



中华人民共和国国家标准

GB/T 21021.6—XXXX/IEC 62037-6:2021

无源射频和微波元器件的互调电平测量 第 6 部分：天线的无源互调测量

Intermodulation level measurement for passive RF and microwave devices—Part 6:
Measurement of passive intermodulation in antennas

(IEC 62037-6:2021, Passive RF and microwave devices, intermodulation level
measurement—Part 6:Measurement of passive intermodulation in antennas, IDT)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2024-4-2)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 关于天线的 PIM 定义	2
5.1 天线	2
5.2 被试天线	2
5.3 有源天线	2
5.4 天线的 PIM	2
6 天线的设计和场地安装注意事项	2
6.1 环境对 PIM 性能的影响	2
6.2 天线接口的连接	2
6.3 避免 PIM 产生的安装注意事项	3
6.4 相邻干扰源	3
6.5 材料选择的常规做法和导则	3
7 PIM 测量注意事项	3
7.1 质量保证方法和处理程序	3
7.2 测量精度	3
7.3 试验环境	4
7.4 安全	4
7.5 试验装置	4
7.6 PIM 的试验配置	5
7.7 环境和 PIM 合成测试	6
7.8 PIM 暗室的设计	6
8 动态 PIM 测量的注意事项	8
8.1 概述	8
8.2 动态试验方法	8
8.3 冲击试验	8
图 1 天线反向 PIM 试验装置	5
图 2 天线正向 PIM 试验装置	6
图 3 液压锤说明	9

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是GB/T 21021《无源射频和微波元器件的互调电平测量》的第6部分。GB/T 21021已经发布了以下部分。

- 第1部分：一般要求和测量方法；
- 第2部分：同轴电缆组件的无源互调测量；
- 第3部分：同轴连接器的无源互调测量；
- 第4部分：同轴电缆的无源互调测量。

本文件等同采用IEC 62037-6:2021《无源射频和微波元器件，互调电平测量 第6部分：天线的无源互调测量》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 在第2章中增加了6.2规范性引用的IEC 62037-3、6.5规范性引用的IEC 62037-1、8.3中规范性引用的IEC 60068-2-75和ISO 2039-2；
- 将略缩语单独列为第4章。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国电子设备用高频电缆及连接器标准化技术委员会（SAC/TC 190）归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第二十三研究所、通鼎互联信息股份有限公司、迪泰（浙江）通信技术有限公司、深圳市迈腾电子有限公司、深圳金信诺高新技术股份有限公司、三维通信股份有限公司、嘉兴海棠电子有限公司、神宇通信科技股份有限公司、中电科思仪科技股份有限公司、北京雷格讯电子股份有限公司、常州诺德电子股份有限公司、扬州市精诚电子有限公司、深圳市安拓浦科技有限公司。

本文件主要起草人：殷海成、钱慧芳、毛方迪、童攀、沈小平、双华勋、李芳、迟乔山、姚戊辰、承滨、赵锐、路波、梅叶兵、沈桂林、杨瑞典、潘倩。

引 言

GB/T 21021《无源射频和微波元器件的互调电平测量》系列标准描述了无源射频和微波元器件的试验方法。对应的IEC 62037系列标准是分为不同部分（或篇）编写，为保持与对应的IEC标准编写方法一致，加之对不同典型产品的无源互调试验方法也不相同，在编制本系列标准时单列不同部分进行编制。

GB/T 21021系列拟由以下6个部分构成：

- 第1部分：一般要求和测量方法；
- 第2部分：同轴电缆组件的无源互调测量；
- 第3部分：同轴连接器的无源互调测量；
- 第4部分：同轴电缆的无源互调测量；
- 第5部分：滤波器的无源互调测量；
- 第6部分：天线的无源互调测量。

天线是一种将信息传输线中的高频电磁能，转化为自由空间的电磁波，在信号输出端负责信号的发射；或将自由空间的电磁波转化为信息传输线中的高频电磁能，在信号接收端负责信号的接收的微波元器件。它是无线接入系统、卫星通信系统和移动通信系统等应用场景中的电磁波辐射和感应的重要组成部分。

无源射频和微波元器件的互调电平测量 第6部分：天线的无源互调测量

1 范围

本文件描述了测量天线（特别是应用于无线通信系统中）无源互调电平的推荐试验装置和程序。本文件旨在定义天线在低互调应用时的质量一致性检验和验收检验方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

