

# 《IP 及传输新技术课程》课程大纲

## 壹、 课程主要内容介绍：

本培训课程主要讲授 IP 及传输新技术，**传输新技术**主要讲授为满足 5G 承载要求而采用的新的切片分组传输新技术-SPN，5G 前传新技术主要讲授半有源前传 MWDWDM 新技术；WDM/OTN 传输新技术主要讲授 400G WDM/OTN 高速光传输新技术。**IP/MPLS 新技术**主要讲授为满足 5G 承载要求而采用的新的 IP/MPLS 新技术及增强技术。

**传输新技术包括：**5G 承载关键接口技术与协议、超大带宽传输-新的光接口与光模块技术、传输网网络切片与低时延技术-FlexE 技术、灵活组网与连接技术-面向传输的分段路由 SR-TP 技术、传输网统一管控技术-软件定义网络 SDN、传输网高精度时间同步-eClockSync 技术、SPN 网络保护新技术、SPN 网络运维管理 OAM 新技术、5G 前传新技术、400G WDM/OTN 高速光传输新技术等。

**IP/MPLS 新技术包括：**IP 路由新技术及增强技术-分段路由转发-SR-TP 技术，IP 隧道新技术-SRTP-TE 与 SRTP-BE 技术；MPLS 新技术及增强技术：MPLS-L2 VPN 与 L3 VPN 新技术、MPLS-TP 隧道新技术等；IP/MPLS 保护新技术及增强技术：任意拓扑 SRTP-BE 保护、VPN FRR 保护、用户侧 LAG 保护，IP/MPLS 运维管理 OAM 新技术：MPLS-TP OAM、SRTP OAM、SRTP-TE OAM 等。

## 贰、 课程内容组织架构：

本课程采用模块化教学方法，总体架构主要包括以下 5 个教学模块：

模块一：5G 承载新技术-SPN 的关键技术与应用

模块二：5G 前传新技术-半有源前传 MWDWDM 技术

模块三：IP 新技术-IP 新技术及在传输网中的应用

模块四：MPLS-MPLS 新技术及在传输网中的应用

模块五：高速传输-400G WDM/OTN 技术与应用

## 参、 培训对象：

传送网、接入网、数据通信、无线通信等部门相关技术人员、工程建设相关人员等。

## 肆、 培训时间：3 天/期，每天 6 小时

## 伍、 课程详细大纲：

### 模块一：5G 承载新技术-SPN 的关键技术与应用

**本模块主要讲授：**5G 承载关键接口技术与协议、超大带宽传输-新的光接口与光模块技术、传输网网络切片与低时延技术-FlexE 技术、灵活组网与连接技术-面向传输的分段路由 SR-TP 技术、传输网统一管控技术-软件定义网络 SDN、传输网高精度时间同步-eClockSync 技术、SPN 网络保护新技术、SPN 网络运维管理 OAM 新技术等。

### 1. SPN 的基本概念与技术特点

#### 1.1 SPN 的基本概念

- 1.2SPN 技术的关键特征**
- 1.3SPN 的目标与要求**
  - 1.3.1 带宽要求**
  - 1.3.2 时延要求**
  - 1.3.3 分片要求**
  - 1.3.4 管控要求**
  - 1.3.5 同步要求**
- 1.4SPN 技术的标准与规范**
- 1.5SPN 与 PTN 技术的比较**
- 1.6SPN 与 SPTN 技术的比较**
- 1.7SPN 在 5G 承载网组网中的应用**
- 2. SPN 的分层网络架构与功能描述 (垂直分层)**
  - 2.1SPN 网络总体架构概述**
  - 2.2SPN 的分层网络架构**
    - 2.2.1 切片分组层 (SPL)**
    - 2.2.2 切片通道层 (SCL)**
    - 2.2.3 切片传送层 (STL)**
  - 2.3切片分组层功能描述**
    - 2.3.1 切片分组层的功能-分组数据路由处理**
    - 2.3.2 SR-TP 功能及实现**
    - 2.3.3 双向 SR-TP 隧道**
    - 2.3.4 面向连接与无连接管道**
    - 2.3.5 面向连接 OAM**
    - 2.3.6 业务与网络解耦**
    - 2.3.7 基于 SDN 实现 L3VPN**
    - 2.3.8 集中式路由控制**
  - 2.4切片通道层功能描述**
    - 2.4.1 切片通道层功能-切片以太网通道组网处理**
    - 2.4.2 端到端切片通道 L1 组网-SC : SPN Channel**
    - 2.4.3 以太网 L1 通道化交叉技术-EXC : Ethernet Cross Connect**
    - 2.4.4 SPN ChannelOAM 功能-SCO : SPN Channel Overhead**

