

TEGAM射频微波功率校准手册



小功率自动校准系统
原系统 II (SYS II)

中大功率自动校准系统
HPC系统



目 录

小功率校准-原系统II (SYS II)

TEGAM射频小功率校准系统介绍-----	3页
小功率传递标准技术指标-----	4页
1830A标准功率计技术指标-----	8页
PS-CAL自动校准软件-----	10页
支持的功率探头型号-----	11页
支持的信号源、矢量网络分析仪型号-----	13页
附一：校准系统部件清单-----	14页
附二：传递标准和标准功率计/桥选型表-----	15页
附三：功率指示器50MHz 1mW参考源的检定-----	16页

中大功率校准-HPC系统

TEGAM射频中、大功率校准系统介绍-----	19页
中、大功率传递标准技术指标-----	24页
中、大功率量热计-----	26页

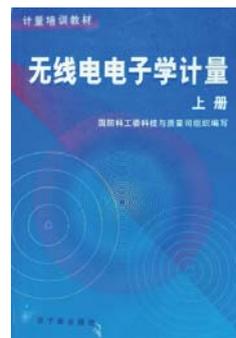
热敏电阻功率座的特点-----28页

国内功率检定规程和校准规范(截止到2018年1月)

- 小功率座检定规程GJB3598-1999, JJG(军工)48-2014
- 小功率传递标准校准规范 JJF1461-2014 (国标)
- 功率指示器检定规程 JJG(军工) 79-2016
- 功率指示器量程校准器检定规程 GJB/J5414-2005 (国军标), JJF(军工)9-2011
- 脉冲功率计检定规程 JJG 1024-2007(国标), JJG(军工)134-2015
- 射频与微波功率计计量器具检定系统JJG2009-1987, JJG2009-2016(国标)
- 射频中功率计检定规程GJB/J 3413-1998
- 中功率计检定规范JJF1386-2013(国标)
- 微波功率放大器校准规范JJF(军工)29-2012

射频功率标准溯源

- 主标准器：传递标准的校准因子溯源至上一级标准或量热计标准
- 配套设备：由具有相应能力的本级计量或上一级计量均可



美国钛淦公司北京代表处
 北京朝阳马甸裕民路12号元辰鑫大厦E1座603室 100029
 电话：010-82250997, 82251181
 传真：010-82251938
 邮箱：China@tegam.com 网址：www.tegam.com.cn

所有规格指标可能会有所更改，不另行通知

PM系列射频微波小功率传感器自动校准系统 SYSTEM II的升级 6KHz-50GHz



- 支持主流厂商的功率传感器校准(对探头EPROM编程), 6KHz到50GHz

- 校准 Keysight/Agilent, R&S, Anritsu, Boonton, Giga等公司探头
- 通过式传递标准法, 总不确定度最低
- 国家基准级别的热敏电阻功率传感元件
- 通过PS-Cal软件实现完整的功率自动校准
- TEGAM原系统II的升级
- 符合现行 "小功率座检定规程"
 - JJG(军工)48-2014
 - GJB J3598-99
 - JG1024-2007(国标) 脉冲
 - JJG(军工)134-2015 脉冲
 - 和 "功率指示器检定规程" JJG(军工)79-2016
 - 和小功率传递标准校准规范 JJF1461-2014 (国标)
- 提供建标咨询服务

PM系列功率校准系统简化了射频和微波功率传感器校准中单调而复杂的过程。要做一致的、低成本及可溯源的校准, 传统的手动方法即使对于有经验的技术人员来说都是难以实现的。

成功的校准包括:

- 仪器的设置
- 工作标准的溯源
- 失配 (Γ) 计算
- 校准因子 (k) 计算
- 总不确定度计算
- 探头EPROM编程, 读取和写入
- 数据报表和校准证书的生成

PM系列功率校准系统能够在支持众多仪器和功率探头的同时实现上述过程的自动化和标准化。

PM系列功率校准系统的核

心配置为具有计量级别的1830A型标准功率计, 和与之相工作的TEGAM公司传递标准, 有通过式和终端式两种类型, 以及18GHz、26.5GHz和50GHz几种频率可选。1830A是目前市场上唯一一款兼容几乎所有已知厂家类型的热敏电阻功率传感器的功率计, 包括Tegam, Agilent, Keysight, Weinschel, Giga, Anritsu, Hughes和Millitech。

PM型功率校准系统为不断增长的射频校准用户需求提供灵活性和扩展性。这些标准所遵循的原理目前被NIST (美国国家标准计量院)、PTB (德国物理技术研究院)、NIM (国家计量院) 等国家级计量组织所使用。

射频校准与测量产品

6 kHz to 50 GHz 射频功率传递标准 热敏电阻功率座



在频率范围6KHz到50GHz之间，TEGAM温度稳定的同轴射频功率传递标准能够精确测量微波功率。在这个频率范围内，TEGAM提供多个传递标准覆盖不同接头形式的多个频段。

该设备非常坚固，高精度度，具有长期的时间和温度稳定性。是把校准因子传递到其他射频标准和功率传感器的理想标准，设备配有可溯源至NIST的校准数据。

这些射频功率标准与TEGAM新型1830A射频功率计相匹配，并且与传统直流平衡电桥兼容，如1806和1806A。

2505A/F1135B/2510A/F1109H是通过式热敏电阻标准，也称传递标准，用于校准测辐射仪、热电偶及二极管终端式功率传感器。如此宽的频率范围并没有降低VSWR或准确度的指标。

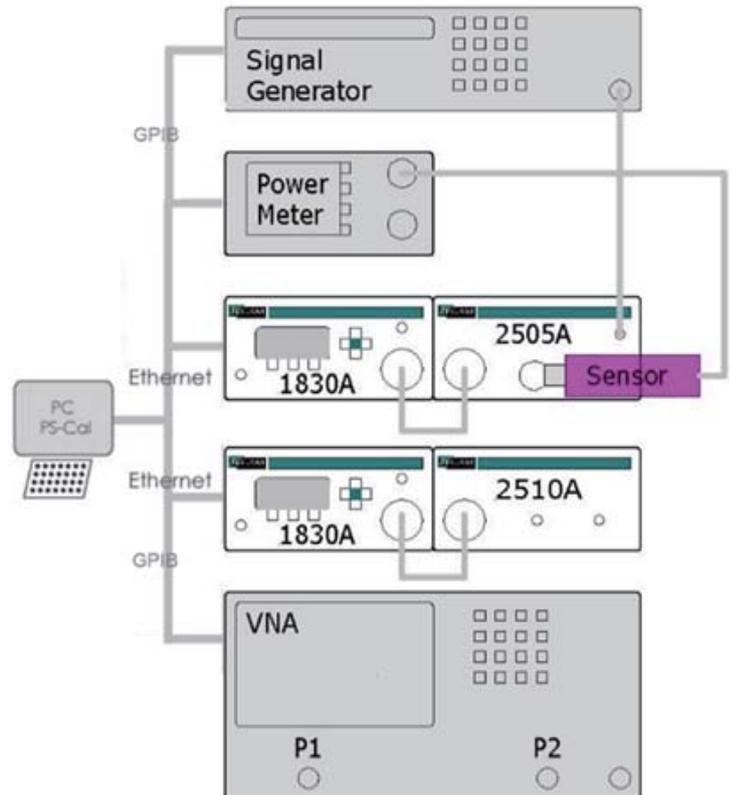
1505A/M1130A/1510A是终端式热敏电阻标准，也称核查标准，用于核查和校准通过式热敏电阻传递标准，同时也适用于其它应用，例如直接测量射频功率。终端式标准可溯源到国家最高级别功率标准和基准。

这种精确度极高的系统配置能够实现通常只有在基准实验室才能发现的校准因子传递结果。

上述型号分别采用N型、3.5mm和2.4mm射频接头，并且配备对应的偏置线和加热线，实现标准功率座内部加热器与1806，1806A和1830A等设备的相连。

- 用于校准射频功率传感器，频率分别覆盖，6 kHz 到 18 GHz, 10MHz-26.5GHz, 10MHz-50GHz
- 对应接头形式为：N, 3.5mm, 2.4mm
- 标准溯源到NIST
- 兼容1830A, 1806(A)和国产功率电桥
- 典型范围从0.01到25mW(-20 to +14 dBm), 也有250mW选项
- 提供功率传递标准和核查标准
- 符合ISO/IEC 17025规范, 经过A2LA认证的实验室校准
- 基于热敏电阻的直流替代法原理

功率传感器校准系统示意图



注： 2505A为N型6KHz-18GHz标准
2510A为2.4m10MHz-50GHz标准
用户可自备信号源、矢网、被校表头、计算机

文中注明”典型”或”典型值”的指标指总体平均值，该值来源于产品设计和/或生产测试。该值或称为”近似值”，并非最大值。典型值并非保证的性能参数。

通用技术指标 N型 标准		2505A	1505A	F1109H高功率
频率范围		6 kHz to 18 GHz		10MHz to 18GHz
最大功率		25 mW (+14 dBm)		100μW--250mW
标称阻抗		50 Ohms nominal		
功率线性度		<0.1% from 1 to 10 mW		<0.1% from 1 to 100mW
动态范围(典型可用范围)		-20 dBm to +10 dBm		100μW--250mW
校准因子飘移		<0.5% per year		
校准频点(可溯源到NIST) 2505A/1505A: 150个校准频点 F1109H: 132个校准频点		6 kHz, 9 kHz, 20 kHz to 100 kHz, in 10 kHz steps 200 kHz, 300 kHz, 455 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 1.25 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz to 90 MHz in 10 MHz steps 100 MHz to 1950 MHz in 50 MHz steps 2GHz to 3.9GHz in 100MHz steps 4GHz to 12.4GHz in 200MHz steps 12.75GHz to 18GHz in 250MHz steps		0.01 to 0.10 GHz in 10 MHz step 0.10 to 2.00 GHz in 50 MHz step 2.10 to 4.00 GHz in 100 MHz step 4.20 to 12.40 GHz in 200 MHz step 12.40 to 18.00 GHz in 250 MHz step
热敏电阻直流偏置功率		Approximately 35 mW (nominal)		
偏置热敏电阻阻抗		200 Ohms (set by balancer)		
温度 工作温度 存储温度		+15° to +30° C (+59° to +86° F) -55° to +75° C (-67° to +167° F)		
等效信号源反射系数 (典型值) $ \Gamma (V/V)$		6 kHz to 6 GHz: 0.04 6 GHz to 15 GHz: 0.05 15GHz to 18 GHz: 0.07	6 kHz to 1 MHz: 0.08 1 MHz to 100 MHz: 0.02 100 MHz to 2 GHz: 0.03 2 GHz to 8 GHz: 0.12 8 GHz to 12 GHz: 0.15 12 GHz to 18 GHz: 0.25	VSWR: <1.08 典型值
插入损耗		8.5 dB (典型值)	N/A	
校准因子精确度(典型值) K=2, 经过反射系数修正		+/-0.7%, 6 kHz to 10 MHz +/-0.8%, 0.01 to 10 GHz +/-1.0%, 10.0 to 18 GHz	+/-0.9%, 6 kHz to 10 MHz +/-1.0%, 0.01 to 10 GHz +/-1.20%, 10.0 to 18.0 GHz	± 1.0% 100KHz—1GHz ± 1.1% 1GHz-18GHz
接口类型		N 型接头		
重量		2.9 kg (6.3 lb)	544.3 g (1.2 lb)	1.57 kg (3 lbs.)
物理尺寸 高 宽 深		10.5 cm (4.1 in) 21.7 cm (8.5 in) 33.8 cm (13.3 in)	7.2 cm (2.8 in) 8.2 cm (3.2 in) 13.8 cm (5.4 in)	
配件	型号	描述		
线缆	CA-21-48	偏置线和加热线, 1830A to 15XX/25XX, 48"		CA-10-48, 1830A/1806A 加热线 CA-7-48, 1830A/1806A 偏置线
	CA-28-48	偏置线和加热线, 1806A to 2505A/1505A, 48"		
	CA-29-48	偏置线和加热线, 1806 to 2505A/1505A, 48"		
运输箱	1500-910	便携运输箱, 用于 1505A		
	2500-910	便携运输箱, 用于 2505A		

