

亚澳中低纬度区域暴雨天气系统研究^{*}

赵思雄 贝耐芳 孙建华 陈 红 张 凤

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

祁立新

(澳大利亚新南威尔士大学数学学院, 悉尼 2052)

摘 要 以跨越南北半球的亚澳季风区内的暴雨等灾害天气系统为主要讨论内容, 分析了影响这一地区的环流和天气系统的主要特征以及它们之间的异同, 这对深入了解该区域内季风的影响和降水系统的机理提供了帮助。同时, 对于预报的改进也是有益的。

关键词: 季风区; 暴雨; 天气系统

1 前言

在东半球, 南亚及亚州大陆和澳大利亚之间, 从印度洋至西太平洋为广大的亚澳季风区。随着季风的推进, 在这一区域常引发较强的降水。当然, 除了东亚最著名的梅雨锋降水外, 中尺度及天气尺度的低压, 低纬度的季风潮, 以及季风低压和切断低压均分别对两半球的天气产生影响。

中国地处北半球, 跨热带、副热带和温带, 然而中国的某些天气系统的发生发展与南半球的系统有一定的关系。李宪之先生早在上个世纪早期即已指出, 西太平洋台风的发生与南半球冷空气的爆发有关, 这是相当精辟的具有开创性的观点, 被以后的观测事实充分证实^[1]。在李先生这一杰出思想的启发与鼓舞下, 我们注意了南北半球, 尤其是亚澳地区的天气系统。事实上, 弄清南北半球系统之间的关系, 以及进一步弄清南北半球系统间的相同和相异之处, 并深入理解这些天气系统的演变和机理, 对预报的改进是很有帮助的。不但对我们改进东亚地区的天气预报, 而且对于我们改进东南亚, 甚至澳大利亚地区的天气预报也是很有益处的。为此, 近年来我们在这方面作了一些研究, 现分别介绍如后。

2 梅雨锋与东亚夏季降水

中国的降水与亚洲季风有很密切的关系, 而亚洲季风又包含了印度季风和东亚季风两个分支。前者主要出现在印度半岛和印度洋上, 这一支已为人们所熟悉, 包括它的源地, 环流特征以及与季节特点和降水的关系, 特别是在季风试验 (MONEX) 之后, 对新获取的资料作出了大量的分析。已经发现, 东亚季风也是亚洲季风的一个分

2000-10-30 收到, 2001-01-10 收到修改稿

^{*} 国家自然科学基金资助项目 49735180

支^[2], 它可以向北延伸甚至达 45°N 的地区, 然而由于这支季风本身的复杂, 且在西太平洋上缺乏资料, 因而至今尚不能为世界上, 尤其是西方国家的学者所充分认识。甚至某些气象学者认为, 东亚季风只是印度季风的一个简单延伸。事实上, 中国学者对于季风的研究有着悠久的历史, 竺可桢早在 1934 年即已指出^[3], 长江流域夏季风的降水 (即指梅雨) 及日本的降水 (即指 Baiu), 是由西南气流 (热带气团), 东南气流 (热带一副热气团) 和西北与东北气流 (冷气团) 共同作用的结果。李宪之^[4]指出, 强烈的冬季风, 可以从东亚大陆一直推进到菲律宾以南的区域, 甚至越过赤道进入南半球, 这表明至少在西太平洋上的某些地区, 存在着南北半球气团进行交换的通道。因而, 将亚澳季风区放在一起进行研究, 是很有意义的。

对于东亚的梅雨 (尤其是长江流域的暴雨) 过去已有过一些研究^[2~14]。大体可归纳为 6 月中旬至 7 月上旬在长江流域维持着一条雨带, 它们与风场上的切变线 (即正涡度带) 及其上的扰动有关。但是, 应该指出, 1998 年夏季 (6~8 月), 长江流域出现的 1954 年以来全流域性的特大暴雨和洪水, 有一些与过去不太相同的特点。整个梅雨期大体可分为两阶段, 其中 6 月 12 日至 7 月初为第一阶段梅雨, 在这一阶段中雨带主要集中于湖南、江西和浙江一带, 降水强度较大, 但尚属正常范围之内; 7 月 3 日前后副高提前北跳, 维持至 19 日为过渡阶段; 而后, 20 日至 30 日随着副热带高压的南撤, 雨带退到了长江流域, 从而引发了长江流域第二阶段的梅雨, 通称为“二度梅” (图 1)。这次二度梅开始的强降水预报是不太成功的, 因为预报的难度太大。首先, 它带有很大的局地性, 主要由中尺度系统所引起, 空间尺度大约为 $30\text{ km} \times 50\text{ km}$, 生命史约几个小时。这些降水不但强度大, 而且带有很强的突发性 (图 2)。它的大尺度背景为位于高原东侧的西南低涡及其东侧向东伸展的一条切变线。这样的一些特点不但是澳大利亚降水系统所没有的, 而且对于东亚地区的降水系统来讲, 也有很大的不同。此外,

