Ceyear 思仪

87230 系列

USB 连续波功率探头

用户手册



中电科思仪科技股份有限公司

该手册适用下列型号 USB 连续波功率探头：

- 87230：9kHz ~ 6GHz。
- 87231：10MHz ~ 18GHz。
- 87232：50MHz ~ 26.5GHz。
- 87233：50MHz ~ 40GHz。

除标准配件外的选件如下：

- 英文选件：英文菜单、英文面板等，出口使用。

版　　本：　C.2　2022年07月，中电科思仪科技股份有限公司
服务咨询：　0532-86889847　400-1684191
技术支持：　0532-86880796
质量监督：　0532-86886614
传　　真：　0532-86889056
网　　址：　www.ceyear.com
电子邮箱：　techbb@ceyear.com
地　　址：　山东省青岛市黄岛区香江路98号
邮　　编：　266555

前　言

非常感谢您选择使用中电科仪器仪表有限公司研制、生产的 87230 系列 USB 连续波功率探头！本公司产品集高、精、尖于一体，在同类产品中有较高的性价比。

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

AV2.984.1215SS

版本

C.2　2022.07

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仪器仪表有限公司。

本手册版权属于中电科仪器仪表有限公司，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，中电科仪器仪表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。中电科仪器仪表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。

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 3
2.1 产品综述 3
2.2 安全使用指南 3
2.2.1 安全标识 4
2.2.2 操作状态和位置 5
2.2.3 用电安全 5
2.2.4 操作注意事项 6
2.2.5 维护 6
2.2.6 电池与电源模块 7
2.2.7 运输 7
2.2.8 废弃处理/环境保护 7
3 使用入门 9
3.1 操作前准备 9
3.1.1 开箱 10
3.1.2 环境要求 10
3.1.3 开/关电 11
3.1.4 正确使用连接器 13
3.2 例行维护 16
3.2.1 清洁方法 16
3.2.2 测试端口维护 16
4 操作指南 17
4.1 功率探头的选型 17
4.2 功率测量虚拟面板 18
4.3 测量前的校零和校准 19
4.3.1 校零 19
4.3.2 内部校零 20
4.3.3 校准 20
4.4 连续波功率测量功能 20
5 远程控制 23

目 录

5.1 远程控制基础 23
5.1.1 程控接口 23
5.1.2 消息 25
5.1.3 SCPI 命令 26
5.1.4 命令序列与同步 33
5.1.5 状态报告系统 34
5.1.6 编程注意事项 36
5.2 仪器程控端口与配置 37
5.2.1 建立连接 37
5.2.2 接口配置 37
5.3 VISA 接口基本编程方法 37
5.3.1 安装 VISA 库 37
5.3.2 初始化控者 37
5.3.3 初始化仪器 37
5.3.4 发送设置命令 38
5.3.5 读取测量仪器状态 38
5.3.6 命令同步 39
5.4 I/O 库 40
5.4.1 I/O 库概述 40
5.4.2 I/O 库安装与配置 41
6 故障诊断与返修 43
6.1 工作原理 43
6.2 故障诊断与排除 43
6.2.1 找不到 USB 设备 44
6.2.2 LED 绿色指示灯不亮 44
6.2.3 意外现象 44
6.3 错误信息 44
6.4 返修方法 45
6.4.1 联系我们 45
6.4.2 包装与邮寄 45
7 技术指标 47
7.1 声明 47
7.2 产品特征 47

7.2.1 整机特点 47
7.2.2 主要功能 47
7.3 技术指标 48

1 手册导航

本章介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的用户手册功能、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 87230 系列 USB 连续波功率探头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、测量配置操作手册、远程控制、维护及技术指标等内容，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87230系列USB连续波功率探头的主要功能性能特点、典型应用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87230系列USB连续波功率探头的操作前检查、仪器浏览、基本测量方法及数据管理等。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手册做好前期准备。该章节包含的内容与快速入门手册相关章节一致。

- **操作手册**

  详细介绍仪器各种测量功能的操作方法，包括设置仪器、启动测量过程和获取测量结果等。主要包括两部分：功能操作手册和高级操作手册。功能操作手册部分针对不熟悉87230系列USB连续波功率探头使用方法的用户，系统、详细地介绍、列举每种设置，使用户理解掌握87230系列USB连续波功率探头的一些基本用法。高级操作指导部分针对已具备基本的USB连续波功率探头使用常识，但对一些特殊用法不够熟悉的用户，介绍相对复杂的测试过程和高级的使用技巧。

- **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87230系列USB连续波功率探头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函数库，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**
  介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的产品特征和主要技术指标。

1.2 关联文档

87230 系列 USB 连续波功率探头的产品文档包括:

- 快速使用指南
- 用户手册
- 程控手册

快速使用指南

该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本地、程控操作方法。包含的主要章节是:

- 手册导航
- 准备使用
- 典型应用
- 获取帮助

用户手册

该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
- 远程控制
- 故障诊断与返修
- 技术指标

程控手册

该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:

- 手册导航
- 远程控制
- 程控命令
- 编程示例
- 错误说明
- 附录

2 概述

本章介绍了87230系列USB连续波功率探头的主要性能特点、主要用途和应用领域，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.....3
- 安全使用指南.....3

2.1 产品综述

87230系列USB连续波功率探头（简称USB连续波功率探头）是由中电科仪器仪表有限公司研制的新一代基于USB 2.0接口的二极管检波式功率探头，内部采用高性能DSP处理芯片，通过多维校准技术，使探头具有频率范围宽、功率动态范围大、测量速度快、测量精度高等优点。

本系列USB连续波功率探头包括87230、87231、87232和87233四款产品，其中87230频率范围为9kHz ~ 6GHz，87231频率范围为10MHz ~ 18GHz，87232频率范围为50MHz ~ 26.5GHz，87233的频率范围为50MHz ~ 40GHz。主要功能特点如下：

1) 具有连续波信号绝对功率精确测量功能；
2) 具有内部校零和外部校零功能；
3) 单探头体积，重量轻，便于携带；
4) 支持USB程控功能，提供可互换虚拟仪器（IVI）驱动，支持USBTMC（USB测试测量类）协议；
5) 兼容其它具备USB主机接口的计算机或测量仪器，可快速组建微波功率测试系统。

2.2 安全使用指南

请认真阅读并严格遵守以下注意事项!

我们将力保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。

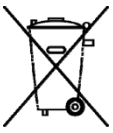
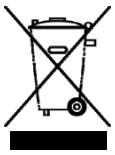
另外，正确的使用本产品也是您的责任。在开始使用本仪器之前，请仔细阅读并遵守安全说明。本产品适合在工业和实验室环境或现场测量使用，切记按照产品的限制条件正确使用，以免造成人员伤害或财产损害。如果产品使用不当或者不按要求使用，出现的问题将由您负责，我们将不负任何责任。**因此，为了防止危险情况造成人身伤害或财产损坏，请务必遵守安全使用说明。**请妥善保管基本安全说明和产品文档，并交付到最终用户手中。

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”中的第1项。
	注意，小心处理静电敏感器件。		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，87230 系列 USB 连续波功率探头的操作环境需满足：平稳放置仪器，室内操作。操作和运输仪器时所处的海拔高度最大不超过 4600 米。实际供电电压允许在标注电压的±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。

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与仪器标注的供电电压匹配。

2) 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。

3) 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。

4) 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。

5) 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) 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。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 电池与电源模块

关于电池的使用注意事项如下:

1) 请勿损坏电池。

2) 勿将电池和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池或电源模块的连接端口。

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

4) 电池和电源模块请勿遭受机械冲撞。

5) 若电池泄露液体，请勿接触皮肤和眼睛，若有接触请用大量的清水冲洗后，及时就医。

6) 请使用厂家标配的电池和电源模块，任何不正确的替换和充电碱性电池（例如：锂电池），都易引起爆炸。

7) 废弃的电池和电源模块需回收并与其它废弃物品分开处理。因电池内部的有毒物质，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) 请勿将标注有电池或者蓄电池的设备随未分类垃圾一起处理，应单独收集，且在合适的收集地点或通过厂家的客户服务中心进行废弃处理。

2) 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。

3) 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。

4） 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 使用入门

本章介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的使用前注意事项和例行维护等，以便用户初步了解仪器本身。该章节包含的内容与快速入门手册相关章节一致。

- 操作前准备.....9
- 例行维护.....16

3.1 操作前准备

本章介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头初次使用前的注意事项。

⚠ 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

操作仪器时请注意：

不恰当的应用场所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：

- 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；
- 端口输入信号功率电平符合标注范围；
- 信号输出端口正确连接，不要过载。

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。

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;
- 参考注意用户手册中的电磁兼容（EMC）级别标注。

3.1.1 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公司服务咨询中心联系，我们将根据情况迅速维修或调换。

2) 型号确认

表3.1 87230系列随箱物品清单

名 称	数 量	功 能
主机:		
✧ 87230 系列	1	主机
标配:		
✧ USB 电缆	1	可锁紧专用 USB 电缆，长 2m
✧ 光盘	1	内含虚拟面板、程控手册、驱动程序和编程示例
✧ 用户手册	1	—
✧ 合格证	1	贴于机身

3.1.2 环境要求

87230 系列 USB 连续波功率探头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 87230系列操作环境要求

温 度	10℃ ~ 40℃
误差调整时温度范围	23℃ ±5℃（误差调整时允许温度偏差 <1℃）
湿 度	<+29 ℃ 时，湿度计测量值范围：20% ~ 80%（未冷凝）
海拔高度	0 ~ 4,600 米
振 动	最大 0.21G，5 Hz ~ 500 Hz

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) 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。

3.1.3 开/关电

1) 主机系统要求

87230 系列 USB 连续波功率探头采用标准 USB mini-AB 插座，必须在具有 USB 主机接口的计算机或者其他测试仪器上进行功率显示或者直接程控。

在使用 USB 连续波功率探头之前，请确保主机符合以下要求：

- 计算机或任何具有 USB 主机接口的硬件设备；
- 支持 Windows98SE/ME/XP/2000/2003/Win7/WIN10 或更高版本；
- 安装有 VISA 3.0 以上的版本和随机提供的功率测试虚拟面板；
- 还可以通过 Microsoft® Visual Basics、C++、LabVIEW 等远程编程软件进行编程。

2) USB 电缆的选择

87230 系列 USB 连续波功率探头随机配备专用 USB 电缆，可以旋紧固定在机身上，如图 3.1。用户也可以使用自己的 USB 电缆，但要保证电缆符合国际安全标准。

⚠ 警 告

防止人身伤害和损伤仪器

接触不良或接线错误很可能导致仪器损坏，甚至对人身造成伤害。因此推荐用户使用我公司提供的 USB 电缆，如果需要改用其他非标准的电缆，请联系我们的技术人员。



图 3.1 可紧固型 USB 电缆

3) 仪器的加电

87230 系列 USB 连续波功率探头使用计算机标准 USB 接口，表 3.3 列出了 87230 系列 USB 连续波功率探头正常工作时对电源的要求。

表3.3 87230系列工作电源变化范围

电源参数	适应范围
输出电压	+5V ±5%　DC
额定电流	0.5A

87230 系列 USB 连续波功率探头正常功耗为 1.8W，当计算机 USB 接口插入多个 USB 设备时，并不能保证每个接口都可以提供 0.5A 的输出电流，此时计算机可能会提示找不到个别探头，在这种情况下，请采用配接外部电源的 USB HUB。

利用符合要求的USB电缆,将探头接入主机USB接口,观察探头绿色指示灯是否点亮。

步骤 1. 将 USB 电缆小口端接入 87230 系列 USB 连续波功率探头，并旋紧，然后将 USB 电缆大口端接入计算机或者测量仪器 USB 主机接口，功率探头绿色指示灯稍后点亮；

步骤 2. 主机“设备管理器”能够查找到新的“USB Test and Measurement Devices”设备。



图 3.2 USB 连续波功率探头配接到计算机

4) 仪器的关机

拔下 USB 电缆，即可关闭 USB 连续波功率探头，此时绿色 LED 指示灯熄灭。

3.1.4 正确使用连接器

在 USB 连续波功率探头进行各项测试过程中，需要将 USB 连续波功率探头连接到 USB 电缆，再连接到待测源，需要使用 1.85mm、2.4mm 和 3.5mm 的 male 连接器，甚至用到各类型的转接适配器，尽管这些连接器都是按照最高的标准进行设计制造，但是所有这些连接器的使用寿命都是有限的。由于正常使用时不可避免的存在磨损，导致连接器的性能指标下降甚至不能满足测量要求，因此正确的进行连接器的维护和测量连接不但可以获得精确的、可重复的测量结果，还可以延长连接器的使用寿命，降低测量成本，在实际使用过程中需注意以下几个方面：

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，建议使用放大镜检查以下各项：

1) 电镀的表面是否磨损，是否有深的划痕；
2) 螺纹是否变形；
3) 连接器的螺纹和接合表面上是否有金属微粒；
4) 内导体是否弯曲、断裂；
5) 连接器的螺套是否旋转不良。

⚠ 小 心

连接器检查防止损坏仪器端口

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 USB 连续波功率探头本身的各个接口，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:

步骤 1. 如图 3.3，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孔内;



图 3.3 互连器件的轴心在一条直线上

步骤 2. 如图 3.4，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;

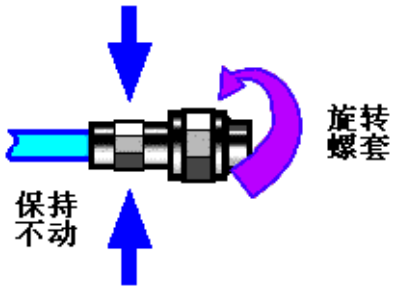


图 3.4 连接方法

步骤 3. 如图 3.5，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。

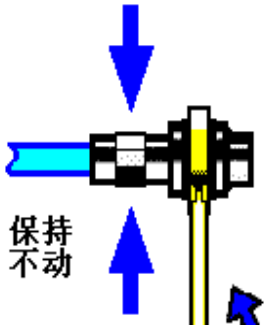


图 3.5 使用力矩扳手完成最后连接

3) 断开连接的方法

步骤 1. 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;
步骤 2. 可使用一支开口扳手防止连接器主体旋转;
步骤 3. 利用另一支扳手拧松连接器的螺套;

步骤 4. 用手旋转连接器的螺套，完成最后的断开连接；

步骤 5. 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如图 3.6 所示，使用时应注意以下几点：

- 使用前确认力矩扳手的力矩设置正确；
- 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；
- 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。