通用技术指标		3.5mm标准		F1135B和M1135A	
频率范围		10 MHz to 26.5 GHz			
功率范围		0.01 to 25 mW (-20 to 14 dBm)			
标称阻抗		50 Ohms			
功率线性度		<0.1 % from 1 to 10 mW			
校准频点(可溯源到NIST) 共141个校准频点		10 to 100 MHz in 10 MHz steps 100 MHz to 2 GHz in 50 MHz steps 2 GHz to 4 GHz in 100 MHz steps	4 to 12.4 GHz in 200 MHz steps 12.75 to 18 GHz in 250 MHz steps 18 to 26 GHz in 1 GHz steps 26.5 GHz		
校准因子飘移		<0.5 % per year			
热敏电阻直流偏置功率		30 +/- 0.7 mW			
偏置热敏电阻阻抗		200 Ohms			
温度 工作温度		+12 °C to +40 °C (+54 °F to +104 °F)			
存储温度		-55 °C to +75 °C (-67 °F to +167 °F)			
预热时间		2 hours			
分别技术指标		F1135B		M1135A	
典型VSWR		1.25 from 0.01 to 18 GHz 1.35 from 18 to 26.5 GHz		1.50 from 10 to 20 MHz 1.40 from 20 to 50 MHz 1.30 from 50 to 100 MHz 1.20 from 0.1 to 4 GHz 1.30 from 4 to 8 GHz 1.40 from 8 to 14 GHz 1.60 from 14 to 18 GHz 1.75 from 18 to 26.5 GHz	
插入损耗		6 dB, 9 dB max		2.5 dB max	
校准因子精确度(典型值) K=2, 经过反射系数修正		+/-1.0 % from 0.01 to 0.04 GHz +/-1.25 % from 0.05 to 4.0 GHz +/-1.5 % from 4.20 to 12.0 GHz +/-2.2 % from 12.2 to 17.5 GHz +/-2.5 % from 17.75 to 26.5 GHz		+/-1.2 % from 0.01 to 0.04 GHz +/-1.4 % from 0.05 to 4.0 GHz +/-1.7 % from 4.20 to 12.0 GHz +/-2.3 % from 12.2 to 17.5 GHz +/-2.6 % from 17.75 to 26.5 GHz	
重量		3.7 kg (8.2 lb)		1.5 kg (3.22 lb)	
物理尺寸		高 8.89 cm (3.5 in) 宽 21.59 cm (8.5 in) 深 35.2 cm (13.875 in)		83.8 mm (3.3 in) 76.2 mm (3.0 in) 180.30 mm (7.1 in)	
配件		型号		描述	
线缆	CA-7-48	偏置线, 1830A to F1135B/M1135A, 48"			
	CA-11-48	加热线, 1830A/1806A to F1135B, 48"			
	CA-10-48	加热线, 1830A/1806A to M1135A, 48"			
运输箱	8010	便携运输箱, 用于 F1135B			
	8000	便携运输箱, 用于M1135A			

通用技术指标	2.4mm标准	2510A 和 1510A	
频率范围		10 MHz to 50 GHz	
最大功率		25 mW (+14 dBm)	
典型功率使用范围		0.01mW-10mW (-20dBm to +10dBm)	
功率线性度		<0.1 % from 1 to 10 mW	
校准因子漂移		<0.5 % /年	
标称阻抗		50 Ohms	
校准频点 (可溯源到NIST) 共166个校准频点		10 to 100 MHz in 10 MHz steps 100 MHz to 2 GHz in 50 MHz steps 2 GHz to 4 GHz in 100 MHz steps 4 to 12.4 GHz in 200 MHz steps	12.75 to 18 GHz in 250 MHz steps 18 to 26 GHz in 1 GHz steps 26.5 GHz, 27 to 34 GHz in 1 GHz steps 34.5 GHz, 35 to 50 GHz in 1 GHz steps
热敏电阻直流偏置功率		40 mW	
偏置热敏电阻阻抗		200 Ohms	
预热时间		大于2小时	
温度 工作温度 存储温度		+12 °C to +40 °C (+54 °F to +104 °F) -55 °C to +75 °C (-67 °F to +167 °F)	
分别技术指标		2510A	1510A
接口类型		精密2.4mm Female	精密2.4mm Male
等效信号源反射系数 (典型值) $ Γ $ (V/V)		10 MHz to 100 MHz: 0.01 100 MHz to 2 GHz: 0.02 2 GHz to 12.4 GHz: 0.04 12.4 GHz to 18 GHz: 0.06 18 GHz to 26.5 GHz: 0.10 26.5 GHz to 40 GHz: 0.15 40 GHz to 50 GHz: 0.25	10 MHz to 100 MHz: 0.0066 100 MHz to 2 GHz: 0.0267 2 GHz to 12.4 GHz: 0.1356 12.4GHz to 18GHz:0.2249 18 GHz to 26.5 GHz: 0.3200 26.5GHz to 50GHz:0.3389
插入损耗		11 dB 典型值	N/A
校准因子精确度 (典型值) K=2, 经过反射系数修正		+/-1.0% from 0.01 to 0.04GHz +/-1.25% from 0.05 to 4.0GHz +/-1.5% from 4.20 to 12.0GHz +/-2.2% from 12.2 to 17.5GHz +/-2.5% from 17.75 to 26.5GHz +/-3.0% from 27.0 to 44.0GHz +/-4.0% from 45.0 to 50.0GHz	+/-1.2% from 0.01 to 0.04GHz +/-1.4% from 0.05 to 4.0GHz +/-1.7% from 4.20 to 12.0GHz +/-2.3% from 12.2 to 17.5GHz +/-2.6% from 17.75 to 26.5GHz +/-3.2% from 27.0 to 44.0GHz +/-4.2% from 45.0 to 50.0GHz
重量		2.9 kg (6.3 lb)	0.54 kg (1.2 lb)
物理尺寸 高 宽 深		10.5 cm (4.1 in) 21.7 cm (8.5 in) 33.8 cm (13.3 in)	72 mm (2.8 in) 82 mm (3.2 in) 138 mm (5.4 in)
配件		型号	描述
转接头		1510-911-01 1510-912-01 2510-911-01 2510-912-01 2510-913-01	2.4mm(F) to 2.92mm(M), 带校准数据 2.4mm(F) to 3.5mm(M), 带校准数据 2.4mm(M) to 2.92mm(F), 带校准数据 2.4mm(M) to 3.5mm(F), 带校准数据 2.4mm (M to F) 30dB, 带校准数据
线缆		CA-21-48 CA-28-48 CA-29-48	偏置和加热线, 1830A to 15XX/25XX, 48" 偏置和加热线, 1806A to 2510/1510, 48" 偏置和加热线, 1806 to 2510/1510, 48"
力矩扳手		2510-910-01	力矩扳手, 3.5mm, 2.92mm和2.4mm Male
运输箱		1510-910 2510-910	1510便携运输箱 2510便携运输箱
机柜安装件		单个: 1830-910; 两个: 1830-911	

射频微波功率校准及测量产品

- 频率范围：6KHz到110GHz
- 最低不确定性：读数的±0.05%
- TEGAM射频功率校准系统中的标准功率计：
 - PM小功率校准—最高50GHz
 - HPC中大功率校准—250W和2000W
- 替代原系统II的1805和1806，直接读取功率值
- 校准功率计的50 MHz，0dBm参考输出，配合TEGAM终端标准
- 替代N432A，与478A和8478B工作
- 四位校准因子分辨率，可存储
- 对传感器进行温度控制



1830A标准功率计

兼容TEGAM小功率校准系统
兼容TEGAM中大功率校准系统

50MHz 1mW参考源校准

提升校准精度，替代N432A

直流替代桥技术

热敏电阻功率测试 技术

直流热敏射频功率传感器是公认的最准确的用来测量和传递射频功率的方法。TEGAM设计的1830A可与所有热敏射频功率探头一起工作，同时进一步降低不确定度。它将直流替代桥和现代精密测量系统结合在一起，以手动或自动的方式实现一致的，校准的RF功率读数。

支持的热敏电阻座

Agilent：478A, 8478B

TEGAM/Weinschel：1107-8,, M1110, M1130A, M1135A, F1109, F1117, F1119, F1125, F1130B, F1135B, 2510A, 1510A, 2505A, 1505A, 2601A, 2602A, 2604A, 2605A, 2606A

更好的测量

TEGAM利用其Type IV桥经验基础，开发出了具有先进模拟和数字电子元件的，提供最低的不确定性的直流替代功率计。动态范围-30至+14 dBm和频率范围6kHz至110 GHz。

整个测量频率范围内的射频信号共模抑制性能也得到了特别的关注。除了更精确的测量之外，TEGAM 1830A还配备便捷的功能，如校准因子的存储，以及USB和LXI - C通讯接口。

更加灵活

许多基于热敏电阻的射频功率传感器可以与1830A工作。1830A设计偏置为100Ω或200Ω，并且像安捷伦478A和8478B一样都含有平衡射频感应和补偿热敏的双桥。它可以与安捷伦的478A和8478B, 以及安捷伦486A波导传感器系列一起工作。1830A具有为所有TEGAM和Weinschel功率座提供加热的电路。



