

我国 OLR 应用研究的进展

蒋尚城

(北京大学地球物理系)

OLR 是从宇宙空间所观测到的地气系统的射出长波辐射(Outgoing Longwave Radiation),它反映了云量、雨量、对流强度、凝结潜热、散度风、大尺度垂直环流和海气相互作用等众多的海洋和大气的信息,而卫星观测又具有全球性及均匀、连续和水平分辨率高等优点,所以 OLR 在大气环流、海气相互作用及气候变化和中长期预报等方面的研究中得到广泛的应用^[1]。每月的 OLR 平均图也像 500hPa 高度图和海表温度图一样,投入了气候分析的业务使用,成为 WMO 及美国 CAC(气候分析中心)出版的每月气候公报中必备的图。国际上关于 OLR 的应用研究早在 60 年代末就已开始。中国 OLR 应用的研究起步较晚,始于 80 年代中期^[2],但发展迅速,应用广泛,近年来取得了显著的进展。本文将其主要研究成果总结成以下 10 个方面加以评述。

1 ITCZ(热带辐合带)的研究

用卫星观测的 OLR 资料分析了全球及热带不同地区——三大洋(包括东、中、西太平洋,东、西印度洋及大西洋)和两大洲(非洲和南美洲)ITCZ 的不同气候特征,并探讨了其不同的形成原因;揭示了太平洋上双 ITCZ 的平均经度位置(赤道两侧同时出现了 ITCZ 的各经度的平均值)有明显的东西向季节振荡现象(图 1a),这种现象的发生是由于终年存在于西太平洋的南半球 ITCZ(又称南太平洋辐合带,即 SPCZ)在夏季(指北半球,南半球应为冬季,下同)最弱且其东端位置最偏西,从夏到冬,强度增加同时不断向东伸展,

冬季达最东(150°W),由冬到夏则减弱和西缩。相应北半球太平洋上 ITCZ 则终年存在于中东部,由冬到夏,强度增加并向西伸展,形成从东到西全球最长的 ITCZ,。从夏到冬变化相反,西太平洋上 ITCZ 消失,而南半球 ITCZ 伸到最东,其结果造成双 ITCZ 位置的东向西振荡,显然这种振荡是由于赤道两侧的 ITCZ 随季节有东西向的此长彼消,新陈代谢所造成。根据同时期的 SST 资料分析发现这又与西太平洋暖池的东西向季节振荡有关。图 1b 给出了多年平均的南太平洋上暖池的特征等值线(SST = 28°C)的逐月变化,其东西向的季节移动与双 ITCZ 的振荡非常一致,说明两者之间有密切的联系。因而对卫星观测的多年平均的 OLR 资料分析,对全球 ITCZ 的气候学特征有了更新和更全面的了解^[2-4]。

2 副热带高压的研究

用 10 年 OLR 资料分析了夏半年西太平洋副热带高压南北变动的特征及其与 ITCZ 变化的关系(图 2),结果表明西太平洋副热带高压夏季有两次明显的北跳,并分别与中国长江流域的梅雨及华北的雨季开始相对应。而西太平洋副高的北跳是与南部 ITCZ 的北移及对流活动的加强密切相关,首次用卫星观测证明了夏季西太平洋副高的季节性北跳是与 Hadley 环流的变动密切相关^[5],从而提出把中国的旱涝与西太平洋副高异常的研究重点转向更易于卫星监测的热带对流活动异常的研究。

