

夏季风活动异常与对流层上层涡度收支诊断[†]

管兆勇 东高红

(南京气象学院气象学系, 南京 210044)

摘要 使用 ECMWF 200 hPa 1980~1986 年格点资料 (u, v), 利用距平涡度方程对季风年际异常的形成和维持机制作了涡度收支方面的诊断。结果指出: 亚洲季风区上空年际异常流场的涡旋特性具有明显的季内振荡变化; 不同年份及不同区域, 涡度方程各项所揭示的变化特征(振荡强度、位相等)不尽相同; 距平涡度方程中各项的月平均值在旱涝年间的大陆上空其符号或数值大小有明显的差别; 气候平均季风环流在年际异常扰动的维持中起着极为重要的作用。梅雨降水前期距平涡度方程各项在旱涝年间的明显差别可为异常降水的预报提供线索。

关键词 夏季风, 年际异常, 降水, 距平涡度方程

分类号 P434.2

夏季风环流作为全球大气环流的一个重要组成部分, 其低频振荡及风系的大范围异常都与亚洲地区的短期气候变化和年际气候异常的形成密切相关^[1]。我国长江中下游降水异常的成因就与环流异常有关^[2]。因此, 研究季风年际异常的维持和演变机制具有重要的意义。

为了研究年际异常, 首先须定义季风异常量和季风环流的平均场。以 u 表示纬向风, 则 u 的多年平均(同一历日)值为 $\bar{u}(\lambda, \varphi, p, t)$, 异常则是 u' 。 \bar{u} 相对于 u' 而言也可称为介质。强弱不同的偏差 u' 在基本场中的传播、发展、维持便构成季风环流的异常。本文将通过涡度方程和观测资料进行诊断, 探讨对流层上层季风环流异常的机制及与降水异常的联系。

1 资料与方法

所用资料为 1980~1986 年 6 月 1 日至 8 月 1 日共 62 天 200 hPa 格点风场 u, v 值。计算范围是 20°S~50°N, 40°E~160°E。这里选用 1980 年及 1981 年为异常年。因为在这两年, 长江中下游地区出现了降水偏多(1980 年涝)及降水偏少(1981 年旱)的现象^[3]。

虽然已有一些使用涡度方程诊断季风维持机制的工作^[4], 但为了了解季风气候异常及维持机制, 这里仍采用涡度方程, 只是将把涡度方程改写成距平涡度方程, 而后对各项进行计算, 对比异常年份方程中各项值的异同, 以找出季风环流异常及维持的原因。

一般涡度方程可写成

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla (\zeta + f) + \omega \frac{\partial \zeta}{\partial p} + (f + \zeta) \nabla \cdot \mathbf{V} + \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} = \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \quad (1)$$

[†] 江苏省自然科学基金资助项目

收稿日期: 1995-03-30; 改回日期: 1995-07-20

记 $REM = -\omega \frac{\partial \zeta}{\partial p} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} + \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} + \frac{\partial F'_y}{\partial x} - \frac{\partial F'_x}{\partial y}$, 它由涡度的垂直输送、扭曲项及摩擦效应组成。因资料以年为单位,故方程写成

$$\frac{\partial \zeta'_i}{\partial t} + \mathbf{V}_i \cdot \nabla (\zeta_i + f) + (f + \zeta_i) \nabla \cdot \mathbf{V}_i = REM_i \quad (2)$$

这里 $i = 1, \dots, N$ 为年份 ($N = 7$), 以 $\zeta_i = \bar{\zeta} + \zeta'_i$ 等代入并作适当运算得距平涡度方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \zeta'_i + \mathbf{V}'_i \cdot \nabla \bar{\zeta} + \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \zeta'_i + v'_i \beta + \bar{\zeta} \nabla \cdot \mathbf{v}'_i + \\ & \zeta'_i \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} + f \nabla \cdot \mathbf{V}'_i + \mathbf{V}'_i \cdot \nabla \zeta'_i + \zeta'_i \nabla \cdot \mathbf{V}'_i \\ & = REM'_i + \overline{\mathbf{V}'_i \cdot \nabla \zeta'_i} + \overline{\zeta'_i \nabla \cdot \mathbf{V}'_i} \end{aligned} \quad (3)$$