- 2.5 切片传送层功能描述**
  - 2.5.1 切片传送层功能**
  - 2.5.2 切片物理层编解码**
  - 2.5.3 DWDM 光传送处理**
- 3. 基于 SDN 统一控制的 SPN 分层架构 (垂直分层)**
  - 3.1 业务协同层**
    - 3.1.1 SDN 编排器 : SDN-O**
    - 3.1.2 NFV 编排器 : NFV-O**
  - 3.2 网络控制层**
    - 3.2.1 超级控制器**
    - 3.2.2 域控制器 (管控融合)**
  - 3.3 设备转发层**
    - 3.3.1 接入层**
    - 3.3.2 汇聚层**
    - 3.3.3 核心层**
    - 3.3.4 骨干层**
- 4. SPN 网络端到端组网解决方案 (水平分割)**
  - 4.1 接入层组网方案**
  - 4.2 汇聚层组网方案**
  - 4.3 核心层组网方案**
  - 4.4 骨干层组网方案**
  - 4.5 业务接入解决方案**
    - 4.5.1 边缘云 (边缘 DC) 接入**
    - 4.5.2 本地云 (本地 DC) 接入**
    - 4.5.3 中心云 (中心 DC) 接入**
  - 4.6 SPN 与 PTN 互联互通实现 4G/5G 融合组网解决方案**
  - 4.7 SPN 在 5G 承载网组网中的应用**
    - 4.7.1 5G 承载网前传组网方案**
    - 4.7.2 5G 承载网中传组网方案**
    - 4.7.3 5G 承载网回传组网方案**
- 5. SPN 的关键技术原理与应用**