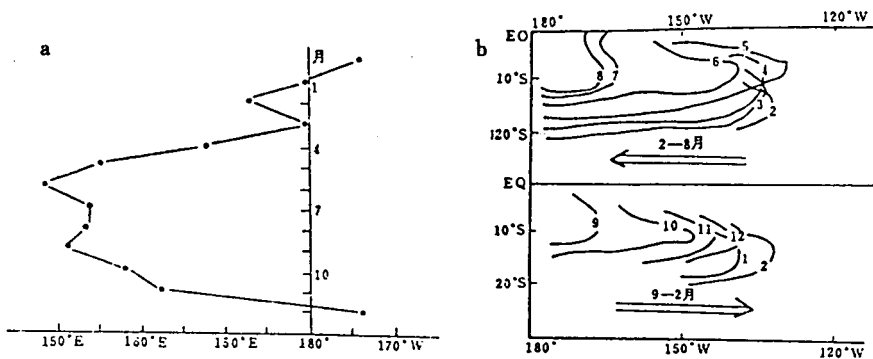


图1 太平洋双 ITCZ 位置与暖池的东西振荡。a. 太平洋双 ITCZ 平均经度位置的逐月变化, b. 南太平洋 SST=28°C 特征线的逐月变化

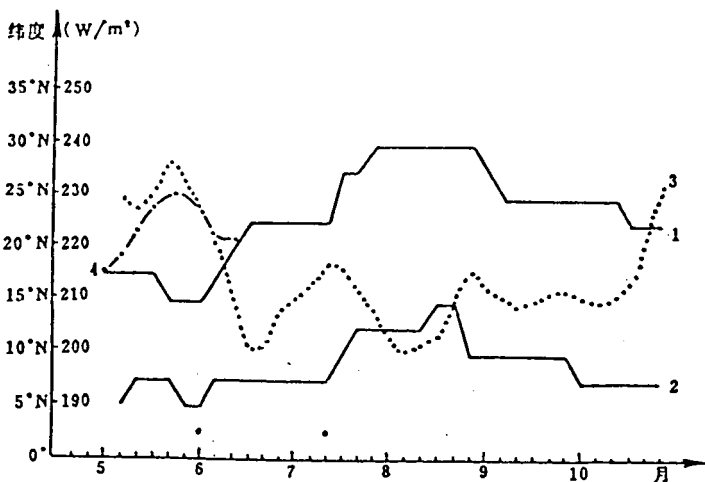


图2 10年平均(1975—1985,除1978)西太平洋副高脊线(最大 OLR 轴,线1)位置,ITCZ 轴线位置(最小 OLR 轴,线2)及强度(线3,北半球,线4,南半球)逐候变化图

由 OLR 揭示出的北半球副热带高压的气候学特征^[6]表示北太平洋副高的位置和强度都有明显的东西振荡现象,中心位置夏季偏于太平洋的东部,冬季偏于西部,其东西季节移动的方向与北大西洋的副高^[7]类似,而与太平洋上双 ITCZ 的移动方向相反,强度振荡东西部构成一对偶极子,冬季西强东弱,夏季东强西弱。其原因是由于影响太平洋副热带高压的经向及纬向环流的季节变化所造成的。此外,用 OLR 资料可以很好地反映副高整个主体,而在西太平洋副高的边缘则与高度场分析出入很大,这也间接反映了太平

洋副高西部边缘的结构与主体结构有很大不同,即副高西部边缘多云雨活动(上升运动),并非像副高主体是稳定一致的下沉气流。因此副高西部边缘的 OLR 场不能很好地代表高度场,在分析时应特别注意。

3 台风研究

用 OLR 资料的分析表明西太平洋上 OLR 的低频振荡与台风活动有密切关系^[8]。根据 1979 年西太平洋地区 OLR 的 30—60 天滤波分量及台风活动的分析,发现该年 6—9 月西太平洋地区有 3 次 OLR 低频振荡

(周期为 40—50 天的波,或称低频波),这时期台风都集中在 OLR 低频波的对流活跃期(负距平),而且低频波强时台风出现的次数也多,即对应于多台风生成阶段,这就启示我们可以利用西太平洋上 OLR 低频振荡的周期、位相及振幅(强度)做西太平洋上台风群发出现时段的预报。此外,台风演变过程中的不同阶段,在系统中心东南侧的 OLR 场上有明显的先兆特征和规律性,并与越赤道气流有密切联系^[9],OLR 场中的低值轴线对台风的未来 6 小时移动有很好的指示作用^[10],这些都为台风发生发展及移动的预报提供了新的途径。