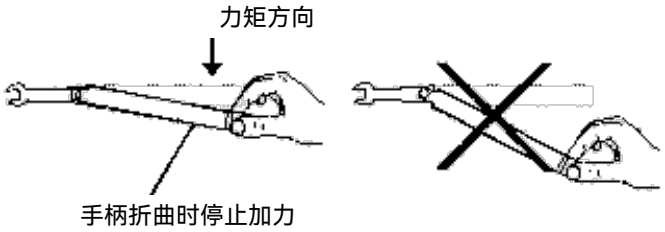


图 3.6 力矩扳手的使用方法

5) 连接器的使用和保存

1) 连接器不用时应加上保护护套；
2) 不要将各种连接器、工具等散落放置放在一个盒子内，这是引起连接器损坏的一个最常见原因；
3) 使连接器和分析仪保持相同的温度，用手握住连接器或用压缩空气清洁连接器都会显著改变其温度，应该等连接器的温度稳定下来后再使用它进行校准；
4) 不要接触连接器的接合平面，皮肤的油脂和灰尘微粒很难从接合平面上去除；
5) 不要将连接器的接触面向下放到坚硬的台面上，与任何坚硬的表面接触都可能损坏连接器的电镀层和接合表面；
6) 佩带防静电腕带并在接地的导电工作台垫上工作，这可以保护分析仪和连接器免受静电释放的影响。

6) 连接器的清洁

清洁连接器时应该佩带防静电腕带，按以下步骤清洁连接器：

1) 使用清洁的低压空气清除连接器螺纹和接合平面上的松散颗粒，对连接器进行彻底检查，如果需要进一步的清洁处理，按以下步骤进行；
2) 用异丙基酒精浸湿（但不浸透）不起毛的棉签；
3) 使用棉签清除连接器接合表面和螺纹上的污物和碎屑。当清洁内表面时，注意不要对中心的内导体施加外力，不要使棉签的纤维留在连接器的中心导体上；
4) 让酒精挥发，然后使用压缩空气将表面吹干净；
5) 检查连接器，确认没有颗粒和残留物；
6) 如果经过清洁后连接器的缺陷仍明显可见，表明连接器可能已经损坏，不应该再使用，并在进行测量连接前确认连接器损坏的原因。

7) 适配器的使用

当分析仪的测量端口和使用的连接器类型不同时，必须使用适配器才能进行测量连接，另外即使分析仪的测量端口和被测件端口的连接器类型相同，使用适配器也是一个不错的主意。这两种情况都可以保护测量端口，延长其使用寿命，降低维修成本。将适配器连接到分析仪的测量端口前应对其进行仔细的检查和清洁，应该使用高质量的适配器，减小失配对测量精度的影响。

8) 连接器的接合平面

微波测量中的一个重要概念是参考平面，对于分析仪来说，它是所有测量的基准参考面。在进行校准时，参考平面被定义为测量端口和校准标准接合的平面，良好连接和校准取决于连接器间在接合面的各点上是否可以完全平直的接触，保证最小功率驻波比，实现最小功率损耗，从而保证测量的精度。

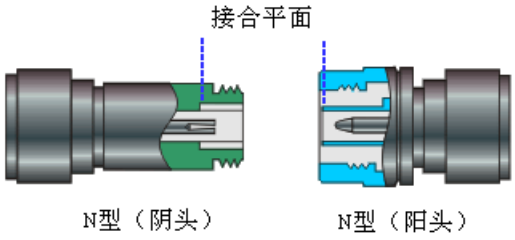


图 3.7 校准平面

3.2 例行维护

该节介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的日常维护方法。

3.2.1 清洁方法

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。

3.2.2 测试端口维护

87230系列USB连续波功率探头有一个USB电缆接头，一个微波功率信号输入端口，若该接头损伤或内部存在灰尘会影响射频波段测试结果，请按照下面的方法维护该类接头:

- 接头应远离灰尘，保持干净;
- 为防止静电泄露（ESD），不要直接接触接头表面;
- 不要使用损伤的接头;
- 请使用电吹风清洁接头，不要使用例如砂纸之类的工具研磨接头表面。

4 操作指南

本章介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的选择，以及不同测量功能的详细操作方法和测量步骤。

- 功率探头的选型.....17
- 功率测量虚拟面板.....18
- 测量前的校零和校准.....19
- 连续波功率测量功能.....20

4.1 功率探头的选型

87230 系列 USB 连续波功率探头包括 87230、87231、87232 和 87233 四款产品，如下表所示。

表4.1 87230系列USB连续波功率探头

序号	探头型号	功率范围	频率范围	接口形式
1	87230	-50dBm ~ +20dBm	9kHz ~ 6GHz	N(m)
2	87231	-60dBm ~ +20dBm	10MHz ~ 18GHz	N(m)
3	87232	-60dBm ~ +20dBm	50MHz ~ 26.5GHz	3.5mm(m)
4	87233	-60dBm ~ +20dBm	50MHz ~ 40GHz	2.4mm(m)



图 4.1 87230 系列 USB 连续波功率探头

87230 系列 USB 连续波功率探头能够实现连续波功率的测量，其性能指标各不相同，用户可以根据所测信号的特性和测量要求，结合各探头的指标参数来选用合适的探头。探头基本功能如表 4.1 所示，各探头具体指标说明请参考“7.3 技术指标”。

4.2 功率测量虚拟面板

87230 系列 USB 连续波功率探头的 USB 接口符合 USBTMC（USB Test and Measurement）协议，是可枚举的设备（即通过 VISA 库的 viFindRsrc 函数可以找到它），厂商 ID 和设备 ID（十进制）分别为 1204 和 4100，序列号见各个探头上。

用户可以通过 VISA 库实现对 USB 探头的远程控制，具体配置请参考《87230 系列 USB 连续波功率探头程控手册》，也可以使用功率测试虚拟面板进行功率测试。用户需要安装 VISA 3.0 以上的版本，并运行光盘所提供的功率测试虚拟面板程序，打开后功率测试虚拟面板如图 4.2 所示。



图 4.2 功率测试虚拟面板

USB 连续波功率探头的连接和使用步骤：

步骤 1. 将 USB 功率探头接入计算机，打开功率测试面板，在系统弹出的“仪器连接”窗口中选择要连接的 USB 设备，单击“连接”按钮，如图 4.3 所示，测量进程此时正常运行；