与TEGAM传递标准构成功率校准系统

规格指标	
功率范围	-30到+14 dBm (0.001毫瓦到30毫瓦)
频率范围	6 kHz至110GHz (视传感器而定)
仪表不确定度	读数的±0.05%±0.5微瓦 (0.1%在1毫瓦)
校准因子分辨率	4位
桥电阻	从50Ω至300Ω可变 (射频终端12.5Ω至75Ω)
加热器电路	8伏直流@ 200毫安 (兼容所有TEGAM/Weinschel热敏电阻功率座)
传感器连接	偏置连接 14针快速连接 加热器 4针微型麦克风
通讯	USB接口, 兼容10/100 BaseT以太网标准的LXI-C接口
工作温度	0 °C至+55 °C
存储温度	-40 °C至+75 °C
湿度	0-95%RH(相对湿度)无冷凝
电源要求	100到240伏交流电, 最大20 VA (视载功率)
重量	2.0公斤 (4.4磅)
尺寸	2-½机架 8.89厘米x 21.59厘米x33.02厘米 (3.5×8.5×13英寸)
支持的传感器	TEGAM /Weinschel: 1107-7, 1107-8, 1807, M1110, M1111, M1118, M1120, M1125, M1130A, M1135A, F1109, F1116, F1117, F1119, F1125, F1130B, F1135B, 2505A, 1505A, 2510A(50GHz), 1510A(50GHz), 2601A/2602A(250W), 2605A/ 2606A(2000W) Agilent/Keysight: 478A, 8478B, S486A, G486A, J486A, H486A, X486A, M486A, P486A, K486A, R486A 任何与安捷伦478A兼容的热敏电阻功率座
软件支持	PS-Cal射频小功率校准软件, IVI兼容LabView驱动程序 HPC-SW射频中大功率校准软件
随附配件	电源线 068-21 手册 1830 - 901 - 01A型
可选配件	CA-11-48 加热电缆, 4针(小), 1830A接F系列18GHz和26.5GHz功率传递标准 CA-10-48 加热电缆, 4针(大), 1830A接M系列18GHz和26.5GHz功率传递标准 CA-6- 48 测试电缆, 1830A接Keysight 478A和8478B CA-7- 48 测试电缆, 1830A接F和M系列18GHz和26.5GHz传递标准 CA-21-48 测试电缆, 1830A接25xxA/15xxA系列, 和26xxA系列功率传递标准 CA-9- 48 测试电缆, 裸接线, 便于用户制作个性化电缆 CA-20-48 单独校准1830A连接电缆 2500-910 便携提箱 机架固定套件 联系TEGAM

PS-CAL射频微波功率自动校准软件

PS-Cal是真正基于Windows®多任务的自动功率校准软件方案，可以批量校准多个探头，因此提高工作效率。PS-Cal操作简单、允许用户自定义设置，可以实现功率传感器的反射系数（包括模值和相位）和校准因子的校准，可以读写功率传感器EPROM，是目前市面上唯一商业化的功率校准软件。支持TEGAM所有功率校准系统，实现是德(Keysight)、罗德施瓦茨(R&S)、安立(Anritsu)、Bontoon、Giga等品牌功率探头的校准。

- 全自动射频/微波功率校准软件
- 全面支持TEGAM所有校准系统
- 校准因子、反射系数(模值/相位)
- 自定义、存储和调用校准设置模板
- 读取和写入探头EPROM
- 校准功率探头多个通道
- 支持Keysight/Agilent、R&S、Anritsu、Bontoon和Giga等多个品牌的功率探头
- 支持各品牌主流型号信号源、矢网、功率计、电压表等



图1 PS-CAL校准功率探头多个通道(包含反射/校准因子和EPROM读写)



图2 使用PS-CAL自动校准软件的功率校准系统

支持的功率探头列表

PS-CAL对功率探头的支持包含自动控制、得出反射系数/校准因子结果和EPROM读/写等功能，根据不同功率探头的情况，包含的支持项目不同。获取更多详细信息，请联系TEGAM公司。

型号	厂家	频率范围	型号	厂家	频率范围	型号	厂家	频率范围
11722A	Agilent\HP	100 kHz to 4.2 GHz	11792A	Agilent\HP	50 MHz to 26.5 GHz	8478B	Agilent\HP	10 MHz to 18 GHz
478A	Agilent\HP	10 MHz to 10 GHz	478A	Agilent\HP	10 MHz to 10 GHz	8481A	HP\Agilent	10 MHz to 18 GHz
8481B	HP\Agilent	10 MHz to 18 GHz	8481D	HP\Agilent	10 MHz to 18 GHz	8481D-039	HP\Agilent	10 MHz to 22 GHz
8481H	HP\Agilent	10 MHz to 18 GHz	8482A	HP\Agilent	100 kHz to 4.2 GHz	8482B	HP\Agilent	100 kHz to 4.2 GHz
8482H	HP\Agilent	100 kHz to 4.2 GHz	8483A	HP\Agilent	100 kHz to 2 GHz	8484A	HP\Agilent	10 MHz to 18 GHz
8485A	HP\Agilent	50 MHz to 26.5 GHz	8485A-033	HP\Agilent	50 MHz to 33 GHz	8485D	HP\Agilent	50 MHz to 26.5 GHz
8487A	HP\Agilent	50 MHz to 50 GHz	8487D	HP\Agilent	50 MHz to 50 GHz	EPC-E18	Agilent	10 MHz to 18 GHz
EPC-E26	Agilent	50 MHz to 26.5 GHz	E4412A	Agilent	10 MHz to 18 GHz	E4413A	Agilent	50 MHz to 26.5 GHz
E9300A	Agilent	10 MHz to 18 GHz	E9300B	Agilent	10 MHz to 18 GHz	E9300H	Agilent	10 MHz to 18 GHz
E9301A	Agilent	10 MHz to 6 GHz	E9301B	Agilent	10 MHz to 6 GHz	E9301H	Agilent	10 MHz to 6 GHz
E9304A	Agilent	9 kHz to 6 GHz	E9321A	Agilent	50 MHz to 6 GHz	E9322A	Agilent	50 MHz to 6 GHz
E9323A	Agilent	50 MHz to 6 GHz	E9325A	Agilent	50 MHz to 18 GHz	E9326A	Agilent	50 MHz to 18 GHz
E9327A	Agilent	50 MHz to 18 GHz	N1921A	Agilent	50 MHz to 18 GHz	N1922A	Agilent	50 MHz to 40 GHz
N5532A-504	Agilent	100 kHz to 4.2 GHz	N5532A-518	Agilent	10 MHz to 18 GHz	N5532A-526	Agilent	30 MHz to 26.5 GHz
N5532A-550	Agilent	30 MHz to 50 GHz	N8481A	Agilent	10 MHz to 18 GHz	N8482A	Agilent	100 kHz to 6 GHz
N8485A	Agilent	10 MHz to 26.5 GHz	N8487A	Agilent	50 MHz to 50 GHz	U2000A	Agilent	10 MHz to 18 GHz
U2000B	Agilent	10 MHz to 18 GHz	U2000H	Agilent	10 MHz to 18 GHz	U2001A	Agilent	10 MHz to 6 GHz
U2001B	Agilent	10 MHz to 6 GHz	U2001H	Agilent	10 MHz to 6 GHz	U2002A	Agilent	50 MHz to 24 GHz
U2002H	Agilent	50 MHz to 24 GHz	U2004A	Agilent	9 kHz to 6 GHz	NRP-6A	R&S	8 kHz to 6 GHz
NRP-8S	R&S	10 MHz to 8 GHz	NRP-18A	R&S	8 kHz to 18 GHz	NRP-18S	R&S	10 MHz to 18 GHz
NRP-18T	R&S	DC to 18 GHz	NRP-33S	R&S	10 MHz to 33 GHz	NRP-33T	R&S	DC to 33 GHz
NRP-40S	R&S	10 MHz to 40 GHz	NRP-40T	R&S	DC to 40 GHz	NRP-50S	R&S	10 MHz to 50 GHz
NRP-50T	R&S	DC to 50 GHz	NRP-Z11	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z21	R&S	10 MHz to 18 GHz
NRP-Z22	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z23	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z24	R&S	10 MHz to 18 GHz
NRP-Z27	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z28	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z31	R&S	10 MHz to 33 GHz
NRP-Z37	R&S	10 MHz to 18 GHz	NRP-Z41	R&S	10 MHz to 40 GHz	NRP-Z51	R&S	DC to 18 GHz
NRP-Z52	R&S	DC to 33 GHz	NRP-Z55.03	R&S	DC to 40 GHz	NRP-Z55.04	R&S	DC to 44 GHz
NRP-Z56	R&S	DC to 50 GHz	NRP-Z57	R&S	DC to 67 GHz	NRP-Z61	R&S	10 MHz to 40 GHz
NRP-Z81	R&S	50 MHz to 18 GHz	NRP-Z85	R&S	50 MHz to 40 GHz	NRP-Z86.40	R&S	50 MHz to 40 GHz
NRP-Z86.44	R&S	50 MHz to 44 GHz	NRP-Z91	R&S	9 kHz to 6 GHz	NRP-Z92	R&S	9 kHz to 6 GHz
NRP-Z98	R&S	10 MHz to 6 GHz	NRP-Z211	R&S	10 MHz to 8 GHz	NRP-Z221	R&S	10 MHz to 18 GHz
MA24002A	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA24004A	Anritsu	10 MHz to 40 GHz	MA24005A	Anritsu	10 MHz to 50 GHz
MA24006A	Anritsu	10 MHz to 6 GHz	MA2411A	Anritsu	300 kHz to 40 GHz	MA2411B	Anritsu	300 kHz to 40 GHz
MA2442A	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2442B	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2442D	Anritsu	10 MHz to 18 GHz
MA2444A	Anritsu	10 MHz to 40 GHz	MA2444D	Anritsu	10 MHz to 40 GHz	MA2445A	Anritsu	10 MHz to 50GHz
MA2445D	Anritsu	10 MHz to 50GHz	MA2472A	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2472B	Anritsu	10 MHz to 18 GHz

