一种基于整层水汽通量的南海夏季风爆发指数

任保华 郑建秋 杜建伟

中国科学技术大学地球和空间科学学院，合肥 230026

摘 要 利用1951～2000年的NCEP/NCAR逐日再分析风场、比湿和海平面气压资料，得到南海区域的整层水汽通量。根据南海夏季风爆发前后水汽通量的特征分析，定义了南海夏季风爆发指数 I_{VIMT}，并确定出1951～2000年南海夏季风的爆发日期。通过分析发现，利用该指数可以合理地确定南海夏季风的爆发时间。

关键词 水汽通量 南海 夏季风 爆发日期

文章编号 1006-9585（2007）04-0503-12 **中图分类号** P425 **文献标识码** A

An Index of South China Sea Summer Monsoon Onset Based on Vertically Integrated Moisture Transport

REN Bao-Hua，ZHENG Jian-Qiu，and DU Jian-Wei

School of Earth and Space Science，University of Science and Technology of China，Hefei 230026

Abstract The vertically integrated moisture transport（VIMT）of South China Sea（SCS）is obtained based on 1951－2000 50-year NCEP/NCAR reanalysis daily dataset of wind，specific humidity and surface pressure. An index of SCS summer monsoon onset（I_{VIMT}）is defined according to the characteristics analysis of VIMT before and after the SCS summer monsoon onset，then the onset dates of the SCS summer monsoon from 1951－2000 are ascertained with the index I_{VIMT}. By analysis it is found that the onset dates of the SCS summer monsoon can be reasonably defined with the index I_{VIMT}.

Key words vertically integrated moisture transport，South China Sea，summer monsoon，onset date

1 引言

亚洲季风是全球最典型的季风系统，对全球大气环流和气候变化有显著作用。20世纪80年代，Tao和Chen[1]通过季风降水量的研究指出，亚洲夏季风由相互联系又相互独立的南亚（印度）季风系统和东亚季风系统组成，而且亚洲季风最早在南海地区爆发。因此，研究南海夏季风的建立日期具有重要意义。20世纪90年代以来，特别是1998年首次南海季风试验（SCSMEX）开展以后，南海夏季风建立日期的研究取得了很大进展，目前普遍认为南海夏季风的建立日期为5月第4候。

在确定南海夏季风建立日期时，通常从热力学或动力学角度进行考虑。Tao和Chen[1]利用季风区降水量的多少进行定义；金祖辉[2]根据气候平均黑体辐射云顶温度（TBB）的突变特征，以TBB降至274 K，并持续3天（包含3天）以上定义为南海夏季风爆发；李崇银和张利平[3]提出用对流层上下层散度差来描述南海夏季风的爆发指数。目前用的较多的

收稿日期 2006-03-30收到，2007-04-10收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目40675028和国家重点基础研究发展计划项目2006CB403600

作者简介 任保华，男，1962年出生，博士，教授，主要从事东亚季风和低频振荡研究。E-mail：ren@ustc.edu.cn

方法是将热力学和动力学结合起来考虑。高辉等[4]定义850 hPa层上稳定地有$\theta_{se}\geqslant335$ K且纬向风由东风稳定地转变为西风的时刻为南海夏季风爆发时间；吴尚森和梁建茵[5]设计了一个西南风分量与向外长波辐射（OLR）相结合标准化的南海夏季风强度指数；张秀芝等[6]将无量纲化处理的850 hPa平均风速和OLR进行集成，得到夏季风爆发的指标；谢安和张振洲[7]用OLR和纬向风资料来定义夏季风的爆发，把OLR值降到240 $W\cdot m^{-2}$，同时纬向风从东风转为西风的时间定义为爆发日期；冯瑞权等[8]将南海夏季风的建立定义为南海海域一半以上面积为夏季风所控制的初始时刻，且850 hPa上暖湿西南风的$\theta_{se}\geqslant$ 335 K，风速须大于2 $m\cdot s^{-1}$。

Soman和Kumar[9]使用站点资料合成分析了部分站点滞后（超前）于印度夏季风爆发的整层积分水汽通量（VIMT）的突变特征；Godfred-Spenning和Reason[10]研究了El Niño年与La Niña年澳大利亚季风期对流层低层水汽输送的差异；Fasullo和Webster[11]利用VIMT定义印度季风的爆发和撤退指数（HOWI），该指数综合考虑了热力学和动力学因素，可以很好地描述印度季风的爆发。本文参照Fasullo和Webster的方法，希望通过研究整层水汽通量在南海夏季风爆发前后的变化特征，尝试对水汽通量定义夏季风指数进行探讨。

2 资料与方法

本文利用美国气候诊断中心（CDC）提供的NCEP/NCAR全球逐日再分析资料。采用的风场、比湿场、海平面气压场时间为1951～2000年，OLR资料时间为1975～2000年，格距都为2.5°×2.5°。

水汽输送可以用VIMT描述，以下简称水汽通量

$$V_{\mathrm{IMT}}=\int_{s}^{300} q\,\overline{V}\mathrm{d}p.$$

纬向与经向水汽通量分别为

$$V_{\mathrm{IMT}\lambda}=\int_{s}^{300} qu\,\mathrm{d}p,$$

$$V_{\mathrm{IMT}\phi}=\int_{s}^{300} qv\,\mathrm{d}p.$$

其中q为比湿，s为海平面气压，$\overline{\boldsymbol{V}}$为风矢，$u$、$v$分别为纬向和经向风速分量。由于资料中只有1 000～300 hPa的比湿数据，且300 hPa以上的比湿值比海平面至少小两个数量级，所以在水汽通量中没有考虑300 hPa以上的水汽积分。

3 南海水汽输送特征及季风爆发指数

为了由水汽通量确定南海夏季风的建立日期，需要定义一个与水汽通量相关的指数，该指数在季风爆发前后有显著变化，且受小尺度扰动影响小。

3.1 季风爆发前后水汽输送的特征

图1为1951～2000年平均的南海夏季风爆发前（5月11～15日）的水汽输送。可见，除少量水汽通过跨赤道气流输送到南海外，爆发前南海的水汽主要来自孟加拉湾西南气流和西太平洋东南气流，两支水汽在110°E附近汇合后经江淮流域流向日本及其南侧海域。图2为1951～2000年平均的南海夏季风爆发后（5月21～25日）的水汽输送。与爆发前相似，爆发后也有少量水汽通过跨赤道气流输送到南海，但此时来自孟加拉湾的西南气流和西太平洋的东南气流在120°E附近汇合，然后折向日本南侧海域。

