

光参量啁啾脉冲放大系统非线性晶体长度确定及调谐方法研究

邓青华[†] 丁 磊 贺少勃 唐 军 谢旭东 卢振华 董一芳

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

(2009 年 6 月 22 日收到; 2009 年 7 月 25 日收到修改稿)

首先介绍了模拟光参量啁啾脉冲放大(OPCPA)过程的多种计算模型,在此基础上提出了三步走逐步逼近算法,以确定 OPCPA 过程中最稳输出时所需的非线性晶体长度. 这种算法综合利用了上述计算模型,随着计算模型越来越精确,非线性晶体长度的计算范围越来越小,因而利用这种算法能高效、精确地确定最佳非线性晶体长度. 最后提出在 OPCPA 过程引入一定的相位失配量,来调谐最稳输出时所需晶体长度,从而能突破晶体加工精度不够的局限,在实际 OPCPA 过程中获得稳定输出.

关键词: 光参量啁啾脉冲放大, 最稳输出, 相位失配, 非线性晶体长度

PACC: 4265, 4265K

1. 引 言

相对于有能级跃迁过程的传统啁啾脉冲放大方式,光参量啁啾脉冲放大(OPCPA)技术具有诸多优势:一是能显著提高激光脉冲的信噪比;二是热效应小;三是放大介质厚度小,能减小色散及降低 B 积分,从而进一步提高系统输出光束质量;四是具有宽的增益带宽,能减小压缩脉冲宽度,从而进一步提高超短超强脉冲峰值功率. 因此,OPCPA 技术备受关注. 美国、日本、英国、中国等多个国家相继进行了大量的 OPCPA 技术研究^[1-3]. 对于 OPCPA 系统而言,稳定运行非常重要,因而 OPCPA 系统稳定性研究具有重要意义. 文献[4—8]都对 OPCPA 系统输出稳定的信号光输出进行了研究. 研究结果表明,在 OPCPA 系统中实现饱和放大时,输出信号光的稳定性大大提高. 但以上研究中忽略了注入信号光和抽运光的时间、空间分布特性. 然而实际注入信号光和抽运光均存在一定的时间波形和空间分布,这种条件下如何快速精确确定 OPCPA 系统的最稳输出时所需非线性晶体长度呢? 由于晶体长度加工精度有限,让 OPCPA 系统工作在所设计的最稳定状态非常困难,因而如何调谐 OPCPA 系统最稳

输出所需非线性晶体长度至实际晶体加工长度,从而使 OPCPA 系统真正获得稳定输出? 要在实际 OPCPA 系统获得稳定的输出放大信号光,必须解决以上两个问题. 本文就这两个问题进行研究. 文章首先建立了研究过程中需要的计算模型,然后建立了三步走逐步逼近方法快速精确确定最佳非线性晶体长度,最后就相位失配方法来调谐最佳非线性晶体长度进行研究.

2. 计算模型

在进行最佳非线性晶体长度确定及调谐研究之前,应该先建立相关的计算模型. 慢波近似条件下描述 OPCPA 过程的方程组如下,其中包含了信号光、闲频光、抽运光的时间波形及横向近场分布变化情况,称为全三维模型,即

$$\begin{aligned} & \frac{\partial A_1(x, y, z, \tau)}{\partial z} - \frac{i}{2k_1} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \\ & \times A_1(x, y, z, \tau) + \rho_1 \frac{\partial A_1(x, y, z, \tau)}{\partial y} \\ & = \frac{i\omega_1 d_{\text{eff}}}{n_1 c} A_3(x, y, z, \tau) \\ & \times A_2^*(x, y, z, \tau) \exp(-i\Delta kz), \end{aligned} \quad (1a)$$

[†] E-mail: dqhaj@yahoo.com.cn

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial A_2(x, y, z, \tau)}{\partial z} - \frac{i}{2k_2} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \\
& \times A_2(x, y, z, \tau) + \rho_2 \frac{\partial A_2(x, y, z, \tau)}{\partial y} \\
& = \frac{i\omega_2 d_{\text{eff}}}{n_2 c} A_3(x, y, z, \tau) \\
& \times A_1^*(x, y, z, \tau) \exp(-i\Delta kz), \quad (1b) \\
& \frac{\partial A_3(x, y, z, \tau)}{\partial z} - \frac{i}{2k_3} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \\
& \times A_3(x, y, z, \tau) + \rho_3 \frac{\partial A_3(x, y, z, \tau)}{\partial y} \\
& = \frac{i\omega_3 d_{\text{eff}}}{n_3 c} A_1(x, y, z, \tau) \\
& \times A_2(x, y, z, \tau) \exp(i\Delta kz), \quad (1c)
\end{aligned}$$

其中, $A_j, n_j, \rho_j (j = 1, 2, 3)$ 分别代表三波的电场、折射率和光波在非线性介质中传播时 Poynting 矢量的走离角; c 为真空中光速; z 为光的 z 轴传播方向; Δk 为三波耦合的相位失配量; d_{eff} 代表三波作用晶体的有效非线性系数. 当相互作用的信号光、抽运光、闲频光在非线性晶体中为寻常光时, 无走离现象, 此时耦合波方程中的走离角是非共线角.

