

面向B5G/6G场景的 微波毫米波测试

张明 2023.07.14

zhangming930@ceyear.com

目录

01 5G标准演进和6G愿景

02 B5G/6G测试需求

03 B5G/6G测试挑战

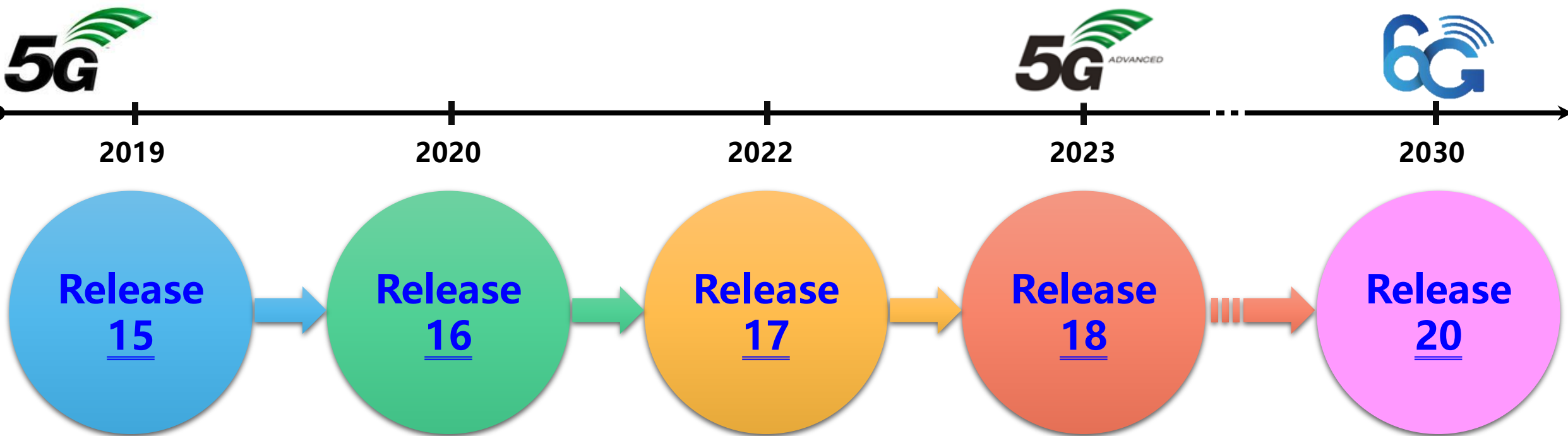
04 电科思仪测试解决方案



第一部分

5G标准演进和6G愿景

(一) 3GPP 5G NR标准演进



- ▶ NR
- ▶ FR1 FR2
- ▶ eMBB
- ▶ Massive MIMO
- ▶ OFDM
- ▶ numerologies

- ▶ uRLLC
- ▶ mMTC
- ▶ NR-U
- ▶ NR V2X
- ▶ IAB
- ▶ Position

- ▶ FR2-2
- ▶ BW SCS
- ▶ DL 1024QAM
- ▶ NTN
- ▶ RedCap
- ▶ DSS

- ▶ AI
- ▶ IIOT
- ▶ XR
- ▶ NR WUS
- ▶ ...
- ▶ ...

- ▶ ISAC
- ▶ RIS
- ▶ AI+
- ▶ OAM
- ▶ Full Duplex
- ▶ ...

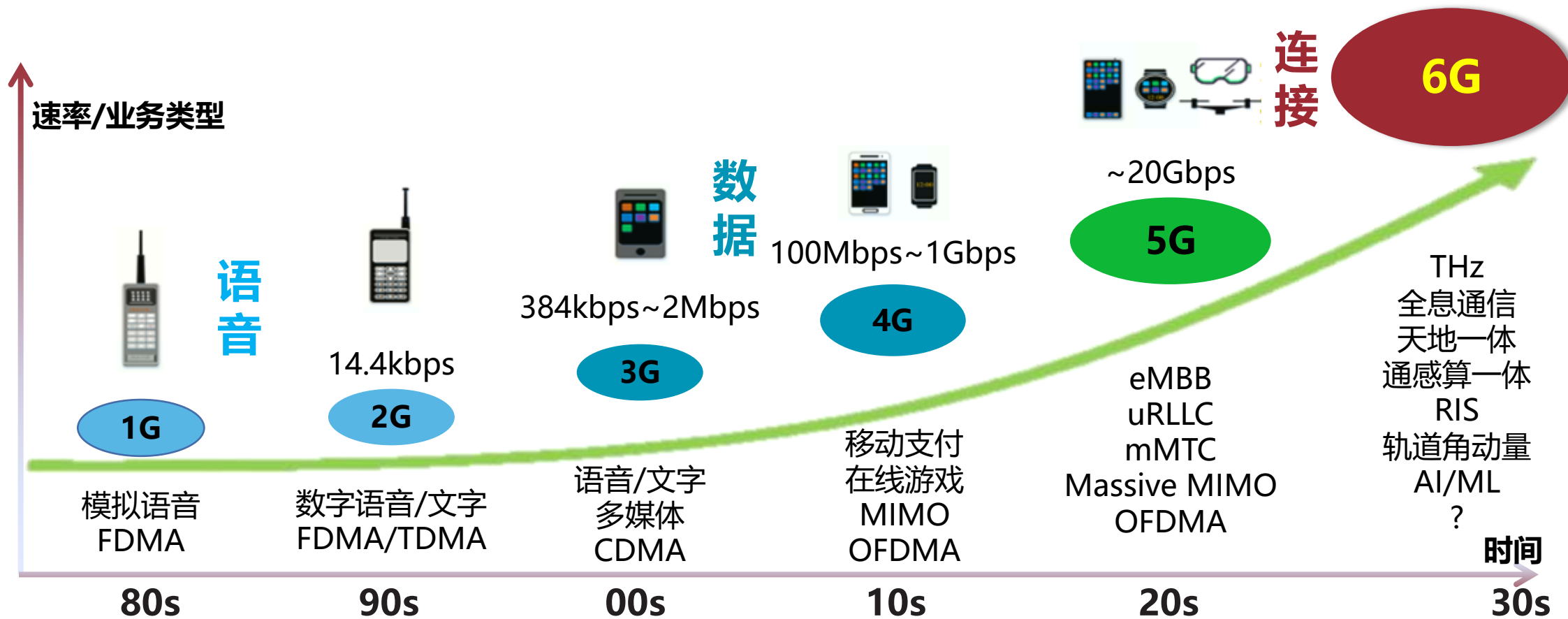
(二) IMT-2030 6G 总体愿景

IMT面向2030及未来发展的框架和总体目标建议书



6G将实现物理世界和数字世界智能互联，最终实现“万物智联、数字孪生”。

(三) 5G/6G通信信号主要特点



(三) 5G/6G通信信号主要特点

全频段

Sub6GHz、毫米波、太赫兹、光频段。

- 重耕、聚合、共享等提升6GHz以下频段的频谱效率。
- 高频段将满足6G对超高速率、超大容量的频谱需求。

全覆盖

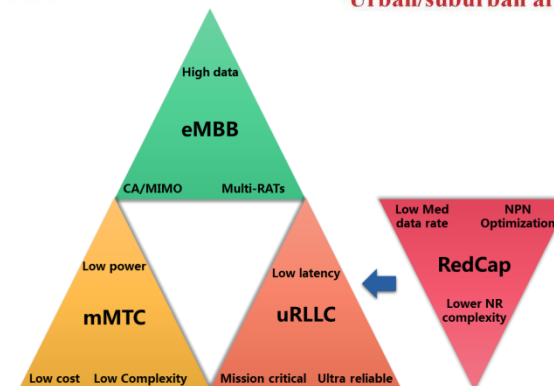
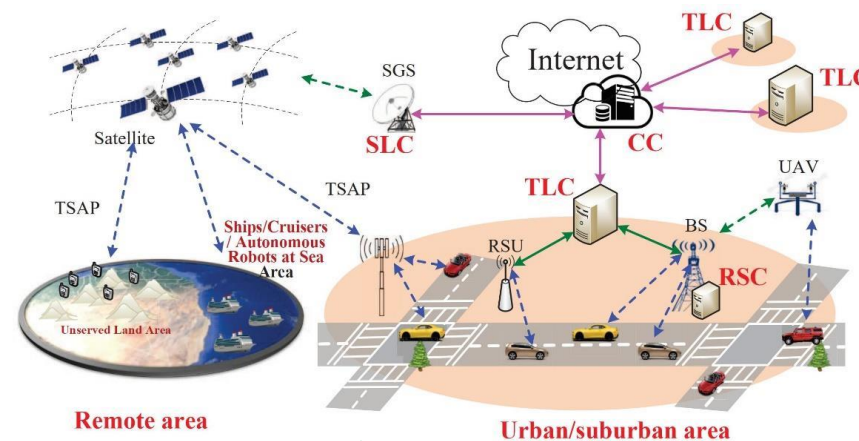
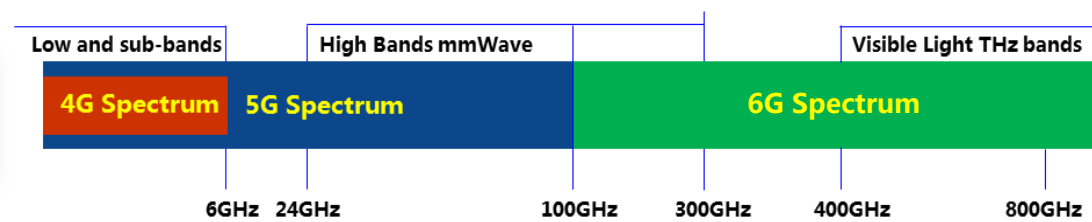
广域覆盖、移动宽带覆盖、热点覆盖。

