

MATLAB 在光学谐振腔设计中的应用

陈守满

(安康师范专科学校 物理系, 陕西 安康 725000)

摘 要: 本文将 MATLAB 的数值计算和图形功能用于光学谐振腔的设计中。用它确定谐振腔的参数, 并对谐振腔内光线进行基于 MATLAB 的计算机模拟, 得到较好模拟效果。

关键词: MATLAB; 光学谐振腔; 模拟

中图分类号: O43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009 - 024X (2004) 06 - 0071 - 03

The Application of MATLAB in Optical Resonators' Designing

CHEN Shouman

(Department of Physics, Ankang Teachers' College, Ankang 725000, Shaanxi, China)

Abstract: The numerical and graphical functions of MATLAB language are used in the design of the optical resonators. The parameter of a resonator can be determined by using it, and the simulation of the beams in the resonator based on MATLAB had produced preferable result.

Key words: MATLAB; optical resonator; simulation

1 引言

MATLAB (Matrix Laboratory) 是一套数值分析软件, 可以实现数值分析、优化、统计、偏微分方程数值解、自动控制、信号处理、图像处理等若干领域的计算和图形显示功能。自 1982 年 Math Works 公司推出 MATLAB 以来, 经过二十余年的发展, 它已经成为国际上最流行的科学与工程计算的软件工具和具有广泛应用前景的计算机高级编程语言。有人称之为“第四代”计算机语言^[1]。传统的计算机编程语言, 如 FORTRAN、C 语言等在处理高阶微分方程和大规模联立方程组问题时, 大量的时间和精力都花在矩阵处理(如矩阵输入、求逆、稀疏矩阵处理等)和图形的生成分析等繁琐易错的细节上。而被誉为第四代计算机语言的 MATLAB 是一种交互式、面向对象的程序设计语言, 在矩阵处理和图形处理等方面有着得天独厚的优势^[2]。MATLAB 的最大特点在于功能强大而界面友好, 其丰富的库函数和各种专用工具箱, 将使用者从繁琐的底层编程中解放出来, 使他们有更多时间和精力去探究科学问题本身; 它对科学计算结果迅捷而准确的可视化能力, 有助于使用者化抽象思维为形象思维, 从而更好地洞察含义、理解概念、发现规律^[3,4,5]。本文介绍了 MATLAB 程序设计语言在光学谐振腔设计中应用, 包括谐振腔参数的确定和实际模拟。

2 光学谐振腔的设计

在设计光学谐振腔的过程中, 必须考虑光束在各种光学介质中的传播问题。光学介质包括均匀各向同性介质、薄透镜、电介质界面、曲面反射镜以及有二次型折射率变化的介质或有增益变化的介质。光线从这些光学元件的透射(或反射)可用一些简单的 2×2 矩阵来描述。而且, 这些矩阵也能描述高斯光束的变化情况, 激光输出就有这种高斯光束的特性, 并且在球面镜光学谐振腔内也存在这种高斯光束^[6]。因此, 在设计光学谐振腔的过程中就存在着大量的矩阵运算和数值求解, 下面就用 MATLAB 的数值处理功能进行处理。

收稿日期: 2004 - 04 - 07

基金项目: 安康师范专科学校基金项目“居室环境智能等流研究与开发”(2003AZXZR002)。

作者简介: 陈守满(1968 -), 男, 陕西安康市人, 安康师范专科学校物理系讲师, 计算机硕士, 西安电子科技大学在读博士生, 主要研究方向: 计算机仿真, 非线性光学。

设光学谐振腔长 $L = 100\text{mm}$ ，腔内有 $\text{Nd}:\text{YAG}$ （掺铈钕铝石榴石）晶体长 $l = 10\text{mm}$ ，腔两端为平面镜，如图 1 所示。

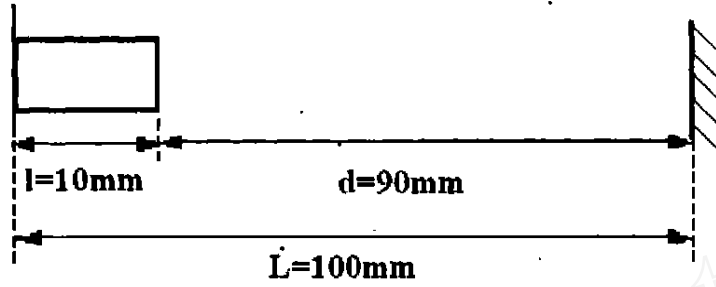


图 1 谐振腔结构示意图

以晶体左端面为参考面，光束在谐振腔内振荡一个周期分别经过 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体、空腔、右反射镜面、空腔、 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体、左反射镜面。则激光器谐振腔内光束的传输矩阵为：

$$\begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中 $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$ 为 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体的光束传输矩阵，把 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体视作是类透镜介质，则有

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) & \sqrt{\frac{k}{k_2}} \sin(\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) \\ 1 - \sqrt{\frac{k_2}{k}} \sin(\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) & \cos(\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中 $k = 2\pi/\lambda$ ， n 为介质的折射率， λ 为真空波长； k_2 是常数，与介质性质有关。