4 低频振荡研究

用 OLR 研究大气低频振荡现象在国外已有不少工作,我国近年来的研究集中于西太平洋^[11,12]及青藏高原地区^[13,14],结果发现菲律宾北部 15°N 附近是夏季低频振荡的重要源地,低频振荡传播方向沿赤道向东传,在 15°—30°N 之间转为向西偏北方向传播;东亚(120°E)地区的经向传播在热带向北,高纬向南,两者在副热带地区汇合,少数低频振荡可以穿过副热带到达高纬度或者从高纬度穿过副热带到达低纬度。此外还发现从赤道经菲律宾到长江流域有一正负相关中心的波列存在,似乎表明长江流域旱涝与西太平洋热带对流活动的低频振荡密切相关;夏季青藏高原存在 30—60 天的低频振荡,但不如西太平洋与印度洋显著,其传播方向有的是东西向穿过高原,有的是自赤道印度洋向北传,这与过去用常规资料研究的结果不同,即高原虽然存在着低频振荡,但并不是低频振荡的源和汇区;春季低频振荡特征^[15]也属首次研究,分析发现春季西太平洋地区低频振荡的特征无论在源地及传播方向上均与夏季有所不同,反映了从冬到夏季风转换的过渡季节的特征。此外,对 1975—1983 年(除 1978 年)每年 3—5 月,取西面一个 30 天振荡中心及对应 ITCZ 中心所在区域(80—105°E,5°

N—10°S)的 OLR 平均值进行周期为 30 天的带通滤波分析,并将滤波曲线上低频振荡分为低值阶段(A),低值向高值的转变阶段(B),高值阶段(C)及高值向低值转变阶段(D)四个阶段,从低频振荡各阶段所对应的平均 OLR 场及 ITCZ 图(图 3)分析,可以看到低频振荡的不同阶段,不仅 ITCZ 的强度呈周期性变化,且其西伸的经度也有相应的变化。一般在低值阶段(A)ITCZ 伸到最西(55°E),对流最强,由低值向高值转变(B)阶段,ITCZ 东退(西端点到 85°E),强度减弱,到高值阶段(C),ITCZ 最弱,位置最东(95°E),由高值向低值过渡阶段(D),ITCZ 又复西伸(到 75°E),强度增加。而热带 OLR 的低频振荡低值和高值阶段又恰好与长江中下游的连阴雨和连晴天气有很好的对应关系,这一结果可以开拓我们的预报思路,把春季长江中下游的连阴雨预报置于更长远更广阔的时空背景下考虑。

5 热带散度风与大尺度垂直环流的研究

热带地区由于旺盛的对流运动所产生的非地转运动使散度风在总流场中的比重较中高纬地区大大增加,但那里实测风的质量与数量都不能很好地满足散度风测量的要求,因而大大影响了数值预报初始场的精度及热带环流的深入研究。OLR 由于能很好地反映热带地区的对流强度,因而也间接地反映了大气的散度场。Julian^[16]和 Krishnamurti^[17](1986)都曾先后做过用 OLR 反演散度风的试验,并提出了相应的方案。利用他们的方案,做 OLR 反演热带地区散度风的试验结果表明比用实测风场资料计算结果好^[18,19]。因此可以通过适当方式将 OLR 场与常规资料组合成新的低纬流场,一方面增加辐散流场在总流场中的相对比重,同时基本上保持风场总动能不变,这一研究结果对于数值预报的初值问题及检验与诊断分析工作有较大的参考价值^[18]。用 OLR 反演 200hPa 及 850hPa 散度风而计算出的 ENSO 发展过程中赤道

