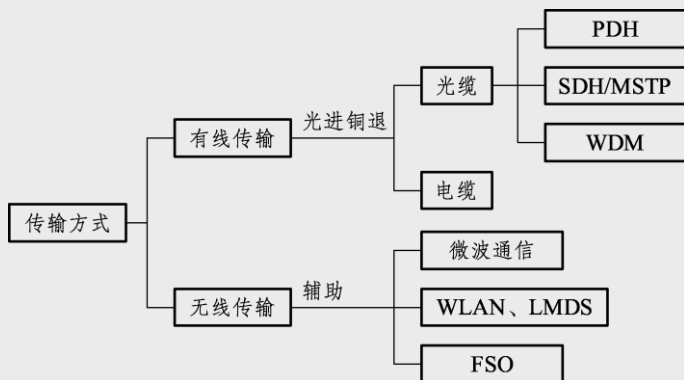


图 1.1 传输方式分类

1.2 传输技术发展历程

1.2.1 PDH 技术

20 世纪 70 年代开始，国际电信联盟通信标准化组织（ITU-T）的前身国际电报电话咨询委员会（CCITT）提出由先后 3 批 PDH 建议形成的完整的 PDH 体系。PDH 即准同步数字系列，进入 20 世纪 80 年代后，大量的数字传输系统都采用了 PDH，铜导线主宰了整个通信网。然而，随着光通信技术的发展以及数字交换的引入，人们对通信的距离、容量、智能性等方面的需求越来越大，采用 PDH 的传输方式便暴露了很多弊端。

(1) 世界上有 3 种 PDH 系列，国际互通困难，如图 1.2 所示。

(2) 上/下支路困难，无法从高速信号中识别和直接提取低速支路信号。

这种情况导致上/下支路必须采用背靠背设备，逐级分接出要下的支路，将不下的支路再逐级复接上去，造成设备的极大浪费。

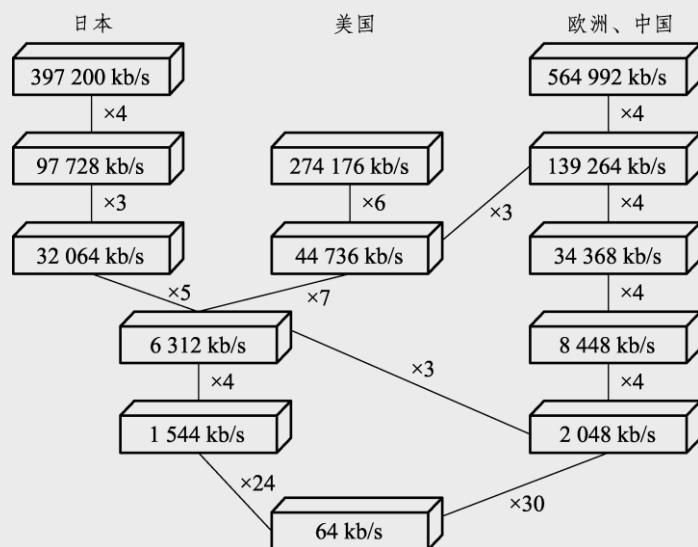


图 1.2 三种 PDH 系列速率

(3) 没有世界性的标准光接口规范, 限制了联网应用的互通性。

不同厂家的设备, 甚至同一厂家不同型号的设备的光接口各不相同, 不能互联, 横向不兼容, 网络运行、管理和维护 (OAM) 功能不足。

(4) 开销比特很少。

不利于传输网的分层管理、性能监控、业务的实时调度、传输带宽的控制、告警的分析定位。

(5) 没有统一的网管接口。

各厂家的网管系统不同, 无法进行统一网管。



二维码 1.2
SDH 技术 微课

1.2.2 SDH 技术

在原有的技术体制中花大力气对 PDH 网进行修补是得不偿失的, 只有从根本的改革才是出路, 于是就出现了光传输网技术。美国贝尔公司首先提出了同步光网络 (SONET), 美国国家标准学会 (ANSI) 于 20 世纪 80 年代制定了有关 SONET 的国家标准。当时 ITU (国际电信联盟) 采纳了 SONET 的概念, 进行了一些修改和扩充, 重命名为同步数字体系 (SDH), 并制定了一系列国际标准。它主要有以下特点:

