云南大学地球科学学院实验报告

《 数值天气预报 》课程实验（实习）报告

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 马群 | | 学号 | 20201170333 | | 专业 | 大气科学 | |
| 年级 | 2020级 | | | 任课教师 | 曹杰 | | 成 绩 |  |
| 实验序号 | | 2、3、4 | | 实验名称 | 三种投影 | | 试验时间 | 2023.04.08 |

**一、实习目的**

通过编程计算，使学生掌握兰勃特投影、麦卡托投影和极射赤面投影的地图放大系数和科里奥利力参数的计算方法。

**二、实习内容、结果与分析**

**1.兰勃特投影、麦卡托投影、极射赤面投影计算函数**

|  |
| --- |
| function [m,f] = magnification\_factor\_and\_coriolis\_parameter(proj,In,Jn,d)  %参考点为北极点(0,0)  a = 6371;omega = 7.292\*10^-5;  switch(proj)    case 'lambert'  k = 0.7156;le = 11423.37;  l = sqrt((In^2+Jn^2)\*d^2);  m = k \* l/a/sqrt( 1 - ( (le^(2/k) - l^(2/k))/(le^(2/k) + l^(2/k)) )^2 );  f = 2 \* omega \* (le^(2/k) - l^(2/k))/(le^(2/k) + l^(2/k));  case 'mercator'  m = sqrt((a \* cosd(22.5))^2+(Jn\*d)^2 )/a;  f = 2 \* omega \* sin(Jn \*d/sqrt((a \* cosd(22.5))^2+(Jn\*d)^2));    case 'stereographic'  le = 11888.45;  l = sqrt((In^2+Jn^2)\*d^2);  m = (2+sqrt(3))/2/(1+((le^2-l^2)/(le^2+l^2)));  f = 2 \* omega \* ((le^2-l^2)/(le^2+l^2));    otherwise  disp('投影方式输入错误！')  end  end |

需要注意的是该计算函数参考点为北极点(0,0)，同时无需按实习Part进行区分，汇编成一个函数即可。

**2.兰勃特投影**

**(1)**在标准兰勃特投影图上，选取一矩形网格，矩形的Y轴与90°E平行，O点为（90°E，30°N），网格距100 km，网格点向北向南各7个，向东向西各6个。计算网格上各点的地图放大系数。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| clear;clc  M = 6;N = 7;%M东西扩展 N南北扩展  m = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  d = 100;%格点距  phy0 = 30;%中央纬度  seita1 =30;seita2 = 60;  k = (log(sind(seita1)) - log(sind(seita2)))/...  (log(tand(seita1/2)) - log(tand(seita2/2))); %圆锥常数  a = 6371;%地球半径  le = a\*sind(seita1)/k\*(1/tand(seita1/2))^k;  %11423.37;%映像平面上赤道到北极点的距离 | l\_ref = le \* (cosd(phy0)/(1+sind(phy0)))^k;%参考点O到北极点的距离  %求出各网格点到北极点的距离并计算放大系数  for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((abs(In) \* d)^2 + (l\_ref-Jn\*d)^2);  m(Jn+1+N,In+1+M) = k\*l/(a\*sqrt( 1 -...  ( ( le^(2/k) - l^(2/k) )/( le^(2/k) + l^(2/k) ) )^2 ));  end  end  m = flipud(m); |