由于长江流域地处高原东侧, 高原上常有高空短波槽东移, 叠加在低层的扰动之上, 使得垂直运动加强, 积云对流系统发展。经过最近的研究, 特别是使用了我国 1998 年开展的四大气象试验的资料, 揭示出低层风场中的扰动, 对对流云区的发展可能有触发的作用。同时, 通过对收集到的多种资料同化处理后, 采用数值模式可复制出中尺度系统的生消过程。在这些工作的基础上, 贝耐芳等^[15]提出了“98·7”突发性暴雨中尺度系统的物理模型。由此可以认为, 只要今后

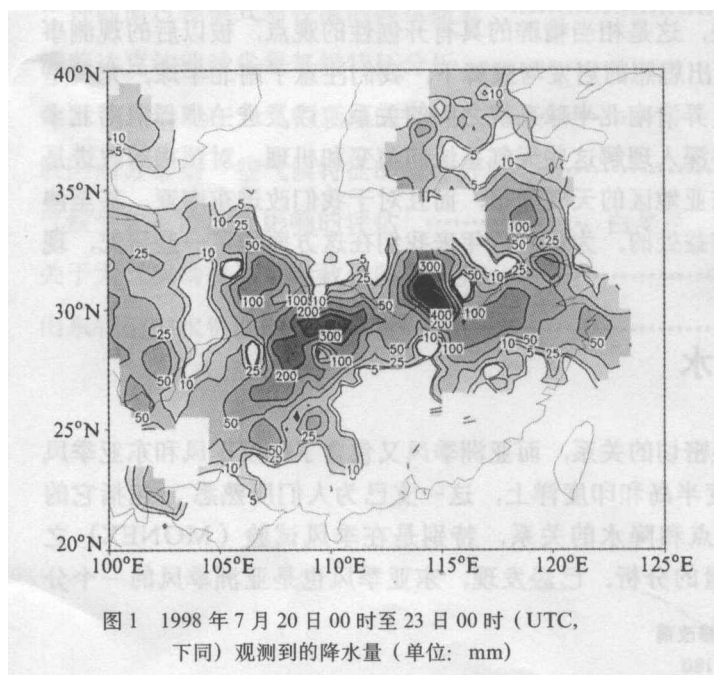


图 1 1998 年 7 月 20 日 00 时至 23 日 00 时 (UTC, 下同) 观测到的降水量 (单位: mm)

有足够的资料, 较好的初值同化系统, 且数值模式有较高精度, 有可能改善对于突发性暴雨和中尺度暴雨的预报。

3 梅雨锋上中尺度低压的发生发展

在夏季风时期, 尤其是梅雨季节, 并非到处、随时都有暴雨发生。分析发现, 暴雨预报的关键问题, 就在于暴雨可能在何时、何地以何种强度发生, 这是当前研究工作的一个“瓶颈”问

