



“十四五” 职业教育国家规划教材

践行“德育为先、素养并重、岗课赛证”融通的综合育人理念

基于“活页手册式、线上线下一体化”新型教材开发结构

融入“家国情怀、红色电信、精益求精、工匠精神”思政元素

新一代信息技术系列教材

# 5G技术及设备

5G JISHU JI SHEBEI

宋燕辉 郭旭静◎主编

新一代信息技术  
系列教材  
5G  
技术及设备

宋燕辉 郭旭静◎主编

CIS 湖南教育出版社

坚持“以就业为导向，  
以能力培养为本位”改革方向

坚决贯彻“突出岗位技能、  
重视实践操作”编写理念

基于工作过程和岗位需求合理设计任务内容，  
打破传统教材编写思路

充分体现面向应用型人才培养的  
高职高专教育特点

新一代信息技术  
系列教材  
5G  
技术及设备



CIS 湖南教育出版社



“十四五”职业教育国家规划教材

新一代信息技术系列教材

# 5G技术及设备

5G JISHU JI SHEBEI

主编：宋燕辉 郭旭静

参编：张倩 李崇鞅 范波勇

高 姗 陈光华 张航东

CES 湖南教育出版社

·长沙·

## 图书在版编目 (C I P) 数据

5G技术及设备 / 宋燕辉, 郭旭静主编. -- 长沙 :  
湖南教育出版社, 2022. 8 (2024. 2重印)  
新一代信息技术系列教材  
ISBN 978-7-5539-9152-8

I. ①5… II. ①宋… ②郭… III. ①第五代移动通信  
系统—教材 IV. ①TN929. 538

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第141230号

5G JISHU JI SHEBEI

## 5G技术及设备

主 编: 宋燕辉 郭旭静

策划编辑: 夏克军

责任编辑: 王又清 夏克军

责任校对: 崔俊辉 殷静宇

装帧设计: 杨发凯 宋 娟

出版发行: 湖南教育出版社 (长沙市韶山北路 443 号)

电子邮箱: [hnjycbs@sina.com](mailto:hnjycbs@sina.com)

客服电话: 0731-85486979

经 销: 湖南省新华书店

印 刷: 湖南湘诚印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092 mm 1/16

印 张: 18.75

字 数: 330 000

版 次: 2022年8月第1版

印 次: 2024年2月第2次印刷

书 号: ISBN 978-7-5539-9152-8

定 价: 68.00元

如有质量问题, 影响阅读, 请与湖南出版中心联系调换。

联系电话: 0731-88388986 0731-88388987

4G 改变生活,5G 改变社会。未来的社会,将以5G网络能力为核心,作为内生力,融合 AICDE 新技术,构建无人机、机器人、AR、VR、视频等通用能力,赋能各行各业。“5G+AICDE”是将5G作为接入方式,与人工智能(AI)、物联网(IoT)、云计算(Cloud Computing)、大数据(Big Data)、边缘计算(Edge Computing)等新兴信息技术深度融合,打造以5G为中心的泛智能基础设施。

为深入贯彻落实习近平总书记关于推动5G网络加快发展的重要讲话精神,全力推进5G的网络建设、应用推广、技术发展和安全保障,充分发挥5G新型基础设施的规模效应和带动作用,支撑经济高质量发展,湖南邮电职业技术学院组建创新型教师团队,强化使命担当,坚持把研究和发 展5G作为重大任务,长期致力于5G技术的教学和研究工作,在总结教学经验、企业培训与实践的基础上,与各方专家合作编写了《5G技术及设备》这本教材,以满足教学和培训之需,培养适合社会需要的高素质高技能人才。

教材坚持“以就业为导向,以能力培养为本位”的改革方向,打破传统教材编写思路,基于工作过程,根据岗位需要合理划分工作任务,秉承“理论够用、突出岗位技能、重视实践操作”的编写理念,较好地体现了面向应用型人才培养的高职高专教育特色。本书适合作为高职高专通信类的通信技术、移动通信技术等专业的教材,还可以供电信运营企业从事移动通信技术工作的人员参考使用、培训使用及自学者辅导使用。

本书由湖南邮电职业技术学院宋燕辉、郭旭静担任主编,黄冈教育谷投资控股有限公司张倩、湖南邮电职业技术学院李崇鞅、广东邮电职业技术学院高姗、四川邮电职业技术学院陈光华、浙江邮电职业技术学院张航东、长沙民政职业技术学院

范波勇参与了教材的编写。本书共包括三个篇章七个模块。基础篇包括三个模块：模块一概述了5G的基本概念，模块二讲述了5G的组网方案和系统架构，模块三详细介绍了5G的关键技术。基础篇由宋燕辉、郭旭静和高姍编写。进阶篇包括三个模块：模块四讲述了5G接口协议及时频特性，模块五讲述了5G物理层，模块六讲述了5G的行业企业应用。进阶篇由郭旭静、张倩、陈光华编写。实践篇包括一个模块，主要介绍了5G的无线接入网硬件设备，由张倩和张航东编写。最后，郭旭静、范波勇负责统稿，宋燕辉、李崇鞅审阅了全书。全书建议64个课时。

在本书的整体构思和编写过程中，得到了湖南邮电职业技术学院领导和众多老师的指导和帮助，也得到其他兄弟院校和中兴通讯、中国电信湖南公司等众多企业专家的大力支持，提出了许多宝贵意见，特此致谢。本书也参考了一些国内外学者的著作和文献，对相关作者表示衷心的感谢。

截至本书定稿之时，相关技术和方案还在不断更新和演进，如有不当之处，敬请读者和专家指正，我们也将随时关注最新技术动态，进一步补充和修正本书内容。

本书编写组



《5G 技术及设备》  
省级精品在线开放课程

## 前 言

## 基础篇

<b>模块一 5G 概述</b> .....	002
任务一 了解移动通信演进 .....	003
任务二 掌握 5G 关键性能指标及需求 .....	014
任务三 了解 5G 频谱部署策略及标准化演进 .....	022
<b>模块二 5G 网络架构</b> .....	032
任务一 理解 5G 组网方案 .....	033
任务二 掌握 5G 核心网网络架构 .....	050
任务三 掌握 5G 无线接入网架构 .....	063
<b>模块三 5G 关键技术</b> .....	075
任务一 理解 NFV/SDN 技术 .....	076
任务二 掌握 5G 端到端网络切片 .....	088
任务三 了解 F-OFDM 与 SCMA .....	101
任务四 掌握 Massive MIMO .....	110
任务五 理解 D2D 技术 .....	125

任务六	理解 Polar/LDPC 码	133
任务七	掌握边缘计算	144
任务八	理解自组织网络	153

 进阶篇**模块四 5G 接口协议及时频特性** ..... 162

任务一	理解无线接口协议	163
任务二	掌握 NG/Xn/F1 接口协议	168
任务三	掌握无线帧结构	176
任务四	了解物理资源	182

**模块五 5G 物理层** ..... 188

任务一	理解物理层概念	189
任务二	理解信道与信道映射	196
任务三	掌握下行物理信道和信号	201
任务四	掌握上行物理信道和信号	212

**模块六 5G 行业应用** ..... 221

任务一	了解 5G 典型应用场景	222
任务二	掌握 5G 重点行业应用案例	235

 实践篇

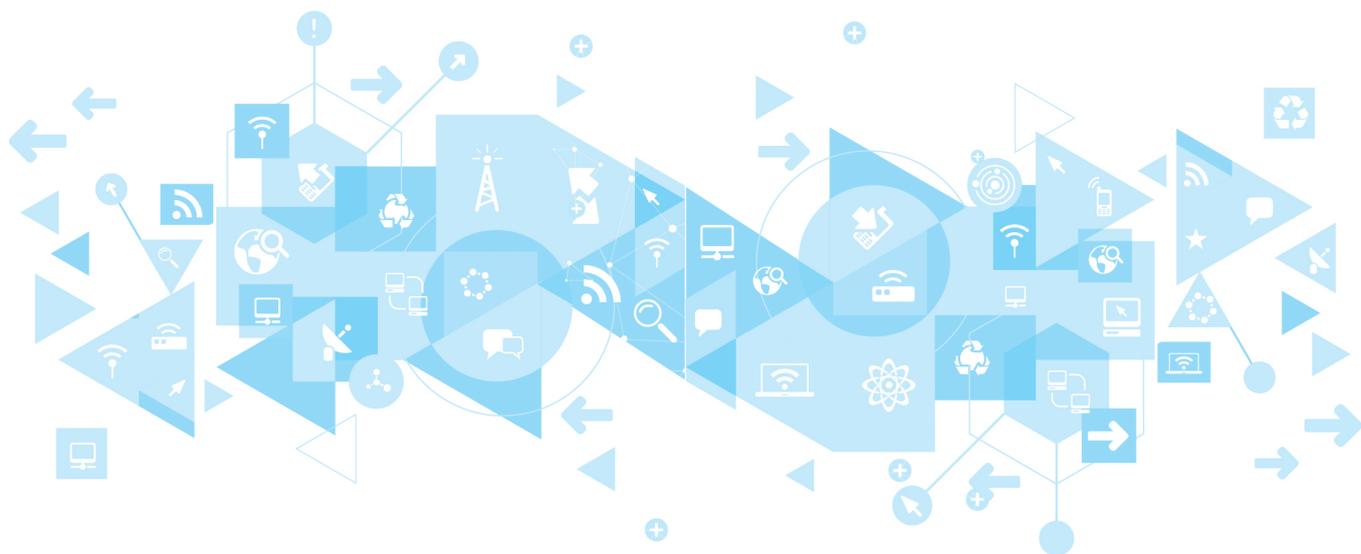
<b>模块七 5G 硬件设备</b> .....	248
任务一 理解 5G 基带处理单元 BBU .....	249
任务二 掌握 5G 有源天线单元 AAU .....	257
任务三 掌握 5G 微型射频拉远单元 pRRU .....	275
任务四 了解 5G 基站组网结构 .....	289



