

大尺度大气运动年际变化的数值研究*

马 镜 娴

(南京气象学院)

大尺度大气运动的流型和区域性气象要素随时间的演变,均具有比较清楚的年际变化。流型和要素年际变化的若干统计规律,正在长期天气预报和气候预报的业务中被广泛运用。目前,关于年际变化形成机理的问题已日益受到重视,这将为相应的预报方法提供动力学的理论基础。

气象要素(如地面气压)的年际变化往往用该要素多年时间序列的标准差来表征。各地时间序列的标准差各有不同,形成了该要素年际变化性的地理分布。这些地理分布具有比较固定的型式,反映了该要素年际变化的一个观测特征。Manabe^[1]在海面温度给定,模式中仅含严格年变周期热源强迫,外源没有任何年际变化成份的条件下,用较低分辨率的全球谱模式,积分了 18 个模式年,不仅模拟了地面气压的分布,而且成功地复制出了地面气压年际变化性(即标准差)的合理的空间分布。作为年际变化的另一观测特征,是有的年份某些富有特征的流型(如冬季阻塞形势)与气候平均状态相近,而有些年份流型异常发展,形成了年际之间的明显差异。刘雅章^[2]同样只引进季节性的年变强迫,未引入任何其它时间分量的强迫,对 GFDL 全球模式积分了 $17\frac{3}{4}$ 个模式年。结果显示:有的模式年冬季阻塞形势得到异常的发展。

我们认为,实际大气中的年际变化性问题,从观测角度来说,除了标准差的地理分布特征以及某些年份流型异常发展以外,还有一个重要的观测事实,即无论是大尺度流型特征,还是旱涝冷暖特点,往往在一定时间间隔以后会重复出现。鉴于这个观测事实直接与外推业务预报有关,我们对此进行数值研究。下面,先给出观测事实,接着再给出数值积分与观测事实的对比结果。

1. 500 hPa 高度场距离函数和区域旱涝随时间变化的观测事实

根据 500 hPa 月平均高度场球谐系数 A_n^m , B_n^m 的资料^[3],我们计算了距离函数

$$D_{i,j} = \sum_{n=m}^{m+6} \sum_{m=0}^4 [(A_{n,i,j}^m - A_{n,o,j}^m)^2 + (B_{n,i,j}^m - B_{n,o,j}^m)^2]$$

式中, $i=56,57,\dots,66, 68,\dots,74$, $j=1,2,\dots,12$ 。 $i=0$ 代表 1967 年的球谐系数。 $D_{i,j}$ 表示 1956, 1957, \dots , 1966, 1968, \dots , 1974 历年各月月平均高度场与 1967 年各月月平均高度场之间的距离函数。 m 为纬圈方向展开的波数, $(n-m)/2$ 为经圈方向展开的波数。一般认为,大气运动的长期变化性的大部分,系超长波等行星尺度的波动成份引起^[4],故这里沿纬圈方向的波数取到 4,经圈方向波数取到 3。这里,需要指出的是,短波,特别是 5—7 波的波动成份,有时对环流场的特征也起着重要作用,这里未能考虑,对相似程度的计算精度会有一定影响。文献[3]中,高度场沿经圈方向取偶对称展开,即假定南北半球高度场以赤道为对称。故这里计算的 $D_{i,j}$,实际上是北半球高度场的距离函数。