题。换言之, 从中尺度动力学的观点来看, 在梅雨锋上何时何地中尺度扰动(或低压)会得以发生发展, 这是一个很困难的问题。因为中尺度低压尺度小, 而梅雨锋也不同于挪威学派典型的冷锋, 它具有某些较低纬度天气系统的特点, 因而已有的一些欧美方面关于低压(气旋)的模型不能完全应用。赵思雄^[13]已注意到在梅雨锋上存在着两类中尺度低压扰动, 一类是时间和空间尺度比较小的中尺度低压, 其水平尺度大约 500~1 000 km, 生命史大约一天, 它们与梅雨锋上暴雨中心常有密切关系。周晓平等^[10]采用数值模式对这类低压系统进行过较为成功的模拟, 施曙等^[16]对这类中尺度低压的结构与流场进行了研究, 而 1998 年“二度梅”前期, 即 7 月 21 日~24 日长江中游的突然强降水, 正是由这类尺度系统所引发^[17]。对于另一类气旋, 它们开始发生时, 在梅雨锋上仅为一小的扰动, 而在有利环境下, 扰动增幅, 发展为一低压(气旋), 尺度可达 1 000 km 以上, 生命史可达数日。这后一类低压的发生常在较大范围内引发暴雨。然而, 对这后一类气旋发生发展过程的研究似乎还不太多。那么, 这类夏季风期间, 在梅雨锋上发生发展而生成天气尺度气旋系统, 与经典的温带气旋到底有多少异同? 已经有人注意到, 它们与一定的斜压性存在有关, 当然, 这种斜压性较之冬春两季而言, 要稍弱些。

4 长麻与韩国大暴雨

在夏季风期间, 除了在中国发生梅雨外, 还在日本造成降水, 称为“白雨”(Baiu), 而在差不多相同的时间内, 还对韩国的天气系统产生影响, 称为“长麻”(Changma)。这当然与 Changma 上的扰动有关, 而且, 其中可能有一部分是从中国大陆向东和东北方向移来的系统。而这一类系统影响的范围较大, 时间也较长。有意思的是, 这类系统有时可追踪至中国大陆上的一个弱初始扰动。可以明显地看到(图略), 1998 年 7 月 28 日 00 时, 副热带高压减弱南退, 29 日 12 时在东西向的锋面上出现波

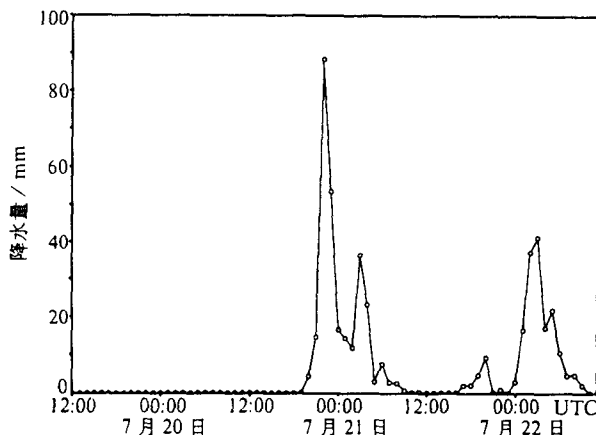


图2 1998年7月19日12时至22日
12时武汉的1h降水量演变

动, 形成初生的气旋波。30 日气旋波到达 (35°N , 120°E) 附近, 中心气压加深, 达 998 hPa, 31 日 00 时气旋进一步发展, 中心达 996 hPa。31 日 18 时气旋到达 (37°N , 124°E) 附近, 中心值变为 994 hPa, 韩国正好处于此气旋的东南象限内 (图 3)。这次气旋发展过程表明, 它发生于锋区的附近; Q 矢量的计算表明, 存在有非地转的锋区侧向环流; 能量转换计算表明, 有位能向动能的转换。以上说明冷暖空气在这一特定的时间和空间范围内均很活跃。前期 (即 7 月中旬) 季风偏弱仅停留于长江一带, 后期季风气流沿大陆东部沿海迅速向北推进, 输送大量暖湿空气至朝鲜半岛及其附近区域。同时, 还注意到, 从群山 (Kunsan)、济洲 (Cheju) 的雷达显示, 暴雨区中有明显的中尺度特征, 地形 (包含中尺度地形) 对降水区的分布有明显的影响; 数值试验的结果显示, 济州岛与半岛上南北走向的太白山脉对降水的影响均很明显。另外, 即使象韩国这样纬度较高的东北亚的国家, 高低空急流之间也存在着明显的相互作用, 这也是引发韩国暴雨的重要原因之一^[18]。通过暴雨模式所进行的模拟表明, 模拟是成功的。模式抓住了暴雨过程最主要的特点, 比较正确地描写了水汽的集中和供应能力, 即水汽通量辐合这一重要的物理量。