## **5.1 SPN 的关键技术概述**

### **5.1.1 5G 承载关键接口技术与协议**

### **5.1.2 超大带宽传输技术**

### **5.1.3 FlexE 技术（低时延技术）**

### **5.1.4 分段路由 SR 技术（灵活连接技术）**

### **5.1.5 网络分片技术**

### **5.1.6 高精度时间同步（eClockSync）技术**

### **5.1.7 SDN 统一管控技术**

### **5.1.8 网络保护技术**

### **5.1.9 OAM 技术**

## **5.2 5G 承载关键接口技术与协议**

### **5.2.1 SPN 承载网关键接口技术 50G/100G FlexE**

### **5.2.2 eCPRI-25G**

### **5.2.3 Bidi 光模块-25G/50G PAM4 单纤双向模块**

## **5.3 超大带宽传输- SPN 新的光接口与光模块技术**

### **5.3.1 25GE 光接口与光模块**

### **5.3.2 25G 的灰光和彩光模块技术**

### **5.3.3 50GE 光接口与光模块**

### **5.3.4 200GE 光接口与光模块**

## **5.4 FlexE 技术（低时延技术）**

### **5.4.1 FlexE 技术的概念及功能**

### **5.4.2 FlexE 技术的演进与发展**

### **5.4.3 FlexE 技术的标准**

#### **5.4.3.1 IEEE 802.3bs**

#### **5.4.3.2 FlexE2.0**

#### **5.4.3.3 FlexE 支持高速率标准：200GE/400GE**

### **5.4.4 切片以太网 SE-FlexE（灵活以太网）技术**

#### **5.4.4.1 切片以太网要求**

#### **5.4.4.2 FlexE 技术实现网络切片的原理**

#### **5.4.4.3 FlexE 实现 Client 间物理隔离的方法**

### **5.4.5 Shim 时隙交换优化时延**

- 5.5 分段路由 SR 技术（灵活连接技术）**
  - 5.5.1 SPN 中的路由转发功能需求**
  - 5.5.2 基本路由转发与动态路由协议**
  - 5.5.3 动态路由与路由信息交换**
  - 5.5.4 面向传送的分段路由技术-SR-TP**
  - 5.5.5 IP/MPLS-TP over ODUk 技术原理与功能**
  - 5.5.6 SR 的部署方式—集中式部署与分布式部署**
- 5.6 SPN 统一管控技术-软件定义网络 SDN**
  - 5.6.1 SPN 承载网引入 SDN 的必要性**
  - 5.6.2 SDN 的概念及特征**
    - 5.6.2.1 SDN 的定义**
    - 5.6.2.2 SDN 技术的核心特点**
    - 5.6.2.3 SDN 技术的优势**
  - 5.6.3 SDN 网络基本架构及组成**
    - 5.6.3.1 SDN 网络的分层架构**
    - 5.6.3.2 数据转发层及组成**
    - 5.6.3.3 控制层及组成**
    - 5.6.3.4 应用层及组成**
    - 5.6.3.5 SDN 架构的特征分析**
    - 5.6.3.6 SPN 承载网 SDN 应用架构与模型**
  - 5.6.4 SDN 核心技术**
    - 5.6.4.1 交换机及南向接口技术**
    - 5.6.4.2 控制器及北向接口技术**
    - 5.6.4.3 应用编排和资源管理技术**
  - 5.6.5 SDN 实现方案**
    - 5.6.5.1 基于专用接口的方案**
    - 5.6.5.2 基于叠加网络的方案**
    - 5.6.5.3 基于开放协议的方案**
    - 5.6.5.4 SDN 实现方案分析**
  - 5.6.6 SDN 的关键功能部件及功能**
    - 5.6.6.1 SDN 控制器**