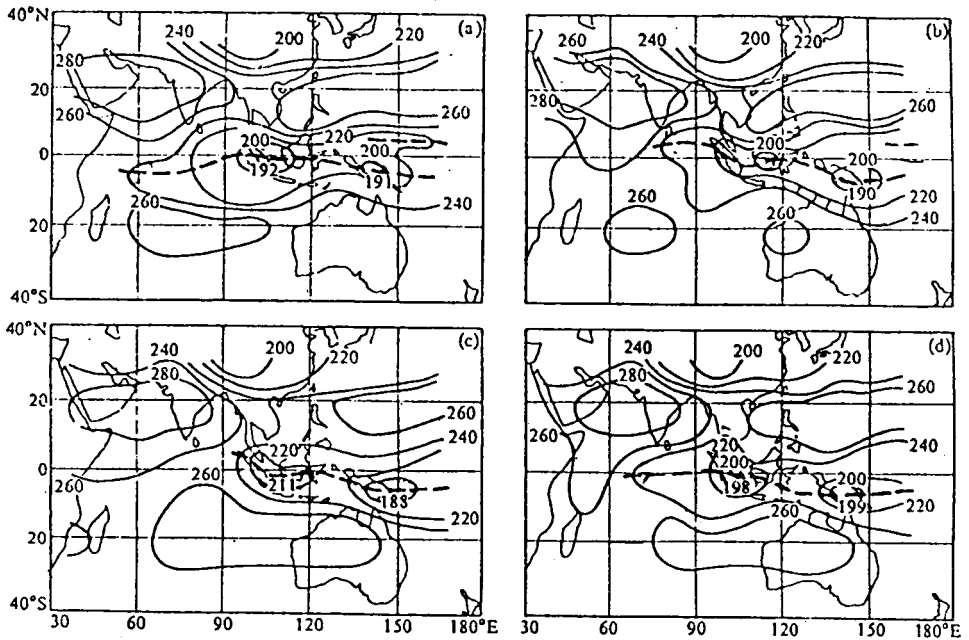


图3 春季低频振荡各阶段 OLR 平均场以及 ITCZ 分布特征。实线:OLR 等值线,单位:W/m²,虚线:ITCZ,(a):A 阶段,(b):B 阶段,(c):C 阶段,(d):D 阶段

(10°S—10°N) 东西向环流及太平洋上局地 Hadley 环流的演变分析^[19],表明从 1982 年 1 月 ENSO 发展时期,赤道太平洋上的东西向环流逐渐向东移动,200hPa 辐散中心 D 也从正常的 3 个变到 4—5 个,即 ENSO 发展时不仅东西向环流圈发生移动,而且圈数也在变动(图 4),与此同时局地经圈环流也相应发生变化,即西太平洋局地 Hadley 环流减弱,中东太平洋局地 Hadley 环流却突然加强。这种全球气候异常时热带纬向垂直环流圈调整的关系以及纬向和经向垂直环流圈变化的相互关系及其动力学的解释还有待于进一步的深入研究,但 OLR 资料揭示了常规风场资料无法弄清楚的热带垂直环流变动的细节,这为研究中低纬环流相互作用方面提供了新的途径。

6 海气相互作用研究

OLR 是研究海气相互作用的重要参数。一般 OLR 与 SST 正相关地区反映了大气对海洋的作用为主,负相关区则是海洋对大气

的作用为主。根据多年 OLR 与 SST 距平的相关分析,揭示了热带海洋上不同地区和不同季节的海气相互作用的气候学特征^[20],指出了海气相互作用的状态是与大气环流系统以及冷热源的分布有密切关系。为我们了解海气相互作用的气候学背景提供了有用的信息。此外,由全球热带海洋上的最大暖水轴与 ITCZ(最小 OLR 轴)的关系分析^[21]表明,两者只是在东太平洋及大西洋上关系较好,而在西太平洋及印度洋上差别较大。这与过去 Saha^[22]认为两者基本重合而且 ITCZ 轴都位于 SST 最大轴的靠极地一侧的结论不一致。说明尽管 ITCZ 必须形成在高于 27°C 的暖洋面上,但 SST 的升高对于对流加强的影响并不敏感,因此最大 SST 轴不能唯一决定 ITCZ 的位置。

