

青藏高原—季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系*

徐祥德

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

陶诗言

(中国科学院大气物理研究所, 100080)

王继志

(国家气象中心, 北京, 100081)

陈联寿 周 丽 王秀荣

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

文中分析了南亚季风水汽输送关键区“大三角扇型”区域特征, 即该区域以高原地区为顶端, 南海季风与印度季风涉及的低纬活动源区为“底边”构成了类似“大三角扇型”的南亚季风水循环相关影响域, 此“大三角扇型”水汽输送特征分布描述了副热带高压环流以及中纬度扰动等亚洲季风系统成员的总体动力影响效应; 反映了该区域南半球跨赤道气流, 赤道西太平洋季风槽及季风活动等水份循环特征。表现了东亚海陆热力强迫、青藏高原非绝热效应、海洋“暖池”及异常孟加拉湾对流活动等诸因素的综合影响。研究表明, 大三角区域热源强信号源(高原地-气与孟加拉湾、菲律宾、南海等海-气过程)区域的水份循环时空演变、遥相关特征及其对亚洲季风爆发的综合影响等均是认识中国及东亚旱、涝异常成因的重要科学问题。

关键词: 青藏高原, 高原—季风, 水汽输送, “大三角扇型”影响域, 旱涝异常。

1 引 言

青藏高原作为全球最大与最高的高原大地形, 而且其南侧有来自相邻的印度洋、南海等地区的异常显著的暖湿气流及其水汽输送, 并在高原南侧构成水汽异常辐合特征, 且高原中东部强对流活跃区亦构成了东亚季风活跃区内高原及周边地区特殊的水循环过程, 因此它是东亚陆-气相互作用的最敏感区之一, 青藏高原水循环及其强对流活动与亚洲季风系统相互作用对东亚地区旱涝异常, 尤其高原与周边广阔地区的水份循环及其生态气候分布特征存在显著影响。

很多科学家都关注着高原水循环及其云物理过程对周边天气和气候的影响, 并试图揭开其中高原及周边水循环系统的奥秘。1991 年和 1998 年长江流域出现了持续性大暴雨洪水, 卫星遥感资料的分析研究表明, 造成如此严重暴雨的某些超级强对流云团涡旋系统, 其胚胎云系可以追溯到其上游高原中部地区对流云源地。

在南海季风试验 (SCSMEX) 研究中, 丁一汇、李

崇银^[1]提出, 南海季风的的活动情况主要受印度季风制约, 其加强和北推是由印度季风的东伸扩展引起。南海季风的爆发受中纬度天气系统和热带环流共同作用形成。

研究表明^[2], 中纬度大型扰动, 即阻塞或切割形势的建立与维持往往会致中纬度西风带环流的分支, 使副热带高压系统位置出现异常的南北移动。研究还指出, 1998 年 6、7 月期间中纬度大型扰动的影响表现为 500 hPa 的鄂霍次克海与乌拉尔山的高度场形成双阻塞形势, 对 1998 年长江流域特大暴雨过程形成洪涝是有作用的^[2]。

Tao 和 Chen(1985)^[3, 4]指出, 由于青藏高原位于印度季风区北部和东亚季风区的西部, 从东亚季风区到澳大利亚的经向环流与印度季风的经向环流不同。东亚地区青藏高原与西太平洋“暖池”、东印度洋、南海海-气过程异常等强信号区的陆-海-气过程中的热力强迫也是影响夏季风环流的重要因子。青藏高原对于中国和东亚的天气与气候有着严重影响, 甚至对全球的气候也有较大影响。从 20 世纪 50

* 初稿时间: 2001 年 3 月 5 日, 修改稿时间: 2001 年 8 月 3 日。
资助课题: 国家科技部“东亚季风科学试验”预研究(2001CCB00400) 以及国家攀登-B 类青藏高原试验项目(940211005)

年代开始,随着高原上观测台站的增多,中国学者就进行了青藏高原对东亚大气环流和气候影响的研究^[4~6]。国内外学者对东亚季风研究,还考虑了印度洋、阿拉伯海并追踪至索马里低空急流区域^[7,8]。近年来的研究指出,东亚大气环流,包括季风环流的演变中,高原作用十分重要^[9]。高原的非绝热加热对于季风环流和行星尺度环流的维持起了重要作用^[10,11];高原加热异常的数值模拟表明高原上空异常加热将导致南亚高压加强和亚洲大陆低压的加深^[12,13]。中国学者还研究了太平洋“暖池”的热力状态,讨论了“暖池”上空对流活动对东亚夏季风的年际和季内变化的作用。黄荣辉等^[14~16]从观测事实分析和数值模拟两方面研究了热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动(特别是菲律宾周围的对流活动)在东亚夏季风环流和降水年际变化中的重要作用。王继志等^[17]研究还指出 110°E 越赤气流做为东亚季风气流的重要成员在东亚夏季风活动和中国降水中有重要作用。

徐祥德等^[18]研究还表明,青藏高原、印度洋、孟加拉湾和南海是影响中国干旱、洪涝异常气候的季风水汽输送,其综合相关特征揭示了高原与南亚季风等多因素具有显著相互作用。高原地区构成了长江流域季风水汽输送源地或“转运站”,长江流域的旱、涝年,高原与季风区水汽分布特征也出现了异常。图1(见封3)给出的是1958~1995年的多年平均水汽通量矢量场,由图1可见,东起菲律宾以东洋面,经过南中国海,西至东非索马里、阿拉伯海、印度洋,并从孟加拉湾经青藏高原东部转向中国长江流域和日本列岛(阴影区域)是影响中国区域及其下游相关区域洪涝偏南水汽输送关键区,是亚洲季风与高原相互作用的主要影响区。由图1揭示出,亚洲季风爆发相关的水汽通道、高原及其周边水汽源、东亚季风水汽源中低纬海洋潜热源的作用都突出表现在这一区域,即高原与中低纬季风系统成员活动及其能量、水份循环的关键区,可表示在图1阴影的“大三角扇型”,该区域水汽输送特征亦描述了高原与低纬海洋热源、水汽源的遥相关特征。

图2(彩图2)给出了在1998年构成长江流域洪峰的6月下旬特大暴雨过程卫星遥感TBB云顶温度的7d(每日8次观测记录)合成平均场。由图2可见,TBB云顶温度在低于265K以下的区域与图1中给出的“大三角扇型”区域一致。上述卫星遥感TBB 7d共计56张图的合成平均图表明,对1998年