IEC 60068-2-75 环境试验 第2-75部分：试验方法 试验Eh：锤击试验（Environmental testing—Part 2-75: Tests—Test Eh: Hammer tests）

注：GB/T 2423.55—2023 环境试验 第2部分：试验方法 试验Eh：锤击试验（IEC 60068-2-75:2014, IDT）

IEC 62037-1 无源射频和微波元器件，互调电平测量 第1部分：一般要求和测量方法（Passive RF and microwave devices, intermodulation level measurement—Part 1: General requirements and measuring methods）

注：GB/T 21021.1—2021 无源射频和微波元器件的互调电平测量 第1部分：一般要求和测量方法（IEC 62037-1:2012, IDT）

IEC 62037-3 无源射频和微波元器件，互调电平测量 第3部分：同轴连接器的无源互调测量（Passive RF and microwave devices, intermodulation level measurement—Part 3: Measurement of passive intermodulation in coaxial connectors）

注：GB/T 21021.3—2021 无源射频和微波元器件的互调电平测量 第3部分：同轴连接器的无源互调测量（IEC 62037-3:2012, IDT）

ISO 2039-2 塑料 硬度测定 第2部分：洛氏硬度（Plastics—Determination of Hardness—Part 2: Rockwell Hardness）

注：GB/T 3398.2—2008 塑料 硬度测定 第2部分：洛氏硬度（ISO 2039-2:1987, IDT）

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

ISO和IEC维护的用于标准化的术语数据库网址如下：

——IEC电工学：<https://www.electropedia.org/>；

——ISO在线浏览平台：<https://www.iso.org/obp>。

4 缩略语

AIM: 有源互调 (Active Intermodulation)
AUT: 被试天线 (Antenna Under Test)
ESD: 静电释放 (Electrostatic Discharge)
HPA: 高功率放大器 (High Power Amplifier)
IM: 互调 (Intermodulation)
LNA: 低噪声放大器 (Low Noise Amplifier)
PIM: 无源互调 (Passive Intermodulation)
RF: 射频 (Radio Frequency)

5 关于天线的 PIM 定义

5.1 天线

天线是无线电发射或接收系统的一部分，其设计目的是在发射机或接收机与无线电波传播的介质之间提供所需的耦合。

天线由许多零件或部件组成。这些组件包括但不限于一个或多个辐射元件、一个或许多RF接口、分配或组合馈电网络、内部支撑结构、控制或调整幅度/相位响应和分配到辐射元件的装置、滤波器、双工器、正交模转换器、偏振器、波导、同轴电缆或印制电路。此外，外部组件也能影响天线的PIM性能。这些部件可能包括但不限于安装支架、安装装置、天线罩、天线罩紧固件、隔热和接地装置。

5.2 被试天线

天线装置能影响整个天线PIM性能。因此，有必要对作为被试天线 (AUT) 一部分的装置进行规定。

5.3 有源天线

有源天线包含有源器件，如低噪声放大器 (LNA)、高功率放大器 (HPA)、移相器等。有源天线还需考虑有源互调 (AIM)，其电平通常比PIM的电平高很多。在AIM存在的情况下测量PIM不在本文件的范围内。如需要，有源天线的PIM测量应只在天线的无源部分进行。

5.4 天线的 PIM

天线PIM是指由天线组件自身在参考平面或RF接口处生成的PIM。PIM可在辐射或传导(传输或反射)模式下测量。

6 天线的设计和场地安装注意事项

6.1 环境对 PIM 性能的影响

位于天线附近环境中的任何装置都能显著影响天线或天线系统的PIM性能。铁磁材料效应和相邻装置(如其他天线、塔架结构、飞机机身部件、航天器热控制装置、直流和ESD接地装置、非紧密的机械连接等)中的不同金属结，都能对通信系统的PIM性能产生潜在的负面影响。

6.2 天线接口的连接

任何暴露于RF的接口都是潜在的PIM源，应设计为低PIM。应注意确保所有配合面清洁。无论是同轴连接还是波导连接，宜检查是否有污垢、金属屑、尖锐突出材料和其他潜在污染物。任何同轴连接都应按照制造商的规范拧紧，以确保达到适当的金属-金属接触压力。如使用波导连接，则法兰螺栓应按照制造商推荐的规范拧紧。应仔细注意配合同轴连接器或波导法兰的对准。

