

迎接5G的到来： 机遇与挑战



迎接5G的到来：机遇与挑战

2018

鸣谢

本报告是在国际电联/电信发展局（ITU/BDT）基础设施、有利环境和电子应用部主任Kemal Husenovic先生的监督下编写的。负责智慧咨询的Iqbal Bedi先生在国际电联电信发展局监管和市场环境处处长Sofie Maddens女士的领导下与国际电联电信发展局电信技术和网络处合作做出贡献。

国际电联电信标准化局（TSB）和国际电联无线电通信局（BR）也做出了重大贡献。国际电联电信发展局（BDT）团队包括István Bozsóki、Desiré Karyabwite和Nancy Sundberg。无线电通信局团队包括Mario Maniewicz、Philippe Aubineau、Sergio Buonomo、Joaquin Restrepo、Diana Tomimura和Nikolai Vassiliev。电信标准化局团队包括Bilel Jamoussi、Martin Adolph、Denis Andreev、Cristina Bueti、Tatiana Kurakova和Hiroshi Ota。

本报告中表达的观点是作者的观点，不一定反映国际电联或其成员的意见。

ISBN

978-92-61-27585-3（纸页版）

978-92-61-27595-2（电子版）

978-92-61-27605-2（电子出版物版）

978-92-61-27615-7（手机版）



打印本报告之前，请考虑到环境影响

© ITU 2018

保留所有权利。未经国际电联事先书面许可，不得以任何手段对本出版物的任何部分进行复制。

我很高兴提交这份与国际电联标准化局和无线电通信局合作编写的关于5G：机遇与挑战的报告。该报告为信息通信技术（ICT）政策制定者、国家监管机构（NRA）和运营商描绘了日益接近的5G技术的前景。5G有潜力为公民、企业、政府和经济带来变革。投资是关键，但在承诺投资之前，许多因素需要考虑。

本报告有助于通览有关5G的问题并为希望在未来几个月和几年做出重要投资决策的政策制定者提供一个有分寸、实用的方法。报告介绍的十六个关键问题在阅读中不可忽略，在我们着手应对5G机遇和挑战时，这些问题构成了一个强有力的出发点。

本报告还有助于揭开5G的神秘面纱，认识到5G的巨大潜力并提出一系列旨在帮助政策制定者、监管机构和运营商开展有效合作，从而在迎接挑战的同时，从这项新技术带来的众多机遇中获益的建议。报告还建议政策制定者提高4G网络的可用性和质量，直到5G网络的情况变得更加清晰和引人注目。

我向我的同事国际电联电信标准化局主任李在摄先生和国际电联无线电通信局主任弗朗索瓦·朗西先生表示感谢，感谢他们做出的宝贵贡献，使这份报告成为国际电联的一个有用工具，为政策制定者和国家监管机构寻求利用数字经济的好处提供指导。



国际电联电信发展局主任
布哈伊马·萨努

前言	iii
缩写和首字母缩写词	ix
内容提要	xii
1 引言	1
2 5G概况	2
2.1 国际电联的作用	2
2.2 什么是5G?	2
2.3 5G用例	5
2.4 5G的社会经济影响	7
2.5 数字鸿沟	8
3 5G技术和频谱要求	9
3.1 无线电接入网	9
3.2 核心网	11
3.3 回程网	12
3.4 前传 (Fronthaul)	12
3.5 5G频谱	13
4 推广5G的主要挑战	16
4.1 部署小型基站的挑战	16
4.2 光纤回程网	17
4.3 频谱	18
4.4 其他因素	19
5 “好” 是什么样子?	20
5.1 简化小基站的部署	20
5.2 政策干预 – 光纤和频谱	21
5.3 基础设施共享	21
5.4 向光纤过渡	23
5.5 应对本地规划方面的挑战	24
5.6 频谱统一	25
5.7 频谱许可	26
5.8 5G试点	27

6	成本和投资影响示例	29
6.1	概述	29
6.2	方法	30
6.3	情形	31
	情形1-人口稠密的大城市	31
	情形2-人口密度居中的小城市	31
6.4	结果	32
6.5	独立成本估算	33
6.6	投资模式	33
7	结论	34
	附件A	35

图表框目录

图目录

图1: ITU-R IMT-2020具体时间安排和进程	2
IMT-2020之关键特性较IMT-Advanced所取得的强化图示	4
图2: 移动网络的演进	5
图3: 3G使用情形	6
图4: 5G应用的带宽和时延要求	9
图5: 宏蜂窝和小蜂窝网络	10
图6: 小型基站天线系统和街边机柜	10
图7: 典型的中立主机批发 (host wholesale) 小型扇区解决方案	29
图8: 典型的中立主机批发小型扇区解决方案	30
图9: 情形1的CAPEX – 人口密集的大城市	32
图10: 情形2的CAPEX – 人口较少的小城市	32
图11: 构成CAPEX的不同要素	32

框目录

框1: 2020年 (5G) 及之后IMT的作用	3
框2: 5G和固定移动融合 (FMC)	7
框3: 阿伯丁	10
框4: Telefonica正在投资开发SDN和NFV	11
框5: ITU-R关于24以上和86GHz频率以下的IMT的技术可行性研究	14
框6: 运营商观点 – 华为多层频谱方案	15
框7: 行业内部对阻碍小基站部署的障碍的看法	17
框8: 部署光纤网面临的挑战	18
框9: 简化小基站的部署	20
框10: 英国光纤投资	21
框11: 5G工作组, 澳大利亚	21
框12: 强制性网络共享	22
框13: 商业驱动的网络共享	22
框14: 向光纤过渡	23
框15: 伦敦市的标准化通行权协议	24
框16: 高效规划程序	25
框17: 一些国家监管机构提出的有关5G频谱的提案	25
框18: 政府引导的5G举措	27
框19: 由商业机构引导的5G测试点	28

缩写和首字母缩写词

本文件全篇多处使用了缩写和首字母缩略词以便言简意赅。

缩写/首字母缩写词	说明
2G、3G、4G、5G*	不同各代移动标准
5GIA	5G基础设施协会
AI	人工智能
AV	自动驾驶汽车
BEREC	欧洲电子通信监管机构
BNG	宽带网络网关
CAGR	复合年增长率
CAV	联网自动驾驶汽车
CCTV	闭路电视
CPRI	通用公共无线电接口
C-RAN	云/集中无线电接入网络
DAN	数据认知网络
EC	欧洲委员会
EMBB	增强的移动宽带
EMC	电磁兼容
EMF	电磁场
EU	欧洲联盟
FCC	联邦通信委员会
FG ML5G	包括5G在内未来网络机器学习焦点组
FMC	固定移动融合
FTTH	光纤到户
FTTP	光纤到驻地
FUTEBOL	欧盟-巴西开放实验室电信研究设施联盟
GSMA	GSM协会
HAPS	高空平台系统
ICNIRP	国际非电离辐射保护委员会
ICT	信息通信技术

* <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.html#p=1>

缩写/首字母缩写词	说明
IMT-2020	2020年国际移动通信标准
IoT	物联网
ITU	国际电信联盟
ITU-BDT	国际电联电信发展局
ITU-D	国际电联发展部门
ITU-R	国际电联无线电通信部门
ITU-T	国际电联标准化部门
LTE-A Pro	长期演进Advanced Pro
MCS	关键任务服务
MER	主设备室
MIMO	多输入、多输出
MIoT	广泛的物联网
mmWave	毫米波
MMTC	广泛的机器类通信
NFV	网络功能虚拟化
NISA	国家信息社会机构（韩国）
NRA	国家管理局
OTN	光传送网络
PMP	点对多点
PPP	公众私营伙伴关系
Q.NBN	卡塔尔国家宽带网络
RAN	无线电接入网
RF EMF	无线电频率电磁场
ROF	光纤无线电
RRU	远程无线电单元
SDN	软件定义网络
SMP	显著市场影响力
TCO	总体拥有成本
TIM	意大利移动通信公司
URLLC	超可靠和低延迟通信
WHO	世界卫生组织

* <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.html#p=1>

缩写/首字母缩写词	说明
WLAN	无线局域网
WRC-19	2019年世界无线电通信大会
WTDC	世界电信发展大会

* <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.html#p=1>

除非另有说明，政策制定者指NRA，即当地（市或州）或国家（联邦）层面的政府机构。

内容提要

人们对5G充满希望，许多人认为它将为变革带来希望 – 改进的用户体验、新的应用、新的商业模式和新的服务将伴随着千兆比速率、更加先进的网络性能和可靠性应运而生。独立经济研究预测，5G网络和服务站在成功的2G、3G和4G移动网络的肩膀上，将带来极为可观的经济效益。

注意：需要大量投资

然而，尽管潜在好处无数，人们依然担心5G技术尚不成熟，因而警告声不绝于耳。鉴于部署5G网络需要大量投资，运营商对商业案例持怀疑态度。¹本报告对部署小区就绪的5G网络的成本进行了估算。在假设光纤回程在商业上可行的情况下，成本可从小城市的680万美元到人口密集大城市的5550万美元不等。

加大数字鸿沟的危险

在人口密集的城市地区投资5G是可行的例子 – 对于运营商而言，这些地方一直是最具商业吸引力的地区。更具挑战性的是在这些地区以外投资5G网络引发的商业争论，尤其是在5G部署的早期。因此，农村和郊区不太可能获得5G投资，因而有可能会扩大数字鸿沟。

需要平衡的观点

只要5G的投资情况尚不确定，行业和政策制定者应保持谨慎的态度并考虑在5G部署前提高现有4G网络的可用性和质量。5G的需求并不迫切。政策制定者和运营商应该只考虑在有需求的地方部署5G网络，或者在有利的商业案例中部署5G网络。

政策制定者的行动是关键

在需求和5G部署高额成本并存时，政策制定者可以利用一系列法律和监管行动来推进5G网络的部署，其中包括：

- 对使用价格可承受的无线覆盖（如通过1 GHz频段以下）缩小数字鸿沟提供支持；
- 通过赠款或公众私营伙伴关系（PPP）等商业激励手段刺激5G网络投资。

5G：政策制定者要考虑的16个关键问题

本报告强调了16个关键问题和应对措施，供政策制定者在制定刺激5G网络投资的战略时考虑。所以这一切代表应对过渡中各主要问题的整体方法的调整手段，以明智的方式酌情启动向5G的高速过渡。

¹ <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>

需考虑的关键问题

编号	摘要	供考虑…
1)	投资案例	政策制定者可考虑对部署5G网络商用可行性进行各自独立的经济评定。
2)	4G网络战略	在5G网络具有明确案例之前，政策制定者可考虑加强4G网络的可用性并提高其质量。
3)	统一频谱	NRA可考虑在全球范围内划分/指配统一的5G频段。
4)	频谱路线图	NRA可考虑采用频谱路线图和可预测的更新程序。
5)	频谱共用	NRA可考虑允许共用，以便以最高的效率利用可用频谱，特别为农村地区带来收益。
6)	频谱定价	NRA可考虑选择有利于投资的频谱奖励程序。
7)	700MHz频谱	政策制定者可考虑支持使用价格可承受的无线覆盖（如通过700 MHz频段）以缩小数字鸿沟风险。
8)	光纤投资激励	政策制定者在市场未能发挥作用的时候可考虑通过PPP、投资基金以及提供捐款等方式刺激光纤投资和无源资产。
9)	光纤税	政策制定者可考虑取消与部署光网相关的任何税收负担，从而降低相关费用。
10)	铜线向光纤的过渡	政策制定者可考虑采用政策/金融激励机制，鼓励从光缆到光纤的过渡并刺激光纤的部署。
11)	无线回程	运营商可考虑在光纤的基础上增加5G回程的无线技术组合，其中包括点对多点（PMP）、微波和毫米波（mmWave）无线中继、高空平台系统（HAPS）和卫星
12)	无源基础设施的接入/共享	政策制定者可考虑允许使用政府所有的基础设施，如电线杆、交通灯和灯杆，使无线运营商获得在街头装置上部署电子小区设施的适当权利。NRA可考虑制定现有管道接入制度，将5G网络涵盖其中，允许进行价格可承受的光纤部署。
13)	接入成本	政策制定机构/NRA可考虑确保向运营商收取合理的费用，以便将小区无线电设备安置在街头装置上。
14)	资产数据库	政策制定者可考虑建立中央数据库，确定主要联络人，显示公益事业管道、光纤网络、中央监控（CCTV）杆、电线杆等资产。这将有助于降低运营商成本并帮助他们更准确地规划基础设施部署。
15)	通行（路权）协议	政策制定者可就标准通行协议达成一致以降低成本并缩短部署光纤和无线网络的时间。
16)	5G测试点	政策制定者可考虑鼓励进行5G测试并建立测试点测试5G技术以及用例，刺激市场参与。

1 引言

国际电联将5G网络和人工智能（AI）视为实现智慧社会必不可少的基础。5G是下一代移动标准，通过提供千兆比速率的新应用和服务保证向最终用户提供更佳体验并大大提高性能和可靠性。5G网络利用AI将得到加强，使数据更具意义，管理并调配网络资源，为连接和自动系统提供智能。

为此，国际电联正在开展“面向2020年及之后的国际移动通信（IMT）”项目，为在全世界范围内兴起的5G研究活动奠定了基础。国际电联还成立了有关包括5G在内的未来网络机器学习焦点组。¹该焦点组正在研究用例、服务、要求、界面、协议、算法、了解机器学习的网络架构和数据格式。

本报告是作为人工智能报告总体框架的一部分编写的，旨在帮助各国政府、信息通信技术（ICT）监管机构或国家监管机构（NRA）为人工智能和5G数字转型做好准备。

本报告阐述了对5G的预期并审议了私营和公共部门为5G做准备时所进行的基础设施投资要求。报告旨在支持日新月异的用例和服务，并帮助各行业满足对这些服务预期性能（千兆比数据速率），低延迟和高可靠性的要求，确保最终用户充分获得5G预期提供的经济效益。