特大暴雨过程强对流云系源地轨迹与“大三角”范围内的水汽输送特征密切相关,即暴雨时段平均云顶高度温度达265K以下的区域分布特征揭示了该“大三角扇型”水汽输送域,这关键区对长江流域暴雨过程的形成具有指示意义。

高原加热问题一直是个研究的焦点问题,1998年的高原科学试验(TIPEX)试验研究在高原加热问题研究中提出了许多新的观点。有关高原加热影响等问题亦启发我们进一步探讨高原异常地气过程的大气热源总体效应如何影响亚洲季风爆发时间?海陆差异因素如何形成季风爆发的“推动力”等问题。

吴国雄等^[19]进一步论证了夏季青藏高原对亚洲季风的动力作用,他们提出:由于高原上空的辐散源和负涡度源的共同作用,高原对周围大气起到“气泵”的动力作用,从而对亚洲季风的爆发与维持起着重要作用。

徐祥德等^[20]综合分析了1998年第二次高原大气科学试验现场观测研究的重要事实,提出了高原边界层地气过程综合物理图像,其中试验观测数据分析所得的深厚高原边界层及其Ekman螺旋线动力结构特征表明:高原地区存在深厚的Ekman“抽吸泵”的动力机制,且高原强湍流浮力、切变项相关的热对流泡以及深厚对流混合动力效应显著。上述科学试验研究结果进一步从观测事实上揭示出吴国雄等^[19]提出的高原“气泵”的动力结构,并启发我们思考此类特殊边界层结构是否可能形成高原独特的大气热源及其水循环特征?考虑到高原地区对流云源地的云系可发展、东移影响下游长江流域,是否可说明高原为季风“大三角扇型”水汽输送关键区的“端点”,青藏高原具有水汽“转移站”特征?这些都是需要研究的重要科学问题。

2 高原—季风水汽输送影响域特征与中国区域旱涝异常

2.1 中国区域旱涝异常的水汽输送相关区动态变化

上述气候平均水汽流“大三角扇型”特征表明,夏季青藏高原地区是中国东部地区夏季长江流域梅雨带西边界重要水汽源或“转运站”,其中高原地形动力效应与南边界季风水汽流的相互影响作用则构成了自高原指向东长江流域强水汽流输送。来自南边界和西边界的水汽输送带构成了夏季长江流域上空“水汽流”的主体。此特征现象在1998年夏季长

江流域梅雨带暴雨形成中起重要作用。因此, 探讨季风“大三角扇型”水汽输送活跃区与中国区域夏季降水相关可能是认识中国区域旱涝的关键环节之一。文中采用 NCEP/NCAR 再分析资料, 计算了春、夏季偏南水汽输送 (qv) 与中国区域夏季降水的相关系数场。图 3 给出的是对 500 hPa qv 场与中国区域 160 个代表站降水量的相关场。对比图 3a, b 可发现, 春至夏季东亚偏南水汽输送与中国区域降水高相关区呈南北向带状特征, 且高相关带随季节变化存在东移趋势, 即水汽输送高相关带由南北轴向变为东北—西南轴向的“转向”特征。此现象表明, 从春季至夏季, 水汽输送高相关区特征随季风发展、演

变动力过程亦相应的变化。图 3 表明春季在孟加拉湾至高原存在南北向高相关带, 而夏季则在南海地区呈南北向水汽输送高相关带, 这表明春季南来水汽输送关键区在高原腹地及印度洋面, 而夏季则移至南海地区。中国区域水汽输送通量高相关区从春至夏季的“东移”特征构成了“大三角扇型”水汽输送相关特征的时空变化。这进一步揭示了在初夏季节高原与季风相互影响及其水汽流对中国区域降水分布亦起了重要的作用。上述夏季水汽输送高相关区“东移”趋势一定程度地反映了高原季风的“北进”相互作用季节变化的动力影响。

为了认识中国区域旱涝异常分布, 需要进一步

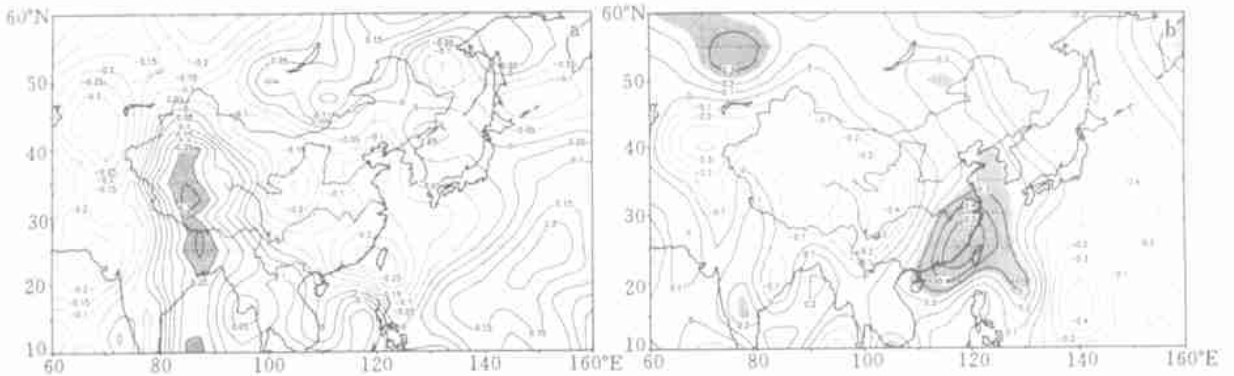


图 3 500 hPa 东亚春季、夏季南风分量水汽通量 qv 与夏季中国区域降水相关系数场(1958~1995 年)
(a. 春季, b. 夏季; 阴影区为相关系数 1%~10% 信度的区域)

了解高原与“大三角扇型”区域水循环特征相关问题。分析表明, 夏季高原地区降水与春季水汽通量高相关区(水汽源)分别位于印度洋孟加拉湾与南海、菲律宾地区, 这表明夏季来自高原的异常“水汽流”亦与春季印度洋孟加拉湾与南海、菲律宾等地区潜热源水汽输送相关; 也进一步证实了高原能量、水

份循环与南海季风、印度季风有关。
2.2 高原一季风水汽输送影响域与夏季长江流域降水相关性

图 4 是 500 hPa 偏南水汽通量与长江流域选站(共 24 个选站)的降水量的相关系数场。对比图 4a, b 表明, 与全国降水相关性特征类似, 夏季长江流域

