

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0248-04

# SR850 锁相放大器在激光散射测量中的应用

韩香娥 李 哲 刘林艳 沈姝钰

(西安电子科技大学理学院, 陕西 西安 710071)

**摘要** 目标激光散射特性的研究对激光雷达目标探测具有重要的指导意义,激光散射自动测量系统可为建立激光雷达散射截面(LRCS)的缩比模型提供测试条件,并验证理论预估。由于 SR850 锁相放大器(LIA)具有高动态存储、低漂移、低失真、 $0.001^\circ$ 的相位分辨力等卓越性能,可有效满足微弱信号的检测需要。通过编程实现 PC 机与 SR850 之间控制命令以及数据的传输,提高了系统的自动化程度。对典型样品进行了激光雷达散射截面测量,并给出了数据处理方法和系统性能分析。结果表明,SR850 锁相放大器的使用提高了系统测量的精度及动态范围。

**关键词** 测量;激光散射;SR850 锁相放大器;动态范围;微弱信号检测

中图分类号 TN247 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200936s2.0248

## Application of SR850 Lock-in Amplifier in Measurement of Laser Scattering Intensity

Han Xiang'e Li Zhe Liu Linyan Shen Shuyu

(College of Science, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

**Abstract** The research on laser scattering characteristics of an object has guiding significance for object detection of lidar. Automated measurement system of laser scattering intensity can be used to build scale model for laser radar cross section (LRCS) and can also be applied to verify theory estimation. The features that SR850 lock-in amplifier (LIA) have, such as high dynamic reserve, lower drift, low distortion,  $0.001^\circ$  phase resolution, meet the demand of weak signal detection. The transmission of command and data between PC and SR850 LIA is realized to make the system automate. LRCS of typical samples are measured, the method of data processing and the analysis of system performance are also given. The experiment result indicates that the accuracy and dynamic range of the system is improved by the application of SR850 LIA.

**Key words** measurement; laser scattering; SR850 lock-in amplifier; dynamic range; weak signal detection

### 1 引 言

目标激光散射特性对国防、航空、航天以及工业检测等领域具有重要的应用价值,主要涉及目标的双向反射分布函数(BRDF)及激光雷达散射截面(LRCS)的研究<sup>[1]</sup>。激光散射自动测量系统可为材料表面激光散射特性及缩比模型提供测量条件,测量数据可用于目标 LRCS 数据库的建立,也可对理论预估进行实验室模型验证<sup>[1,2]</sup>。该实验研究不但可以节约实验开支,更对激光雷达的研制、评估具有重要的指导意义。

激光散射自动测量系统主要用来测试并研究目

标和背景的激光散射特性。一般情况下,样品对激光的散射信号动态范围大,且背景光和检测设备的噪声都会对实验产生较大的干扰,所以对其中微弱信号的检测显得尤为重要。锁相放大器(LIA)由于其出色的噪声抑制能力,在物理、化学、生物、天文、通信及电子技术等学科中得到了广泛的应用<sup>[3]</sup>,适用于对低信噪比直流或恒定频率信号的检测。SR850 锁相放大器作为一种基于数字信号处理(DSP)技术的高端数字锁相放大器,性能不仅满足微弱信号的检测需要,其兼容的 GPIB 及 RS-232 接口还可方便与计算机实现数据通信,更可提高激光

散射测量系统的自动化程度。

## 2 激光散射自动测量系统简介

图 1 为系统原理图<sup>[4]</sup>,该系统采用双光路设计,以克服光源输出功率及探测器不稳定带来的测量误差。光源采用 635 nm 的半导体激光器,功率约为 1.7 mW,扩束器将样品位置的光斑直径扩至 1.8 cm。斩波器调制光信号,并为 LIA 提供外部参考,两个 GDB-423 型光电倍增管 D1,D2 分别作为参考光路和测量光路的探测器,并将信号送至 LIA。样品架具有五维精密调节功能,确保样品各个部位散射特性的精确测量。样品台与转臂的转动由计算机控制,分别实现样品的后向和双站散射特性测量。系统测量及数据处理则完全由计算机自动化实现。

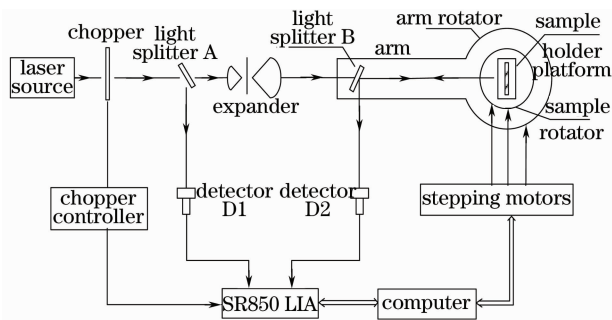


图 1 测量系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of measurement system