此外，本报告还探讨了无线运营商将4G网络升级到5G的过渡战略—尤其是在5G推广可能被列为工作重点的城市地区—以及阻碍5G网络部署的各种政治、战略和技术挑战。虽然发达经济体正在为向5G的迈进采取重要步骤，但欠发达经济体无线运营商将面临的挑战亦得到考量。

本报告还包含一个高级成本模型，用来估算无线运营商升级到5G网络可能需要的资本投入，以及NRA可以用来激励5G投资的潜在模型。最后，基于对运营商的采访并配合辅助研究，报告借鉴了政策制定者在5G开发准备中作为推动方、促进力量和协调者可发挥的作用的真实案例，以加快部署并降低部署成本。

本报告其余部分采用如下结构：

- 第2节审议5G、其演进以及5G在现有无线技术之上可提供的收益，包括经济和更广泛的社会效益。
- 第3节介绍了支持5G网络的频谱要求和技术以及运营商如何期待向5G网络的发展。
- 第4节从基础设施和频谱政策角度阐述了部署5G网络的关键挑战。
- 第5节提供了政策制定者如何利用与5G网络部署相关问题启动工作的实例。
- 第6节探讨了发展5G网络的投资要求以及激励5G投资可能采用的手段。
- 第7节建议NRA和政府中的政策制定机构采取的行动，以帮助他们在完成落实的过程中简化工作并降低成本。

¹ <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>

2 5G概况

本节介绍了国际电联在制定5G标准中发挥的作用以及5G可带来的益处。在生态系统尚未健全时，5G或许还不能在所有区域得到适当考虑。此外，人们对将5G最初部署于人口密集城市地区可能会加大数字鸿沟存有一些疑虑。

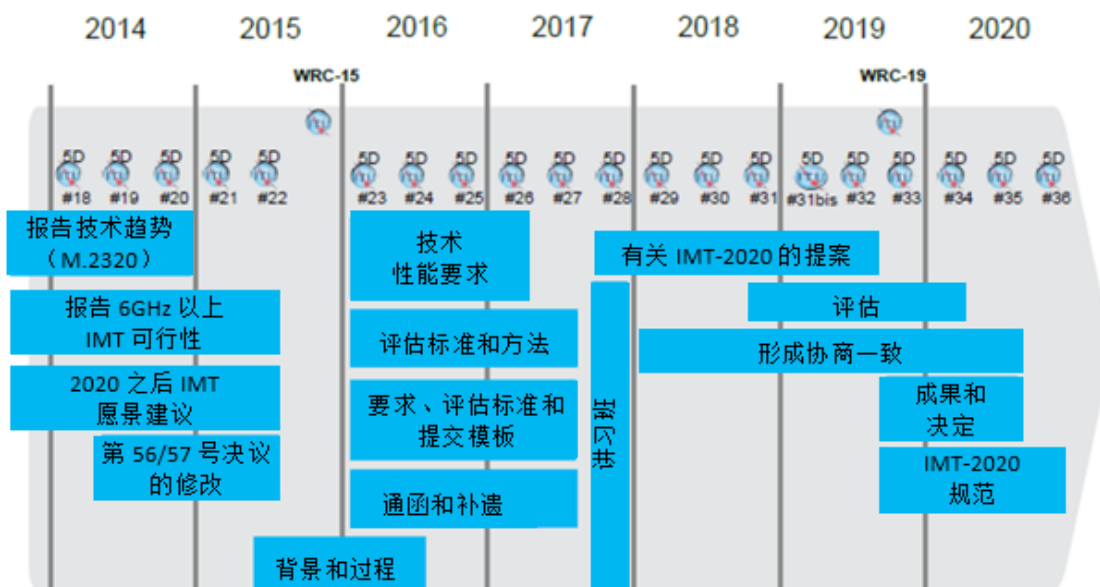
2.1 国际电联的作用

5G是国际电联正在制定的下一代移动标准。IMT-2020（5G）是该系统、组件以及支持超越IMT-2000（3G）和IMT-Advanced（4G）系统所提供的能力的相关要素名称。

国际移动通信2020标准（IMT-2020）：

- 为在世界各地兴起的5G研究活动奠定基础。
- 定义5G标准进程的框架和总体目标。
- 为指导将于2020年前结束的该进程确定路线图（见图1）。

图1：ITU-R IMT-2020具体时间安排和进程



附件A概括介绍了国际电联已就5G开展的工作。

2.2 什么是5G?

从最高层面来说，5G为政策制定者增强公民和企业的力量提供了机会。5G将在支持政府和政策制定者将其城市改造成智慧城市方面发挥关键作用，使公民和社区意识到先进的数据密集型数字经济带来的社会效益并参与其中。

5G承诺通过千兆比速率提供新的应用程序和服务来改善最终用户体验并显著提高性能和可靠性。5G将在改变了社会的2G、3G和4G移动网络成功的基础上支持新的服务和新的商业模式。5G为无线运营商提供了超越提供连接服务的机会，使他们以可承受的成本为各行各业的消费者和企业开发丰富的解决方案和服务。5G是实现有线和无线融合网络的机会，尤其是在整合网络管理系统方面。

随着5G标准的最终确定，商用5G网络预计将在2020年后开始部署（如图2所示）。¹ GSM协会（GSMA）预计，到2025年，5G连接将达到11亿，约占移动连接总数的12%。该公司还预测，运营商总收入将以2.5%的复合增长率增长，到2025年将达到1.3万亿美元。²

与3G和4G相比，5G也有望大幅提高数据速率并减少延迟。预计5G将使延迟显著降低至1毫秒以下，适用于数据时间敏感的关键任务型服务。5G的高速能力意味着该网络可以提供一系列高速宽带服务，并提供FTTH或铜线连接等最后一英里接入的替代方案。

框1：2020年（5G）及之后IMT的作用

2020及之后的IMT未来发展框架详细阐述在ITU-R M.2083-0建议书中。建议书指出，IMT系统将继续有助于以下各方面的发展：

- **连接世界的无线基础设施：**宽带连接将与日常用电一样不可或缺，IMT作为促进移动服务供应和信息交换的关键支柱之一，将持续在这一背景下发挥其重要作用。在未来，私人和专业用户将享有品类众多的应用和服务，包括从信息娱乐服务到新型工业和专业应用等。
- **新型ICT市场：**未来IMT系统的发展有望推动ICT综合产业的出现，从而促进全球各国经济发展。可能出现的一些领域包括：大数据积累、聚集和分析；为使用无线网络的企业和社交网络群体提供定制化网络服务。
- **缩小数字鸿沟：**IMT将继续帮助缩小大数据鸿沟增大带来的诸多差距。价格实惠、可持续的无线通信系统可帮助实现这一目标，同时还能实现高效节能以及效率最大化。
- **新的通信方式：**在IMT的帮助下，用户将通过任何设备随时随地获取各类内容。用户将创建并分享更多内容，而不会受到时间和地域的制约。
- **新的教育形式：**IMT通过方便用户访问电子教科书，实现知识的互联网云存储，而使教育方式发生了变革，推动了电子学习、电子健康和电子商务等应用的发展。
- **提高能效：**IMT支持机器对机器通信和智能电网、远程会议、智能物流和运输等解决方案，而促进众多经济领域提高能源使用效率。

¹ 2012年，国际电联无线电通信部门（ITU-R）启动了一项旨在2020年前制定用于5G的国际移动通信（IMT）标准的计划。

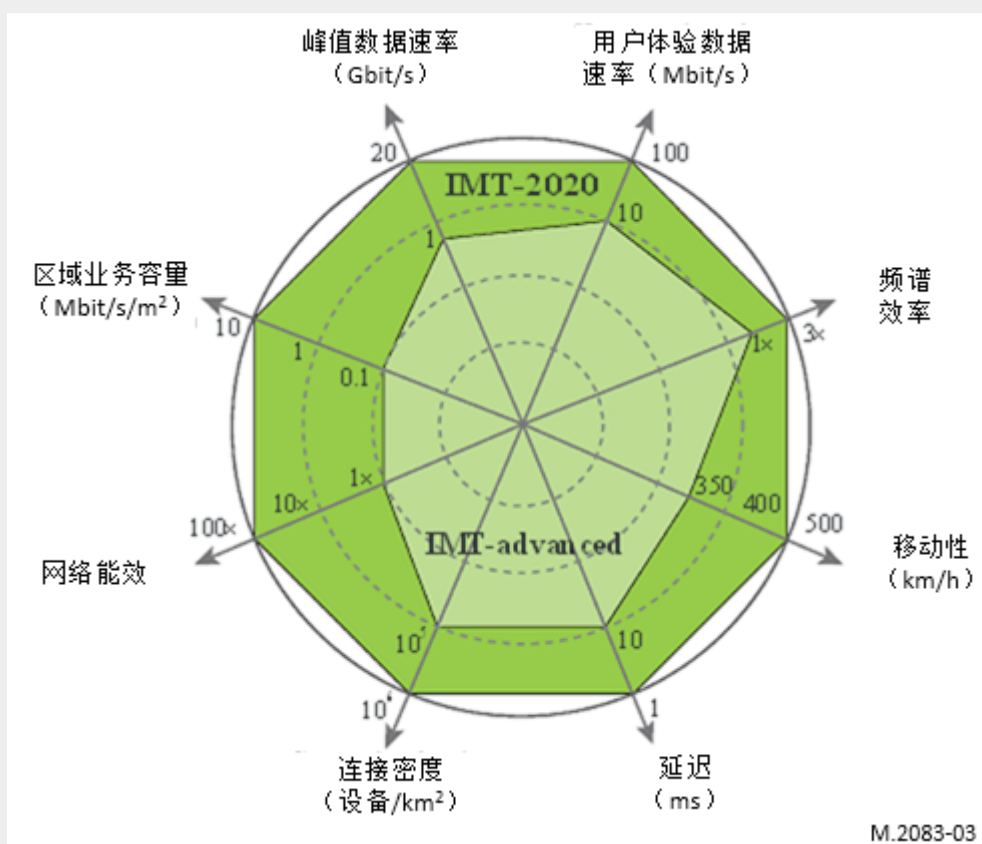
² “5G时代：无捆绑连接和智能化时代”，GSMA情报，2017年：<https://www.gsmaintelligence.com/research/2017/02/the-5g-era-age-of-boundless-connectivity-and-intelligent-automation/614/>。

框1：2020年（5G）及之后IMT的作用（续）

- 社会变革：通过社交网络服务，宽带网络让涉及政治或社会问题的公众舆论更易于快速生成并得到快速传播。相互联系的广大公众由于能够随时随地地分享信息，因此舆论一旦形成，其将会成为推动社会变革的关键因素。
- 新艺术和文化：IMT将支持人们创作艺术品以及参与各类群体演出和活动，如虚拟合唱、快闪族活动、共同创作或歌曲编写。此外，连接虚拟世界的人们能构建新型社区并开创属于自己的文化。

IMT-2020目标如下：

IMT-2020之关键特性较IMT-Advanced所取得的强化图示



就IMT-2020而言，其增强型移动宽带的峰值数据速率将达到10Gbit/s。不过，在某些条件和场景下，IMT-2020将支持多达20 Gbit/s的峰值数据速率（如图3所示）。IMT-2020将在各类增强型移动宽带环境内支持经用户体验不同数据速率。就广域覆盖的案例而言，城区和城郊用户有望获得经用户体验的100 Mbit/s数据速率。在热点案例中，用户体验数据速率值有望进一步提升（如在室内达到1 Gbit/s）。

框1：IMT 2020（5G）及之后的作用（续）

为实现增强型移动宽带，IMT-2020的频谱效率将比IMT-Advanced高三倍。可在IMT-Advanced基础上实现的效率增幅存在差异，在部分情形下频谱效率增长得更快（例如，据进一步研究所示，部分场景的频谱效率会增长五倍）。以热点为例，IMT-2020还将支持10 Mbit/s/m²的区域通信能力。

IMT-2020无线接入网络的能耗不应高于当今部署的IMT网络能耗，同时还应提供各类增强性能。因此，为实现增强型移动宽带，IMT-2020网络能效的增强幅度至少应等同于从IMT-Advanced到IMT-2020的预计通信能力增幅。

IMT-2020应能够实现1ms的空中下载延迟，支持极低延迟要求的服务。IMT-2020还将实现高达500 km/h的高移动性，同时确保可接受的服务质量。这是专门为高速铁路设计的服务。

