

用 SSH 分析西北太平洋海面高度的气候态与季节变化

报告人：XX 学号：20XX8345XXXX

1 实习目的

复习 MATLAB 的基本数据读取和绘图功能，了解 `m_map` 工具包的应用
 深化理解海面动力高度在全球的时空分布特征和物理意义

2 实习资料

Matlab 2025b 软件和 `sshg.2007.nc` 与 `sshg.2017.nc`

3 主要方法

本研究使用的 `sshg.2007.nc` 与 `sshg.2017.nc` 文件均为 NetCDF 格式的海面高度(Sea Surface Height,SSH) 栅格数据文件，文件格式为 `classic` 类型。两个文件结构一致，主要存储了 2007 年与 2017 年全球（或区域）范围内的逐月海面高度异常场（Sea Surface Height Gridded,SSHG），是进行海洋气候态、年际变化及风场-海平面耦合分析的重要基础数据。文件包含三个主要维度（经度、纬度、时间），六个变量以及十三个全局属性。主要数据变量为 `sshg`，其余变量包括经纬度与时间坐标信息。

3.1 数据结构与变量说明

3.1.1 维度信息

表 1: SSH 数据维度说明

维度名称	含义	大小	说明
lon	经度	360	从西向东均匀分布
lat	纬度	418	从南到北均匀分布
time	时间	12	表示 12 个月的月平均值

3.1.2 变量信息

表 2: SSH 文件变量信息表

变量名	数据类型	维度	说明
lon	double	[360]	经度（单位：°E）
lat	double	[418]	纬度（单位：°N）
time	double	[12]	时间步长，对应 1-12 月
date	char	[12]	日期字符串（如“2007-01”）
timePlot	double	[12]	用于绘图的时间辅助变量
sshg	int16	[360×418×12]	海面高度异常主变量

3.1.3 主要变量 SSH 描述

SSH 是文件的核心变量,表示在指定经纬度与月份下的海面高度异常值。其维度顺序为 [lon, lat, time], 即经度 \times 纬度 \times 时间。数据类型为 int16, 一般需要在读取后转换为 double 类型以便计算。SSH 的物理意义为: 海面相对于多年平均海平面的高度偏差, 反映海洋动力过程、热胀冷缩效应以及环流系统的变化特征。时间维度的 12 个样本分别对应当年的 1 月至 12 月。

