

激光稳频技术的新发展(III)

——脉冲激光器的稳频技术和激光波长测量

屠世谷 赵家铭 周善钰 王育竹

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

脉冲激光器的频率稳定和测量，一向是一个较棘手的问题。但近年来，随着脉冲激光器在激光化学、激光光谱、激光雷达和外差检测系统等方面应用的发展，迫使人们去探索稳定脉冲光频的方法。下面介绍的几种脉冲激光稳频方法。

一、长期稳腔式[1]

稳腔长当然可以稳定光频，但脉冲的持续时间短，较难判断腔长是否已被稳定，故采用一种长期稳腔的方案。这个方案在 TEA CO₂ 激光器中得到较合理实施，系统如图 1 所示，将 TEA 激光头和连续 CO₂ 器件置于同一谐振腔内，以构成混合式 TEA 激光器，获得单纵模振

荡。通过连续器件的光电流稳频系统，以某一谱线(P或R的某一支)为基准，稳定激光腔长。脉冲出现前，控制管降低 CW 管放电电流，切断其光电流稳频环路，并使 PZT 上的电压维持恒定，然后触发 TEA 激光器产生光脉冲，脉冲过后又恢复光电流稳频系统，使腔长保持恒定。由于腔长在长期内是锁定的，故脉冲激光的频率较为稳定。实验结果表明，脉冲内频率起伏小于 2MHz，而每个脉冲间的频率变化不大于 ±0.8MHz。这里的数据，特别是后一个数据，显示出长期稳定的效果。

二、补偿锁定式[2]

某些脉冲激光器的脉宽较宽，在受激期间要输入较大的激励能量，系统中电压与温度的变化极为激烈，用上述长期稳腔方式就无甚效果了，这时采用在脉冲期间内对腔体和其它参数进行补偿锁定的方法，可获得较好的效果。图 2 所示的是频率为 10Hz，持续时间为 5ms 的 YAG 脉冲激光器。其腔的物理长度为 8cm，内有长 3cm 的 YAG 棒和 1cm 的 LiNbO₃ 调制器，用精细度为 7 的固体熔融石英倾斜标准具保证它工作在单 TEM₀₀ 模式。腔是通过反射镜上的 PZT 陶瓷和 LiNbO₃ 晶体进行调节，以腔外 F-P 腔作光频基准，用氩灯作激励光源。在光脉冲出现的瞬间，搜索电路开始工作：用一个一定斜率的扫描电压改变腔长，一旦在光电检测器上接收到 F-P 腔的光学共振信号，搜索电压即自动转换成补偿信号，其补偿量事先经过周密测定，保证脉冲激光频率在整个脉

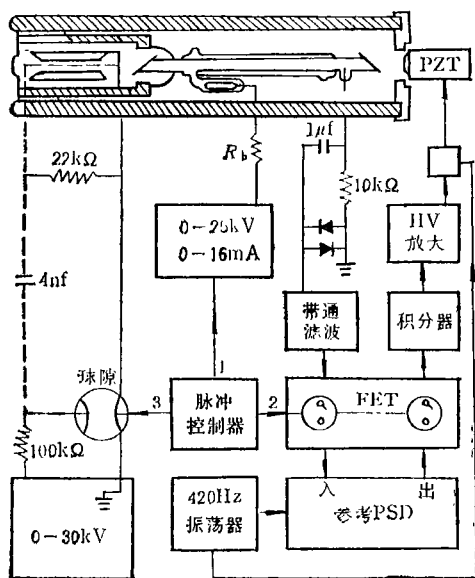


图 1 长期稳腔式

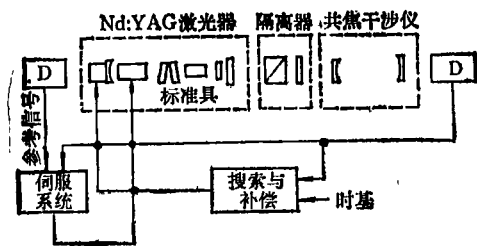


图2 补偿锁定式稳频系统

冲周期内正好对准 F-P 的中心,但此时激光的频率还可能有较大的起伏,因此需要再使用另一套快速锁定系统,比较检测器 1 及 2 上激光功率的大小,并通过快速反应控制元件 LiNbO_3 调相器,将光频稳定在 F-P 腔透射曲线的侧沿上.两套系统同时工作后,脉冲内的频率起伏可小于 200kHz,这是十分好的结果.

