

# 南亚高压气候形态特征与中国东部降水的关系

黄际曦, 王 玲

(蒲江县气象局, 四川 蒲江 611630)

**摘要:**利用 NCEP/NCAR 1948–2009 年月平均再分析资料, 国家气候中心 1951–2009 年降水站点观测资料, 分析了南亚高压的不同气候形态特征, 研究了各类南亚高压形态的空间结构、环流特征, 以及各类南亚高压形态特征与中国东部降水的关系。结果表明: 1948–2009 年 200 hPa 南亚高压根据中心个数可分为单中心(Ⅰ类)、双中心(Ⅱ类)、三中心(Ⅲ类)。单中心类分为两子类。双中心类分为四子类。三中心类分为四子类。单中心Ⅰ<sub>1</sub>子类高压中心位于 40°E ~ 75°E, 中国东部降水特征为华北、黄淮、江淮及华南东部降水多, 江南及华南西部降水少。单中心Ⅰ<sub>2</sub>子类高压中心位于 75°E ~ 110°E, 中国东部降水特征为华北、黄淮地区降水少, 江南及华南地区降水多。双中心Ⅱ<sub>1</sub>子类高压中心位于 40°E ~ 75°E 和 75°E ~ 110°E, 中国东部降水特征同Ⅰ<sub>2</sub>。双中心Ⅱ<sub>2</sub>子类高压中心位于 40°E ~ 75°E 和 110°E ~ 140°E, 中国东部降水特征为华北、黄淮、江淮、及华南西部降水多, 江南及华南东部降水少。三中心Ⅲ<sub>1</sub>子类高压中心位于 40°E ~ 75°E, 75°E ~ 110°E 和 110°E ~ 140°E, 中国东部降水特征为华北、山东半岛降水多, 黄淮西部、江淮、江南及华南地区降水少。

**关 键 词:**南亚高压; 气候形态特征; 中国东部降水

## 0 引言

南亚高压是夏季位于亚洲南部对流层上层的一个强大而稳定的大气活动中心, 在 100 hPa 附近最强, 是夏季对流层上部的大气活动中心。南亚高压对中国夏季大范围旱涝分布以及亚洲的天气分布都有重大的影响。南亚高压作为高层环流, 与低层环流相比, 其异常更具有稳定性和持续性, 并有一定的提前性, 具有预测价值, 同时, 南亚高压处于低纬热带和中高纬温带之间, 与高低纬不同环流系统存在相互作用和相互影响。南亚高压作为一个行星尺度环流背景, 是天气、气候变化的一个强信号。

南亚高压开创性研究工作始于 20 世纪中期, 1963 年 Mason 和 Anderson<sup>[1]</sup>。指出南亚高压是北半球 100 毫巴等压面上最强大和稳定的环流系统, 并指出其行星尺度规模影响范围和长期离开高原东西方向移动现象。朱福康<sup>[2]</sup>进一步联系中国天气实际, 重点研究了南亚高压与低层西太平洋副热带高压在大陆上的进退关系, 最早指出南亚高压东西振荡的概念, 在分析 1957–1962 年夏季 100 hPa 流型变化时发现, 南亚高压有绕其平均中心位置东西振荡的现象。上述开创性工作使人们认识到南亚高压的活动对整个北半球大气环流演变、中国天气、气候预测的重要性。

进入 20 世纪 70 年代末到 90 年代初期, 南亚高压研究进入多方面发展和初步应用阶段。这一时期研究

工作主要有以下方面: (1) 比较深入地探讨了南亚高压东西振荡活动和规律。罗四维等<sup>[3]</sup>根据对南亚高压位置和形状的资料统计分析, 以 100°E 为界, 把南亚高压分为 3 种主要类型, 即东部型、西部型和带状型。钱永甫<sup>[4]</sup>从动力学角度通过计算加热场研究了南亚高压东西振荡特征。朱福康等<sup>[2]</sup>从环流系统之间相互作用动力学角度分析南亚高压经度变化, 指出了南亚高压东西振荡准双周周期特征。(2) 比较全面地研究了南亚高压的季节性南北位移。朱福康等<sup>[2]</sup>初步探讨了南亚高压南北位移季节性变化。指出南亚高压从冬到夏位置和强度存在明显的南北位移季节变化。孙国武<sup>[5]</sup>根据 1979 年青藏高原科学实验观测资料指出, 南亚高压南北位移季节性变化存在明显的阶段性。章基嘉等<sup>[6]</sup>分别从数值模拟、理论分析及观测事实分析方面探讨后认为南亚高压季节性南北位移不是一个孤立事件, 与全球大气环流季节变化相联系。(3) 比较具有特色的研究工作。朱抱真等<sup>[7]</sup>从第一次青藏高原科学实验观测事实分析提出了有关南亚高压东西振荡的不同分型方案。孙国武等<sup>[8]</sup>阐明了青藏高原大气低频振荡的观测事实, 发现了青藏高原大气 40–50 d 低频振荡与高原低涡群发性相关联。