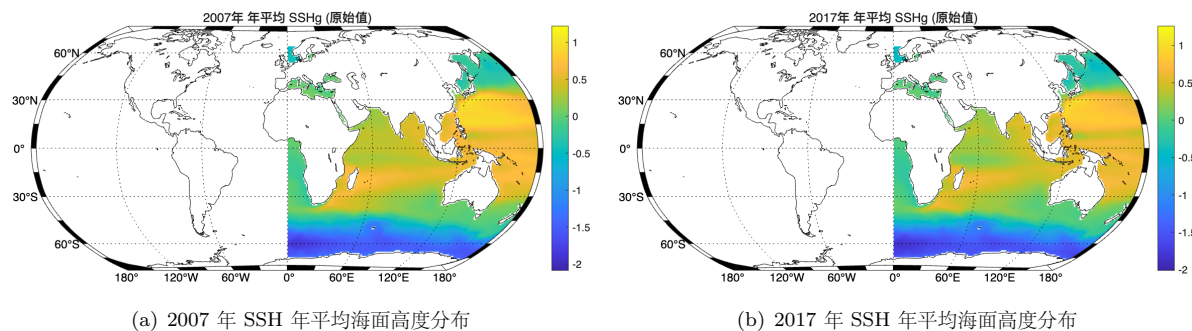


图 1: 2007 年与 2017 年 SSH 年平均海面高度对比图

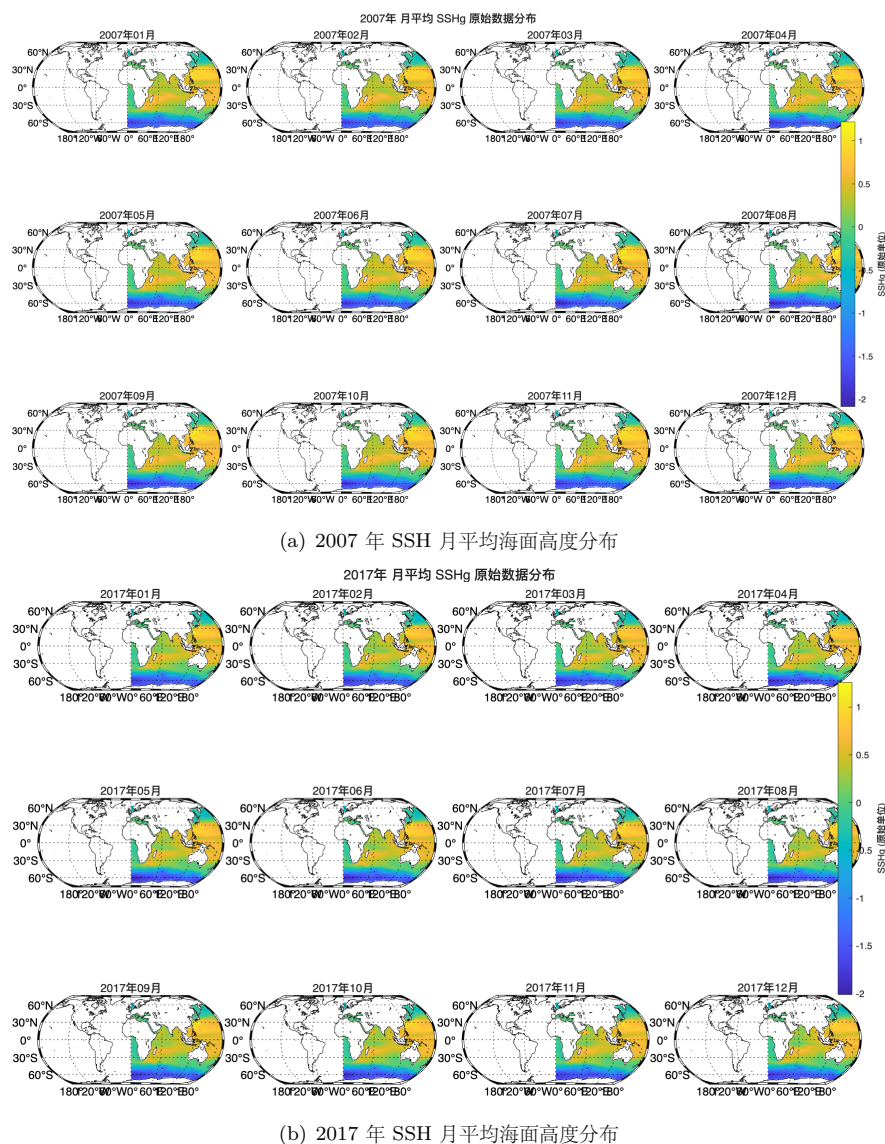
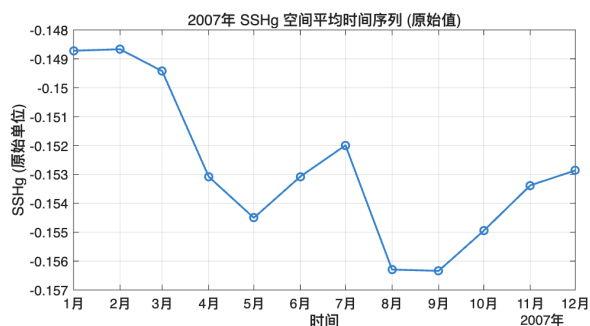
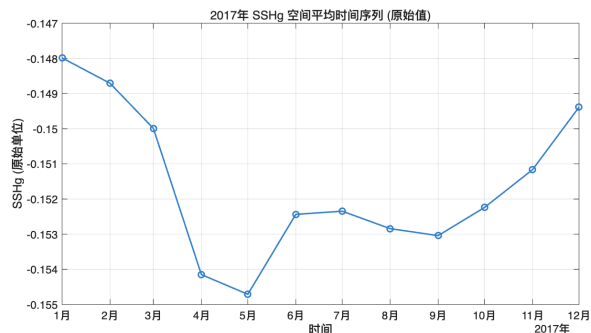


