

# 偏置信号调制下色关联噪声驱动的 单模激光的光强相对涨落<sup>\*</sup>

韩立波<sup>1,2)</sup> 曹 力<sup>1)</sup> 吴大进<sup>3)</sup> 王 俊<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

<sup>2)</sup>(长江大学物理系, 荆州 434020)

<sup>3)</sup>(华中科技大学物理系, 武汉 430074)

(2003 年 11 月 13 日收到 2004 年 2 月 3 日收到修改稿)

采用线性化近似, 计算了由具有色关联的受偏置信号调制的色泵噪声和色量子噪声驱动的单模激光增益模型的光强相对涨落, 发现相对涨落随噪声强度的变化曲线中存在极小值, 分析了偏置信号的强度、周期信号频率、噪声间的互关联强度和互关联时间对曲线的影响, 对单模激光增益模型在偏置信号调制和直接信号调制两种方式下的输出光强相对涨落进行了比较, 发现光强涨落与偏置信号的强度密切相关.

关键词: 偏置信号调制, 光强相对涨落, 线性化近似

PACC: 4250, 0540, 4260K

## 1. 引 言

由于量子噪声和泵噪声的存在, 激光器工作时总伴随着涨落的出现<sup>[1-6]</sup>. 减小激光输出光强的涨落, 可以增加激光的输出稳定性, 提高激光器和激光通讯的质量, 因而对激光光强涨落的研究已成为近年来人们普遍关注的课题. 罗晓琴和朱士群等<sup>[7,8]</sup>对由关联噪声驱动的激光系统进行了研究, 发现噪声间的关联会对激光的涨落产生影响, 周小计等<sup>[9,10]</sup>研究了由具有色关联的两个白噪声驱动的单模激光增益模型, 发现光强相对涨落随噪声强度的变化中存在极小值, Liang 等<sup>[11,12]</sup>讨论了由具有色关联的色噪声驱动的单模激光的统计性质及随机共振现象.

在激光通讯系统中, 激光受到信号的调制, 同时信号也调制了激光中的噪声, 形成调制噪声<sup>[13]</sup>. 通讯工程中的调制方式通常有两种: 直接信号调制和偏置信号调制. 理论和实践都表明, 一般情况下, 偏置信号调制优于直接信号调制, 故现代通讯工程中普遍采用偏置信号调制方式. 对于具有调制噪声的随机系统的性质, 早已引起人们的注意, 1992 年, Dykman 等人<sup>[14]</sup>研究了由信号调制噪声驱动的非对称双稳系统中的随机共振现象, 发现调制噪声比非

调制噪声能更好地描述和体现这类系统的随机共振特性, 其结果也与实验更为符合. 激光作为典型的随机系统, 从随机动力学的角度研究调制噪声对激光输出光强涨落的影响, 对控制激光器的工作稳定性, 具有重要的理论意义和实际应用价值.

本文采用线性化近似, 研究了由具有色关联的受偏置信号调制的色泵噪声和色量子噪声驱动的单模激光增益模型的光强相对涨落, 发现光强相对涨落随泵噪声强度的变化曲线和随量子噪声强度的变化曲线中均存在极小值; 当偏置信号的强度、周期信号频率、噪声间的互关联强度和互关联时间发生改变时, 两种曲线中的极小值均会发生改变. 我们还对单模激光增益模型在偏置信号调制和直接信号调制两种方式下的光强相对涨落进行了比较, 结果表明, 两种调制方式下的光强相对涨落存在差别, 这种差别与偏置信号的强度密切相关.

## 2. 单模激光输出光强的相对涨落

在色泵噪声加入偏置信号后, 由具有色关联的色泵噪声和色量子噪声驱动的单模激光增益模型的光强方程为

\* 国家自然科学基金(批准号 10275025)和湖北省教育厅重点项目(批准号 2003A006)资助的课题.