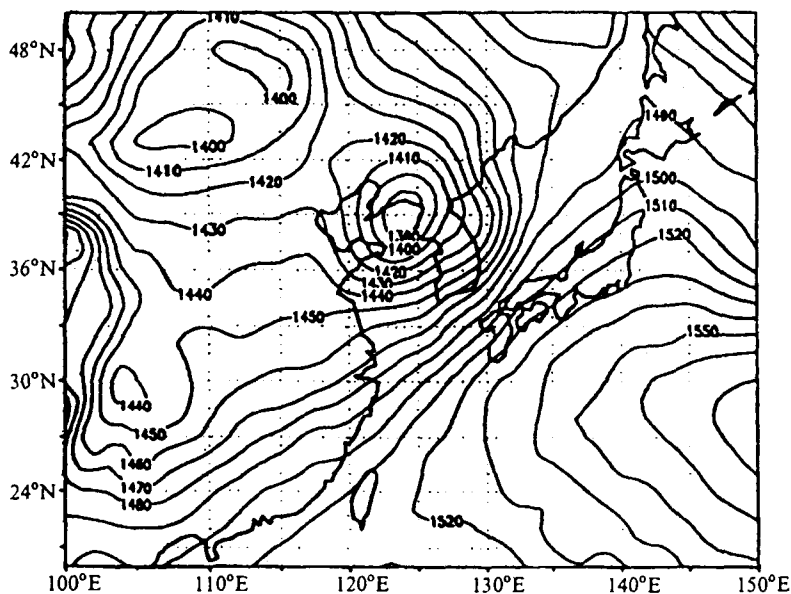


图3 1998年8月1日00时850 hPa高度场

5 东南亚降水——泰国脊与季风潮

对 1998 年东南亚的天气也进行了分析。在低纬地区, 四季的变化不明显, 而雨季和旱季却很清楚。西南季风的推进给这一地区带来了大量的降水。然而, 有时中南半岛为季风低压所控制, 在西太平洋和南海大体为赤道辐合带位置所在, 此时, 处于二者之间的泰国, 却常为一个脊区, 即通常称为泰国脊, 因而这一地区大多维持晴热天气。而当季风潮不断沿着西南气流推进时, 常会引发明显的降水。1998 年 8 月 8 日前后,

原受高压控制的东南亚地区, 随着一个低压扰动的向东传播, 以及大量云区的向东推进, 引发了较强的降水 (图 4)。由于相当一部分地区处于海洋上, 因而实际的降水区较难予准确地估计, 尽管如此, 采用数值模式模拟的结果也较好地复制出了这次过程中观测到的主要降水区的基本特征。