最后，IMT-2020将支持高达10⁶/km²的连接密度，以适用于大规模机器类型通信情形。

来源：ITU-R M.2083-0建议书

图2：移动网络的演进

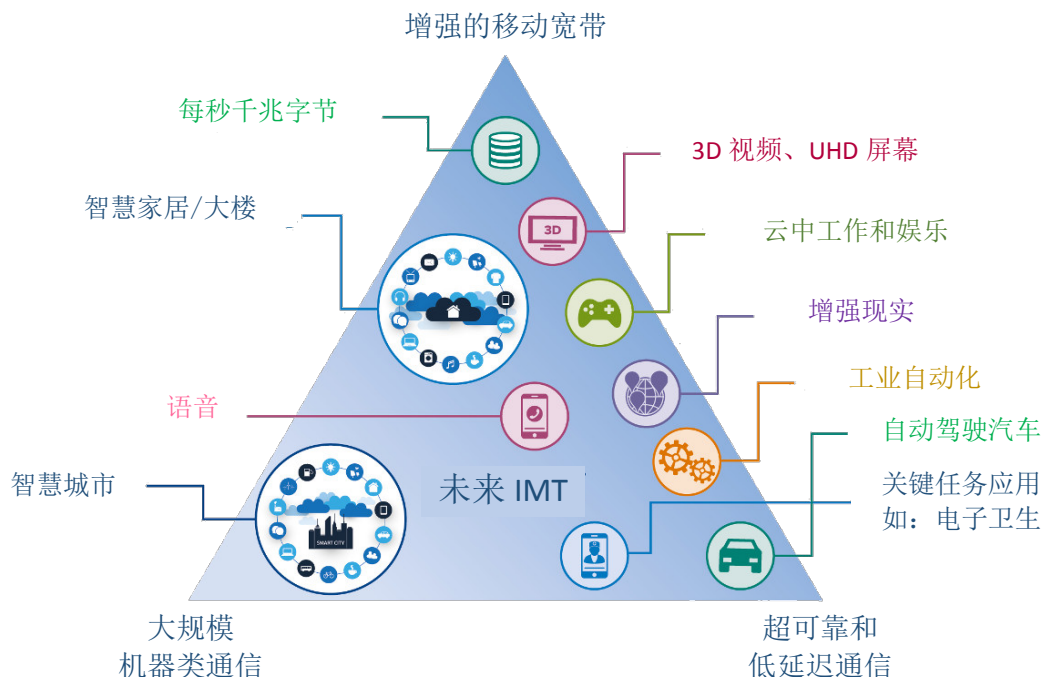
	1G	2G	3G	4G	5G
大致部署日期	1980s	1990s	2000s	2010s	2020s
理论下载速率	2kbit/s	384kbit/s	56Mbit/s	1Gbit/s	10Gbit/s
延迟	N/A	629 ms	212 ms	60-98 ms	< 1 ms

2.3 5G用例

5G承诺的高速率和低延迟将推动社会进入崭新的智慧城市和物联网（IoT）时代。业界利益攸关各方已确定了若干5G网络可能的用例，ITU-R将这些用例确定为三个重要类别（见图3）：

1. **增强的移动宽带（eMBB）** – 增强的室内和室外宽带、企业协同、增强和虚拟现实。
2. **广泛的机器类通信（mMTC）** – IoT、资产跟踪、智慧农业、智慧城市、能源监测、智慧家居、远程监测。
3. **超可靠和低延迟通信（URLLC）** – 自动驾驶汽车、智能电网、远程患者监测和远程医疗、工业自动化。

图3：3G使用情形



根据无线运营商的看法，eMBB预计成为5G部署早期的主要使用案例。eMBB将高速移动宽带带到人口聚集地区，使消费者得以享受家庭高速流媒体、点播屏幕和移动设备，并使企业协作服务得到发展。一些运营商还正在考虑将eMBB作为缺乏铜线或光纤到户地区的最后一英里解决方案。

5G还将通过在城市和农村地区部署大量低功耗传感器网络，推动智慧城市和物联网的发展。5G内置的安全性和耐用性将使其适用于公共安全以及关键任务型服务，如智能电网、警察和安全服务、能源和水设施以及医疗保健。它的低延迟性能特点使其适用于远程手术、工厂自动化和实时过程控制。

5G的低延迟和安全特性将在智能交通系统的发展中大有作为，使智能交通工具能够相互通信，并为联网、自动驾驶汽车和卡车创造机会。例如，通过基于云的自动驾驶系统操作的自动驾驶车辆（AV）必须能够在被告知停止、加速或转弯时完成这些动作。阻止消息传递的任何网络延迟或信号覆盖丢失都可能导致灾难性后果。然而，无线运营商认为，尽管试点和实验正在进行之中，自动驾驶车辆在投入使用之前依然任重道远。

框2：5G和固定移动融合（FMC）

FMC是任何给定配置下的网络解决方案，不管固定和移动接入技术如何，也不管用户的位置如何，都为最终用户提供服务和应用。自2005年以来，FMC的概念已经得到实施。随着向5G方向的发展，FMC解决方案不断丰富。

ITU-T Y.3101建议书将IMT-2020网络设想成为一种与接入网络无关的架构，其核心将是用于IMT-2020新无线接入技术以及现有固定和无线网络（例如无线局域网（WLAN））的通用统一核心网络。与接入技术无关的统一核心网络预计将伴随与接入技术脱钩的通用控制机制。

新兴信息通信技术（如虚拟化、云、软件定义网络（SDN）、网络功能虚拟化（NFV））正在改变电信运营商的固定和移动网络，以实现资源高利用率和网络灵活性。从另一方面来说，这一切又有助于网络功能在IMT-2020网络中的融合。

为此，ITU-T第13研究组批准了对统一用户身份、统一计费、业务连续性和有保证的服务质量提供支持的相关服务要求，以及作为控制平面融合、用户数据管理、能力暴露和基于云的基础设施等网络能力要求做出规定的ITU-T Y.3130建议书（01/2018），以支持IMT-2020网络中的固定移动融合。

目前，ITU-T第13研究组不断对FMC方式的不同方面开展调研。这包括FMC服务时间安排 – 收集应用层、网络层和用户层信息的网络能力以生成服务时间安排政策（即流量时间安排、接入选择等）以支持FMC网络中的RAT多重接入。

在IMT-2020背景下，FMC代表向最终用户提供服务和应用的能力，无论固定或移动接入技术如何，也无论用户的位置如何。

2.4 5G的社会经济影响

第三方有关5G投资经济影响的研究微乎其微。然而，仍有可能利用一些第三方预测来估计5G对经济产出的影响。

国际电联建议政策制定者进行独立的经济效益评估，因为，国际电联不承认第三方的估计。

一份报告估计，5G将在2035年前实现12.3万亿美元的全球经济产出，其中最大的销售活动增长来自制造业，因为5G设备的支出依旧会增加。随后，在通信服务支出增加的推动下，通信技术行业的销售将得到增长。到2035年，对价值链的投资预计将产生另外3.5万亿美元的产出，并为2200万个工作岗位提供支持。³

³ “5G经济” IHS经济和IHS技术，2017年1月：<https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf>。

欧洲委员会（EC）预计，28个成员国部署5G的总成本将达到560亿美元。由于采用5G能力，每年将带来1131亿欧元的收益并创造230万个就业机会。据估计，这些收益主要源于汽车行业和工作场所的生产力，多数收益预计在城市地区实现，而只有8%的收益（每年100亿欧元）将在农村地区实现。⁴

其他报告亦显示出投资5G网络带来的巨大经济效益和生产力的提升。⁵这种估计是在假设理想投资条件下为5G的收益提供量化。每个国家的真正经济利益将因市场结构和数字和辅助经济基础设施的可用性而各不相同。

主要发现：政策制定者或许考虑开展各自的5G网络商用可用性和经济影响评估。

尽管有潜在的经济利益，该行业仍然对投资5G的商业案例持怀疑态度。考虑到庞大的投资规模，一些欧洲运营商对5G炒作仍持怀疑态度并质疑他们能否从中获利。这些担忧得到欧盟支持的5G基础设施协会（5GIA）和电信高管的支持，他们警告不要过早发布5G产品。⁶

许多5G公告 – 其中一些在本报告中有所强调 – 仅仅是区域性5G试点和实验，而不是全面的商业部署。在运营商能够拿出有利投资案例之前，以及在任何大规模商业部署开始之前，仍需进行一些探索。

主要发现：在5G投资案例令人信服之前，行业和政策制定者可能会考虑谨慎对待5G投资并继续提高现有4G网络的可用性和质量。

2.5 数字鸿沟

行业认为，5G网络的初始部署将在密集的城市地区并将提供增强的移动宽带（eMBB）等服务 – 在需求较低的农村地区部署5G网络在商业上具有挑战性 – 因此，农村地区可能落后，从而扩大数字鸿沟。

然而，使用低于1GHz的频谱（如有的话）可以应对农村地区的这种情况，这部分频谱可使移动运营商以比高频谱更低的成本覆盖更宽的区域。

虽然部分频谱的数据速率和网络容量不如较高频段，但低于1GHz的频谱将加强农村网络的覆盖。

关键发现：地方当局和监管机构应认识到扩大数字鸿沟的风险并支持商业立法激励措施，以便尽可能通过低于1GHz的频谱刺激对价格可承受的无线覆盖的投资。

⁴ “支持欧洲引入5G战略规划的确和主要社会经济数据的量化”，欧洲委员会，2016年：https://connectcentre.ie/wp-content/uploads/2016/10/EC-Study_5G-in-Europe.pdf。

⁵ “5G移动 – 为商业和经济增长创造条件”，德勤，2017年；“技术经济：衡量5G对各国经济增长的影响”，O2 Telefonica（英国），2017年。

⁶ <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>。

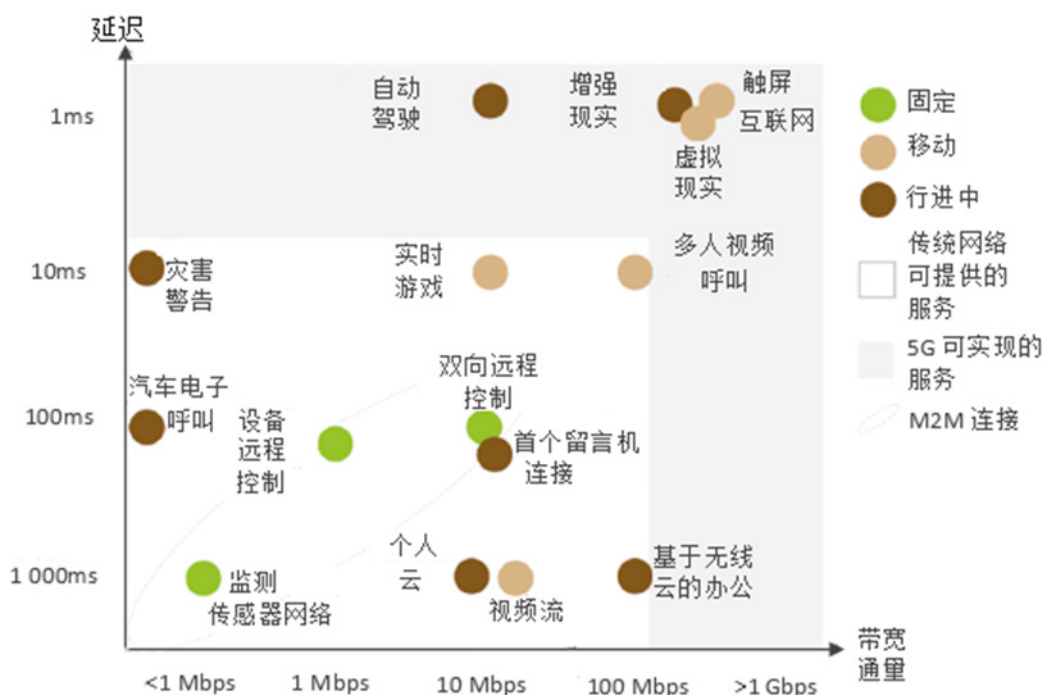
3 5G技术和频谱要求

无线电频谱、回程网、核心网和无线电接入网的软件化在5G网络部署初期，特别是移动宽带增强后，十分关键。

3.1 无线电接入网

目前，多数室外4G移动网络都是基于宏蜂窝部署的。然而，宏蜂窝覆盖区域大，要实现5G应用所需的密集覆盖、低时延和高带宽则显得力不从心。（如图4所示）

图4：5G应用的带宽和时延要求



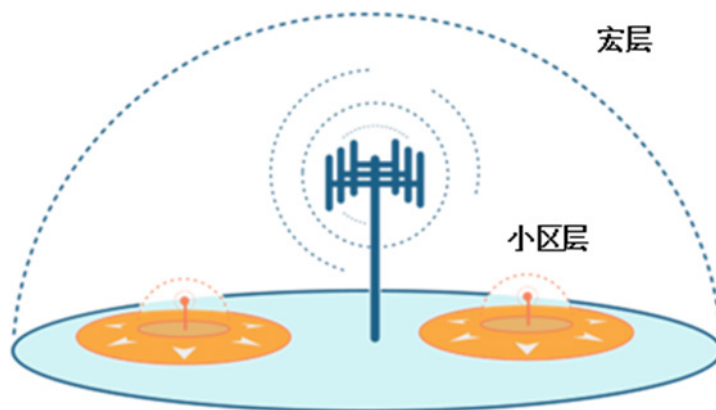
来源：GSMA Intelligence, 2015。

为满足5G所需的密集覆盖和大容量网络，无线运营商正在加大投资，在人口稠密区域部署小蜂窝，增加4G无线电接入网络密度，一方面为给比宏蜂窝更小的地理区域提供服务，另一方面扩大网络覆盖，提高容量和服务质量。见图5。

部署小蜂窝既可以提高现有4G网络容量和质量，同时又为5G商用网络和eMBB业务的早日开通打下了基础。一些无线运营商主要在人口稠密的城市地区利用小蜂窝扩大4G网络的容量和覆盖，见框3示例。

¹ <https://www.mobileworldlive.com/blog/blog-global-base-station-count-7m-or-4-times-higher/>

图5：宏蜂窝和小蜂窝网络



他们认为小蜂窝可以提高网络容量而又无需增加频谱，这对占有频谱资源少的运营商或频谱稀缺的地方有很大吸引力。此外，行业观点认为，在人口稠密的城市地区部署小蜂窝提高现有4G网络质量的做法或可满足5G网络预期的大容量要求并支持早日开通eMBB业务。²

框3：阿伯丁

2017年9月，独立电信塔专业企业无线基础设施集团与Telefónica合作建立了欧洲第一个支持云RAN（C-RAN）的小蜂窝网络，在阿伯丁市中心提供速度更快容量更大的移动业务。

来源：<http://www.wirelessinfrastructure.co.uk/city-of-aberdeen-paves-the-way-for-5g/>

要使用小型基站提供密集覆盖，它的天线就需要安装在街道设施上，如公交车站遮雨棚、路灯杆、信号灯等。这些设施还需要配备街边机柜，以便安装运营商无线电设备、电源和基站连接设备。图6所示为安装在路灯杆上的天线系统和街边辅助机柜。