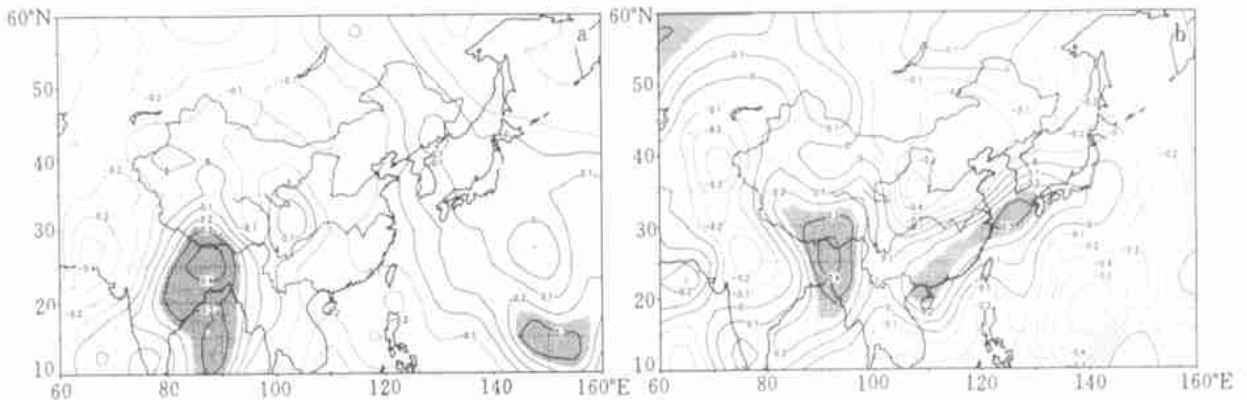


图 4 500 hPa 东亚春季、夏季偏南分量水汽输送通量与夏季长江流域降水相关系数场(1958~1995 年)
(a. 春季, b. 夏季; 阴影区为相关系数 1%~10% 信度的区域)

降水与春季偏南水汽通量的高相关区仍位于印度洋、孟加拉湾及高原南侧及南海地区。春季至夏季偏南水汽通量高相关区亦由孟加拉湾移至高原西南部地区,且南海高相关区北进与东扩至中国大陆南部区域。上述偏南水汽通量正相关区北移特征揭示出季风爆发与演变动力过程,春季至夏季长江流域梅雨水汽源显著变化趋势进一步说明长江流域梅雨降水与高原、印度季风、南海季风水份循环中平流输送存在显著相关关系。

2.3 水汽输送与中国西部地区降水的动态相关特征

分析 500 hPa qv 场与西北地区选站降水量的相关(图略)发现,中国西部降水与偏南水汽输送的高相关区变化也存在春季至夏季随季风演变及其北进的显著特征,即春季水汽输送由印度洋、南海区域转变为夏季沿高原东侧南北向偏南水汽通道。

由上述分析结果可发现,中国西部地区降水具有与“大三角扇型”水汽输送时空变化相关,其中高原的地形动力效应亦呈明显影响作用。

3 长江流域旱涝年的“大三角扇型”区域水汽输送场异常特征

张庆云^[21]等指出,夏季东亚季风系统内的热带辐合带(热带季风槽)和副热带辐合带(东亚梅雨锋)的强度变化呈相反趋势;东亚热带季风的强度与印度季风的强度变化一致,与东亚梅雨锋相反,当东亚热带季风和印度季风偏弱时(弱季风),东亚梅雨锋偏强,反之东亚热带季风和印度季风偏强时(强季风),东亚梅雨锋偏弱。以上研究结果表明,季风及其其中低纬动力结构与东亚梅雨锋存在显著相关,这

说明长江流域梅雨带活动受到中低纬的动力结构及其水汽输送的显著影响与制约。根据文中研究分析,长江流域旱、涝年的“大三角扇型”区域水汽输送特征有显著差异。

3.1 旱年与涝年水汽输送偏差场特征

图 5a 与 5b 分别为夏季 500 hPa 长江流域典型旱(1959, 1961, 1966, 1967, 1978, 1985 年)、涝(1969, 1980, 1983, 1991, 1993 年)年水汽输送与气候平均偏差矢量场分布特征。对比图 5a 与图 5b 可以发现,长江流域区域旱年与涝年水汽流偏差场呈区域性反相关特征,即旱年长江流域区域为显著偏东风距平,涝年则为偏西风距平。

长江流域区域旱年水汽通量为辐散带,涝年长江流域水汽通量呈辐合带特征。旱年与涝年来自低纬的水气流呈互为反向环流特征,即来自低纬孟加拉湾—南海与西太平洋区域,且跨南北半球赤道“旋转”的水气流呈互为反向环流;以上水汽通量分析表明旱、涝年长江流域分别位于西伸副高的南侧与北侧不同流向位置。上述南北半球跨赤道旋转水气流特征亦与季风异常环流相关,长江流域旱年印度季风强,涝年印度季风弱,而南海季风与副热带高压西侧偏南水汽输送受到印度季风强弱不同程度的显著影响。

由图 5 还可以看到,夏季旱、涝水汽通量距平偏差场:中纬度水汽输送系统在旱、涝年具有相反的环流型特征。中高纬度扰动有 3 个显著水汽输送环流呈相反环流特征。这 3 个环流分别位于青藏高原、贝加尔湖和鄂霍次克海附近。涝年的水汽输送扰动环流在青藏高原上空是气旋性环流,贝加尔湖为反气旋性环流,鄂霍次克海延伸至中国华北地区为气

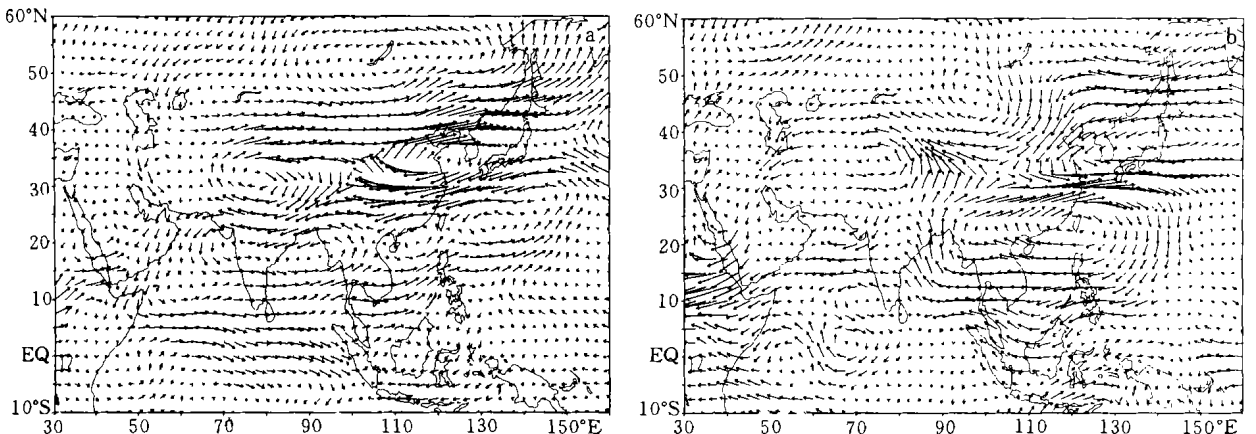


图 5 夏季典型旱、涝年与气候平均(1958~1995 年)水汽通量偏差场(500 hPa)