† E-mail: libhan@jznu.net; 电话: 0716-8448092.

$$\frac{dI}{dt} = -2KI + \frac{2\Gamma}{1+\beta I}I + D + \frac{2I}{1+\beta I} \times [i_0 + A\cos(\Omega t)]\xi(t) + 2\sqrt{I}\eta(t), \quad (1)$$

其中  $i_0$  为外加偏置信号的强度,  $A\cos(\Omega t)$  为外加的周期信号,  $\Omega$  为周期信号的频率, 而外加信号  $i_0 + A\cos(\Omega t)$  是与泵噪声  $\xi(t)$  相乘的, 即色泵噪声  $\xi(t)$  受偏置信号的调制. 泵噪声  $\xi(t)$  和量子噪声  $\eta(t)$  满足如下的统计性质:

$$\begin{aligned} \xi(t) &= \eta(t) = 0, \\ \xi(t)\xi(t') &= \frac{Q}{2\tau_1} \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau_1}\right), \\ \xi(t)\eta(t') &= \frac{D}{2\tau_2} \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau_2}\right), \\ \xi(t)\eta(t') &= \eta(t)\xi(t') \\ &= \frac{\lambda\sqrt{QD}}{2\tau_3} \exp\left(-\frac{|t-t'|}{\tau_3}\right) \quad (-1 \leq \lambda \leq 1), \end{aligned} \quad (2)$$

式中  $I$  为激光光强,  $K$  为损失系数,  $\beta = \tilde{A}/\Gamma$ ,  $\tilde{A}$  和  $\Gamma$  分别为自饱和系数和增益系数,  $\lambda$  为两噪声间关联强度,  $D, Q$  分别为量子噪声和泵噪声强度,  $\tau_1$  为泵噪声自关联时间,  $\tau_2$  为量子噪声自关联时间,  $\tau_3$  为两噪声间的互关联时间.

将(1)式在稳态光强  $I_0 = (\Gamma - K)\gamma\beta K$  附近线性化

$$I = I_0 + \delta(t), \quad (3)$$

其中  $\delta(t)$  为微扰项, 可得线性化方程

$$\begin{aligned} \frac{d\delta t}{dt} &= -\gamma\delta(t) + D + \Delta[i_0 + A\cos(\Omega t)]\xi(t) \\ &+ 2\sqrt{I_0}\eta(t), \end{aligned} \quad (4)$$

式中  $\gamma = 2K(\Gamma - K)\gamma\Gamma$  为衰减系数,  $\Delta = \frac{2I_0}{1+\beta I_0}$ .

(4)式的形式解为

$$\begin{aligned} \delta(t) &= \exp(-\gamma t) \frac{D}{\gamma} [\exp(\gamma t) - 1] + \exp(-\gamma t) \Delta \\ &\times \int_0^t [i_0 + A\cos(\Omega t)] \exp(\gamma u) \xi(u) du \\ &+ 2\sqrt{I_0} \int_0^t \exp(\gamma u) \eta(u) du. \end{aligned} \quad (5)$$

根据平均光强关联函数的定义

$$\alpha(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \overline{\mathcal{I}(t'+t)\mathcal{I}(t')}, \quad (6)$$

式中

$$\overline{\mathcal{I}(t'+t)\mathcal{I}(t')} = \frac{\Omega}{2\pi} \int_{t'}^{t'+2\pi/\Omega} \mathcal{I}(t'+t)\mathcal{I}(t') dt'.$$

由(3)(5)和(6)式, 可得到归一化的光强关联函数

(本文只讨论  $\gamma \neq \frac{1}{\tau_i}$ ,  $i=1, 2, 3$  的情况)

$$\begin{aligned} \alpha(t) &= \frac{1}{I_0^2} \left\{ \frac{\Delta^2 Q A^2}{8\gamma\tau_1} \left( \frac{\gamma_1}{\Omega^2 + \gamma_1^2} - \frac{\gamma'_1}{\Omega^2 + \gamma'^2_1} \right) e^{-\gamma|t|} \right. \\ &+ \frac{\Delta^2 Q A^2}{4\gamma\tau_1} \frac{1}{\Omega^2 + \gamma_1^2} \frac{1}{\Omega^2 + \gamma'^2_1} e^{-\tau_1^{-1}|t|} \\ &\times \left[ (\Omega^2 + \gamma_1\gamma'_1) \cos(\Omega t) + \frac{2\Omega}{\tau_1} \sin(\Omega t) \right] \\ &+ \frac{\Delta^2 Q i_0^2}{2} \frac{\tau_1 e^{-\tau_1^{-1}|t|} - \gamma^{-1} e^{-\gamma|t|}}{(\gamma^2 \tau_1^2 - 1)} \\ &+ 2I_0 D \frac{\tau_2 e^{-\tau_2^{-1}|t|} - \gamma^{-1} e^{-\gamma|t|}}{(\gamma^2 \tau_2^2 - 1)} \\ &\left. + 2\lambda\Delta \sqrt{I_0 Q D} i_0 \frac{\tau_3 e^{-\tau_3^{-1}|t|} - \gamma^{-1} e^{-\gamma|t|}}{(\gamma^2 \tau_3^2 - 1)} \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