由以上分析可知，110°E和120°E间南海区域的水汽在季风爆发前主要来源于西太平洋的东南气流，而季风爆发后则主要来源于孟加拉湾的西南气流，即伴随着季风爆发，该区域水汽输送由东南风转变为西南风。为了直观地分析季风爆发前后水汽通量的变化，考虑1951～2000年平均的南海夏季风爆发后与爆发前的水汽输送差值（图3）。由图可见，季风爆发后阿拉伯海－孟加拉湾－南海－菲律宾海通道的水汽输送明显增大。爆发前后南海的变化显著区域集中在5～15°N之间，水汽通量经向变化不明显，主要表现为纬向变化，下面重点对纬向水汽输送进行研究。

为了更好地验证南海区域季风爆发前后纬向水汽通量的变化，采用两个正态总体均值差的检验（t检验），对1951～2000年季风爆发前与爆发后的纬向水汽通量进行检验（图3）。由图可见南海东南部（5～15°N，110～120°E）是变化显著区，所以季风爆发指数定义中选此为研究区域。

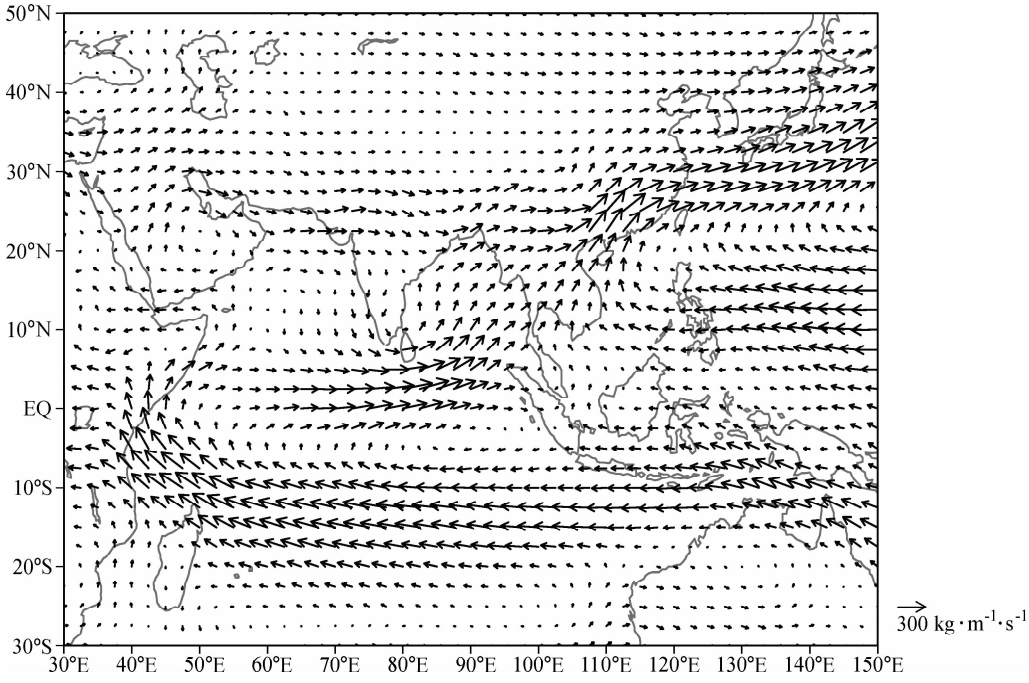

图 1　1951～2000 年平均的南海夏季风爆发前（5 月 11～15 日）的水汽通量

Fig. 1　The climatological mean vertically integrated moisture transport（VIMT）before（11－15 May）the onset of the SCS summer monsoon during 1951－2000

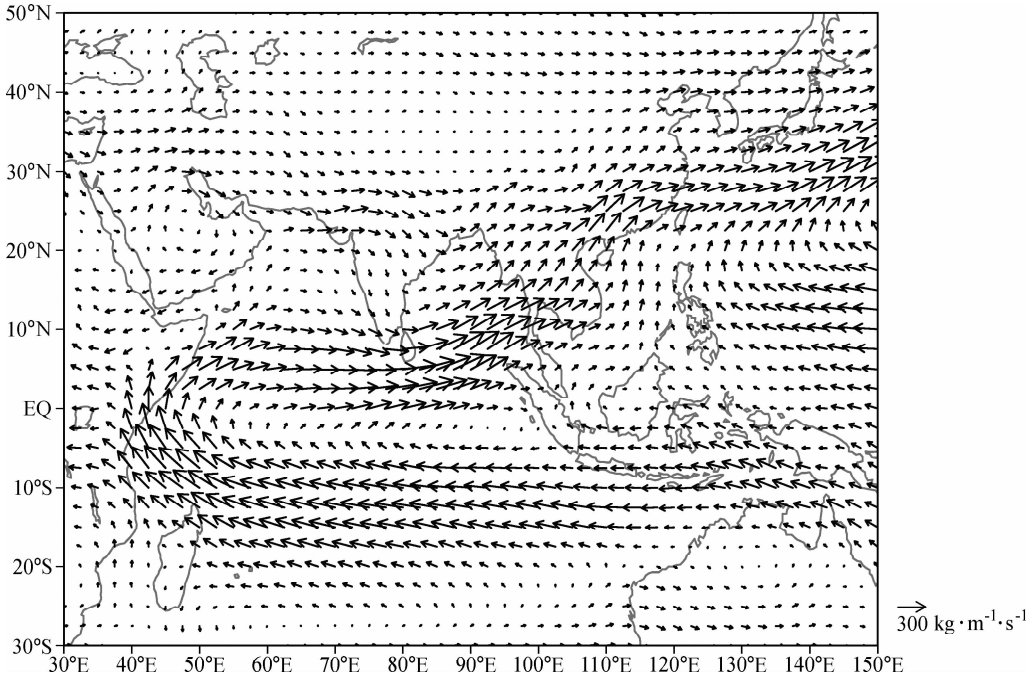

图 2　1951～2000 年平均的南海夏季风爆发后（5 月 21～25 日）的水汽通量

Fig. 2　The climatological mean VIMT after（21－25 May）the onset of the SCS summer monsoon during 1951－2000

