



山东大学  
SHANDONG UNIVERSITY

山东大学物理学院

计算物理

---

## 期末作业

---

作者：  
杨雨潼

指导老师：  
卢红旺

2021 年 1 月 9 日

# 目录

摘要	1
<b>1 动态散斑光学仿真</b>	<b>2</b>
1.1 静态散斑形成原理	2
1.2 动态散斑分析与仿真	4
1.2.1 散斑颗粒粗细	6
1.2.2 散斑场移动	7
<b>2 光学光栅仿真计算</b>	<b>9</b>
2.1 朗奇光栅	9
2.1.1 单色光仿真结果	11
2.1.2 白光仿真结果	12
2.2 闪耀光栅	15
2.2.1 反射型闪耀光栅	15
<b>3 附录</b>	<b>18</b>
3.1 动态散斑光学仿真	18
3.1.1 cross_correlation 函数	18
3.1.2 动态散斑 matlab 代码	19
3.1.3 one_step_prop 函数	21
3.1.4 circle 函数	22
3.2 光学光栅仿真计算	22
3.2.1 朗奇光栅单色光仿真	22
3.2.2 朗奇光栅白光仿真	24
3.2.3 反射型闪耀光栅	26

## 摘要

借鉴一些开源的代码与自己的知识编写的动态散斑仿真程序与光栅仿真模拟。其中动态散斑仿真程序成像面在沸腾面附近的仿真结果不错，但超出一定范围后就出现了以我目前能力无法解决的问题。希望能给同学或有需要的人起到一定的参考作用。

## 1: 动态散斑光学仿真

早在 1960 年连续光的 He-Ne 激光器运转后，我们就发现了一个意想不到的现象：观察被该光源照射的物体，会看到特殊的颗粒状斑纹图样如图

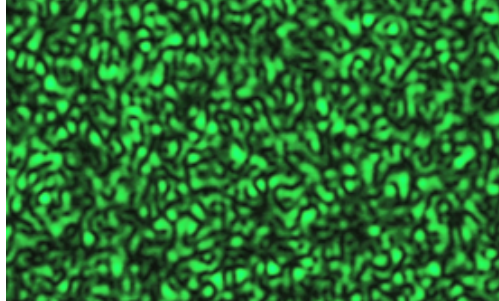


图 1: 绿色激光照耀下观测到的激光散斑

该结构与物体物表面具体细节并无明显的联系，且其颗粒分布混乱无序的，但存在着同样的统计特性，这就是所谓的散斑。

### 1.1 静态散斑形成原理

激光束所照射的表面，在光波长的尺度下是十分粗糙的。把宏观下的表面看作是大量散射面元构成，各散射面元给入射光附加不同的位相。经由表面不同面元透射或反射的子波在空间相遇时将发生干涉。由于各面元彼此无关且数量很大，随着空间点的改变，干涉光强将急剧而无规地变化，从而形成具有无规分布的颗粒状结构，也就是所看到的激光散斑。通过镜头成像或光屏捕捉，我们可以看到空间中不同位置的散斑干涉场。参考示意图-图2图3

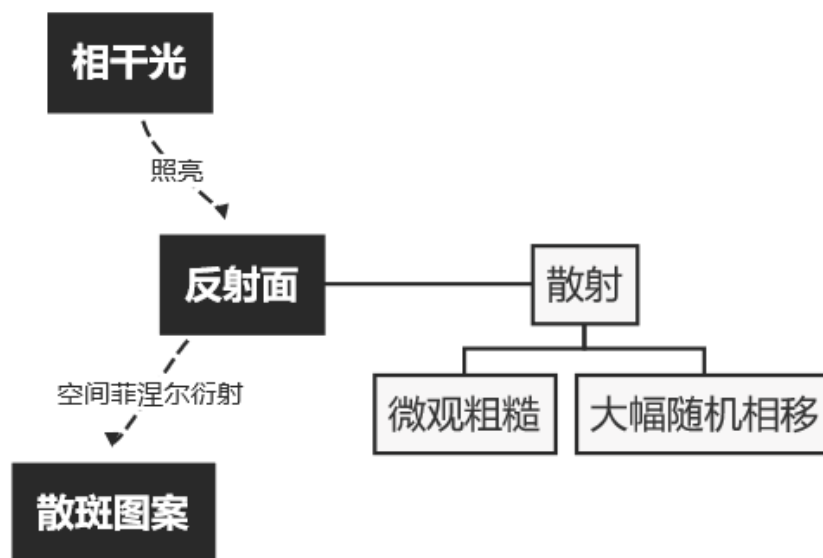


图 2: 激光散斑形成原理

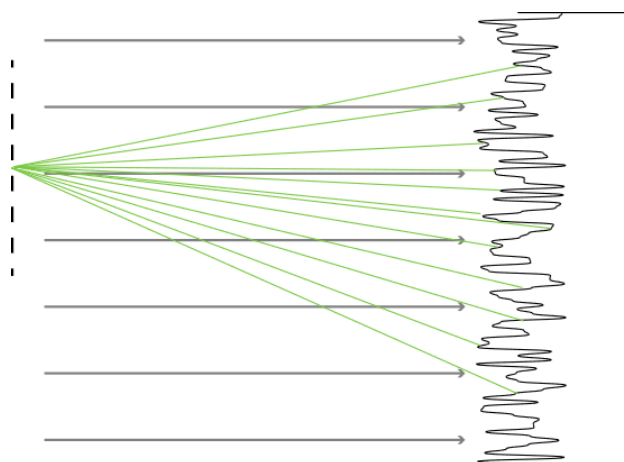


图 3: 激光散斑形成示意图

## 1.2 动态散斑分析与仿真

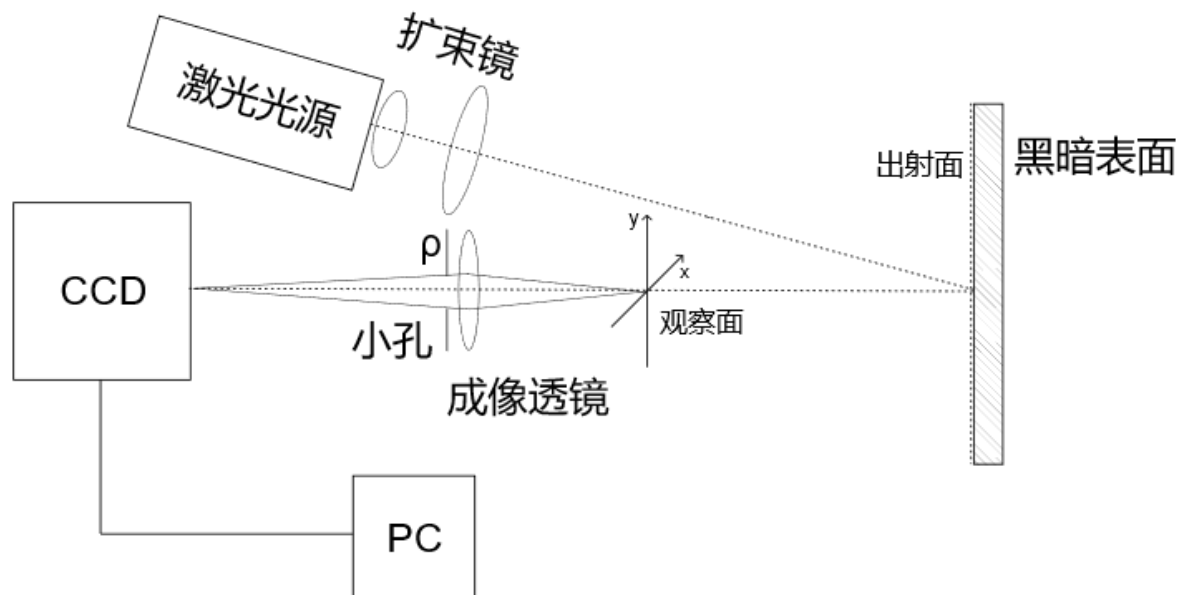


图 4: 动态散斑形成光路

在动态散斑形成光路图4中，当观察面或出射面发生移动时，观测到的散斑图案会剧烈变化。而散斑图案一般不会与散射屏以相同的速度移动。而是会以更快、更慢甚至反向的速度移动。以下是统计光学对此现象的建模分析结果, 各参数的说明见表1

