

南海西沙地区季风季节变化的气候特征

吴尚森 梁建茵

(广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)

摘 要 利用位于南海中北部的西沙观测站 1959~1988 年 30 年常规地面观测资料和 1980~1988 年 9 年探空资料, 分析了西沙地区季风季节变化气候特征。30 年的地面观测资料平均结果表明, 西沙地区 5 月中旬西南(或南)风建立, 对流突然加强, 云量陡增, 6 月上旬降水量剧增。利用本文定义的季风指数, 可以将西沙夏季风季节变化过程分为 3 个阶段: 东南夏季风阶段(4 月初至 5 月初)、西南夏季风阶段(5 月中至 9 月初)和夏季风结束阶段(9 月中至 10 月初)。这种阶段的划分不但与广东省汛期降水有较好的对应关系, 而且与南海大气环流的季节演变也有很好的联系。

关键词 西沙地区 季风 季节变化 气候特征

1 引言

研究表明^[1], 亚洲季风可分为南亚季风和东亚季风两大系统。而东亚季风又可分为南海西太平洋季风和副热带季风。中国气象学者已经发现, 亚洲季风最早爆发于南海北部, 通常是在 5 月中旬, 而孟加拉湾和印度次大陆西海岸季风爆发则分别在 5 月末和 6 月初, 晚于南海季风的爆发。

南海季风的爆发、发展和变化对东亚和全球天气、气候有重要的影响, 因此引起气象学者广泛注意, 进行过不少的研究。陶诗言和陈隆勋^[2]利用地面降水资料给出了亚洲季风建立的平均日期, 指出南海北部及沿岸附近夏季风的爆发日期在 5 月上旬。黄士松和汤明敏^[3]认为春季太平洋副热带高压西移和增强, 其南缘的东南风到达我国华南就是最早进入我国的夏季风, 有时 3 月底或 4 月初就有东南季风活动了。江宁波和罗会邦^[4]利用 1980~1986 年平均的 ECMWF 资料分析了南海季风爆发前后大气环流突变的特征, 指出南海季风的爆发一般发生在 5 月 10 日前后。Matsumoto^[5]利用 ECMWF 资料, 描述了 5 天平均的 200 hPa 和 850 hPa 流场和 OLR 分布的变化后指出, 5 月中旬 200 hPa 反气旋北移到(20°N, 100°E), 高空东北风控制了南海, 850 hPa 副热带高压突然东撤, 南海低空由东风气流或东南气流转变为西南气流, 标志南海夏季风爆发。

由于所在的地理位置和大陆与海岛半环抱的地形特点, 使南海形成了特有的热带季风气候。目前南海海域观测资料稀少, 使得对南海季风的研究受到很大限制。因而, 使用现有各种资料来研究南海季风的演变情况及气候特征, 对了解更多的事实和规律是很必要的。

西沙岛(16°50'N, 112°20'E)位于南海中北部广阔的海面上, 该站是南海海域现有常

1997-06-09 收到, 1997-12-09 收到再改稿

规业务观测站中最主要的海洋岛屿站之一。它的长序列气象观测资料,特别是风场资料能够较好地代表南海中北部的情况。

本文利用西沙站 30 年(1959~1988)常规地面观测资料和 9 年(1980~1988)探空资料,探讨了南海中北部地区季风季节变化的气候特征。

2 西沙地面观测资料分析

图 1 为 30 年平均地面风 u/v 分量逐候变化曲线。从 30 年平均情况看,从 9 月 5 候至次年 3 月 3 候西沙低层盛行东北风,最大候平均风速约为 6.5 m/s 。3 月 4 候至 5 月 2 候为东南风。5 月 3 候至 9 月 3 候为西南(或南)风,最大候平均风速为 5 m/s 。可见,西沙地面西南风建立于 5 月 3 候,撤退于 9 月 4 候。