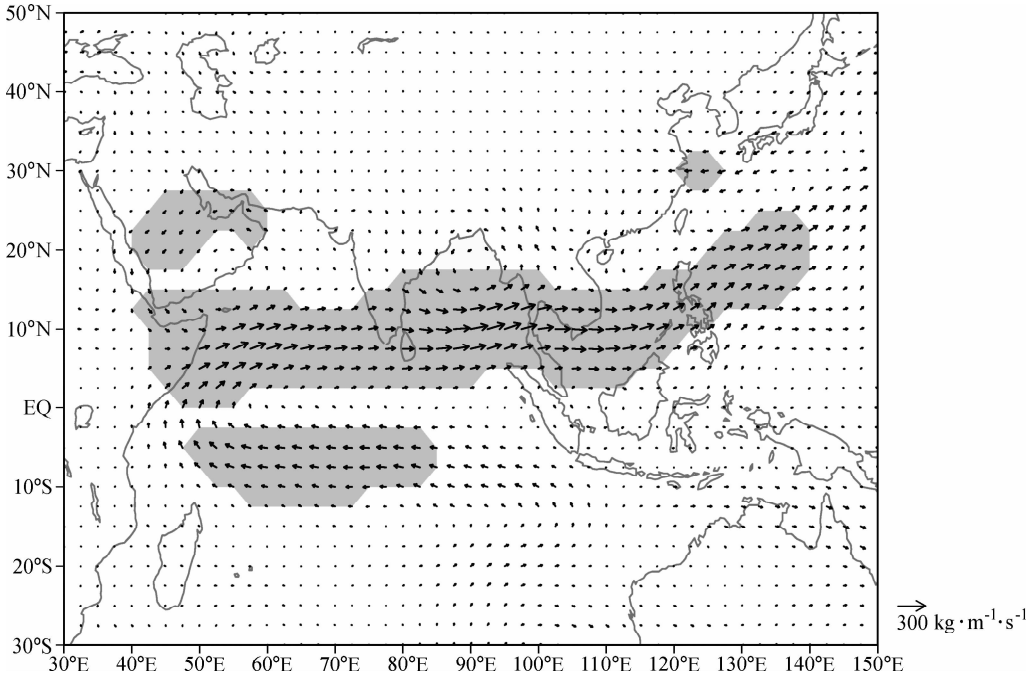

图 3 1951～2000 年平均的南海夏季风爆发后（5 月 21～25 日）与爆发前（5 月 11～15 日）水汽输送差值。阴影部分为爆发前后纬向水汽通量 t 检验超过 99%显著水平的区域

Fig. 3 The climatological mean difference of VIMT after (21－25 May) and before (11－15 May) the onset of the SCS summer monsoon during 1951－2000. Shading denotes the t-test of the zonal VIMT before and after the onset exceeding the 99% significance level

3.2 季风爆发指数

为了对南海夏季风特征进行系统的研究，首先必须了解南海夏季风的发生过程，包括确定每年南海夏季风的建立日期。这要求用以确定建立日期的资料是长期的序列，水汽通量可以满足需求（NCEP/NCAR 再分析资料时间长度为 1948 年至今），而且水汽通量能反映季风爆发过程的动力和热力性质。

假定［$V_{IMT\lambda}$］为南海（5～15°N，110～120°E）水汽通量纬向分量的区域平均值。由于采用的是逐日资料，首先需去除高频小扰动的影响：对每年［$V_{IMT\lambda}$］进行傅立叶谐波滤波，取年均值及前 12 项谐波的和，滤去时间尺度小于月的小扰动，得到［$V_{IMT\lambda}$］的季节循环曲线，用 I_{VIMT}表示。

定义每年纬向水汽输送第 1 次由东风输送转为西风输送，即 I_{VIMT}第 1 次由负值转为正值时所对应的日期为南海夏季风的爆发日期（D_v）。图 4 为 1951～2000 年平均的 I_{VIMT}曲线，由图可以确定南海夏季风平均的建立日期为 5 月 21 日。图 5 为 1951 和 1998 年的 I_{VIMT}曲线，可以确定其夏季风的建立日期分别为 4 月 29 日和 5 月 18 日。

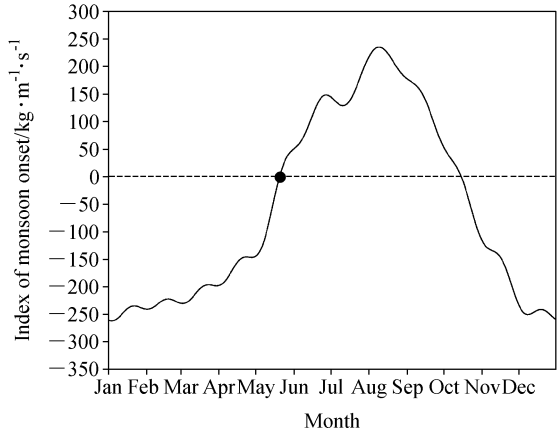

图 4 1951～2000 年平均的 I_{VIMT}曲线。• 为平均爆发日期 5 月 21 日

Fig. 4 The climatological mean I_{VIMT} during 1951—2000. • denotes the mean onset date 21 May

根据定义，可以确定 1951～2000 年逐年南海夏季风的建立日期，见表 1。

图 6 为南海纬向水汽输送的时间-纬度演变。由图可看出，南海北部与南部的爆发时间基本一致，所以该季风指数可以反映南海的整体情况。其中南海北端的纬向水汽远在季风爆发前就为西

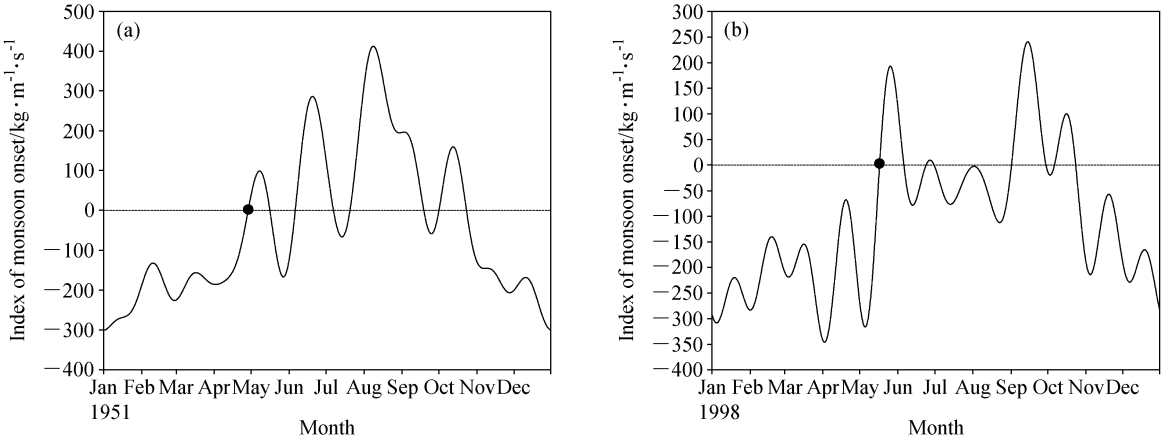

图 5　(a) 1951 年和 (b) 1998 年平均的 I_{VIMT} 曲线：(a) 4 月 29 日；(b) 5 月 18 日。• 为相应爆发日期

Fig. 5　The annual mean I_{VIMT} of (a) 1951 and (b) 1998：(a) 29 Apr；(b) 18 May.　• denotes the corresponding onset date.