20 世纪 90 年代后期, 利用 NCEP/NCAR 再分析全球资料, 新发展的诊断分析方法和理论试验工具, 南亚高压不同时间尺度演变规律及机制的研究深入开展。这一时期的研究更加注重于利用长时间的序列资料对南亚高压年际、年代际时间尺度演变特征进行了

客观诊断分析。张琼等<sup>[9]</sup>通过再分析资料诊断分析明确指出,夏季南亚高压有2个平衡态,呈青藏高原型和伊朗高压型双模态分布。吴国雄等<sup>[10]</sup>做了南亚高压强度与全球海温异常的同期相关。钱永甫等<sup>[11]</sup>用SVD诊断方法分析了NCEP/NCAR再分析月平均的青藏、伊朗高原地区300 hPa温度场和100 hPa高度场及距平场异常与中国区域温度和降水的关系。黄燕燕等<sup>[12]</sup>利用40 a月平均NCEP/NCAR再分析资料和1951–2000年全国160站月平均降水资料,对比分析了长江中下游流域和华北地区的典型旱涝年降水与南亚高压的关系。

1 资料和方法

采用1948–2009年NCEP/NCAR再分析月平均高度场、风场、温度场资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 经纬度格距。采用的分析方法为合成分析。降水资料为国家气候中心全国160站1951–2010年降水资料。

2 南亚高压气候形态划分

利用1948–2009年NCEP/NCAR再分析月平均高度场资料,求出200 hPa  $40^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 夏季6、7、8月南亚高压中心经纬度。分析南亚高压中心经纬度分布特征。

图1给出了1948–2009年62年夏季6、7、8月共186个实例南亚高压中心位置分布特征,从图1中可以看出,南亚高压各年份中心不但有纬度的变化,而且还有经度的变化,盛夏6、7、8月份,南亚高压的中心并不是一直稳定在青藏高原上不动的,而是经常偏离高原,移向高原东西两侧。南亚高压纬度变化范围为 $20^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{N}$ ,经度变化范围为 $40^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 。从图中可见南亚高压中心经度主要分布于区间: $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ ;  $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ ;  $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 。因此,将南亚高压中心经度分为上述3种分布情况。

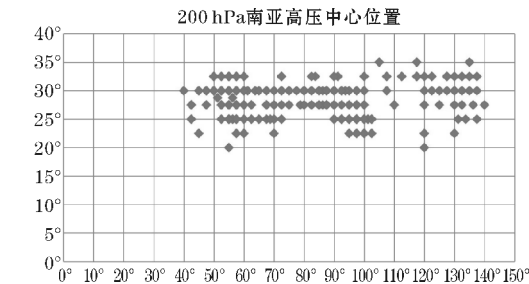


图1 200 hPa 夏季南亚高压6、7、8月中心经纬度分布散点图

根据南亚高压中心个数将南亚高压分为单中心(I类)、双中心(II类)、三中心(III类)。对于单中心类南亚高压,按中心经度的分布情况,分为两类。双中心类南亚高压按实际出现的类别分为四类。三中心类南亚高压按实际出现的类别分为四类。

从表1中可以看出1948–2009年62年中夏季6、7、8月出现的南亚高压可分为3个主类。3个主类包含10个次类。南亚高压主要气候形态类别为单中心和双中心类,三中心类较少发生。单中心类中心经度位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 和 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 的类别几乎为等概率发生。在双中心类南亚高压中主要为左中心位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 右中心位于 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ ,和左中心位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 右中心位于 $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 两种情况发生概率较大。