图 2: 2007 年与 2017 年 SSH 月平均海面高度对比图



(a) 2007 年 SSH 空间平均的时间序列图



(b) 2017 年 SSH 空间平均的时间序列图

图 3: 2007 年与 2017 年 SSH 月空间平均的时间序列图

4 主要内容

4.1 研究区与数据处理

研究区选取为西北太平洋 $120^{\circ}-160^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$ 区域。覆盖黑潮主流/延伸体 (KE) 与其南侧的副热带环流内海域, 是西北太平洋上层环流的动力核心区。北界未超过 40°N , 避开强冬季深对流与近岸陆架过程的主导影响、南界到 10°N 足以包含副热带环流内的高 SSH 脊线。保证环流信号清晰。数据处理使用月平均 SSHg 构建四季合成与年平均。统一色标 (同一图组内四季/两年一致), 保证横向可比性。计算研究区内面积加权区域平均得到 1-12 月月循环。

4.2 气候态空间分布 (年平均与四季平均)

4.2.1 年平均基本态

研究区呈现典型副热带环流的海面高度场, 南部 ($15^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$) 高、北部 ($30^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$) 低。黑潮/KE 在 $30^{\circ}-35^{\circ}\text{N}$, $135^{\circ}-155^{\circ}\text{E}$ 一带, SSHg 等值线密集, 呈现显著的带状梯度带, 对应 KE 主轴位置与强东向流区。可见 2007 年的 SSH 整体偏高于 2017 年, 尤其在 $20^{\circ}-30^{\circ}\text{N}$, $135^{\circ}-150^{\circ}\text{E}$ 的副热带内部与 KE 南侧。

2007 与 2017 年年平均 SSHg 对比

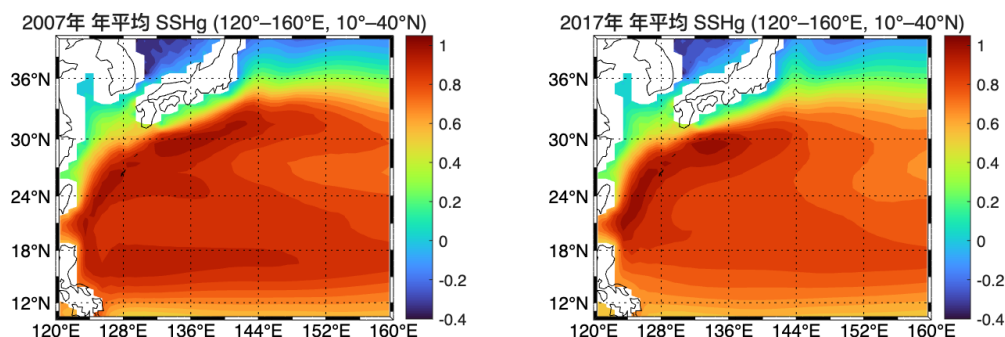


图 4: 2007 年与 2017 年年平均 SSHg 对比

4.2.2 四季平均

冬季 (DJF) 北部 ($30^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$) 梯度最陡, KE 带状结构最清晰; 2007 年相对 2017 年高值区更向西南扩展, 指示该年冬季副热带环流/KE 势能更强。

冬季季节 SSHg 对比 (2007 vs 2017)

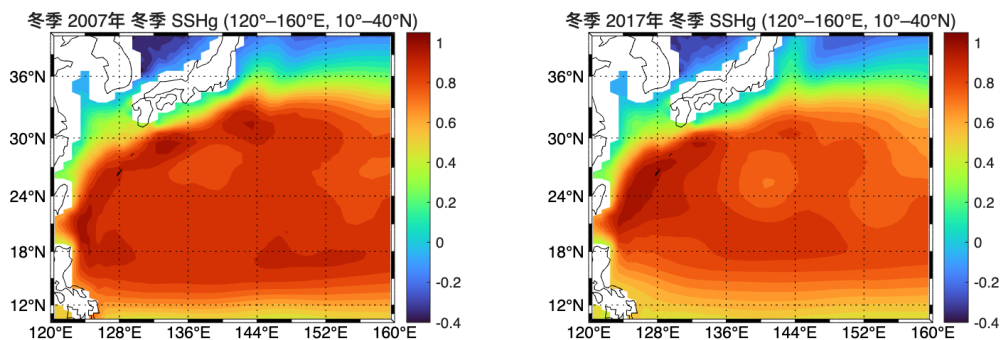


图 5: 冬季季节 SSH 对比 (2007 vs 2017)

