

保偏光纤电离辐射效应研究

梁 珣 刘德文

(上海航天控制工程研究所 上海 200233)

摘要 本文从光纤陀螺中主要部件保偏光纤空间应用的角度出发,利用 ^{60}Co 辐照源模拟空间辐照,对保偏光纤环的电离辐射效应展开研究,基于保偏光纤在不同剂量率条件下的辐照试验,探索保偏光纤随辐照剂量的变化规律。实验结果表明,累积剂量和剂量率为63 Gy与0.01 Gy/s、32 Gy与0.02 Gy/s、326 Gy与0.0835 Gy/s的光纤损耗分别增加1.0 dB、0.55 dB和5.8 dB,也即保偏光纤损耗随总剂量与剂量率增大。理论分析得到的光纤辐照损耗与剂量率的关系与试验数据相吻合。本文结果可为保偏光纤电离辐射效应的地面试验提供参考。

关键词 保偏光纤, 电离辐射效应, 辐照试验方法

中图分类号 V416.5

保偏光纤环是干涉型光纤陀螺的关键部件,在卫星、航天飞行器以及各种载荷中广泛应用。保偏光纤作为石英光纤的一种,在辐照条件下的表现为损耗增加,即被辐照物的杂质离子产生色心效应^[1],保偏光纤中的色心主要由因引入应力而作的高浓度掺杂硼、磷、铝产生,导致辐照后光纤传输损耗的增加与普通光纤有所不同^[2-4],但消光比变化不明显^[5]。在紫外波段,保偏光纤的吸收强烈,几乎呈不透明状态;在红外波段,其吸收虽较小,但也呈现光传输效率降低、损耗系数增加。

目前,国内外关于空间辐射对电子器件影响的研究较为深入,有成熟的电子器件辐照试验方法作为依据,以及宇航级的抗辐照电子器件以供筛选。但是国外关于空间辐射对光学器件的影响,以及光学器件的地面辐照试验方法报道很少,我国的此领域研究才刚刚起步。

本文通过研究保偏光纤在辐照环境下的性能,探索辐照剂量率对保偏光纤的影响规律,针对不同剂量率辐照条件下的保偏光纤损耗的变化规律进行试验研究,结合理论分析,得出光纤辐照损耗与剂量率的关系,为保偏光纤的地面辐照试验方法提供参考。

1 材料与方法

保偏光纤辐照测试系统结构如图1。试验用光纤为中电46所生产的熊猫型保偏光纤,长度500 m,工作波长1310 nm。选用超辐射发光光源(SLD),工作波长1310 nm,由高性能的恒流源提供电流。SLD光源发出的光通过保偏耦合器分为两束,一束通过

跳线连接到辐照室中的保偏光纤环,再通过光纤跳线连接到位于控制室的双通道光功率计;另一束通过光纤跳线直接连接到双通道光功率计作为参考光。

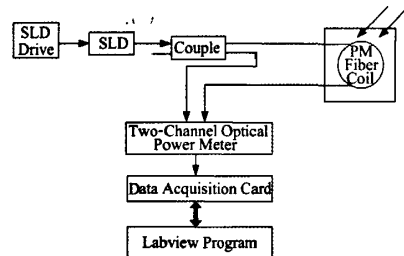


图1 光纤辐照测试系统结构框图

Fig.1 Fiber test system structural chart for radiation.

用数据采集卡和采集程序对光纤损耗数据进行实时在线检测,其中,采样周期为1 s;被测光路光功率值为光功率1,参考通道的光功率值为光功率2。未辐照时,两路功率对比值接近恒值;辐照条件下,两路功率对比值的变化,即光纤损耗变化。

2 结果与讨论

保偏光纤的 ^{60}Co 源辐照试验在三种剂量率下进行,结果如图2所示。剂量率为0.01 Gy/s,辐照6300 s,累积辐照总剂量为63 Gy,光纤损耗增加1.0 dB;剂量率为0.02 Gy/s,辐照1600 s,累积总剂量为32 Gy,光纤损耗增加0.55 dB;剂量率为0.0835 Gy/s,辐照3900 s,累积辐照总剂量为326 Gy,光纤损耗增加5.8 dB。由此,在 ^{60}Co 辐射场中,保偏光纤辐照损耗随辐照累积总剂量呈线性增加。

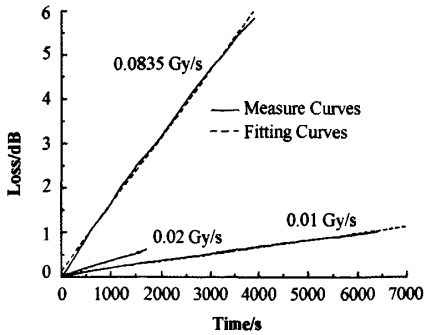


图 2 不同剂量率条件保偏光纤损耗曲线
Fig.2 Radiation loss curve on different dose rate.