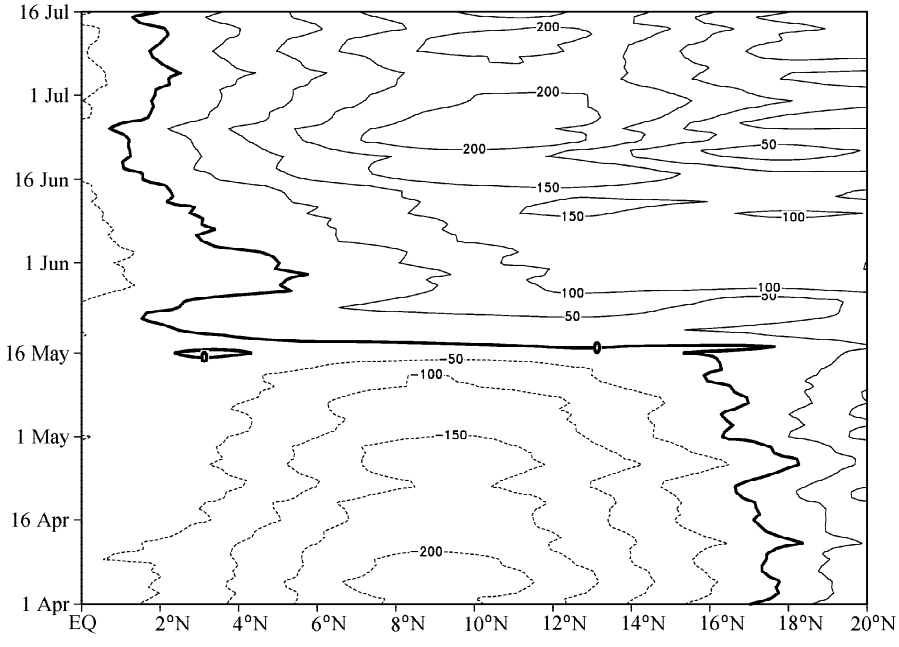

图 6　1951～2000 年平均的南海纬向水汽输送的时间-纬度演变（单位：kg・m^{-1}・s^{-1}）

Fig. 6　The mean zonal VIMT of 1951－2000 averaged over 105－120°E (units：kg・m^{-1}・s^{-1})

风输送，这主要是因为其受印度中纬度地区和热带西太平洋的水汽影响所致。

4　结果比较

由于受数据时间长度的限制，确定季风爆发日期的各种方法所确定的时间长度不同。本文将确定的季风爆发日期（D_v）与谢安、戴念军以及梁建茵、吴尚森的结果[12]进行比较，时段为 1951～1998 年（共 48 年），精度取侯（表 2）。其中，谢、戴定义爆发时间为南海中南部（5～15°N，105～120°E）平均纬向风由东风转为西风且持续至少 2 侯；梁、吴定义爆发时间为南海地区（5～20°N，110～120°E）850 hPa 平均纬向风＞0，西风主要来源于热带低纬，且持续时间在 5 天以上[12]。

表 1 1951～2000 年逐年南海夏季风的建立日期

Table 1 The onset date of the SCS summer monsoon during 1951－2000

年份	爆发日期	年份	爆发日期	年份	爆发日期
1951	29 Apr	1968	20 Jun	1985	20 Apr
1952	29 May	1969	26 May	1986	8 May
1953	15 May	1970	6 Jun	1987	6 Jun
1954	4 Jun	1971	2 May	1988	21 May
1955	20 May	1972	14 May	1989	15 May
1956	28 May	1973	7 Jun	1990	16 May
1957	3 Jun	1974	24 May	1991	7 Jun
1958	20 May	1975	29 May	1992	17 May
1959	28 May	1976	10 May	1993	12 Jun
1960	24 May	1977	16 May	1994	7 May
1961	13 May	1978	20 May	1995	16 May
1962	22 May	1979	12 May	1996	8 May
1963	26 May	1980	11 May	1997	15 May
1964	15 May	1981	29 May	1998	18 May
1965	20 May	1982	9 Jun	1999	18 Apr
1966	2 May	1983	26 May	2000	5 May
1967	19 May	1984	9 Jun		

表 2 1951～1998 年逐年南海夏季风建立日期的比较

Table 2 The comparison of the onset date of the SCS summer monsoon during 1951－1998

年份	谢、戴	梁、吴	I_{VIMT}	年份	谢、戴	梁、吴	I_{VIMT}
1951	5 月 1 候	5 月 1 候	4 月 6 候	1976	5 月 2 候	5 月 3 候	5 月 2 候
1952	5 月 3 候	5 月 5 候	5 月 6 候	1977	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 4 候
1953	5 月 2 候	5 月 1 候	5 月 3 候	1978	5 月 5 候	5 月 4 候	5 月 4 候
1954	5 月 2 候	5 月 6 候	6 月 1 候	1979	5 月 3 候	5 月 3 候	5 月 3 候
1955	5 月 5 候	5 月 2 候	5 月 4 候	1980	5 月 3 候	5 月 4 候	5 月 3 候
1956	5 月 1 候	5 月 4 候	5 月 6 候	1981	5 月 3 候	5 月 3 候	5 月 6 候
1957	5 月 3 候	6 月 1 候	6 月 1 候	1982	6 月 1 候	5 月 6 候	6 月 2 候
1958	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 4 候	1983	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 6 候
1959	5 月 6 候	5 月 6 候	5 月 6 候	1984	4 月 6 候	4 月 6 候	6 月 2 候
1960	4 月 5 候	5 月 6 候	5 月 5 候	1985	4 月 5 候	4 月 5 候	4 月 4 候
1961	5 月 3 候	5 月 3 候	5 月 3 候	1986	5 月 3 候	5 月 2 候	5 月 2 候
1962	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 5 候	1987	6 月 2 候	6 月 2 候	6 月 2 候
1963	5 月 6 候	5 月 6 候	5 月 6 候	1988	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 5 候
1964	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 3 候	1989	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 3 候
1965	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 4 候	1990	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 4 候
1966	5 月 1 候	4 月 6 候	5 月 1 候	1991	6 月 2 候	6 月 2 候	6 月 2 候
1967	5 月 5 候	5 月 4 候	5 月 4 候	1992	6 月 2 候	5 月 5 候	5 月 4 候
1968	5 月 6 候	6 月 1 候	6 月 4 候	1993	6 月 2 候	5 月 5 候	6 月 3 候
1969	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 6 候	1994	5 月 1 候	5 月 2 候	5 月 2 候
1970	6 月 1 候	5 月 2 候	6 月 2 候	1995	5 月 3 候	5 月 3 候	5 月 4 候
1971	5 月 1 候	5 月 3 候	5 月 1 候	1996	5 月 2 候	5 月 2 候	5 月 2 候
1972	5 月 2 候	5 月 3 候	5 月 3 候	1997	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 3 候
1973	6 月 2 候	6 月 1 候	6 月 2 候	1998	5 月 5 候	5 月 5 候	5 月 4 候
1974	4 月 5 候	5 月 5 候	5 月 5 候	平均	5 月 4 候	5 月 4 候	5 月 5 候
1975	5 月 6 候	5 月 6 候	5 月 6 候				