#### **5.6.6.2 SDN 协同器**

### **5.6.7 SPN 承载网 SDN 的应用**

#### **5.6.7.1 全局计算**

#### **5.6.7.2 业务配置**

#### **5.6.7.3 保护恢复**

#### **5.6.7.4 资源管理**

## **5.7 高精度时间同步-eClockSync 技术**

### **5.7.1 承载网同步技术演进方向**

### **5.7.2 SPN 承载网端到端同步要求**

### **5.7.3 SPN 承载网同步技术分类**

#### **5.7.3.1 时间同步技术**

#### **5.7.3.2 时钟同步技术**

### **5.7.4 时间同步通用网络模型**

#### **5.7.4.1 时钟源：GNSS 与原子钟**

#### **5.7.4.2 时间服务器**

#### **5.7.4.3 承载网**

#### **5.7.4.4 5G 承载被授时设备**

#### **5.7.4.5 5G 时间同步精度提升要素**

### **5.7.5 时钟同步架构模型及关键要素**

#### **5.7.5.1 eBC 增强型边界时钟**

#### **5.7.5.2 eEEC 增强型同步以太设备时钟**

### **5.7.6 SPN 网络保护技术原理与应用**

#### **5.7.6.1 SPN 承载网网络保护技术方案**

##### **5.7.6.1.1 切片传送层保护技术方案**

##### **5.7.6.1.2 切片通道层保护技术方案**

##### **5.7.6.1.3 切片分组层网络传送子层保护技术方案**

#### **5.7.6.2 切片分组层网络传送子层保护技术原理与应用**

##### **5.7.6.2.1 线性保护技术原理与应用**

##### **5.7.6.2.2 转发面线性保护原理与应用**

##### **5.7.6.2.3 控制面线性保护原理与应用**

##### **5.7.6.2.4 环网保护技术原理与应用**

#### **5.7.6.2.5 任意拓扑 SRTP-BE 保护原理与应用**

### **5.7.6.3 切片分组层客户业务子层保护技术原理与应用**

#### **5.7.6.3.1 VPN FRR 保护技术原理与应用**

#### **5.7.6.3.2 用户侧 LAG 保护技术原理与应用**

### **5.7.7 OAM 技术原理与应用**

#### **5.7.7.1 SPN 承载网 OAM 架构模型**

#### **5.7.7.2 SPN 承载网 OAM 技术方案**

#### **5.7.7.3 OAM 相关协议—Ping、IPFPM**

#### **5.7.7.4 MPLS-TP OAM 技术原理与应用**

#### **5.7.7.5 SRTP OAM 技术原理与应用**

#### **5.7.7.6 SRTP-TE OAM 技术原理与应用**

## **模块二：5G 前传新技术-半有源前传 MWDM 技术**

**本模块主要讲授：**5G 前传新技术-半有源前传 MWDM 技术原理与组网应用。

## **6. 半有源前传 MWDM 技术原理与组网应用**

### **6.1 半有源前传 MWDM 系统组成**

### **6.2 半有源前传 MWDM 系统的技术特征**

#### **6.2.1 整合无源远端灵活性和有源监控管理优势**

#### **6.2.2 远端部署灵**

#### **6.2.3 丰富的光纤监测和故障定位能力大容量**

#### **6.2.4 高性能可靠传输**

### **6.3 半有源前传 MWDM 组网方案分析**

#### **6.3.1 半有源前传 MWDM 组网方案-3~6\*25G P2P 组网**

#### **6.3.2 3~6\*25G P2P 组网方案规格要求**

##### **6.3.2.1 接入能力**

##### **6.3.2.2 链路预算**

##### **6.3.2.3 光层保护**

##### **6.3.2.4 运维能力**

##### **6.3.2.5 集成度**

##### **6.3.2.6 网管能力**

#### **6.3.3 半有源前传 MWDM 系统主要指标描述**

- 6.3.3.1 纤芯数**
- 6.3.3.2 单纤接入容量**
- 6.3.3.3 组网**
- 6.3.3.4 距离**
- 6.3.3.5 保护**
- 6.3.3.6 时延**
- 6.3.3.7 故障**
- 6.3.3.8 定界**
- 6.3.3.9 E2E 设备功耗**
- 6.3.3.10 模块功耗**
- 6.3.3.11 可获得时间**

#### **6.4 半有源前传 MWDM 系统关键技术方案**

- 6.4.1 波长容量翻倍，性能优化满足 10KM 线路 9dB 预算技术方案**
- 6.4.2 模块级远程管理和故障监控技术方案**
- 6.4.3 DWDM 实现 12/24\*25G 光交 P2MP 大容量接入技术方案**
- 6.4.4 OTDR 实现光纤 E2E 管理，快速精确定位光缆故障点技术方案**

#### **6.5 半有源前传 MWDM 系统相关厂家设备介绍**

### **模块三：IP 新技术-IP 新技术及在传输网中的应用**

**本模块主要讲授：**IP 新技术及在传输网中的应用，具体技术包括 IP 路由新技术及增强技术-OSPF、IS-IS、BGP、分段路由转发-SR-TP 技术、分段路由 IPv6-SRv6 技术等。

## **7. IP 路由技术及在 5G 承载网中的应用**

### **7.1 IP 路由技术及适应 5G 业务承载的新要求**

- 7.1.1 OSPF 技术及适应 5G 业务承载的新要求**
- 7.1.2 IS-IS 技术及适应 5G 业务承载的新要求**
- 7.1.3 BGP 技术及适应 5G 业务承载的新要求**

### **7.2 IP 路由技术在 5G 承载网中的应用**

- 7.2.1 OSPF 技术在 5G 承载网中的应用**
- 7.2.2 IS-IS 技术在 5G 承载网中的应用**
- 7.2.3 BGP 技术在 5G 承载网中的应用**