7 长江流域及青藏高原夏季雨量的估算

用 OLR 资料估算热带海洋上的雨量在国外早已获得成功^[23]并已投入业务使用^[24]。近年来我国用 OLR 估算夏季长江流域及青

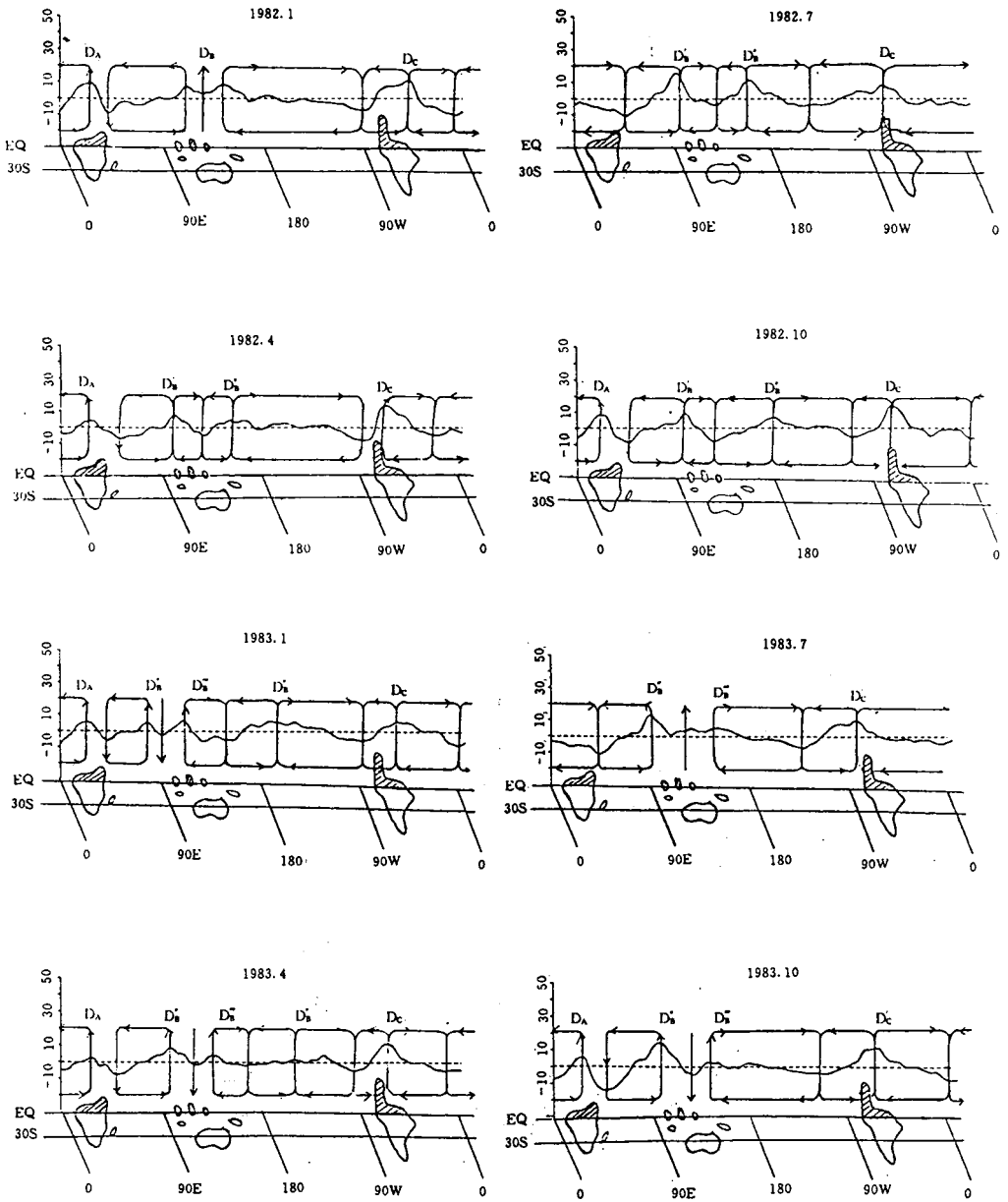


图4 由OLR资料反演的1982—1983年ENSO事件期间赤道(10°S—10°N)纬向环流的变化,中部曲线为平均垂直速度纬向分量($-\bar{\omega}\phi$)的变化曲线,D为200hPa辐散中心

藏高原上的雨量试验^[25,26]亦已先后成功。根据1974—1983年(除1978年)9年夏季(6、7、8月)OLR资料及相应长江流域95个测站及青藏高原83个站的雨量资料,按不同时空尺度进行雨量估算的试验,得到整个长江流域上 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格区的降水月距平与OLR月距平之间呈线性相关,其相关系数为

-0.53,对干流区则为-0.64,且两者相关的程度是随着时空尺度增加而增大的,用上述OLR资料对青藏高原雨季(6—9月)的试验也表明两者有密切的负相关。从空间($2.5^\circ \times 2.5^\circ$)分布的相关看,气候平均的月相关在雨季都在-0.80左右,从时间变化的相关分析看,在青藏高原主体地区一般都在-0.5—

-0.9。以上结果表明在亚洲中纬度季风大陆区夏季,OLR 与降水量的关系和热带海洋上一样有很好的线性关系。此外还分析了时空尺度、地形、雨量及网格区内雨量站的密度对相关程度的影响,对影响估算精度的各种因子做了有益的试验,上述结果对于水文和农业以及估算高原上的潜热加热量都有很大意义。

