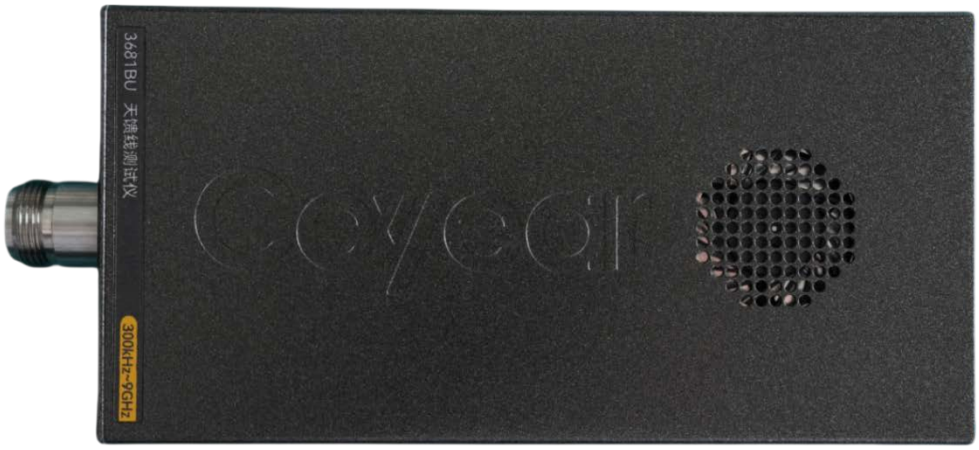
3681BU

天馈线测试仪

用户手册



中电科思仪科技股份有限公司

该手册适用 3681BU 天馈线测试仪。

版　　本：　A.2　2024年12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 3681BU 天馈线测试仪！

我们将以满足您的需求为己任，为您提供高品质的测量仪器，同时带给您良好的售后服务。我们的旨是“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

YQ2.733.1367SSCN

版本

A.2　2024.12

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。校准测量由具备相关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 1 年。

目 录

1 手册导航 1
1.1 关于手册 1
1.2 关联文档 2
2 概述 5
2.1 产品综述 5
2.2 安全使用指南 6
3 操作指南 13
3.1 开箱检查 13
3.2 加电前的注意事项 14
3.3 天馈线测试仪的开机和关机 16
3.4 例行维护 17
3.5 正确使用连接器 17
3.6 面板、顶部和侧面接口说明 20
3.7 系统设置 22
3.8 数据管理 23
3.9 功能操作指南 23
4 菜单 37
4.1 菜单结构 37
4.2 菜单说明 37
5 远程控制 49
5.1 远程控制基础 49
5.2 仪器程控端口与配置 61
5.3 VISA 接口基本编程方法 62
5.4 I/O 库 65

6 故障诊断与返修 69
7 技术指标与测试方法 71
7.1 技术指标 71
7.2 推荐测试方法 71
附录 75
附录 A 3681BU 天馈线测试仪记录表 75

1 手册导航

本章介绍了 3681BU 天馈线测试仪的用户手册功能、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..... 2

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 3681BU 天馈线测试仪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。

用户手册共包含的章节如下：

- **概述**

概括地讲述了3681BU天馈线测试仪的主要性能特点、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。

- **使用入门**

本章介绍了3681BU天馈线测试仪的操作前检查、仪器浏览、基本测量方法、测量窗口使用说明及数据存储等。以便用户初步了解仪器本身和测量过程，并为后续全面介绍仪器测量操作指南做好前期准备。该章节包含的部分内容与快速使用指南手册相关章节一致。

- **操作指南**

详细介绍仪器各种测量功能的操作方法，包括：配置仪器、启动测量过程和获取测量结果等。主要包括两部分：功能操作指南和高级操作指南。功能操作指南部分针对不熟悉3681BU天馈线测试仪使用方法的用户，系统、详细地介绍、列举每种功能，使用户理解掌握3681BU天馈线测试仪各项操作。

- **菜单**

按照功能分类介绍菜单结构和菜单项说明，方便用户查询参考。

- **远程控制**

概述了仪器远程控制操作方法，目的使用户可以对远程控制操作快速上手。分四部分介绍：程控基础，介绍与程控有关的概念、软件配置、程控端口、SCPI 命令等；仪器端口配置方法，介绍 3681BU 天馈线测试仪程控端口的连接方法和软件配置方法；VISA 接口基本编程方法，以文字说明和示例代码的方式给出基本编程示例，使用户快速掌握程控编程方法；I/O 库，介绍仪器驱动器基本概念及 IVI-COM/IVI-C 驱动的基本安装配置说明。

- **故障诊断与返修**

包括整机工作原理介绍、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 3681BU 天馈线测试仪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3681BU天馈线测试仪的必要的参考信息，包括：术语说明、程控命令速查表、菜单速查表、错误信息速查表等。

1.2 关联文档

3681BU 天馈线测试仪的产品文档包括：

- 用户手册
- 程控手册
- 快速使用指南
- 在线帮助

用户手册

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、程控和维护等信息。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
- 使用入门
- 操作指南

- 菜单
- 远程控制
- 故障诊断与返修
- 技术指标与测试方法
- 附录

程控手册

本手册详细介绍了远程编程基础、SCPI 基础、SCPI 命令、编程示例和 I/O 驱动函数库等。目的是：指导用户如何快速、全面的掌握仪器的程控命令和程控方法。包含的主要章节是：

- 远程控制
- 程控命令
- 编程示例
- 错误说明
- 附录

快速使用指南

本手册介绍了仪器的配置和启动测量的基本操作方法，目的是：使用户快速了解仪器的特点、掌握基本设置和基础的操作方法。包含的主要章节是：

- 准备使用
- 典型应用
- 获取帮助

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，方便用户本地和远控操作。仪器前面板硬键或用户界面工具条都有对应的快捷键激活该功能。包含的主要章节同用户手册。

2 概述

本章介绍了 3681BU 天馈线测试仪的主要性能特点、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 5
- 安全使用指南 6

2.1 产品综述

3681BU 天馈线测试仪具有体积小、重量轻、用户界面友好、测试精度高等特点，具有电缆和天馈线驻波比 ·回波损耗测试测试 ·时域测量功能 ·可方便对阻抗不连续点进行定位，提供 USB 接口，实现程控操作。

2.1.1 主要特点

1)专业的天馈线测量模式

- 天馈线测试模式：简称CAT，用于电缆和天馈线测试（回波损耗、故障定位等）；

2)高性能

- 频率覆盖范围：300kHz~9GHz；
- 频率准确度：±1.0ppm；
- 有效方向性：42dB(300kHz~6GHz)　36dB(6GHz~9GHz)。

3)灵活性

- 体积小、重量轻、高效灵活；
- 完善的自我诊断功能及状态自测试。

4)友好的人机界面

- 中、英文双语操作界面，内嵌使用说明和联机帮助信息；

5)通用接口

- 提供USB接口，用于仪器供电以及与计算机通讯。

2.1.2 典型应用

- 时域测量

利用天馈线测试模式的时域功能，可以对电缆的长度、故障定位等进行测试。

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。

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		电池和蓄电池的EU标识。 具体说明请参考本节“2.2.8 废弃处理/环境保护”。
	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1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，3681BU 天馈线测试仪的操作环境需满足：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供电电压匹配。

2) 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) 保持插座整洁干净，插头与插座应接触良好、插牢。

7) 插座与电源线不应过载，否则会导致火灾或电击。

8) 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）。

9) 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。

10) 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。

11) 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。

12) 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。

13) 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。

14) 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。

15) 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 “2.2.6 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 “2.2.7 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 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。

2.2.7 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

欢迎使用中电科思仪科技股份有限公司生产的 3681BU 天馈线测试仪，使用前请仔细阅读本章内容，防止不当的操作造成测试仪的损坏或意外事故的发生，当发现问题时，请及时与我们联系，我们将尽快予以解决。

- 开箱检查 …… 13
- 加电前注意事项 …… 14
- 天馈线测试仪的开机和关机 …… 16
- 例行维护 …… 17
- 正确使用连接器 …… 17
- 前面板、顶部和侧面接口说明 …… 20
- 系统设置 …… 22
- 数据管理 …… 23
- 功能操作指南 …… 25

3.1 开箱检查

请您开箱后按下面步骤检查、核对包装箱内物品，并在使用前请阅读本章第二节“加电前的注意事项”，以便尽早发现问题，防止意外事故的发生。当您发现问题时，请速与我们联系，我们将尽快予以解决。

1） 检查步骤

a) 检查包装箱和衬垫材料是否有被挤压的迹象。

b) 保留原有的包装材料，以备将来需要运输时使用。

c) 将仪器从包装箱中取出，检查仪器是否在运输过程中出现损坏。

d) 对照装箱清单核实仪器型号，所有附件及文件是否随仪器配齐。

如果包装箱或箱内的减振材料有所损坏，首先检查箱内仪器和附件是否完好，然后方可对天馈线测试仪进行电性能的测试。

2） 包装箱内应备的附件和文件

a) 电源线一根。

b) AC-DC 适配器一个。

c) USB 接口电缆根。

d) 《3681BU 天馈线测试仪快速使用指南》一本。

e) 随机光盘一个。

f) 装箱清单一份。

g) 合格证一张。

若仪器在运输过程中出现损坏或附件不全现象，请通知我们，我们将按您的要求尽快进行维修或调换。请保留运输材料以备将来装箱运输时使用。处理方式参见“天馈线测试仪的返修”。

注 意

本产品属于电子产品，而报废的电子产品被划归为国家危险废物名录，如果产品报废，请勿将其弃置于生活垃圾箱内。请按照国家和地方法律法规进行处置。如有必要，可以联系生产厂家。

3.2 加电前的注意事项

1） 供电电源要求

计算机通过 USB 电缆与 3681BU 天馈线测试仪后面板的通信接口相连，即可以实现上位机与天馈线测试仪之间的通信，也可以为仪器供电。若上位机 USB 接口供电电流不足以保证仪器的供电需求，可以通过仪器后面板的电源接口，由外接适配器进行辅助供电。

适配器的输入为 220V/50Hz 交流电，为防止或减少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测试仪硬件的毁坏，尽量用 220V 交流稳压电源为天馈线测试仪供电。

下表列出适配器正常工作时对电源的要求:

表 3.1 电源要求

电源参数	适应范围
输入电压	100V ~ 240VAC
额定输出电流	≥3.0A
工作频率	50/60Hz
输出电压/电流	5.0V/3.0A

注 意

工作电压与频率范围以所配电源适配器铭牌标识为准！

警 告

充电电池不可暴露于火及高温环境中，并远离儿童。如果电池放置不当，可能会引起爆炸。充电电池可重复使用，将其放置在合适的容器中，避免使电池短路。

2） 电源线的选择

天馈线测试仪使用 USB 数据线进行供电和数据传输，可以承受高达 3A 的电流通过，符合国际安全标准。当插入带有保护地的合适电源插座时，通过 USB 数据线将仪器的机壳接地。推荐使用随机携带的 USB 数据线。初次加电前，请参阅本章第三节“天馈线测试仪的开机和关机”。

警 告

接地不良或错误可能损坏仪器，甚至造成人身伤害，在给天馈线测试仪加电开机之前一定要确保天馈线测试仪已通过电源线可靠接地！

在给天馈线测试仪加电开机前，请先确认电源电压是否正常！

3） 静电防护

静电防护是常被忽略的问题，人体身上积累的静电释放时很容易损坏仪器内部的敏感电路元件，大大降低仪器的可靠性，即使不被察觉的很小的静电释放也可能会造成器件的永久损坏。因此，在有条件的情况下应尽可能采取如下的静电防护措施：

a) 在配有接地、导电桌垫的工作台上进行测试。

b) 接触器件、附件和进行测试连接时，佩带防静电手腕带，将手腕带与导电桌垫连接。

c) 在具有导电地面的区域工作时佩带防静电脚腕带，即使不能确定地面的导电性能，也尽量佩带防静电脚腕带。

d) 清洁检查静电敏感器件、仪器测试端口或进行连接前，使自己接一下地，可以通过抓住已经接地的仪器测试端口或测试电缆连接器的外壳来实现。

e) 将电缆连接到仪器的测试端口或静电敏感器件之前，一定要使电缆的中心导体首先接地，可以通过以下步骤来实现：在电缆的一端连上短路器使电缆的中心导体和外导体短路，当佩带防静电腕带时，抓紧电缆连接器的外壳，连好电缆的另一端，然后去掉短路器。

3.3 天馈线测试仪的开机和关机

用包装箱内与天馈线测试仪配套的 USB 数据线或符合要求的 USB 数据线一端接入与天馈线测试仪一起提供的适配器，适配器的铭牌上标有使用的电压范围，提醒用户使用的电压应该符合该要求。将适配器的输出端接入电源插孔，开机前请先不要连接任何设备到天馈线测试仪上，如果一切正常则可以开机了。

注 意

本手册中软键对应的软菜单用[ ]表示，如[起始频率]。

1） 天馈线测试仪开机

a) 用符合要求的 USB 数据线将天馈线测试仪与符合要求的电源适配器相连。

b) 通过 USB3.0 接口的电缆将 3681BU 天馈线测试仪与计算机的 USB3.0 的接口相连，打开天馈线测试仪的控制程序，曲线显示正常，即完成了天馈线测试仪的开机。

c) 仪器将花大约 15 秒的时间启动系统 执行一系列自检程序后 开始运行测量主程序，为使仪器达到符合规定的性能指标，在进行测量前测试仪应预热 15 分钟。

2） 天馈线测试仪关机

如果需要关闭天馈线测试仪，直接将 USB 电缆从 3681BU 天馈线测试仪通信和供电端口断开。

3.4 例行维护

1） 清洁天馈线测试仪面板

在使用一段时间后，应该清洁测试仪的面板，请按照下面的步骤操作：

a) 关闭天馈线测试仪，拔掉电源线。

b) 用干净柔软的棉布蘸上仪器专用清洁剂（禁止用酒精），轻轻擦拭面板。

c) 再用干净柔软的棉布擦干。

d) 待专用清洁剂晾干后方可连接电源线。

警 告

显示屏表面有一层防静电涂层，切勿使用含有氟化物、酸性、碱性的清洁剂。切勿将清洗剂直接喷到面板上，否则可能渗入仪器内部，损坏仪器!

2） 清洁和检查天馈线测试仪的接头

仪器和附件的测试接口要定期清洗。用柔软的棉布或棉签蘸无水乙醇轻轻擦拭接头的内部和外部。同时检查接头的针和接口有无断裂和损坏。接头在长期使用中会造成磨损，如果不能确定接头的性能好坏，可以用量规测量其机械长度，验证是否在正常范围内。检查测试电缆，外观应光滑，无弯折痕迹，无拉伸、扭结和断裂现象。

3） 周期检定

为了保证仪器的性能和测量结果的准确性与一致性，我们建议您每年将仪器返回到生产厂家进行校验和维护。

3.5 正确使用连接器

在使用天馈线测试仪进行各项测试过程中，必然会用到连接器，连接器的使用需要注意以下事项：

1） 连接器的检查

在进行连接器检查时，应该佩带防静电腕带，建议仔细检查以下各项：

a) 电镀的表面是否磨损，是否有深的划痕。

b) 螺纹是否变形。

c) 连接器的螺纹和接合表面上是否有金属微粒。

d) 内导体是否弯曲、断裂。

e) 连接器的螺套是否旋转不良。

警 告

任何已损坏的连接器即使在第一次测量连接时也可能损坏与之连接的良好连接器，为保护天馈线测试仪的自身各个接口，在进行连接器操作前务必进行连接器的检查!