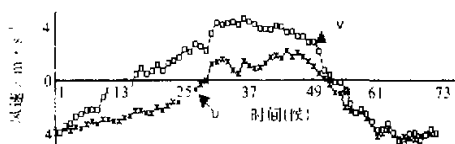


图 1 西沙 1959~1988 年 30 年平均地面风 u/v 分量逐候变化曲线

实际上这 30 年中历年西沙地面风向转换时间是不一样的。在 30 年中有 7 年时间在 2 月份就出现了东南风,有 20 年在 3 月出现东南风,而 4 月和 5 月上旬几乎年年盛行东南风。本文规定,凡两候(或以上)连续出现西南(或南)风而且候平均风速 $> 2 \text{ m/s}$,并且以后该风向中断时间不超过 2 个候,符合上述规定者,定义自该候起西南(或南)风稳定建立。从表 1 可以看出,西沙地面西南(或南)风稳定建立时间最早出现日期是 1965 年 4 月 5 候,最迟出现日期是 1979 年 6 月 2 候。西南风最早与最迟建立日期相差 1 个半月。从时间平均上看,西南风建立日期为 5 月 4 候。

实际上这 30 年中历年西沙地面风向转换时间是不一样的。在 30 年中有 7 年时间在 2 月份就出现了东南风,有 20 年在 3 月出现东南风,而 4 月和 5 月上旬几乎年年盛行东南风。本文规定,凡两候(或以上)连续出现西南(或南)风而且候平均风速 $> 2 \text{ m/s}$,并且以后该风向中断时间不超过 2 个候,符合上述规定者,定义自该候起西南(或南)风稳定建立。从表 1 可以看出,西沙地面西南(或南)风稳定建立时间最早出现日期是 1965 年 4 月 5 候,最迟出现日期是 1979 年 6 月 2 候。西南风最早与最迟建立日期相差 1 个半月。从时间平均上看,西南风建立日期为 5 月 4 候。

从表 1 可以看出,西沙地面西南(或南)风稳定建立时间最早出现日期是 1965 年 4 月 5 候,最迟出现日期是 1979 年 6 月 2 候。西南风最早与最迟建立日期相差 1 个半月。从时间平均上看,西南风建立日期为 5 月 4 候。

表 1 西沙西南(或南)风稳定建立时间

单位: 月(候)

年份	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
建立时间	4 (6)	5 (5)	5 (6)	5 (2)	5 (6)	4 (5)	6 (1)	5 (5)	5 (4)	5 (3)
年份	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
建立时间	5 (2)	5 (3)	5 (1)	5 (2)	5 (6)	5 (2)	5 (6)	5 (3)	5 (4)	6 (2)
年份	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	平均
建立时间	5 (2)	5 (6)	5 (6)	5 (2)	4 (6)	5 (6)	5 (2)	5 (1)	5 (5)	5 (4)

图 2 中的圆点线是西沙总云量逐候变化曲线。1~3 月总云量持续下降,3~4 月为全年云量最少时期,约为 5 成左右。5 月中旬,总云量增至 6~7 成。5 月 5 候总云量增

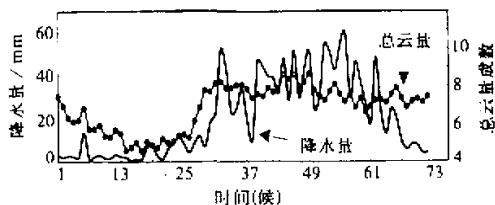


图 2 西沙 1959~1988 年 30 年平均云量和降水量逐候变化曲线

加到 8 成。此后 6~9 月总云量维持在 8 成左右, 9 月总云量有所减少, 9 月至 1 月云量为 7 成。可见, 5 月中旬西沙总云量出现一次陡增过程, 表明西沙对流活动突然加强。本文用信噪比方法对总云量季节变化进行了突变检验, 结果也表明 5 月中旬西沙总云量有一次跃变, 总云量突然增多(图略)。统计结果表明 5 月中旬西沙云量的跃增对应对流性积云活动的增加。

图 2 中的实线为降水量逐候变化曲线。如图所示, 西沙降水量既有明显的季节变化又有季内较大的波动。1~3 月降水量较少, 约为 5 mm/候, 4~5 月有所增加, 约为 10 mm/候, 而从 5 月 6 候至 6 月 2 候降水量突然增加, 约增至 50 mm/候, 直至 9 月西沙降水都维持在较多的水平上。10 月份以后降水量逐渐减少。

图 3 为温度 T 、湿度 E 、气压 P 和假相当位温 θ_{se} 变化曲线, 其中 T 、 E 、 θ_{se} 变化趋势十分一致, 最大值出现在盛夏, 最小值出现在隆冬。它们与地面气压 P 有相反的变化趋势, 相关分析表明它们之间有十分显著的相关关系。