连接器中使用的材料和材料组合（包括电镀）对PIM性能非常重要。通常优选在硬基底材料（黄铜、铍铜等）上使用足够厚度（数个趋肤深度）的软镀层材料（例如金、银等）。宜尽量减少接口（同轴连接器和适配器）的数量。这将减少金属-金属结的数量，从而减少PIM产生的可能性。有关同轴连接器的更多信息，能按照IEC 62037-3。

6.3 避免 PIM 产生的安装注意事项

应正确固定天线在安装支架上。用于将天线固定在其支撑结构上的所有螺栓和固定线束应按照制造商的规范拧紧和扭转。通向天线输入端口的同轴或波导传输线也应妥善固定，禁止摩擦或移动。

宜注意将天线放置于无遮挡的环境，并将其与所有可能的相邻干扰源隔离，如塔架结构、附近的天线、建筑物、墙壁、飞机机身、航天器平台等。

6.4 相邻干扰源

了解安装天线的RF环境非常重要。在放置天线时宜注意将其与所有可能的相邻干扰源隔离。例如，宜避免具有低接触压力或腐蚀部件的结构。此外，在类似频带或谐波可能落在所安装天线的接收频带内辐射的其他天线也需考虑。其他电气或电子设备能干扰发射落入天线的接收频带的RF信号。

6.5 材料选择的常规做法和导则

IEC 62037-1:2021第6章是设计、选择材料和处理易产生PIM的元件的指南。由于空间应用和地面应用之间的可接收PIM电平存在很大差异，要重点考虑天线的应用。

7 PIM 测量注意事项

7.1 质量保证方法和处理程序

第7章旨在提供与天线产品PIM试验性能相关的质量控制。包括了对在天线产品进行PIM测量时，提高精度和确保安全的程序。以下导则将有助于减少试验系统内部引起的误差。

7.2 测量精度

对天线产品进行PIM试验的精度能受到试验系统外部或内部的多种源的严重影响。可能影响天线产品PIM试验结果的一些源包括但不限于以下内容：

- a) 暴露于辐射电磁场的导电材料制成的AUT；
- b) 连接至AUT的松动、损坏或腐蚀的安装装置；
- c) 暴露于辐射RF场的松动或腐蚀的AUT；
- d) 由外部源产生的射频信号；
- e) 故障或性能不佳的同轴电缆；
- f) 连接器接口脏/污染/磨损；
- g) 连接器不匹配；
- h) 屏蔽不良的RF接口连接器；

- i) 试验装置中未充分滤除的 AIM;
- j) 考虑输入传输线损耗;
- k) 受污染的吸波材料。

7.3 试验环境

适用时, PIM测量能在室外完成。在进行试验时, 确保最大允许RF辐射电平符合政府法规。同时, AUT辐射的RF能量, 能在周围结构中产生PIM, 可耦合回天线, 并导致无效的天线PIM试验结果。另外, 外部RF辐射源能干扰试验测量。建议在试验前调查当地的使用频率。通过在一个提供低PIM试验环境的消声试验室中对天线进行PIM试验, 能减少或消除许多PIM外部源。关于适合PIM试验的消声试验室的构造, 更多信息见7.8。

7.4 安全

对天线产品进行PIM试验可能产生危险。在AUT和试验环境中可能存在潜在的高电压和高电平的RF能量。宜将AUT妥善放置, 使工作人员不暴露于超过政府机构规定的电平的电磁场中。

7.5 试验装置

7.5.1 同轴电缆组件试验

使用同轴电缆接口的PIM试验装置时, 需要反复连接/断开同轴连接器。以下是关于测试装置程序的一些建议。

- a) 连接器接口处的密封 O 形圈宜彻底清洁或尽可能避免使用。这些 O 形圈会积聚金属屑, 可能成为 PIM 的来源。
- b) 配接之前, 检查连接器、电介质和接口配合面或法兰是否受到污染, 尤其是金属碎屑。同时检查连接器配合面是否有毛刺、划痕、凹痕和镀层损失。正确安装和拧紧装置将减少接口连接中 PIM 的产生。
- c) 每一个连接-断开循环后, 宜使用清洁的压缩空气从接头接口吹出潜在的金属颗粒。
- d) 应特别注意确保电缆没有应力或疲劳至开裂。内导体和外导体可能在绝缘电缆护套下开裂, 而目视检查无法检测到。这将导致产生间歇性 PIM 信号。一种试验方法是在进行基准试验时弯曲或轻敲电缆。如 PIM 信号存在波动, 则电缆可能已损坏, 宜更换。