2） 连接方法

测量连接前应该对连接器进行检查和清洁，确保连接器干净、无损。连接时应佩带防静电腕带，正确的连接方法和步骤如下：

a) 如图 3.1，对准两个互连器件的轴心，保证阳头连接器的插针同心地滑移进阴头连接器的接插指孔内。

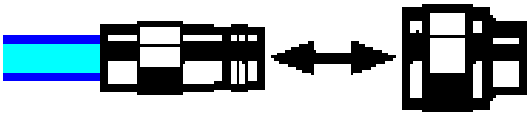


图 3.1 互连器件的轴心在一条直线上

b) 如图 3.2，将两个连接器平直地移到一起，使它们能平滑接合，旋转连接器的螺套(注意不是旋转连接器本身) 直至拧紧，连接过程中连接器间不能有相对的旋转运动。

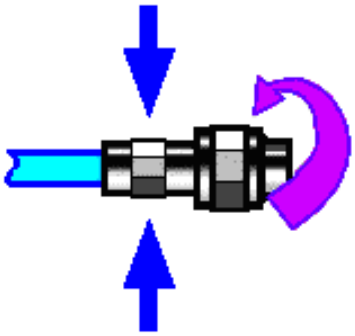


图 3.2 连接方法

c) 如图 3.3，使用力矩扳手拧紧完成最后的连接，注意力矩扳手不要超过起始的折点，可使用辅助的扳手防止连接器转动。

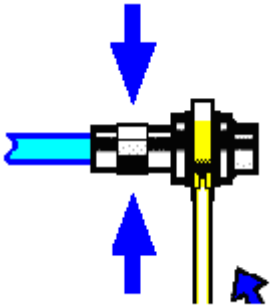


图 3.3 使用力矩扳手完成最后连接

3） 断开连接的方法

a) 支撑住连接器以防对任何一个连接器施加扭曲、摇动或弯曲的力量。

b) 可使用一支开口扳手防止连接器主体旋转。

c) 利用另一支扳手拧松连接器的螺套。

d) 用手旋转连接器的螺套，完成最后的断开连接。

e) 将两个连接器平直拉开分离。

4） 力矩扳手的使用方法

力矩扳手的使用方法示意图如图 3.4 所示，使用时应注意以下几点：

a) 使用前确认力矩扳手的力矩设置正确。

b) 加力之前确保力矩扳手和另一支扳手（用来支撑连接器或电缆）相互间夹角在 90° 以内。

c) 轻抓住力矩扳手手柄的末端，在垂直于手柄的方向上加力直至达到扳手的折点。

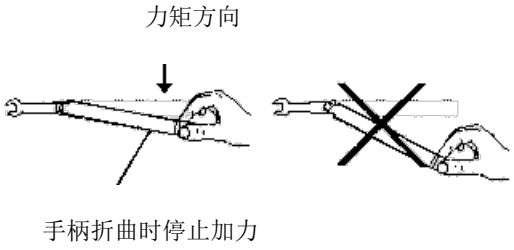


图 3.4 力矩扳手的使用方法

3.6 面板、顶部和侧面接口说明

1） 前面板

3681BU天馈线测试仪的控制面板组成及功能，控制面板如下(图3.5),列项说明如表3.2：

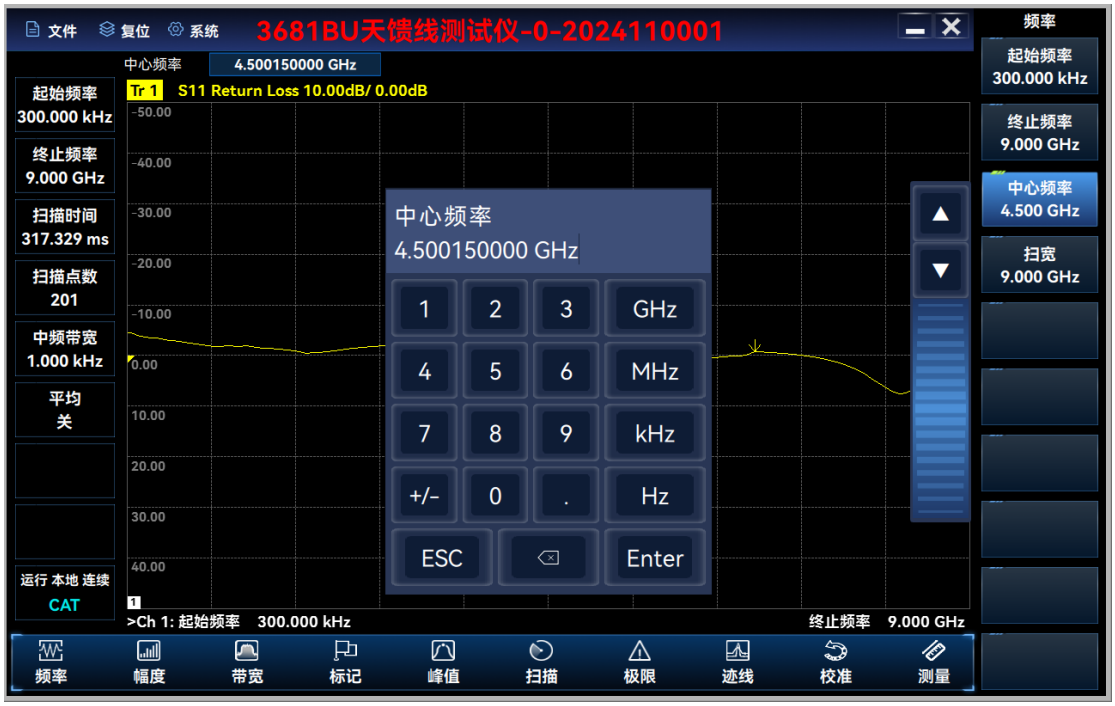


图 3.5 3681BU 控制面板

表 3.2 控制面板显示区功能说明

序号	名称	说明
1	结果显示区	该区域能够显示测量数据以及中心频率、扫宽等基本信息。在不同的测量模式下，显示区所显示的内容不同。
2	系统信息显示区	该区域主要显示日期时间等系统信息。
3	软件菜单显示区	该区域主要用于显示当前功能的菜单，功能键区不同的功能按键对应不同的菜单。
4	数字键盘	通过数字键可以将选择的参数对应值输入，在软菜单中选择相应的单位即可将数据输入。
5	功能键区	该区域主要用于显示当前测量模式下有关的功能，不同的功能按键可激活不同的菜单。
6	左侧信息显示区	该区域主要显示频率范围和扫描时间等信息，同时可通过轻触对相应参数进行快捷设置。
7	系统功能区	该区域主要用于文件操作、切换测量模式、系统设置和快速截屏。

数字键盘

数字键盘包括方向键、滑动轴、数字键、退格键、取消键和确认键。所有的输入都可由数字键区的按键和旋钮改变。其中，数字键区各按键的功能介绍如下表所示。

表 3.3 数字键区功能说明

序号	名称	说明
1	方向键	上/下键用来增大或减小数值，该处没有左右键，上下键的步进值与每个参数的步进量相对应。
2	滑动轴	用来增大或减小数值。向上滑动转动变量增大，反之减小。滑动轴可以和上/下键一起改变数值的大小，滑动轴的步进量与上/下键相同。
3	数字键	置入数字（含负号）。
4	退格键	根据置数状态可以逐位撤消最后置入的数据。
5	取消键 Esc	取消当前置入的未生效的数据。
6	确认键 Enter	确认当前参数设置。
7	信息栏	用于显示当前编辑项目的名称及内容

功能键区

功能键区位于屏幕下方，用于改变测量的参数设置，包括频率、幅度、带宽、标记、峰值、扫描、极限、迹线、校准和测量等多个按键，具体按键排列与各具体功能有关，功能键区各按键的功能介绍如下表所示。

表 3.4 功能键区功能说明

序号	名称	说明
1	频率	用于设置测量的频率范围、频率步进、信号标准等。
2	幅度	用于设置显示测量结果的幅度参数，包括顶部、底部、参考值、参考位置等。
3	带宽	用于设置测量的频带宽、平均开关、平均因子等参数。
4	标记	用于打开与光标相关的功能菜单。当光标打开时，也可通过拖拽、点击等触摸方式对光标进行操作。
5	峰值	用于打开峰值搜索功能。
6	扫描	用于设置扫描时间、扫描类型、扫描方式等。
7	迹线	用于设置最大保持、最小保持、刷新迹线等。
8	极限	用于设置极限线、存储和调用极限等。
9	校准	用于设置校准开关状态和校准类型等。
10	测量	用于选择该测量模式下的测量功能。

2） 顶部和侧面说明

本小节介绍了3681BU天馈线测试仪的顶部和底部组成及功能，3681BU天馈线测试仪的

外围接口主要集中在顶部和底部面板上，如下图所示，可分为电源接口、测试端口及数字接口三部分。顶部和底部结构如下图所示。



图 3.6 顶部和底部说明图

测试端口

测试端口包括射频端口、触发输入/输出。其中，各测试端口的功能介绍如下表所示。

表 3.5 测试端口说明

序号	名称	说明
1	射频端口	端口为 50Ω，N 型阴头接口。
2	触发输入/输出	3681BU 天馈线测试仪可设置为外部触发方式。

数字接口

数字接口为USBC型接口。

表 3.6 数字接口说明

序号	名称	说明
1	USB2.0 TypeC 接口	连接USB外设，如USB C存储设备等。

3.7 系统设置

本节详细介绍 3681BU 天馈线测试仪各个模式下与系统有关的设置。

1） 查看版本序列号及自测试结果

每台 3681BU 天馈线测试仪都有一个唯一固定的序列号和内部软件的版本信息，该序列号在仪器出厂时设置，用户不能更改。此外天馈线测试仪具有自测试功能，启动自测试程序后天馈线测试仪对内部各个部件的工作状态及机内环境温度等进行检测并给出测试信息。

通过以下步骤查看仪器的序列号以及自测试结果：

a) 点击控制面板左上角[系统]→[系统设置]→[系统信息]菜单,弹出系统信息窗口显示软件版本、FPGA 版本、射频板温度等基本信息以及自测试结果。

b) 按右上角[X]关闭窗口。

2） 工厂调试

3681BU 天馈线测试仪提供了一个用于工厂调试的程序入口

a) 按[系统]→[系统设置]→[系统管理]弹出“密码”窗口，输入密码后，进入工厂调试菜单。

注 意

此功能仅限于天馈线测试仪的工厂调试，用户请勿试图破解密码，否则可能会造成天馈线测试仪的损坏。

3.8 数据管理

本节介绍了 3681BU 天馈线测试仪的工作状态和迹线存储/调用、测量结果数据输入/输出方法及打印/存储屏幕快照方法。

1） 仪器复位状态

3681BU 天馈线测试仪提供给用户加电复位状态的选项（厂家、用户）。通常仪器测量出错时，通过复位仪器状态还原仪器正常工作时初始状态。天馈线测试仪复位状态的设置如下：

1.复位类型为用户：

步骤 1. 打开工作状态存储调用窗口设置复位类型为用户：

- 按[系统]进入系统配置窗口，点击上方的[复位设置]软键进入复位设置窗口，点击[用户复位 关 开]，将复位类型选为“用户”；

步骤 2. 保存默认状态：

- 按[保存用户复位]，把仪器当前设置存储为默认状态。下次复位时，将按照用户保存的默认状态参数设置仪器初始状态。

2.复位类型为厂家：

步骤 1. 打开工作状态存储调用窗口设置复位类型为厂家：

- 按[系统]进入系统配置窗口，点击上方的[复位设置]软键进入复位设置窗口，点击[用户复位 关 开]，将复位类型选为“厂家”。下次复位时，将按照厂家保存的默认状态参数设置仪器初始状态。

2） 存储/调用状态

3681BU 天馈线测试仪提供存储和调用仪器测量状态的功能，方便用户还原需要的测量状态再次观测评估，以便进一步分析。

步骤 1.：打开文件配置窗口：

- 按[文件]进入文件配置窗口，上方的[快速存储调用]、[存储设置]和[调用设置]三个菜单用于工作状态的存储与调用；

步骤 2. 存储状态：

- 点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，列表中共有四种存储类型可选，点击选择[状态]，对话框消失，当前文件存储类型即为状态存储；
- 点击[存储]，弹出文件名输入对话框，输入文件名，点击[Enter]，对话框消失，对应文件名称的文件在屏幕中间显示，如图 4-7 所示；
- 点击[快速存储调用]→[快速存储]→[快速存储 1]，可快速存储当前状态，并自动保存为“QuikeSave1.status”的文件。

步骤 3. 调用状态：

- 点击[调用设置]，弹出仪器调用文件对话框，点击[文件类型]，在弹出的上（下）拉列表选择[状态]，当前调用文件列表会显示所有已保存准状态文件，选中需要调用的仪器状态文件，然后点击[调用]，对话框消失，仪器加载状态文件。
- 点击[快速存储调用]→[快速调用]→[快速调用 1]，对话框消失，仪器加载状态文件。

提 示

快速存储调用的最多仪器状态数目

快速存储调用仪器状态存储数量上限为 8，其状态文件名为“QuickSave1.status” ~ “QuickSave8. status”。

注 意

[快速调用 1]~[快速调用 8]默认为灰色，无法选择，只有当对应的[快速存储 1]~[快速存储 8]存储后才能激活。

当前已有[快速存储 1]对应的状态文件“QuickSave1.status”时，若再次点击[快速存储 1]按钮，则新生成的状态文件“QuickSave1.status”会将原有的文件覆盖。

3） 存储/调用迹线

3681BU 天馈线测试仪提供存储和调用仪器迹线的功能，方便用户还原需要的迹线。

步骤 1. 打开文件配置窗口：

- 按[文件]进入文件配置窗口，上方的[存储设置]和[调用设置]两个菜单用于迹线的存储与调用；

步骤 2. 存储迹线：

- 点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，列表中共有四种存储类型可选，点击选择[迹线]或[csv (数据)]，对话框消失，当前迹线存储格式为二进制格式或.csv 数据文本格式。二进制格式可以在仪器中调用，而.csv 文本格式不能在仪器中查看，可通过 U 盘拷出后在电脑中查看；
- 点击[存储]，弹出文件名输入对话框，输入文件名，点击[Enter]，对话框消失，对应文件名称的文件在屏幕中间显示；

步骤 3. 调用迹线：

- 点击[调用设置]，弹出仪器调用文件对话框，点击[文件类型]，在弹出的上（下）拉列表选择[迹线]，当前调用文件列表会显示所有已保存迹线文件。选中需要调用的迹线文件，然后点击[调用]，对话框消失，仪器加载迹线文件。