30 年平均结果表明, 西沙地区地面 3 月中旬出现东南风, 5 月中旬西南(或南)风建立, 同时对流突然增强, 6 月上旬降水量显著增多。从地面观测资料分析可以看出, 5 月中旬南海北部海域西南夏季风爆发。

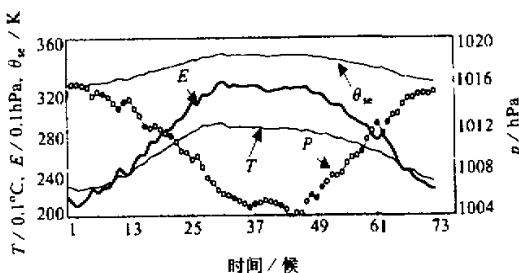


图 3 西沙 1959~1988 年 30 年平均温度、湿度、气压和假相当位温逐候变化曲线

3 西沙夏季风季节变化过程分析

为了确定西沙季风季节变化过程的各个阶段, 我们引用曾庆存^[6]提出的季节划分概念和方法, 计算西沙典型夏季气象要素场与候平均要素场的相似性度量, 也就是相关系数。通过相关系数来划分季风演变的各个阶段。本文以地面 u/v 风分量和假相当位温 θ_{se} 组成要素矢量序列 $F(t) = u(t)\vec{i} + v(t)\vec{j} + \theta_{se}(t)\vec{k}$ 。之所以选取这几个因子是因为季风的变化反映在地面气象要素上主要是风向的转变以及气温、湿度和气压的变化。从图 3 可以看出假相当位温与温度、气压和湿度之间的相关系数相当高, 可以综合反映出它们的变化。风向的转变是季风的一个最重要的性质。因此, 要素矢量序列 $F(t)$ 可以较好地表示出南海季风气象要素的变化特征。

对 u 、 v 、 θ_{se} 进行标准化处理, 并计算了多年平均 1 月和 7 月要素场, 分别记为 F_w 和 F_s , 因为 F_w 和 F_s 本身具有一定的相似性, 其共同部分是 $F^* = (F_w + F_s)/2$ 。为此先消去其共同部分, 其偏差分别为

$$F_w' = F_w - F^*,$$

$$F_s' = F_s - F^*,$$

$$\vec{F}(t) = F(t) - F^*.$$

定义 $\bar{F}^Q$ 与 F_s 的相关系数为

$$R_s(t) = \frac{(F_s, \bar{F}^Q(t))}{\|\bar{F}^Q(t)\| \cdot \|F_s\|},$$

式中 $\|F_s\|$ 为范数。

根据上式计算出的相关系数 $R_s(t)$ ，我们可以得到以要素场 F 为代表的西沙地面季风季节演变情况，我们称之为西沙季风指数 1（简称季风指数 1）。当此指数小于 -0.88 时，表明要素场与典型冬季风要素场十分相似（信度达 0.05），定为冬季风阶段。当指数大于 0.88 时，表明要素场与典型夏季风要素场十分相似（信度达 0.05），定为夏季风阶段。我们对西沙季风演变各个阶段划分定义如下：

$$\begin{aligned} 1.00 > R_s(t) > 0.88, & \quad \text{夏季风阶段} \\ 0.88 \geq R_s(t) \geq -0.88, & \quad \text{过渡阶段} \\ -0.88 > R_s(t) > -1.00, & \quad \text{冬季风阶段} \end{aligned}$$

图 4 给出了 1980~1988 年平均季风指数 1 变化曲线。可见，从 4 月 2 候开始一直到 9 月 2 候季风演变指数 1 均大于

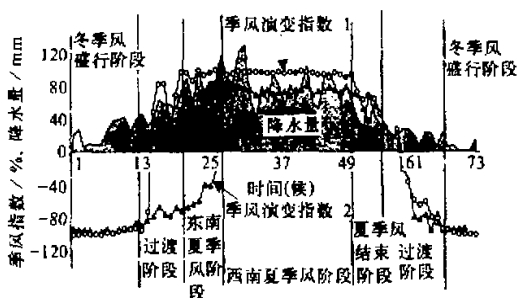


图 4 1980~1988 年平均季风指数 1、季风指数 2 及广东省 31 个站平均降水量逐候变化曲线

0.88，因此，这段时间为地面夏季风阶段。11 月 6 候到 3 月 1 候季风演变指数 1 小于 -0.88 ，这段时间为地面冬季风阶段，其余时间为过渡阶段。图 4 中的阴影区为广东省 30 年平均各候降水量变化情况。可以看出，季风指数 1 与广东省降水变化有很好的对应关系。4 月上旬西沙地面夏季风爆发时，广东省降水量有一次明显增加，汛期开始；9 月上旬夏季结束时，广东