- 5G地面蜂窝网仅覆盖约20%的陆地面积和6%的地表。
- 非地面通信网络将实现空天地海无缝立体覆盖。

全连接

泛在海量连接、感知与定位。

- 在5G海量连接的基础上，提升传输速率。
- 在通感一体化的基础上，提升感知分辨率与定位精度。



(三) 5G/6G通信信号主要特点

多天线

大规模MIMO、多用户波束赋形。

- 提升频谱效率、可靠性、扩展覆盖、抑制干扰。
- RIS能提升等效天线阵子数量，获得更好的赋形效果。

多场景

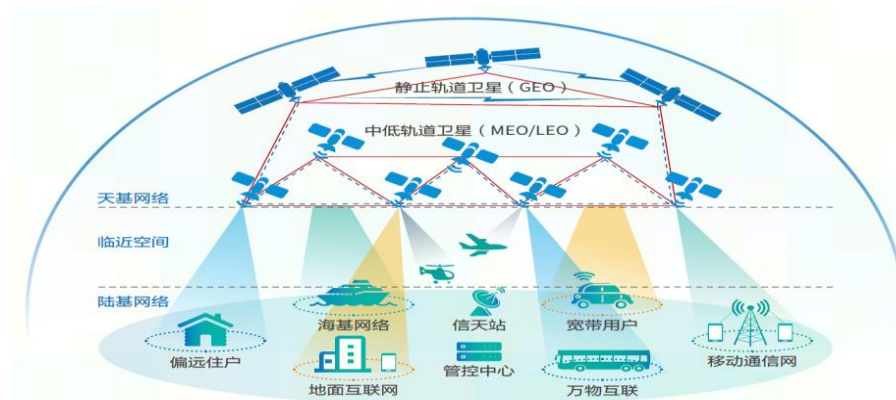
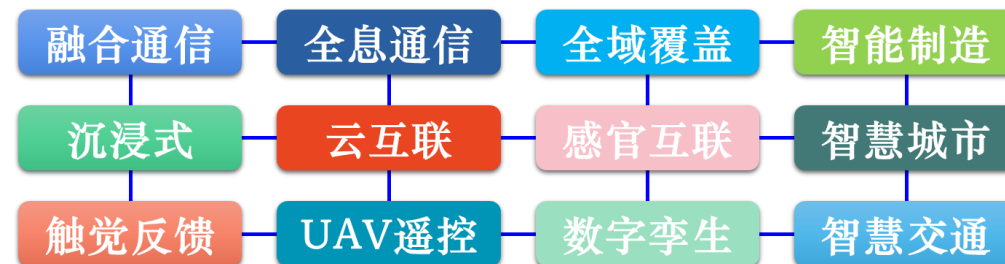
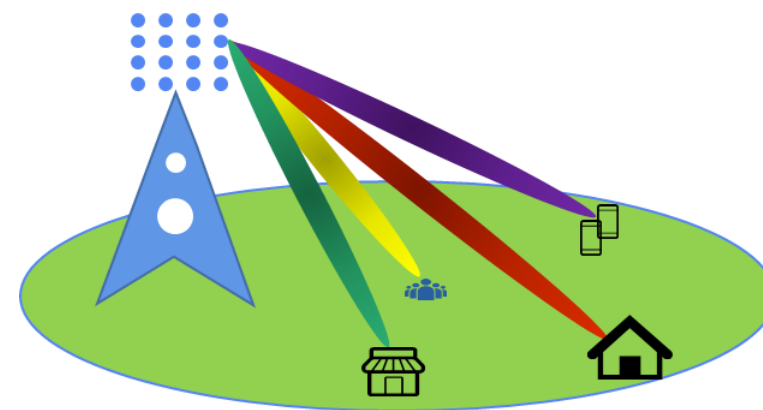
eMBB--IC、 mMTC--MC、 uRLLC--HRLLC。

- 场景越来越丰富，新业务不断涌现。
- 垂直应用不断拓展，服务广度和深度不断强化。

多维度

空基、天基、地基网络深度融合。

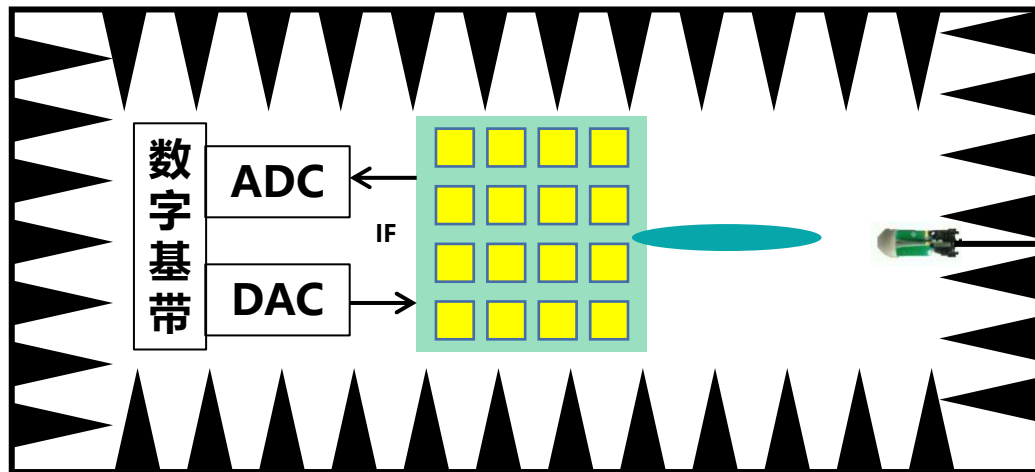
- 5G NTN空口接入：NR-NTN、IoT-NTN。
- 6G将更加强调空间网络与地面网络融合发展的方向。