4） 存储/调用 s1p

3681BU 天馈线测试仪提供存储和调用 s1p 数据的功能。

步骤 1.：打开文件配置窗口：

- 按[文件]进入文件配置窗口，上方的[存储设置]和[调用设置]两个菜单用于 s1p 数据的存储与调用；

步骤 2. 存储 s1p 数据：

- 点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，列表中共有四种存储类型可选，点击选择[SP1]，弹出数据类型列表，点击选择想存储的数据类型，对话框消失，当前文件存储类型即为所需 s1p 数据存储；
- 点击[存储]，弹出文件名输入对话框，输入文件名，点击[Enter]，对话框消失，对应文件名称的文件在屏幕中间显示；

步骤 3. 调用 s1p 数据：

- 点击[调用设置]，弹出仪器调用文件对话框，点击[文件类型]，在弹出的上（下）拉列表选择[s1p]，当前调用文件列表会显示所有已保存 s1p 数据文件。选中需要调用的端口文件，然后点击[调用]，对话框消失，仪器加载文件。

3.9 功能操作指南

3.9.1 基本操作

本节将简要介绍 3681BU 天馈线（简称 CAT）测量功能和测量方法，使初次使用的用户阅读本小节后能够对测试操作过程有一个大致的了解，能够进行基本的测量。

1） 启动上位机软件

将天馈线测试仪连接至上位机，打开 3681BU 上位机软件选择设备，即可进入天馈线测试。

2） 选择测量参数

天馈线测试仪可对被测件的回波损耗、驻波比、阻抗，电缆损耗等参数进行测量，同时还提供故障点定位功能（DTF），精确定位阻抗失配点。按[测量]键，即可通过菜单软键选择不同的测量参数。

a) [回波损耗]，选择回波损耗参数并以对数格式显示；

b) [电缆损耗]，选择测试参数为电缆损耗；

c) [驻波比]，选择测试参数为驻波比；

d) [DTF 回波损耗]，选择测试参数故障定位点回波损耗测试；

e) [DTF 驻波比]，选择测试参数故障定位点驻波比测试；

f) [史密斯]，选择测试参数为史密斯圆图；

g) [相位]，选择测试参数为反射相位；

3） 设置频率范围

频率范围指测量的频率跨度，3681BU 天馈线测试仪的频率范围为 300kHz~9GHz，在进行测量和校准之前都必须先设置好测量频率范围。设置频率范围有两种方式：

·指定起始频率和终止频率

a) 按[频率]→[起始频率]，用数字键输入起始频率值，触摸屏选择频率单位完成起始频率设置；

b) 按[终止频率]，用数字键输入终止频率值，触摸屏选择频率单位完成终止频率设置。

·指定中心频率和扫宽

a) 按[频率]→[中心频率]，用数字键输入中心频率值，触摸屏选择频率单位完成中心频率设置；

b) 按[扫宽]，用数字键输入频率跨度值，触摸屏选择频率单位完成扫宽设置。

4） 校准

完成天馈线测试仪的测量设置后，在开始测量之前必须进行校准，消除天馈线测试仪的系统误差，才能保证测量结果的有效性和正确性。如果改变了天馈线测试仪的测量设置如频率范围，扫描点数等，或者在测试端口加入或移除端口延伸电缆，都必须重新进行校准。

根据待测件的接头类型和测试需要，决定是否要在测试仪的测试端口连接端口延伸电缆或转接器。校准时连接校准件的位置和校准完成后连接待测件的位置应该一致，才能得到待测件的准确测量结果。同时准备与待测件接头形式一致的校准件。下面将连接校准件和待测件的位置简称为校准端口。

3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下的校准过程如下：

a) 按[校准]键，按[校准件]键，选择校准件型号，并按[确定]；

b) 按 [机械校准]，显示屏上弹出提示信息："请在端口 1 连接开路器，再按相应菜单键开始测量！" ，在测试端口 1 连接开路器，按[开路器]，天馈线测试仪在测量标准件期间会显示 "校准标准测量中....." ，在完成测量和计算出误差系数之后，显示屏上弹出提示信息： "请在端口 1 连接短路器，再按相应菜单键开始测量！" ；

c) 从测试端口 1 移除开路器，连接短路器，按[短路器]，显示屏上弹出提示信息： "请在端口 1 连接负载，再按相应菜单键开始测量！" ；

d) 从测试端口 1 移除短路器，连接负载，按[负载]，显示屏上弹出提示信息： "按[完成]键完成测量！" ；

e) 按[完成]，完成天馈线测试模式校准过程；

校准完成后，在校准下的菜单栏显示 "校准 关 开"。连接待测件，对待测件进行测量。

5） 使用光标

3681BU 天馈线测试仪提供了最多八个独立的光标，用于读出测量结果。通过按[光标]→[选择光标]→[光标 1] 、[光标 2]...[光标 6]或[更多光标]→[光标 7]、[光标 8]，选择当前显示的光标。每个光标有两种工作模式，标准模式和差值模式。

光标在标准模式下可按[光标]→[最大值]、[最小值]让测试仪自动搜索测量轨迹的最大值和最小值，选择光标的峰值功能可按[峰值]→[峰值] 、[次峰值] 、[右邻峰值]、 [左邻峰值]。也可通过[↑][↓]键、旋轮移动光标，或者直接输入频率值的方式移动光标。

光标设置为差值模式，按[光标]→[差值光标]，直接输入频率差值，也可通过[↑][↓]键或者旋转脉冲发生器移动光标，查看频率差值和幅度差值。

6） 存储和调用测量结果

测试仪可将设置状态和测量数据保存到计算机中，也可从计算机中中调用仪器设置状态和测量数据。

a) 按[文件]→[快速存储调用]，点击[快速存储]，点击[快速存储 1]~[快速存储 8]中的任一按钮，即可将当前仪器状态快速存入存储器中；按[文件]→[存储设置]，点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，选择[状态]，点击[存储]按钮，在弹出的虚拟键盘中输入文件名，再点击[Enter]，可将当前仪器状态存入存储器中；

b) 按[文件]→[快速存储调用]，点击[快速调用]，点击[快速调用 1]~[快速调用 8]中的任一按钮，即可调用快速存储的状态文件；按[文件]→[调用设置]，点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，选择[状态]，窗口文件列表显示存储在存储器中的所有状态文件，选择相应文件，点击[调用]按钮，可调用选中的状态文件。

c) 按[文件]→[存储设置]，点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，选择[迹线]或者[s1p]、[CSV]，点击[存储]按钮，在弹出的虚拟键盘中输入文件名，再点击[Enter]，可将当前扫描轨迹数据存入存储器中；

d) 按[文件]→[调用设置]，点击[文件类型]，弹出上（下）拉列表，选择[迹线]或者[s1p]，页面显示对应的文件列表，选择要调用的文件，点击[调用]按钮，可将数据文件中的数据调入到内存中进行显示和比较。

e) 按[截屏]，可以将屏幕上的显示区存储成 png 文件格式，以存储时的日期及时间作为文件名，存储到仪器指定的目录中。

f) 按[文件]→[文件管理]，可进行文件拷贝或文件删除等操作。

3.9.2 优化测量

本章将举例说明天馈线测试技术的典型应用，每一项都针对 3681BU 天馈线测试仪的不同特点。本章内容覆盖以下测量方法及应用：

1） 降低迹线噪声

2） 增加扫描点数

3） 提高测量稳定性

4） 提高扫描速度

注 意

本节内容中，为保证行文的连续性，数字单位键的表示省略了“[]符号，例如

[3]、[0]、[0]、[MHz]简写为 300[MHz]！

一、 增加扫描点数

一个数据点代表在一个激励下的测量结果，可以定义天馈线测试仪一次扫描测量中的扫描点数，扫描时间随扫描点数变化，默认设置下的扫描点数为 201 点，最大可设置点数为 10001 点。

注 意

·采用最大的扫描点数能得到最好的轨迹分辨率，以便更好的观察被测件的响应。

·如果要实现更快的测量速度，应利用能给出可接受精度的最少扫描点数。

·最佳的扫描点数为当增加点数时测量轨迹没有显著变化时对应的点数。

·为了确保测量精度，校准和测量时的扫描点数应该一致。

设置扫描点数方法：

按[扫描/设置]→[扫描点数]，用数字键输入扫描点数，从 11 到 10001 可任选。

二、 提高测量稳定性

有几种情况能导致测量结果不稳定，为了能进行可重复的测量，需要创造一个稳定的测量环境，影响测量稳定性的因素主要包括以下几个方面：

1） 频率漂移

天馈线测试仪的频率精度取决于其内部的一个 10MHz 晶振，如果测量应用需要更高的频率精度和稳定度，可以不使用内部的频率基准，通过挡板上的 10MHz 参考输入连接器提供一个高稳定度的外部频率基准。

2） 温度漂移

温度变化和因此引起的热胀冷缩可改变以下元件的特性：

·天馈线测试仪内部的器件

·校准件中的校准标准

·被测件

·测试电缆

·适配器

为了减小测量中温度漂移的影响，可以采取以下措施：

·预热天馈线测试仪 30 分钟后进行校准和测量。

·在执行校准前 1 小时，打开装有校准件的盒子，把校准件拿到保护泡沫的外面。

·在一个温度可控的环境中进行测量，在 23℃±3℃的环境温度内，天馈线测试仪可以保证所有的技术指标满足要求。

·保证校准件的温度稳定性，在校准过程中避免对校准件进行不必要的触摸。

·保证周围环境温度与校准时的温度偏差在±1℃以内。

3） 不精确的校准

如果校准不精确，测量时并不能得到被测件的正确响应，为保证校准的精度，应考虑以下因素：

·在连接被测件点即测量平面上进行校准，保证测量平面和校准平面一致。

·使用与校准过程中定义一致的校准件进行校准。

4） 测量连接

正确的连接对取得可重复性的测量结果来说是必须的 ·进行测量连接时应采取以下措施：

·经常检查和清洁测量组成中所有组件的连接器。

·采用正确的连接方法。

·避免在测量中移动电缆。

三、 提高扫描速度

采用快的扫描速度可以提高测量效率 ·在测量中优化以下各项设置使分析仪达到较快的扫描速度：

1） **扫描设置**

通过仔细进行下面的每项设置获得较快的扫描速度：

·**频率扫描**：仅测量被测件关心的频率范围。

·**列表扫描**：用列表扫描进行关心的频段。

·**自动扫描时间**：对当前设置用默认的扫描时间可以获得较快的扫描。

·**扫描点数**：使用测量需要的最小扫描点数。

2） **降低噪声设置**

合理进行下面两项设置，可以减小扫描时间而仍能获得可接受的测量结果

·**中频带宽**：用能给出可接受的迹线噪声和动态范围的更宽的中频带宽。

·**平均**: 尽可能的减小平均因子，或关断平均功能。

3.9.3 DTF 测量

3681BU 天馈线测试模式提供 DTF 测量功能。DTF （Distance-To-Fault）测量也称为故障点定位功能，显示了被测件信号通路不同位置上响应信号的大小，从而为判断传输径上的阻抗变化提供依据。DTF 测量在一些矢量网络分析仪中也被称为时域测量，时域测量横坐标轴显示时间，DTF 测量的横坐标轴为距离，二者之间的关系为：

距离=时间×光速×速率因子

对于被测件来说，速率因子是一个大于零且小于 1 的常数，光速是指光在真空中的传播速率，所以距离和时间二者之间成正比。

一、测量原理

在通常的测量中，矢量网络分析仪显示被测件随频率变化的响应，称为频域测量。现代的矢量网络分析仪通过将频域数据进行反傅立叶变换得到时域数据，测量结果以时间作为 X 轴显示，响应值在分立的时间点出现，可以对被测件的阻抗变化点进行分析。下图显示了同一根电缆的频域和时域反射测量结果，这根电缆有两个弯，每个弯曲点都会造成传输线失配或阻抗的变化。

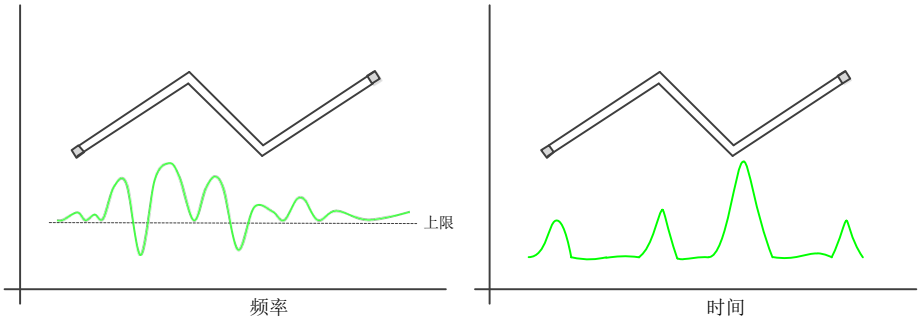


图 3.7 频域和时域测量

在输入端口测量的 S11 的频域响应显示了由于多个电缆失配点相互作用引起的组合反射响应，但很难确定电缆失配发生的确切物理位置。

时域响应显示了每个阻抗失配点的位置和大小，从响应中我们可以看出电缆的第二个弯曲处发了明显的失配。

分析仪的时域测量功能模拟传统的时域反射计（TDR）。时域反射计发射一个冲激或阶跃信号到被测件，然后观察反射信号的能量，通过分析反射信号的幅度、持续时间和波形，就可以确定被测件的阻抗变化情况。天馈线模式进行时域测量时并没有产生入射的冲激或阶跃信号，而是进行扫频测量，再通过傅立叶算法从频域测量结果计算时域信息，所以又被称为频域反射计。

3681BU 天馈线测试模式通过测量 S11 后再进行时域变换测量。S11 反射测量不是简单的显示 A 或 B 接收机接收到的反射信号的大小，它显示测量接收机与参考接收机之间的比值测量结果。S11 比值测量能通过校准去除系统误差，这对 DTF 测量特别重要，因为通过校准建立了测量参考平面，校准点变成了 X 时间轴的零点，所有的时间和距离数据都以这个点为参考点，这样时间和幅度数据都因经过了校准而非常精确。分析仪的时域测量通常包括如下几个步骤：

a）采集原始接收机（A 和 R）数据并进行比值运算；

b）进行误差修正；

c）将频域数据变换到时域；

d）显示测量结果。

二、DTF 测量分辨率与范围

本节讨论如何才能观察到被测件有效的 DTF 数据，及如何进行设置以获得更高的分辨率和更大的测量范围。

1） 响应分辨率

分析仪的 DTF 响应分辨率指分析仪区分两个邻近响应的能力，对于相等幅度的响应，等于以 50%（6dB）幅度点定义的冲激响应的脉宽，或以 10%～90%幅度点定义的阶跃响应的上升时间，如下图所示：