三、调 Q 限模式^[3]

这是一种颇为简单的方法,但思想比较新颖,系统如图 3(b) 所示, YAG 激光器用普克尔盒作 Q 开关元件,将阈值设置在接近增益曲

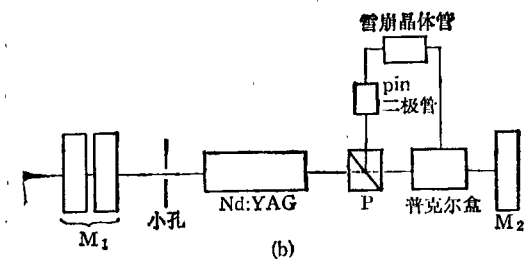
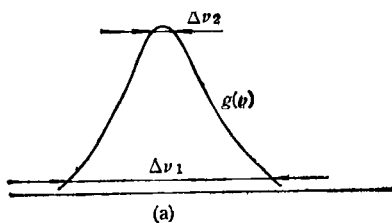


图3 调Q限模式稳频系统
(a) 增益曲线; (b) 稳频系统

线顶部的地方,相应的增益曲线宽度 $\Delta\nu_2$ 远小于普通激光器的阈值宽度 $\Delta\nu_1$ (图 3(a)),这样只有 $\Delta\nu_2$ 内的某几个模可能产生激光振荡,借

助于腔长的限模效应很容易实现单模激光振荡.激光振荡出现后,在格兰棱镜 P 后由 PIN 二极管组成的普克尔盒电压控制器短期内取消加于普克尔盒上的电压,使其损耗剧减,产生功率足够而频率稳定的脉冲激光,这一简单的系统在 10Hz 的重复率下,脉冲的频率稳定度可达 2×10^{-6} .

四、外差锁频系统^[4]

利用光脉冲载频与本地光振荡器间的差拍信号,经放大、滤波、限幅等措施后,获得方形脉冲.该脉冲中的载频为差拍信号频率,将此信号分成两路,一路直接加于平衡混频器的一端,另一路经移相后馈至平衡混频器的另一端,这样混频器输出信号的量值和极性与差拍频率有关,构成一个鉴频器,此鉴频器的中心可通过相移器而方便地调节,鉴频器的输出电压经门控电路和积分器后,加于 PZT 腔长控制器上,即可构成稳频系统.在我们的实验中,外差振荡器是用 $\text{CH}_3^{81}\text{Br}$ 光电流光谱稳频的连续 CO_2 激光器,被稳对象是 TEA CO_2 激光器,用 300 MHz 的 MCT 器件作外差接收器,稳定后的 TEA 激光器的频率起伏在三小时内小于 $\pm 500\text{kHz}$.

此系统用于连续激光稳频时更加简便,此时无需使用门控电路了.这一技术完全是从无线电技术中借鉴过来的,可以预见,无线电稳频技术与光学技术的结合将大大促进激光稳频技术的发展.

五、脉冲调制光谱技术用于激光稳频^[5]

借助于脉冲激光的调制光谱技术,可测得样品的光谱数据.这种脉冲调制光谱的突出优点是,极短的光脉冲即极低的辐照能量不会导致样品的变化,因而是一种高质量的无损探测手段.但此时的调制频率需随脉冲宽度的变窄而提高,这实质上是必须保证每一脉冲内包含有若干个调制波,这样才能取得数据. T. F.