## **8. 分段路由 SR (Segment Routing) 技术原理与应用**

**8.1**分段路由 SR 的基本概念

**8.2**分段路由 SR 的技术特征

**8.3**分段路由 SR 的工作原理

**8.4**分段路由 SR 的工作流程示例

**8.5**分段路由 SR 的应用场景

**8.5.1** 提供快速重路由保护

**8.5.2** 实施流量工程 (Traffic Engineering)

**8.5.3** 应用于 SDN 网络架构

**8.6**面向传送的分段路由-SR-TP 技术原理与应用

**8.6.1** 面向传送的分段路由 SR-TP 的概念

**8.6.2** 面向传送的分段路由 SR-TP 的技术特征

**8.6.3** 面向传送的分段路由 SR-TP 的工作原理

## **9. 分段路由 IPv6 技术- SRv6**

**9.1**通用 SRv6 描述

**9.1.1** 数据包处理

**9.1.2** 网络可编程性

**9.2**SRv6 的工作原理

### **模块四：MPLS-MPLS 新技术及在传输网中的应用**

**本模块主要讲授：**MPLS 新技术及增强技术，具体新技术包括：MPLS-L2 VPN 与 L3 VPN 新技术，MPLS-TP 隧道新技术、IP/MPLS 隧道新技术-SRTP-TE 与 SRTP-BE 技术，IP/MPLS 保护新技术及增强技术：VPN FRR 保护、任意拓扑 SRTP-BE 保护、用户侧 LAG 保护，IP/MPLS 运维管理 OAM 新技术：MPLS-TP OAM、SRTP OAM、SRTP-TE OAM 等。

### **10.L2 VPN 技术原理及在 5G 承载网中的应用**

**10.1** 5G 业务承载对 MPLS L2 VPN 的技术要求

**10.2** MPLS L2 VPN 的概念与技术特征

**10.3** MPLS L2 VPN 网络架构

**10.4** MPLS L2 VPN 工作原理

**10.5** VPWS 技术

**10.6** VPLS 技术

**10.7** 虚拟交换实例-VSI

- 10.8** MPLS L2 VPN 技术在 5G 承载网中的应用
- 11.L3 VPN 技术原理及在 5G 承载网中的应用**
  - 11.1** 5G 业务承载对 MPLS L3 VPN 技术的要求
  - 11.2** MPLS L3 VPN 的概念与特征
  - 11.3** MPLS L3 VPN 的网络架构
  - 11.4** MPLS L3 VPN 的报文转发
  - 11.5** 虚拟路由转发-VRF
  - 11.6** MPLS L3 VPN 技术在 5G 承载网中的应用
- 12.MPLS-TP 隧道技术原理及在 5G 承载网中的应用**
  - 12.1** MPLS-TP 隧道要求
    - 12.1.1** MPLS-TP 工作原理
    - 12.1.2** MPLS-TP 功能及应用
  - 12.2** SRTP-TE 隧道要求
    - 12.2.1** SRTP-TE 承载 L3VPN 业务报文封装格式
    - 12.2.2** SRTP-TE 原理及机制
    - 12.2.3** SRTP-TE 功能与应用
    - 12.2.4** SRTP-TE 隧道技术原理与应用
  - 12.3** SRTP-BE 隧道要求
    - 12.3.1** SRTP-BE 承载 L3VPN 业务报文封装格式
    - 12.3.2** SRTP-BE 原理及机制
    - 12.3.3** SRTP-BE 功能与应用
    - 12.3.4** SRTP-BE 隧道技术原理与应用
  - 12.4** IP/MPLS 保护新技术及增强技术
    - 12.4.1** VPN FRR 保护技术
    - 12.4.2** 任意拓扑 SRTP-BE 保护技术
    - 12.4.3** 用户侧 LAG 保护技术
  - 12.5** IP/MPLS 运维管理 OAM 新技术
    - 12.5.1** MPLS-TP OAM 技术
    - 12.5.2** SRTP OAM 技术
    - 12.5.3** SRTP-TE OAM 技术
    - 12.5.4** SRTP-TE OAM 报文封装格式