春季 (MAM) 整体 SSH 开始回升, 梯度仍然较强但较冬季有所缓和。2007 年的高 SSH 带仍明显强于 2017 年。

春季季节 SSHg 对比 (2007 vs 2017)

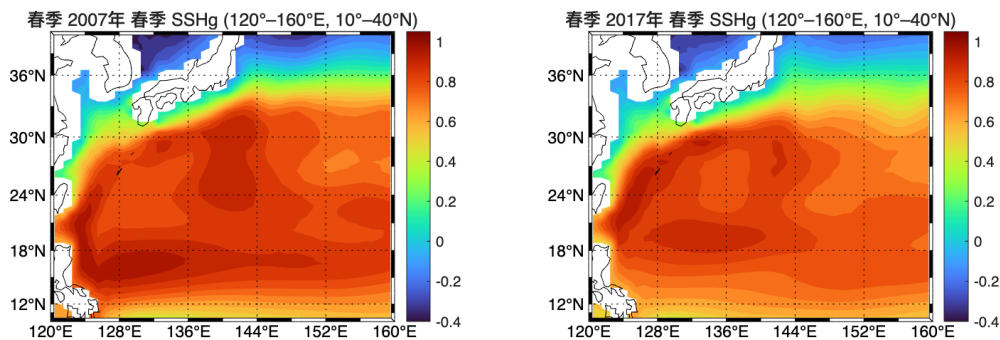


图 6: 春季季节 SSH 对比 (2007 vs 2017)

夏季 (JJA) 南侧高值明显增强, 高 SSH 区北伸, 但纬向梯度较冬春弱。2007 年在 $25^{\circ}-33^{\circ}\text{N}$ 的高值范围仍较 2017 年广。

夏季季节 SSHg 对比 (2007 vs 2017)

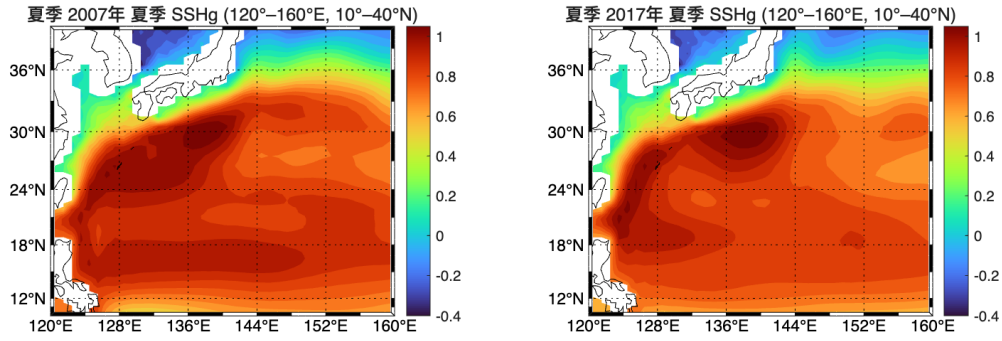


图 7: 夏季季节 SSH 对比 (2007 vs 2017)

秋季 (SON) 仍维持较高 SSH 背景场, 北部渐转弱、进入冬季态过渡。两年差异继续存在, 2007 年偏高的格局保持。

秋季季节 SSHg 对比 (2007 vs 2017)

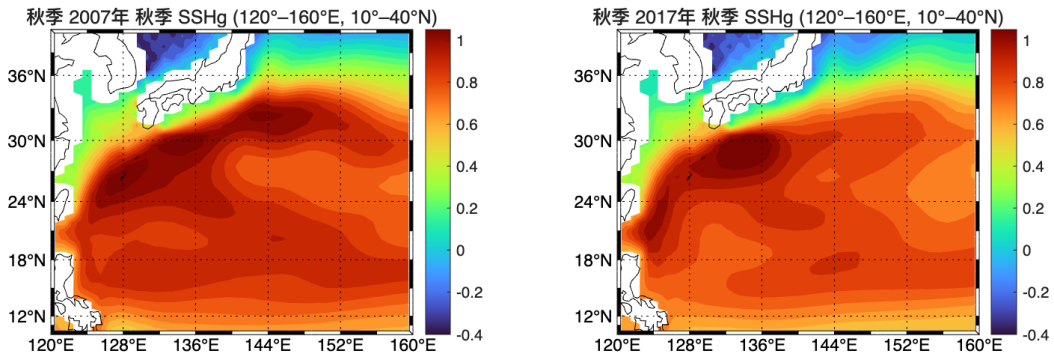


图 8: 秋季季节 SSH 对比 (2007 vs 2017)