(a. 旱年, b. 涝年)

旋性环流; 旱年上述水汽输送场中高纬度扰动环流则与涝年相反。另外, 涝年 30°N 为“大三角扇型”水汽输送的北侧边界或高原转折点所在纬度。由于上述中纬度扰动的相反环流型构成了旱涝相反的水汽输送流型。

涝年长江流域有来自南北两方面中低纬度的强水汽辐合输送以及中高纬与低纬暖空气的汇合, 其辐合带正位于“大三角扇型”区北界地带; 在旱年, 中纬度大型扰动在水汽偏差场上位于长江流域以北为反气旋环流, 长江流域以南则为气旋环流, 导致长江流域处于水汽辐散带。

这表明, 在上述“大三角扇型”区的顶点, 中纬度大型扰动及其控制中国区域旱涝的水汽输送环流, “大三角扇型”区域来自印度洋、南海海域的两支水汽输送带时空变化及汇合特征及其相互作用是影响中国区域旱涝的重要因子。

3.2 夏季旱年与涝年水汽通量偏差场的两支越赤道“水汽流”特征

计算 6, 7 月份 700, 500 hPa 典型洪涝年与气候平均的水汽通量偏差场(图略)可见, 6 月份涝年水汽通量分布气候平均图上两支“水汽流”特征更为显著, 即来自南半球或低纬印度洋、孟加拉湾的偏南旋转气流在高原地区转向偏西气流, 来自南海的偏东南“水汽流”至中低纬 $20\sim 30^{\circ}\text{N}$ 与上述分支“水汽流”汇合构成强西南“水汽流”。它导致长江流域梅雨雨带的维持; 7 月份涝年水汽通量场较气候平均呈强偏西“水汽流”特征, 其水汽源主体亦来自低纬

印度洋、孟加拉湾偏南气流, 但“水汽流”已明显延伸到高原范围—并强偏西“水汽流”主体来自高原地区, 由此可见, 涝年 6, 7 月份长江流域雨带均存在来自高原及周边地区水汽“转运站”或“对流源”, 其水汽源主体来自低纬印度洋及南海, 其中 7 月份高原地区偏西“水汽流”特征更为显著。

3.3 夏季长江流域降水与高相关“水汽源”分布的综合相关

图 6 为长江流域(24 个选站)夏季降水与北半球 700 hPa 水汽分布相关系数场、长江流域涝年水汽通量距平矢量场的合成图。由图 6 可发现, 长江流域夏季降水的 700 hPa 水汽场高相关区(或称“水汽源”)与长江流域涝年水汽通量距平场的“水汽流”配置关系很好。计算分析表明, 对于长江流域夏季涝年, 春季自低纬印度洋、南海及菲律宾区域($90\sim 130^{\circ}\text{E}$)与索马里以东印度洋($50\sim 70^{\circ}\text{E}$)为两个主要“水汽源”(即水汽高相关区)。这两个水汽源可能与低频振荡过程积云对流超级云团水汽输送路径存在关键的联系。由图 6 还可清楚地看到菲律宾以南洋面、南海及青藏高原以东伸展到长江流域存在一支由显著偏南水汽输送带, 且强偏南“水汽流”在青藏高原东侧“大拐弯”转为偏东方向, 构成长江流域西南水汽“输送带”, 以上偏南转偏东水汽输送带与菲律宾以南、南海及高原东侧高相关“水汽源”(图中阴影区)相联通, 以上两者的综合相关特征揭示出中国区域涝年水汽源地及其中低纬度季风、副高环流等季风系统水汽输送通道特征。

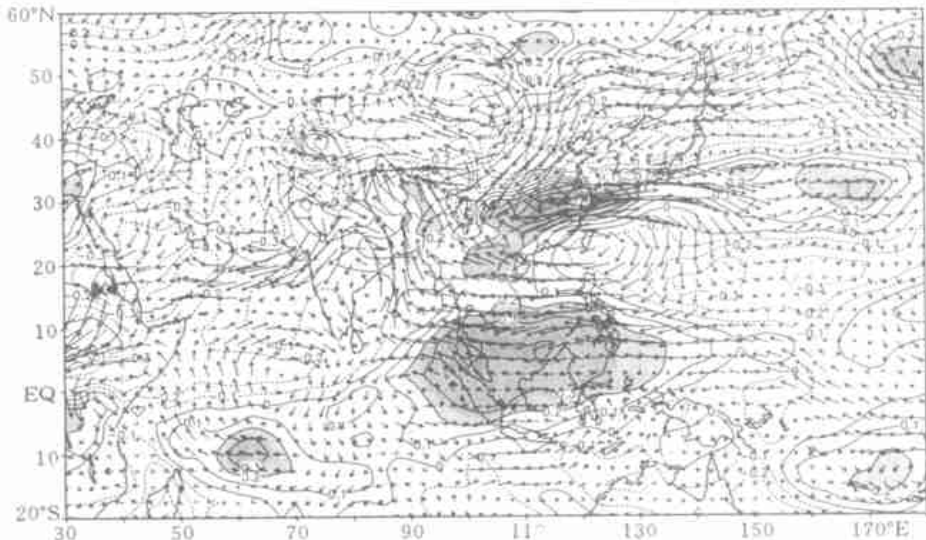


图 6 长江流域夏季降水的水汽分布相关场与长江流域涝年 700 hPa 水汽通量距平矢量合成场
(阴影区为相关系数 1%~10% 信度的区域)

