1612AD

无线信道模拟器

用户手册



中电科思仪科技股份有限公司

该手册适用 1612AD 无线信道模拟器，基于固件版本 Version 1.0 及以上。

版　　本：　A.12　2026年7月，中电科思仪科技股份有限公司

地　　址：　山东省青岛市黄岛区香江路98号

服务咨询：　400-1684191

质量监督：　0532-86886614

网　　址：　www.ceyear.com

电子信箱：　techbb@ceyear.com

邮　　编：　266555

前　言

非常感谢您选择、使用中电科思仪科技股份有限公司研制、生产的 1612AD 无线信道模拟器！本产品具有最大 16 通道射频收发，可提供复杂时变信道衰落模拟，最大支持 16×16MIMO 信道仿真，具有无线信道仿真、通用数据链信道仿真、动态环境仿真、网络信道仿真以及上行和下行链路仿真等功能。

我们将以最大限度满足您的需求为己任，为您提供高品质的测量仪器，同时带给您一流的售后服务。我们的一贯宗旨是“质量优良，服务周到”，提供满意的产品和服务是我们对用户的承诺。

手册编号

AV2.760.1058SS

版本

A.12　2026.07

中电科思仪科技股份有限公司

手册授权

本手册中的内容如有变更，恕不另行通知。本手册内容及所用术语最终解释权属于中电科思仪科技股份有限公司。

本手册版权属于中电科思仪科技股份有限公司，任何单位或个人非经本公司授权，不得对本手册内容进行修改或篡改，并且不得以赢利为目的对本手册进行复制、传播，中电科思仪科技股份有限公司保留对侵权者追究法律责任的权利。

产品质保

本产品从出厂之日起保修期为 18 个月。质保期内仪器生产厂家会根据用户要求及实际情况维修或替换损坏部件。具体维修操作事宜以合同为准。

产品质量证明

本产品从出厂之日起确保满足手册中的指标。校准测量由具备国家资质的计量单位予以完成，并提供相关资料以备用户查阅。

质量/环境管理

本产品从研发、制造和测试过程中均遵守质量和环境管理体系。中电科思仪科技股份有限公司已经具备资质并通过 ISO 9001 和 ISO 14001 管理体系。

安全事项

⚠ 警 告

警告标识表示存在危险。它提示用户注意某一操作过程、操作方法或者类似情况。若不能遵守规则或者正确操作，则可能造成人身伤害。在完全理解和满足所指出的警告条件之后，才可继续下一步。

注 意

注意标识代表重要的信息提示，但不会导致危险。它提示用户注意某一操作过程、操作方法或者类似情况。若不能遵守规则或者正确操作，则可能引起的仪器损坏或丢失重要数据。在完全理解和满足所指出的小心条件之后，才可继续下一步。

检定周期

本产品检定周期为一年。

目 录

1. 手册导航 1
1.1 关于手册 1
1.2 关联文档 1
2. 概述 2
2.1 产品综述 2
2.2 安全使用指南 4
3. 操作指南 10
3.1 准备使用 10
3.2 前、后面板说明 15
3.3 软件界面说明 20
4. 工作原理 71
4.1 整机工作原理 71
5. 故障诊断与返修 77
5.1 维护保养 77
5.2 一般维修 77
5.3 EMC 和安全 79
6. 测试和检验 81
6.1 结构及外观 81
6.2 安全性 81
6.3 功能性能要求 81
6.4 测试条件 85
6.5 测试框图及测试项索引 86
6.6 测试方法 93
7. 附 录 A 153
表 A.1 1612AD 无线信道模拟器检验记录（鉴定检验） 153
表 A.2 1612AD 无线信道模拟器检验记录 （质量一致性检验） 162

1. 手册导航

本章介绍了 1612AD 无线信道模拟器的使用手册功能、章节构成和主要内容，并介绍了提供给用户使用的仪器关联文档。

- 关于手册……1
- 关联文档……1

1.1 关于手册

本手册介绍了中电科思仪科技股份有限公司所生产的 1612AD 无线信道模拟器的基本功能和操作使用方法。描述了仪器产品特点、基本使用方法、测量配置操作指南、菜单、远程控制、维护及技术指标和测试方法等内容，以帮助您尽快熟悉和掌握仪器的操作方法和使用要点。为方便您熟练使用该仪器，请在操作仪器前，仔细阅读本手册，然后按手册指导正确操作。

使用手册共包含的章节如下：

- **概述**

  概括地讲述了1612AD无线信道模拟器的主要性能特点、典型应用示例及操作仪器的安全指导事项。目的使用户初步了解仪器的主要性能特点，并指导用户安全操作仪器。

- **操作指南**

  介绍了仪器的前后面板的组成元素，介绍了无线信道模拟器不同功能的操作方法，使用户理解掌握无线信道模拟器的一些基本用法。

- **工作原理**

  简要介绍 1612AD 无线信道模拟器整机工作原理及各关键技术的实现原理。

- **故障诊断与返修**

  包括故障判断和解决方法、错误信息说明及返修方法。

- **技术指标与测试方法**

  介绍了 1612AD 无线信道模拟器的产品特征和主要技术指标以及推荐用户使用的测试方法指导说明。

- **附录**

  列出1612AD无线信道模拟器的必要的参考信息

1.2 关联文档

1612AD 无线信道模拟器的产品文档包括：

- 使用手册
- 在线帮助

使用手册

本手册详细介绍了仪器的功能和操作使用方法，包括：配置、测量和维护等信息。目的是:指导用户如何全面的理解产品功能特点及掌握常用的仪器测试方法。包含的主要章节是：

- 手册导航
- 概述
- 操作指南
- 工作原理
- 故障诊断与返修
- 测试和检验
- 附录

在线帮助

在线帮助集成在仪器产品中，提供快速的文本导航帮助，方便用户本地操作。包含的主要章节同使用手册。

2. 概述

本章介绍了 1612AD 无线信道模拟器的主要性能特点、主要用途范围及主要技术指标。同时说明了如何正确操作仪器及用电安全等注意事项。

- 产品综述……2
- 安全使用指南……3

2.1 产品综述

1612AD无线信道模拟器是一款无线信道仿真设备，可准确仿真复杂的无线信道特征，包含路径损耗、延迟、多径衰落以及噪声等，重现真实的信道条件，用于对比测试及反复测试，加快问题的发现及解决的过程。本产品系列突出的特点是具有最大16通道射频收发，最大支持16×16 MIMO信道仿真，具有信道模型生成、实时衰落模拟、全数字基带噪声产生、动态环境仿真、MIMO信道模拟、无线自组织网络拓扑模拟与仿真、多种制式干扰信号生成等功能。主要用于无线通信系统性能综合评估、高性能接收机测试等方面，适用于航空、航天、雷达、通信设备等众多领域。

该产品具备的主要功能特性有：

- 具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等；

- 具有无线信道建模功能，支持统计建模及几何建模；
- 具有自组网拓扑仿真功能；
- 支持上行和下行链路仿真功能；
- 支持动态环境仿真功能；
- 具有 MIMO 信道仿真功能；
- 支持时延动态连续变化；
- 支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等功能；
- 支持标准信道模型仿真；
- 支持多种制式干扰信号生成；
- 支持输入功率检测功能；
- 支持频谱监测功能；
- 支持以太网远程控制。

该产品具备的主要技术指标有：

- 射频输入端口数：16 个，双向（I/O），可减配成 8 个、4 个,支持全双工；
- 射频输出端口数：16 个，可减配成 8 个、4 个；
- 通道数：16 个，可减配成 8 个、4 个；
- 单通道最大带宽：≥100MHz；
- RF 工作频率范围：1MHz～6GHz；
- RF 输入电平范围：-80dBm～+35dBm（peak，＞100MHz），-80dBm～+15dBm（peak，≤100MHz 时）；
- RF 输出电平范围：-120dBm～0dBm；
- 输出电平分辨率：0.1dB；
- 输出电平准确度：±1.0（≥-100dBm 时）。
- 信道配置拓扑：一字型、星型、全联通、若干子网；
- 每个信道衰落路径数：最大 48；
- 衰落类型：常量、瑞利（Rayleigh）、莱斯（Rice）、对数正态、Suzuki、纯多普勒、平坦、圆形、高斯、双高斯、Jakes、经典 3dB、经典 6dB、用户自定义；
- 相对路径衰落损耗：最大 60dB；
- 最大多普勒频移：±3MHz；
- 最大路径时延：1s；

- 时延类型：常数、正弦滑动时延、线性滑动时延、3GPP 增消、3GPP 滑动时延组、用户定义；
- 标准信道模型：3GPPLTE、WCDMA、GSM/EDGE、CDMA、3GPP2（IS-54，IS-95）、ITU3G、WLAN、38.901TDL CDL 模型等；
- 干扰类型：白噪声、单频、梳状谱干扰、跳频干扰、扫频干扰、脉冲干扰、均匀分布干扰、模拟调制(AM、FM、SSB、DSB、CW)、数字调制（4ASK、8FSK、QPSK、8PSK、OQPSK、16QAM、32QAM、64QAM、256QAM、GMSK）。

2.2 安全使用指南

请认真阅读并严格遵守以下注意事项！

我们将不遗余力的保证所有生产环节符合最新的安全标准，为用户提供最高安全保障。我们的产品及其所用辅助性设备的设计与测试均符合相关安全标准，并且建立了质量保证体系对产品质量进行监控，确保产品始终符合此类标准。为使设备状态保持完好，确保操作的安全，请遵守本手册中所提出的注意事项。如有疑问，欢迎随时向我们进行咨询。

另外，正确的使用本产品也是您的责任。在开始使用本仪器之前，请仔细阅读并遵守安全说明。本产品适合在工业和实验室环境或现场测量使用，切记按照产品的限制条件正确使用，以免造成人员伤害或财产损害。如果产品使用不当或者不按要求使用，出现的问题将由您负责，我们将不负任何责任。**因此，为了防止危险情况造成人身伤害或财产损坏，请务必遵守安全使用说明。**请妥善保管基本安全说明和产品文档，并交付到最终用户手中。

- 安全标识……5
- 操作状态和位置……6
- 用电安全……7
- 操作注意事项……8
- 维护……8
- 电源模块……8
- 运输……9
- 废弃处理/环境保护……9

2.2.1 安全标识

2.2.1.1 产品相关

产品上的安全警告标识如下（表 2.1）：

表2.1 产品安全标识

符号	意义	符号	意义
	注意，特别提醒用户注意的信息。 提醒用户应注意的操作信息或说明。		开/关，电源。
	注意，搬运重型设备。		待机指示。
	危险！小心电击。		直流电（DC）。
	警告！小心表面热。		交流电（AC）。
	防护导电端。		直流/交流电（DC/AC）。
	地。		仪器加固绝缘保护。
	接地端。		和蓄的EU标识。 具体说明请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”中的第1项。

	注意，小心处理经典敏感器件。		单独收集电子器件的EU标识。 具体说明请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”中的第2项。
	警告！辐射。 具体说明请参考本节“2.2.4 操作注意事项”中的第7项。		

2.2.1.2 手册相关

为提醒用户安全操作仪器及关注相关信息，产品手册中使用了以下安全警告标识，说明如下：



危险标识，若不避免，会带来人身和设备伤害。



警告标识，若不避免，会带来人身和设备伤害。



小心标识，若不避免，会导致轻度或中度的人身和设备伤害。



注意标识，代表重要的信息提示，但不会导致危险。



提示标识，仪器及操作仪器的信息。

2.2.2 操作状态和位置

操作仪器前请注意：

1) 除非特别声明，1612AD 无线信道模拟器的操作环境需满足：平稳放置仪器，室内操作。操作仪器时所处的海拔高度最大不超过 4600 米，运输仪器时，海拔高度最大不超过 4500 米。实际供电电压允许在标注电压的±10%范围内变化，供电频率允许在标注频率的±5%范围内变化。

2) 除非特别声明，仪器未做过防水处理，请勿将仪器放置在有水的表面、车辆、橱柜和桌子等不固定及不满足载重条件的物品上。请将仪器稳妥放置并加固在结实的物品表面（例如：防静电工作台）。

3) 请勿将仪器放置在容易形成雾气的环境，例如在冷热交替的环境移动仪器，仪器上形成的水珠易引起电击等危害。

4) 请勿将仪器放置在散热的物品表面（例如：散热器）。操作环境温度不要超过产品相关指标说明部分，产品过热会导致电击、火灾等危险。

5) 请勿随便通过仪器外壳上的开口向仪器内部塞入任何物体，或者遮蔽仪器上的槽口或开口，因为它们的作用在于使仪器内部通风、防止仪器变得过热。

2.2.3 用电安全

仪器的用电注意事项：

1) 仪器加电前，需保证实际供电电压需与仪器标注的供电电压匹配。若供电电压改变，需同步更换仪器保险丝型号。

2) 参照仪器后面板电源要求，采用三芯电源线，使用时保证电源地线可靠接地，浮地或接地不良都可能导致仪器被毁坏，甚至对操作人员造成伤害。

3) 请勿破坏电源线，否则会导致漏电，损坏仪器，甚至对操作人员造成伤害。若使用外加电源线或接线板，使用前需检查以保证用电安全。

4) 若供电插座未提供开/关电开关，若需对仪器断电，可直接拔掉电源插头，为此需保证电源插头可方便的实现插拔。

5) 请勿使用损坏的电源线，仪器连接电源线前，需检查电源线的完整性和安全性，并合理放置电源线，避免人为因素带来的影响，例如：电源线过长绊倒操作人员。

6) 仪器需使用 TN/TT 电源网络，其保险丝最大额定电流 16A（若使用更大额定电流的保险丝需与厂家商讨确定）。

7) 保持插座整洁干净，插头与插座应接触良好、插牢。

8) 插座与电源线不应过载，否则会导致火灾或电击。

9) 若在电压 Vrms > 30 V 的电路中测试，为避免仪器损伤，应采取适当保护措施（例如：使用合适的测试仪器、加装保险丝、限定电流值、电隔离与绝缘等）。

10) 仪器需符合 IEC60950-1/EN60950-1 或 IEC61010-1/EN 61010-1 标准，以满足连接 PC 机或工控机。

11) 除非经过特别允许，不能随意打开仪器外壳，这样会暴露内部电路和器件，引起不必要的损伤。

12) 若仪器需要固定在测试地点，那么首先需要具备资质的电工安装测试地点与仪器间的保护地线。

13) 采取合适的过载保护，以防过载电压（例如由闪电引起）损伤仪器，或者带来人员伤害。

14) 仪器机壳打开时，不属于仪器内部的物体，不要放置在机箱内，否则容易引起短路，损伤仪器，甚至带来人员伤害。

15) 除非特别声明，仪器未做过防水处理，因此仪器不要接触液体，以防损伤仪器，甚至带来人员伤害。

16) 仪器不要处于容易形成雾气的环境，例如在冷热交替的环境移动仪器，仪器上形成的水珠易引起电击等危害。

2.2.4 操作注意事项

1) 仪器操作人员需要具备一定的专业技术知识，以及良好的心理素质，并具备一定的应急处理反映能力。

2) 移动或运输仪器前，请参考本节“2.2.7 运输”的相关说明。

3) 仪器生产过程中不可避免的使用可能会引起人员过敏的物质（例如：镍），若仪器操作人员在操作过程中出现过敏症状（例如：皮疹、频繁打喷嚏、红眼或呼吸困难等），请及时就医查询原因，解决症状。

4) 拆卸仪器做报废处理前，请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”的相关说明。

5) 射频类仪器会产生较高的电磁辐射，此时，孕妇和带有心脏起搏器的操作人员需要加以特别防护，若辐射程度较高，可采取相应措施移除辐射源以防人员伤害。

6) 若发生火灾，损坏的仪器会释放有毒物质，为此操作人员需具备合适的防护设备（例如：防护面罩和防护衣），以防万一。

7) 激光产品上需根据激光类别标识警告标志，因为激光的辐射特性及此类设备都具备高强度的电磁功率特性，会对人体产生伤害。若该产品集成了其它激光产品（例如：CD/DVD 光驱），为防止激光束对人体的伤害，除产品手册描述的设置和功能外，不会提供其他功能。

8) 电磁兼容等级（符合 EN 55011/CISPR 11、EN 55022/CISPR 22 及 EN 55032/CISPR 32 标准）

— A 级设备：

除住宅区和低压供电环境外，该设备均可使用。

注：A 级设备适用于工业操作环境，因其对住宅区产生无线通信扰动，为此操作人员需采取相关措施减少这种扰动影响。

— B 级设备：

适用于住宅区和低压供电环境的设备。

2.2.5 维护

1) 只有授权的且经过专门技术培训的操作人员才可以打开仪器机箱。进行此类操作前，需断开电源线的连接，以防损伤仪器，甚至人员伤害。

2) 仪器的修理、替换及维修时，需由厂家专门的电子工程师操作完成，且替换维修的部分需经过安全测试以保证产品的后续安全使用。

2.2.6 电源模块

模块使用前，需仔细阅读相关信息，以免发生爆炸、火灾甚至人身伤害，关于电源的使用注意事项如下：

1) 勿将电源模块暴露在明火等热源下；存储时，避免阳光直射，保持清洁干燥；并使用干净干燥的柔软棉布清洁电源模块的连接端口。

2) 请勿短路电源模块。由于彼此接触或其它导体接触易引起短路，请勿将多块电源模块放置在纸盒或者抽屉中存储；电源模块使用前请勿拆除原外包装。

3) 电源模块请勿遭受机械冲撞。

4) 请使用厂家标配的电源模块，任何不正确使用电源模块，都易引起爆炸。

5) 废弃电源模块需回收并与其它废弃物品分开处理。因内部的有毒物质，需根据当地规定合理丢弃或循环利用。

2.2.7 运输

1) 若仪器较重请小心搬放，必要时借助工具（例如：起重机）移动仪器，以免损伤身体。

2) 仪器把手适用于个人搬运仪器时使用，运输仪器时不能用于固定在运输设备上。为防止财产和人身伤害，请按照厂家有关运输仪器的安全规定进行操作。

3) 在运输车辆上操作仪器，司机需小心驾驶保证运输安全，厂家不负责运输过程中的突发事件。所以请勿在运输过程中使用仪器，且应做好加固防范措施，保证产品运输安全。

2.2.8 废弃处理/环境保护

1) 请勿将废弃的电子设备随未分类垃圾一起处理，应单独收集。厂家有权利和责任帮助最终用户处置废弃产品，需要时，请联系厂家的客户服务中心做相应处理以免破坏环境。

2) 产品或其内部器件进行机械或热再加工处理时，或许会释放有毒物质（重金属灰尘例如：铅、铍、镍等），为此，需要经过特殊训练具备相关经验的技术人员进行拆卸，以免造成人身伤害。

3) 再加工过程中，产品释放出来的有毒物质或燃油，请参考生产厂家建议的安全操作规则，采用特定的方法进行处理，以免造成人身伤害。

3. 操作指南

本章介绍了 1612AD 无线信道模拟器的使用前注意事项、前后面板浏览、软件界面说明等。以便用户初步了解仪器本身和测量过程。该章节包含的内容与快速入门手册相关章节一致。

- 准备使用……10
- 前、后面板说明……15
- 软件界面说明……20

3.1 准备使用

- 操作前准备……10
- 例行维护 ……15

3.1.1 操作前准备

本章介绍了 1612AD 无线信道模拟器初次设置使用前的注意事项。

⚠ 警 告

防止损伤仪器

为避免电击、火灾和人身伤害：

- 请勿擅自打开机箱。
- 请勿试图拆开或改装本手册未说明的任何部分。若自行拆卸，可能会导致电磁屏蔽效能下降、机内部件损坏等现象，影响产品可靠性。若产品处于保修期内，我方不再提供无偿维修。
- 认真阅读本手册“2.2 安全使用指南”章节中的相关内容，及下面的操作安全注意事项，同时还需注意数据页中涉及的有关特定操作环境要求。

注 意

静电防护

注意工作场所的防静电措施，以避免对仪器带来的损害。具体请参考手册“2.2 安全使用指南”章节中的相关内容。

注 意

操作仪器时请注意：

不恰当的操作位置或测量设置会损伤仪器或其连接的仪器。仪器加电前请注意：

- 为保证风扇叶片未受阻及散热孔通畅，仪器距离墙壁至少 10cm，并确保所有风扇通风口均畅通无阻；
- 保持仪器干燥；
- 平放、合理摆放仪器；
- 环境温度符合数据页中标注的要求；
- 端口输入信号功率符合标注范围；
- 信号输出端口正确连接。

提 示

电磁干扰（EMI）的影响：

电磁干扰会影响测量结果，为此：

- 选择合适的屏蔽电缆。例如，使用双屏蔽射频/网络连接电缆；
- 请及时关闭已打开且暂时不用的电缆连接端口或连接匹配负载到连接端口；
- 参考注意手册中的电磁兼容（EMC）级别标注。

- 开箱……11
- 环境要求……12
- 开/关电……13
- 用户检查……15

3.1.1.1 开箱

1） 外观检查

步骤 1. 检查外包装箱和仪器防震包装是否破损，若有破损保存外包装以备用，并按照下面的步骤继续检查。

步骤 2. 开箱，检查主机和随箱物品是否有破损；

步骤 3. 按照表 3.1 仔细核对以上物品是否有误；

步骤 4. 若外包装破损、仪器或随箱物品破损或有误，严禁通电开机！请根据封面中的服务咨询热线与我所服务咨询中心联系，我们将根据情况迅速维修或调换。

注 意

搬移：因仪器和包装箱较重，移动时，应由四人合力搬移，并轻放。

2） 型号确认

表 3-1 1612AD 随箱物品清单

名 称	数 量	功 能
主机：		
✧ 1612AD	1	整机
标配：		
✧ 三芯电源线	1	—
✧ 使用手册	1	—
✧ 装箱清单	1	—
✧ 产品合格证	1	—

3.1.1.2 环境要求

1612AD 无线信道模拟器的操作场所应满足下面的环境要求：

1） 操作环境

操作环境应满足下面的要求：

表 3-2 1612AD 操作环境要求

温 度	0° C ~ 50° C
误差调整时温度范围	23° C ±5° C（误差调整时允许温度偏差 <1° C）
湿 度	相对湿度：（2%～98%）RH
海拔高度	0 ~ 4600 米

注 意

上述环境要求只针对仪器的操作环境因素，而不属于技术指标范围。

2） 散热要求

为了保证仪器的工作环境温度在操作环境要求的温度范围内，应满足仪器的散热空间要求如下：

表 3-3　1612AD 散热要求

仪器部位	散热距离
后侧	≥180 mm
左右侧	≥60 mm

3)　静电防护

静电对电子元器件和设备有极大的破坏性，通常我们使用两种防静电措施：导电桌垫与手腕组合；导电地垫与脚腕组合。两者同时使用时可提供良好的防静电保障。若单独使用，只有前者可以提供保障。为确保用户安全，防静电部件必须提供至少 1MΩ 的对地隔离电阻。

请正确应用以下防静电措施来减少静电损坏：

- 保证所有仪器正确接地，防止静电生成；
- 将同轴电缆与仪器连接之前，应将电缆的内外导体分别与地短暂接触；
- 工作人员在接触接头、芯线或做任何装配操作以前，必须佩带防静电手腕或采取其他防静电措施。

警 告

电压范围

上述防静电措施不可用于超过 500V 电压的场合。

3.1.1.3 开/关电

1)　加电前注意事项

仪器加电前应注意检查如下事项：

a)　确认供电电源参数

1612AD 无线信道模拟器内部电源只能用 220V 交流电源供电。

提 示

防止电源互扰

为防止由于多台设备之间通过电源产生相互干扰，特别是大功率设备产生的尖峰脉冲干扰对仪器硬件的毁坏，建议使用 220V 为无线信道模拟器供电。

b)　确认及连接电源线

1612AD 无线信道模拟器采用三芯电源线接口，符合国家安全标准。在无线信道模拟器加电前，必须确认无线信道模拟器的电源线中的**保护地线已可靠接地**，浮地或接地不良都可能导致仪器被毁坏，甚至对操作人员造成伤害。严禁使用不带保护地的电源线。当接上合适

电源插座时，电源线将仪器的机壳接地。电源线的额定电压值应大于等于 250V，额定电流应大于等于 6A。

仪器连接电源线时：

步骤 1. 确认工作电源线未损坏；

步骤 2. 使用电源线连接仪器后面板供电插头和接地良好的三芯电源插座。

⚠ 警 告

接地

接地不良或接地错误很可能导致仪器损坏，甚至对人身造成伤害。在给无线信道模拟器加电开机之前，一定要确保地线与供电电源的地线良好接触。

请使用有保护地的电源插座。不要用外部电缆、电源线和不具有接地保护的自耦变压器代替接地保护线。如果一定需要使用自耦变压器，必须把公共端连接到电源接头的保护地上。

2) 初次加电

仪器开/关电方法和注意事项如下：

a) 连接电源

b) 初次加电前

请确认供电电源参数及电源线，具体可参考使用手册中的章节“3.1.1.3 加电前注意事项”部分。

步骤 1. **连接电源线**：用包装箱内与设备配套的电源线或符合要求的三芯电源线一端接入设备的后面板电源插座（如图 3-1），电源插座旁标注设备要求的电压参数指标，提醒用户使用的电压应该符合要求。电源线的另一端连接符合要求的交流电源；

步骤 2. **打开后面板电源开关**：打开前面板右上方的电源开关，若可以开机，开机后前面板电源开关上方的指示灯会变为蓝色。

c) 开/关电

i. 开机

步骤 1. 打开后面板电源开关（“|”）。

步骤 2. 打开前面板右上角电源开关。

步骤 3. 无线信道模拟器启动成功后，系统自动运行程序，显示无线信道模拟器的操作主界面。

仪器进入可操作状态。

提 示

10MHz 时基及预热

1612AD 无线信道模拟器冷启动时，为使 10MHz 时基处于操作温度，需预热一段时间。1612AD 无线信道模拟器从待机状态启动工作时，不需要预热时间。测试指标时，仪器需预热两小时。（具体请参考数据页中相关说明）。

ii. **关机**

步骤 1. 关闭操作系统；

步骤 2. 关闭后面板电源开关（“0”），或者断开仪器电源连接。

仪器进入关机状态。

注 意

仪器断电

请采用正确的方法关机。

d) **切断电源**

非正常情况下，为了避免人身伤害，需要 1612AD 无线信道模拟器紧急断电。此时，只需拔掉电源线（从交流电插座或从仪器后面板电源插座）。为此，操作仪器时应当预留足够的操作空间，以满足必要时直接切断电源的操作。

3.1.1.4 用户检查

1612AD 无线信道模拟器初次加电后，需要检查仪器是否工作正常，以备后续测量操作。

3.1.2 例行维护

该节介绍了 1612AD 无线信道模拟器的日常维护方法。清洁仪器表面时，请按照下面的步骤操作：

步骤 1. 关机，断开与仪器连接的电源线；

步骤 2. 用干的或稍微湿润的软布轻轻擦拭表面，禁止擦拭仪器内部。

步骤 3. 请勿使用化学清洁剂，例如：酒精、丙酮或可稀释的清洁剂等。

3.2 前、后面板说明

该章节介绍了 1612AD 无线信道模拟器的前、后面板及操作界面的元素组成及其功能。

- 前面板说明……16

● 后面板说明·····17

3.2.1 前面板说明

本产品为标准台式机箱，外观颜色为黑色，外形尺寸（宽×高×深）为：

440mm×266mm×600mm（不含把手和脚垫）。

本产品主面板示意图如图 3-1 1612AD 无线信道模拟器前面板示意图，前面板为仪器测量操作的主要区域，32 个 SMA 射频接口，4 个 USB 接口，1 个以太网接口，1 个 VGA 接口，1 个 HDMI 接口等。



图 3-1 1612AD 无线信道模拟器前面板示意图

各部分介绍如下：

a） 电源开关及指示灯

如果采用交流电供电，当后面板的交流电源开关关闭时候，前面板的电源开关不起作用；当后面板的交流电源开关打开的时候，前面板的电源开关才会起作用。

前面板电源开关打开的状态下，指示灯变为蓝色，指示设备处于打开状态；电源开关关闭的状态下，指示灯熄灭，指示设备关闭。

b） 射频接口

输入端口（IO）：16 个，SMA（阴型接口）。

输出端口（OUT）：16 个，SMA（阴型接口）。

c） LAN 网口

1 个 LAN 网口，用于实现程控命令的接收与测量数据的回传。

d) USB

两种颜色 USB 接口对应两种接口类型，蓝色：标准的 USB3.0 接口，黑色：标准 USB2.0 接口，用于连接 USB 接口类型的外设，如键盘、鼠标、光驱、硬盘等。

e) VGA

实现 VGA 图像的显示和控制。

f) HDMI

全数字化视频和声音发送接口，可以发送未压缩的音频及视频信号。

g) 1PPS/TOD

一秒时间脉冲。

h) JTAG

用于验证设计与测试生产出的印刷电路板功能。

3.2.2 后面板说明

本产品后面板示意图如图 3-2 所示。主要有 10MHz 参考输入/输出、1 个 100MHz 参考输入，2 个 100MHz 参考输出、4 个 LAN 网口、开关、电源接口和接地端口。



图 3-2 1612AD 无线信道模拟器后面板示意图

1612AD 无线信道模拟器后面板各接头介绍如下：

a) 参考输入

向设备输入一个参考频率。

b) 参考输出

输出一个对应频率的参考信号。

c) LAN 网口

4 个 LAN 网口，用于实现程控命令的接收与测量数据的回传。

d) 开关

电源开关，接通和断开电源设备。

e) 电源接口

电源输入端口。

f) 接地

接地端口，设备接地，把电流导入地面，防止漏电产生危害。

3.2.3 变频组件前面板说明（选件）

本产品为标准台式机箱，外观颜色为黑色，外形尺寸（宽×高×深）为：

482mm×174mm×600mm（不含把手和脚垫）。

本产品前面板示意图如图 3-3 变频组件前面板示意图，前面板为仪器测量操作的主要区域，32 个射频接口，1 个电源开关。



图 3-3 变频组件前面板示意图

各部分介绍如下：

a) 电源开关及指示灯

如果采用交流电供电，当后面板的交流电源开关关闭时候，前面板的电源开关不起作用；当后面板的交流电源开关打开的时候，前面板的电源开关才会起作用。

前面板电源开关打开的状态下，指示灯变为蓝色，指示设备处于打开状态；电源开关关闭的状态下，指示灯熄灭，指示设备关闭。

b) 射频接口

射频输入接口（I）：8 个，用于接收外部射频输入，6GHz~18GHz 变频组件为 SMA 接口（阴型接口），6GHz~40GHz 变频组件为 2.92mm（阴型接口）。

中频输出接口（IF O）：8 个，用于输出 1.8GHz 中频信号至信道模拟器，6GHz~18GHz 变频组件为 SMA 接口（阴型接口），6GHz~40GHz 变频组件为 2.92mm（阴型接口）。

中频输入接口（IF I）：8 个，用于接收信道模拟器输出的 1.8GHz 中频信号，6GHz~18GHz 变频组件为 SMA 接口（阴型接口），6GHz~40GHz 变频组件为 2.92mm（阴型接口）。

射频输出接口（O）：8 个，用于输出射频信道到外部，6GHz~18GHz 变频组件为 SMA 接口（阴型接口），6GHz~40GHz 变频组件为 2.92mm（阴型接口）。

3.2.4 变频组件后面板说明（选件）

本产品后面板示意图如图 3-4 变频组件后面板示意图所示。主要有 100MHz 参考输入/输出、LAN 接口、调试口和电源开关、电源口等。

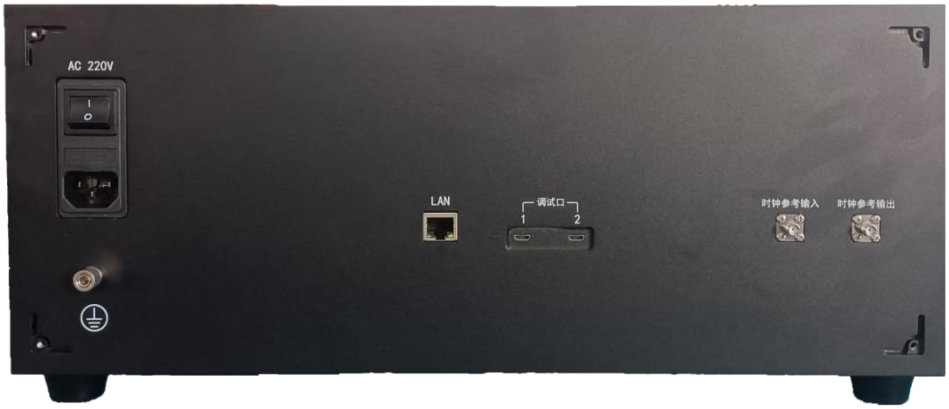


图 3-4 变频组件后面板示意图

变频组件的后面板各接头介绍如下：

a) 时钟参考输入

向设备输入一个参考频率，输入的时钟频率仅支持 100MHz。

b) 时钟参考输出

输出一个对应频率的参考信号，输出的时钟频率为 100MHz。

c) LAN 网口

1 个 LAN 网口，用于实现程控命令的接收与测量数据的回传。

d) 开关

电源开关，接通和断开电源设备。

e) 电源接口

电源输入端口。

f） 调试口

调试口 1 为 JTAG 口，用于烧写和调试固件程序，调试口 2 为串口，用于打印调试信息。

g） 接地

接地端口，设备接地，把电流导入地面，防止漏电产生危害。

3.3 软件界面说明

本节介绍了1612AD无线信道模拟器的基本功能模块。

下图为 1612AD 无线信道模拟器软件开机后的显示画面，先后进行硬件初始化、加载 IO 板核心数字处理程序以及自检程序，正常启动则显示“初始化成功”：



图 3-5 1612AD 无线信道模拟器开机显示界面

待启动完成后，进入 1612AD 无线信道模拟器软件主界面，如图 3-6 所示。软件界面由左侧为导航栏、中间主显示、底部状态栏三个部分组成。导航栏有主界面、固件版本加载、新建仿真、预设模型、仿真界面、参数设置、最近使用工程、拓扑模拟、信道建模工具、码多普勒设置（选件）、调试、自检测、校准、复位、日志、网络配置、版本信息、用户使用手册、退出等功能；中间部分为新建仿真、预设模型、自定义场景、上次关闭场景等功能；状态栏主要显示用户当前的操作状态，包括仿真播放/暂停、操作状态、警告、错误和时间等。