4.3 区域平均月循环 (2007 vs 2017)

季节上相位一致, 两年均呈“冬季低、夏末—初秋高”的单峰型年循环。年际幅度与水平上, 2007 年整体高于 2017 年。从曲线读数看, 全年差值约 0.05–0.08, 最小值出现在 2–3 月 (2007 ≈ 0.65 、2017 ≈ 0.59 附近), 峰值出现在 8–9 月 (2007 ≈ 0.75 – 0.76 2017 ≈ 0.69 – 0.70), 两年峰—谷幅度均约 0.10 ± 0.02 , 2017 的振幅略小。物理解释为区域平均 SSH 的年循环主要由热胀冷缩 (海洋热含量) 的季节变化与风应力涡度季节摆动共同控制。

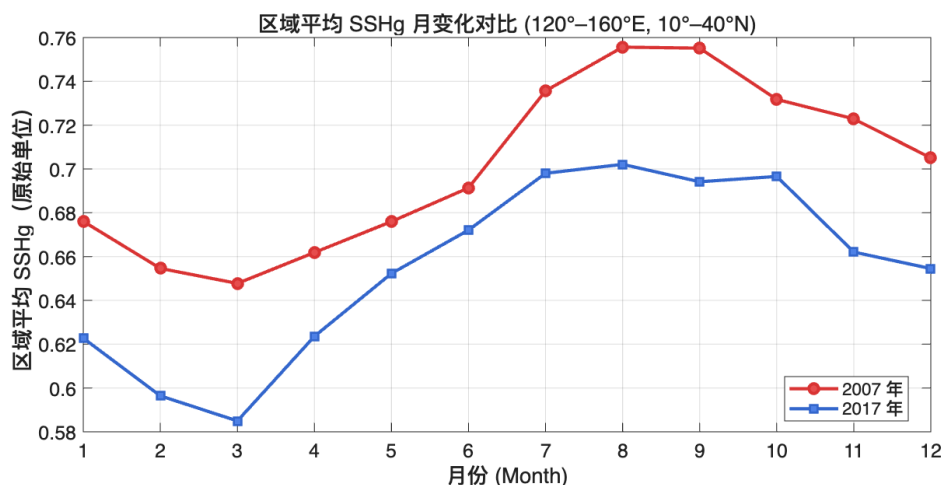


图 9: 区域平均 SSH 月变化对比 (120°-160°E 10°-40°N)。

5 实习小结

本次实习通过对 2007 年与 2017 年西北太平洋海面高度(SSH)资料的对比分析,系统复习了 MATLAB 的 NetCDF 数据读取、M_Map 地图绘制及图像批处理方法。通过编写自动化脚本,成功实现了四季平均、年平均以及区域平均时间序列的计算与可视化。

结果显示,研究区(120°-160°E, 10°-40°N)具有典型的副热带环流结构:南高北低,黑潮及其延伸体(Kuroshio Extension, KE)对应明显的 SSH 梯度带。年际对比发现,2007 年的 SSHg 整体高于 2017 年,尤其在 20°-30°N、135°-150°E 区域,表明该时期副热带环流较强、海洋热含量较高。从年循环特征来看,两年均呈现“冬季低、夏秋高”的单峰型变化,但 2017 年整体偏低且振幅略小,说明近十年间该区域可能存在热膨胀减弱或风应力涡度调整等动力差异。

本次实验不仅加深了对 SSHg 数据物理意义的理解,也提升了利用 MATLAB 进行海洋网格数据处理与空间可视化的能力,为后续进行海洋气候态、黑潮变异及 ENSO 相关研究奠定了数据与方法基础。