图6：小型基站天线系统和街边机柜



² TechUK: <https://goo.gl/Q58ZA8> - FCC: <https://www.fcc.gov/5G> - ITU: https://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_item.aspx?isn=14456

大型MIMO（多输入、多输出）可扩展到数百或数千个天线，来提高数据速率并支持波束成形，这对提高电力传输效率至关重要。与密集小型基站一起部署将有助于运营商满足5G容量的高要求。³

3.2 核心网

5G网络的一个主要特征就是端对端的灵活性⁴。这种灵活性主要源于网络的软件化，核心网的硬件和软件功能分离。网络的软件化是通过网络功能虚拟化（NFV），软件定义的网络（SDN）、网络切片和云RAN（C-RAN）实现的，目的是加速创新步伐和移动网络的转型速度。

- **网络功能虚拟化（NFV）** – 通过在商用现成硬件进行虚拟化运行，取代了专用设备上的网络功能，如路由器、负载均衡器和防火墙，这样可以减少网络变化和升级费用。
- **软件定义网络** – 允许对网络元素进行实时动态再配置，通过软件而不是硬件对5G网络进行控制，提高网络恢复能力、性能和服务质量。
- **网络切片** – 将物理网络分为多个可支持不同RAN或某些客户群的若干类型服务的虚拟网（逻辑部分），通过提高通信信道的效率，大幅降低网络的建设成本。
- **C-RAN** – 作为一种重要的颠覆性技术，对实现5G网络十分关键。它是基于云的无线网络架构，用集中化处理单元结合虚拟化技术取代分散在移动基站的信号处理单元，从而降低在小型基站部署密集移动网的成本。

近几年来，Telefónica一直在努力打造基于SDN/NFV的核心网络虚拟化，为阿根廷、墨西哥和秘鲁建设5G网络做着前期准备。见表4。

框4：Telefonica正在投资开发SDN和NFV

在部署5G的过程中，Telefonica等移动运营商从一开始就投资开发SDN和NFV，从长远看将会有助于降低核心网的成本。Telefonica的宏大计划是根据UNICA方案从端对端、全接入、整合和骨干网方面对其网络进行虚拟化改造。

来源：https://www.telefonica.com/documents/737979/140082548/Telefonica_Virtualisation_gCTO_FINAL.PDF/426a4b9d-6357-741f-9678-0f16dccb0e16?version=1.0

目前考虑的其他技术改造包括信号编码技术，提高频谱效率和高速性能，以达到5G网络的要求。另外，边缘计算对实时和时延高度敏感的应用越来越重要。它会使数据更接近终端用户设备，从而提高苛刻应用的计算能力，降低时延。这中方法加快了实用数据的交付速度，降低了传输成本，优化了传输路径。

³ IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7881053/>

⁴ ITU: <http://news.itu.int/5g-update-new-itu-standards-network-softwareization-fixed-mobile-convergence/>

3.3 回程网

回程网连接无线电网（RAN）和核心网。超大容量、高速度和低时延的5G网需要一个能够满足这些要求的回程网。光纤常因其寿命长、容量大、可靠性高而且能支持非常高容量的传输而被运营商视为最理想的回程网类型。

但是，在计划推出5G的首批城市中并不是都有光纤网覆盖，在郊区和农村地区更少。在这些地区，建设新型光纤网的天价费用会让运营商望而却步。这种情况下，在光纤以外应考虑其他无线回程技术，包括点对多点（PMP）微波和毫米波（mmWave）。PMP可支持下游1Gbit/s的流量，2至4公里距离上的时延每跳低于1毫秒。mmWave会大幅降低时延，可支持更高的吞吐速度。

尽管人们主要关注地面技术，但是高空平台系统（HAPS）和卫星技术在5G网中的作用不容小觑。HAPS和卫星系统（包括非对地静止星座）的数据速率非常高（> 100 Mbit/s - 1 Gbit/s），可以补充大城市/市郊以外的固定或地面无线回程网，并能够向固定地点传输视频。HAPS和卫星可以与其他网络整合在一起而不是作为一个独立的网络来提供5G业务，这样不仅增强了5G业务的功能，而且也解决了支持多媒体流量增长、全覆盖、机对机通信和关键电信任务等方面的严峻挑战。⁵

主要研究结果：可以考虑除光纤之外的其他各种无线技术组合，包括点对多点（PMP）微波，毫米波（mmWave），HAPS和卫星。

综上所述，一个现实的5G回程战略可能包含多种技术的组合。应该根据性能需求、可用基础设施和潜在的投资回报对每个方案的有点进行考量。

3.4 前传（Fronthaul）

以往在4G无线网中，前传链路介于射频（RF）功能和其余1、2和3（L1/L2/L3）层功能之间。ITU-T Y.3100号建议书把前传定义为“集中化无线电控制器和一个基站功能的远程无线电单元（RRU）之间的网络路径”。这种架构可以把所有高层处理功能集中起来，代价是牺牲了最严苛的前传时延和带宽要求。5G数据速率的提升导致无法继续进行传统的通用公共无线电接口（CPRI）前传实施。因此，关键是新的功能分割架构需要考虑吞吐量、时延和功能集中化之间的技术和性价比的取舍。⁶

以下文件规定或描述了前传可以使用的技术：

- G-系列建议书“无线电（RoF）技术以及应用”的增补55号
- G-series建议书“CPRI信号的OTN传送”的增补56号描述了向OTN映射和多路传送CPRI客户端信号的替代方法
- ITU-T G.987建议书系列：可传输10Gb无源光网络（XG-PON）

⁵ EMEA卫星运营商协会：<https://gscoalition.org/cms-data/position-papers/5G%20White%20Paper.pdf>

⁶ G-系列技术报告“传输网对IMT-2020/5G的支撑”（GSTR-TN5G）：<http://www.itu.int/pub/publications.aspx?lang=en&parent=T-TUT-HOME-2018>

- ITU-T G.9807建议书系列：可传输10Gb对称无源光网络（XGS-PON）
- ITU-T G.989建议书系列：40Gb无源光网络2（NG-PON2）
- ITU-T G.RoF建议书草案“光纤上无线电系统”（制定中）
- G-系列建议书增补草案（G.sup.5GP）“PON环境下的5G无线前传要求”（制定中）
- 光传输网（OTN）的接口ITU-T G.709(.x)系列建议书：100 Gbit/s以上的光传输网（OTN）
- ITU-T G.ctn5g建议书草案：支持IMT-2020/5G的传输网特性（制定中）
- G-系列建议书G.Sup.5gotn的增补草案：OTN在5G传输中的应用（制定中）
- ITU-T G.695建议书：粗波分复用应用的光接口
- ITU-T G.698.4建议书：具有端口无关单信道光接口的多信道双向DWDM应用
- ITU-T G.959.1建议书：光传输网的物理层接口

3.5 5G频谱

5G网络部署需要更多频谱带宽（比4G）以满足高容量要求，因而增加量频谱需求。因此，业内正在加紧统一5G的频谱。国际电联无线电通信部门正在开展国际协调，为5G移动系统的发展提供更多的频谱（框5）。国际电联标准化部门（ITU-T）在制定5G系统有线元素的技术和架构标准过程中发挥着关键作用。

框5：ITU-R关于24GHz以上和86GHz频率以下的IMT的技术可行性研究

ITU-R许多部门成员最近完成（和正在开展）研究，ITU-R在此基础上对24GHz以上和86GHz以下的未来5G频谱的技术可行性进行了研究。基于MIMO和波束成形的解决方案，随着频率增高，可行性越来越好。2020年以后，可使用6GHz上下的频段作为补充。预计ITU将在2019年世界无线电通信大会（WRC-19）上就在24GHz和86GHz之间为IMT增加频谱一事作出决定。

为WRC-19研究的新频段：

现有移动划分	无全球移动划分
24.25 – 27.5 GHz	31.8 – 33.4 GHz
37 – 40.5 GHz	40.5 – 42.5 GHz
42.5 – 43.5 GHz	
45.5 – 47 GHz	47 – 47.2 GHz
47.2 – 50.2 GHz	
50.4 GHz – 52.6 GHz	
66 – 76 GHz	
81 – 86 GHz	

5G应用或许可以通过大量的不同频率实现。例如，低时延和短距离应用（适用于密集的城市地区）有可使用mmWave频率（24 GHz以上）。长距离低带宽应用（更适于农村地区）使用1 GHz一下频率比较合适。较低频率有较好的传播特性，覆盖更好，而在mmWave频段上有着大量可较高的频率，可支持更高的带宽。例如，华为提出采用多层频谱方案，这是对这一方法的最好总结（见框6）。

为5G选择全球统一的频段将成为NRA的挑战。实现这一目标的最佳方法需要考虑WRC-19有关较高频段的相关决定，以及WRC-07和WRC-15有关较低频段的决定。

尽管欧洲委员会已将700 MHz频谱作为实现5G业务大面积室内覆盖的关键频谱进行了预留⁷，但是这一频段在非洲部分地区则用来加强4G的覆盖。预计，到2020年撒哈拉南部地区也只有35%的人口可以用上4G网络。同期全球平均覆盖率将达到78%。⁸为此，撒哈拉南部非洲国家的政策制定者最好考虑使用700MHz频谱作为增加农村4G覆盖的理想途径，而不是用于5G。

主要研究结果：政策制定者可以考虑利用低频频谱（如700MHz）向农村地区提供移动宽带业务。

⁷ EC: https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/ansip/blog/700-mhz-must-digital-single-market_en

⁸ GSMA: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/sub-saharan-africa-2017/>

框6：运营商观点 – 华为多层频谱方案

- **覆盖层** – 利用2 GHz一下频谱（如，700 MHz）提供大面积深度室内覆盖。
- **覆盖和容量层** – 依赖2 – 6 GHz范围内的频谱实现容量和覆盖的最佳折中。
- **超级数据层** – 依赖6 GHz以上频谱和mmWave满足需要极高数据速率的具体应用。

来源：<http://www.huawei.com/en/about-huawei/public-policy/5g-spectrum>

GSMA希望3.3-3.8 GHz频谱可以成为许多5G初始业务的基础，尤其是提供增强的移动宽带。这是因为3.4-3.6 GHz频率范围几乎完成了全球统一协调，因此完全能够推动低成本设备发展所必须的规模经济效益。

主要研究结果：政策制定者可以考虑通过打包的方式就5G的协调频段达成协议。NRA通过开展以颁发频率许可证创造市场的最佳做法的交流从中受益。

4 推广5G的主要挑战

本节分析了电信运营商推出5G网络过程中面临的主要挑战。重点讨论如何通过适当的监管和政府政策帮助无线运营商部署小型蜂窝基站、光纤回程网以及频谱的使用。

4.1 部署小型基站的挑战

有些国家的监管和地方管理机构的政策对运营商的行政和财务要求过于苛刻，阻碍了投资，因而减缓了小型基站的建设。对小型基站部署面临种种限制，包括拖沓的审批程序，冗长的采购流程，高额收费和过时的规定，这些都阻碍了小基站的建设。框7和下面更详细的介绍：

- **地方审批和规划程序：**地方管理部门审批小基站建设的规划申请的时间长达18至24个月（框7），造成延误。
- **冗长的谈判和采购流程：**地方管理部门经过长达6-18个月采购流程才授予无线运营商在街边部署小基站设备的专有权，耗时费钱。
- **街边设施收费高：**目前地方管理部门对使用街边设施收取高额费用。据美国消费者研究所称，有一个城市对在电线杆上安装小基站设备的申请费高达30 000美元；另一地区的收费高达45 000美元。
- **射频电磁场（EMF）对人的影响：**各国对人体暴露限值不尽相同，有的过于严苛。国际电联建议，如果没有规定射频电磁场（RF EMF）限值或者限值未涵盖相关频率，应使用ICNIRP（国际非电离辐射保护委员会）的限值。如果增加新天线，在部署阶段应采取所有正规措施解决公众的任何担忧。引起公众担心的一个因素是在显著位置，特别是房顶安装的天线。因此，采用多频段天线在保持房顶天线数量不变的情况下可以减少视觉冲击。如果没有任何频谱或技术再利用策略，5G网络将会加剧无线技术产生的局部暴露影响，起码是在过渡阶段。因此，国家管理部门从一开始就应对部署和激活5G做出规定，包括如何达到国家规定以及如何进行评估。一些国家的经验表明，这是很难做到的，因为他们规定的暴露值比世界卫生组织（WHO）依据ICNIRP RF-EMF暴露指南建议的限值还要严格。¹
- **使用和规范权利：**无线运营商²可能无权在路灯杆等街边设施上安装小基站或无线电设备。例如，英国为克服这些限制修订了相关规范，但是不具备约束力，也就是说，它所带来的影响或许还有待探讨。

预计，5G在初始阶段，需求主要集中在城市中心，而许多地方法规禁可以快速部署而又价廉物美的小型基站。政策制定者可以制定简明灵活的监管流程促进5G发展，推动的创新和经济增长，最终成为最大受益者。

¹ ITU-T K.Supp1.9号建议书“5G技术和RF EMF的人体接触”：<https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Supp1.9/en>

² 规范权力是特定电信运营商有权在公共和私有土地上安装、维护、调整、维修或更改设备的法定权利。为了享有这些权利，电信提供商必须向英国电信管理局Ofcom申请并获得认可。

框7：行业内部对阻碍小基站部署的障碍的看法

Crown Castle、AT&T、Sprint、T-Mobile和Verizon等电信运营商对地方管理部门的重大规则障碍都有着切身体会，如高额收费、对布设小基站的禁止，不合理的外观限制和冗长的审批流程。据Crown Castle称，小基站部署从头到尾通常需要18到24个月才能完成，主要原因是需要获得地方部门对设备安装的审批。

