

第 1 章



绪论

1.1 背 景

自从 19 世纪人类进入工业时代，社会发生了翻天覆地的变化。100 多年来，人类社会经历了三次工业革命。首次工业革命以蒸汽机的大规模使用为代表，称为蒸汽时代；第二次工业革命以电力的广泛应用为特征，称为电气时代；第三次工业革命以计算机应用为主，称为计算机时代。今天，人类社会正进行着以信息技术为代表的第四次工业革命。如今，信息通信领域是目前创新速度最快、通用性最广、渗透性最强的高科技领域之一，其中的通信技术是当代生产力中最为活跃的因素，对生产力的发展和人类社会的进步起着直接推动作用。移动通信技术（见图 1-1）由于其便利性和庞大的应用市场成为信息通信领域极具代表性的典型。中国从 2G 时代的追赶、3G 时代零的突破、4G 时代的并跑以及 5G 时代关键技术研发、标准化制定和产业规模应用等方面实现突破性领先，无线移动终端在通信技术迭代的过程中扮演着越来越重要的角色。

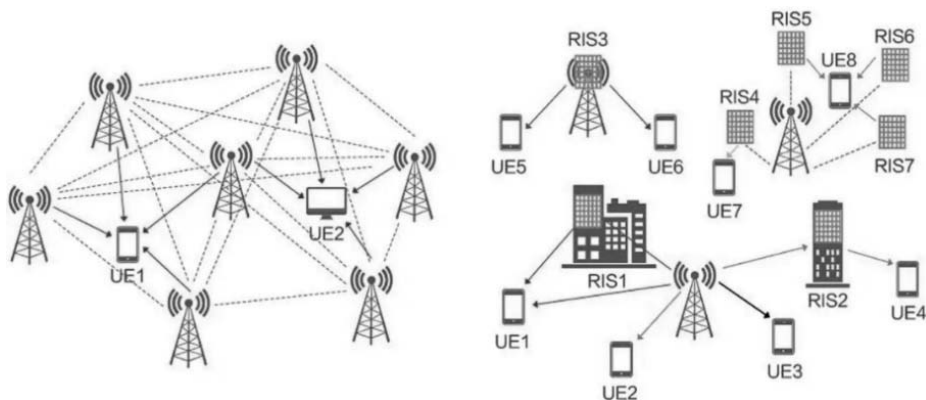


图 1-1 移动通信技术

1.2 技术发展

通信技术的发展（见图 1-2），无论是从最开始的 1G 模拟通信，还是到以 2G、3G、4G、5G 为代表的数字通信；无论满足的业务需求是单纯的语音业务，还是服务于各种新型的移动互联网应用，人们都非常关注无线通信终端的通信性能。因为无线通信性能好坏，决定着终端通信质量的优劣。为了提升终端质量和用户的终端使用体验，需要对终端性能进行测试评估。通常情况下，所有终端在上市之前，都需要进行全面型号认证，只有检测合格的终端型号，才能上市销售。绝大多数终端的设计都会用到射频连接器，在全面型号认证测试中，常用的射频性能测试主要用射频线缆连接被测设备（equipment under test, EUT）的射频连接器和测试仪表，称为传导测试。传导测试虽然能够评估终端的射频性能好坏，但是无法将天线因素对整机性能的影响考虑在内，甚至无法完整验证整机内部不同功能单元的干扰情况。如果终端应用 MIMO 多天线，则传导的方式无法对终端天线以及天线间的性能进行综合评估。在 5G 时代，支持毫米波频段的终端都基于相控天线阵列与射频链路完全集成的系统架构，意味着终端不存在天线端口，也就无法通过传导测试衡量终端性能，对于终端的无线空口性能，传导测试无法验证其性能。在这种情况下，为了全面、完整地评估终端天线的发射和接收性能，就需要对整个终端性能进行测试，使用 OTA 测试方式，又称为辐射测试。OTA 测试方式弥补了传统的全面型号认证测试中无法评估终端整体天线性能的不足，并且能够解决终端无天线端口时无法进行性能评估的缺陷，能够完整验证从芯片到天线端各种因素对终端整体性能的影响，甚至包括芯片收发算法对终端整体性能的影响。目前在终端天线性能测试中，OTA 测试方式已经成为主流的终端天线测试方式，其测试环境如图 1-3 和图 1-4 所示。