## 3 SR850 LIA 及其与 PC 机的通信设计

SR850 型数字锁相放大器(DLIA)由美国斯坦福福研究系统公司(Stanford Research Systems)生产<sup>[5]</sup>,基于 DSP 数字相敏检波技术,用于实时信号的检测,较模拟锁相放大器(ALIA)的性能提升很多。DLIA 可以克服 ALIA 中模拟器件的温度漂移及随时间变化的不稳定性,成熟的双通道正交相关运算和数字滤波算法可消除更多的信号干扰并提高测量精度。数字化是当今技术发展的趋势,随着数字处理器和相应算法的发展,DLIA 的性能会得到进一步的提高<sup>[6]</sup>。

SR850 型 LIA 除具有 SR830 的全部特性外,相位分辨力提高了一个量级达到  $0.001^\circ$ ,有助于获得更高测量精度。合理的参数设置和操作顺序可充分发挥仪器性能,以下按操作顺序对与 SR850 型 LIA 相关的参数设置进行阐述:

1)参考频率。实验室测量的一个主要噪声频率

来源是市电及灯光的 50 Hz 干扰,参考频率应避免 50 Hz 及其倍频。为降低采样和量化引入的各种相位噪声,采样频率最好是参考频率的整数倍<sup>[6]</sup>,SR850 型 LIA 的 A/D 采样频率为 256 kHz,参考频率可选择 320 Hz。

2)灵敏度。灵敏度代表参考频率下输入信号的幅度有效值,SR850 型 LIA 的灵敏度为  $2 \text{ nV} \sim 1 \text{ V}$ ,有 27 档离散值,根据输入信号选择与之相适应的值,保证测量精度。AUTO GAIN 按键会根据输入自动选择灵敏度。

3)动态储备。动态储备代表允许输入最大不相干噪声峰值电压与满刻度输入相干信号峰值电压的比值<sup>[7]</sup>,噪声过大则会使 LIA 过载。其大小与噪声频率有关,噪声频率与参考频率相差越大,则动态储备越高,但动态储备过高,输出噪声很大。SR850 型 LIA 具有大于 100 dB 的动态储备,AUTO RESERVE 会根据灵敏度自动选择适当的值,调整到不超载的最小储备要求。

4)时间常数。时间常数与 LIA 的等效噪声带宽成反比,等效噪声带宽越小,对噪声的抑制越大,则时间常数取长较好,但是时间常数取得过长,就会大大延长锁相放大器的反应时间,且有用信号被积分平滑而失真,影响功能的实现。SR850 型 LIA 时间常数范围为  $10 \mu\text{s} \sim 30 \text{ ks}$ ,有 20 档可选,保证信号稳定且时间尽量短为宜,本实验中 300 ms 或 1 s 效果较好。

5)相位调整。调整参考相位位移使标准相位为  $0^\circ$ ,获得电压的稳定输出,AUTO PHASE 按键可实现自动相位调节。 $0.001^\circ$ 的相位分辨力,更有利于提高系统的测量精度。

激光散射的自动化测量由 PC 机控制实现,用户只需根据提示放置白板、样品,设定测量起始角度、终止角度以及步长,PC 机会自动设置锁相放大器,控制转台转动,获取测量数据并进行数据处理。由于随角度改变的激光散射信号动态范围大,为了准确对其测量,锁相需要重新设置。自动化测量过程如下:锁相初始化参数设置,PC 机控制转台每转动一次,自动调相,分别读取多次锁相数据进行比较,若在允许范围内,进行数据处理并进行下一角度的测量;若数据较上一角度提高或减小一个灵敏度级别,则进行自动灵敏度和动态储备的调整;根据数据的稳定性自动调整时间常数并重新设置锁相,直到误差在允许范围内而时间常数最小为止;软件实时显示测量结果,测量完成后系统自动复位。

系统自动化的核心就是 PC 机与 SR850 型 LIA 的双向通信,由 C++ Builder 加载 MSCComm 控件通过 RS-232 接口实现。RS-232 接口是计算机常用接口,而 GPIB 则需购买接口卡,所以 RS-232 串口通信方式更为经济、方便<sup>[8]</sup>。MSCComm 控件是微软公司针对串口操作的扩展控件,整合了串口操作的各项具体功能以方便开发者编程,控件与 SR850 应设置相同参数,否则通信会失败。

SR850 的屏幕下方有 5 个接口状态指示器以协助通信程序的编写,收发字符、命令出错、服务请求等都有相应的显示。SR850 可将接口缓冲区中的最后接受或发送的 256 个字符内容显示出来,便于判断程序发送或接收的正确性。