来源：<https://goo.gl/6UaKJ4>

虽然日本和韩国的无线运营商利用C-RAN大型基站提高网络密度，但是在亚洲小型基站的建设还没有大规模铺开。日本和韩国之所以能够部署C-RAN，原因在于广泛存在光纤回程网，而其他市场可能没有这样的便利。

4.2 光纤回程网

因为许多城市欠缺光纤网，为小基站部署光纤回程网支持高速数据和低延迟成为运营商面对的最大挑战之一。

就英国来说，它的光纤网普及率只有2%，是欧洲最低的。欧洲平均普及率约为9%。³为鼓励光纤网投资，英国政府对新型光纤网基础设施建设的企业实行五年税收优惠。⁴

在部署光纤回程网不划算的地方，运营商应考虑采用无线回程技术。在不适宜部署光纤网的地方，应该考虑PMP、mmWave和卫星等许多其他无线技术。

主要研究结果：政策制定者可以考虑通过减轻税务负担降低光纤网相关的建设成本，加速5G网络的部署。

运营商面对的其他挑战，见框8。

主要研究结果：可以考虑通过达成标准化通行权协议的方式减少光纤网部署的成本和时间

³ <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2017/02/uk-shunned-2017-ftth-ultrafast-broadband-country-ranking.html>

⁴ 英国价值评估机构最近对企业税率进行了重新评估，有可能提高光信网运营商的纳税额。高额的企业税可能会对部署光纤连接支持布设小基站的商业模式产生负面影响。

框8：部署光纤网面临的挑战

- **规划许可遭拒：**运营商与当地管理部门未进行事先沟通可能会导致规划许可遭到拒绝。在寻求替代解决方案时，地方当局有关街边机柜的位置和外观的政策还会导致成本上升，工期延误。
- **复杂的通行权程序：**通行权协议允许运营商在公共或私有土地上安装电信设施。土地所有者利用采购程序授予通行权的做法会增加这一流程的风险、时间和费用。另外，采用定制通行权的做法费用非常高。地方管理部门利用通行权创收会增加投资的障碍。

来源：Intelligens Consulting，2018。

4.3 频谱

在众多频率范围上划分和确定全球统一的频谱需要国际社会、区域电信组织和NRA进行协调。这是NRA成功部署5G网络面临的巨大挑战。协调频率划分有诸多好处，它有利于减少边境地区的无线电干扰，促进国际漫游，降低设备成本。进行整体协调是ITU-R在世界无线电通信大会（WRC）进程中主要目的。

对WRC-19来说，目前正处于就24GHz以上划分和确定用于IMT的大块相邻世界协调的无线电频谱寻求共识的阶段，24GHz以上存在大带宽。WRC-19将根据ITU-R开展的有关这些频段和邻频段上的移动业务和现有业务之间广泛共用和兼容的研究结果就此议题作出决定。

发达国家一些NRA正在考虑使用700 MHz、3.4 GHz和24 GHz频段进行5G初期部署以满足覆盖和容量要求。

为提高现有频率的利用效率还应考虑频谱共用问题。以往，NRA都给移动运营商划分专用频率。但是，随着需求不断增长，频率共用为提高现有频谱的利用效率提供了一个方法。

主要研究结果：政策制定者应考虑使用全球统一频率实现可用频谱效率的最大化。

5G频谱，特别是24GHz以上频谱的许可和使用模式也需要考虑。以前，移动频谱稀缺，被分为多个小带宽（例如5 MHz、10 MHz、20 MHz），因此在拍卖中拍出了高价。24 GHz以上频谱随时可用，稀缺已不再是问题。这将对商业模式和频谱拍卖产生影响。NRA应考虑采用什么样的许可模式（另见5.7节）。ITU出版了频谱共用方法的各国实例：国际电联关于WTDC-14第9号决议的报告。

主要研究结果：政策制定者可以考虑制定一个频谱路线图，支持专用、共享和非许可模式，同时制定一个可以预见的延续程序。政策制定者应避免人为抬高5G频谱的价格，在授予频率时，应采用有利于投资的程序。

4.4 其他因素

- **设备的可用性** – 有否具备与5G标准和频率兼容的设备对于在5G业务初期制造最终用户需求至关重要关键。制造商目前正在开发一块芯片嵌入5G、4G、3G和2G的技术，预计2019年推出这项技术，2020年后实现全球标准的统一。
- **行业纵向协调** – 电信行业是一个调试精密的正规生态系统，由设备和芯片制造商、设备厂家和零售和批发经营者。因此，在发展新标准和业务时，生态系统内部协作相对比较直接。
- **网络中性** – 欧洲电子通信监管机构BEREC发布了加强网络中性最终指南，要求互联网服务提供商平等对待所有网络流量，不得偏向某些服务。然而，德国电信、诺基亚、Orange、沃达丰和英国电信等17家移动运营商对BEREC进行密集游说，希望放松对规则的解释，他们认为这种做法“会对5G投资的回报造成巨大的不确定性”。此外，他们表示，除非BEREC软化对网络中性的态度，否则他们不会推出5G网络。⁵

⁵ 各行业主体关于“欧洲及时部署5G的5G声明”，2016年7月：<http://telecoms.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2016/07/5GManifestofortimelydeploymentof5GinEurope.pdf>

5 “好” 是什么样子？

本节讨论了无线业务提供商、NRA和政府部门为解决5G网络部署问题所做的努力，有哪些是可以借鉴的。

5.1 简化小基站的部署

伊利诺伊州、华盛顿州、佛罗里达州和加利福尼亚州提出了简化街边设施上部署小基站设备的法案。这些法案对地方政府收费实施限制，有些甚至规定不允许与无线运行商进行独家安排。

主要研究结果：联邦和州政府应与地方市政府联手，确保对街边设施部署小基站无线电设备进行合理收费。

框9：简化小基站的部署

2017年9月，加州通过法案，许可使用小基站设备，设备部署无需地方许可证，不得规定标准，从而简化小基站的部署。新的立法对州内小基站的部署进行了规范。此外，该法案：

- 规定提供商具有不受歧视的使用公共财产的权利
- 允许地方政府收取公平、合理、非歧视性和基于成本的许可费。
- 规定地方政府对附加设备的收费限制为250美元
- 规定地方政府停止对电信设施许可期限施加不合理的限制

佛罗里达州的法案采取相似的做法，要求管理部门审核电线杆上安装小基站设备的申请时不得予以歧视，在规定时限内审批申请。该法案还规定，管理部门不得就提供商在电线杆安装设备达成任何独家协议。例外，法案还规定管理部门的收费每年每根电线杆不得超过15美元。

华盛顿州的一项法案授权可以在公有资产上安装小基站设备，每年收费限定为500美元。伊利诺伊州的一项法案规定，地方政府不得禁止、限制运营商部署小基站无线设备和收取费用。

来源：加利福尼亚SB-649，2017；佛罗里达SB-596，2017；华盛顿B-5711，2017；伊利诺伊SB-1451，2017。

主要研究结果：地方政府可以考虑改善政府所有的街边设施的使用方法，简化沟通程序，从而缩短采购流程。

5.2 政策干预 – 光纤和频谱

据FTTH理事会统计，英国等主要经济体由于在纯光网中的投资不足，光纤普及率较低。框10介绍了英国政策制定者为在5G推出前改善光纤普及率采取的措施。

框10：英国光纤投资

2016年，英国政府宣布将在地方全光纤网络投资7.40亿英镑，支持5G发展。目前正在通过竞标向全英国的地方管理部门发放资金。

来源：德国联邦交通和数字基础设施部，2017年；“德国的5G战略”，“德国联邦政府，2017年；英国政府文化媒体和体育部，2016年。

澳大利亚政府制订了明确的5G政策议程，加速数字基础设施的发展和提供5G频谱（见框11）。

框11：5G工作组，澳大利亚

澳大利亚政府正在制定5G指导文件，提出了5G的政策措施，包括成立5G工作组，推进与行业对话。该文件着重强调要采取措施及时提供频谱，简化手续，使无线运营商以更快的速度和更低的成本部署数字基础设施。

来源：“5G驱动未来经济”，澳大利亚通信和艺术部，2017年。

主要研究结果：市场失效的情况下，政府可以考虑通过PPP、投资基金和拨款等方式激励光纤网和静态资产的投资。

5.3 基础设施共享

尽管光纤是建设回程网的理想方法，但是可能不具有商业吸引力。在光纤网建设过程中，一定程度的管道共享和再利用可以节省大量资金。促进基础设施共享和再利用的监管政策有助于大幅降低5G的部署费用，但实施起来可能十分复杂。（见框12）。

沃达丰的一项研究表明，法国、西班牙和葡萄牙的NRA普遍使用管道利用制度安排，以最大程度地减少行政程序，提高对各方的透明度。相反，在英国和德国等国家，SMP基础设施的共享是强制性，但是却缺少具体规定。¹

主要研究结果：政策制定者可以考虑继续执行管道共享制度，将5G纳入其中，从而减少5G光纤回程网络的投资成本。

¹ “获取静态基础设施的最佳实践”，WIK-Consult，2017年：<https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/reports/pdf/best-practice-passive-infrastructure-access-050517.pdf>

框12：强制性网络共享

- 2017年11月，荷兰通过一项加速宽带普及的法案。该法案规定，网络和相关设施的所有者和管理者必须满足共享接入和/或协调网络部署的合理要求并分享其基础设施的信息。
- 印度尼西亚通信和信息技术部正在制定新规定，鼓励静态基础设施的共享，如管道、塔架、机柜等。
- 英国电信管理局Ofcom正在就强制要求老牌运营商和市场主导企业英国电信向对手运营商开放管道光纤进行市场调研。过去曾就暗光纤开放进行过多次尝试，但均告失败。
- 意大利的超快宽带立法使TIM和UTILITALIA（电、气、水和环境企业联合会）达成谅解备忘录，为利用500多家地方公用企业的现有基础设施部署光纤网提供了便利。

来源：<https://goo.gl/kqYCRM>（荷兰）；<https://goo.gl/vWq7aD>（印度尼西亚）；<https://goo.gl/vdFxz9>（英国Ofcom）；<https://goo.gl/m24g32>（意大利）。

框13：商业驱动的网络共享

- 在西班牙，电信运营商MASMOVIL通过网络共享协议与Orange Espana共享光纤网，其用户已突破一千万个家庭。
- 在葡萄牙，沃达丰和运营商NOS达成部署和分享光纤网协议，预计用户将达到2600万个家庭和企业。这两家企业将按照商定的商业条款为对方提供网络接入。
- 新西兰批发网络运营商Chorus呼吁政府制定所有服务提供商共享的单一5G移动网络计划，这一做法比三个移动运营商分别部署5G网络更具有可持续性。
- 近日喀麦隆沃达丰与喀麦隆电信签订了“国家网络共享战略协议”，允许沃达丰使用杜瓦拉赫雅温得的现有基础设施，将网络覆盖延伸到国内其他地方。
- 丹麦Telenor和Telia与诺基亚签订服务合同，管理由一家基础设施公司（TT-Netvaerket）运行的他们的移动网。
- Econet无线运营商（津巴布韦）宣称，它将在平等的“一对一”基础设施下愿意进行基础设施共享。

来源：<https://goo.gl/u2fojb>（西班牙）；<https://goo.gl/bT9hZ4>（葡萄牙）；<https://goo.gl/vh4LGP>（新西兰）；<https://goo.gl/AAbapS>（喀麦隆）；<https://goo.gl/JmuSnJ>（丹麦）；<https://goo.gl/iSb4sq>（津巴布韦）。

商业性网络共享协议受到多数NRA的青睐，也受到了市场的追捧。这类协议将加快部署的速度，降低5G网络的成本，因为在5G时代，网络共享涵盖移动基础设施和光纤（见框13）。

近年来，使用独立批发基础设施提供商提供的小型基站的做法日渐流行，因为这有助于降低部署成本、促进零售竞争、扩大业务覆盖面。譬如，无线业务提供商Crown Castle（美国），随着移动运营商提高网络密度为推出5G服务进行准备，它的小型基站收入在2015年到2016年间增长了40%²。

5.4 向光纤过渡

与光纤业务价格相比，目前铜线的批发接入价格更低廉，因此对光纤的大规模采用带来负面影响。关于在铜线向光纤的过渡中如何以最佳方式定价人们尚无一致意见。国家监管机构（NRA）应考虑允许老牌运营商在其一旦提供光纤接入业务时即撤回其铜线接入产品，以避免损害更昂贵的光纤业务的商业案例（见框14）。

框14：向光纤过渡

- 澳大利亚政府规定，到2020年所有驻地均需由铜线转换为光纤。2014年，Telstra（澳大利亚）公司开始关闭其通过铜线网络提供的业务。在推进全澳大利亚批发光纤连接方面已发挥作用的、由政府出资的NBNetCo（全国广播公司）举措将促成实现在NBNetCo提供光纤业务的地区关闭铜线网络。
- Verizon公司（美国）已要求监管机构允许其从2018年开始在若干市场实现其铜线网络的迁移。Verizon通过其光纤基础设施提供业务，因此，希望不再保留其在佛吉尼亚、纽约、新泽西、宾夕法尼亚、罗德岛、马萨诸塞州、马里兰和特拉华州的铜线设施。
- 爱尔兰电信监管机构ComReg已开始进行磋商，以便决定有可能让其老牌运营商Eir在该国某些地区，特别是光纤覆盖广泛的地区实现铜线向光纤的过渡。
- Singtel（新加坡）宣布从2018年4月起停止其通过铜线ADSL网络提供的业务，因为在该城市，无论是企业还是住宅用户都在加速采用基于光纤的业务。
- Chorus（新西兰）定会不再承担相关方面对其铜线网络监管的负担，因为目前该国的计划是自2020年起，在铜线网络与光纤接入网之间出现竞争时，将不再对铜线网络进行监管。

