



小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材

# 通信与广电工程

小型建设工程施工项目负责人  
岗位培训教材编写委员会 编写

中国建筑工业出版社

小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材

# 通信与广电工程

小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材编写委员会 编写

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通信与广电工程/小型建设工程施工项目负责人岗位培  
训教材编写委员会编写. —北京: 中国建筑工业出版社,  
2013. 8

小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材

ISBN 978-7-112-15578-1

I. ①通… II. ①小… III. ①通信工程-工程施工-岗  
位培训-教材②电视广播系统-工程施工-岗位培训-教材  
IV. ①TN91②TN94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 143044 号

本书是《小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材》中的一本, 是通信与广电工程专业小型建设工程施工项目负责人参加岗位培训的参考教材。全书共分 6 章, 包括通信与广电工程专业技术、通信与广电工程施工技术、通信与广电工程项目施工相关法规与标准、通信与广电工程项目施工管理、通信与广电工程项目施工管理案例、注册建造师相关制度介绍等。本书可供通信与广电工程专业小型建设工程施工项目负责人作为岗位培训参考教材, 也可供通信与广电工程专业相关技术人员和管理人员参考使用。

\* \* \*

责任编辑: 刘 江 岳建光 万 李  
责任设计: 张 虹  
责任校对: 党 蕾 王雪竹



小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材  
通信与广电工程

小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材编写委员会 编写

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)  
各地新华书店、建筑书店经销  
北京科地亚盟排版公司制版  
河北省零五印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21 字数: 510 千字

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-15578-1  
(24164)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材

## 编写委员会

主 编：缪长江

编 委：（按姓氏笔画排序）

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 王 莹 | 王晓峥 | 王海滨 | 王雪青 |
| 王清训 | 史汉星 | 冯桂烜 | 成 银 |
| 刘伊生 | 刘雪迎 | 孙继德 | 李启明 |
| 杨卫东 | 何孝贵 | 张云富 | 庞南生 |
| 贺 铭 | 高尔新 | 唐江华 | 潘名先 |

# 序

为了加强建设工程施工管理，提高工程管理专业人员素质，保证工程质量和施工安全，建设部会同有关部门自 2002 年以来陆续颁布了《建造师执业资格制度暂行规定》、《注册建造师管理规定》、《注册建造师执业工程规模标准》（试行）、《注册建造师施工管理签章文件目录》（试行）、《注册建造师执业管理办法》（试行）等一系列文件，对从事建设工程项目总承包及施工管理的专业技术人员实行建造师执业资格制度。

《注册建造师执业管理办法》（试行）第五条规定：各专业大、中、小型工程分类标准按《注册建造师执业工程规模标准》（试行）执行；第二十八条规定：小型工程施工项目负责人任职条件和小型工程管理办法由各省、自治区、直辖市人民政府建设行政主管部门会同有关部门根据本地实际情况规定。该文件对小型工程的管理工作做出了总体部署，但目前我国小型建设工程还未形成一个有效、系统的管理体系，尤其是对于小型建设工程施工项目负责人的管理仍是一项空白，为此，本套培训教材编写委员会组织全国具有丰富理论和实践经验的专家、学者以及工程技术人员，编写了《小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材》（以下简称《培训教材》），力求能够提高小型建设工程施工项目负责人的素质；缓解“小工程、大事故”的矛盾；帮助地方建立小型工程管理体系；完善和补充建造师执业资格制度体系。

本套《培训教材》共 17 册，分别为《建设工程施工管理》、《建设工程施工技术》、《建设工程施工成本管理》、《建设工程法规及相关知识》、《房屋建筑工程》、《农村公路工程》、《铁路工程》、《港口与航道工程》、《水利水电工程》、《电力工程》、《矿山工程》、《冶炼工程》、《石油化工工程》、《市政公用工程》、《通信与广电工程》、《机电安装工程》、《装饰装修工程》。其中《建设工程施工成本管理》、《建设工程法规及相关知识》、《建设工程施工管理》、《建设工程施工技术》为综合科目，其余专业分册按照《注册建造师执业工程规模标准》（试行）来划分。本套《培训教材》可供相关专业小型建设工程施工项目负责人作为岗位培训参考教材，也可供相关专业相关技术人员和管理人员参考使用。