参考文献

- [1] Gill, A. E. (1982). *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, London.
- [2] Chelton, D. B., & Schlax, M. G. (1996). Global observations of oceanic Rossby waves. *Science*, 272(5259), 234-238.
- [3] Wunsch, C., & Stammer, D. (1998). Satellite altimetry, the marine geoid, and the oceanic general circulation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 26, 219-253.
- [4] Stammer, D. (1997). Global characteristics of ocean variability estimated from regional TOPEX/Poseidon altimeter measurements. *Journal of Physical Oceanography*, 27(8), 1743-1769.
- [5] National Centers for Environmental Information (NCEI). (2024). *GODAS (Global Ocean Data Assimilation System) Sea Surface Height Data*. NOAA, U.S. Department of Commerce.
- [6] The MathWorks, Inc. (2025). *MATLAB R2025b Documentation*. Natick, Massachusetts, USA.
- [7] OpenAI. (2025). *ChatGPT (GPT-5) Technical Assistance Platform*. OpenAI, San Francisco, CA, USA.

附录

附录一

```
1 clear; clc; close all;
2
3 years = [2007, 2017];
4 basePath = '/Users/macbookair15/Desktop/海洋气象学/m_map/';
5 lonlim = [-180 180];
6 latlim = [-80 80];
7 cmap = parula(200);
8
9 for y = years
10     fprintf('\n=====\\n');
11     fprintf('  处理年份: %d\\n', y);
12     fprintf('=====\\n');
13
14     fname = fullfile(basePath, sprintf('sshg.%d.nc', y));
15
16     info = ncinfo(fname);
17     disp('文件包含的变量: ');
18     disp({info.Variables.Name}');
19
20     lon = ncread(fname, 'lon');
21     lat = ncread(fname, 'lat');
22     time = ncread(fname, 'time');
23     sshg = ncread(fname, 'sshg');
24
25     [nlat, nlon, ntime] = size(sshg);
26     fprintf('SSHg 数据维度: %d×%d×%d (lat×lon×time)\\n', nlat, nlon, ntime);
27
28     minSSH = min(sshg(:));
29     maxSSH = max(sshg(:));
30     meanSSH = mean(double(sshg(:)), 'omitnan');
31     fprintf('原始 SSHg 范围: %d ~ %d (平均值 = %.2f)\\n', minSSH, maxSSH, meanSSH);
32
33     %% === 时间变量转日期 ===
34     refDate = datetime(1800,1,1,0,0,0);
35     time_dt = refDate + days(time);
36
37     %% === 绘制 12 个月平均图 ===
38     clim = [double(minSSH) double(maxSSH)];
39
40     figure('Name', sprintf('%d_Monthly', y), 'Position',[100 100 1200 800]);
41     tiledlayout(3,4,'Padding','compact','TileSpacing','compact');
42     for k = 1:ntime
43         nexttile;
44         m_proj('robinson','lon',lonlim,'lat',latlim);
45         m_pcolor(lon, lat, double(sshg(:,:,k))); shading interp;
46         m_coast('color','k');
47         m_grid('box','fancy','tickdir','in');
48         title(datestr(time_dt(k),'yyyy 年 mm 月'));
```



```

49         caxis(clim); colormap(cmap);
50     end
51     cb = colorbar('Position',[0.92 0.25 0.015 0.5]);
52     cb.Label.String = 'SSHg (原始单位)';
53     sgtitle(sprintf('%d 年 月平均 SSHg 原始数据分布', y));
54
55     %% === 年平均图 ===
56     sshg_year = mean(double(sshg),3,'omitnan');
57     figure('Name', sprintf('%d_AnnualMean', y), 'Position',[200 200 900 450]);
58     m_proj('robinson','lon',lonlim,'lat',latlim);
59     m_pcolor(lon, lat, sshg_year); shading interp;
60     m_coast('color','k'); m_grid('box','fancy','tickdir','in');
61     colorbar; colormap(cmap);
62     caxis(clim);
63     title(sprintf('%d 年 年平均 SSHg (原始值)', y));
64
65     %% === 空间平均时间序列 ===
66     sshg_mean_time = squeeze(mean(double(sshg), [1 2], 'omitnan'));
67     figure('Name', sprintf('%d_MeanTimeSeries', y), 'Position',[200 200 700 350]);
68     plot(time_dt, sshg_mean_time, '-o', 'LineWidth',1.5, 'Color',[0.2 0.5 0.8]);
69     xlabel('时间'); ylabel('SSHg (原始单位)');
70     title(sprintf('%d 年 SSHg 空间平均时间序列 (原始值)', y));
71     grid on;
72 end