来源：<https://goo.gl/2YVKsd>（澳大利亚）；<https://goo.gl/VCyfap>（美国）；<https://goo.gl/X3EeKa>（爱尔兰）；<https://goo.gl/mRku1C>（新加坡）；<https://goo.gl/n6kqVb>（新西兰）。

² <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2017/02/07/tower-talk-a-guide-to-the-latest-major-cell-site-developments/index.html>

主要研究结果：国家监管机构可能需要考虑出台政策和经济激励措施，以鼓励从铜线向光纤的过渡，并刺激光纤业务的部署和大规模采用。

5.5 应对本地规划方面的挑战

运营商常常说，如果创建一个表明目前可用的所有基础设施和公用事业资产，如，现有地方权力部门或公用设施管道、光纤网络、有线电视公司（CCTV）塔杆、电线杆等，将十分有益。这一数据库还应明确保障获得上述资产的主要联系人信息和流程。葡萄牙和西班牙已创建这种数据库，且其他国家可能也有此类数据库。

主要研究结果：地方管理部门可能需要考虑持有一种集中数据库，表明主要联系人信息以及诸如公用设施管道、光纤网络、CCTV塔杆、电线杆等资产，以帮助运营商更加准确地确定其基础设施部署的成本和计划。

地方管理部门使用的标准化通行权协议可以大大减少实施光纤网络所需的成本和时间，如伦敦市公司（City of London Corporation）制定的标准化协议（见框15）。

框15：伦敦市的标准化通行权协议

2015年，伦敦市公司认识到光纤投资匮乏的一个重要原因是通行权获得程序十分复杂。为此，该公司开发了标准化通行权工具包，以方便有效和高效地部署光纤基础设施。目前该工具包向伦敦所有相关政府部门提供。

来源：<http://news.cityoflondon.gov.uk/standardised-toolkit-helps-london-businesses-get-faster-access-to-broadband/>

地方管理部门还应考虑实现程序的标准化，以使运营商在铺设光纤网络或在街道设施上部署小型扇区设备（small cell equipment）时有适当许可来进行相关街道工程工作。（见框16）。还有一项最佳做法是与市场参与方进行磋商，以了解由部署引发的潜在问题以及可用的解决方案。³

主要研究结果：地方管理部门应考虑开展与市场参与方的磋商或在市场上轻微试水，以便在承诺进入正式采购程序前明确部署5G网络的最佳做法。

³ http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100402171309/http://www.ogc.gov.uk/documents/Early_Market_Engagement_Guidance.pdf

框16：高效规划程序

2015年，百年之城（美国科罗拉多州）许可办公室得到授权，要求电信运营商在提出重大路权许可申请时，要将地下设施置于同一地点。这一路权政策方便了该市对投资进行协调，从而节约了时间和成本。

肯塔基州（美国）向各社区和公用事业单位发布了一项有关光纤规划的指南。该指南提出了关于精简调查要求、许可申请和制定树立塔杆（pole attachment）协议方面的建议和意见。

来源：科罗拉多州百年之城，2015年；<https://goo.gl/FswzSv>（肯塔基州）。

5.6 频谱统一

早期提出的有关5G的申请重点都放在了24 GHz以上和6 GHz以下频段上（见框17）。国家监管机构应协调其有关毫米波频段的提案，以便在最大程度上实现全球频谱统一。

框17：一些国家监管机构提出的有关5G频谱的提案

- **英国通信管理局：**英国通信管理局（Ofcom）与欧洲各国国家监管机构（NRA）密切合作，提出将700 MHz、3.4 GHz和24 GHz频段用于5G。Ofcom还提议改变64–66 GHz频段的授权制度，使该频段成为免许可频段，并扩大57–66 GHz频段的用途。
- **美国联邦通信委员会（FCC）：**该委员会已确定将近11 GHz的频谱灵活用于无线宽带 – 28 GHz、37 GHz和39 GHz频段内3.85 GHz的许可频谱。
- **中国工业和信息化部（MIIT）：**该部计划除将3.3–3.6 GHz和4.8–5 GHz频段用于5G外，还将在24–27 GHz和37–42 GHz频段内为5G划分毫米波（MMWave）频谱。
- **韩国通信委员会（KCC）：**该委员会将开始进行3.5 GHz和28 GHz频段的5G频谱拍卖工作。
- **澳大利亚通信与媒体管理局（ACMA）：**该管理局宣布计划在2017年底前开始多个频段频谱的拍卖工作，包括源自1800 MHz、2 GHz、2.3 GHz和3.4 GHz频段中的诸多频谱。

敬请注意，WRC-15将28GHz排除在了旨在由WRC-19统一全球IMT所用毫米波频段的研究范围之外。

来源：<https://goo.gl/kpPnTy>（英国）；<https://goo.gl/Mc5wZx>（美国）；<https://goo.gl/bdusHx>（中国）；<https://goo.gl/pGz5jG>（韩国），<https://goo.gl/1aK5LY>（澳大利亚）。

为了确立欧洲在WRC-19上的立场，欧盟各国部长于2017年12月就在全欧洲推出5G技术的路线图达成了共识。该路线图为欧盟各国之间5G频段的统一以及如何在欧洲运营商之间进行划分提供了一致意见。

5.7 频谱许可

5G牌照选择程序的设计和条件将大大影响到移动市场的结构 – 是加强竞争还是限制竞争。

传统上而言，NRA向移动运营商发放的频谱牌照是允许他们拥有提供语音或数据业务的专有权。有些情况下，还通过牌照规定了运营商在人口覆盖和时间方面需履行的义务。许可频谱方便移动运营商在非常确定的情况对移动基础设施做出规划和投资，而且牌照还应包括这样的条件，即，确保所划分的频谱得到有效使用，在农村地区尤其如此。

许可的共用接入频谱可以提高农村地区的频谱使用效率。例如，在这类地区为一些次要业务用户提供频谱将不会干扰主要业务牌照持有方的无线电信号。

目前的频谱共用示例包括航空遥测、广播和无线摄像。这一共用许可模式很可能使5G生态系统具有足够的灵活性来充分利用目前其他业务对之使用不足的频谱，从而以更低的成本提供更多的容量。

经过研究，ITU-R批准了支持改进频谱共用的监管工具⁴ – 以及通过利用认知能力的无线电系统实现频段动态接入的频谱管理原则、挑战和问题。⁵

传统上来讲，频谱拍卖为付费最高的无线运营商提供频谱专有权。政策制定机构认为拍卖是一种非常有利的、可以进行重大创收的手段。然而，拍卖也可能事与愿违，因为它会降低用于基础设施的资金，从而弱化了应产生的经济影响。⁶由于5G方面的投资对于数字经济而言更加至关重要，因此，NRA选择有利于在基础设施方面做出投资并实现最大经济影响的频谱授予程序将是十分重要的。

非许可频谱将方便NRA允许相关方面获取频谱，但这一安排也导致在土地使用权的投资方面出现不确定性，因为运营商履行的是无干扰和无保护义务。此外，控制干扰可能十分困难，如果不是无法控制的话。由于这一原因，非许可频谱在高频段内更为适当 – 如传播特性更差的毫米波频段；它也更适合用于低功率设备（可满足主要业务被的严格限制），同时也更适合在局部使用。基于所有这些因素，NRA可考虑将非许可频谱用于小型扇区的部署。

GSM协会（GSMA）认为，许可频谱对于保证高质量5G业务必不可少，而非许可频谱则可在增强用户体验方面发挥补充作用。⁷

⁴ 见ITU-R SM.2404号报告：<https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2404>

⁵ 见ITU-R SM.2405号报告：<https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2405>

⁶ ITU-R SM.2012号报告提供有关频谱管理经济方面问题的更多信息：<https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2012>

⁷ “在5G方面所持的公共政策立场”，GSMA，2016年：<https://www.gsma.com/iot/iot-knowledgebase/gsma-public-policy-position-5g-spectrum/>

主要研究结果：政策制定机构可考虑使用许可、非许可和共用频谱来创建一种平衡的频谱生态系统——这一系统将鼓励投资、有利于有效使用频谱并促进竞争。

5.8 5G试点

政府政策制定机构和NRA都在鼓励进行早期技术试点工作，以促进及早对5G网络和基础设施进行投资，并帮助这些机构了解5G技术（见框18）。

框18：政府引导的5G举措

- 韩国政府通过韩国国家情报和安全局（NISA）在2018年冬奥会上建立了5G实验网，为用户提供未来体验，如得到提升的基于现实的网站导航（navigation）。
- 英国已向一家由华威大学（University of Warwick）牵头的联盟提供了1760万英镑政府赠款，以开发英国互连自动驾驶汽车（CAV）的中心测试点。将在CAV得到测试的通往考文垂和伯明翰的路径上部署小型扇区。
- FCC（美国）已鼓励研究机构申请未授予或未分配无线电频谱的实验性许可证，以便通过在相关地理区域的实验促进创新和研究。
- 欧盟（EC）《拓宽视野2020工作计划》（2018-2020年）旨在促进由欧盟、中国、中国台湾和美国参与其中的5G创新，其具体活动包括跨境互连和自动化移动性的端到端测试以及跨越多个纵向行业的5G试验。
- 欧盟-巴西开放实验室电信研究设施联盟（FUTEBOL）正在着手开展旨在推动巴西和欧洲实验性电信资源的研究工作。FUTEBOL还将表明基于物联网（IoT）、异质网络和C-RAN的使用案例。
- 俄罗斯通信部与Rostelecom和Tattelecom签订了在Innopolis这一高新技术城市开辟5G实验区的协议。

来源：<https://goo.gl/JWFBCY>（韩国）；<https://goo.gl/FnLZCd>（英国）；<https://goo.gl/wNVZqs>（美国）；<https://goo.gl/iXkYQo>（欧洲）；<https://goo.gl/VNeDwn>（欧盟-巴西）；<https://goo.gl/4DySs2>（俄罗斯）。

此外，由运营商、厂商和研究机构组成的电信部门也在不依赖NRA或政府干预的情况下参与5G的测试点工作（见框19）。

框19：由商业机构引导的5G测试点

- Telstra（澳大利亚）正在就关键性5G技术与爱立信密切合作，其中包括海量多输入多输出（MIMO）、波束成型、波束跟踪和波形。在澳大利亚进行的首次5G现场试验中，Telstra和爱立信实现了18 Gbit/s至22 Gbit/s之间的下行速率。Optus也与华为一道完成了一项5G实验，在澳大利亚实现了迄今为止最快的35 Gbit/s的速率。
- 意大利移动运营商Wind Tre、Open Fibre（意大利的光纤批发运营商）和中国厂商中兴公司（ZTE）宣布结成伙伴关系，建造他们声称的3.6– 3.8 GHz频段内欧洲首个商用前5G网络。他们还将与本地大学、研究中心和企业协作，测试并验证5G的技术性能、网络架构、4G/5G网络的结合以及未来5G使用案例 – 包括增强现实或虚拟现实、智慧城市、公共安全和5G在医疗卫生方面的应用。这一试点项目将持续至2021年12月。
- 2018年世界杯足球锦标赛期间，在Kazan Arena体育馆（俄罗斯）内和周围部署了5G试验网络 – 由MegaFon牵头的项目。Rostelecom还与诺基亚合作在莫斯科商业园区进行了5G无线网络的试点工作，以测试多种不同5G使用情形。
- Verizon（美国）宣布它计划在美国若干城市进行5G试验。网络铺设将以无线回程而非光纤为基础。AT&T也表示，基于其近期在奥斯丁进行的试验，将出台5G固定无线客户试点工作。该公司在上述近期试验中取得了1 Gbit/s的速率和低于10毫秒的时延。将采用爱立信、三星、诺基亚和英特尔的设备进行这些试验工作。
- Comsol计划推出南非首个5G无线网络。除宏解决方案外，Comsol将通过试点工作利用小型扇区测试现实条件下5G的性能。Comsol很可能将提供与光纤到户（FTTH）业务竞争的固定无线业务。
- 华为和NTT DOCOMO实现了1.2公里以上4.52 Gbit/s的下行速率。华为提供了其5G基站之一，除支持其5G核心网外，这一基站还支持大规模MIMO和波束成型技术。

来源：<https://goo.gl/cWTC31>（澳大利亚）；<https://goo.gl/tYspR9>（意大利）；<https://goo.gl/EQftwd>（俄罗斯）；<https://goo.gl/yxaoyy>（美国）；<https://goo.gl/VeuiaW>（南非）；<https://goo.gl/Teq6e2>（日本）。

主要研究结果：政策制定机构可考虑鼓励进行5G试验和建立测试点，以测试5G技术和使用案例，同时刺激市场的参与。

6 成本和投资影响示例

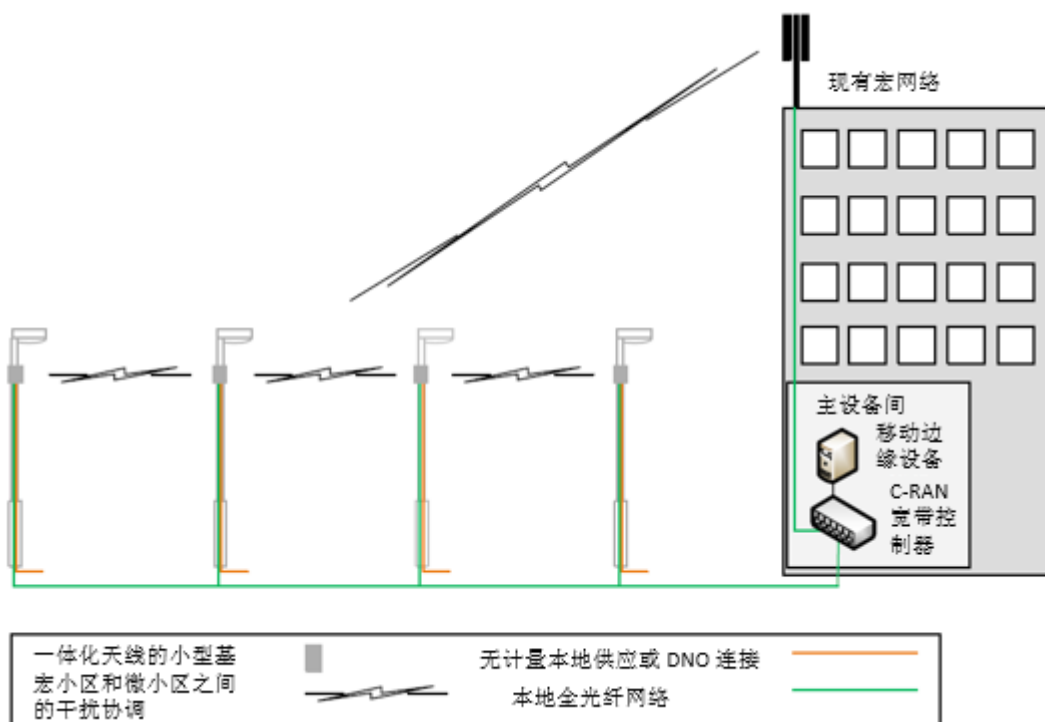
在移动运营商向5G迈进的过程中，在人口密集的城区部署小型扇区可能是一笔主要投资。本节通过高层成本模型估算无线运营商部署完全就绪、可开通5G的小型扇区网络需要的潜在投资。