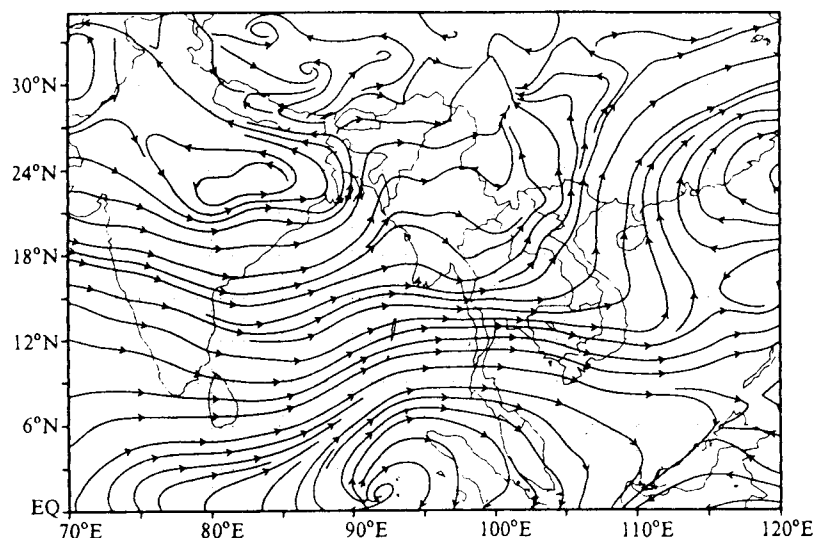


图 4 1998 年 8 月 8 日 00 时 850 hPa 的水平风场

6 南亚春季降水系统——高原附近冷空气的活动

在南亚地区, 除了熟知的夏季西南季风外, 有时冬季和春季西风带低压槽也可能引发较大的降水。由于南亚地区地处青藏高原的西侧和南侧, 地形的影响必须要认真考虑。此外, 在这一地区, 包括高原、阿拉伯海及印度洋上资料稀少, 给天气预报, 尤其是数值天气预报带来很大的困难。为了探讨青藏高原地形对温带天气系统的影响, 选取了 1998 年 4 月下旬由东移西风槽引起的明显降水过程。用 4 月 24 日 00 时为初值得到的 24 h 降水量预报可以清楚地看到 (图略), 在高原西侧中亚到南亚有大片降水区存在, 一个中心位于中亚塔什干以北约 200 km, 另一个中心位于阿富汗东部。图 5 给出了以 4 月 25 日 00 时为初值所作的 24 h 的降水量, 主要的特点是随着降水系统的东移, 主要的雨区向东移入巴基斯坦北部, 最大降水中心已达 30 mm 至 40 mm, 这在当地这一季节属较大的降水过程。尤其值得注意的是, 这次降水过程的中心在巴基斯坦首都伊斯兰堡, 降水量 39 mm; 在距首都约 60 km 的梅里 (Muree) 山区, 降水高达 84 mm。当然, 这可能是由于局地地形的影响, 属于比较特殊的情况。4 月 26 日 00 时为初值的预报结果, 可以看到 (图略), 随着西风槽系统的东移, 主要雨区移入印度, 中心最大值区在印巴边境附近。这连续三日的降水预报反映了降水的全过程。此后, 天气转晴, 29 日在巴基斯坦北部和阿富汗东部又出现了一次降雨过程, 模式对此也作了比较成功的预报。从可能收集到的有关 4 月 25 日~26 日降水的实况分布, 看到预报的降

水与实际观测的结果较为相近(图略)。这表明模式在地形处理方面是较好的,抓住了主要的特点。而由 NCEP 提供的格点资料在资料稀少地区是有用的。对于这次过程较成功的描述不是偶然的,实际过程的诊断表明,这是一次冷锋低槽东移、冷空气南下的结果。当然,如果能有更多的资料,或许能获得更好的预报结果^[19]。

7 澳大利亚季风低压与降水

以上介绍了亚洲季风区的一些情况,而在澳大利亚我们看不到亚洲(尤其是东亚)所特有的梅雨现象。这也许是在南半球的高空环流形式不易出现象北半球那种稳定的乌拉尔山阻塞高压型,既使出现也不易稳定和持续。同时,夏季南半球较高纬度的冷空气也不易频繁推进至澳大利亚地区,此外,也未见到季风系统向中高纬稳定持续地输送水汽。因此,在南半球没有北半球“梅雨”季节那种稳定少变呈带状的雨区。在澳大利亚除了由锋生及锋面引起的降水外,不少降水过程与气旋有关,季风低压便是其中的一类。1989 年 3 月发生的过程更是其中比较典型的情况。

在 1989 年 3 月 12 日至 15 日间,一个季风低压先在澳大利亚西北方的海岸区域发展,然后登陆沿高空槽引导气流方向向东南移动,穿过澳大利亚的大陆,沿途引发了暴雨及洪水。由于此低压发生于季风槽中,人们称它为季风低压。这类低压在形成阶段其对流层中上层具有暖心结构,且其地面的风力也较强,常超过 20 m s^{-1} 。对于大尺度形势而言,人们注意到在低压增强之前,高空冷暖平流在澳大利亚上空持续增强,有一条带状的斜压在这一区域上空存在,该斜压区从西北向东南伸展,几乎穿过整个澳大利亚大陆,从而对流层上层的槽脊系统相对稳定少动。因而,中低纬度系统之间出现了相互的作用(图 6)。首先,季风低压形成后,沿西澳高气压区的边缘向南移动。同斜压区有关的高空急流在西澳上空加强,其入口区直接垂直环流使得西澳地区低层为减压区,而该区正好位于季风低压的东南方,季风低压环流使向南的暖湿气流不断增强,并进入