步骤 2. 用户可以在窗口左侧的“系统”标签中，查看 USB 连续波功率探头的型号、序列号、固件版本号等信息；

步骤 3. 单击工具栏的或者按钮， 系统自动在打开的数值窗口中显示测量结果或者停止测量进程；

步骤 4. 用户可以在“通道”标签窗口中，进行测量频率、平均次数、量程选择等设置；

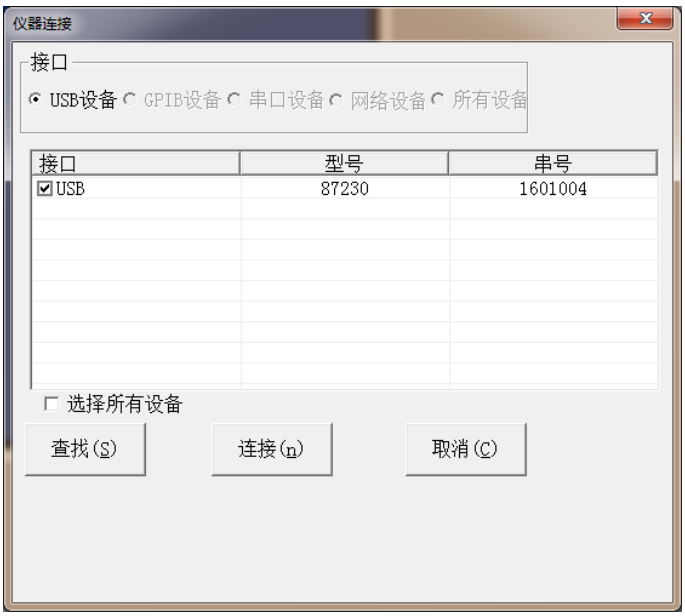


图 4.3 连接设备窗口

步骤 5. 在“测量”标签窗口中，可以进行单位选择、偏置、相对测量等设置；

步骤 6. 单击工具栏的  和  按钮，可以新建数值显示窗口和模拟显示窗口；

步骤 7. 单击工具栏  按钮，可以重新搜索并连接新接入的 USB 功率探头。

4.3 测量前的校零和校准

为了提高仪器的测量精度，在利用 87230 系列 USB 连续波功率探头进行小信号功率测量之前，有必要进行仪器的校零。

87230 系列 USB 连续波功率探头在出厂之前已经进行了校准，校准用的校准源能够溯源于国家标准，因此不推荐用户进行校准操作。

4.3.1 校零

校零操作是指测量并存储整个测量通道的噪声，在测量过程中，需要从实际测量值中扣除校零值，即扣除通道的噪声，此时的读数才是真实的通道输入信号电平。

如果探头连接到其它设备上，请首先关闭设备的信号输出，然后再进行校零操作。

具体步骤如下：

步骤 1. 将探头连接到待测源的输出端口，关闭源的输出；

步骤 2. 利用程控命令或者功率测试面板的【校零】按钮，进行外部校零操作，校零操作时绿色 LED 灯闪亮。

建议在以下几种情况下对 87230 系列 USB 连续波功率探头校零操作：

- 当温度变化超过 5℃时；

- 时隔 24 小时后；
- 在测量小功率连续波信号之前。例如，测量比所用的功率探头的最低可测功率高 10dB 以内的小信号时。

注 意

频段覆盖 9kHz~6GHz 的 87230 系列 USB 连续波功率探头，由于检波组件采用直流耦合，部分信号源在射频输出“关”时，也可能存在直流或低频泄露，会导致测得信号电平过高，不能进行校零操作。

4.3.2 内部校零

内部校零指在测量通道前端加入开关，用户不需要把传感器与被测件断开，测试测量并存储通道的噪声。在内部校零过程中，RF 信号始终施加到功率探头上，可以减少探头连接器的磨损并缩短测试时间，特别适用于不方便关闭功率信号输出的场合使用。

一般来说，常规校零通常具有较好的校零效果，应根据测量实际需要来选择使用内部校零和常规校零功能。用户在编程时，可以通过调用 CALibration[1]:ZERO:TYPE 命令，选择内部校零或者常规校零功能，具体操作请参考《87230 系列 USB 连续波功率探头程控手册》。

注 意

在测量较低电平信号，需要先自动校零，然后再进行测量，这样才能保证测量的准确度。

当进行幅度低于—40dBm 的小功率信号的测量时，步进检测设置为“关”状态，可以得到更准确的测量结果，但测量速度较慢。

4.3.3 校准

校准是指在当前测量条件下（当前温度、当前功率参考等），将功率探头连接到已知标准校准源输出端口进行功率溯源。

在出厂之前，已经对 87230 系列 USB 连续波功率探头进行了校准，因此不推荐用户进行校准操作。但在下列情况下，高级用户可以对探头进行自动校准：

- 用户使用自定义的 0dBm 功率标准进行测量比对时；
- 超过 1 年校准周期，用户认为测量有误差并且不具备返厂校准条件。

4.4 连续波功率测量功能

87230 系列 USB 连续波功率探头能够实现连续波信号平均功率的测量，功率测量动态范围从-60dBm 到+20dBm，频率范围覆盖 9kHz 到 40GHz。

用户可以利用我公司提供的功率测试面板或者程控命令进行连续波功率的测量，具体请参考随机光盘中的《87230 系列 USB 连续波功率探头程控手册》，一般分为以下三个步骤：

步骤 1. 校零 USB 连续波功率探头；

步骤 2. 设置待测信号的频率；

步骤 3. 利用探头进行连续波功率测量。

当需要进行多路测量时，用户可以直接在计算机上插入多个 USB 连续波功率探头，也可以利用 USB HUB，组建多路功率测试系统，如图 4.4 所示。



图 4.4 利用 USB HUB 实现多路功率测试

具体操作步骤如下:

步骤 1. 打开虚拟功率测试面板，系统自动查找到接入的多个 USB 连续波功率探头，全部选择接入的功率探头，单击“连接”按钮，如图 4.5 所示，系统自动显示最先找到的 USB 连续波功率探头并显示测量结果;



图 4.5 接入多个 USB 连续波功率探头时的设备

步骤 2. 单击工具栏的  或  按钮，以数值显示或模拟显示打开其他功率探头的测量结果，如图 4.6 所示;

4.4 连续波功率测量功能

步骤 3. 鼠标单击某个测量窗口，系统以黄色边框表明当前选中的测量窗口，选择“系统”标签下的“设备”下拉菜单，可以将该窗口指定给其他设备；

步骤 4. 鼠标单击某个测量窗口，系统以黄色边框表明当前选中的测量窗口，可以对该通道进行校零、测量频率设置、设定偏置等操作；

步骤 5. 当接入更多 USB 连续波功率探头时，可以利用窗口/平铺或层叠命令，自动排布打开的测量窗口。



图 4.6 接入多个 USB 连续波功率探头的测量窗口

87230 系列 USB 连续波功率探头既可以配接到计算机，利用虚拟面板或者用户编程实现微波功率测量，也可以配接到我公司部分电子测量仪器，利用仪器自带的功率选件，实现微波功率测量功能，其具体操作请参考相关仪器使用说明书。

部分支持 87230 系列 USB 连续波功率探头的测量仪器如表 4.2 所示。

表4.2 部分可配接USB连续波功率探头的我公司仪器*

序号	仪器型号	仪器名称
1	2442	手持式峰值功率分析仪
2	2443A	峰值功率分析仪
3	4942B	微波综合测试仪
4	4957/4958	手持式射频综合测试仪
5	4023/4024	手持式微波频谱分析仪
6	3680A	手持式天馈线测试仪
注：其他仪器是否支持，请详询技术支持人员。		

5 远程控制

本章介绍了 87230 系列 USB 连续波功率探头的程控基础、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.....23
- 仪器程控端口与配置.....37
- VISA接口基本编程方法.....37
- I/O库.....40

5.1 远程控制基础

5.1.1 程控接口

具备远程控制功能的仪器一般支持三种程控接口：LAN、GPIB、USB，具体型号仪器支持的端口类型由仪器本身功能决定。

表 5.1 远程控制接口类型和 VISA 寻址字符串

程控接口	VISA 地址字符串（注释 1）	说 明
LAN (Local Area Network)	**原始套接字协议:** TCPIP::host_address::port::SOCKET	控者通过仪器后面板网络端口连接仪器实现远程控制。具体协议请参考：“5.1.1.1 LAN 接口”。
GPIB (IEC/IEEE Bus Interface)	GPIB::primary address[::INSTR]	控者通过仪器后面板端口连接仪器实现远程控制。遵守IEC 625.1/IEEE 418总线接口标准。具体请参考：“5.1.1.2 GPIB 接口”。
USB (Universal Serial Bus)	USB::<vendor ID>::<product_ID>::<serial_number>[::INSTR]	仪器后面板端口。具体请参考：“5.1.1.3 USB 接口”

注释 1：VISA 即虚拟仪器软件结构(Virtual Instrumentation Software Architecture)，是一套标准的软件接口函数库，用户可以使用该函数库通过 GPIB、RS232、LAN、USB 等接口控制仪器。用户应首先在控制计算机上安装 VISA 库，使用 VISA 库实现远程仪器控制，具体请参考所安装 VISA 库的用户手册。

5.1.1.1 LAN 接口

可使用 RJ45 通信电缆（屏蔽或者非屏蔽的 5 类双绞线）接入

5.1 远程控制基础

10Mbps/100Mbps/1000Mbps 以太网，通过局域网内控制计算机进行远程控制。为实现局域网内远程控制，已经安装了接口适配器和 TCP/IP 网络协议，并配置了相应基于 TCP 协议的网络服务。