随着我国第五代移动通信（5G）牌照的发放，5G移动通信获得快速发展，中国移动、中国联通、中国电信在全国范围内大规模建网，中国已经实现5G网络商用。



# JICHU PIAN 基础篇



# 5G 概述

## 模块概述

随着我国第五代移动通信（5G）牌照的发放，5G 移动通信获得快速发展，中国移动、中国联通、中国电信在全国范围内大规模建网，中国已经实现 5G 网络商用。5G 移动通信技术人员需要掌握移动通信发展史和 5G 的基础理论知识，并将其应用到实际的工作中去。本模块通过介绍移动通信发展史、5G 的发展现状和前景、5G 的关键性能要求和 5G 的频谱部署策略等知识，为后续的学习打下良好的基础。

## 模块目标

**素质目标** 通过移动通信发展史的学习培养学生的通信人情怀，通过了解中国移动通信技术由弱变强的发展过程，培养学生的爱国主义情怀和职业情操。

**知识目标** 认识 1G~5G 基本概况、5G 关键指标和应用场景、5G 频谱分配及标准演进过程。

**能力目标** 能够掌握 1G~5G 的基本特点，了解每一代移动通信的需求和痛点，掌握 5G 的关键性能指标，能够深入分析 5G 在垂直行业的应用方案，掌握 FR1 和 FR2 的频段范围，牢固掌握 5G 的频谱编号以及上下行补充频段的概念。

## 任务一

## 了解移动通信演进



## 课前引导

人类从刀耕火种，到农业社会、工业社会，再到信息社会，每一步都由关键技术驱动，而移动通信技术无疑为信息社会的发展作出了卓越的贡献。

我国的移动通信发展史可谓是 1G 空白、2G 跟随、3G 突破、4G 并跑、5G 引领，从移动通信技术的发展历程也可以见证中国国力的由弱变强，我国在国际上的地位和影响力也越来越高。每一个移动通信时代的主要技术和特征是什么？让我们一起来学习一下吧！



## 任务教学

## 第一代移动通信系统

第一代移动通信技术（1st Generation, 1G）系统诞生于 20 世纪 80 年代，其最初是美国底特律警察使用的车载无线电系统，主要采用大区制模拟技术。第一代模拟移动通信系统的出现，首次将人们带入个人移动通信时代，中国的 1G 系统于 1987 年 11 月 18 日在广东第六届全运会上开通并正式商用，采用的是 TACS 制式。

“大哥大”最早是美国摩托罗拉公司工程师在 1973 年发明的，是手提电话的俗称。当年，“大哥大”公开价格在 20 000 元左右，但一般要花 25 000 元才可能买到，甚至其售价曾高达 50 000 元。除了售价昂贵之外，手机网络资费也让普通老百姓难以承担。当时的人网费高达 6 000 元，而每分钟通话的资费也有 0.5 元。

从 1987 年 11 月中国电信开始运营模拟移动电话业务开始到 2001 年 12 月底中国移动关闭模拟移动通信网，1G 系统在中国的应用长达 14 年，用户数最高时达



图 1-1 第一代移动通信手持终端：“大哥大”

到了 660 万。如今，1G 时代，那像砖头一样的手持终端——“大哥大”已经成为很多人的回忆。由于 1G 系统是基于模拟通信技术传输的，因此存在频谱利用率低，系统安全保密性差，数据承载业务难以开展，设备成本高，体积大，费用高等局限，其最关键的问题在于系统容量低，已不能满足日益增长的移动用户的需求，为了弥补这些缺陷，第二代移动通信技术（2nd Generation, 2G）应运而生。

## 第二代移动通信系统

1982 年欧洲邮电管理大会决定开发第二代移动通信系统，也就是大名鼎鼎的全球移动通信系统（Global System For Mobile communication, GSM）。1991 年开始大规模部署 GSM，实现了全球漫游，从模拟技术迈向了数字技术，系统容量得到了大幅的提高。2G 为移动通信的普及和拉近世界各国距离作出了卓越的贡献，我国的 2G 系统主要采用了 GSM 体制，如中国移动和中国联通均部署了 GSM 网络。2001 年中国联通开始在中国部署 IS-95 CDMA 网络（C 网），2008 年 5 月，中国电信收购了中国联通的 C 网，并将 C 网规划为中国电信未来主要发展方向。

2G 系统的主要业务是语音业务，2G 的主要特性是提供数字化的语音业务及低速数据业务，它克服了模拟移动通信系统的弱点，使语音质量、保密性能得到较大的提高，并可进行省内省际自动漫游，由于 2G 系统采用了不同的制式移动通信，标准不统一，用户只能在同一制式覆盖的范围内进行漫游，因而无法进行全球漫游，

此外 2G 系统带宽有限，因而限制了数据业务的应用，无法实现高速率的数据业务，如移动多媒体业务。随着对移动数据业务需求的不断提高，



图 1-2 第二代移动通信手持终端

人们希望能够在移动的情况下得到类似于固定宽带上网时所有的速率，因此需要有新一代的移动通信技术来提供高速的空中承载，以提供丰富多彩的高速数据业务，如电影点播、文件下载、视频电话、在线游戏等。

### 第三代移动通信系统

国际电信联盟 (ITU) 发布了官方第 3 代移动通信技术 (3G) 标准 IMT-2000 (国际移动通信 2000)。2000 有三个含义：该系统工作在 2 000 MHz 频段，最高业务速率可达 2 000 kbps，预期在 2000 年左右得到商用。

ITU 在 2000 年 5 月确定了 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 三大主流无线接口标准；2007 年，WiMAX 成为 3G 的第四大标准。在 3G 的众多标准之中，CDMA 这个字眼曝光率最高，CDMA 是第三代移动通信系统的技术基础。可以毫不夸张地说，3G 是 CDMA 的家族狂欢。中国自主研发的 TD-SCDMA 成为三大主流无线接口标准，意味着我国实现了从 0 到 1 的突破。

中国在 2009 年的 1 月 7 日颁发了 3 张 3G 牌照，分别是中国移动的 TD-SCDMA，中国联通的 WCDMA 和中国电信的 CDMA2000。

第三代移动通信采用码分多址技术，现已基本形成了三大主流技术，包括有：WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA。这三种技术都属于宽带 CDMA 技术，都能在静止状态下提供 2 Mbit/s 的数据传输速率。表 1-1 所示是 3G 的三种制式相关参数对比：



表 1-1 3G 的三种制式参数对比

制式	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
继承基础	GSM	窄带 CDMA	GSM
同步方式	同步、异步	同步	同步
码片速率	3.84 Mcps	1.2 288 Mcps	1.28 Mcps
系统带宽	5 MHz	1.25 MHz、3.75 MHz	1.6 MHz
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP
语音编码方式	AMR	QCELP、EVRC、VMR-WB	AMR

WCDMA，全称为 Wideband CDMA，意为宽带码分多址，这是基于 GSM 网发展出来的 3G 技术规范，是欧洲提出的宽带 CDMA 技术，它与日本提出的宽带 CDMA 技术基本相同。

WCDMA 的支持者主要是以 GSM 系统为主的欧洲厂商，日本公司也或多或少参与其中，包括欧美的爱立信、阿尔卡特-朗讯、诺基亚、北电，以及日本的日本电报电话公司、富士通等厂商。该标准提出了 GSM（2G）—GPRS—EDGE—WCDMA（3G）的演进策略。这套系统能够架设在原有的 GSM 网络上，对于系统