图 3-6 1612AD 无线信道模拟器软件主界面

3.3.1 主界面

本节主要介绍 1612AD 无线信道模拟器主界面。开机预热后，显示主界面，主界面可进行的操作有：新建仿真、预设模型、自定义场景和打开上次关闭的场景。主显示界面如图 3-7 所示。



图 3-7 主显示界面

- 新建仿真

主界面的“新建仿真”与左侧导航栏的“新建仿真”等同，已存在仿真时，弹出提示框，可新建仿真，或对其仿真进行修改。如果不存在仿真时，直接新建新的仿真即可。新建或修改仿真分为五个步骤，如下：

1） 基本信息设置

第一步基本信息设置，如图 3-8 所示。可设置仿真基本信息、设备设置、仿真场景设置，

基本信息：名称、仿真基本描述；设备设置：选择设备带宽（100M、500M）、是否使用双工配置、是否启用外部参考（启用时设置 10M 外部参考频率）、选择 SISO 和 MIMO、是否选择短波超短波模型仿真；仿真场景：可选择预设模型直接进行仿真、选择是否使用预设模型、设置场景个数、选择模式（TDD/FDD）、设置 Downlink（下行）/Uplink（上行）基站个数、终端个数、频率、链路是否启用。参数设置完成，点击下一页。



图 3-8 新建仿真-基本信息设置

2) 天线信息进行设置

第二步基站天线和终端天线信息配置，如图 3-9 所示。在场景 1 中，设置基站和终端天线的数量、是否合路、合路个数。参数设置完成，点击下一页。

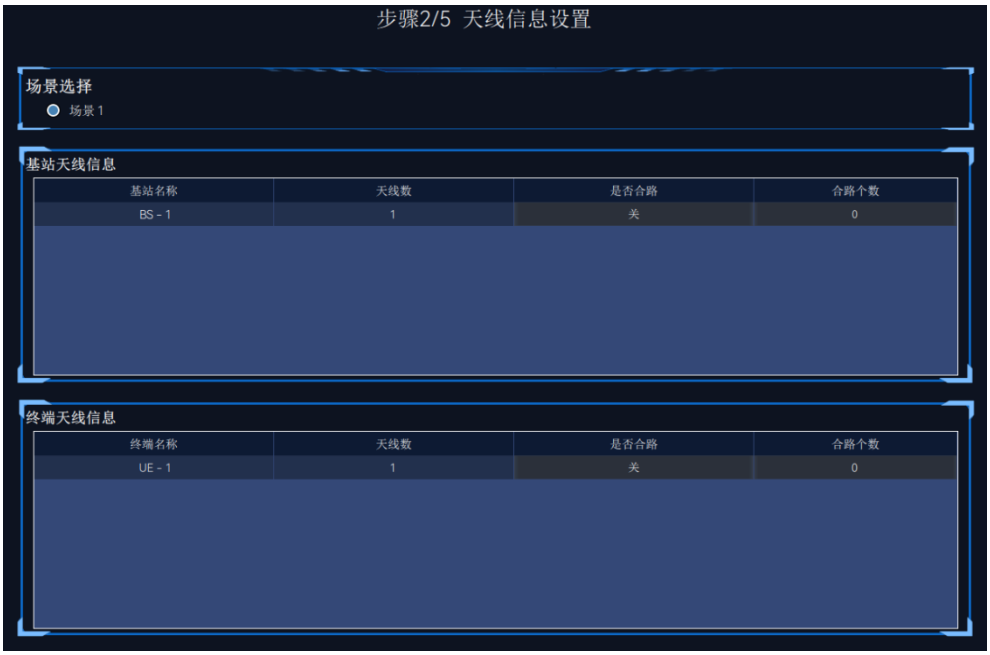


图 3-9 新建仿真-天线信息设置

3)　硬件端口配置

第三步硬件端口配置，为基站和终端配置硬件端口，如图 3-10 所示，根据带宽有不同的设置模式显示端口配置情况，其中 BS 为基站天线，UE 为终端天线，点击下一页。



图 3-10 新建仿真-配置硬件端口

4)　天线参数设置

第四步天线参数设置，如图 3-11 所示。设置基站和终端天线的输入参考、输入相位、输出功率和输出相位，对于配置独立本振的无线信道模拟器型号可分别设置各天线的输入频率和输出频率。单击表格即可修改参数，回车完成修改，与此同时，勾选应用天线参数到本基站其他天线，可同时修改本基站所有天线同一参数；勾选应用天线参数到所有天线基站天线，可同时修改所有基站天线同一参数，终端天线两按钮功能相同。注意：在界面的所有表格参数修改时，当修改参数超过允许上限时，自动设置为默认最大值，同理，超过下限设置为最小值。参数设置完成，点击下一页。

5)　显示新建仿真时配置的总体信息

第五步配置总览，显示配置的总体信息，如图 3-12 所示。点击完成，新建仿真完成如图 3-13 所示。



图 3-11 新建仿真-天线参数设置



图 3-12 新建仿真-配置总览

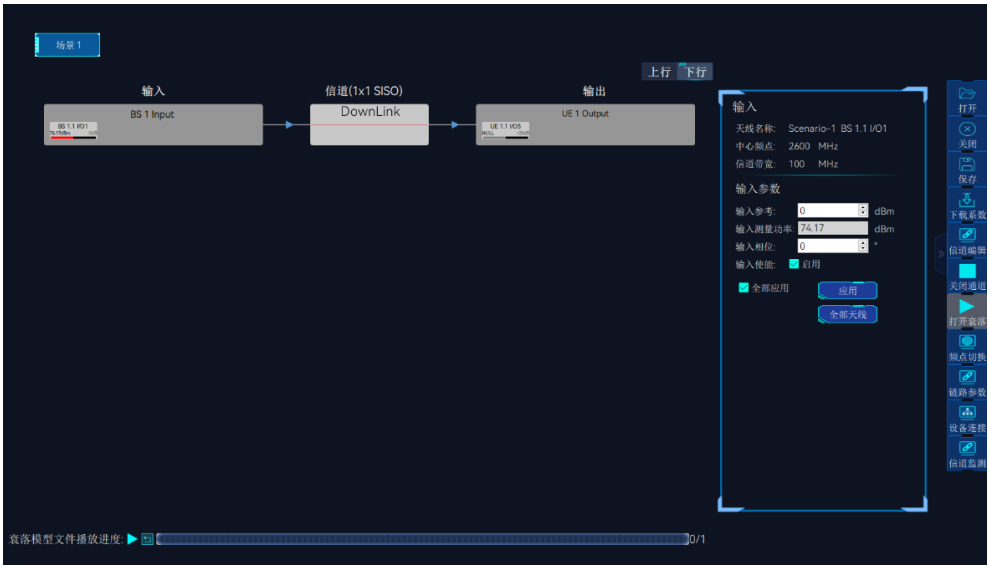


图 3-13 新建仿真完成（仿真界面）

- 预设模型

预设模型等同左侧导航栏的“预设模型”，点击预设模型如图 3-14 所示。选择一种预先编辑好的模型，点击“确定”，导入该模型参数进行仿真。

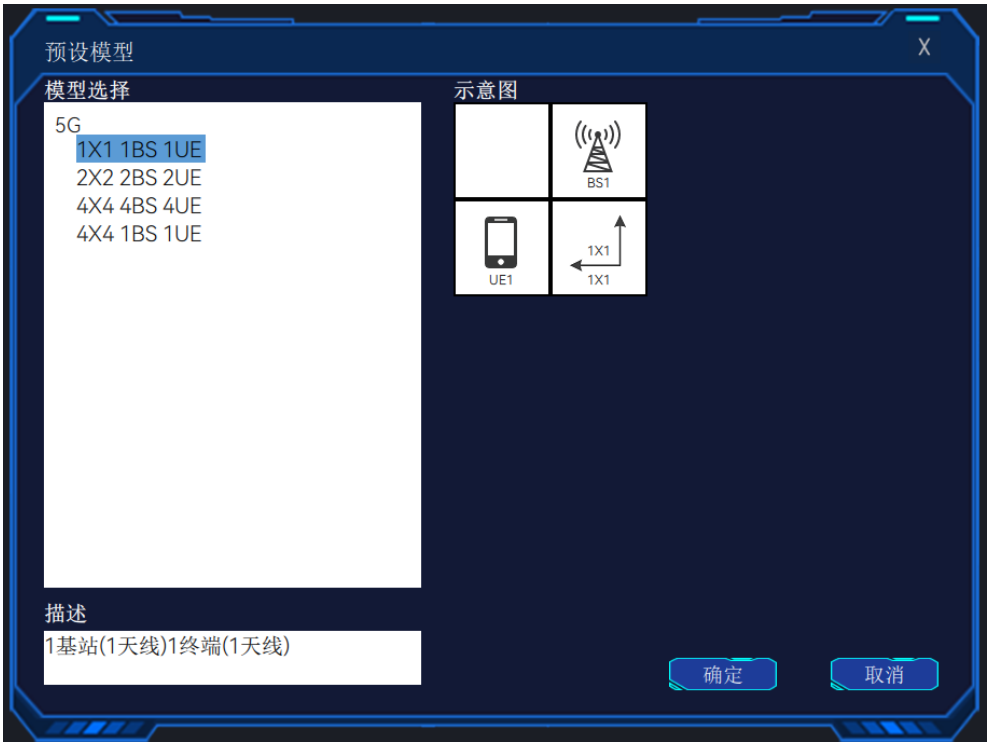


图 3-14 预设模型

- 自定义场景

可从本地导入已编辑好的自定义场景模型进行仿真。

- 上次关闭场景

跳转到仿真界面，显示上次关闭的场景。

3.3.2 固件版本加载

固件版本界面如图 3-15 固件版本加载所示。选择固件版本带宽和固件版本后，点击确定可切换为对应的固件版本。



图 3-15 固件版本加载

3.3.3 新建仿真

与主界面的新建仿真等同。

3.3.4 预设模型

与主界面的预设模型等同。

3.3.5 仿真界面

平台软件运行完成后，直接进入仿真界面，此时创建一个空的仿真，其他按钮失效，在完成仿真参数配置之后，其他按钮变为有效状态，如图 3-16 所示。仿真不为空时的仿真界面如图 3-17 所示。显示发送到接收的过程，下行显示为：输入、信道、输出；上行显示为：输出、信道、输入。右侧显示天线的参数，可对端口天线参数进行修改。最右侧有可隐藏的侧边导航栏，分别为：打开、关闭、保存、下载系数、开启通道（关闭通道）、功率监测、设备连接、链路参数、频点切换，打开衰落，信道编辑。

- 打开

从本地导入端口数据模型进行参数配置。

- 关闭

关闭仿真模型，返回主界面。



图 3-16 仿真界面（无仿真）

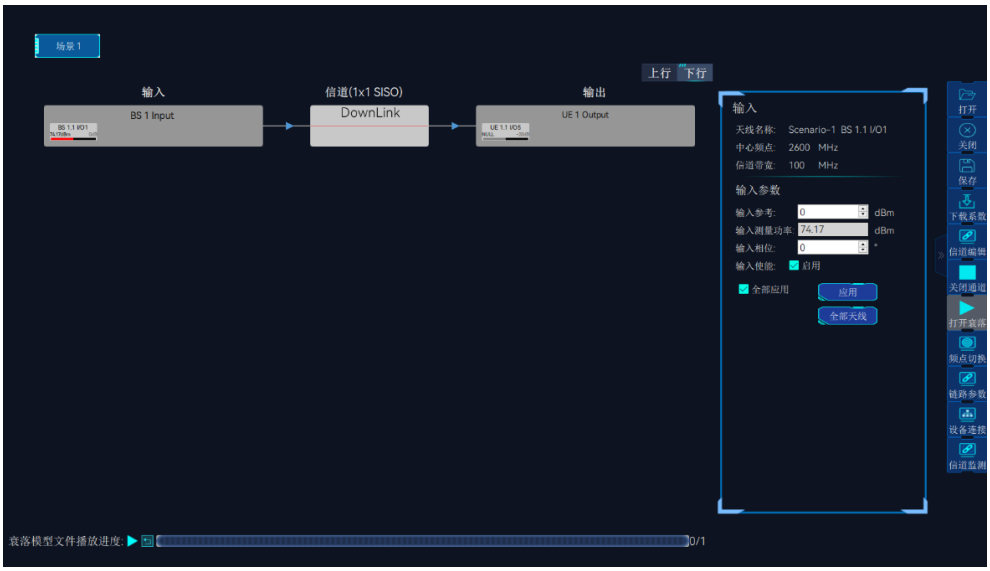


图 3-17 仿真界面（有仿真）

- 保存

将端口数据模型保存为本地文件。

- 下载系数

下载系数如图 3-18 所示，可从本地导入信道模型设置为上行信道模型或下行信道模型，点击复制到上行/下行，可将下行/上行导入的信道模型同时设置给上行/下行。设置参数触发设置有触发模式、脉冲周期、时延步进。附加参数设置有小尺度衰落使能、阴影衰落、路径损耗。



图 3-18 下载系数

- 开启通道（关闭通道）

完成仿真的同时，自动开启通道，进行仿真，按钮为关闭通道，点击关闭通道仿真停止，按钮变为开启通道。

- 功率监测

查看仿真模型上/下行（点击切换，切换上下行）输入端口和输出端口的功率，如图 3-19 所示。

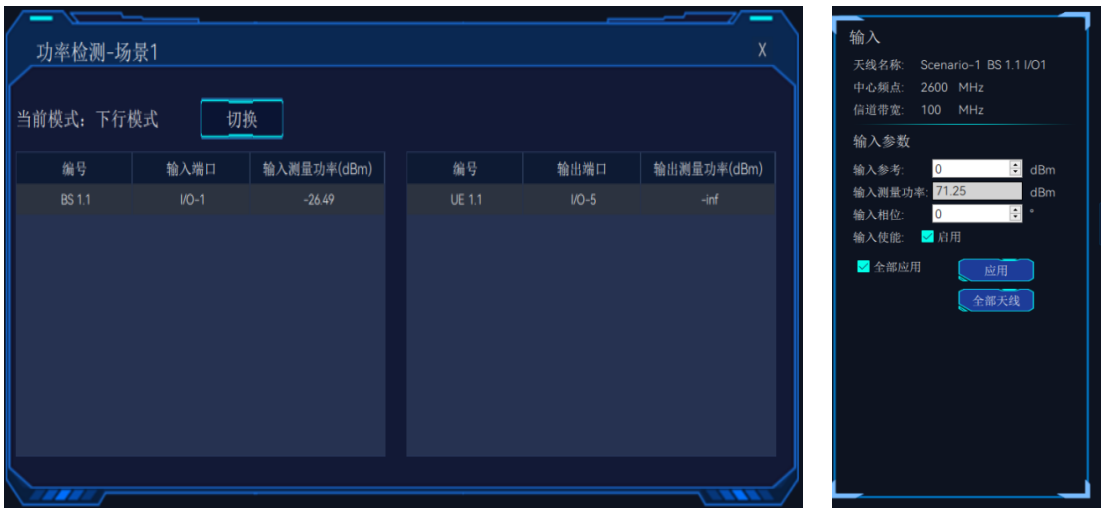


图 3-19 功率检测

- 设备连接

点击设备连接时，可查看端口的使用情况，如图 3-20 所示。



图 3-20 设备连接

- 链路参数

配置下行链路和上行链路输入端口的输入损耗、输入相位，输出端口的输出损耗、输出相位，如图 3-21 所示。



图 3-21 链路参数

- 频点切换

如图 3-22 所示可以修改频点值，点击确定弹出是否确定切换频点提示窗，点击确定完成频点切换。



图 3-22 频点切换

- 打开衰落（关闭）

点击打开衰落，开始播放衰落参数，按钮变为关闭衰落。点击关闭衰落，停止衰落参数播放，按钮变为打开衰落。

- 信道编辑

信道编辑如图 3-23 所示，左侧设置信道功率、时延、信道衰落类型、衰落谱形、K 因子和多普勒频移等参数进行设置，表格上方有表格的基本操作（包括按设置数量增加行、删除当前行、删除所有行、打开/保存表格数据），以及链路选择、动态仿真、静态仿真和大多普勒仿真（选件）。右侧上方可选择仿真类型、仿真时长和仿真间隔，下方可切换设置 BS（基站）和 UE（终端）的基本参数，包括基站/终端选择、群时延、起点坐标 X、Y、运动速度、运动方向。对于动态仿真还可选择轨迹类型和对应轨迹参数，参数设置完成后点击开始仿真，进行仿真。



图 3-23 信道参数编辑

- 频谱监测

频谱监测如图 3-24 频谱所示。用户可分别设置输入端口频谱、输出端口频谱的通道、

带宽、参考移动、刻度电平、轨迹设置、频谱复位、标记。

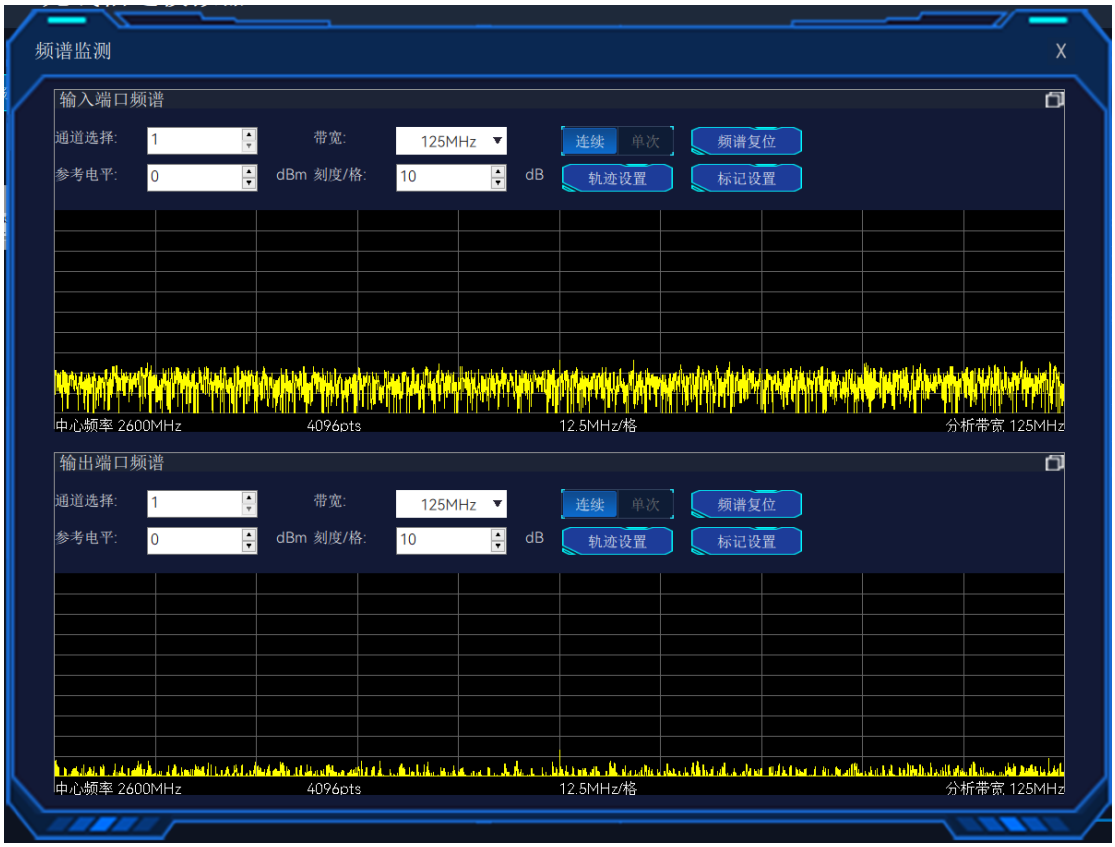


图 3-24 频谱监测

- 信道监测

信道监测如图 3-24 频谱所示。用户可设置通道链路，实时观测该链路的时延值和频移值。

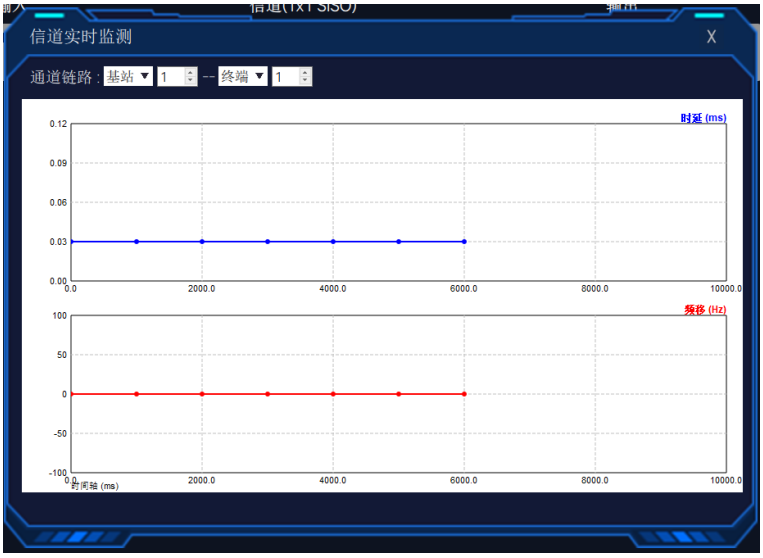


图 3-25 信道监测

3.3.6 参数设置

本节主要介绍 1612AD 无线信道模拟器的参数设置，参数设置分功率检测设置和源触发设置。展开参数设置，点击左侧功率检测设置，可选择信号类型、触发方式，如图 3-26 所示。可设置输入/输出触发的样本数和触发门限，通过统计计算得到信号功率。样本数：采样统计的数量；触发门限：超过该值为有效值。



图 3-27 功率检测设置

源触发设置如图 3-28 源触发设置所示，分三部分，触发设置、卫星定位信息和 NTP 设置。其中触发设置可设置外部触发的触发时刻和触发时延，卫星定位信息可显示当前设备连接的定位设备的经度、纬度、海拔、卫星数量以及 GPS 时间校正。NTP 设置可 NTP 服务器的 IP 和端口，用于和作为 NTP 客户端的本产品同步时间。



图 3-28 源触发设置

3.3.7 最近使用工程

本节主要介绍 1612AD 无线信道模拟器的最近使用工程，如图 3-29 所示。点击左侧最近使用工程，显示最近使用工程，单击选择之后即可打开该仿真工程并开始仿真。

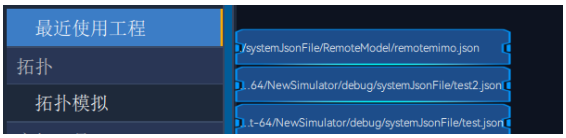


图 3-29 最近使用工程

3.3.8 拓扑模拟

本节主要介绍 1612AD 无线信道模拟器的拓扑模拟部分。点击左侧导航栏拓扑模拟，显示拓扑模拟界面，如图 3-30 所示。有测试节点、场景配置、拓扑开启、拓扑关闭、清空拓扑、通道配置、端口交换、链路配置和场景设置等功能。

如图 3-31 通道参数配置所示，点击通道配置可选择输出端口是否为 IO 端输出（默认为 0 输出）、是否开启短波超短波模型仿真、带宽选择；右键单击右边区域，可以保存已经添加的拓扑模型，可以打开保存到本地的拓扑模型；选中节点右键可删除节点、可对节点进行参数设置，如图 3-32 节点参数配置所示，可设置节点频率、输入/输出功率、输入/输出测量功率、干扰类型、信干比、输出方式、轨迹相关参数配置（图中显示为静态模式下的轨迹配置，静态模式和动态模式可在图 3-34 所示的场景设置中选择），参数设置完成之后，点击写入参数可将参数配置到选择节点，点击同步参数，将参数配置到所有配置节点中；选中信道右键点击可删除信道，弹出提示框，可选中需要删除的信道，点击确定进行删除，可对信道参数进行设置，未勾选参数同步，可分别对不同方向信道参数进行设置，勾选参数同步，同时对两个方向信道参数进行设置，如图 3-33 信道参数配置所示；信道参数有：延迟、多径功率、衰落类型、谱形、衰落参数、LOSAOA、最大多普勒、多普勒频移。参数设置完成之后，点击保存即可完成信道参数设置。端口交换功能如图图 3-34 端口交换所示，可以通过拖动节点交换端口。信道链接配置如图 3-35 信道链接配置所示，可以设置拓扑模拟中各链路的衰落参数等信息。场景设置如图 3-34 所示，可以设置仿真模式，仿真时长，触发模式，触发周期，时延更新率，是否开启绝对多普勒。

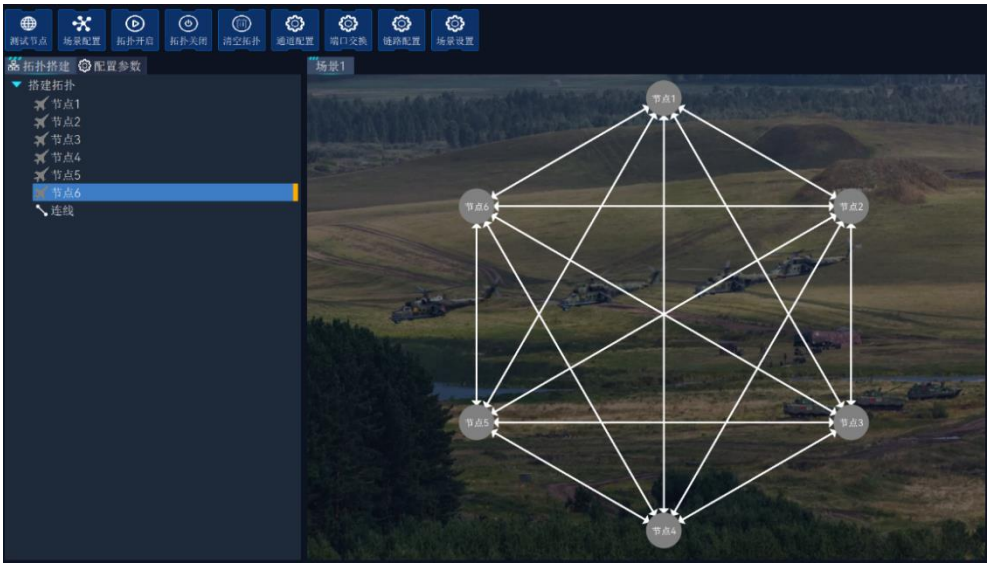


图 3-30 拓扑模拟主界面

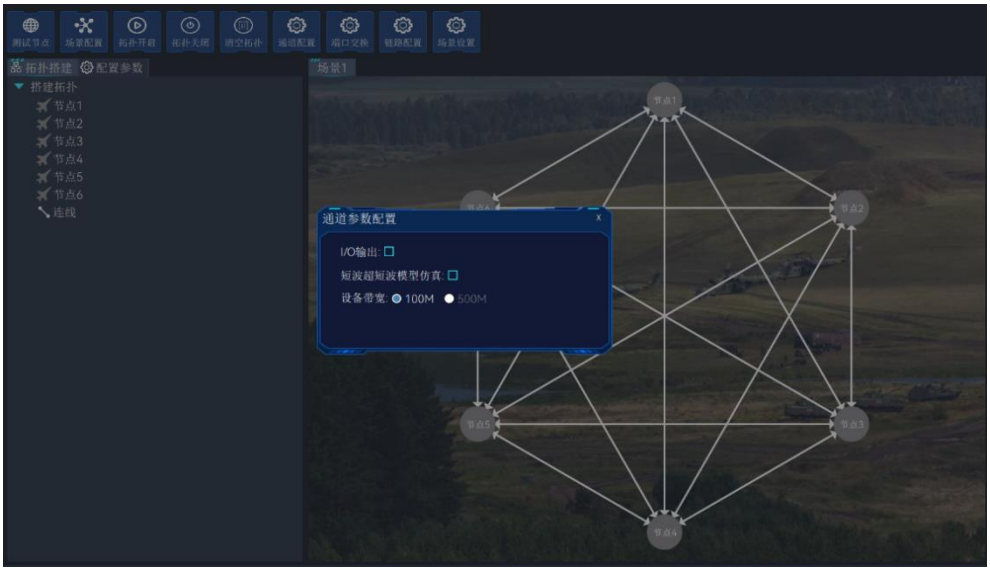


图 3-31 通道参数配置



图 3-32 节点参数配置



图 3-33 信道参数配置

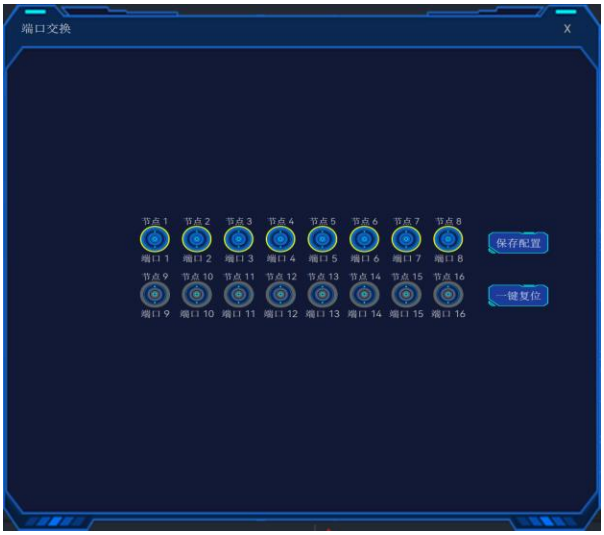


图 3-34 端口交换



图 3-35 信道链接配置

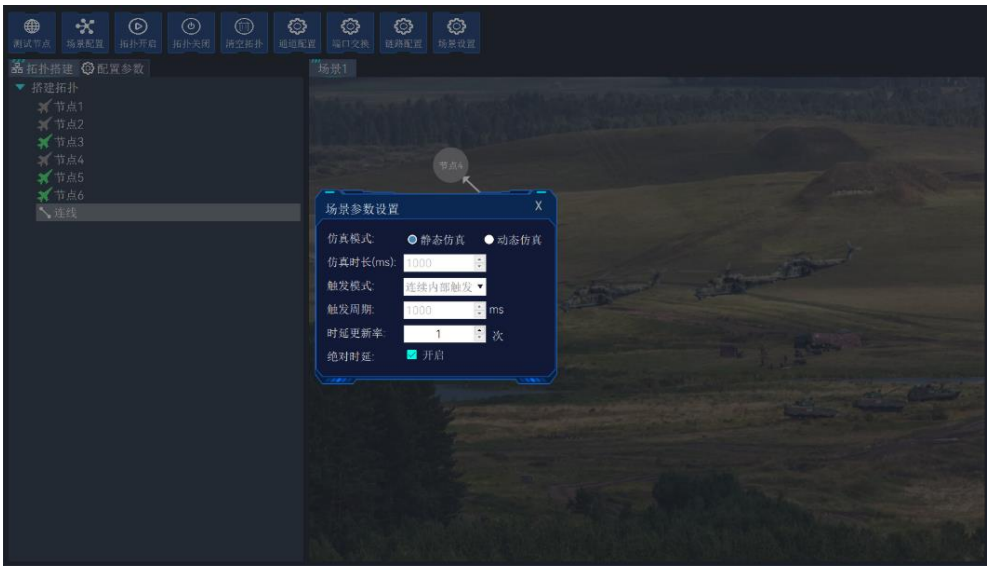


图 3-36 场景设置

- 测试节点

点击测试节点可设置节点数，如图 3-40 测试节点所示。勾选自动生成拓扑时，点击配置，自动生成所有节点的全向拓扑关系图，如图 3-41 自动生成拓扑关系所示。不勾选自动生成拓扑结构时，设置配置节点完成后如图 3-42 手动生成拓扑关系，根据需要拖动节点即可完成添加，选中连线即可完成节点之间信道搭建。注意：连线方向不同，搭建的信道方向不同。