图 2 中的虚线为光纤损耗值与辐照累积总剂量进行线性拟合结果, 其关系式如下:

$$A = C_1 t + C_2 \quad (1)$$

式中, A 为光纤的损耗, C_1 、 C_2 为比例系数。

当剂量率为 0.01、0.02、0.0835 Gy/s 时, 对应的 C_1 、 C_2 分别为 1.53×10^{-4} , 0.05; 3.34×10^{-4} , 0.03; 1.51×10^{-3} , 0.13。

由图 2, 光纤辐射损耗值与累积剂量的线性关系良好, C_1 与剂量率近似成正比关系, 即:

$$A_1(t, D_1)/D_1 = A_2(t, D_2)/D_2 \quad (2)$$

其中, A_1 、 A_2 为光纤的损耗, D_1 、 D_2 为辐照剂量率, t 为辐照时间。

将试验所得保偏光纤环损耗值(dB)除以相应的辐照剂量率(0.01 Gy/s)后所得结果如图 3, 可见不同

剂量率下保偏光纤的辐射损耗值除以相应的辐照剂量率后所得曲线基本重合。

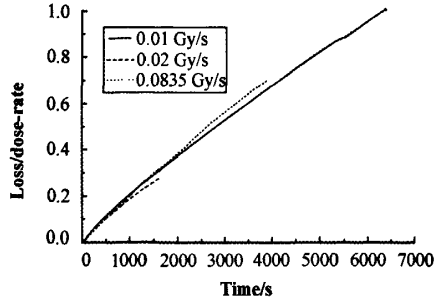


图 3 光纤辐射损耗与剂量率的比和辐照时间的关系图
Fig.3 Relationship between radiation time and the ratio of the fiber radiation loss to dose rate.

辐照引起光纤损耗与辐照剂量率的关系通常可用以下方程描述^[6]:

$$dA/dt = aD - bA^n \quad (3)$$

式中, n 为动态阶数, a 、 b 为常数。

当 $n=1$, $D \neq 0$ 时, 即表示光纤各种缺陷的恢复是相互独立的, 方程(3)的解为:

$$A(t, D) = (aD/b)(1 - e^{-bt}) \quad (4)$$

由式(4), 在相同的辐照时间内, 保偏光纤的损耗与辐照总剂量成正比。

当 $n=2$, $D \neq 0$ 时, 即表示光纤各种缺陷的恢复相互间具有影响。方程(3)的解为:

$$A(t, D) = (aD/b)^{1/2} \{ \exp[2t(abD)^{1/2}] - 1 \} / \{ \exp[2t(abD)^{1/2}] + 1 \} \quad (5)$$

当 $2t(abD)^{1/2} \rightarrow 1$ 时, 即在低剂量率辐照的情况下, 有 $\exp[2t(abD)^{1/2}] \approx 2t(abD)^{1/2}$, 此时把式(5)按级数展开, 略去高次项可得:

$$A(t, D) \approx (aD/b)^{1/2} [2t(abD)^{1/2}/2] = aDt \quad (6)$$

由式(6), 低剂量率辐照的光纤损耗与剂量率 and 时间的乘积即辐照总剂量近似成正比。

3 结论

空间辐射是长期的低剂量率辐射环境, 用较高剂量率(0.05–0.1 Gy/s)和短时间(≤ 6300 s)辐照保偏光纤, 测量其损耗值, 对试验数据进行线性拟合并外推, 可得到长时间辐射条件下保偏光纤的辐射损耗值。用式(2)进行剂量率转换得到低剂量率长时间辐照下保偏光纤损耗预估值。本文结果为保偏光纤空间辐照损伤的地面模拟预估提供了理论基础。

参考文献

- 1 Richard H B, Warren F W, Terrenc S L, et al. SPIE, 1995, 120–163
- 2 Henschel H, Kohn O, Schmidt H U. Proc SPIE, 1996, 2811: 68–76
- 3 Saetchnikov V A, Chernyavskaya E A, Yanukovich T P. Proc SPIE, 1998, 3573: 196–199
- 4 WANG Tingyun, CHEN Zhengyi, PANG Fufei. Chin Opt Lett, 2006, 4(12): 687–689
- 5 李荣玉, 殷宗敏. 上海交通大学学报, 2000, 34(2): 215–217
- 6 LI Rongyu, YIN Zongmin. J Shanghai Jiaotong Univ, 2000, 34(2): 215–217
- 7 Griscom D L, Gingerich M E, Friebele E J. IEEE Trans Nucl Sci, 1994, 41(3): 523–527

Radiation effect on polarization-maintaining fibers

LIANG Xun LIU Dewen

(Shanghai Aerospace Control Engineering Institute, Shanghai 200233, China)

Abstract In this paper, for space application of the interference fiber optic gyroscope (IFOG), radiation effect on polarization-maintaining fibers irradiated by ^{60}Co γ -rays to different total doses at different dose rates is studied, and a mathematic relationship between the radiation-induced performance loss of the polarization-maintaining fiber and the dose rate is established. The losses were 1.0, 0.55 and 5.8 dB for total doses of 63, 32 and 326 Gy at dose rates of 0.01, 0.02 and 0.0835 Gy/s, respectively. These show that the performance loss of the polarization-maintaining fibers increases with the dose rate and the total dose. The theoretical analysis, which well interprets the experimental data, provides references to ground tests of the radiation effect on polarization-maintaining fibers for space applications.

Key words Polarization-maintaining fiber, Radiation effect, Fiber radiation effect experiment

CLC V416.5