参数	含义
$v$	散射屏的面内平移速度
$\tau$	两个观测点的时刻之差
$\Delta \mathbf{r}$	两个观测点的位矢之差
$\omega(z_0)$	散射表面上的激光光斑半径
$\rho(z_0)$	激光在散射面上的曲率半径
$\lambda$	激光的波长
$z$	观测面的位置，沿反射方向取正-图5
$v_t$	散斑场的平移速度

表 1: 参数说明

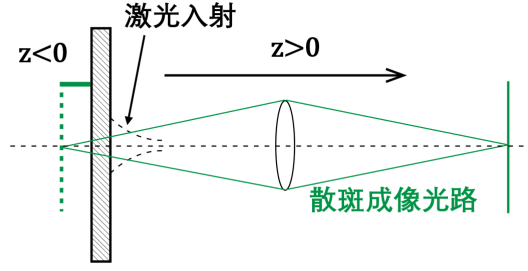


图 5:  $z$  的取向

散斑图案归一化的时间空间交叉相关函数

$$r_{\Delta}(\Delta \mathbf{r}, \tau) = \exp \left[ -\frac{|\mathbf{v}|^2 \tau^2}{w^2(z_0)} \right] \exp \left[ -\frac{\pi^2 w^2(z_0) |\Delta \mathbf{r} - \sigma \mathbf{v} \tau|^2}{\lambda^2 z^2} \right]$$

$$\sigma = 1 + \frac{z}{\rho(z_0)}$$

时间取极大值的空间相关函数

$$r_{\Delta \text{Imax}}(\Delta \mathbf{r}) = \exp \left[ -\frac{|\Delta \mathbf{r}|^2}{(\delta r)^2} (1 - \alpha) \right]$$

其中

$$\alpha = \frac{\sigma^2}{\frac{(\delta r)^2}{w^2(z_0)} + \sigma^2}$$

$$\delta r = \frac{\lambda z}{\pi w(z_0)}$$

当  $\alpha \approx 1$  时散斑的平移速度

$$v_T = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\tau_d} = \sigma \cdot \mathbf{v} = \left( 1 + \frac{z}{\rho(z_0)} \right) \mathbf{v}$$

可以看到，根据这个公式，散斑场可以有反向平移的行为。现在我们使用 Matlab 来模拟这一物理过程。所使用的代码可以在附录的“动态散斑光学仿真-动态散斑 matlab 代码”中找到  
散斑代码组成图

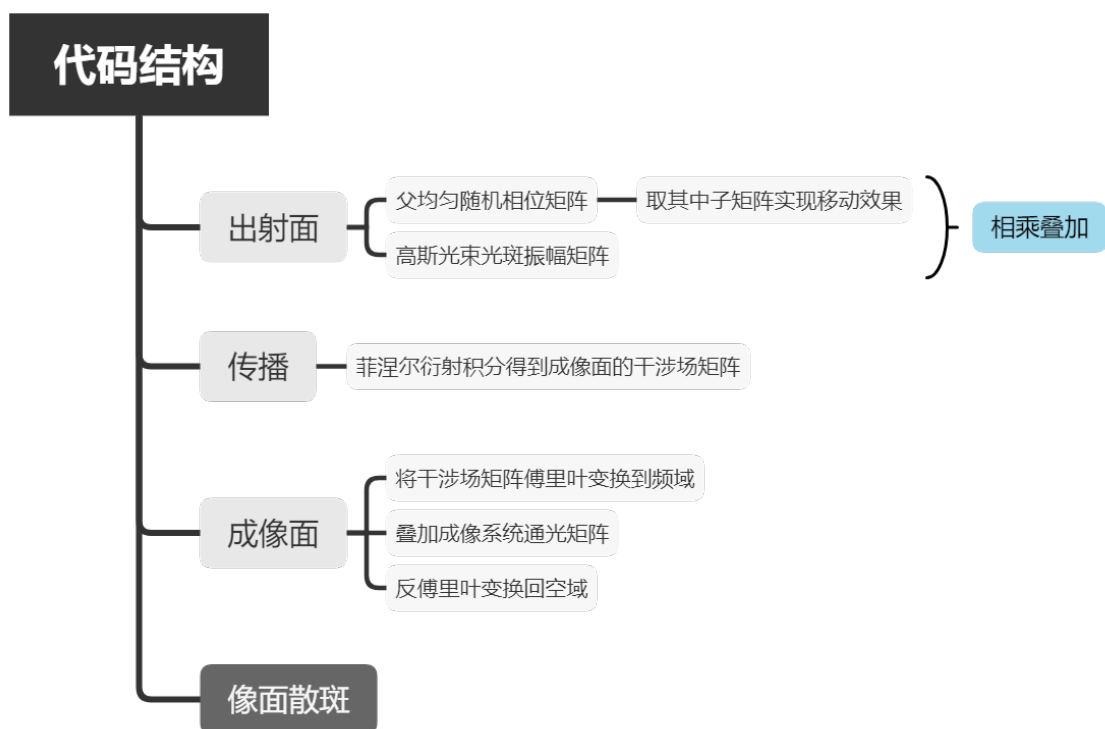
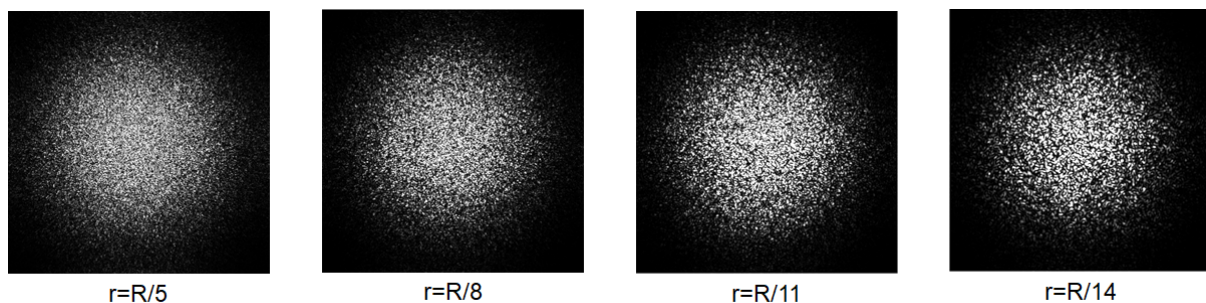


图 6: 不同工作角度

### 1.2.1 散斑颗粒粗细

根据散斑理论，可以知道散斑颗粒的直径  $|\Delta \mathbf{r}| = 1.22 \frac{\lambda z_c}{D}$ 。对与一个经过成像系统成像的散斑来说， $z_c$  为出瞳位置到成像面的距离， $D$  为成像系统的出瞳直径。定性的来说，出瞳半径，或者说通光口径（和相机的光圈成正比例关系）越小，散斑的颗粒就越粗糙。以下是仿真计算的结果， $r$  为设定的通光口径， $R$  为整个图像的边长。通光口径的形状为位于坐标原点的一个圆形。





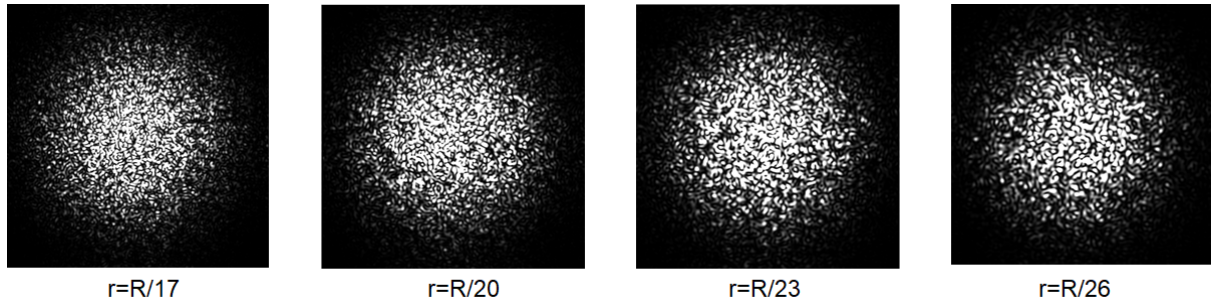


图 7: 不同通光口径下的散斑图案

### 1.2.2 散斑场移动

要对散斑场移动进行仿真计算，首先要得到一个测量散斑场移动的工具。由于在移动过程中，散斑场并非完全平移，而是会有一定的”沸腾“现象。故我们采用互相关函数的方法来计算前后两帧散斑场计算结果之间的相关系数，得到相关度最高的坐标位置，即可以得知两帧散斑场之间最可能的位移。互相关函数的 matlab 代码见附录的 cross\_correlation 函数

