第八章 超声速风洞实验（纹影观测实验）

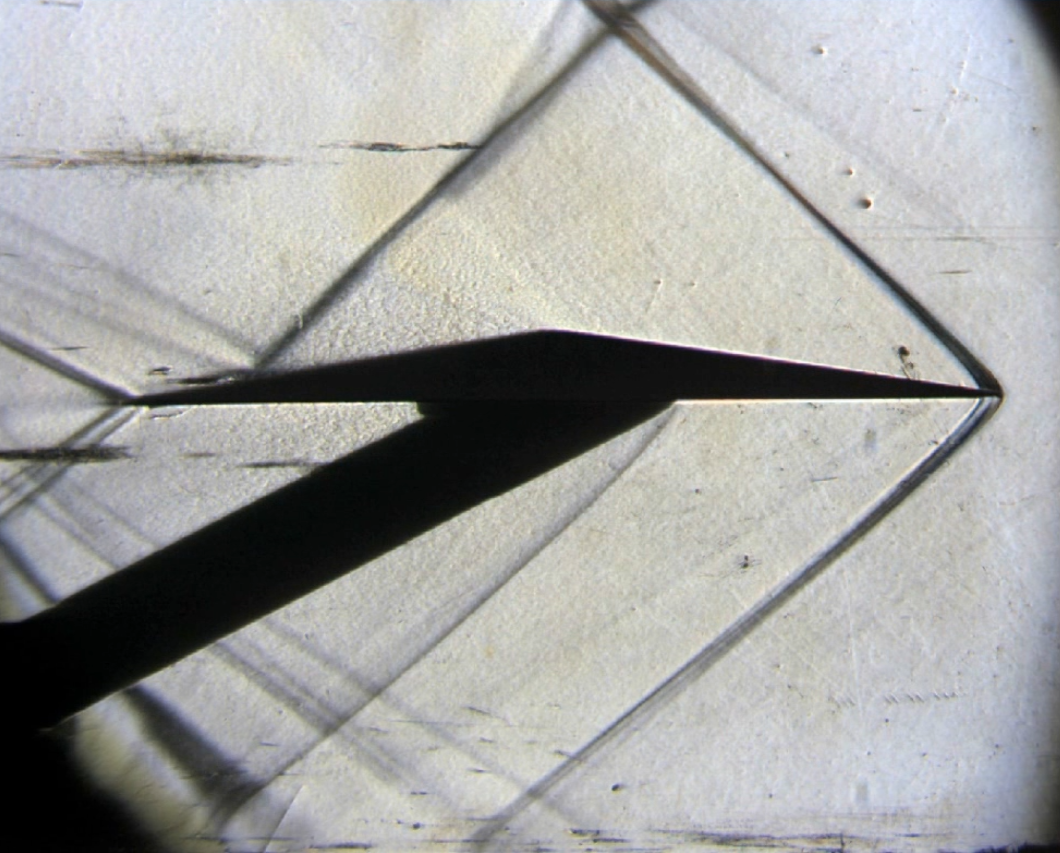


图8-1超声速气流观测结果图

**附录**

流体力学实验第三~六、八章数据处理、结果可视化MATLAB程序整理如下：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 程序编号 | **P3-1** | 实现功能 | | 管路沿程损失实验（数据处理） | |
| 程序名称 | **Ex\_003**.m | | 读取文件 | | **Ex\_3\_001**.dat |
| %% 流体力学实验第三章：管路沿程损失实验  %% 数据导入与初始化  clear all  clf  clc    Data=load('Ex\_3\_001.dat');  n=size(Data,1); % 实验次数    t=Data(:,1); % 温度  rou=Data(:,2); % 流体密度（水）（单位：kg/m^3）  p\_yc=Data(:,[3:7]); % 沿程损失差压变送器读数（单位：Kpa）  p\_wdl=Data(:,[8:12]); % 沿程损失差压变送器读数（单位：Kpa）    %% 常量定义  d=5; % 管路内径（单位：cm）  L=600; % 测压截面间沿程管长度（单位：cm）  A=(pi\*(d^2))/4; % 测压管截面积（单位：cm^2）  C=682.12; % 文德利流量计常数（单位：cm^(5/2)/s）  n0y=0.02; % 沿程损失差压变送器初读数（单位：Kpa）  n0w=0.03; % 文德利流量计差压变送器初读数（单位：Kpa）  g=980;    %% 实验数据计算  mu=zeros(n,1);  det\_p\_yc=zeros(n,1);  hf\_yc=zeros(n,1);  det\_p\_wdl=zeros(n,1);  hf\_wdl=zeros(n,1);  Q=zeros(n,1);  V=zeros(n,1);  Re=zeros(n,1);  lambda=zeros(n,1);  x\_Re=zeros(n,1);  y\_lambda=zeros(n,1);    for i=1:n  mu(i)=0.0178/(1+0.0337\*t(i)+0.000221\*(t(i)^2));  tot\_p\_yc=0;  tot\_p\_wdl=0;  for j=1:5  tot\_p\_yc=tot\_p\_yc+p\_yc(i,j);  tot\_p\_wdl=tot\_p\_wdl+p\_wdl(i,j);  end  det\_p\_yc(i)=((tot\_p\_yc/5)-n0y)\*1000;  det\_p\_wdl(i)=((tot\_p\_wdl/5)-n0w)\*1000;  hf\_yc(i)=(det\_p\_yc(i)/(rou(i)\*g))\*10000;  hf\_wdl(i)=(det\_p\_wdl(i)/(rou(i)\*g))\*10000;    Q(i)=C\*sqrt(hf\_wdl(i));  V(i)=Q(i)/A;  Re(i)=V(i)\*d/mu(i);  lambda(i)=hf\_yc(i)/((L/d)\*((V(i)^2)/(2\*g)));  x\_Re(i)=log10(Re(i));  y\_lambda(i)=100\*lambda(i);    end    %% 实验数据可视化  plot(x\_Re,y\_lambda,'r-','LineWidth',1.5); | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 程序编号 | **P4-1** | 实现功能 | | 管路局部损失实验（数据处理） | |
| 程序名称 | **Ex\_004**.m | | 读取文件 | | **Ex\_4\_001**.dat |
| %% 流体力学实验第四章：管路局部损失实验  %% 数据导入与初始化  clear all  clf  clc    Data=load('Ex\_4\_001.dat');  n=size(Data,1); % 实验次数    t=Data(:,1); % 温度  rou=Data(:,2); % 流体密度（水）（单位：kg/m^3）  p\_inc=Data(:,[3:7]); % 突然扩大差压变送器读数（单位：Kpa）  p\_dec=Data(:,[8:12]); % 突然减小差压变送器读数（单位：Kpa）  p\_wdl=Data(:,[13:17]); % 文德利流量计差压变送器读数（单位：Kpa）    %% 常量定义  d1=5; % 1-1截面管路内径（单位：cm）  