型号	厂家	频率范围	型号	厂家	频率范围	型号	厂家	频率范围
MA2472D	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2473A	Anritsu	10 MHz to 32 GHz	MA2473D	Anritsu	10 MHz to 32 GHz
MA2474A	Anritsu	10 MHz to 40 GHz	MA2474D	Anritsu	10 MHz to 40 GHz	MA2475A	Anritsu	10 MHz to 50 GHz
MA2475D	Anritsu	10 MHz to 50 GHz	MA2481B	Anritsu	10 MHz to 6 GHz	MA2481D	Anritsu	10 MHz to 6 GHz
MA2482A	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2482B	Anritsu	10 MHz to 18 GHz	MA2490A	Anritsu	10 MHz to 8 GHz
MA2491A	Anritsu	10 MHz to 6 GHz	4240	Boonton	10 MHz to 18 GHz	51071	Boonton	10 MHz to 26.5 GHz
51072	Boonton	30 MHz to 40 GHz	51075	Boonton	30 MHz to 18 GHz	51077	Boonton	500 kHz to 18 GHz
51078	Boonton	100 kHz to 18 GHz	51079	Boonton	500 kHz to 18 GHz	51085A	Boonton	500 kHz to 18 GHz
51086A	Boonton	50 MHz to 26.5 GHz	51087A	Boonton	50 MHz to 40 GHz	51100_9E	Boonton	10 MHz to 18 GHz
51101	Boonton	100 kHz to 4.2 GHz	51102	Boonton	30 MHz to 26.5 GHz	51200	Boonton	10 MHz to 18 GHz
51201	Boonton	100 kHz to 4.2 GHz	51300	Boonton	10 MHz to 18 GHz	51301	Boonton	100 kHz to 4.2 GHz
51011_EMC	Boonton	10 MHz to 8 GHz	51011_4B	Boonton	100 kHz to 12.4 GHz	51013_4E	Boonton	100 kHz to 18 GHz
51015_5E	Boonton	100 kHz to 18 GHz	51033_6E	Boonton	100 kHz to 18 GHz	51200	Boonton	10 MHz to 18 GHz
56006	Boonton	500 kHz to 6 GHz	56018	Boonton	30 MHz to 18 GHz	56218	Boonton	30 kHz to 18 GHz
56218_S2	Boonton	30 MHz to 26.5 GHz	56318	Boonton	500 kHz to 18 GHz	56326	Boonton	500 kHz to 26.5 GHz
56340	Boonton	500 kHz to 40 GHz	56418	Boonton	500 kHz to 18 GHz	56518	Boonton	500 kHz to 18 GHz
56526	Boonton	500 kHz to 26.5 GHz	56540	Boonton	500 kHz to 40 GHz	57318	Boonton	50 MHz to 18 GHz
57518	Boonton	50 MHz to 18 GHz	57540	Boonton	50 MHz to 40 GHz	58318	Boonton	50 MHz to 18 GHz
16934	Gigatronics	30 MHz to 18.5 GHz	80301A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz	80302A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz
80303A	Gigatronics	50 MHz to 26.5 GHz	80304A	Gigatronics	50 MHz to 40 GHz	80310A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz
80313A	Gigatronics	50 MHz to 26.5 GHz	80314A	Gigatronics	50 MHz to 40 GHz	80320A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz
80321A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80322A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80323A	Gigatronics	50 MHz to 26.5 GHz
80324A	Gigatronics	50 MHz to 40 GHz	80325A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80330A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz
80333A	Gigatronics	10 MHz to 26.5 GHz	80334A	Gigatronics	10 MHz to 40 GHz	80350A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz
80351A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80352A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80353A	Gigatronics	50 MHz to 26.5 GHz
80354A	Gigatronics	50 MHz to 40 GHz	80355A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80401A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz
80402A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80402A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80410A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz
80420A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80421A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80422A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz
80425A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80501A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz	80501A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz
80502A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz	80503A	Gigatronics	10 MHz to 26.5 GHz	80504A	Gigatronics	10 MHz to 40 GHz
80601A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80621A	Gigatronics	50 MHz to 18 GHz	80701A	Gigatronics	10 MHz to 18 GHz

附表1：广泛支持各品牌主流仪器设备

Signal Generators

Agilent/HP 33250A Function/Arbitrary Waveform Generator
 Agilent/HP 3325A/B Function Generator
 Agilent/HP 8360A/B/L series Signal Generators
 Agilent 33220A Function/Arbitrary Waveform Generator
 Agilent/Keysight ESG series Signal Generators
 Agilent/Keysight EXG series Signal Generators
 Agilent/Keysight PSG series Signal Generators
 Agilent/Keysight MXG series Signal Generators
 Anritsu 68xxx Series Signal Generators
 Anritsu 69xxx Series Signal Generators
 Anritsu M369xx Series Signal Generators
 Fluke 9640A
 Fluke 96000A Series
 HP 8340A/41A Signal Generators
 HP 8648A/B/B/D Signal Generators
 HP 866xA/B Signal Generators
 R&S SMA Series Signal Generator
 R&S SMB Series Signal Generator
 R&S SMC Series Signal Generator
 R&S SML Series Signal Generator
 R&S SMY Series Signal Generator
 R&S SMF Series Signal Generator

Network Analyzers

Agilent/HP 8722D Vector Network Analyzer
 Agilent/HP 8753D/E Vector Network Analyzer
 Agilent E5071C Vector Network Analyzer
 Agilent E8361A PNS Vector Network Analyzer
 Agilent N5230 Vector Network Analyzer
 Agilent N522x Series Vector Network Analyzer
 Anritsu MS464x Series Vector Network Analyzer
 Anritsu Vector Start Series Vector Network Analyzer
 HP 3577 Scalar Network Analyzer
 HP 8510C Vector Network Analyzer
 HP 8757 Scalar Network Analyzer
 R&S ZVA Series Vector Network Analyzer
 R&S ZVL Series Vector Network Analyzer

Power Meters

Agilent/HP E4418 & 19 Power Meter
 Agilent/HP E4416 & 17 Power Meter
 Agilent/HP E4418 & 19 Power Meter
 Agilent/HP 437A Power Meter
 Agilent N1911A/12 Power Meter
 Agilent N1913A/14 Power Meter
 Anritsu ML2438A Power Meter
 Anritsu ML2437A Power Meter
 Boonton 4220 Power Meter
 Boonton 4300 Power Meter
 Boonton 4232 Power Meter
 Boonton 4500A/B Power Meter
 Boonton 4532 Power Meter
 Boonton 4542 Power Meter
 Giga-tronics 8501/2 Power Meter
 Giga-tronics 8541A Power Meter
 Giga-tronics 8651A Power Meter
 HP 432A Power Meter (requires DMM)
 HP 437A Power Meter
 HP 438B Power Meter
 R&S NRVP Power Meter
 R&S NRVD Power Meter
 R&S NRVS Power Meter
 R&S NRP/NRP2 Power Meter
 Tegam/Weinschel 1805
 Tegam/Weinschel 1806
 Tegam 1830

Digital Volt Meters

Agilent/HP 34401A Digital Multimeter
 Agilent/HP 34420A Digital Multimeter
 Agilent/HP 3458A Digital Multimeter
 Fluke 5790A AC Measurement Standard
 Fluke 8845A/46A Digital Multimeter
 Fluke 8508 Digital Multimeter
 HP 3478A Digital Multimeter

备注：信号源、矢量网、功率计、电压表等设备不限于上述型号；具体请联系 TEGAM 工程师联系。

附一： 射频功率自动校准系统选择清单 (用户根据需要, 从中选择)

功率标准和软件			
序号	型号	描述	标准类型
1	2505A	N型接头, 6KHz到18GHz标准功率座, 通过式,	传递标准
2	F1135B	3.5mm接头, 10MHz到26.5GHz标准功率座, 通过式,	传递标准
3	2510A	2.4mm接头, 10MHz到50GHz标准功率座, 通过式,	传递标准
4	F1109H	10MHz到18GHz标准功率座, 通过式, N型接头, 高功率250mW	传递标准
5	1505A	6KHz到18GHz核查标准	核查标准
6	M1135A	10MHz到26.5GHz核查标准	核查标准
7	1510A	10MHz到50GHz核查标准	核查标准
8	PS-CAL软件和系统集成	自动控制校准软件, 支持多种射频仪表的自动控制, 进行探头校准因子的自动测试, 并计算不确定度, 生成校准报告; 整体系统的集成测试	系统软件和集成

标准功率计和功率电桥			
序号	型号	描述	标准类型
1	1830A	计量标准功率计, 支持最高110GHz, 单通道 (可替代1805B, 1806A)	标准功率计
2	1806B	TypeIV功率电桥, 四线法, 双通道 (需外接数字多用表)	功率电桥
3	PM117	TypeIV功率电桥, 双通道 (需外接数字多用表), 低成本	功率电桥

其它主要仪器		
1	50GHz微波信号源	可选择 Anritsu MG3695C, 或者 Keysight 8257D。根据需要选择信号源的各种选项
2	50GHz矢量网络分析仪	可选择 Anritsu MS4645B, 或者 Keysight N5230G-550。根据需要选择矢网的各种选项

系统附件			
型号	描述	项目	描述
CA-21-48	1830A连接25xxA和15xxA的线缆	1820B	双路标准功率座温度控制器
CA-7-48	1830A连接F1130B/F1135B和M1130A/M1135A的测试电缆	精密射频转接头	2.4mm公转2.92mm母; 2.4mm公转3.5mm母; 2.4mm公转N型
CA-11-48	1830A连接F1130B和F1135B的加热线缆	50GHz射频电缆	50GHz低损耗电缆, 2.4mm公, 0.9米
CA-10-48	1830A连接M1130A和M1135A的加热线缆	18GHz射频电缆	18GHz低损耗电缆, SMA接头, 0.9米
CA-20-48	单独校准1830A用连接线缆	便携运输箱	方便传递标准座和1830A的携带和运输
CA-28-48	1806A连接25xxA和15xxA的线缆	力矩扳手	力矩扳手, 适用于N型接头; 适用于SMA, 3.5mm和2.92mm接头
CA-29-48	1806连接25xxA和15xxA的线缆		
电脑	笔记本电脑, 或者PC机、工控机	11683A	量程校准器, 适用于Agilent功率指示器
GPIB卡和电缆	用以连接和与各种仪器通讯	支架	支撑被校探头, 可升降对接到传递标准
机柜	高品质系统机柜, 带操作台面, 带显示器支架,		

配套服务: TEGAM可为用户提供建标咨询服务, 以及将产品送至北京上级计量单位校准的服务

附二：传递标准选型指南

图片	型号	标准类型	频率范围	功率范围	接口类型
	2505A	通过式,工作标准	6KHz-18GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 N型
	1505A	终端式,核查标准	6KHz-18GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 N型
	F1135B	通过式,工作标准	10MHz-26.5GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 3.5mm
	M1135A	终端式,核查标准	10MHz-26.5GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 3.5mm
	2510A	通过式,工作标准	10MHz-50GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 2.4mm
	1510A	终端式,核查标准	10MHz-50GHz	0.01mW-25mW (-20 to +14dBm)	同轴 2.4mm
	F1109H	通过式,工作标准	10MHz-18GHz	0.1mW-250mW	同轴 N型



1820B 型双路温控仪

- 对 TEGAM 传递标准加热
- 双通道
- 接口：4 针小头
- 兼容线缆：CA- 11- 48, CA- 21- 48



CA-21-48



CA-11-48



CA-7-48



CA-20-48

使用1830A型标准功率计 测量和校准功率指示器50MHz参考输出

验证功率指示器1mW 50 MHz参考输出指标是否在指标范围内是一项非常重要的一项计量内容。根据目前实施的JJG(军工)79-2016《功率指示器检定规程》，功率指示器的检定项目通常有：