表1 南亚高压夏季6、7、8月各形态分布				
主类	次类	中心位置/ °E	实例数	发生 概率/%
单中心	I_1	40 ~ 75	36	19.35
	I_2	75 ~ 110	42	22.58
双中心	II_1	40 ~ 75; 75 ~ 110	60	32.26
	II_2	40 ~ 75; 110 ~ 140	16	9.14
	II_3	75 ~ 110; 110 ~ 140	12	6.45
	II_4	40 ~ 75; 40 ~ 75	3	1.61
三中心	III_1	40 ~ 75; 75 ~ 110; 110 ~ 140	13	6.99
	III_2	40 ~ 75; 110 ~ 140; 110 ~ 140	1	0.54
	III_3	40 ~ 75; 40 ~ 75; 75 ~ 110	1	0.54
	III_4	40 ~ 75; 40 ~ 75; 110 ~ 140	1	0.54

3 南亚高压各形态的结构特征

3.1 单中心类南亚高压的结构特征

1948–2009年夏季6、7、8月份出现的单中心类南亚高压共有两种形态,分别是中心位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 和 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 的两类。分别以I\_1, I\_2来表示。

图2给出了I\_1类南亚高压形态位势高度场合成分析结果。从图2(a)可见, I\_1类南亚高压为一个中心类型,中心经度位置平均为 $50^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ ,纬度为 $27^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ ,高压中心并不在青藏高原上空,而是在伊朗高原上空。从图2(b)中可见, I\_2类南亚高压为一个中心类型,中心经度位置平均为 $80^{\circ}\text{E} \sim 100^{\circ}\text{E}$ ,纬度为 $24^{\circ}\text{N} \sim 28^{\circ}\text{N}$ ,高压中心在中国青藏高原上空。从图2可以发现I\_1中心明显比I\_2偏强,中心偏北。

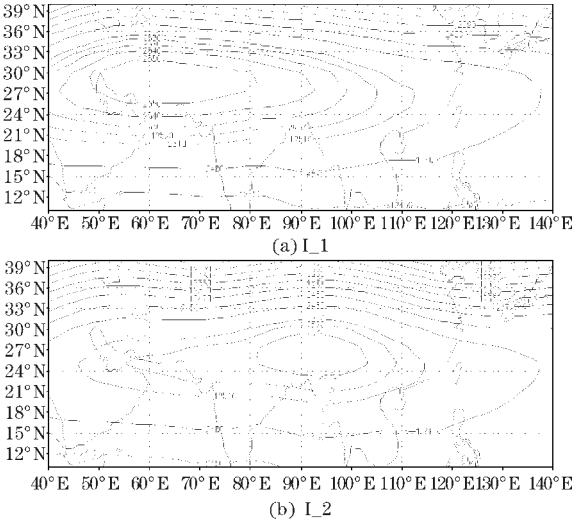


图2 单中心 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub> 南亚高压形态  
200 hPa 位势高度场合成图

盛夏南亚高压的反气旋环流以青藏高原为中心控制了中国的大部分地区。作为夏季对流层中高层强大、稳定的环流系统,南亚高压的影响范围很大,西起非洲西海岸,东至西太平洋,约占地球圆周的一半。关于南亚高压的平均流场特征是高压脊线以北为偏西风,紧随其北侧有副热带西风急流;脊线以南为偏东风,伴随着热带东风急流。

图3给出了单中心类南亚高压形态200 hPa环流场合成图。图3(a)可以看出,环流中心在65°E~75°E,25°N~30°N附近,环流中心在伊朗高原上空。从图3(b)可以看出,环流中心在85°E~100°E,25°N~30°N附近,环流中心在青藏高原上空。

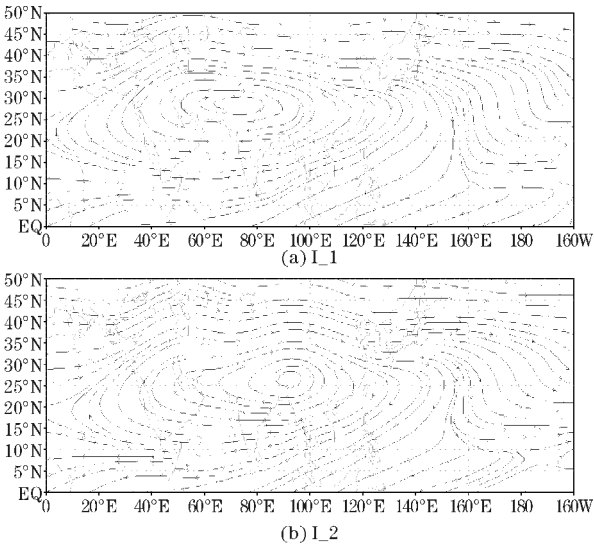


图3 单中心 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub> 南亚高压形态 200 hPa 环流场合成图