式中  $\gamma_1 = \gamma + \tau_1^{-1}$ ,  $\gamma'_1 = \gamma - \tau_1^{-1}$ . 令  $t=0$ , 可得单模激光输出光强的相对涨落为

$$\alpha(0) = C_1(0) + C_2(0), \quad (8)$$

式中

$$\begin{aligned} C_1(0) &= \frac{Q}{I_0^2 \gamma} \mathcal{J}(\Omega, A), \\ \mathcal{J}(\Omega, A) &= \frac{\Delta^2 A^2}{8\tau_1} \cdot \left( \frac{\gamma_1}{\Omega^2 + \gamma_1^2} - \frac{\gamma'_1}{\Omega^2 + \gamma'^2_1} \right) \\ &+ \frac{\Delta^2 A^2}{4\tau_1} \cdot \frac{\Omega^2 + \gamma_1\gamma'_1}{(\Omega^2 + \gamma_1^2)(\Omega^2 + \gamma'^2_1)}, \\ C_2(0) &= \frac{1}{I_0^2 \gamma} \left[ \frac{\Delta^2 Q i_0^2}{2(\gamma\tau_1 + 1)} + \frac{2I_0 D}{(\gamma\tau_2 + 1)} \right. \\ &\left. + \frac{2\lambda i_0 \Delta \sqrt{I_0 Q D}}{(\gamma\tau_3 + 1)} \right]. \end{aligned}$$

(8)式中的  $C_1(0)$  为周期信号对色泵噪声调制引起的附加光强相对涨落,  $C_2(0)$  为加上偏置信号后的光强相对涨落.

### 3. 光强相对涨落随噪声强度的变化关系

由于(8)式中的参数众多, 将光强相对涨落随各参数的变化关系全部都讨论, 必使本文十分冗长, 故本文仅讨论光强相对涨落  $\alpha(0)$  随泵噪声强度  $Q$  和随量子噪声强度  $D$  的变化关系曲线, 分析偏置信号的强度  $i_0$ 、周期信号频率  $\Omega$ 、色噪声间的关联强度  $\lambda$  和互关联时间  $\tau_3$  对曲线的影响. 又因为当  $\lambda \geq 0$  时, 由(8)式可知,  $\alpha(0)-Q$  曲线和  $\alpha(0)-D$  曲线均为单调的, 所以我们的讨论仅限于  $\lambda < 0$  的情况.

#### 3.1. 光强相对涨落 $\alpha(0)$ 随量子噪声强度 $D$ 的变化关系

根据(8)式,  $\alpha(0)$  随  $D$  的变化关系曲线中存在

着一个极小值,极小值的位置为

$$D_{\min} = \frac{\lambda^2 \Delta^2 i_0^2 Q}{4I_0} \left( \frac{\gamma\tau_2 + 1}{\gamma\tau_3 + 1} \right)^2, \quad (9)$$

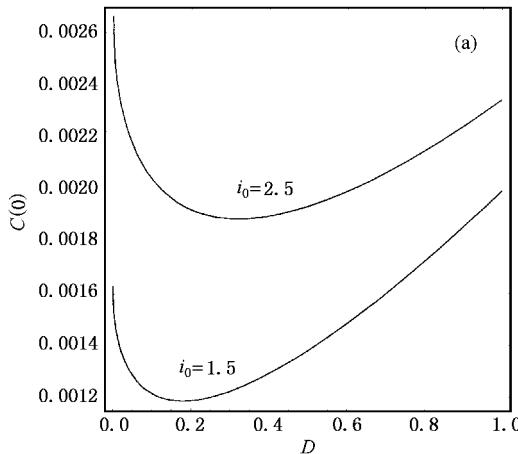
对应的最小光强相对涨落为

$$C_{\min}(0) = \frac{1}{I_0} \left\{ \frac{Q}{\gamma} \mathcal{K}(\Omega, A) + \frac{i_0^2 \Delta^2 Q}{2\gamma} \times \left[ \frac{1}{\gamma\tau_1 + 1} - \lambda^2 \left( \frac{\gamma\tau_2 + 1}{\gamma\tau_3 + 1} \right)^2 \right] \right\}. \quad (10)$$

