

关于国际季风试验中南亚夏季风 暴发的若干初步成果

徐 蕾 如

(广东省热带海洋气象研究所)

七十年代有三次国际季风试验,即1973年印-苏季风试验,季风-77和季风-79。

由于季风是与大范围环流调整相联系的区域性环流现象,而我国南方的夏季风又与南亚夏季风有密切的联系,因此这些试验成果,也是我国气象工作者所关心的。

这里着重介绍与季风暴发阶段有关的问题。这也是全球大气研究计划FGGE的分计划——夏季季风试验(MONEX-79)的主要目标之一。

近年国外关于季风暴发的研究比较集中在:一、季风暴发时的大范围环流调整,着重于中低纬间和两半球间的相互关系;二、与印度夏季风暴发有密切关系的跨赤道低空急流,关于它的成因研究着重于赤道两侧气压差与急流形成的关系;三、季风暴发时在阿拉伯海上出现的季风“起暴涡旋”(onset vortex),它的作用和成因。

本文以几次国际会议文献为主,主要简介四个方面内容。

一、季风暴发时中低纬间和两半球间环流的相互作用

目前,一般认为季风的形成是热力、动力因子相结合的结果。即海陆间热力对比,两半球间行星气压带季节性进退,以及地形如西藏高原等因子的结合。北半球行星尺度热源的建立,促使区域性气压场发生相应调整,引起北半球赤道槽北移。而南印度洋西部副热带地区的高气压对这种北移起了激发

作用,随之过赤道气流产生,索马里急流突然建立和季风起暴涡旋形成^[1,2]。

这就指示了季风暴发与大范围环流调整的关系。在高空,最明显的是印度上空东风急流的建立。据1977和1979年资料,5月中起东风急流先出现在平流层,随后印度西北部对流层上部西风带突然减弱,同时100毫巴及较低层次上东风急流加强。至季风暴发期,印度、巴基斯坦的 20°N 以北和孟加拉,东风气流的范围可扩及地面。在对流层中部,暴发期,印度北部的西风急流突然崩溃,新的西风急流在 $40-45^{\circ}\text{N}$ 的中亚和西藏高原北缘建立。副热带高压脊线从 20°N 北移,西藏高原上暖性反气旋形成。低层,5月份阿拉伯海上为一个弱的反气旋环流,南半球有马斯克林反气旋。季风暴发时,近赤道槽北移,阿拉伯海反气旋消失。同时经向温度梯度和气压梯度反转。

1979年季风试验期间印度夏季风滞后,相应的两半球环流都出现异常。这使得一些研究者进一步去探讨中低纬间和两半球间环流的相互作用及其对于季风暴发的关系。这一年5月份到6月初,两半球环流的季节性转换明显推迟。北半球中纬阻高稳定,在西风槽影响下印度地区气温偏低,印巴低压弱。南半球中纬槽不活跃,马斯克林高压弱。这样,赤道两侧地面气压差明显小于常年,近赤道槽稳定在赤道附近^[2-8]。

① 北半球地面。欧亚大陆高压稳定,其中心气压高于常年同期平均值5—10毫巴。到6月上旬

二、南亚夏季风暴发前可能出现的短期季风形势及其对华南前汛期的影响

才减弱,降至1020毫巴以下,6月第3周达到正常值(1016毫巴)。这是北半球行星尺度气压型的异常。与此同时,5月17日至6月5日印巴季节性低压也较常年弱,其中5月25日至6月4日气压高于正常值达8毫巴。在阿拉伯海上反气旋环流维持,这就不利于南印度洋东南信风大规模流向阿拉伯海西部^[2,7]。

② 北半球对流层中上层,欧洲部分(50—55°N,30—50°E附近)为持续阻高形势,亚非地区副热带西风急流比常年强,纬度也偏低。对应5月22日至6月5日大振幅西风槽不断通过印度。6月初,200毫巴上西风急流开始北移,但由东向西推后;月初,110°E急流已在35°N附近;75°E上6月8日从30—32°N北撤到36°N以北;50°E则到12日才退到这一纬度附近。急流在北退的同时强度减弱。相应的,副热带高压脊线则在5月30日起稳定北进,4日大约移到20°N附近,较常年滞后约10天。6月5日起热带东风稳定增强^[2,3,7]。