降水有一次明显的减少，汛期结束。

在西沙地面夏季风开始初期（4 月和 5 月上旬），西沙盛行东南风，这段时期我们称为东南夏季风时期。表 2 中给出由季风指数 1 确定的 1980~1988 年逐年西沙东南季风建立时间。最早建立日期为 3 月 3 候，最晚为 4 月 5 候，平均为 4 月 1 候。我们分析了这 9 年广东降水量的变化规律。选取广东 31 个站 1980~1988 年逐候降水量资料，对其进行 EOF 分析，第一特征向量占总方差的 62%，其特征向量的空间分布特征已能够较好地反映广东降水量的平均分布特征（图略），其特征向量的时间系数可以较好地代表广东降水量的总体变化特点。用 Yamamoto 信噪比方法对其进行突变检验，区间长度为 3 候。表 2 给出了 1980~1988 年 3~4 月间广东省降水量显著增加的开始日期，除 1983 和 1984 年外，其余各年广东省降水量显著增加的开始日期与西沙东南夏季风建立日期有很好的-致性，说明西沙东南季风的建立总伴随着广东省一次强降水过程。广州中心气象台定出的 1980~1988 年平均开汛日期也与西沙东南夏季风建立日期一致。由

表 2 西沙夏季风建立日期和广东汛期开始日期

年份	东南季风建立日期	广东降水显著增加开始期	西南季风爆发期	西南季风盛行期
1980	4 月 3 候	4 月 3 候	5 月 5 候	5 月 6 候
1981	4 月 2 候	4 月 2 候	5 月 5 候	5 月 6 候
1982	4 月 5 候	4 月 5 候	5 月 2 候	6 月 1 候
1983	3 月 3 候	2 月 1 候	5 月 3 候	5 月 5 候
1984	4 月 1 候	4 月 4 候	5 月 3 候	5 月 4 候
1985	3 月 6 候	3 月 6 候	5 月 2 候	5 月 6 候
1986	4 月 4 候	4 月 4 候	5 月 3 候	5 月 3 候
1987	3 月 4 候	3 月 4 候	5 月 1 候	5 月 4 候
1988	3 月 3 候	3 月 4 候	5 月 2 候	5 月 2 候
平均	4 月 1 候	4 月 1 候	5 月 3 候	5 月 5 候

此可见，广东前汛期的开始与西沙东南夏季风的建立有十分密切的联系。

广东省前汛期降水过程主要是由北方冷空气与南方暖湿空气相互作用的结果，几乎每次吹东南风时，广东都有一次降水过程，但广东省降水量显著增加的开始日期（即雨季的来临）大多数与西沙地面东南季风开始时间一致（1983 年和 1984 年例外）。因此，我们所定义的季风指数 1 除了综合反映西沙风向风速、湿度、温度、气压的季节变化外，还与广东省降水天气现象相联系。从某种意义上讲，此指数在一定程度上可以看作广东季风降水指数。

季风系统具有一定的垂直尺度，仅用地面气象资料来定义季风演变过程的各个阶段还是不够的。本文进一步分析了西沙站 1980~1988 年 10 层（地面、1000 hPa、850 hPa、700 hPa、600 hPa、500 hPa、400 hPa、300 hPa、200 hPa、100 hPa）风 u/v 分量的变化特征。

利用这些资料，计算了西沙 u/v 分量 9 年平均逐候的联合 EOF，其第一特征向量占总方差的 43%。图 5 给出了 u 和 v 第一特征向量值垂直变化图。可以看出，以 700 hPa 为分界，其上层为负值，越往上数值越大；其下层为正值。说明中高层风的变化具有较强的一致性，因此该模反映了中高层风的变化。其次，近地面层（地面、1000 hPa）风矢量模数值也较大，但方向与中高层风向相反，因此也反映了高、低层风的切变特征。高层风向的变化和高、低层风向的切变特征正是南海季风系统的一个十分重要的特征之一，因此可以认为第一特征向量为季风模。