3.4 1998年夏季长江特大洪涝水汽输送异常

图7进一步描述了1998年6月与7月特大暴雨期间月平均水汽通量与一般涝年平均水汽通量场的偏差,由图7(见封3)可见,与通常洪涝年相比,1998年6月份500 hPa水汽源有东、西两支。一支源自南海,另一支源自阿拉伯海。其中来自阿拉伯海的“水汽流”爬越高原后汇入偏西南气流;且与来自南海“水汽流”汇合构成偏西南“水汽流”。这在长江中下游异常特大暴雨雨带上空形成了一条云系移

动轨迹的通道。即强的偏西“水汽流”输送带。与通常洪涝年所不同的1998年7月份长江中下游暴雨形成过程中,即上述高原“转运站”输送的强偏西“水汽流”尤为显著。由此可见,1998年长江流域洪涝发生过程中,高原动力、热力作用与异常季风相互作用不同于一般洪涝年份,来自南方海洋的“水汽流”经高原转为强偏西的“水汽流”特征亦明显。上述“水汽流”特征可能是形成1998年长江流域异常洪涝及其东亚地区水份循环重要异常因素之一。

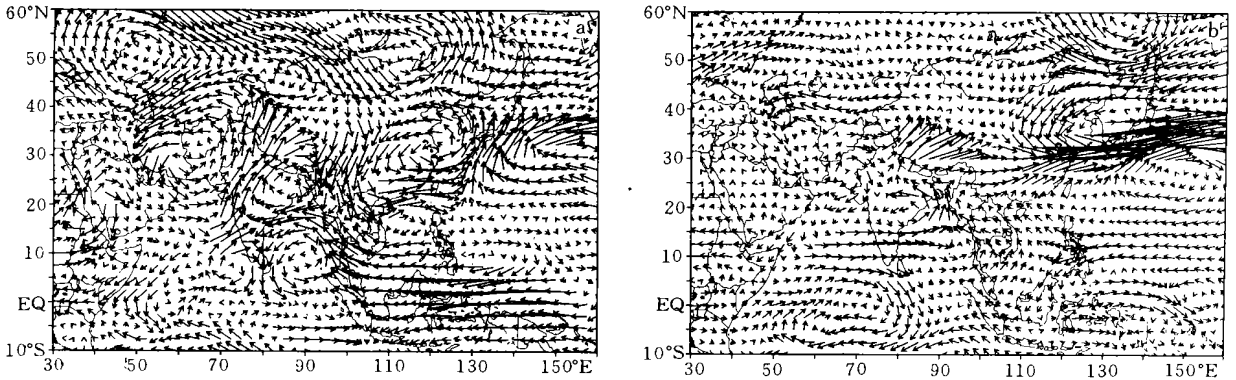


图7 1998年与气候平均长江流域涝年500 hPa多例平均水汽通量偏差场
(a.6月, b.7月)

4 高原区域水汽“转运站”及其对流云系东移对夏季长江流域暴雨异常过程的影响

观测和理论的综合研究指出,高原的云系活动及其有组织的东移发展与1998年长江暴雨洪水有密切关系。涝年6、7月份存在来自高原地区“转运站”的偏西“水汽流”及其高原对流云系东移路径,其水汽源主体来自低纬印度洋及孟加拉湾。尤其7月份高原地区偏西“水汽流”特征尤其显著。如上所述,长江流域夏季降水高相关“水汽源”区与涝年水汽通量距平矢量场的“水汽流”配置关系很好。

文中首次采用NCEP再分析水汽输送通量资料、TIPEX试验高原中部DOPPLER雷达回波图象、卫星水汽云图、卫星遥感TBB时间剖面、卫星云图动态演变等集成分析方法,综合跟踪了7月下旬武汉特大暴雨高原云系源地发生动态过程特征。另外,计算分析亦表明,对于长江流域夏季涝年,其春季自低纬印度洋(90°~130°E)水汽源(水汽高相关区)至孟加拉湾、南海存在显著的偏南水汽输送带,且强偏南“水汽流”在青藏高原东侧“大拐弯”转为偏

东方向,构成长江流域西南水汽“输送带”;其揭示出涝年水汽源地水汽输送机制与高原、中低纬度季风、副高环流等季风系统密切相关。文中选取1998年7月下旬长江洪水过程进行综合动态追踪分析。发现在高原腹地中部地区中尺度积云对流系统发展并东移出高原,与1998年长江流域暴雨过程直接联系。如图8(见封3)所示为1998年7月19日08时,高原上空对流云系发展成熟阶段。由图可见,高原上的对流云如爆米花状,称为高原“爆米花”云。连续动态分析可发现,高原“爆米花”中尺度对流系统发展有明显的“萌芽”、“发展和组织”阶段;中尺度积云对流系统的“发展与成熟”和“东移”阶段,其综合形成长江流域暴雨初期过程;即1998年7月19日18时高原中尺度积云对流云强烈发展为中尺度云团系统并开始东移,逐步形成对1998年长江流域暴雨洪水有强烈影响的云系,尤其其东移至武汉时强烈发展特大暴雨。图9(见封3)为1998年长江中下游洪涝暴雨集中时段(7月中、下旬),TBB云顶温度间隔3h资料所描述的云区逐日东—西向演变云轨迹时间剖面图。由图9可发现,1998年7月中、下旬长江流

域特大暴雨过程对应 TBB 低温值区(深阴影带)自西向东移动的轨迹,即对流云团主体轨迹表现出自高原向长江中下游特大暴雨区东移趋势,时间剖面图上为斜线带状轨迹特征,云团从高原自西向东移动中有显著发展,此过程恰为 7 月下旬长江异常洪涝第二次特大暴雨发生期;6 月中、下旬特大暴雨过程云系轨迹亦呈相似上述现象。此结论与上节中讨论的用 NCEP/NCAR 再分析资料计算 1998 年异常的大尺度水汽输送特征的结果相一致,即 1998 年 6、7 月影响长江流域的暴雨洪水的降水,其云系伴随“水汽流”主体来自高原。