300毫巴上25—15°N间的经向热力梯度,在110°E上5月14日发生反转,而75°E和50°E却迟至6月10日才发生。这是由于5月17日至6月5日,在50—75°E间对流层中高层有大振幅波动连续通过,使印度温度持续偏低,结果300毫巴上25°N暖脊推迟建立。700毫巴和500毫巴上,印度区域的季节性反气旋环流5月份在15°至20°N间摆动,6月10日开始北进,随之700毫巴季风槽北移^[7]。

③ 南半球环流演变。5月份南印度洋中纬度槽活动少。马斯克林高压弱,气压低于正常值3—7毫巴。6月初中纬槽恢复活动,马斯克林高压也逐渐加强到正常值^[5]。

由上可见,中低纬间、两半球间环流调整的演变特征是密切相关的。环流调整推迟,导致季风暴发滞后,在上述区域的反映是一致的。只有当两半球大范围的环流配合一致地调整,才有利于南半球东南气流跨越赤道,在阿拉伯海上形成西南风低空急流的形势得以建立,南亚夏季风才开始。

上游环流的调整,南亚夏季风暴发形势的出现,在我国南方也有相应的形势变化。同样欧亚中纬环流和南半球澳大利亚及其附近区域的环流变化,与我国南方夏季风的建立、推进和相对停滞也存在着一定的相关。对这些问题作进一步探讨是我国南方夏季风研究的课题之一。

印度地区有些年份,如1978年、1981年,明显的有两次季风活跃期,即暴发—中断—再度活跃—撤退。有些年份,如1979年,则是在季风暴发前有一个短时的季风形势出现。

这一年5月上中旬,季风“暂时推进”,接着“后撤”。到6月12日后季风期才正式开始。在5月和6月这两次季风暴发形势出现期间,我国华南都相应地各出现一次季风潮并带来大范围的暴雨。从环流调整、低层 θ_{se} 和风的分析看,5月上中旬印度那次“暂时推进”期,正是华南西南季风开始期^[10,20]。

这次短时季风形势发生在5月5至15日^[7,9]。5月7至10日,200毫巴上沿50°,75°和110°E,西风急流暂时北移,风速下降。相应的7至12日在80°E上副高脊线也暂时北进。同时300毫巴上15°至25°N间的热力梯度,于5月14日沿80°,110°E出现反转。8至15日200毫巴上从赤道到10°N热带东风暂时加强。地面,50—55°N,50—80°E的欧亚高压,在12至17日迅速减弱。12至15日印巴季节性低压加强,气压降到正常值以下。

上述形势出现的同时,10至15日阿拉伯海上低层跨赤道气流短时暴发。这可能因南非—莫桑比克通道有一个加强的斜压扰动通过,随之激发出气压波^[9]。在跨赤道气流暴发的同时,孟加拉湾热带风暴形成并移向印度半岛。以上这些事实说明,在这一短时期中,南亚季风暴发期的主要特征已基本具备。

但随后3至7天,200毫巴西风急流再度南压,随着中纬的大振幅西风波动控制印度地区,20日起阿拉伯海中高压重新建立,低空跨赤道急流减弱,海上赤道辐合带南退到约6°N,季风形势消失^[7,9]。

这次季风形势的短期出现在我国华南相应:110°E上,850毫巴候平均 θ_{se} 340°K等值线,在5月第2、3候进至23°N^[10];70—90°E以及南海出现了跨赤道西南气流;而孟加拉湾热带风暴使强盛的印度西南气流经中印半岛到达华南一带。这两股西南气流与南海北部付高脊侧的西南气流汇合,使华南在5月中旬前期出现了一次西南季风潮。与中纬波动相遇,发生了这个前汛期第一次大范围暴雨。