略去下标“ i ”并以下列符号记之

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\partial \zeta'}{\partial t}; & B &= \mathbf{V}' \cdot \nabla \bar{\zeta}; & C &= \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \zeta' \\ D &= \beta v'; & E &= f \nabla \cdot \mathbf{V}'; & F &= \bar{\zeta} \nabla \cdot \mathbf{V}' \\ G &= \zeta' \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}; & H &= \zeta' \nabla \cdot \mathbf{V}'; & I &= \mathbf{V}' \cdot \nabla \zeta' \\ R &= REM' + \overline{\mathbf{V}' \cdot \nabla \zeta'} + \overline{\zeta' \nabla \cdot \mathbf{V}'} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

这样(3)式可写成

$$A + B + C + D + E + F + G + H + I = R \quad (5)$$

公式(1)~(3)中的符号为常用符号,(4)~(5)中各项的意义同常用。

2 结果与分析

2.1 涡度方程各项的逐候演变

为了便于了解涡度方程(5)中各项的时空变化性质,本文选择下列区域作面积平均求得了逐候变化曲线(图1)。

区域 I : $15^\circ\text{S} \sim 15^\circ\text{N}, 50 \sim 90^\circ\text{E}$, 即印度季风区的低纬区域;

区域 II : $15^\circ\text{S} \sim 15^\circ\text{N}, 100 \sim 140^\circ\text{E}$, 即南海及西太平洋的低纬区域;

区域 III : $20 \sim 40^\circ\text{N}, 70 \sim 95^\circ\text{E}$, 即南亚高压所在地区。

由图可见:

(1) 曲线振荡具有明显的季内准周期变化,且不同曲线的变化周期不尽相同。

(2) 不同区内同一性质曲线的振荡幅度不同,位相也不尽同,而同一区内不同性质曲线之间的位相及振幅也有很大差别。

(3) 在赤道两侧的高层气流中(东北风,6、7月份南亚高压已建立), β 项具有较大的数值,但印度季风区与东亚季风区相比,其振荡幅度明显地要小。

(4) 涡度的局地异常变化项(A)与其他项相比可说明,在季风环流的异常演变中,每一曲线项对 $\partial \zeta' / \partial t$ 都具有重要的贡献。除几项线性项之外, H 、 I 项的振幅与 A 的振幅亦相当。

(5) 不同地区不同年份和不同月份,方程中各项之间的平衡方式是不同的。如在 III区, C 与 B 、 D 、 E 呈反位相关系, B 、 D 呈同位相关系。在 I区, B 与 D 则呈反位相关系,即 B 的增加以 D 的负增长来补偿。非线性相互作用项 H 、 I (振荡基本反位相, $H + I$ 并不一定接近于零)的振荡位相与其他线性项的位相并无固定的位相对应关系。

(6) 1980年与1981年相比,6月份的各项数值有较大的差别。这说明,涡度方程体现的梅雨降水前期降水偏少年份高层流场的涡旋特性较降水偏多年份显著。同时,主要作用项(如 I、