(1) SDH 是世界性的统一标准。

SDH 由 ITU-T 制定, 不仅适用于光纤, 也适用于微波和卫星传输。其具有统一的接口规程特性, 包括速率等级、信号结构、复用和映射等, 因此有很好的横向兼容性, 能与现有的 PDH 完全兼容。

(2) 能从高速 SDH 信号中直接插/分出低速支路信号。

同步复用方式和灵活映射, 使低速支路信号在 STM-N 帧中的位可预见。由于大大简化了 DXC (数字交叉连接设备), 减少了背靠背的接口复用设备, SDH 改

善了网络的业务传送透明性。

(3) 强大的 OAM 功能，使网络的监控功能大大加强。

SDH 帧结构中安排了信号的 5% 开销比特，它的网管功能显得特别强大，并能统一形成网络管理系统，对网络的自动化、智能化、提高信道的利用率以及降低网络的维管费起到了积极作用。

(4) 组网灵活。

由于 SDH 具有多种网络拓扑结构，它所组成的网络非常灵活，能增强网监、运行管理和自动配置功能，优化了网络性能，同时也使网络运行灵活、安全、可靠，使网络的功能非常齐全和多样化。

1.2.3 MSTP 技术

随着各种数据业务的需求持续增大，以及 TDM、ATM、以太网等多业务混合传送需求的增多，城域网原本的语音业务的定位无论在容量还是接口都不再能达到传输汇聚的要求。为满足需要，思科公司提出多业务传送平台 (MSTP) 的概念。

MSTP 充分利用了 SDH 技术的优点——给传送的信息提供保护恢复的能力以及较小的延时性能，同时对网络业务支撑层加以改造，利用 2.5 层交换技术实现了对二层技术（如 ATM、帧中继）和三层技术（如 IP 路由）的数据智能支持，所以它也被称为基于 SDH 技术的多业务传送平台。MSTP 最适合工作于网络的边缘，如城域网和接入网，用于处理以 TDM 业务为主的混合业务。

1.2.4 PTN 技术

随着目前 TDM 业务比例逐渐减少以及“全 IP 环境”逐渐成熟，传输网在保证传统业务正常运行的前提下，应满足 IP 化对传送网分组化的要求。这需要分组技术和传输技术的相互融合，于是就产生了分组传送网 (PTN)。

PTN 是一种以分组作为传送单位，以承载电信级以太网业务为主，兼容 TDM、ATM 和 FC 等业务的综合传送技术。PTN 技术基于分组的架构，继承了 MSTP 的理念，融合了以太网和 MPLS（多协议标签交换）的优点，成为下一代分组承载的技术选择。

PTN 网络具有以下技术特点：

(1) 多业务统一承载。

采用 PWE3 仿真技术兼容 TDM、ATM、FR 等业务，支持隧道技术，全面满足全业务发展需要，降低网络 TCO（总体拥有成本）。

(2) 智能感知业务，提供端到端的区分服务。

业务感知有助于根据不同的业务优先级采用合适的调度方式，具体做法如下：

对于 ATM 业务，业务感知基于信元 VPI / VCI 标识映射到不同伪线处理，优先级（含丢弃优先级）可以映射到伪线的 EXP 字段。



二维码 1.3
PTN 技术 微课

对于以太网业务，业务感知可基于外层 VLAN ID 或 IP DSCP。

对时延敏感性较高的 TDM E1 实时业务按固定速率的快速转发处理。

(3) 高精度时钟同步技术支撑传送网络分组化。

采用 IEEE 1588v2 + G.8261 方案，有效提高时间同步精度；支持 SSM、BMC 协议，实现时间链路的自动保护倒换，保证时间的可靠传送需求；同时支持带内 (Ethernet) 和带外 (1PPS+TOD) 同步接口，部署灵活；100% 负载流量情况下精度稳定，满足业务大规模组网下基站同步需求。

(4) 精细化业务监控。

具有电信级的 OAM 能力，支持多层次的 OAM 及其嵌套，为业务提供故障管理和性能管理。PTN 的 OAM 功能，基于硬件机制分层监控，实现快速故障检测和定位、性能监测、端到端业务管理，支持连续和按需的 OAM，保证分组传送网络中业务的电信级服务质量。基于物理端口、逻辑链路、隧道、伪线等各种粒度的层次化的 OAM，使网络运维更透明、操作管理更简便。