地图放大系数如下表：



值得一说的是，所得结果与书中有细微差异，差异原因在于程序中k与le并未直接采用书中数值而是使用公式计算，以便于后期修改，因此会有部分计算误差。

**(2)**在标准兰勃特投影图上，选取一矩形网格，矩形的Y轴与100°E平行，O点为（100°E，45°N），网格距80km，网格点向北5个，向东6个。计算网格上各点的地图放大系数和科里奥利参数。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| clear;clc  M = 6;N = 5;%M东西扩展 N南北扩展  m = zeros(N+1,M+1);%放大系数  f = zeros(N+1,M+1);%科氏力参数  omega = 7.292\*10^-5;  d = 80;%格点距  phy0 = 45;%中央纬度  seita1 = 30;seita2 = 60;  k = (log(sind(seita1)) - log(sind(seita2)))/...  (log(tand(seita1/2)) - log(tand(seita2/2))); %圆锥常数  % k = 0.7156;  a = 6371;%地球半径  le = a\*sind(seita1)/k\*(1/tand(seita1/2))^k;  % le = 11423.37; | l\_ref = le \* (cosd(phy0)/(1+sind(phy0)))^k;%参考点O到北极点的距离  %求出各网格点到北极点的距离并计算放大系数  for In = 0:M  for Jn = 0:N  l = sqrt((abs(In) \* d)^2 + (l\_ref-Jn\*d)^2);  m(Jn+1,In+1) = k\*l/(a\*sqrt( 1 -...  ( ( le^(2/k) - l^(2/k) )/( le^(2/k) + l^(2/k) ) )^2 ));  f(Jn+1,In+1) = 2 \* omega \* ( ( le^(2/k) - l^(2/k) )/( le^(2/k) + l^(2/k) ) );  end  end  m = flipud(m);f = flipud(f);  %习题1仅要求北向与东向，所以修改循环。 |

地图放大系数和科里奥利参数如下表：



**(3)**中尺度天气预报模式WRF的兰勃特投影如图2.5所示，标准纬度1和标准纬度2也可根据模拟区域不同而有所调整，使模拟区域内地图放大系数尽可能接近1，从而减小模式网格上的投影形变。设模拟区域为东亚地区(100°~150°E,20°~60°N)，尝试用MATLAB编写程序，计算兰勃特投影在东亚地区的地图放大系数。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| clear;clc  M = 25;N = 26;%M东西扩展 N南北扩展  m = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  %https://blog.csdn.net/weixin\_44237337/article/details/123363027  phy0 = 40;%中央纬度  a = 6371;%地球半径  %11423.37;%映像平面上赤道到北极点的距离  d = round(a\*cosd(phy0)\*2\*3.14/360);%格点距  m\_test = zeros(2 \* N+1,1);  %寻找最佳标准维度  for stdi1 = 20:70  for stdi2 = 20:70  for i = -N:N  k\_test = (log(sind(stdi1)) - log(sind(stdi2)))/...  (log(tand(stdi1/2)) - log(tand(stdi2/2))); %圆锥常数  le\_test = a\*sind(stdi1)/k\_test\*(1/tand(stdi1/2))^k\_test;    l\_ref\_test = le\_test \* (cosd(phy0)/(1+sind(phy0)))^k\_test;  l\_test = sqrt((l\_ref\_test-i\*d)^2);    m\_test(i+1+N,1) = k\_test\*l\_test/(a\*sqrt( 1 -...  ( ( le\_test^(2/k\_test) - l\_test^(2/k\_test) )/( le\_test^(2/k\_test) + l\_test^(2/k\_test) ) )^2 ));    s2(stdi1,stdi2) = sum((m\_test-1).^2)/(2 \* N+1);  end  end  end | s2(isnan(s2)) = max(max(s2));  s2(s2==0) = max(max(s2));  mins2 = min(min(s2));  [seita1,seita2] = find(s2==mins2);  k = (log(sind(seita1)) - log(sind(seita2)))/...  (log(tand(seita1/2)) - log(tand(seita2/2))); %圆锥常数  a = 6371;%地球半径  le = a\*sind(seita1)/k\*(1/tand(seita1/2))^k;  %11423.37;%映像平面上赤道到北极点的距离  d = round(a\*cosd(phy0)\*2\*3.14/360);%格点距  l\_ref = le \* (cosd(phy0)/(1+sind(phy0)))^k;%参考点O到北极点的距离  %求出各网格点到北极点的距离并计算放大系数  for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((abs(In) \* d)^2 + (l\_ref-Jn\*d)^2);  m(Jn+1+N,In+1+M) = k\*l/(a\*sqrt( 1 -...  ( ( le^(2/k) - l^(2/k) )/( le^(2/k) + l^(2/k) ) )^2 ));  end  end  m = flipud(m); |