## **模块五：高速传输-400G WDM/OTN 技术与应用**

本模块主要讲授：400G WDM/OTN 高速光传输新技术及组网应用。

### **13.400G WDM/OTN 高速光传输技术及组网应用**

#### **13.1 400G 对 WDM/OTN 系统新的技术要求**

#### **13.2 400G 光传输的技术挑战与对策**

##### **13.2.1 400G 受限因素分析**

##### **13.2.2 色散影响与对策**

##### **13.2.3 偏振模色散影响与对策**

##### **13.2.4 非线性效应与对策**

##### **13.2.5 OSNR 影响与对策**

#### **13.3 400G 传输涉及三个关键技术**

##### **13.3.1 400G 的系统构成**

##### **13.3.2 400G 的关键技术**

###### **13.3.2.1 客户侧 400GE 接口技术**

###### **13.3.2.2 400GE 封装映射技术**

###### **13.3.2.3 400G 线路传输技术**

##### **13.3.3 400G 相关标准介绍**

#### **13.4 400G 技术路线及相关指标**

##### **13.4.1 400G 技术路线**

###### **13.4.1.1 2×200G 传输方案-基于 200G PM-16QAM 双载波调制**

###### **13.4.1.2 4×100G 传输方案-基于 100G PM-QPSK 多载波调制**

###### **13.4.1.3 1×400G 传输方案-基于 400G PM-64QAM 调制**

##### **13.4.2 400G 相关指标**

###### **13.4.2.1 码型**

###### **13.4.2.2 载波数量**

###### **13.4.2.3 系统容量**

###### **13.4.2.4 波导间隔**

###### **13.4.2.5 传输距离**

#### **13.5 400G 客户侧接口技术与标准**

##### **13.5.1 400G 客户侧接口功能与分类**

- 13.5.2 400G 光模块**
  - 13.5.2.1 400G 光模块封装类型**
    - 13.5.2.1.1 第一代：16×25G CDFP MSA 封装**
    - 13.5.2.1.2 第二代：10×40G CDFP2/CFP2 封装**
    - 13.5.2.1.3 第二代：8×50G CDFP2/CFP2 封装**
    - 13.5.2.1.4 第三代：4×100G CDFP4/CFP4 封装**
  - 13.5.2.2 400G 光模块性能参数**
  - 13.5.2.3 400G 与 100G 常见光模块封装类型比较**
  - 13.5.2.4 400G 与 100G 光模块参数比较**
- 13.5.3 IEEE 400G 物理层规范**
  - 13.5.3.1 400G 以太网与 ISO 参考模型的关系**
  - 13.5.3.2 PCS 子层多通道分发**
  - 13.5.3.3 PMA 子层比特复用**
- 13.5.4 400G OTN 接口解决方案举例**
  - 13.5.4.1 4 \* 100G PM-QPSK**
  - 13.5.4.2 2 \* 200G PM-16QAM**
  - 13.5.4.3 1 \* 400G PM-64QAM**
- 13.5.5 400G WDM/OTN 系统与 400G 路由器的接口互通**
  - 13.5.5.1 业界支持 400G 端口的设备**
  - 13.5.5.2 400G 光纤互联说明**
  - 13.5.5.3 400G WDM/OTN 系统与 400G 路由器的对接**
- 13.6 400GbE 封装映射技术-Flex OTN**
  - 13.6.1 OTN 的封装技术适用 400G 的优势**
  - 13.6.2 400GE 接口的封装映射路径**
    - 13.6.2.1 定义 N 倍基准速率高阶 ODUflex/OTUflex**
    - 13.6.2.2 400GE 串行信号映射到 ODUflex/OTUflex**
  - 13.6.3 400G OTN 多业务承载实现方案**
- 13.7 400G 线路传输关键技术**
  - 13.7.1 400G 光调制码型**
    - 13.7.1.1 光调制码型的分类-新的调制编码技术：PM-QPSK、PM-8QAM、PM-16QAM、PM-32QAM 和 PM-64QAM**