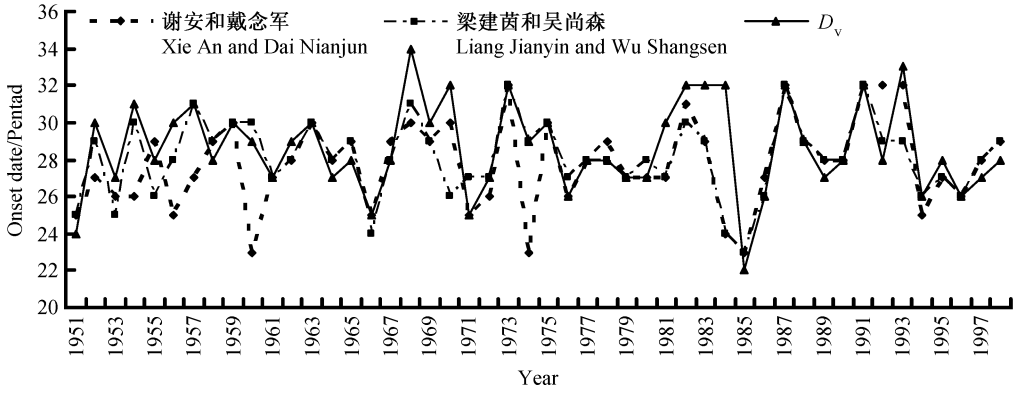

图 7　1951～1998 年逐年南海夏季风建立日期

Fig. 7　The onset date of the SCS summer monsoon during 1951－1998

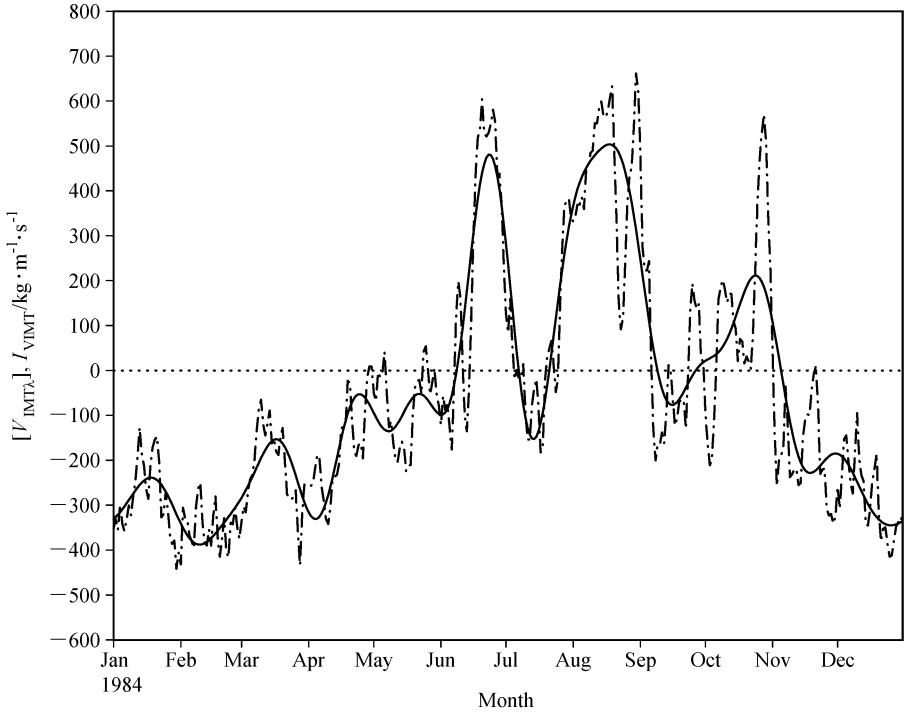

图 8　1984 年平均的［$V_{IMT\lambda}$］（虚线）和 I_{VIMT}（实线）

Fig. 8　The annual mean［$V_{IMT\lambda}$］(dotted) and I_{VIMT} (solid) in 1984

为了直观地比较，将 3 种定义对应的爆发时间（侯）绘于图 7。由图可见，多数年份爆发时间基本一致，其中 1984、1968 和 1981 年爆发时间相差较大。图 8、9 和 10 分别为 1984、1968 和 1981 年平均的［$V_{IMT\lambda}$］和 I_{VIMT}曲线。由图 8 可看出，4 月第 6 侯［$V_{IMT\lambda}$］由负值转为正值，但西风水汽输送的持续时间很短暂，直到 6 月上旬［$V_{IMT\lambda}$］才较长时间地维持西风水汽输送，即季风稳定地爆发，此时用 I_{VIMT}指数确定的爆发日期是合理的，同样可以对 1968 和 1981 年的爆发日期进行分析。可见，I_{VIMT}指数可以去除小扰动，重点考虑年际和季内变化对季风爆发的影响，由此界定季风的稳定爆发避免了利用持续时间界定的不确定性，且其整层水汽通量可以反映区域可降水量的变化，比只考虑低层的纬向风场更加合理。