不同层次的南亚高压单体,其温压场的配置并不相同,70 hPa–100 hPa南亚高压位于高纬暖区和低纬冷区之间的过渡带上,200 hPa–300 hPa南亚高压中心

恰好与该层次的温度场的暖中心相对应。南亚高压是对流层上部的暖高压,由于夏季青藏高原加热作用最为显著,如同一“热岛”,所以南亚高压中心在夏季稳定于高原上空。许多学者研究指出南亚高压的形成是青藏高原热力作用的结果。叶笃正等<sup>[13]</sup>研究了青藏高原夏季的加热作用对东亚大气环流的影响,指出青藏高原上空南亚高压的形成和维持,主要在于耸立在对流层中部的高原的加热作用。叶笃正等<sup>[13]</sup>指出南亚高压与一般副热带高压的动力性质和生成机制并不相同,海上的副热带高压为下沉气流,自上层到下层,其强度并不减少,青藏高压为上升气流,低空是热低压,高层是高压,它形成的一个重要原因是青藏高原的加热作用,使得中下层产生巨大的辐合、高层产生巨大的辐散,在对流层中部形成巨大热源,与副热带高压的形成存在本质的区别。从图4(a)可以明显看出,加热中心主要位于伊朗高原上空。从图4(b)可以看出加热中心主要位于青藏高原上空。

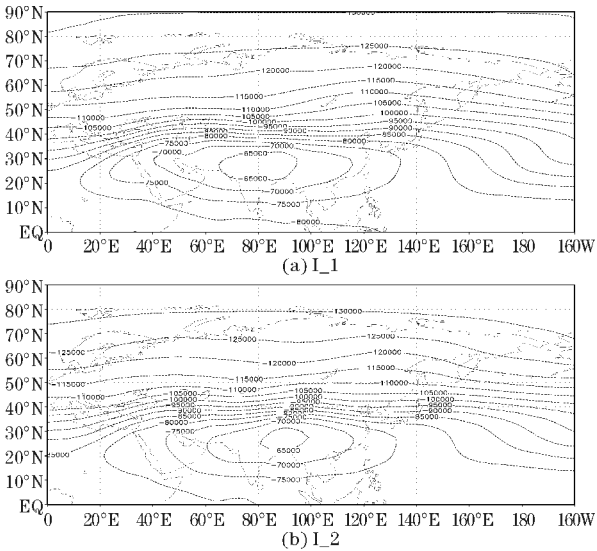


图4 单中心 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub> 南亚高压形态对流层中  
上层温度质量加权平均积分合成图

3.2 双中心类南亚高压的结构特征

1948–2009 年夏季 6、7、8 月份出现的双中心类南亚高压共有 4 种形态,分别是:(1)左中心位于40°E~75°E,右中心位于75°E~110°E;(2)左中心位于40°E~75°E,右中心位于110°E~140°E;(3)左中心位于75°E~110°E,右中心位于110°E~140°E;(4)左中心位于40°E~80°E,右中心位于40°E~80°E。分别以Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>、Ⅱ<sub>3</sub>、Ⅱ<sub>4</sub>来表示。由于类Ⅱ<sub>3</sub>、Ⅱ<sub>4</sub>相对出现的概率较小,所以本文主要分析类Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>。

从图5可以看出Ⅱ<sub>1</sub>类南亚高压形态左中心经度平均位置为50°E~60°E,纬度平均位置为25°N~



28°N,右中心经度平均位置为85°E~100°E,纬度平均位置为25°N~28°N。左中心位于伊朗高原上空,右中心位于青藏高原上空,右中心强度略强于左中心。Ⅱ<sub>2</sub>类南亚高压形态左中心经度平均位置为55°E~70°E,纬度平均位置为28°N~32°N,右中心经度平均位置为120°E~130°E,纬度平均位置为26°N~31°N。左中心位于伊朗高原上空,右中心位于中国东海地区,左中心强度明显大于右中心强度。