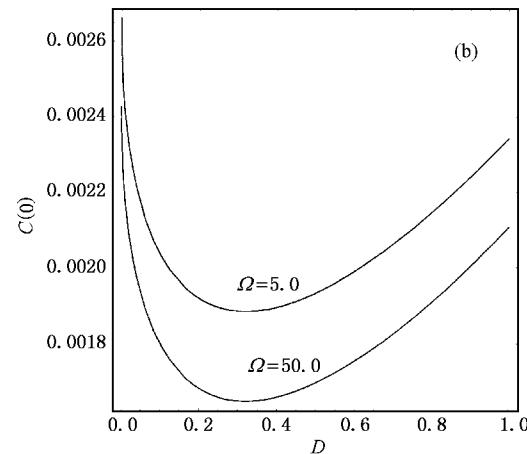
由(9)和(10)式可知,  $D_{\min}$  与  $i_0$ ,  $\lambda$ ,  $\tau_3$  等参数有关, 与  $\Omega$  无关, 而  $C_{\min}(0)$  与  $i_0$ ,  $\Omega$ ,  $\lambda$ ,  $\tau_3$  等参数均有关.

图1(a)绘出了以  $i_0$  为参数的  $C(0)$  随  $D$  的变化曲线,

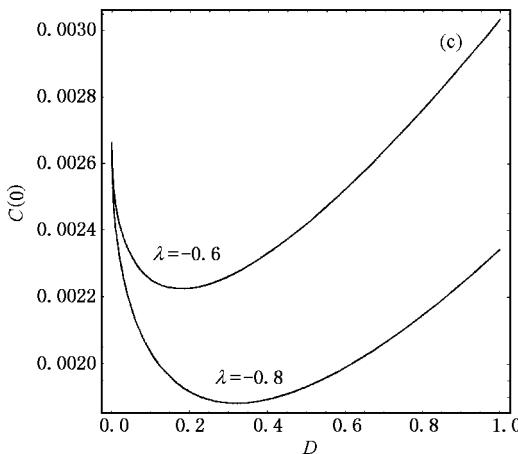
我们发现,  $i_0$  较小时,  $C_{\min}(0)$  较小, 随着  $i_0$  的增加,  $C(0)$ - $D$  曲线整体上移,  $C_{\min}(0)$  迅速增加, 同时位置右移. 图1(b)绘出了以  $\Omega$  为参数的  $C(0)$ - $D$  曲线, 由图可知,  $\Omega$  增加时,  $C(0)$ - $D$  曲线整体向下移动,  $C_{\min}(0)$  减小, 但位置不会发生变化. 图1(c)以  $\lambda$  为参数绘出了  $C(0)$ - $D$  曲线, 图中显示, 当  $\lambda$  由  $\lambda = -0.6$  变化到  $\lambda = -0.8$  时,  $C_{\min}(0)$  有明显减小, 位置左移, 这表明当两噪声间的负关联增强时, 光强相对涨落会减小. 图1(d)绘出了以  $\tau_3$  为参数的  $C(0)$ - $D$  曲线, 可以看到, 当  $\tau_3$  由  $\tau_3 = 2.0$  变化到  $\tau_3 = 3.0$  时,  $C_{\min}(0)$  的位置左移, 数值增加.