对参与本套《培训教材》编写的大专院校、行政管理、行业协会和施工企业的专家和学者，表示衷心感谢。

在《培训教材》的编写过程中，虽经反复推敲核证，仍难免有不妥甚至疏漏之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

小型建设工程施工项目负责人岗位培训教材编写委员会

2013 年 9 月

# 《通信与广电工程》

## 编写小组

组    长：王  莹

编写人员：李书森    冯  璞    张  毅    刘天明

侯明生    董春光    王开全    齐玉亮

李新瑞    孙柯林    方晓光    郑蜀光

李  新

# 前 言

本书由通信行业富有技术和管理实践经验的专家，依据《注册建造师执业工程规模标准》（试行）中通信与广电工程专业小型工程涉及的内容编写而成。

本书运用建设工程法规及相关知识，建设工程施工管理的理论和方法阐述了从事通信与广电工程小型工程管理所应具备的相关知识，内容包括专业技术、施工技术、专业施工管理、专业施工管理案例、注册建造师相关制度介绍等。本书可供通信与广电工程专业小型建设工程施工项目负责人作为岗位培训参考教材，也可供通信与广电工程专业相关技术人员和管理人员参考使用。

由于时间和水平所限，书中难免存在不妥和疏漏之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以便进一步修改完善。

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 通信与广电工程专业技术     | 1  |
| 1.1 通信网               | 1  |
| 1.1.1 通信网及其构成要素       | 1  |
| 1.1.2 通信传送网           | 3  |
| 1.1.3 业务网             | 7  |
| 1.1.4 支撑网             | 9  |
| 1.1.5 通信技术的发展趋势       | 10 |
| 1.2 光传输系统             | 14 |
| 1.2.1 光纤通信系统的构成       | 14 |
| 1.2.2 SDH 设备的构成及功能    | 17 |
| 1.2.3 DWDM 设备的构成及功能   | 20 |
| 1.3 移动通信系统            | 23 |
| 1.3.1 移动通信系统的构成       | 23 |
| 1.3.2 CDMA 和 GSM 网络特点 | 27 |
| 1.3.3 3G 网络特点         | 30 |
| 1.4 交换系统              | 33 |
| 1.4.1 交换系统分类及特点       | 33 |
| 1.4.2 电路交换设备的功能及构成    | 36 |
| 1.4.3 分组交换技术的应用及特点    | 39 |
| 1.5 其他通信网络技术          | 42 |
| 1.5.1 用户接入网类型及应用      | 42 |
| 1.5.2 计算机网络           | 45 |
| 1.5.3 综合布线系统          | 47 |
| 1.5.4 物联网技术及应用        | 48 |
| 1.6 通信电源系统            | 51 |
| 1.6.1 通信电源系统的要求及供电方式  | 51 |
| 1.6.2 通信电源系统的组成及功能    | 52 |
| 1.6.3 蓄电池的充放电特性       | 54 |
| 1.6.4 通信用太阳能供电系统      | 55 |
| 1.7 光（电）缆特点及应用        | 57 |
| 1.7.1 单模和多模光纤的特点和应用   | 57 |
| 1.7.2 光缆的分类及特点        | 61 |
| 1.7.3 通信电缆的分类及特点      | 64 |
| 1.8 广播电视系统            | 69 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| 1.8.1 广播电视技术 .....           | 69        |
