

光纤激光功率溯源至低温辐射计方法

李 健 张志新 林延东 姚和军 王慧敏

(中国计量科学研究院光学所, 北京 100013)

摘要 介绍了 1.3 μm /1.5 μm 光纤激光功率溯源至低温辐射计的测量方法, 与传统溯源至绝对辐射计的方法相比较, 最终利用低温辐射计法通过 633 nm 波长稳定光源标定陷阱式探测器, 然后用陷阱式探测器将量值传递到陷阱式量传探测器, 最后通过 1310 nm/1550 nm 通信用光功率稳定光源通过热释电光功率计标定 InGaAs 光电探测器并用于测量光纤功率。实验结果表明, 溯源至低温辐射计的光纤功率测量方法在 1310 nm 及 1550 nm 波长点处对一标准光功率计修正系数测量的相对标准差分别为 0.0011 及 0.0007, 其测量不确定度可优于 0.6% ($k=2$), 在保证量值一致性的同时有效降低了测量不确定度, 提高量值传递精度。

关键词 光纤光学; 光通信; 光纤激光功率; 低温辐射计

中图分类号 TG376.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s1.0142

Study on Cryogenic Radiometer Traceability Method of Fiber Laser Power

Li Jian Zhang Zhixin Lin Yandong Yao Hejun Wang Huimin

(National Institute of Metrology, Beijing 100013, China)

Abstract The cryogenic radiometer traceability method of the 1.3 μm /1.5 μm fiber laser power is reported. The traditional method to trace to the absolute radiometer is analyzed. The trap detector is calibrated against the cryogenic radiometer at wavelength of 633 nm, and use to deliver quantity value to trap quantity detector, and than the InGaAs detector is calibrated by the pyroelectric radiometer with power-stablized laser source at wavelengths of 1310 nm and 1550 nm and used to measure fiber laser power. The measurement result shows that with this traceability method, the standard deviations of the optical power correction coefficients at wavelengths of 1310 nm and 1550 nm are 0.0011 and 0.0007, respectively, and the uncertainty of measurement is better than 0.6% ($k=2$). This method can keep the consistence of quantity value decline measurement uncertainty and increase accuracy of quantity value delivery.

Key words fiber optics; optical telecommunication; fiber laser power; cryogenic radiometer

1 引 言

随着光通信技术的迅猛发展, 全光通信网络逐步成为高速大容量通信系统的重要组成部分。光纤光功率计作为测量光纤激光功率的最主要工具广泛应用于光纤及光纤通信系统研发过程, 光纤功率测量是否准确直接影响到器件的设计制备甚至整个光通信网络的正常运行。光纤激光功率已经溯源至低温辐射计^[1~8]。

传统光纤激光功率的测量方法是将其溯源至激光小功率基准, 但随着计量检测技术的不断发展, 光纤激光功率的溯源方法由绝对辐射计法改进为低温辐射计法, 以适应光纤标准的发展及光纤激光功率

测量准确性的不断提高^[9,10]。

2 实验原理

介绍了通过低温辐射计对光纤激光功率定标方法。溯源方法示意图如图 1 所示。首先利用低温辐射计法通过 633 nm 波长稳定光源标定陷阱式探测器, 然后用陷阱式探测器将量值传递到陷阱式量传探测器, 最后通过 1310 nm/1550 nm 通信用光功率稳定光源通过热释电光功率计标定 InGaAs 光电探测器并用于测量光纤功率。

低温辐射计法是在传统绝对辐射计的基础上研发出来的, 基本工作原理如图 2 所示。其接收腔和

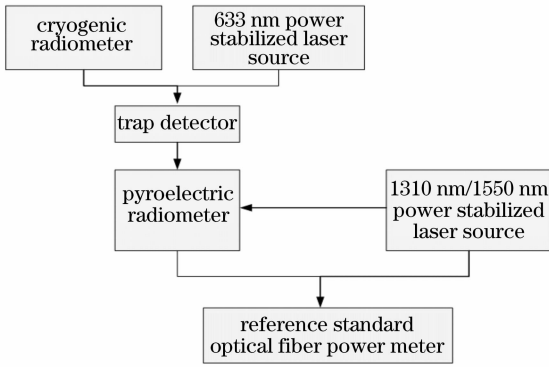


图 1 光纤激光功率溯源方法示意图

Fig. 1 Traceability method of fiber laser power

参考腔各通过一个相同的热连管与热沉相连,热沉又通过另外一个热连管与液氦瓶相连。当快门打开时激光光束通过 Brewster 窗口入射到接收腔内,并引起接收腔温度的上升,当接收腔温度稳定时,粘贴在腔体上的温度传感器记录下此时的温度值。然后