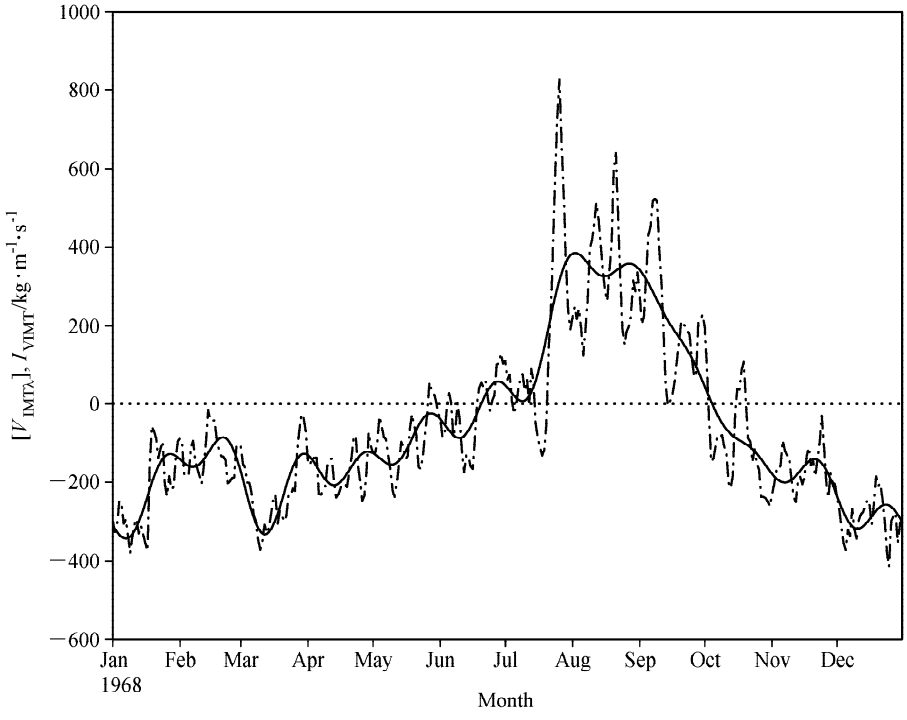

图 9　1968 年平均的［$V_{IMT\lambda}$］（虚线）和 I_{VIMT}（实线）

Fig. 9　The annual mean［$V_{IMT\lambda}$］(dotted) and I_{VIMT} (solid) in 1968

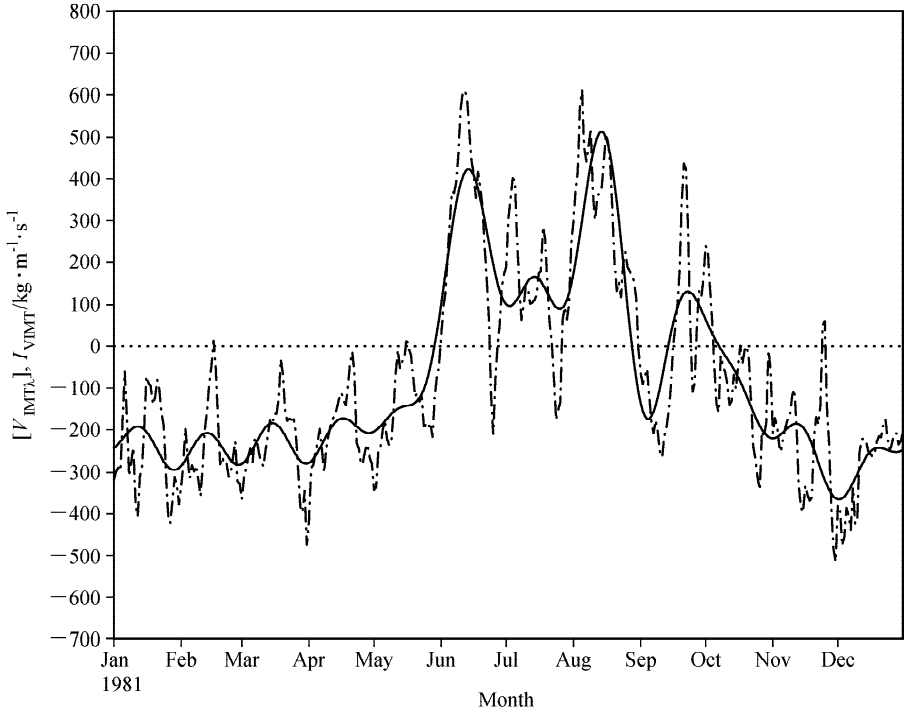

图 10　1981 年平均的［$V_{IMT\lambda}$］（虚线）和 I_{VIMT}（实线）

Fig. 10　The annual mean［$V_{IMT\lambda}$］(dotted) and I_{VIMT} (solid) in 1981

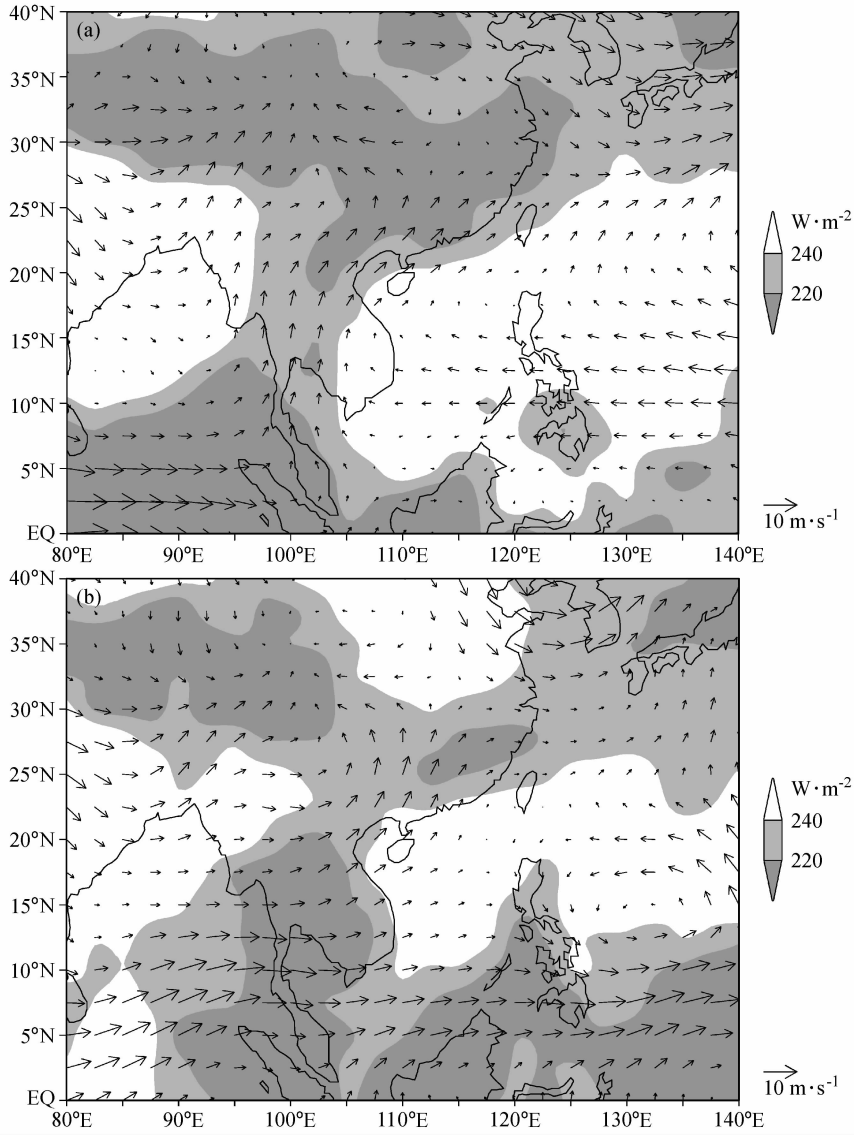

图 11　爆发早年季风（a）爆发前和（b）爆发后第 5 天平均的对流场（阴影）和环流场（箭头）分布

Fig. 11　The distribution of mean OLR (shaded) and 850 hPa wind field (vector) on the 5th day (a) before and (b) after the onset of monsoon in the early case

5　季风爆发前后对流和环流特征