| 1.8.2 广播电视系统组成及特点 .....      | 71        |
| 1.9 广播电视中心关键技术 .....         | 74        |
| 1.9.1 广播中心技术和电视中心技术 .....    | 74        |
| 1.9.2 广播声学技术 .....           | 79        |
| 1.9.3 演播室灯光技术 .....          | 81        |
| 1.10 广播电视传输系统 .....          | 83        |
| 1.10.1 广播电视无线发射技术 .....      | 83        |
| 1.10.2 广播电视有线传输技术 .....      | 86        |
| 1.10.3 广播电视卫星传输技术 .....      | 88        |
| <b>第2章 通信与广电工程施工技术 .....</b> | <b>91</b> |
| 2.1 机房设备及天馈线安装要求 .....       | 91        |
| 2.1.1 机房设备安装的工艺要求 .....      | 91        |
| 2.1.2 机房设备的抗震防雷接地及环境要求 ..... | 94        |
| 2.1.3 天馈线系统的安装要求 .....       | 97        |
| 2.2 传输和交换系统的测试 .....         | 100       |
| 2.2.1 传输系统的测试 .....          | 100       |
| 2.2.2 交换系统的测试 .....          | 105       |
| 2.3 移动通信系统的测试和优化 .....       | 107       |
| 2.3.1 移动通信系统的测试内容 .....      | 107       |
| 2.3.2 移动通信系统的网络优化要求 .....    | 110       |
| 2.4 通信电源施工技术 .....           | 112       |
| 2.4.1 电源施工安装工艺和技术要求 .....    | 112       |
| 2.4.2 电源系统加电检验和电池充放电要求 ..... | 116       |
| 2.5 通信线路施工技术 .....           | 119       |
| 2.5.1 线路工程施工通用技术 .....       | 119       |
| 2.5.2 架空线路工程施工技术 .....       | 122       |
| 2.5.3 直埋线路工程施工技术 .....       | 124       |
| 2.5.4 管道线路工程施工技术 .....       | 126       |
| 2.5.5 综合布线工程施工技术 .....       | 127       |
| 2.5.6 气流敷设光缆技术 .....         | 129       |
| 2.6 通信管道施工技术 .....           | 132       |
| 2.6.1 通信管道施工技术 .....         | 132       |
| 2.6.2 人(手)孔与通道施工技术 .....     | 135       |
| 2.7 广播电视专业工程施工技术 .....       | 138       |
| 2.7.1 广播电视发射工程施工技术 .....     | 138       |
| 2.7.2 广播电视卫星传输工程施工技术 .....   | 147       |
| 2.7.3 广播电视有线传输工程施工技术 .....   | 149       |
| 2.7.4 广播电视建筑声学施工技术 .....     | 151       |