```

附录二

```

1  clear; clc; close all;
2
3  basePath = '/Users/macbookair15/Desktop/海洋气象学/m_map/';
4  outdir = '/Users/macbookair15/Desktop/SSH/';
5  if ~exist(outdir,'dir'); mkdir(outdir); end
6
7  REG_LON = [120 160];
8  REG_LAT = [10 40];
9  years = [2007 2017];
10
11  cmap = turbo(256);
12  deg2rad = pi/180;
13  Re = 6371000;
14  region_title = sprintf('(%g°-%g°E, %g°-%g°N)',REG_LON(1),REG_LON(2),REG_LAT(1),REG_LAT(2));
15
16  data = struct();
17
18  for y = years
19      fname = fullfile(basePath, sprintf('sshg.%d.nc',y));
20      if ~isfile(fname)
21          warning('文件不存在: %s', fname); continue;
22      end
23
24      lon = double(ncread(fname,'lon'));

```



```

25     lat = double(ncread(fname,'lat'));
26     time = double(ncread(fname,'time'));
27     sshg = double(ncread(fname,'sshg'));
28
29     if size(sshg,1)==numel(lon)
30         sshg = permute(sshg,[2 1 3]); % (lat,lon,time)
31     end
32
33     refDate = datetime(1800,1,1,0,0,0);
34     t_dt = refDate + days(time);
35     mo = month(t_dt);
36
37     lon_idx = lon>=REG_LON(1) & lon<=REG_LON(2);
38     lat_idx = lat>=REG_LAT(1) & lat<=REG_LAT(2);
39     lon_sub = lon(lon_idx);
40     lat_sub = lat(lat_idx);
41     SSH = sshg(lat_idx,lon_idx,:);
42
43     % === 四季平均 ===
44     DJF = mean(SSH(:,:,ismember(mo,[12 1 2])),3,'omitnan');
45     MAM = mean(SSH(:,:,ismember(mo,[3 4 5])),3,'omitnan');
46     JJA = mean(SSH(:,:,ismember(mo,[6 7 8])),3,'omitnan');
47     SON = mean(SSH(:,:,ismember(mo,[9 10 11])),3,'omitnan');
48     YEAR = mean(SSH,3,'omitnan');
49
50     % 区域平均时间序列
51     ssh_mean = squeeze(mean(SSH,[1 2],'omitnan'));
52
53     data.(sprintf('Y%d',y)).lon = lon_sub;
54     data.(sprintf('Y%d',y)).lat = lat_sub;
55     data.(sprintf('Y%d',y)).time = t_dt;
56     data.(sprintf('Y%d',y)).SSH = SSH;
57     data.(sprintf('Y%d',y)).meanTS = ssh_mean;
58     data.(sprintf('Y%d',y)).DJF = DJF;
59     data.(sprintf('Y%d',y)).MAM = MAM;
60     data.(sprintf('Y%d',y)).JJA = JJA;
61     data.(sprintf('Y%d',y)).SON = SON;
62     data.(sprintf('Y%d',y)).YEAR = YEAR;
63 end
64
65 clim = [min(data.Y2007.YEAR,[],'all') max(data.Y2017.YEAR,[],'all')];
66
67 %% === (1) 四季对比: 2007 vs 2017 ===
68 seasons = {'DJF','MAM','JJA','SON'};
69 titles = {'冬季','春季','夏季','秋季'};
70 for i = 1:4
71     figure('Position',[100 100 1100 520]);
72     sname = seasons{i};
73
74     % 左: 2007
75     subplot(1,2,1);
76     m_proj('mercator','lon',REG_LON,'lat',REG_LAT);
77     m_contourf(data.Y2007.lon,data.Y2007.lat,data.Y2007.(sname),24,'LineColor','none');