**13.8.3.4** PM-32QAM 相干光通信技术（系统组成、发送接收原理、实现方式）

**13.8.3.5** PM-64QAM 相干光通信技术（系统组成、发送接收原理、实现方式）

**13.8.4** 相干光通信对 400G 系统性能的提升

**13.8.4.1** 相干光通信对 OSNR 指标的改善

**13.8.4.2** 相干光通信对 PMD 和 CD 容限指标的改善

**13.9** 新一代 FEC 纠错编码技术

**13.9.1** 前向纠错技术（FEC）标准介绍

**13.9.2** 前向纠错技术（FEC）码型选择

**13.9.3** 软判决前向纠错技术（SD FEC）

**13.9.4** FEC 对 400G 系统性能的提升

**13.10** 色散管理技术

**13.11** 400G 与 100G 系统对比分析

**13.12** G.654.E 超低损耗、大有效面积光纤介绍

**13.13** 400G WDM/OTN 城域网组网案例分析

**14.课程总结：**

(1) 重点知识回顾与总结；

(2) 互动与讨论：问与答。

就学员提出的问题进行分析、讨论、模拟演练和点评。

## 六、 培训方式/工具及方法

培训工具：PPT 讲义、项目案例演示、投影仪、白板、白纸、彩笔、音响设备、话筒等。

评估方法：（1）学员学习成果（项目解决方案）评估；（2）学员打分评估。

## 七、 讲师介绍

李文耀：副教授，硕士生导师，全国优秀教师。1991年毕业于北京邮电大学，国内通信行业精通各种通信网络与技术的网络专家、技术专家，全国通信行业资深讲师，高级网络架构师、高级咨询师，工业和信息化部通信行业职业技能鉴定中心考评员，中国 NB-IoT 产业联盟专家组成员，中国物联网产业应用联盟专家组成员，中国通信工业协会物联网分会专家组成员、原邮电部武汉邮电科学研究院情报中心高级研究员，武汉邮电科学研究院·烽火科技集团高级培训师，华为公司杭州培训中心电力行业物联网培训特约讲师，华为杭州研究院运营商业务培训与认证部特聘智慧城市领域专家，上海诺基亚贝尔培训中心 5G 技术培训特约讲师，工信部人才交流中心 5G 产业发展特约讲师，工信部职业技能鉴定中心人工智能特约讲师，中国通信工业协会物联网分会 5G 物联网、工业互联网专业特约讲师。《中国光电》杂志、中国光电网（www.optochina.net）编委会成员，《通信世界》杂

志特邀撰稿人，被评为 2011-2012 年度通信产业先锋技术人物，2012 年全国通信行业“金牌培训讲师”。在 5G、NB-IoT、物联网、工业互联网、云计算、大数据、人工智能、区块链、边缘计算、互联网、移动互联网、智慧城市、智慧社区、智能小区、智能家居等领域有一定的造诣和工程建设实践经验。

长期从事电信运营商的通信技术咨询、交流与培训，研究生、本专科生、通信企业员工培训、用户培训和援外培训的教学与科研工作；多次参与工业和信息化部通信行业职业技能鉴定中心有关通信行业职工通信技术技能鉴定工作；多次参与国内外主要设备制造商、中国电信、中国移动与中国联通三大电信运营商、通信网络规划与设计单位、通信网络工程建设与维护单位、广电与电力行业通信部门等的通信新技术交流、咨询与培训等工作。多次代表工信部人才交流中心、工信部职业技能鉴定中心、烽火通信、华为、上海诺基亚贝尔、中国通信工业协会物联网分会、中国移动通信联合会的对外培训等工作。

诚实做人，学识渊博、知识结构全面、亲和力强、在业界有一定影响。既有雄厚而扎实的理论基础、精湛而熟练的技术、又有丰富的理论及实践教学经验和技巧、做过项目课题、产品研发、还参加过通信网络的规划与设计、通信工程建设、网络运维及新业务开发等工作。

在长期的教学与培训实践中形成了独具特色、自成体系的教学风格和教学方法，最大特点在于以人文的思想与方法进行教学，生动活泼，富于激情与感染力；教学针对性强，知识全面、思路清晰、逻辑严密、结合丰富的案例进行教学，深入浅出、诙谐幽默；通过互动教学，解决学员在实际工作中遇到的各种问题，让学员在短时间内取得较大收获。学员上万人，遍及国内外通信行业，广电与电力行业，学员对教学效果评估，满意率均达 90%以上。

曾主持并参与部级科研课题 5 项，省级科研项目 10 项，与他人合著技术参考书 2 部，在国内外刊物上发表论文 20 多篇，多次获奖。