文中对 1998 年第二次高原科学试验(TIPEX)现场观测资料进行了综合分析,从日本科学家在高原中部那曲安多站多普勒雷达站观测资料中亦可发现中尺度系统在高原中部的东移。为了“追踪”上述 1998 年 7 月 TBB 资料(7 月 11~31 日)分析来自高原东移云团系统,采用雷达资料诊断卫星云顶 TBB 资料所描述的云场时段更为精细中尺度特征。为此在图 9 中左箭头所指经度(高原中部那曲地区,观测时间为 7 月 19 日记录)地段和时段里,进一步分析多普勒雷达资料。图 10(见封 3)是 7 月 19 日 03~08 时雷达回波图象,该图描述出相应于图 9 云系轨迹的时段和地区,如图 9(见封 3)所示,水汽输送在高原中部不仅仅在大尺度宏观特征上呈水汽输送“转运站”,而且对应于暴雨过程初期 7 月 19 日 03~08 时, TIPEX 试验那曲现场雷达观测也发现中尺度云团在局地发生、发展与东移特征(图 10(见封 3))。

这表明,用大尺度资料分析与卫星遥感资料及中尺度雷达回波资料都在相应时段和地点,揭示了高原云系及相应的水汽“转运站”或局地对流形成综合过程。

1991 年和 1998 年长江流域出现持续性大暴雨洪水,卫星遥感资料分析都可以诊断出,造成长江中下游如此严重异常暴雨的超级强对流云团系统,其胚胎云团可追溯到上游高原水份循环过程中的对流云源地及水汽源区,由 1998 年 7 月 19 日 08 时卫星水汽云图(图略)分析可见,自高原到中国东部地区有一条显著水汽输送带,其中对流云系水汽团为东—西向排列。水汽图描述了自高原至中国东部区域水汽输送带的宏观特征,在大尺度水汽输送带中有无数的中尺度强的对流水汽输送系统在高原上空形成。上述资料分析表明,高原不仅是长江流域水汽输送“转运站”,而且是长江流域特大暴雨形成的强对流云团发生、发展的重要源地之一。

因此高原对流云活动特征与上下游暴雨系统间异常水份循环过程及其亚洲季风持续异常的影响对长江流域洪涝预测是十分重要的。数值模拟结果亦揭示出特大暴雨关键降水期 6 月中下旬与 7 月份供应长江流域雨带水汽源及其水汽通道的显著变化。7 月份强降水过程水汽源主体变为高原中部区域西边界与南边界水汽源的共同作用,而南边界水汽输入作用相对较弱(徐祥德、张雪金等^[22])。

图 11 为 1998 年与平均涝年 300 hPa 高层水汽通量偏差矢量场。由图 11 可发现,1998 年与平均

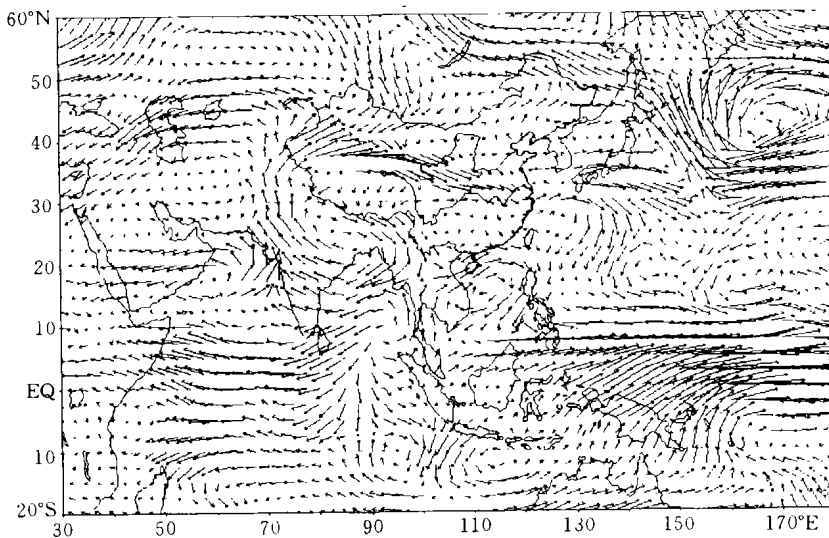


图 11 1998 年与平均涝年 300 hPa 水汽通量偏差矢量场

涝年高层水汽输送特征亦存在显著差异,高原地区300 hPa水汽通量偏差场呈反气旋环流,与其相配合的水汽输送及其相关联的云团系统可能围绕高原地区反气旋旋转,一支水汽流从反气旋右侧旋转流出,即高原东部,沿长江流域指向长江中下游。这与卫星云图动态显示结果一致。

5 结论

对于高原影响与西太平洋暖池、南海及印度洋季风的相互作用的关键区,本文称此为季风活动“大三角扇型”区域,该区域以高原地区为顶端,南海季风与印度季风爆发涉及的低纬活动源区为“底边”构成了类似“大三角扇型”的水汽输送影响域,此关键区域揭示了中国夏季旱、涝年水汽输送源特征有显著差异。本文研究表明,该区域中水汽输送的差异可综合描述中纬度扰动与副热带高压等环流系统的相互作用,揭示出亚洲季风系统成员的动力、热力因素总体影响效应。该区域反映了南半球跨赤道气流、赤道西太平洋季风槽及季风活动相互作用特征、“大三角扇型”区域水份循环特征可综合描述东亚季风形成过程中该区域海陆热力强迫、青藏高原非绝热效应、海洋“暖池”及异常孟加拉湾对流活动等诸因素的综合影响。本文的研究结果可得出以下具体结论:

(1) 提出了高原及其邻近地区大气热源及水汽汇的季节变化观点。上述问题可以归纳到高原一季风水汽输送影响域“大三角扇型”区域内热源强信号源(高原地气与孟加拉湾、菲律宾、南海等海气过程)、区域的水份循环时空演变、遥相关因子对亚洲季风爆发的综合动态影响过程的重要科学问题。

(2) 首次采用NCEP再分析水汽输送通量资料、TIPEX高原科学试验所获取的高原中部多普勒雷达回波图象、卫星遥感TBB时间剖面、卫星云图动态演变等综合集成分析方法,跟踪7月下旬武汉特大

暴雨高原云系源地发生动态过程特征。研究结果揭示了高原作为“大三角扇型”区顶点及其上空“水汽源”对流云系活动特征及其向东水汽输送“转运站”的功能,强调了高原对流活动对1998中国特大洪涝的重要作用。

(3) 从春季至夏季,中国区域及长江流域水汽输送高相关区随季风的发展、演变及相应季节变化。春季南来水汽关键区在高原腹地及印度洋面,而夏季则移至南海地区。中国区域水汽输送通量高相关区从春至夏季的“东移”特征构成了“大三角扇型”水汽源季节变化。