- 读数准确度：包括零点、量程、校准系数和线性
- 参考校准源(50MHz, 1mW)：功率电平、输出驻波

在实践中，准确度可以通过对功率传感器与功率指示器整体标定校准因子的方式进行检定，某些公司也提供“量程校准器”或“直流探头”，用来对功率指示器的量程进行检定；对于1mW@50MHz的参考输出，这两个项目的检定均需要使用热敏电阻原理的功率计和传感器来实现。检定项目和检定设备如下：

- 检定项目：功率电平，输出驻波
- 检定设备：TEGAM 1830A和1505A组合，或者1830A和M1130A组合

TEGAM 1830A与1505A(或者M1130A)组合是实现该检定的装置。其中输出驻波的测试需要使用1830A控制桥电阻可变的特性，构建两种不同阻抗的负载，进而测试参考端口的源输出驻波特性。1830A标准功率计和1505A(或者M1130A)终端式标准功率座的主要技术指标为：

- 1830A标准功率计：不确定度(典型值) 0.1%， 1mW
- 1505A(或M1130A)终端式标准功率座：不确定度(典型值) <0.8%， 50MHz



1830A允许用户改变热敏电阻座终端电阻值。这个方法给测量源提供两个明显不同的 Γ_{Load} 值，以达到两种不同情况下功率吸收的精确测量，使得测量源匹配十分有效。图1显示了直流电桥电路中包括两个串联的热敏电阻，正常的桥臂电阻为200 Ω 。热敏电阻(T)是匹配的，每个热敏电阻都是100 Ω 的偏置电阻。对于射频信号输入两个热敏电阻是并联的，由于每个热敏电阻都是100 Ω 的偏置电阻，所以并联电阻是很好的50 Ω 终端。

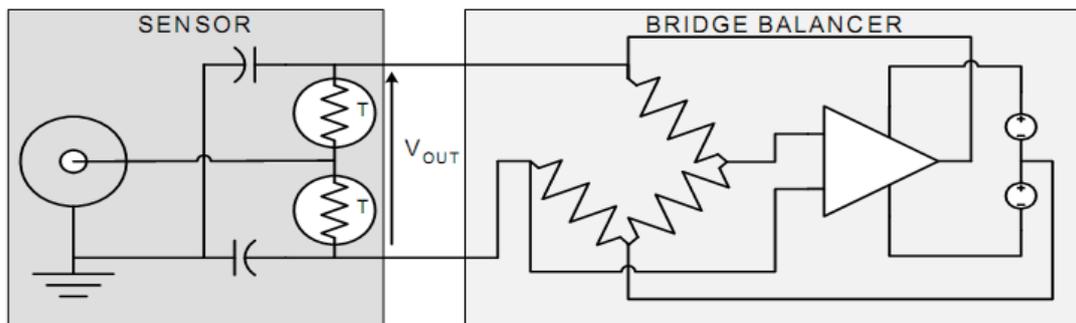


图1 热敏电阻座和直流平衡电桥

热敏电阻座像TEGAM公司的1505A或M1130A 或是德公司的 478A（带H75或H76选件）的直流电阻为200 Ω 条件时，此时的射频阻抗为50 Ω ，负载反射系数 Γ_{Load} 近乎于0。1 改变热敏电阻座参考电阻至100 Ω 时，射频阻抗变为25 Ω 同时给定的 Γ_{Load} 值为0.33。在200 Ω 和100 Ω 时，热敏电阻座有效效率始终保持恒定，所以功率比值可以得到精确的得出。

¹ H75和H76是478A为优化VSWR所提供的选件。特别是从1 MHz 至 1 GHz，VSWR最大值小于1.3: 1；50MHz例外，其最大VSWR为1.05: 1。

功率计50MHz参考输出指标测试与校准过程举例

备注：本例基于安捷伦E4418B/E4419B功率计。原理与安捷伦文章Part # E4418-90059 Revision G, April 23 2010一致。

测试项目一：功率参考输出电平

所需设备：

- TEGAM 1830A 射频功率计
- TEGAM 1505A或M1130A终端式传递标准
- 带 50 MHz, 1 mW 参考输出的被校准功率计

过程：

下列步骤用于验证50MHz参考输出电平：

- 1.所有设备通电并允许一定时间预热。如果用带温度补偿的热敏电阻座，允许合适的温度稳定。
- 2.连接热敏电阻座到1830A。
 - a.如果选用M1130A，需要TEGAM CA-7-48 (传感器线缆)和TEGAM CA-10-48 (加热线缆)
 - b.如果选用1505A，需要TEGAM CA-21-48(加热线缆和传感器线缆合二为一)
- 3.根据所选热敏电阻座手动设置1830A.
- 4.确定连接热敏电阻座前50MHz参考是关闭状态.
- 5.连接热敏电阻座到50 MHz 参考输出.
- 6.输入 1505A或M1130A 50 MHz 校准因子到1830A.
- 7.ZERO 1830A.
- 8.打开50MHz参考输出源
- 9.记录测量功率.
- 10.对于本案如果参考输出在1.000 mW \pm .009 mW视功率计E4418B/E4419B 指标合格

测试项目二：输出驻波比

备注: 这次步骤要设置1505A或M1130A 阻抗改变从200 Ω 到100 Ω . 完成正确设置热敏电阻座后要改回200 Ω .

所需设备：

- TEGAM 1830A 功率计
- TEGAM 1505A或M1130A热敏电阻座
- 带 50 MHz, 1 mW 参考输出的被校准功率计

过程：

下列步骤用于测试参考输出驻波比：

1. 所有设备通电并允许一定时间预热。如果用带温度补偿的热敏电阻座允许合适的温度稳定。
2. 连接热敏电阻座到1830A。

- a.如果选用M1130A，需要TEGAM CA-7-48 (传感器线缆)和TEGAM CA-10-48 (加热线缆)
 - b.如果选用1505A，需要TEGAM CA-21-48(加热线缆和传感器线缆合二为一)
 3. 根据所选热敏电阻座手动设置1830A
 4. 确定连接热敏电阻座前50MHz参考是关闭状态.
 5. 连接热敏电阻座到50 MHz 参考输出.
 6. 记下 RHO200，热敏电阻座在50 MHz，200 Ω条件下 S22幅值.
 - a. 对于 M1130A或1505A，S22 可从校准报告内得到（或用矢量网络分析仪实测）
 7. 记下 RHO100热敏电阻座在50 MHz，100 Ω条件下 S22幅值.
 - a. 对于 M1130A或1505A，用 0.33 作为评估值（或用矢量网络分析仪实测）
 8. 验证1830A参考电阻设置为 200 Ω.
 9. Zero 1830A.
 10. 打开被校准功率计50MHz，1mW参考输出源
 11. 记录1830A前面板功率值.
 12. 关闭被校准功率计50MHz，1mW参考输出源
 13. 设置1830A参考电阻为 100 Ω.
 14. 重负步骤 10-12.
- 用下列公式计算M值.

$$M = \frac{P_{200}(1-|RHO_{100}|^2)}{P_{100}(1-|RHO_{200}|^2)}$$

1.用M值计算输出电压反射系数

$$|\Gamma_s| = \frac{(2|RHO_{200}|M-2|RHO_{100}|) \pm \sqrt{(2|RHO_{100}|-2|RHO_{200}|M)^2 - 4(|RHO_{200}|^2M - |RHO_{200}|^2)(M-1)}}{2(|RHO_{200}|^2M - |RHO_{100}|^2)}$$

2.用下面的公式计算驻波比.

$$SWR = \frac{(1+|\Gamma_s|)}{(1-|\Gamma_s|)}$$

输出驻波比计算举例

本案被测功率计 Agilent E4418B . 输出 SWR要求最大值不超过 1.06. TEGAM 1830A 及1505A和 M1130A 作为测试设备. 输出驻波比是1.029.

记录项	值	备注
功率(mW) (200欧姆电阻参考值)	0.9936	读取1830A读数
功率(mW) (100欧姆电阻参考值)	0.8939	读数1830A读数
固定项 (见热敏电阻座校准数据)		
RHO (200欧姆电阻参考值)	0.0014	从报告获取(或用VNA实测)
RHO (100欧姆电阻参考值)	0.33	从报告获取(或用VNA实测)
计算		
计算因子M	0.990485764	计算过程(供参考)
计算正输出电压反射系数	0.014505294	反射系数模值
计算负输出电压反射系数	6.020741222	二次方程的无效解(可忽略)
正输出驻波比 SWR(+)	1.029437589	输出驻波最终结果
负输出驻波比 SWR(+)	-1.398347557	二次方程的无效解(可忽略)

备注：实际校准过程中，只需读取200欧和100欧时的功率读数，分别录入到Excel电子表格中(计算公式预设到电子表格中)，即可自动计算输出驻波的值，操作过程简单、有效。

TEGAM射频高功率校准系统250W或2000W



Model 2601A



Model 2602A

- 校准射频高功率设备到250W或2000W高功率传递标准, 如TEGAM 2600系列通过式功率计, 如Bird(鸟牌)瓦表高功率探头, 包括Keysight, R&S和Anritsu
- 不确定度: < 1%
- 频率250W@60 Hz to 3GHz
2000W@10KHz-500MHz
- 直接溯源到交流功率标准
- “半定制”系统, “交钥匙”项目方式

HPC高功率校准系统是一套完整的自动化校准射频中大功率计的系统, 可以校准多个厂家的通过式和终端式功率计, 包括Bird(鸟牌)的瓦表, Keysight和R&S等公司的通过式和终端式功率计等; 该系统由信号源、放大器、滤波和开关组、中大功率传递标准和标准功率计组成, 可以实现射频高功率计的最精密校准。

HPC高功率校准系统无与伦比的精度的基础是TEGAM独有的流量量热计(型号1314或1315A), 该量热计提供了极低的测量不确定度、同时也提供了方便的溯源路径, 实现射频高功率到交流功率的直接溯源。

而系统中的TEGAM高功率传递标准2600系列沿用经典的热敏电阻设计, 实现稳定、精确的高功率计校准; 标准功率计1830A与小功率校准系统完全相同, 确保系统投资最小、并长期有效。