关上快门,用粘贴在接收腔上的电加热器对腔体加热,使温度传感器达到与光加热时相同的数值,测量此时电加热器的电功率值,就可以计算出入射光的功率值。

由于低温辐射计光路调整要求精度非常高,因此实验中采用 633 nm 波长可见光进行光路调整,将该测量结果保存至陷阱式探测器并记录该陷阱式探测器的响应度,然后通过直接对比法将量值传递至热释电功率计,从而将校准波长由 633 nm 改变为光通信常用的 1310 nm 及 1550 nm 波段。热释电探测器不但可以利用其光谱平坦的特性进行波长转换,同时由于其接收面积大,光吸收特性好的特点,可以直接对空间光及光纤输出光进行测量,因此可以将热释电探测器作为量传标准器。最后通过直接对比法利用定标好的热释电探测器标定参考标准光纤功率计,并用于日常检测校准工作。

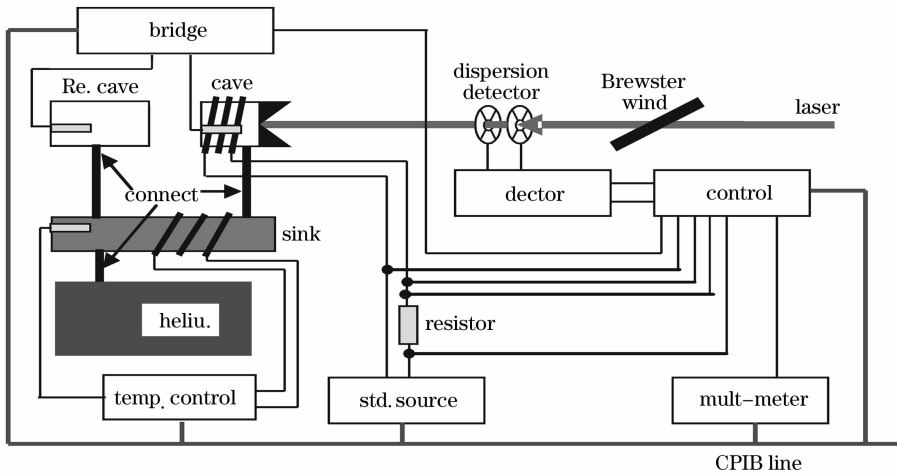


图 2 低温辐射计测量激光功率示意图

Fig. 2 Configuration for fiber laser measurement with cryogenic radiometer

3 测试结果与讨论

实验中将 Agilent 公司 81618A 光功率计作为参考标准光纤功率计,通过低温辐射计量值溯源方法分别对该光功率计在 1310 nm 及 1550 nm 波长点光功率读数进行修正,其修正系数为通过溯源得到的光功率值与 81618A 光功率计示值之比。

表 1、表 2 分别为 1310 nm 及 1550 nm 波长点处通过溯源至低温辐射计得到的修正系数,其中 1310 nm 波长点修正系数的平均值为 0.9983, 1550 nm 波长点修正系数的平均值为 0.9757。

表 1 1310 nm 波长点低温辐射计法修正系数测量结果

Table 1 Measurement result of the correction coefficient of the 81618A optical power meter at wavelength 1310 nm

	Degree of the pyroelectric radiometer /mW	Degree of the 81618A optical power meter /mW	Correction coefficient of the 81618A optical power meter
1	559.7	560.3	0.9989
2	571.7	573.2	0.9974
3	567.5	568.1	0.9989
4	504.8	506.2	0.9972
5	559.7	560.3	0.9989
	Average		0.9983
	Relative standard deviation		0.0011

表 2 1550 nm 波长点低温辐射计法修正系数测量结果
Table 2 Measurement result of the correction coefficient of the 81618A optical power meter at wavelength 1550 nm

	Degree of the pyroelectric radiometer /mW	Degree of the 81618A optical power meter /mW	Correction coefficient of the 81618A optical power meter
1	475.0	487.4	0.9746
2	475.7	487.2	0.9764
3	474.9	487.0	0.9752
4	474.8	486.6	0.9758
5	474.7	486.2	0.9764
	Average		0.9757
	Relative standard deviation		0.0007