第二部分

B5G/6G测试需求

(一) 重点通信装备研发、生产、制造、型号核准场景



基站一致性测试，评估噪声和衰落条件下的发射机特性和接收机性能。

发射机

- 发射功率
- 输出功率动态
- 发射信号质量
- 基站输出功率
- 发射开/关功率
-

接收机

- 参考灵敏度
- 带内选择性和阻塞
- 接收机杂散发
- 动态范围
- 带外阻塞

(二) 卫星通信系统设计、开发和测试场景



卫星通信系统中**卫星有效载荷、子系统及其组件**的性能在设计、开发和测试过程中发现问题至关重要，同时要保证测量的**可重复性和准确性**。

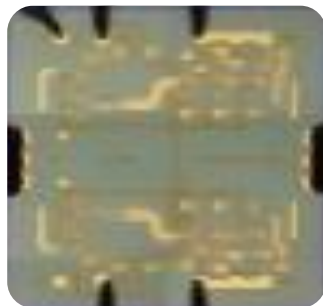
📶 使用频率范围扩展至Q/V波段

🔔 最大带宽扩展至： $400\text{M} * \text{N}$ 载波

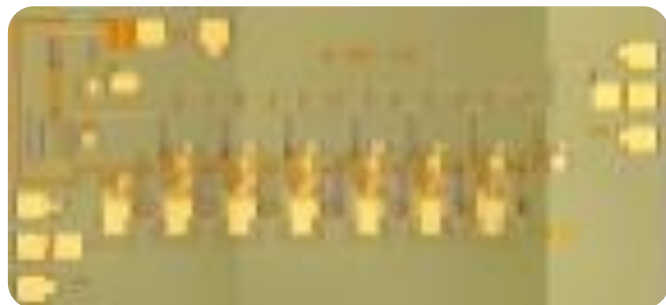
📡 信号体制由DVB-S转向5G/OFDM

⊕ 大带宽情况下EVM指标愈加苛刻

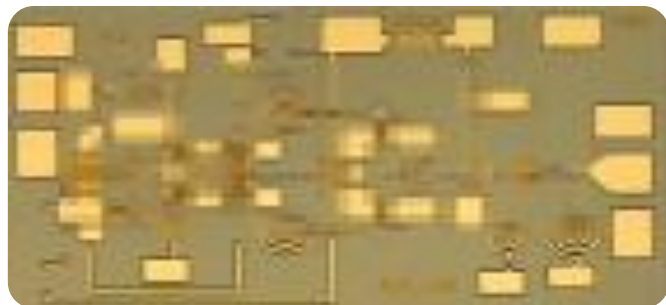
(三) 高端芯片研发和生产制造场景



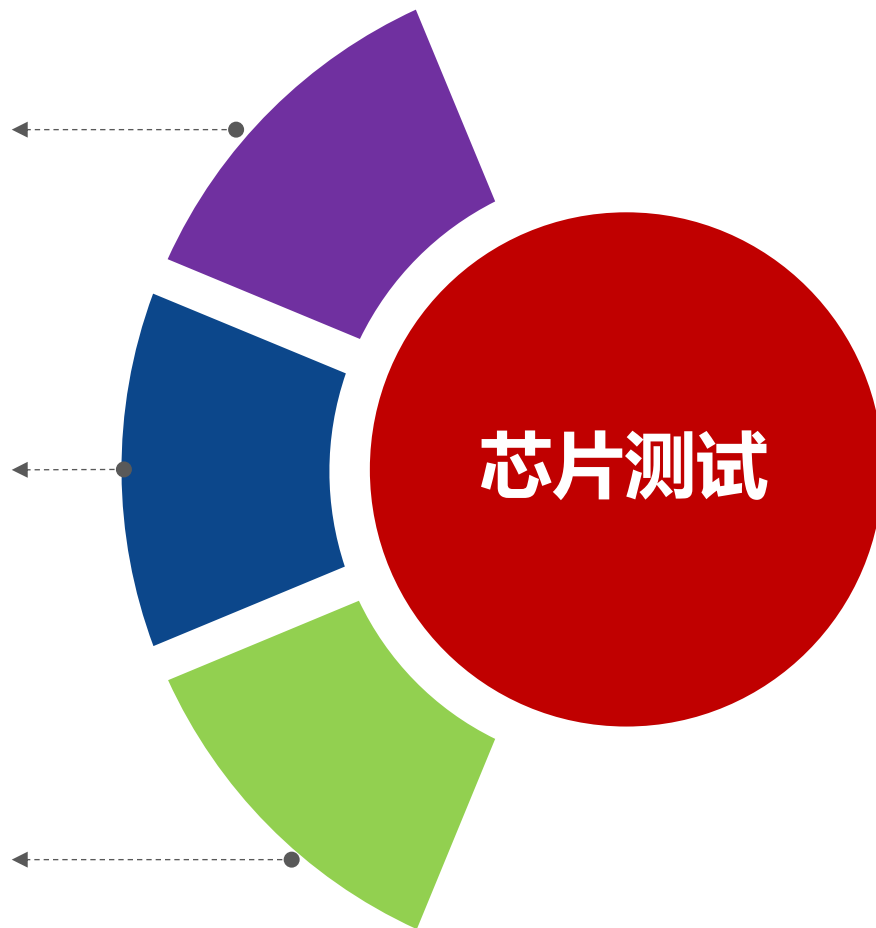
5G/6G基站收发机的滤波器、功放等关键元器件要和芯片进行完美的配合。



成本指标要求下，关注器件和芯片的射频特性裕量。



芯片综合网络参数测试，电路级IC测试和MMIC设计验证。



(四) B5G/6G前沿技术研究场景

前沿技术研究

通信技术

- 新型网络架构
- 云化、元宇宙技术
- 通信+AI深度融合
- 通信+感知+计算

支撑通信领域科研人员 and 工程师理解和验证未知新的信号和技术。

科学研究

- 智能交通信号模拟和分析
- 卫星通信信号模拟和分析
- 电磁信号参数分析
- 共振特性模拟和分析

支撑交通、遥感、材料、大气监测等领域科研人员突破关键新技术。

国防安全

- 宽带复杂电磁信号模拟和分析
- 空间信息安全传输和监测分析

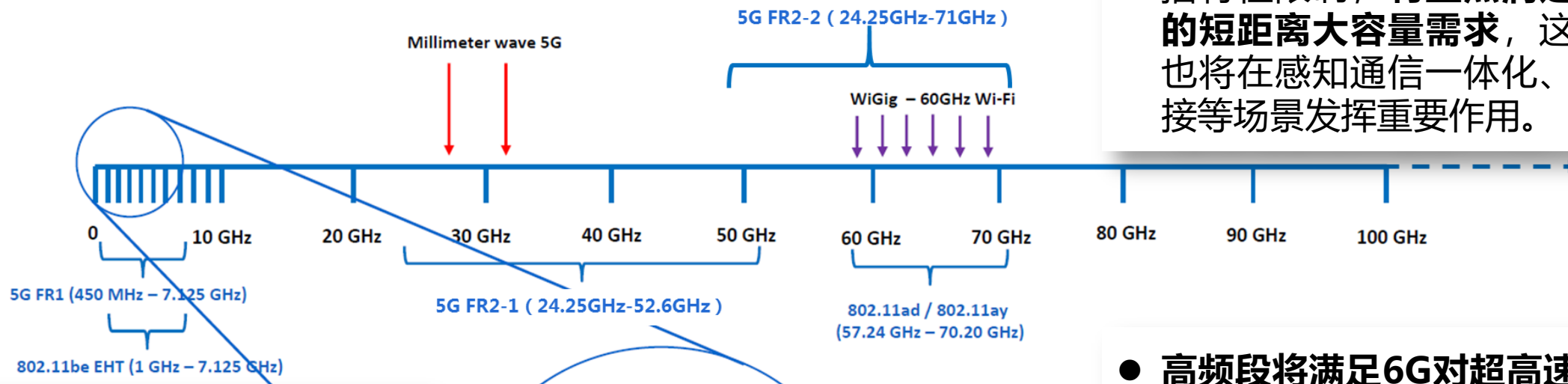
支撑电子装备研制、生产、维护，保障国家安全和国防建设。

第三部分

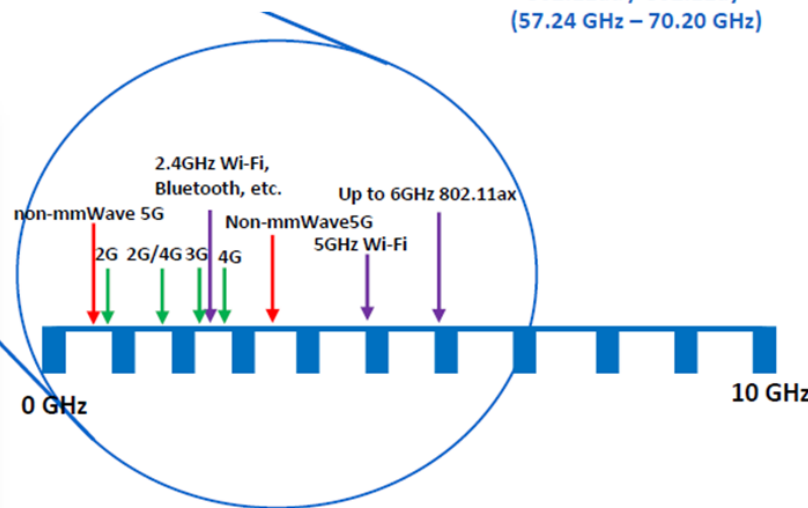
B5G/6G测试挑战

(一) 全频段频谱资源的高效利用要求测试仪器支持更高的频段覆盖

- 太赫兹、可见光等更高频段，受传播特性限制，**将重点满足特定场景的短距离大容量需求**，这些高频段也将在感知通信一体化、人体域连接等场景发挥重要作用。



- **6GHz及其以下频段的新频谱仍然是6G发展的战略性资源**，通过重耕、聚合、共享等手段，进一步提升频谱使用效率，将为6G提供最基本的地面连续覆盖，支持6G实现快速、低成本网络部署。