地图放大系数(部分)如下表：

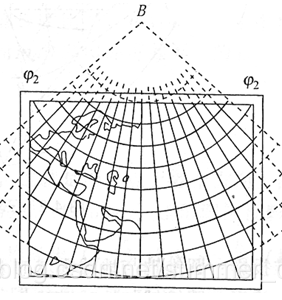
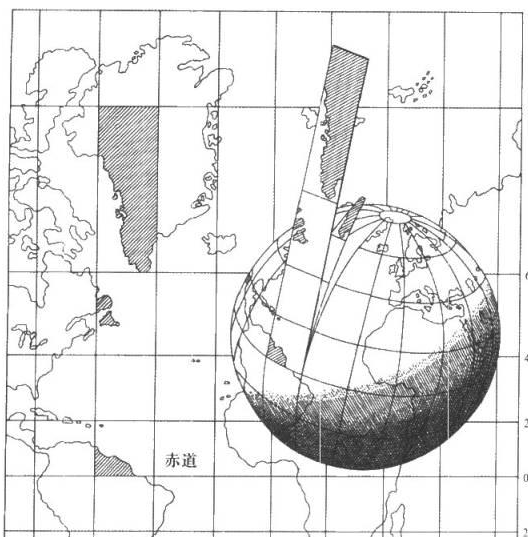


所得地图放大系数维度为53×51，上表仅展示了15×10。值得一说的有以下几点：1、首先是格点数和格点距的确定，查资料可知格点数=经纬度数(°)×111(km)÷分辨率(dx或dy [km])，但111km是赤道上每相差1°对应的弧长，所以我个人选择使用所求区域中央纬度上每相差1°对应的弧长距离作为格点距，因此格点数的确定就可以近似认为1°为1个格点，由此也确定了该区域为53×51的网格。

2、关于最佳标准纬度i,j的选择，由于兰勃特投影适用于中纬度地区，所以我在i,j∈(20°,70°)进行最佳纬度的比较，比较方式是计算选取不同i,j时投影区域某经度上值的方差，最终所得最佳标准纬度为29°N和53°N。

**3.麦卡托投影**

**(1)**在麦卡托投影下，选取一矩形网格，参考点O为（100°E，5°N)，网格距100 km，网格点向北6个，向东7个。先求出O点到赤道平面的距离，以及其他格点到赤道的距离后，再根据公式（3.3）和公式（3.4）计算各网格点上的地图放大系数和科里奥利参数。

 实验程序[MATLAB]：

|  |
| --- |
| clear;clc;  m = zeros(7,8);  f = zeros(7,8);  d = 100;  phy0 = 5;  a = 6371;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  l\_ref = a \* cosd(22.5) \* tand(phy0);  for In = 0:7  for Jn = 0:6    l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);    m(Jn+1,In+1) = sqrt((a\*cosd(22.5))^2+l^2)/a;    f(Jn+1,In+1) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(22.5))^2+l^2);  end  end  m = flipud(m);f = flipud(f); |