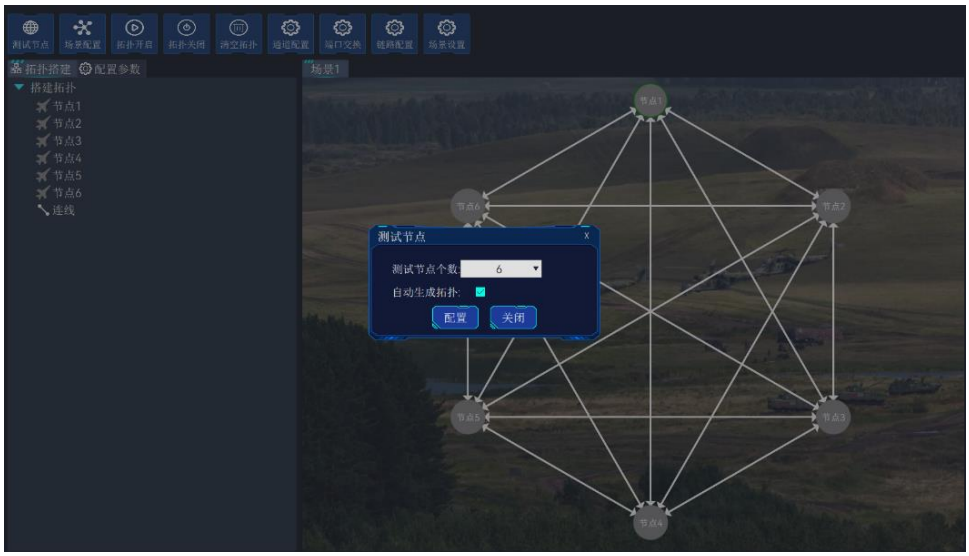


图 3-40 测试节点

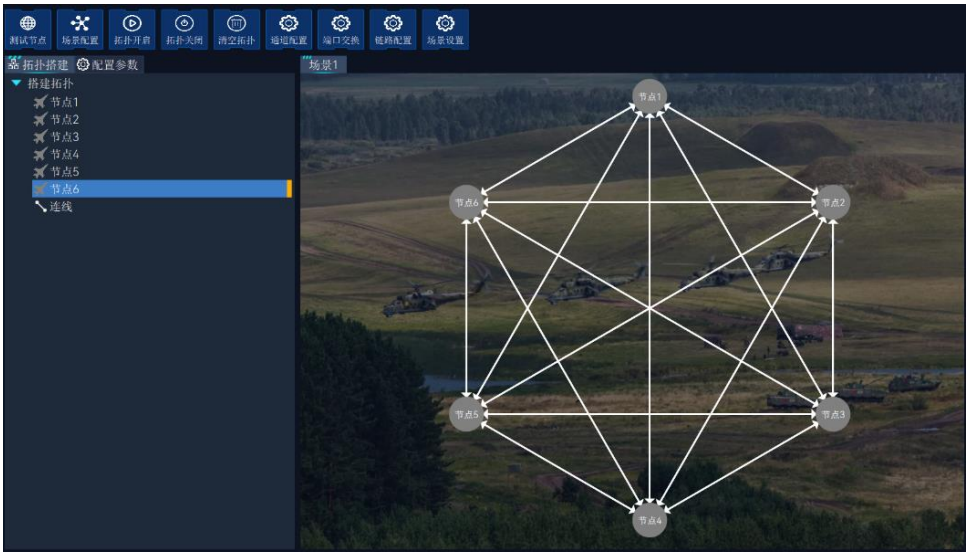


图 3-41 自动生成拓扑关系

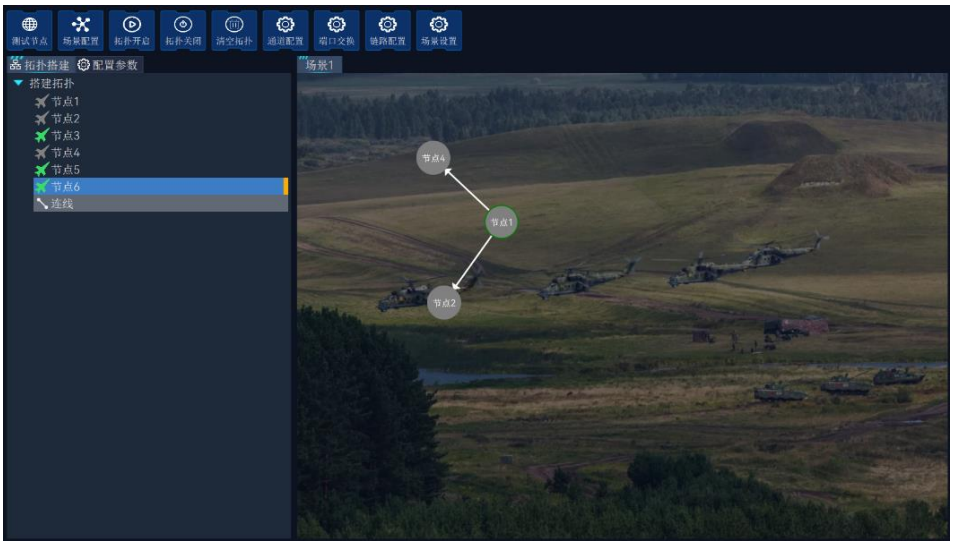


图 3-42 手动生成拓扑关系

1） 拓扑搭建

配置节点未勾选自动生成拓扑时，需用户手动搭建拓扑关系，将节点拖入场景中，点击连线，便可将节点连接起来，完成拓扑搭建。

2） 配置参数

点击参数配置，即可查看每个添加节点的参数，如图 3-44 配置参数所示配置参数有：工作频率、输入功率、输入带宽、输出功率、载噪比、噪声带宽、噪声开关、阴影开关。



图 3-44 配置参数

- 场景配置

如图 3-46 场景配置所示，设置场景个数，即可生成对应个数的场景。

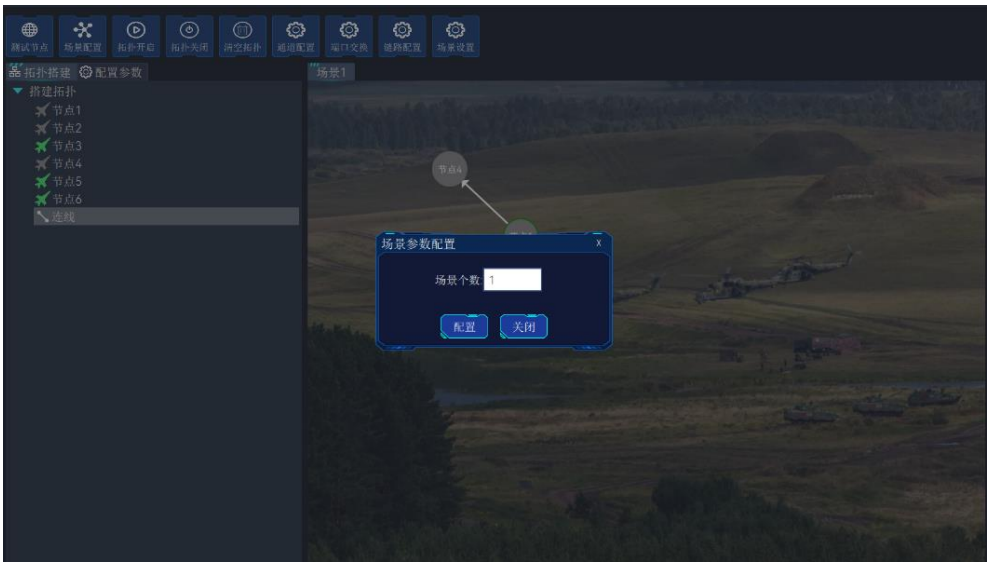


图 3-46 场景配置

- 拓扑开启

点击开启拓扑，根据节点参数及信道参数进行建模，将建模数据加载到设备中，并开始进行信道仿真。

- 拓扑关闭

点击关闭拓扑，系统仿真停止。

- 清空拓扑

清空场景中配置的拓扑结构。

3.3.9 信道建模工具

信道建模工具如图 3-48 信道建模工具所示。信道建模工具主要有新建仿真、快速仿真、模型管理和退出。

- 新建仿真

新建仿真可通过统计模型、几何模型和卫星模型三种模型创建仿真。

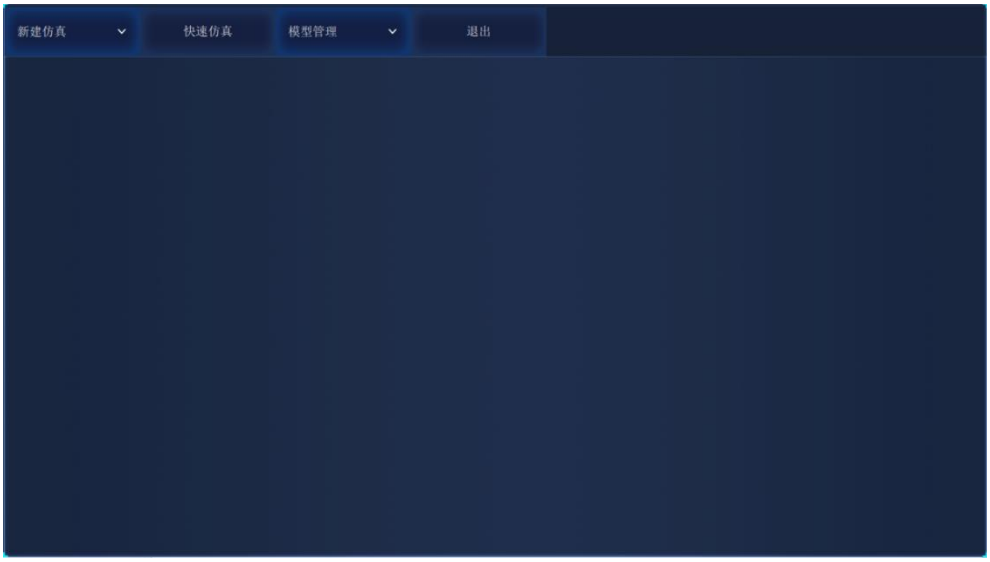


图 3-48 信道建模工具

1） 统计模型

统计模型界面如图 3-50 统计模型所示，左边配置在不同时延模式时的基本参数，右边配置对发射机和接收机数量。其中时延模式有静态模式、动态模式、滑动模式和生灭模式。

a） 静态模式

➢ 静态统计模型宏观参数配置如图 3-51 静态模式-发射机配置所示，左侧配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、通道类型（MIMO/SISO）和链路类型（下行/上下行）（单向/双向）等基本参数；右侧配置发射机和接收机数量。点击下一页，配置发射机参数。



图 3-50 统计模型

- 发射机配置如图 3-51 静态模式-发射机配置所示，配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）。点击下一页，配置接收机参数。

- 接收机配置如图 3-52 静态模式-接收机配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部接收机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）、阴影衰落使能开/关选择、方差设置。点击下一页，配置发射机与接收机之间的信道参数。



图 3-51 静态模式-发射机配置



图 3-52 静态模式-接收机配置

- 信道参数配置如图 3-53 静态模式-信道参数配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机与接收机之间的通道拓扑结构，通道拓扑结构可从小尺度模型列表选择其一。算法模块包括群时延配置、阴影衰落配置、大尺度模型配置和绝对时延配置。点击下一页进入配置总览界面。



图 3-53 静态模式-信道参数配置

- 参数配置总览如图 3-54 静态模式-配置总览所示，显示统计模型（静态）参数配置总体信息。点击开始仿真，系统对配置好的参数进行建模仿真。
- 仿真完成后弹出仿真完成提示窗，点击确定，建模完成如图 3-55 静态模式-仿真完成所示。



图 3-54 静态模式-配置总览

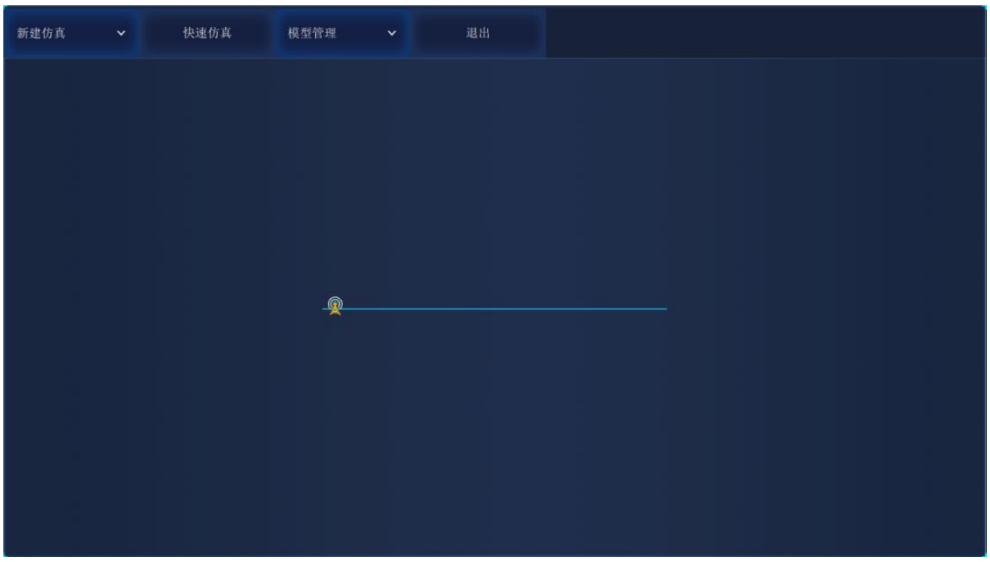


图 3-55 静态模式-仿真完成

b) 动态模式

- 动态统计模型宏观参数配置如图 3-56 动态模式-宏观参数配置所示，左侧配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、通道类型（MIMO/SISO）、链路类型（下行/上下行）（单向/双向）、仿真时长和仿真更新间隔等基本参数；右侧配置发射机和接收机数量。点击下一页，配置发射机参数。



图 3-56 动态模式-宏观参数配置

- 发射机配置如图 3-57 动态模式-发射机配置所示，配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可选择不同轨迹，可配置起点 X 和起点 Y；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）。点击下一页，配置接收机参数。



图 3-57 动态模式-发射机配置

- 接收机配置如图 3-58 动态模式-接收机配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部接收机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可选择不同轨迹，可配置起点 X 和起点 Y；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）、阴影衰落使能开/关选择、方差设置。点击下一页，配置发射机与接收机之间的信道参数。



图 3-58 动态模式-接收机配置

- 信道参数配置如图 3-59 动态模式-信道参数配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机与接收机之间的通道拓扑结构，通道拓扑结构可从小尺度模型列表选择其一。算法模块包括群时延配置、阴影衰落配置、大尺度模型配置和绝对时延配置。点击下一页进入配置总览界面。



图 3-59 动态模式-信道参数配置

- 参数配置总览如图 3-60 动态模式-参数配置总览所示，显示统计模型（动态）参数配置总体信息。点击开始仿真，系统对配置好的参数进行建模仿真。



图 3-60 动态模式-参数配置总览

- 仿真完成后弹出仿真完成提示窗，点击确定，建模完成如图 3-61 动态模式-仿真完成所示。

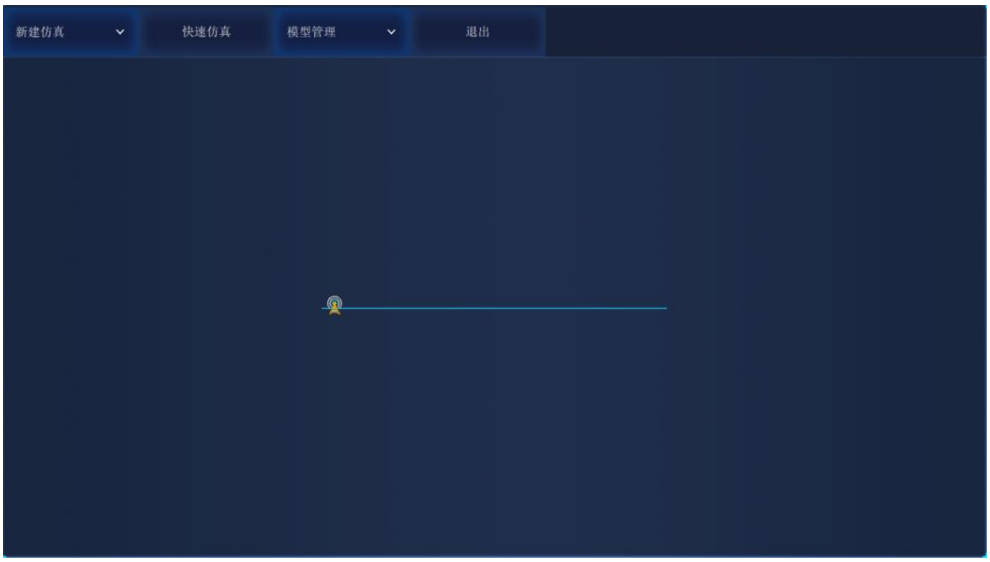


图 3-61 动态模式-仿真完成

c) 滑动模式

- 滑动统计模型宏观参数配置如图 3-62 滑动模式-宏观参数所示，左侧配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、通道类型（MIMO/SISO）、链路类型（下行/上下行）、滑动方式（正弦滑动、线性滑动和 3GPP 滑动），其中正弦滑动和线性滑动方式还可配置更新间隔、最大时延和滑动频率，3GPP 滑动方式还可配置仿真更新间隔；右侧配置发射机和接收机数量。点击下一页，配置发射机参数。



图 3-62 滑动模式-宏观参数

- 发射机配置如图 3-63 滑动模式-发射机配置所示，配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）。点击下一页，配置接收机参数。



图 3-63 滑动模式-发射机配置

- 接收机配置如图 3-64 滑动模式-接收机配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部接收机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。天线选择可选择不同天线；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可选择不同轨迹，可配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）、阴影衰落使能开/关选择、方差设置。点击下一页，配置发射机与接收机之间的信道参数。



图 3-64 滑动模式-接收机配置

- 通道拓扑结构配置如图 3-65 滑动模式-通道拓扑结构配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机与接收机之间的通道拓扑结构，通道拓扑结构可从小尺度模型列表选择其一。算法模块包括群时延配置、阴影衰落配置、大尺度模型配置和绝对时延配置。点击下一页进入参数配置总览界面。



图 3-65 滑动模式-通道拓扑结构配置

- 参数配置总览如图 3-66 滑动模式-配置总览所示，显示统计模型（滑动）参数配置总体信息。点击开始仿真，系统对配置好的参数进行建模仿真。

- 仿真完成后弹出仿真完成提示窗，点击确定，建模完成如图 3-67 滑动模式-仿真完成所示。



图 3-66 滑动模式-配置总览

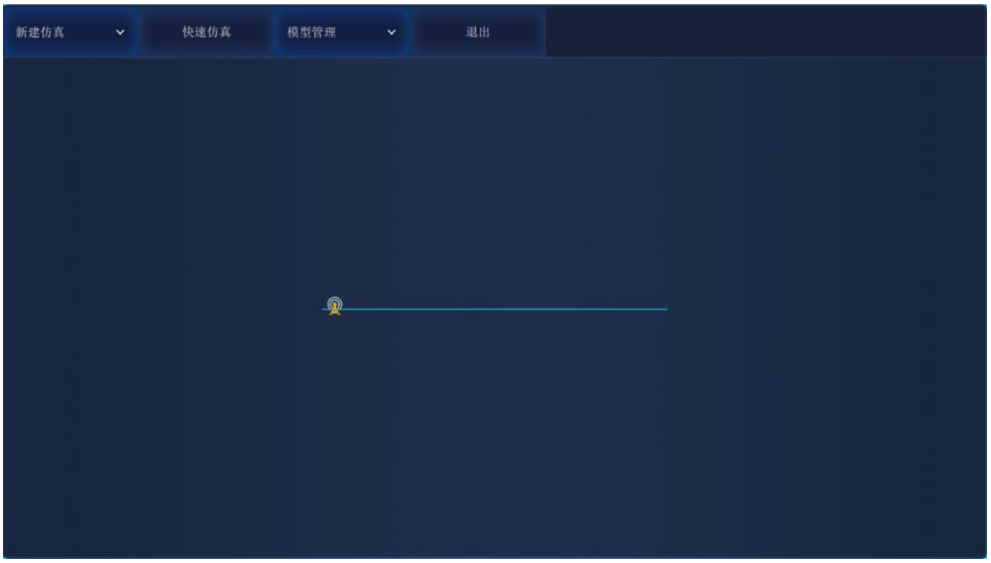


图 3-67 滑动模式-仿真完成

d) 生灭模式

- 生灭统计模型宏观参数配置如图 3-68 生灭模式-宏观参数配置所示，左侧配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、通道类型（MIMO/SISO）、链路类型（下行/上下行）、更新间隔和最大时延。点击下一页，配置发射机参数。



图 3-68 生灭模式-宏观参数配置

- 发射机配置如图 3-69 生灭模式-发射机配置所示，配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）。点击下一页，配置接收机参数。



图 3-69 生灭模式-发射机配置

- 接收机配置如图 3-70 生灭模式-接收机配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部接收机。配置参数：天线选择、极化方式和轨迹。可选择天线模型；极化方式可选择垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；轨迹可选择不同轨迹，可配置起点 X、起点 Y、运动速度和运动方向；表格显示名称、输入功率、输入衰减、方向图（点击查看即可查看方向图）、阴影衰落使能开/关选择、方差设置。点击下一页，配置发射机与接收机之间的信道参数。



图 3-70 生灭模式-接收机配置

- 信道参数配置如图 3-71 生灭模式-信道参数配置所示。配置方式分为单个配置和一键配置全部发射机与接收机之间的通道拓扑结构，通道拓扑结构可从小尺度模型列表选择其一。算法模块包括群时延配置、阴影衰落配置、大尺度模型配置和绝对时延配置。点击下一页进入参数配置总览界面。



图 3-71 生灭模式-信道参数配置

- 参数配置总览如图 3-72 生灭模式-配置总览所示，显示统计模型（生灭）参数配置总体信息。点击开始仿真，系统对配置好的参数进行建模仿真。

- 仿真完成后弹出仿真完成提示窗，点击确定，建模完成如图 3-73 生灭模式-仿真完成所示。



图 3-72 生灭模式-配置总览



图 3-73 生灭模式-仿真完成

2) 几何模型

a) 动态几何模型

- 动态几何模型宏观参数配置如图 3-74 动态几何模型-宏观参数（二维轨迹）所示（接收机轨迹选择二位坐标系轨迹），可配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、仿真时长、仿真间隔、链路类型（下行/上下行）、发射机轨迹和接收机轨迹（二位坐标系轨迹、三维坐标系轨迹）



图 3-74 动态几何模型-宏观参数（二维轨迹）

接收机轨迹选择三维坐标系轨迹时，动态几何模型宏观参数配置如图 3-75 动态几何模型-宏观参数（三维轨迹）所示，可配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、仿真时长、仿真间隔、发射天线偏离角、发射天线俯仰角、发射天线水平角、接收天线偏离角、接收天线俯仰角、接收天线水平角、接收机轨迹。参数设置完成，点击下一页。

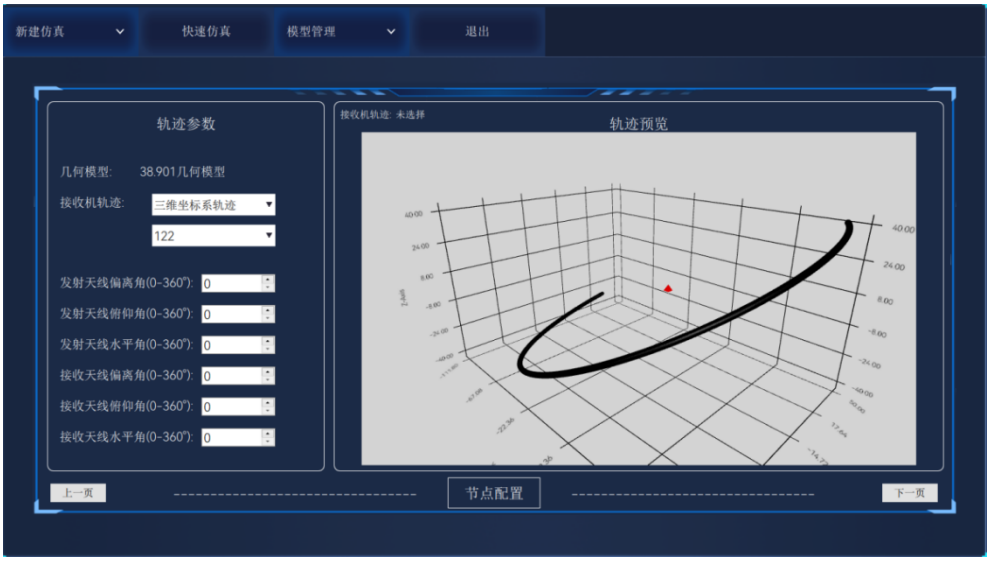


图 3-75 动态几何模型-宏观参数（三维轨迹）

- 节点发射机、接收机和天线配置如图 3-76 动态几何模型-节点配置所示，配置发射机和接收机天线，可选择天线不同天线和天线极化方式。点击下一页，配置发射机与接收之间的信道参数。





图 3-76 动态几何模型-节点配置

- 信道参数配置如图 3-77 动态几何模型-信道参数配置所示，可分别从大尺度和小尺度模型列表选择其一，点击下一页进入配置总览界面。



图 3-77 动态几何模型-信道参数配置

- 配置总览如图 3-78 动态几何模型-配置总览所示，显示参数配置总体信息、发射

天线和接收天线基本情况。点击开始仿真，系统创建模型进行仿真。

- 仿真完成之后弹出仿真完成提示窗，点击确定如图 3-79 动态几何模型-仿真完成所示。



图 3-78 动态几何模型-配置总览



图 3-79 动态几何模型-仿真完成

b) 静态几何模型

- 静态几何模型宏观参数配置如图 3-80 静态几何模型-宏观参数配置所示，可配置仿真名称、仿真频率、信号带宽、链路类型（下行/上下行）、发射机运动速度、发射机运动方向、接收机运动速度、接收机运动方向、收发机距离和 LOS 角度。点击下一页，配置节点参数。



图 3-80 静态几何模型-宏观参数配置

- 节点配置如图 3-81 静态几何模型-节点配置所示，发射机和接收可分别选择不同天线，配置天线极化方式，显示天线基本情况，点击下一页，配置发射机与接收机之间的信道参数。



图 3-81 静态几何模型-节点配置

- 信道参数配置如图 3-82 静态几何模型-信道模型配置所示，可分别从大尺度和小尺度模型列表选择其一，点击下一页进入参数配置总览界面。



图 3-82 静态几何模型-信道模型配置

- 配置总览如图 3-83 静态几何模型-配置总览所示，显示参数配置总体信息、发射天线和接收天线基本情况。点击开始仿真，系统创建模型进行仿真。



图 3-83 静态几何模型-配置总览

- 仿真完成之后弹出仿真完成提示窗。

3) 卫星模型

卫星模型建模如图 3-84 卫星模型所示，可配置基本参数、环境参数、发射和接收天线个数、功率、极化方式、导入发射机和接收机轨迹文件。基本参数：仿真名称、仿真频率、信号带宽、仿真模型选择（C.Loo 模型、Corazza 模型和 Lutz 模型）、仿真时长、仿真间隔和上下行链路（下行和上下行）；选择 C.Loo 模型，可配置环境参数（轻度遮蔽、中度遮蔽、重度遮蔽），选择 Corazza 模型没有环境选择，选择 Lutz 模型，可配置环境参数（城市、公路）；极化方式：垂直极化、45° 极化、-45° 极化、90° 极化、-90° 极化、左旋圆极化和右旋圆极化；表格：可设置接收天线的阴影衰落均值、阴影

衰落方差、阴影衰落扩展；导入：从本地导入发射机/接收机轨迹模型。配置完成后，点击开始仿真，系统创建模型进行仿真，仿真完成后弹出仿真完成提示框，点击确定返回信道建模工具主界面。



图 3-84 卫星模型

- 快速仿真

点击快速仿真，选择本地仿真模型，快速对模型进行建模仿真，仿真完成后弹出仿真完成提示框，点击确定返回信道建模工具主界面。

- WireLess 仿真

点击新建仿真的射线追踪建模，选择本地通过 WireLess 生成的仿真模型，快速对模型进行建模仿真，仿真完成后弹出仿真完成提示框，点击确定返回信道建模工具主界面。

- 模型管理

1） 轨迹库

轨迹库如图 3-85 模型管理-轨迹库所示，显示所有轨迹模型，可以新建新的轨迹模型（新建二维坐标轨迹、新建三维坐标轨迹），可查找、查看和删除轨迹模型。



图 3-85 模型管理-轨迹库

点击新建二维坐标轨迹，进入二维坐标轨迹添加界面，如图 3-86 模型管理-新建二维坐标轨迹所示。可设置创建人、备注、起点 X 坐标、起点 Y 坐标、轨迹模式（固定点、直线、平面圆弧、自定义），后三个模式有额外的参数设置，固定点参数设置完成，点击预览生成轨迹图。直线：可设置速度、移动距离、水平角度，如图 3-87 模型管理-新建二维坐标轨迹（直线模式）所示。



图 3-86 模型管理-新建二维坐标轨迹



图 3-87 模型管理-新建二维坐标轨迹（直线模式）

平面圆弧：可设置速度、圆心 X 坐标、圆心 Y 坐标、圆心角度、运动方向（顺时针/逆时针），参数设置完成，点击预览生成轨迹图，如图 3-88 模型管理-新建二维坐标轨迹（平面圆弧模式）所示；自定义：可设置轨迹 X 坐标、Y 坐标、速度，对数据的操作有：新增数据、删除数据、清空数据、从本地导入数据，参数设置完成，点击预览生成轨迹图，如图 3-89 模型管理-新建二维坐标轨迹（自定义模式）所示。轨迹设置好后，点击保存，完成轨迹模型添加。



图 3-88 模型管理-新建二维坐标轨迹（平面圆弧模式）

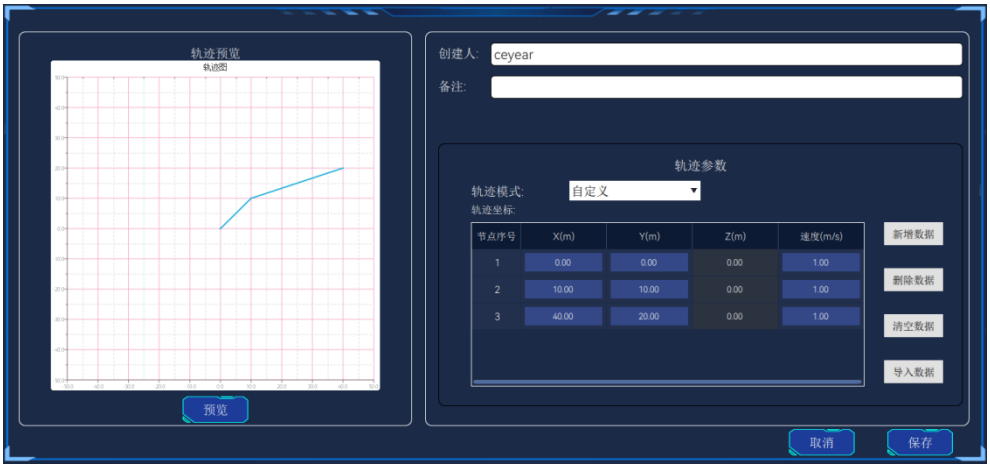


图 3-89 模型管理-新建二维坐标轨迹（自定义模式）

➢ 新建三维坐标轨迹

点击新建三维坐标轨迹，进入三维坐标轨迹添加界面，如图 3-90 模型管理-新建三维坐标轨迹（自定义模式）所示。可设置创建人、备注、起点 X 坐标、起点 Y 坐标、起点 Z 坐标、轨迹模式（固定点、直线、平面圆弧、自定义），后三个模式有额外的参数设置，固定点参数设置完成，点击预览生成轨迹图。

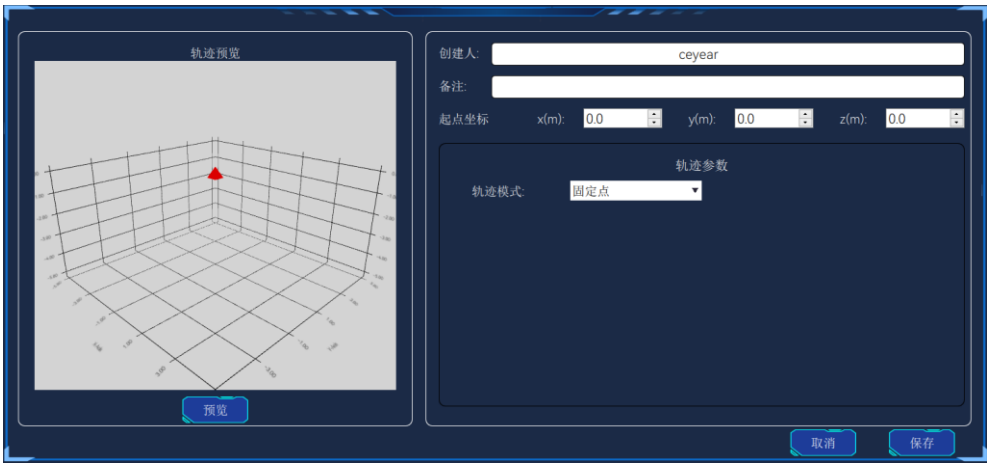


图 3-90 模型管理-新建三维坐标轨迹（自定义模式）

直线：可设置速度、移动距离、水平角度、垂直角度，参数设置完成，点击预览生成轨迹图，如图 3-91 模型管理-新建三维坐标轨迹（直线模式）所示；平面圆弧：可设置速度、圆心 X 坐标、圆心 Y 坐标、圆心 Z 坐标、圆心角度、运动方向（顺时针/逆时针），参数设置完成，点击预览生成轨迹图，如图 3-92 模型管理-新建三维坐标轨迹（平面圆弧模式）所示；自定义：可设置轨迹 X 坐标、Y 坐标、Z 坐标、速度，对数据的操作有：新增数据、删除数据、清空数据、从本地导入数据，参数设置完成，点击预览生成轨迹图，如图 3-93 模型管理-新建三维坐标轨迹（自定义模式）所示。参数设置完成后，可预览新建模型和保存新建模型。

