

无机机械连接方位角测量系统中磁光调制的温度适应性研究

郑宏志 马彩文 吴易明 高立民 于中权 卓越

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘 要 在无机机械连接的方位角测量系统的研制中,通过对磁光材料的特性及磁旋光温漂的成因分析,采用直接读出解调和方位随动测角的方法,有效的降低了由 Verdet 常数变化引起的磁旋光漂移导致的方位失调角变化. 使得系统可以在无需补偿和预热的前提下实时测量,方位测角精度 3σ 小于 $5''$.

关键词 磁旋光漂移;磁光调制;方位测角

中图分类号 TH741.2 **文献标识码** A

0 引言

无机机械连接的方位角测量系统可以使不同水平面上的上下两台无机机械连接的设备通过物理光学的方法实现水平方位同步. 其所依据的原理主要是光的偏振和法拉第磁致旋光效应原理,前者是实现方位失调角测量的基础,后者是实现磁光调制的基础. 磁光调制技术应用广泛,但在调制过程中由于线圈升温而导致磁光材料升温,进而引起法拉第转角的角度漂移,而且磁旋光温漂特性复杂,不易补偿,从而限制了此项技术的应用. 为解决这一问题就必须对产生旋光温度漂移的原因进行深入的理论分析.

其中旋光漂移主要产生于两个方面的因素:1)由温度引起的线性双折射;2)由温度引起的 Verdet 常数变化. 尽管二者都是由温度变化引起的,但它们的变化特性各不相同,必须采用不同的对策,分别予以补偿. 美国的 E. A. Ulmer^[1]、德国的 P. Menke 和 T. Bosselman^[2]、Williams. P. A^[3] 都在磁旋光漂移的抑制上作了有益的研究.

1 磁光调制原理

当磁光材料被放置在磁场中时,材料在外加磁场作用下呈现光学各向异性,使通过材料的光波偏振性质发生改变,在光波的传播方向上敏感元件(磁旋光玻璃)单位长度产生的线双折射和圆双折射分别为 δ 、 θ ,圆双折射转角 θ 是通常我们所说的法拉第转角,方位失调角就是通过它进行调制的.

$$\theta = VBL \quad (1)$$

式中, V 是磁光物质的维尔得 (Verdet) 常数, L 是光在磁光介质中传播的长度, B 是磁感应强度. 事实

上 δ 不会为零,式(1)变为

$$\theta_{\text{eff}} = V_{\text{eff}}BL \quad (2)$$

定义等效 Verdet 常数

$$V_{\text{eff}} = \frac{\sin \delta}{\delta} V \quad (3)$$

$$\theta_{\text{eff}} = \frac{\sin \delta}{\delta} VBL = \frac{\sin \delta}{\delta} \theta \quad (4)$$

θ_{eff} 为等效法拉第转角. 线双折射 δ 会随温度变化而变化,由于温度变化而发生的线双折射使线偏振光的偏振平面变形,产生椭圆偏振,从而在光信号强度中形成了一种不希望有的变化,这种变化叠加到法拉第转角中呈现出干扰.

2 磁光材料特性分析

磁光材料大致分为逆磁性介质、顺磁性介质、铁磁性介质,三种介质的磁光特性各不相同,目前关于各磁光材料的特性尚无定论,大体如表 1.

表 1 磁光材料的特性比较

磁光材料	相对磁导率	Verdet 常数	温度独立性 (不考虑线性双折射)	典型材料
逆磁性	<1	小	独立	SF-57(火石玻璃) SF-6
顺磁性	>1	较大 (100-100 倍)	线性反比: $\alpha \frac{1}{T} + \beta$	FR5 TGG
铁磁性	>>1	大 (100-1000 倍)	每种物质各不相同	YIG

由表 1 可以看出各种磁性介质的 Verdet 常数大小和其温度独立性(不考虑线性双折射)是一对矛盾. 逆磁性介质的温度独立性好,但其 Verdet 常数小. 铁磁性介质的 Verdet 常数大,但其温度特性复杂,不易补偿. 顺磁性介质的综合参数较好,但温度特性参数 α, β 需试验测定. 实际上,逆磁性介质的温度独立性也只是相对的,当其应用于高精度测量时,Verdet 常数的温度变化仍需补偿. 当采用偏