A1=(pi\*(d1^2))/4; % 1-1截面管路截面积（单位：cm^2）  d2=10; % 1-1截面管路内径（单位：cm）  A2=(pi\*(d2^2))/4; % 1-1截面管路截面积（单位：cm^2）  C=682.12; % 文德利流量计常数（单位：cm^(5/2)/s）  n0x=-0.001; % 突然扩大差压变送器初读数（单位：Kpa）  n0y=-0.04; % 突然减小差压变送器初读数（单位：Kpa）  n0w=0.07; % 文德利流量计差压变送器初读数（单位：Kpa）  g=980;    %% 实验数据计算  det\_p\_inc=zeros(n,1);  hf\_inc=zeros(n,1);  det\_p\_dec=zeros(n,1);  hf\_dec=zeros(n,1);  det\_p\_wdl=zeros(n,1);  hf\_wdl=zeros(n,1);  Q=zeros(n,1);    V1=zeros(n,1);  V2=zeros(n,1);    x\_V1=zeros(n,1);  x\_V2=zeros(n,1);  y\_hj\_inc=zeros(n,1);  y\_hj\_dec=zeros(n,1);    for i=1:n  tot\_p\_inc=0;  tot\_p\_dec=0;  tot\_p\_wdl=0;  for j=1:5  tot\_p\_inc=tot\_p\_inc+p\_inc(i,j);  tot\_p\_dec=tot\_p\_dec+p\_dec(i,j);  tot\_p\_wdl=tot\_p\_wdl+p\_wdl(i,j);  end  det\_p\_inc(i)=((tot\_p\_inc/5)-n0x)\*1000;  det\_p\_dec(i)=((tot\_p\_dec/5)-n0y)\*1000;  det\_p\_wdl(i)=((tot\_p\_wdl/5)-n0w)\*1000;  hf\_inc(i)=(det\_p\_inc(i)/(rou(i)\*g))\*10000;  hf\_dec(i)=(det\_p\_dec(i)/(rou(i)\*g))\*10000;  hf\_wdl(i)=(det\_p\_wdl(i)/(rou(i)\*g))\*10000;    Q(i)=C\*sqrt(hf\_wdl(i));  V1(i)=Q(i)/A1;  V2(i)=Q(i)/A2;  x\_V1(i)=(V1(i)^2)/(2\*g);  x\_V2(i)=(V2(i)^2)/(2\*g);  y\_hj\_inc(i)=(-1)\*hf\_inc(i)+(15\*x\_V2(i));  y\_hj\_dec(i)=hf\_dec(i)-(0.9375\*x\_V1(i));  end    %% 实验数据可视化  hold on  plot(x\_V2,y\_hj\_inc,'r-','LineWidth',1.5);  plot(x\_V1,y\_hj\_dec,'b-','LineWidth',1.5);  grid on  box on | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 程序编号 | **P5-1** | 实现功能 | | 文德利流量计标定实验（数据处理） | |
| 程序名称 | **Ex\_005**.m | | 读取文件 | | **Ex\_5\_001**.dat |
| %% 流体力学实验第五章：文德利流量计标定实验  %% 数据导入与初始化  clear all  clf  clc    Data=load('Ex\_5\_001.dat');  n=size(Data,1); % 实验次数    t=Data(:,1); % 温度  rou=Data(:,2); % 流体密度（水）（单位：kg/m^3）  p\_lc=Data(:,[3:7]); % 落差法差压变送器读数（单位：Kpa）  p\_wdl=Data(:,[8:12]); % 文德利流量计差压变送器读数（单位：Kpa）    %% 常量定义  d1=8; % 文德利流量计进口截面管路内径（单位：cm）  A1=(pi\*(d1^2))/4; % 文德利流量计进口截面管路截面积（单位：cm^2）  d2=4.2; % 文德利流量计喉道截面管路内径（单位：cm）  A2=(pi\*(d2^2))/4; % 文德利流量计喉道截面管路截面积（单位：cm^2）  d=5; % 落差法细管道直径  AL=(pi\*(d^2))/4; % 落差法细管道截面积  K=1.00836; % 落差系数  C0=682.05; % 文德利流量计常数（单位：cm^(5/2)/s）  