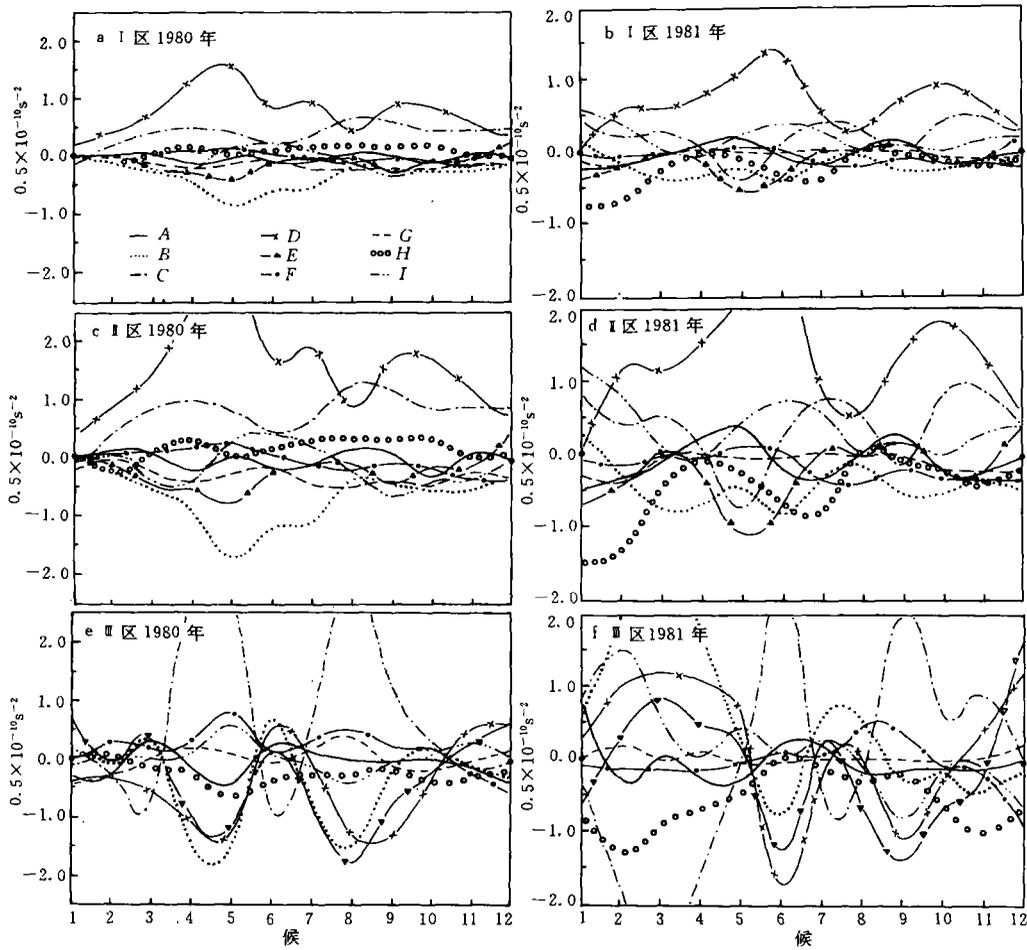


图1 各区域200 hPa涡度方程组各项面积平均的逐候变化曲线(6~7月)

a. I区1980年; b. I区1981年; c. II区1980年;
d. II区1981年; e. III区1980年; f. III区1981年

Fig. 1 200 hPa June-July pentad variations of area-averaged terms in the vorticity equation used for a range of regions in different years

a. Region I, 1980; b. Region I, 1981; c. Region II, 1980;
d. Region II, 1981; e. Region III, 1980; f. Region III, 1981

II区的β项, III区基本流场对异常涡度的平流项)达到极大的时间在1980年早于1981年。

(7)通过计算,得出第III区内余项的值。现将1980、1981两年的余项(表1)予以分析。由表1可见,除第3、9、10候之外,其余各候相应余项组的数值符号均相反,与这两年符号相反的降水矩平相对应。同时,对照图1(e~f)可看出,表中的数值与A曲线的数值量级相当。

表1 余项R随时间的变化

Table 1 Variations in the residual term R of Eq. (5) 0.5 × 10⁻¹⁰ s⁻²

候	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980年	0.76	1.74	2.60	0.88	1.16	-1.14	0.90	0.24	-1.32	-0.74	0.28	0.78
1981年	-0.12	-1.28	0.05	-0.54	-0.54	1.00	-0.82	-1.20	-1.36	-0.32	-0.20	-1.80

(8)由图1及表1,并根据方程(5)中各项数值的大小,从总体上可给出

$$C + D + B + E = \text{小量}$$

或

$$\bar{V} \cdot \nabla \zeta' + V' \cdot \nabla \bar{\zeta} + \beta v' + f \nabla \cdot V' = \text{小量} \quad (6)$$

由公式(4)、(5)可知,异常涡度的低频振动取决于异常场与气候平均场(多年平均场,可被视为介质)的时间变化(平均量的季节变化)。我们曾就7年平均的季风流场中的季内振荡信号的强弱问题进行过分析¹,发现在研究季风的低频变化时,介质的时间、空间变化是需要考虑的。同时,由于各年低频变化的初始位相不同(其他时间尺度上扰动的初位相也可能不同),致使初始时刻的异常将在变化的介质中传播。显而易见,距平与平均场量的乘积同距平自身的乘积具有不同的性质(包括初位相,周期和振幅)。这可由 H 、 I 曲线与其他曲线的差别看出。