由于低温辐射计溯源方法涉及的仪器设备均较多,考虑到测量重复性、传递标准的空间均匀性、热电等效性、偏振相关性等多种因素,我们根据相关资料及实验数据对其测量不确定度进行了评估。

表 3 为不确定度分析数据,其中包括绝对陷阱式探测器测量、热释电探测器测量以及光电探测器测量三部分的不确定度来源,不确定度分量如表 3 所示,总的合成不确定度为 5.2×10^{-3} ($k=2$)。

表 2 测量不确定度分析

Table 3 Measurement uncertainties analyze

Source	Type	Standard uncertainty / 10^{-3}
Trap detector		
Cryogenic radiometer	B	0.2
Light scattering	B	0.1
Repeatability	A	0.1
Pyroelectric radiometer		
Uniformity of the light spaces	B	0.5
Unequivalent	B	0.5
Temperture stability	B	0.2
Spectral responsivity	B	1.0
Repeatability	A	1.1
Optical detector		
Uniformity of the light spaces	B	0.6
Temperture stability	B	0.5
Polarizing	B	0.3
Linearity	B	0.5
Electronic calibration	B	0.1
Distance factor	B	0.5
Repeatability	A	1.7
Combined uncertainty		$2.6(k=1)$

4 结 论

本文介绍了低温辐射计法光纤激光功率测量标准溯源系统,实验表明,溯源至低温辐射计的光纤功率测量方法具有较高的准确性,其在 1310nm 及 1550nm 波长点处对一标准光功率计修正系数测量的相对标准差分别为 0.0011 及 0.0007,其测量不确定度可优于 0.6% ($k=2$)。

参 考 文 献

- 1 Laser power and energy, in Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 250, 98-103, 1998
- 2 Lin Zhiqiang, Zheng Xiaobing, Zhang Lei *et al.*. Calibration of infrared radiation based on cryogenic radiometer [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2007, **44**(4): 62-67
林志强,郑小兵,张磊等.基于低温辐射计的红外辐射定标方法[J].激光与光电子学进展,2007, **44**(4): 62-67
- 3 B. C. Johnson, A. R. Kumar, Z. M. Zhang *et al.*. Heat transfer analysis and modeling of a cryogenic laser radiometer[J]. *J. Thermophys. Heat Trans.*, 1998, **12**(4): 575-581
- 4 Li Shuang, Wang Ji, Zhang Junping *et al.*. Highly accurate calibration of optical radiation based on cryogenic radiometer at visible and near infrared spectrum (488~944 nm) [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 609-613
李双,王骥,章骏平等.可见近红外(488~944 nm)基于低温辐射计的高精度光辐射绝对定标研究[J].光学学报,2005, **25**(5): 609-613
- 5 P. V. Foukal, C. Hoyt, H. Kochling *et al.*. Cryogenic absolute radiometers as laboratory irradiance standards, remote sensing detectors, and pyrohelimeters[J]. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(7): 988-993
- 6 C. A. Hamilton, G. W. Day, R. J. Phelan *et al.*. An electrically calibrated pyroelectric radiometer system[J]. *Nat. Bur. Stand. (US). Tech. Note*, 1976. 678
- 7 I. Vayshenker, S. Yand, X. Li *et al.*. Optical fiber power meter nonlinearity calibrations at NIST [J]. *Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ.*, 2000. 250-256
- 8 D. J. Livigni, C. L. Cromer, T. R. Scott *et al.*. Thermal characterization of a cryogenic radiometer and comparison with a laser calorimeter[J]. *Metrologia*, 1998, **35**(6): 819-827
- 9 Chu Jiurong, Liu Zhifei, Wang Zemin. Plastic optical fiber standard for communication [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2006, **43**(4): 44-47
储九荣,刘志飞,王则民等.通信用塑料光纤标准[J].激光与光电子学进展,2006, **43**(4): 44-47
- 10 Feng Yu, Zheng Xiaobing, Qiao Yanli *et al.*. Absolute calibration method for single-photon detectors [J]. *Chin. J. Lasers*, 2006, **33**(suppl.): 200-202
冯瑜,郑小兵,乔延利等.单光子探测器的绝对定标方法[J].中国激光,2006, **33**(增刊): 200-202