“暂时推进”形势在南亚的后撤、消失期间,200

毫巴上一度进到印度半岛的副高退回到中印半岛和南海北部一带,此后持续在这一带摆动。这就使 110°E 上的夏季型温度梯度得以继续维持。对流层中部,这时南亚受大振幅西风槽控制,但中印半岛至 110°E 一带处于槽前西南气流影响下,华南冷空气活动弱。在低层,南海和孟加拉湾不时有弱的跨赤道气流出现,它们与弱冷空气共同作用,使5月下半月到6月初,不时有小的气旋性扰动发生,有频繁的弱降水。

1979年的例子说明,和大范围形势调整相联系的南亚夏季风暴发,与包括中印半岛以至华南的大范围季风活动确实存在联系。但是南亚夏季风的暂时撤退,则不一定伴随有这些区域季风的同步反应。因为在 110°E 及其以东区域,季风期的部分特征还保留了下来。

可以推断,这一特点当不仅为1979年所特有。因为平均来说,对流层上部的副热带高压这时正处于中印半岛一带;对流层中部在中印半岛至 110°E 以东,大振幅西风槽往往已为小的西风波动所代替;在低层 110°E 附近及其以西,这时常有大陆热低压出现,同时南海北部副高脊活跃,来自孟加拉湾的西南气流也较频繁。这些使得中印半岛至华南一带西南季风活动一般较南亚为早。

可见,华南夏季风虽然不是南亚夏季风的一部分或它的东传部分,但是,南亚夏季风暴发(包括季风前的“暂时暴发”)与华南和南海一带西南季风潮的活动的确存在一定关系。这个季风潮不仅有可能是南亚季风气流的东进,而且与一致的大范围环流调整相关。

三、季风暴发时的低空偏西风急流及其成因的讨论

六十年代芬特勒提出索马里急流与印度季风的关系,七十年代利用地球静止气象卫星追踪急流的轨迹,人们发现急流的建立是半球间环流相互作用的结果。一些学者指出,急流是由南印度洋副热带高压带的低层辐散和印度季风槽的辐合所促成的大气西部边界流。 β 效应、东非马达加斯加地形屏障和印度上空大范围环流作用对它的形成起着重要作用。急流的源地在马斯克林群岛以东、赤道上都是偏南风,在阿拉伯海到印度上空因科氏力作用转向。另外,南半球中纬扰动东传对越赤道气流有重要影响,同时莫桑比克通道上风的强度也影响了这支急流。由此推断,从印度洋南部到印度次大陆环流的

变化存在耦合。马斯克林高压的东南信风通过跨赤道的索马里急流和赤道印度洋在阿拉伯海向北传播到季风槽。季风槽弱的时候,促使反哈得来环流减弱。推测印度东北部是这个环流的上升支,南半球副热带马斯克林高压是其下沉支,它变弱的结果是跨赤道气流减弱。1979年季风试验提供的资料表明,印度气压持续偏高,马斯克林高压偏弱,不利于阿拉伯海上跨赤道气流的形成^[11-16]。这年从5月的第三周到6月的第一周这种不利急流形成的气压场配置持续存在。直到6月6日至8日,气压型渐趋转变,阿拉伯海的高压最终消失。同时南半球的两个温带低压在 $30-40^{\circ}\text{S}$ 迅速通过 $20-50^{\circ}\text{E}$ 地区。与之相联系,马达加斯加以南的季节性副高第一次向赤道扩展,同时东非沿岸的脊北凸。低空S—SE风加强。这样使得12至14日强气流突然进入阿拉伯海南部,阿拉伯海上跨赤道气流开始盛行。6月12日,在季风暴发前, $8-14^{\circ}\text{N}$ 处强急流分为两支,在其南方,约 60°E 处有第三支。