地图放大系数和科里奥利参数如下表：



**这里认为书上示例有误**，麦卡托投影映像平面上网格横纵坐标线与纬线和经线平行，地图放大系数和科里奥利参数应为纬向对称，这与兰勃特投影和极射赤面投影不同，但书上仍然计算了东西位移的影响（代码加深处），故书上结果错误。

此外，认为书中循环步数有误，网格点向北6个向东7个最终得到的系数维度应该为7×8，而不是6×7，若是6×7会将北边界和东边界漏掉。

**(2)**把麦卡托投影标准纬度变为30°N，选取一矩形网格，左下角原点O为（100°E，50°N)，网格距100km，网格点向北6个，向东7个。计算网格上各点的地图放大系数和科里奥利参数。

实验程序[MATLAB]：

|  |
| --- |
| clear;clc;  m = zeros(7,8);  f = zeros(7,8);  d = 100;  phy0 = 50;  a = 6371;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  l\_ref = a \* cosd(30) \* tand(phy0);  for In = 0:7  for Jn = 0:6    l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);    m(Jn+1,In+1) = sqrt((a\*cosd(30))^2+l^2)/a;    f(Jn+1,In+1) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(30))^2+l^2);  end  end  m = flipud(m);f = flipud(f); |

地图放大系数和科里奥利参数如下表：



**(3)**中尺度天气预报模式 WRF的麦卡托投影如图3.2所示，为减小模式网格上的投影形变，标准纬度可随投影范围改变。设模拟区域为中南半岛地区，尝试用MATLAB编写程序，计算麦卡托投影在东亚地区的地图放大系数和科里奥利参数，并与WPS相同设置的结果进行比较。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| %中南半岛10N~28N 92E~110E  clear;clc;  M = 9;N = 9;%M东西扩展 N南北扩展  m = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  f = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);  phy0 = 19;  a = 6371;  d = round(a\*cosd(phy0)\*2\*3.14/360);  % d = 100;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  %寻找最佳标准维度  for stdi = 1:31  for i = -N:N  l\_ref\_test = a \* cosd(stdi-1) \* tand(phy0);  l\_test = sqrt((l\_ref\_test+i\*d)^2);  m\_test(i+1+N,1) = sqrt((a\*cosd(stdi-1))^2+l\_test^2)/a;  s2(stdi,1) = sum((m\_test-1).^2)/(2 \* N+1);  end  end  [~,k] = min(s2);  stdlat = k-1;  l\_ref = a \* cosd(stdlat) \* tand(phy0); | for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);  m(Jn+1+N,In+1+M) = sqrt((a\*cosd(stdlat))^2+l^2)/a;  f(Jn+1+N,In+1+M) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(stdlat))^2+l^2);  end  end  m = flipud(m);f = flipud(f);  stdlat\_WPS = 22.5;  m\_WPS = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  f\_WPS = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);  l\_ref = a \* cosd(stdlat\_WPS) \* tand(phy0);  for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);  m\_WPS(Jn+1+N,In+1+M) = sqrt((a\*cosd(stdlat\_WPS))^2+l^2)/a;  f\_WPS(Jn+1+N,In+1+M) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(stdlat\_WPS))^2+l^2);  end  end  m\_WPS = flipud(m\_WPS);f\_WPS = flipud(f\_WPS); |

 计算所得地图放大系数和科里奥利参数如下表：

与标准麦卡托投影（右）进行比较（部分）：



值得一提的有以下几点：

1、中南半岛选取的范围为10°N~28°N、92°E~110°E，寻找最佳标准纬度的方法与实验二(3)相同，最终所得最佳标准纬度为20°N，说明不能简单选择中央纬度为标准纬度。

2、习题中提到与WPS相同设置进行比较，查询知WPS（WRF preprocessing system）是WRF的预处理系统，主要用于实测数据处理，但关于WRF和WPS目前仍未接触和掌握，是课程后期内容，故认为该习题于此并不合适，故并未与WPS相同设置进行比较，而是选择与标准麦卡托投影(22.5°N)的结果进行比较（仅比较前5×5）。算得标准麦卡托投影地图放大系数方差为1.0012，而最佳投影方差为1.0009。