n0l=0.11; % 落差法差压变送器初读数（单位：Kpa）  n0w=0.10; % 文德利流量计差压变送器初读数（单位：Kpa）  g=980;    %% 实验数据计算  u=zeros(n,1);  det\_p\_lc=zeros(n,1);  VL=zeros(n,1);  QL=zeros(n,1);  det\_p\_wdl=zeros(n,1);  hf\_wdl=zeros(n,1);  Q0=zeros(n,1);  QS=zeros(n,1);  C=zeros(n,1);  mu=zeros(n,1);  Re=zeros(n,1);    for i=1:n  u(i)=0.0178/(1+0.0337\*t(i)+0.000221\*(t(i)^2));  tot\_p\_lc=0;  tot\_p\_wdl=0;  for j=1:5  tot\_p\_lc=tot\_p\_lc+p\_lc(i,j);  tot\_p\_wdl=tot\_p\_wdl+p\_wdl(i,j);  end  det\_p\_lc(i)=((tot\_p\_lc/5)-n0l)\*1000;  det\_p\_wdl(i)=((tot\_p\_wdl/5)-n0w)\*1000;  hf\_wdl(i)=(det\_p\_wdl(i)/(rou(i)\*g))\*10000;    Q0(i)=C0\*sqrt(hf\_wdl(i));  VL(i)=sqrt(2\*det\_p\_lc(i)/rou(i))\*100;  QL(i)=AL\*VL(i);  QS(i)=K\*QL(i);  C(i)=QS(i)/sqrt(hf\_wdl(i));  mu(i)=QS(i)/Q0(i);  Re(i)=(4\*QS(i))/(pi\*d2\*u(i));    end    %% 实验数据可视化  plot(Re,C,'r-','LineWidth',1.5);  grid on  box on  figure;  plot(Re,mu,'b-','LineWidth',1.5);  grid on  box on | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 程序编号 | **P6-1** | 实现功能 | | 翼型压力分布实验（数据处理） | |
| 程序名称 | **Ex\_006**.m | | 读取文件 | | **Ex\_6\_001**.dat |
| %% 流体力学实验第六章：翼型压力分布实验  %% 数据导入与初始化  clear all  clf  clc    Data=load('Ex\_6\_001.dat');    num=Data(:,1);  x=Data(:,2);  y=Data(:,3);  Cp=Data(:,4);  alfa=10\*(pi/180); % 翼型模型迎角为10度，转化为rad弧度    n\_tot=length(num); % 翼型表面总布置压力点个数  n\_up=sum(num); % 上表面布置压力点个数  n\_down=n\_tot-n\_up; % 下表面布置压力点个数    x\_up=zeros(1,n\_up+1);  x\_down=zeros(1,n\_down+1);  Cp\_up=zeros(1,n\_up+1);  Cp\_down=zeros(1,n\_down+1);    tot\_up=1;  tot\_down=1;    %% 实验数据计算  for i=1:n\_tot  if (num(i)==1)  tot\_up=tot\_up+1;  x\_up(tot\_up)=x(i);  Cp\_up(tot\_up)=Cp(i);  else  tot\_down=tot\_down+1;  x\_down(tot\_down)=x(i);  Cp\_down(tot\_down)=Cp(i);  end  end    x\_up(1)=0;  Cp\_up(1)=0;  x\_up(n\_up+1)=1;  Cp\_up(n\_up+1)=0;    x\_down(1)=0;  Cp\_down(1)=0;  x\_down(n\_down+1)=1;  Cp\_down(n\_down+1)=0;    %% 利用梯形法数值积分计算翼型的法向力及切向力系数  Cy1=0; % 法向力系数计算  Cx1=0; % 切向力系数计算  for i=1:(n\_tot-1)  Cy1=Cy1+((-1)\*(Cp(i+1)+Cp(i))\*(x(i+1)-x(i))/2);  Cx1=Cx1+((Cp(i+1)+Cp(i))\*(y(i+1)-y(i))/2);  end    