不同地区的曲线振荡显示出十分有趣的特点。在赤道附近,印度季风区上空涡度方程中的各项变化特征与东亚季风区上空对应项的变化特征极为相似(图 1a,c)。而各项振幅在东亚地区上空的增大可归因于基本场的结构和异常扰动振幅的不同。在 6~7 月份,异常实际上是南亚高压南侧东北气流及涡旋性质的异常。在青藏高原上空,曲线的变化特征与低纬地区明显不同,说明发生在南亚高压所处区域中的异常在不同的地理位置,各项对 α' / α 的作用具有明显的差异。

不同的年份,基本场是相同的。虽然气候平均场的不均匀对大气振动频率有优势选择作用^[5],但梅雨降水前期振动的位相差和非线性相互作用项对高层异常环流的形成和维持是较为重要的。图 1 及表 1 中任一区的两年对比都显示出了这一点(6 月 1~5 候)。尤其是非线性项 H 、 I 在 6 月的上、中旬表现更是如此。这点显著的差别可为预测提供线索。

虽然(5)式中各项对 α' / α 的变化都有贡献,但大小各不相同。我们已得到近似平衡关系(6)式,它意味着基本场及其非对称性对年际异常的维持具有重要意义。

2.2 东半球地区各项的月平均分布特征

将方程中各项在两个不同年份作比较,以了解两个异常年份中月平均场的不同。

(1) 异常涡度的局地变化(图 2) 在图 2a 上长江中下游地区为负值,华南、海南地区为正值,但在图 2b 上,长江中下游地区为正值,华南及海南等地区为负值。就整个夏季风区而言,图 2a、b 上正负值区的分布具有相反的位相。对 α' / α 本身而言,负值区 $\alpha' / \alpha < 0$,意味着该地区上空反气旋性异常涡度增加,气旋性异常涡度减少。联系 200 hPa 上辐散加强、异常辐合减弱,从而对应低空的异常辐合增强、辐散减弱。从图 2 知,1980 年我国东部上空的 $\alpha' / \alpha < 0$,即该地区高空辐散加强,对应于低空异常辐合加强,而 1981 年则反之,对应两年 6~7 月份的降水异常。

(2) 异常风场对基本场涡度的平流以及基本流场对异常涡度的平流 前面已指出,距平涡度方程中 4 个主要平衡项中的两项与基本场的存在及不均匀有关。这两项的月平均分布见图 3。由图可看出,1980 年我国大陆上空(图 3a) $V' \cdot \nabla \bar{\zeta}$ 为正,1981 年则为负。同样,在 1980 年, $\bar{V} \cdot \nabla \zeta'$ 在我国大陆上空主要取负值(图 3c),但在 1981 年则主要取正值。所有这些在两年中对图 2a、b 中涡度异常的维持起到了不同的作用。并且,结合图 1e、f 可知,这种分布型和符号上的差别可指示出 6~7 月份降水异常发生年份环流系统的前期异常。从而 α' / α 、 $\bar{V} \cdot \nabla \zeta'$ 、 $V' \cdot \nabla \bar{\zeta}$ 对降水异常的发生具有前期提示意义。

(3) $\beta v'$ 、 $f \nabla \cdot V'$ 、 $\bar{\zeta} \nabla \cdot V'$ 、 $\zeta' \nabla \cdot V'$ 、 $\zeta' \nabla \cdot \bar{V}$ 、 $V' \cdot \nabla \bar{\zeta}$ 及 REM' 的 6 月份平均值,也均不

