

# 窄带干涉滤波器与 YAG 调 Q 倍频激光器的匹配

杨克成 朱 晓 龚 威 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

**摘要:** 在机载激光探测海底地貌系统中, 窄带干涉滤光片与 YAG 调 Q 倍频激光器中心波长的匹配非常重要。介绍了一种滤波器与中心波长匹配的方法。利用这种方法, 得到了机载激光测深的实验结果。

**关键词:** 匹配 滤波器 YAG 激光器

## Matching of narrow band interference filter with central wavelength of Q-switch double-frequency laser

Yang Kecheng, Zhu Xiao, Gong Wei, Li Zaiguang

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** In a lidar receiver system, the optical interference filters are often used to eliminate the background signal. It is very important for the narrow band interference filter to match with the central wavelength of the Q-switch double-frequency laser, especially for the airborne laser bathymetrical system. In our experimental system, the interference filter is placed in emitting optical path. The intensity on output light is the integration of the product of the spectrum function of the filter and the emitting spectrum function of the laser. Adjusting the temperature of the filter, the central frequency of the filter can be moved to match the laser frequency, and to get maximum output signal. Based on the principle, the interference filter with central wavelength adjusting can be used in lidar receiver system to obtain the optimum receiving signal.

**Key words:** match filter YAG laser

## 引 言

在机载激光测深雷达中<sup>[1]</sup>, 光雷达的接收系统接收到返回的蓝绿激光信号的同时, 背景光也一起进入接收系统。如何从连续背景噪声中提取有用的激光信号, 已经成为几乎所有的激光雷达所面临的问题。解决这个问题的重要手段之一就是加光学滤波器<sup>[2]</sup>。

干涉滤波器以带宽窄、波长可调、体积小、重量轻等特点在激光雷达中得到了广泛的应用。双折射滤波器具有带宽窄、波长可调、大视场角等特点, 但是, 在体积、重量等方面干涉滤波器却占有优势; 原子滤波器虽然有更窄的带宽, 但是, YAG 激光的线宽比原子滤波器带宽大得多, 它们之间难以匹配。如今, 机载激光测深雷达中常用带宽为 0.2nm, 0.4nm, 0.6nm 干涉滤波器, 采用电子温控装置, 可以在一定的程度上调节中心波长。每个干涉滤波器的性能指标在出厂前都有相应的数据和曲线, 但是, 经过运输、长期存放、保管欠妥以及在恶劣的环境下使用, 都会使其性能发生相应的变化。为了在机载激光测深试验中, 能够使干涉滤波器可靠地与激光波长匹配, 提出了一种能在现场及时检测是否可靠匹配的方法。

## 1 干涉滤波器与激光波长的匹配

### 1.1 YAG 调 Q 倍频激光器中心波长和线宽

YAG 晶体中的  $Nd^{3+}$  离子的受激辐射谱线,在晶体温度变化时,会产生热光畸变,它使  $Nd^{3+}$  离子与晶格相互作用发生变化,随之,  $Nd^{3+}$  离子的吸收光谱发射、能级寿命都有变化,表现为中心波长的漂移。由于难以测量激光振荡过程中 YAG 晶体内部的温度,但可以通过 YAG 晶体侧面冷却水温度的变化来反映激光中心波长的漂移,表 1 是冷却水温度从 15℃~ 35℃变化过程中激光中心波长和线宽与温度的变化关系<sup>[3]</sup>。

从表中可以看出:在水温从 15℃变化到 35℃过程中,激光的波长最短为  $\lambda_{min} = 531.992\text{ nm}$ ,激光的波长最长为  $\lambda_{max} = 532.140\text{ nm}$ ,激光的中心波长只漂移了 0.05nm,而激光的线宽几乎没有变化。由此可见,水温在一定范围内变化时,会引起激光中心波长的红移,而不会引起激光线宽的加宽。

### 1.2 干涉滤波器中心波长及与激光波长的匹配

干涉滤波器的中心波长将随着外界温度的变化而漂移,当温度增加时,中心波长向长波长方向漂移,当温度减少时,中心波长向短波长方向漂移。干涉滤波器的带宽在一定的温度范围内不受外界温度变化的影响。

实验采用的窄带干涉滤波器的主要技术指标为:干涉滤波器的带宽  $\Delta\lambda_{1/2}$ 是 0.27nm;干涉滤波器的峰值透过率是 40.79%;干涉滤波器的中心波长可调。

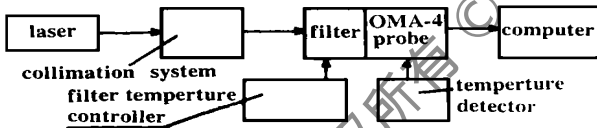


Fig. 1 The measurement system of matching central wavelength of a narrow band interference filter

如图 1 所示,波长为 532.07nm 的激光经过准直后,进入干涉滤波器。干涉滤波器有一个恒温装置,通过控制器可以调节滤波器附近小环境的温度。采用数字温度计监测该温度,光电探头与 OMA-4 相连接。测试中,干涉滤波器处于如下状态:

(1)不加恒温控制。即干涉滤波器处于室温状态,其中心波长随室温的变化而变化。当室温在 7℃~ 32℃范围内变化时,干涉滤波器对波长为 532.07nm 的激光的透过率很低,OMA-4 记录下的透过率不超过 5%。