Gallagher 用脉宽为 5ns 的并被调制的脉冲染料激光束测定了 I_2 的吸收谱。该染料激光是用 YAG 激光泵浦的。当调制频率为 2GHz 时, 观察到的 I_2 吸收线的微分曲线, 在时间常数为 1s 时, 信噪比接近于 10, 这已可构成一个稳频系统了。

六、光波长的测量

人们早就开展了波长测量的研究工作, 但作为“波长计”来研究并取得成功的并不多见。1975 年, P. Juncar 等人研制成功 Sigmar 波长计^[6], 其后出现了动臂式迈克尔逊干涉波长计^[7], 由 F-P 干涉仪、单色仪、光电二极管阵列和计算机配套而成的波长计^[8], 由费索板照相机组成的波长计^[9], 以及由空气隙费索板和计算机组成的静式波长计^[10,11]等, 其中动臂式迈克尔逊干涉波长计应用较广, 已有产品生产, 但它仅可测连续光束的频率, 静式波长计亦已形成产品, 其它均只停留在实验室阶段。

最近 N. Pelletier-Allard 等公布了他们在实验室中已使用三年的波长测量方法^[12], 其测量精度为 0.01 \AA , 可对整个可见波段内的连续或脉冲激光进行波长测量, 系统易于自建, 测量较为可靠直观, 是一个颇为成功的具有吸引力的波长测量方法, 然而其原理却相当简单。

原先的光栅光谱仪均用光栅的一级衍射信号进行光谱分析, 并通过与已知的标准波长比较来测定波长, 波长的测量精度取决于谱线间距离的测量精度。在 N. Pelletier-Allard 的方法中, 使用了光栅高级次的衍射信号进行测量, 这样使谱线间的距离有较大的(数十倍)增加, 从而使测量精度大大提高, 为此, 在测量系统中, 采用 50 线/mm 的远红外光栅, 并以氦灯中的 20 余条明亮谱线作为波长标准, 通过内差与叠代法确定被测波长的精确数值, 整个系统如图 4 所示。图中, 被测激光穿过氦灯, 与氦标准谱线一起射到光栅上, 它们的某一高衍射条纹可通过望远镜加以判断。测出被测线与氦线间的距离并估算出它们的衍射级次, 求得被测激

光的频率。用氦线的已有数据可制作一张谱线表, 列出各高级次氦线间的相对位置, 通过它们的亮度与颜色上的差别, 可方便地加以识别。在已经粗略知道被测激光波长的情况下, 求出精确波长值的工作是颇为简捷的

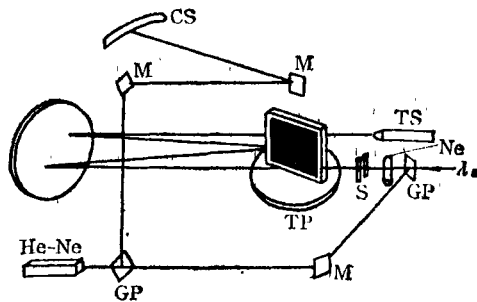


图 4 波长测量系统

S——输入狭缝; TS——望远镜系统; TP——转台;
CS——圆柱形标尺; M——反射镜; GP——玻璃板;
He-Ne——氦氖激光器; Ne——校刻光谱灯

目前这一方法已扩展到紫外区域, 其前景是相当光明的。

近几年来, 激光稳频技术有了较大的发展, 出现了各种稳频方法, 对各类激光器都进行了稳频研究, 激光频率稳定性有了很大的改善, 从而为扩大激光器的应用创造了良好条件。事实上, 激光器是光波段的相干电磁波信号源, 从微波和射频波段信号源的发展过程来看, 由改善信号源的频率稳定性而带来的收益是十分巨大的, 频率稳定性的提高给无线电测量和通信设备带来了质的变化。因此, 在这些波段里, 有大量的专家为改善频率稳定性而进行长期不懈的努力。由此, 我们觉得在激光领域中, 也应该组织和建立起一支专门队伍来研究和改善激光器的频率稳定性, 这样才能促使激光应用更快更好地发展。

参 考 文 献

- [1] G. Scott, *Opt. Comm.*, 50-5 (1984), 325.
- [2] Y. L. Sam, *Opt. Lett.*, 7-9 (1982), 408.
- [3] S. S. Dimov, *J. Phys. E.* 17 (1984), 451.

(下转第 623 页)