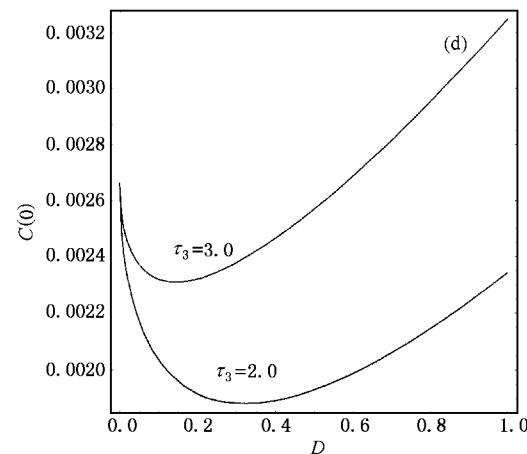
(a)  $\Omega = 5.0$ ,  $\lambda = -0.8$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(b)  $i_0 = 2.0$ ,  $\lambda = -0.8$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(c)  $i_0 = 2.0$ ,  $\Omega = 5.0$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(d)  $i_0 = 2.0$ ,  $\Omega = 5.0$ ,  $\lambda = -0.8$

图1 光强相对涨落  $C(0)$  随量子噪声强度  $D$  的变化关系( $I_0 = 1.0$ ,  $Q = 0.5$ ,  $A = 1.0$ ,  $\beta = 1.0$ ,  $\gamma = 20$ ,  $\tau_1 = 1.0$ ,  $\tau_2 = 2.0$ )

### 3.2. 光强相对涨落 $C(0)$ 随泵噪声强度 $Q$ 的变化关系

根据(8)式,  $C(0)$  随  $Q$  的变化关系中也存在着

一个极小值  $C_{\min}(0)$ ,

$$C_{\min}(0) = \frac{2D}{I_0} \mathcal{K} \left( \frac{2D}{\gamma\tau_2 + 1} \right) \left[ 1 - \frac{\lambda^2}{1 + \alpha} \right].$$

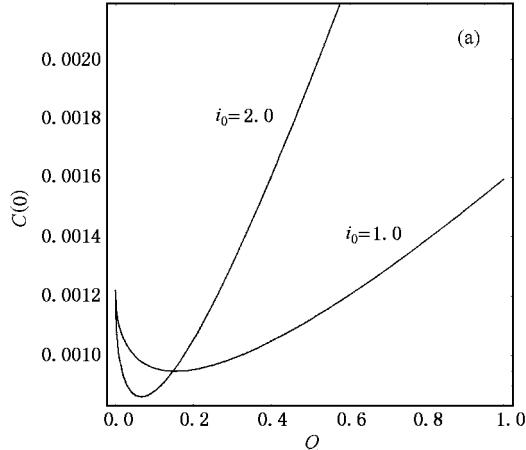
$$\cdot \frac{(\gamma\tau_1 + 1)(\gamma\tau_2 + 1)}{(\gamma\tau_3 + 1)^2} \Big], \quad (11)$$

式中  $\alpha = \frac{\gamma\tau_1 + 1}{\Delta^2 i_0^2} \cdot \mathcal{J}(\Omega, A)$  极小值的位置为

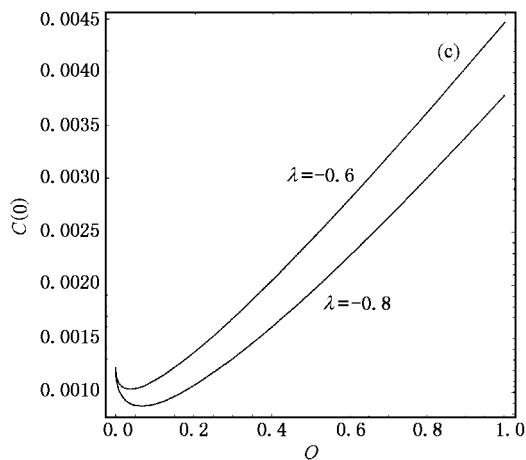
$$Q_{\min} = \frac{4\lambda^2 I_0 D}{\Delta^2 i_0^2} \cdot \frac{(\gamma\tau_1 + 1)^2}{(\gamma\tau_3 + 1)^2} \cdot \frac{1}{(1 + \alpha)^2}. \quad (12)$$

由(11)和(12)式可知,  $Q_{\min}$  和  $C_{\min}(0)$  均与  $i_0$ ,  $\Omega$ ,  $\lambda$ ,  $\tau_3$  等参数存在复杂的关系。图2(a)绘出了以  $i_0$  为参量的  $C(0)$  随  $Q$  的变化关系曲线, 由图可知,  $i_0$  对  $C(0)$ - $Q$  曲线的影响与对  $C(0)$ - $D$  曲线的影响存在很大区别。首先, 当  $i_0$  增加时,  $C_{\min}(0)$  的位置会左移, 数值会减小, 即增大偏置信号的强度, 可以减小输出光强的相对涨落的极小值; 其次, 在  $Q < Q_{\min}$  的区域,  $i_0$  大则涨落较小, 而在  $Q > Q_{\min}$  的区域,  $i_0$  大则涨落较大; 第三,  $i_0$  大时,  $C(0)$ - $Q$  曲线变化更陡。