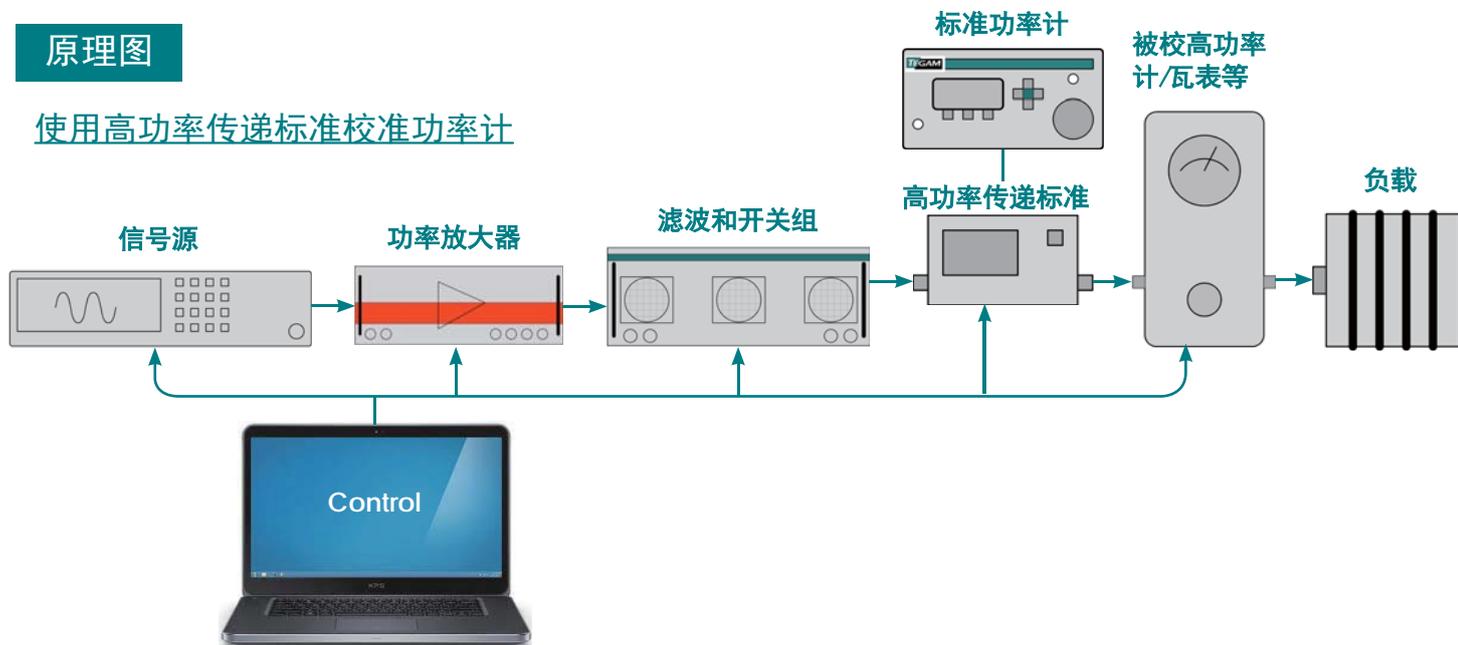
价格和型号规格指标变化不另行通知

HPC射频中大功率校准系统

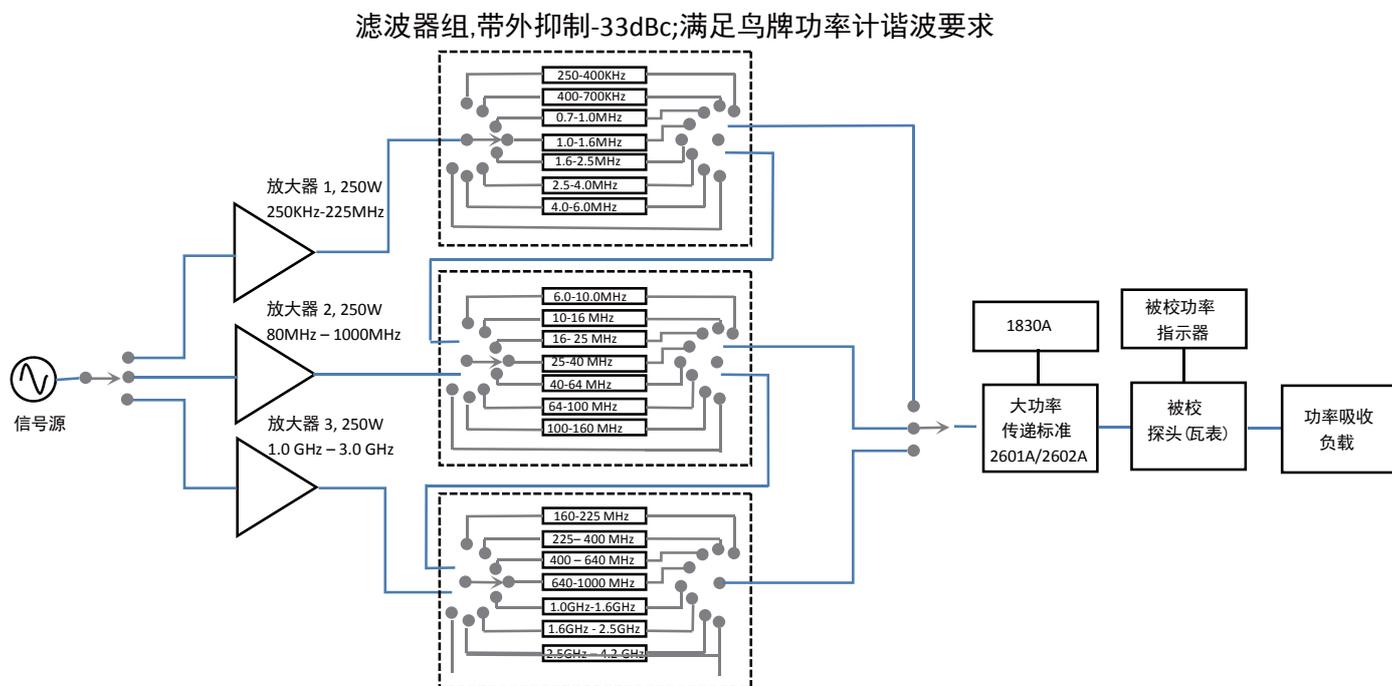
TEGAM高功率校准系统有不同的配置。最常见的系统原理图和框图如下所示，使用2600系列传递标准校准Bird(鸟牌)、R&S(罗德)公司等中、大功率计。

原理图

使用高功率传递标准校准功率计



结构框图



注：框图中的规格指标等仅做举例用途，不代表实际的系统配置

HPC系统主要组成部件介绍

信号源和功率放大器—功率校准的参考信号

射频信号的产生和放大器对于校准系统来说是必不可少的，这也是系统中造价昂贵的一部分。对于校准中大功率探头的激励源，其输出信号的功率大小，信号的纯净度和稳定度是校准装置的核心问题。功率放大器的选择，务必要考虑其所引入的谐波失真。根据系统的要求，选择信号源和功率放大器的频率范围。除常规的指标外，功放的选择需要考虑最大输出与谐波失真的对应关系。

滤波器和射频开关组—信号源纯净度的保证

由于谐波和噪声对功率计探头影响较大，不同类型、不同频段或不同厂家的功率探头特性不尽相同，当用于参考的功率信号进入被测功率计中时，较大的谐波会导致很大的读数差异。例如鸟牌(Bird)的瓦表(Wattmeter)和4021系列功率探头，校准时要求输入的射频信号的二次谐波的幅度要小于 -50 dBc。因此，对于校准中大功率探头的激励源，其输出信号的功率大小，信号的纯净度和稳定度是校准装置的核心问题。

同时指标非常好的功率放大器，在放大信号的同时也会引入谐波失真。TEGAM 设计了多段的滤波器单元1320A，具有高谐波抑制和低反射的特点；TEGAM同时也提供配套的射频开关控制单元1321A，由校准软件自动控制，根据校准频率进行相应滤波器的自动选择和切换。



中大功率传递标准—也称工作标准，或标准功率座，主标准器等

工作标准，也称为传递标准，经过厂家或者上级计量单位的中大功率量热计定标后，即可作为实验室的主标准器或者传递标准使用。TEGAM设计的传递标准，基于热敏电阻功率传感元件和直流替代法的测量原理，并且与特殊设计的耦合器整体定标。该传递标准进行的是绝对的功率测量，传感器无需从耦合器分离进行50MHz的参考测量。在整个生命周期内，该传递标准都将作为一个整体进行校准，校准周期为一年一次。校准TEGAM的传递标准，系统中可以省掉滤波器，这是由热敏电阻传感器的特性决定的。



标准功率计

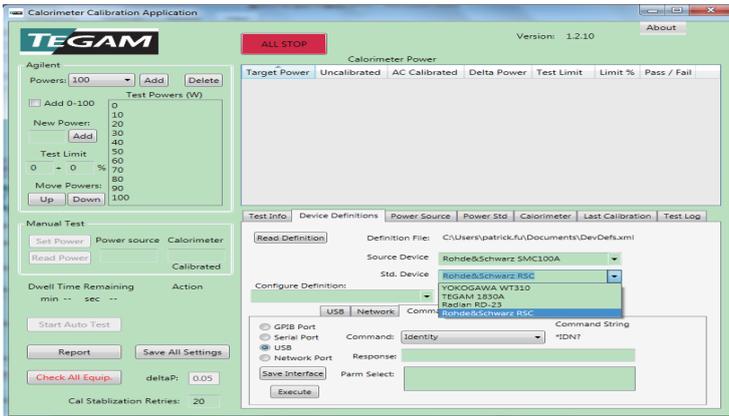
TEGAM的1830A，不仅是小功率校准系统的标准功率计，同时也是中、大功率校准系统的标准功率计，确保用户的投资最大化。可以兼容TEGAM的功率传递标准例如：2505A, F1135A, 2510A, 1505A, M1135B, 1510A, F1130B, M1130B; 2600系列中大功率标准等。具体可参考1830A的规格指标。



HPC-SW高功率校准软件与完整集成系统

- 控制射频滤波器和开关组，自动切换相应的测试频段
- 控制信号源切换自动频率和功率，并可实现软件稳幅
- 对Bird和R&S等公司功率计进行控制和数据采集
- 使用统计分析方法，确定系统是否进入稳定工作频率范围
- 计算校准因子和不确定度，可导出到用户专用的数据库，生成用户自有形式的校准报告
- 对Bird(鸟牌，部分)功率探头进行EPROM编程。
- 软件可升级，未来可根据被校探头的增加而自定义新的功率计品牌和型号

带机柜的集成的功率自动校准系统



典型中大功率探头品牌和型号

品牌	型号	频率范围	最大功率	不确定度	指示器(表头)
R&S	NRT-Z43	400MHz-4GHz	45dBm(30W 平均值)	3.2%	NRT, NRT2
	NRT-Z14	25MHz-1GHz	51dBm(120W 平均值)	3.2%	
	NRT-Z44	200MHz-4GHz	51dBm(120W 平均值)	4%	
	NAP-Z6	25MHz-1GHz	60dBm(1KW)	6%	NRT
	NAP-Z7	400KHz-80MHz	53dBm(200W)	6%	
	NAP-Z8	200KHz-80MHz	63dBm(2KW)	6%	
Bird	43 系列瓦表 (wattmeter)	多型号 sensor element, 最低 2MHz, 最高 2.7GHz	最高 5KW	3%-6%	43 模拟表
	4021	1.8MHz-32MHz	25dBm(1KW)	3%	4421
	4022	25MHz-1GHz	25dBm(1KW)	3%	
	4024	1.5MHz-32MHz	70dBm(10KW)	3%	
	4025	100KHz-2.5MHz	70dBm(10KW)	3%	
	4027			1%	
4028	多型号, 最低 1.5KHz, 最高 30MHz	20KW, 25KW, 50KW	1%		