接下来对一些参数进行说明。

参数	含义
$Dz$	即为观测面位置 $z$
$v$	在计算中 $v$ 取负方向，值为 1 像素每帧
$N$	子矩阵大小
$Nbig$	父矩阵大小

表 2: 参数说明 (其余参数代码中附有注释)

令  $Dz=-0.69$  米，即为  $\rho(z_0)$  的位置时，代入上式，可知散斑场移动速度  $v_T = 0$ ，以下是使用互相关函数对散斑场移动进行测量的结果。

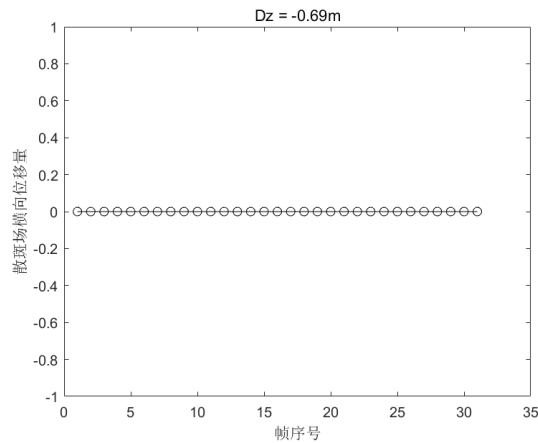


图 8:  $Dz=-0.69m$

可以看到， $r$  越小，散斑的颗粒就越大。

调整为  $D_z = -0.6\text{m}$ ，此时散斑场应该与散射屏同向移动。仿真结果显示其向负方向移动，即为散斑场的移动方向。

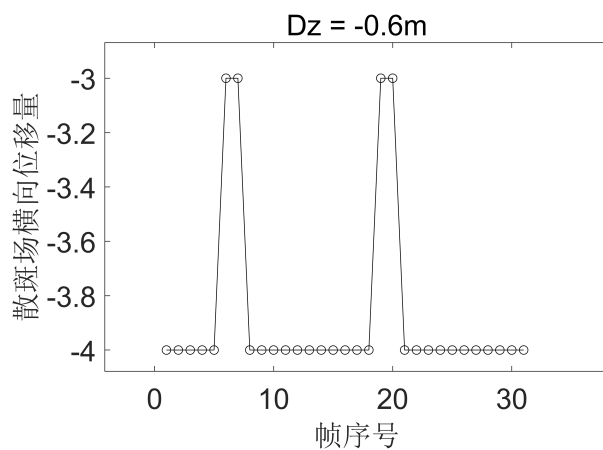


图 9:  $D_z = -0.60\text{m}$

调整为  $D_z = -0.8$ ，可以看到散斑场正向平移，与散射屏方向相反。

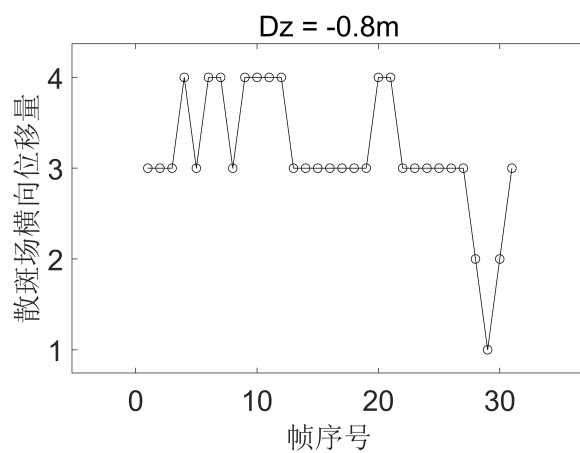


图 10:  $D_z = -0.80\text{m}$

## 2: 光学光栅仿真计算

广义的光栅定义为：可以使入射光的振幅或相位（或两者同时）受到周期性空间调制的光学元件。只能使光受到振幅调制或相位调制的光栅，分别称为振幅光栅和相位光栅。按工作方式分，光栅又可分为透射光栅（透射光受调制）和反射光栅（反射光受调制）。

通常所说的光栅指衍射光栅 (diffraction grating)，是光栅的一种。它通过有规律的结构，使入射光的振幅或相位（或两者同时）受到周期性空间调制。衍射光栅在光学上的最重要应用是作为分光器件，常被用于单色仪和光谱仪上。

光栅的形式和种类有很多，应用也十分广泛。而我们取朗奇光栅和反射型闪耀光栅进行衍射仿真计算。

### 2.1 朗奇光栅

相干光通过一条狭缝后会产生衍射的现象。而多束相干光叠加时，则会产生干涉现象。当相干光照射非连通的多个狭缝时，衍射现象和干涉现象同时发生，使得衍射图案出现缺级以及锐度增强等复杂现象。缝宽一般较小，而各部件之距离一般较远，故一般均满足夫琅禾费衍射条件。狭缝之间的距离  $d$  常被称为光栅常数。对于一个给定以下

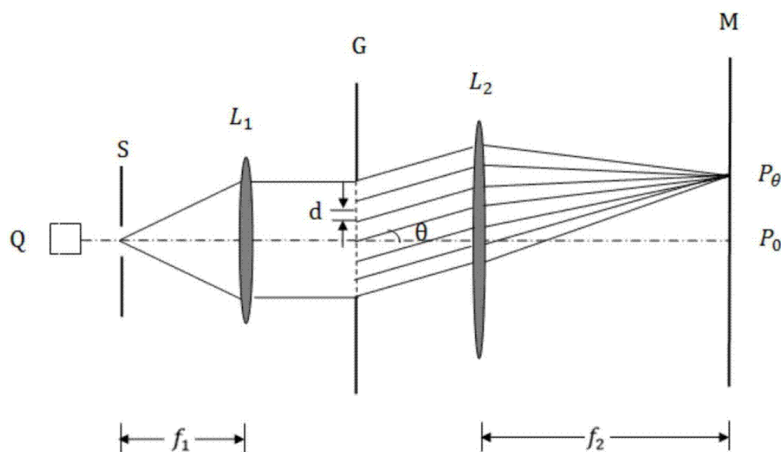


图 11: 多缝干涉

参数的光栅，我们可以计算其像面  $M$  上的光强分布。

入射角与衍射角位于缝法线的异侧时，狭缝两端衍射光的相位差之半

$$\alpha = \frac{\pi d}{\lambda} \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + f^2}} - \sin \theta \right)$$

参数	含义
$a$	缝宽
$d$	缝间距
$N$	缝数
$f_2$	像面透镜焦距
$\theta$	衍射角

表 3: 参数说明

入射角与衍射角位于缝法线的同侧时，狭缝两端衍射光的相位差之半

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + f^2}} + \sin \theta \right)$$

单缝衍射因子

$$\left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2$$

相邻狭缝对应点的相位差之半

$$\gamma = \frac{d\alpha}{a}$$

干涉因子

$$\left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right)^2$$

衍射屏上的光强

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right)^2$$

可以得到光栅方程，用以分析极强所在位置。

$$d(\sin i \pm \sin \theta) = m\lambda$$

其中  $+$  适用于入射角  $i$  与衍射角  $\theta$  位于法线同侧情况， $-$  则适用于反向情况。

参数	数值
$a$	$5 \times 10^{-5}\text{m}$
$d$	$15 \times 10^{-5}\text{m}$
$N$	7
$f_2$	0.1m
$\lambda$	632.8nm