Cy=Cy1\*cos(alfa)-Cx1\*sin(alfa); % 升力系数计算  Cx=Cx1\*cos(alfa)+Cy1\*sin(alfa); % 阻力系数计算    %% 实验数据可视化  hold on  plot(x\_up,Cp\_up,'r.','MarkerSize',16);  plot(x\_down,Cp\_down,'b.','MarkerSize',16);  legend('上表面压强系数位置点','下表面压强系数位置点');  set(gca,'YDir','reverse') % 对y轴反转  xlabel('相对弦长位置\itx'),ylabel('压强系数\itC\_{p}'),title('翼型压强分布曲线图');  grid on  box on | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 程序编号 | **P8-1** | 实现功能 | | 超声速风洞实验（数据处理） | |
| 程序名称 | **Ex\_008**.m | | 读取文件 | | **Ex\_8\_001**.dat |
| %% 流体力学实验第八章：超声速风洞实验  %% 数据导入与初始化  clear all  clf  clc    Data=load('Ex\_8\_001.dat');  n=size(Data,1); % 实验次数  gamma=1.4;    %% 计算实验测得理论马赫数、压力比  t=Data(:,1); % 时间  Pi=Data(:,[2:11]);  P0=96370;  Pc=zeros(size(Pi,1),size(Pi,2));  for i=1:size(Pi,1)  for j=1:size(Pi,2)  Pc(i,j)=P0/Pi(i,j);  end  end  P\_ratio\_exp=zeros(1,size(Pi,2));  Ma\_exp=zeros(1,size(Pi,2));  for k=1:size(Pi,2)  P\_ratio\_exp(k)=Pc(150,k); % 喷管截面压力比（实验测）  Ma\_exp(k)=sqrt((2/(gamma-1))\*((Pc(k))^((gamma-1)/gamma)-1)); % 喷管截面马赫数（实验测）  end    %% 计算理论马赫数、压力比  Ax=38.08;  Ai=[48.62 53.36 54.19 59.26 66.93 69.73 70.90 73.68 73.68];  A\_ratio=Ai./Ax;  MA=1.20:0.0001:2.40;  Am=zeros(1,length(MA));  Ma\_alt=zeros(1,length(Ai));  for i=1:length(MA)  Am(i)=sqrt((1/(MA(i)^2))\*(((2/(gamma+1))\*(1+((gamma-1)/2)\*(MA(i)^2)))^((gamma+1)/(gamma-1))));  end  for k=1:length(Ai)  Amx=abs(Am-A\_ratio(k));  Ma\_alt(k)=MA(find(Amx==min(Amx))); % 喷管截面马赫数（理论解）  end  P\_ratio\_alt=zeros(1,length(Ai));  for k=1:length(Ai)  P\_ratio\_alt(k)=(1+((gamma-1)/2)\*(Ma\_alt(k)^2))^(gamma/(gamma-1)); % 喷管截面压力比（理论解）  end    %% 利用偏转角、激波角和马赫数三者关系式计算来流马赫数  theta=12\*(pi/180); % 气流偏转角  beta=45\*(pi/180); % 激波角  M\_theta=zeros(1,length(MA));  for i=1:length(MA)  M\_theta(i)=atan(((MA(i)^2)\*(sin(beta))^2-1)/(tan(beta)\*(1+MA(i)^2\*(((gamma+1)/2)-(sin(beta))^2))));  end  M\_theta\_alt=abs(theta-M\_theta);  M\_ans=MA(find(M\_theta\_alt==min(M\_theta\_alt))); % 来流马赫数最终结果  mu=asin(1/M\_ans)\*(180/pi); % 马赫角    %% 实验数据可视化  plot(t,Pc,'DisplayName','Pi','LineWidth',1.2)  xlabel('t'),ylabel('P\_{0}/P\_{i}');  grid on  box on | | | | | |