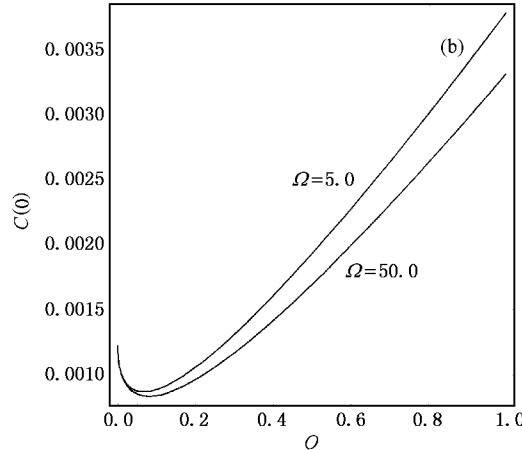
在  $Q > Q_{\min}$  的区域,  $C(0)$  随着  $Q$  的增加会更迅速增加。图2(b)中的  $C(0)$ - $Q$  曲线是以  $\Omega$  为参数绘出的,  $\Omega$  的改变也可以导致  $C_{\min}(0)$  的大小和位置的改变, 但改变的数值均很小。图2(c)绘出了以  $\lambda$  为参数的  $C(0)$ - $Q$  曲线, 当  $\lambda$  由  $\lambda = -0.6$  变化到  $\lambda = -0.8$  时, 光强涨落极小值的位置和大小均会改变, 但改变的幅度远小于图1(c)的情况。图2(d)绘出了以  $\tau_3$  为参数的  $C(0)$ - $Q$  曲线,  $\tau_3$  同样可对曲线形状的产生影响, 结果与图2(a)类似, 即  $\tau_3$  越大, 极值越小, 曲线变化越陡。比较图1和图2还可以发现,  $C(0)$ - $Q$  曲线中的极小值要比  $C(0)$ - $D$  曲线中的极小值更小。 $C(0)$  随  $D$  的变化与  $C(0)$  随  $Q$  的变化是不同的, 产生这种不同的原因是外加信号只对泵噪声进行了调制。



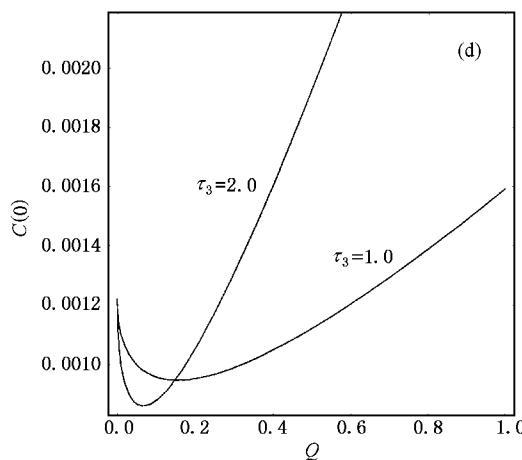
(a)  $\Omega = 5.0$ ,  $\lambda = -0.8$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(c)  $i_0 = 2.0$ ,  $\Omega = 5.0$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(b)  $i_0 = 2.0$ ,  $\lambda = -0.8$ ,  $\tau_3 = 2.0$



(d)  $i_0 = 2.0$ ,  $\Omega = 5.0$ ,  $\lambda = -0.8$

图2 光强相对涨落  $C(0)$  随  $Q$  的变化关系( $I_0 = 1.0$ ,  $D = 0.5$ ,  $A = 1.0$ ,  $\beta = 1.0$ ,  $\gamma = 20$ ,  $\tau_1 = 1.0$ ,  $\tau_2 = 2.0$ )