图 1-2 移动通信技术发展时间线

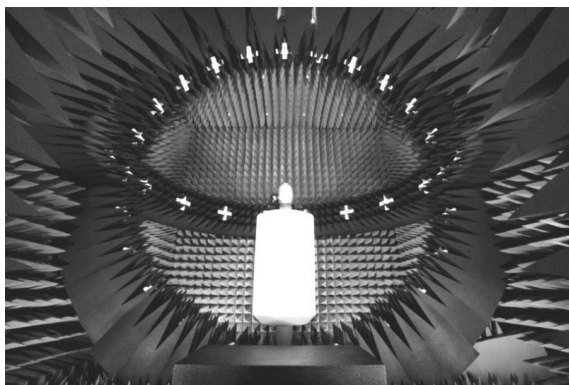


图 1-3 OTA 测试环境

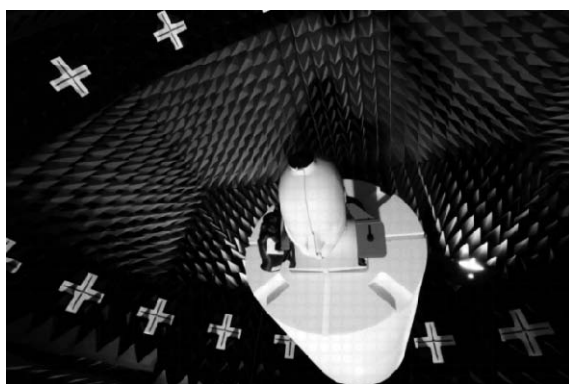


图 1-4 OTA 测试环境（俯视图）

在 OTA 测试中，目前主要有无源测试和有源测试两种方式。

（1）无源测试侧重从天线的增益、效率、方向图等辐射参数方面考察天线辐射性能。无源测试虽然考虑了整机环境（如天线周围器件、开盖和闭盖）对天线性能的影响，但天线与整机射频链路配合之后最终的辐射性能如何，从无源测试数据无法直接得知。无源测试的速度较快，但由于终端往往是复杂材料体，在最终的测试中，它对发射性能的模拟是可信的，对接收性能，只能大致参考，甚至有些个案中不具备可信度。

（2）有源测试侧重从整机的发射和接收方面考察设备的辐射性能。它是在特定的微波暗室中测试整机在三维空间各个方向的发射性能和接收性能，能够更加直观地反映设备整机的辐射性能。有源测试可模拟无线设备的真实使用状态，衡量无线设备与基站之间的实际连接情况，评估终端辐射盲点和天线功率分布，从而验证无线设备和网络的连接能力以及终端使用者对辐射性能的影响。OTA 终端有源性能测试结果如图 1-5 所示。