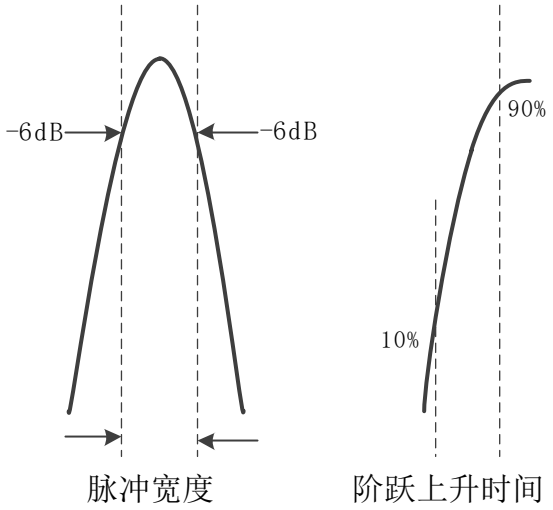


图 3.8 时域响应分辨率

时域响应分辨率受以下几个因素的影响：

a）频率跨度

下图显示了频率跨度对响应分辨率的影响：

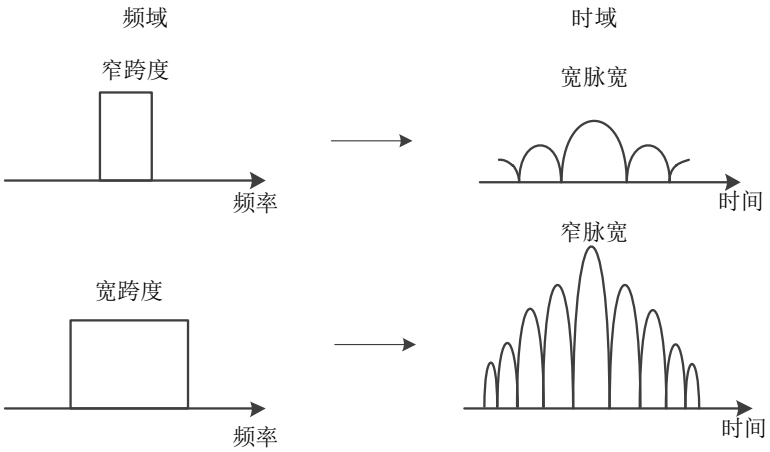


图 3.9 频率、幅度/标尺、带宽/平均菜单结构

- 窄频率跨度下的时域测量响应表现为本应独立分开的冲激响应脉冲彼此重叠在一起。

- 在宽的频率跨度下进行时域测量时，分析仪能够区分不同的响应脉冲。
- 频率跨度和脉冲宽度成反比，频率跨度越宽，冲激响应脉冲越窄，阶跃响应上升沿时间越短，响应测量的分辨率越高。

b）窗函数

天馈线模式在做频时域变换时，其处理的数据长度是有限的，为减小数据截断带来的振铃等效应，分析仪通常都会提供加窗的选项。加窗处理可减小振铃效应，降低旁瓣，但会导致主瓣宽度增加，降低分辨率。

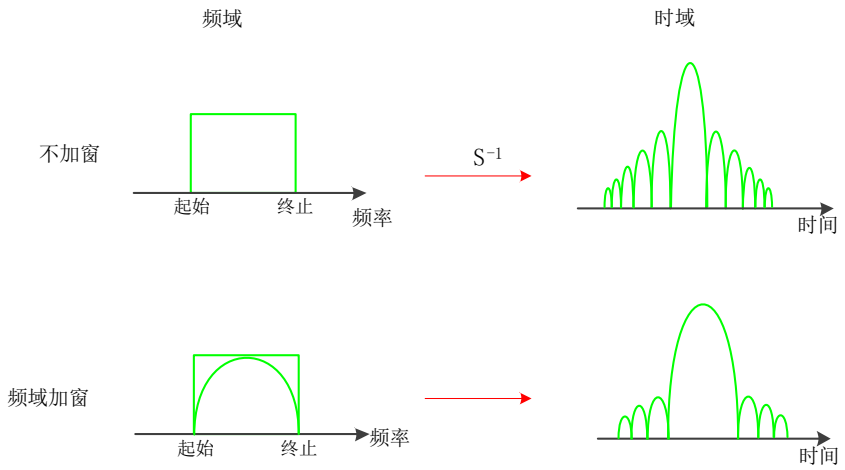


图 3.10 使用窗口滤波抑制旁瓣

3681BU 提供 3 种窗函数，分别为最大值、正常值、最小值，3 种窗函数的主瓣宽度及旁瓣高度，可根据具体测试需要选择不同的窗。

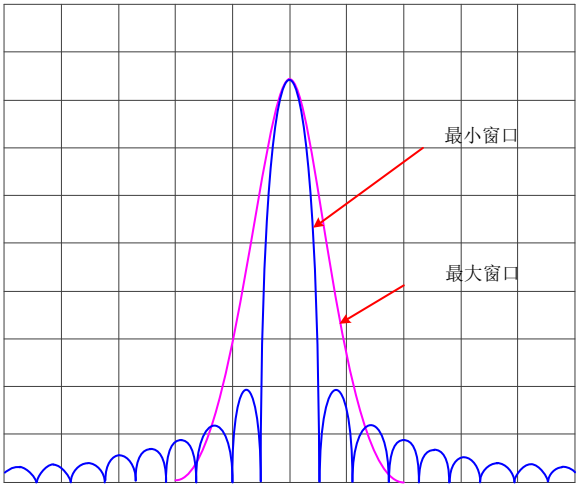


图 3.11 不同窗的影响

2） 测量范围

在时域测量中，测量范围定义为可设置的最大时间长度，在此时间长度内进行测量时不会发生重复响应。

测量范围与响应分辨率成反比关系，提高一个，就会降低另一个。

时域波形是随时间重复的周期信号，因此会发生重复响应。重复响应（假响应）不是被测件的真实响应，它仅会在特定的时间间隔（1/扫描点频率间隔）出现，因此测量范围由扫描点的频率间隔▵F 决定：

进行时域测量时，最大可测量的终止时间为：1/▵F。在反射测量中，由于信号要往返被测件一遍，因此最大测量距离为：

距离=（（（扫描点数-1）/扫宽）/2）*光速*速率因子

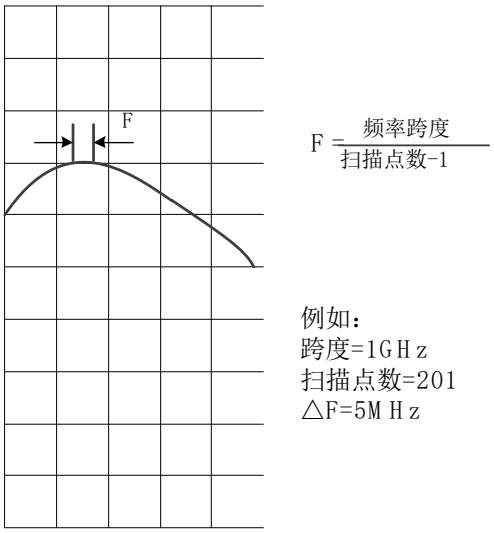


图 3.12 扫描点频率间隔定义

测量范围与扫描点数-1 成正比，与扫宽成反比，为了提高测量范围，可以修改下面两项设置：

·增加扫描点数。

·减小频率跨度。

三、 时域变换测量设置

在进入 DTF 测量模式前，应先设置好测量频率范围，扫描点数，中频带宽等测量参数，完成单端口校准，然后按以下步骤进行 DTF 测试。首先将被测电缆连接至网络端口 1：

a) 按[测量]，按[DTF 驻波比]或[DTF 回波损耗]软键，激活时域变换功能并进入 DTF 测量模式；

b) 按[频率]、[起始距离]，输入要观察的起始距离，并按对应的距离单位完成输入；

c) 按[频率]、[终止距离]，输入要观察的终止距离，并按对应的距离单位完成输入；

d) 如果要设置窗功能，按[频率]、[窗函数>]，显示[窗函数>]的子菜单，选择不同的窗函数；

e) 按[返回]、[单位公制英制]，设定需要的距离单位制式；

f) 按[电缆特性>]、[调用电缆]，在电缆型号选择列表中选择所测电缆的型号，按[确定]键完成选择并关闭对话框；

g) 如果没有对应的电缆型号，可按[电缆特性>]、[电缆损耗]，输入被测件的电缆损耗，按[确定]键完成设置并关闭对话框；

h) 按[速率因子]，输入被测件的传输速率因子，按[确定]键完成设置并关闭对话框；

a)　观测并记录测试结果。

4 菜单

天馈线测试模式主要有“频率”、“幅度”、“带宽”、“扫描”、“迹线”、“光标”、“校准”、“文件”、“极限”、“测量”10 组，

- 菜单结构 37
- 菜单说明 37

4.1 菜单结构

- 频率 37
- 幅度 38
- 带宽 39
- 扫描 40
- 极限 41
- 标记 41
- 校准 42
- 峰值 44
- 测量 44
- 轨迹 46

4.2 菜单说明

4.2.1 频 率

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下频率信息的详细设置方法，通过前面板的[频率]按键打开频率设置软菜单。

1） 设置扫描频率

3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下频率的设置有两种方式：

设置起始和终止频率

a) 按[频率]→[起始频率]；

b) 用数字键输入起始频率值，触摸屏选择频率单位；

c) 按[终止频率]键；

d) 用数字键输入终止频率值，触摸屏选择频率单位。

设置中心频率和扫宽

a) 按[频率]→[中心频率]；

b) 用数字键输入中心频率值，触摸屏选择频率单位；

c) 按[扫宽]键；

d) 用数字键输入扫描宽度值，触摸屏选择扫宽单位。

2） 快速设置扫宽

可以通过以下操作快速设置扫宽：

a) 按[频率]→[扫宽]；

b) 用数字键输入扫描宽度值，触摸屏选择扫宽单位；

4.2.2 幅 度

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下，测量幅度的详细设置，包括刻度类型的选择，按[幅度]键打开幅度和标尺设置菜单。

1） 设置幅度

幅度用来设置显示栅格垂直部分的比例，通过合理的设置标尺可更好的观察测试迹线的细节。比例和格式的设置决定了测量数据在屏幕上的显示方式。

[顶部]

显示栅格垂直部分顶部位置的最大刻度，范围为-499.9dB ~ +500dB。

[底部]

显示栅格垂直部分顶部位置的最大刻度，范围为-500dB ~ +499.9dB。

[自动比例]

按[自动比例]按钮，测试仪根据测量数据自动选择垂直比例使激活轨迹更好的显示在屏幕的垂直栅格内，激励值不受影响，仅改变比例值和参考值。

[默认刻度]

默认刻度指直角坐标格式中的关于幅度设置的所有选项为开机时的默认值。

[参考值]

参考电平指直角坐标格式中参考线的值，对数回波损耗格式下的设置范围为：-500dB ~ +500dB。参考值的默认值为 0。

[参考位置]

参考位置指直角坐标图中参考线的位置，参考位置的默认值为 5。

[刻度/格]

改变该选项的值，即可调整测量曲线的显示比例。

2） 设置输出功率

用于设置天馈线测试仪源输出功率的大小，分为高功率、低功率、手动功率。各型号下，功率实际输出范围不同。设置输出功能的操作为：

a) 按[幅度]→[输出功率 高>]键，按软键[高功率]或[低功率]选择需要的功率；

若想提高输出功率精度，可以手动设置输出功率，操作为：

a) 按软键[手动 -18dBm]选择手动输入功率；

b) 用数字键键入数字和触摸屏选择单位完成输入或通过旋轮或按[↑][↓]调节手动功率。

4.2.3 带 宽

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下测量带宽的详细设置，包括中频带宽的设置，以及平滑平均的开关、平滑孔径设置。按[带宽]按键打开带宽设置软菜单。

测试仪将接收到的响应信号变频到频率较低的中频信号进行处理，中频带通滤波器的带宽被称为中频带宽。3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下中频带宽从 100kHz 向下最小设置到 1Hz，以 1，3，10 步进改变。减小中频带宽可以降低随机噪声对测量结果的影响，中频带宽每减小 10 倍就可以使噪声基底降低 10dB，但设置窄中频带宽会使扫描时间变长。测试仪支持对每一个通道或段扫描设置中频带宽。

设置中频带宽的操作为：

按[带宽]→[中频带宽]，触摸屏手选或者按[↑][↓]键改变中频带宽值，按[确认]完成；

按[带宽]→[平均 开 关]，选择平均开或者关，触摸屏手动切换；

按[带宽]→[平均因子 16]，按数字键设定平均次数；

按[带宽]→[平滑 开 关]，选择曲线平滑开或者关，触摸屏手动切换；

按[带宽]→[平滑孔径（%）10.00]，选择平滑孔径百分比，按数字键设定平滑孔径百分比。

4.2.4 扫 描

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下有关扫描的相关设置，包括扫描时间设置、扫描类型选择以及列表扫描的使用方法。按[扫描/设置]键可以调出扫描相关菜单。

1）设置扫描时间

按[扫描/设置]→[扫描时间 自动 手动]，可以用触摸屏选择扫描时间为自动或者手动设置。选择手动设置后，按数字键再选择对应单位键，可以设定扫描时间。

2） 设置扫描点数

按[扫描/设置]→[扫描点数]，再按相应数字键，可以设定扫描点数，3681BU 天馈线测试仪的天馈线测试模式下扫描点数可以设定从 11 到 10001 任选。

3） 设置扫描类型

3681BU 天馈线测试仪的天馈线测试模式的扫描模式分为线性扫描和列表扫描两种。线性扫描是指以线性频率间隔扫描，相邻测量点的频率间隔相等。在列表扫描设置下，源频率以编辑好的列表所设定的频率范围和扫描点数进行扫描。

按[扫描/设置]→[扫描模式 线性 列表]，触摸屏选择扫描方式为线性或者列表扫描。

当扫描模式为列表扫描时，可以编辑列表进行增加和删除段操作，按[扫描/设置]→[编辑列表>] →[增加段]，通过触摸屏选择要编辑的段的起始频率、终止频率、扫描点数及中频带宽，通过数字键输入参数值。按[扫描/设置]→[编辑列表>]，触摸屏点中要删除的段的任一位置，再按[删除段]进行删除，当需要将列表里面存在的段全部删除时，直接按[删除全部]。

4） 扫描方式

触发信号是使测试仪进行测量扫描的信号，触发设置决定了测试仪扫描的方式及何时停止扫描进入保持状态。测试仪提供四种触发方式：连续扫描、单次扫描、单点扫描、外部触发。触发范围分为全局和通道两种，全局表示触发所有通道扫描，通道表示只触发扫描当前选择的通道。

按[扫描]→[扫描方式]，触摸屏选择触发方式为单次扫描、连续扫描、单点扫描、外部触发。当点击单次扫描时，测试仪接收一个触发信号，进行一次扫描，然后进入保持模式；当点击连续扫描时，测试仪连续进行扫描，直到接收到停止扫描信号，进入保持模式；当点击单点扫描时，测试仪接收一个触发信号，每次点击只扫描一个点；当点击外部触发时，测试仪在接收到外部触发信号时才会进行扫描。可按[运行/保持]在扫描状态和保持状态将切换。