## 4. 单模激光在偏置信号和直接信号两种调制方式下光强涨落的比较

在(1)式中,令 $i_0=0$ ,即得到单模激光增益模型在直接信号调制下的光强方程,对应的光强相对涨落为

$$C_0(0) = \frac{1}{I_0^2 \gamma} \left[ Q(\Omega, A) + \frac{2I_0 D}{\gamma \tau_2 + 1} \right]. \quad (13)$$

由(13)式可知,单模激光在直接信号调制下的光强相对涨落随 $D$ 的增加和随 $Q$ 的增加均为单调增加的.图3将单模激光在偏置信号调制下的光强相对涨落 $C(0)$ 与直接信号调制下的光强相对涨落 $C_0(0)$

进行了比较.图中, $i_0=0$ 对应于直接信号调制.图3(a)比较了两种调制方式下光强相对涨落随量子噪声强度 $D$ 的变化曲线,由图可知,当 $D < D_0$ 时, $C(0) > C_0(0)$ ,偏置信号调制下的涨落较大;当 $D > D_0$ 时, $C(0) < C_0(0)$ ,偏置信号调制下的涨落较小,其中 $D_0 = \frac{\Delta^2 i_0^2 Q}{16\lambda^2} \cdot \frac{(\gamma\tau_3 + 1)^2}{(\gamma\tau_1 + 1)^2}$ .图3(b)为两种调制方式下光强相对涨落随泵噪声强度 $Q$ 的变化曲线,图中显示,当 $Q < Q_0$ 时, $C(0) < C_0(0)$ ,信号偏置调制的涨落较小;当 $Q > Q_0$ 时, $C(0) > C_0(0)$ ,信号偏置调制的涨落较大,其中

$$Q_0 = \frac{16\lambda^2 I_0 D}{\Delta^2 i_0^2} \cdot \frac{(\gamma\tau_1 + 1)^2}{(\gamma\tau_2 + 1)^2}.$$

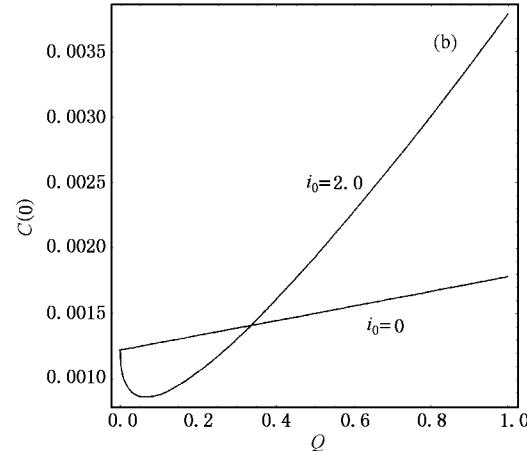
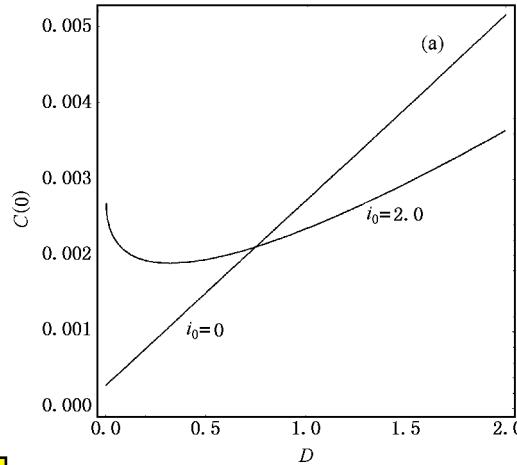


图3 单模激光在偏置信号调制和直接信号调制下光强相对涨落的比较 (a)光强涨落随量子噪声强度 $D$ 的变化关系( $Q=0.5$ );(b)光强涨落随泵噪声强度 $Q$ 的变化关系( $D=0.5$ ); $I_0=1.0$ , $A=1.0$ , $\beta=1.0$ , $\gamma=20$ , $\lambda=-0.8$ , $\tau_1=1.0$ , $\tau_2=2.0$ , $\tau_3=2.0$ , $\Omega=5.0$

## 5. 结 论

根据以上的讨论,我们可以得到以下结论:

1. 由具有色关联的色泵噪声和色量子噪声驱动的单模激光增益模型在泵噪声受信号偏置调制时,光强相对涨落可以随噪声强度的变化出现极小值,利用单模激光的这种统计特性,可以适当选择参数,尽可能地减小输出激光的涨落,提高激光的输出稳定性.

