

平均经圈环流质量流函数的计算

朱丰

中国气象科学研究院，北京，100081

摘要：使用 NCEP/NCAR 再分析纬向平均经向风资料，利用迭代方案计算年平均经圈环流的质量流函数和季节平均经圈环流的质量流函数，利用 NCL 绘制平均经向环流图，分析三圈环流的形态特征，评估 *Hadley* 环流的季节变化。

关键词：经圈环流，质量流函数，迭代计算方案

1. 引言

平均经圈环流 (MMC) 是指大尺度水平运动的平均经向分量和平均垂直运动在经向垂直剖面上构成的环流圈, 具有纬向对称性。构成 MMC 的主要系统是 *Hadley* 环流圈、*Ferrel* 环流圈和极地环流圈, 它们分别位于地球的热带、副热带和极地地区。本文通过质量流函数的计算, 绘制年平均经圈环流的垂直分布图。然后绘制季节平均经圈环流的垂直分布图, 以分析 *Hadley* 环流的季节变化。

2. 使用资料

本文使用 NCEP/NCAR 再分析资料中 NCEP 各月长期平均场 v , 垂直方向取 17 层 (1000、900、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10hPa), 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 时间为 1981 年至 2010 年。

3. 经圈环流计算方案

本文采用迭代方案 (李萍, 缪启龙 2011), 选取 1000—100hPa 的经向风速资料, 将大气从下至上分 12 层, 添加上、下边界并假设上边界为 0hPa、下边界为 1030hPa。对于全球纬向平均后的经向风资料分两步计算各网格点上的 ψ 值 (质量流函数)。

首先, 计算 $\psi \uparrow$ 、 $\psi \downarrow$ 。从下边界 $k = 0$ 处向上积分, 求得 $\psi \uparrow(k)$,

$$\psi \uparrow(k) = \sum_{k'=1}^k B(k', k' - 1) \Delta p(k', k' - 1) \quad k = 1, 2, \dots, 12 \quad (1)$$

从上边界 $k = 13$ 处向下积分, 求得 $\psi \downarrow(k)$,

$$\psi \downarrow(k) = \sum_{k'=12}^k B(k', k' + 1) \Delta p(k', k' + 1) \quad k = 12, 11, \dots, 1 \quad (2)$$

式中,

$$B(k', k' - 1) = 2\pi a \cos \phi \frac{[v]_{k'} + [v]_{k'-1}}{2g} \quad (3)$$

为第 k' 、 $k' - 1$ 层等压面间的平均向北质量输送强度， ϕ 为纬度， a 为地球半径， g 为重力加速度，符号 “[]” 表示全球纬向平均；

$$\Delta p(k', k' - 1) = p(k' - 1) - p(k') \quad (4)$$

为 k' 、 $k' - 1$ 层等压面间的气压差。

然后，以 W_1 、 W_2 为权重，利用 $\psi \uparrow$ 、 $\psi \uparrow$ ，计算叠加值 $\psi(k)$ ，

$$\psi(k) = W_1(k)\psi \uparrow + W_2(k)\psi \uparrow \quad k = 1, 2, \dots, 12 \quad (5)$$