4.2.5 极 限

a) 按[迹线]→ [极限>]进入极限功能菜单。

b) 按 [极限>]→[极限 关 开]，打开极限线的显示功能，此时在屏幕上将显示刚才所编辑频率点组成的极限线，上极限线用绿色线表示；

c) 按[极限>]→[报警 关 开]菜单的状态为开，则极限线测试未通过时，天馈线测试仪将发出“滴滴”的报警声；

d) 按[极限>]→[清除]，清除当前显示的已编辑的极限线；

e) 按[极限>]→[编辑>]→[极限点 1]，切换当前极限上的极限点；

f) 按[极限>]→[编辑>]→[位置]，设置当前极限点的频率，用数字键键入数值并选择频率单位完成输入；

g) 按[极限>]→[编辑>]→[极限值]，用数字键输入该频率点的幅度值并选择幅度单位完成输入；

h) 按[极限>]→[编辑>] →[增加]，在当前极限线上增加极限点；

i) 按[极限>]→[编辑>] →[删除]，删除当前极限上当前显示的极限点；

j) 按[极限>]→[编辑>] →[清除]，删除当前极限上所有存储的极限点；

k) 按[极限>]→[存储]，用数字键盘输入名称，将刚才所编辑极限线存入系统，下次再做同样测量时，通过按[极限]→[调用>]用触摸屏手动选择该极限线并按[确认]完成调用，可以省去用户重复编辑的工作；

l) 按[极限>]→[调用>]，用触摸屏手动选择该极限线文件并按[确认]完成调用，当极限线存储文件数量较多时，通过按[极限>]→[调用>]→[上一页]、 [上一页]，进行翻页查找要调用的极限线文件，并可通过按[极限>]→[调用>]→[删除]、[全部删除]对当前选择的已存储的极限线文件进行单个删除或者进行全部删除操作。

4.2.6 标 记

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式下峰值搜索以及标记的相关使用方法。其中功率监测和信号发生模式下没有标记操作。

1） 标记功能

3681BU 天馈线测试仪的天馈线测试模式下为每条迹线提供了最多 8 个独立的标记，用

于读出测量结果。每个标记可以设置为普通模式或Δ模式，有标记关闭和全部关闭功能，使用标记的操作如下：

a) 按[标记]→[选择标记 [1]]→[标记 1]、[标记 2]、[标记 3]、[标记 4]、[标记 5]、[标记 6]或[更多标记]→[标记 7]、[标记 8]，选择当前显示的标记；

b) 此时标记为标准模式，用旋轮、步进键或者数字键可以移动当前活动标记；

c) 按[标记]→[差值标记]将当前激活标记设置为差值模式，此时在屏幕标记显示区内，显示差值标记和参考标记间的幅度差和频率差（扫宽为零的情况下为时间差），用数字键可以直接输入差值标记的频率值，也可用旋轮、步进键来移动；

d) 按[标记]→[关闭]将当前显示的标记及标记信息关闭；按[全部关闭]将所有显示的标记及标记信息关闭。

2） 标记搜索

a) 按[标记]→[最大值]、[最小值]，执行标记搜索最大值与最小值的功能；

b) 按[峰值]→[峰值]、[次峰值]、[右临峰值]、[左邻峰值]，执行标记搜索的峰值功能；

c) 按[跟踪 关 开]，开启和关闭标记搜索的跟踪功能；

d) 按[高级]，弹出标记搜索的高级搜索功能界面，通过选择标记名称、搜索标记类型、以及搜索频率范围，可根据用户需求详细设置参数以达到精确快速的标记搜索功能。

4.2.7 校 准

按[校准]显示关于校准功能的菜单。

[校准 关 开]

打开或关闭误差修正，只有完成相应校准，才可以打开校准。

[校准件]

选择机械校准的校准件类型。

[31123]

选择校准件类型为 31123 的 2.4mm 校准件。

[31121]

选择校准件类型为 31121 的 3.5mm 校准件。

[31101]

选择校准件类型为 31101 N 型 50Ω 同轴校准件。

[机械校准]

选择校准方式

[开路]

选择校准标准为开路器。

[短路]

选择校准标准为短路器。

[负载]

选择校准标准为负载。

[完成]

完成开路器、短路器、负载的校准标准的测量后，按此菜单项，完成校准标准的测量和修正系数的修正，并自动打开校准开关。

[继续校准>]

将未完成的校准步骤继续完成。

[夹具去嵌>]

去嵌相关的功能菜单设置。包括[去嵌 开 关]和[2-port 去嵌配置]两个子菜单，可以对端口进行夹具去嵌。

[嵌入式校准]

通过内部嵌入式校准件自动执行开路器、短路器、负载的标准校准，提升校准的方便性。

4.2.8 峰 值

该菜单用于实现光标峰值搜索功能。

[峰值]

将一个光标放置到迹线的最大峰值点，并在屏幕的右上角显示此光标的频率和幅度。按下此键，并不改变已激活的功能。

[次峰值]

将活动光标移到迹线上与当前光标位置相联系的下一个最高点处。

[右邻峰值]

寻找当前光标位置右边的下一个峰值。

[左邻峰值]

寻找当前光标位置左边的下一个峰值。

[跟踪 关 开]

设置光标跟踪功能的开关。

[高级]

弹出对话框，设置多个光标的峰值搜索类型和方式。

4.2.9 测量

[回波损耗]

设置测量格式为回波损耗。

[电缆损耗]

设置 DTF 测量的电缆损耗，该参数在修正模式为手动时有效。在弹出设置标签后，按数字键输入拟设置的数值，按[确认]键完成参数设置，也可以通过步进键或旋轮进行调整。

[驻波比]

设置测量格式为驻波比。

[DTF 回波损耗]

设置测量格式为 DTF 回波损耗。

[DTF 驻波比]

设置测量格式为 DTF 驻波比。

[相位]

设置测量格式为相位。

[史密斯>]

设置测量格式为阻抗圆图。

[线性]

选择在阻抗圆图的光标信息显示方式为线性。

[对数]

选择在阻抗圆图的光标信息显示方式为对数。

[复数对]

选择在阻抗圆图的光标信息显示方式为复数对

[R+JX]

选择在阻抗圆图的光标信息显示方式为阻抗。

[G+JB]

选择在阻抗圆图的光标信息显示方式为导纳。

[高级]

设置测量参数，包括 A1、B1、R1 等。

4.2.10 轨 迹

本节介绍 3681BU 天馈线测试仪天馈线测试模式的迹线设置，包括迹线的选择、创建、删除以及窗口的删除、迹线的运算、带宽搜索以及统计等设置。

1） 迹线的选择与新建、删除

迹线的选择、新建及删除功能是对迹线进行操作的基础功能。

选择迹线的操作步骤如下：

a) 按[迹线]→[选择迹线]，弹出选择迹线窗口。

b) 点击选择迹线窗口内的[通道]及[窗口]，分别弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中筛选指定通道及窗口内的迹线，选择好通道及窗口后，页面内显示出筛选后的迹线，选择任一迹线后，点击[确定],即可选择该迹线作为当前迹线。

新建迹线的操作步骤如下：

a) 按[迹线]→[新建迹线]，弹出新建迹线窗口。

b) 点击新建迹线窗口内的[S 参数]、[平衡 S 参数]、[接收机参数]等选择迹线的测量类型，选择好测量类型后，点击对应类型上要新建的迹线；也可点击窗口左下方[全选]按钮将对应类型所有迹线全部选中，或在全部选中后点击窗口左下方[全不选]按钮取消选中。

c) 点击新建迹线窗口下方的[测量格式]，弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中选择迹线的测量格式；点击新建迹线窗口下方的[通道]、[窗口]，分别弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中选择新建迹线所在的通道及窗口，其中若当前窗口数量小于最大窗口数量（最大窗口数量为 4 个），则[窗口]弹出菜单中最后一项为[新建窗口]，若选择[新建窗口]，则新建迹线的同时会新建一个窗口，且新建迹线属于该窗口。

d) 点击[确定]或[应用]按钮，实现新建迹线。点击[确定]按钮在新建迹线后会关闭新建迹线窗口，点击[应用]按钮在新建迹线后不会关闭新建迹线窗口。

注 意

单个窗口内最多可以有 8 条迹线。

删除迹线的操作步骤如下：

a) 按[迹线]→[删除迹线]，弹出删除迹线窗口。

b) 点击删除迹线窗口内的[通道]及[窗口]，分别弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中筛选指定通道及窗口内的迹线，选择好通道及窗口后，页面内显示出筛选后的迹线，选择（可多选）要删除的迹线。

c) 点击删除迹线窗口内的[确定]按钮，即可删除选中的迹线。

注 意

删除迹线时，若某个窗口内的迹线被全部删除，则会自动删除该窗口。

删除迹线时，必须至少保留一条迹线，即无法同时删除所有迹线。

2） 窗口的新建与删除

天馈线测试模式下，窗口数量范围为 1~4，即最少为一个窗口，最多 4 个窗口。复位状态下，默认为一个窗口，若需更多窗口进行显示，需要进行新建窗口操作。

新建窗口的操作步骤如下：

a) 按照上一小节“迹线的选择与新建、删除”中新建迹线的操作步骤执行到步骤 b)。

b) 点击新建迹线窗口下方的[测量格式]，弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中选择迹线的测量格式；点击新建迹线窗口下方的[通道]、[窗口]，分别弹出上（下）拉菜单，可在弹出菜单中选择新建迹线所在的通道及窗口，其中若当前窗口数量小于最大窗口数量（最大窗口数量为 4 个），则[窗口]弹出菜单中最后一项为[新建窗口]，点击[新建窗口]。

c) 点击新建迹线窗口下方的[确定]或[应用]按钮，即可实现新建窗口。

删除窗口的操作步骤如下：

a) 点击迹线区域想要删除的窗口，对应窗口外框变为选中的颜色（不同显示模式下颜色不同）。

b) 按[迹线]→[删除窗口]，即可删除选中的窗口。

c) 另外一种删除窗口的操作参考上一小节“迹线的选择与新建、删除”中删除迹线的操作步骤，若删除了某个窗口内的所有迹线，则会自动删除该窗口。

注 意

若删除某个窗口，则该窗口内的所有迹线也会被一起删除。

3） 迹线的显示与运算

迹线显示功能可以控制在窗口内显示的迹线内容和数量。执行任何类型的迹线运算之前，必须在内存中存储一条迹线，迹线运算是在格式化显示之前的复数据上进行的矢量运算。

设置迹线运算的操作步骤如下：

a) 按[迹线]→[运算]→[数据→存储]，将当前的测量轨迹数据存储到内存中；

b) 按[迹线]→[运算]→[数据]，仅显示测量数据对应的轨迹；

c) 按[迹线]→[运算]→[存储]，仅显示存储数据对应的轨迹；

d) 按[迹线]→[运算]→[数据&存储]，同时显示测量数据和存储数据所对应的轨迹；

e) 按[迹线]→[运算]→[数据-存储]，显示测量数据减去存储数据对应的轨迹；

f) 按[迹线]→[运算]→[数据/存储]，显示测量数据除以存储数据所对应的轨迹；

g) 按[迹线]→[运算]→[数据+存储]，显示测量数据加上存储数据对应的轨迹；

5 远程控制

本章介绍了天馈线测试仪的程控基础、程控接口与配置方法，并简要的介绍了 I/O 仪器驱动库的概念及分类。以方便用户起步实现远程控制操作。具体内容包括：

- 远程控制基础 49
- 仪器程控端口与配置 61
- VISA接口基本编程方法 62
- I/O库 65

5.1 远程控制基础

- 程控接口 49
- 消息 51
- SCPI命令 51
- 命令序列与同步 59
- 编程注意事项 60

5.1.1 程控接口

天馈线测试仪支持 LAN 程控接口。

程控接口及关联 VISA 寻址字符串说明，如下表：

表 5.1　远程控制接口类型和 VISA 寻址字符串

程控接口	VISA 寻址字符串	说 明
LAN (Local Area Network)	**原始套接字协议：** TCPIP::host_address::port::SOCKET **VXI-11协议 和 HiSLIP协议:** TCPIP::host_address[::LAN_device_name][::INSTR]	控者通过仪器网络端口连接仪器实现远程控制。 具体协议请参考： 2.1.1.1 LAN 接口

- LAN接口 59

5.1.1.1 LAN 接口

天馈线测试仪可通过 10Base-T 和 100Base-T 局域网内计算机进行远程控制，各种仪器在局域网内组合成系统，并统一由网内计算机控制。天馈线测试仪为实现局域网内远程控制，需事先安装端口连接器、网卡和相关网络协议，并配置相关的网络服务，同时网内控者计算机也需事先安装仪器控制软件和 VISA 库。网卡的三种工作模式是：

- 10Mbit/s 以太网 IEEE802.3；
- 100Mbit/s 以太网 IEEE802.3u；
- 1Gbit/s 以太网 IEEE802.3ab。

控者计算机和天馈线测试仪需通过网口连接到共同的 TCP/IP 协议网络上。连接计算机和天馈线测试仪之间的电缆是商用 RJ45 电缆（带屏蔽或无屏蔽的 5 类双绞线）。数据

传输时，采用数据分组传输方式，LAN 传输速度较快。通常，计算机和天馈线测试仪之间的电缆长度不应超过 100 米（100Base-T 和 10Base-T）。关于 LAN 通信的更多信息，请参考：http://www.ieee.org。下面介绍 LAN 接口相关知识：

1) IP 地址

通过局域网对天馈线测试仪进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。通过天馈线测试仪的菜单“本机 IP”将地址设置到主控计算机所在的子网内即可。例如：主控计算机的 IP 地址是 172.141.11.200，则天馈线测试仪的 IP 地址应设为 172.141.11.XXX，其中 XXX 为除 200 之外的 1 ~ 254 之间的数值。

建立网络连接时只需IP地址，VISA寻址字符串形式如下：

TCPIP::host address[::LAN device name][::INSTR] 或

TCPIP::host address::port::SOCKET

其中：

- TCPIP 表示使用的网络协议；
- host address 表示仪器的IP地址或者主机名称，用于识别和控制被控仪器；
- INSTR 表示仪器资源类型（该项可选）；
- port 标识套接字端口号；
- SOCKET 表示原始网络套接字资源类。

举例：仪器的IP地址是172.141.11.202:

- 建立原始套接字连接时可使用：
  TCPIP::172.141.11.202::5025::SOCKET

提 示

程控系统中多仪器识别方法

若网络中连接多台仪器，采用仪器单独的IP地址和关联的资源字符串区分。主控计算机使用各自的VISA资源字符串识别仪器。

2) 套接字通信

TCP/IP 协议通过局域网套接字在网络中连接天馈线测试仪。套接字是计算机网络编程中使用的一个基本方法，它使得使用不同硬件和操作系统的应用程序得以在网络中进行通信。这种方法通过端口（port）使天馈线测试仪与计算机实现双向通信。