提供商而言可以较轻易地过渡。在 GSM 系统相当普及的亚洲，对这套新技术的接受度相当高，因此 WCDMA 具有先天的市场优势。WCDMA 在 3G 时代是世界上采用的国家及地区最广泛的、终端种类最丰富的一种 3G 标准，占据全球 80% 以上市场份额。

CDMA2000 是由窄带 CDMA（CDMA IS95）技术发展而来的宽带 CDMA 技术，也称为 CDMA Multi-Carrier，它由美国高通北美公司主导提出，摩托罗拉、朗讯和韩国三星参与，韩国成为该标准的主导者，这套系统是从窄频 CDMA one 数字标准衍



图 1-3 中国移动 3G 宣传小报



图 1-4 中国电信 3G 宣传小报

生出来的，可以从原有的 CDMA one 结构直接升级到 3G，建设成本低廉。但使用 CDMA 的地区只有日、韩和北美，所以 CDMA2000 的支持者不如 WCDMA 多，不过 CDMA2000 的研发技术却是各标准中进度最快的，中国电信采用的就是 CDMA2000。

TD-SCDMA 全称为 Time-Division Synchronous CDMA（时分同步 CDMA），是由中国独自制定的 3G 标准。TD-SCDMA 具有辐射低的特点，被誉为绿色 3G。该标准将智能无线、同步 CDMA 和软件无线电等当时的国际领先技术融于其中，在频谱利用率、对业务支持的灵活性、频率的灵活性及成本等方面具有独特优势。另外，由于中国内地庞大的市场，该标准受到各大主要电信设备厂商的重视，全球一半以上的设备厂商都宣布支持 TD-SCDMA 标准。该标准提出不经过 2.5 代的中间环节，直接向 3G 过渡，非常适用于 GSM 系统向 3G 升级。军用通信网也是 TD-SCDMA 的核心应用领域。相较于另两个主要 3G 标准——CDMA2000 和 WCDMA，TD-SCDMA 起步较晚，技术不够成熟。

随着 3G 时代拉开帷幕，智能手机出现了。利用智能手机，我们不仅能打电话，还能听音乐、浏览图片、观看视频，并用手指在触摸屏上直接操作应用软件。伴随着手机终端的多样化和智能化，3G 时代的 APP 数量成井喷式增长。淘宝、移动支付、短视频都开始进入人们视线，但是速率和带宽还是跟不上 Internet 业务的发展要求。

第三代移动通信系统仍是基于地面标准不一的区域性通信系统，尽管其传输速率在成熟的 WCDMA 标准下，静止时理论值为 7.2Mb/s，而实际在商用网络中，由于资源及无线环境的种种限制，实际传输速率远远达不到该值，仍无法满足多媒体通信的要求。而且商用三大标准空中接口所支持的核心网没有统一标准，难以提供具有多种 QoS 及性能的多速率业务，不能真正实现不同频段不同业务环境间的无缝漫游。对于采用不同频段的相异业务环境，需要移动终端配置相关不同的软、硬件模块，但 3G 移动终端并不能实现。正是 3G 系统的这些局限性，所以各种公司和机构早就着手针对 LTE 的研究。4G 带着人们对网速和美好社会的向往，来到大家的眼前。

## 第四代移动通信技术

2008 年，3GPP 提出了长期演进技术（Long Term Evolution, LTE）作为

3.9G 技术标准，实际上准 4G 技术的 LTE 第一个版本标准（R8）同时出炉，紧接着 2009 年底，全球第一个 LTE 商用网络就开始部署。

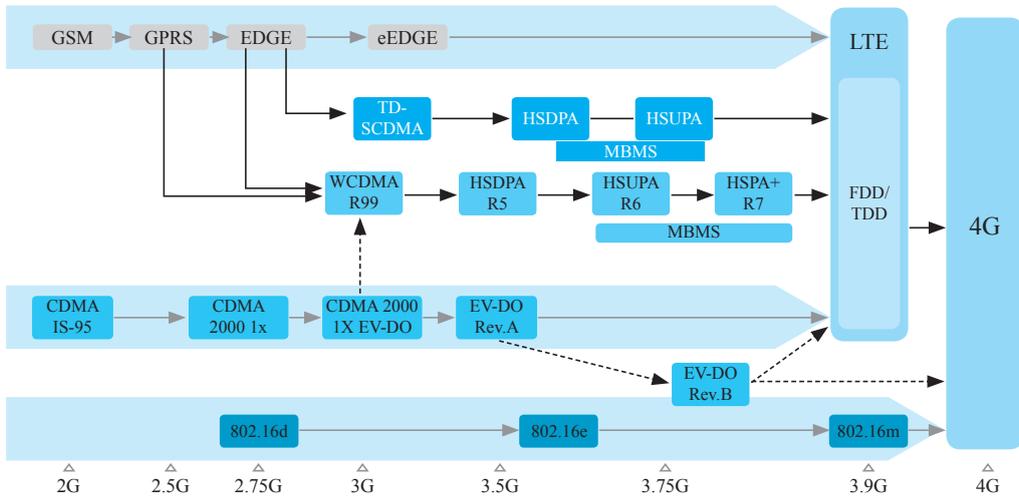


图 1-5 2G~4G 的技术发展过程

LTE 系统引入了 OFDM 和 MIMO 等关键技术，显著增加了频谱效率和数据传输速率。支持 1.4M、3M、5M、10M、15M、20M 多种带宽，且支持全球主流 2G/3G 频段和一些新增频段，因而频谱分配更加灵活，系统容量和覆盖面也显著提升。1G 到 4G 的典型特点如表 1-2 所示。

LTE 一开始就是为分组数据业务而生，并且早期并不支持语音，移动宽带是其发展方向和目标，所以其对高速率、低延时和高容量就有严格要求。而且，LTE 只有 FDD 和 TDD 两种双工模式，在统一化标准上也大大优于 3G 网络。LTE 的演进包括改进的天线技术、多站点协调、利用碎片频谱和密集部署等都有很强的优势，LTE 还支持大规模机器类通信，引入了机器对机器的通信，拓展了移动宽带的使用范围。

2013 年 12 月 4 日，工业和信息化部正式向三大运营商发放 4G 牌照，中国移动、中国电信和中国联通均获得 TD-LTE 牌照，此举标志着中国电信产业正式进入了 4G 时代。

TD-LTE 系统频谱分配如下：中国移动共获得 130 MHz，分别为 1 880~1 900 MHz、2 320~2 370 MHz、2 575~2 635 MHz；中国联通获得 40 MHz，分别为 2 300~2 320 MHz、2 555~2 575 MHz；中国电信获得

表 1~2 1G~4G 的典型特点

1G	2G	3G	4G
模拟通信	数字通信	多媒体业务	宽带移动互联网
模拟调制技术 硬切换 网络规划	数字调制技术 软切换 差错控制 短信息 高质量语音业务	多媒体业务 分组数据业务 动态无线资源管理 100 kbps 以上数据速率	随时随地的无线接入 无线业务提供 网络融合与重用 多媒体终端 基于全 IP 核心网 10Mbps 以上数据速率
AMPS TACS NMT-450 NTT	GSM GPRS EDGE IS-95	WCDMA HSPA/HSPA+ TD-SCDMA CDMA2000 1X EV WiMAX	IMT-Advanced 3GPP LTE
1 kbps	9.6 kbps	1.144~10 Mbps	100 Mbps~1 Gbps

40 MHz, 分别为 2 370~2 390 MHz、2 635~2 655 MHz。

2015 年 2 月 27 日, 工业和信息化部向中国电信集团公司和中国联合网络通信集团有限公司发放 FDD-LTE 经营许可。FDD-LTE 系统频谱分配, 中国电信成功获得了 1.8 GHz 的 15M 资源 (1 765~1 780MHz/1 860~1 875 MHz), 中国联通也获得了 1.8 GHz 的 10M 资源 (1 755~1 765MHz/1 850~1 860 MHz)。

4G 时代的一个重要特点是数据流量呈爆发式增长。移动通信的超高速率也让人眼前一亮, 由此一来, PC 端应用开始加速向移动端迁移, 移动互联网已经成为人们生活中不可或缺的组成部分。

4G 时代, 我们构建了移动互联网的生态, 社交、游戏、电商、生活服务等业务都实现了移动化、APP 化。新兴业态快速变革, 影响着用户的衣食住行。外卖、手机打车、移动支付、短视频等业务, 借助高速移动宽带网络的完善, 开始在全社会快速普及。可以说, 4G 网络彻底改变了我们的生活。