(5) 全程电信级保护机制。

PTN 具有业内最全面的电信级保护机制，具备完善的设备级保护、网络级保护以及网络边缘级保护功能，确保 50 ms 快速倒换，采用多重保护，可靠性达到电信级 99.999%。

(6) 统一的网络管理。

采用中兴统一网管平台 NetNumen U31，实现 PTN、SDH/MSTP、WDM、OTN (光传送网) 统一管理；提供端到端的路径创建和管理功能，提供强大的 QOS、OAM 管理功能，提供实时告警和性能监控功能；符合传统传送网要求的网元管理和友好界面，易于操作和维护，使分组网络首次具备了可管理、易维护的属性。

1.2.5 ASON 技术

自动交换光网络 ASON 在 SDH 原有的传送平面和管理平面基础上，引入控制平面，使传输、交换以及数据网络相互结合在一起；在 SDH 网络原有的多种大容量交换机的路由器的支持下，完成合理化配置与网络连接管理，实现对网络资源的实时动态控制与按需分配。

1.2.6 WDM 技术

波分复用 (WDM) 技术是指在一根光纤中同时传输多个波长的光载波信号——在给定的信息传输容量下，可以显著减少所需要光纤的总量。WDM 技术的主要特点有：

(1) 节约光纤资源。

WDM 技术能在一根物理光纤上提供多个虚拟的光纤通道。

(2) 升级扩容方便。

只要增加复用光通路数量与相关设备，就可以增加系统的传输容量。



二维码 1.4
WDM 技术 微课

(3) 实现超长距离传输。

EDFA (掺铒光纤放大器) 可对 WDM 系统的各复用光通路的信号同时进行放大, 以实现系统的超长距离传输。

1.2.7 OTN 技术

OTN 是作为传送网技术提出的, 它继承了 SDH 传送网的许多方法, 因此在网络体系、帧结构、功能模型、物理层接口、开销安排、性能监测、分层结构、速率等级、映射复用方法、网络保护、同步和管理等方面, 都与 SDH 十分相似。与 SDH 技术和 WDM 技术相比, OTN 具有以下三大亮点:

(1) 超大容量的光传送系统。

OTN 提升了交叉连接的容量, 可进行每秒太字节的大容量调度。SDH 应用以来, 以 VC-12 作低阶交叉支持 E1 语音信号, 而以 VC-3/VC-4 作高阶交叉实现对业务的管理, 而 OTN 单路数字信号速率已达 40 Gb/s, 若将 4 个 SDH 的 10 Gb/s 支路信号复用成 1 路 40 Gb/s 线路信号, 即使用 VC-4 来实现交叉连接, 也需要对 256 个 VC-4 进行处理, 这么小“颗粒”的复用方案不仅硬件复杂, 对调度、管理和操作也是很大的负担。换成 OTN 就简单得多, 按它的速率等级, 4 个 10 Gb/s 信号可以很方便地复接成 40 Gb/s 传输。

(2) 全业务传送。

OTN 可以满足运营商的多种需求, 用尽量少的基础设施来提供尽量多的业务类型, 把宽带接入、大企业数据、视频信号、下一代网络 (NGN)、第三代/第四代/第五代移动通信技术等兼有网络和通信特点的业务统一到同一个传送平台上。它能透明传送各种客户数据, 如 $N \times 64K$ 、2 M、STM-N、10 M/FE/GE 以太网、ATM、MPLS, 甚至 OTN 信号自身 (ODUk) 以及自定义速率数据流, 具备强大的 IP、ATM、TDM 综合传送能力。OTN 是目前唯一能在 IP 以太网交换机和路由器间全速传送 10 G 以太网业务的传送平台。另外, OTN 还有跟 SDH 类似的虚级联功能, 支持链路容量自动调整 (LCAS)。

(3) 智能化。

相对 SDH, OTN 增加了控制平面, 使超大带宽的光信号能够自动交换、自动选路, 对光、电通信路径统一进行标记, 从而能够对多种传送“颗粒”进行控制, 达到传送网智能化的目标。

1.3 铁路传输系统

作为铁路通信系统的大动脉, 我国铁路传输网承载着所有系统的信息传输, 如 GSM-R (专用移动通信)、调度通信与数据、会议电视、视频监控等业务。随着近几年铁



二维码 1.5
OTN 技术 微课



二维码 1.6
铁路传输系统 微课

路信息化、客运专线建设的加快，其承载的语音、数据、图像、视频等信息更加丰富，可靠性要求也会更高。我国铁路传输网的网络结构总体上可分为三层、从高到低依次为骨干层，汇聚层和接入层，如图 1.3 所示。