与全三维模型相应的注入信号光和抽运光, 也应该包含时间分布和横向近场分布信息. 在 OPCPA 过程中, 注入信号光是啁啾脉冲. 不失一般性, 假设注入信号光脉冲为

$$\begin{aligned}
E_s(x, y, \tau) &= A_s(x, y) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^{2m_1} \right] \\
&\times \exp \left[-\frac{ib}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^2 \right] \exp(-i\omega_0 \tau), \quad (2)
\end{aligned}$$

式中 $A_s(x, y)$ 为信号光振幅的横向空间分布, 脉冲波形假设为 m_1 阶的 Gauss 型, T_s 为光强峰值 e^{-1} 处的半宽值, b 是信号光脉冲的啁啾系数, ω_0 是信号光脉冲的中心角频率. 则啁啾光脉冲的角频率分布为

$$\omega(\tau) = -\frac{\partial \phi}{\partial t} = \omega_0 + \frac{b\tau}{T_s^2}. \quad (3)$$

由(3)式可知, 信号光脉冲不同时刻的角频率不同, 结合(2)式可知: 由于信号光具有一定的时间波形, 因而不同频率成分的光有不同的强度. 抽运光为窄带光, 这里假设为单色光. 因而抽运光脉冲表示为

$$\begin{aligned}
E_p(x, y, \tau) &= A_p(x, y) \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_p} \right)^{2m_2} \right] \\
&\times \exp(-i\omega_p \tau), \quad (4)
\end{aligned}$$

式中 $A_p(x, y)$ 为抽运光振幅的横向分布, 抽运光脉

冲波形假设为 m_2 阶的 Gauss 型, T_p 为光强峰值 e^{-1} 处的半宽值, ω_p 是抽运光脉冲的角频率.

在全三维模型的基础上, 本文还建立了两种简化计算模型: 单色平面波模型和平面波模型. 在单色平面波计算模型中, 忽略抽运光和信号光的空间和时间分布, 并且信号光假设为单色光, 其角频率为信号光中心角频率 ω_0 . 信号光表示为

$$E_s = A_s \exp(-i\omega_0 \tau). \quad (5)$$

抽运光表示为

$$E_p = A_p \exp(-i\omega_p \tau). \quad (6)$$

方程组(1)也简化为

$$\frac{\partial A_1(z)}{\partial z} = \frac{i\omega_1 d_{\text{eff}}}{n_1 c} A_3(z) A_2^*(z) \exp(-i\Delta kz), \quad (7a)$$

$$\frac{\partial A_2(z)}{\partial z} = \frac{i\omega_2 d_{\text{eff}}}{n_2 c} A_3(z) A_1^*(z) \exp(-i\Delta kz), \quad (7b)$$

$$\frac{\partial A_3(z)}{\partial z} = \frac{i\omega_3 d_{\text{eff}}}{n_3 c} A_1(z) A_2(z) \exp(i\Delta kz). \quad (7c)$$

在平面波计算模型中, 忽略抽运光和信号光的空间分布, 将信号光简化为线性啁啾平面波, 而将抽运光简化为单色平面波. 信号光表示为

$$\begin{aligned}
E_s(\tau) &= A_s \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^{2m_1} \right] \\
&\times \exp \left[-\frac{ib}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^2 \right] \exp(-i\omega_0 \tau). \quad (8)
\end{aligned}$$

抽运光表示为

$$E_p(\tau) = A_p \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_p} \right)^{2m_2} \right] \exp(-i\omega_p \tau). \quad (9)$$

方程组(1)也简化为

$$\begin{aligned}
\frac{\partial A_1(z, \tau)}{\partial z} &= \frac{i\omega_1 d_{\text{eff}}}{n_1 c} A_3(z, \tau) A_2^*(z, \tau) \\
&\times \exp(-i\Delta kz), \quad (10a)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial A_2(z, \tau)}{\partial z} &= \frac{i\omega_2 d_{\text{eff}}}{n_2 c} A_3(z, \tau) A_1^*(z, \tau) \\
&\times \exp(-i\Delta kz), \quad (10b)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial A_3(z, \tau)}{\partial z} &= \frac{i\omega_3 d_{\text{eff}}}{n_3 c} A_1(z, \tau) A_2(z, \tau) \\
&\times \exp(i\Delta kz). \quad (10c)
\end{aligned}$$