注：更多支持型号，可联系TEGAM具体了解



HPC250功率校准系统配置方案举例

此处仅作参考，实际系统配置需根据实验室需求做选择和调整

HPC 中大功率自动校准系统				
序号	名称	品牌和型号	描述	单位
1	信号源	Keysight Anritsu R&S	信号源，覆盖 250KHz-3GHz 或更高，带通讯接口，兼容 SCPI；例如 Keysight E4438C，R&S SMC100A/B103	台
2	功率放大器	AR Bonn 其它	功放 1#: 500W, 10KHz-250MHz 功放 2# : 500W, 80MHz-1GHz 功放 3#: 250W, 1GHz-3GHz 注：功放可灵活选择，自有、新购、不同频率/功率等；	台
3	滤波开关组	TEGAM 1320A	250W 或更高, 21 组滤波器，或选配数量；谐波抑制-33dBc 以上，最终到-50dBc；内置多组射频程控开关，软件实现自动切换；注：滤波器数量可灵活选择	套
4	传递标准	TEGAM 2601A	250W(54dBm), 250KHz-1GHz, 1%不确定度；热敏电阻功率座与耦合器整体定标	个
		TEGAM 2602A	250W(54dBm), 1GHz-3GHz, 1%不确定度；热敏电阻功率座与耦合器整体定标	
		TEGAM 2604A	500W(57dBm), 250KHz-1GHz, 1%不确定度；热敏电阻功率座与耦合器整体定标	
		TEGAM 2605A	2000W(63dBm), 10KHz-100MHz, 1%不确定度；热敏电阻功率座与耦合器整体定标	
		TEGAM 2606A	2000W(63dBm), 50MHz-500MHz, 1%不确定度；热敏电阻功率座与耦合器整体定标	
5	标准功率计	TEGAM 1830A	功率计主机 1830A，与 TEGAM 小功率标准兼容	台
6	线缆等附件	TEGAM CA-21-48 等	标准功率计与传递标准连接电缆 射频高功率电缆，可承受 500W-1000W 功率	根
7	射频负载	TEGAM 1101HP	1000W，驻波<1.5	个
8	自动校准软件	TEGAM HPC-SW	自动软件实现如下功能： 1，控制信号源；程控开关的自动切换，从而自动切换滤波器 3，被校准功率计的控制和数据采集；Bird 功率计 4421 的控制，4021 系列探头数据 EPROM 编程，可读、可写；43 系列需要手动校准 5，校准数据包括校准因子，可导出到用户专用的数据库，从而生成用户专有形式的校准报告 6，用户可软件自定义射频信号源，即增加新的信号源品牌和型号 7，软件可升级，未来用户可根据被校探头的增加而自定义新的功率计品牌和型号	套
9	系统机柜	机柜	高品质机柜，带操作台面，显示器支架	个
10	计算机	计算机	笔记本电脑，或台式机、工控机，带 GPIB 通讯接口卡，预装 Windows	台
11	系统安装调试、培训	增值服务	联调功放和信号源，以及整个系统的调试、培训，建标辅导、不确定评定等	套

其它：

中大功率量热计：1314(250W)或1315(2000W)，校准工作标准

双通道温控仪：1820B，对工作标准进行温度控制，可与小功率系统共用

TEGAM可与客户就实验室现有设备和特定需求进行深入讨论，提供定制化的系统配置以及指标，包括系统组成、频率范围、功率范围等。

2601A(2604A): 250 kHz 到 1 GHz 高功率传递标准 250W (500W)
 2602A: 1 GHz 到3 GHz 高功率传递标准 250W
 2605A: 10 kHz 到 100 MHz 高功率传递标准 2000W
 2606A: 50 MHz 到500 MHz 高功率传递标准 2000W



2600A系列高功率传递标准

- 基于热敏电阻的直流替代法设计
- 可直接溯源到高功率量热计
- 校准通过和终端式功率计
:Bird,R&S,Keysight,Anritsu
- 频率范围10 kHz 到 3 GHz
- 最大功率 250W、500W或2000W
- 不确定度<1.0%(典型值,溯源到TEGAM量热计)
- 兼容TEGAM1830A功率控制器

TEGAM同轴高功率传递标准2600A系列使用经典的“基于热敏电阻的直流替代法”，实现高功率的直接溯源，频率范围覆盖10KHz到3GHz，最大功率范围250W(500W)或2000W。

TEGAM高功率传递标准2600A系列由精密定向耦合器和热敏电阻座构成，附加的大型散热片可以尽可能的降低温度变化所引起的性能偏移，使标准的性能高度精确、稳定；是做为功率传递标准，校准其他中、高功率被校探头 (例如Bird, RS, Anritsu和Keysight) 的理想设备。

2600A系列可以溯源到高功率量热计，进而实现微波/射频高功率到国际标准单位(SI)的溯源；2600A系列的校准可以在NIST或其他同等级的计量机构进行。

2600A系列高功率传递标准兼容TEGAM 1830A型功率计/功率控制器；1830A做为TEGAM微波/射频小功率校准系统的一部分，已经被众多校准实验室所广泛使用。

与TEGAM小功率传递标准一样，2600A系列的通过式设计，符合校准规程和实践中“标准传递法”的方法和要求。

2600A系列 采用N型同轴接头。

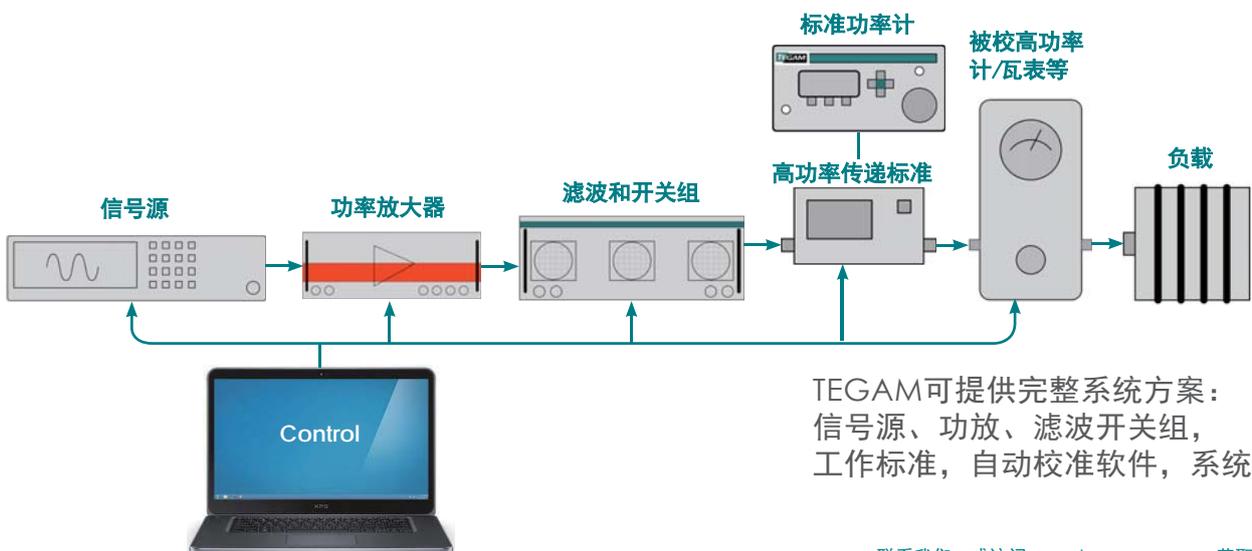
右图：使用2600A系列高功率传递标准，配合1830A，校准中、高功率被校探头

注：校准Bird探头时需配置滤波器组



2600A系列主要技术指标

型号	2601A/2604A	2602A	2605A	2606A
频率	250 kHz to 1 GHz	1 GHz to 3 GHz	10 kHz to 100 MHz	50 MHz to 500 MHz
接头类型	N	N	N	N
最大功率	+54 dBm, 250 W(2601A); +57 dBm, 500W(2604A);	+54 dBm, 250 W	+63 dBm, 2000 W	+63 dBm, 2000 W
线性度	<0.25% from +44 to +54 dBm	<0.25% from +44 to +54 dBm	<0.25% from +50 to +60 dBm	<0.25% from +50 to +60 dBm
典型应用范围	+37 to +54 dBm (2601A); +40 to +57 dBm (2604A); (取决于仪表噪声)	+37 to +54 dBm (取决于仪表噪声)	+43 to +63 dBm (取决于仪表噪声)	+43 to +63 dBm (取决于仪表噪声)
校准因子漂移	<0.5% /年	<0.5% /年	<0.5% /年	<0.5% /年
校准频点	250 kHz, 300 kHz, 455 kHz, 500 kHz,1 MHz, 1.25 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 13.56 MHz, 40.68 MHz;10 MHz to 90 MHz in 10 MHz steps;27.12 MHz;100 MHz to 1000 MHz in 50 MHz steps;	1000 MHz to 3000 MHz in 100 MHz steps; 2.45 GHz;	250 kHz, 300 kHz, 455 kHz, 500 kHz,1 MHz, 1.25 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 13.56 MHz, 40.68 MHz;10 MHz to 100 MHz in 10 MHz steps;27.12 MHz;	50 MHz to 500 MHz in 50 MHz steps;
校准因子不确定度 (典型值, 溯源到 TEGAM量热计)	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
典型驻波	1.1	1.1	1.1	1.1
典型插损	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
典型耦合度	43 dB	43 dB	51 dB	51 dB
物理尺寸:高 宽 深	176 mm (6.93 in) 266 mm (10.47 in) 128 mm (5.04 in)	176 mm (6.93 in) 266 mm (10.47 in) 128 mm (5.04 in)	176 mm (6.93 in) 266 mm (10.47 in) 128 mm (5.04 in)	176 mm (6.93 in) 266 mm (10.47 in) 128 mm (5.04 in)
重量	5 kg	5 kg	5 kg	5 kg



250W 或 2000W 中大功率量热计



- 校准 250W 或 2000W 中大功率设备
- 传递标准, 如 TEGAM 2600 系列
- 直接校准通过式功率计, 如鸟牌瓦表中功率探头, 包括 Keysight, R&S 和 Anritsu
- 校准范围 250W@3GHz, 2000W@500MHz
- 直接溯源到交流功率标准
- 不确定度 < 1.0%

TEGAM 型号 1314和1315 精密射频功率量热计可以提供 250W@3GHz 或 2000W@500MHz (下限频率都是 60Hz) 的射频中大功率参数溯源, 实现这一范围内中大功率设备的计量校准。