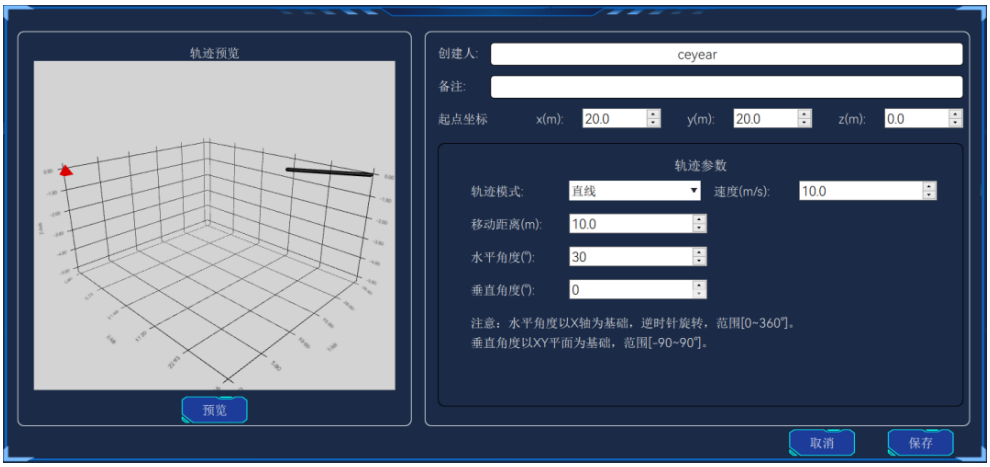


图 3-91 模型管理-新建三维坐标轨迹（直线模式）

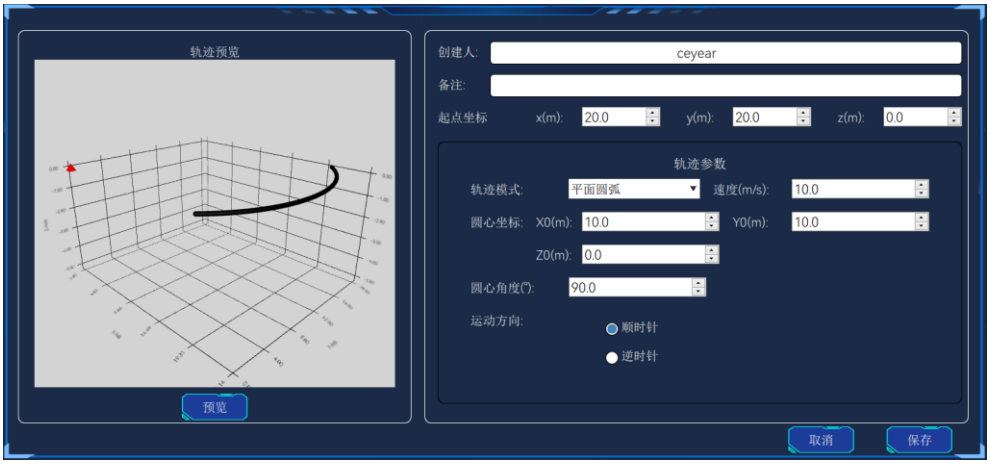


图 3-92 模型管理-新建三维坐标轨迹（平面圆弧模式）

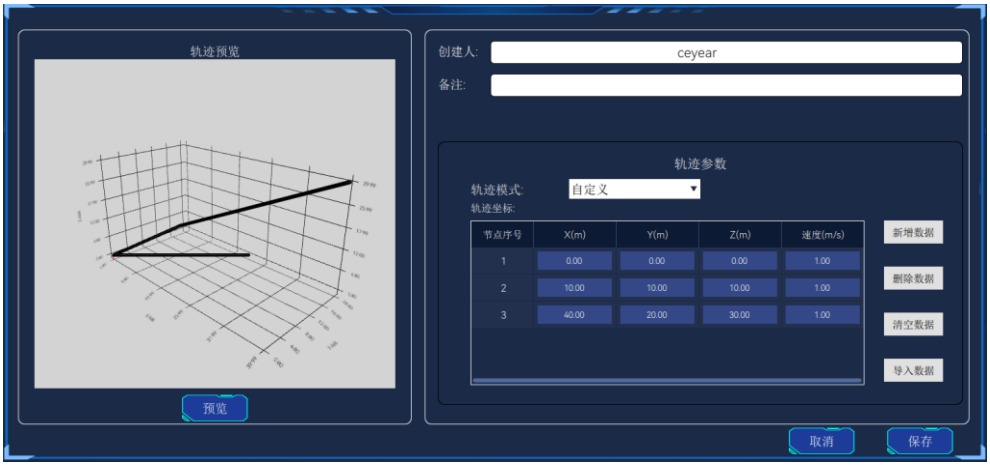


图 3-93 模型管理-新建三维坐标轨迹（自定义模式）

2) 天线库

如图 3-94 模型管理-天线库所示，显示所有天线模型，可以新建新的天线模型，可查找、查看和删除天线模型。新建天线如图 3-95 所示，可设置创建人、备注、选择天线类型（发射天线/接收天线）、选择排布方式（等间隔线阵/任意面阵）、天线数量。选择等间隔线阵时表格可为天线配置功率、衰减、选择方向导入（abs/fangxiangtu）、天线间隔等参数；选择任意面阵时表格可为天线配置功率、衰减、选择方向导入（abs/fangxiangtu）、坐标 X、坐标 Y、坐标 Z，点击确定或一键配置完成天线参数配置。设置完成后，点击保存即可保存新建天线模型。



图 3-94 模型管理-天线库



图 3-95 模型管理-天线库（新建天线）

3) 信道模型库

a) 大尺度模型

如图 3-97 所示，显示所有大尺度模型，可以新建新的大尺度模型，可查找、查看和删除大尺度模型。新建大尺度模型界面如图 3-90 所示，可设置创建人、大尺度模型（统计模型/几何模型）、备注、修正因子。模型选择统计模型可设置衰减常数因子，如图 3-90 所示；模型选择几何模型可设置基站天线高度和移动台天线高度，如图 3-99 所示。



图 3-97 模型管理-大尺度模型



图 3-90 模型管理-大尺度模型（新建大尺度模型-统计模型）

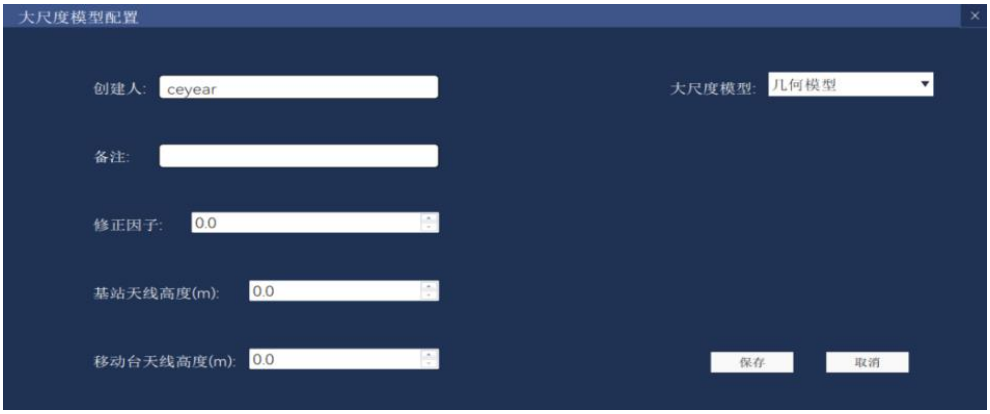


图 3-99 模型管理-大尺度模型（新建大尺度模型-几何模型）

b） 小尺度模型

如**错误!未找到引用源。**所示，显示所有小尺度模型，可以新建新的小尺度模型，可查找、查看和删除小尺度模型。新建小尺度模型如图 3-93 所示，可设置创建人、备注、小尺度模型（统计模型/几何模型）。统计模型可添加和删除子径，可配置子径参数：时延、功率、Module（常数/经典/莱斯/平坦/纯多普勒/Nakagami/，选择不同，参数和多普勒谱形也不同）、参数、分布多普勒谱形、多普勒频移；几何模型可配置多径数、子径数、AS 比例系数、AS 标准差、DS 比例系数、DS 均值、DS 标准差，如图 3-94 所示。



图 3-92 模型管理-小尺度模型

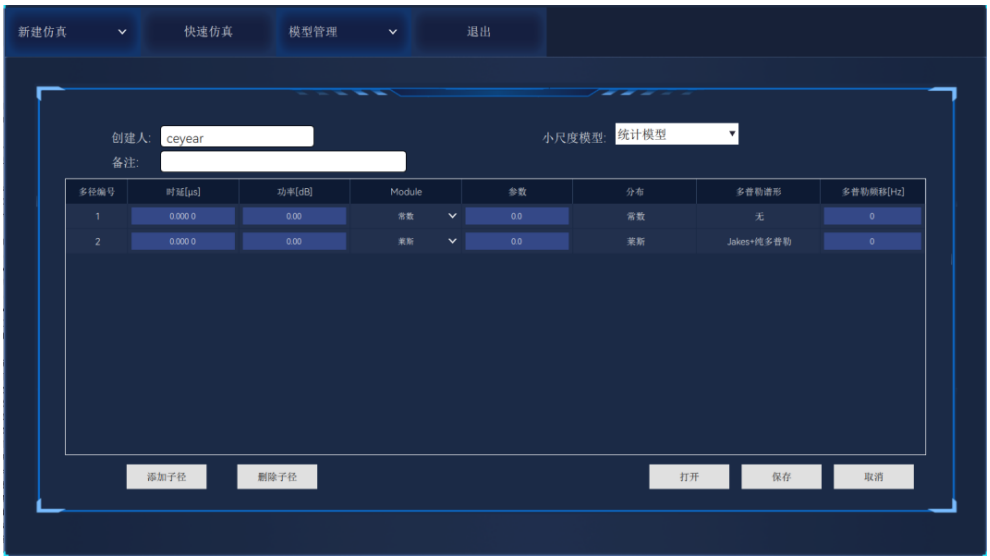


图 3-93 模型管理-小尺度模型（新建小尺度模型-统计模型）



图 3-94 模型管理-小尺度模型（新建小尺度模型-几何模型）

- 退出

点击退出，退出信道建模工具。

3.3.10 码多普勒设置

码多普勒设置界面如图 3-96 所示，在主界面或新建仿真界面点击预设模型-码多普勒模型建立仿真后可打开该界面进行设置。用户可设置码元速率、起始速度、运动时间、加速度和采样间隔，点击计算完成设置。



图 3-96 码多普勒设置

3.3.11 数据采集

数据采集界面如图 3-96 所示，点击数据采集，进入数据采集页面，设置通道序号、采集时长、存储位置参数，点击开始采集。



图 3-97 数据采集

3.3.12 数据回放

数据回放界面如图 3-96 所示，点击数据回放，设置通道序号、选择数据文件，设置触发模式参数，点击开始回放。

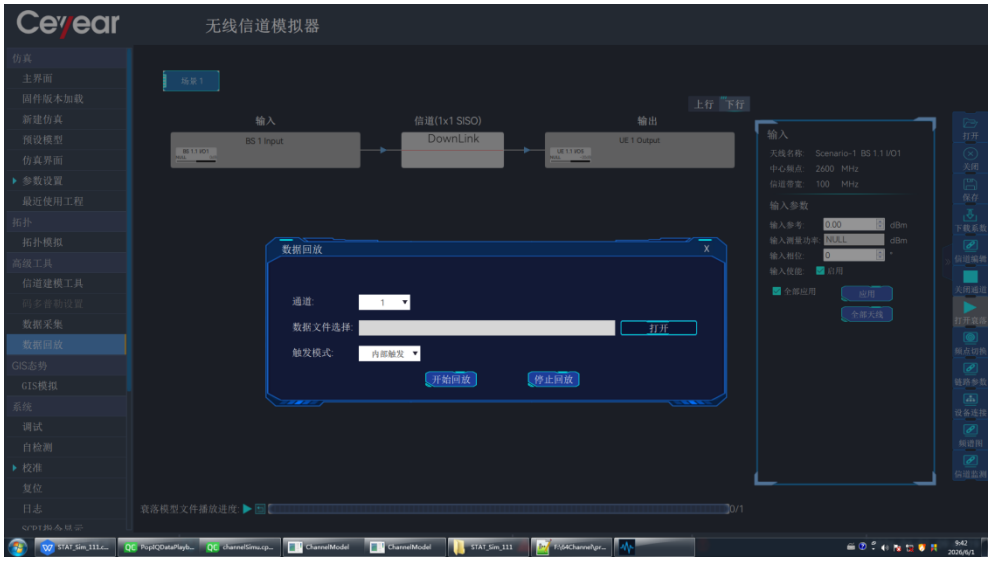


图 3-98 数据回放

3.3.13 调试（不对用户开放）

点击调试，输入正确密码，进入调试页面，调试设备通道板卡、数据的写入和读出等。

3.3.14 自检测

自检测如图 3-99 所示。可实时监测各板卡的各内核状态（连接状态、内核电压、辅助电压、总电流、温度）和下变频器状态。若内核状态某数值异常，则数值显示红色且向界面下方消息栏中发送仿真告警信息。下变频器工作时对应编号的端口会亮起。



图 3-99 设备自检

3.3.15 校准

- 设备校准（不对用户开放）

点击设备校准，输入正确密码，进入设备校准页面，校准输入输出、本振、频谱、频率响应等。

- 相位校准

相位校准如图 3-100 所示，可选择 MIMO 规模（2X2、4X4）、设置校准频率、设置 BS、UE 开始端口，点击下一步，连接设备逐个校准端口，校准完成后点击完成校准结束。



图 3-100 相位校准

- 校准表编辑

“相位校准”完成后，即可显示其弧度和角度的相关测量值，可对测量值进行修改校准。

可保存校准方便后续使用，也可加载已有的校准文件，如图 3-101 所示。



图 3-102 校准表编辑

3.3.16 复位

系统设置-复位可使仿真参数并初始化回到主界面

3.3.17 网络配置

系统设置-网络配置显示界面如图 3-103 所示。在本地网络，用户可配置 IP 地址、子网掩码和默认网关。



图 3-104 系统设置-本地网络配置显示界面

系统设置-变频组件网络配置显示界面如图 3-105 所示。在变频组件连接窗口，用户可配置连接变频组件，变频组件的默认 IP 地址为 192.168.1.10，端口为 5025，点击连接之后，在仿真界面支持将频率设置到 6GHz 以上。



图 3-106 系统设置-变频组件网络配置显示界面

3.3.19 日志

日志查看如图 3-107 所示，显示日志信息，也可点击浏览查看日志文件，点击清除，可清空日志信息。



图 3-108 日志查看

3.3.20 版本信息

点击版本信息即可查看版本信息，如**错误!未找到引用源。**所示。



图 3-109 版本信息

3.3.21 用户使用手册

点击用户使用手册，即可查看用户使用手册 pdf。

3.3.22 语言选择

点击语言选择如图 3-110 所示，弹出语言选择界面，切换中文可视化界面和英文可视化界面。

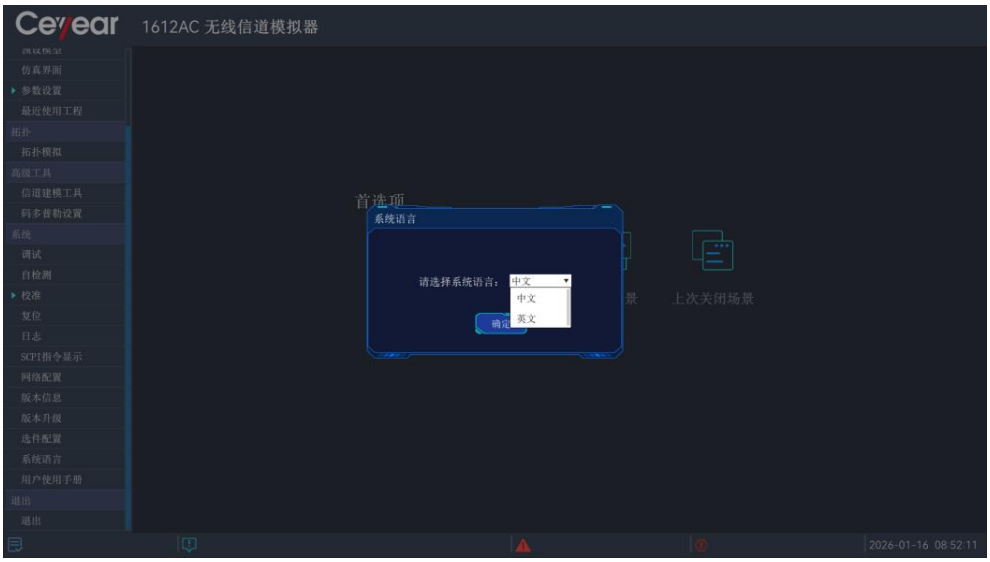


图 3-111 语言切换

3.3.23 退出系统

退出系统如图 3-112 所示，未勾选关机时，点击确定退出软件平台；勾选关机，点击确定整个设备平台关机。

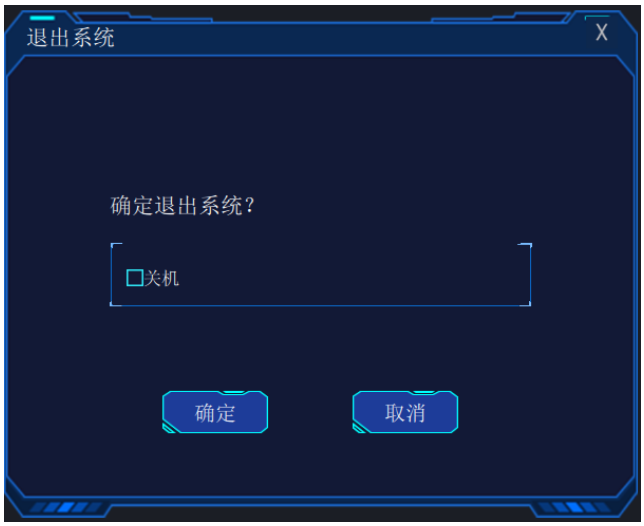


图 3-112 退出系统

4. 工作原理

本章将简要介绍 1612AD 无线信道模拟器整机工作原理及各关键技术的实现原理。

4.1 整机工作原理

4.1.1 硬件总体方案

4.1.1.1 CPU 控制模块

在无线信道模拟器上配备的 CPU 模块和其他计算机配件组成了一个微型高性能主控计算机，采用高速总线控制与主控单元通信，总线接口实现整机内接口逻辑和所有控制逻辑功能，主控单元主要起控制处理作用，接收通过总线发来的各种命令，然后分析命令，执行命令，协调模块各部分的作用。主控单元通过本地总线对两通道波形合成单元控制，保证两通道的信号同步。

主控计算机完成仪器智能控制，以中央处理器为主完成自检，I/O 控制、数据补偿、键盘处理、同步协调和显示。复杂环境的信道建模，基于飞行轨迹的信道参数估计、MIMO 网络拓扑模拟以及硬件 FPGA 动态加载配置等功能也需要主控计算机的协调参与。

4.1.1.2 时钟参考模块

时钟参考模块的主要功能是为各模块提供同步时钟以及触发信号，实现各射频模块以及数字信号综合处理模块信号精确时钟同步，如图 4-1 所示。

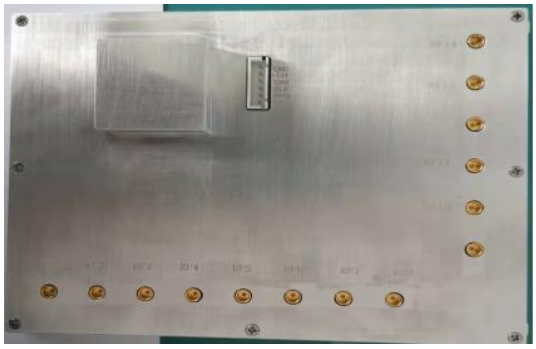


图 4-1 时钟参考模块

该模块具有一个恒温晶体振荡器（OCXO），可产生一个非常稳定且精确的 10MHz 参考时钟，或者采用外部参考输入时钟，并提供一个数字触发信号来实现与时钟分配模块的同步。之后，提供并缓存这一个 10MHz 参考时钟信号（MCLK）和触发信号（Trig）到时钟处理模块，以一对八的比例提供给射频收发模块以及信号处理模块等，从而确保所有模块共享 10MHz 的参考时钟和主触发信号，保证各模块的工作状态同步。

4.1.1.3 信号处理模块

信号处理模块作为本项目的核心模块，主要实现对信号采集模块所输入基带信号进行功率统计、实时衰落模拟、动态环境仿真、数字噪声实时产生、MIMO 模拟等功能，并将经过

衰落模拟后的处理信号传送给信号发射模块。该模块主要针对基带信号在 FPGA 内实现，采用基于 CPCI 架构的 4 片 FPGA 加一片 DSP 的硬件平台，如图 4-2 所示。



图 4-2 信号处理模块

FPGA 采用 Kintex7 系列高性能芯片，该芯片可以提供高性能 DSP、存储器、模拟和 I/O 接口等集成功能。其中，一个主控 FPGA 通过 CPCI 总线与上位机间通信，实现系统参数配置、工作状态控制以及对其他从 FPGA 的动态加载，利用 PCIe 总线实现数据文件的高速传输；其余三片从 FPGA 通过 4×模式 Rapid IO 接口互联，实现数据交互，单通道 Rapid IO 数据速率为 3.125Gbps，可以满足单路基带信号 12bit 数据在 6.4GHz 采样率条件下的数据交互。DSP 采用高性能单核定点芯片 TMS320C6455X，可实现极高的多处理性能，降低系统消耗，主要负责实现复杂数字信号处理以及信道参数运算等。

结合 DSP 负责复杂数字信号处理，高速系列 C、高速 DAC 数字信号处理等。FPGA 芯片最大提供 64 路线速率 16.3Gb/s 的 GTH/GTY 接口。高速系列 C 使用 16 路高速 GTH 接口，高速 DAC 使用 8 路高速 GTH 接口，传输到信号汇聚板采用 16 路高速 GTH 接口，模块内两个 FPGA 之间使用 24 路高速 GTH 接口。整机所有数字信号与信道仿真模块与信号汇集模块互联，实现各基带信号处理模块的信号交互传输，完成 MIMO 网络拓扑模拟，满足数据传输速率的要求。

4.1.1.4 信号收发模块

本产品需要实现 10MHz~6GHz 频率范围的射频信号收发功能，一个射频收发单元具有四路射频信号输入输出，可以实现 4×4 规模 MIMO 信道模拟。对于 8×8 MIMO 信道模拟单元则需要 2 个射频收发单元。为保证 8×8MIMO 测试的可靠性，需要解决 8×8 通道的信号同步问题。首先要保证各通道的时钟同步，8 个射频收发单元的同步时钟由时钟同步分配模块提供，上下变频本振由本振发生模块提供；其次，要保证 8×8 通道输入输出信号同步，本产品采用多级缓存的方案，通过上位机软件校准控制 FPGA 缓存级数，实现 8×8 通道的数据输入输出同步。

对于射频收发单元，FPGA 负责中频信号的收发、系列 C 和 DAC 芯片的控制以及信号调理模块的控制，功能单一，不需要动态加载，因此，采用一片高性能 FPGA 芯片，该芯片通过 PCIe 接口与上位机通信，并对数字信号与信道模拟单元进行控制，包括 FPGA 动态加载、参数配置等。同时，利用×8 模式的 Rapid IO 与数字信号与信道模拟单元进行中频信号交互。

此外，模拟通道的调理电路设计也是射频收发单元的关键部分之一。由于频率范围 1MHz~6GHz，带宽高达 500MHz，带宽范围大，对模拟通道的调理电路设计提出了更高的要求，每个输入输出的信号调理单元包括独立的信号调理通道、通道控制电路等，完成信号调理，

通道控制等工作。这部分电路包括变频电路、缓冲匹配、滤波器组、幅度控制电路、加偏电路等。同时，信号调理模块需要保证各模拟通道的同步输入输出。

4.1.1.5 高速数据交互收发模块

根据设计 16 通道（通道全配情况）双向设计要求，在单台整机四个信号处理模块之间的基带信号需要分别进行数据交互，保证每个信号处理模块都能接收到 4 通道的输入信号，以便进行信号处理。同时所有信号需要能够与数据汇聚板进行交互，实现海量数据汇聚与分发，以便于多台整机级联。高速数据交互模块采用 mesh 网络，如图 4-3 所示。

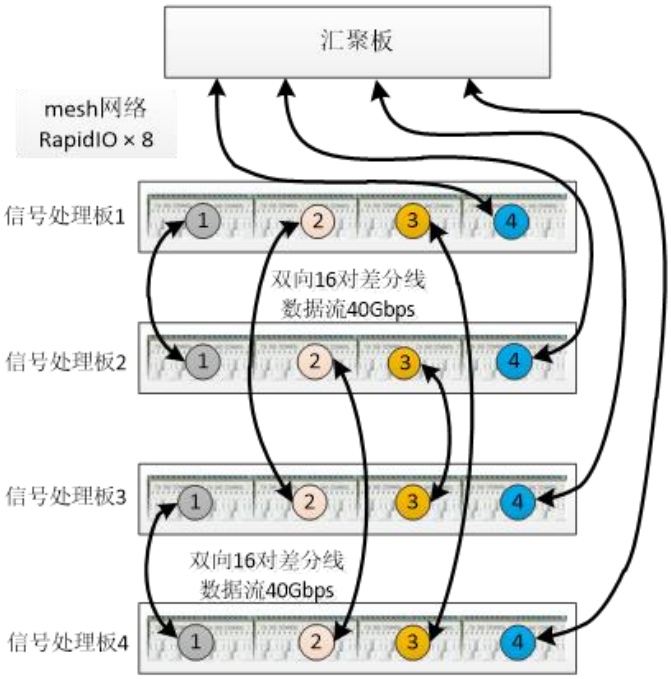


图 4-3 高速数据交互原理框图

各个信号处理板卡通过高速连接器连接到高速数据交互模块，高速数据交互模块中每个高速连接器采用 8×模式 Rapid IO 与其余三个信号处理板卡相连，实现高速数据交互。高速数据交互背板在整机中间放置。

4.1.1.6 信号汇聚模块

根据总体方案，整机备用 1 个高速数据交互模块，多台设备级联可以实现 16×N 通道数据交互。因此，为了实现多台设备级联实现更多通道的设计要求，需要对单台设备的信号汇聚模式进行所有数据进行汇聚与传输，信号汇聚模块通过 4 组 8×模式 Rapid IO 接口接收 4 块信号处理板的基带信号，数据吞吐量达到 128Gbps，并通过光口传输，同时把经过光口接收到的性通过 Rapid IO 分发到 4 个信号处理模块进行数字信号处理。

4.1.1.7 整机电源模块

系统电源采用 1500W 定制电源，为整机提供所需的电源信号，同时，该模块还进行系统的开关机管理，它将输入的交流电压转换为所需的±12V、±5V、±3.3V 等直流电压，供给整机风扇、键盘、CPU 模块等各个功能板。为了抑制电源纹波，在每个功能板电路电源入口处进行 LC、EMI 滤波处理，至于一些低电压供电器件所需要的电源，则在各个单板上采用

DC-DC 稳压模块通过二次稳压获得。

4.1.2 软件总体方案

软件设计在整个仪器中占有非常重要的地位，它不仅要实现人机交互、控制硬件、完成各种测试功能，而且各种信号处理、数据分析、数据管理都由软件来实现。

（1）软件功能组成

为了便于软件的协作开发及后期的升级维护，软件平台的设计采用模块化、高内聚、低耦合的程序设计方法。整机应用软件如图 4-4，包括新建仿真、预设模型、仿真界面显示、参数设置（功率检测设置）、最近使用工程、拓扑建模工具、信道建模工具、校准（相位校准和校准表编辑）、网络配置、日志、版本信息、用户使用手册、退出系统等多个功能模块。

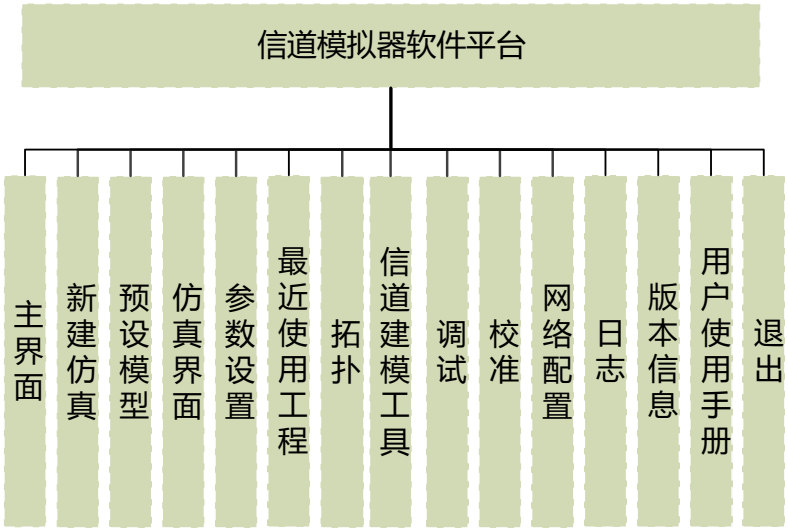


图 4-4 应用软件功能模块

（2）软件体系结构

在具体软件方案设计上，采用层次化的设计方法，通过将整个软件划分为不同层级，合理规划不同层面软件功能，既能使软件开发思路清晰，又可以避免不同功能软件模块的交叉耦合，提高程序设计的可靠性、可维护性、可扩展性。整机软件的结构如下图 4-5 所示。

整机软件划分为应用层、参数控制层、驱动层三个层次。其中，应用为仪器工作软件，包括菜单栏、状态栏、驱动、工具栏、信道建模软件部分（场景规划、模型解算）和系统应用软件部分（设备管理、进程监控、仿真控制）；显示仿真的创建过程、仿真结果、参数配置、场景模拟、信道参数配置、用户操作状态等。参数控制层分为：信道仿真控制、信号采集控制、信号发射控制、信号交互控制等；负责仿真过程中参数的传入、传出、解析等。驱动层主要负责硬件控制和测量数据的传递。各层之间相互独立，层与层之间通过对外提供的接口函数完成相互之间的通信。

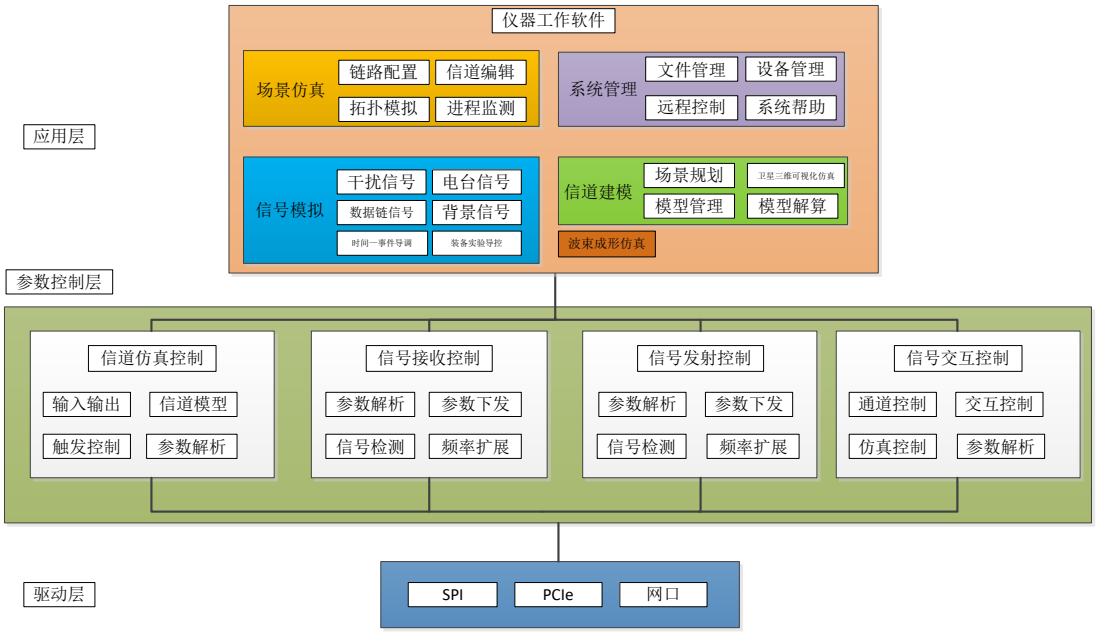


图 4-5 软件结构示意图

4.1.3 软件接口

与该软件系统有接口关系的电路板、设备和角色包括：用户、射频收发电路板、LAN 程控设备、前面板、触摸屏、键盘和鼠标。用户通过键盘和鼠标操作该软件界面菜单，完成与软件的交互，该软件执行用户操作，并将测量结果显示在屏幕上；通过总线接口实现参数控制、中断服务；通过文件接口实现用户设置保存和测量数据存储。其软件接口图如图 4-6 所示。

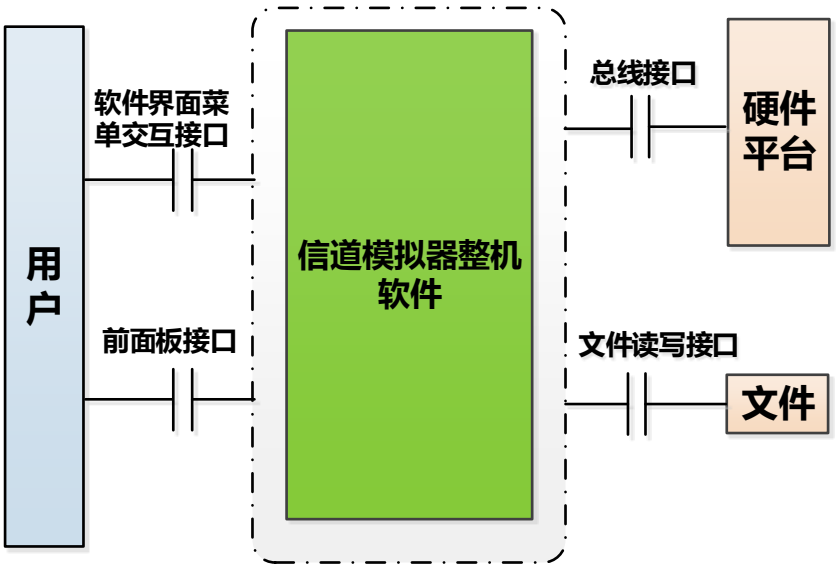


图 4-6 软件接口图

（1）软件界面交互接口

为了提高人机交互界面的美观性及用户体验，并考虑到软件的跨平台性能，本项目开发环境使用 Qt，应用软件运行环境为 Windows 操作系统。本项目设计的界面布局如图 47 所示。



图 4-7 软件界面效果图

软件界面由左侧为导航栏、中间主显示、底部状态栏三个部分组成。导航栏有主界面、新建仿真、预设模型、仿真界面、参数设置、最近使用工程、拓扑模拟、信道建模工具、调试、校准、网络配置、日志、版本信息、用户使用手册、退出等等功能；中间部分显示无线信道模拟器的新建仿真、预设模型、自定义场景、上次关闭场景等功能；状态栏主要显示用户当前的操作状态，包括仿真播放/暂停、操作状态、警告、错误和时间等。

（2）总线接口

整机应用软件通过内部的各种总线接口实现与 FPGA 软件的数据传输，包括串口、USB 口、PCIe 总线等。

（3）文件读写接口

整机软件通过调用标准的操作系统文件接口 API 实现对整机配置参数、校准数据、IQ 数据等结果的存储与调用，具有极大的可扩展性和便利性。

5. 故障诊断与返修

本章介绍故障判断和解决方法、错误信息说明及返修方法。

- 维护保养……77
- 一般维修……77

5.1 维护保养

5.1.1 日常维护

本产品属于精密仪器，在使用过程中应严格按程序操作，注意警告信息。仪器外壳应保持清洁，可以经常用干净的软布擦拭，避免细小的物品通过通风孔掉入仪器内部。仪器使用时，应避免有物品遮挡住仪器通风孔，在不使用时，尽量用合适的布将仪器盖住，以免仪器落灰。

仪器在不使用时应遮住端口，清洁的端口能够提供精确的数据，可用吹气球经常清洁测量端口的灰尘。在测试过程中旋转测试端口时，要小心轻旋，避免损伤端口。

5.1.2 电源要求和静电防护

电源要求和静电防护方面的内容已在第一章中详细介绍过。电源使用不当会导致仪器损坏，甚至造成人员伤害，危害结果严重。因此，仪器上电之前必须对电源进行认真检查，并按照使用手册的说明慎重使用。静电防护是常被用户忽略的问题，它对仪器造成的伤害时常不会立即表现出来，但会大大降低仪器的可靠性。因此，有条件的情况下应尽可能采取静电防护措施，并在日常工作中正确运用防静电措施。