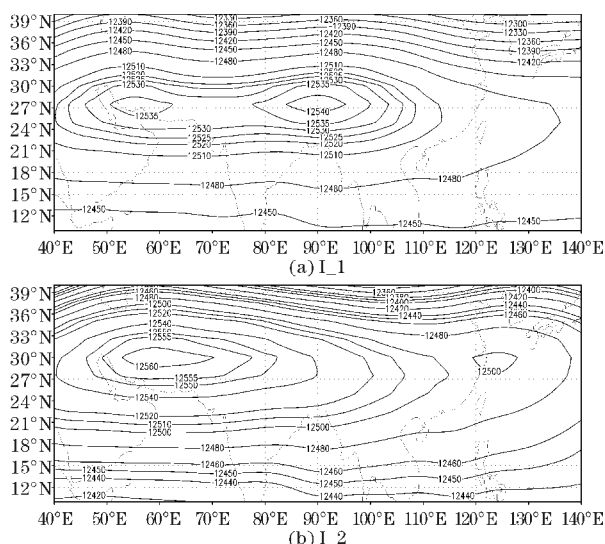


图5 双中心Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>南亚高压形态200 hPa位势高度场合成图

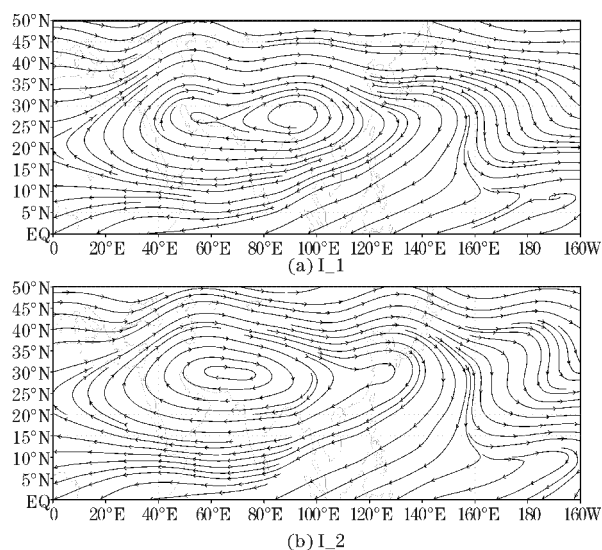


图6 双中心Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>南亚高压形态200 hPa环流场合成图

图6给出了双中心类南亚高压环流场合成。其中Ⅱ<sub>1</sub>类南亚高压形态环流合成图中可以看出存在两个反气旋环流中心,Ⅱ<sub>2</sub>类南亚高压形态环流场合成图中只明显看出一个反气旋环流中心与左中心配合。从图6(a)可以看出左中心位于55°E~60°E,25°N~28°N,右中心位于80°E~100°E,25°N~20°N。从图6(b)可以看出左中心位于60°E~75°E,28°N~32°N,右中心没有明显的闭合环流。

从图7可以看出双中心Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>类南亚高压形态都有闭合的暖中心,图7(a)暖中心在孟加拉湾北部,图7(b)暖中心在印度北部,暖中心强度相当,Ⅱ<sub>2</sub>类暖中心相比Ⅱ<sub>1</sub>偏西。