表 4: 默认仿真参数)

### 2.1.1 单色光仿真结果

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$

我们改变缝数  $N$ , 可以看到  $N=1$  时候, 光强分布是简单的单缝衍射, 而当  $N=2$  时, 则在衍射光强分布的基础上叠加上了干涉图案。随着  $N$  的增大, 各主极强处的亮度逐渐增强, 次极强的条纹数依次增, 且第三主极强出现了缺级现象。

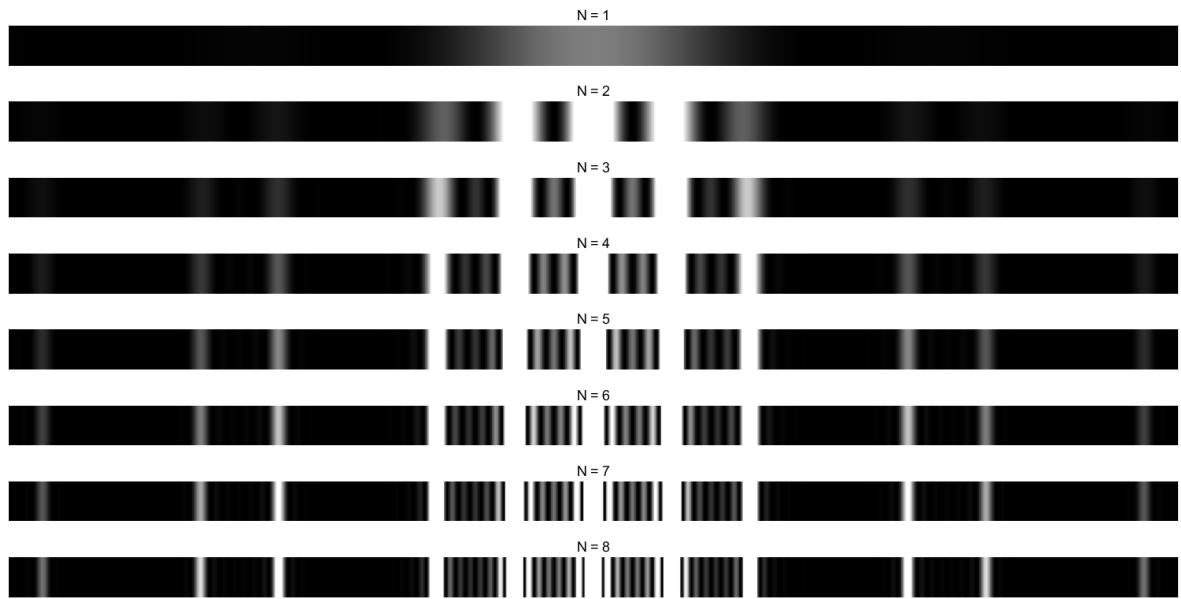


图 12: 不同  $N$  值的衍射效果

通过使  $d$  增大的方式改变  $\frac{d}{a}$  的值, 调整图像显示范围以更好观测衍射图案的特点。随着  $\frac{d}{a}$  增大, 图像的锐度逐渐升高。缺级的位置在第  $\frac{d}{a}$  级, 而由于  $d$  的大, 衍射和干涉条纹的间距都会减小, 故可以看到的条纹数量逐渐增多。但两个主极强之间的次级强数量不变, 因为次级强的数量由  $N$  决定。

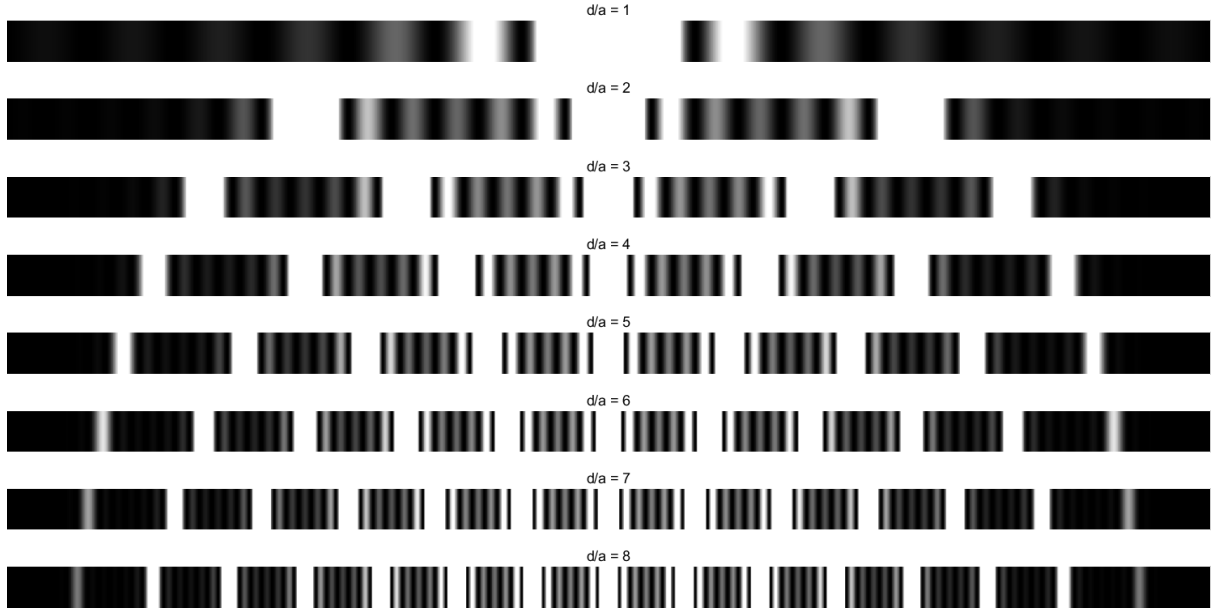


图 13: 不同  $d/a$  值的衍射效果

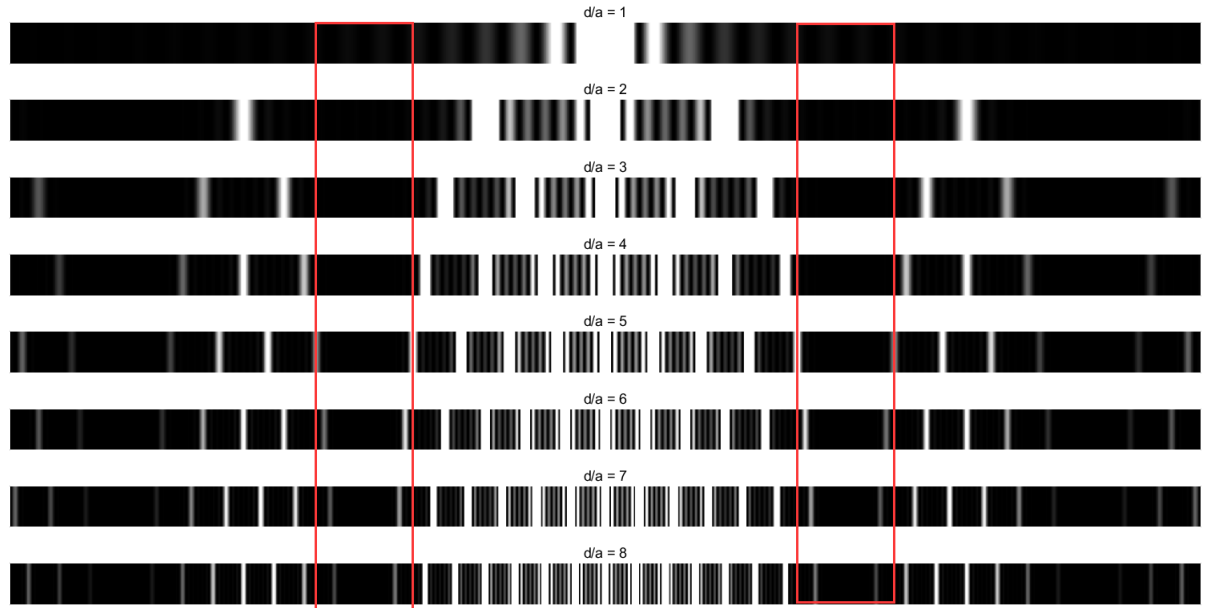


图 14: 第  $\frac{d}{a}$  级为缺级

仿真代码可以在附录“光学光栅仿真计算—朗奇光栅单色光仿真”中找到

### 2.1.2 白光仿真结果

光强分布的主极强位置为  $\sin\theta = m\frac{\lambda}{a}$ ，其中  $(m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$  可以看到这和光波长是正相关的。于是我们可以用光栅来将各色光分离，这称为光栅的色散作用