* 本文于 1989 年 3 月 29 日收到, 1989 年 7 月 10 日收到修改稿。

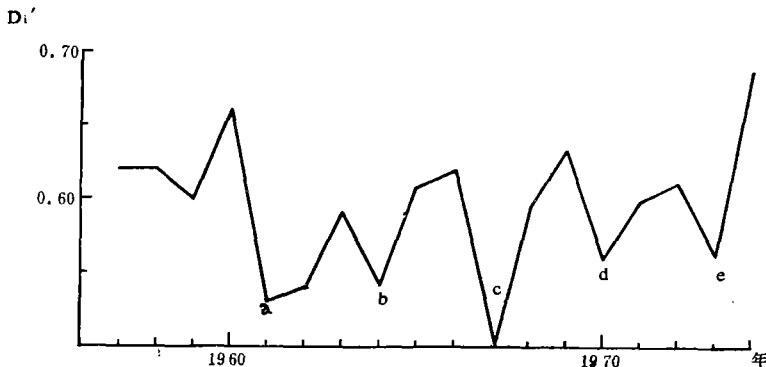


图 1 D_i' 随时间的变化

求出 $D_{i,j}$ 后,为减少 $D_{i,j}$ 年变化对分析结果的影响,计算了(1—12)月各月 $D_{i,j}$ (1956—1974)年的多年平均值 $\bar{D}_{i,j}$,并令 $D'_j = D_{i,j}/\bar{D}_{i,j}$ 。再求出 $D'_i = \left[\sum_{j=1}^{12} D_{i,j}' \right] / 12$ 。 D'_i 反映了第 i 年($i=1956, 1957, \dots, 1966, 1968, \dots, 1974$)与 1967 年 500 hPa 高度场总的相对距离。结果: 在 1960, 1963, 1966, 1969, 1972, 1974 年 D'_i 达极大; 在 1961, 1964, 1967, 1970, 1973 D'_i 达极小(图 1)。

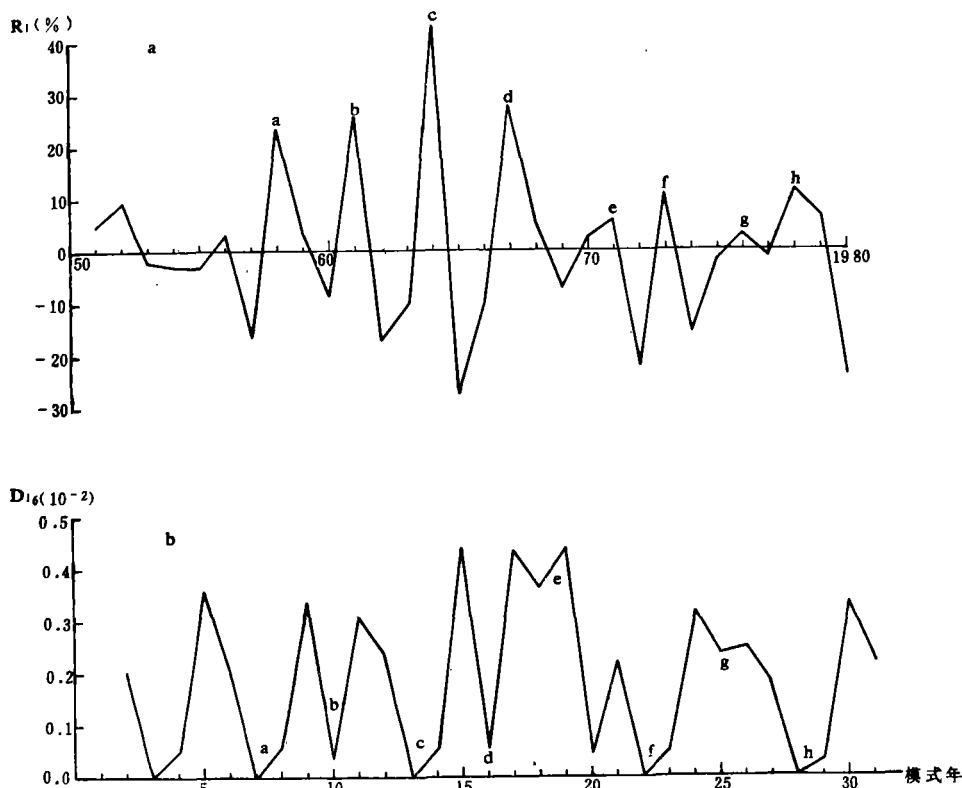
现从相空间的角度来讨论。可以将 1967 年环流场的特征视为相空间内的一个点, 记为 C , D_i 大致相等的两个年份(如 1970, 1973 年, 图 1 上点 d , 点 e), 其环流场特征可视为位于以点 c 为圆心, 以 $(D'_{70})^{\frac{1}{2}}$ 或 $(D'_{73})^{\frac{1}{2}}$ 为半径的球面上。这样, 可以看到, 不同年份相应的点, 一般位于不同的球面上。原先位于距离较小(大)的球面上的点, 经过约三年的时间间隔后, 往往又回复到距离较小(大)的球面上来, 显示出重复出现的现象。