3. 最佳非线性晶体长度确定方法

为了快速精确地确定 OPCPA 过程最稳输出时所需的非线性晶体长度, 本文提出了三步走逐步逼近方法. 该方法的具体步骤如下(文中所有计算过程都是针对三硼酸锂晶体(LBO)进行的, LBO 晶体

的详细参数见文献[9]]：

第一步 用单色平面波模型初步得到非线性晶体的最佳长度

由单色平面波模型可得信号光为

$$E_s = A_{s0} \exp(-i\omega_0 \tau), \tag{11}$$

式中 A_{s0} 是根据信号光脉冲的能量、脉宽、光束尺寸等数据计算出来的平均光强所对应的振幅。抽运光表示为

$$E_p = A_{p0} \exp(-i\omega_p \tau). \tag{12}$$

式中 A_{p0} 同样是根据抽运光脉冲的能量、脉宽、光束尺寸等数据计算出来的平均光强所对应的振幅。

假设初始抽运光强为 10^{13} W/m^2 ，波长为 $527 \times 10^{-9} \text{ m}$ ，信号光强为 10^5 W/m^2 ，波长为 $1053 \times 10^{-9} \text{ m}$ ，将这些初始值作为方程组(7)的初始条件，利用四

阶 Range-Kuta 法进行求解(7)式即可得到放大过程中信号光强的变化情况。此时由于只考虑信号光中心波长，所以相位完全匹配，即 $\Delta k = 0$ 。当抽运光强度为假定初始值、初始值基础上增大 5%、初始值基础上减小 5% 时，放大后信号光光强随 LBO 晶体长度变化情况如图 1 所示。由图 1 可知，当抽运光强变化时，信号光光强变化曲线在 A 点汇聚、由此可以断定该处信号光输出光强的稳定性将大大提高。对不同晶体长度处信号光强的稳定性进行分析，结果如图 2 所示。稳定性分析过程：假设抽运光强分别为假定初始值，在所假定初始值基础上增大一定比例，和在所假定初始值基础上减小一定比例时，计算得到的信号光输出光强分别为 $I_{p0}(L)$ ， $I_i(L)$ ， $I_d(L)$ ，不同 LBO 晶体长度处的输出稳定性值为

$$R(L) = \frac{\max[I_{p0}(L), I_i(L), I_d(L)] - \min[I_{p0}(L), I_i(L), I_d(L)]}{I_{p0}(L)} \tag{13}$$

由图 2 可知：在 A 点附近，信号光强的稳定性大大提高，这一区域称为饱和放大区；晶体长度为 $3.877 \times 10^{-2} \text{ m}$ 时，输出信号光强稳定性最好，当抽运光强变化 10% 时，输出信号光强变化为 4.975%，仅为抽运光强起伏大小的一半。所以 LBO 晶体的最佳长度 L_{opt0} 初步定为 $3.877 \times 10^{-2} \text{ m}$ 。