振的方法进行角度测量时, Verdet 常数的大小直接影响到被接收光电信号的强弱. 实验证明, 逆磁性材料由温度引起的线性双折射和 Verdet 常数变化都很小, 但其 Verdet 常数小, 这就给后续光电弱信号的处理带来了一定的难度. 可是, 尽管顺磁性材料和铁磁性材料的 Verdet 常数很高, 使得后续光电信号易于处理, 但这类材料复杂的温漂特性也极大的限制了它的应用. 利用这种材料制成的磁光调制器通常要在工作前预热(2~5 h), 在磁光材料达到热平衡后才能进行正式工作. 因此, 在选择磁光材料时必须针对系统的特点综合考虑.

3 无机械连接的方位角测量系统中磁光调制的应用

在无机械连接的方位角测量系统中, 磁光调制技术的应用与 MOCT 中的应用不尽相同. 采用磁光调制方法测量方位失调角, 利用这种测量方法的频率特性, 通过取样积分技术分别提取光电信号中的基频和二倍频信号, 大大提高了测量精度. 因此在磁光材料的选取上可选用温度特性好, 但 Verdet 常数小的材料. 实际应用中采用磁旋光玻璃, 磁旋光玻璃属于逆磁性材料, Verdet 常数 0.36 min/Oe. cm (室温, 光波波长 632 nm).

由于旋光漂移的存在, 这就使得利用磁光调制原理的测角系统的定标难度很大. 实验中发现系统开机后(给调制线圈加电), 保持上下偏振片相对角度不变, 测得的失调角输出有明显的单向漂移如图1.

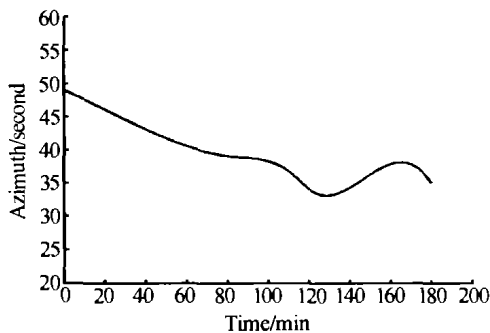


图1 长时间失调角漂移情况(3 h)
Fig. 1 Azimuth drift for a long time (3 h)

开机后, 磁光玻璃有明显的温升, 由图2可以看出由磁光玻璃温升引起的旋光漂移对整个测角系统的影响是明显的.

由式(4)可以看出, 无论是由温度引起的线性双折射导致的旋光漂移, 还是由温度引起的 Verdet 常数变化导致的旋光漂移都可以归结为 Verdet 常数 V_{eff} 的变化. 无机械连接的方位角测量系统采用随动系统跟踪两偏振片之间的夹角, 由式(5)^[4] 看到在两片振偏片之间夹角接近消光态时, 由于 α 角趋于零, 调制度 m_f 对方位失调角的输出 U_{out} 影响逐

渐变小. 由此, V_{eff} 变化引起的磁旋光漂移对整个系统的测量精度的影响会得到有效降低.

$$U_{\text{out}} = \frac{4k\alpha}{m_f} \tag{5}$$

$$m_f = V_{\text{eff}}BL \tag{6}$$

试验方案如下: 在系统中加入方位随动系统, 使得检偏器跟踪起偏器的方位角度, 同时利用自准直光管监测下仪器(检偏器)的与上仪器(起偏器)得方位角度. 原理图如图2所示.

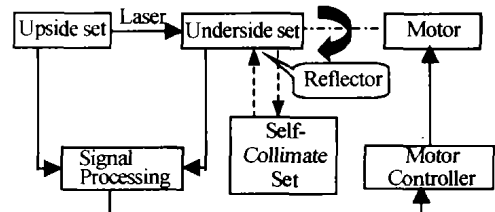


图2 方位随动测角原理图

Fig. 2 Synchronization measurement system 开机后, 不经过预热, 直接开始跟踪, 跟踪精度 3σ 小于 $5''$, 如图3.