7.5.2 定义一个良好的低 PIM 参考负载

一个良好的低PIM负载能通过使用高质量(低PIM)连接器端接长段高质量同轴电缆来制备。连接器的内、外导体宜焊接到同轴电缆上。电缆长度宜固定在夹具中, 以免连接器或电缆产生疲劳。焊接同轴电缆时, 宜非常小心, 以避免可能导致阻抗变化的绝缘熔化或变形。

7.5.3 试验装置和试验场地的基线 PIM 验证

在天线试验之前, 进行基线PIM试验装置噪声基底验证。为了验证试验装置本身, 可使用一个低PIM终端。在基线试验期间, 检查电缆和连接处对弯曲、机械应力和装配的敏感性。

还宜评估试验场地, 以确保其不会产生不可接受的PIM电平, 或识别任何潜在的外来干扰RF源。试验场地可以是一个消声试验室或选定的室外地点。如使用暗室, 则需要特殊的设计考虑, 见7.8。在现场验证期间, 如可能, 使用一个具有与AUT相似的辐射模式和增益的低PIM参考天线, 以确保试验环境处于与AUT试验相同的磁通密度。

实际天线PIM试验宜使用与基线相同的试验装置进行：减少组件的移动、不添加组件、减少环境的变化等。在天线PIM试验完成后或试验中有需要，将基线试验结果与之前的装置验证结果进行比较，以确定试验系统中是否存在任何退化迹象。

7.6 PIM 的试验配置

天线反向（反射）PIM试验的典型试验装置如图1所示，天线正向（传输）PIM的另一个试验装置如图2所示。宜注意检查两种试验配置之间的动态范围，以评估适当的使用选择。在这两种情况下，试验宜在设计好的低PIM暗室或允许天线全范围移动的室外进行。对于天线正向（传输）PIM试验，需要在试验装置的接收器侧安装一个低PIM天线。此外，对于该试验，可使用两个低PIM天线来首先验证环境。

只要可能，双工器（图1）和滤波器（图2）均宜为低PIM，应放置在尽可能靠近AUT输入端口，以减少试验装置产生的PIM。宜尽量缩短电缆或波导的总长度，以向AUT提供最大功率。此外，宜尽可能避免采用同轴和波导适配器。