|            |                                     |            |
|------------|-------------------------------------|------------|
| 2.7.5      | 演播室灯光施工技术                           | 158        |
| 2.7.6      | 广播电视工程供配电要求                         | 161        |
| <b>第3章</b> | <b>通信与广电工程项目施工相关法规与标准</b>           | <b>163</b> |
| 3.1        | 通信设施安全管理的有关规定                       | 163        |
| 3.1.1      | 通信建设管理的有关规定                         | 163        |
| 3.1.2      | 保证通信网络及信息安全的规定                      | 164        |
| 3.1.3      | 保证电信设施安全的规定                         | 169        |
| 3.1.4      | 电信建设工程违规处罚的规定                       | 171        |
| 3.1.5      | 施工企业安全生产相关人员管理的规定                   | 172        |
| 3.2        | 通信建设工程违规处罚规定中与当事人有关的内容              | 175        |
| 3.2.1      | 通信行政处罚原则及处罚程序                       | 175        |
| 3.2.2      | 通信建设工程质量事故的处罚规定                     | 179        |
| 3.3        | 广播电视工程建设管理规定                        | 180        |
| 3.3.1      | 国家《广播电视管理条例》和《广播电视设施保护条例》中有关工程建设的规定 | 180        |
| 3.3.2      | 广播电视施工企业资质等级的规定                     | 182        |
| 3.3.3      | 广播电视工程建设行业管理规定                      | 183        |
| 3.4        | 通信工程项目建设和试运行阶段环境保护规定                | 185        |
| 3.4.1      | 通信工程项目建设和试运行阶段环境保护的要求               | 185        |
| 3.4.2      | 通信工程项目建设和试运行阶段相关环境保护标准              | 189        |
| 3.5        | 通信工程建设标准                            | 191        |
| 3.5.1      | 通信工程防雷接地及强电防护要求                     | 191        |
| 3.5.2      | 通信工程相关专业要求                          | 193        |
| 3.5.3      | 通信网络及设施安全要求                         | 199        |
| 3.5.4      | 通信工程抗震防灾要求                          | 206        |
| 3.5.5      | 通信工程环境保护要求                          | 209        |
| 3.6        | 广播电视项目建设标准                          | 210        |
| 3.6.1      | 广播电视建设项目抗震和环境保护要求                   | 210        |
| 3.6.2      | 广播电视建设项目接地和防雷要求                     | 213        |
| <b>第4章</b> | <b>通信与广电工程项目施工管理</b>                | <b>215</b> |
| 4.1        | 通信建设工程造价管理                          | 215        |
| 4.1.1      | 通信工程概预算定额                           | 215        |
| 4.1.2      | 通信工程费用定额                            | 216        |
| 4.1.3      | 通信工程概预算的编制                          | 223        |
| 4.1.4      | 通信工程价款的结算内容                         | 225        |
| 4.2        | 通信与广电工程施工组织设计编制                     | 229        |
| 4.2.1      | 通信设备安装工程施工组织设计编制                    | 229        |
| 4.2.2      | 通信线路工程施工组织设计编制                      | 232        |
| 4.2.3      | 广播电视工程施工组织设计编制                      | 236        |
| 4.3        | 通信工程施工准备                            | 239        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 4.3.1 通信工程施工的现场准备 .....          | 239 |
| 4.3.2 通信工程施工的技术准备 .....          | 241 |
| 4.4 通信与广电工程项目施工现场管理 .....        | 244 |
| 4.4.1 施工现场管理要求 .....             | 244 |
| 4.4.2 施工现场环境因素识别与控制 .....        | 246 |
| 4.5 通信与广电工程项目施工安全管理 .....        | 251 |
| 4.5.1 施工安全管理要求 .....             | 251 |
| 4.5.2 施工阶段危险源辨识与风险控制 .....       | 259 |
| 4.5.3 应急预案编制及事故的分析处理 .....       | 266 |
| 4.6 通信与广电工程项目施工质量管理 .....        | 269 |
| 4.6.1 施工单位质量行为的规范规定 .....        | 269 |
| 4.6.2 施工重要过程的控制 .....            | 271 |
| 4.6.3 施工质量事故的防范 .....            | 274 |
| 4.6.4 质量事故产生的原因及特点 .....         | 277 |
| 4.7 通信建设工程竣工验收的有关管理规定 .....      | 278 |
| 4.7.1 竣工资料的收集和编制 .....           | 278 |
| 4.7.2 随工验收和部分验收 .....            | 281 |
| 4.7.3 竣工验收的组织及备案工作要求 .....       | 283 |
| 4.7.4 质量保修服务和管理 .....            | 286 |
| 4.8 通信工程监理及质量监督 .....            | 288 |
| 4.8.1 监理项目划分及监理工作内容和方法 .....     | 288 |
| 4.8.2 质量监督机构设置和管理职责 .....        | 291 |
| 4.8.3 质量监督的内容及程序 .....           | 292 |
| <b>第5章 通信与广电工程项目施工管理案例</b> ..... | 296 |
| 5.1 直埋光缆线路工程 .....               | 296 |
| 5.2 架空光缆线路工程 .....               | 299 |
| 5.3 管道光缆线路工程 .....               | 301 |
| 5.4 传输设备安装工程 .....               | 304 |
| 5.5 移动通信基站工程 .....               | 306 |
| 5.6 通信管道工程 .....                 | 307 |
| 5.7 通信电源工程 .....                 | 309 |
| 5.8 发射台天线系统安装工程 .....            | 310 |
| <b>第6章 注册建造师相关制度介绍</b> .....     | 314 |
| 6.1 通信与广电工程注册建造师执业工程范围解读 .....   | 314 |
| 6.2 通信与广电工程注册建造师执业工程规模标准解读 ..... | 316 |
| 6.3 通信与广电工程注册建造师工程执业签章文件解读 ..... | 318 |