## 第五代移动通信技术

移动通信延续着每十年升级一代技术的发展规律, 已历经 1G、2G、3G、4G 的发展, 每一次代际跃迁, 每一次技术进步, 都极大地促进了产业升级和经济社会发展。移动通信已经深刻地改变了人们的生活, 但人们对更高性能移动通信



的追求从未停止，为了应对未来爆炸性的移动数据流量增长、海量的设备连接、不断涌现的各类新业务和应用场景，第五代移动通信（5th Generation Mobile Networks, 5G）应运而生。

事实上，5G 并不是这两年才启动标准制定和研发工作的，早在 2010 年，爱立信公司就发布了“网络社会”愿景，认为在不远的将来，全球将产生 500 亿部终端的联接需求，海量的连接只是个开始，更重要的是无处不在的基础设施支持各行各业开发出众多创新应用产品。如果说 4G 是移动互联网时代，那么，5G 将使垂直行业进入产业互联网时代。

那么，5G 是什么？第五代移动通信技术是具有高速率、低时延、大连接特点的新一代宽带移动通信技术，是实现人、机、物互联的网络基础设施。5G 的愿景是“信息随心至，万物触手及”。5G 将为我们带来什么？

5G 作为一种新型移动通信网络，不仅要解决人与人通信，为用户提供增强现实、虚拟现实、超高清（3D）视频等更加让人身临其境的极致业务体验，更要解决人与物、物与物通信问题，满足移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等物联网应用需求。最终，5G 将渗透到经济社会的各行业各领域，成为支撑经济社会数字化、网络化、智能化转型的关键新型基础设施。

国际电信联盟定义了 5G 的三大类应用场景，即**增强移动宽带（Enhanced Mobile Broadband, eMBB）**、**超高可靠低时延通信（Ultra-Reliable & Low-Latency Communication, uRLLC）**和**海量机器类通信（Massive Machine Type Communication, mMTC）**。

**增强移动宽带（eMBB）**是以人为中心的应用场景，集中表现为超高的传输数据速率，广覆盖下的移动性保证等，未来更多的应用对移动网速的需求都将得到满足。从 eMBB 层面上来说，它是原来移动网络的升级，让人们体验到极致的网速。因此，eMBB 将是 5G 发展初期面向个人消费市场的核心应用场景。

**超高可靠低时延通信（uRLLC）**主要面向工业控制、远程医疗、自动驾驶等对时延和可靠性具有极高要求的垂直行业应用需求。在此场景下，连接时延要达到毫秒级别，而且要支持高速移动（500 km/h）情况下的高可靠性（99.999%）连接。

**海量机器类通信（mMTC）**主要面向智慧城市、智能家居、环境监测等以传感和数据采集为目标的应用需求，5G 强大的连接能力可以快速促进各垂直行业的深度融合。

2017年12月21日,在国际电信标准组织3GPP RAN第78次全体会议上,5G NR首发版本正式冻结并发布。5G将渗透到未来社会的各个领域,以用户为中心构建全方位的信息生态系统;5G将使信息突破时空限制,提供极佳的交互体验,为用户带来身临其境的信息盛宴;5G将拉近万物的距离,通过无缝融合的方式,便捷地实现人与万物的智能互联;5G将为用户提供光纤般的接入速率,“零”时延的使用体验,千亿设备的连接能力,超高流量密度、超高连接数密度和超高移动性等多场景的一致服务,业务及用户感知的智能优化,同时将为网络带来超百倍的能效提升和超百倍的比特成本降低,最终实现“信息随心至,万物触手及”的总体愿景。除了为个人无线通信服务提速,5G还会对包括室内外无线宽带部署、VR/AR资产与物流跟踪、智能农业、远程监控、自动驾驶汽车、无人机及工业和电力自动化等多个领域造成影响。

移动互联网和物联网作为未来移动通信发展的两大主要驱动力,为5G提供了广阔的应用前景,数据流量的千倍增长、千亿设备连接和多样化的业务需求都将对5G系统的设计提出严峻挑战。与4G相比,5G将支持更加多样化的场景,融合多种无线接入方式,并充分利用低频和高频等频谱资源。同时,5G还将满足网络灵活部署和高效运营维护的需求,能大幅提升频谱效率、能源效率和成本效率,实现移动通信网络的可持续发展。

### 任务小结

本任务介绍了移动通信技术的发展过程,并简单介绍了每一代移动通信的特点。

1G于20世纪80年代诞生,那是模拟通信系统的时代,又被称为语音时代,通过模拟信号,实现了语音通话功能,我们了解最多的就是“大哥大”——类似砖头的电话机。

2G于1990年诞生,那是数字网络的时代,又被称为文本时代,从这一时代开始,数字传输取代了模拟传输,在一定程度上解决了第一代技术的缺陷,随着技术的成熟和进步,带来了通信质量的提升,从此手机上网也成了现实,虽然速度很慢,但已经实现了收发短信。



3G 于 2000 年诞生，那是高速 IP 的数据网络时代，又被称为图片时代。从这一时代开始，通过移动互联网技术高速传输音频、视频等各种多媒体文件，移动互联网的速度大幅度提升，实现移动高速上网，此时微博兴起，“网络大 V”慢慢产生，微信也是从这个时代开始的。

4G 于 2010 年诞生，那是网络时代的开始，又被称为视频时代，是目前正在被广泛使用的一代，也是革命的一代。4G 网络的传输速度比 3G 要快，基于数据的高速传输应用也越来越多。它让人们可以使用各种丰富多彩的应用，例如各种视频 APP 和视频直播；微信支付、支付宝支付等快捷支付方式，很大程度上弱化了钱包的作用。

5G 于 2020 年大规模应用，明显的特点是低时延、低功耗、高可靠性，成了这一代技术的目标和期待。5G 是多种新型无线接入技术和现有演进技术集成后的解决方案的总称，是真正意义上的通信技术与互联网的融合，5G 将会强力推动 VR、无人驾驶汽车等产业互联网发展。



### 拓展知识

5G 来了，6G 还会远吗？与 5G 不同的是，6G 网络建设的核心在于卫星互联网技术，卫星互联网技术的意思就是发射一定数量的卫星组成网，与地面的通信网络融合，这样可以达到为用户提供高速度、低延迟的网络连接。相对于 5G 网络来说 6G 网络速度会更快，而且覆盖率更强，6G 的传输能力可比 5G 提升 100 倍。

以后的 6G 网络会比现在 5G 使用的概率高，会更大地促进物联网的发展，预计其理论的下载速度高达 1 TB/s，而且没有太多的延迟。最重要的一点是 6G 除了覆盖通信领域以外，还会在更多的领域实现使用，是一个大的技术整合。

请畅想下 6G 的应用领域和关键性能指标是什么。

## 任务评价

### 一、填空题

1. 5G 的三大应用场景是 ( )、( ) 和 uRLLC。
2. 第一代移动通信技术诞生于 20 世纪 80 年代。其最初是美国底特律警察使用的车载无线电系统, 主要采用 ( ) 模拟技术。
3. 在 2000 年 5 月确定了 WCDMA、( )、( ) 三大主流无线接口标准; 2007 年, ( ) 成为 3G 的第四大标准。
4. 准 4G 技术的 LTE 第一个版本标准是 ( )。
5. ( ) 是第三代移动通信系统的技术基础。
6. 第五代移动通信技术是具有高速率、( )、( ) 特点的新一代宽带移动通信技术, 是实现人、( )、物互联的网络基础设施。
7. 5G 的第一个版本标准是 ( )。

### 二、判断题

1. LTE 只有 FDD 和 TDD 两种双工模式。( )
2. 2G 时代, 中国移动和中国电信均部署了 GSM 网络。( )
3. 3G 时代, 中国自主研发的 CDMA2000 成为三大主流无线接口标准, 意味着我国实现了从 0 到 1 的突破。( )

### 三、简答题

1. IMT-2000 中 2000 的三层含义是什么?
2. 5G 的愿景是什么?



## 任务一

## 掌握 5G 关键性能指标及需求



## 课前引导

5G 开启万物互联新时代, 业界一般认为移动通信十年一代, 2G 时代提供语音和低速数据业务, 3G 时代在提供语音业务的同时, 开始提供基础的移动多媒体业务, 4G 时代提供移动宽带业务, 到了 5G 时代, 移动通信将在大幅提升以人为中心的移动互联网业务使用体验的同时, 全面支持以物为中心的物联网业务, 实现人与人、人与物、物与物的智能互联。5G 满足增强移动宽带、海量机器类通信和超高可靠低时延通信三大类应用场景, 在 5G 系统设计时需要充分考虑不同场景和业务的差异化需求。