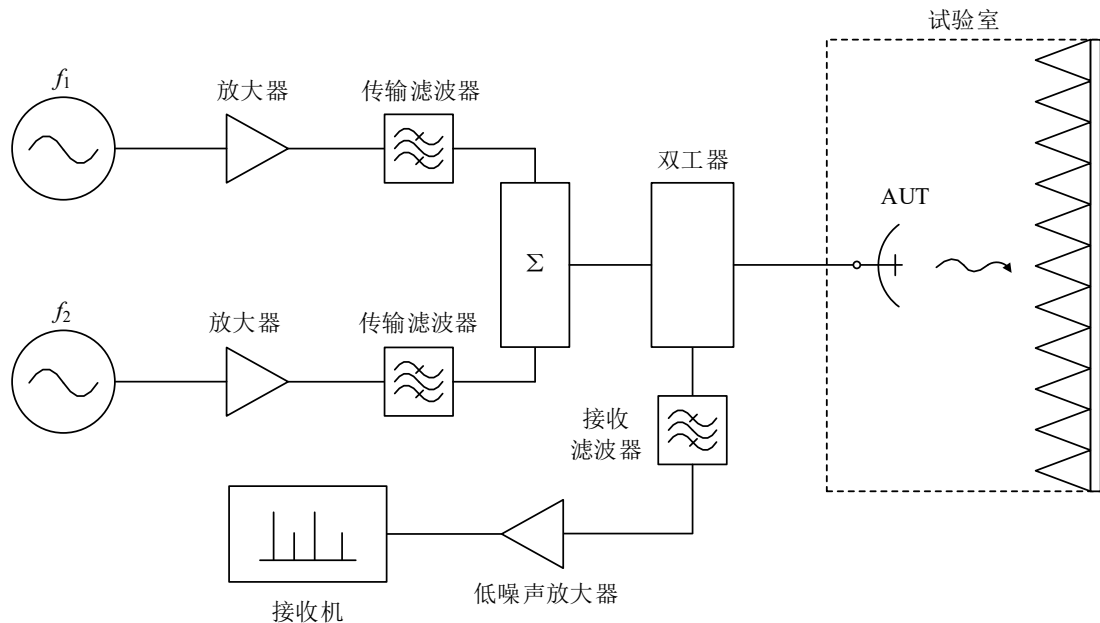
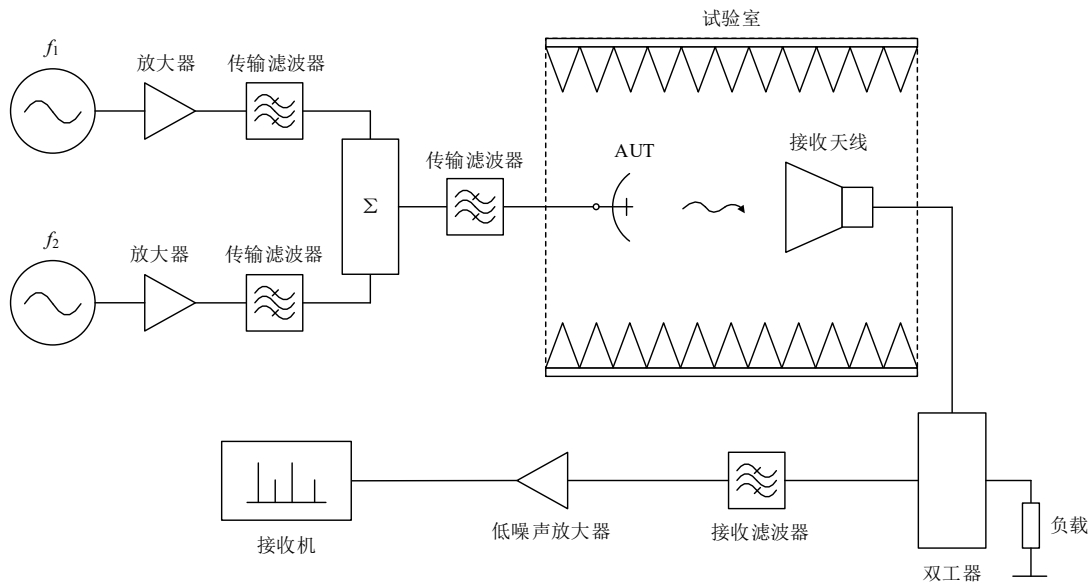


图1 天线反向 PIM 试验装置

每个装置都有两个合成源，分别放大以避免AIM（有源互调）。双音试验所产生离散互调产物的电平将被测量。为了提高装置的灵敏度，在频谱分析仪或数字接收机检测之前，PIM产物通常首先由一级或两级LNA放大。



7.7 环境和PIM合成测试

7.7.1 概述

只要可行，宜在处于典型环境的操作条件时测量每个AUT的PIM。如不可行，可在处于典型环境条件的前后测量AUT的PIM。

7.7.2 机械考虑

松动的机械接头可能会导致PIM。材料因温度变化而膨胀和收缩。不同的材料以不同的速率膨胀和收缩。这种差异会导致在天线部件的任何机械接头中引起不同程度的应力。膨胀和收缩的差异甚至会导致零件移动，从而使机械接头松动。按照规定力矩拧紧的螺栓接头可能会松动，导致不再产生所要求的夹持力。机械连接的评估可通过在热循环期间进行PIM测试来完成。

振动能产生与热环境类似的有害影响。

对于地面应用，极端温度循环仅发生在特定的地理区域，因此它更适用于航空和航天应用。由风引起的振动适用于大多数地面和航空应用，但不适用于航天应用。然而，在平台操作过程中，星载天线会产生振动。对于航天和航空应用，建议在振动试验前后的热循环期间进行PIM测试。

7.7.3 电缆和连接器的试验系统

连接到被试天线的试验电缆暴露在与天线本身相同的试验环境中。因此，在特定试验环境中应格外小心选择适合PIM试验的电缆。包括电缆在内的整个试验装置应在与AUT试验相同的试验条件下进行验证。