为防止或减小由于多台设备通过电源产生的相互干扰，特别是大功率设备产生的尖峰脉冲干扰可能造成仪器硬件的毁坏，最好用 220V 交流稳压电源为仪器供电。



警告：接地不良或错误可能导致仪器损坏，甚至造成人身伤害。在打开仪器电源之前，一定要确保地线与供电电源的地线良好接触。使用有保护地的电源插座。不要用外部电缆、电源线和不具有接地保护的自耦变压器代替接地保护线。如果使用自耦变压器，一定要把公共端连接到电源接头的保护地上。

5.2 一般维修

本节主要介绍本产品在使用过程中可能出现的问题和用户可以采取的一些措施，能尽量为用户提供方便。

5.2.1 仪器可能出现的故障及解决措施

5.2.1.1 黑屏

如果外接屏幕不亮，请按下面所列步骤进行检查：

- 标配电源适配器否通电，电源是否符合本产品工作要求。
- 仪器的电源开关是否处于开状态。
- 检查风扇运转情况。
- 确定外接显示器是否可以正常使用

如果上述检查都正常，则可能是仪器数字处理板出了故障；风扇不转，则可能是仪器电源出了故障。

5.2.1.2 启动不正常

如果开机后，仪器不能进入正常工作状态，请关闭仪器，然后重新打开仪器。为了您的安全，请不要擅自打开仪器机箱。

5.2.2 仪器的返修

- 当您的 1612AD 无线信道模拟器工作出现难以解决的问题时，我们可以通过电话或传真为您提供咨询。当确信是 1612AD 无线信道模拟器硬件损坏需要返修时，请您用原先的材料或商业上使用的别的材料包装仪器，并按下面的步骤进行包装：
- 写一份有关仪器故障现象的详细说明，在将仪器放入包装箱时一同放入。
- 将仪器装入防静电塑料袋，以减少可能的静电放电损坏。
- 在外包装纸箱四角摆放好泡沫衬垫，将仪器放入外包装箱，并在四周空隙内填充泡沫板。
- 用胶带密封好包装箱口，并用尼龙带加固包装箱。
- 在箱体上标明“易碎！勿碰！小心轻放！”字样。
- 请按精密仪器进行托运。
- 保留所有的运输单据的副本。

⚠ 警 告

注意：使用别的材料封装 1612AD 无线信道模拟器，可能会损坏仪器。不要使用任何大小的聚苯乙烯小球作为包装材料。它们不能充分地垫住仪器，也不能在运输时为放在箱子中的仪器提供保护。它们能产生静电并被吸入风扇中，对仪器产生损害。

5.3 EMC 和安全

表5-1 EMC与安全

名 称	描述信息
EMC	
CE ISM 1-A	欧委会规定： 89/336/EEC, 92/31/EEC, 93/68/EEC IEC 61326-1:1997 +A1:1998 +A2:2000/EN 61326-1:1997 +A1:1998 +A2:2001 CISPR 11:1997 +A1:1999/EN 55011:1998 +A1:1999 Group 1, Class A IEC 61000-4-2:1995 +A1:1998/EN 61000-4-2:1995 +A1:1998 4 kV CD / 8 kV 系列 IEC 61000-4-3:1995 +A1:1998/EN 61000-4-3:1996 +A1:1998 3 V/m, 80-1000 MHz, 80% AM IEC 61000-4-4:1995/EN 61000-4-4:1995 1 kV power / 0.5 kV Signal IEC 61000-4-5:1995/EN 61000-4-5:1995 0.5 kV Normal / 1 kV Common IEC 61000-4-6:1996/EN 61000-4-6:1996 3 V, 0.15-80 MHz, 80% AM IEC 61000-4-11:1994/EN 61000-4-11:1994 100% 1cycle European Council Directive
ICES/NMB-001	该仪器遵守Can系列ian ICES-001:1998.
N10149	AS/NZS 2064.1/2 Group 1, Class A
安全	
CE ISM 1-A	欧委会规定： 73/23/EEC, 93/68/EEC IEC 61010-1:2001/EN 61010-1:2001 测量级别 I, 污染度 2, 室内： IEC60825-1:1994 Class 1 LED

LR95111C	CAN/CSA C22.2 No. 1010.1-92
环境	
	该产品遵守WEEE（2002/96/EC）标注的规定。 附注信息表明该电子产品不能作为室内垃圾丢弃。 产品类别：参考WEEE规定附录I中的仪器类型，该产品属于“监测与控制仪器”类型。 请不要将该产品作为室内垃圾丢弃，请联系电科思仪，或通过网址www.ceyear.com获取相关联系方式及具体的处理方法。

6. 测试和检验

本章介绍了结构和外观、安全性、功能性能要求、测试条件、测试框图、测试方法等。

6.1 结构及外观

结构形式：台式机箱。

仪器外表整洁美观，面板标识字迹清晰，接头接插方便、到位。

6.2 安全性

应符合 GJB3947A-2009 中 3.10.2 的规定。

6.2.1 绝缘电阻

设备的电源输入端与机壳之间的绝缘电阻在试验用标准大气条件下应不小于100MΩ。

6.2.2 介电强度

交流有效值为 1.5kV、1min、10mA，应无飞弧、无击穿。

6.2.3 泄漏电流

输入电压交流242V下，泄漏电流应≤3.5mA。

6.3 功能性能要求



图 6-1 1612AD 无线信道模拟器

6.3.1 主要功能

无线信道模拟器具备无线信道模拟功能，能够提供常用无线通信信道模拟功能，可准确仿真复杂的无线信道特征，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等。

功能指标如下：

6.3 功能性能要求

（1）具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等；

（2）具有无线信道建模功能，支持统计建模及几何建模；

（3）具有自组网拓扑仿真功能；

（4）支持上行和下行链路仿真功能；

（5）支持动态环境仿真功能；

（6）具有 MIMO 信道仿真功能；

（7）支持时延动态连续变化；

（8）支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等；

（9）支持标准信道模型仿真；

（10）支持多种制式干扰信号生成；

（11）支持输入功率检测功能；

（12）支持以太网远程控制功能；

（13）支持兼容第三方自定义信道模型载入；

（14）实时监控信道模拟器系统工作状态；

（15）支持外接 GNSS 设备实现授时或时间同步功能；

（16）具备不依赖外接仪表开展自动校准，支持对所有通道进行全部时延相位一致性自动化校准；

（17）具备三维动态信道建模软件，通过可视化界面，快速完成卫星和地面站之间、卫星和卫星之间的信道模型建立和生成（选件）。

6.3.2 主要性能

性能指标如下：

（1）通道数量：16 条（支持全双工工作模式，可减配成 12、8 个、4 个）；

（2）频段范围：1MHz～6GHz（选件可到 40G）；

（3）单通道最大带宽：≥500MHz；

（4）输出信号功率范围：-120dBm～0dBm；

（5）输出信号功率准确度：±1dB（≥-100dBm 时）；

（6）输出信号功率分辨率：0.1dB；

（7）输入信号功率范围：-50dBm～+35dBm（peak，＞100MHz 时），-50 dBm～+15 dBm（peak，≤100MHz 时）；

（8）信道配置拓扑：编辑各种拓扑结构，包括一字形、星形、全联通、若干子网各种拓扑结构，多点对多点的射频通道的复杂拓扑组网连接，任意两个通道可以直接连通，并可保存拓扑结构文件和打开拓扑结构文件；

（9）每个信道衰落路径数：最大 48 个；

（10）衰落类型：具有多种标准信道模型、预定义信道模型，支持标准信道模型，可以随时调用编辑，包括 COST207、GSM/EDGE、ITU_R3G、JTC、HIPERLAN/2、3GPPLTE、ITU1546、ITU2001、ITU526、ITU530、ITC617、ITU618、ITU676、ITU679、ITU680、TTU681、ITU682 等标准化组织定义的标准信道模型；支持衰落信道模型：常量、瑞利、莱斯、Nakagami、平坦、圆拱、高斯、双高斯、LOGNORMAL、Suzuki、纯多普勒、巴特沃兹、自定义模式等；

（11）相对路径衰落损耗：最大 60dB；

（12）最大多普勒频移：±6MHz；

（13）最大路径时延：1s；

（14）时延范围：5us~1s（选件可到 4s）；

（15）时延类型：常数、正弦滑动时延、线性滑动时延、3GPP 增消、3GPP 滑动时延组、用户定义；

（16）标准信道模型：具有多种标准信道模型、预定义信道模型，支持标准信道模型，包括 COST207、GSM/EDGE、ITU_R3G、JTC、HIPERLAN/2、3GPPLTE、ITU1546、ITU2001、ITU526、ITU530、ITC617、ITU618、ITU676、ITU679、ITU680、ITU681、ITU682 等标准化组织定义的标准信道模型；支持衰落信道模型：常量、瑞利、莱斯、Nakagami、平坦、圆拱、高斯、双高斯、LOGNORMAL、Suzuki、纯多普勒、巴特沃兹、自定义模式等；

（17）干扰类型：AWGN 噪声、CW 干扰、梳状干扰、跳频干扰、扫频干扰、脉冲干扰、均匀分布干扰、调频干扰、调幅干扰、调相干扰；

（18）频率分辨率：0.1Hz；

（19）频率准确度：10^{-7}；

（20）时延仿真分辨率：0.1ns；

（21）EVM：≤1%@256QAM，100MHz 调制信号，2GHz 频点；

（22）底噪：不高于-162dBm/Hz@典型值；

（23）通道间隔离度：135dB@2GHz 典型值；

（24）本振：每个射频端口收发本振独立

（25）输入/输出端口驻波比：1.6F≤6GHz，2.0F≤40GHz；

（26）仿真同步触发接口：支持触发输入和输出；

（27）自定义动态仿真：支持，最大更新频率＞1kHz；

6.3 功能性能要求

（28）大尺度衰落范围：110dB；

（29）输出信号非谐波失真（非杂散抑制）：≤-40dBc；

（30）具备码多普勒动态连续变化功能（选件）：支持（最大 30 马赫）；

（31）支持气象衰减：大气、云、雨、雾：

（32）支持时延动态连续变化；

（33）支持码元动态连续变化；

（34）通道之间幅度一致性：±1dB；

（35）通道间相位一致性：优于 5°（1σ，固定可测量）

（36）控制最小时间间隔：≥10min，时常可控，可进行无限时常连续仿真

（37）响应延迟：≤0.5ms；

（38）相位偏移指标：相位偏移范围 0°-360°，相位分辨率≦1°；

（39）平坦度：±1.0dB；

（40）多普勒频移变化率：60kHz/s。

（41）多径相对时延范围：0us～4ms(选件)；

6.3.3 主要技术参数

序号	性能指标	单位	要求
1	接口	/	16个射频输入/输出接口（可配置单/双向）
			16个射频输出接口
			10MHz时基
			USB接口
			显示接口
			远程控制（网口）接口
2	结构形式	/	台式
3	外形尺寸	mm	440mm×266mm×600mm （宽×高×深，不含把手和脚垫）
4	颜色	/	黑色
5	重量	kg	≤50
6	供电方式	/	220V AC

7	最大功耗	W	≤1000
8	环境适应性	/	符合GB/T 11606-2007分析仪器环境试验方法中Ⅰ组设备的要求
9	可靠性	h	MTBF（θ0）≥500
10	可维修性	h	≤ 2（采用整部件替换方式）
11	安全性	/	设备的电源输入端与机壳之间的绝缘电阻在试验用标准大气条件下应不小于100MΩ； 交流有效值为 1.5kV、1min、10mA，应无飞弧、无击穿。 输入电压交流242V下，泄漏电流应≤3.5mA。

6.4 测试条件

6.4.1 测试场地

测试场地环境为实验室环境。

6.4.2 测试设备

用于监测测试参数的设备和测试装置应在检定合格期内，并符合 JJF 1931-2021 信号发生器校准规范、JJF 1396-2013 频谱分析仪校准规范、GJB 7691-2012 数字示波器检定规程、JJF 1495-2014 矢量网络分析仪校准规范，其精度不应低于被测参数允许误差的 1/3。测试设备清单见表 6-1。

表 6-1 测试设备清单

序号	设备名称	主要技术指标	推荐型号	数量
1	信号发生器	频率范围：250kHz～6GHz 频率分辨率：0.001Hz 功率范围：-150dBm～+35dBm 功率准确度：±0.1dB	SMA100B*	1
2	频谱分析仪	频率范围：3Hz～9GHz 幅度准确度：±0.1dB	FSW50* RSA5106B*	1
3	示波器	带宽：2.5GHz 采样率：20GSa/s	MSOS254A* MSO72004*	1

6.5 测试框图及测试项索引

4	矢量网络分析仪	频率范围：100kHz～8.5GHz 源功率范围：-55dBm～+10dBm	3656B*	1
5	射频同轴电缆	SMA-SMA 电缆（1MHz～6GHz）	/	4
注：*表示可用同类型同等性能设备代替。				

6.5 测试框图及测试项索引

6.5.1 通道数量测试框图

测试设备：

信号发生器　　1台

频谱分析仪　　1台

射频同轴电缆　　2根

测试框图：如图6-2所示。



图 6-2　通道数量测试

6.5.2 频段范围测试框图

测试设备：

信号发生器　　1台

频谱分析仪　　1台

射频同轴电缆　　2根

测试框图：如图6-3所示。



图6-3　频段范围测试

6.5.3 多径数量测试框图

测试设备：

信号发生器	1台
频谱分析仪	1台
射频同轴电缆	2根

测试框图：如图6-4所示。



图6-4　多径数量测试

6.5.4 时延范围测试框图

测试设备：

信号发生器	1台
示波器	1台
射频同轴电缆	2根

测试框图：如图6-5所示。

6.5 测试框图及测试项索引



图 6-5　时延范围测试

6.5.5 多径相对时延范围测试框图

测试设备：

信号发生器	1台
示波器	1台
射频同轴电缆	2根

测试框图：如图6-6所示。



图 6-6　多径相对时延范围范围测试

6.5.6 时延分辨率测试框图

测试设备：

矢量网络分析仪	1台
射频同轴电缆	2根

测试框图：如图6-7所示。



图6-7 时延分辨率测试

6.5.7 输入输出端口驻波比测试框图

测试设备：

矢量网络分析仪 1台

射频同轴电缆 2根

测试框图：如图6-8所示。



图6-8 输入输出端口驻波比测试

6.5.8 外部控制接口测试框图

测试设备：

笔记本 1台

网线 1根

测试框图：如图6-9所示。

6.5 测试框图及测试项索引



图 6-9　外部控制接口测试

6.5.9 变频组件单工测试框图（选件功能）

测试设备：

信号发生器　　1台

频谱分析仪　　1台

测试框图：如图6-10所示。



图 6-10　变频组件测试（单工）

6.5.10 变频组件双工测试框图（选件功能）

测试设备：

信号发生器　　1台

频谱分析仪　　1台

测试框图：如图6-11所示。（变频组件选配通道个数为2通道）



图 6-11　变频组件测试（双工）

6.5.11 测试项索引

表2 合同功能指标要求与测试方法对照表

序号	指标要求		测试方法	测试框图
（一）	功能指标			
1	具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等		6.1.1	/
2	具有无线信道建模功能，支持统计建模及几何建模		6.1.2	/
3	具有自组网拓扑仿真功能		6.1.3	5.7
4	支持上行和下行链路仿真功能		6.1.4	5.2
5	支持动态环境仿真功能		6.1.5	/
6	具有 MIMO 信道仿真功能		6.1.6	/
7	支持时延动态连续变化		6.1.7	/
8	支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等		6.1.8	/
9	支持标准信道模型仿真		6.1.9	/
10	支持多种制式干扰信号生成		6.1.10	/
11	支持输入功率检测功能		6.1.11	5.7
12	支持以太网远程控制功能		6.1.12	/
（二）	性能指标			
1	通道数	16	6.2.1	5.1
2	输入/输出端口数	16（双向/单向可配置）	6.2.2	5.2

6.5 测试框图及测试项索引

3	输出端口数	16	6.2.3	5.2
4	工作频段	1MHz～6GHz	6.2.4	5.2
5	单通道最大带宽	500	6.2.5	5.3
6	输出电平范围	-120～0	6.2.6	5.1
7	输出电平准确度	±1.0（≥-100dBm 时）	6.2.7	/
8	输出电平分辨率	0.1	6.2.8	5.8
9	输入电平范围	-50～+35（peak，＞100MHz 时），-50～+15（peak，≤100MHz 时）	6.2.9	5.1
10	信道配置拓扑	一字型、星型、全联通、若干子网	6.2.10	5.8
11	每个信道衰落路径数	最大 48	6.2.11	5.4
12	衰落类型	常量、瑞利（Rayleigh）、莱斯（Rice）、对数正态、Suzuki、纯多普勒、平坦、圆形、高斯、双高斯、Jakes、经典 3dB、经典 6dB、用户自定义	6.2.12	5.4
13	相对路径衰落损耗	最大 60	6.2.13	5.2
14	最大多普勒频移	±3	6.2.14	5.2
15	最大路径时延	1	6.2.15	5.2
16	时延类型	常数、正弦滑动时延、线性滑动时延、3GPP 增消、3GPP 滑动时延组、用户定义		
17	标准信道模型	3GPPLTE、WCDMA、GSM/EDGE、CDMA、3GPP2（IS-54，IS-95）、ITU3G、WLAN、38.901TDL CDL 模型等		
18	干扰类型	AWGN 噪声、CW 干扰、梳状干扰、跳频干扰、扫频干扰、脉冲干扰、均匀分布干扰、调频干扰、调幅干扰、		

		调相干扰		

6.6 测试方法

6.6.1 功能指标测试

6.6.1.1 无线信道仿真功能
内容如下：

a） 测试项目说明

测试本产品具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟（即时延）、多径衰落、干扰以及噪声等。

b） 测试步骤

1） 路径损耗仿真测试与4.6.8.13合并测试。

2） 时延仿真测试与4.6.8.16合并测试。

3） 多径衰落仿真测试与4.6.8.12合并测试。

4） 干扰以及噪声仿真测试与4.6.8.18合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.12、4.6.8.13、4.6.8.16、4.6.8.18 均合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.2 无线信道建模功能
内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品本产品具有无线信道建模功能。

b） 测试步骤

与 4.6.8.12 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.12 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.3 自组网拓扑仿真功能

6.6 测试方法

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品本产品具有自组织网络拓扑模拟与仿真功能。

b） 测试步骤

与 4.6.8.10 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.10 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.4 上下行链路仿真功能

内容如下：

测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具备上下行链路仿真功能。

测试步骤

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：加载 100M 固件、信道类型 SISO、使用双工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-20dBm、上行、下行皆选择 OUT 端口输出。

观测频谱分析仪输出信号。

信号发生器输出端口连接本产品的 IO9，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪，观测频谱分析仪输出信号。

合格判据

5），6）中都观察到输出信号。

测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.5 动态环境仿真功能

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具备动态环境仿真功能。

b) 测试步骤

设置信号发生器：频率 1GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 1GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：加载 100M 固件、信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 1GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-20dBm，打开信道编辑，选择动态仿真，设置仿真时长为 10000ms，仿真间隔为 1000ms，增加一条子径，衰落类型为常数纯多普勒，频偏设为 0Hz，设置直线轨迹参数，y 轴坐标设置 5000，速度为 1000m/s,点击开始仿真。

观测频谱分析仪输出信号多普勒变化。

按图 2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的端口 IO1，信号发生器输出端口连接示波器的通道 1，本产品端口 OUT1 连示波器通道 2。

设置频谱分析仪:中心频率 1GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm,样式脉冲信号、脉冲周期 12us，脉宽 1us。

设置本产品：信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 1GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-20dBm，打开信道编辑，选择动态仿真，设置仿真时长为 10000ms，仿真间隔为 1000ms，增加一条子径，衰落类型为常数纯多普勒，频偏设为 0Hz，设置直线轨迹参数，速度为 1000m/s，点击开始仿真。

观测示波器输出信号时延变化。

c) 合格判据

频谱分析仪显示信号随时间变化，示波器显示脉冲信号随时间跳动。

d) 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.6 MIMO 信道仿真功能

内容如下：

a) 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具有 MIMO 信道仿真功能。

b) 测试步骤

按图 1 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

6.6 测试方法

设置本产品 MIMO 仿真：加载 100M 固件、信道类型 MIMO、使用单工配置、基站数 16、终端数 16、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-20dBm、使用 OUT 端口输出。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的本产品的输出信号。

按上述步骤，本产品的 OUT1~OUT16 口连接到频谱分析仪，其他设置项保持不变，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

信号发生器输出端口分别连接本产品的 IO2~IO16，频谱分析仪连接 OUT1，观测频谱分析仪显示的输出信号。

软件界面配置所有输出端口为 IO 输出，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 IO2~IO16 口连接到频谱分析仪，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

信号发生器输出端口连接本产品的 IO2，本产品的 IO1 口连接到频谱分析仪，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

c) 合格判据

6），7），8），9）中均观测到输出信号。

d) 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.7 时延动态连续变化
内容如下：

a) 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持时延动态连续变化。

b) 测试步骤

与 4.6.8.16 合并测试。

c) 合格判据

4.6.8.16 合格。

d) 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.8 信道模型编辑功能
内容如下：

a) 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等功能；

b） 测试步骤

与 4.6.8.12、4.6.8.17 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.12、4.6.8.17 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.9 标准信道模型仿真功能
内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持标准信道模型仿真。

b） 测试步骤

与 4.6.8.17、4.6.8.12 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.17，4.6.8.12 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.10 多种制式干扰信号生成功能
内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具有多种制式干扰信号生成功能。

b） 测试步骤

本测试项与 4.6.8.18 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.18 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.11 功率检测功能
内容如下：

a） 测试项目说明

6.6 测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具有输入信号功率检测功能。

b） 测试步骤

输入信号功率检测与 4.6.8.9 合并测试。

c） 合格判据

4.6.8.9 合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.12 以太网远程控制功能

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具备以太网远程控制功能。

b） 测试步骤

按图 3 所示连接好测试仪器，笔记本电脑网口连接本产品的前面板的 LAN 口。

设置笔记本电脑与本产品在同一网段，通过 SocketTool 发送如下程控指令：

● BSTation:NUMBer 1

设置基站数量为 1

●USEuip:NUMBer 1

设置终端数量为 1

● BSTation1:ANTNumber 1

设置基站 1 天线数量为 1

● USEuip1:ANTNumber 1

设置终端 1 天线数量为 1

● MODE:BOTH:SWITch OFF

设置仿真模型为单工配置

● MODE:TYPE NARR,STASISO

设置仿真模型为静态 SISO，窄带模式

● UPL:FREQuency 3000MHz

设置仿真的上行频率为 3000MHz

● DOWN:FREQuency 3000MHz

设置仿真的下行频率为 3000MHz

● INPut1:FREQuency 3000MHz

设置输入通道 1 的频率为 3000MHz

● OUTPut1:FREQuency 3000MHz

设置输出通道 1 的频率为 3000MHz

● INPut1:SELect ON

设置输入通道 1 的开关状态为开

● OUTPut1:SELect ON

设置输出通道 1 的开关状态为开

● TEST:STARt

启动测试,开启通道,注意每次启动信道模拟测试后,需执行测试停止命令后才能重新开始

● STAR1:STOP1:MULT:NUM 1

设置 IO1 入 OUT1 出多径数量 1

● STAR1:STOP1:MULT:SPEC 6

设置多径谱型为纯多普勒

● STAR1:STOP1:MULT:DOPP:OFFS 10kHz

设置多普勒频偏为 10kHz

● OUTP:MULT:STAR

输出多径开始

观测频谱分析仪收的信号，实验结束发送“TEST:STOP”，停止测试。

c) 合格判据

频谱分析仪接收到信号发生器通过本产品发送的 3GHz 叠加 10kHz 频偏的信号。

d) 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.13 兼容第三方自定义信道模型功能

内容如下：

a) 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持兼容第三方自定义信道模型载入。

6.6 测试方法

b） 测试步骤

按图 1 所示连接好测试仪器，连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 100kHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-20dBm。打开下载系数，导入 Wireless 文件，该文件由 Wireless Insite 软件导入本产品的信道建模工具后生成，包括 25 条径。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱，查看信号的频谱是否符合设置要求。

c） 合格判据

接收信号路径数量符合 25 条，则判定合格。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.14 实时状态检测功能

内容如下：

a）测试目的

测试实时监控信道模拟器各个载板的当前工作状态（包括各个载板当前工作电压、电流和温度），以及下变频器当前工作状态。

b）测试步骤

系统菜单下的自检测菜单，可实时监视各个载板以及下变频器当前工作状态。

c）合格判据

具有监控系统状态的功能，实时监控信道模拟器各个载板的当前工作状态（包括各个载板当前工作电压、电流和温度），以及下变频器当前工作状态。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.15 同步授时功能

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具有同步授时功能。

b） 测试步骤

打开本产品的源触发设置，点击应用。

在本产品软件界面上观察到采集到的经纬度信息和卫星参考时间。

c） 合格判据

观测到与测试场合相符合的经纬度信息和时间。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.16 三维动态信道建模功能

内容如下：

a） 测试项目说明

测试本产品具有三维动态信道建模功能。



图4（a） 飞机模型预览

6.6 测试方法

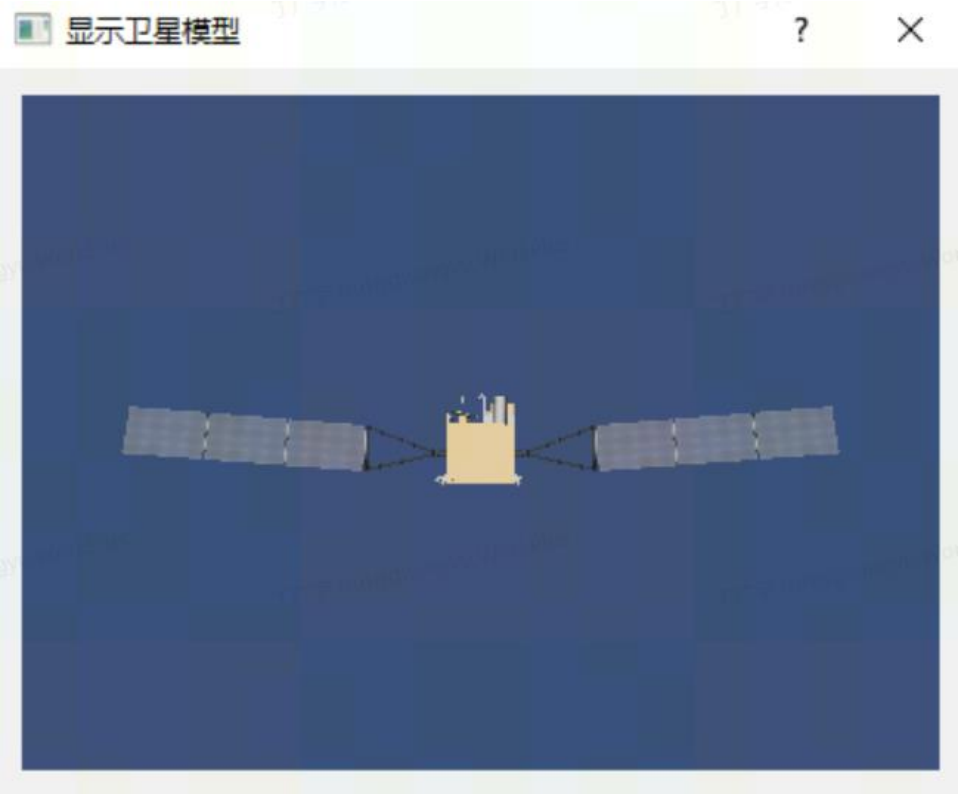


图4（b） 卫星模型预览

b） 测试步骤

打开卫星三维可视化仿真工具，点击装备添加，在下拉框中选择飞机，再点击显示模型如图所示；关闭显示模型，点击确定；

点击装备添加，在下拉框中选择卫星，再点击显示模型如图 4（a）所示；关闭显示模型，点击确定；

点击仿真参数，设置仿真时长为 1000s，仿真间隔为 10s。在下拉框中选择卫星，再点击显示模型如图 4（b）所示；关闭显示模型，点击确定；

完成装备部署和仿真参数配置后，点击主界面上方的开始仿真按钮，开始进行仿真，部署的装备即刻开始按照预设的运动轨迹进行运动，下方状态栏和时间轴也随仿真时间进行同步进行更新。

c） 合格判据

2）、3）中观察到的仿真模型与图示相符；4）观察到三维可视化的动态建模仿真。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.1.17 自动校准功能

内容如下：

a) 测试项目说明

具备不依赖外接仪表开展自动校准，支持对所有通道进行全部时延相位一致性自动化校准。

b) 测试步骤

与 6.6.2.37 合并测试；

c) 合格判据

6.6.2.37 合格。

d) 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2 性能指标测试

6.6.2.1 通道数量

a）测试目的

测试设备可使用通道数量 16 条（全双工工作模式）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪测试本产品可使用通道数量 16 条（全双工工作模式）。

c）测试步骤

按 6.5.1 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：点击拓扑模拟、点击测试节点，设置测试节点个数 16、勾选自动生成拓扑、点击通道配置勾选 I/O 输出、配置节点 1 节点频率 3000MHz、输入功率 0dBm、输出功率 -40dBm、点击同步参数。

打开拓扑开启开关，频谱分析仪分别连接本产品的 IO2～IO16，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

按上述步骤，信号发生器输出端口分别连接本产品的 IO2～IO16，相应本产品的其他 IO 口分别连接到频谱分析仪，其他设置项保持不变，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

d）合格判据

频谱分析仪观测到的本产品 16 个 IO 口的输出信号。

6.6.2.2 频段范围

a）测试目的

测试频段范围：1MHz～6GHz。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品频段范围：1MHz～6GHz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 1MHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 1MHz、频宽 1kHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、开启短波超短波仿真、使用双工配置、输入频率 1MHz、输入参考 0dBm、输出频率 1MHz、输出功率-10dBm。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号的频率。

按上述步骤，关闭短波超短波仿真，分别设置信号发生器频率 1GHz、3GHz、6GHz，频谱分析仪中心频率 1GHz、3GHz、6GHz，本产品输入频率、输出频率 1GHz、3GHz、6GHz，其他设置项保持不变，观测频谱分析仪显示信号输出。

d）合格判据

输出信号的频率与设置值偏差满足 1MHz±3Hz、1GHz±50Hz、3GHz±150Hz、6GHz±300Hz，且频谱分析仪接收到的信号功率不小于-15dBm。

6.6.2.3 频率分辨率

a）测试目的

测试频率分辨率：1Hz。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品测试频率分辨率：1Hz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 10Hz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、使用双工配置、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频

率 10MHz、输出功率-10dBm。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号的频率并标记。

设置信号发生器频率 3.000000001GHz，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号的频率与步骤 5 标记的频率偏差值。

d）合格判据

频率偏差值约等于 1Hz。

6.6.2.4 单通道最大带宽

a）测试目的

测试单通道最大带宽 500MHz（所有通道每个通道同时最大带宽 500MHz）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品的单通道最大带宽：500MHz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、2.7GHz～3.3GHz 扫频、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 600MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：打开固件版本加载，加载 500M，使用双工配置、信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-20dBm。

打开运行开关，频谱分析仪轨迹最大保持，观测中心频率左右各 3dB 功率差处的频带带宽是否满足≥500MHz 的要求。

重复上述步骤，信号发生器分别接 IO2~IO16，频谱分析仪分别接 OUT10~OUT16、OUT1~OUT8，观测中心频率左右各 3dB 功率差处的频带带宽是否满足≥500MHz 的要求。

d）合格判据

各通道带宽大于等于 500MHz。

6.6.2.5 单通道多径数量

a）测试目的

测试单通道多径数量最大 48 条（500MHz 信号带宽时）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品单通道多径数量最大 48 条（500MHz 信号带宽时）。

c）测试步骤

按 6.5.3 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 50kHz、幅度 0dBm。

设置本产品：打开固件版本加载，加载 500M 固件，信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm，输出频率 3GHz、输出功率-10dBm，导入数据文件 STAT_Ray_48Taps，该文件为 48 条路径，衰落类型各路径均为瑞利谱。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号路径数量。

d）合格判据

频谱分析仪显示的接收信号路径数量符合 48 条。

6.6.2.6 MIMO 测试

a）测试目的

测试支持最大 16*16MIMO 信道仿真(MIMO 模式下所有通道每个通道同时最大带宽不低于 500MHz)。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持最大 16*16MIMO 信道仿真(MIMO 模式下所有通道每个通道同时最大带宽不低于 500MHz)。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，频谱分析仪连接本产品的 IO9。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：打开固件版本加载，加载 500M 固件，信道类型 MIMO、使用双工配置、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm，导入数据文件 STAT_MIMO_16×16_Gauss，该文件为 16×16 MIMO 测试文件，衰落类型各路径均为高斯谱。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的本产品的输出信号。

按上述步骤，本产品的 IO10~IO16 连接到频谱分析仪，其他设置项保持不变，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

重复上述步骤，信号发生器输出端口分别连接本产品的 IO2~IO16，观测频谱分析仪显示的本产品 IO9~IO16 或 IO1~IO8 的输出信号。

d）合格判据

I01 至 I09~I016,I02 至 I09~I016,I03 至 I09~I016,I04 至 I09~I016,I05 至 I09~I016，I06 至 I09~I016，I07 至 I09~I016，I08 至 I09~I016，I09 至 I01~I08，I010 至 I01~I08，I011 至 I01~I08，I012 至 I01~I08，I013 至 I01~I08，I014 至 I01~I08，I015 至 I01~I08，I016 至 I01~I08，频谱分析仪均接收到输出的高斯谱。