为了模拟这一个效果，首先我们要把单射光改为白光。引入白光的方式如下

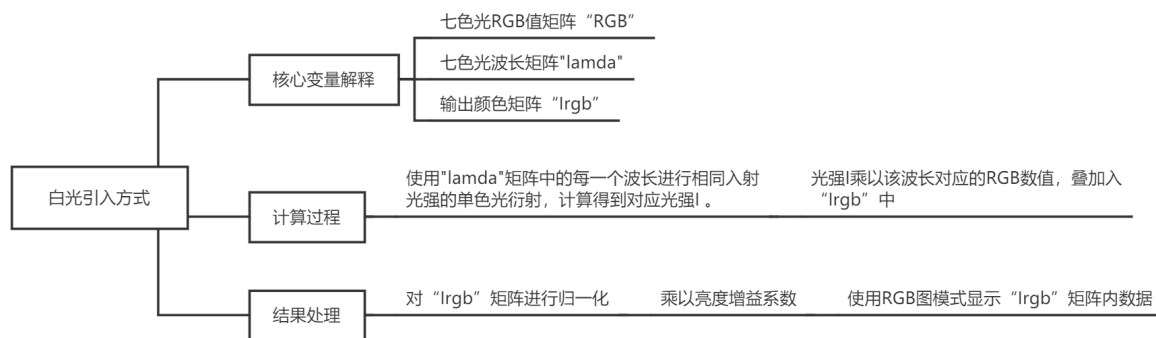


图 15: 白光衍射算法图解

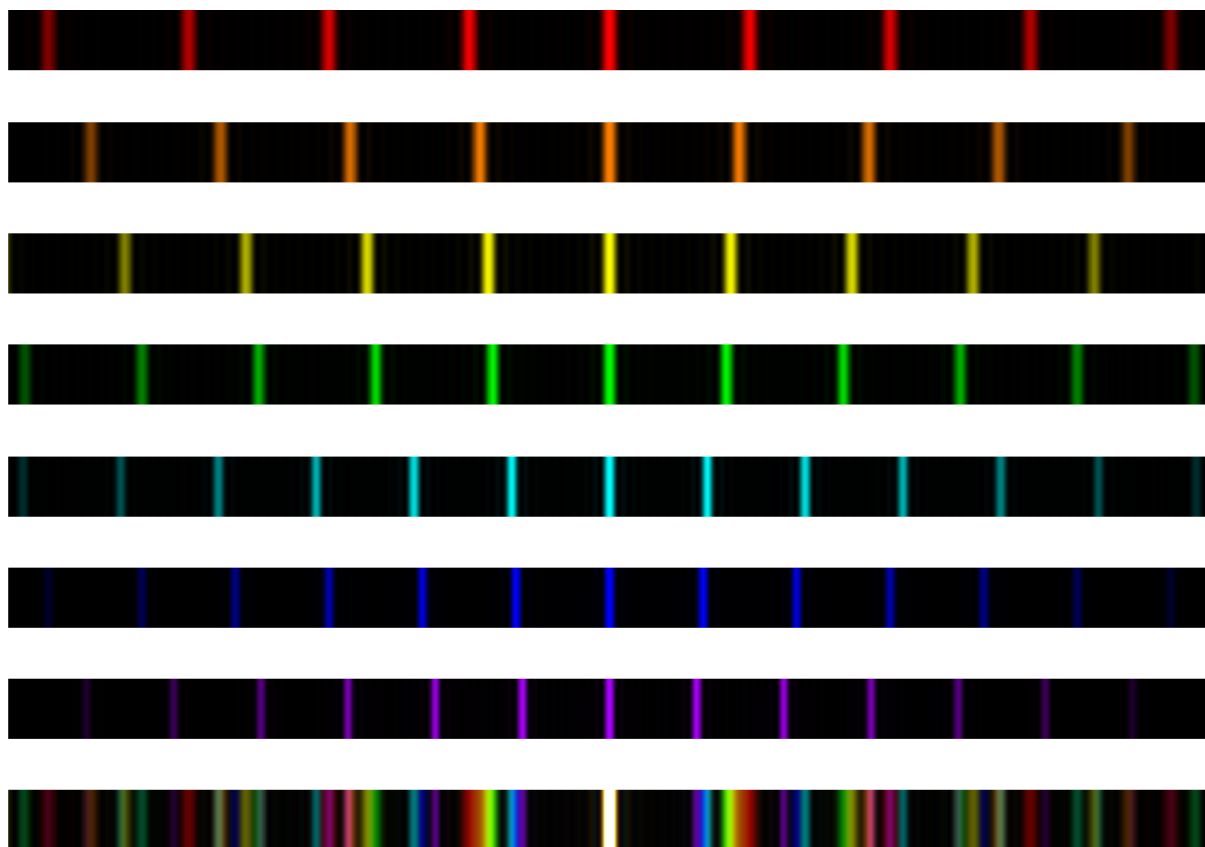


图 16: 白光衍射结果

可以看到光波长与色散程度、条纹间距成正相关。

所用代码可以在附录“光学光栅仿真计算—朗奇光栅白光仿真”中找到。

参数	数值
$a$	$1 \times 10^{-4}\text{m}$
$d$	$9 \times 10^{-4}\text{m}$
$N$	10
$f_2$	0.1m
$\lambda$	(660,610,570,550,460,440,410)nm

表 5: 仿真参数 ( $\lambda$  为各色光的波长)



## 2.2 闪耀光栅

对于朗奇光栅衍射，很大一部分能量集中于零级，而零级是无色散的，这对以分光为目的的光谱仪来说无疑是一种能量的浪费。这种现象的产生是由于普通光栅中单缝衍射的级主极强方向与缝间干涉的零级主极强方向完全一致。为了提高能量的利用效率，我们采用闪耀光栅 (blazed grating) 的形式。其用横截面为锯齿形的结构来进行衍射。这样使得零级光与入射光处于法线对侧，而其他级光位于法线同侧。这样衍射与干涉的零级便分离开了。闪耀光栅一般有两种类型，一种是透射型闪耀光栅，一种是反射型闪耀光栅，我们对反射性闪耀光栅进行介绍。

### 2.2.1 反射型闪耀光栅

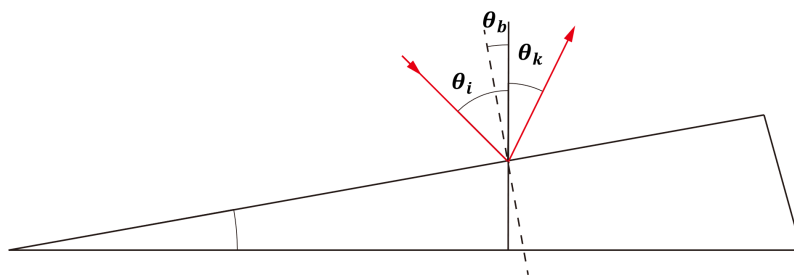


图 17: 反射型闪耀光栅斜面结构

参数	含义
斜面法线与光栅表面法线夹角	$\theta_b$
入射光与光栅表面法线夹角	$\theta_i$
透射光与光栅表面法线夹角	$\theta_k$
angle	闪耀光栅的工作角度
$N$	斜面的数量
$a$	斜面的水平投影长度
$d$	斜面间距（类似狭缝间距）