7.8 PIM暗室的设计

7.8.1 概述

7.8旨在提供建造适合天线PIM性能试验的暗室的指导。

天线产品的PIM评估带来了其他非辐射组件所没有的额外挑战。天线连接到RF源，并在PIM试验期间辐射RF能量。该能量不应在试验环境中激发潜在PIM源。在室外环境中进行这些试验通常是不实际的，这是因为辐射的RF能量宜被可控。为了成功地对天线进行PIM试验，可能需要建造专门为PIM试验设计的RF暗室。

RF暗室的主要部件包括：

- a) RF吸波材料；
- b) 支撑结构和墙壁；
- c) RF屏蔽。

7.8.2至7.8.4将讨论这些部件中的每一部分。

7.8.2 RF吸波材料

RF吸波材料通常由浸碳泡沫制造。这种材料在射频信号通过时对其进行衰减。这种信号衰减（能量吸收）本质上相当于天线的一个“负载”。

RF吸波材料有多种样式和尺寸。样式和尺寸的选择取决于工作频率和暗室内的布置。合理选择RF吸波材料是建造PIM试验室最关键的因素。可能有帮助的选择建议如下：

- a) 选择入射RF衰减大于30dB的吸波材料；
- b) 为了得到良好的效果，在天线辐射场内放置椎体吸收板，最好与波束峰值垂直入射。但是，当暗室内部完全被RF吸波材料覆盖时能取得最好的结果。
- c) 至少要确保足够大的板以避免产生反射。

为了安全起见，吸波材料选择含阻燃材料，并满足预估的最大功耗要求。

7.8.3 支撑结构和墙壁

PIM暗室的支撑结构和墙壁应为安装RF吸波材料提供一个合适的内表面。在一些应用中，还可能需支撑结构和墙壁来帮助控制温度、压力、湿度水平或试验的其他环境条件。

根据具体应用，材料和施工方法会有所不同。对于许多应用，简单的木材和胶合板提供了良好的结果。水泥块结构也提供了极好的支撑，但成本很高。设计支撑结构和墙体时的若干通用注意事项如下：

- a) 在外部结构中使用金属屏蔽提高了暗室的隔离度，当RF屏蔽需求较高时，建议使用金属屏蔽（见7.8.4）。然而，确保设计不包括本身PIM性能较差的金属-金属结是至关重要的。这方面的例子包括重叠的金属板或使用金属装置穿过暴露在电磁场中的钣金零件。
- b) 可使用螺钉连接木支架。螺钉比钉子更坚固且更容易控制其最终位置。即使在框架内，也不允许金属紧固件相互接触。
- c) 确保吸收板的实际尺寸在完成结构设计之前确定。因为通常广告中没有确切尺寸。
- d) 试验室的尺寸宜足够大，使被试天线离任何RF吸波材料足够远，以避免辐射天线和吸波材料之间的相互耦合。
- e) 铰链、紧固件、灯具、消防喷淋装置、安装装置等均宜进行潜在PIM生成评估。

7.8.4 RF屏蔽

是否需要RF屏蔽取决于具体应用。RF屏蔽的目的是为了安全，它能在试验设施中保持低RF噪声，或确保人员安全。通过计算功率密度判别是否需要RF屏蔽。通过计算，能发现经过RF吸波材料之后的RF电平非常低，因此是安全的。始终建议在批准最终试验计划或程序之前，对试验室周围区域进行RF测量。

RF屏蔽的方法也因应用而异。为通常应用提供良好结果的一种方法是将薄铝片或铝板应用于暗室的外表面。可以使用粘合剂产品牢固地连接片材。在每片板的边缘放置塑料绝缘材料可防止板之间的任何直接接触。除与板间隙尺寸相比波长极小的之外，板之间的小间隙将不会传递RF能量。尽管射频屏蔽处的RF功率电平可能极低，但仍建议避免使用可能产生PIM的材料，如金属网状织物。

8 动态 PIM 测量的注意事项

8.1 概述

在实际工作条件下，天线会受到不同程度的应力，如温度变化和振动。由于PIM源通常是由松动的金属-金属接触引起的，只要可行，宜在暴露于典型工作条件的情况下测量每个天线的PIM。