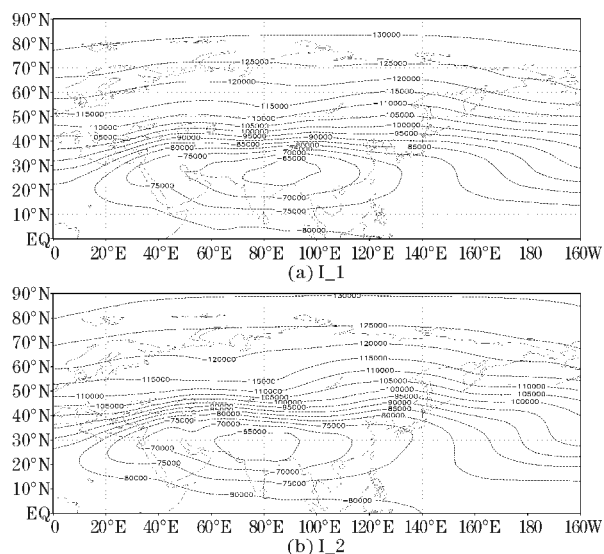


图7 双中心Ⅱ<sub>1</sub>、Ⅱ<sub>2</sub>南亚高压形态对  
流层中上层温度质量加权平均积分合成图

### 3.3 三中心类南亚高压结构特征

1948–2009年夏季6、7、8月份出现的双中心类南亚高压共有4种形态,分别是:(1)中心位于40°E~75°E、75°E~110°E、110°E~140°E;(2)中心位于40°E~75°E、110°E~140°E、110°E~140°E;(3)中心位于40°E~75°E、40°E~75°E、75°E~110°E;(4)中心位于40°E~75°E、40°E~75°E、110°E~140°E。分别以Ⅲ<sub>1</sub>、Ⅲ<sub>2</sub>、Ⅲ<sub>3</sub>、Ⅲ<sub>4</sub>来表示。其中Ⅲ<sub>2</sub>、Ⅲ<sub>3</sub>、Ⅲ<sub>4</sub>在62年中都只有1个实例发生,所以本文仅分析Ⅲ<sub>1</sub>类形态。

从图8可以看出三中心类南亚高压中心1经度位置平均为40°E~60°E,纬度平均位置为27°N~30°N,位于伊朗高原上空,中心2经度平均位置为75°E~90°E,纬度平均位置为27°N~30°N,位于青藏高原上空,中心3在图中并没有明显的闭合中心。

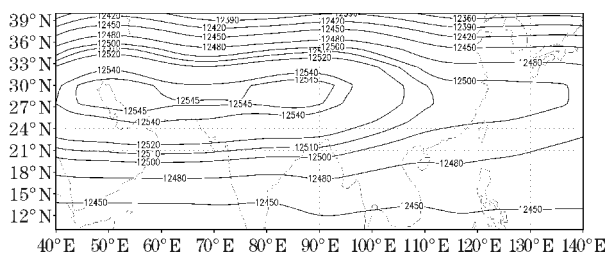


图8 三中心Ⅲ<sub>1</sub>南亚高压形态200 hPa位势高度场合成图

从图9中可以看出明显的两个反气旋环流中心,

中心 1 经度位置为 $45^{\circ}\text{E} \sim 60^{\circ}\text{E}$ ,纬度位置为 $27^{\circ}\text{N} \sim 32^{\circ}\text{N}$ ,位于伊朗高原上空,中心 2 经度位置为 $80^{\circ}\text{E} \sim 95^{\circ}\text{E}$ ,纬度位置为 $28^{\circ}\text{N} \sim 33^{\circ}\text{N}$ ,位于青藏高原上空。经度位于 $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 的高压中心没有形成明显的闭合环流。

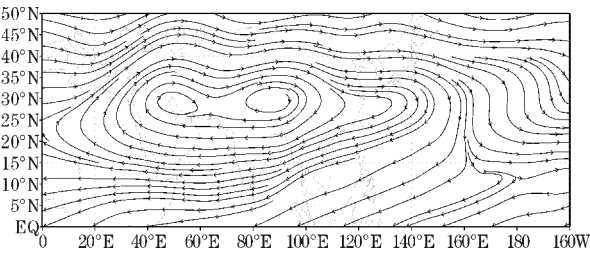


图 9 三中心 III<sub>1</sub> 南亚高压形态 200 hPa 环流场合成图

4 南亚高压形态与中国东部降水的关系

南亚高压是一种行星尺度的环流系统,它的活动直接影响到中国的天气。降水资料为国家气候中心 1951–2010 年站点资料。在 1948–2009 年中出现的南亚高压各形态,截取 1951–2009 年降水资料计算南亚高压各形态同期降水距平百分率。

从图 10(a) 可以发现当南亚高压为单中心 I<sub>1</sub> 类,即中心经度位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 时,中国东部地区的降水分布情况为黄淮以及华北地区为多雨分布,而江南地区为少雨分布,在华南东部也为多雨分布,总体呈现两多一少的分布情况。从图 10(b) 可以发现当南亚高压为单中心 I<sub>2</sub> 类,即中心经度位于 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 时,东部地区降水分布情况为黄淮及华北地区为少雨分布,江淮及江南以及华南地区为多雨分布。降水主要集中在江南地区。