一般地，安装的网络接口适配器有三种工作模式，分别是：

- 10Mbps 以太网（IEEE802.3）；
- 100Mbps 以太网（IEEE802.3u）；
- 1000Mbps 以太网（IEEE802.3ab）。

接口适配器根据链路状况自动匹配合适的网络速度。通常，连接仪器的电缆长度不应超过 100 米。关于以太网的更多信息，请参考：http://www.ieee.org。

下面介绍 LAN 接口相关知识：

1) IP 地址

通过局域网对仪器进行远程控制时，应保证网络的物理连接畅通。将仪器的 IP 地址设置到主控计算机所在的子网内，例如：主控计算机的 IP 地址是 192.168.12.0，则仪器的 IP 地址应设为 192.168.12.XXX，其中 XXX 为 1 ~ 255 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::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；
- port 标识套接字端口号；
- SOCKET 表示原始网络套接字资源类。

举例：

建立原始套接字连接时可使用：

TCPIP::192.1.2.3::5000::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该仪器。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）使仪器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。

仪器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 命令控制仪器时，程序中建立的套接字程序发出命令。仪器的套接字端口号固定为 5000。

5.1.1.2 GPIB 接口

GPIB 是唯一专为仪器控制设计的总线，目前仍广泛应用于自动测试系统中。为实现远程控制，主控计算机需要首先安装 GPIB 总线卡，驱动程序以及 VISA 库。通信时，主控计算机通过 GPIB 地址寻址被控仪器，用户可更改被控仪器的 GPIB 地址，防止整个系统中由于地址冲突引起的通信失败。

GPIB 及其相关接口定义在 ANSI/IEEE 488.1-1987 标准和 ANSI/IEEE 488.2-1992 标准中有详细的描述。具体标准细节请参考 IEEE 网站：http://www.ieee.org。

GPIB 连接时，需注意以下几点：

- 通过 GPIB 总线组件的测试系统，最多含有 15 台设备；
- 传输电缆总长度不超过 20 米，或者不超过系统中仪器数量的两倍；
- 通常，设备间传输电缆最大长度不超过 2 米；
- 若并行连接多台仪器，需要使用“或”连接线；
- IEC 总线电缆的终端应该连接仪器或控者计算机。

5.1.1.3 USB 接口

为实现 USB 程控，需要通过 USB B 型口连接计算机和仪器，并事先安装 VISA 库，VISA 自动检测和配置仪器以建立 USB 连接，而不需要输入仪器地址字符串或安装单独的驱动程序。

USB 地址：

寻址字符串格式：USB::<vendor ID>::<product ID>::<serial number>[::INSTR]

其中：

- <vendor ID>　代表生产厂家代号；
- <product ID>　代表仪器代号；
- <serial number>　代表仪器序列号。

示例：

USB::0x0AAD::0x00C6::100001::INSTR

0x0AAD：生产厂家代号；

0xC6：仪器代号；

100001：是仪器的序列号。

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

接口消息是 GPIB 总线特有的消息，只有具备 GPIB 总线功能的仪器才响应接口消息。主控计算机向仪器发送接口消息时，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。

2) 仪器消息

有关仪器消息的结构和语法，具体请参考章节“5.1.3 SCPI 命令”。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

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.

87230系列USB连续波功率探头的程控命令集合、分类及说明，具体请参考：

1) 程控附录 A SCPI 命令速查表；
2) 程控手册“3 程控命令”章节；

5.1.3.2 SCPI 命令说明

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。

a) 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。

b) 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。

c) 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。

d) 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。

e) 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。

f) 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。

g) 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。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。

3) 仪器专用命令语法

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。	[:SENSe]:BANDwidth|BWIDth HIGH|LOWer BANDwidth 和 BWIDth 是选项， HIGH 和 LOWer 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。	[:SENSe]:BANDwidth? SENSe 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。	[:SENSe]:FREQency[:CW|FIXed] <val>[unit] 该命令中，<val> 必须用实际的频率替代。 [unit]是可省略的单位。 例如：FREQ 3.5GHz FREQ 3.5e+009
{ }	大括号内的部分表示其中的参数可选。	MEMory:TABLe:FREQuency <val>{,<val>} 例如：MEM:TABL:FREQ 5e7

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。	[:SENSe]:FREQuency[:CW|FIXed]?, 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:MODE? 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。	MEMory:TABLe:FREQuency <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。	:FREQ uency 或者:POWer :LEVel6.2 是不允许的。 在:LEVel 和 6.2 之间必须由空格隔开。 即 :POWer:LEVel 6.2

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。

4) 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。

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。

5) 命令参数和响应

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

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。

例如 USB 连续波功率探头设置频率偏移状态命令 :FREQuency:OFFSet:STATe ON|OFF|1|0，

以下命令格式都是设置频率偏移功能开：

:FREQuency:OFFSet:STATe ON，:FREQuency:OFFSet:STATe 1，

:FREQ:OFFS:STAT ON，:FREQ:OFFS:STAT 1

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”。

例如，查询功率状态（:POWer:ALC:STATe?），当其为开时，不管之前发送的设置命令是:POWer:ALC:STATe 1 或者 :POWer:ALC:STATe ON，查询时，返回的响应数据总是 1。

a) 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

b) 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

c) 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。像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	GPIB,LAN,RS-232 触发
IMMediate	立刻触发
EXTernal	外部触发

d) 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。

布尔参数举例：

ON	逻辑真
OFF	逻辑假
1	逻辑真
0	逻辑假

e) 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’

f) 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。

实数响应数据举例：

1.23E+0

-1.0E+2
+1.0E+2
0.5E+0
0.23
-100.0
+100.0
0.5

g) 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。

整数响应数据事例：

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

h) 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

i) 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。

j) 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: (“”)”

6) 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，并没有和数值一起使用。

7) 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

返回结果可能是该条命令发送前仪器当前的起始频率值，因为主机程序会接收完毕命令消息后，才逐条执行命令。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正确，设置命令和查询命令应在不同的程控消息中发送。

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	命令执行完后，置位 ESR 寄存器中的操作完成位。	置位 ESE BIT0; 置位 SRE BIT5; 发送交迭命令和*OPC; 等待服务请求信号（SRQ） 服务请求信号代表交迭命令执行完成。
*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 状态报告系统