# 第 1 章 通信与广电工程专业技术

## 1.1 通信网

### 1.1.1 通信网及其构成要素

#### 1.1.1.1 通信网的作用

通信网是由一定数量的节点（包括终端节点、交换节点）和连接这些节点的传输系统有机地组织在一起，按约定的信令或协议完成任意用户间信息交换的通信体系。用户使用它可以克服空间、时间等障碍来进行有效的信息交换。

通信网上任意两个用户间、设备间或一个用户和一个设备间均可进行信息的交换。交换的信息包括用户信息（如语音、数据、图像等）、控制信息（如信令信息、路由信息等）和网络管理信息三类。

#### 1.1.1.2 通信网的构成要素

实际的通信网是由软件和硬件按特定方式构成的一个通信系统，每一次通信都需要软硬件设施的协调配合来完成。从硬件构成来看，通信网由终端节点、交换节点、业务节点和传输系统构成，它们完成通信网的基本功能：接入、交换和传输。软件设施则包括信令、协议、控制、管理、计费等，它们主要完成通信网的控制、管理、运营和维护，实现通信网的智能化。

##### 1. 终端节点

最常见的终端节点有电话机、传真机、计算机、视频终端、智能终端和 PBX。其主要功能有：

（1）用户信息的处理：主要包括用户信息的发送和接收，将用户信息转换成适合传输系统传输的信号以及相应的反变换。

（2）信令信息的处理：主要包括产生和识别连接建立、业务管理等所需的控制信息。

##### 2. 交换节点

交换节点是通信网的核心设备，最常见的有电话交换机、分组交换机、路由器、转发器等。交换节点负责集中、转发终端节点产生的用户信息，但它自己并不产生和使用这些信息。其主要功能有：

（1）用户业务的集中和接入功能，通常由各类用户接口和中继接口组成。

（2）交换功能，通常由交换矩阵完成任意入线到出线的数据交换。

（3）信令功能，负责呼叫控制和连接的建立、监视、释放等。

（4）其他控制功能，路由信息的更新和维护、计费、话务统计、维护管理等。

##### 3. 业务节点

最常见的业务节点有智能网中的业务控制节点（SCP）、智能外设、语音信箱系统，

以及 Internet 上的各种信息服务器等。它们通常由连接到通信网络边缘的计算机系统、数据库系统组成。其主要功能是：

- (1) 实现独立于交换节点的业务执行和控制。
- (2) 实现对交换节点呼叫建立的控制。
- (3) 为用户提供智能化、个性化、有差异的服务。

#### 4. 传输系统

传输系统为信息的传输提供传输信道，并将网络节点连接在一起。其硬件组成应包括：线路接口设备、传输媒介、交叉连接设备等。

传输系统一个主要的设计目标就是提高物理线路的使用效率，因此通常都采用了多路复用技术，如频分复用、时分复用、波分复用等。

### 1.1.1.3 通信网的基本结构

任何通信网络都具有信息传送、信息处理、信令机制、网络管理功能。因此，从功能的角度看，一个完整的现代通信网可分为相互依存的三部分：业务网、传送网、支撑网。

#### 1. 业务网

业务网负责向用户提供各种通信业务，如基本语音、数据、多媒体、租用线、VPN 等，构成一个业务网的主要技术要素包括网络拓扑结构、交换节点设备、编号计划、信令技术、路由选择、业务类型、计费方式、服务性能保证机制等，其中交换节点设备是构成业务网的核心要素。采用不同交换技术的交换节点设备通过传送网互连在一起就形成了不同类型的业务网。

#### 2. 传送网

传送网独立于具体业务网，负责按需为交换节点/业务节点之间的互连分配电路，为节点之间信息传递提供透明传输通道，它还具有电路调度、网络性能监视、故障切换等相应的管理功能。构成传送网的主要技术要素有：传输介质、复用体制、传送网节点技术等。

传送网节点也具有交换功能。传送网节点的基本交换单位本质上是面向一个中继方向的，因此粒度很大，例如 SDH 中基本的交换单位是一个虚容器（最小是 2Mb/s），而在光传送网中基本的交换单位则是一个波长（目前骨干网上至少是 2.5Gb/s）。传送网节点之间的连接则主要是通过管理层面来指配建立或释放的，每一个连接需要长期维持和相对固定。

#### 3. 支撑网

支撑网负责提供业务网正常运行所必需的信令、同步、网络管理、业务管理、运营管理等功能，以提供用户满意的服务质量。支撑网包含同步网、信令网、管理网三部分。

同步网处于数字通信网的最底层，负责实现网络节点设备之间和节点设备与传输设备之间信号的时钟同步、帧同步以及全网的网同步，保证地理位置分散的物理设备之间数字信号的正确接收和发送。