图 11(a) 给出了当南亚高压为双中心 II<sub>1</sub> 类,即左中心经度位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ ,右中心位于 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 时,中国的降水分布情况。从图中可以看出,黄淮以及华北地区为少雨分布,江南及华南东部为多雨分布,华南西部为少雨分布。降水主要在江南地区。图 11(b) 为南亚高压为双中心 II<sub>2</sub> 类,即左中心位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ ,右中心位于 $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 时,中国的降水分布情况。从图中可以看出长江以北大范围地区为多雨分布,长江以南大范围区域为少雨分布,在华南西部为多雨分布。从图 10(a)、(b) 两幅图对比中可以发现,当南亚高压为双中心 II<sub>1</sub> 类和双中心 II<sub>1</sub> 类时,对中国东部的降水起到了不同的作用。当南亚高压为双中心 II<sub>1</sub> 类时,长江以北区域为少雨分布,而当南亚高压为双中心 II<sub>2</sub> 类时,长江以北区域为多雨分布。当南亚高压为双中心 II<sub>1</sub> 类时,长江以南区域

为多雨分布,而当南亚高压为双中心 II<sub>2</sub> 类时,长江以南区域为少雨分布。

图 12 给出了当南亚高压为三中心 III<sub>1</sub> 类,即中心位于 $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 、 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$  时中国的降水分布情况。从图中可以看出降雨偏多地带为华北地区及山东半岛地区,黄淮大部分地区江淮地区及江南地区及华南地区为少雨分布。可以看出此类南亚高压不利于长江中下游及以南地区的降水形成。

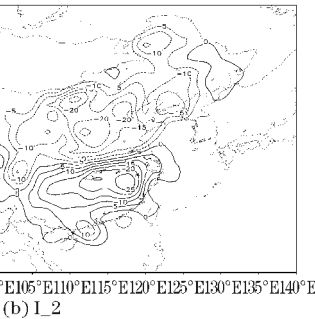
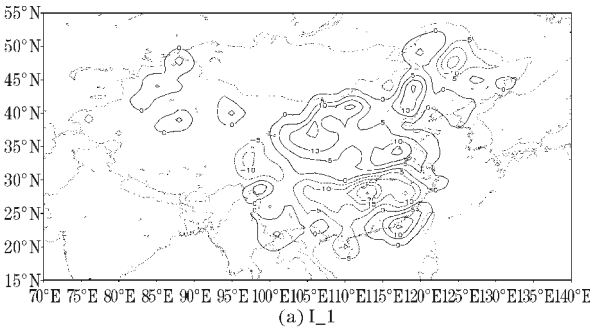


图 10 单中心 I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub> 南亚高压同期平均降水距平百分率分布

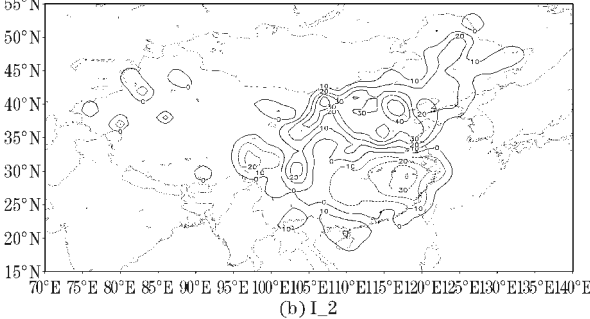
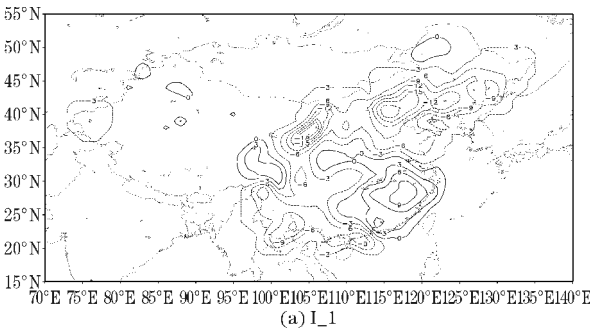


图 11 双中心 II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub> 南亚高压同期平均降水距平百分率分布