† 管兆勇,赵 辉,夏季 7 年平均及一般年份低层流场的准周期扰动分析,待发表

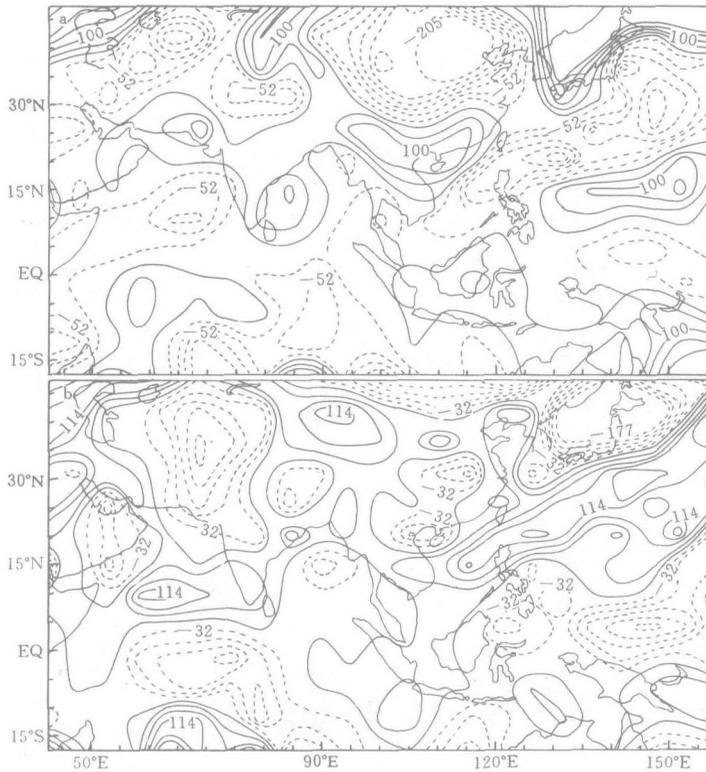


图 2 200 hPa 异常涡度局地变化项 $\partial \zeta' / \partial t$ 的 6 月平均分布

a. 1980 年(等值线间隔 $0.38 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$); b. 1981 年(等值线间隔 $0.36 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$)

Fig. 2 June pattern of mean local change in 200 hPa anomalous vorticity $\partial \zeta' / \partial t$ with contour interval of $0.38 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ and $0.36 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$ for 1980 (a) and 1981 (b)

同程度地显示出 1980、1981 年我国上空或长江中下游上空在数值或符号上的差别。这些差别对维持异常涡度也起到了一定的作用(图略)。

3 结 语

亚洲季风区上空年际异常流场的涡旋特性具有明显的强弱变动周期。不同年份及不同区域距平涡度方程各项(包括振荡强度、位相等)所揭示的变化特征不尽相同。

在长江中下游地区降水(梅雨)异常的年份(旱/涝)里,月平均图上,在东亚季风区上空距平涡度方程各项的符号及数值具有十分明显的差别。

多年平均季风环流在年际异常扰动的维持中起着十分重要的作用。其中基本场对扰动涡度的平流项、扰动风场对基本场涡度的平流项、 β 项及散度项为主要平衡项。季风年际异常扰动的发展、变化和传播则主要受上述 4 个主要项平衡后的剩余量、非线性作用项、涡散度的积项及余项的控制。诊断表明,不同地区、不同年份及不同月份,这些项对 $\frac{\partial \zeta'}{\partial t}$ 的贡献各不相同。

