

同轴功率微量热计的研制

崔孝海 袁文泽 丁晟 刘潇蒙 刘锦文 赵巍 海兴芳

(中国计量科学研究院, 北京 100029)

摘要: 同轴功率微量热计是一种具有同轴接口的精密微波测量装置, 其基于量热测量原理可以实现微波功率的高精度、可溯源至 SI 单位的精密测量, 是目前国际上大部分国家计量院建立微波功率基准的装置。功率是微波的关键参数, 其准确测量是微波设备研制和应用的重要基础。我们团队研制的同轴功率微量热计包括同轴 N 型和 2.4mm 两种接口形式, 频率覆盖 DC~50GHz, 其中基于同轴 N 型微量热计已建立国家计量基准。目前已出口多套同轴功率微量热计装置到马来西亚、新加坡、香港等国家和地区计量院。

关键词 微量热计; 微波功率; 同轴功率传感器; 有效效率; 修正因子

中图分类号: TN98 **文献标识码:**

Development of Coaxial Power Microcalorimeter

CUI Xiaohai, YUAN Wenze, DING Sheng, LIU Xiaomeng, LIU Jinwen,

ZHAO Wei, HAI Xingfang

(National Institute of Metrology, Beijing 100029, China)

Abstract: Coaxial power microcalorimeter is a precision microwave measurement device with a coaxial interface. Based on the principle of calorimetric measurement, it can achieve high-precision and traceable-to-SI-unit measurement of microwave power. It is currently the apparatus used by the metrology institutes of most countries internationally to establish microwave power standards. Power is a key parameter of microwaves, and its accurate measurement is an important basis for the development and application of microwave equipment. Our team has developed two types of coaxial power microcalorimeters, including coaxial N-type and 2.4mm interfaces, covering frequencies from DC to 50GHz. A national power primary standard has been established based on the coaxial N-type microcalorimeter. Currently, several sets of coaxial power microcalorimeters have been exported to metrology institutes in countries and regions such as Malaysia, Singapore, and Hong Kong.

Keywords: Microcalorimeter; Microwave Power; Coaxial Power Sensor; Effective Efficiency; Correction Factor

1 背景介绍

微波技术对于无线通信、航空航天、雷达导航、气象遥感、临床医学等领域有着广泛而深远的影响, 涉及国民经济和人民生活的方方面面。比如在航天领域, 飞船与卫星的控制、重要信息的传递、探测数据的传送都离不开微波技术的应用; 在气象领域, 微波技术的应用为大气探测和气象预报提供有力手段; 在广播电视领域, 信息的快速传播离不开微波技术的发展和應用。

功率参数是衡量微波产品、装备、系统性能的关键指标, 例如在通信领域, 地面通信需要依据准确的功率量值来确定基站、终端设备辐射指标; 卫星通信中有效载荷装备需要

依据精确的功率测量来确定星载系统的关键性能指标。功率参数是微波最基本、最重要的参数之一，其准确测量对微波仪器设备的设计、生产、测试、应用等各环节都具有重要作用，是发展尖端科学技术、提高电子产品质量以及确定装备技术指标的基础^[1-3]。除此之外，功率参数也是电场强度等其他多个微波参数的溯源源头，对其进行准确测量具有重要作用。

在微波功率测量领域，同轴功率传感器因其宽带、可靠、易连接等特性成为微波功率测量领域常见的功率传感器，随着微波技术的迅猛发展，特别是无线通信、测试仪器仪表等领域都对同轴功率传感器的计量校准提出了更高的要求。同轴功率微量热计基于量热测量原理可以将微波功率溯源至 SI 单位，具有极高的测量精度和优秀的测量稳定性，是国家功率基准的核心装置。同轴功率微量热计作为微波功率精密测量装置主要应用于微波功率传感器的计量校准及微波功率的精密测量领域。

2 同轴微量热计

2.1 测量原理与系统组成

微量热计直接测量的是同轴功率传感器的有效效率^[4,5]。有效效率的定义为：

$$\eta_e = \frac{P_{IND}}{P_{NET}} \quad (1)$$

P_{IND} 定义为功率传感器加入射频信号时的功率计读出功率， P_{NET} 定义为功率传感器实际吸收的功率（也称为净功率）。 η_e 表示了功率传感器读出功率和实际吸收功率的比值。在功率测量过程中，信号源给微量热计加入微波信号，功率计直接显示当前功率传感器的指示值，但是由于功率传感器内部传输线损、传感元件的不一致性、传感器功率反射等原因，传感器测量显示的指示值与实际吸收的微波功率并不完全相等。

根据能量守恒定律，当功率传感器吸收功率后，能量会以热量的形式表现出来，微量热计则是通过测量功率传感器热量的变化来测量功率传感器实际吸收的功率。

同轴功率微量热计测量系统通常由微量热计装置、信号源、功率计、功率传感器、电压表等组成（图 1）。微量热计是基准量热的主要装置（图 2），由铜桶、参考环、隔热传输线、热电堆及防水电缆连接器等部件组成。使用时用桶盖密封，放入恒温水槽中，恒温水槽具有良好的温度稳定性。在测量过程中，信号源，纳伏表和功率计由自动测量软件控制（图 3），自动进行测量、数据分析和不确定度评定。