旱涝演变有时也能够显示出这种每隔一定时间间隔重复出现的现象。在我国半干旱区范围内, 我们选取了 12 个代表台站(张掖、西宁、武威、兰州、银川、同心、天水、延安、西安、运城、太原、大同), 统计了各站年降水距平百分率(1951—1980)年的历年值。对这些历年值求 12 个台站的平均, 得到区域平均年降水距平百分率的历年值 $Ri(i=51, 52, \dots, 80)$ 。 Ri 随时间的演变(图 2 a)表明: 1958, 1961, 1964, 1967 年(图 2 a 上的 a, b, c, d 处)为降水偏多年份。(1958—1967)年为降水偏多年份, 每 3 年重复出现的现象还是比较清楚的。对比图 2 a 与图 1, 可见, 从现象上看 1961, 1964, 1967, 1970, 1973 5 年中, 有 4 年图 1 上的谷值点正好与图 2 a 上峰值年相应。这似乎说明, 环流场的回复现象与旱涝的回复现象之间可能有一定联系。不过这个问题十分复杂, 这里只是一种猜测。

下面, 我们对二层准地转谱模式实施长时间的数值积分, 分析模式大气中环流场距离函数重复出现的问题。

2. 模式大气中, 环流场距离函数重复出现的现象

用高截谱方法, 将 β 平面二层准地转模式转化为一个低阶谱模式^[5,6]。模式包括的物理过程有纬向非对称周期性热源、理想化大地形、非线性平流和耗散作用等。热源项的谱展系数 $\theta_i^* = \theta_{i_0}^* + \theta_{i_1}^* \cos \omega t (i=A, K, C)$, 其中, 含 $\cos \omega t$ 项为年变周期性热力强迫项, ω 为年变周期的圆频率, 用以近似地描述太阳辐射的年变化。在文献[5],[6]中, $\theta_{i_1}^* = \theta_{i_0}^* + \theta_{i_1}^* \cos \omega t$, 这里, $\theta_{i_1}^*$ 描述赤道—极地之间的热力强迫。 $\theta_{i_0}^*$ 为大于零的常数。 $\theta_{i_1}^*$ 为年变振幅, 亦大于零。一般 $\theta_{i_1}^*$ 冬季大, 夏季小。 $\omega t = 0$ 时, $\theta_{i_1}^*$ 可达极大。 $\omega t = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3}{2}\pi$ 分别代表冬至、春分、夏至和秋分。据此可以确定各个模式月的时限。例

图 2 Ri 和 D_{i6} 随时间的变化

(a 半干旱区年降水距平百分率平均值 Ri, b 模式大气 6 月 250 hPa 月平均距离函数 D_{i6} ;
参数值 $Q_{i0}^* = 0.05$, $\theta_{i1}^* = 0.02$, $\theta_{i0}^* = 0$, $\theta_{i1}^* = -0.025$, $\theta_{i0}^* = -0.015$, $\theta_{i1}^* = 0.0301$)

如 $2.78199 \leq \omega t \leq 3.29386$ 为第一个模式年的 6 月。除年变周期性外, 热源没有任何年际变化, 模式中也未引进任何包含人为年际变化的其它过程。我们要研究, 在严格年变周期的热力强迫源激发下, 模式大气作为一个强迫耗散的非线性系统, 能否显示出年际变化。