由谐振腔稳定条件： $|\frac{A_T + D_T}{2}| < 1$ ，将 A_T, D_T 的值代入得： $|A^2 + 2dAC + BC| < 1$ 得：

$$\left| \cos(2\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) - d\sqrt{\frac{k_2}{k}} \sin(2\sqrt{\frac{k_2}{k}}l) \right| < 1 \tag{2}$$

要使谐振腔光束稳定振荡，必须确定合适的 k_2/k 的值，就要对 (2) 式求解。可是无法直接求解 (2) 式，利用 *MATLAB* 进行数值求解。

令 $x = \frac{k_2}{k}, y = \left| \frac{A_T + D_T}{2} \right|$

可得 $x \sim y$ 的关系式： $y = \left| \cos(2l\sqrt{x}) - d\sqrt{x} \sin(2l\sqrt{x}) \right| < 1$

因此，只需在 *MATLAB* 命令窗口输入下面几条语句：

```
x = 0:0.000001:0.035;
y = abs(cos(20 * x) - 90 * x * sin(20 * x));
plot(x, y); grid on;
```

结果如图 2 所示，从图 2 的曲线可得稳腔条件： $x = \sqrt{\frac{k_2}{k}} = 0.03274, (\frac{k_2}{k} = 1.07 \times 10^{-3})$

3 谐振腔模拟

确定了谐振腔的参数后，就可以用 *MATLAB* 的绘图功能模拟高斯光束在腔内的传播。介质为 $\text{Nd}:\text{YAG}$ 晶体，其波长为 1064nm ，折射率为 1.5。在参考平面处的光斑尺寸为

$$= \left(- \right)^{1/2} |B_T|^{1/2} \left[1 - \left(\frac{D_T + A_T}{2} \right)^2 \right]^{-1/4} \tag{3}$$

分别求出参考面的 A_T, B_T 和 D_T 的值，代入 (3) 式得到各处的光斑尺寸，模拟结果如图 3 所示。

MATLAB 编程如下：

```

x = 0.001; %x = k2/k,可修改此值得到不同的高斯光束,如取 x = 0.0005
pi = 3.1416; L = 100; n = 1.5; d = 90; l = 10;
lamda = 1.06; % 波长
for z = 0:0.01:10 %0 < z <= l 晶体内
A1 = cos(sqrt(x).*(l-z)); B1 = sqrt(1/x).*sin(sqrt(x).*(l-z));
C1 = -sqrt(x).*sin(sqrt(x).*(l-z)); D1 = A1; % 晶体内参考面左边光线传输矩阵
A2 = cos(sqrt(x).*z); B2 = sqrt(1/x).*sin(sqrt(x).*z);
C2 = -sqrt(x).*sin(sqrt(x).*z); D2 = A2; % 晶体内参考面右边光线传输矩阵
crystal = [A2,B2;C2,D2]*[A2,B2;C2,D2]*[A1,B1;C1,D1]*[1,d;0,1]*[1,d;0,1]*
[A1,B1;C1,D1]; % 参考面处光线传输矩阵
At = crystal(1,1); Bt = crystal(1,2); Dt = crystal(2,2);
w1 = sqrt(lamda/(pi.*n).*abs(Bt));
w2 = sqrt(sqrt(1-0.25.*((At+Dt).^2)));
w = w1/w2; % 参考面处光斑的大小
plot(z,w/2); hold on
plot(z,-w/2); hold on % 画晶体内的光线
end(空腔内光线模拟程序略)

```

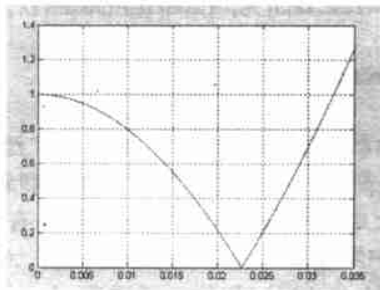


图 2 确定 k_2/k 范围的数值求解

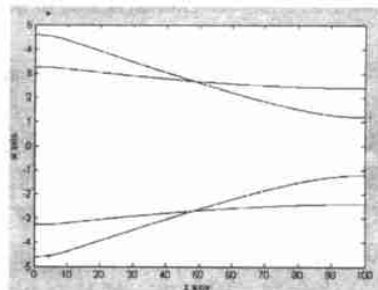


图 3 腔内光线的模拟

4 结束语

利用 MATLAB 强大的数值处理功能，为激光器的谐振腔的设计提供了便利，如果把 MATLAB 的可视化图形功能应用到谐振腔的设计中，可以得到较好的视觉效果，达到事半功倍的功效。

参考文献：

- [1] 薛定宇, 陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统模拟技术与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 清源计算机工作室. MATLAB 基础及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 陈小莉, 钟生海. MATLAB 在光学实验中的应用 [J]. 安康师专学报, 2003, (2)
- [4] 谢捷如. MATLAB 模拟技术的研究及应用 [J]. 电气技术与自动化, 2002, (5).
- [5] 刘同娟, 马向国. MATLAB 在电路分析中的应用 [J]. 电气电子教学学报, 2002, (6).
- [6] A. Yariv. Quantum Electronics [M]. John Wiley & Sons, Inc. 1975.