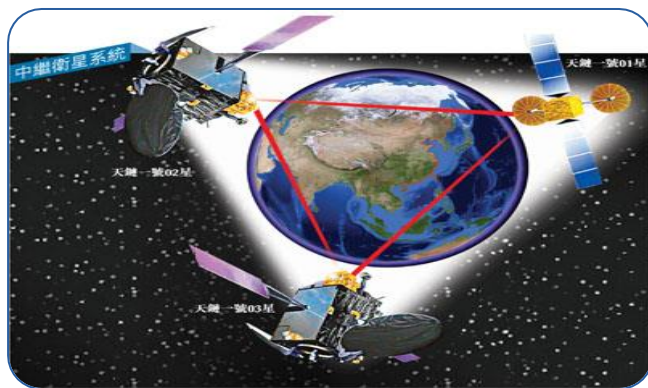


- **高频段将满足6G对超高速率、超大容量的频谱需求**。随着产业的不断发展和成熟，毫米波频段在6G时代将发挥更大作用，其性能和使用效率将大幅提升。

(二) 全覆盖与全连接要求测试仪器具备干扰信号模拟与快速捕获的能力

非地面网络组网

低轨卫星系统组网需要进行通信容量、无缝切换以及稳定性测试，需要对宽带信号进行无缝捕获和实时分析，**监测和检测系统内干扰和系统间干扰**，排查干扰故障和定位干扰来源。



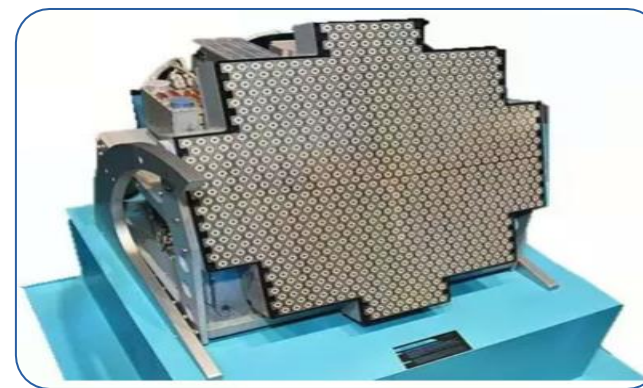
通感一体化网络

业务共存作为通感一体化技术的起始，系统上已支持原先分立的通信与感知系统共享物理平台。但未实现波形、收发信号处理等算法层面的一体化设计。因此如何管理并**抑制二者间互干扰**将成为研究重点。

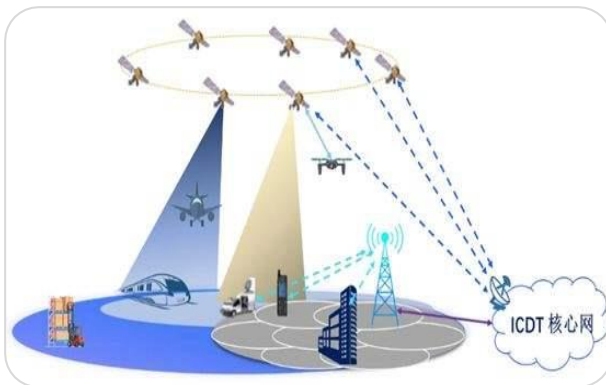


多模无线通信互存

2G-5G蜂窝无线通信之间的互存，蜂窝无线通信与无线连接（如WiFi、UWB、蓝牙、NB-IoT等）之间的互存以及临时布置的热点和现网之间的互存等**相互之间的信号干扰**以及重点区域进行电磁环境监测等。

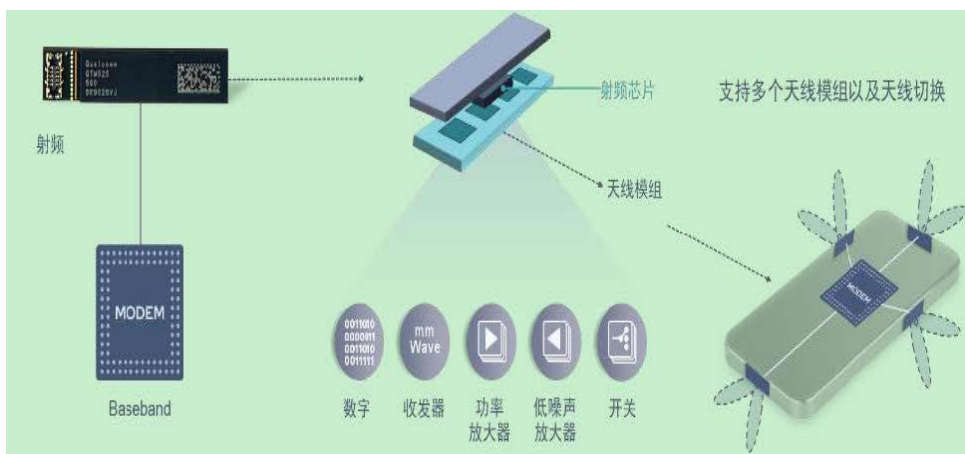
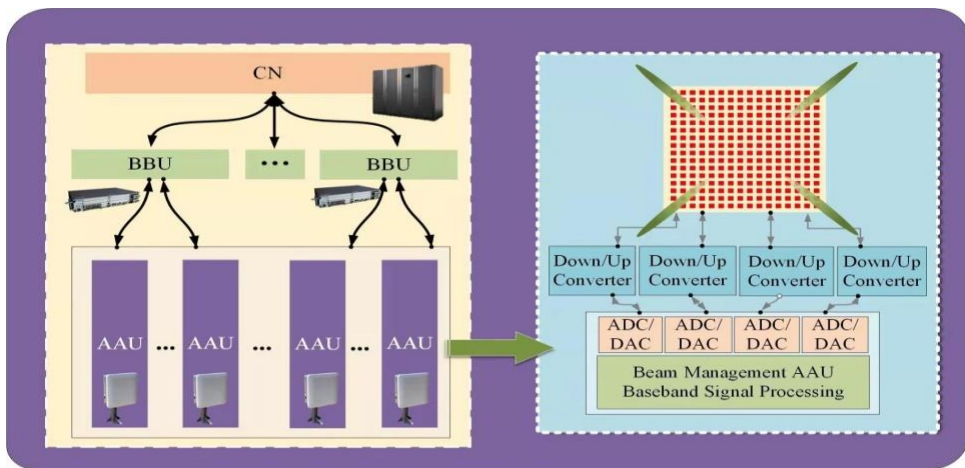


(三) 多场景和多维度的应用要求测试仪器具备更多的测试功能



- 空天地海一体化通信将实现卫星、飞机、高铁、车辆、轮船等多种实体之间的宽带、实时、低时延通信，一体化通信网络架构和形态也将发生重大变化，这些变化趋势要求测试仪器需要具备**多维度通信信号的模拟和分析功能**。
- 5G/6G通信将赋能千行百业，各行各业的优秀应用场景将层出不穷，并实现规模化发展，测试仪器也需要紧跟通信行业发展，不断扩充和丰富实时增强宽带通信、海量机器连接、超高可靠低时延等**不同应用场景下的信号模拟和分析功能**。

(四) 多天线的测试方法要求测试仪器支持更复杂、更高不确定性的测试方案



- 在5G毫米波基站中，为了减小损耗、方便众多数量天线的集成与安装，采用天线与射频通道直接**集成**的连接方式。
- 在5G毫米波终端中，基带与天线模组直接相连，同时支持**多个**天线模组以及天线切换。
- 高集成化导致了5G毫米波终端没有接口或者测试点提供给传统的传导测试，所有的测试必须通过**OTA 测试**的方式来实现。
- 未来6G系统，基站可以在三维空间形成具有高空间分辨能力的高增益波束，能够提供更灵活的空间复用能力，测试方法和测试环境对测试仪器提出了**更高的要求**。