套接字是专门编写的一个软件类，里面定义了 IP 地址、设备端口号等网络通信所必需的信息，整合了网络编程中的一些基本操作。在操作系统中安装了打包的库就可以使用套接字。两个常用的套接字库是 UNIX 中应用的伯克利（Berkeley）套接字库和 Windows 中应用的 Winsock 库。

天馈线测试仪中的套接字通过应用程序接口（API）兼容 Berkeley socket 和 Winsock。此外，还兼容其他标准套接字 API。通过 SCPI 命令控制天馈线测试仪时，程序中建立的套

接字程序发出命令。在使用局域网套接字之前，必须先设置天馈线测试仪的套接字端口号。天馈线测试仪的套接字端口号为 5025。

5.1.2 消息

数据线上传输的消息分为以下两类：

1) **接口消息**

仪器与主控计算机间通信时，首先需要拉低attention线，然后接口消息才能通过数据线传送给仪器。只有具备GPIB总线功能的仪器才能发送接口消息。

2) **仪器消息**

根据传输方向的不同，仪器消息可分为命令和仪器响应。如不特别声明，所有程控接口使用仪器消息的方法相同。

a) **命令：**

命令（编程消息）是主控计算机发送给仪器的消息，用于远程控制仪器功能并查询状态信息。命令被划分为以下两类：

- 根据对仪器的影响：
  - 设置命令：改变仪器设置状态，例如：复位或设置频率等。
  - 查询命令：查询并返回数据，例如：识别仪器或查询参数值。查询命令以后缀问号结束。
- 根据标准中的定义：
  - 通用命令：由IEEE488.2定义功能和语法，适用所有类型仪器（若实现）用于实现：管理标准状态寄存器、复位和自检测等。
  - 仪器控制命令：仪器特性命令，用于实现仪器功能。例如：设置频率。语法同样遵循SCPI规范。

b) **仪器响应：**

仪器响应（响应消息和服务请求）是仪器发送给计算机的查询结果信息。该信息包括测量结果、仪器状态等。

5.1.3 SCPI 命令

- SCPI命令简介 51
- SCPI命令说明 52

5.1.3.1 SCPI 命令简介

SCPI(Standard Commands for Programmable Instruments——可程控设备的标准命令)是一个基于标准 IEEE488.2 建立的，适合所有仪器的命令集。其主要目的是为了使相同功能具有相同的程控命令，以实现程控命令的通用性。

SCPI 命令由命令头和一个或多个参数组成，命令头和参数之间由空格分开，命令头包含一个或多个关键字段。命令直接后缀问号即为查询命令。命令分为通用命令和仪器专用命令，它们的语法结构不同。SCPI 命令具备以下特点：

1) 程控命令面向测试功能，而不是描述仪器操作；
2) 程控命令减少了类似测试功能实现过程的重复，保证了编程的兼容性；
3) 程控消息定义在与通信物理层硬件无关的分层中。
4) 程控命令与编程方法和语言无关，SCPI 测试程序易移植。
5) 程控命令具有可伸缩性，可适应不同规模的测量控制。

6) SCPI 的可扩展性，使其成为“活”标准。

如果有兴趣了解更多关于 SCPI 的内容，可参考：

IEEE Standard 488.1-1987, IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation. New York, NY, 1998。

IEEE Standard 488.2-1987, IEEE Standard Codes, Formats, Protocols and Comment

Commands for Use with ANSI/IEEE Std488.1-1987. New York, NY, 1998

Standard Commands for Programmable Instruments(SCPI) VERSION 1999.0.

天馈线测试仪的程控命令集合、分类及说明，具体请参考：

1) 本手册“3 程控命令”；

2) 本手册“附录 A SCPI 命令按子系统分类速查表”；

5.1.3.2 SCPI 命令说明

- 通用术语 52
- 命令类型 53
- 仪器专用命令语法 53
- 关键字后缀索引语法 55
- 命令树 55
- 命令参数和响应 56
- 命令中数值的进制 58
- 命令行结构 59

1) 通用术语

下面这些术语适用本节内容。为了更好的理解章节内容，您需要了解这些术语的确切定义。

控制器

控制器是任何用来与 SCPI 设备通讯的计算机。控制器可能是个人计算机、小型计算机或者卡笼上的插卡。一些人工智能的设备也可作为控制器使用。

设备

设备是任何支持 SCPI 的装置。大部分的设备是电子测量或者激励设备，并使用 GPIB 接口通讯。

程控消息

程控消息是一个或者多个正确格式化过的 SCPI 命令的组合。程控消息告诉设备怎样去测量和输出信号。

响应消息

响应消息是指定 SCPI 格式的数据集合。响应消息总是从设备到控制器或者侦听设备。响应消息告诉控制器关于设备的内部状态或测量值。

命令

命令是指满足 SCPI 标准的指令。控制设备命令的组合形成消息。通常来说，命令包括关键字、参数和标点符号。

事件命令

事件型程控命令不能被查询。一个事件命令一般没有与之相对应的前面板按键设置，它的功能就是在某个特定的时刻触发一个事件。

查询

查询是一种特殊类型的命令。查询控制设备时，返回适合控制器语法要求的响应消息。查询语句总是以问号结束。

2) 命令类型

SCPI 命令分为两种类型：通用命令和仪器专用命令。图 2.1 显示了两种命令的差异。通用命令由 IEEE 488.2 定义，用来管理宏、状态寄存器、同步和数据存储。因通用令均以一个星号打头，因此很容易辨认。例如*IDN?、*OPC、*RST 都是通用命令。通用命令不属于任何仪器专用命令，仪器采用同一种方法解释该类命令，而不用考虑命令的当前路径设置。

仪器专用命令因包含冒号（:），因此容易辨认。冒号用在命令表达式的开头和关键字的中间，例如：FREQuency[:CW?]。根据仪器内部功能模块，将仪器专用命令划分为对应的子系统命令子集合。例如，功率子系统（:POWer）包含功率相关命令，而状态子系统（:STATus）包含状态控制寄存器的命令。

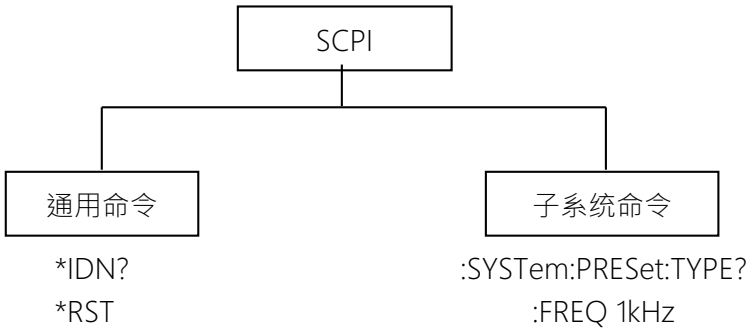


图 5.1 SCPI 命令类型

3) 仪器专用命令语法

一个典型的命令是由前缀为冒号的关键字构成。关键字后面跟着参数。下面是一个语法声明的例子。

[:SOURce]:POWer[:LEVel] MAXimum|MINimum

在上面的例子中，命令中的[:LEVel]部分紧跟着:POWer，中间没有空格。紧跟着[:LEVel]的部分：MINimum|MAXimum 是参数部分。在命令与参数之间有一个空格。语法表达式的其它部分说明见表 5.2 和 5.3。

表 5.2　命令语法中的特殊字符

符号	含义	举例
|	在关键字和参数之间的竖号代表多种选项。	[:SOURce]:AM: SOURce EXTernal|INTernal EXTernal 和 INTernal 是选项
[]	方括号表示被包含的关键字或者参数在构成命令时是可选的。这些暗含的关键字或者参数甚至在它们被忽略时命令也会被执行。	[:SOURce]:AM[:DEPTh]:EXPonential? SOURce 和 DEPTh 是可选项。
< >	尖括号内的部分表示在命令中并不是按照字面的含义使用。它们代表必需包含的部分。	[:SOURce]:FREQ:STOP <val><unit> 该命令中，<val>和<unit>必须用实际的频率和单位替代。 例如：:FREQ:STOP 3.5GHz
{ }	大括号内的部分表示其中的参数可选。	[:SOURce]:LIST:POWer <val>{,<val>} 例如：LIST:POWer 5

表 5.3　命令语法

字符、关键字和语法	举例
大写的字符代表执行命令所需要的最小字符集合。	[:SOURce]:FREQuency[:CW]?, FREQ 是命令的短格式部分。
命令的小写字符部分是可选择的；这种灵活性的格式被称为“灵活地听”。更多信息请参照“命令参数和响应”部分。	:FREQuency :FREQ,:FREQuency 或者:FREQUENCY， 其中任意一个都是正确的。
当一个冒号在两个命令助记符之间，它将命令树中的当前路径下移一层。更多消息请参照“命令树”的命令路径部分。	:TRIGger:OUTPut:POLarity? TRIGger 是这个命令的最顶层关键字。
如果命令包含多个参数，相邻的参数间由逗号分隔。参数不属于命令路径部分，因此它不影响路径层。	[:SOURce]:LIST:DWELl <val>{,<val>}
分号分隔相邻的 2 条命令，但不影响当前命令路径。	:FREQ 2.5GHZ; :POW 10DBM
空白字符，例如<space>或者<tab>，只要不出	:FREQ uency 或者:POWer :LEVel6.2 是

字符、关键字和语法	举例
现 在关键字之间或者关键字之中，通常是被忽略的。然而，你必须用空白字符将命令和参数分隔开来，且不影响当前路径。	不允许的。 在:LEVel 和 6.2 之间必须由空格隔开。 即 :POWer:LEVel 6.2

4) 关键字后缀索引语法

关键字后缀索引是由索引的默认值和除默认值外的其他可选值得范围构成。下面是一个语法声明的例子。

:CALCulate[1]|2-4[:SELected]:MARKer[1]|2-6:ACTivate

在上面的例子中，命令中的 CALCulate 部分紧跟着[1]|2-4，表示 CALCulate 后缀的索引可设置 1、2、3、4，不设置则表示后缀索引默认值为 1。同理，命令中的 MARKer 部分紧跟着[1]|2-6，表示 MARKer 后缀的索引可设置 1、2、3、4、5、6，不设置则表示后缀索引默认值为 1。后缀索引表示的具体含义见具体指令的释义。

5) 命令树

大部分远程控制编程会使用仪器专用命令。解析该类命令时，SCPI 使用一个类似于文件系统的结构，这种命令结构被称为命令树，如图 5.2 所示：

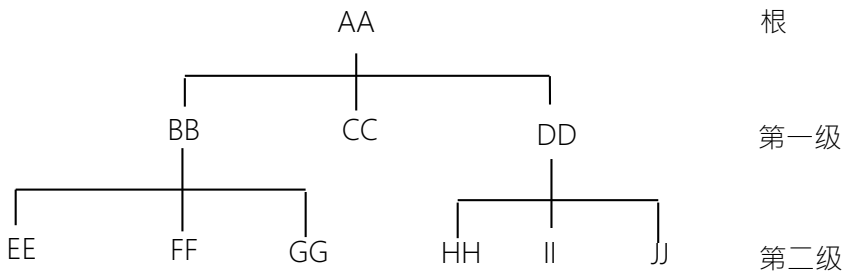


图 5.2 简化的命令树示意图

顶端命令是根命令，简称“根”。命令解析时，依据树结构遵循特定的路径到达下一层命令。例如：:POWer:ALC:SOURce?，其中，:POWer 代表 AA，:ALC 代表 BB，:SOURce 代表 GG，整个命令路径是（:AA:BB:GG）。

仪器软件中的一个软件模块——**命令解释器**，专门负责解析每一条接收的 SCPI 命令。命令解释器利用一系列的分辨命令树路径的规则，将命令分成单独的命令元。解析完当前命令后，保持当前命令路径不变，这样做的好处是，因为同样的命令关键字可能出现在不同的路径中，更加快速有效的解析后续命令。开机或*RST（复位）仪器后，重置当前命令路径为根。

6) 命令参数和响应

SCPI 定义了不同的数据格式在程控和响应消息的使用中以符合“**灵活地听**”和“**精确地讲**”的原则。更多的信息请参照 IEEE488.2。“**灵活地听**”指的是命令和参数的格式是灵活的。

不同参数类型都有一个或多个对应的响应数据类型。查询时，数值类型的参数将返回一种数据类型，响应数据是精确的，严格的，被称为“**精确地讲**”。

表 5.4 SCPI 命令参数和响应类型

参数类型	响应数据类型
数值型	实数或者整数
扩展数值型	整数
离散型	离散型
布尔型	数字布尔型
字符串	字符串
块	确定长度的块
	不确定长度的块
非十进制的数值类型	十六进制
	八进制
	二进制

数值参数

仪器专用命令和通用命令中都可使用数值参数。数值参数接收所有的常用十进制计数法，包括正负号、小数点和科学记数法。如果某一设备只接收指定的数值类型，例如整数，那么它自动将接收的数值参数取整。

以下是数值类型的例子：

0	无小数点
100	可选小数点
1.23	带符号位
4.56e<space>3	指数标记符 e 后可以带空格
-7.89E-01	指数标记符 e 可以大写或小写
+256	允许前面加正号
5	小数点可先行

扩展的数值参数

大部分与仪器专用命令有关的测量都使用扩展数值参数来指定物理量。扩展数值参数接收所有的数值参数和另外的特殊值。所有的扩展数值参数都接收 MAXimum 和 MINimum 作为参数值。其它特殊值，例如：UP 和 DOWN 是否接收由仪器解析能力决定，其 SCPI 命令表中会列出所有有效的参数。

注意：扩展数值参数不适用于通用命令或是 STATus 子系统命令。

扩展数值参数举例：

101	数值参数
1.2GHz	GHz 可以被用作指数（E009）
200MHz	MHz 可以被用作指数（E006）
100mV	100 毫伏
10DEG	10 度
MAXimum	最大的有效设置
MINimum	最小的有效设置
UP	增加一个步进
DOWN	减少一个步进

离散型参数

当需要设置的参数值为有限个时，使用离散参数来标识。离散参数使用助记符来表示每一个有效的设置。象程控命令助记符一样，离散参数助记符有长短两种格式，并可使用大小写混合的方式。

下面的例子，离散参数和命令一起使用。

:TRIGger[:SEQuence]:SOURce BUS|IMMediate|EXTernal

BUS	LAN 触发
IMMediate	立刻触发
EXTernal	外部触发

布尔型参数

布尔参数代表一个真或假的二元条件，它只能有四个可能的值。

布尔参数示例：

ON	逻辑真
OFF	逻辑假
1	逻辑真
0	逻辑假

字符串型参数

字符串型参数允许 ASCII 字符串作为参数发送。单引号和双引号被用作分隔符。

下面是字符串型参数的例子。

'This is Valid'　　"This is also Valid"　　'SO IS THIS'