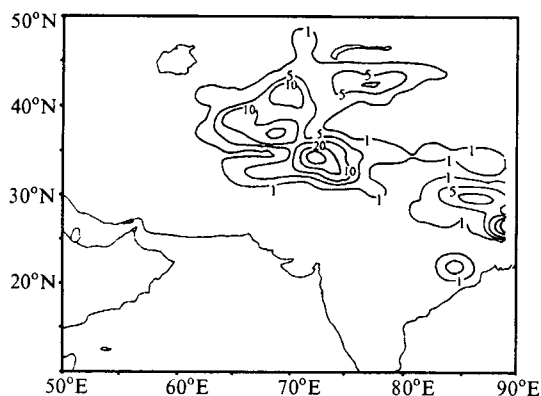


图 5 1998 年 4 月 25 日 00 时为初值的
南亚 24 h 降水量预报(单位: mm)

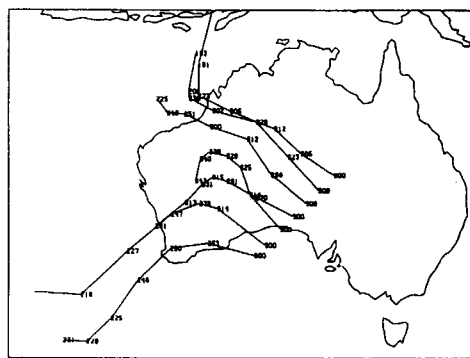


图 6 1989 年 3 月 13 日 00 时为初始时刻
倒算的 300 hPa 上 6 h 间隔的气块轨迹^[20]
图中数字代表气压(高度)值(单位: hPa)

急流入口区的上升支, 因而, 在这一地区引发了暴雨。由降水引起的凝结潜热释放, 可能对斜压低压的发展有贡献。但应该强调指出的是, 虽然, 澳大利亚大陆上观测资料的密度不够, 但是, 采用时间加密的 6 h 间隔的地面资料, 卫星高空探测资料 (TOVS 资料), 仍可确认这种新生中尺度低压的存在。因而, 可以认为季风低压登陆后为中纬度斜压区“捕获”, 对流系统重新开始活跃。但应强调, 这时系统的活跃, 并非是原热带系统变成了温带系统, 不属于“转换型”, 而是属于新的中尺度系统在原有的低压环流区内形成, 并不断加强, 即“新生型”^[20]。

利用初始资料同化系统, 对卫星等非常规资料进行加工处理后, 可以发现, 数值模式可以比较成功地复制出这次季风低压引发的强降水系统的演变过程^[21]。

8 澳大利亚地区的切断低压

切断低压与季风低压不同, 它主要不是与低纬度地区的暖湿空气活动有关, 可能更多的是与冷空气的活动有关。澳大利亚气象学者常称它们为“Cut-off-low”。这类低压常出现于澳大利亚的东岸, 有时见于南澳。切断低压是影响南澳最重要的天气系统。我们也注意到一些冷季的切断低压有时可快速发展而达到“气象炸弹”的程度^[22,23]。这类系统有时被称为“东岸气旋”, 且几乎总是形成于塔斯曼海上空, 本文未涉及此类系统。我们所讨论的切断低压主要形成于南澳, 大多数在形成后向东或东南移动。其中一部分气旋移动较快, 另一些移动较慢, 有时可在某一地区停留两天或更长的时间。有时有强烈的天气发生, 而有时则带来中雨到暴雨的降水, 给广大的农业区带来利益。

1997 年春季连续两个月的时间内, 一直不断有切断低压在澳大利亚发生发展。从其中选择了较为典型者即 8 月 31 日至 9 月 2 日的过程进行研究。首先注意到这一地区的大气环流系统有明显的增幅, 这是由于在对流层中上层有强的冷暖平流。尤其是高空槽脊的增幅很明显, 在冷暖空气相互作用期间, 水平的位温梯度显著增大。在南澳地区上空, 在槽脊之间出现了明显的斜压区, 同时也出现了降水区。200 hPa 上高空急流明显加强, 在西澳上空出现了 70 m s^{-1} 的最大风速中心, 切断低压正好出现在高空急流最大风速区的右前方。在低层 850 hPa 上, 一支低空急流从科拉 (Coral) 海伸向较高纬度区, 水汽场上的湿舌也沿这一方向, 伸向同一地区, 湿层较为深厚, 低空急流风速大于 15 m s^{-1} 。可以清楚地看到低层有一条水汽通道存在, 水汽来源于热带洋面 (科拉海)。在地面图上, 一条弱冷锋从低压中心向北伸展。其主要雨区集中在暖区中, 而不是在锋区附近或者冷锋后面 (图 7)^[24]。