SR850 采用 ASCII 字符通信,支持大小写形式,可任意插入空格。指令由助记符、参数、结束符组成。RS232 通信中结束符可为换行符或回车符,缺少结束符则不执行指令。指令中的多个参数以逗号隔开,多个指令以分号隔开可在同一指令行中发送。多个指令在同一指令行发送与单独发送多个指令的区别在于前者的完整执行优先于其他的设备动作。PC 机从 SR850 读取的数据包包含结束符,数据处理之前需先去掉结束符,指令与指令之间应为 SR850 预留响应时间。

锁相放大器设置和读取部分程序:

```

MSCComm1 -> Output = StringToOleStr
("AGAIN /r ; ARSV /r "); //自动增益;自动储备
MSCComm1 -> Output = StringToOleStr
("OFLT 10 /r"); //时间常数设为 1 s,0~19 共 20 级
MSCComm1 -> Output = StringToOleStr
("APHS /r"); //自动调相
MSCComm1 -> Output = StringToOleStr
("OUTP? 3/r"); //查询 R 值信息,1 代表 X,2 代表 Y
s2 = String(MSCComm1 -> Input); //接收缓冲区数据
s4 = s2. SubString(0, s2. Length() - 1); //按长度去掉最后的结束符,方可进行数据处理
式中->为 C 语言中的指向运算符。

```

## 4 测量结果及分析

SR850 型锁相放大器在系统中的应用有效抑制了噪声,信号可得到明显的改善。图 2 为斩波器输出参考频率信号(上)与未接 SR850 散射光信号(下)。探测器噪声大,信号跳动不稳定,经平均处理后稳定,但幅值小且精确度仅为 0.4 mV。当激光器光强减小

或测量样品散射光强减小时,无法进一步测量。当系统使用 SR850 时,显示为 1.6076 mV,测试精度有效提高,显著改善了信噪比,而且锁相放大器的加入使得可探测信号电压达到  $\mu\text{V}$  级,其有效位数达到 10 nV 级,拓展了系统测量光强的下限。因 SR850 固有动态范围为  $10^9$ ,在考虑背景噪声时系统动态范围达到  $10^6$ ,加入定标衰减器系统动态范围可达  $10^8$  量级,较之前系统<sup>[9]</sup>提高两个量级。

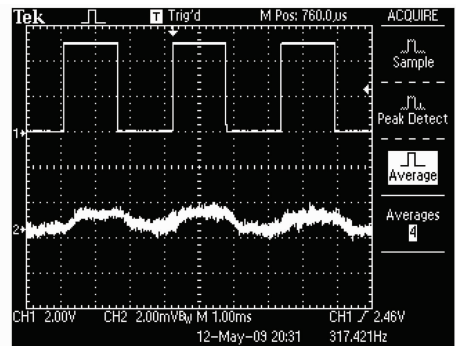


图 2 参考频率信号(上)与未接 SR850 的散射光信号(下)

Fig. 2 Signal of reference frequency (upper) and signal of laser scattering (lower) without SR850

本实验采用的是相对测量法<sup>[10]</sup>,根据 LRCS 和 BRDF 之间的关系,由标准朗伯面的 BRDF 可获得标准朗伯面的 LRCS,其定标曲线选用的就是标准朗伯面的 LRCS。定标标准的聚四氟乙烯白板,波长为 635 nm 的波段下反射系数为 0.992,设样品和标准朗伯面的输出电压随角度的变化分别为  $V_s$  和  $V_r$ ,标准朗伯面的 LRCS 为  $\sigma_r^0$ ,非极化光入射时,样品的 LRCS 为

$$\sigma_s^0 = \sigma_r^0 \cdot \frac{V_s}{V_r} = 4\rho \cos \theta_i \cos \theta_s \cdot \frac{V_s}{V_r}, \quad (1)$$

其中  $\rho$  为标准白板的反射系数, $\theta_i, \theta_s$  分别为入射角、散射角。由于该系统中采用的是双光路法,则样品的 LRCS 为

$$\sigma_s^0 = 4\rho \cos \theta_i \cos \theta_s \cdot \frac{V_{s1}/V_{s0}}{V_{r1}/V_{r0}}, \quad (2)$$

$V_{s1}, V_{r1}$  分别表示测量样品时的探测光路电压和参考光路电压, $V_{r1}, V_{r0}$  分别表示测量标准白板时的探测光路电压和参考光路电压。图 3, 4 分别为 635 nm 波长下表面氧化铝片、不锈钢片的后向 LRCS 角分布,入射角分别为  $0^\circ$  和  $10^\circ$  的双站 LRCS 角分布。