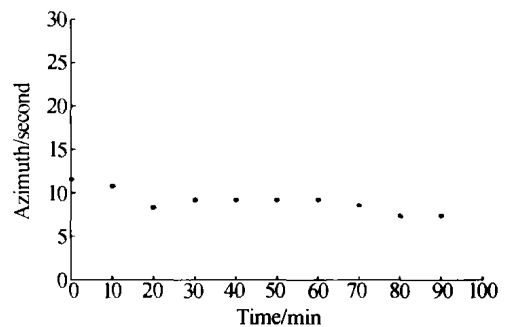


图3 方位随动方式下失调角漂移情况

Fig. 3 Azimuth drift in synchronization(1.5 h)

图3是开机后一个半小时内无机械连接的方位角测量系统的连续工作情况, 上下仪器间的跟踪精度体现了整个系统的测角精度. 整个过程中环境温度变化不大, 但磁光玻璃温升明显. 在采用随动方式测角后, 失调角信号无明显漂移.

由于采用方位随动跟踪的方式测角, 这就要求测角输出必须是平稳的. 这里的平稳指的是方位失调角输出可以是单向漂移的, 但在漂移的同时不能有大范围的随机波动. 这就对系统的其它部分, 如激光光源, 光电信号处理电路的稳定性和抗干扰性提出了很高的要求. 工作中, 由激光光源或光电信号处理电路引入的非平稳随机信号干扰引起的信号波动会导致伺服系统的震荡.

引起磁旋光漂移的原因是多样的, 除上面讨论的几点外, 还与磁光材料本身内部应力有关. 由应力引起的应力双折射产生的折射角也会叠加到法拉第转角中产生干扰. 同时, 在环境温度变化比较大的情况下, 由温度引起的(但和 Verdet 常数无关)旋光自身的漂移导致的失调角变化有待于进一步研究.

4 结论

本文通过对磁光材料的特性及磁旋光温漂的成因分析,说明了在无机械连接的方位角测量系统中,采用随动方式测量失调角可以有效的降低由 Verdet 常数变化引起的磁旋光漂移导致的方位失调角变化,并通过实验证明了这种方案的可实现性. 采用这种方法,使得利用磁光调制技术的测角系统可以在开机后即时工作,进行实时测量,实现高精度的方位测角(3σ 小于 $5''$),大大降低了整个系统对环境的依赖性.

参考文献

- 1 Ulmer E A, Jr. High accuracy Faraday rotation measurements", OSA/IEEE 1998 Technical Digest of Optical Fiber Sensors Topical Meeting, January 27-29, 1998, New Orleans, LA, 288 ~ 291
- 2 Menke P, Bosselman B. Temperature compensation in magneto optic AC current sensors using an intelligent AC-DC signal evaluation. *J Lightwave Tech*, 1995, **13** (7): 1362 ~ 1370
- 3 Williams P A, Day G W, Rose A H. Compensation for temperature dependence of Faraday effect in diamagnetic materials. *Electron Lett*, 1991, **27** (13): 1131 ~ 1132
- 4 申小军, 马彩文, 董晓娜. 一种无机械连接的方位测量同步系统. *光子学报*, 2001, **30** (7): 892 ~ 896
Shen X J, Ma C W, Dong X N. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30** (7): 892 ~ 896
- 5 董晓娜, 高立民, 申小军. 利用磁光调制实现方位角垂直传递. *光子学报*, 2001, **30** (11): 1389 ~ 1391
Dong X N, Gao L M, Shen X J. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30** (11): 1389 ~ 1391
- 6 刘公强. 磁光学. 上海: 上海科技出版社, 2000
Liu G Q. *Magneto-optics*. Shanghai: Shanghai Sciences Press, 2000

Temperature Adaptability of Magneto optic Modulation in a Disconnect Mechanically Azimuth Measurement

Zheng Hongzhi, Ma Caiwen, Wu Yiming, Gao Limin, Yu Zhongquan, Zhuo Yue

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

Received date: 2003-06-16

Abstract Faraday rotation drift always is a key factor that restricts the use of magneto optic modulation. The directly readout demodulation and synchronization method is used in disconnect mechanically azimuth measurement which is based on polarization testing and magneto optic modulation. When using this method, the drift of azimuth caused by verdet variety along with temperature is in good control. This instrument can operate in real time without compensation, and the azimuth measuring precision of this instrument is less than $5''$ (3σ).

Keywords Faraday rotation drift; Magneto optic modulation; Azimuth measurement



Zheng Hongzhi was born in 1975. He graduated from the department of precision instrument, Tianjin University in 1998 and then worked at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS by now. From 2000, he began to pursue his master degree, majoring in communications and signal processing.