**4.极射赤面投影**

**(1)**在极射赤面投影下，选取一矩形网格，参考点O为（50°N，100°E），网格距100 km，网格点向北6个，向东7个。计算网格上各点的地图放大系数和科里奥利参数（可先根据式（4.1）求出O点到北极点的距离，在此基础上求出其他格点到北极点的距离，再根据公式（4.5）和公式（4.6）求出地图放大系数和科里奥利参数）。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| %中南半岛10N~28N 92E~110E  clear;clc;  M = 9;N = 9;%M东西扩展 N南北扩展  m = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  f = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);  phy0 = 19;  a = 6371;  d = round(a\*cosd(phy0)\*2\*3.14/360);  % d = 100;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  %寻找最佳标准维度  for stdi = 1:31  for i = -N:N  l\_ref\_test = a \* cosd(stdi-1) \* tand(phy0);  l\_test = sqrt((l\_ref\_test+i\*d)^2);  m\_test(i+1+N,1) = sqrt((a\*cosd(stdi-1))^2+l\_test^2)/a;  s2(stdi,1) = sum((m\_test-1).^2)/(2 \* N+1);  end  end  [~,k] = min(s2);  stdlat = k-1;  l\_ref = a \* cosd(stdlat) \* tand(phy0); | for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);  m(Jn+1+N,In+1+M) = sqrt((a\*cosd(stdlat))^2+l^2)/a;  f(Jn+1+N,In+1+M) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(stdlat))^2+l^2);  end  end  m = flipud(m);f = flipud(f);  stdlat\_WPS = 22.5;  m\_WPS = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);%放大系数  f\_WPS = zeros(2 \* N+1,2\* M+1);  l\_ref = a \* cosd(stdlat\_WPS) \* tand(phy0);  for In = -M:M  for Jn = -N:N  l = sqrt((l\_ref+Jn\*d)^2);  m\_WPS(Jn+1+N,In+1+M) = sqrt((a\*cosd(stdlat\_WPS))^2+l^2)/a;  f\_WPS(Jn+1+N,In+1+M) = 2\*omega\*l/sqrt((a\*cosd(stdlat\_WPS))^2+l^2);  end  end  m\_WPS = flipud(m\_WPS);f\_WPS = flipud(f\_WPS); |

计算所得地图放大系数和科里奥利参数如下表：



和3.(1)类似，认为应该为7×8的结果矩阵而不是6×7。

**(2)**试求极射赤面投影下位于50°N、60°N、70°N、80°N的矩形网格点的地图放大系数和科里奥利参数。

实验程序[MATLAB]：

|  |
| --- |
| clear;clc  fai = [50;60;70;80];  a = 6371;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  k = 1;  seita0 = 30;  le = a\*sind(seita0)/tand(seita0/2);  l = le\*tand((90-fai)/2);  sinfai = (le.^2 - l.^2)./(le.^2 + l.^2);  m = sind(seita0)/tand(seita0/2) ./ (1 + sinfai);  f = 2\*omega.\*sinfai; |

依据公式(4.1)和(4.2)，计算了所给纬度处的地图放大系数和科里奥利参数。

地图放大系数和科里奥利参数如下表：



**(3)**把极射投影标准纬度变为70°N，选取一矩形网格，左下角原点O为（100°E，50°N），网格距100 km，网格点向北6个，向东7个。计算网格上各点的地图放大系数和科里奥利参数。

实验程序[MATLAB]：

|  |  |
| --- | --- |
| clear;clc  m = zeros(7,8);  f = zeros(7,8);  d = 100;  phy0 = 50;  a = 6371;  omega = 7.292 \* 10^(-5);  seita0 = 20;  le = a\*sind(seita0)/tand(seita0/2);  l\_ref = le \* cosd(phy0)/(1+sind(phy0)); | for In = 0:7  for Jn = 0:6    l = sqrt((abs(In)\*d)^2+(l\_ref-Jn\*d)^2);  m(Jn+1,In+1) = sind(seita0)/tand(seita0/2)/(1+((le^2-l^2)/(le^2+l^2)));  f(Jn+1,In+1) = 2 \* omega \* ((le^2-l^2)/(le^2+l^2));  end  end  m = flipud(m);f=flipud(f); |

地图放大系数和科里奥利参数如下表：



|  |
| --- |
| 教师评语： |