信令网在逻辑上独立于业务网，它负责在网络节点之间传送业务相关或无关的控制信息流。

管理网的主要目标是通过实时和近实时监视业务网的运行情况，采取各种控制和管理手段，充分利用网络资源，保证通信的服务质量。

#### 1.1.1.4 通信网的类型及拓扑结构

##### 1. 通信网的类型

通信网按业务类型可分为电话通信网（如 PSTN、移动通信网等）、数据通信网（如 X.25、Internet、帧中继网等）、广播电视网等；按空间距离和覆盖范围分，可分为广域网、城域网和局域网；按信号传输方式分，可分为模拟通信网和数字通信网；按运营方式分，可分为公用通信网和专用通信网；按通信的终端分，可分为固定网和移动网。

##### 2. 通信网的拓扑结构

在通信网中，所谓拓扑结构是指构成通信网的节点之间的互连方式。基本的拓扑结构有：网状网、星形网、环形网、总线型网、复合型网等。

网状网是一种完全互连的网，网内任意两节点间均由直达线路连接， $N$  个节点的网络需要  $N(N-1)/2$  条传输链路。其优点是线路冗余度大，网络可靠性高，任意两点间可直接通信；缺点是线路利用率低，网络成本高，另外网络的扩容也不方便，每增加一个节点，就需增加  $N$  条线路。网状结构通常用于节点数目少，又有很高可靠性要求的场合。

星形网又称辐射网，与网状网相比，增加了一个中心转接节点，其他节点都与转接节点有线路相连。 $N$  个节点的星形网需要  $N-1$  条传输链路。其优点是降低了传输链路的成本，提高了线路的利用率；缺点是网络的可靠性差，一旦中心转接节点发生故障或转接能力不足时，全网的通信都会受到影响。通常在传输链路费用高于转接设备、可靠性要求又不高的场合，可以采用星形结构，以降低建网成本。

环形网中所有节点首尾相连，组成一个环。 $N$  个节点的环网需要  $N$  条传输链路。环网可以是单向环，也可以是双向环。该网的优点是结构简单，容易实现，双向自愈环结构可以对网络进行自动保护；缺点是节点数较多时转接时延无法控制，并且环形结构不好扩容。环形结构目前主要用于计算机局域网、光纤接入网、城域网、光传输网等网络中。

总线型网属于共享传输介质型网络，总线型网中的所有节点都连至一个公共的总线上，任何时候只允许一个用户占用总线发送或接送数据。该结构的优点是需要的传输链路少，节点间通信无需转接节点，控制方式简单，增减节点也很方便；缺点是网络服务性能的稳定性差，节点数目不宜过多，网络覆盖范围也较小。总线结构主要用于计算机局域网、电信接入网等网络中。

复合型网是由网状网和星形网复合而成的。它以星形网为基础，在业务量较大的转接交换中心之间采用网状网结构，因而整个网络结构比较经济，且稳定性较好。目前在规模较大的局域网和电信骨干网中广泛采用分级的复合型网络结构。

#### 1.1.2 通信传送网

传送网为各类业务网提供业务信息传送手段，负责将节点连接起来，并提供任意两点之间信息的透明传输，同时也完成带宽的调度管理、故障的自动切换保护等管理维护功能。由传输线路、传输设备组成的传送网络也称之为基础网。

##### 1.1.2.1 传输介质

传输介质是指信号传输的物理通道。任何信息在实际传输时都会被转换成电信号或光信号的形式在传输介质中传播，信息能否成功传输则依赖于两个因素：传输信号本身的质

量和传输介质的特性。

传输介质分为有线介质和无线介质两大类，在有线介质中，电磁波信号会沿着有形的固体介质传输，有线介质目前常用的有双绞线、同轴电缆和光纤；在无线介质中，电磁波信号通过地球外部的大气或外层空间进行传输，大气或外层空间并不对信号本身进行制导，因此可认为是在自由空间传输。无线传输常用的电磁波段主要有无线电、微波、红外线等。

### 1.1.2.2 多路复用技术

按信号在传输介质上的复用方式的不同，传输系统可分为四类：基带传输系统、频分复用（FDM）传输系统、时分复用（TDM）传输系统和波分复用（WDM）传输系统。

#### 1. 基带传输系统

基带传输是在短距离内直接在传输介质传输模拟基带信号。在传统电话用户线上采用该方式。基带传输的优点是线路设备简单，在局域网中广泛使用；缺点是传输媒介的带宽利用率不高，不适于在长途线路上使用。