为了探析水汽通量定义的季风指数能否合理地反映南海夏季风的爆发，下文对爆发的异常年份进行合成，分析季风爆发前后对流和环流的特征。

OLR 资料在低纬地区可以较好地描述大气的对流强度，故采用 OLR 数据来研究季风爆发前后对流场在南海及附近区域的分布特征。南海夏季风活动主要集中在对流层低层，所以此处只考虑 850 hPa 高度上的环流特征。由于缺乏 1974 年 6 月以前的 OLR 卫星资料，对流和环流特征的分析时间选取为 1975～2000 年。

1975～2000 年南海夏季风平均的爆发时间为 5 月 18 日，标准差 σ 为 14 天。定义爆发时间比平均爆发时间早 0.5σ 以上的年份为爆发早年，爆发时间比平均爆发时间晚 0.5σ 以上的年份为爆发晚年。依据表 1，爆发早年为 1976、1980、1985、1986、1994、1996、1999 和 2000 年，爆发晚年为 1975、1981、1982、1983、1984、1987、1991 和 1993 年。

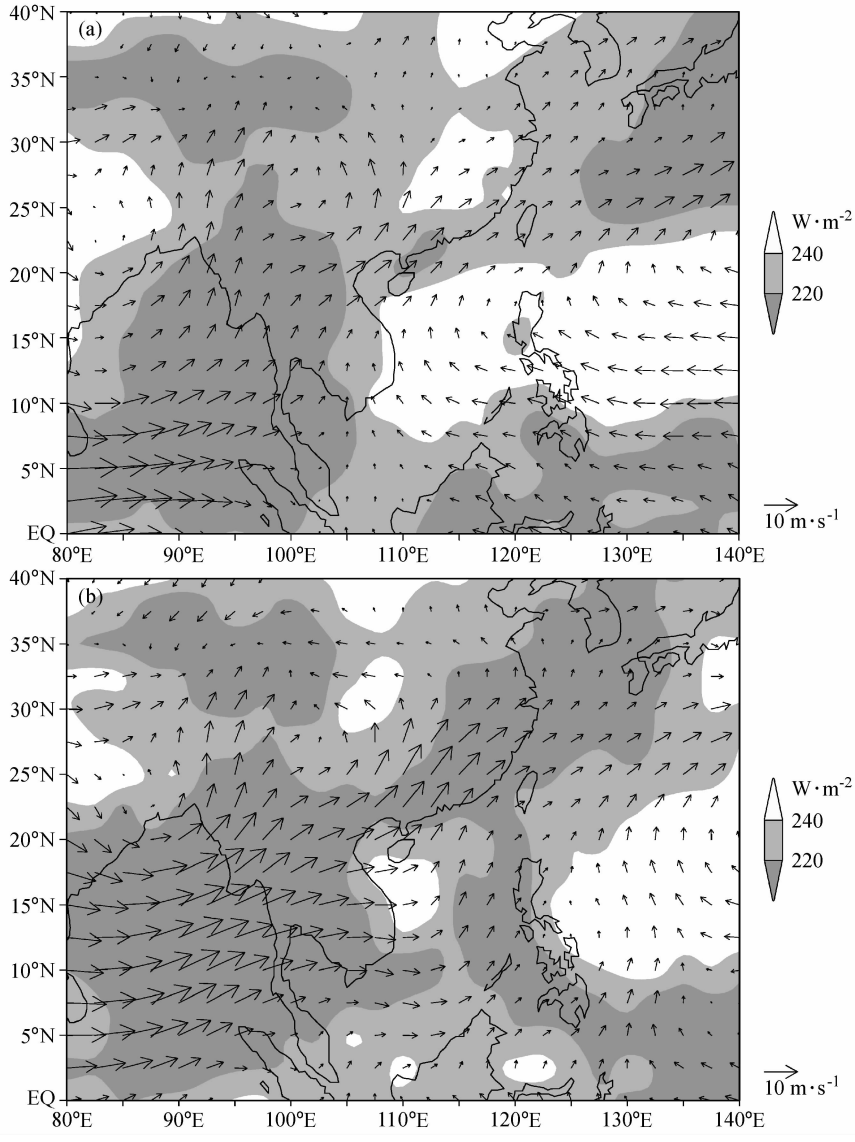

图 12 爆发晚年季风（a）爆发前和（b）爆发后第 5 天平均的对流场（阴影）和环流场（箭头）分布

Fig. 12 The distribution of mean OLR（阴影）and 850 hPa wind field（箭头）on the 5th day（a）before and（b）after the onset of monsoon in the late case