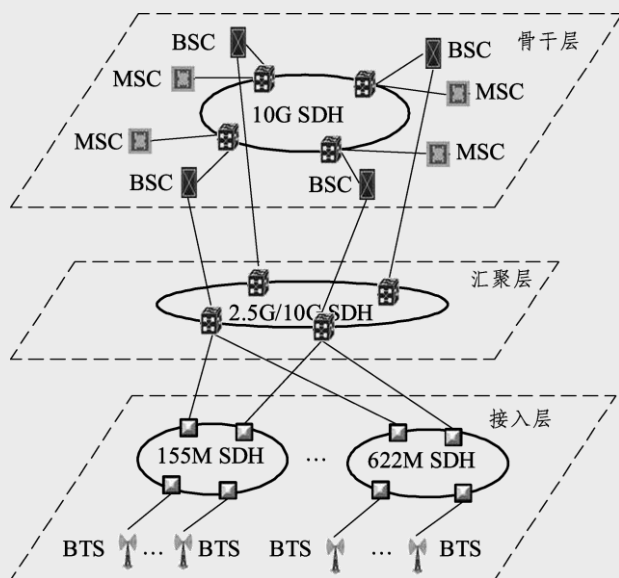


图 1.3 传输网三层结构示意图

骨干层连接中国国家铁路集团有限公司和 18 个铁路局集团公司，为路局至总公司、路局与路局之间的直达业务互通提供传输通道，同时为汇聚层大颗粒业务提供迂回保护通道。汇聚层以各路局为单位，构建路局内的骨干光传送网络（如波分系统及 SDH 系统），实现局内各站段间大颗粒业务传送、各站段至路局调度所的业务传送，同时为沿线 SDH 接入层提供保护。接入层为铁路沿线每个区间节点及较大的接入业务站点提供接入服务。

现有全路骨干层传输系统主要划分为五大环：京沪穗核心环，以及东南环、西南环、西北环及东北环共 4 个片区环。铁路通信回归国家铁路局后，东北环一（16 波系统）、京沪穗环一（北电设备）、西南环、西北环、东南环网络的管理划转铁路。现有全路骨干光传输系统概况如表 1.1 所示。

表 1.1 铁路传输网骨干层五大环概况

序号	波分系统名称	波道数量	设备厂家	开通年份
1	京沪穗环一	40×10 G 系统	北电公司	2001
2	东南环	40×10 G 系统	北电公司	2002
3	西南环	32×2.5 G 系统	华为公司	2002
4	西北环一/二	40×2.5 G/40×2.5 G 系统	中兴公司/马可尼	2006/2001
5	东北环一	16×2.5 G 系统	中兴公司	2003