实型响应数据

大部分的测试数据是实数型，其格式可以为基本的十进制计数法或科学计数法，大部分的高级程控语言均支持这两种格式。

实数响应数据示例：

1.23E+0
-1.0E+2
+1.0E+2

0.5E+0
0.23
-100.0
+100.0
0.5

整型响应数据

整数响应数据是包括符号位的整数数值的十进制表达式。当对状态寄存器进行查询时，大多返回整数型响应数据。

整数响应数据示例：

0	符号位可选
+100	允许先行正号
-100	允许先行负号
256	没有小数点

离散响应数据

离散型响应数据和离散型参数基本一样，主要区别是离散型响应数据的返回格式只为大写的短格式。

离散响应数据示例：

INTernal	稳幅方式为内部
EXTernal	稳幅方式为外部
MMHead	稳幅方式为毫米波源模块

数字布尔型响应数据

布尔型的响应数据返回一个二进制的数值 1 或者 0。

字符串型响应数据

字符串响应数据和字符串参数是同样的。主要区别是字符串响应数据的分隔符使用双引号，而不是单引号。字符串响应数据还可嵌入双引号，并且双引号间可以无字符。

下面是一些字符串型响应数据的例子：

"This is a string"

"one double quote inside brackets: ("")"

7) 命令中数值的进制

命令的值可以用二进制，十进制，十六进制或者八进制的格式输入。当用二进制，十六进制或者八进制时，数值前面需要一个合适的标识符。十进制（默认格式）不需要标识符，　当输入一个数值前面没有表示符时，设备会确保其是十进制格式。下面的列表显示了各个格式需要的表示符：

- #B 表示这个数字是一个二进制数值。
- #H 表示这个数字是一个十六进制数值。

- #Q 表示这个数字是一个八进制数值。

下面是 SCPI 命令中十进制数 45 的各种表示：

#B101101

#H2D

#Q55

下面的例子用十六进制数值 000A 设置 RF 输出功率为 10dBm (或者当前选择单位的等数值的值，如 DBUV 或者 DBUVEMF)。

:POW #H000A

在使用非十进制格式时，一个测量单位，如 DBM 或者 mV，不和数值一起使用。

8) 命令行结构

一条命令行或许包含多条SCPI命令，为表示当前命令行结束，可采用下面的方法：

- 回车；
- 回车与EOI；
- EOI与最后一个数据字节。

命令行中的命令由分号隔开，属于不同子系统的命令以冒号开头。例如：

MMEM:COPY "Test1", "MeasurementXY";:HCOP:ITEM ALL

该命令行包含两条命令，第一条命令属于MMEM子系统，第二条命令属于HCOP子系统。若相邻的命令属于同一个子系统，命令路径部分重复，命令可缩写。例如：

HCOP:ITEM ALL;:HCOP:IMM

该命令行包含两条命令，两条命令均属于HCOP子系统，一级相同。所以第二条命令可从HCOP的下级开始，并可省略命令开始的冒号。可以缩写为如下命令行：

HCOP:ITEM ALL;IMM

5.1.4 命令序列与同步

IEEE488.2 定义了交迭命令和连续命令之间的区别：

- 连续命令是指连续执行的命令序列。通常各条命令执行速度较快。
- 交迭命令是指下条命令执行前，前条命令未自动执行完成。通常交迭命令的处理时间较长并允许程序在此期间可同步处理其它事件。

即使一条命令行中的多条设置命令，也不一定按照接收的顺序依次执行。为了保证命令按照一定的顺序执行，每条命令必须以单独的命令行发送。

举例：命令行包含设置和查询命令

一条命令行的多条命令若包含查询命令，查询结果不可预知。下面的命令返回固定值：

:FREQ:STAR 1GHZ;SPAN 100;:FREQ:STAR?

返回值：1000000000 (1GHz)

下面的命令返回值不固定：

:FREQ:STAR 1GHz;STAR?;SPAN 1000000

返回结果可能是当前的起始频率值，因为主机程序会推迟执行命令。若主机程序接收命令后执行，返回结果也可能是1GHz。

提 示

设置命令与查询命令分开发送

一般规则：为保证查询命令的返回结果的正确性，设置命令和查询命令应在不同的程控消息中发送。

5.1.4.1 防止命令交迭执行

为了防止命令的交迭执行，可采用多线程或者命令：*OPC、*OPC?或者*WAI，只有硬件设置完成后，才执行这三种命令。编程时，计算机可强制等待一段时间以同步某些事件。下面分别予以说明：

- **控者程序使用多线程**
  多线程被用于实现等待命令完成和用户界面及程控的同步，即单独的线程中等待 *OPC? 完成，而不会阻塞GUI 或程控线程的执行。
- **三种命令在同步执行中的用法如下表**：

表 5.5 命令语法

方法	执行动作	编程方法
*OPC?	停止执行当前命令，直到返回 1。只有 ESR 寄存器中的操作完成位置位时，该命令才返回，表明前面命令处理完成。	执行其它命令前终止当前命令的处理，在当前命令后直接发送该命令。
*WAI	执行*WAI 前，等待发送完所有命令，再继续处理未完成的命令。	执行其它命令前终止当前命令的处理，在当前命令后直接发送该命令。

5.1.5 编程注意事项

1) 改变设置前请初始化仪器状态

远程控制设置仪器时，首先需要初始化仪器状态（例如发送”*RST”），然后再实现需要的状态设置。

2) 命令序列

一般来说，需要分开发送设置命令和查询命令。否则，查询命令的返回值会根据当前仪器操作顺序而变化。

3) 故障反应

服务请求只能由仪器自己发起。测试系统中的控者程序应指导仪器在出现错误时主动发起服务请求，进而进入相应的中断服务程序中进行处理。

4) 错误队列

控制程序每次处理服务请求时，应查询仪器的错误队列，来获取更加精确的错误原因。尤其在控者程序的测试阶段，应经常查询错误队列以获取控者发送给仪器的错误命令。

5.2 仪器程控端口与配置

- LAN 61
- USB 62

5.2.1 LAN

LAN（Local Area Network）程控系统采用SICL-LAN控制天馈线测试仪。

- 建立连接 61
- 接口配置 61

5.2.1.1 建立连接

使用USB天馈线测试仪运行于windows系统，可以通过本机IP地址直接与天馈线测试仪软件建立程控连接。

5.2.1.2 接口配置

通过局域网对天馈线测试仪进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。由于不支持DHCP、域名访问以及广域网络连接，因此天馈线测试仪的网络程控设置相对简单。3681BU软件运行于 windows 系统，IP 地址即是电脑系统的 IP 地址，程控端口号可以进行配置，如图 5.3 所示。



图 5.3　端口号设置

注 意

确保天馈线测试仪通过 10Base-T LAN 或 100Base-T LAN 电缆物理连接正常

由于该天馈线测试仪只支持单一局域网络控制系统的搭建，且只支持静态 IP 地址的设置，不支持 DHCP，也不支持通过 DNS 和域名服务器访问主机，因此不需要用户修改子网掩码，仪器内将其固定设置为：255.255.255.0。

5.2.2 USB

- 建 立 连 接 62

5.2.2.1 建立连接

在测试仪中，3681BU 天馈线测试仪 USB 接口为 Type-C 型，通过上位机软件实现对硬件模块的控制功能，如图 6.4 所示：

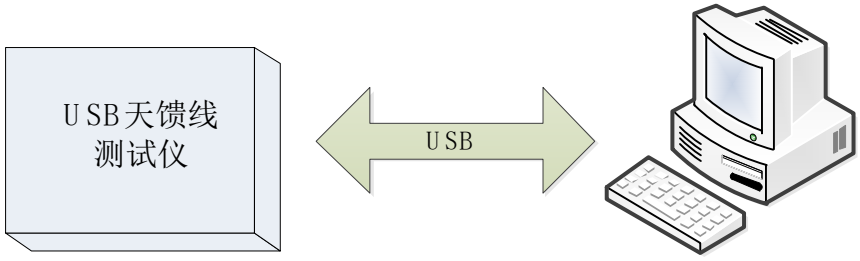


图 5.4　USB 接口连接图

5.3 VISA 接口基本编程方法

下面举例说明如何使用 VISA 库实现仪器程控编程的基本方法。以 C++语言为例。

- VISA 库 62
- 示 例 运 行 环 境 63
- 初 始 化 和 设 置 默 认 状 态 63
- 发 送 设 置 命 令 64
- 读 取 测 量 仪 器 状 态 65

5.3.1 VISA 库

VISA 是标准的 I/O 函数库及其相关规范的总称。其中，VISA 库函数是一套可方便调用的函数，其核心函数能够控制各种类型器件，无需考虑器件的接口类型和不同 I/O 接口软件的使用方法，这些库函数用于编写仪器的驱动程序，完成计算机与仪器间的命令和数据传输，以实现对仪器的程控。通过初始化寻址字符串（“VISA 资源字符串”），可建立具备程控端口（LAN、USB 等）的仪器的连接。

为实现远程控制首先需要安装 VISA 库。其中，VISA 库封装了底层的 GPIB、LAN 及 USB 接口的底层传输函数，方便用户直接调用。天馈线测试仪支持的编程接口为：LAN 和 USB。这些接口与 VISA 库和编程语言结合使用可以远程控制天馈线测试仪。

图 5.5 显示了程控接口、VISA 库、编程语言和天馈线测试仪之间的关系。

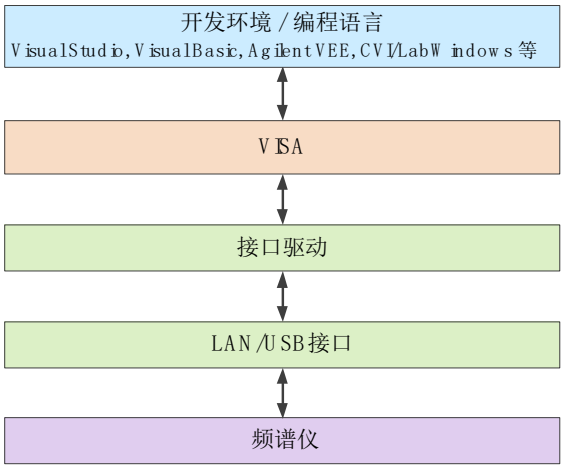


图5.5　程控软硬件层

5.3.2 示例运行环境

5.3.2.1 配置要求

本章所描述的编程示例，已在如下配置的计算机上运行成功。

- IBM 兼容、奔腾级以上的 PC 机；
- Windows XP 及以上的操作系统；
- Visual Studio 2008 及以上的集成开发环境；
- NI 的 VISA 库或者 Agilent 的 VISA 库；
- USB 驱动；
- 网卡；

5.3.2.2 包含的文件

运行 C/C++编写的程序示例，您必须在 VC6.0 的项目中包含必须的文件

如果您使用 VISA 库必须进行以下步骤：

- 添加 visa32.lib 到源文件；
- 添加 visa.h 到头文件。

如果您使用 NI-488.2 库必须进行以下步骤：

- 添加 windows.h 文件到头文件；

关于 NI-488.2 库和 VISA 库的更详细资料请分别在 NI 公司和 Agilent 公司的网站查阅。

5.3.3 初始化和设置默认状态

程序开始时首先需要初始化 VISA 资源管理器 ,打开并建立 VISA 库与仪器的通信连接。具体步骤如下：

5.3.3.1 生成全局变量

首先生成其它程序模块需要调用的全局变量，例如：仪器句柄变量，以天馈线测试仪为例。以下示例程序需要包含下面的全局变量：

ViSession analyzer;
ViSession defaultRM;
Const char analyzerString [VI_FIND_BUFLEN] = "TCPIP0::172.141.11.202::5025::SOCKET ";
Const analyzerTimeout = 10005;

其中，常量analyzerString代表仪器描述符，“TCPIP0”代表控者，IP地址是“172.141.11.202”。若仪器连接到USB，USB地址是“0x3399::0x4E07::NI-VISA-10005”，那么该变量值是：

const char analyzerString [VI_FIND_BUFLEN] =
“USB0::0x3399::0x4E07::NI-VISA-10005::RAW ”;

5.3.3.2 初始化控者

```
/*****************************************************************************/
下面的示例说明了如何打开并建立VISA库与仪器（仪器描述符指定）的通信连接。
//初始化控者：打开默认资源管理器并且返回仪器句柄analyzer
/*****************************************************************************/
void InitController()
{
    ViStatus status;
    status = viOpenDefaultRM(&defaultRM);
    status = viOpen(defaultRM, analyzerString, VI_NULL, VI_NULL, &analyzer);
}
```

5.3.3.3 初始化仪器

```
/*****************************************************************************/
下面的示例初始化仪器默认状态，并且清空状态寄存器。
/*****************************************************************************/
void InitDevice()
{
    ViStatus status;
    long retCnt;
    status = viWrite(analyzer, "*CLS", 4, &retCnt); //复位状态寄存器
    status = viWrite(analyzer, "*RST", 4, &retCnt); //复位仪器
}
```

5.3.4 发送设置命令

```
/*****************************************************************************/
下面的示例说明如何设置天馈线测试仪频谱分析模式下的中心频率，扫宽。
```

```
/*****************************************************************************/
void SimpleSettings()
{
    ViStatus status;
    long retCnt;
    //设置中心频率3GHz
    status = viWrite(analyzer, ":FREQ:CENT 3000000000 ", 22, &retCnt);
    //设置扫宽1GHz
    status = viWrite(analyzer, ":FREQ:SPAN 1000000000", 23, &retCnt);
}
```

5.3.5 读取测量仪器状态

```
/*****************************************************************************/
下面的示例说明了如何读取仪器的设置状态。
/*****************************************************************************/
void ReadSettings()
{
    ViStatus status;
    long retCnt;
    char rd_Buf_CW[VI_READ_BUFLEN]; // #define VI_READ_BUFLEN 20
    char rd_Buf_LVL[VI_READ_BUFLEN];

    //查询中心频率
    status = viWrite(analyzer, "FREQ:CENT?", 10, &retCnt);
    Sleep(10);
    status = viRead(analyzer, rd_Buf_FREQ, 20, &retCnt);
    //查询扫宽
    status = viWrite(analyzer, ":FREQ:SPAN?", 12, &retCnt);
    Sleep(10);
    status = viRead(analyzer, rd_Buf_SPAN, 20, &retCnt);
    //打印调试信息
    sprint("Freq is %s", rd_Buf_FREQ);
    sprint("Span is %s", rd_Buf_SPAN);
}
```

5.4 I/O 库

- I/O 库概述 65
- I/O 库安装与配置 66

5.4.1 I/O 库概述

I/O 库是为仪器预先编写的一些软件程序库被称为仪器驱动程序，即：仪器驱动器

（Instrument driver），它是介于计算机与仪器硬件设备之间的软件中间层，由函数库、实用程序、工具套件等组成，是一系列软件代码模块的集合，该集合对应于一个计划的操作，如配置仪器、从仪器读取、向仪器写入和触发仪器等。它驻留在计算机中，是连接计算机和仪器的桥梁和纽带。通过提供方便编程的高层次模块化库，用户不再需要学习复杂的针对某个仪器专用的低层编程协议，采用仪器驱动器是快速开发测试测量应用的关键。