表 6: 参数说明

在闪耀光栅的理想工作模式下，光应以斜面法线方向入射，故定义工作角度 angle 作为斜面法线与光栅表面法线夹角和入射光与光栅表面法线夹角的值。

斜面两端向某一方向传播的次波的相位差之半

$$\alpha_{blf} = \frac{\pi a}{\lambda}(\sin(\theta_i - \theta_b) + \sin(\theta_k - \theta_b))$$

相邻斜面上对应点向某一方向传播的次波的相位差之半

$$\gamma_{blf} = \frac{\pi d}{\lambda}(\sin \theta_i + \sin \theta_k)$$

光强表达式

$$I_{blf} = I_{blf0} \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \left( \frac{\sin N\gamma}{\sin \gamma} \right)^2$$

图 14 为在默认参数下改变 N 值得到的不同计算结果。当 N=1 时，意味着入射光经过一个微小斜面反射而偏离光屏中心，同时发生了衍射效应。此时由于没有干涉现象，所以各色光并没有分离，形成一个零级主极强。

当 N 增大时，开始出现干涉效应。由于干涉来自不同斜面之前的相位差，无色散的干涉零级主极强应该位于光屏中心处，而衍射的主极强却不位于光屏中心（如 N=1 的情况所示），于是光强最大处位于非零级的干涉主极强位上，此时各光已经发生色散，提高了能量利用效率，如 N=5 时的情况所示。

当 N 继续增大如 N=100 时，干涉主极强锐度变高，光屏上呈现出光谱的特征，可以用以定量测量。值得注意的是，由于 N 的数量只对干涉有影响，而不会影响衍射效应，所以出现光谱的区域始终固定。

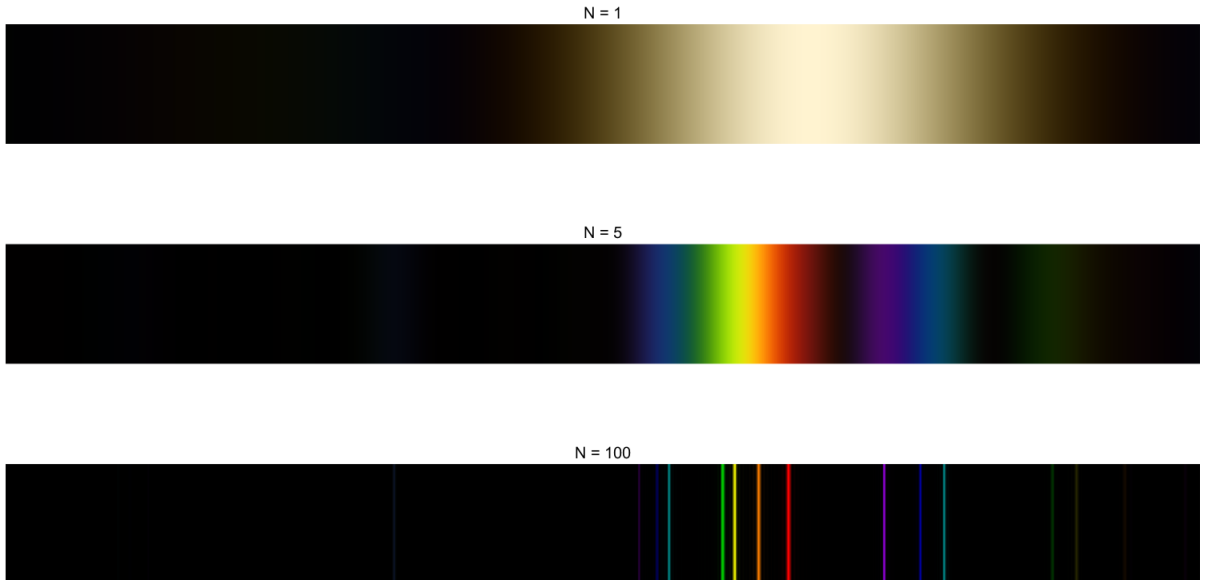


图 18: 不同 N 值的仿真结果

改变工作角度，可以得到图 15 的计算结果。此处分别计算了 N=0 与 N=100 的图像并进行叠加，以便看到衍射零级主极强与干涉主极强可见范围的关系。可以看到，随

随着工作角度的增大，零级衍射主极强位置不断偏移，也得到了不同的光谱图像。

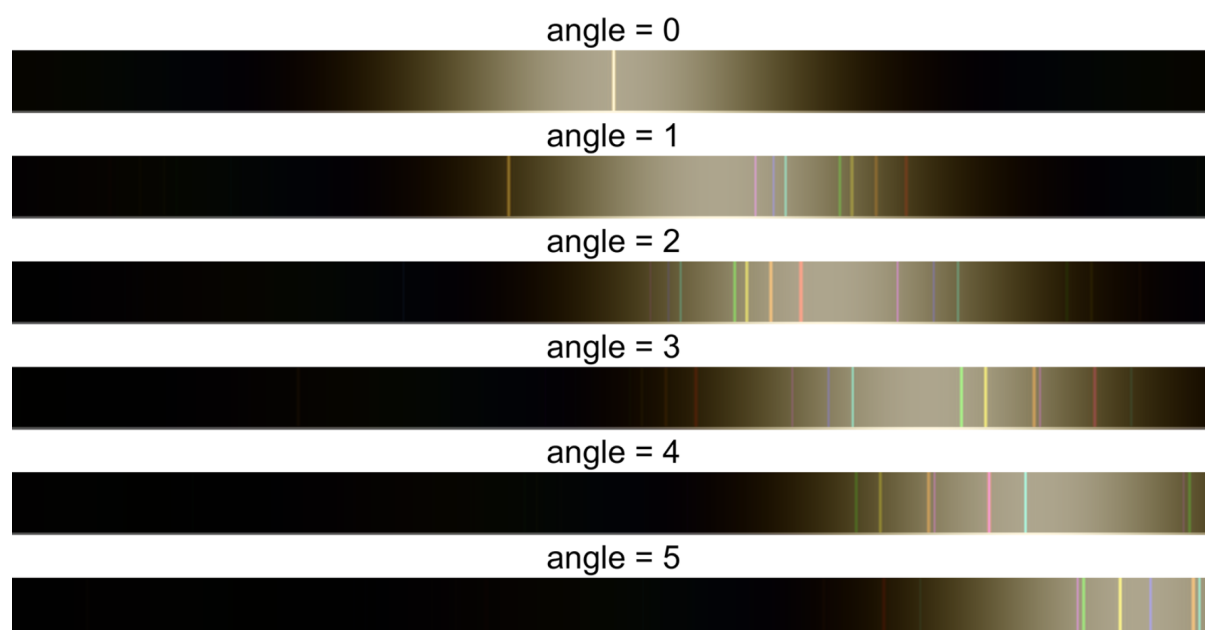


图 19: 不同工作角度

实际上可以通过调节各参数来使反射光栅实现特定的功能。例如使用更大的斜面宽度，可以使衍射锐度提高，通过适当的调整工作角度，可以仅使某一波长光的  $K$  级主极强出现，则该波长成为第  $K$  级的闪耀波长，对应的角度就称为闪耀角。