(2)加恒温控制。测得的结果如图 2 所示。图中的横轴表示波长,单位为 nm,另一横轴表

Table 1 Unstability of the wavelength and line wide of second harmonic

water temperature (℃)	wavelength $\lambda$ (nm)	line wide $\Delta\lambda_{1/2}$ (nm)
15	532.040	0.096
21	532.044	0.099
23	532.055	0.100
25	532.060	0.100
27	532.065	0.100
35	532.090	0.100

干涉滤波器出厂时的指标并不能代表使用时的情况,况且,在机载激光测深试验中,使用干涉滤波器的环境较实验室的环境恶劣得多,所以,应该根据具体情况,对实验室测试数据进行适当的调整。

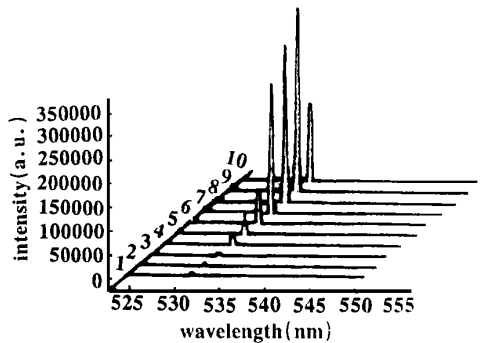


Fig. 2 Relationship of output intensity and temperature (relative to central wavelength)

示温度, 数字从 0~ 10 表示干涉滤波器温度控制器旋钮所指的圈数, 代表温度从低到高变化。经过测量, 数字 0 对应干涉滤波器的温度为 33℃, 每拧 1 圈, 温度增加 1℃~ 1.5℃。纵轴表示激光通过干涉滤波器后得相对光强。从图中可以看出, 随着温度控制器被拧圈数的增加, 相对光强也在逐步增加, 当温度控制器拧到第 9 圈时, 透过干涉滤波器的光强最强, 当拧到第 10 圈时, 相对光强反而下降。由此可知, 当干涉滤波器的温度恒定在 41℃ 时, 干涉滤波器对 532.07nm 的蓝绿激光有最大透过率, 干涉滤波器与激光波长达到匹配。当外界环境温度从 7℃~ 32℃ 变化时, 上述结论仍然成立。

### 1.3 机载激光测深试验中干涉滤波器与激光波长匹配

以上结果是在外场对机载激光测深系统中干涉滤波器与激光波长匹配时, 进行监测的基础。在进行机载激光测深实验前, 采用图 2 实验框图, 将 OMA-4 及其探头换成激光能量计, 当干涉滤波器的温度在 33℃~ 43℃ 间变化时, 监测通过干涉滤波器的激光能量, 干涉滤波器每被拧 1 圈记录 100 次激光能量, 并进行累积平均, 发现温度在 40.7℃ 时, 激光的平均能量最大, 在实验室测量的最佳温度 41℃ 时, 平均能量有所下降, 且每次飞行前测量, 结果均有所不同。

如图 3 所示, 这是机载试验系统在测深实验中, 测到的水下 22m 处目标的回波信号。

其中, 图 3a, 图 3b

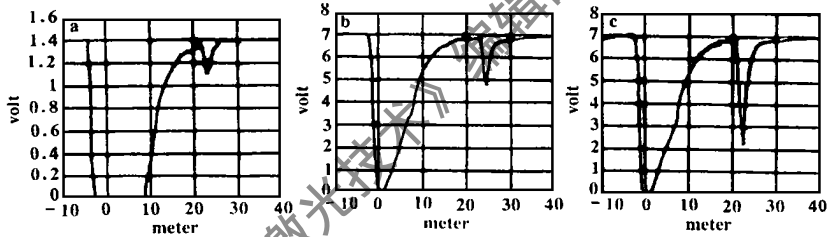


Fig. 3 The target return signals in underwater 20 meter, here is better matching

和图 3c 分别对应干涉滤波器的温控器拧到第 5, 7, 9 圈时的情况, 对应温度为 38.2℃, 39.7℃ 和 41.2℃。可看出, 图 3c 中干涉滤波器与激光波长基本匹配, 此时, 水下目标的回波信号有较大的峰值; 图 3a 和图 3b 中干涉滤波器与激光波长不完全匹配, 此时, 水下目标的回波信号只有较小的峰值。图 3a 和图 3c 中的水下目标回波信号的峰值大约相差 2 个量级。若温控器只拧 1~ 2 圈, 则完全探测不到水下回波信号, 这时干涉滤波器与激光波长完全不匹配。

## 2 结 论

经过实验室实验和外场飞行试验, 可以得到结论: (1) 采用单色仪、OMA-4 等仪器准确地测定 YAG 调 Q 倍频激光的中心波长和线宽、干涉滤波器的中心波长和带宽, 以及它们在不同温度条件下的变化关系, 结果表明: 干涉滤波器与 YAG 调 Q 倍频激光的中心波长可以完全匹配。(2) 在外场飞行试验中, 由于环境和设备条件的限制, 采用能量计测量透过干涉滤波器激光能量的办法, 可以确定干涉滤波器和激光波长匹配的最佳使用参数。

### 参 考 文 献

- 1 Penny M F, Abbot R H, Phillips D M *et al.* Appl Opt, 1986; 25(13): 2047~ 2058
- 2 Hoge F E. Appl Opt, 1980; 19(6): 871~ 881
- 3 Mao S Q, Wen Z Y, Yu C *et al.* SPIE, 1992; 1979: 773~ 779

作者简介: 杨克成, 男, 1962 年 6 月出生。硕士, 副教授。现从事机载海洋激光雷达方面的研究工作。