8 中国区域气候的研究

用中国漠河到海口十个有代表性的城市附近的 OLR 及净辐射的年变化曲线清楚地揭示了中国不同区域的气候特征^[27],从地处同纬度(30°N)的杭州、成都及拉萨三地的气候平均的卫星观测的 OLR、净辐射及地面观测的降水量年变化曲线,可以看出和北方地区的单峰型或夏季出现 V 字型的 OLR 特征不同,杭州辐射特征反映了长江三角洲地区的气候特点,OLR 曲线有两个低谷,而在 8 月又达峰值,反映了长江下游典型的春雨、梅雨及伏旱的江南气候特征。净辐射的负面积与正面积大抵相等,而在 6 月出现相对低点,该月正是梅雨季节,说明云对净辐射影响的反射效应大于温室效应。OLR 的年振幅小,反映了温度的年较差较北方小而降水又不像那里冬干夏雨明显。再比较与杭州同纬度的成都及拉萨的辐射特征,三者明显的差别反映了不同的区域气候。位于四川盆地的成都 OLR 曲线最不规则,而且年振幅小,反映了盆地多云量和雾,少日照以及秋雨连绵的特点,因而全年的净辐射出现负大于正的负收支。青藏高原的拉萨则又与四川盆地及长江三角洲明显不同,净辐射曲线正面积比负面积大很多,全年辐射收支为 $480\text{W}/\text{m}^2$,是各地之冠,反映了该地多日照(拉萨有日光城之称)的特点;而 OLR 曲线与华北类似,夏季呈明显的 V 型,即雨季也集中在夏季,但 OLR 的平均值比纬度更高的北京低,显然这是由于高原海拔高度的影响。

Ohring 和 Gruber^[28]曾用卫星观测的辐

射资料进行世界区域气候的研究,获得可喜的成果。而对中国区域气候研究的结果表明用卫星观测的大气顶部净辐射及 OLR 这两个参数完全可以而且应当引进到区域气候的研究领域。众所周知,气候分类及区域气候的研究已有悠久的历史,传统上都是以地面观测的温度、降水或其它有关的参数来区划气候的。用卫星观测的地气系统的辐射收支及 OLR,既从气候形成的主要因素——能量收支出发,本身又包含着温度、降水、云量、日照以及植被等多种气候信息,因此将这两个新的参数引入区域气候研究领域,使区域气候研究的观测基础突破传统的地面观测限制而与太空观测相结合,这无论在理论上和实践上都有很大意义。

9 灾害性天气气候的诊断及预报的研究

利用 OLR 已经对中国的夏季降水^[29]和冬季低温^[30]及东北冷害^[31]、宁夏低温^[32]、西北降水^[33]、华北及长江流域旱涝^[34-38]、华南后汛期降水^[39]、高原雪况^[40]以及长江上游 3—5 天预报^[41]等中国的灾害性天气和气候进行广泛的研究。这方面工作基本上可以分为三类,一是诊断中国气候异常与 OLR 的特征,如对中国选定测站的夏季降水和冬季低温与全球 OLR 的后延遥相关的分析,找到了澳大利亚和青藏高原为影响中国夏季降水的关键地区。影响冬季低温的则有 9 个敏感区分别与 500hPa 位势高度 EU、PNA 和 EA 遥相关型中心及热带 Walker 环流的上升、下沉支相对应,从而为长期预报找到一些有用的线索。又如由 OLR 对长江流域洪涝的诊断,发现涝年低纬 OLR 特征是西太平洋副高及印度洋、西太平洋 ITCZ 强且位置偏南,其前期特征是春季(3—5 月)印度洋—太平洋 ITCZ 南侧两个关键区持续负距平,冬季澳大利亚高压及北半球东太平洋副高异常发展。据此做出由冬、春季热带关键地区的 OLR 特征做长江流域特大洪涝的长期预报框图,如图 5 所示。对 1991 年江淮洪涝的 OLR 诊断