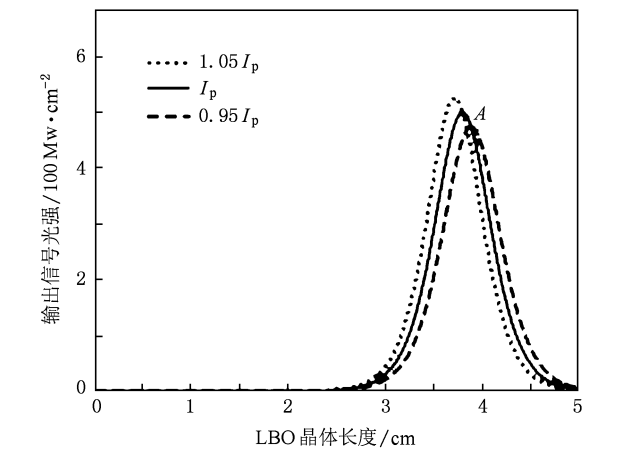


图 1 抽运光强变化时输出信号光强随晶体长度变化曲线

第二步 利用平面波模型对最佳晶体长度进一步确定

由于信号光是宽带啁啾光，不同时刻信号光频率不同。在一定晶体相位匹配角条件下，信号光频率变化时会引入一定相位失配量。在固定的抽运强

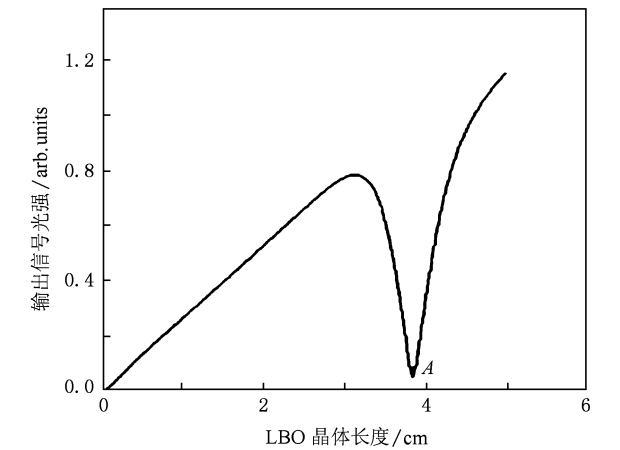


图 2 抽运光强变化时输出信号光强稳定性变化曲线

度和信号光强度条件下，相位失配量不同时，放大过程中信号光强随晶体长度变化情况不完全相同。而且抽运光和信号光都有特定波形，不同时刻的抽运光强和信号光强也不同，这种条件下，放大后信号光强随晶体长度变化情况也不完全相同。以上两个原因都决定了对于特定波形的啁啾信号光脉冲，不同时刻点最稳输出时所需晶体长度不同。为了求得整个信号光脉冲放大过程中最稳输出时对应的最佳晶体长度，需用平面波模型对整个信号光脉冲的放大情况进行模拟分析，最后在时间上积分得到总的输出结果，依据抽运光强起伏变化条件下积分

输出结果的稳定性情况进一步确定最佳晶体长度. 这一计算过程是建立在上一步计算结果基础上的, 晶体长度的变化范围是以上一步计算结果所得到的最佳晶体长度为中心的一小段长度, 即 $(L_{\text{opt0}} - \Delta L1, L_{\text{opt0}} + \Delta L1)$.

这里仍假设信号光 Gauss 波形, 脉冲的半高全宽为 1.4×10^{-9} s, 光谱带宽为 11.4×10^{-9} m, 最大光强为 10^5 W/m^2 时, 抽运光为 3 阶超 Gauss 波形, 脉冲的半高全宽为 3×10^{-9} s, 最大光强为 10^{13} W/m^2 . 抽运光和信号光的脉冲波形如图 3 所示.

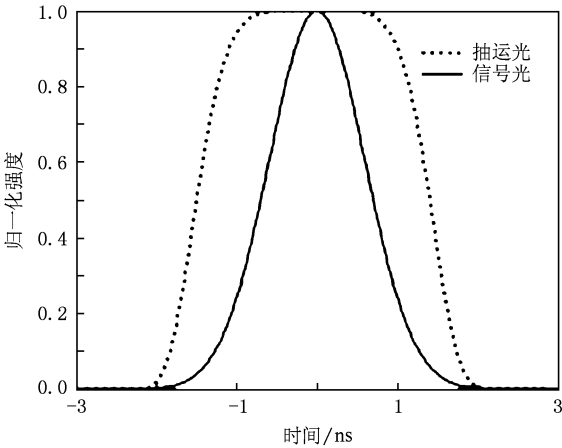


图 3 抽运光和信号光时间波形

利用平面波模型对有时间分布的抽运光、信号光、闲频光在 LBO 晶体中的放大过程进行模拟, LBO 晶体长度变化时, 放大输出的最大信号光强度及分布均在变化, 将输出信号光强进行累积可得总的输出强度. 假设计算过程中 LBO 晶体长度范围是以上一步所得最佳晶体长度为中心的 10^{-3} m 长度内, 即 $[L_{\text{opt0}} - 0.5 \times 10^{-3}, L_{\text{opt0}} + 0.5 \times 10^{-3}]$. 当保持信号光不变, 抽运光强为以上假定初始值时、增大 5%、减小 5% 时放大后信号光输出积分光强变化情况如图 4 所示. 由图 4 可知, 3 条曲线依然有交叠区域, 在该区域内, 输出信号光的稳定性会大大提高. 对这 3 条曲线所示输出结果进行稳定性分析, 结果如图 5 所示. 由图 5 可知: 当 LBO 晶体长度为 3.982×10^{-2} m 时, 系统输出最稳定, 起伏仅为 3.84%, 所以 LBO 晶体的最佳长度进一步修正为 $L_{\text{opt1}} = 3.982 \times 10^{-2}$ m. 考虑信号光、抽运光时间波形后, 最佳 LBO 晶体长度有所增大, 且稳定性也稍有提高.