在梅雨降水期前期,高原上空环流涡旋性质的异常在旱、涝年有十分明显的差别,这可为预测降水异常提供一定线索。

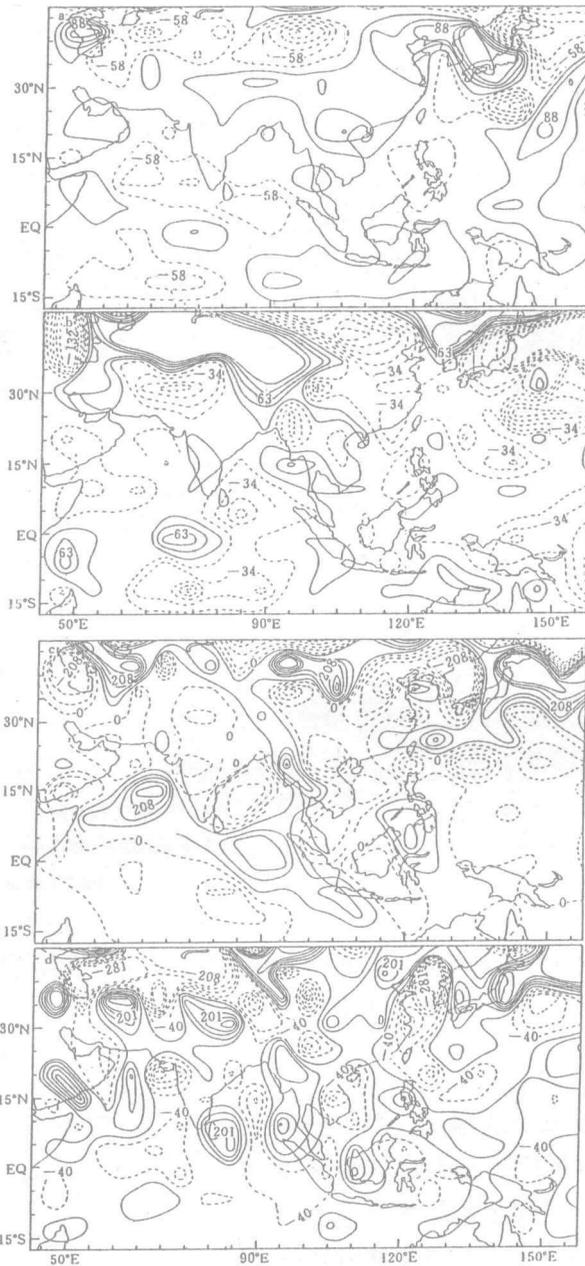


图 3 200 hPa $\mathbf{V}' \cdot \nabla \xi'$ (a,b)和 $\nabla \cdot \nabla \xi'$ (c,d)的 6 月份平均 (10^{-12} s^{-2})

a. 1980 年,等值线间隔 0.36×10^{-10} ; b. 1981 年,等值线间隔 0.24×10^{-10} ;

c. 1980 年,等值线间隔 0.52×10^{-10} ; d. 1981 年,等值线间隔 0.60×10^{-10}

Fig. 3 June mean of $\mathbf{V}' \cdot \nabla \xi'$ (10^{-12} s^{-2}) with contour spacing of 0.36×10^{-10} and 0.24×10^{-10} for 1980 and 1981 in a) and b), respectively. June averaged $\nabla \cdot \nabla \xi'$ with contour interval of 0.52×10^{-10} and 0.60×10^{-10} for 1980 and 1981, respectively, in c) and d)

参 考 文 献

- 1 陈隆勋,朱乾根,罗会邦,等. 东亚季风. 北京:气象出版社,1991. 62~210
- 2 管兆勇,林春育. 梅雨异常年份东半球中、低纬能量诊断. 热带气象,1989, 5:337~344
- 3 陆菊中,管兆勇. 亚洲低纬季风区内低层热量和水汽输送与梅雨异常的联系. 见陆菊中,秦曾灏,陈联寿主编,大气科学研究文集. 南京:南京大学出版社,1993. 352~361
- 4 杨伟愚,叶笃正,吴国雄. 夏季青藏高原热力场和环流的诊断分析Ⅲ:环流稳定维持的物理机制. 大气科学,1992,16: 409~425
- 5 管兆勇,黄士松. 时间平均流场对风场振动的优势选择作用. 大气科学,1994,18:96~104

SUMMER MONSOON ANOMALY AND DIAGNOSIS ON UPPER-TROPOSPHERIC VORTICITY BUDGET

Guan Zhaoyong Dong Gaohong

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract Diagnosis is undertaken of the genesis and maintenance of interannual anomaly in summer monsoon with the aid of the departure vorticity equation in the context of 1980~1986 ECMWF 200hPa gridded u - and v -winds. Evidence suggests that the features of the interannual anomaly flowfield over the Asian monsoon region exhibit appreciable intraseasonal oscillation; the features, e. g., vigor and phase, as uncovered by the terms of the vorticity equation may differ more or less for different years and areas; striking difference exists in sign and magnitude of monthly means of the terms in this equation over China mainland for the drought and flood years; the climatology of monsoon circulation plays a critical role in the maintenance of interannual anomaly disturbance. Great difference in terms of the equation used for the late spring-early summer Meiyu rainfall may serve as a precursor of anomalous rainfall forecasting.

Keywords summer monsoon, interannual anomaly, rainfall, departure vorticity equation