6.6.2.7 用户自定义信道建模

a）测试目的

测试支持用户自定义信道建模。

b）测试方法

本测试是利用信道建模工具验证本产品支持用户自定义信道建模。

c）测试步骤

选择信道建模工具的信道模型库。

选择小尺度模型，点击小尺度模型管理。

点击打开，可导入预置信道模型文件，可做添加子径和删除子径操作，可修改子径的参数。

点击保存按钮，可存储信道模型文件。

选择大尺度模型，点击新建大尺度模型。

选择打开大尺度模型，可导入大尺度模型参数。

可设置修正因子和衰减常数因子。

点击保存按钮，可存储信道模型文件。

d）合格判据

用户可测试编辑多径参数、多普勒频移、信噪比参数以及大尺度衰落模型，并可保存无线衰落信道文件和打开无线衰落信道文件。

6.6.2.8 时延分辨率

a）测试目的

测试时延分辨率 1ns。

b）测试方法

本测试是矢量网络分析仪验证时延分辨率 1ns。

c）测试步骤

6.6 测试方法

矢量网络分析仪的端口 1 和端口 2 进行导线相连进行传输时延校准。

按 6.5.7 所示连接好测试仪器,矢量网络分析仪端口 1 连接本产品的 IO1,本产品的 OUT9 连接矢量网络分析仪端口 2。

设置矢量网络分析仪：测试模式设置为群时延测量，信号发射频率 3GHz,功率 0dBm,信号带宽 6.4MHz,显示精度为 1us。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm,导入数据文件时延为 6.4us 与 6.401us 的文件。

打开运行开关，观测矢量网络分析仪的显示值。

d）合格判据

矢量网络分析仪的显示差值约等于 1ns。

6.6.2.9 MESH 工作模式

a）测试目的

测试支持模拟 MESH 工作模式。

测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持模拟 MESH 工作模式。

测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：点击拓扑模拟、点击测试节点，设置测试节点个数 16、勾选自动生成拓扑、点击通道配置勾选 I/O 输出、配置节点 1 节点频率 3000MHz、输入功率 0dBm、输出功率-40dBm、点击同步参数。

打开拓扑开启开关，频谱分析仪分别连接本产品的 IO2～IO16，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

按上述步骤，信号发生器输出端口分别连接本产品的 IO2～IO16，相应本产品的其他 IO 口分别连接到频谱分析仪，其他设置项保持不变，观测频谱分析仪显示的本产品输出信号。

合格判据

频谱仪观测到输出信号。

6.6.2.10 参数控制接口

a）测试目的

测试本设备提供参数控制接口，收到控制信号解析后的响应完成时间不超过 100ms，实现对信道的快速实时在线控制和无线信道模拟器参数更改（如功率衰减值调整、衰落模型变更、多径数量及每条路径的延时控制、干扰控制），功率衰减值调整（30dB 范围内）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具有外部接口控制功能，可以通过 LAN 接口，导入外部控制指令，实时更新无线信道模型。

c）测试步骤

1）按 5.8 所示连接好测试仪器，笔记本电脑网口连接本产品的后面板的 LAN 口。

2）设置笔记本电脑与本产品在同一网段，通过 SocketTool 发送如下程控指令：

BSTation:NUMBer 1

设置基站数量为 1

USEuip:NUMBer 1

设置终端数量为 1

BSTation1:ANTNumber 1

设置基站 1 天线数量为 1

USEuip1:ANTNumber 1

设置终端 1 天线数量为 1

MODE:BOTH:SWITch OFF

设置仿真模型为单工配置

MODE:TYPE NARR,STASISO

设置仿真模型为静态 SISO，窄带模式

UPL:FREQuency 3000MHz

设置仿真的上行频率为 3000MHz

DOWN:FREQuency 3000MHz

设置仿真的下行频率为 3000MHz

INPut1:FREQuency 3000MHz

设置输入通道 1 的频率为 3000MHz

OUTPut1:FREQuency 3000MHz

设置输出通道 1 的频率为 3000MHz

6.6 测试方法

INPut1:SELect ON

设置输入通道 1 的开关状态为开

OUTPut1:SELect ON

设置输出通道 1 的开关状态为开

TEST:STARt

启动测试,开启通道,注意每次启动信道模拟测试后,需执行测试停止命令后才能重新开始

STAR1:STOP5:MULT:NUM 1

设置 IO1 入 OUT1 出多径数量 1

STAR1:STOP1:MULT:SPEC 6

设置多径谱型为纯多普勒

STAR1:STOP1:MULT:DOPP:OFFS 10kHz

设置多普勒频偏为 10kHz

OUTP:MULT:STAR

输出多径开始

3）观测软件的输出日志信息，记录响应时间差值，实验结束发送“TEST:STOP”，停止测试。

d）合格判据

软件输出的日志中响应完成时间不超过 100ms。

6.6.2.11 时延范围

a）测试目的

测试时延范围：5us～200ms（500MHz 信号带宽）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器、示波器验证本产品时延范围：5us～200ms（500MHz 信号带宽）。

c）测试步骤

按 6.5.4 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的端口 IO1，信号发生器输出端口连接示波器的通道 1，本产品端口 OUT1 连示波器通道 2。

设置信号发生器：频率 1GHz、功率 0dBm、样式脉冲信号、脉冲周期 100us，脉宽 10us。

设置示波器：横轴 5us/DIV。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 1GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-10dBm，打开信道编辑，勾选小时延，添加一条子径，类型纯多普勒，设置 x≤1500。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测示波器 2 组脉冲信号间隔。

按上述步骤，设置信号发生器：频率 1GHz、功率 0dBm、样式脉冲信号、脉冲周期 500ms，脉宽 10ms，设置示波器：横轴 500ms/DIV，设置本产品：x≥60000000。

d）合格判据

步骤 5）脉冲信号间隔不超过 5us，步骤 6）脉冲信号间隔不小于 200ms。

6.6.2.12 多径相对时延范围

a）测试目的

测试多径相对时延范围：0us～4ms。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器、示波器验证本产品多径相对时延范围：0us～4ms。

c）测试步骤

按 6.5.5 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的端口 IO1，本产品端口 OUT1 连接示波器。

设置信号发生器：频率 1GHz、功率 0dBm、样式脉冲信号、脉冲周期 10ms，脉宽 1ms。

设置示波器：横轴 5ms/DIV。

设置本产品：加载 100M-4ms 固件，信道类型 SISO、输入频率 1GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-10dBm，打开信道编辑，添加两条子径，类型多普勒，时延分别设为 0us 和 4ms，点击开始仿真。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测示波器 2 组脉冲信号间隔。

d）合格判据

步骤 5）脉冲信号间隔不小于 4ms。

6.6.2.13 最大多普勒频移

a）测试目的

测试最大多普勒频移：±1.5MHz。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪验证本产品的最大多普勒频移：±1.5MHz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm，输出频率 3GHz、输出功率-10dBm，打开信道编辑，添加 2 条子径，衰落类型设置为纯多普勒，多普勒频率设置为 0Hz±1.5MHz，相对路径损耗均设置为 0dB，相对路径时延均设置为 0μs。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱，记录 2 条路径信号频率与中心频率差值。

d）合格判据

路径信号频率测试数据满足-1.5±0.075MHz、1.5±0.075MHz 要求。

6.6.2.14 多普勒频移精度

a）测试目的

测试多普勒频移精度：1Hz。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪验证本产品的多普勒频移精度：1Hz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm，输出频率 3GHz、输出功率-10dBm，打开信道编辑，增加一条子径，衰落类型为常数纯多普勒，频偏设为 0Hz，点击开始仿真，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱，标记信号峰值频率，然后设置纯多普勒径的频偏为 1Hz，点击开始仿真，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱，标记信号峰值频率，记录两个峰值频率差值差值。

d）合格判据

路径信号频率测试数据满足差值约等于 1Hz 要求。

6.6.2.15 输出信号功率范围

a）测试目的

测试输出信号功率范围：-10dBm～-120dBm。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品的输出信号功率范围：-10dBm～-120dBm。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

依次设置本产品输出功率-60dBm、-90dBm、-120dBm，设置输出信号精调，调整本产品的输出功率，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

按照步骤 2）～6），设置本产品的输出频率依次为 10MHz（打开短波超短波仿真）、30MHz（打开短波超短波仿真）、100MHz（打开短波超短波仿真）、800MHz、1500MHz、6GHz，分别观测频谱分析仪显示的信号功率值。

d）合格判据

频谱分析仪显示的信号功率值满足设置值±1.0dB 范围内。

6.6.2.16 输出信号功率准确度

a）测试目的

测试输出信号功率准确度≤±1dB。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品的输出信号功率准确度≤±1dB。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。

6.6 测试方法

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

依次设置本产品输出功率-60dBm、-90dBm、-120dBm，设置输出信号精调，调整本产品的输出功率，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

按照步骤 2）～6），设置本产品的输出频率依次为 10MHz（打开短波超短波仿真）、30MHz（打开短波超短波仿真）、100MHz（打开短波超短波仿真）、800MHz、1500MHz、6GHz，分别观测频谱分析仪显示的信号功率值。

d）合格判据

频谱分析仪显示的信号功率值满足设置值±1.0dB 范围内。

6.6.2.17 输入信号功率范围

a）测试目的

测试输入信号功率范围：-40dBm～35dBm（峰峰值），最大输入信号功率均值 33dBm。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品射频输入-40dBm～35dBm（峰峰值），最大输入信号功率均值 33dBm。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口通过衰减器连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率-40dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考-40dBm。

打开运行开关，观测无线信道模拟器显示的信号功率值，记录无线信道模拟器显示的信号功率值与衰减器之和。

按照步骤 2）～4），分别设置信号发生器功率为 0dBm、33dBm，本产品的输入参考功率分别为 0dBm、0dBm，输出功率-20dBm、-20dBm，衰减器衰减值分别为 0dBm、30dBm，其它参数不变，观测无线信道模拟器显示的信号功率值，记录无线信道模拟器显示的信号功率值与衰减器之和。

按照步骤 2）～6），分别设置信号发生器：样式正弦波、10MHz、1GHz、6GHz，分别设置本产品设备中心频率 10MHz(勾选短波超短波仿真)、1GHz、6GHz，输出功率与上述保持一致，观测无线信道模拟器显示的信号功率值，记录无线信道模拟器显示的信号功率值与衰减器之和。

d）合格判据

观测无线信道模拟器显示的信号功率值满足设置值±3dB。

6.6.2.18 输入、输出端口驻波

a）测试目的

测试输入、输出端口驻波：小于 1.50。

b）测试方法

本测试是利用矢量网络分析仪验证本产品输入、输出端口驻波：小于 1.50。

c）测试步骤

按 6.5.7 所示，电缆按照实线提示连接，本产品的 IO1 连接矢量网络分析仪。

矢量网络分析仪设置为[测试]，[S11]，[格式]，[驻波比]，频率设置为 10MHz～6GHz，扫频时间 1s，测量点数 1001 点。记录频段范围内驻波比最差值。

按照步骤 1）～2），矢量网络分析仪依次连接本产品的 IO2～IO8、OUT1～OUT8，记录频段范围内驻波比最差值。

d）合格判据

频段范围内驻波比最差值＜1.50。

6.6.2.19 大尺度衰落范围

a）测试目的

测试大尺度衰落范围（相对路径损耗）：110dB。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品测试大尺度衰落范围（相对路径损耗）：110dB。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口通过衰减器连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 6GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 6GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 6GHz、输入参考 0dBm、输出频率 6GHz、输出功率-110dBm。

打开运行开关，设置输出信号精调，调整本产品的输出功率，观测频谱分析仪显示的信号功率值是否满足设置值±1dB。

d）合格判据

观测频谱分析仪显示的信号功率值满足设置值±1dB。

6.6.2.20 底噪

a）测试目的

测试底噪：不高于-150dBm/Hz。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品底噪：不高于-150dBm/Hz。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 1GHz、功率 0dBm，RF-OFF。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 1GHz、输入参考 0dBm、输出频率 1GHz、输出功率-40dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 990MHz、幅度-70dBm。MARK 设置为 990MHz，打开噪声测量功能，打开前置放大 30dB，记录噪声功率值。

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的噪声功率值。

d）合格判据

观测频谱分析仪显示的噪声功率值满足≤-150 dBm/Hz。

6.6.2.21 通道间隔离度

a）测试目的

测试通道间隔离度不小于：120dB。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品测试通道间隔离度不小于：120dB。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT2 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率为 3GHz、功率 20dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 10kHz、幅度-50dBm。

设置本产品：信道类型 SISO，输入频率 3GHz，输入参考 20dBm，输出频率 3GHz，输出功率-50dBm，信号发生器的功率与观测频谱分析仪显示的信号功率差值是否满足≥120dB。

按照上述步骤，本产品的 OUT3～OUT16 连接频谱分析仪，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

d）合格判据

信号发生器的功率与观测频谱分析仪显示的信号功率差值是否满足≥120dB。

6.6.2.22 EVM 测试

a）测试目的

测试 EVM <1%@256QAM，100MHz 调制信号，2GHz 频点。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品 EVM < 1%@256QAM，100MHz 调制信号，2GHz 频点。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器调制信号参数与信号分析仪解调配置一致，2GHz 载波、256QAM 调制、符号速率 100MHz，滤波器 RRC、滤波因子 0.35。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 2GHz、输入参考 0dBm、输出频率 2GHz、输出功率-10dBm。

打开运行开关，利用信号分析仪测试的接收信号的 EVM。

d）合格判据

信号分析仪测试的接收信号的 EVM 是否与信号源 EVM 指标相比恶化＜1%@RMS。

6.6.2.23 输出信号功率分辨率

a）测试目的

测试输出信号功率分辨率：0.1dB。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品的输出信号功率分辨率：0.1dB。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考-10dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。

6.6 测试方法

打开运行开关，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

设置本产品输出精调-0.1dB。

d）合格判据

频谱分析仪显示的信号功率差值约等于 0.1dB。

6.6.2.24 输出信号非谐波失真

a）测试目的

测试输出信号非谐波失真（非杂散抑制）：≤-40dBc。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品输出信号非谐波失真：≤-40dBc。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 500MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。

打开运行开关，记录 500M 带宽频带内杂散最大信号功率值与输出信号功率差值。

按上述步骤，设置本产品的工作频率为 10MHz（开启短波超短波仿真）、30MHz（开启短波超短波仿真）、100MHz（开启短波超短波仿真）、800MHz、1500MHz、5750MHz，记录 1MHz、20MHz、50MHz、500M、500M、500M 带宽频带内杂散最大信号功率与输出信号功率差值。

d）合格判据

输出信号非谐波失真≤-40dBc。

6.6.2.25 远程控制接口

a）测试目的

测试支持远程控制接口（支持网络接口）。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持远程控制接口（支持网络接口）。

c）测试步骤

1）按 6.5.8 所示连接好测试仪器，笔记本电脑网口连接本产品的后面板的 LAN 口。

2）设置笔记本电脑与本产品在同一网段，通过 SocketTool 发送如下程控指令：

BSTation:NUMBer 1

设置基站数量为 1

USEuip:NUMBer 1

设置终端数量为 1

BSTation1:ANTNumber 1

设置基站 1 天线数量为 1

USEuip1:ANTNumber 1

设置终端 1 天线数量为 1

MODE:BOTH:SWITch OFF

设置仿真模型为单工配置

MODE:TYPE NARR,STASISO

设置仿真模型为静态 SISO，窄带模式

UPL:FREQuency 3000MHz

设置仿真的上行频率为 3000MHz

DOWN:FREQuency 3000MHz

设置仿真的下行频率为 3000MHz

INPut1:FREQuency 3000MHz

设置输入通道 1 的频率为 3000MHz

OUTPut1:FREQuency 3000MHz

设置输出通道 1 的频率为 3000MHz

INPut1:SELect ON

设置输入通道 1 的开关状态为开

OUTPut1:SELect ON

设置输出通道 1 的开关状态为开

TEST:STARt

启动测试,开启通道,注意每次启动信道模拟测试后,需执行测试停止命令后才能重新开始

STAR1:STOP1:MULT:NUM 1

设置 IO1 入 OUT1 出多径数量 1

STAR1:STOP1:MULT:SPEC 6

设置多径谱型为纯多普勒

STAR1:STOP1:MULT:DOPP:OFFS 10kHz

设置多普勒频偏为 10kHz

OUTP:MULT:STAR

输出多径开始

3）观测频谱分析仪收的信号，实验结束发送“TEST:STOP”，停止测试。

d）合格判据

频谱分析仪接收到信号发生器通过无线信道模拟器发送的 3GHz 叠加 10kHz 频偏的信号。

6.6.2.26 支持 AWGN 及 CW 干扰

a）测试目的

测试支持 AWGN 及 CW 干扰，可根据用户需求扩展定制开发干扰；支持 AWGN、CW、梳状、扫频、调频干扰或用户自定义干扰，用户自定义干扰可设置的参数有：信噪比（-20dB～+30dB）、功率（-80dBm～-20dBm）、梳状频率间隔（0～300kHz）、扫频周期（1us～1s）、调制频偏（1kHz～1MHz）等。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品支持 AWGN 及 CW 干扰，可根据用户需求扩展定制开发干扰；支持 AWGN、CW、梳状、扫频、调频干扰或用户自定义干扰。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 100MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm、干扰类型 AWGN、信干比-20dB、输出方式信号与干扰、噪声带宽 40MHz，点击应用。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm、干扰类型 AWGN、信干比 30dB、输出方式信号与干扰、噪声带宽 40MHz，点击应用。

设置本产品干扰类型 CW、信干比 0dB、输出功率-80dBm、输出方式干扰、频率 5MHz（基

于中心频率的偏移）、相位 0 度，点击应用。

设置本产品干扰类型 CW、信干比 0dB、输出功率-20dBm、输出方式干扰、频率 5MHz（基于中心频率的偏移）、相位 0 度，点击应用。

设置本产品干扰类型梳状干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、频点个数 4、频率间隔 0Hz，点击应用。

设置本产品干扰类型梳状干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、频点个数 4、频率间隔 300kHz，点击应用。

设置本产品干扰类型扫频干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、扫频宽度 2MHz、扫频周期 1us，点击应用。

设置本产品干扰类型扫频干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、扫频宽度 2MHz、扫频周期 1s，点击应用。

干扰类型调制干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、频率 1kHz、调制类型 FM、调制频偏 1kHz，点击应用。

干扰类型调制干扰、信干比 10dB、输出方式干扰、频率 1MHz、调制类型 FM、调制频偏 1MHz，点击应用。

自定义干扰为上述干扰类型参数的设置。

d）合格判据

步骤 4）观测频谱分析仪有相应的噪声信号输出，信干比-20dB。

步骤 5）观测频谱分析仪有相应的噪声信号输出，信干比 30dB。

步骤 6）在距离中心频点 5MHz 左右观察到 CW 干扰信号，功率为-80dBm。

步骤 7）在距离中心频点 5MHz 左右观察到 CW 干扰信号，功率为-20dBm。

步骤 8）观测到单音输出信号，4 个频率重合的单音。

步骤 9）观测到 4 个频率间隔相同的单音输出信号。

步骤 10）在中心频点±1MHz 左右的频率范围内，观测到一个扫描信号，周期为 1us。

步骤 11）在中心频点±1MHz 左右的频率范围内，观测到一个扫描信号，周期为 1s。

步骤 12）在中心频点处，观测到一个 FM 信号，调制频偏为 1kHz。

步骤 13）在中心频点处，观测到一个 FM 信号，调制频偏为 1MHz。

其中，AWGN 噪声（高斯白噪声）由设计保证为对应噪声类型（参考文献：基于 FPGA 的高斯白噪声信号源实现[J].舰船电子工程.2016.06）。

6.6.2.27 码多普勒动态连续变化

a）测试目的

6.6 测试方法

测试具备码多普勒动态连续变化功能，支持不小于 500MHz 信号，精度 1Hz。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具备码多普勒动态连续变化功能，支持不小于 500MHz 信号，精度 1Hz。

c）测试步骤

按 5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 501MHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 501MHz、频宽 100Hz、幅度 0dBm。

设置本产品：加载 100M-symboldoppler 固件，设置输入频率 500MHz、输出频率 500MHz，设置输入参考 0dBm、输出功率-10dBm，点击运行开关，打开信道编辑，增加一条纯多普勒径，频偏为 0Hz，点击左侧高级工具中的码多普勒设置，配置码元速率 1MHz、起始速度 3000m/s、运动时间 10s、加速度 300m/s^2、采样间隔 1s。

观测谱形峰值频率的连续变化。

d）合格判据

频谱分析仪显示的信号谱形连续频移，步进 1Hz。

6.6.2.28 小尺度信道衰落类型

a）测试目的

测试小尺度信道衰落类型：支持常量、瑞利、莱斯、Nakagami、平坦、圆拱、高斯、Suzuki、纯多普勒等常用统计信道模型，参数可定义，可定义的参数有：相对时延、相对路径损耗(功率)、衰落类型、衰落谱型、多普勒频移、移动速度等。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪和信号发生器验证小尺度信道衰落类型：支持常量、瑞利、莱斯、Nakagami、平坦、圆拱、高斯、Suzuki、纯多普勒等常用统计信道模型，参数可定义，可定义的参数有：相对时延、相对路径损耗（功率）、衰落类型、衰落谱型、多普勒频移、移动速度等。

c）测试步骤

按 6-2 所示连接好测试仪器，连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm、输出频率 3GHz、输出功

率-10dBm。导入 STAT_ST_SISO_1x1_Ray 文件，该文件为 1 条路径，衰落类型设置为瑞利衰落，谱型为 Jakes 谱。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱，查看信号的频谱是否符合设置要求，如果符合 Jakes 谱型，如图 10（b）所示，则瑞利满足要求。

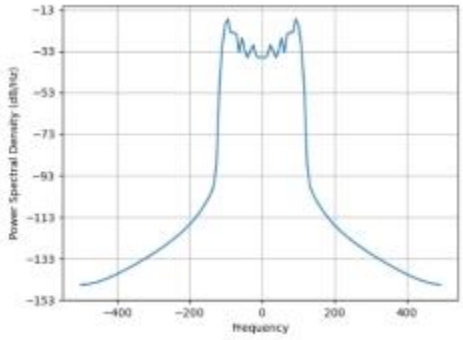
按上述步骤 2）～5），设置本产品衰落路径数为 1，衰落类型分别为纯多普勒（如图 11 所示）、莱斯（如图 12 所示）、Suzuki（如图 14 图 13 所示）、经典 3dB（如图 10（a）所示）、平坦（如图 10（c）所示）、圆拱（如图 10（d）所示）、高斯（如图 10（e）所示），常量模型为功率因子的衰减，自定义无线通信信道模型可视为标准谱型的拓展，可由标准谱型的变化而得。

衰落模型参考文献依据：

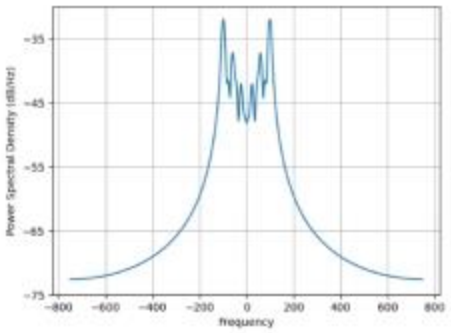
瑞利、莱斯、Nakagami、平坦、圆拱、高斯、Suzuki、纯多普勒：依据《移动衰落信道（德）佩措尔德著》。

d）合格判据

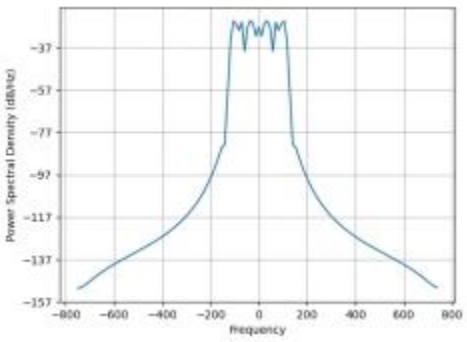
经测试专家组研判，衰落类型与仿真图相符。



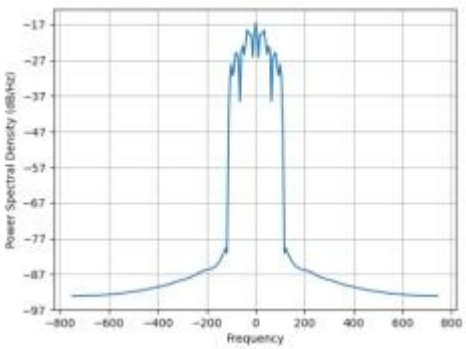
(a) 经典 3dB



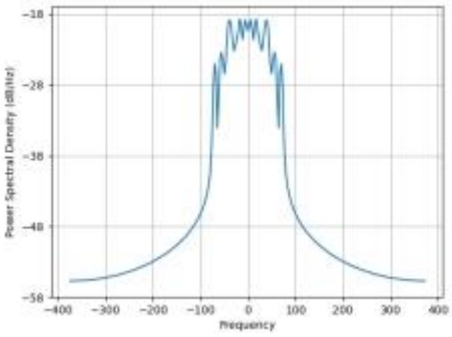
(b) Jakes



(c) 平坦



(d) 圆拱



(e) 高斯

图 6-12　瑞利分布频谱图

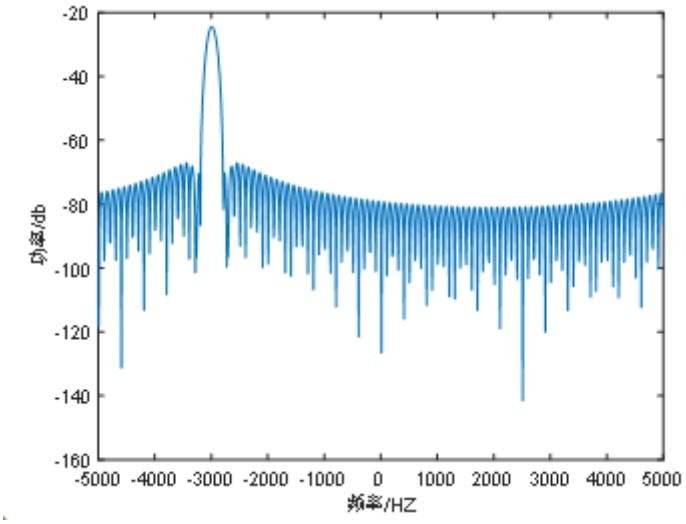


图 6-13　纯多普勒频谱图

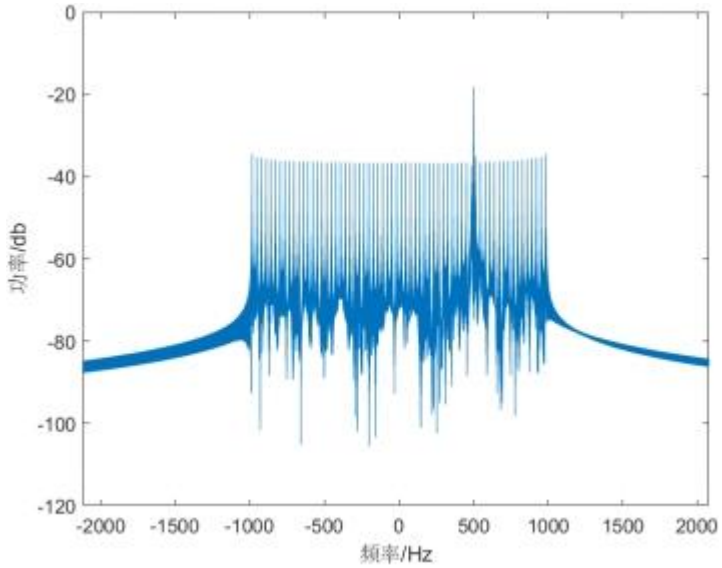


图 6-14　莱斯分布频谱图

Nakagami 模型下，在不同径数处存在 Jakes 谱形

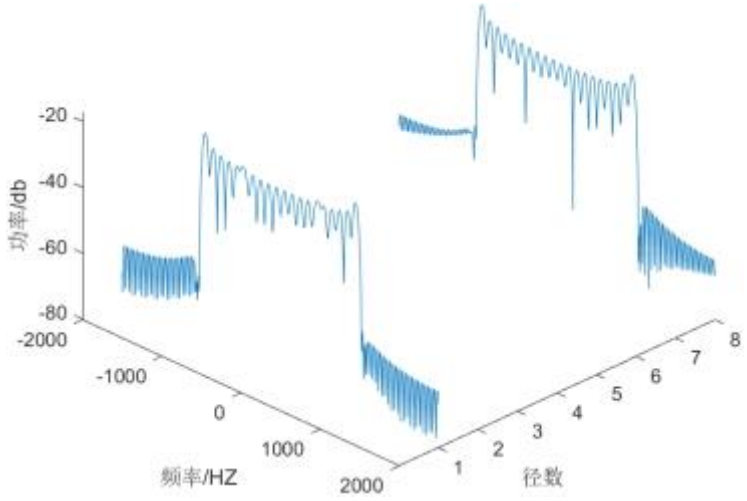


图 6-15　Nakagami 模型频谱图

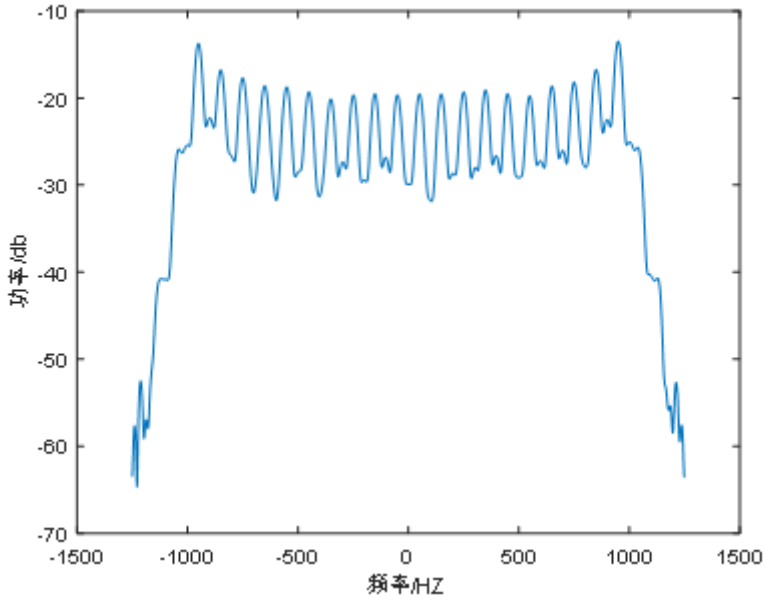


图 6-16　Suzuki 模型频谱图

6.6.2.29　大尺度衰落类型

a）测试目的

测试大尺度衰落类型：自由空间（Friis）、对数正态、Okumura/hata、IEEE802.16d、断点模型、自定义模型，可定义的参数有：场景修正因子、常数衰减因子（衰减常数因子）等。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪和信号发生器验证大尺度衰落类型：自由空间（Friis）、对数正态、Okumura/hata、IEEE802.16d、断点模型、自定义模型，可定义的参数有：场景修正因子、常数衰减因子（衰减常数因子）等。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 20dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率 20dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。导入距离为 1Km，理论大尺度衰落值为 101.9dB 的自由空间（Friis）衰落文件；距离为 1Km，理论大尺度衰落值为 102dB 的对数正态衰落文件；距离为 1Km、基站高度 30m、终端高度 1m、环境为开放环境设置下，理论衰落为 106.6dB 的 Okumura/hata 衰落文件；距离为 500m、基站高度 10m、终端高度 1m、环境类型为郊区宏小区，ART 到 BRT，树密度从中到高的丘陵地区设置下，理论衰落为 54.5dB 的 IEEE802.16d 衰落文件；距离 1Km、影响因子 10，理论衰落为 116.9dB 的断点模型文件；导入距离为 1Km、修正因子为 2、衰减常数因子为 3，理论衰落为 124.3dB 的自定义模型等信道模型文件。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱。

d）合格判据

频谱分析仪观测到的信号功率值与模型理论衰落值±3dB 范围内。

6.6.2.30 标准信道模型类型

a）测试目的

测试标准信道模型类型：3Gpp、WINER、SCME、CDMA2000、GSM、802.11TGn/TGac、3GPP MIMO 相关性建模、3GPP 38.901 射线追踪标准模型，其中 3Gpp 包含；3GPP Case 1（mobile/base）（2Path）、3GPP Case 2（mobile/base）（3Path）、3GPP Case 3（mobile/base）（4Path）、3GPP Case 4（mobile）（2Path）、3GPP Case 5（mobile）（2Path）、3GPP Case 6（mobile）Case 4（base）（4Path）、3GPP Mobile Case 7（Sector）（6Path）、3GPP Mobile Case 7（Beam）（3Path）、3GPP Mobile Case 8（CQI）（2Path）、3GPP Mobile PA3（4Path）、3GPP Mobile PB3（6Path）、3GPP Mobile VA3（6Path）、3GPP Mobile VA30（6Path）、3GPP Mobile VA120（6Path）；其中实现 GSM 标准信道模型，包括：GSM TU3（6 Path）、GSM TU50（6 Path）、GSM HT100（6 Path）GSM RA250（6 Path）、GSM ET50（EQ50）（6 Path）、GSM ET60（EQ60）（6 Path）、GSM ET100（EQ100）（6 Path）、GSM T15（2Path）。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪和信号发生器验证标准信道模型类型：3Gpp、WINER、SCME、CDMA2000、GSM、802.11TGn/TGac、3GPP MIMO 相关性建模、3GPP 38.901 射线追踪标准模型，其中 3Gpp 包含；3GPP Case 1（mobile/base）（2Path）、3GPP Case 2（mobile/base）（3Path）、3GPP Case 3（mobile/base）（4Path）、3GPP Case 4（mobile）（2Path）、3GPP Case 5（mobile）（2Path）、3GPP Case 6（mobile）Case 4（base）（4Path）、3GPP Mobile Case 7（Sector）（6Path）、3GPP Mobile Case 7（Beam）（3Path）、3GPP Mobile Case 8（CQI）（2Path）、3GPP Mobile PA3（4Path）、3GPP Mobile PB3（6Path）、3GPP Mobile VA3（6Path）、3GPP Mobile