第四部分

电科思仪测试解决方案

思仪天衡星系列



1466系列信号发生器



4082系列高端信号分析仪



3674系列高端矢量网络分析仪

尖端硬核

将尖端性能全面推向110GHz

智能友好

让交互更有温度

一专多能

灵活便捷的多场景测试方案

互联互通

更加开放的融入产业链

思仪天衡星系列 1466系列信号发生器



宽频段覆盖

低相位噪声

大调制带宽

丰富的功能

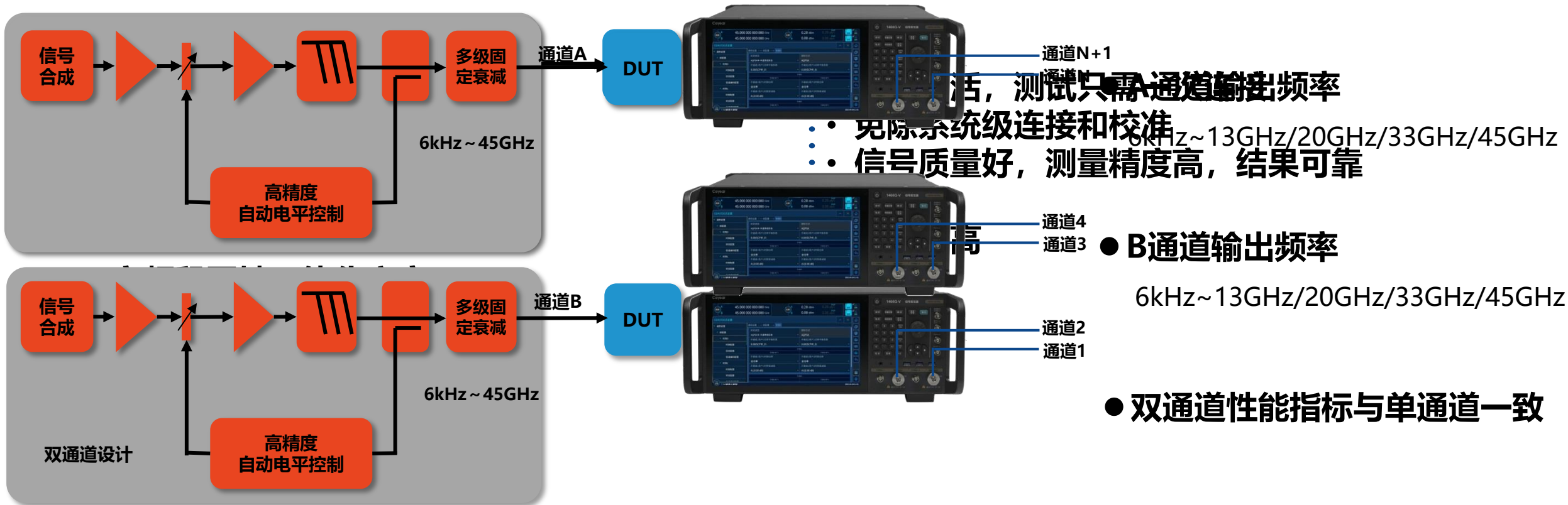
技术指标

- 同轴频率：6kHz~110GHz (**业界单机输出频率最高**)
- 相位噪声：<-132dBc/Hz (10GHz, 典型值)
- 输出功率：Ku波段最大+30dBm, Ka波段最大+26dBm
- 最大调制带宽：2GHz

主要功能

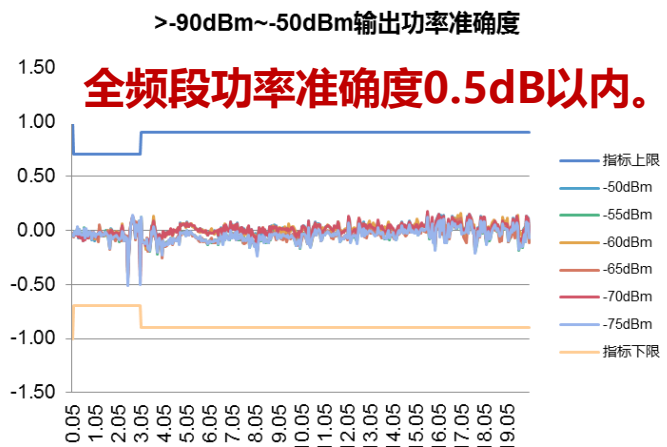
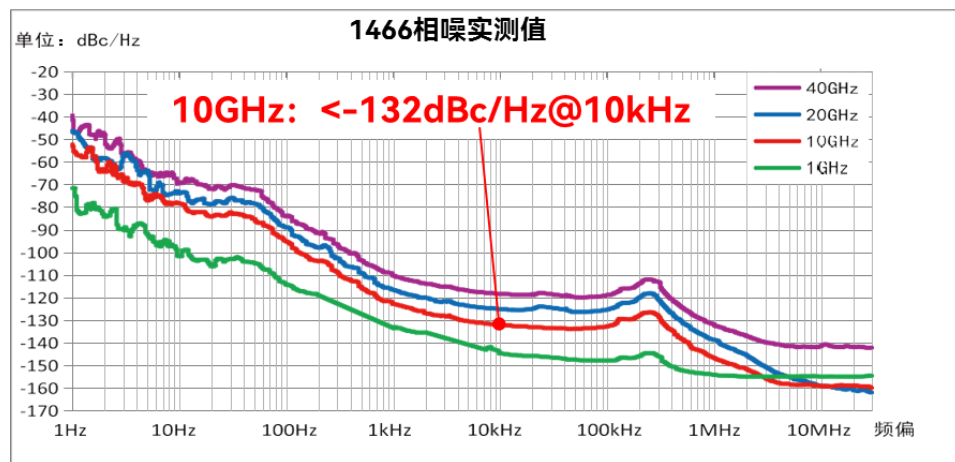
- 连续波、模拟调制信号发生
- 数字调制信号发生
- 多种通信协议信号模拟
- 多种回波信号模拟

● 单机双通道或多机级联, 多通道独立频率相位幅参输出可灵活配置



- 移动通信基站上的接收机性能测试, 一路产生所需的信号, 一路产生干扰源。
- 电子对抗等领域模块以及整机需要多源激励。

● 频谱纯度、功率准确度等指标全面提升，调制带宽、调制精度对标业界最优



- 采用创新的多环频率合成技术，相噪指标比上代产品改善10dB,与业界先进产品相当，使测试结果更精准。
- 采用最新的数字ALC技术，功率准确度与上一代产品相比提升约一倍，指标余量大，稳定度显著提升。
- 调制带宽：500MHz、1GHz、2GHz灵活选择
- 调制精度：
 - < 0.8% (50MHz < f ≤ 4GHz)
 - < 1.0% (4GHz < f ≤ 20GHz)
 - < 1.2% (20GHz < f ≤ 40GHz)
 - < 1.4% (40GHz < f ≤ 67GHz)

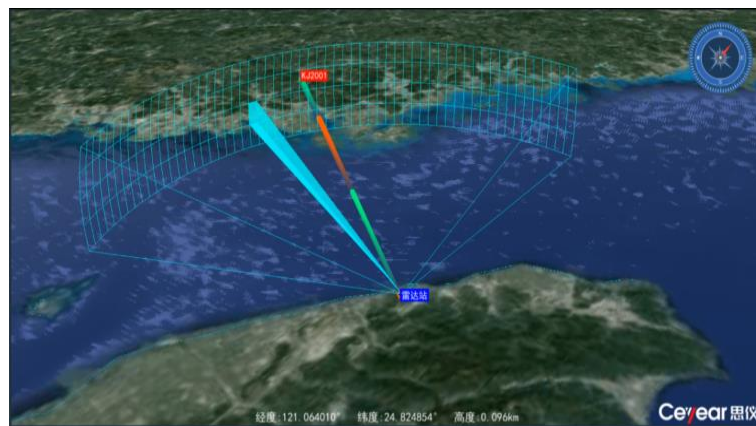
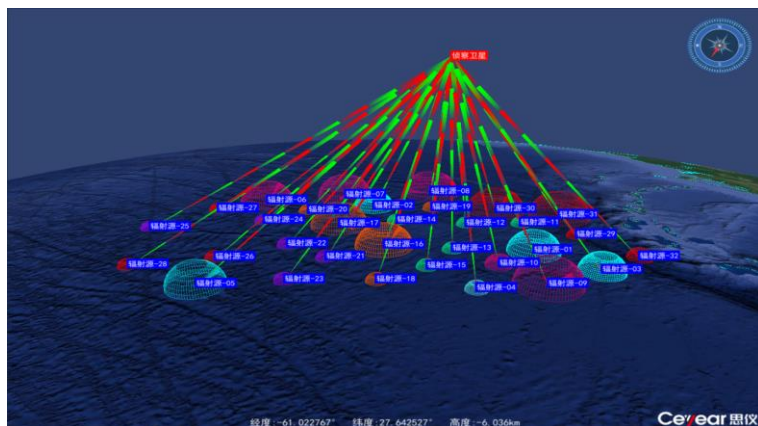
- 半导体器件压缩点、增益、失真（谐波、交调）研发测试。
- 5G/6G移动通信、卫星通信等系统，频率源、分频和倍频等模块的高性能测试。