新业务新需求对 5G 提出了新挑战, ITU 定义了 5G 的八大关键技术指标, 其中峰值速率、移动性、时延和频谱效率是传统的移动宽带关键技术指标, 新定义了 4 个关键指标, 即用户体验速率、连接数密度、流量密度和能效。5G 将满足 20 Gbit/s 的光纤般接入速率、毫秒级时延的业务体验、千亿设备的连接能力、超高流量密度和连接数密度及百倍网络能效提升等极致指标。



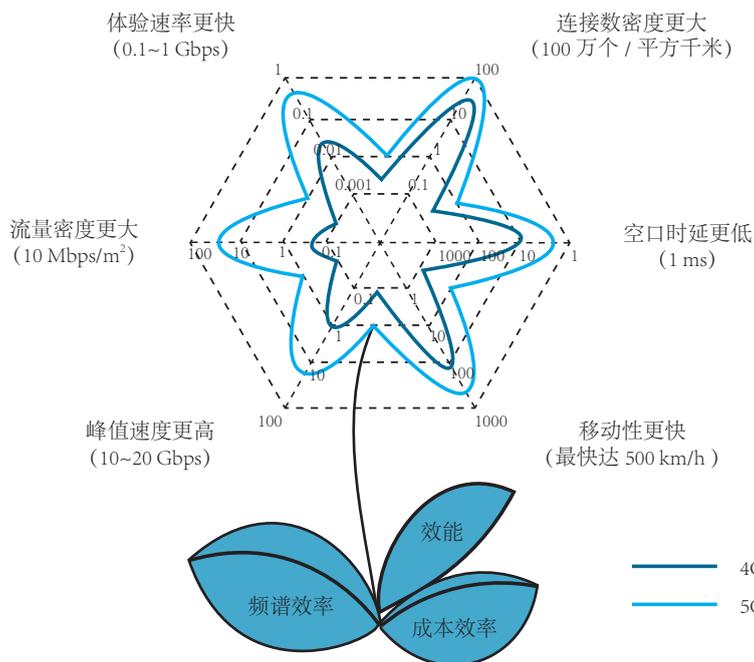
## 任务教学

比较以往的通信网络, 5G 网络由于需要适应未来各种场景的应用, 在关键性能指标 (KPI) 上, 主要从以下一些方面进行规范。5G 网络特点如下:

1. 峰值速率需要达到 Gbit/s 的标准, 以满足高清视频、虚拟现实等大数据量传输。
2. 空中接口时延水平需要在 1 ms 左右, 满足自动驾驶、远程医疗等实时应用。

3. 超大网络容量，提供千亿设备的连接能力，满足物联网通信。
4. 频谱效率要比 LTE 提升 10 倍以上。
5. 连续广域覆盖和高移动性下，用户体验速率达到 100 Mbit/s。
6. 流量密度和连接数密度大幅度提高。
7. 系统协同化，智能化水平提升，表现为多用户、多点、多天线、多摄取的协同组网，以及网络间灵活的自动调整。

以上是 5G 区别于前几代移动通信的关键，是移动通信从以技术为中心逐步向以用户为中心转变的结果。5G 需要具备比 4G 更高的性能，支持 0.1~1 Gbps 的用户体验速率，每平方千米一百万的连接数密度，毫秒级的端到端时延，每平方千米数十太比特 / 秒的流量密度，每小时 500 km 以上的移动性和数十吉比特 / 秒的峰值速率。其中，用户体验速率、连接数密度和时延是 5G 最基本的三个性能指标。同时，5G 还需要大幅提高网络部署和运营的效率，相比 4G，频谱效率提升 5~15 倍，能效和成本效率提升百倍以上。下图是 IMT-2020 的 5G 关键性能愿景图，以及和 4G 的对比：



1-6 IMT-2020 5G 关键性能指标

这些关键性能指标并非一成不变，而是在不同场景下，有不同的要求，常见的



例如速率上的要求，在高铁和在普通场景下肯定是差异很大的。我们主要列举了以下典型场景下对各性能的要求：高铁、车联网自动驾驶、工厂自动化、广阔户外、智慧城市、密集交通、VR 或 AR、大型活动场馆、媒体直播、远程精细操作等。

**用户体验速率：**单位时间用户获得的数据速率，指真实网络环境下用户可获得的最低传输速率，而不是理论值。

表 1-3 不同场景用户体验速率

场景	期望值
高铁	下行 50 Mbit/s, 上行 25 Mbit/s
车联网自动驾驶	下行 100 Mbit/s, 上行 20 Mbit/s
工厂自动化	下行 300 Mbit/s, 上行 60 Mbit/s
广阔户外	30Mbit/s
智慧城市	下行 300 Mbit/s, 上行 60 Mbit/s
密集交通	下行 100 Mbit/s, 上行 20 Mbit/s
VR 或 AR	4~28 Gbit/s
大型活动场馆	0.3~20 Mbit/s
媒体直播	15 Mbit/s
远程精细操作	300 Mbit/s

**连接密度：**连接密度是指在特定地区和特定时间段内，单位面积可以同时激活的终端或者用户数，也就是单位面积上支持的在线设备总和。

表 1-4 不同场景连接密度

场景	期望值
高铁	下行 100 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ), 上行 50 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ) (流量密度)
车联网自动驾驶	—
工厂自动化	107 个终端 /km <sup>2</sup>
广阔户外	—
智慧城市	2x10 <sup>6</sup> 个终端 /km <sup>2</sup>

续表

场景	期望值
密集交通	480 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ) (流量密度)
VR 或 AR	106 个终端/km <sup>2</sup> , 480 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ) (流量密度)
大型活动场馆	900 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ) (流量密度)
媒体直播	60 Gbit/(s·km <sup>2</sup> ) (流量密度)
远程精细操作	—

**时延：**这里主要指端到端时延，是指数据包从源节点开始传输到被目的节点正确接收的时间。又分为单程时延（OTT）和往返时延（RTT），单程时延是数据包从发送端到接收端的时延，往返时延是数据包从发送端发送到接收端接收后返回确认信息的时间。

表 1-5 不同场景时延

场景	期望值
高铁	10 ms
车联网自动驾驶	5 ms
工厂自动化	1 ms
广阔户外	—
智慧城市	20 ms
密集交通	100 ms
VR 或 AR	RTT 10 ms
大型活动场馆	—
媒体直播	200 ms
远程精细操作	1 ms

**可用性、可靠性：**可用性是指在一个区域内，网络能满足用户体验质量（QOE）的百分比，也就是用户能使用网络，且基本体验能达到标准。可靠性则是指一定时间内从发送端到接收端成功发送数据的概率。



表 1-6 不同场景的可用性、可靠性

场景	期望值
高铁	99%
车联网自动驾驶	99.999% (可靠性)
工厂自动化	99.999% (可靠性)
广阔户外	99.9% (覆盖, 可用性)
智慧城市	一般应用 95%, 安全应用 99%
密集交通	95% (可用性)
VR 或 AR	99.9%
大型活动场馆	95% (可用性)
媒体直播	95% (覆盖)
远程精细操作	99.999% (可靠性)

**移动性:** 移动性主要是指高速移动性, 在目前高速公路、高铁等场景下, 能保证的用户体验情况。

表 1-7 不同场景移动性支持速度

场景	期望值
高铁	500 km/h
车联网自动驾驶	200 km/h
工厂自动化	-
广阔户外	-
智慧城市	100 km/h
密集交通	-
VR 或 AR	-
大型活动场馆	-
媒体直播	-
远程精细操作	-

**其他方面:** 其他方面的要求主要有安全性、能耗、成本等。

**安全性:** 安全性比较难衡量, 目前一般以黑客侵入信息内容需要的时间来衡量, 如何在网络切片中实现对安全的保障还在继续研究中。

**能耗:** 能耗方面, 要求应急通信中电池至少续航一周, 在广阔地区分布的设备, 要求续航 10 年, 电表、气表等一般设备要求具有 2~5 年续航能力。

**成本和可持续发展:** 目前的移动通信网络在应对移动互联网和物联网爆发式发展时, 可能会面临以下问题。

能耗、每比特综合成本、部署和维护的复杂度高, 难以应对未来千倍业务流量增长和海量设备连接; 多制式网络共存造成了设备复杂度的增长, 以及用户体验下降; 在精确监控网络资源和有效感知业务特性方面的能力不足, 无法智能地满足未来用户和业务需求多样化的趋势; 此外, 无线频谱从低频到高频跨度很大, 且分布碎片化, 干扰复杂。