对谱展式做两组长时间积分, 积分时间分别为 31 年和 61 年。根据积分结果求出了历年 1—12 月逐月 250 hPa 的月平均流函数场。以第 3 个模式年 1—12 月各月平均场为基准场, 求第 4, 5, …, 31 或 61 年相应月份月平均场与基准场之间的距离函数 d_{ij} , ($i = 4, 5, \dots, 31$ 或 $61, j = 1, 2, \dots, 12$)。根据距离函数 d_{ij} 随时间的变化, 可以分析模式大气大尺度流型的年际变化特征。据文献[7], 旱涝每隔约三年重复出现的现象具有季节变化。这种现象在历年 5 月和 6 月降水量的时间演变中, 表现最为明显。这里给出模式大气中 6 月月平均流函数场的距离函数 d_{i6} 随时间的变化(图 2 b), 可见:

1) 在第 7, 10, 13, 16 个模式年处, 即图上点 a, b, c, d 处出现了 d_{i6} 的谷值。说明, 第 7, 10, 13, 16 个模式年 6 月份 250 hPa 流函数场与第 3 个模式年 6 月份流函数场相对距离较小; 而 4 个谷值之间, 均规则地相距 3 年。

2) 在第(17—31)个模式年期间, 每 3 年重复出现的现象已不明显了, 说明这种回复性在时序中发生了变化。这与图 2 a 所列的观测事实是有相似之处的。在图 2 a 中, 70 年代初和 70 年代末, 这种每 3 年重复出现的现象也破坏了。

3) 根据预报经验, 我们知道, 在降水量 3 年周期性破坏的时段内, 仍然可以看到 3 年周期规则振

动的某些痕迹。现以图 2 a 为例说明。图上, 1967 年为降水峰值年, 按 3 年周期性, 3 年后的 1970 年亦应为峰值年。但 1970 年并不是峰值年, 说明 3 年周期破坏了。但是尽管 3 年周期性破坏了, 下一个峰值年(1973 年)与 1967 年的峰值年相距 6 年, 即在本应出现峰值年的 1970 年以后的 3 年处, 仍然出现了新的峰值年。我们知道, 在浑沌区内, 往往出现周期 3 和周期 6 的窗口, 与这里的情况从现象上看似乎有些类似, 需要继续分析。从本文数值积分的结果看, 尽管在第 16 个模式年之后的 3 年, 第 19 个模式年处未出现谷值, 这种每 3 年重复出现的现象被破坏了, 但在第 19 个模式年(点 e 处)以后 3 年, 即在第 22 个模式年(点 f 处), 出现了新的谷值。第 28 个模式年的谷值也是类似的。这个结果与图 2 a 所示降水演变曲线和预报经验是一致的。

关于距离函数回复现象在时序中的变化, 在 61 年长时间数值积分的结果中有更清楚的表现。我们求出 1—12 月逐月 250 hPa 月平均流函数场的历年值后, 求出历年 7 月份平均流场与基准流场之间距离函数 $D_{i7}(i=4, 5, \dots, 61)$ 。对 D_{i7} 的时序做两次周期分析。一是对第(4—43)模式年 D_{i7} 的时序, 一是对第(4—61)模式年 D_{i7} 的时序。结果: 前者(图 3 a)在 7 年处有一峰值, 后者(图 3 b)这个峰值已不再明显了。