第三步 利用三维模型对最佳晶体长度进行最后确定

抽运光和信号光之间的光束口径匹配关系确

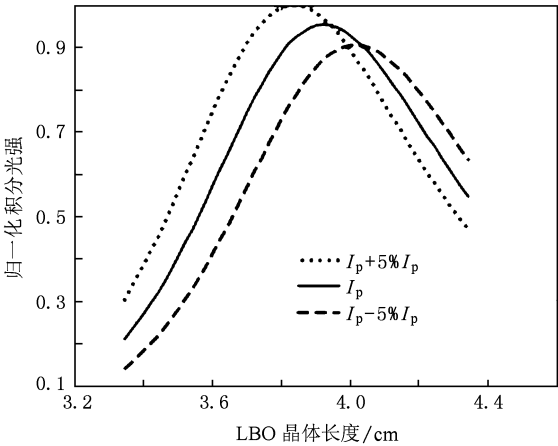


图 4 抽运光强变化时输出信号光积分强度随晶体长度变化曲线

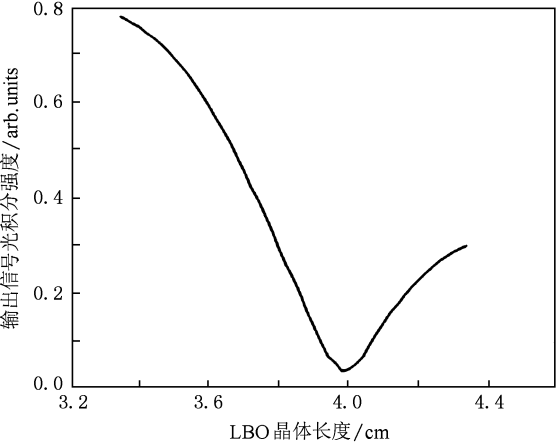


图 5 抽运光强变化时输出信号光积分强度稳定性变化曲线

定后, 利用三维模型对信号光的放大过程进行全面模拟研究, 确定考虑了信号光、抽运光时空分布后最佳的非线性晶体长度. 此时信号光表示为

$$E_s(x,y,\tau) = A_{s3} \exp \left\{ - \left[(x^2 + y^2) / r_s^2 \right]^{m_1} \right\} \times \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^{2m_1} \right] \exp \left[- \frac{ib}{2} \left(\frac{\tau}{T_s} \right)^2 \right] \times \exp(-i\omega_0 \tau), \tag{14}$$

式中 A_{s3} 是根据信号光脉冲的能量、脉冲波形、光束空间分布等计算出来的最大光强所对应的振幅. 抽运光表示为

$$E_p(x,y,\tau) = A_{p3} \exp \left\{ - \left[((x - x_0)^2 / r_{px}^2)^{m_2} + ((y - y_0)^2 / r_{py}^2)^{m_2} \right] \right\} \times \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{\tau}{T_p} \right)^{2m_2} \right] \times \exp(-i\omega_p \tau). \tag{15}$$

式中 A_{p3} 是根据抽运光脉冲的能量、脉冲波形、光束空间分布等计算出来的最大光强所对应的振幅。

假设抽运光为 3 阶超 Gauss 脉冲,半高全宽为 3×10^{-9} s,空间分布为 8 阶方形超 Gauss 分布,半高全宽为 2×10^{-3} m,最大光强为 10^{13} W/m²,信号光为 Gauss 形脉冲,半高全宽为 1.4×10^{-9} s,空间分布为圆形 Gauss 分布,半高全宽为 1.5×10^{-3} m,光谱带宽为 11.4×10^{-9} m,最大光强为 10^5 W/m². 将这些初始条件代入方程组(10),即可求得信号光在 OPCPA 过程中的时空变化情况. 将光强在时间、空间积分后即可得输出信号光能量变化情况. 计算过程中晶体长度变化范围进一步减小,是以 L_{opt1} 为中心的 0.4×10^{-3} m 长度. 抽运光能量起伏 10% 时,放大过程信号光能量变化曲线如图 6 所示. 对图 6 所示结果进行稳定性分析,结果如图 7 所示. 由图 7 可得,考虑抽运光、信号光时空分布后信号光输出能量稳定性在 LBO 晶体长度为 4.042×10^{-2} m 时最好. 所以晶体的最佳长度 L_{opt1} 最终确定为 4.042×10^{-2} m.