计算 1980~1988 年平均逐候 10 层 u/v 风分量与上述季风模的相关系数，与季风指数 1 相对应，我们称该相关系数为季风指数 2，该指数实际上是季风切变指数。图 4 中也给出了 1980~1988 年季风指数 2 平均变化曲线。当相关系数为负值时，表明高空盛行西南风，高低层之间风向切变为冬季型；正值时相反。具体地说，当相关系数大于 0.42 时（信度为 0.05），为西南夏

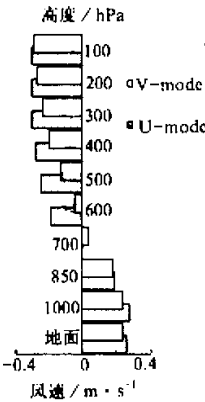


图 5 西沙探空站 10 层 u/v 风分量联合 EOF 第一特征向量分布图

季风阶段;当相关系数小于 -0.42 时,为东北冬季风阶段。从图上可以看到,5月3候西沙西南季风爆发,5月5候开始西南夏季风盛行。利用季风指数2,确定了1980~1988年逐年西沙西南季风爆发日期和盛行日期(见表2)。

对比季风指数1和季风指数2,我们发现两季风指数所确定的季风开始和结束时间有一定的差异。这是因为高空风与近地面风风向发生转变的时间差异造成的。分析发现,西沙200 hPa u/v 风向转变总体上比地面大约晚1个月,滞后相关分析同样表明西沙高、低空风向转变在时间上有相差1个月的显著负相关。

就1980~1988年平均情况而言,4月2候近地面层开始表现出东南夏季风特征。但到5月2候止,高空仍未表现出夏季风特征。我们称这一阶段(4月上旬~5月上旬)为西沙东南夏季风阶段。这期间西沙云量较少、对流不活跃、降水量不多。

5月3候~9月2候,两季风指数均表现出显著的夏季风特征,近地面层盛行西南风,高空盛行东北风,是典型的夏季风形势。这时,西沙云量增多、对流活跃、降水量增加,我们称此阶段为西沙西南夏季风盛行期。

9月3候~10月1候近地面夏季风特征不明显,但高空仍盛行东北风,高低层风向切变仍具有夏季风特征,我们称此阶段为夏季风结束期。

10月2候开始,夏季风完全结束,但要到12月初冬季风才完全建立起来。我们称10~11月份为过渡阶段。12月~次年2月底冬季风盛行,特别是1月份和2月份,此阶段为冬季风阶段。另外,3月份为另一个过渡阶段(冬季风过渡到夏季风)。

我们定义季风指数2出现正值的时候为西南季风爆发,当季风指数2大于 0.42 ,且持续3候为西南季风盛行。表2中给出了西南夏季风爆发和盛行开始日期。其中1982、1983和1985年西南季风爆发后有1候中断(季风指数2为负值)。除1988年外,西沙西南季风盛行期均落在西南风稳定建立期内。

综上所述,4月上旬,西沙近地面层首先出现东南夏季风,高层夏季大气环流和低层西南夏季风的出现晚1个多月(5月中旬),地面夏季风也比高层结束得早1个月左右,约在9月初。

4 结论和讨论

综合以上分析,我们得出以下结论:

(1) 西沙地面观测资料分析表明,从气候平均角度看(30年平均),3月中旬西沙地面由东北风转为东南风,5月中旬西沙地区西南(或南)风建立,对流增强,云量增多,6月上旬降水明显增加。

(2) 用两种不同的季风演变指数,可将西沙夏季风的季节演变分为3个阶段:

① 东南季风阶段,4月上旬至5月上旬。此时地面气象要素场已具备夏季风特征。东南风盛行,广东前汛期降水开始。但南海中北部地区从高空到低层均为反气旋控制,西沙地区对流较弱,云量不多,降水较少。