不可能为每一个天线定义一种能代表所有工作条件的测试方法，但可以定义一些指南，从而在PIM试验期间施加一些应力。这是第8章中提出的“动态试验方法”的目标，此处“动态”指的是机械应力。

8.2 动态试验方法

有几种方法可在天线上施加应力。然而，PIM动态试验应在可接受的时间内以实用和可操作的方式进行，不应造成不可逆的损害，并应考虑到天线可能具有不同的形式。PIM动态试验期间施加的应力宜能够检测天线内的潜在不稳定性。

允许使用一组与这些输入和目标相一致的冲击序列的方法。

报告宜记录每次动态试验前、动态试验期间和动态试验后的试验类型、描述和条件以及PIM值。如在应力期间无法测量PIM，则应在试验顺序前后比较结果。

8.3 冲击试验

最好在天线的背面，至少每隔30 cm，沿天线施加一组冲击序列。不宜对潜在AUT附件或其他易碎零件施加冲击。

在每个位置，施加两次连续冲击。

冲击能量值应为1 J。能使用弹簧锤或自动冲击锤施加冲击力。相关工具和方法的描述见IEC 60068-2-75。

冲击器最好由聚酰胺（根据ISO 2039-2，硬度范围在85 HRR和100 HRR洛氏硬度之间）制成，以确保能量传递，并防止冲击器由于与AUT接触而产生金属-金属结引起的PIM（液压锤说明见图3）。表面冲击宜足够宽而不会损坏AUT。

冲击位置最好是产品的结构部分，足够坚固，能够承受机械冲击而不会损坏。

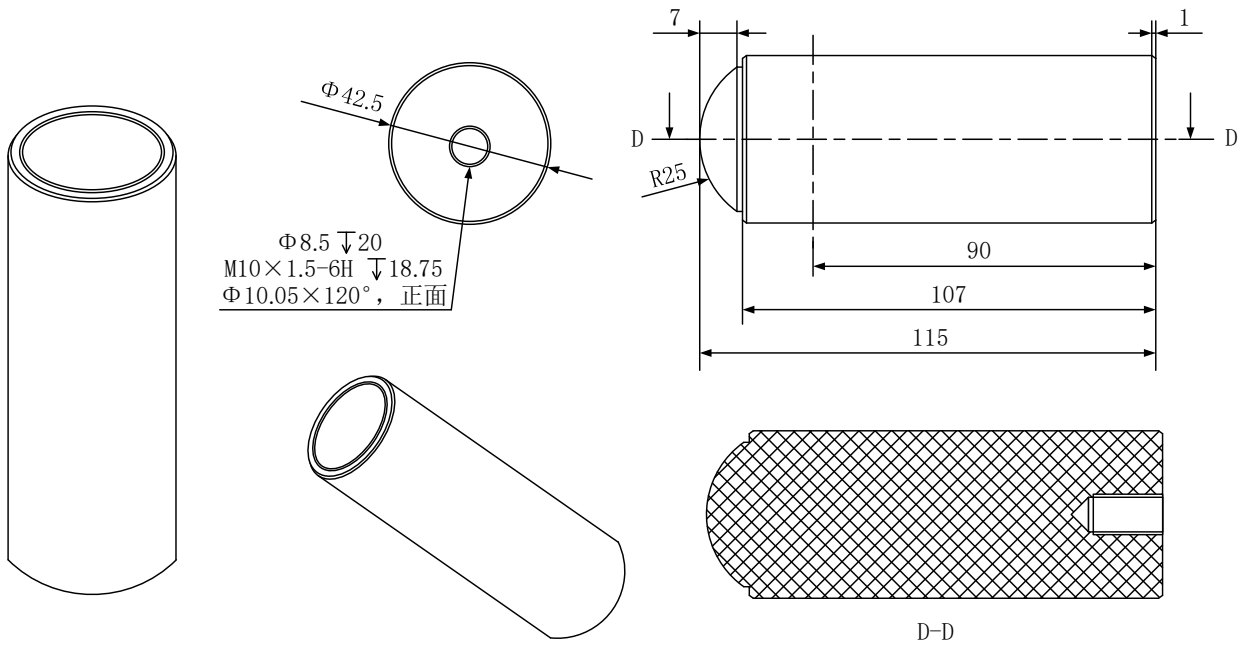


图3 液压锤说明