从功能上看，一个通用的仪器驱动器一般由功能体、交互式开发者接口、编程开发者接口、子程序接口和 I/O 接口五部分组成，如图 5.5 所示。

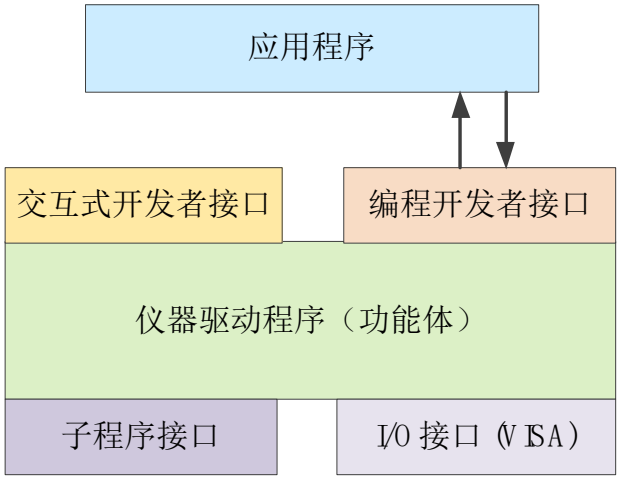


图 5.5　仪器驱动器结构模型

具体说明如下：

1) 功能体。这是仪器驱动器的主功能部分，可以理解为仪器驱动器的框架程序。。
2) 交互开发者接口。为方便用户使用，支持仪器驱动器开发的应用开发环境通常提供图形化的交互开发接口。例如，Labwindows/CVI 中，函数面板就是一种交互开发接口。函数面板中，仪器驱动器函数的各个参数都是以图形化的控件形式表示。
3) 编程开发者接口。它是应用程序调用仪器驱动器函数的软件接口，例如 Windows 系统下仪器驱动器的动态链接库文件.dll。
4) I/O 接口。它完成仪器驱动器与仪器间的实际通信。可以使用总线专用 I/O 软件，也可以使用跨多个总线使用的通用的标准 I/O 软件：VISA I/O。
5) 子程序接口。它是仪器驱动器访问其它一些支持库的软件接口，例如数据库、FFT 函数等。当仪器驱动器为完成其任务而需调用其它软件模块、操作系统、程控代码库及分析函数库时，将用到子程序接口。

5.4.2 I/O 库安装与配置

伴随着测试领域的应用经历了从传统仪器到虚拟仪器等不同的发展阶段，并且为了解决自动测试系统中仪器可互换性和测试程序的可重用性，仪器驱动程序经历了不同的发展过程。目前比较流行通用的驱动器是 IVI（Interchangeable Virtual Instruments）仪器驱动器，它基于 IVI 规范，定义了新的仪器编程接口，以及插入类驱动程序和 VPP 架构到 VISA 上，使测试应用程序与仪器硬件完全独立，并增加了独有的仪器仿真、范围检测、状态缓存等功能，提高了系统运行的效率与真正实现了仪器互换。

IVI 驱动分为两种类型：IVI-C 与 IVI-COM，IVI-COM 基于微软组件对象模型（COM）

技术，采用 COM API 的形式；IVI-C 基于 ANSI C，采用 C API 的方式。这两种驱动类型都是遵照 IVI 规范定义的仪器类来设计的，它们的应用开发环境也都相同，包括 Visual Studio，Visual Basic，Agilent VEE，LabVIEW，CVI/LabWindows 等。

为满足不同用户在不同开发环境下的需求，目前需要提供两种驱动形式。天馈线测试仪的 IVI 驱动利用 Nimbus Driver Studio 开发，直接生成 IVI-COM 与 IVI-C 驱动及程序安装包，具体安装配置请参阅您所选择的控制卡及 I/O 库的随机文档资料。

安装后的 IVI 驱动分为：IVI 固有功能组与仪器类功能组（基本功能组和扩展功能组）。具体功能分类、函数和属性说明可参考驱动自带的帮助文档。

提 示

配置端口以及安装 IO 库

在使用计算机控制天馈线测试仪之前，请确认您已正确安装且配置必要的端口和 I/O 库。

提 示

I/O 库的使用

安装随机的 IVI-COM/C 驱动程序安装包，会自动安装驱动函数面板、帮助文档及驱动函数的示例程序，方便用户开发集成程控功能。

6 故障诊断与返修

当您的天馈线测试仪出现难以解决的问题时，可通过电话或传真与我们联系。如果经联系确信是天馈线测试仪需要返修时，请您用原包装材料和包装箱包装天馈线测试仪，并按下面的步骤进行包装：

a) 写一份有关天馈线测试仪故障现象的详细说明，与天馈线测试仪一同放入包装箱。

b) 用原包装材料将天馈线测试仪包装好，以减少可能的损坏。

c) 在外包装纸箱四角摆放好衬垫，将仪器放入外包装箱。

d) 用胶带密封好包装箱口，并用尼龙带加固包装箱。

e) 在箱体上标明“易碎！勿碰！小心轻放！”字样。

f) 请按精密仪器进行托运。

g) 保留所有运输单据的副本。

▲ 警 告

仪器内部没有用户可以调节的部件，当仪器出现故障时，请向专业人员寻求帮助。

不要自行打开机壳！

提 示

使用其它材料包装天馈线测试仪，可能会损坏仪器。禁止使用聚苯乙烯小球作为包装材料，它们一方面不能充分地保护仪器，另一方面会被产生的静电吸入仪器风扇中，对仪器造成损坏。

提 示

本产品的包装物均选用无毒、无害、易于降解和回收利用的材料，在保证产品贮藏和运输安全的前提下，尽量减少包装材料的使用，以减少包装废物的产生。

请保留原包装材料，以备仪器返厂维修时运输所用。

7 技术指标与测试方法

7.1 技术指标

3681BU 天馈线测试仪在环境温度下存放两小时，开机预热 15 分钟后，天馈线测试模式下应满足下列性能特性。

a) 频率范围：300kHz~9GHz；

b) 频率准确度：±1.0ppm；

c) 反射跟踪：±0.08dB；

d) 有效方向性：42dB(300kHz≤f＜6GHz)　36dB(6GHz≤f≤9GHz)；

e) 有效源匹配：31dB(300kHz≤f≤9GHz) 。

7.2 推荐测试方法

本节提供了 3681BU 天馈线测试仪在天馈线测试模式下主要技术指标的推荐测试方法，这些指标能够全面反映天馈线测试仪的性能和状况。待测的天馈线测试仪需要在工作温度范围内至少存储 2 个小时，并且开机预热 20 分钟后，不出现错误提示后方能进行下面的指标测试。推荐的测试方法中用到的仪器有：频谱分析仪 4036，校准件 31101A 等，也可以使用指标相当的其它测试设备，但测试设备须经计量合格，确保设备准确、可靠。按照推荐方法所得的测试数据将得到我方认可，在交接时可作为仪器是否合格的判定依据。

下列各个指标测试时的具体操作步骤是根据测试设备中所列的仪器编写的，当采用同等性能特性的其它测试仪器时，具体操作方法应参照测试仪器的使用说明书。

测试步骤中提到的复位操作，均指厂家复位模式。

天馈线测试仪天馈线测试模式主要技术指标有：频率范围与频率准确度、反射跟踪、有效方向性、有效源匹配。

1） 频率范围与频率准确度测试

描述：本项测试的频率范围是指天馈线测试仪工作在天馈线测试模式端口所能输出信号的最小频率和最大频率的范围。而频率准确度是指端口输出信号的频率测量值与设置值的差异程度。

a) 测试框图和测试仪器及设备

测试框图如图 8.1 所示。

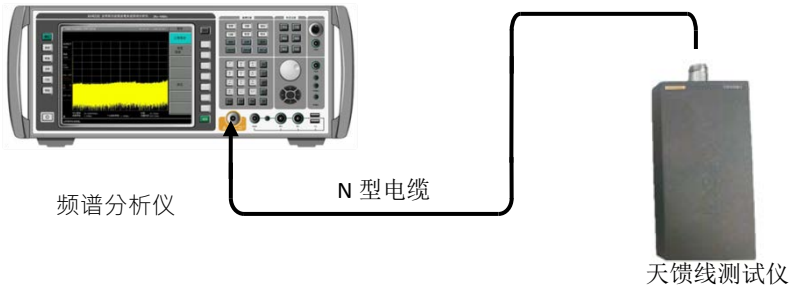


图 8.1 频率范围和频率准确度测试框图

测试设备：

频谱分析仪.....推荐 4036

测试电缆、转接器

b) 测试步骤

1）设置天馈线测试仪工作模式为天馈线测试模式；

2）按【频率】[起始]设置测试仪的工作起始频率为对应型号的最低频率，[终止]设置测试仪的工作终止频率为对应型号的最高频率；如果能设置到最低和最高频率说明频率范围符合要求；

3）如图 8.1 连接测试仪器，测试仪的端口（射频输出口）连接到频谱分析仪的 RF 输入端口，设置频谱分析仪的参考电平 10dBm，打开频率计数功能；

4）按【频率】[中心频率]，1GHz, [扫宽]，0Hz 设置测试仪工作在点频 1GHz 状态；

5）设置频谱分析仪的中心频率与测试仪的中心频率相同，并适当地改变频谱分析仪的扫宽，搜索峰值并设置到中心；

6）读出频谱分析仪的计数值 f_o . 并填入记录表中。

7）根据性能记录表，改变测试仪和频谱分析仪的中心频率，重复步骤 4）~6）。

2） 有效方向性

描述 :方向性定义为当信号在正方向行进时辅端出现的功率与信号反向行进时辅端出现的功率的比值，用分贝（dB）表示。它表明一个定向器件能够分离正反向行波的良好程度。方向性指标的数值越大，表示其分离信号的能力越好，理想情况下为无穷大。

本项测试天馈线测试模式下经过校准和误差修正后的测试端口方向性指标。

a) 测试框图和测试仪器及设备

测试框图如图 8.2 所示：

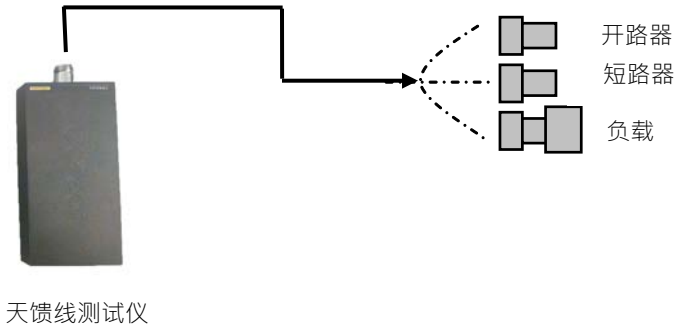


图 8.2 有效方向性、有效源匹配、反射跟踪测试框图

测试设备：

校准件.....推荐 31101A

b) 测试步骤

1）设置天馈线测试仪工作模式为天馈线测试模式；

2）设置测试仪起始频率为 300kHz，终止频率为 9GHz，设置中频带宽为 100Hz，扫描点数为 401 点；

3）按[校准]→[校准件]选择正确的校准件，再按[机械校准] →[单端口]，如图 8.2，依次完成开路、短路、负载等标准件的测量，最后按[完成]键完成校准；

4）校准最后一步用的负载标准件不从测量端口取下，[扫描/设置] →[单次扫描]，等待一次扫描完成，根据需要改变刻度使曲线易于读数，按[峰值] →[高级]，根据测试表格分频段找出测试最大值作为方向性指标，填入测试表格对应栏。

3） 有效源匹配

描述：源匹配是指等效到测量端口的输出阻抗与系统标准阻抗的匹配程度。在反射测量中，源匹配误差信号是由被测件反射的部分信号经信号源反射回被测件再由被测件反射的信号，源匹配用分贝（dB）表示，其数值越大，指标越好，所引起的测量误差越小。理想情况下为无穷大

本项目测试天馈线测试仪天馈线测试模式经过校准和误差修正后的端口源匹配特性。

a) 测试步骤

1) 设置天馈线测试仪工作模式为天馈线测试模式；

2) 设置测试仪起始频率为 300kHz，终止频率为 9GHz，设置中频带宽为 100Hz，扫描点数为 401 点；

3) 按[校准]→[校准件]选择正确的校准件，再按[机械校准] →[单端口]，如图 8.2，依次完成开路、负载、短路等标准件的测量，最后按[完成]键完成校准；

4) 校准最后一步用的短路器标准件不从校准端口取下，等待一次扫描完成，按[迹线]→[运算] →[数据→存储]；

5) 将端口短路器换开路器，按[下一页]→[源匹配]；

6) 按[扫描/设置] →[单次扫描]，等待一次扫描完成，改变刻度使曲线易于读数，按[峰值] →[高级]，找出测试最大值，其绝对值作为端口源匹配指标，填入测试表格对应栏。

4） 反射跟踪

本项目测试天馈线测试仪天馈线测试模式经过校准和误差修正后的端口反射跟踪特性。

a) 测试步骤

1) 启动 3681BU 天馈线测试仪上位机软件；

2) 设置测试仪起始频率为 300kHz，终止频率为 9GHz，设置中频带宽为 100Hz，扫描点数为 401 点；

3) 按[校准]→[校准件]选择正确的校准件，再按[机械校准] →[单端口]，如图 8.2，依次完成开路、负载、短路等标准件的测量，最后按[完成]键完成校准；

4) 校准最后一步用的短路器标准件不从校准端口取下，等待一次扫描完成，按按[峰值] →[高级]，根据测试表格分频段找出测试最大值，其绝对值作为端口反射跟踪指标，填入测试表格对应栏。

附录

附录 A　3681BU 天馈线测试仪记录表

仪器编号：_____　　测试人员：_____

测试日期：_____　　测试条件：_____

序号	检验项目	单位	标准要求	检验结果
1	设计与结构	/	结构形式：手持式	
		/	外观颜色：主体黑色	
		/	整机外观整洁美观，面板标识字迹清晰，按键旋钮操作灵活，各接头接插方便、到位，无明显机械损伤与污渍。	
2	功能	/	电缆和天馈线测试	
3	选件	/	嵌入式电子校准	
天馈线测试性能指标				
4	频率范围及频率准确度	/	300kHz~9GHz：	
			1GHz：　　1GHz±1000Hz	
5	有效方向性	dB	≥42 300kHz~6GHz	
		dB	≥36　　6GHz~9GHz	
6	反射跟踪	dB	±0.08 300kHz~9GHz	
7	有效源匹配	dB	≥31 300kHz~9GHz	

3681BU 天馈线测试仪记录表（续）

序号	检验项目		单位	标准要求	检验结果
8	接口	射频接口	/	N 型阴头	
		通信接口	/	USB 接口：C 型	
		供电接口	/	USB 接口：C 型	
		其他接口	/	触发输入接口：MMCX	
			/	触发输出接口：MMCX	
9	安全性		/	抗电强度要求 AC 1500V，10mA/min；无击穿、无飞弧。	
			/	电压 242V，泄漏电流：≤3.5mA，1min。	
			/	电源输入端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。	
			/	电源输入端与机壳之间的绝缘电阻，在潮湿环境下应不小于 2MΩ	
说明	1. 打“√”表示功能正常或符合要求；打“X”表示功能不正常或不符合要求； 2.打“/”表示本机无此测试项。				
	综合判定： 合格□ 不合格□				