应对这些问题, 需要从如下两方面提升 5G 系统能力, 以实现可持续发展。

在网络建设和部署方面, 5G 需要提供更高网络容量和更好覆盖, 同时降低网络部署尤其是超密集网络部署的复杂度和成本; 5G 需要具备灵活可扩展的网络架构以适应不同用户和业务的多样化需求; 5G 需要灵活高效地利用各类频谱, 包括对称和非对称频段、重用频谱和新频谱、低频段和高频段、授权和非授权频段等; 另外, 5G 需要具备更强的设备连接能力来应对海量物联网设备的接入。

在运营维护方面, 5G 需要改善网络能效和每比特运维成本, 以应对未来数据迅猛增长和各类业务应用的多样化需求; 5G 需要降低多制式共存、网络升级以及新功能引入等带来的复杂度, 以提升用户体验; 5G 需要支持网络对用户行为和业务内容的智能感知与智能优化; 同时, 5G 需要能提供多样化的网络安全解决方案, 以满足各类移动互联网和物联网设备及业务的需求。

### 任务小结

根据国际电信联盟 (ITU) 的定义, 目前, 5G 主要包括三大业务应用场景: eMBB 增强移动宽带场景将带给我们数字化生活体验, 如 VR, AR, 高清视频, 云办公和游戏等; mMTC 海量机器类通信, 例如智慧城市, 智慧管网 (电力、天然气、水), 智慧农业, 智能家居, 将使我



们体验到数字化社会所带来的便利；而 uRLLC 超高可靠低时延通信场景，将对工业领域产生极大的革新，比如工业自动化，自动驾驶，远程医疗都将在 5G 的作用下变成可能。

5G 要想实现上述场景和业务，需要具备比 4G 更高的性能，支持 0.1 ~ 1 Gbps 的用户体验速率，每平方千米一百万的连接数密度，毫秒级的端到端时延，每平方千米数十太比特 / 秒的流量密度，每小时 500 km 以上的移动性和数十吉比特 / 秒的峰值速率。其中，用户体验速率、连接数密度和时延为 5G 最基本的三个性能指标。同时，5G 还需要大幅提高网络部署和运营的效率，相比 4G，频谱效率提升 5 ~ 15 倍，能效和成本效率提升百倍以上。

### 拓展知识

有人说，4G 改变生活，5G 改变社会，那么，5G 如何改变社会呢？

未来，将以 5G 网络能力为核心，作为内生力，融合 AICDE 新技术，构建无人机、机器人、AR、VR、视频等通用能力，赋能各行各业。“5G+AICDE”是将 5G 作为接入方式，与人工智能（AI）、物联网（IoT）、云计算（Cloud Computing）、大数据（Big Data）、边缘计算（Edge Computing）等新兴信息技术深度融合，打造以 5G 为中心的泛智能基础设施。

### 任务评价

#### 一、单选题

1. 车联网应用场景对于哪一项指标要求较高？（ ）  
A. 速率                      B. 时延                      C. 连接数                      D. 效率
2. 5G eMBB 场景的业务体验，要求随时随地能到多高的速率？（ ）  
A. 50 Mbps                  B. 100 Mbps                  C. 150 Mbps                  D. 200 Mbps

3. 下面哪个场景是属于低时延高可靠场景? ( )

- A. 智慧农业                  B. 移动金融                  C. 智能交通                  D. 视频监控

## 二、多选题

1. 无人机业务对于网络有哪些要求? ( )

- A. 空口时延 <50 ms                  B. 上行速率 >50 Mbps  
C. 可靠性 >99.999%                  D. 节电 >20 h 的飞行时间

2. 5G 的三种应用场景是什么? ( )

- A. eMBB                  B. mMTC                  C. uRLLC                  D. NB-IoT

3. 目前 AR 主要业务场景包括哪些? ( )

- A. VR 直播现场                  B. VR 全景视频  
C. VR 云游戏                  D. VR 巨幕影院  
E. VR 教育

4. 5G 的典型业务有 ( )。

- A. OTT 消息                  B. 视频会话                  C. 云桌面                  D. 车联网

5. 5G 主要业务可分为 2 大类, 分别是 ( )。

- A. 背景类                  B. 交互类                  C. 移动互联网                  D. 物联网



## 任务三

## 了解 5G 频谱部署策略及标准化演进



## 课前引导

频谱资源是移动通信发展的核心资源，频谱规划是产业的起点，决定产业发展格局。面对汹涌而至的 5G 时代，频谱规划与分配成了业界关注的焦点。与其他国家不同，我国采取的是分配而非拍卖的方式，来进行频谱管理工作。所以说，政府监管部门在产业发展中处于非常核心的位置。

5G 频谱分配是什么情况？我国运营商的 5G 部署又是什么情况？让我们一起了解学习吧！



## 任务教学

## 5G 频谱分类

3GPP 最初版本定义 FR1 频段的频段范围为 450~6 000MHz，后来将 FR1 频段的频率范围更新为 410~7 125MHz，基本位于 6 GHz 以下，所以叫 Sub-6 GHz 频段。在目前 3GPP 定义的频率范围分为 FR1（Frequency Range1）和 FR2，如表 1-8 所示。

表 1-8 FR1 和 FR2 的具体范围

频率范围名称	相应的频率范围
FR1	410 ~7 125 MHz
FR2	24 250~52 600 MHz

FR1 就是我们通常说的 sub-6 GHz，低于 6 GHz 的部分，这部分将是 5G 当前的主流应用范围。我们知道频率越低，覆盖能力越强，穿透能力越好，但很多频段已经在之前的网络中使用，各国使用状况不同，目前 3.5 GHz 是 5G 应用最广泛的频谱。

而在 FR1 或者说 Sub-6GHz 频段内，后半段也就是 3~6 GHz 这段，是 5G 的主力频段，因为这段频带不但频率比较低，而且可用带宽大，能拿出来 100 MHz 给 5G 用，这块频段叫作 C-band。

FR1 剩下的频段，也就是前半段，3 GHz 以下的频段，叫作 Sub-3GHz，虽然频段更低，覆盖更好，但是连续带宽少，基本拿不出来 100 MHz 给 5G 大带宽使用，所以可以用来做 5G 的覆盖层，也就是实现连续覆盖用的，热点区域再用 C-Band 或者毫米波进行补充。

而 FR2，就是 mm Wave，即毫米波，是因为这个频率的电磁波，波长是毫米级别的，比较短，因为频率和波长是成反比的。这么高的频率，电磁波穿透能力极差，覆盖效果不好，但是频段资源充裕，有大把可利用的带宽，且没有什么干扰源，频谱干净，可用作热点区域，实现 5G 速率、容量相对 Sub-6GHz 的翻几番的提升。



### 5G 频谱

5G 频谱详情如表 1-9、表 1-10 所示。

表 1-9 FR1 中的频段编号

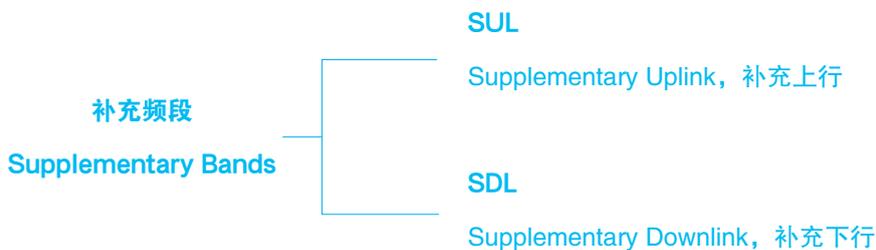
NR 频段	上行	下行	双工	NR 频段	频率范围	双工
n1	1 920~1980 MHz	2 110~2 170 MHz	FDD	n75	1 432~1517 MHz	SDL
n2	1 850~1910 MHz	1 930~1990 MHz	FDD	n76	1427~1432 MHz	SDL
n3	1 710~1785 MHz	1 805~1880 MHz	FDD	n77	3.3~4.2 GHz	TDD
n5	824~849 MHz	869~894 MHz	FDD	n78	3.3~3.8 GHz	TDD
n7	2 500~2 570 MHz	2 620~2 690 MHz	FDD	n79	4.4~5.0 GHz	TDD
n8	880~915 MHz	925~960 MHz	FDD	n80	1 710~1 785 MHz	SUL
n20	832~862 MHz	791~821 MHz	FDD	n81	880~915 MHz	SUL
n28	703~748 MHz	758~803 MHz	FDD	n82	832~862 MHz	SUL
n38	2 570~2 620 MHz	2 570~2 620 MHz	TDD	n83	703~748 MHz	SUL
n41	2 496~2 690 MHz	2 496~2 690 MHz	TDD	n84	1 920~1 980 MHz	SUL
n50	1 432~1 517 MHz	1 432~1 517 MHz	TDD			
n51	1 427~1 432 MHz	1 427~1 432 MHz	TDD			
n66	1 710~1 780 MHz	2 110~2 200 MHz	FDD			
n70	1 695~1 710 MHz	1 995~2 020 MHz	FDD			
n71	663~698 MHz	617~652 MHz	FDD			
n74	1 427~1 470 MHz	1 475~1 518 MHz	FDD			