2. 根据(8)式还可以看到, $i_0^2$ 与 $Q$ 在式中的作用相同,即 $C(0)$ 随 $i_0$ 的变化关系中也存在极小值,由于 $i_0$ 为外加信号,利用涨落的这种性质,更容易控制激光的输出稳定性.

3. 关于线性化方法的适用性问题,文献[15]进行了详细分析,结论是:在满足光强相对涨落 $C(0) \ll 1$ 的条件下,线性化近似方法是有效的.利用光强相对涨落随噪声强度变化中的极小值,可以最大限度地提高线性化近似方法的精确度.

- [ 1 ] Li F L 1992 *Advanced Laser Physics* ( Hefei : Press of Science and Technology University of China ) [ in Chinese ] [ 李福利 1992 高等激光物理学 ( 合肥 : 中国科学技术大学出版社 ) ]
- [ 2 ] Hu G 1994 *Stochastic Forces and Nonlinear Systems* ( Shanghai : Shanghai Scientific and Technological Education Publishing House ) [ in Chinese ] [ 胡 岗 1994 随机力与非线性系统 ( 上海 : 上海科学技术教育出版社 ) ]
- [ 3 ] Zhang L Y et al 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 1174 ( in Chinese ) [ 张良英等 2003 物理学报 **52** 1174 ]
- [ 4 ] Cao L and Wu D J 2003 *Euro. Phys. Lett.* **61** 593
- [ 5 ] Cao L and Wu D J 2001 *Phys. Lett. A* **283** 313
- [ 6 ] Ke S Z , Cao L and Wu D J 2001 *Phys. Lett. A* **281** 113
- [ 7 ] Luo X Q and Zhu S Q 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 977 ( in Chinese ) [ 罗晓琴、朱士群 2002 物理学报 **51** 977 ]
- [ 8 ] Luo X Q , Zhu S Q and Gao W J 2001 *Chin. Phys.* **10** 1011
- [ 9 ] Zhou X J , Cao L and Wu D J 1998 *Chin. Phys. Lett.* **15** 183
- [ 10 ] Zhou X J , Cao L and Wu D J 1999 *Acta Opt. Sin.* **19** 7 ( in Chinese ) [ 周小计、曹 力、吴大进 1999 光学学报 **19** 7 ]
- [ 11 ] Liang G Y , Cao L and Wu D J 2003 *Chin. Phys.* **12** 1105
- [ 12 ] Liang G Y , Cao L , Zhang L and Wu D J 2003 *Chin. Phys.* **12** 1109
- [ 13 ] Wang J , Cao L and Wu D J 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 1217
- [ 14 ] Dykman M I et al 1992 *Phys. Rev. A* **46** 1713
- [ 15 ] Hernandez-Garcia E et al 1990 *Phys. Rev. A* **42** 6823

## Normalized intensity fluctuation for bias signal modulation in a single-mode laser driven by colored correlated noises<sup>\*</sup>

Han Li-Bo<sup>1,2)</sup> Cao Li<sup>1)</sup> Wu Da-Jin<sup>3)</sup> Wang Jun<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> State Key Laboratory of Laser Technology , Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 , China )

<sup>2)</sup> Department of Physics , Yangtze University , Jingzhou 434020 , China )

<sup>3)</sup> Department of Physics , Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 , China )

( Received 13 November 2003 ; revised manuscript received 3 February 2004 )

### Abstract

Using the linear approximation method , the normalized intensity fluctuation( NIF ) for bias signal modulation is calculated in a gain-noise model of a single-mode laser driven by colored correlated noises , in which each is colored ; and the influences of the strength of bias signal modulation , the frequency of period signal , the correlation strength and correlation time of noises on NIF is studied in detail. We observed that a minimum appears in the NIF versus pump noise intensity curve and quantum noise intensity curve ; the normalized intensity fluctuations of a single-mode laser for bias signal-modulation and direct signal modulation are compared.

**Keywords** : bias signal-modulated , normalized intensity fluctuation , linear approximation method

**PACC** : 4250 , 0540 , 4260K

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China( Grant No. 10275025 ) and the Key Project of Education Bureau of Hubei Province , China ( Grant No. 2003A006 ).