VA30（6Path)、3GPP Mobile VA120（6Path)；其中实现 GSM 标准信道模型，包括：GSM TU3（6 Path)、GSM TU50（6 Path)、GSM HT100（6 Path) GSM RA250（6 Path)、GSM ET50（EQ50)（6 Path)、GSM ET60（EQ60)（6 Path)、GSM ET100（EQ100)（6 Path)、GSM T15（2Path)。

c）测试步骤

按 6-2 所示连接好测试仪器，连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率-10dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率-10dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。导入标准信道模型类型：3Gpp、WINER、SCME、CDMA2000、GSM、802.11TGn/TGac、3GPP MIMO 相关性建模、3GPP 38.901 射线追踪标准模型，其中 3Gpp：3GPP Case 1(mobile/base)（2Path)、3GPP Case 2（mobile/base)（3Path)、3GPP Case 3（mobile/base)（4Path)、3GPP Case 4（mobile)（2Path)、3GPP Case 5（mobile)（2Path)、3GPP Case 6（mobile）Case 4（base)（4Path)、3GPP Mobile Case 7（Sector)（6Path)、3GPP Mobile Case 7（Beam)（3Path)、3GPP Mobile Case 8（CQI)（2Path)、3GPP Mobile PA3（4Path)、3GPP Mobile PB3（6Path)、3GPP Mobile VA3（6Path)、3GPP Mobile VA30（6Path)、3GPP Mobile VA120（6Path)；其中 GSM 标准信道模型，包括：GSM TU3（6 Path)、GSM TU50（6 Path)、GSM HT100（6 Path) GSM RA250（6 Path)、GSM ET50（EQ50)（6 Path)、GSM ET60（EQ60)（6 Path)、GSM ET100（EQ100)（6 Path)、GSM T15（2Path)等信道模型文件。

表 3 3GPP_Case1(mobile_base)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	0.00	0.976000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

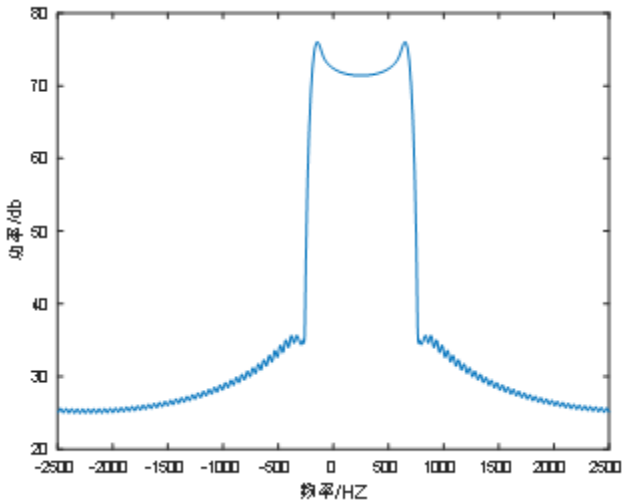


图 6-17　3GPP_Case1(mobile_base)频谱图

表 4 3GPP_Case2(mobile_base)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	0.00	0.976000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	0.00	20.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

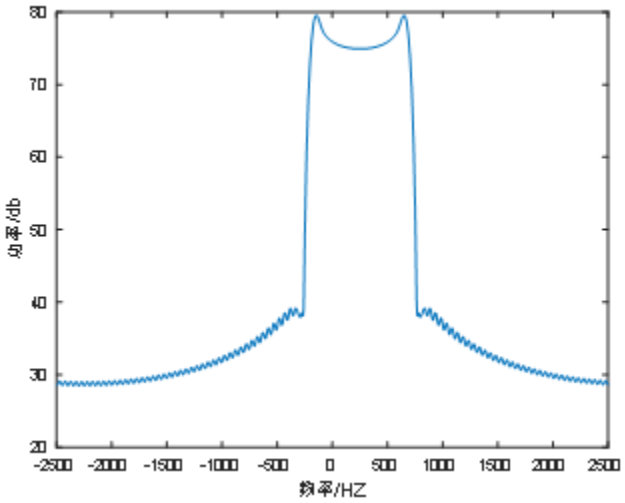


图 6-18　3GPP_Case2(mobile_base)频谱图

表 5 3GPP_Case3(mobile_base)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	-3.00	0.260000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	-6.00	0.521000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
4	-9.00	0.781000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

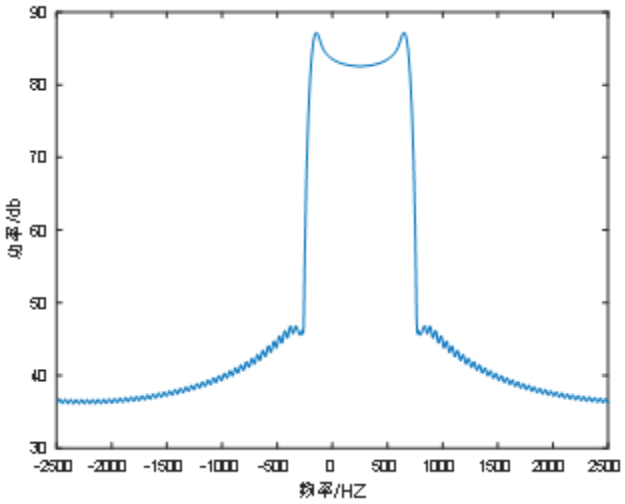


图 6-19　3GPP_Case3(mobile_base)频谱图

表 6 3GPP_Case4(mobile)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	0.00	0.976000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

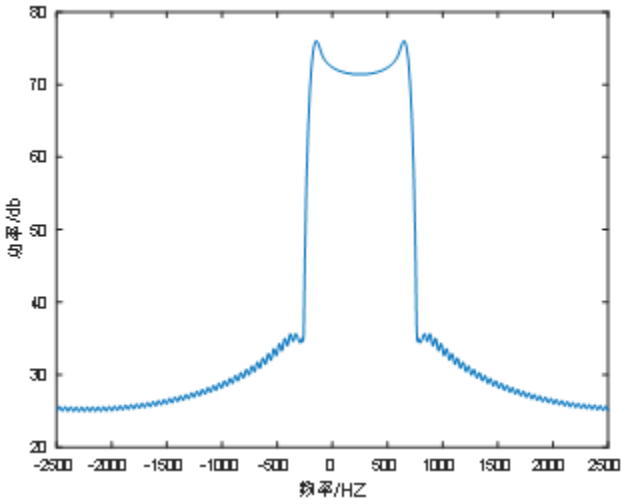


图 6-20　3GPP_Case4(mobile)频谱图

表 7 3GPP_Case5(mobile)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	-10.00	0.976000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

6.6 测试方法

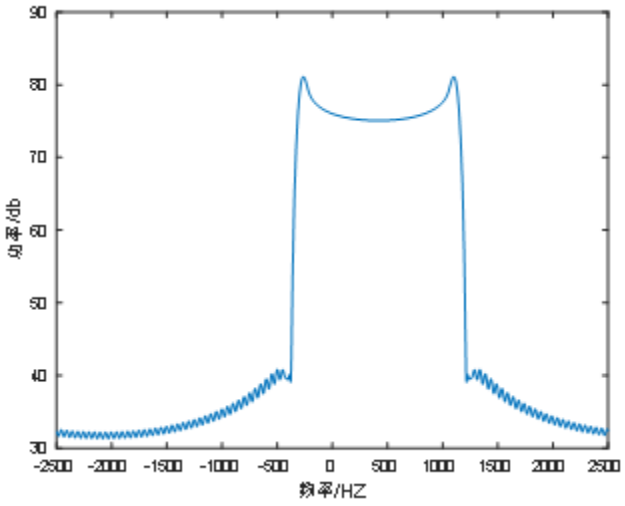


图 6-21　3GPP_Case5(mobile)频谱图

表 8 3GPP_Case6(mobile)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
2	-3.00	0.260000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
3	-6.00	0.521000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
4	-9.00	0.781000	Jacks 经典	250.000000	208.333333

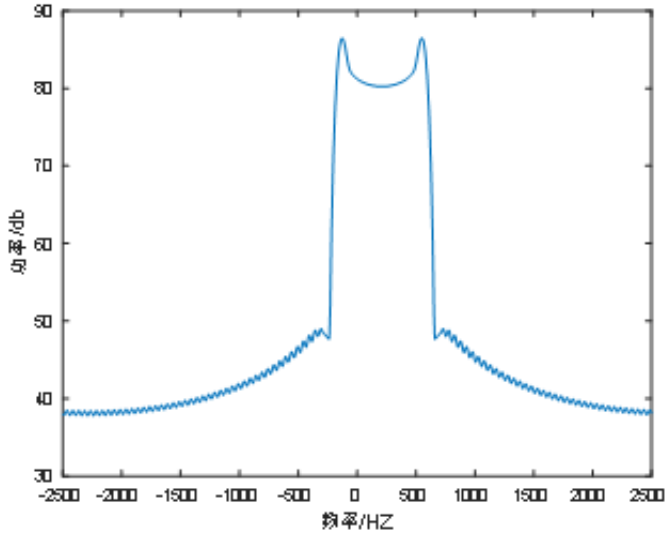


图 6-22　3GPP_Case6(mobile)_Case4(base)频谱图

表 9 3GPP_Mobile_Case7(Beam)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	4.690000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	0.30	7.290000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
3	0.60	14.580000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

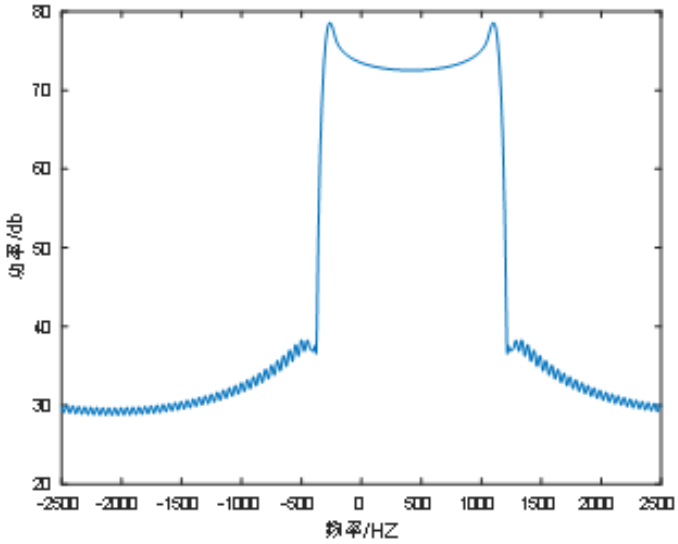


图 6-23　3GPP_Mobile_Case7(Beam)频谱图

表 10 3GPP_Mobile_Case7(Sector)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	-4.30	0.260000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
3	-6.60	1.040000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
4	-2.00	4.690000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
5	-7.00	7.290000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
6	-7.50	14.580000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

6.6 测试方法

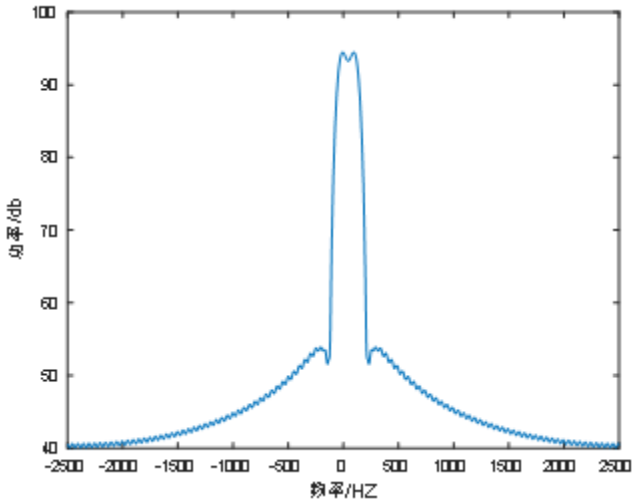


图 6-24　3GPP_Mobile_Case7(Sector)频谱图

表 11 3GPP_Mobile_Case8(CQI)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
2	-10.00	0.976000	Jacks 经典	30.000000	25.000000

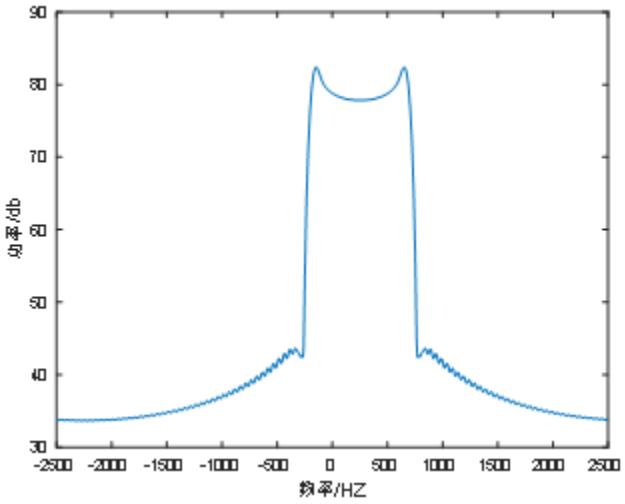


图 6-25　3GPP_Mobile_Case8(CQI)频谱图

表 12 3GPP_Mobile_PA3

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

2	-9.70	0.110000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	-19.20	0.190000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
4	-22.80	0.228000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

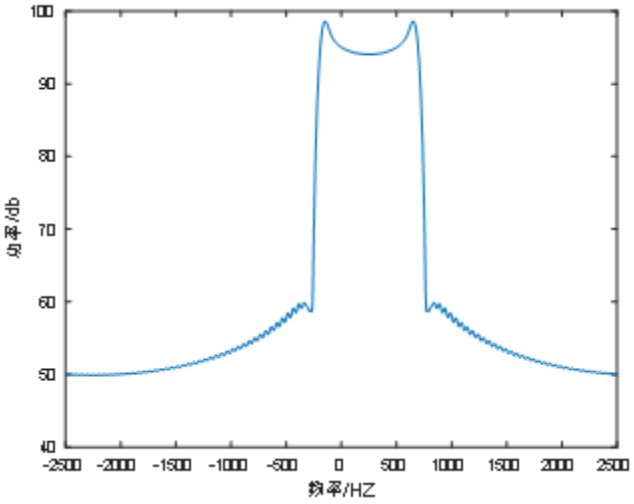


图 6-26　3GPP_Mobile_PA3 频谱图

表 13 3GPP_Mobile_PB3

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	-0.90	0.200000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	-4.90	0.800000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
4	-8.00	1.200000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
5	-7.80	2.300000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
6	-23.90	3.700000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

6.6 测试方法

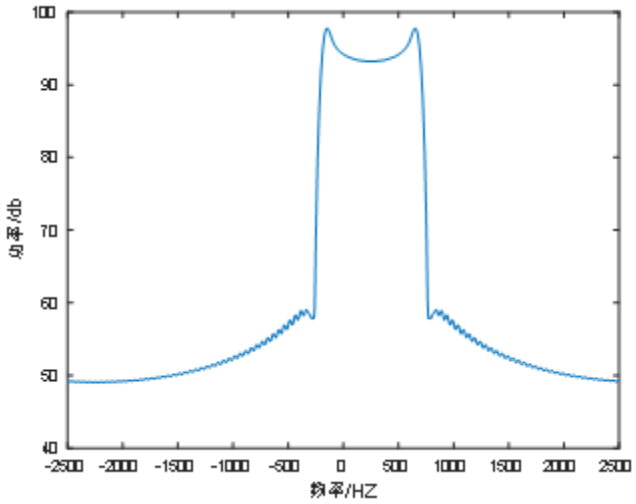


图 6-27　3GPP_Mobile_PB3 频谱图

表 14 3GPP_Mobile_VA3

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	-1.00	0.310000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	-9.00	0.710000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
4	-10.00	1.090000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
5	-15.00	1.730000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
6	-20.00	2.510000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

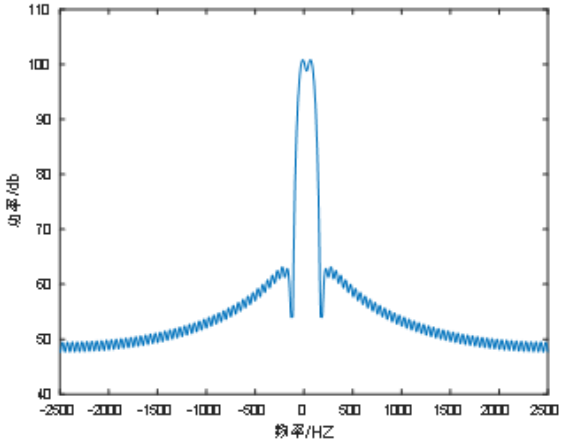


图 6-28　3GPP_Mobile_VA3 频谱图

表 15 3GPP_Mobile_VA30

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
2	-1.00	0.310000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
3	-9.00	0.710000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
4	-10.00	1.090000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
5	-15.00	1.730000	Jacks 经典	30.000000	25.000000
6	-20.00	2.510000	Jacks 经典	30.000000	25.000000

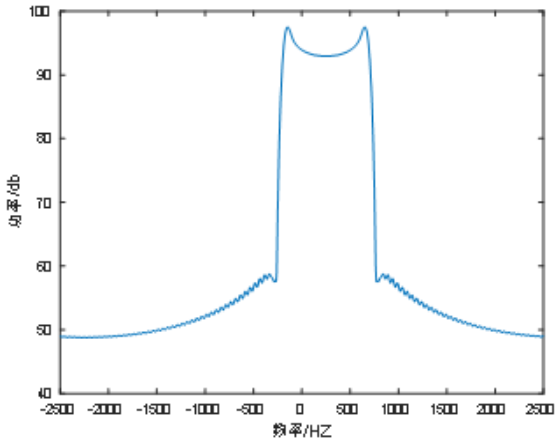


图 6-29　3GPP_Mobile_VA30 频谱图

表 16 3GPP_Mobile_VA120

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	120.000000	100.000000
2	-1.00	0.310000	Jacks 经典	120.000000	100.000000
3	-9.00	0.710000	Jacks 经典	120.000000	100.000000
4	-10.00	1.090000	Jacks 经典	120.000000	100.000000
5	-15.00	1.730000	Jacks 经典	120.000000	100.000000
6	-20.00	2.510000	Jacks 经典	120.000000	100.000000

6.6 测试方法

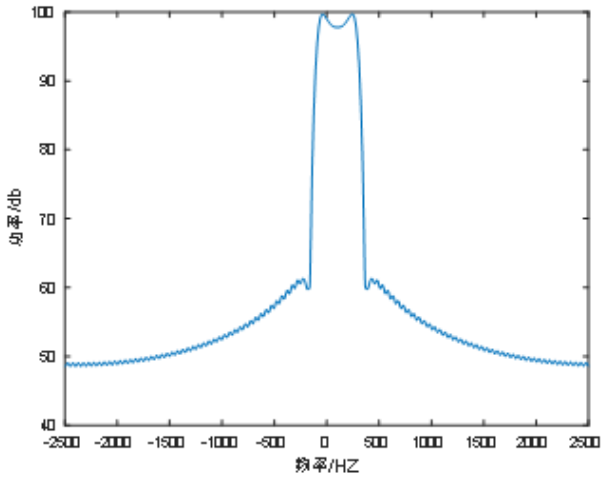


图 6-30　3GPP_Mobile_VA120 频谱图

表 17 WINER

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	-4.30	0.260000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
3	-6.60	1.040000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
4	-2.00	4.690000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
5	-7.5	7.290000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
6	14.58	14.580000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

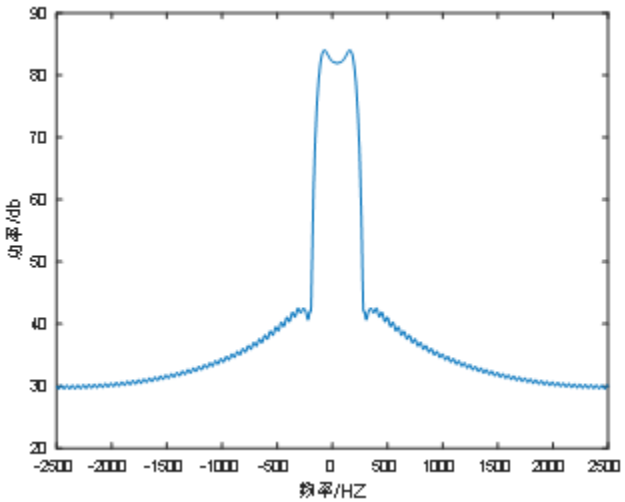


图 6-31　WINER 频谱图

表 18 SCME

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	0.000000	0.000000
2	-10.00	0.976000	Jacks 经典	0.000000	0.000000

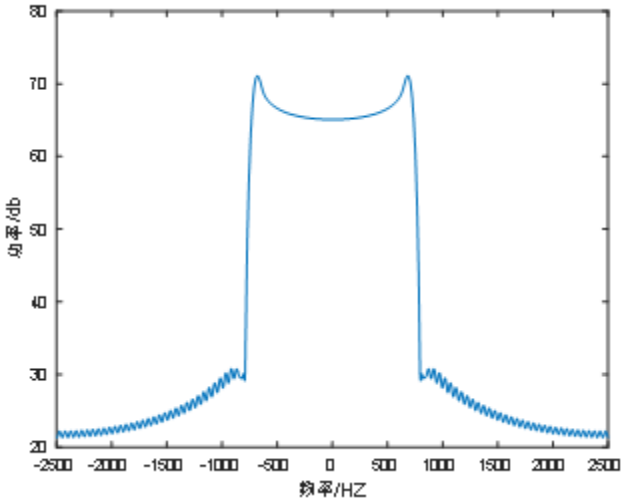


图 6-32　SCME 频谱图

表 19 CDMA2000

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	8.000000	6.666667
2	0.00	2.000000	Jacks 经典	8.000000	6.666667

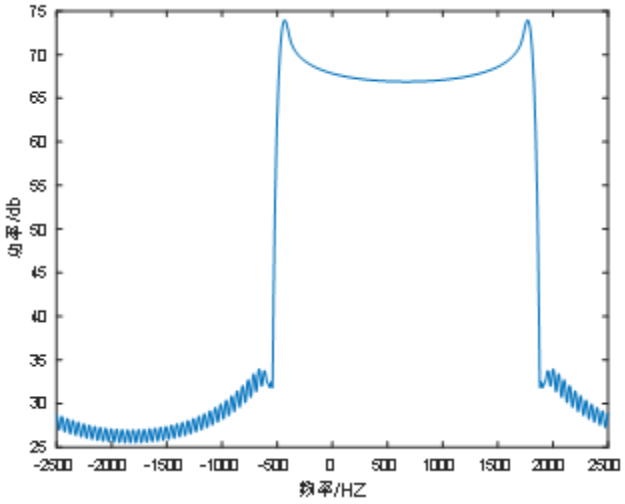


图 6-33　CDMA2000 频谱图

表 20 GSM_TU3(6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)

6.6 测试方法

1	-3.00	0.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
2	0.00	0.200000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
3	-2.00	0.500000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
4	-6.00	1.600000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
5	-8.00	2.300000	Jacks 经典	3.000000	2.500000
6	-10.00	5.000000	Jacks 经典	3.000000	2.500000

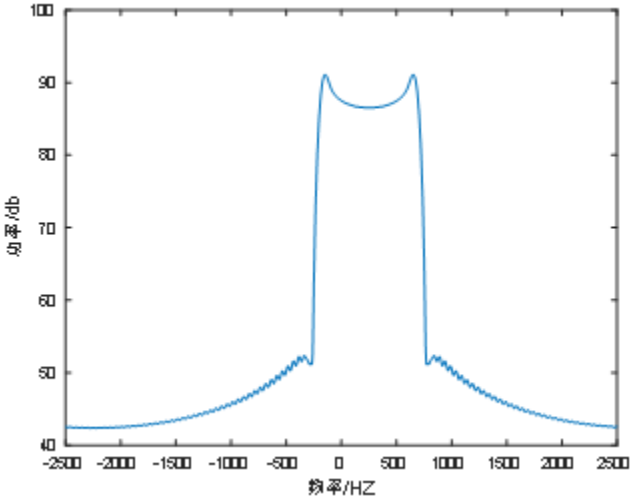


图 6-34　GSM_TU3(6Path)频谱图

表 21 GSM_TU50(6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	-3.00	0.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	0.00	0.200000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
3	-2.00	0.500000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
4	-6.00	1.600000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
5	-8.00	2.300000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
6	-10.00	5.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

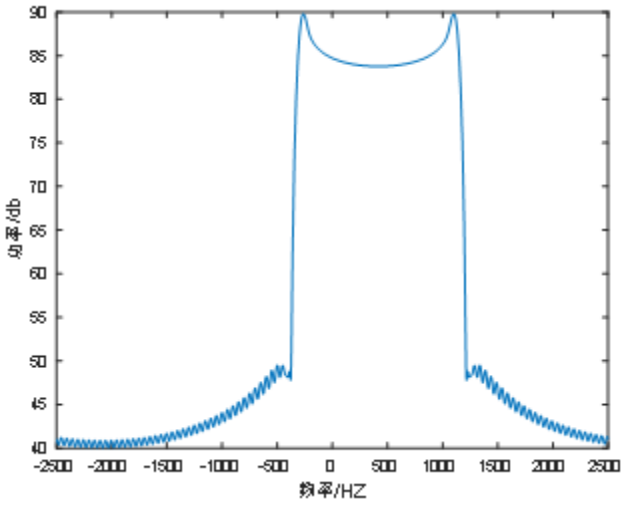


图 6-35　GSM_TU50(6Path)频谱图

表 22 GSM_HT100(6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
2	-1.50	0.100000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
3	-4.50	0.300000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
4	-7.50	0.500000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
5	-8.00	15.000000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
6	-17.70	17.200000	Jacks 经典	100.000000	83.333333

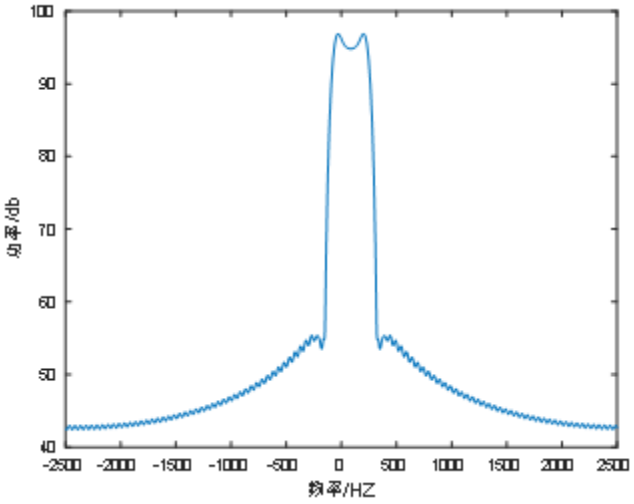


图 6-36　GSM_HT100(6Path)频谱图

表 23 GSM_RA250(6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
2	-4.00	0.100000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
3	-8.00	0.200000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
4	-12.00	0.300000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
5	-16.00	0.400000	Jacks 经典	250.000000	208.333333
6	-20.00	0.500000	Jacks 经典	250.000000	208.333333

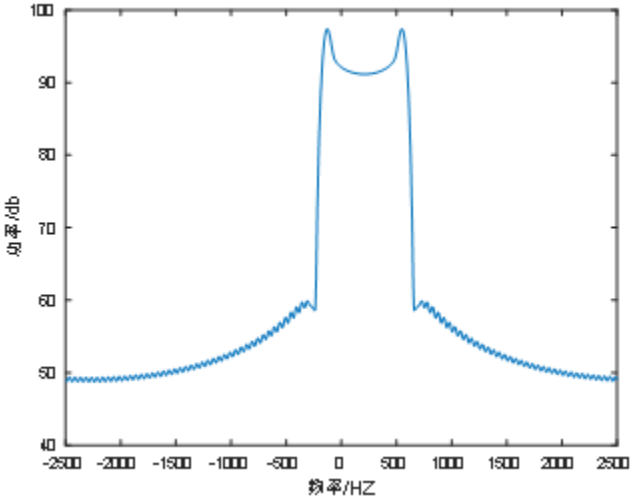


图 6-37　GSM_RA250(6Path)频谱图

表 24 GSM_ET50(EQ50_6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
2	0.00	3.200000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
3	0.00	6.400000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
4	0.00	9.600000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
5	0.00	12.800000	Jacks 经典	50.000000	41.666667
6	0.00	16.000000	Jacks 经典	50.000000	41.666667

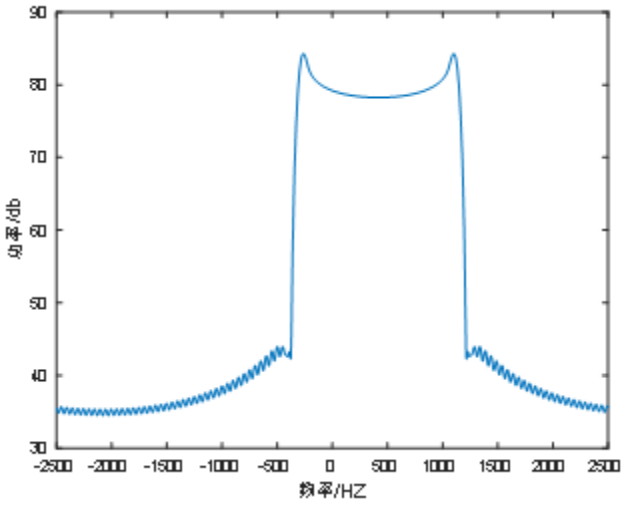


图 6-38　GSM_ET50(EQ50_6Path)频谱图

表 25 GSM_ET60(EQ60_6Path)

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	60.000000	50.000000
2	0.00	3.200000	Jacks 经典	60.000000	50.000000
3	0.00	6.400000	Jacks 经典	60.000000	50.000000
4	0.00	9.600000	Jacks 经典	60.000000	50.000000
5	0.00	12.800000	Jacks 经典	60.000000	50.000000
6	0.00	16.000000	Jacks 经典	60.000000	50.000000

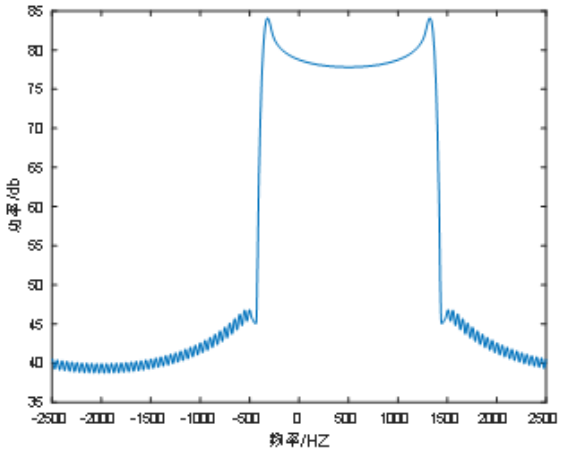


图 6-39　GSM_ET60(EQ60_6Path)频谱图

表 26 GSM_ET100(EQ100_6Path)

6.6 测试方法

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	0.00	0.000000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
2	0.00	3.200000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
3	0.00	6.400000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
4	0.00	9.600000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
5	0.00	12.800000	Jacks 经典	100.000000	83.333333
6	0.00	16.000000	Jacks 经典	100.000000	83.333333

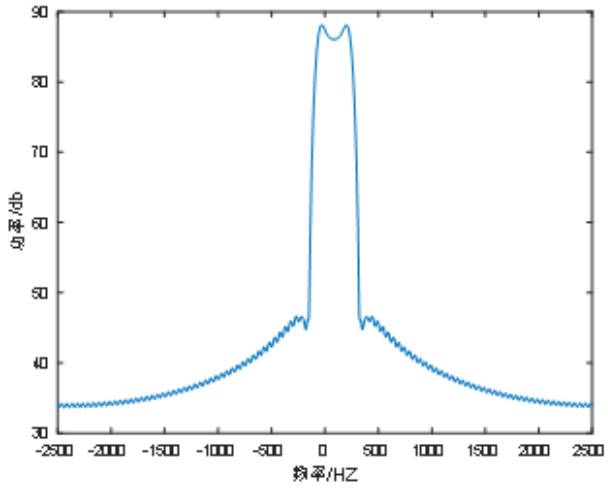


图 6-40　GSM_ET100(EQ100_6Path)频谱图

表 27 GSM_TI5

多径	损耗(dB)	时延/延迟(us)	衰落类型	移动速度(km/h)	多普勒(Hz)
1	-4.00	0.000000	Jacks 经典	5.000000	4.166667
2	-3.00	0.400000	Jacks 经典	5.000000	4.166667

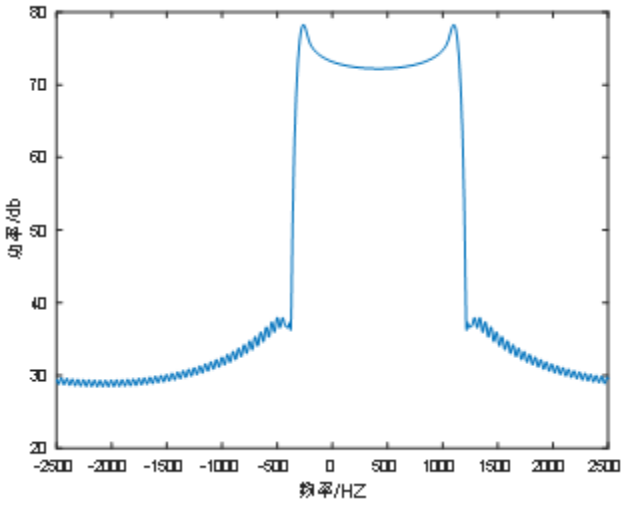


图 6-41　GSM_TI5 频谱图

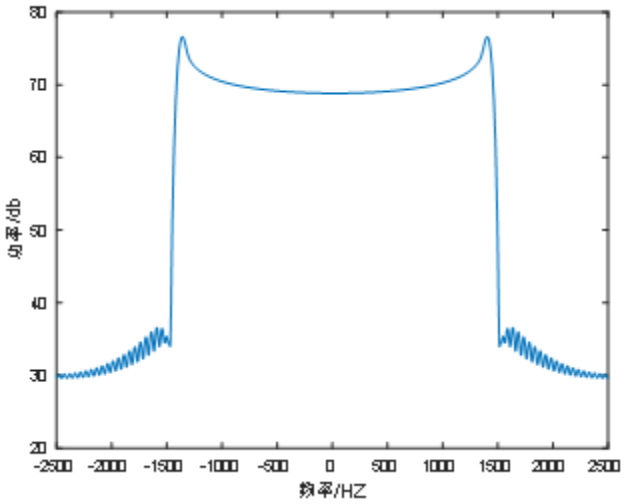


图 6-42　802.11TGn/TGac 频谱图

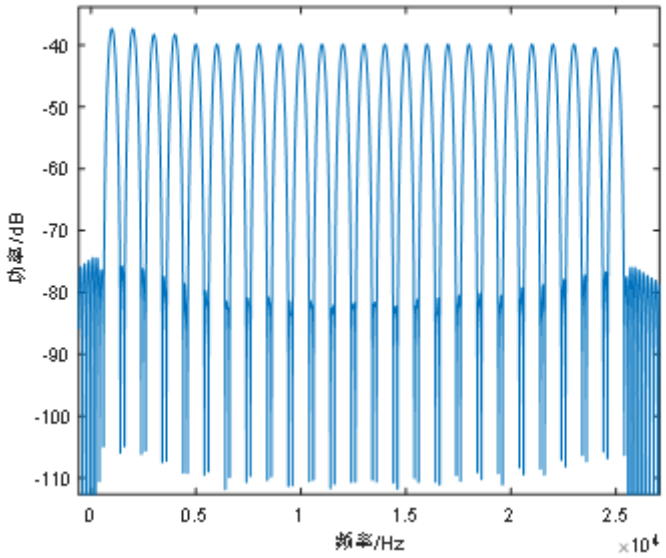


图 6-43　3GPP 38.901 射线追踪频谱图

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱。

d）合格判据

频谱分析仪观测到频谱谱型。

6.6.2.31　支持气象衰减

a）测试目的

测试支持气象衰减：大气、云、雨、雾。

b）测试方法

本测试是利用频谱分析仪和信号发生器验证支持气象衰减：大气、云、雨、雾。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：信道类型 SISO、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-10dBm。导入距离为 1Km，理论大尺度衰落值为 102.9dB 的大气衰落文件；导入距离为 1Km、能见度为 10 米、温度 20℃、雾厚度 100m，理论大尺度衰落值为 101.9dB 的云衰落文件、导入距离为 1Km、降雨率为 30%，理论大尺度衰落值为 113.0dB 的雨衰落文件、导入距离为 1Km、能见度为 10 米、温度 20℃、雾厚度 100m，理论大尺度衰落值为 101.9dB 的雾等信道模型文件。