表 1-10 FR2 中的频段编号

NR 频段	频率范围	双工模式
n257	26 500~29 500 MHz	TDD
n258	24 250~27 500 MHz	TDD
n260	37 000~40 000 MHz	TDD
n261	27 500~28 350 MHz	TDD



看蓝框标出的这几个频段，除了 FDD（频分双工）、TDD（时分双工），还有一类是 SDL 和 SUL。它们是补充频段（Supplementary Bands）。



举个例子，在空旷的广场上，甲乙两个人互相说话。请问，他们之间最大的说话距离，由谁决定？



图 1-7 空旷广场上两人通话的最大距离

显然是由嗓门较小的那个人决定。如果甲的嗓门不够大，即使乙的嗓门再大，也不能正常沟通。因为乙听不见甲的声音。

移动通信也是这样的道理。TDD 上下行共用一段频段，即手机与基站在上下行方向上是绑定在一起的，不可分割，这样就存在上下行不平衡的问题。具体说来，下行链路上的基站与上行链路上的手机终端的发射功率具有相当大的差异，手机发射功率限制了小区的覆盖范围，也就是说，决定基站覆盖范围大小的，主要是上行（也就是手机的发射功率）。众所周知，当电磁波的频率越高，其在传播过程中随传播距离的衰减越严重，而在 5G 时代，使用的频段越来越高，加上基站侧因大规模阵列天线增益、TDD 模式下时隙配比差异，将会导致这种上下行不平衡的现象越发严重。

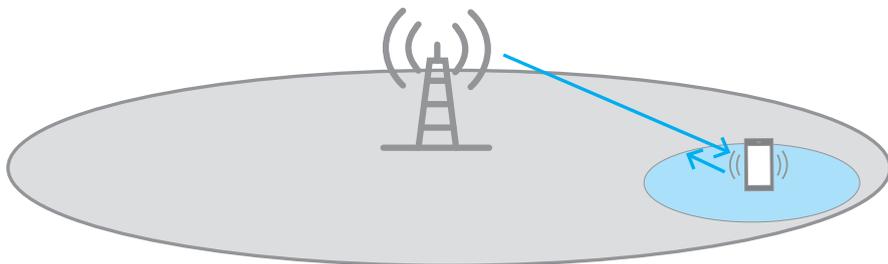


图 1-8 上下行通信距离

那么，我们就必须在网络部署上想办法弥补覆盖差异，例如使用高功率终端来改善上行，或者增加基站侧天线的接收增益来补偿上行链路，这些使得网络投入成本遇到前所未有的挑战。

那怎么才能让手机发射信号的传播距离更远呢？

上下行解耦技术打破了上下行绑定于同一频段的传统限制，能够有效改善与解决上下行不平衡的问题。以下图为例，在上行受限区域中，使下行数据在 C-Band(下行使用 3.5 GHz)传输，而上行数据在 Sub-3G(例使用 1.8 GHz 的补充频段(SUL))传输，从而提升了上行覆盖。手机在更低的频段发射信号，频率越低，穿透性越强，传输距离就越远，从而补偿 3.5 GHz 上行覆盖不足的缺陷。

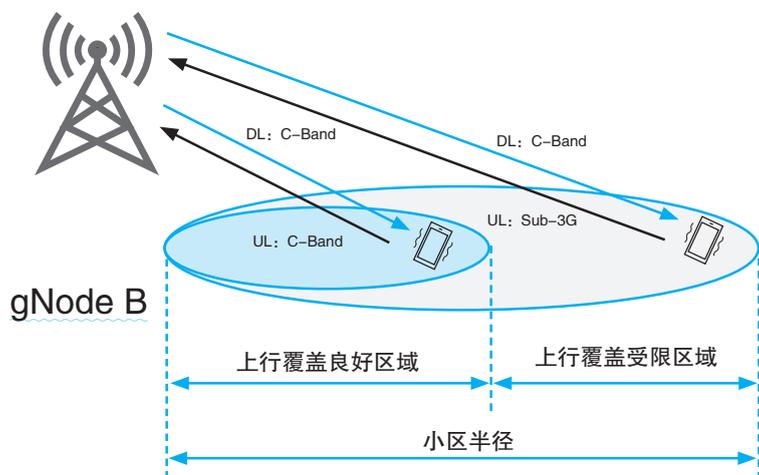


图 1-9 上下行解耦

根据测试结果，在部署了 4~5 个基站、20 部左右终端、100 MHz 频谱的测试场景下，整个小区的峰值速率可以达到近 20 Gbps，而 5G 终端在远离基站 355 米的情况下，仍可以达到 1.2 Gbps 的速率。测试结果表明，使用 3.5 GHz 上行比下行差了约 14 db 的覆盖，而使用 1.8 GHz 能够提升上行覆盖约 10 db，体现了上下行解耦技术资源利用的高效性。

## 5G 频谱分配

### 1. 中国

三家运营商在拿到频谱后加速开展外场试验和业务规范测试，2019 年试商用



和 2020 年商用顺利实现，5G 网络的部署和发展符合预期。

中国联通和中国电信获得 3.5 GHz 的国际主流频段；中国移动获得 (2.6+4.9) GHz 组合频谱。

中国电信：3 400~3 500 MHz 的 100 MHz；

中国联通：3 500~3 600 MHz 的 100 MHz；

中国移动：2 515~2 675 MHz 的 160 MHz 和 4 800~4 900 MHz 的 100 MHz。其中 2 515~2 575 MHz，2 635~2 675 MHz 和 4 800~4 900 MHz 为新增频段；2 575~2 635 MHz 频段为重耕中国移动现有的 TD-LTE (4G) 频段。

毫米波段：24~53 GHz。

中国联通和中国电信获得 3.5 GHz 附近国际主流的 5G 频段，具有如下特点：

- (1) 产业链相对成熟，研发较完善，最具有全球通用可行性；
- (2) 发展进度比较快，实现商用的时间比较早；
- (3) 更低频、更经济，所需基站密度更低，资本支出相对更小。

中国移动获得 (2.6+4.9) GHz 组合频谱，具有如下特点：

- (1) 4.9 GHz 的 100M 带宽可以支持的用户数和流量更多，但是所需基站的密度更大，对资本支出带来一定压力；
- (2) 2.6 GHz 频谱产业链成熟度低，需要中国移动主动推动产业链的培育和布局，但覆盖范围广、资本开支小，也可为 5G 商用带来双频段保险。

另外，中国广播电视网络集团有限公司（简称中国广电）获得了 700 MHz 的 5G 牌照：698~790 MHz。

## 2. 美洲地区

美国已经释放了可以以技术中立基础进行使用的频谱（600 MHz 频谱可以用于 5G）。美国还确定了可以使用 28 GHz (27.5~28.35 GHz) 和 39 GHz (37~40 GHz) 频段用于 5G 服务，这两个频段在多年前就已进行了划拨。美国还将使用 2.5 GHz 频段用于 5G。同时，巴西、哥伦比亚、萨尔瓦多、墨西哥和美国都在计划拍卖或分配适用于 5G 服务的频谱。

阿根廷和智利则在进行频段考虑，加拿大已经宣布 600 MHz 为技术中立许可频谱。

### 3. 欧洲地区

大部分都使用 3.5 GHz 频段，以及 700 MHz，26 GHz。

已经完成了 5G 频谱拍卖或商用的有爱尔兰、拉脱维亚、西班牙（3.5 GHz）和英国；已经完成了可能用于 5G 频谱拍卖的有德国（700 MHz）、希腊和挪威（900 MHz）；已经确定进行 5G 频谱拍卖的有奥地利、芬兰、法国、德国、希腊、意大利、荷兰、罗马尼亚、瑞典和瑞士；计划中的拍卖可能会有适用于 5G 频段的有挪威、斯洛伐克和瑞士。

### 4. 亚太地区

已经确定了 5G 频谱拍卖或分配：中国（除港澳台）、中国香港地区、澳大利亚、马来西亚、日本和韩国。其中，2018 年 6 月，韩国完成了 3.42~3.7 GHz 和 26.5~28.9 GHz 频段的 5G 拍卖，并已在 3.5 GHz 频段商用。

### 5. 中东和非洲地区

沙特阿拉伯于 2022 年完成了适用于 5G 服务的频谱拍卖，中东地区至少 8 个国家和地区开展了 5G 试验工作，坦桑尼亚已经将 700MHz 频谱划拨用于 ICT 服务，南非则计划进行 800 MHz 频谱拍卖用于 IMT 服务。