#### 2. 频分复用传输系统

频分复用（FDM）是将多路信号经过高频载波信号调制后在同一介质上传输的复用技术。每路信号要调制到不同的载波频段上，且各频段保持一定的间隔，这样各路信号通过占用同一介质不同的频带实现了复用。

FDM 传输系统主要的缺点是：传输的是模拟信号，需要模拟的调制解调设备，成本高且体积大；由于难以集成，故工作的稳定度不高；由于计算机难以直接处理模拟信号，导致在传输链路和节点之间有过多的模数转换，从而影响传输质量。目前 FDM 技术主要用于微波链路和铜线介质上，在光纤介质上该方式更习惯被称为波分复用。

#### 3. 时分复用传输系统

时分复用（TDM）是将模拟信号经过 PCM 调制后变为数字信号，然后进行时分多路复用的技术。TDM 中多路信号以时分的方式共享一条传输介质，每路信号在属于自己的时间片中占用传输介质的全部带宽。

相对于频分复用传输系统，时分复用传输系统可以利用数字技术的全部优点：差错率低，安全性好，数字电路高度集成，以及更高的带宽利用率。目前主要有两种时分数字传输体制，即准同步数字体系（PDH）和同步数字体系（SDH）。

#### 4. 波分复用传输系统

波分复用（WDM）本质上是光域上的频分复用技术。WDM 将光纤的低损耗窗口划分成若干个信道，每一信道占用不同的光波频率（或波长），在发送端采用波分复用器（合波器）将不同波长的光载波信号合并起来送入一根光纤进行传输。在接收端，再由波分复用器（分波器）将这些由不同波长光载波信号组成的光信号分离开来。由于不同波长的光载波信号可以看做是互相独立的（不考虑光纤非线性时），在一根光纤中可实现多路光信号的复用传输。

一个 WDM 系统可以承载多种格式的“业务”信号，如 ATM、IP、TDM 或者将来有可能出现的信号。WDM 系统完成的是透明传输，对于业务层信号来说，WDM 的每个波长与一条物理光纤没有分别；WDM 是网络扩容的理想手段。

### 1.1.2.3 SDH 传送网

#### 1. 特点

SDH 传送网是一种以同步时分复用和光纤技术为核心的传送网结构，它由分插复用、交叉连接、信号再生放大等网元设备组成，具有容量大、对承载信号语义透明以及在通道层上实现保护和路由的功能。

(1) SDH 是一个独立于各类业务网的业务公共传送平台，具有强大的网络管理功能。

(2) SDH 采用同步复用和灵活的复用映射结构；有全球统一的网络节点接口，使得不同厂商设备间信号的互通、信号的复用、交叉链接和交换过程得到简化。

(3) SDH 主要有如下优点：标准统一的光接口；强大的网管功能。

#### 2. 帧结构

SDH 帧结构是实现 SDH 网络功能的基础，便于实现支路信号的同步复用、交叉连接和 SDH 层的交换，同时使支路信号在一帧内的分布是均匀的、有规则的和可控的，以利于其上、下电路。

(1) SDH 帧结构以  $125\mu\text{s}$  为帧同步周期，并采用了字节间插、指针、虚容器等关键技术。SDH 系统中的基本传输速率是 STM-1，其他高阶信号速率均由 STM-1 的整数倍构造而成。

(2) 每个 STM 帧由段开销 (SOH)、管理单元指针 (AU-PTR) 和 STM 净负荷三部分组成，段开销用于 SDH 传输网的运行、维护、管理和指配 (OAM&P)，它又分为再生段开销 (Regenerator SOH) 和复用段开销 (Multiplexer SOH)。段开销是保证 STM 净负荷正常灵活地传送必须附加的开销。

(3) STM 净负荷是存放要通过 STM 帧传送的各种业务信息的地方，它也包含少量用于通道性能监视、管理和控制的通道开销 (POH)。

(4) 管理单元指针 AU-PTR 则用于指示 STM 净负荷中的第一个字节在 STM-N 帧内的起始位置，以便接收端可以正确分离 STM 净负荷。

### 1.1.2.4 光传送网 (OTN)

#### 1. 光传送网特点

光传送网 (OTN) 是一种以 DWDM 与光通道技术为核心的新型传送网结构，它由光分插复用、光交叉连接、光放大等网元设备组成，具有超大容量、对承载信号语义透明及在光层面上实现保护和路由的功能。