表面粗糙程度的不同使样品 LRCS 角分布产生差异。由图 3 可知,表面氧化铝片为大粗糙度样品,散射光强角分布较宽,后向 LRCS 由于入射角与散

射角相等,趋近  $\cos^2 \theta_s$  分布;双站 LRCS 则趋近  $\cos \theta_s$  分布,入射角为  $10^\circ$  时,LRCS 峰值处在  $20^\circ$ 。图 4 中的不锈钢片为微粗糙度样片,散射光强分布相对较窄,且 LRCS 峰值相对较大,入射角为  $10^\circ$  时,LRCS 峰值散射角处在  $20^\circ$ 。

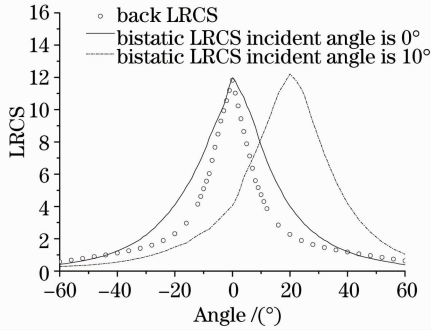


图 3 表面氧化铝片的 LRCS

Fig. 3 LRCS of oxidated aluminum piece

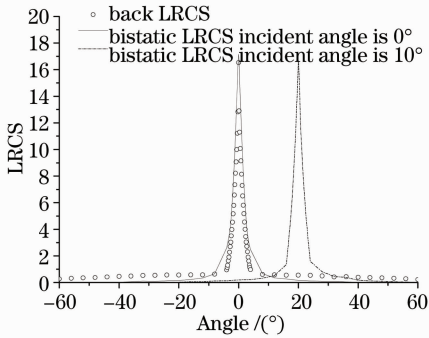


图 4 不锈钢片的 LRCS

Fig. 4 LRCS of stainless steel piece

## 5 结 论

SR850 型锁相放大器的使用提升了激光散射测量的精度,拓展了测量光强的下限,改善了信噪比。同时,系统的自动化程度以及动态范围也得到了提高。

## 参 考 文 献

- 1 Dai Yongjiang. The Principle of Lidar [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002
- 2 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2002
- 3 Li Liangchao, Wu Zhensen, Deng Rong. Comparison of the back laser rader cross-section calculation of complex object with the measurement of scale-model [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(6): 770~774
- 4 李良超,吴振森,邓 蓉. 复杂目标后向激光雷达散射截面计算与缩比模型测量比较[J]. *中国激光*, 2005, **32**(6): 770~774
- 5 Zhu Rui. Introduction and application of lock-in amplifier [J]. *International Electronic Elements*, 2005, (1): 75~76
- 6 朱 瑞. 锁相放大器及其应用介绍[J]. *国外电子元器件*, 2005, (1): 75~76
- 7 Liu Linyan. Research on Automated Measurement System of Laser Scattering Intensity [D]. Xi'an: Xidian University, 2009, 17~55
- 8 刘林艳. 激光散射自动测量系统研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2009. 17~55
- 9 Stanford Research Systems. Model SR850 DSP Lock-In Amplifier Manual. Stanford Research Systems, Inc., 2007
- 10 Sun Zhibin, Chen Jiagui. Advance of lock-in amplifier [J]. *Physics*, 2006, **35**(10): 879~884
- 11 孙志斌,陈佳圭. 锁相放大器的新进展[J]. *物理*, 2006, **35**(10): 879~884
- 12 Zhao Ziwen. Calibration method for lock-in amplifier [J]. *Measurement Technique*, 2007, **27**(1): 27~29
- 13 赵自文. 锁相放大器的校准方法[J]. *计量技术*, 2007, **27**(1): 27~29
- 14 Wei Danning, Chen Dehua, Cong Jiansheng et al.. Serial communication design between SR830 phase-locked amplifier and PC based on VB [J]. *Microcomputer Information*, 2005, **21**(11): 133~135
- 15 韦丹宁,陈德华,丛建生等. 基于 VB 的 SR830 锁相放大器与 PC 机间串行通讯设计[J]. *微计算机信息*, 2005, **21**(11): 133~135
- 16 Zhang Xiangdong. The Study of Laser Scattering Automated Measurement System and LRCS of Geometric Geometric Scaling Model [D]. Xi'an: Xidian University, 1995. 29~30
- 17 张向东. 激光散射自动测量系统与几何缩比模型 LRCS 的研究 [D]. 西安:西安电子科技大学, 1995. 29~30
- 18 Han Xiang'e, Wu Zhensen, Zhang Xiangdong. Experiments study of laser scattering from very rough surfaces [J]. *Laser Technology*, 1997, **21**(3): 151~155
- 19 韩香娥,吴振森,张向东. 大粗糙度表面激光散射特性实验研究 [J]. *激光技术*, 1997, **21**(3): 151~155