一些研究者计算了这种赤道两侧气压差与急流发生间的关系,提出急流是由跨越赤道气压梯度决定的惯性流。计算表明,赤道两侧站间地面气压差的变化与急流的纬度变化有很高的相关。与因角动量守恒随纬度增大而增大的纬向速度形成对比,对于任何经向气压梯度,地转条件与纬向速度增大的关系是明显的。气压梯度附加的纬向分量,使东西向急流加强并维持一段时间。

有人计算了印度孟买和马达加斯加迭戈—苏瓦雷斯间约4000公里跨赤道距离上气压差随时间的变化。季风建立期间,迭戈—苏瓦雷斯和孟买间气压差通常在15毫巴左右。偏西风急流的纬度大约较气压梯度曲线特征滞后2至3天,与空气质点从赤道到急流纬度运行所需时间相对应。急流特征对于赤道气压梯度的加强及其方向反应的这种高灵敏度,可以说,当观测到跨赤道气压梯度的惯性流,就有季风暴发,气压梯度增大可能相应有急流轴的北移。1979年季风暴发前至暴发时,气压差在4—15毫巴。在喀拉拉邦季风暴发前5天,第一次超过8毫巴,季风建立时,达到15毫巴。沿 50°E ,在 10°S 至赤道间的海平面气压差,5月5日只有2毫巴,6月初缓增,12至14日达4—5毫巴。 10°N 到赤道间5月至6月初为2至4毫巴,6月10至15日增至9毫巴^[13-14,16]。

从这些计算和讨论,一些研究者判断,1979年在印度南方观测到的低空急流,与其说是索马里急

流的一支,不如说是阿拉伯海中部 60°E 附近的跨赤道气流。其所处纬度是由跨赤道气压梯度的变化控制,急流轴北移和纬向分速的加强与气压梯度的增大相关联。在 850 毫巴上这支急流中心在 5°N 附近,随高度南倾。其北侧,是急流的潮湿偏西风与北面的干空气间的边界。急流北移,使深厚潮湿空气进入印度。季风暴发与这个系统北移及它的气旋性切变一侧形成起暴涡旋相联系^[16,18]。

迭戈—苏瓦雷斯至孟买间气压梯度的方向与季风区观测到的平均气压梯度一致,也和行星尺度非绝热加热梯度一致。它是由中印半岛和印度在季风活动期集聚的净加热和阿拉伯海的净冷却形成的^[13]。所以跨赤道气压差不仅控制低层急流的位置,而且它本身就是大尺度非绝热加热的量度。

关于赤道两侧气压梯度与南海南部的跨赤道气流关系,广东热带所杨亚正等曾有涉及^[17]。跨赤道气流是华南西南季风来源之一,其源地除南海南部外,还有孟加拉湾南部等。它对我国华南前汛期降水及南海台风发生发展的影响已为一些天气学研究所证实。因此进一步探究这个区域跨赤道气流的成因,在理论和实践上都是很有意义的。

四、南亚季风的先导——季风起暴涡旋

季风起暴涡旋是指印度季风行将暴发时,在阿拉伯海东南的偏西风低空急流北侧开始形成的热带扰动。它一形成就迅速发展,很快覆盖整个阿拉伯海北部。起暴涡旋形成后,能加强为热带风暴,随强低空急流推进而北移,同时季风开始。它被作为季风暴发的先兆,并带来季风雨。如文献^[14]就曾指出:阿拉伯海和孟加拉湾一系列热带扰动是印度季风暴发的先兆,阿拉伯海东南部地面至 700 毫巴涡旋的形成,预告喀拉拉邦的季风暴发。以 1979 年为例,6 月 5 日起近赤道槽加强,8 日在印度以南产生一个扰动,11 至 14 日强西风从 4°N 推进到 10°N ,13 日起暴涡旋在低空气流气旋性切变侧形成,14 日赤道季风气流建立^[9,12,14]。

关于起暴涡旋的成因,有关文献指出:急流的建立加大了 ITCZ 内的风切变,通过正压不稳定机制,在阿拉伯海东南部云团中的低空偏西风急流北侧正压不稳定区形成。计算表明,季风气流的水平切变提供了起暴涡旋发展所需的巨大能量。而这支气流满足正压不稳定存在的必要条件^[2,13,16,18,21]。