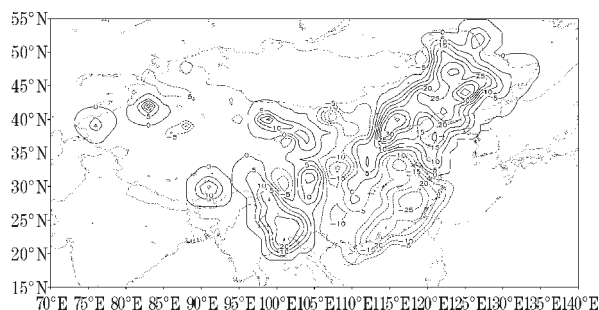


图 12 三中心Ⅲ\_1 南亚高压同期平均降水距平百分率分布

从图 10-12 中可以发现长江中下游、华北的降水分布具有比较明显的反位相特征。当长江中下游为多雨分布时,华北地区为少雨干旱,当长江中下游地区为少雨干旱时,华北地区为多雨分布。对华北地区降水偏多影响最强的南亚高压形态为双中心Ⅱ\_2 类,对江淮地区及江南地区降水偏多影响最强的南亚高压形态为单中心Ⅰ\_2 类。对华北地区降水偏少影响最强的南亚高压形态为单中心Ⅰ\_2 类,对江淮地区及江南地区降水偏少影响最强的南亚高压形态为双中心Ⅱ\_2 类。

## 5 结论

(1) 1948-2009 年 62 年中出现的南亚高压中心经度分布有 3 个区域,分别为  $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 、 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 、 $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 。按中心个数分类可分为单中心类、双中心类、三中心类。根据中心个数及中心经度分布划分 62 年中实际出现的南亚高压类别总共可分为 10 类南亚高压气候形态。

(2) 单中心Ⅰ\_1 子类高压中心位于  $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ ,中国东部降水特征为华北、黄淮、江淮及华南东部降水多,江南及华南西部降水少。单中心Ⅰ\_2 子类高压中心位于  $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ ,中国东部降水特征为华北、黄淮地区降水少,江南及华南地区降水多。双中心Ⅱ\_1 子类高压中心位于  $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$  和  $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ ,中国东部降水特征同Ⅰ\_2。双中心Ⅱ\_2 子类高压中心位于  $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$  和  $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ ,中国东部降水特征为华北、黄淮、江淮及华南西部降水多,江南及华南东部降水少。三中心Ⅲ\_1 子类高压中心位于  $40^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 、 $75^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$  和  $110^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ ,

中国东部降水特征为华北、山东半岛降水多,黄淮西部、江淮、江南及华南地区降水少。

## 参考文献:

- [1] 苏东玉,李跃清,蒋兴文. 南亚高压的研究进展及展望[J]. 干旱气象,2006,24(3).
- [2] 朱福康,陆龙骅,陈咸吉. 南亚高压[M]. 北京:科学出版社,1980:1-20.
- [3] 罗四维,钱正安,王谦谦. 夏季 100 hPa 南亚高压与我国东部旱涝关系的天气气候研究[J]. 高原气象,1982,1(2):1-10.
- [4] 钱永甫. 青藏高原气象论文集(1975-1976)[M]. 兰州:中国科学院兰州高原大气物理研究所,1978:199-212.
- [5] 孙国武. 青藏高原科学试验文集(二)[M]. 北京:科学出版社,1984:152-158.
- [6] 章基嘉,朱抱真,朱福康,等. 青藏高原气象学进展[M]. 北京:科学出版社,1988:1-268.
- [7] 朱抱真,宋正山. 青藏高原科学试验文集(一)[M]. 北京:科学出版社,1981:303-313.
- [8] 孙国武,陈葆德. 青藏高原上空大气低频波的振荡及其径向传播[J]. 大气科学,1988,12:250-256.
- [9] 张琼,钱永甫. 南亚高压的演变规律、机制及其对区域气候的影响[D]. 南京:南京大学,1999:1-148.
- [10] 张琼,吴国雄. 长江流域大范围旱涝与南亚高压的关系[J]. 气象学报,2001,59(5):569-577.
- [11] 钱永甫,周宁芳,毕云. 高层大气温度和高度场异常对我国地面气温和降水的影响[J]. 高原气象,2004,23(4):417-428.
- [12] 黄燕燕,钱永甫. 长江流域、华北降水特征与南亚高压的关系分析[J]. 高原气象,2004,23(1):68-74.
- [13] 叶笃正,张捷迁. 青藏高原加热作用对夏季东亚大气环流影响的初步模拟实验[J]. 中国科学,1974(3):301-320.