状态报告系统存储当前仪器所有的操作状态信息及错误信息。它们分别存储在状态寄存器和错误队列中，并可通过程控接口查询。

5.1.5.1 状态寄存器组织结构

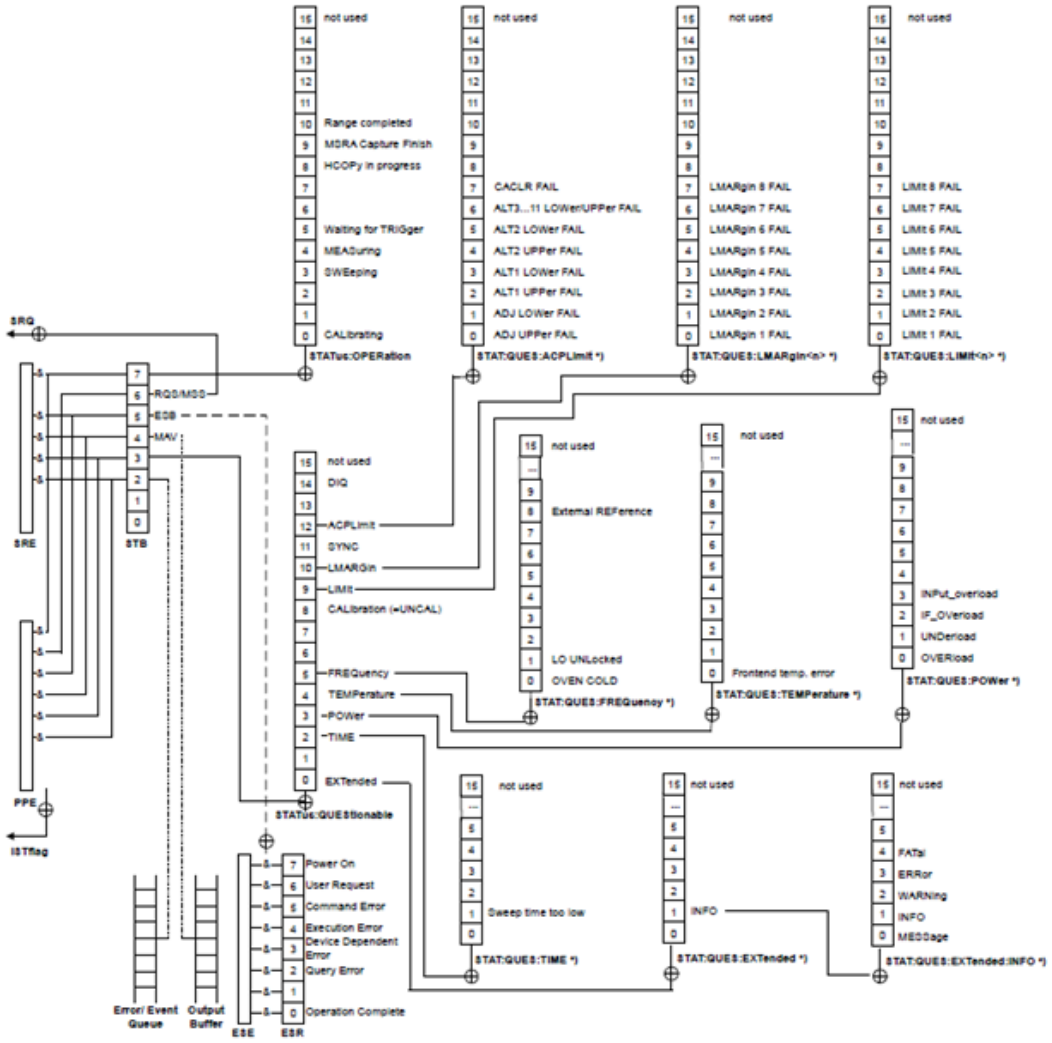


图 5.1 状态寄存器分层结构图

寄存器分类说明如下:

1) STB, SRE

状态字节 (STB) 寄存器和与之关联的屏蔽寄存器——服务请求使能寄存器 (SRE) 组成了状态报告系统的最高层寄存器。STB通过收集低层寄存器信息，保存了仪器的大致工作状态。

2) ESR, SCPI 状态寄存器

STB接收下列寄存器的信息:

- 事件状态寄存器（ESR）与事件状态使能（ESE）屏蔽寄存器两者相与的值;
- SCPI状态寄存器包括：STATus:OPERation 与 STATus:QUEStionable 寄存器

（SCPI定义），它们包含仪器的具体操作信息。所有的SCPI状态寄存器具备相同的内部结构（具体请参考程控手册“2.1.5.2 SCPI状态寄存器结构”章节

部分）。

3) IST,PPE

类似SRQ，IST标志（“Individual STatus”）单独的一位，由仪器全部状态组合而成。关联的并行查询使能寄存器（PPE（parallel poll enable register））决定了STB的哪些数据位作用于IST标志。

4) 输出缓冲区

存储了仪器返回给控者的消息。它不属于状态报告系统，但是决定了STB的MAV位的值。

以上寄存器具体说明请参考程控手册“2.1.5状态报告系统”章节部分。

请参考图5.1的状态寄存器的等级结构图。

提 示

SRE, ESE

服务请求使能寄存器 SRE 可被用作 STB 的使能部分。同理，ESE 可被用作 ESR 的使能部分。

5.1.5.2 状态报告系统的应用

状态报告系统用于监测测试系统中的一个或多个仪器状态。为了正确实现状态报告系统的功能，测试系统中的控者必须接收并评估所有仪器的信息，使用的标准方法包括：

1) 仪器发起的服务请求（SRQ）；
2) 串行查询总线系统中的所有的仪器，由系统中的控者发起，目的是找到服务请求发起者及原因；
3) 并行查询所有仪器；
4) 程控命令查询特定仪器状态。

具体使用方法请参考程控手册“2.1.5状态报告系统”章节部分。

5.1.6 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

控者程序每次处理服务请求时，应查询仪器的错误队列而不是状态寄存器，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

USB程控系统采用USBTMC协议控制该仪器。

5.2.1 建立连接

使用USB电缆将87230系列USB连续波功率探头与外部控者（计算机）连接起来。

5.2.2 接口配置

该仪器的VID和PID分别为0x04b4、0x1004，序列号标注在探头上。这三项接口信息是固定，用户不可配置。

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。

5.3.1 安装 VISA 库

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VXI、GPIB、LAN及USB接口的底层传输函数，方便用户直接调用。USB连续波功率探头支持的编程接口为：USB。这些接口与VISA库和编程语言结合使用可以远程控制USB连续波功率探头。

5.3.2 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 iStatus;
    ViChar rgcInstr[256] = "USB0::0x04b4::0x1004::1801001::INSTR"; //资源描述符
    iStatus = viOpenDefaultRM(&defaultRM);
    if (VI_SUCCESS == iStatus)
    {
        iStatus = viOpen(defaultRM, rgcInstr, VI_NULL, VI_NULL, &analyzer);
    }
}
```

5.3.3 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 iStatus;
    long retCnt;
    iStatus = viWrite(analyzer, "*CLS", 4, &retCnt); //复位状态寄存器
    iStatus = 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87230系列USB连续波功率探头的中心频率。

```
/*****************************************************************************/
void SimpleSettings()
{
    ViStatus iStatus;
    long retCnt;
    //设置频率128MHz
    iStatus=viWrite(iDevHandle, "FREQ 1.28e8\n", strlen("FREQ 1.28e8\n"),
    &uiRetCnt);
}
```

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 iStatus;
    long uiRetCnt;
    char rgcBuf[256];

    //查询频率
    iStatus = viWrite(iDevHandle, "FREQ?\n", strlen("FREQ?\n"), &uiRetCnt);
    Sleep(10UL);
    iStatus = viRead(iDevHandle, rgcBuf, sizeof(rgcBuf), &uiRetCnt);
    //打印调试信息
    printf("频率为%s", rgcBuf);
```

```
}
```