有的文献(如^[20])则认为阿拉伯海上发展的低压诱发了这一区域低空偏西风的加强,而孟加拉

湾低压的发生则对急流起维持作用。

起暴涡旋形成后向西北方向移动,也吸引了季风的北进,季风北移的边界取决于低压的移动。起暴涡旋一般北移到 $10-20^{\circ}\text{N}$,通常到阿拉伯半岛沿岸^[18]。

急流北侧的这种扰动在阿拉伯海以外的季风区有没有某种形式的表现,这可能是个值得探讨的问题。它对季风暴发及季风降水的研究都会是有意义的。

以上关于南亚季风暴发期初步成果的部分结论,已被一些气象工作者试用于建立作急流形成和南亚季风暴发的预报工具。但还有不少问题,尚待有更多的资料来证实和进一步分析。

参 考 文 献

- [1] M. S. HUQ, The southwest monsoon over the subcontinent of India Pakistan Bangladesh—a survey, *Indian J. Met. Hydrol. Geophys.*, Vol. 29, 1 & 2.
- [2] D. R. Sikka et al., Some aspects of the interhemispheric interactions on the onset of monsoon over India as revealed by the MONEX data, International conference on Early Results of FGGE and Large-Scale Aspects of Its Monsoon Experiments 1979, WMO, 1981.
- [3] K. G. MOWLA, Onset of summer monsoon in Bangladesh, 同[1].
- [4] R. K. Datta et al., Certain aspects of pre-onset and onset phase of SW monsoon for the decade 1970—1979; 同[2].
- [5] A. M. Sud et al., Certain aspects of ITCZ and ET during the pre-and onset phase of the southwest monsoon using MONEX-79 and MONEX-77, WMO GARP, FGGE operations report, No. 9, 1980.
- [6] L. Bengtsson, Results of the global weather experiment, WMO Bulltion Vol. 32, No. 1.
- [7] D. R. Sikka, An appraisal of the onset of summer monsoon over India in the light of MONEX-79 data, 同[5].
- [8] John A. Young, Low-level summer monsoon circulations, 同[2].
- [9] D. R. Sikka et al., Cross hemispheric actions and the onset of the summer monsoon over India, International conference on the scientific results of the monsoon experiment, 1981.
- [10] 汤明敏、黄仕松, 1979 年中国东部夏季风的推进, 1981 年全国热带季风学术会议文集, 云南人民出版社, 1982.
- [11] Daniel Cadet et al., A case study of a fluctuation of the Somali jet during the Indian summer monsoon, *Mon. Wea. Rev.* Vol. 109,

1981, pp. 182—187.

- [12] D. R. Sikka, Southern hemispheric influences and the onset of the southwest monsoon of 1979, [同 5].
- [13] J. P. Kuettner et al., The onset mechanism of the Indian monsoon, 同[9].
- [14] D. N. Sikdar et al., Evolution of summer monsoon circulation over the Arabian Sea—a satellite perspective, 同[9].
- [15] J. P. Kuettner et al., the near-equatorial jet south of India and its role in the onset of the monsoon, WMO GARP, FGGE operations report, No. 9, 1980, 同[5].
- [16] M. G. Gupta et al., Low-level jet stream over Arabian Sea during onset phase of monsoon

1979. 同[5].

- [17] 杨亚正、韦有暹, 南海台风与低纬大气环流(1), 1981年台风会议文集(即将出版).
- [18] T. N. Krishnamurti et al., On the onset-vortex of the summer monsoon, 同[2].
- [19] B. S. Nyenzi the influence of low tropospheric flow on the onset of the summer monsoon over India in June 1979, 同[9].
- [20] 广东省热带海洋气象研究所, 西南季风及南海附近跨赤道气流对华南降水的影响, 热带气象参考材料之三, 1982(油印本).
- [21] Mak, M-K. et al., A dynamical study of the onset cyclone of the southwest monsoon of 1979, 同[2].