广铁集团汇聚层传输系统由核心环、湘南环、湘北环、粤东环、粤西环、海南环以及茂名-湛江-海口链组成，网络拓扑结构如图 1.4 所示。

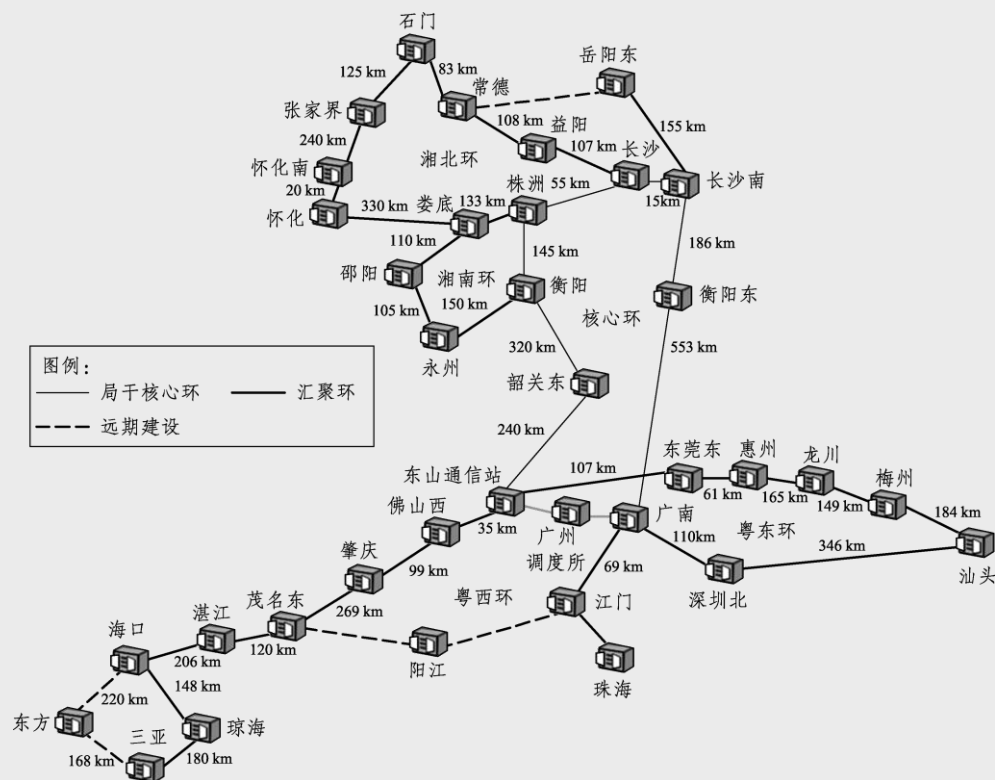


图 1.4 传输系统的结构——汇聚层和接入层（广铁集团）

铁路传输网骨干层和汇聚层传输系统目前主要采用 DWDM+SDH/MSTP 制式，接入层传输系统目前主要采用 SDH/MSTP 制式，传输网目前主要采用环形网和链形网的拓扑结构。

现代铁路传输系统主要指有线传输系统，采用的传输媒介包括架空明线、电缆、光缆，远距离传输采用光缆，所以它也是光传输系统。

1.4 光传输系统

光传输系统由数据源、光发送端、光学信道和光接收机组成，如图 1.5 所示。其中，数据源包括所有的信号源，它们是语音、图像、数据等业务经过信源编码所得到的信号；光发射机和调制器则负责将信号转变成适合在光纤上传输的光信号；光学信道包括最基本的光纤，还有中继放大器 EDFA 等；而光学接收机则接收光信号，并从中提取信息，然后转变成电信号，最后得到对应的语音、图像、数据等信息。



二维码 1.7
光传输系统 微课

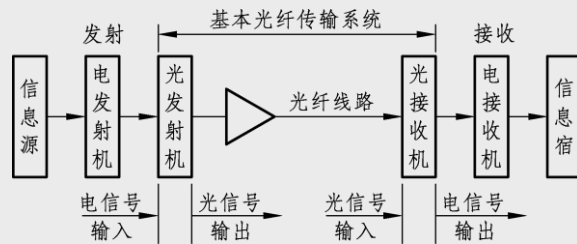


图 1.5 光纤通信系统结构图

1.4.1 光源器件

光传输中常用的光源器件有半导体激光器和半导体发光二极管两种。半导体激光器工作原理是激励方式，利用半导体物质（即利用电子）在能带间跃迁发光，如图 1.6 所示。

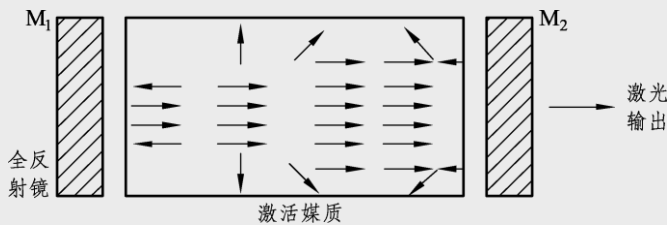


图 1.6 激光器工作原理示意图

激光器用半导体晶体的解理面形成两个平行反射镜面作为反射镜，组成谐振腔，使光振荡、反馈，产生光的辐射并放大，输出激光。



二维码 1.8
铁路传输系统主要设备 微课

1.4.2 光纤和光缆

光纤是光导纤维的简写，是一种由玻璃或塑料制成的纤维，可作为光传导工具。光导纤维由两层折射率不同的玻璃组成，如图 1.7 所示。内层为光内芯，直径在几微米至几十微米，外层的直径为 0.1 ~ 0.2 mm，一般内芯玻璃的折射率比外层玻璃大 1%。根据光的折射和全反射原理，当光线射到内芯和外层界面的角度大于产生全反射的临界角时，光线透不过界面，全部反射，如图 1.8 所示。