● 支持通信信号模拟、复杂电磁环境信号模拟，满足多种应用需求



一机多能

- 可预先生成179种FRC配置下的信号、549种Test Model配置下的信号，支持标准协议信号一键模拟。
- 操作灵活，轻松产生通信协议复杂的数字调制信号。
- 专用场景生成工具，通过仿真软件生成动态的电磁环境特性参数。



- 模拟5G NR、4G LTE、2G GSM、NB-IoT在内的多种协议信号。
- 提供逼真的电磁环境信号仿真，快速构建复杂动态信号模拟场景。

思仪天衡星系列 4082系列高端信号分析仪



速度快

大动态

高精度

多功能

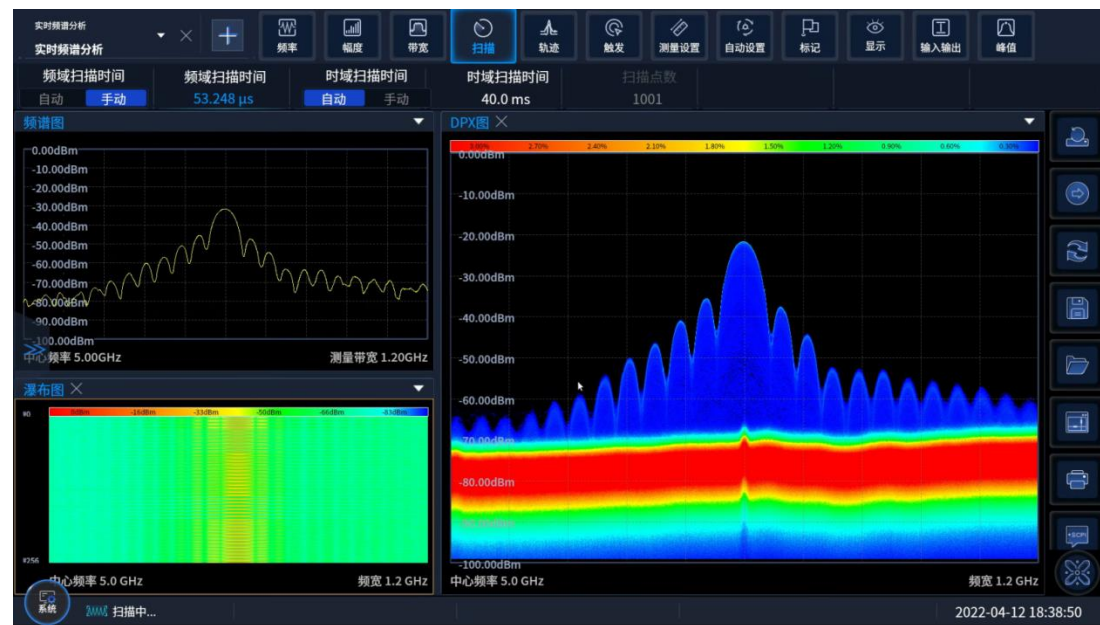
技术指标

- 频率范围：2Hz ~ 110GHz
- 最大分析带宽：2GHz
- 相位噪声：-134dBc/Hz
(1GHz载波, 10kHz频偏)
- 最优灵敏度：-167dBm (典型值)

主要功能

- 扫频分析及频谱套件
- 5G NR、LTE、NB-IoT、WCDMA、GSM协议分析
- 相位噪声、噪声系数测试
- 脉冲分析、矢量分析、实时频谱

● 最大分析带宽2GHz，最大实时带宽1.2GHz，满足不同应用领域需求

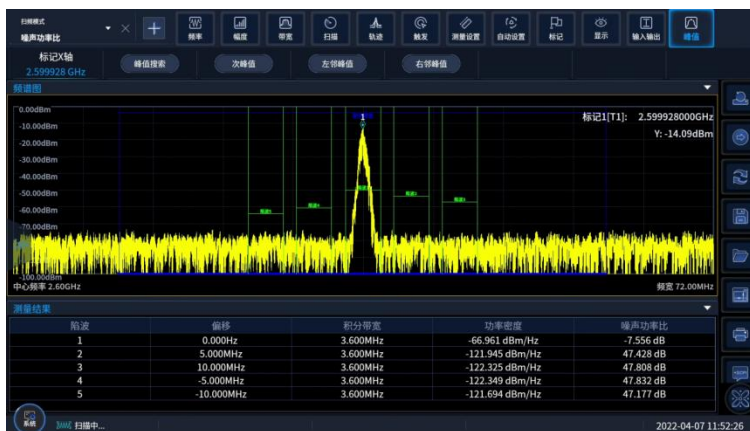


- 分析带宽：10/40/200/400/600/1200/2000MHz
- 200MHz分析带宽 **75dB无失真动态范围**
- 1.2GHz分析带宽 **65dB无失真动态范围**
- 2GHz分析带宽 **55dB无失真动态范围**

- 实时分析带宽：1.2GHz
- 100%截获概率（POI）信号最短持续时间**0.27μs**
- 可实现无缝的实时频谱分析和瞬变信号截获。

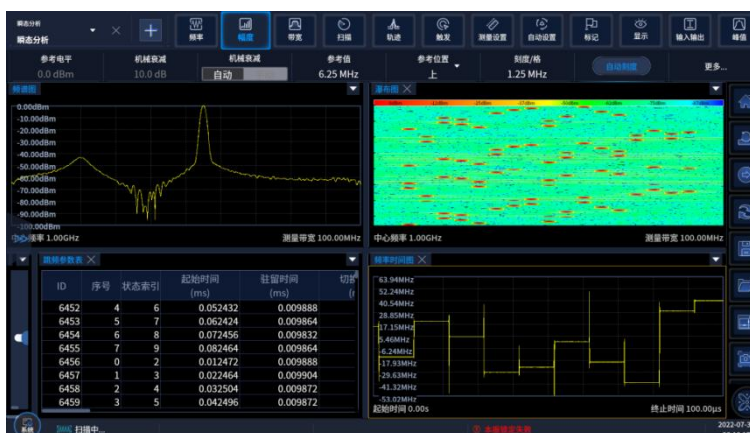
- **多档系列化分析带宽，满足无线通信、卫星通信、汽车电子、记录存储等不同信号测试。**
- **瞬态、突发干扰信号发现；瞬态信号数据触发截获；瞬态信号事件时域频域分析。**

● 支持通信信号、卫星信号、脉冲信号、跳频和FMCW信号分析，满足多种应用需求



一机多能

- 支持NR、LTE、NB-IoT等多种无线通信标准的信号特性分析；
- 支持Test Model和FRC配置的一键解调设置。
- 提供EVM、ACLR、RSTP等丰富的测量参数报表；
- 具备星座图、误差总结表、资源分配等丰富的图谱。



- 5G/6G、物联网等信号的射频一致性和协议一致性测量分析。
- 卫星转发器、功放、变频器等组件以及有效载荷、有效载荷子系统的快速测试。
- 脉冲信号参数的自动化测试，汽车电子等非脉冲调频连续波、高度计及地面监视等测试。

思仪天衡星系列 3674系列高端矢量网络分析仪



稳定性高

扫描速度快

多功能

一体化

技术指标

- 同轴测试频率达到110GHz
- 动态范围达140dB
- 幅度迹线噪声小于0.002dB
- 端口谐波抑制达-57dBc
- 30MHz中频带宽，测量点数200001

主要功能

- 具有脉冲S参数测量、眼图测试、混频器、增益压缩测量、信号完整性测量、自动夹具移除等21种功能
- SCPI指令同步记录，脚本一键生成
- 15.6英寸多参数同屏显示，多点触控

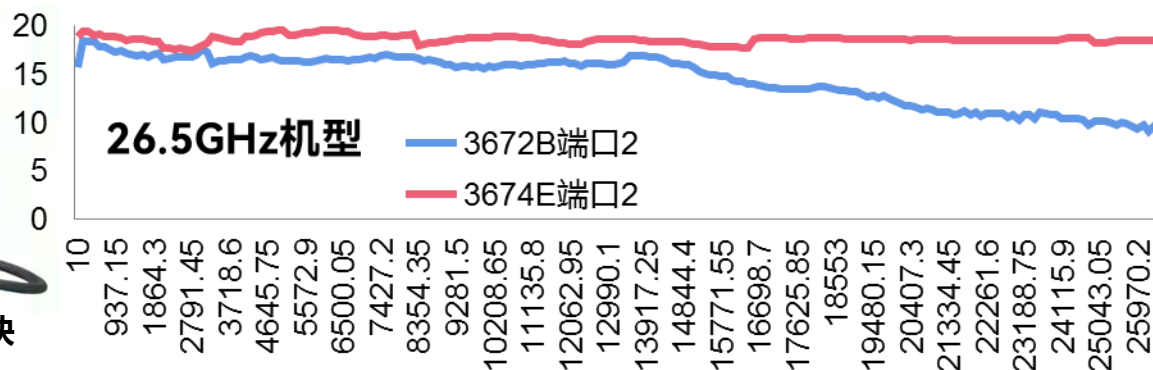
● 同轴输出频率覆盖500Hz~110GHz，端口输出功率大幅提升，动态范围全面对标