9 结语

亚澳地区同属世界最大的季风区, 彼此之间存在着明显的相互作用。在亚洲与澳大利亚降水系统之间有许多共同的特点, 又有着重要的差别。亚洲 (尤其是在东亚) 的降水多由静止锋、梅雨锋和低涡系统降水所引发, 而澳大利亚降水主要由移动性的系统, 特别是低纬系统所产生, 如季风低压、热带低压, 有时温带系统, 如切断低压亦有明显影响。亚澳地区水汽的来源均以热带洋面为主, 特别是北半球有大量的水汽来源于孟加

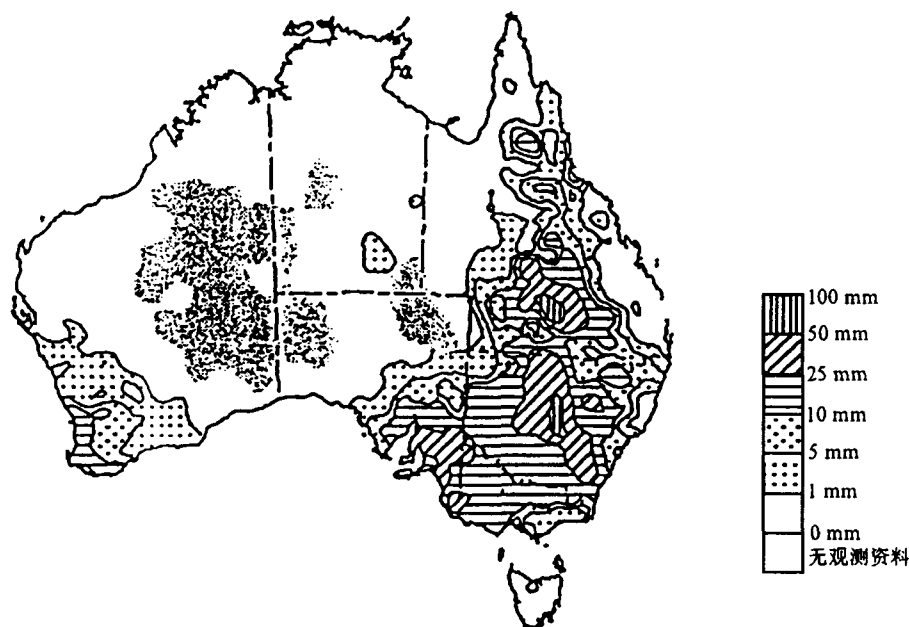


图7 1997年9月1日00时~2日00时澳大利亚24 h降水量^[24]

拉湾、中国南海和西太平洋,且辐合带强度大,维持的区域也较为稳定,因而亚洲持续性的强降水比澳大利亚的机会要多,且造成的灾害也较强。但澳大利亚的强烈天气,尤其是发展迅速的天气系统造成的灾害也不可低估。为什么南北半球的系统有如此大的差异,本文集中对大尺度环境场及影响系统作了讨论,但是对南北半球的对流系统,尤其是 β 中尺度系统本身的发生发展机理及结构方面的讨论与对比,尚不够多,有待今后继续深入。此外,热带扰动及登陆台风与中纬度冷空气相互作用是另一个非常重要的问题,我国学者已有一些工作^[25,26],今后应继续开展更多的研究。限于篇幅本文暂未涉及这方面的研究内容。