(1) DWDM 技术可以不断提高现有光纤的复用度，在最大限度利用现有设施的基础上，满足用户对带宽持续增长的需求；DWDM 技术独立于具体的业务，同一根光纤的不同波长上接口速率和数据格式相互独立，可以在一个 OTN 上支持多种业务。

(2) OTN 可以保持与现有 SDH 网络的兼容性；SDH 系统只能管理一根光纤中的单波长传输，而 OTN 系统既能管理单波长，也能管理每根光纤中的所有波长；随着光纤的容量越来越大，采用基于光层的故障恢复比电层更快、更经济。

#### 2. OTN 的分层结构

OTN 是在传统 SDH 网络中引入光层发展而来的，其分层结构如表 1-1 所示。光层负责传送电层适配到物理媒介层的信息，在 ITU-T G. 872 建议中，它被细分成三个子层，由上至下依次为：光信道层 (OCh)、光复用段层 (OMS)、光传输段层 (OTS)。相邻层

之间遵循 OSI 参考模型定义的上、下层间的服务关系模式。

| OTN 的分层结构   |     |       |     | 表 1-1 |
|-------------|-----|-------|-----|-------|
| IP/MPLS     | PDH | STM-N | GaE | ATM   |
| 光信道层 (OCh)  |     |       |     |       |
| 光复用段层 (OMS) |     |       |     |       |
| 光传输段层 (OTS) |     |       |     |       |

(1) 光信道层负责为来自电复用段层的各种类型的客户信息选择路由、分配波长，为灵活的网络选路安排光信道连接，处理光信道开销，提供光信道层的检测、管理功能，它还支持端到端的光信道（以波长为基本交换单元）连接，在网络发生故障时，执行重选路由或进行保护切换。

(2) 光复用段层保证相邻的两个 DWDM 设备之间的 DWDM 信号的完整传输，为波长复用信号提供网络功能，包括：为支持灵活的多波长网络选路重配置光复用段；为保证 DWDM 光复用段适配信息的完整性进行光复用段开销的处理；光复用段的运行、检测、管理等。

(3) 光传输层为光信号在不同类型的光纤介质上（如 G. 652、G. 655 等）提供传输功能，同时实现对光放大器和光再生中继器的检测和控制。通常会涉及功率均衡问题、EDFA 增益控制、色散的积累和补偿等问题。

3. 网络节点

实现光网络的关键是要在 OTN 节点实现信号在全光域上的交换、复用和选路，目前在 OTN 上的网络节点主要有两类：光分插复用器（OADM）和光交叉连接器（OXC）。

(1) 光分插复用器（OADM）主要是在光域实现传统 SDH 中的 SADM 在时域中实现的功能，包括从传输设备中有选择地下路去往本地的光信号，同时上路本地用户发往其他用户的光信号，而不影响其他波长信号的传输。与 ADM 相比，它更具透明性，可以处理不同格式和速率的信号，大大提高了整个传送网的灵活性。

(2) 光交叉连接器（OXC）的主要功能与传统 SDH 中的 SDXC 在时域中实现的功能类似，不同点在于 OXC 在光域上直接实现了光信号的交叉连接、路由选择、网络恢复等功能，无需进行 OEO 转换和电处理，它是构成 OTN 的核心设备。

1.1.2.5 自动交换光网络 (ASON)

ASON 即自动交换光网络，是一种由用户动态发起业务请求，自动选路，并由信令控制实现连接的建立、拆除，能自动、动态完成网络连接，融交换、传送为一体的新一代光网络。ASON 的基本设想是在光传送网中引入控制平面，以实现网络资源的按需分配从而实现光网络的智能化。

1. ASON 的特点

ASON 相对传统 SDH 具备以下特点：

- (1) 支持端到端的业务自动配置；
- (2) 支持拓扑自动发现；
- (3) 支持 Mesh 组网保护，增强了网络的可生存性；
- (4) 支持差异化服务，根据客户层信号的业务等级决定所需要的保护等级；