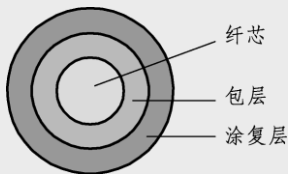


图 1.7 光纤截面图

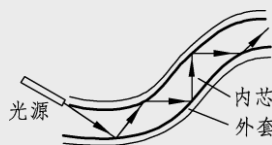


图 1.8 光纤全反射原理图

损耗 (dB/km): 光波在光纤中传输，随着传输距离的增加，光功率强度逐渐减弱，光纤对光波产生衰减作用，称为光纤的损耗。光纤的损耗限制了光信号的传播距离。

光纤的损耗主要有三种。吸收损耗：制造光纤的材料本身造成的损耗，包括

紫外吸收、红外吸收和杂质吸收。散射损耗：由于材料的不均匀使光信号向四面八方散射而引起的损耗称为瑞利散射损耗。弯曲损耗（辐射损耗）：由光纤的弯曲引起。决定光纤衰减常数的损耗主要是吸收损耗和散射损耗，弯曲损耗对光纤衰减常数的影响不大。

光纤的色散主要有材料色散、波导色散、偏振模色散和模间色散4种。其中，模间色散是多模光纤所特有的，是指多模传输时，光纤各模式在同一波长下，因传输常数的切线分量不同、群速不同所引起的色散。

材料色散是指光纤材料的折射率随频率（波长）而变，而使信号的各频率（波长）群速度不同引起的色散。波导色散是指由于光纤传输的是有一定宽度的频带，而不同频率下传输常数的切线分量不同、群速不同所引起的色散。偏振模色散是指由于实际的光纤中基模含有两个相互垂直的偏振模，沿光纤传播过程中，由于光纤难免会受到外部的作用，如温度和压力等因素变化或扰动，使得两模式发生耦合，并且它们的传播速度也不尽相同，从而导致光脉冲展宽，引起信号失真。

色散限制了光纤的带宽-距离乘积值。色散越大，光纤中的带宽-距离乘积越小，在传输距离一定（距离由光纤衰减确定）时，带宽就越小，带宽的大小决定了传输信息容量的大小。

根据不同光纤分类标准所要求的分类方法，同一根光纤将会有不同的名称。按照光纤的材料，可以将光纤的种类分为石英光纤和全塑光纤；按照光纤剖面折射率分布的不同，可以将光纤的种类分为阶跃型光纤和渐变型光纤；按照光纤传输的模式数量，可以将光纤的种类分为多模光纤和单模光纤。

光纤主要特点：

（1）传输频带宽，通信容量大。

采用波分复用（WDM）或光频分复用（OFDM）是增加光纤通信系统传输容量最有效的方法。

（2）损耗很小，中继距离长。

用作光纤的二氧化硅玻璃介质的纯净度高，光纤的损耗低。因此，其中继距离可以很长，这样可在通信线路中减少中继站的数量，以降低成本并提高通信质量。

（3）抗电磁干扰能力强。

光纤是由纯度较高的电绝缘玻璃材料（二氧化硅）制成的，是不导电和无电感的，在有强烈电磁干扰的地区和场合中使用，光纤也不会产生感应电压、电流，光纤通信线路不受各种电磁场的干扰和闪电雷击的损坏。

（4）不产生串话，保密性强。

光在光纤中传播时，几乎不向外辐射。光泄漏非常微弱，即使在弯曲地段也无法被窃听。因此在同一光缆中，数根光纤之间不会相互干扰，即不会产生串话，所以光纤通信和其他通信方式相比有更好的保密性。

(5) 线径细、重量轻。

光纤的直径很小，只有 $125\ \mu\text{m}$ 左右，因此制成光缆后，直径要比相同容量的电缆小得多，而且重量也轻。

(6) 资源丰富，节约有色金属和原材料。

电缆是由铜、铝、铅等金属材料制成的，而光纤的原材料是石英，在地球上资源丰富，而且用很少的原材料就可以拉制很长的光纤。

(7) 容易均衡。

在电通信中，信号的各频率成分的幅度变化是不相等的。频率越低，幅度的变化越小；频率越高，其幅度变化则越大。这对信号的接收极为不利，为使各频率成分都受到相同幅度的放大处理，就必须采用幅度均衡。对光纤通信系统则不同，在光纤通信的运用频带内，光纤对每一频率的损耗是相等的，一般情况下，不需要在中继站和接收端采取幅度均衡措施。