其中， $W_1(k) = \frac{p(k)}{p(0)}$ ， $W_2(k) = 1 - W_1(k)$ 。

4. 平均经圈环流特征分析

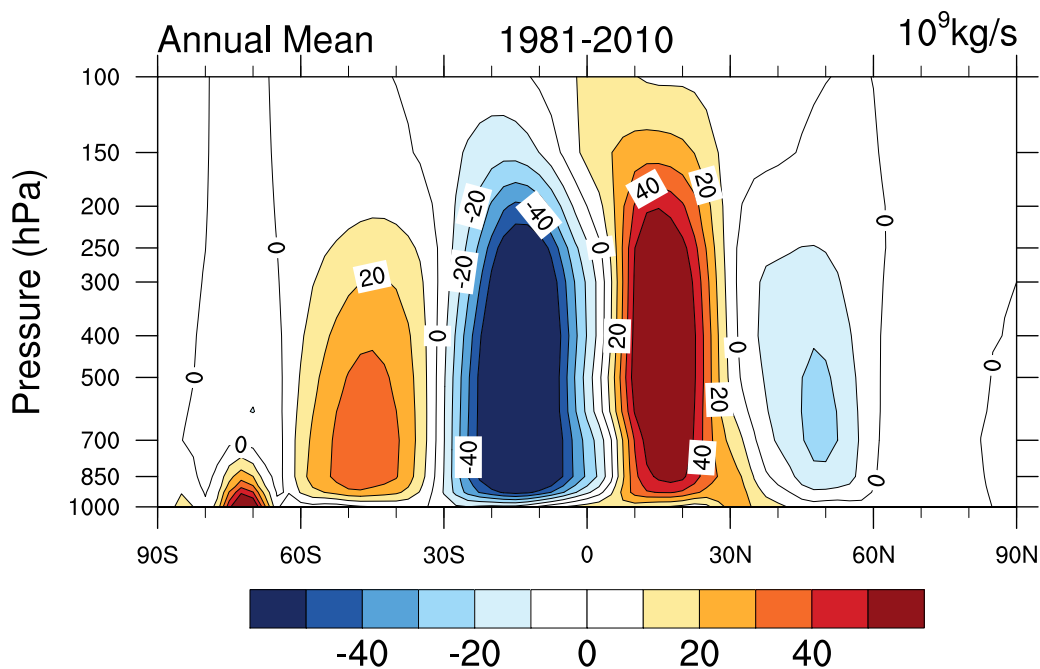


图 1: 全球年平均经向环流垂直剖面图。单位: 10^9kg/s 。

通过迭代方案的计算，计算 ψ 自 1981 年至 2010 年的 30 年年平均值，得到全球平均经向环流垂直剖面图，如图 1。从图中可以看出全球大气明显的三圈环流结构：自赤道至

30°N(S) 左右存在 *Hadley* 环流，自 30°N(S) 左右至 60°N(S) 左右存在 *Ferrel* 环流，自 60°N(S) 至 90°N(S) 存在极地环流。

同时，计算得到季节平均的情况。从图 2 中可以看出 *Hadley* 环流的季节变化。春季，北半球与南半球 *Hadley* 环流基本对称；夏季，南半球 *Hadley* 环流强盛并往北移动近 15 个纬度，而北半球 *Hadley* 环流基本消失；秋季，南半球 *Hadley* 环流依旧比北半球强盛，但较夏季有所削弱并且南撤；冬季，北半球 *Hadley* 环流较南半球更盛，最南位置越过赤道近 10 个纬度。

可见，*Hadley* 环流有着明显的季节变化规律：就环流位置而言，春季到夏季，整体向北移动，秋季到冬季，整体向南移动；就环流强度而言，冬半球强于夏半球。*Hadley* 环流的上述位置和强度的季节变化是太阳对地球非绝热加热以及大气自身动力强迫的综合作用的结果。太阳直射点附近会有相对较强的上升运动，而地球自身的旋转造成了气流在中纬度附近的偏转，最后形成 *Hadley* 环流。