② 西南季风阶段,5月中旬至9月上旬。此时,两种季风演变指数都显示出典型的夏季风特征。西沙地区云量陡增、对流旺盛、降水明显增加。

③ 季风结束阶段, 9 月中至 10 月上旬。西沙地面夏季风已经撤退, 而此时高空仍具有夏季风环流特征。

850 hPa 平均流场分析表明 (图略), 西沙东南夏季风建立以前, 南海北部被副热带反气旋西脊控制, 在 105°E 赤道附近主要表现为偏北风越赤道气流, 影响南海北部的气流主要来源于反气旋南侧的副热带气流, 相对于热带气流而言较为干燥, 此时南海上的暖湿空气势力仍较弱。在西沙东南夏季风建立前 1 候, 105°E 赤道附近出现偏南风越赤道气流, 它的加入使得影响南海北部的气流变得比较潮湿, 并与北方冷空气交汇于广东, 导致广东省降水明显增加, 前汛期开始。然而, 副热带高压仍控制南海中北部, 西沙地区云少、对流不活跃, 天气晴朗。5 月中旬, 副高西脊突然东撤至 115°E 以东, 由孟加拉湾来的气流和副高西北部西南气流合并加强向东扩展, 西沙西南季风爆发, 南海盛行西南风, 低层流场具有典型的夏季风特征。

从 200 hPa 流场的变化情况看 (图略), 西沙地面东南季风建立前, 副热带反气旋的中心位于太平洋上, 南海地区位于副热带反气旋的西部, 南海北部盛行西南偏西气流。东南季风活动期间, 这一副热带反气旋的中心逐渐向西移动, 南海中北部仍以偏西风为主。5 月中旬, 反气旋中心突然移到 (110°E , 20°N) 以北以西的中南半岛上空, 南海中北部位于 200 hPa 反气旋的东部, 被东北气流所控制。

总之, 5 月中旬, 850 hPa 副高突然东撤, 南海低层上空由东或东南气流转为西南气流, 同时, 200 hPa 高空反气旋向北移动到 20°N 以北, 东北气流控制了南海高空, 表明南海西南季风的爆发。

可以看出, 本文对西沙季风季节变化的划分, 不但反映了西沙局地气象要素的变化, 而且与广东降水量季节变化也有密切的联系, 也比较客观地刻划了南海中北部季风变化特征。我们定义的季风指数 1 从某种意义上来说是广东季风降水指数, 季风指数 2 是一种风切变季风指数, 我们认为通过这两种指数来划分西沙季风季节变化比较适合实际情况。西沙作为南海中北部唯一的常规气象观测站, 其高、低层气象要素的变化对南海中北部大气环流状态有很好的代表性。

参 考 文 献

- 1 陈隆勋等, 1991, 东亚季风, 北京: 气象出版社。
- 2 Tao Shiyan and Chen Longxun, 1987, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 60~92.
- 3 黄土松、汤明敏, 1995, 我国南方初夏汛期和东亚夏季风环流, 热带气象学报, 11(3), 203~213.
- 4 江宁波、罗会邦, 1995, 南海夏季风爆发前后亚洲地区的大尺度环流突变, 热带气象学报, 11(4), 289~296.
- 5 Matsumoto, J., 1992, Climate over Asian and Australian monsoon regions, The University of Tokyo Project, No. 03212~103.
- 6 曾庆存、张邦林, 1992, 论大气环流的季节划分和季节突变 (一) 概念和方法, 大气科学, 16(6), 641~648.

Seasonal Evolution of Climatic Characteristics of Summer Monsoon over Xisha Area

Wu Shangsén and Liang Jianyín

(Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology, Guangzhou 510080)

Abstract In this study, the 30-year (1959~1988) conventional surface observations and the 9-year (1980~1988) radiosonde data at Xisha station located in the mid-northern part of the South China Sea were used to analyze the annual evolution of summer monsoon at Xisha. The analyzed results show that the southwest wind (or south wind) at Xisha prevails in middle of May, the convection and cloud amount increase suddenly at the same moment and rainfall increases greatly in early June. Using the monsoon indices 1 and 2 proposed by us, the annual evolution of summer monsoon can be divided into three phases, the southeast monsoon phase (from early April to early May), the southwest monsoon prevailing phase (from mid-May to early September) and the ending phase (from mid-September to early October). These phases are associated with both the seasonal precipitation variation in Guangdong and the annual evolution of atmospheric circulation over the South China Sea.

Key words Xisha area monsoon seasonal evolution climatic characteristics