(8) 抗化学腐蚀、使用寿命长。

石英材料具有一定的抗化学腐蚀能力，比由铜或铝组成的电缆抗腐蚀和氧化能力强，绝缘性能好，适用于强电系统，使用寿命长，一般认为光缆的寿命为 20—30 年。

(9) 光纤接头不放电、不产生电火花。

进水和受潮对金属导线意味着接地和短路。光纤由玻璃制成，不产生放电，也不存在发生火花的安全危险，所以安全性好。它适用于矿井下、军火仓库、石油化工等易燃易爆的环境中，是比较理想的防爆型传输线路。

光纤通信存在一些缺点，如：需要光/电和电/光变换部分；光直接放大难；电力传输困难；光纤质地脆、机械强度低，弯曲半径不宜太小；对切断、连接技术要求比较高；分路、耦合比较麻烦等。

光缆是利用置于包覆护套中的一根或多根光纤作为传输媒质并可以单独或成组使用的通信线缆组件，如图 1.9 所示。光缆一般由缆芯、加强钢丝、填充物和护套等几部分组成，另外根据需要还有防水层、缓冲层、绝缘金属导线等构件，如图 1.10 所示。



二维码 1.9

光纤和光缆结构 动画



图 1.9 光缆外形图



图 1.10 光缆结构图

1.4.3 无源光器件

无源光器件是除光源器件、光检波器件之外不需要电源的光通路部件。无源光器件可分为连接用的部件和功能性部件两大类。连接用的部件有各种光连接器，用作光纤和光纤、部件（设备）和光纤、或部件（设备）和部件（设备）的连接。

FC 型光纤连接器：一般在 ODF 侧采用（配线架上用得最多）；SC 型光纤连接器：连接 GBIC 光模块或普通光纤收发器的连接器，路由器交换机上用得最多；LC 型光纤连接器：连接 SFP 模块的连接器，路由器常用；ST 型光纤连接器：常用于光纤配线架；MT-RJ 型光纤连接器：连接光收发信机，主要用于数据传输。

功能性部件有分路器、耦合器、光合波分波器、光衰减器、光开关和光隔离器等，用于光的分路、耦合、复用、衰减等方面。

1.4.4 光传输设备

光传输设备就是把各种各样的信号转换成光信号在光纤上传输的设备。常用的光传输设备有：光端机，光 MODEM，光纤收发器，光交换机，PDH，SDH、PTN 等类型的设备。一般而言，光传输设备都有传输距离较远、信号不容易丢失、波形不容易失真等特点，可用于各种场所，所以越来越多场所都使用光传输设备代替传统设备。如图 1.11 所示，传输网的拓扑结构为环形，环中节点为光传输设备，由网管中心管理。

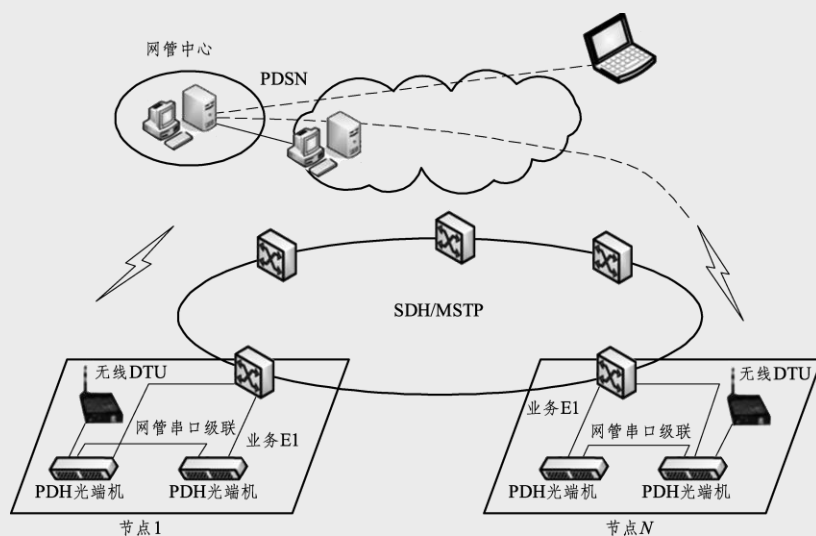


图 1.11 传输网结构示意图



二维码 1.11
铁路传输系统 习题



二维码 1.10
无源光器件 图片