110GHz一体化矢量网络分析仪



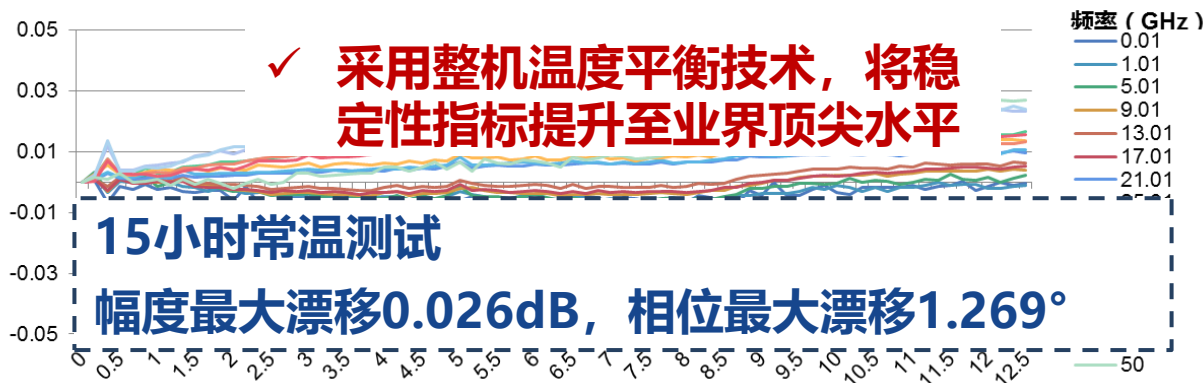
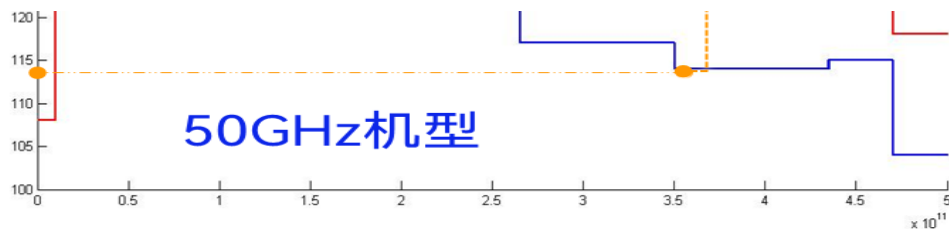
扩频系统方案：主机+控制机+扩频模块



✓ 12种机型，全系列2/4端口

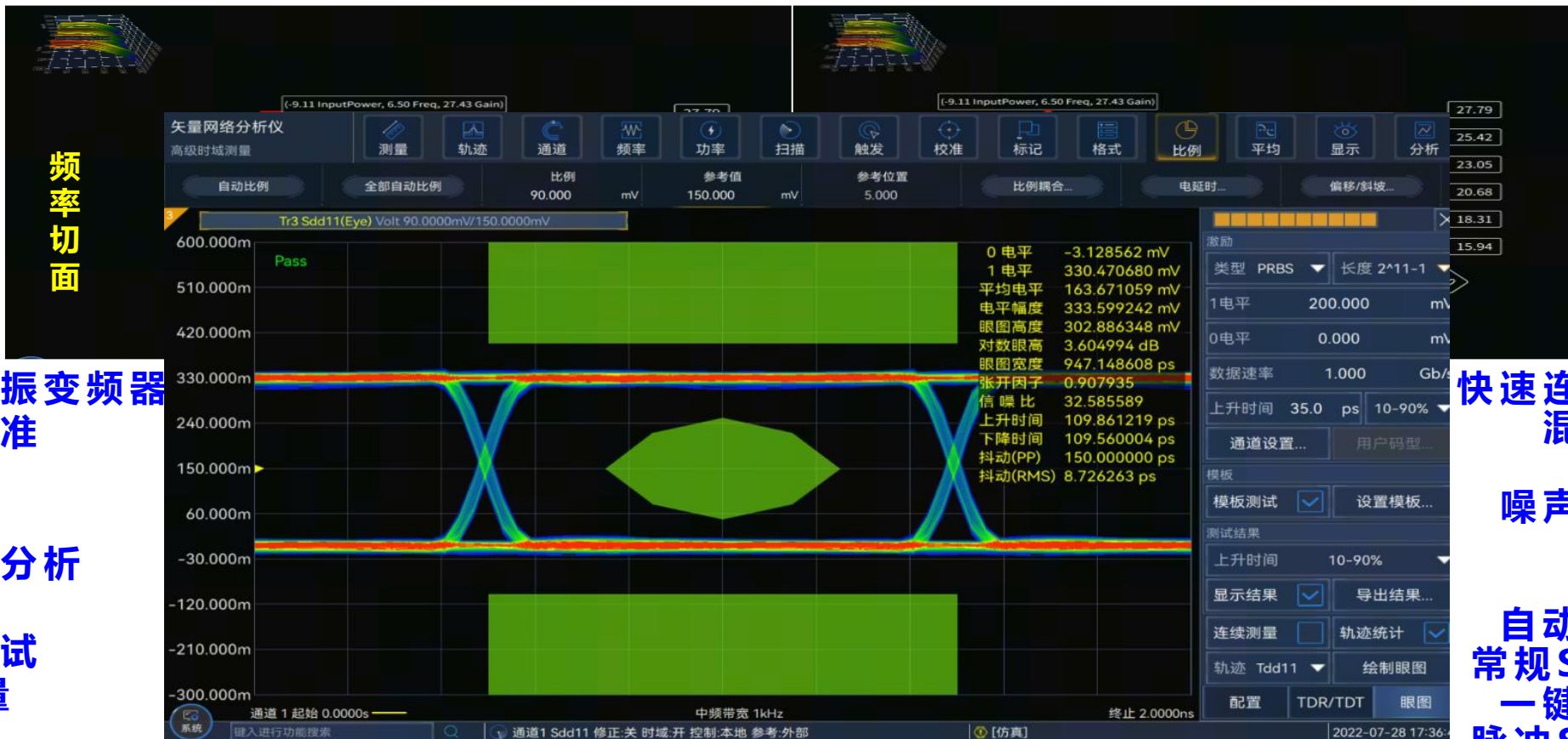
✓ 输出功率提升10dB以上

✓ 动态范围全面提升，30-45GHz提升超过30dB，可使用更大中频带宽，同等测量精度，测量速度更快。



- 放大器、混频器等需要高功率的测试需求，提高测量准确性、方便性。
- 滤波器等带外抑制较高测量应用和产线生产快速测量，提高测量精度和测量效率。
- 长时间稳定测量和产线生产测试，提供稳定可靠的测量结果，较少校准，节约成本。