所用代码可以在附录“光学光栅仿真计算—反射型闪耀光栅”中找到。

## 3: 附录

### 3.1 动态散斑光学仿真

#### 3.1.1 cross\_correlation 函数

```
% clear
% %store image
% img = VideoReader(img_name);
%
% %specify total number of frames in video
% a = get(img, 'NumberOfFrames');
% %range of frames to be played
% A = [1 a];
% vidFrames = read(img, A);
%%
function f=cross_correlation(image);
[N1,N2,frame]=size(image);
% 裁减范围
x=0;
y=0;
xw=N1/6;
yw=N2/6;

%%
% 提取视频

%store frame rate of original image
% % frame_rate = get(img, 'FrameRate');
frame_rate = image;
for i = 1 : frame;
%     %NEED .CDATA AND .COLORMAP BOTH WHEN CREATING VIDEOS
%     %specify actual image being analyzed
img_acc(i).cdata = image(:, :, i);
% 提取视频第 i 帧到图像 i 中（灰度）
img_acc(i).colormap = gray;
```

```

% (说明是灰度)
%      %      裁减一下...
img_acc2(i).cdata = imcrop(img_acc(i).cdata,[x y xw yw]);
img_acc2(i).colormap = gray;
end
% clear img_acc
% clear img
% clear vidFrames
% max1=max(img_acc(:, :).cdata)
% imshow(img_acc(1).cdata)% 这个是调整亮度，其实并不需要。
%%
% 对两张图片进行互相关计算
for i= 1:frame-1
cc = xcorr2( img_acc2(i).cdata, img_acc2(i+1).cdata);
% 第一个会糊掉，用 2, 3

[max_cc, imax] = max(abs(cc(:)));% 不论正负都要输出
[ypeak, xpeak] = ind2sub(size(cc),imax(1));

corr_offset(i,1) =xpeak-size(img_acc2(1).cdata,2);
% 前一帧 +corr_offset= 下一帧（就是像素位移量）左上角为 0
corr_offset(i,2) =ypeak-size(img_acc2(1).cdata,1);
end

f=corr_offset;

% 需要裁减一下，不然算不出来
^^I
^^I

```

### 3.1.2 动态散斑 matlab 代码

```

%%
%MOTION_dynamics_speckle_simulation
% 参数
% 现在问题是，一定会出现那种网格的结构，要好好分析一下问题出在哪里。
% 光圈无论大小都会出现这种重复结构。考虑是衍射问题出现的。

```

```

% 有没有可能是泰伯效应?
% 多图像对比的函数。我要用一个函数来决定执行哪一种情况。
% function y=MOTION_dynamics_speckle_simulation()
N = 500;%1024; % number of grid points per side
Nbig=2048;% 实际上可以出现的大屏幕
L = 8e-2; % total size of the grid [m]
delta1 = L / N; % grid spacing [m]
landa=632e-9;% 波长 ✓
k = 2*pi / landa; % ✓
Dz = -80e-2; % 传播距离 [m]
% Dz = -3e-3; % 传播距离 [m]
v=1;% 每帧的像素移动量
n=N;% 光圈参考半径 (像素)
r=n/1;% 光圈半径 (像素)
w0=40e-6;% 束腰半径 ✓
w=34.7e-4;% 光斑半径 ✓
% z=-69e-2;% 束腰到光斑 ✓
z=-69e-2;% 束腰到光斑 ✓
rou=69e-2;% 波前曲率 [m] ✓
[x1 y1] = meshgrid((-N/2 : N/2-1) * delta1);
%%
% 出射面
g=zeros(Nbig,Nbig);
g(:,:)=1;
RandomPhase= 2*pi*rand(Nbig,Nbig);
scatterfield=g.*exp(1i*RandomPhase);
% 随机出射相位 (把振幅变成复振幅这样)
figure()
gaosi=laser_propagation_dynamics(w0,w,landa,z,rou, delta1,N);% 高斯光斑
%%
% 屏幕移动, 每一帧移动 1 像素试试
scatterfield_working=zeros(N);
% ha=tight_subplot(4,8,[.01 0.0001],[.1 .01],[.01 .01])
image=zeros(N,N,3);
for times=1:32
k=1+times*v;
scatterfield_working=scatterfield(1:1:N,k:1:N+k-1);

```

```

out_field=gaosi.*scatterfield_working;
% 给激光光斑叠加出射的情况
ap =out_field;
%%
% 菲涅尔单次衍射
[x2 y2 Uout] = one_step_prop(ap,landa, delta1, Dz);
%%
% 创造孔径
bandpass=zeros(N,N);
for x = 1:n;
for y = 1:n;
bandpass(x,y) = circle(x,y,n,r);
end
end
Uout_1=bandpass.*fftshift(fft2(Uout));% 孔径作用
%%
% 显示像面散斑
imagefield=ifft2(Uout_1);
imageintensity= abs(imagefield).^2;
%figure('NumberTitle', 'off', 'Name', 'imageintensity');% 设置名字
imageintensity=imageintensity./max(max(imageintensity(:,:)))*2;
% 在这里可以调节散斑强度;
image(:, :,times)=imageintensity;
% drawnow
% axes(ha(times))
imshow(imageintensity)
end
offset=cross_correlation(image);
plot(offset(:,1), '-ko')
title(['Dz = ', num2str(Dz), 'm'])
xlabel('帧序号');
ylabel('散斑场横向位移量');

```

### 3.1.3 one\_step\_prop 函数

```

function [x2 y2 Uout] = one_step_prop(Uin, wvl, d1, Dz)
% function [x2 y2 Uout] ...

```

```

% = one_step_prop(Uin, wvl, d1, Dz)
N = size(Uin, 1); % assume square grid
k = 2*pi/wvl; % optical wavevector
% source-plane coordinates
[x1 y1] = meshgrid((-N/2 : 1 : N/2 - 1) * d1);
% observation-plane coordinates
[x2 y2] = meshgrid((-N/2 : N/2-1) / (N*d1)*wvl*Dz);
% evaluate the Fresnel-Kirchhoff integral
Uout = 1 / (i*wvl*Dz).* exp(i * k/(2*Dz) * (x2.^2 + y2.^2)).*...
ft2(Uin .* exp(i * k/(2*Dz)* (x1.^2 + y1.^2)), d1);

```

### 3.1.4 circle 函数

```

function circle = circle(x,y,n,r)
if sqrt((x-n/2)^2+(y-n/2)^2) < r
circle = 1;
else
circle = 0;
end
end

```

## 3.2 光学光栅仿真计算

### 3.2.1 朗奇光栅单色光仿真

```

clear
% 一个普通的光栅
%%
% 设定参数值 (单位为 m)
wavelength=632.8e-9;% 波长
f=1e-1;% 透镜焦距
% b=0.05e-3;% 缝宽
b=1e-5;% 缝宽
% d=1e-4;% 缝距 (光栅常数) (包络线是另外的单缝衍射决定的)
d=0;
N=7 ;% 缝数
angles=0;

```



```

% 白光
Bright=0.5; % 亮度调节系数
%%
% 全部用点乘搞定了。
x=linspace(-5*pi,5*pi,4000); %% 设定图像的 x 向范围。
% 并把 x 方向分成 1001 点 (单位 mm, 后面会转换)
x=x.*10^-3;
%% 对屏上 x 方向的全部点进行循环计算
%x 是像面上的位置。
%u=(pi*b/wavelength)*(((x./sqrt(x.^2+f^2)))-sin(angles));
%% 入射角与衍射角位于缝法线的异侧
for k=1:8
d=d+1e-5
b=d/10
u=(pi*b/wavelength)*(((x./sqrt(x.^2+f^2)))+sin(angles));
%% 入射角与衍射角位于缝法线的同侧, 这是那个阿尔法

%I(j)=((sin(u)/u).^2);%% 单缝衍射光强公式

%I(j)=((sin(d*u*N/b)/sin(d*u/b)).^2);
%% 多缝干涉光强公式

I=((sin(u)./u).^2).*((sin(d*u.*N/b)./sin(d*u/b)).^2);
%% 光栅衍射光强未修正公式


%%
hold on;
I=Bright.*I;
NCLevels=255;

Ir=NCLevels*I;

colormap(gray(NCLevels)); %% 用灰度级颜色图

subplot(8,1,k),image(x,I,Ir) %% 画图像

```

```

title(['d/a = ', num2str(d/b)])
t=0:0:0;
set(gca,'xtick',t);
set(gca,'ytick',t);
set(gca,'xcolor',[1,1,1]);
set(gca,'ycolor',[1,1,1]);
end