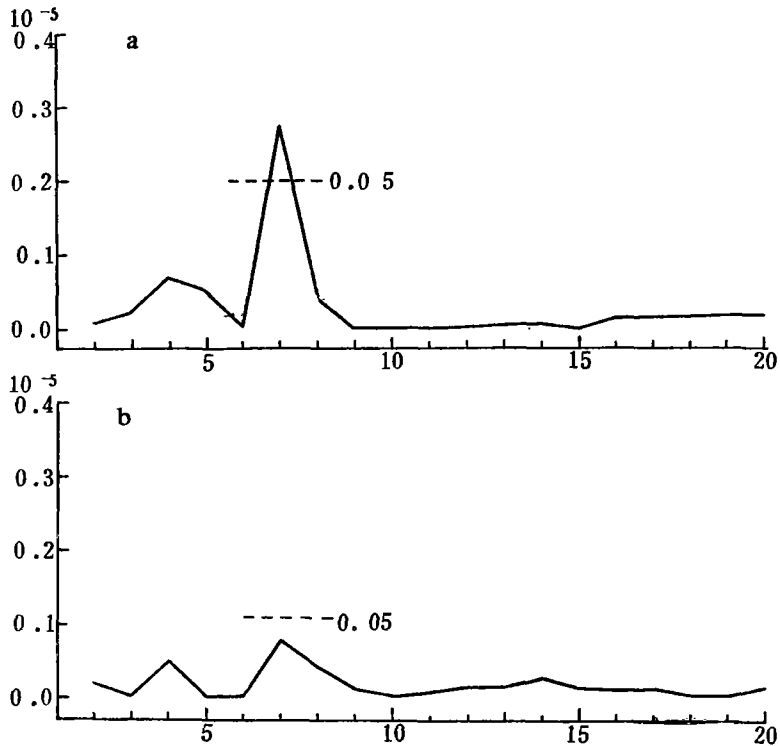


图 3 距离函数 D_{i7} 周期图

(a 第 4—43 年, b 第 4—61 年; 参数 $\theta_{x_0}^* = 0.05$, $\theta_{x_1}^* = 0.02$, $\theta_{x_0}^* = 0$, $\theta_{x_1}^* = -0.025$, $\theta_{y_0}^* = -0.015$, $\theta_{y_1}^* = 0.0300$; 图中纵坐标为强度平方, 横坐标为周期)

除年变周期热源外, 本文未考虑任何非年变周期的强迫源。但模式大气仍然可以显示出清楚的年际变化特征, 似乎说明, 大气内部动力学有能力激发出比强迫源振荡频率更低的振动成份, 这可能是引起年际变化的原因之一。非年变周期的外强迫源对模式大气可能会有明显的作用。在非年变周期外源引入后, 大气内部动力学又会起怎样的作用, 我们拟对此继续研究。

参 考 文 献

- [1] Manabe, S., and D. G. Hahn, Simulation of atmospheric variability, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2260—2286, 1981.
- [2] Hoskins, B., and R. Pearce 著, 孙照渤等译, 大气中大尺度动力过程, 111—125, 气象出版社, 1987。
- [3] 史久恩、周琴芳、马怀存, 北半球 500 毫巴月平均球谐系数和物理量资料, 1951—1982 年, 气象出版社。
- [4] Bruns, T., Contribution of linear and nonlinear processes to the long-term variability of large-scale atmospheric flows, *J. Atmos. Sci.*, **42**, 23, 2506—2522, 1985.
- [5] 罗哲贤, 非绝热加热和地形共同强迫下斜压大气的环流突变, *大气科学*, **10**, 2, 129—137, 1986。
- [6] 马镜娴、罗哲贤, 周期性热力外强迫和地形共同激发的 6 月和 10 月的流型突变, *气象学报*, **45**, 4, 437—442, 1987。
- [7] 徐国昌、董安祥, 我国西部降水量的三年周期, *高原气象*, **1**, 2, 11—16, 1982。
- [8] 王绍武, 北半球 500 毫巴月平均环流特征及演变规律的研究—西风指数, *气象学报*, **33**, 3, 361—373, 1963。
- [9] 李小泉, 亚洲 500 毫巴环流指数的若干特征, *气象学报*, **33**, 1, 1—14, 1963。

A NUMERICAL STUDY ON THE LONG-TERM VARIABILITY OF LARGE-SCALE FLOW IN THE ATMOSPHERE

Ma Jingxian

(*Nanjing Institute of Meteorology*)

Abstract

A two-layer quasigeostrophic low-order model is integrated numerically for more than thirty model years. The evolution of the large-scale flow patterns can exhibit the periodicity with three year period, which is similar to some observational facts occurring in the atmosphere.