对爆发早年（共 8 年）季风爆发前（后）第 5 天的 OLR 和风场分别进行合成，如 1976 年的爆发时间为 5 月 10 日，其爆发前（后）第 5 天为 5 月 5 日（5 月 15 日）；1985 年的爆发时间为 4 月 20 日，其爆发前（后）第 5 天为 4 月 15 日（4 月 25 日）；类似地可以得到每年季风爆发前（后）第 5 天的日期，然后对爆发早年季风爆发前（后）第 5 天的 OLR 和风场数据分别进行平均，得到爆发早年季风爆发前（后）第 5 天平均的对流场和环流场分布（图 11）。由图可看出，季风爆发前第 5 天南海区域主要为弱对流（OLR＞240 W・m^{-2}）所控制，季风爆发后第 5 天南海中北部仍然为弱对流控制，而南海南部则出现强对流（OLR＜240 W・m^{-2}）分布。伴随着季风的爆发，我国南部地区的对流减弱，中印半岛和菲律宾群岛的对流增强。从风场看，季风爆发前第 5 天南海中南部吹的是东风，北部吹的是西南风，季风爆发后第 5 天，北部风场变化不大，南部风场则由弱东风转成较强的西（南）风，这与季风爆发指数定义区域选择在中南部相吻合。同样通过合成分析可以得到爆发晚年季风爆发前（后）第 5 天平均的对流场和环流场分布（图 12）。由图可见，晚年

爆发前南海区域的对流与早年相似，爆发后南海除北部有部分区域仍为弱对流控制外，其余区域均出现强对流。季风爆发后，中印半岛、菲律宾群岛及我国南部地区的对流都在增强。晚年爆发前后风向的变化与早年相似，风速分布则存在差异。早年爆发后北部风速小、南部风速大，而晚年爆发后南部风速与北部风速相当。

可见，无论季风爆发早晚，南海的对流和环流都具有共同特征，即伴随着季风爆发，对流增强，东风转为西（南）风。该特征与已有的研究结果[7]一致，这表明由水汽通量定义的季风指数可以合理描述南海夏季风的爆发。

6　结论

（1）季风爆发前后水汽通量主要表现为纬向变化，南海东南部（5～15°N，110～120°E）为变化的显著区域。

（2）引入指数 I_{VIMT} 定义每年纬向水汽输送第 1 次由东风输送转为西风输送，即 I_{VIMT} 第 1 次由负值转为正值时所对应的日期为南海夏季风的爆发日期，并确定 1951～2000 年逐年的南海夏季风爆发日期。

（3）将 I_{VIMT} 指数与谢、戴及梁、吴确定的爆发日期进行比较，结果基本一致。部分年份存在较大差异，主要是因为各指数对季风稳定爆发的界定不同。

（4）I_{VIMT} 指数去除小扰动，重点考虑年际和季内变化对季风爆发的影响，且其整层水汽通量可以反映区域可降水量的变化，比只考虑低层的纬向风场更加合理。但其不能完全表征降水，且没有具体分析水汽的来源，存在一些不足。

（5）无论季风爆发早晚，南海都有对流增强和东风转为西（南）风的特征。这与已有的研究结果一致，表明由水汽通量定义的季风指数可以合理描述南海夏季风的爆发。

参考文献（References）

［1］ Tao Shiyan，Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. In：*Monsoon Meteorology*，Chang C P，Krishnamurti T N，Ed. Oxford：Oxford University Press，1987. 60～92

［2］ 金祖辉. TBB 资料揭示的南海季风爆发的气候特征. 见：丁一汇，李崇银主编，南海季风爆发和演变及与海洋的相互作用. 北京：气象出版社，1999. 57～65
Jin Zuhui. The climatic characteristics of summer monsoon onset over the South China Sea based on TBB data. In：*Onset and Evolution of the South China Sea Monsoon and Its Interaction with the Ocean*（in Chinese），Ding Yihui，Li Chongyin，Ed. Beijing：China Meteorological Press，1999. 57～65

［3］ 李崇银，张利平. 南海夏季风活动及其影响. 大气科学，1999，**23**（3）：257～266
Li Chongyin，Zhang Liping. Summer monsoon activities in the South China Sea and its impacts. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*（in Chinese），1999，**23**（3）：257～266

［4］ 高辉，何金海，谭言科，等. 40a 南海夏季风建立日期的确定. 南京气象学院学报，2001，**24**（3）：379～383
Gao Hui，He Jinhai，Tan Yanke，et al. Definition of 40-year onset date of South China Sea summer monsoon. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*（in Chinese），2001，**24**（3）：379～383

［5］ 吴尚森，梁建茵. 南海夏季风强度指数及其变化特征. 热带气象学报，2001，**17**（4）：337～344
Wu Shangsen，Liang Jianyin. An index of South China Sea summer monsoon intensity and its variation characters. *Journal of Tropical Meteorology*（in Chinese），2001，**17**（4）：337～344

［6］ 张秀芝，李江龙，闫俊岳，等. 南海夏季风爆发的环流特征及指标研究. 气候与环境研究，2002，**7**（3）：321～331
Zhang Xiuzhi，Li Jianglong，Yan Junyue，et al. A study of circulation characteristics and index of the South China Sea summer monsoon. *Climatic and Environmental Research*（in Chinese），2002，**7**（3）：321～331

［7］ 谢安，张振洲. 南海夏季风的推进. 气象学报，1994，**52**（3）：372～378
Xie An，Zhang Zhenzhou. Advance of the summer monsoon over the South China Sea. *Acta Meteorologica Sinica*（in Chinese），1994，**52**（3）：372～378

［8］ 冯瑞权，王安宇，吴池胜，等. 南海夏季风建立的气候特征 Ⅰ——40 年平均. 热带气象学报，2001，**17**（4）：345～354
Feng Ruiquan，Wang Anyu，Wu Chisheng，et al. Climatological features of the eatablishment of South China Sea summer monsoon Ⅰ——40-year mean. *Journal of Tropical Meteorology*（in Chinese），2001，**17**（4）：345～354

［9］ Soman M K，Kumar K K. Space-time evolution of meteorological features associated with the onset of Indian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*，1993，**121**：1177～1194

[10] Godfred-Spenning C R, Reason C J C. Interannual variability of lower-tropospheric moisture transport during the Australian Monsoon. *Int. J. Climatol.*, 2002, **22**: 509～532

[11] Fasullo J, Webster P J. A hydrological definition of Indian monsoon onset and withdrawal. *J. Climate*, 2003, **16**: 3200～3211

[12] 何金海，丁一汇，高辉，等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京：气象出版社，2001. 118～120
He Jinhai, Ding Yihui, Gao Hui, et al. *The Definition of the Onset Date of the South China Sea Summer Monsoon and the Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 118～120

* *

补 正

本刊 12 卷 3 期中“2006 年春季一次引起华北地区强沉降的沙尘暴过程的模拟研究”和“沙尘天气定量分级方法研究与应用”二文的通讯作者为赵琳娜，单位：国家气象中心，E-mail：zhaoln@cma.gov.cn。