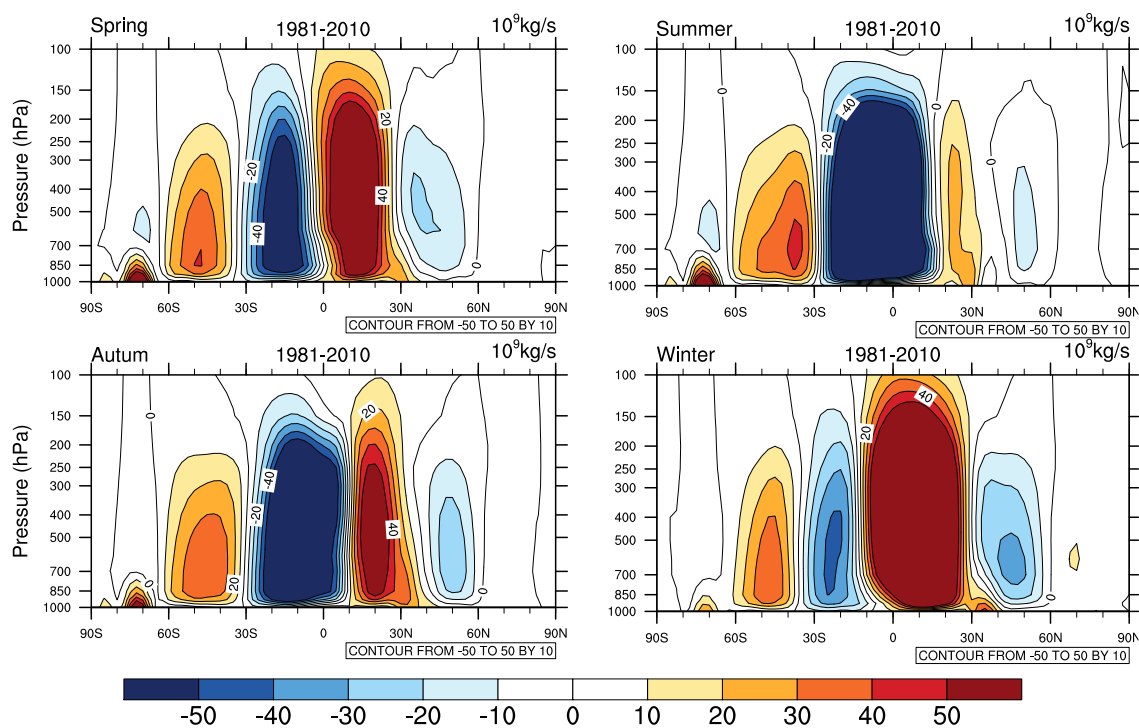


图 2: 全球季节平均经向环流垂直剖面图。单位: 10^9 kg/s 。

5. 结语

质量流函数 ψ 能够直观、定量地描述纬向平均经圈环流 (MMC)。本文利用 1981—2010 年 NCEP/NCAR 再分析资料, 采用迭代方案, 较快捷地计算了质量流函数, 得到了气候态年平均 MMC 垂直剖面图, 从图中可以看出明显的三圈环流结构。而季节平均 MMC 垂直剖面图又较为直观地反映了 *Hadley* 环流的季节变化以及南北半球的空间差异。

参考文献

李萍, 缪启龙. 夏季东亚副热带经圈环流特征及其对长江流域降水的影响 [J]. 气象与减灾研究, 2011, 34(1):24–31.

附：程序代码

```
1 program main
2 implicit none
3 integer i,j,k,x
4 integer m,n,t
5 parameter(m=73,n=12,t=12)
6 integer a
7 real pi,g
8 parameter(a=6371004,pi=3.141593,g=9.8)
9 real vwnd(m,0:n+1,t)
10 integer::p(0:13)=(/1030,1000,900,850,700,600,500,400,300,250,200,150,
100,0/)
11 real psiUp(m,n,t),psiDown(m,n,t),psi(m,n,t)
12 real PS(m,n)
```

```

13 !=====
14 integer Delta
15 real B
16 !=====
17 open(1,file='vwnd.bin',form='binary')
18 do k=1,t
19     do j=1,n
20         do i=1,m
21             read(1)vwnd(i,j,k)
22         enddo
23     enddo
24 enddo
25 close(1)
26 !=====
27 open(1,file='MF_Spr.bin',form='binary')
28 open(2,file='MF_Sum.bin',form='binary')
29 open(3,file='MF_Aut.bin',form='binary')
30 open(4,file='MF_Win.bin',form='binary')
31 do i=1,t
32     do j=1,m
33         do k=1,n
34             psiUp(j,k,i)=0
35             do x=1,k
36                 psiUp(j,k,i)=psiUp(j,k,i)+B(vwnd,x,x-1,j,i)*Delta(p,x,x-1)*100
37             enddo
38         enddo
39     do k=n,1,-1

```

```

40         psiDown(j,k,i)=0
41         do x=n,k,-1
42             psiDown(j,k,i)=psiDown(j,k,i)+B(vwnd,x,x+1,j,i)*Delta(p,x,x
+1)*100
43         enddo
44     enddo
45     do k=1,n
46         psi(j,k,i)=p(k)/p(0)*psiUp(j,k,i)+(1-p(k)/p(0))*psiDown(j,k,i)
47     enddo
48 enddo
49 enddo
50 open(5,file='MF.bin',form='binary')
51 do k=1,n
52     do j=1,m
53         PS(j,k)=0
54         do i=1,t
55             PS(j,k)=PS(j,k)+psi(j,k,i)/t
56         enddo
57         PS(j,k)=-PS(j,k)/10**9
58         write(5)PS(j,k)
59     enddo
60 enddo
61 close(5)
62 do k=1,n
63     do j=1,m
64         write(1)-(psi(j,k,3)+psi(j,k,4)+psi(j,k,5))/3.0/10**9
65     enddo

```

```

66 enddo
67 do k=1,n
68     do j=1,m
69         write(2)-(psi(j,k,6)+psi(j,k,7)+psi(j,k,8))/3.0/10**9
70     enddo
71 enddo
72 do k=1,n
73     do j=1,m
74         write(3)-(psi(j,k,9)+psi(j,k,10)+psi(j,k,11))/3.0/10**9
75     enddo
76 enddo
77 do k=1,n
78     do j=1,m
79         write(4)-(psi(j,k,12)+psi(j,k,1)+psi(j,k,2))/3.0/10**9
80     enddo
81 enddo
82 close(4)
83 close(3)
84 close(2)
85 close(1)
86 !=====
87 end
88
89 integer function Delta(arr,n1,n2)
90 implicit none
91 integer arr(0:13)
92 integer n1,n2

```



```
93 Delta=arr(n2)-arr(n1)
94 end
95
96 real function B(arr,n1,n2,nj,nt)
97 implicit none
98 real arr(73,0:13,12)
99 integer a
100 real pi,g
101 parameter(a=6371004,pi=3.141593,g=9.8)
102 integer j
103 integer n1,n2,nj,nt
104 real phi
105 phi=(nj-37)*2.5/180*pi
106 B=pi*a/g*cos(phi)*(arr(nj,n1,nt)+arr(nj,n2,nt))
107 end
```