## 5G 标准演进

3GPP 作为国际移动通信行业的主要标准组织，承担着 5G 国际标准技术内容的制定工作。3GPP R15 阶段启动了 5G 标准工作项目，R16 及以后版本对 5G 标准进行了完善增强。5G 标准制定如图 1-10 所示。在 R15 启动之前，3GPP 就在进行 5G 相关标准研究工作，包括 5G 系统框架和关键技术研究，该阶段的成果被称为 R14 版本，于 2017 年 3 月份完成，6 月份冻结。

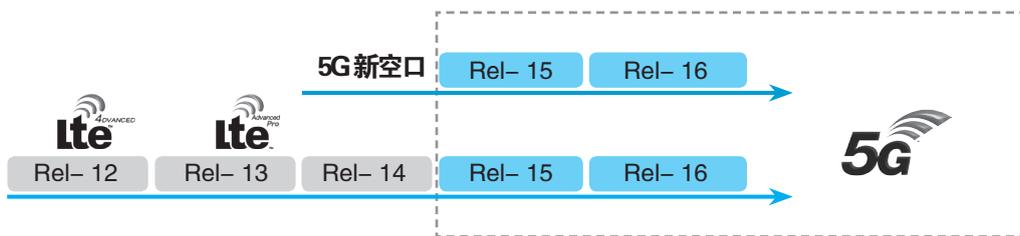


图 1-10 5G 标准制定工作计划



关于 R15 和 R16 两个版本，其中 R15 重点满足增强移动宽带和超高可靠低时延通信应用需求，该阶段又分为两个子阶段，第一个子阶段 5G NR (New Radio) 非独立组网特性已于 2017 年 12 月完成，2018 年 3 月份冻结；第二个子阶段 5G NR 独立组网标准于 2018 年 6 月完成，9 月冻结。R15 主要聚焦于 eMBB 应用场景，包含新波形、新编码、新型帧结构、上下行解耦等主要特性；R16 包含新型多址、uRLLC 和 mMTC 等方面的特征。

### 1. 3G PP 5G 标准 R15 版本时间表

Early drop(早期交付): 即支持 5G NSA(非独立组网)模式，系统架构选项采用 Option 3, 对应的规范及 ASN.1 在 2018 年第一季度已经冻结。

Main drop(主交付): 即支持 5G SA(独立组网)模式，系统架构选项采用 Option 2, 对应规范及 ASN.1 分别在 2018 年 6 月及 9 月已经冻结。

Late drop(延迟交付): 是在原有的 R15 NSA 与 SA 的基础上进一步拆分出的第三部分，包含了考虑部分运营商升级 5G 需要的系统架构选项 Option 4 与 7、5G NR 新空口双连接(NR-NR DC)等。标准冻结在 2019 年 3 月，对应 ASN.1 在 2019 年 6 月冻结，比原定计划延迟了 3 个月。受垂直物联网业务的驱动，Rel-15 SA 模式组网已经在中国商用。

### 2. 3GPP 5G 标准 R16 版本时间表

5G 的第二个标准版本 R16 标准进一步满足大连接低功耗场景，全面满足 eMBB、uRLLC、mMTC 等各种场景的需求。

Rel-16 作为 5G 第二阶段标准版本，主要关注垂直行业应用及整体系统的提升，主要功能包括面向智能汽车交通领域的 5G V2X，在工业 IoT 和 uRLLC 增强方面增加可以在工厂全面替代有线以太网的 5G NR 能力，如时间敏感联网等，包括 LAA 与独立非授权频段的 5G NR，其他系统提升与增强包括定位、MIMO 增强、功耗改进等。

2018 年 6 月已经确定了 Rel-16 的内容范围。受 Rel-15 Late drop 版本冻结时间推迟的影响，Rel-16 规范冻结时间由原定的 2019 年 12 月推迟至 2020 年 3 月，ASN.1 冻结推迟到 2020 年 6 月。

### 3. 3GPP 5G 标准 R17 版本时间表

3GPP 标准制定工作都是这一版还在进行中，下一版就开始准备了。Rel-17

的几个关键时间点已经确定。

在 2020 年 6 月 RAN 第 84 次会议上专门安排了一整天时间来讨论 Rel-17 相关的建议，将各家厂商提出的建议都归到了工作区并开始基于邮件 8 的讨论。

2020 年 9 月 RAN 第 85 次会议上评审检讨工作区的邮件，讨论进展，并进行调整。

2020 年 12 月 RAN 第 86 次会议最终确认批准 Rel-17 的内容，后面开始正式 Rel-17 规范制定。

R17 版本于 2022 年 6 月冻结。

#### 4. 3GPP 5G 标准 R18、R19 版本时间表

Rel-18 于 2019 年 9 月启动，预计 2024 年 6 月冻结。

Rel-19 于 2021 年 6 月启动。

#### 任务小结

5G 新频谱包含 C 波段和毫米波。C 波段在各区域、国家均有可用频谱，且至少可获得 200 MHz 可用带宽。目前业界探讨的毫米波潜在协同频谱为 24.25~29.5 GHz (Group 30) 和 37~43.5 GHz (Group 40)。

2017 年 7 月，工业和信息化部批复 24.75~27.5 GHz 和 37~42.5 GHz 频谱用于我国 5G 技术研发测试。

工信部发布了 5G 系统在 3 000~5 000 MHz 频段（中频段）内的频率使用规划，我国成为国际上率先发布 5G 系统中频段内频率使用规划的国家。规划明确了 3 300~3 400 MHz（原则上限室内使用）、3 400~3 600 MHz 和 4 800~5 000 MHz 频段作为 5G 系统的工作频段。

#### 拓展知识

请思考：5G 主要采用什么双工方式？

大家从 FR1 和 FR2 两个频段的最后一列“双工模式”可以看出，我国当前 5G 频段主要使用 N41、N78、N79 及毫米波频段，主要采用 TDD 组网，这是为什么呢？

在移动通信中，频谱是非常宝贵的资源，能分出 1 个连续 100M 带宽已



经非常不容易了，要分出 2 个连续 100M 带宽更是难上加难，况且目前大多数用户的业务需求主要以下行为主，因此也没必要给上下行分配同样的频谱资源，造成浪费。

## 任务评价

### 一、单选题

1. 5G R15 已完成，优先聚焦下列哪个场景？（ ）  
A. LTE                      B. eMBB                      C. uRLLC                      D. mMTC
2. 根据 3GPP 协议规定，5G 网络主要使用两段频率：FR1 频段和 FR2 频段。其中 FR1 包括的频段是下列哪项？（ ）  
A. 1 ~6 GHz                      B. 450 MHz~6 GHz  
C. 24.25~52.6 GHz                      D. 6~52.6 GHz
3. 5G 从 3GPP 哪个 Release 版本开始的？（ ）  
A. R10                      B. R13                      C. R15                      D. R16
4. FR1 是什么意思？（ ）  
A. 6 GHz 以下频谱                      B. 6 GHz 以上频谱
5. FR2 是什么意思？（ ）  
A. 6 GHz 以下频谱                      B. 6 GHz 以上频谱
6. 5G 网络的频段分为 FR1 和 FR2，其中在 FR2 频带中，可以配置的最大信道带宽为（ ）。  
A. 100M                      B. 200M                      C. 300M                      D. 400M
7. 5G 网络的频段分为 FR1 和 FR2，其中在 FR1 频带中，可以划分为 Sub-3GHz 和 C-band，下列频段中，属于 C-band 范围的是（ ）。  
A. 1 805~1 880 MHz                      B. 869~894 MHz  
C. 3.3~4.2 GHz                      D. 2 496~2 690 MHz
8. 5G FR2 频段支持多种带宽配置，下列哪一项不是 FR2 频段支持的带宽？（ ）  
A. 50 MHz                      B. 100 MHz                      C. 150 MHz

D. 200 MHz                      E. 400 MHz

9. 在 5G C-band 组网场景下，会采用上下行解耦技术来解决上下行覆盖不平衡问题，其中 SUL 频段主要用于下列哪类用户？（ ）

- A. 小区中心用户                      B. 小区边缘用户  
C. 调度比较少的用户                      D. 业务发生比较频繁的用户

## 二、多选题

C-band 为 5G 网络的主用频段，下列关于 C-band 的描述，正确的有（ ）。

- A. C-band 是 NR 新增频段，频谱资源丰富  
B. C-band 支持的小区带宽最大可以达到 100 MHz  
C. 采用 C-band 组网时，上行链路覆盖较差，上下行不平衡问题比较明显  
D. C-band 频段低，覆盖性能好

## 三、简答题

1. 中国电信、中国移动、中国联通和广电的 5G 频谱分别是多少？