5.3.6 命令同步

```
/*****************************************************************************/
下面以扫描过程为例说明了命令同步的方法。
/*****************************************************************************/
void SweepSync()
{
    ViStatus iStatus;
    long retCnt;
    ViEventType etype;
    ViEvent eevent;
    int stat;
    char OpcOk[2];

    /*****************************************************************************/
    /* 命令INITiate[:IMMediate]启动单次扫描（连续扫描关闭时INIT:CONT OFF）*/
    /* 单次扫描结束时，才能执行命令缓冲区中的下一条命令                          */
    /*****************************************************************************/
    iStatus = viWrite(analyzer, ":INIT:CONT OFF", 13, &retCnt);
    //等待扫描结束的方法1：使用 *WAI
    iStatus = viWrite(analyzer, ":INIT", 18, &retCnt);
    iStatus = viWrite(analyzer, "*WAI", 18, &retCnt);

    //等待扫描结束的方法2：使用 *OPC?
    iStatus = viWrite(analyzer, ":INIT", 20, &retCnt);
    iStatus = viWrite(analyzer, "*OPC?", 18, &retCnt);
    iStatus = viRead(analyzer, OpcOk, 2, &retCnt); //等待*OPC返回“1”

    //等待扫描结束的方法3：使用 *OPC
    //为了使用GPIB服务请求，设置"Disable Auto Serial Poll"为"yes"
    iStatus = viWrite(analyzer, "*SRE 32", 7, &retCnt);
    iStatus = viWrite(analyzer, "*ESE 1", 6, &retCnt); //使能服务请求ESR
    //设置事件使能位，操作完成
    iStatus = viEnableEvent(analyzer, VI_EVENT_SERVICE_REQ, VI_QUEUE,
    VI_NULL);
    //使能SRQ事件
    iStatus = viWrite(analyzer, ":INIT ", 18, &retCnt);
    iStatus = viWrite(analyzer, "*OPC", 18, &retCnt);

    //与OPC同步启动扫描
    iStatus = viWaitOnEvent(analyzer, VI_EVENT_SERVICE_REQ, 10000, &etype,
```

```
            &eevent)
            //等待服务请求
            iStatus = viReadSTB(analyzer, &stat);
            iStatus = viClose(eevent); //关闭事件句柄
            //禁止SRQ事件
            iStatus = viDisableEvent(analyzer, VI_EVENT_SERVICE_REQ, VI_QUEUE);
            //主程序继续……
    }
```

5.4 I/O 库

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。

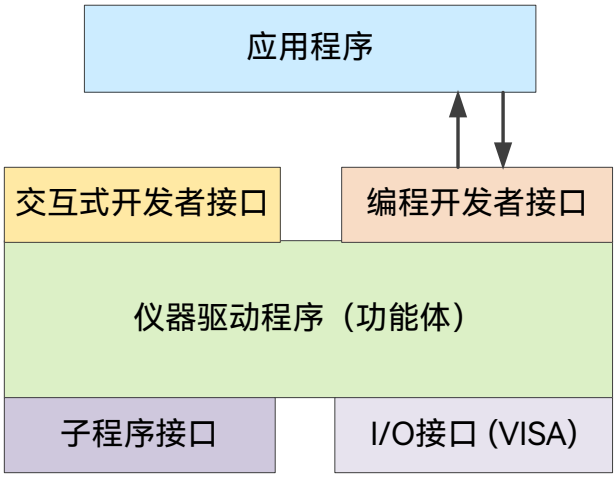


图5.2 仪器驱动器结构模型

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5.2所示。

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.dl；
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，

5) 如 GPIB、RS-232; 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; 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。USB连续波功率探头的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 USB 连续波功率探头之前，请确认您已正确安装且配置必要的端口和 I/O 库。

6 故障诊断与返修

本章将告诉您如何发现问题并接受售后服务，并说明 USB 连续波功率探头出错信息。

如果您购买的 87230 系列 USB 连续波功率探头，在操作过程中遇到一些问题，或您需要购买 USB 连续波功率探头相关部件或附件，我公司将提供完善的售后服务。

通常情况下，产生问题的原因来自硬件、软件或用户使用不当，一旦出现问题请您及时与我们联系。如果您所购买的 USB 功率探头处于保修期，我们将按照保修单上的承诺对您的 USB 连续波功率探头进行免费维修; 如果超过保修期，具体维修费用按照合同要求收取。

- 工作原理.....43
- 故障诊断与排除.....43
- 错误信息.....44
- 返修方法.....45

6.1 工作原理

87230 系列 USB 连续波功率探头采用低功耗高性能 DSP 整机的控制与数据处理，同时利用独立的接口芯片实现 USB 通信功能，可以配合计算机或者其他测试仪器，非常方便的搭建宽微波毫米波平均功率测试系统。其原理如图 6.1 所示。

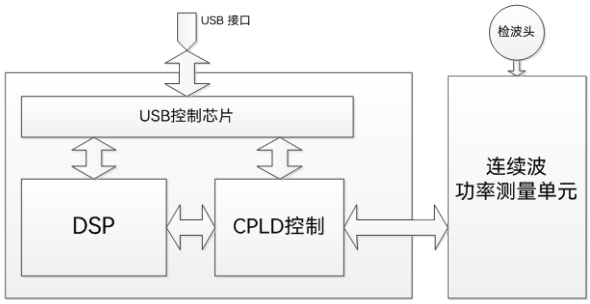


图 6.1 USB 连续波功率探头原理框图

6.2 故障诊断与排除

提 示

故障诊断与指导

本部分是指导您当 87230 系列 USB 连续波功率探头出现故障时如何进行简单的判断和处理，如果必要请您尽可能准确的把问题反馈给厂家，以便我们尽快为您解决。

若 USB 连续波功率探头用户界面的状态指示区出现错误信息提示，请查看菜单“【工具】->[错误]”，以了解具体错误信息说明。

通常情况下，仪器产生问题的原因来自用户使用不当、设置有误或者硬件、软件故障，一旦出现问题，请首先观察错误信息并保存，分析可能的原因并参考本章提供的方法，予以

先期排查解决问题。也可联系我们客户服务中心并提供收集的错误信息，我们将以最快的速度协助您解决问题。具体请参考本手册提供的联系方式，或者网上查询网址：www.ceyear.com，以便查询到就近的技术支持联系方式。

本章主要帮助用户对 87230 系列 USB 连续波功率探头的故障进行判断，并确定是否需要寻求售后服务，其中也包括对本机的内部出错信息进行解释。

通常情况下，产生问题的原因来自硬件、软件或用户使用不当，87230 系列 USB 连续波功率探头可能出现以下几类故障：

- 找不到 USB 设备；
- LED 绿色指示灯无显示；
- 意外现象，如执行错误操作、测量结果明显错误等。

6.2.1 找不到 USB 设备

如果加电后在计算机设备管理器中找不到 USB 设备，请按下面所列步骤进行检查：

步骤 1. 请确认 USB 电缆连接正常，查看 USB 电源供电是否正常；

步骤 2. 请确认是否连接有多个 USB 设备，必要时请使用带外部电源的 USB HUB；

步骤 3. 主机是否正确安装设备 VISA 库和驱动程序。

6.2.2 LED 绿色指示灯不亮

如果加电后探头 LED 绿色指示灯不亮，请按下面所列步骤进行检查：

步骤 1. 确认 USB 电缆是否连接正常；

步骤 2. 确认主机是否加电，USB 主机接口是否正常。

6.2.3 意外现象

在使用过程中，产生意外现象的原因很多。可以参照下面的检测步骤，确定仪器产生问题的原因，通常这些检测方法能解决问题或判断清楚产生问题的原因。

- 检查 USB 电缆机械连接是否正确，电气特性是否兼容；
- 当做了某些设置后出现问题时，请检查所做的操作，确定所有的设置都正确。如果测试完成，请检查测量结果是否与被测信号相符，是否符合探头的性能指标；
- 当仪器出现意外结果时，如果不能确定所做的设置是否正确，重新插拔后再根据被测信号和测试需求进行设置。

6.3 错误信息

在实际使用过程中，如果操作不当或配置不正确，系统会自动提供错误信息。用户可根据错误提示大致判断问题类型，并采取相应措施排除故障或决定返修。

在用户功率测试面板中，单击 ，可以查看最近的出错信息。

有关错误信息的详细说明，请参考《87230 系列 USB 连续波功率探头程控手册》。

6.4 返修方法

6.4.1 联系我们

若87230系列USB连续波功率探头出现问题，首先观察错误信息并保存，分析可能的原因并参考章节“6.2 故障诊断与排除”中提供的方法，予以先期排查解决问题。若未解决，请根据下面的联系方式与我公司服务咨询中心联系并提供收集的错误信息，我们将以最快的速度协助您解决问题。