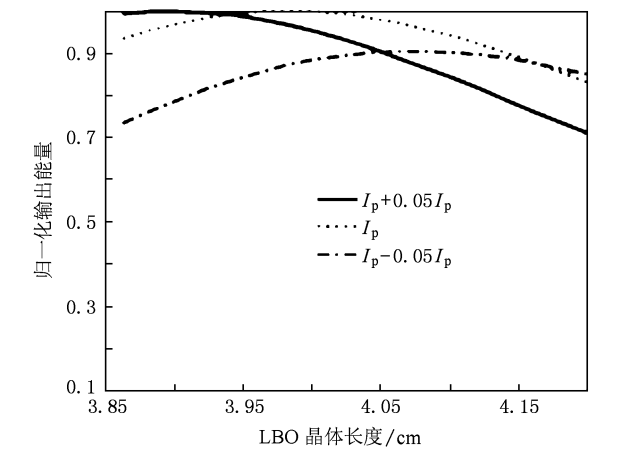


图 6 抽运光强变化时输出信号光能量随晶体长度变化曲线

上面模拟分析中对抽运光、信号光的时间、空间分布采用了 Gauss 或超 Gauss 拟合分布. 但实际系统设计中,应该用实际测量到的抽运光及信号光的能量、时间波形、空间分布等数据分析得到抽运光和信号光真实时空分布并进行优化设计. 在非线性晶体长度优化过程中利用上述三步走逐步逼近方法能高效精确地确定最佳非线性晶体长度.

4. 最佳非线性晶体长度调谐方法

由图 2,5,7 可知:当 OPCPA 过程进入饱和放大

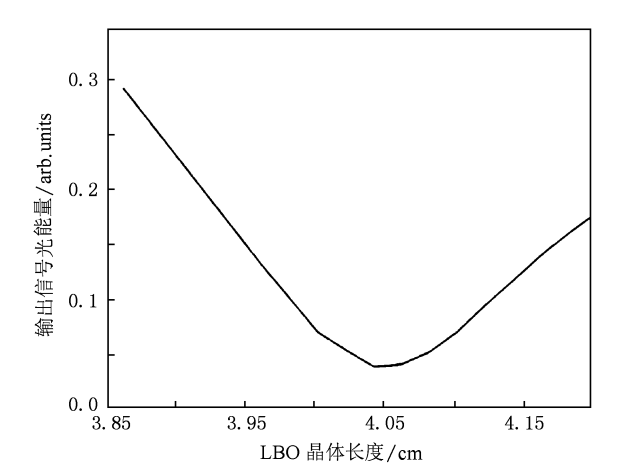


图 7 抽运光强变化时输出信号光能量稳定性变化曲线

阶段,能大大提高系统输出稳定性,尤其在特定晶体长度处能实现非常好的稳定性. 但要将晶体长度精确地加工到这个特定长度是很困难的,下面的计算结果表明可以通过在 OPCPA 过程中引入一定的相位失配量对输出最稳时所需晶体长度进行调谐从而解决晶体长度加工精度问题.

由于平面波模型中已考虑了信号光的频谱分布,而 OPCPA 过程中的相位失配量和晶体的相位匹配角/温度、信号光的频率相关,所以利用平面波模型对相位失配的 OPCPA 过程进行研究.

OPCPA 过程中,由于信号光具有宽带特点,而任何一种相位匹配方式均不能对信号光内所有频率实现完全相位匹配,相位匹配仅针对信号光中心频率而言,所以这里所指的相位失配也是针对信号光中心频率而言的. 上文中讨论的相位匹配都是在 20 ℃ 条件下利用角度匹配实现的. 信号光中心波长为 1053×10^{-9} m、抽运光波长为 527×10^{-9} m 时,在 LBO 晶体中的相位匹配角为 12.03°. 可以用匹配角度偏离相位匹配角和温度偏离 20 ℃ 两种方法在上述 OPCPA 过程中引入相位失配. 下面仅就角度偏离方法进行模拟研究.

仍然假设抽运光为 3 阶超 Gauss 波形,脉冲的半高全宽为 3×10^{-9} s,最大光强为 10^{13} W/m²,信号光为 Gauss 波形,脉冲半高全宽为 1.4×10^{-9} s,光谱带宽为 11.4×10^{-9} m,最大光强为 10^5 W/m². 当在光参量放大过程中引入不同的失谐角度时,放大后信号光积分强度随晶体长度变化情况如图 8 所示. 由图 8 可知,随着失谐角度的增大,信号光积分强度变化曲线向晶体长度增大方向平移. 依然假设抽运光强起伏 10%,对不同失谐角度条件下的信号光放

大过程进行模拟计算. 失谐角为 $0, 1.2 \times 10^{-3}$ rad 情况下, 抽运光强起伏时输出信号光积分强度变化情况如图 9 所示. 由图 9 可知, 失谐角度为 1.2×10^{-3} rad 时的汇聚相交时 LBO 晶体长度相对于失谐角度为 0 时的更长, 所以随着失谐角度的增大, 抽运光起伏变化时信号光积分强度汇聚相交位置也向晶体长度增大方向平移, 最稳输出时信号光强度稍有下降. 对不同失谐角条件下, 抽运光起伏时输出信号光强积分强度的稳定性进行分析, 结果如图 10 所示. 由图 10 可知: 随着失谐角度的逐渐增大, 信号光最稳输出时 LBO 晶体长度逐渐增大, 当失谐角为 1.2×10^{-3} rad 时, 最佳非线性晶体长度增大了 1.3×10^{-3} m; 在不同失谐条件下能得到几乎相同的输出稳定性. 因而设计加工 LBO 非线性晶体时, 可使其长度稍微大于设计最佳长度, 在实际应用过程中

通过引入适当的相位失谐角使放大输出稳定性达到最佳状态.