6.1 概述

在迈向5G的过程中，运营商可能会重点关注通过部署小型扇区增强城区现有的4G覆盖。这将提高可用的网络容量、改进街道层面的覆盖并加强网络的总体质量，这些也都是5G网络的要求。多数这类部署工作将在人口密集的市中心或城市进行。

为了进行估算工作，我们假设小型扇区网络部署由独立无线运营商在基于批发给移动运营商设备的网络成本上进行。该方式降低了移动运营商的总拥有成本（TCO），同时提高了扇形小区对移动运营商的吸引力。图7描绘目前在欧洲和美国一些地方得到部署的典型小型扇区解决方案。尽管该方式假设采用光纤回程战略，但如果部署光纤回程网络在商业上是不可行的，则也可使用无线回程战略。

图7：典型的中立主机批发（host wholesale）小型扇区解决方案



该解决方案包含下列内容：

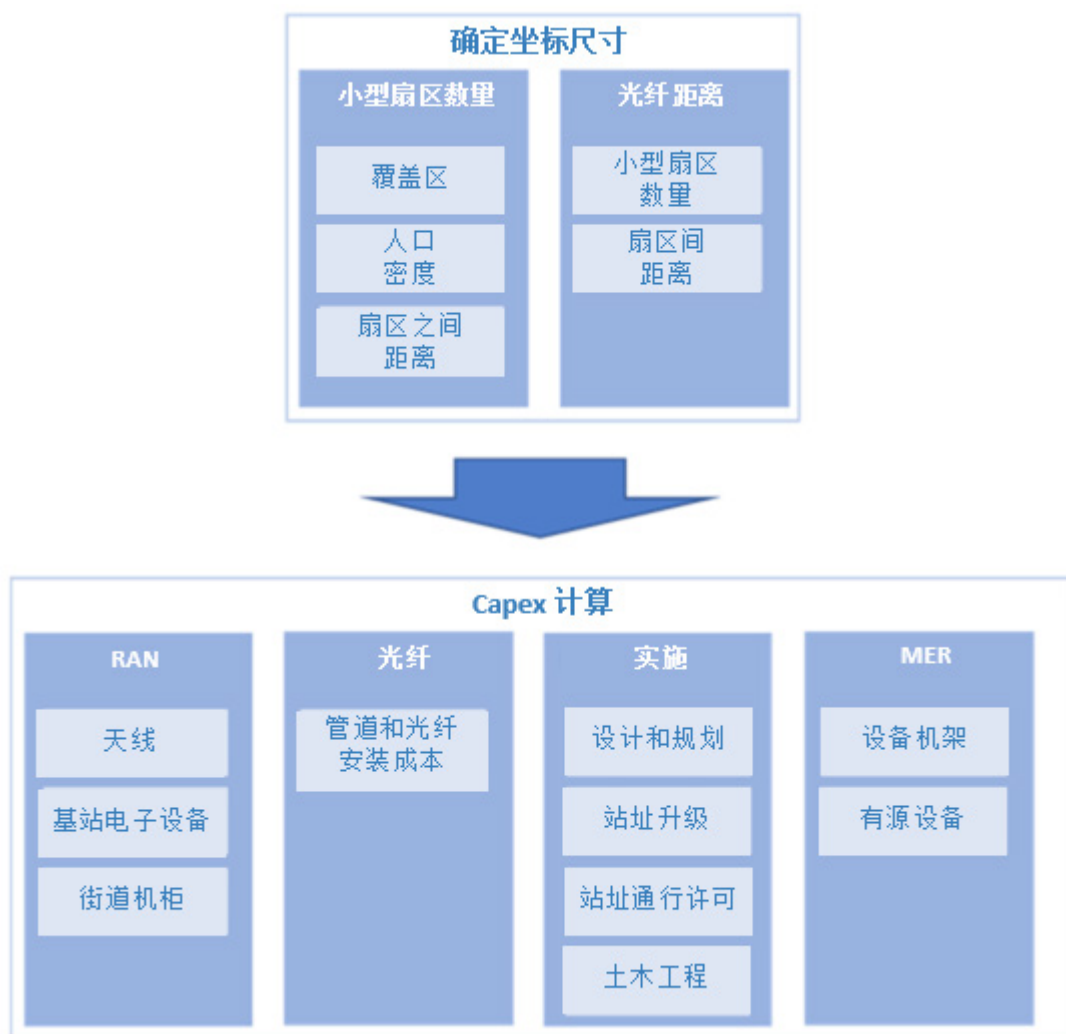
- **天线** – 高性能单独天线系统，对移动运营商信号进行整形，从而为最终用户实现最佳业务性能。
- **街灯** – 在现有街灯上部署天线，以便不破坏美感。

- **街道机柜** – 共用目前放置移动运营商无线电设备、备用电池和控制设备的机柜。
- **光纤网络** – 将无线网络与核心网络连接的高速光纤网络。敬请注意，有些情况下使用无线回程可能更加经济有效。
- **主设备房（MER）** – 一系列本地共用主设备房以及一个与移动运营商回程网络互连的中央点。

6.2 方法

该模型的侧重点是了解部署小型扇区网络的初始资本支出和投资；本模型只考虑到了资本支出，未考虑诸如电力供应、租用光纤网络等光纤网络等运营成本。因为这是一个批发模型，因此不包括移动运营商的无线电设备成本，因为这些无线电设备将由每一运营商提供。由于在5G频谱成本和NFV/SDN的投资方面存在不确定性，因此这些成本也被排除在外，同时被排除在外的还有站址获得费用，因为这些费用在各城市之间会大不相同。图8所示为制定成本模型的两个步骤：确定坐标尺寸（Dimensioning）和资本支出（CAPEX）计算。

图8：典型的中立主机批发小型扇区解决方案



确定网络坐标尺寸旨在估算所需扇形小区数量以及光纤数量，计算方法以所要求的覆盖区、人口密度和扇形小区（扇形小区站址）之间距离为基础。确定坐标尺寸的结果被用于确定实施RAN、光纤、主设备房的小型扇区解决方案以及方案落实和实施所要求的总CAPEX投资。

该模型设想使用下列成本要素：

- **RAN**，包括天线、街道机柜和基站电子设备（如备用电池）和网络维护模块的成本。
- **实施成本**，包括设计和规划成本、站址升级成本、许可成本和铺设街道机柜所需的土木工程成本。
- **光纤网络**，包括提供144光纤和沿已获得并被启用街道资产路径铺设的新管道。
- **主设备房（MER）**，包括单一机架和终接设备，以便实现移动运营商与设在同一地点站址的隐蔽光纤网络之间的互连。

敬请注意，实际成本可能在各国家之间大相径庭，因为每个国家的劳力成本、兑换率、设备成本和税收大不相同。该成本模型假设的是市场高度竞争的西方国家，这些市场包含四家移动运营商，有先进的4G覆盖，且城区光纤铺设密度低。

6.3 情形

上述方法用于两种情形，以估算在中央商业区部署光纤连接小型扇区解决方案的成本—情形1是一个人口密集的大城市；情形2是一个人口密度更低的小城市。在这两种情形中都假设城市的4G宏覆盖水平很高，而且网络需求特点是进行由光纤连接的、基于5G的小型扇区投资在商业上是具有吸引力的。

情形1 – 人口稠密的大城市

在这种情形下，进行了下列假设：

- 拟议城区覆盖面积：15平方公里
- 覆盖区域的人口密度：每平方公里12 000人
- 站址之间小型扇区距离：150米。

情形2 – 人口密度居中的小城市

- 拟议城区覆盖面积：3平方公里
- 覆盖区域的人口密度：每平方公里3298人
- 站址之间小型扇区距离：200米。

更大、人口密度更高的城市会对移动网络带来更大压力，因此，需要缩减小型扇区站址之间的距离。为此，与情形2相比，情形1中小型扇区站址之间的距离更短。

6.4 结果

图9和图10表明，部署由光纤连接的小型扇区网络所需CAPEX在小型城市约为680万美元，而在人口稠密的大型城市则需要5550万美元。在人口稠密城市部署小型扇区网络的每平方公里成本更高是因为需要部署更密集的小型扇区，因为需要缩短小型扇区站址之间的距离。

图9：情形1的CAPEX – 人口密集的大城市

支出项目	金额
总CAPEX（单位：百万美元）	55.5
小型扇区站址数量	1 027
每平方公里成本（单位：百万美元）	3.7
每站址CAPEX（单位：千美元）	54.1

图10：情形2的CAPEX – 人口较少的小城市

支出项目	金额
总CAPEX（单位：百万美元）	6.8
小型扇区站址数量	116
每平方公里成本（单位：百万美元）	2.3
每站址CAPEX（单位：千美元）	58.6

由于人口、人口密度、现有4G网络的覆盖和拟议覆盖区域的不同，因此每一运营商付出的总CAPEX大相径庭。此外，在业已大量部署且易于得到接入的光纤网络或管道的城市，光纤部署成本更低。如果所在地点的无线回程比光纤成本效益更高，那么回程成本将大大降低。在业已密集部署宏网络的城市（例如站址接入方面比其他城市限制性更小的马德里），将需要更少的小型扇区。同样，已得到大量频谱分配的移动运营商不需要通过同样多的小型扇区来加大其网络的密度。

图11分列情形1和情形2的成本要素并表明，实施成本是最大一笔成本。在劳动力成本较低的区域，部署成本将低于本报告估算成本。

图11：构成CAPEX的不同要素

小型扇区距离	情形1	情形2
RAN设备（天下、街道机箱、基站电子设备、备用电池和网络维护模块）	25%	24%
实施成本（设计和规划成本、站址升级成本、许可成本和铺设街道机柜的土木工程成本）	50%	46%
光纤（沿已启用街道资产部署144光纤）	25%	30%
MER（单机架和终接设备）	<0.1%	<0.1%

6.5 独立成本估算

上述成本，特别是每站址的CAPEX，符合业界估算。据AT&T估计，每站址的部署成本大约在20 000美元至50 000美元之间，其中假设站址使用光纤回程（AT&T拥有大量光纤回程设备）。^{1,2}据诺基亚估算，对于需要挖沟和供电的站址而言，每一站址的CAPEX在40 000到50 000美元之间。

独立分析师通过分析做出的估算是：倘若在2020年前建成英国提供50 Mbit/s的无所不在的5G网络，并运营至2030年，则其总拥有成本将为710亿英镑。如果鼓励进行基础设施共用的话，这一成本可降低至380亿英镑。³

其他一些报告的估算是，在全美部署5G网络的成本大约需要3000亿美元左右。一家移动运营商的报告称，预期在欧洲的相关投资成本将介于3000至6000亿欧元之间。⁴

虽然这些报告并未说明分析中所使用的频谱，但可以设想很多成本是加大网络密度的成本（通过部署小型扇区实现）— 因为5G使用更高的毫米波频谱，如24GHz以上的频谱（第3.5节已提及），所以有必要加大更小型扇区网络的密度。

6.6 投资模式

由于在部署5G方面需要较大的CAPEX投资，因此，运营商在实现5G投资回报方面面临巨大挑战。政策制定机构需要考虑替代式投资模式（如PPP、贷款、挑战基金和投资工具），以确保极高的前期CAPEX成本不会成为无线提供商的障碍。

第5节已阐明了一些政府干预示例，其中包括一系列PPP方案。这些方案或者可以：i) 由公共部门牵头，也就是政府建设和拥有光纤网络（如卡塔尔的情况）；或ii) 由私营部门牵头，也就是政府与市场合作为光纤网络的部署提供部分资金（如德国的做法）。

其他方式包括为地方政府提供赠款（如英国）来建设和升级无源资产（如管道、光纤网络、数据中心、街道设施等）。政府还可向运营商提供低成本贷款，以换取得到保证的运营商的投资（如马来西亚的做法）。

如果运营商更希望从私营市场获得资本，那么政府可以与成熟的私营部门基金管理人一道设立投资基金，以便为运营商提供股本。之后这种股本将用于支持运营商实施网络拓展项目。

目前存在诸多其他的旨在激励为电信网络投资的PPP模式，而且已得到广泛论述。⁵

并非所有的5G部署工作都需要政府干预。迄今为止，一些小型扇区和5G前的部署工作都是由私营部门出资的，这已在此前章节中得到阐述。

¹ <https://www.rcrwireless.com/20170814/carriers/att-small-cell-cactus-antenna-concealment-tag17>

² <http://www.telecompetitor.com/cfo-extensive-fiber-assets-firstnet-give-att-an-advantage-on-5g-backhaul/>