```

### 3.2.2 朗奇光栅白光仿真

```

clear
%%
% 设定参数值 (单位为 m)
f=1e-1;% 透镜焦距
b=5e-5;% 缝宽
d=15e-5;% 缝距 (光栅常数) (包络线是另外的单缝衍射决定的)
N=10;% 缝数
angles=0;% 入射角
% 像面范围
length=1000;% 这个是矩阵分割份数)
high=100;% 就是看着舒服, 高度份数
% 白光设置
lamda=[660,610,570,550,460,440,410]*1e-9;% 七色光的波长, 单位米
RGB=[1,0,0; 1,0.5,0; 1,1,0; 0,1,0; 0,1,1; 0,0,1; 0.67,0,1];
% 七色光的 RGB 值
Bright=1.5;% 亮度调节系数, 影响最后成像面的亮度
% 空矩阵预置
Irgb=zeros(high,length,3); % 各波长衍射结果叠加矩阵
Iw=zeros(high,length,3); % 单波长衍射结果记录矩阵

%%
% 上色
for k=1:7

x=linspace(-0.4*pi,0.4*pi,length);
% 设定像面范围,x 是像面上的位置, 分割成 1000 个计算单元, 单位 (mm)
% 前两个数才是范围。(一看就是改的别人的代码, 怎么还有 pi 在这)

```

```

x=x.*10^-3;% 转化单位为 m

% 衍射因子计算振幅, 根据不同情况选用不同公式。
% 入射角与衍射角位于缝法线的异侧
%u=(pi*b/lamda(k))*((x./sqrt(x.^2+f^2))-sin(angles));
% 入射角与衍射角位于缝法线的同侧
u=(pi*b/lamda(k))*((x./sqrt(x.^2+f^2))+sin(angles));

% 光强计算
%I(j)=((sin(u)/u).^2);%% 单缝衍射光强公式
%I(j)=((sin(d*u*N/b)/sin(d*u/b)).^2);%% 多缝干涉光强公式
I=((sin(u)./u).^2).*((sin(d*u.*N/b)./sin(d*u/b)).^2);
%% 光栅方程光强未修正公式

% 相对光强叠加对应的 rgb 值, 得到对应波长的颜色矩阵
for i=1:high
Iw(i,:,1)=I*RGB(k,1); % 把红基色代码计入 Iw 矩阵红维度
Iw(i,:,2)=I*RGB(k,2); % 把绿基色代码计入 Iw 矩阵绿维度
Iw(i,:,3)=I*RGB(k,3); % 把蓝基色代码计入 Iw 矩阵蓝维度
end
% 单波长颜色矩阵叠加进入白光衍射矩阵
Irgb=Irgb+Iw; % 把各色光衍射的 RGB 值矩阵计入仿真结果 RGB 值图像矩阵中
Iw=[];
end
%%
% 画图
% 显示白光光栅衍射实验仿真结果
Br=1/max(max(max(Irgb))); % 归一化系数计算
II=Irgb*Br*Bright; % 归一化后倍增亮度

subplot(4,1,1),plot(x,II(:, :, 1));%% 屏幕上光强与位置的关系曲线
title('红','FontWeight','bold','FontSize', 16)
xlabel('偏移位置 (m) ')
subplot(4,1,2),plot(x,II(:, :, 2));
title('绿','FontWeight','bold','FontSize', 16)
xlabel('偏移位置 (m) ')
subplot(4,1,3),plot(x,II(:, :, 3))

```

```

title('蓝','FontWeight','bold','FontSize',16)
xlabel('偏移位置 (m)')
subplot(4,1,4),imshow(II); % 显示结果，像素一一对应，标准大小
title('干涉图案','FontSize',16,'FontWeight','bold')

```

### 3.2.3 反射型闪耀光栅

```

clear
Max=3
for times= 1:Max
% 缺陷是没有考虑倾斜因子
% 默认是满足了傍轴近似，透镜足够大，放得足够远，各出射光都是平行的
% 入射光也足够远，光栅也足够小。
% 定义参量，单位 (°)
ag_i=(2)/180*pi; % 入射光与光栅表面夹角。
ag_b=(2)/180*pi; % 光栅斜面与光栅表面的夹角。
% 现在是给定入射角和斜面角，改变  $k$ ，然后到不同像面观察我们的衍射图案
% 单位 (m)
lamda=[660,610,570,550,460,440,410]*1e-9;
% 七色光的波长，单位米
RGB=[1,0,0; 1,0.5,0; 1,1,0; 0,1,0; 0,1,1; 0,0,1; 0.67,0,1];
% 七色光的 RGB 值
Ntimes=[1,5,100];
N=Ntimes(times);
d=1e-5;% 每毫米刻痕有 1000 到 100 条
%——光栅槽距—— $d$  决定了光栅方程，槽形如何不影响 .....
% 只要入射角相同，就完全一样
%  $L=1e-2$ ;% 光栅宽度数厘米
%  $N=L/d$ ;% 刻痕量

a=0.9*d;% 衍射长度，在这种闪耀光栅里是差不多的，反射光栅

f=0.2;% 透镜焦距（或者是传播距离，无所谓）在这个数量级的光栅常数下
%20cm 已经可以满足夫琅禾费条件。

I_0=1;
% 归一化，这个是零级的强度，其实类似一个透射率或者反射率的事情，归一化就好

```

```

I_Of=1;
% 归一化，这个是零级的强度，其实类似一个透射率或者反射率的事情，归一化就好

length=10000;% 分划精度
high=1000;% 复制上去的显示精度
l_screen=2e-2;% 屏幕大小

% syms ag_i ag_k ag_b I_0 lad a N d I_Of
% 矩阵预置
% 像面坐标设定
% 矩阵有:  $x$   $ag_k$   $u$   $v$ 
x=linspace(-l_screen,l_screen,length); %% 设定像屏的角范围 (m)
ag_k=atan(x./f);
% 颜色矩阵，先做单行的，最后再复制一下提高观赏性。
Irgb=zeros(1,length,3); % 各波长衍射结果叠加矩阵
Iw=zeros(1,length,3); % 单波长衍射结果记录矩阵

% 计算像面光强
% 这里是直接把对应角度的叠加起来了，也就是无形之中引入了透镜了。
% 前面的  $\sin$  值直接用坐标代替了。
for k=1:7
%% 透射闪耀光栅
%  $u=\pi*a/\lambda(k)*(sin(ag_i-ag_b)-sin(ag_k-ag_b))$ ;
%  $v=\pi*d/\lambda(k)*(sin(ag_i)-sin(ag_k))$ ;
%  $I=I_0*(sin(u).^2./u.^2).*(sin(N*v).^2./sin(v).^2)$ ;
% 反射闪耀光栅
u_f=pi*a/lambda(k)*(sin(ag_i-ag_b)+sin(ag_k-ag_b));
v_f=pi*d/lambda(k)*(sin(ag_i)+sin(ag_k));
I=I_Of*(sin(u_f).^2./u_f.^2).*(sin(N*v_f).^2./sin(v_f).^2);
% 光强叠加颜色后写入颜色矩阵
Iw(1,:,1)=I*RGB(k,1); % 把红基色代码计入 Iw 矩阵红维度
Iw(1,:,2)=I*RGB(k,2); % 把绿基色代码计入 Iw 矩阵绿维度
Iw(1,:,3)=I*RGB(k,3); % 把蓝基色代码计入 Iw 矩阵蓝维度
% 单波长颜色矩阵叠加进入白光衍射矩阵
Irgb=Irgb+Iw; % 把各色光衍射的 RGB 值矩阵计入仿真结果 RGB 值图像矩阵中
Iw=[];
end

```

```

% 画出像面光强
Bright=1;% 强化
Br=1/max(max(max(Irgb)));% 归一化
II1=Irgb*Br*Bright;
% 扩展矩阵
II2=zeros(high,length,3);
for i=1:high
    II2(i,:,:)=II1(1,:,:);
end
% 画图像
% subplot(4,1,1),plot(x,II2(:,:,1));%% 屏幕上光强与位置的关系曲线
% title('红','FontWeight','bold','FontSize',16)
% xlabel('偏移位置 (m) ')
% subplot(4,1,2),plot(x,II2(:,:,2));
% title('绿','FontWeight','bold','FontSize',16)
% xlabel('偏移位置 (m) ')
% subplot(4,1,3),plot(x,II2(:,:,3))
% title('蓝','FontWeight','bold','FontSize',16)
% xlabel('偏移位置 (m) ')
subplot(Max,1,times)
imshow(II2);
title(['N = ', num2str(N)])

end

```