```

```

78     caxis(clim); colormap(cmap); colorbar;
79     m_coast('color','k'); m_grid('box','fancy','tickdir','in');
80     title(sprintf('%s 2007 年 %s SSHg %s',titles{i},titles{i},region_title));
81
82     % 右: 2017
83     subplot(1,2,2);
84     m_proj('mercator','lon',REG_LON,'lat',REG_LAT);
85     m_contourf(data.Y2017.lon,data.Y2017.lat,data.Y2017.(sname),24,'LineColor','none');
86     caxis(clim); colormap(cmap); colorbar;
87     m_coast('color','k'); m_grid('box','fancy','tickdir','in');
88     title(sprintf('%s 2017 年 %s SSHg %s',titles{i},titles{i},region_title));
89
90     sgtitle(sprintf('%s 季节 SSHg 对比 (2007 vs 2017)',titles{i}));
91     set(gcf,'Color','w');
92     saveas(gcf, fullfile(outdir, sprintf('SSHg_%s_2007vs2017.png',sname)));
93     print(gcf, fullfile(outdir, sprintf('SSHg_%s_2007vs2017',sname)), '-dpdf','-r300');
94 end
95
96 %% === (2) 年平均对比 ===
97 figure('Position',[100 100 1000 480]);
98 subplot(1,2,1);
99 m_proj('mercator','lon',REG_LON,'lat',REG_LAT);
100 m_contourf(data.Y2007.lon,data.Y2007.lat,data.Y2007.YEAR,24,'LineColor','none');
101 caxis(clim); colormap(cmap); colorbar;
102 m_coast('color','k'); m_grid('box','fancy','tickdir','in');
103 title(sprintf('2007 年 年平均 SSHg %s',region_title));
104
105 subplot(1,2,2);
106 m_proj('mercator','lon',REG_LON,'lat',REG_LAT);
107 m_contourf(data.Y2017.lon,data.Y2017.lat,data.Y2017.YEAR,24,'LineColor','none');
108 caxis(clim); colormap(cmap); colorbar;
109 m_coast('color','k'); m_grid('box','fancy','tickdir','in');
110 title(sprintf('2017 年 年平均 SSHg %s',region_title));
111
112 sgtitle('2007 与 2017 年年平均 SSHg 对比');
113 set(gcf,'Color','w');
114 saveas(gcf, fullfile(outdir, 'SSHg_Annual_2007vs2017.png'));
115 print(gcf, fullfile(outdir, 'SSHg_Annual_2007vs2017'), '-dpdf','-r300');
116
117 %% === (3) 区域平均时间序列 (2007 vs 2017) ===
118 fprintf('\n=== 生成 2007 vs 2017 区域平均时间序列 ===\n');
119
120 % 提取每年各月平均 (1-12 月)
121 months = 1:12;
122 mean2007 = NaN(1,12);
123 mean2017 = NaN(1,12);
124
125 for m = 1:12
126     idx07 = month(data.Y2007.time) == m;
127     idx17 = month(data.Y2017.time) == m;
128     mean2007(m) = mean(data.Y2007.meanTS(idx07), 'omitnan');
129     mean2017(m) = mean(data.Y2017.meanTS(idx17), 'omitnan');
130 end

```

```

131
132 % === 绘图 ===
133 figure('Position',[150 150 900 400]);
134 hold on; grid on; box on;
135
136 plot(months, mean2007, '-o', 'LineWidth', 2.0, ...
137      'Color', [0.85 0.2 0.2], 'MarkerFaceColor', [0.9 0.3 0.3]); % 红线
138 plot(months, mean2017, '-s', 'LineWidth', 2.0, ...
139      'Color', [0.2 0.4 0.8], 'MarkerFaceColor', [0.3 0.5 0.9]); % 蓝线
140
141 xlim([1 12]);
142 xticks(1:12);
143 xlabel('月份 (Month)');
144 ylabel('区域平均 SSHg (原始单位) ');
145 legend('2007 年','2017 年','Location','best');
146 title(sprintf('区域平均 SSHg 月变化对比 %s', region_title));
147 set(gca,'FontSize',12);
148 set(gcf,'Color','w');
149
150 % 保存输出
151 saveas(gcf, fullfile(outdir, 'SSHg_RegionalMean_TS_2007vs2017.png'));
152 print(gcf, fullfile(outdir, 'SSHg_RegionalMean_TS_2007vs2017'), '-dpdf', '-r300');
153 fprintf(' 已保存: %s\n', fullfile(outdir, 'SSHg_RegionalMean_TS_2007vs2017.png'));
154

```