● 多达21种测量功能，满足不同应用领域需求



频率切面

嵌入式本振变频器
 非插入校准
 电子校准
 增益压缩
 高级时域分析
 频偏测量
 真差分测试
 THD测量
 互调失真
 信号完整性分析

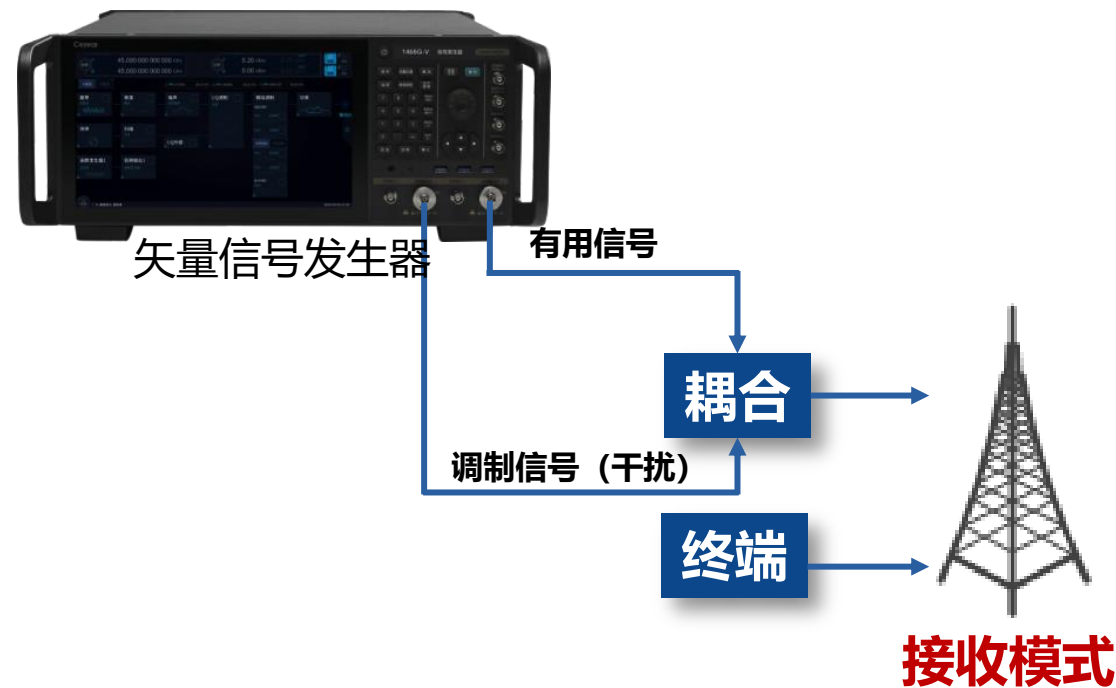
快速连续波测量
 混频器测量
 偏置T
 噪声系数测量
 相位扫描
 频谱分析
 自动夹具移除
 常规S参数测量
 一键录制运行
 脉冲S参数测量
 时域分析

● 超宽频段覆盖实现微米级分辨率的时域分析；单一视图同时完成时域和频域信号完整性的测试分析；
 ● 支持跨平台，多功能测量选件组合，大大拓展了仪器的测量应用范围。
 仿真眼图进行信号完整性的快速分析。

(一) 5G基站一致性测试解决方案



接收机测试



发射机测试

通过测试用例向导，即可完成接收机和发射机的一键测试，节省测试时间。解调结果精度高，测试结果视图丰富，可辅助工程师定位误差来源。

(二) 通感一体化测试解决方案



通过1466丰富的模拟功能模拟通信和感知信号，通过4082 5G NR信号分析、脉冲信号分析等丰富的测量功能，测量有用和干扰信号，为通感一体化技术的发展提供测试支撑。

(三) 宽带卫星毫米波测试解决方案

标量/矢量/嵌入式本振混频器

混频器测量参数:

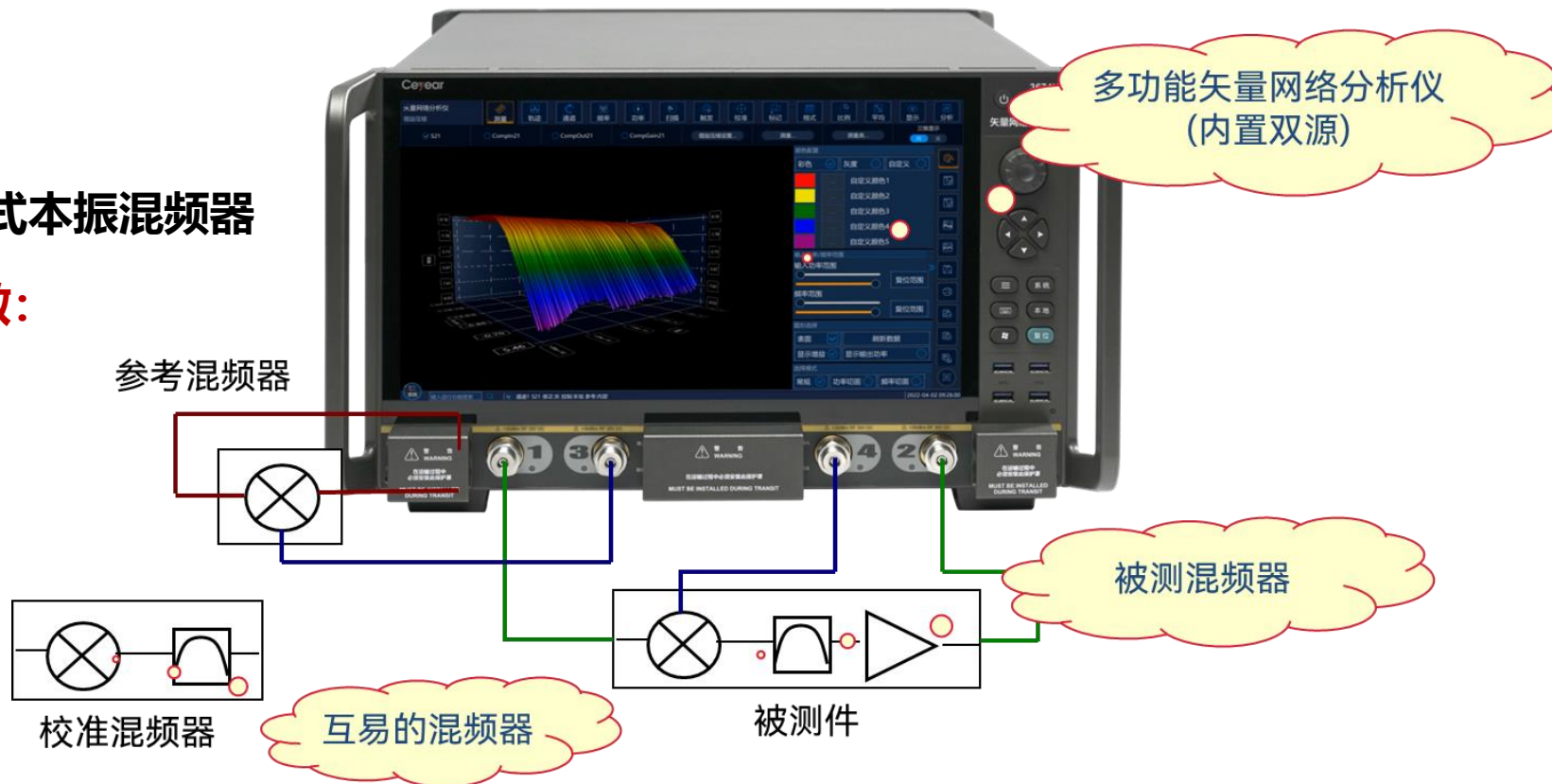
变频损耗/增益

变频压缩

群时延

回波损耗/驻波比

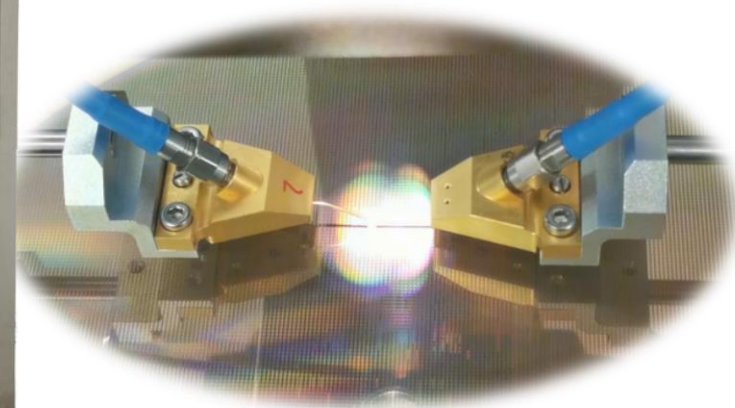
隔离度



通过内置双源的多功能矢量网络分析仪，提供更大的输出功率，满足卫星混频器、变频器调测，简化测试方案。

(四) 微波芯片在片 (On-wafer) 测试平台

- (1) 9308A S参数及微波多功能在片测试系统
- (2) 9308B 大信号及负载牵引在片测试系统
- (3) 9308C 毫米波扩频在片测试系统
- (4) 9308D 低噪声放大在片测试系统
- (5) 9308E 生产在线在片测试系统
- (6) 9308F 微波传感器芯片在片测试系统
- (7) 9308X 定制化在片测试系统



以微波仪器为核心，自研软件平台和探针台，一个解决方案、七套系统、110种选件

谢谢

请各位专家批评指教

CETC 中国电科

忠于使命 勇于创新 善于协同 成于务实

专注 专业 创新