1314/1315 包含量热计和循环制冷器, 实现射频中大功率能量到热量的转换, 通过准确测量循环制冷液的流量和温升, 精确的计算出射频中大功率的量值。

TEGAM 型号 1314/1315 直接溯源到交流功率标准, 是射频中功率参数的最高标准。1314/1315 可以用于校准中功率传递标准 (工作标准), 例如 TEGAM 中功率传递标准 2600 系列; 也可以用于直接校准中功率计, 例如鸟牌瓦表以及其他公司的通过式和终端式中功率计。

1314/1315 可以手动也可以自动操作, TEGAM 公司提供一套完整的自动校准程序, 包括自校准以及使用 1314/1315 校准功率传递标准、被校中大功率计等。



图 1- 1314 型量热计(包含循环制冷器)、以及滤波器和开关组 (滤波器和开关组用于校准鸟牌功率计, 目的是消除放大器谐波)



图 2-量热计主机

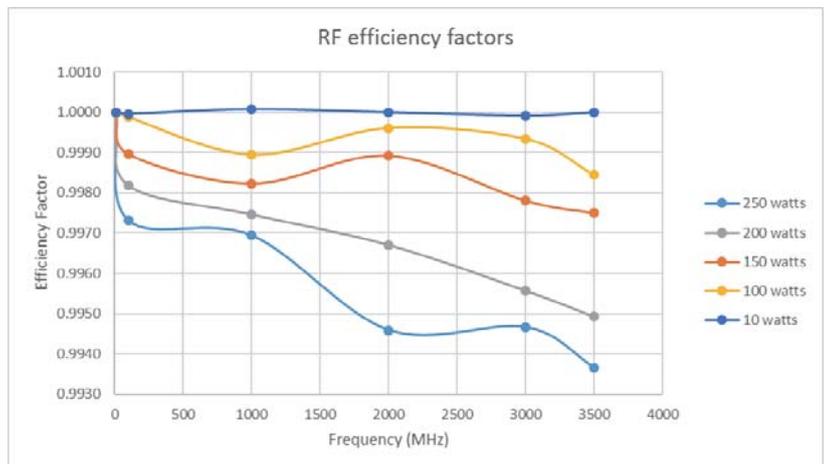


图 3- 射频中大功率量热计的有效效率曲线(以 1314 为例)

技术指标		
型号	1314	1315
频率范围	60 Hz to 4 GHz	60 Hz to 500 MHz
接口类型	N	N
最大功率	250 W	2000 W
典型可用范围	+10 to +250 W	+50 to +2000 W
漂移	<0.5%/每年	<0.5%/每年
不确定度 (典型值)	1.0%	1.0%
操作温度	+20 to +30 C	+20 to +30 C
操作湿度	0% to 90% 非凝结	0% to 90% 非凝结
存储温度	-10 to +50 C	-10 to +50 C
存储湿度	0% to 100% 非凝结	0% to 100% 非凝结

TEGAM量热计的校准通过成熟的AC(交流)方法进行，溯源到50Hz或者60Hz的功率。

图4-量热计的自校准示意图

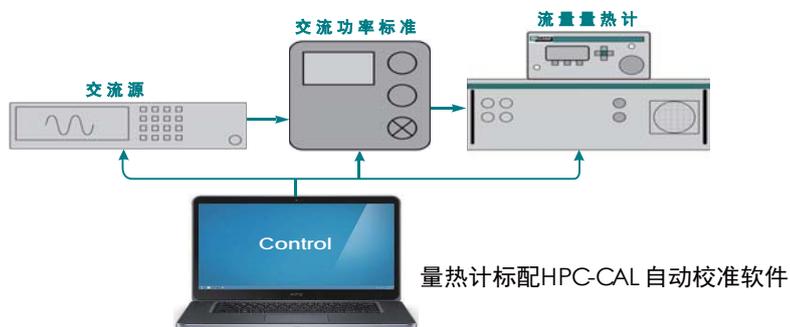


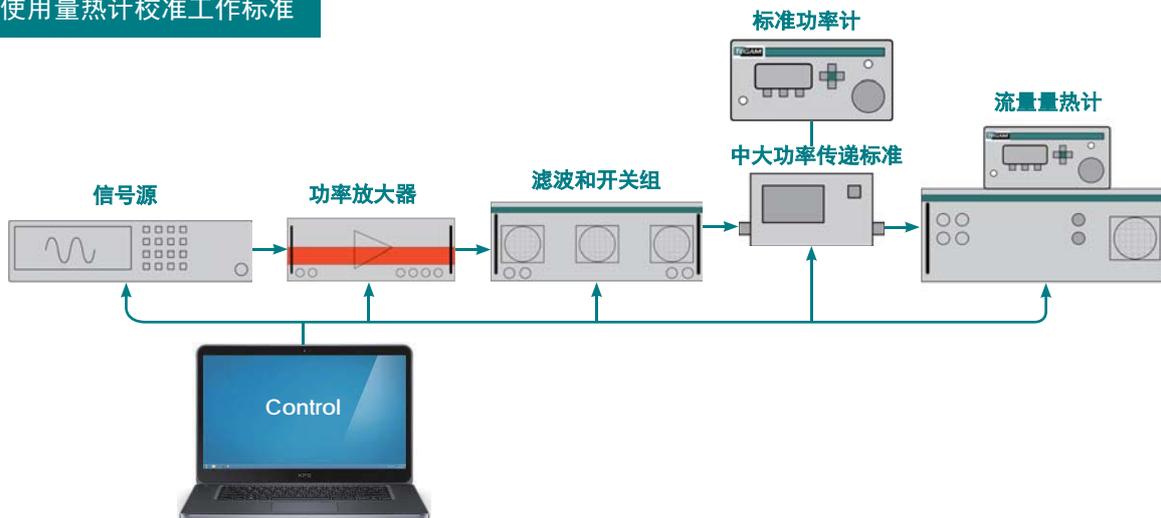
图5-RD-23单相交流功率标准



工作标准的校准和溯源

TEGAM高功率校准系统中的2600A系列传递标准，在TEGAM厂家或者上级计量单位，使用中大功率量热计进行校准，系统示意图如下。

图6-使用量热计校准工作标准

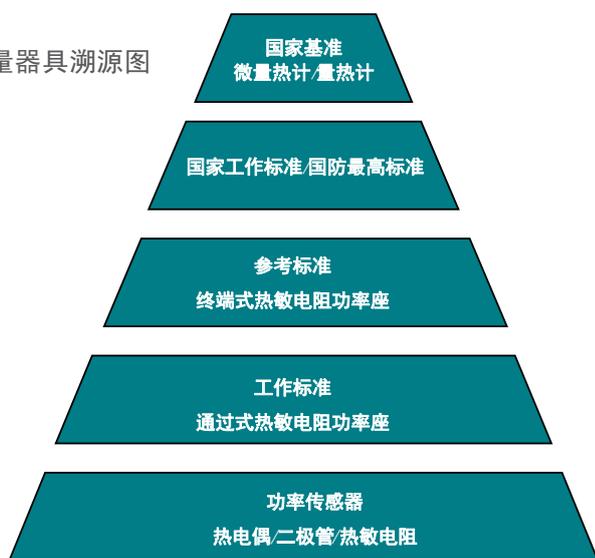


TEGAM传递标准长期稳定性实测案例

最终客户：某航天计量实验室
 型号：TEGAM 系统II中的F1109, N型热敏电阻座,
 仪器序号：88x (W0204xxxA) 频率范围：10MHz-18GHz
 出厂时间：1992年4月 最新校准时间：2017年3月
 时间跨度：25年 校准参数：校准因子
 分析：全频段内，仅在18GHz处最大偏差为2.2%，
 其余偏差值很小。即使按最差情况，年漂移<0.1%。
 结论：TEGAM热敏电阻式标准功率座具有非常稳定的
 物理性能，非常适合用作计量标准器具。
 注：F1109后续升级的型号分别为F1130B和2505A

频率 (共 109 个频点, 其余略)	出厂值 (1992 年 4 月)	实测值 (2017 年 3 月)	相对偏差	
			%	dB
10MHz	0.9525	0.9364	-1.7%	-0.07
50MHz	0.9952	0.992	-0.3%	-0.01
100MHz	0.9969	0.994	-0.3%	-0.01
500MHz	0.9965	0.9908	-0.6%	-0.02
1GHz	0.9899	0.9845	-0.5%	-0.02
2GHz	0.9782	0.9733	-0.5%	-0.02
5GHz	0.9673	0.9565	-1.1%	-0.05
8GHz	0.9519	0.9479	-0.4%	-0.02
10GHz	0.9373	0.9307	-0.7%	-0.03
15GHz	0.9291	0.9147	-1.5%	-0.07
18GHz	0.9122	0.8918	-2.2%	-0.10

计量器具溯源图



TEGAM的标准功率座，是市场中仅有的基于“热敏电阻”这个核心的元件作为功率测量的传感元件，采用“直流替代法”进行功率测量。唯一可以清楚地使用公式计算的方法，这对于进行功率的计量工作来说显得尤为重要。

$$P=(V_1^2-V_0^2)/R, \quad k = \frac{P_{DUT}}{P_{1830A}} K_{STD} (|1 - \Gamma_{STD} \Gamma_{DUT}|^2)$$

由于采用直接测量方法，数据真实有效。而非热电偶或二极管探头的间接测量，探头数据需要定期修正，否则偏差逐年增大。

长达几十年的低漂移、和长期稳定性。很多客户一直使用TEGAM的传递标准，设备从开始使用至今，最长时间接近30年，功能和性能依然良好。

	热敏电阻	二极管	热电偶
测量方法	直接测量，有明确计算公式即 $P=(V_1^2-V_0^2)/R$	间接测量，无明确计算公式	间接测量，无明确计算公式
探头数据定期修正	不需要	需要	需要
响应速度	几十到几百毫秒	最快-微秒级	毫秒级
测试模式	平均功率	平均功率或峰值功率	平均功率
动态范围	-10 to +10 dBm	-70 to +20 dBm	典型 50 dB, 最小输入功率-30 dBm
溯源方式	直流替代法，溯源到直流电压标准和电阻标准	与 50MHz 参考源比较	与 50MHz 参考源比较
18GHz 校准因子不确定度(NIST 数据)	典型 0.73%，溯源到 NIST 7 mm 同轴 N 型标准	典型 2% to 3%	典型 1.6%，溯源到 NIST 7 mm 同轴 N 型标准
线性度	典型 0.1%	1.5% to 8%,取决于设计	大部分动态范围内可忽略，在最高的 10dB 范围内可达到 3%。
温度稳定性	物理性能稳定，长期不变。可通过温控消除瞬时温度变化的影响。	温漂大约 0.15%/C	有温度系数影响，存在温漂和时漂，需定期修正。
最佳应用	计量标准装置。低不确定度的平均功率测试，功率量值传递。	峰值功率测试，宽动态范围的功率测试。	平均功率测试。