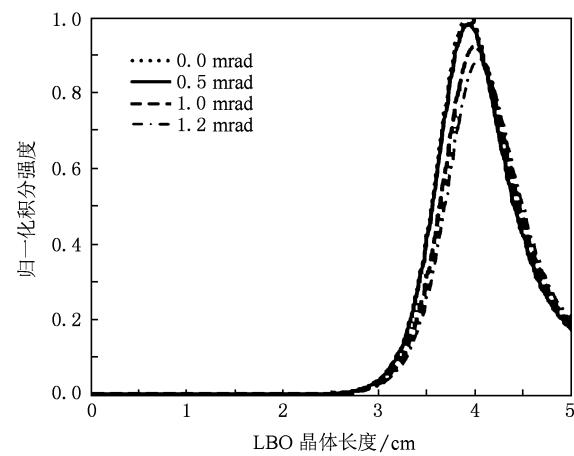


图 8 不同失谐角度时放大后信号光积分强度变化曲线

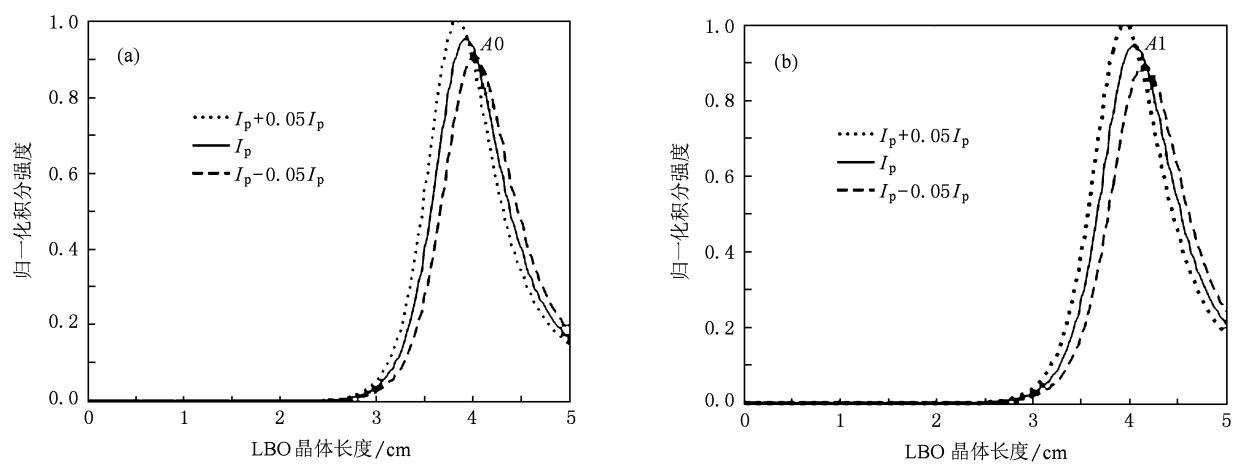


图 9 不同失谐角度条件下抽运光强变化时放大后信号光积分强度变化曲线 (a)0 mrad, (b)1.2 mrad

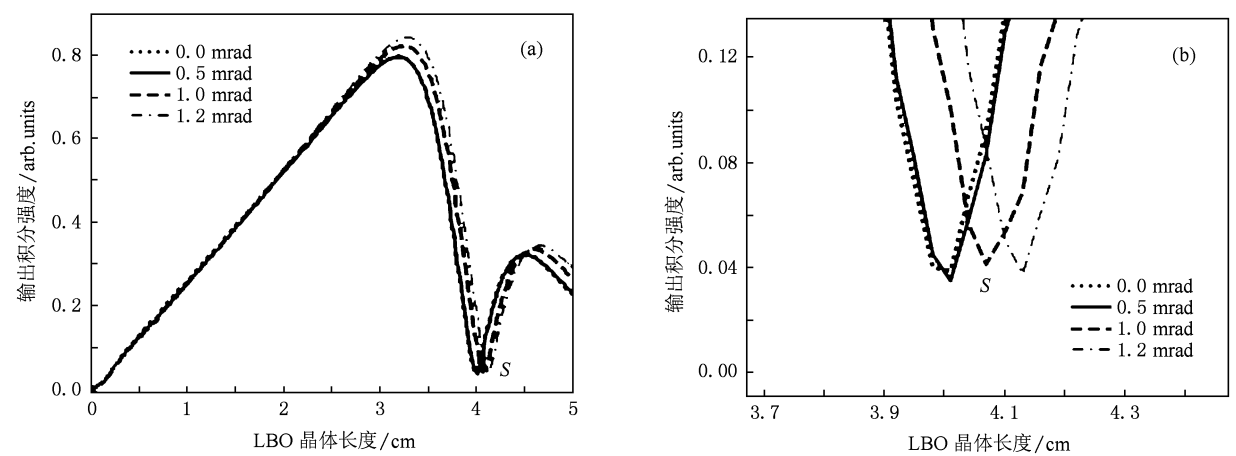


图 10 不同失谐角条件下抽运光强度起伏时输出积分强度稳定性变化曲线 ((b)图为(a)图中稳定 S 区的放大)

5. 结 论

本文首先给出了模拟 OPCPA 过程的多种计算模型: 全三维模型、单色平面波模型、平面波模型. 在这些模型基础上就三步走逐步逼近算法进行研究. 研究结果表明: 这种方法能快速、精确地确定 OPCPA 过程中最稳输出时所需的非线性晶体长度.

最后就 OPCPA 过程最佳非线性晶体长度调谐方法进行研究. 研究结果表明: 在 OPCPA 过程中引入一定相位失配量能调谐最佳非线性晶体长度; 随着相位失谐角的增大, 最稳输出时所需非线性晶体长度变长. 因此在设计加工非线性晶体时, 可使其长度稍微大于设计的最佳长度, 在实际应用过程中通过引入适当的相位失谐角使放大输出稳定性达到最佳状态.

- [1] Liu H G, Zhang R B, Zhang H Q, Zhu C, Ma J, Wang Q Y 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4635 (in Chinese) [刘华刚、章若冰、张海清、朱 晨、马 晶、王清月 2007 物理学报 **56** 4635]
- [2] Liu H G, Zhang R B, Zhu C, Cai L, Wang Q Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2981 (in Chinese) [刘华刚、章若冰、朱 晨、柴 路、王清月 2008 物理学报 **57** 2981]
- [3] Zeng S G, Zhang B 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2476 (in Chinese) [曾曙光、张 彬 2009 物理学报 **58** 2476]
- [4] Zhang S K, Fujita M, Yamanaka M 2000 *Opt. Commun.* **184** 451
- [5] Ross I N, Matousek P, New G H C, Osvey K 2002 *J. Opt. Soc. Am. B* **19** 2945
- [6] Guardalben M J, Keegan J, Waxer L J 2003 *Opt. Express* **11** 2511
- [7] Wei X F, Lü Z W, Zeng X M, Huang X J, Zhu Q H, Wang X D, Liu L Q, Zhou K N, Wang X, Guo Y 2004 *High Power Laser Particle Beams* **16** 1540 (in Chinese) [魏晓峰、吕志伟、曾小民、黄晓军、朱启华、王晓东、刘兰琴、周凯南、王 道、郭 仪 2004 强激光与粒子束 **16** 1540]
- [8] Liu H J, Chen G F, Zhao W, Wang Y S 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 105 (in Chinese) [刘红军、陈国夫、赵 卫、王屹山 2004 物理学报 **53** 105]