(4) 涝年中纬度大型扰动形成的强水汽辐合输送以及冷、暖空气的汇合带,其水汽辐合带与冷暖空气汇合带正位于“大三角扇型”高原“顶点”东侧长江流域;在旱年,长江流域中纬度大型扰动则为水汽通量场的辐散带。

(5) 在700 hPa长江流域夏季降水与水汽的高相关区(或称为“水汽源”)与水汽通量距平场上“水汽流”配置关系很好。计算分析表明,对于长江流域夏季涝年,春季自低纬印度洋、南海及菲律宾区域与索马里以东印度洋有两个主要“水汽源”(即水汽高相关区)。这两个“水汽源”可能与低频振荡过程积云对流超级云团活动或水汽输送路径有联系。涝年青藏高原以东伸展到长江流域存在一支与通常涝年不同,由来自菲律宾以南洋面、南海的偏南水汽输送带,这支强偏南“水汽流”在青藏高原东侧呈显著“大拐弯”路径转向偏东方向,构成长江流域梅雨期持续强降水的水汽“输送带”。

(6) 对1998年7月份长江中下游特大暴雨洪涝形成过程的研究发现,自海洋南来水汽经高原“转运站”转向输送的强偏西“水汽流”尤为显著。上述水汽流特征可能是形成1998年长江特大洪涝水份循环重要异常因素之一。

参考文献

- 1 丁一汇,李崇银.中国四大气象科学试验进展.北京:气象出版社,2000.3~5
- 2 中国气象局国家气候中心.1998中国大洪水与气候异常.北京:气象出版社,1998.152pp
- 3 Tao S Y, Chen L X. The East Asia summer monsoon. Proceedings of International Conference on Monsoon in the Far East. Tokyo, 1985, 5~8:1~11
- 4 Tao Shiyun, Chen Lunxun. A review of recent research on the East Asia summer monsoon in China, Monsoon Meteorology. Oxford University Press, 60~92
- 5 叶笃正,顾震潮.关于青藏高原对东亚环流和中国天气的影响的研究.中国科学,1955,29~33
- 6 叶笃正,陶诗言,李麦村.在6月和10月大气环流的突变现象.1958,29(4):249~263
- 7 Krishnamurti T N, Bhalme. Oscillation of a monsoon system. Part I: Observational aspects. J Atmos Sci, 1976, 33: 1937~1954

- 8 Murakami T, Ding Y H. Wind and temperature changes over Eurasia during the early summer of 1979. *J Meteor Soc Japan*, ser II, 1982, 60: 183~ 196
- 9 Tetsuzo Yasunari, Kanehira A, Koike T. Seasonal and Internal Variability of Snowcover over the Tibetan Plateau and Associated Atmospheric Circulation Changes. The second Session of International workshop on TIPEX- GAME/ Tibet. Kunming, 2000. 23~ 25
- 10 Huang R H. Numerical simulation of three- dimensional teleconnections in the summer arclulation over the northern Hemisphere. *Adv Atmos Sci*, 1985, 2: 81~ 92
- 11 黄荣辉. 关于东亚季风的研究. 见: 中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风与中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 524pp
- 12 Qian Y F. Numerical experiments of the effects of initial desert moisture on the climate change. *Adv Atmos Sci*, 1991, 8: 459~ 470
- 13 Qian Y F, et al. Numerical simulation of heating anomaly effects of Tibetan plateau on circulation in summer. *Acta Meteor Sinica*, 1992, 6: 70~ 81
- 14 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋的热源异常对东亚上空副热带高原的影响及其物理机制. *大气科学(特刊)*, 1998, 107~ 116
- 15 Huang R H, Sun F Y. Impact of the tropical western Pacific on the East Asia summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 243~ 256
- 16 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. *大气科学*, 1994, 18(2), 141~ 151
- 17 Wang Jizhi, Leftwich P W. A major Low-Level cross-equatorial current at 110°E during the northern summer and its relation to typhoon activities. *Sci Atmos*, 1984, 8: 443~ 449
- 18 徐祥德, 苗秋菊等. 长江中下游洪涝与强信号源大圆路径波列的特征. 见: 中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 524pp
- 19 Wu Guowang, Zhang Yongsheng. Tibetan Plateau forcing and the Asian Monsoon onset over South Asia and Southern China Sea. *Mon Wea Rev*, 1998
- 20 徐祥德, 周明煜等. 青藏高原地气过程动力、热力结构综合物理图象——中国第二次青藏高原科学试验(TIPEX). *中国科学 B 辑*, 2001, 428~ 440
- 21 张庆云. 夏季东亚季风与印度季风的关系. 见: 中国科学院大气物理研究所编. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 524pp
- 22 徐祥德, 张雪金等. 1998 年梅雨期区域边界“水汽流”特征及其对长江流域持续特大暴雨影响. 见: 赵柏林等编. 淮河流域能量与水分循环研究. 北京: 气象出版社. 1999. 284pp

THE RELATIONSHIP BETWEEN WATER VAPOR TRANSPORT FEATURES OF TIBETAN PLATEAU- MONSOON “LARGE TRIANGLE” AFFECTING REGION AND DROUGHT-FLOOD ABNORMALITY OF CHINA

Xu Xiangde

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Tao Shiyan

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

Wang Jizhi

(*National Meteorological Center, Beijing 100081*)

Chen Lianshou Zhou Li Wang Xiurong

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

By using the NCEP reanalysis water vapor transport flux data, the Doppler radar echoes in middle plateau of TIPEX, the satellite water vapor imagery, the time cross-section of satellite remotely sensed TBB and the dynamic variation of satellite images, the relationship between water vapor transport features of Tibetan Plateau- Monsoon “Large Triangle affecting region” and drought-flood abnormal of China has discussed in this study. It is shown that the water vapor channel is related to the outbreak of Asia monsoon, air-land process on the Plateau and the special abnormal structure of water vapor over the Plateau. The functions of heat sources in low and middle latitude oceans all appear in this area, namely the area where exists the interaction between Plateau and monsoon as well as activities for its members. This “large triangle” affecting of the Plateau and monsoon has been described. Thus, the southerly water vapor transport feature in the “large triangle” affecting region shows that there exists teleconnection between the Plateau and low latitude ocean heat sources and water vapor sources.

The result shows that the source of strong connective cloud as well as its tracks of the torrential rain process in 1998 is closely related to the water vapor transport features in the “large triangle” affecting region. It is also called “transfer platform”.