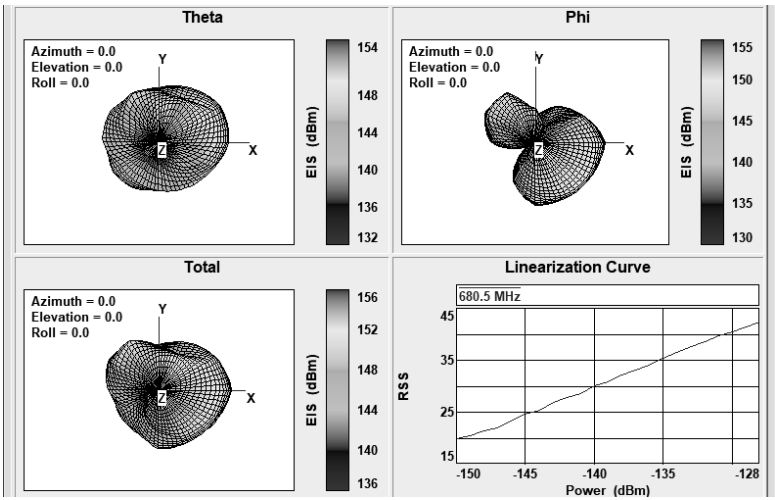


图 1-5 OTA 终端有源性能测试结果

从图 1-5 中可以看出，终端 OTA 测试软件的界面显示了 4 张测试图，上两张三维图分别代表 OTA 测试中 Theta (θ) 极化、Phi (φ) 极化下终端的接收性能指标等效全向灵敏度(EIS)；第三张三维图表示两个极化合成后的 EIS 的值；三维图默认选择方位角(Azimuth)、俯仰角(Elevation)、滚动角(Roll)为 0；第四张表示接收信号功率(RSS)与功率(Power)的线性关系曲线。测试结果很直观地反映了终端在模拟通信场景中不同角度、极化下接收性能指标的情况。

终端天线性能测试具有十分重要的意义。

(1) 对于运营商，网络运营商通常运用链路预算来确定网络的规划。对于自由空间损耗，电磁场以 $1/r$ 进行衰减，其中 r 为距发射点的距离，转化为对数结果，即路径损耗为 $20\lg r$ ，则 10 倍距离增加 20dB 的衰减。如果链路预算减小 1dB，那么自由空间的传输覆盖距离就减小 11%。如果将减小的覆盖距离转化为增加的 AP 覆盖数量，则需要增加 25%的热点才能全部覆盖。因此，1dB 或者 2dB 的差异会显著地增加网络建设的负担。网络建成以后，为了填补网络盲区而增加的热点会产生更大的负担。所以，当网络建成后，要衡量终端的性能，从而保证服务质量，减少用户关于网络质量的投诉。

(2) 对于制造商，终端天线性能测试有助于制造商提高产品质量，有效地解决掉线率高、不能接通、耗电量高、网络连接不稳、基于网络服务的应用无法正常使用等问题，有效提升用户满意度，从而提高用户对企业产品的认可度。模拟人头部、人手状态下的终端天线性能测试可模拟终端在实际使用中的情况，有效评估人头部及手握状态下对终端天线性能的影响，对制造商优化和改进终端设计方案有很大的帮助，良好的终端天线性能指标是终端进入国内和欧美等

国际市场的前提。

(3) 对于终端用户, 提高终端天线性能, 可以显著地提升终端连接质量, 降低掉线率, 有效地提升通话质量、浏览网页的速度及流畅性, 极大地提升用户体验。

1.3 关于本书

本书将围绕 5G 终端天线测试技术与实践这一主题展开, 介绍 5G 终端天线测试原理及测试方法等内容。全书共 7 章, 第 1 章为绪论, 主要从终端天线测试方法演进、性能测试意义展开全书内容; 第 2 章介绍终端天线的基本原理及结构, 包括 5G Sub-6GHz 频段天线类型, 以及 5G 毫米波频段天线在学术领域、产业领域的现状和未来面临的挑战; 第 3 章介绍 5G 终端天线测试系统, 包括 5G 终端天线测试仪器仪表、5G 终端天线性能测试环境等内容; 第 4 章主要针对目前终端天线测试标准化工作进行介绍, 包括第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP)、美国无线通信和互联网协会 (Cellular Telecommunications and Internet Association, CTIA)、中国通信标准化协会 (China Communication Standard Association, CCSA) 三大主流标准组织的标准化进展; 第 5 章主要基于 5G 终端 OTA 测试, 包括 5G Sub-6GHz 频段和毫米波频段的单输入单输出 (single-input single-output, SISO)、多输入多输出 (multi-input multi-output, MIMO) 测试; 第 6 章介绍国内外终端天线性能测试认证的要求; 第 7 章以对终端天线测试未来发展趋势的展望, 总结全书。