打开输出选择开关，点击运行按钮，观测频谱分析仪显示的接收信号频谱。

d）合格判据

频谱分析仪观测到的信号功率与模型理论衰落值±3dB 范围内。

6.6.2.32 时延动态连续变化

a）测试目的

测试支持时延动态连续变化。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和示波器验证本产品具备时延动态连续变化。

c）测试步骤

按 5.4 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的端口 IO1，信号发生器输出端口连接示波器的通道 1，本产品端口 OUT1 连示波器通道 2。

设置信号发生器：频率 1GHz、功率 0dBm、样式脉冲信号、脉冲周期 50ms，脉宽 1ms。

设置示波器：横轴 5ms/DIV。

设置本产品：信道类型 SISO、设备带宽 100MHz、输入频率 1GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-10dBm，打开输出选择开关，点击运行按钮，点击右侧信道编辑，添加一条纯多普勒径，设置为动态模式，勾选大时延仿真、绝对时延，仿真时长 10s,仿真间隔 1000ms,起点坐标设置 300000,轨迹类型设置直线,速度 100000m/s,移动距离 10000000m,开始仿真。

观测示波器两输入信号，时延动态变化。

d）合格判据

示波器两输入信号，时延动态变化。

6.6.2.33 码元动态连续变化

a）测试目的

测试支持码元动态连续变化。

b）测试方法

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品具备码元动态连续变化。

c）测试步骤

按 6.5.2 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 501MHz、功率 0dBm。

6.6 测试方法

设置频谱分析仪：中心频率 501MHz、频宽 100Hz、幅度 0dBm。

设置本产品:加载 100M-symboldoppler 固件,设置输入频率 500MHz、输出频率 500MHz，设置输入参考 0dBm、输出功率-10dBm，点击运行开关，打开信道编辑，增加一条纯多普勒径,频偏为 0Hz,点击左侧高级工具中的码多普勒设置,配置码元速率 1MHz、起始速度 3000m/s、运动时间 10s、加速度 300m/s^2、采样间隔 1s。

观测谱形峰值频率的连续变化。

d）合格判据

频谱分析仪显示的信号谱形动态连续频移。

6.6.2.34 设备自动校准

a）测试目的

测试支持设备自动校准。

b）测试方法

本测试是利用无线信道模拟器主控软件验证本产品支持设备自动校准。

c）测试步骤

新建 4×4 仿真。

选择系统菜单的相位校准。

按照提示，使用射频电缆连接对应的端口，直至提示校准完成。

d）合格判据

设备自动校准完成。

6.6.2.35 通道间幅度一致性

内容如下：

a）测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品通道之间幅度一致性：±1dB。

b）测试步骤

按照图 1 连接设备，信号发生器输出端口连接无线信道模拟器的 IO1，频谱分析仪连接无线信道模拟器的 OUT1；

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 10MHz、幅度 0dBm。

设置无线信道模拟器：加载 100M 固件、信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 16、终端数 16、中心频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出功率-20dBm；

设置输出精调，观测频谱分析仪显示的信号功率值。

信号源分别连接 IO2~IO16，频谱分析仪分别连接 OUT2~OUT16，重复步骤 5）。

c）合格判据

输出信号功率满足-20±1dBm。

d）测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.36 通道间相位一致性

内容如下：

a）测试项目说明

本测试是利用信号发生器和矢量网络分析仪验证本产品通道间相位一致性：优于±3°（1σ，固定可测量）。

b）测试步骤

设置无线信道模拟器：加载 100M 固件、信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 16、终端数 16、中心频率 500MHz；打开运行开关；

打开相位校准，按照提示使用射频电缆连接对应的端口，直至提示校准完成。

按照图 13 连接设备，矢量网络分析仪两个端口分别连接无线信道模拟器的端口 IO1、OUT1；

设置矢量网络分析仪：频率 500MHz；

打开相位编辑，调整相位，观测相位；

按照步骤 3)~5),信号发生器分别连接 IO2~IO16,矢量网络分析仪分别连接 OUT1~OUT16，观测并记录相位。

c）合格判据

通道间的相位差满足优于±3°。

d）测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.37 控制最大仿真时间长度

内容如下：

6.6 测试方法

a）测试项目说明

控制最大时间长度：≥10min，是指仿真时间长度≥10min 时无线信道模拟器仍可以动态仿真。

b）测试步骤

按照图 1 连接设备，信号发生器输出端口连接无线信道模拟器的 IO1，频谱分析仪连接无线信道模拟器的 OUT9；

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 10MHz、幅度 0dBm。

设置无线信道模拟器：信道类型 SISO、使用双工配置、基站数 1、终端数 1、中心频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出功率-20dBm；打开运行开关；

打开信道编辑，选择动态仿真，设置仿真时长 10min，仿真间隔 1s，添加一条子径，类型纯多普勒，设置轨迹类型直线，参数 X 为 0，Y 为 10000，速度 300m/s。打开场景触发设置，选择单次连续触发；

点击开始仿真后，开始计时，观测频谱仪变化。

c）合格判据

从计时开始 10min 后，信号频率不再变化。

d）测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.38 响应延迟

内容如下：

a）测试项目说明

响应延迟：≤0.5ms。

b）测试框图及测试仪器

测试仪器：信号发生器、函数/任意波形发生器、示波器。

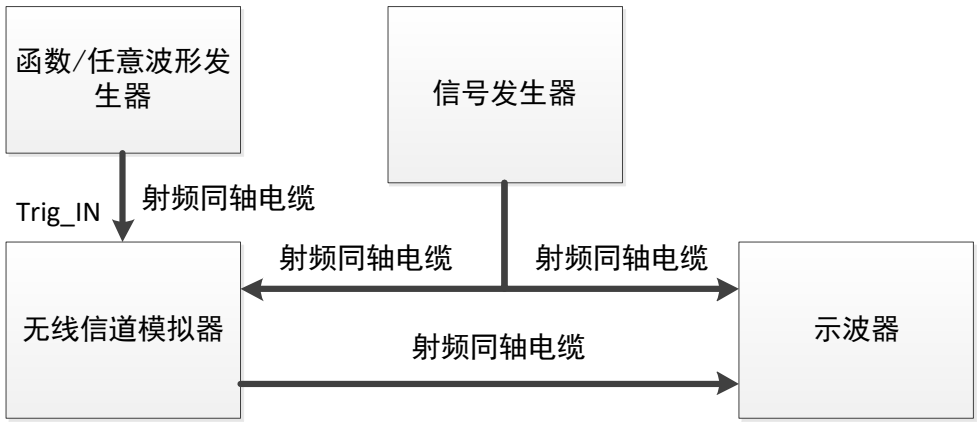


图 a 响应延迟测试图

c）测试步骤

按图 55 所示连接设备，函数/任意波形发生器通过功分器连接本产品的 Trig IN 和示波器通道 1，本产品的 OUT1 连接示波器通道 2；

设置函数/任意波形发生器：类型方波、频率 100Hz、电平 3.3V，偏置 1.65V，关闭通道输出；

设置本产品：信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 1、终端数 1、中心频率 1GHz、输入功率 0dBm、输出功率-35dBm。打开下场景触发设置，选择外部连续触发，下载 DYNRESPONTEST 文件，该文件包含 5 个场景，各场景为一条幅值不同的多普勒径；

点击开始仿真，打开函数/任意波形发生器输出，观测示波器通道 1 和通道 2 上升沿时间差值。

d）合格判据

上升沿时间差值≤0.5ms。

测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.39 平坦度

内容如下：

a） 测试项目说明

带内平坦度：±1.0dB。

b） 测试步骤

按图 1 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT9 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、2.7GHz～3.3GHz 扫频、功率 0dBm。

6.6 测试方法

设置频谱分析仪：中心频率 3GHz、频宽 600MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：加载 500M 固件、信道类型 SISO、使用双工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 3GHz、输入参考 0dBm、输出频率 3GHz、输出功率-20dBm、OUT 端口输出。

打开运行开关，频谱分析仪轨迹最大保持，以中心频率为基点，轨迹上的相对最大值和最小值。

c） 合格判据

5）中观测到带内平坦度在±1.0dB 范围内。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.40 多普勒频移变化率

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证本产品多普勒频移变化率可达：60kHz/s。

b） 测试步骤

按图 1 所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接本产品的 IO1，本产品的 OUT1 连接频谱分析仪。

设置信号发生器：样式正弦波、频率 3GHz、功率 0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率 3G Hz、频宽 1MHz、幅度 0dBm。

设置本产品：加载 100M 固件、信道类型 SISO、使用单工配置、基站数 1、终端数 1、输入频率 3GHz、输入功率 0dBm，输出频率 1GHz、输出功率-20dBm，下载 dopper_change_rate 文件，仿真间隔为 1000ms。

观察频谱仪频率变化，每秒增加 60kHz

c） 合格判据

频谱仪观测输出信号的频率，每秒有 60kHz 的变化。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

6.6.2.41 变频组件测试（选件）

内容如下：

a） 测试项目说明

本测试是利用信号发生器和频谱分析仪验证变频组件的频率扩展范围满足指标要求。（变频组件分为6GHz~18GHz和6GHz~40GHz两种配置）

b） 测试步骤

如图6-10所示连接好测试仪器，信号发生器输出端口连接变频组件的I1，变频组件的IF O1连接信道模拟器的IO1，信道模拟器的OUT1连接变频组件的IF IN1，变频组件的O1连接频谱分析仪的输入端口。

设置信号发生器：样式正弦波，频率6.001GHz，功率0dBm。

设置频谱分析仪：中心频率6.001GHz，频宽1MHz，参考电平0dBm。

设置变频组件:将信道模拟器后面板输出的100MHz时钟,接入到变频组件的100MHz输入，使用网线连接变频组件和信道模拟器，将信道模拟器的IP地址，调整为和变频组件位于同一网段；（变频组件默认IP地址为 192.168.1.10，信道模拟器的IP地址建议设置为192.168.1.x，x范围为0~255，但不能和变频组件IP地址相同）

设置信道模拟器：点击“网络设置”，在变频组件页面，点击“连接”，显示连接成功之后，在“新建仿真”页面，加载100M固件，信道类型SISO、使用单工配置、基站数1、终端数1、输入频率3GHz、输入功率0dBm，输出频率1GHz、输出功率-20dBm。

观察频谱仪上信号功率

c） 合格判据

频谱仪观测输出信号的功率，输出功率偏差在指标范围内。

d） 测试记录和数据处理

将测试结果记录到检验记录表中。

注：变频组件的双工使用连接方法如图 6-11 所示，信道模拟器和变频组件之间的连接规则如下：

(1)总体的原则是，信号由变频组件的对应的 I 口输入，由 IF 0 口输出至信道模拟器的 IO 口，再由信道模拟器的 OUT 口输出至变频组件的 IF I 口，再由 0 口输出；

(2)单工模式下，信道模拟器的接口和变频组件的接口是 1 对 1 的关系，对应关系如下所示：

表 28 信道模拟器和变频组件的接口对应关系表-单工

	变频组件	信道模拟器
下行输入 1	I1、IF 01	I01
下行输出 1	IF I1、01	OUT1
…	…	…
下行输入 8	I8、IF 08	I08
下行输出 8	IF I8、08	OUT8

(3)双工模式下，信道模拟器的接口和变频组件的接口在两者通道数量一致时为 1 对 1 的关系，在两者数量不一致时，**双工只能按照通道数较少的一方（通常为变频组件）进行配置**。此时**变频组件的下行输入通道和上行输出通道为前半部分通道，下行输出通道和上行输入为后半部分通道**。例如：以 16 通道信道模拟器搭配 4 通道变频组件为例，最多可配置双向 SISO2×2 或者双向 MIMO2×2；其连接关系如表 29 所示。

表 29 信道模拟器和变频组件的接口对应关系表-双工

	变频组件	信道模拟器
下行输入 1	I1、IF 01	I01
下行输出 1	IF I3、03	OUT9
上行输入 1	I3、IF03	I09
上行输出 1	IF I1、01	OUT1
下行输入 2	I2、IF 02	I02
下行输出 2	IF I4、04	OUT10
上行输入 2	I4、IF04	I010
上行输出 2	IF I2、02	OUT2

7. 附 录 A

表 A.1　1612AD 无线信道模拟器检验记录（鉴定检验）

仪器编号：_____　　测试人员：_____

测试条件：_____　　测试日期：_____

序号	检验项目		单位	标准要求	检验结果	判定
1	接口	射频接口	/	信号输入/输出接口：SMA 阴型接口 16 个（单向/双向可配置）； 信号输出接口：SMA 阴型接口 16 个； 触发输入接口：SMA 阴型接口 1 个； 触发输出接口：SMA 阴型接口 1 个。		
		通信接口		USB 接口：4 个； LAN 接口：5 个；同步授时接口：1 个； VGA 接口：1 个；HDMI 接口：1 个		
2	外观特性		/	本产品的主体颜色为黑色，外观应整洁、表面应无锈蚀、霉斑、污迹、镀层剥落及明显的划痕、毛刺；塑料件应无起泡、开裂、变形；文字、符号、标志和各种显示应清晰、牢固；结构件及控制件应完整、无机械损伤。		
3	安全性	绝缘电阻	MΩ	设备的电源输入端与机壳之间（电源开关置于接通位置）、有绝缘要求的外部带电端子与机壳之间的绝缘电阻在试验用标准大气压下应不小于 100MΩ。		
				在潮湿环境下应不小于 2MΩ。		
		介电强度	/	设备的电源输入端与机壳之间施加 1500V 交流电压，施加在测试点上的试验电压应保持 1min，试验时应无击穿、飞弧和闪烁等现象。		
		泄漏电流	mA	设备工作期间，仪器外壳与地之间的泄漏电流应不大于 3.5mA。		
4	功能正常性	无线信道仿真功能	/	具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等		
		无线信道建模功能		具有无线信道建模功能，支持统计建模及几何建模		
		自组网拓扑仿真功能		具有自组网拓扑仿真功能		
		上下行链路仿真功能		支持上行和下行链路仿真功能		

表A.1 （续）

序号	检验项目		单位	标准要求		检验结果	判定
4	功能正常性（续）	动态环境仿真功能	/	支持动态环境仿真功能			
		MIMO信道仿真功能		具有MIMO信道仿真功能			
		时延动态连续变化		支持时延动态连续变化			
		信道模型编辑功能		支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等功能			
		标准信道模型仿真功能		支持标准信道模型仿真			
		多种制式干扰信号生成功能		支持多种制式干扰信号生成功能			
		功率检测功能		具备输入信号功率检测功能			
		以太网远程控制功能		支持以太网远程控制			
		兼容第三方自定义信道模型		支持兼容第三方自定义信道模型载入			
		实时状态检测功能		支持外接1612A-H070选件实现同步授时功能			
		三维动态信道建模功能		具备三维动态信道建模软件，通过可视化界面，快速完成卫星和地面站之间、卫星和卫星之间的信道模型建立和生成			
		自动校准功能		具备不依赖外接仪表开展自动校准，支持对所有通道进行全部时延相位一致性自动化校准。			
5	通道数		个	16			
6	射频输入端口数		个	16			
7	射频输出端口数		个	16			
8	RF工作频率范围		/	1612A-H020（射频板）：1MHz~6GHz	1MHz±0.1Hz		
					6GHz±600Hz		
				1612A-H022（射频板）：1MHz~7.25GHz	1MHz±0.1Hz		
					7.25GHz±725Hz		
				1612A-H060（扩频选件）：6GHz~18GHz	6GHz±600Hz		
					18GHz±1800Hz		

表A.1 （续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定	序号
8	RF 工作频率范围（续）	/	1612A-H061（扩频选件）：6GHz~40GHz		6GHz±600Hz		
					40GHz±4000Hz		
9	单通道最大带宽	MHz	1612A-H020（射频板）：≥500MHz				
			1612A-H021（射频板）：≥1000MHz				
10	RF 输出电平范围	dBm	1MHz		0.0±1.0		
					-60.0±1.0		
					-100.0±1.0		
					-120.0±2.0		
			3GHz		0.0±1.0		
					-60.0±1.0		
					-100.0±1.0		
					-120.0±2.0		
			6GHz		0.0±1.0		
					-60.0±1.0		
					-100.0±1.0		
					-120.0±2.0		
11	输出电平准确度	dB	±1（≥-100dBm）				
12	输出电平分辨率	dB	0.1				
13	RF 输入电平范围	dBm	-50～+35（peak），-50～+15（peak，小于 100MHz 时）	1MHz	-50.0±3.0		
					0±3.0		
					15.0±3.0		
				3GHz	-50.0±3.0		
					0±3.0		
					35.0±3.0		
				6GHz	-50.0±3.0		
					0±3.0		
					35.0±3.0		
14	信道配置拓扑	/	一字型、星型、全联通、若干子网				
15	每个信道衰落路径数	个	48				

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
16	衰落类型	/	常量、瑞利（Rayleigh）、莱斯（Rice）、Nakagami、对数正态、Suzuki、纯多普勒、平坦、圆形、高斯、双高斯、Jakes、经典 3dB、经典 6dB、用户自定义	常量		
				瑞利		
				莱斯		
				Nakagami		
				对数正态		
				Suzuki		
				纯多普勒		
				平坦		
				圆形		
				高斯		
				双高斯		
				Jakes		
				经典 3dB		
				经典 6dB		
				用户自定义		
17	相对路径衰落损耗	dB	≥60			
18	最大多普勒频移	MHz	±6.0	≥6.0		
				≤-6.0		
19	时延范围	/	时延下限	≤4.5us		
			时延上限	≥ 4.0s		
20	时延类型	/	常数			
			正弦滑动时延			
			线性滑动时延			
			3GPP 增消			
			3GPP 滑动时延组			
			用户定义			

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
21	标准信道模型	/	3GPP LTE			
			WCDMA			
			GSM/EDGE			
			CDMA			
			3GPP2 (IS-54)			
			3GPP2 (IS-95)			
			ITU3G			
			WLAN			
			38.901TDL CDL			
			COST207			
			JTC			
			HIPERLAN/2			
			ITU1546	15.9±3		
			ITU2001	101.9±3		
			ITU526	117.9±3		
			ITU530	112.8±3		
			ITU617	119.3±3		
			ITU618	113.0±3		
			ITU676	112.8±3		
			ITU679	112.9±3		
			ITU680	81.5±3		
			ITU681	29.5±3		
			ITU682	81.5±3		
			3Gpp	3GPP Case 1（mobile/base）（2Path）		
				3GPP Case 2（mobile/base）（3Path）		
				3GPP Case 3（mobile/base）（4Path）		
				3GPP Case 4（mobile）（2Path）		
				3GPP Case 5（mobile）（2Path）		
				3GPP Case 6（mobile）Case 4（base）（4Path）		
				3GPP Mobile Case 7（Sector）（6Path）		
				3GPP Mobile Case 7（Beam）（3Path）		

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
21	标准信道模型(续)	/	3Gpp	3GPP Mobile Case 8（CQI）（2Path）		
				3GPP Mobile PA3（4Path）		
				3GPP Mobile PB3（6Path）		
				3GPP Mobile VA3（6Path）		
				3GPP Mobile VA30（6Path）		
				3GPP Mobile VA120（6Path）		
			GSM	GSM TU3（6 Path）		
				GSM TU50（6 Path）		
				GSM HT100（6 Path）		
				GSM RA250（6 Path）		
				GSM ET50（EQ50）（6 Path）		
				GSM ET60（EQ60）（6 Path）		
				GSM ET100（EQ100）（6 Path）		
				GSM T15（2Path）		
			WINER			
			SCME			
			CDMA2000			
			802.11TGn/TGac			
			3GPP MIMO 相关性建模			
			3GPP 38.901 射线追踪标准模型			
22	干扰类型	/	AWGN 噪声			
			CW 干扰			
			梳状干扰			
			跳频干扰			
			扫频干扰			
			脉冲干扰			
			均匀分布干扰			
			窄带瞄准			
			宽带拦阻			
			调频干扰			
			调幅干扰			
			调相干扰			
23	频率分辨率	Hz	0.1Hz			
24	频率准确度	/	10^-7			
25	时延仿真分辨率	ns	0.1ns			
26	EVM	/	≤1%@256QAM，100MHz 调制信号，2GHz 频点			
27	底噪	dBm/Hz	不高于-162dBm/Hz@典型值			

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
28	通道间隔离度	dB	≥135@2GHz	OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
29	独立本振	/	1612A-H041 选件： 每个射频端口收发本振独立	IO1		
				IO2		
				IO3		
				IO4		
				IO5		
				IO6		
				IO7		
				IO8		
				IO9		
				IO10		
				IO11		
				IO12		
				IO13		
				IO14		
				IO15		
				IO16		
				OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
29	独立本振(续)	/	1612A-H041 选件：每个射频端口收发本振独立	OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
30	输入/输出端口驻波比	/	标配：1.6F≤6GHz			
			1612A-H061 扩频选件：2.0F≤40GHz			
31	仿真同步触发接口	/	支持触发输入和输出			
32	自定义动态仿真	/	支持，最大更新频率＞1kHz			
33	多径相对时延范围	ms	＞4ms			
34	大尺度衰落范围	dB	110dB			
35	输出信号非谐波失真	dBc	≤-45dBc			
36	具备码多普勒动态连续变化功能	/	支持（最大 30 马赫）			
37	支持气象衰减：大气、云、雨、雾	dB	大气衰落模型（102.9dB±3.0dB）			
			云衰落模型（101.9dB±3.0dB）			
			雨衰落模型（113.0dB±3.0dB）			
			雾衰落模型（101.9dB±3.0dB）			
38	通道之间幅度一致性	dB	-20.0±1.0	OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		

表 A.1 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
39	通道间相位一致性	/	优于±3°（1σ，固定可测量）	OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
40	控制最大仿	min	≥10			
41	响应延迟	ms	≤0.50			
42	平坦度	dB	-20.0±1.0			
43	多普勒频移变化率	/	≥60kHz/s			
以下空白						
综合判定						
注：“√”表示符合要求；“×”表示不符合要求。						

表 A.2　1612AD 无线信道模拟器检验记录 （质量一致性检验）

仪器编号：_____　　测试人员：_____

测试条件：_____　　测试日期：_____

序号	检验项目		单位	标准要求	检验结果	判定
1	接口	射频接口	/	信号输入/输出接口：SMA 阴型接口 16 个（单向/双向可配置）； 信号输出接口：SMA 阴型接口 16 个； 触发输入接口：SMA 阴型接口 1 个； 触发输出接口：SMA 阴型接口 1 个。		
		通信接口		USB 接口：4 个；LAN 接口：5 个； 同步授时接口：1 个；VGA 接口：1 个； HDMI 接口：1 个		
2	外观特性		/	本产品的主体颜色为黑色，外观应整洁、表面应无锈蚀、霉斑、污迹、镀层剥落及明显的划痕、毛刺；塑料件应无起泡、开裂、变形；文字、符号、标志和各种显示应清晰、牢固；结构件及控制件应完整、无机械损伤。		
3	安全性	绝缘电阻	MΩ	设备的电源输入端与机壳之间（电源开关置于接通位置）、有绝缘要求的外部带电端子与机壳之间的绝缘电阻在试验用标准大气压下应不小于 100MΩ。		
				在潮湿环境下应不小于 2MΩ。		
		介电强度	/	设备的电源输入端与机壳之间施加 1500V 交流电压，施加在测试点上的试验电压应保持 1min，试验时应无击穿、飞弧和闪烁等现象。		
		泄漏电流	mA	设备工作期间，仪器外壳与地之间的泄漏电流应不大于 3.5mA。		
4	功能正常性	无线信道仿真功能	/	具有无线信道仿真功能，包含路径损耗、延迟、多径衰落、干扰以及噪声等		
		无线信道建模功能		具有无线信道建模功能，支持统计建模及几何建模		
		自组网拓扑仿真功能		具有自组网拓扑仿真功能		
		上下行链路仿真功能		支持上行和下行链路仿真功能		

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目		单位	标准要求		检验结果	判定
4	功能正常性（续）	动态环境仿真功能	/	支持动态环境仿真功能			
		MIMO 信道仿真功能		具有 MIMO 信道仿真功能			
		时延动态连续变化		支持时延动态连续变化			
		信道模型编辑功能		支持信道模型导入、导出、编辑、新增、保存等功能			
		标准信道模型仿真功能		支持标准信道模型仿真			
		多种制式干扰信号生成功能		支持多种制式干扰信号生成功能			
		功率检测功能		具备输入信号功率检测功能			
		以太网远程控制功能		支持以太网远程控制			
		兼容第三方自定义信道模型功能		支持兼容第三方自定义信道模型载入			
		实时状态检测功能		支持外接 1612A-H070 选件实现同步授时功能			
		三维动态信道建模功能		具备三维动态信道建模软件，通过可视化界面，快速完成卫星和地面站之间、卫星和卫星之间的信道模型建立和生成			
		自动校准功能		具备不依赖外接仪表开展自动校准，支持对所有通道进行全部时延相位一致性自动化校准。			
5	通道数		个	16			
6	射频输入端口数		个	16			
7	射频输出端口数		个	16			
8	RF 工作频率范围		/	1612A-H020（射频板）：1MHz~6GHz	1MHz±0.1Hz		
					6GHz±600Hz		
				1612A-H022（射频板）：1MHz~7.25GHz	1MHz±0.1Hz		
					7.25GHz±725Hz		
				1612A-H060（扩频选件）：6GHz~18GHz	6GHz±600Hz		
					18GHz±1800Hz		

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求	检验结果	判定	序号
8	RF 工作频率范围（续）	/	1612A-H061（扩频选件）：6GHz~40GHz	6GHz±600Hz		
				40GHz±4000Hz		
9	单通道最大带宽	MHz	1612A-H020（射频板）：≥500MHz			
			1612A-H021（射频板）：≥1000MHz			
10	RF 输出电平范围	dBm	1MHz	0.0±1.0		
				-60.0±1.0		
				-100.0±1.0		
				-120.0±2.0		
			3GHz	0.0±1.0		
				-60.0±1.0		
				-100.0±1.0		
				-120.0±2.0		
			6GHz	0.0±1.0		
				-60.0±1.0		
				-100.0±1.0		
				-120.0±2.0		
11	输出电平准确度	dB	±1（≥-100dBm）			
12	输出电平分辨率	dB	0.1			
13	RF 输入电平范围	dBm	-50～+35（peak），-50～+15（peak，小于 100MHz 时）	1MHz	-50.0±3.0	
					0±3.0	
					15.0±3.0	
				3GHz	-50.0±3.0	
					0±3.0	
					35.0±3.0	
				6GHz	-50.0±3.0	
					0±3.0	
					35.0±3.0	
14	信道配置拓扑	/	一字型、星型、全联通、若干子网			
15	每个信道衰落路径数	个	48			

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
16	衰落类型	/	常量、瑞利（Rayleigh）、莱斯（Rice）、Nakagami、对数正态、Suzuki、纯多普勒、平坦、圆形、高斯、双高斯、Jakes、经典 3dB、经典 6dB、用户自定义	常量		
				瑞利		
				莱斯		
				Nakagami		
				对数正态		
				Suzuki		
				纯多普勒		
				平坦		
				圆形		
				高斯		
				双高斯		
				Jakes		
				经典 3dB		
				经典 6dB		
				用户自定义		
17	相对路径衰落损耗	dB	≥60			
18	最大多普勒频移	MHz	±6.0	≥6.0		
				≤-6.0		
19	时延范围	/	时延下限	≤4.5us		
			时延上限	≥ 4.0s		
20	时延类型	/	常数			
			正弦滑动时延			
			线性滑动时延			
			3GPP 增消			
			3GPP 滑动时延组			
			用户定义			

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
21	标准信道模型	/	3GPP LTE			
			WCDMA			
			GSM/EDGE			
			CDMA			
			3GPP2 (IS-54)			
			3GPP2 (IS-95)			
			ITU3G			
			WLAN			
			38.901TDL CDL			
			COST207			
			JTC			
			HIPERLAN/2			
			ITU1546	15.9±3		
			ITU2001	101.9±3		
			ITU526	117.9±3		
			ITU530	112.8±3		
			ITU617	119.3±3		
			ITU618	113.0±3		
			ITU676	112.8±3		
			ITU679	112.9±3		
			ITU680	81.5±3		
			ITU681	29.5±3		
			ITU682	81.5±3		
			3Gpp	3GPP Case 1 (mobile/base) (2Path)		
				3GPP Case 2 (mobile/base) (3Path)		
				3GPP Case 3 (mobile/base) (4Path)		
				3GPP Case 4 (mobile) (2Path)		
				3GPP Case 5 (mobile) (2Path)		
				3GPP Case 6(mobile)Case 4 (base) (4Path)		

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
21	标准信道模型(续)	/	3Gpp	3GPP Mobile Case 7（Sector）（6Path）		
				3GPP Mobile Case 7（Beam）（3Path）		
				3GPP Mobile Case 8（CQI）（2Path）		
				3GPP Mobile PA3（4Path）		
				3GPP Mobile PB3（6Path）		
				3GPP Mobile VA3（6Path）		
				3GPP Mobile VA30（6Path）		
				3GPP Mobile VA120（6Path）		
			GSM	GSM TU3（6 Path）		
				GSM TU50（6 Path）		
				GSM HT100（6 Path）		
				GSM RA250（6 Path）		
				GSM ET50（EQ50）（6 Path）		
				GSM ET60（EQ60）（6 Path）		
				GSM ET100（EQ100）（6 Path）		
				GSM T15（2Path）		
			WINER			
			SCME			
			CDMA2000			
			802.11TGn/TGac			
			3GPP MIMO 相关性建模			
			3GPP 38.901 射线追踪标准模型			

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求	检验结果	判定
22	干扰类型	/	AWGN 噪声		
			CW 干扰		
			梳状干扰		
			跳频干扰		
			扫频干扰		
			脉冲干扰		
			均匀分布干扰		
			窄带瞄准		
			宽带拦阻		
			调频干扰		
			调幅干扰		
			调相干扰		
23	频率分辨率	Hz	0.1Hz		
24	频率准确度	/	10^-7		
25	时延仿真分辨率	ns	0.1ns		
26	EVM	/	≤1%@256QAM，100MHz 调制信号，2GHz 频点		
27	底噪	dBm/Hz	不高于-162dBm/Hz@典型值		

表 A.2 （续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
28	通道间隔离度	dB	≥135@2GHz	OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
29	独立本振	/	1612A-H041 选件： 每个射频端口收发本振独立	IO1		
				IO2		
				IO3		
				IO4		
				IO5		
				IO6		
				IO7		
				IO8		
				IO9		
				IO10		
				IO11		
				IO12		
				IO13		
				IO14		
				IO15		
				IO16		
				OUT1		
				OUT2		
				OUT3		

表 A.2 （续）

序号	检验项目	单位	标准要求		检验结果	判定
29	独立本振(续)	/	1612A-H041 选件：每个射频端口收发本振独立	OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
30	输入/输出端口驻波比	/	标配：1.6F≤6GHz			
			1612A-H061 扩频选件：2.0F≤40GHz			
31	仿真同步触发接口	/	支持触发输入和输出			
32	自定义动态仿真	/	支持，最大更新频率＞1kHz			
33	多径相对时延范围	ms	＞4ms			
34	大尺度衰落范围	dB	110dB			
35	输出信号非谐波失真	dBc	≤-45dBc			
36	具备码多普勒动态连续变化功能	/	支持（最大 30 马赫）			
37	支持气象衰减：大气、云、雨、雾	dB	大气衰落模型（102.9dB±3.0dB）			
			云衰落模型（101.9dB±3.0dB）			
			雨衰落模型（113.0dB±3.0dB）			
			雾衰落模型（101.9dB±3.0dB）			

表 A.2 （ 续）

序号	检验项目	单位	标准要求	检验结果	判定	
38	通道之间幅度一致性	dB	-20.0±1.0	OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		
39	通道间相位一致性	/	优于±3°（1σ，固定可测量）	OUT1		
				OUT2		
				OUT3		
				OUT4		
				OUT5		
				OUT6		
				OUT7		
				OUT8		
				OUT9		
				OUT10		
				OUT11		
				OUT12		
				OUT13		
				OUT14		
				OUT15		
				OUT16		

表 A.2 （续）

序号	检验项目	单位	标准要求	检验结果	判定
40	控制最大仿真时间长度	min	≥10		
41	响应延迟	ms	≤0.50		
42	平坦度	dB	-20.0±1.0		
43	多普勒频移变化率	/	≥60kHz/s		
以下空白					
综合判定					
注：“√”表示符合要求；“×”表示不符合要求。					