Analysis on the climate averaged water vapor flow feature in the “large triangle” region shows that the Tibetan Plateau is an important transfer platform on the west edge of Meiyu in Yangtze River Valley in east China in summer. The interaction between topographic effect of the Plateau and the monsoon water vapor flow at the south edge forms the transport of strong water vapor flow from the Plateau to Yangtze River Valley.

Different from the usual flood years, the strong westerly water vapor flow transported from the “transfer platform” of the Plateau during the formation process of the torrential rain in July 1998 is especially significant. Thus, during the flood process of Yangtze River Valley in 1998, the Plateau thermal and dynamic functions and abnormal monsoon interaction are different from those of usual flood years. The feature that the water vapor flow from the south turns into strong westward one after passing through the Plateau is very significant. Above water vapor features may be one of the important abnormal elements of East Asian water vapor cycle that form the abnormal flood in 1998.

Key words: Tibetan Plateau, Plateau - Monsoon, Water vapor transport, “Large triangle” affecting region, Drought-flood abnormality.

徐祥德等：青藏高原-季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系

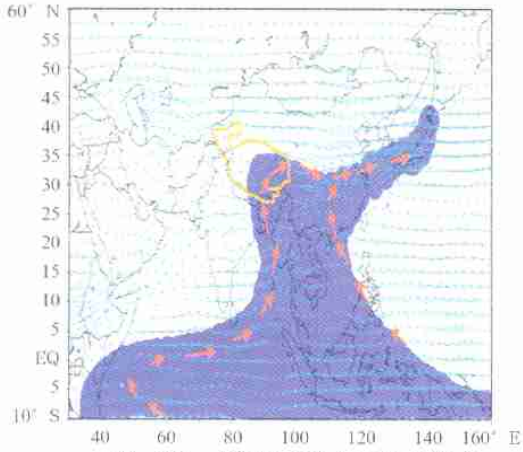


图1 高原-季风水汽输送“大三角扇型”水汽通量分布特征 (夏季500hPa)

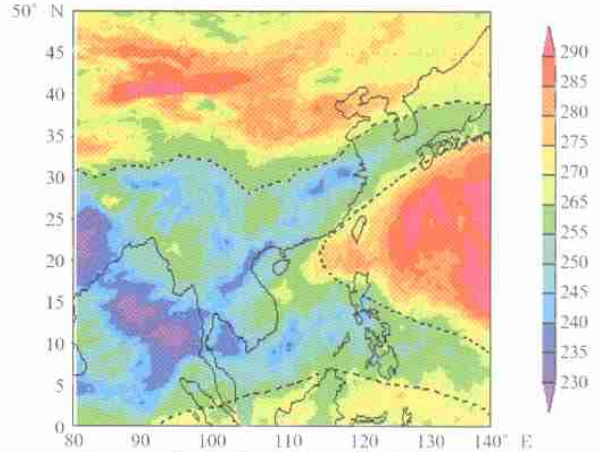


图2 1998年6月下旬特大暴雨过程卫星遥感TBB云顶温度7 d合成平均场

(虚线范围对应图1“大三角”关键区域)

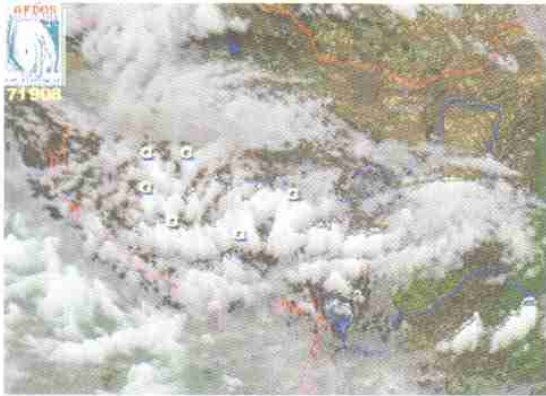


图8 1998年7月19日卫星云图
(a表示高原地区稠密群发积云云系)

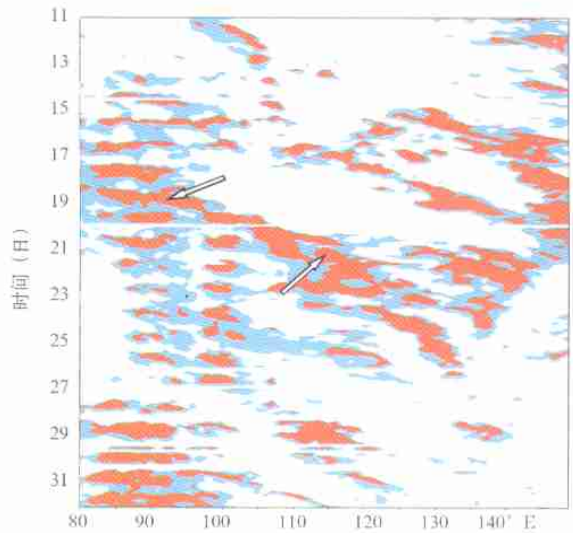
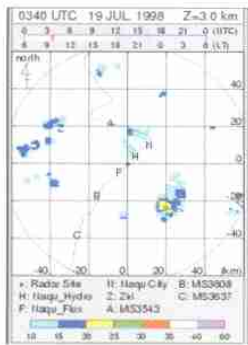
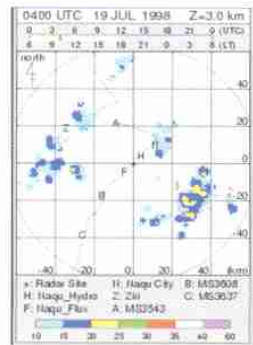


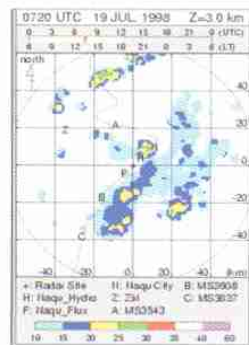
图9 1998年7月TBB云顶温度(间隔3 h)沿30°N时空剖面
(左侧箭头为那曲所在经度, 右侧箭头为黄石地区所在经度)



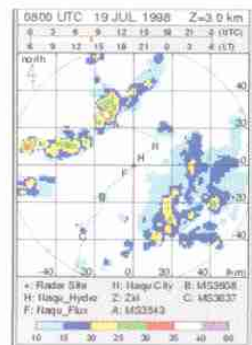
(a)



(b)



(c)



(d)

图10 1998年7月19日03~08时雷达图

(a.03时40分局地雷达回波初期, b.04时回波加强, c.07时20分回波面积发展, d.08时回波加强东移)