参 考 文 献

- 1 Li, S. Z., Untersuchungen ueber Taifune, 1936, Veroeffentlichungen des Meterologischen, Instituts der Universitaet Berlin, Bd 1, Ht5.
- 2 Tao Shiyan, and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 1988, 60~92.
- 3 竺可桢, 东南季风与中国之雨量, 地理学报 (创刊号), 1935, 1~27.
- 4 Li, S. Z., Die Kaelteenbrüche in Ostasien, *Met. Zeit.*, 1936, 53, 74~76.
- 5 谢义炳, 中国夏半年几种降水天气系统的分析研究, 气象学报, 1956, 27(1), 1~23.
- 6 陶诗言, 中国的梅雨, 中央气象局论文集, 1957.
- 7 陶诗言, 中国之暴雨, 北京: 科学出版社, 1980, 1~225.
- 8 Zeng Qingcun, Zhang Banglin, Liang Youlin, and Zhao Sixiong, East Asian summer monsoon — A case study, *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.*, 1994, 60(A), 81~96.
- 9 谢安, 肖文俊, 陈受钧, 梅雨期间次天气尺度扰动的能量平衡, 气象学报, 1980, 38(4), 351~359.
- 10 周晓平, 赵思雄, 梅雨锋上中尺度低压发生的数值试验, 大气科学, 1984, 8(4), 353~361.
- 11 Kato, K., On the abrupt change in the structure of the baiu front over the China continent in the late of May

- 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1985, **63**, 20~36.
- 12 Ninomiya, K., and H. Muraki, Large scale circulation over East Asia during baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1986, **64**, 409~429.
- 13 Zhao Sixiong, Energetics of cyclogenesis on Meiyu (Baiu) front, Proceedings of Palmen Memorial Symposium on Extratropical Cyclones, Helsinki, Finland, 1988, 205~209.
- 14 丁一汇, 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究, 北京: 气象出版社, 1993, 1~255.
- 15 贝耐芳, “98·7”突发强暴雨中尺度系统的诊断与模拟研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2000, 1~274.
- 16 施曙、赵思雄, 梅雨锋上与强暴雨有关的中低压及其三维环境流场的诊断研究, 大气科学, 1994, **18**(4), 476~484.
- 17 赵思雄、孙建华、陈红、张凤, 1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究, 气候与环境研究, 1998, **3**(4), 368~381.
- 18 Zhao Sixiong, and Zhang Feng, Diagnosis and simulation of heavy rain in Korean Peninsula during July 1998, Proceedings of International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rain in East Asia, Seoul, Korea, 2000, 183~188.
- 19 Zhao Sixiong, Results of Eta NWP model in China and Pakistan in 1998, Proceedings of International Workshop on Numerical Weather Prediction, ICCES, IAP/CAS, Beijing, China, 1998, 21~31.
- 20 Zhao Sixiong, and G. A. Mills, A study of a monsoon depression bringing record rainfall over Australia. Part II: Synoptic-diagnostic description, *Mon. Wea. Rev.*, 1991, **119**(9), 2074~2094.
- 21 Mills G., and Zhao Sixiong, A study of a monsoon depression bringing record rainfall over Australia. Part I: Numerical predictability experiments, *Mon. Wea. Rev.*, 1991, **119**(9), 2053~2073.
- 22 Holland, G. J., A. H. Lynch, and L. M. Leslie, Australian east-coast cyclones. Part I: Synoptic overview and case study, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**, 3024~3036.
- 23 Leslie, L. M., G. J. Holland, and A. H. Lynch, Australian east-coast cyclones. Part II: Numerical modeling study, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**, 3037~3053.
- 24 Qi, L., L. M. Leslie, and Zhao Sixiong, Cut-off low pressure systems over southern Australia: climatology and case study, *International Journal of Climatology*, 1999, **19**, 1633~1649.
- 25 仇永炎, 夏季西太平洋及东亚热带波动的运行及结构, 气象学报, 1952, **23**(1~2), 85~98.
- 26 孙建华、赵思雄, 登陆台风引发的暴雨过程之诊断研究, 大气科学, 2000, **24**(2), 223~237.

A Study of Heavy Rainfall Systems in Mid-Lower Latitude Zone of Asian-Australian Monsoon Area

Zhao Sixiong, Bei Naifang, Sun Jianhua, Chen Hong, and Zhang Feng

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Qi Lixin

(The University of New South Wales, Sydney 2052, Australia)

Abstract Study of heavy rainfalls as the important disastrous weather systems in Asian-Australian area has been conducted. The characteristics of monsoon circulation and main weather systems in the region have been analyzed. And, the similarities and differences of these systems between the Northern and Southern Hemispheres have been discussed. The results are very useful for better understanding of the contribution of monsoon and mechanism of heavy rainfall. Therefore, it would be very helpful for the improvement of heavy rainfall prediction.

Key words: monsoon area; heavy rainfall; weather system