³ <https://www.itrc.org.uk/wp-content/PDFs/Exploring-costs-of-5G.pdf>

⁴ <http://www.lightreading.com/mobile/5g/how-much-will-5g-cost-no-one-has-a-clue/a/d-id/733753>

⁵ “宽带部署和参与数字经济的投资战略”，2016年，国际电联

7 结论

在5G投资真正能产生诱人的回报之前，业界和政策制定机构应审慎对待投资，同时要提高现有4G网络的可用性和质量。

预计5G将在数字经济、加强经济增长、改善公民生活体验和创建新的商业机会方面发挥关键性作用。

尽管具有这些益处，但在确立5G的商业案例以及决定其是否是经济的真正优先发展领域时必须谨慎行事。有关5G方面的投资决定必须以良好的投资回报案例为基础。

由于投资量极大，因此，运营商对投资回报持怀疑态度。目前他们正在在拥有先进4G网络和相关更适合网络经济学基础设施的人口稠密大城市对5G测试点和试点网络进行投资。

由“城市引导”的战略很可能会带来负面的数字鸿沟影响，因为5G在农村地区的商业可行性难以令人信服。地方政府和监管机构应认识到这一风险并尽可能做出应对。政府和监管机构可支持商业和立法激励措施，刺激通过使用1 GHz子频段为提供光纤网络和价格可承受的无线覆盖进行投资。

为了促进5G网络的建设工作，需要全面审视和调整在数字政策方面采取的监管、中央政府和地方政府的方式，其中包括确保获取价格可承受的公共资产，从而强化在小型扇区基础设施和5G频谱方面投资的商业案例，这一点非常重要。

附件A

为了对WRC-19做出筹备，ITU-R在WRC-15认可的频段内开展了共用和兼容性研究，上述认可频段可能被确定用于实施IMT-2020（5G）。

ITU-R第5研究组

ITU-R第5研究组（地面系统）负责IMT系统的总体无线电系统方面工作以及与陆地移动业务（包括固定业务的无线接入）有关的各项研究工作。

ITU-R制定的建议书和报告包括：

- ITU-R M.1457 – 国际移动通信-2000（IMT-2000）地面无线电接口的详尽规范。有关IMT-2000的规范。
- ITU-R M.2012 – 先进国际移动通信（IMT-Advanced）地面无线电接口的详细规范。有关IMT-Advanced的规范。
- ITU-R M.2083 – IMT愿景 – 2020年及之后IMT未来发展的框架和总体目标，其中包括与设想用途情形相关的内容广泛的各种能力。此外，本建议书还探讨了2020年及之后IMT未来发展的目标，包括在现有基础上进一步增强IMT，以及IMT-2020的发展。
- ITU-R M.2370 – 2020至2030年IMT业务量预测。由于IMT代表的移动宽带通信业务量不断增加，所以移动基础设施中的传送网络正在变为一项需要得到特别考虑的重要应用。
- ITU-R M.2375 – IMT网络的架构和拓扑，概要阐明IMT网络的架构和拓扑以及确定这些拓扑中不同传送要求的一个角度，旨在协助开展有关移动基础设施传送网络方面的研究。
- ITU-R M.2376 – 6 GHz以上频段内IMT的技术可行性，预计一些更高频率的使用将是未来IMT的关键性促成要素之一。
- ITU-R M.2410 – 与IMT-2020无线电接口相关的技术性能的最低要求，阐明与IMT-2020候选无线电接口技术最小技术性能有关的主要要求。
- ITU-R M.2411 – IMT-2020发展的要求、评估标准和提交范本，描述技术要求和提交程序。
- ITU-R M.2412 – 用于评估IMT-2020无线电接口技术的导则，提供有关评估无线电接口的导则。

下列网站提供更多文件：<https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/Pages/default.aspx>。

国际电联内部开展的标准化活动还旨在解决支持5G发展的回程网络的需求，包括进行若干无线电解决方案的研究，如卫星通信、高速无线电接力和高空平台（HAPS）的使用。

ITU-T第13研究组

ITU-T第13研究组（未来网络）是国际电联5G有线研究的牵头研究组，并在持续支持向软件驱动的网络管理和编排的转化。该研究组正在推进5G标准草案的制定工作，研究解决的议题包括网络架构、网络功能暴露、网络切片、网络编排、网络管理-控制和确保提供优质服务的框架。

ITU-T第13研究组在2017-2018年制定和批准的5G有线标准包括：

- ITU-TY.3071建议书 – 数据意识网络（以信息为中心的网络） – 要求及功能，将通过实现主动的网内数据缓存并限制核心网中的多余流量来支持延时极低的5G通信。
- ITU-T Y.3100建议书 – IMT-2020网络的术语和定义，提供一套基本的、可普遍用于所有5G相关标准化工作的术语。
- ITU-T Y.3101建议书 – IMT-2020的网络要求，提供关于IMT-2020网络的一般原则，然后从业务角度和网络操作角度对IMT-2020网络的整体非无线电方面的要求进行了规定。
- ITU-T Y.3102建议书 – IMT-2020的网络框架，规定了IMT-2020整体非无线电方面的框架：IMT-2020网络的主要功能特性和架构设计考虑。
- ITU-T Y.3111建议书 – IMT-2020的网络管理和编排框架，确立与5G网络设计有关的框架和原则。
- ITU-T Y.3112建议书 – 支持多网络切片的框架[...]，描述网络切片概念，并通过使用案例，从高层说明IMT-2020网络的多网络切片要求和高层架构。
- ITU-T Y.3110建议书 – IMT-2020的网络管理和编排要求，描述支持新兴5G业务和应用所需的功能。
- ITU-T Y.3150建议书 – IMT-2020网络软件化的宏观技术特性。随着全球认识到网络切片技术（这是网络软件化方法最典型的证明）的实用性，该建议书描述了网络软件化和网络切片如何为IMT-2020系统做出贡献。它从两个角度探讨了网络切片：垂直和水平方面。该建议书进一步描述了移动前传/回程网络切片、数据平面的先进可编程性以及功能暴露。
- ITU-T Y.3130建议书 – IMT-2020的固定移动融合要求，规定统一用户身份、统一计费、业务连续性和有保证的服务质量支持的业务相关要求，以及网络能力要求，如控制平面融合、用户数据管理、功能暴露和基于云的基础设施等，以支持IMT-2020网络中的固定移动融合。
- ITU-T Y.3033系列增补35 – 数据意识网络 – 情形和使用案例，列出一套由数据意识网络（DAN）支持的业务情形和使用案例，包括：1) 内容传播；2) 感应网络；3) 汽车网络；4) 自动驾驶；5) 灾区网络；6) 智能电网中的先进读表基础设施；7) 主动视频缓存；8) 网络数据处理；9) 多归属；10) 流量工程。该增补通过资料性文献具体说明如何设计、部署和运营旨在支持DAN业务的DAN。此外，增补详细说明相关情形和使用案例中数据意识网络的益处以及从现有网络向数据意识网络进行迁移的若干路径。

- ITU-T Y.3100系列增补44 – 与IMT-2020网络软件化相关的标准化和开源活动，总结与国际电联网络软件化标准制定工作相关的开源和标准化举措。
- ITU-T Y.3070系列建议书增补47 – 以信息为中心的组网 – 综述、标准化差距与概念验证，概要介绍以信息为中心的组网并阐明，按照ITU-T IMT-2020焦点组（FG IMT-2020）在2015-2016年期间进行的有关ICN内容的研究，目前存在十五项标准化差距和五项概念证明。

ITU-T第15研究组

此外，国际电联持续加快有关5G系统有线部分的标准化工作。ITU-T第15研究组（SG15 – 传送、接入和归属）制定旨在为5G系统提供传送支持的标准。

第15研究组开展的5G相关工作包括：

- G系列技术报告（GSTR-TN5G） – 支持IMT-2020/5G的传输网。
- G-系列建议书增补55 – 光纤上的无线电（RoF）技术及其应用。提供有关经过光纤技术的无线电的总体信息及其在光接入网中的应用。该技术用于无线电静区（radio shadow）中。
- G系列建议书增补56 – CPRI信号的OTN传送描述了向OTN映射和多路传送CPRI客户端信号的替代方法。本增补与ITU-T G.872、ITU-T G.709/Y.1331、ITU-T G.798和ITU-T G.959.1建议书相关。
- ITU-T G.987建议书系列 – 可传输10Gb的无源光网络（XG-PON）
- ITU-T G.9807建议书系列 – 可传输10Gb的对称无源光网络（XGS-PON）
- ITU-T G.989建议书系列 – 可传输40Gb的无源光网络2（NG-PON2）
- ITU-T G.RoF建议书草案 – 光纤上无线电系统（制定中）
- G-系列建议书新增补（G.sup.5GP） – PON环境下的5G无线前传要求（制定中）
- ITU-T G.9700系列建议书 – 用户终端的快速接入（G.fast）
- ITU-T G.709系列建议书 – 光传输网（OTN）
- ITU-T G.ctn5g建议书草案：支持IMT-2020/5G的传输网特性（制定中）
- G-系列建议书G.Sup.5gotn的增补草案 – OTN在5G传输中的应用（制定中）
- ITU-T G.695建议书 – 粗波分复用应用的光接口
- ITU-T G.698.4建议书 – 具有端口无关单信道光接口的多信道双向DWDM应用
- ITU-T G.959.1建议书 – 光传输网的物理层接口

此外，第15研究组制定有关支持5G网络的网络同步标准（ITU-T G.8200系列建议书）。

ITU-T第12研究组

ITU-T第12研究组（性能、服务质量、体验质量）正在进行的相关工作包括：

- ITU-T G.IMT2020建议书草案：IMT-2020的服务质量（QoS）。在IMT-2020背景下审议第12研究组的QoS框架。
- ITU-T Y.cvms建议书草案：关于实现虚拟测量系统的考虑。随着网络服务提供商寻求充分利用云计算首先帮助实现的所需规模、灵活部署和成本降低，他们已开始为其基础设施确定新的架构，以实现网络功能虚拟化（NFV）。与此同时，将实施作为虚拟功能的测量功能。本文件就按需部署和准确性考虑等关键领域提出建议。在与第12研究组工作高度相关的领域开发虚拟化测量系统尚处初期阶段，因此本建议书十分及时。
- ITU-T G.QoE-5G建议书草案：5G网络中新业务的体验质量（QoE）要素。

此外，第12研究组正在制定有关增强现实（AR）和虚拟现实（VR）体验质量的建议书，前者将是5G使用案例中最能引起话题的内容。

ITU-T第11研究组

ITU-T第11研究组（协议和测试规范）正在研究5G的控制平面、相关协议和相关测试方法。

- Q系列建议书增补67 – 软件定义网络的信令框架，有助于促成制定能够支持SDN（软件定义网络）环境中流量流动的信令协议。
- ITU-T Q 3710 – Q.3899系列建议书 – 软件定义网络（SDN）的信令要求和协议。
- ITU-T Q.3315建议书 – 宽带网络网关中灵活网络业务综合的信令要求。宽带网络网关（BNG）在提供宽带网络业务中占据主要地位，因此应能够支持灵活的业务组合、新业务的推出和业务调配。Q.3315在宽带网关业务平台（BNG）架构的基础上阐述了信令要求，这些要求旨在实现网络业务易于部署，网络业务精细化等突出优势。

ITU-T第5研究组

ITU-T第5研究组（环境、气候变化与循环经济）已将其新兴的有关5G系统环境要求的研究作为了一项首要工作。ITU-T第5研究组正在制定一系列国际标准（ITU-T建议书）、增补和技术报告，这些都与下列领域的环境研究相关：电磁兼容（EMC）、电磁场（EMF）；能源供应和效率以及抵抗力。ITU-T第5研究组制定的ITU-T建议书和增补包括：

- ITU-T K.增补8 – 5G系统的抵抗力分析，具体分析5G系统对闪电和供电故障的抵抗力要求。
- ITU-T K.增补9 – 5G技术与人体对射频电磁场的暴露，针对人体在无线电通信基础设施电磁场（EMF）暴露程度，对5G移动系统实施带来的影响做出分析。

- ITU-T K.增补10 – 5G移动系统的电磁兼容性问题分析以及要求确定，该增补就5G系统的电磁兼容性合规评估提出指南，其侧重点是5G系统可能的发射以及抗扰度（immunity）要求。
- ITU-T K.增补14 – 比国际非电离辐射防护委员会（ICNIRP）或电气电子工程师学会（IEEE）导则更严格的射频电磁场（RF-EMF）暴露限值对4G和5G移动网络部署的影响，概要介绍准备着手部署4G或5G基础设施的国家、机遇和城市面临的一些挑战。该增补还提供在波兰进行的RF-EMF限值影响模拟信息，这是更广泛的一种现象中的一个示例，可用于所设立的限值比ICNIRP或IEEE导则更严格限值的若干其他国家。
- ITU-T L.1220建议书 – 静止状态使用的创新储能技术 – 第1部分：储能概述，介绍不同技术系列（电池系统、超级电容器系统等）的一系列开放文件，随着可能在储能领域产生重大影响的新技术的涌现而逐渐变得丰富起来。
- ITU-T L.1310 L.增补36 – 有关评估未来5G系统能源效率的方法和衡量标准的研究，主要分析未来5G系统的能源效率问题。

此前的ITU-T IMT-2020焦点组制定了一系列技术报告，具体阐明5G有线成分的多个不同方面问题 – ITU-T IMT-2020焦点组2017年实际成果数码翻页动画书：<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

“5G基本要素数码翻页动画书，2017年”提供ITU-T在推出IMT-2020方面开展的准备工作：<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

见ITU-T下列网页：<https://itu.int/en/ITU-T/>

国际电信联盟

Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

ISBN: 978-92-61-27595-2



9 789261 275952

瑞士出版
2018年，日内瓦