- [9] Zhang K C, Wang X M 2005 *Science of Nonlinear Optics Crystal Materials* (Beijing: Science Press) [张克从、王希敏 2005 非线性光学晶体材料科学 (北京: 科学出版社)]

Methods for determining and detuning the length of nonlinear crystal in optical pulse chirped amplifier

Deng Qing-Hua[†] Ding Lei He Shao-Bo Tang Jun Xie Xu-Dong Lu Zhen-Hua Dong Yi-Fang

(Laser Fusion Research Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

(Received 22 June 2009; revised manuscript received 25 July 2009)

Abstract

Three kinds of simulating models for optical pulse chirped amplifier (OPCPA) are introduced at first. Then the three-step way to determine the length of the nonlinear crystal for most stable output is put forward. In this method, all the there models are used. As the more complex models are used, the ranging length for simulation becomes shorter. So it is efficient and accurate to useing this method to determine the optimized nonlinear crystal length. Then the way is also studied to introduce some phase mismatching in OPCPA to detune the nonlinear crystal length for most stable output. Simulating results show that as the mismatching angles increases, the nonlinear crystal length for most stable output becomes longer. So it is suggested that the nonlinear crystal be manufactured longer than designed. Most stable output can be obtained by introducing some phase mismatching in the experiments.

Keywords: optical pulse chirped amplifier, most stable output, mismatched phase, length of nonlinear crystal

PACC: 4265, 4265K

[†] E-mail: dqhaj@yahoo.com.cn