联系方式:

服务咨询: 0532-86889847 400-1684191
技术支持: 0532-86880796
质量监督: 0532-86886614
传　　真: 0532-86889056
网　　址: www.ceyear.com
电子邮箱: techbb@ceyear.com
地　　址: 山东省青岛市黄岛区香江路98号
邮　　编: 266555

6.4.2 包装与邮寄

当您的 87230 系列 USB 连续波功率探头出现难以解决的问题时，可通过电话或传真与我们联系。如果经联系确认是 USB 连续波功率探头需要返修时，请您用原包装材料和包装箱包装 USB 连续波功率探头，并按下面的步骤进行包装:

1) 写一份有关 USB 连续波功率探头故障现象的详细说明，与仪器一同放入包装箱;
2) 用原包装材料将 USB 连续波功率探头包装好，以减少可能的损坏;
3) 在外包装纸箱四角摆放好衬垫，将仪器放入外包装箱;
4) 用胶带密封好包装箱口，并用尼龙带加固包装箱;
5) 在箱体上标明“易碎！勿碰！小心轻放！”字样;
6) 请按精密仪器进行托运;
7) 保留所有运输单据的副本。

注 意

包装 87230 系列 USB 连续波功率探头需注意

使用其它材料包装 USB 连续波功率探头，可能会损坏仪器。

提 示

仪器的包装和运输

运输或者搬运本仪器时，请严格遵守章节“2.2.7运输”中描述的注意事项。

7 技术指标

本章介绍 87230 系列 USB 连续波功率探头的技术指标和主要测试方法。

- 声明.....47
- 产品特征.....47
- 技术指标.....48

7.1 声明

除非特别声明，所有的指标测试条件是：温度范围是：23℃ ± 5℃，开机半小时后。仪器补充信息是帮助用户更加了解仪器性能，而不属于技术指标范围内的信息。重要词条说明如下：

技术指标（spec）: 除非另行说明，已校准的仪器在 0℃ 至50℃ 的工作温度范围内放置至少两小时，再经过 30 分钟预热之后，可保证性能；其中包括测量的不确定度。对于本文中的数据，如无另行说明均为技术指标。

典型值（typ）: 表示 80% 的仪器均可达到的典型性能，该数据并非保证数据，并且不包括测量过程中的不确定性因素，只在室温（约 25℃）条件下有效。

额定值（nom）: 表示预期的平均性能、设计的性能特征或受限测试手段无法测试的性能，比如 50 Ω 连接器等。标注为额定值的产品性能不包含在产品质量保证范围内，在室温（大约 25℃）条件下测得。

测量值（meas）: 表示为了和预期性能进行比较，在设计阶段所测得的性能特征，比如幅度漂移随时间的变化。该数据并非保证数据，并且是在室温（约 25℃）条件下测得。

7.2 产品特征

7.2.1 整机特点

- 单探头体积：体积小，和常规功率探头大小相当，重量轻，便于携带。
- USB 程控接口：探头提供标准 USB 程控接口，可以进行校零、测量、频响偏置表、平均、偏置等查询或者设置。
- 校零功能：在断开与外部信号的连接时，可以进行校零操作。
- 二极管式功率探头：二极管探头能够提供高的灵敏度。可追溯到国家标准的频率校准因子保存在探头内的 EEPROM 中，并在加载应用程序时下载到仪器中。探头内的温度传感器可以跟踪温度的变化。

7.2.2 主要功能

87230 系列 USB 连续波功率探头具有以下主要功能：

1） 单探头体积，重量轻，便于携带；
2） 具有连续波信号绝对功率精确测量功能；
3） 具有校零功能；
4） 用户无需校准；
5） 支持 USB 程控功能，提供可互换虚拟仪器（IVI）驱动；

6） 兼容其他具备 USB 主机接口的计算机或测量仪器，可快速组建微波功率测试系统。

7.3 技术指标

仪器在环境温度下存放 2h，开机预热时间应不少于 30min，满足各项指标性能。

1） 频率范围

87230：9kHz ~ 6GHz
87231：10MHz ~ 18GHz
87232：50MHz ~ 26.5GHz
87233：50MHz ~ 40GHz

2） 功率测量范围

87230：-50dBm ~ +20dBm
87231：-60dBm ~ +20dBm
87232：-60dBm ~ +20dBm
87233：-60dBm ~ +20dBm

3） 校零准确度

87230：≤ 10nW
87231：≤ 1nW
87232：≤ 1nW
87233：≤ 1nW

4） 输入端口驻波比

87230：
100kHz ~ 6GHz： 1.15
87231：
10MHz ~ 50MHz： 1.21
50MHz ~ 2GHz： 1.15
2GHz ~ 12.4GHz： 1.20
12.4GHz ~ 18GHz： 1.27
87232：
50MHz ~ 2GHz： 1.15
2GHz ~ 12.4GHz： 1.20
12.4GHz ~ 18GHz： 1.27
18GHz ~ 26.5GHz： 1.30
87233：
50MHz ~ 2GHz： 1.15
2GHz ~ 12.4GHz： 1.20
12.4GHz ~ 18GHz： 1.27
18GHz ~ 26.5GHz： 1.30
26.5GHz ~ 40GHz： 1.50

5） 校准因子不确定度（0dBm）

87230：
9kHz ~ 6GHz： ±0.16dB

87231:
10MHz ~ 18GHz: ±0.25dB
87232:
50MHz ~ 18GHz: ±0.25dB
18GHz ~ 26.5GHz: ±0.35dB
87233:
50MHz ~ 18GHz: ±0.25dB
18GHz ~ 40GHz: ±0.35dB

6) 功率线性度（23±5℃）[1]
87230:
+10dBm ~ +20dBm: ±0.18 dB
-40dBm ~ +10dBm: ±0.14 dB
-50dBm ~ -40dBm: ±0.79 dB
87231/87232/87233:
+10dBm ~ +20dBm: ±0.18 dB
-40dBm ~ +10dBm: ±0.14 dB
-50dBm ~ -40dBm: ±0.39 dB
-60dBm ~ -50dBm: ±0.79dB

7) 连接器形式与输入阻抗
87230: N（m），50Ω
87231: N（m），50Ω
87232: 3.5mm（m），50Ω
87233: 2.4mm（m），50Ω

8) 重量
87230: 235g
87231: 235g
87232: 225g
87233: 216g

9) 外形尺寸（宽×高×深）
87230: 46.2 mm × 35.6 mm × 142.6 mm
87231: 46.2 mm × 35.6 mm × 142.6 mm
87232: 46.2 mm × 35.6 mm × 135.4 mm
87233: 46.2 mm × 35.6 mm × 125.9 mm

10) 功耗
+5V DC，1.8W

11) 环境适应性
工作温度: 0℃ ~ 50℃
存储温度: -40℃ ~ +70℃

注 1：-40dBm~-50dBm 为 87230 的功率测量下限，-50dBm~-60dBm 为 87231/87232/87233 的功率测量下限，噪声干扰将会严重影响功率测量，因此该范围内功率线性度指标不做强制测试。若需要测试时，则请按照以下进行操作：

a) 将“通道平均”设置为手动、1000 次；“步进检测”设置为关。

b）关闭信号发生器，进行“校零”。

c）观测校零之后噪声测量值，87230 是否<-60dBm，87231/87232/87233 是否<-70dBm，如果满足该条件，则打开信号发生器，等待约 1min，读取功率测量值。否则应再次校零，直至噪声测量值满足上述条件。