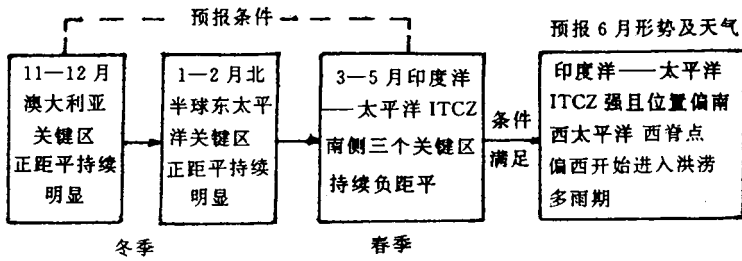


图5 长江流域特大洪涝长期预报框图

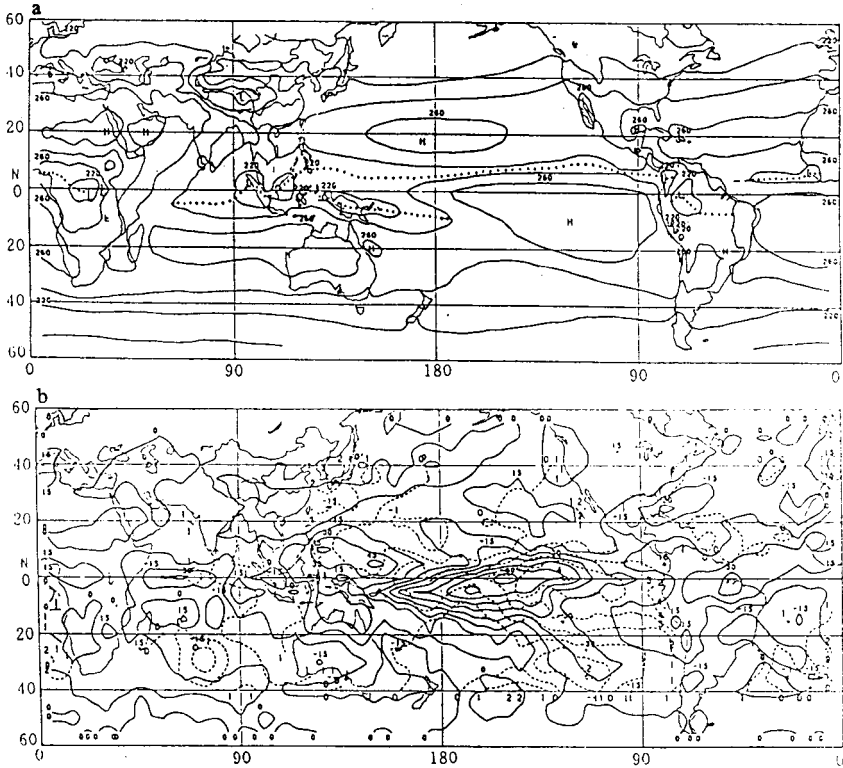


图6 a. OLR 年平均图(1975.1—1985.12)。实线: OLR 等值线, 单位: W/m^2 ; 点线: ITCZ(最小 OLR)轴。b. 1983 年 1 月 OLR 和 SST 距平图。实线: OLR 距平等值线, 单位: W/m^2 ; 虚线: SST 距平等值线, 单位: $^{\circ}C$

研究发现冬季青藏高原有明显的正距平, 表明冬季高原偏暖, 秋雪少, 这对于副高的提前北跳及 1991 年梅雨的提前开始有很好的预报意义。此外, 梅雨的发生发展均与西太平洋上 ITCZ 和副高的变化密切相关。故用卫星监测 ITCZ 的变化可以作为梅雨预报的重要参考。二是把 OLR 场作为一种新的形势场来分析, 如对台风的生成、发展和移动以及长江上游强暴雨的 3—5 天预报研究等工作都是

用 OLR 场形势分布特征做预报的。

第三是根据诊断结果直接建立预报方程, 如宁夏低温高原雪况的预报等。由于 OLR 和常规资料的结合能把中高纬度的天气气候异常和低纬大气环流的变动很好地联系起来, 近年来这方面的进展对我国天气气候预报的改善奠定了基础。预计今年我国 FY-2 号卫星的发射将提供更广的 OLR 实时资料值, 因而 OLR 在业务预报上的应用将有

更大的发展。

10 OLR 图集的出版

近年来我国出版的 OLR 图集^[1]与美国出版的同类图集^[42]相比较,在月平均的 OLR 图上增加了由最小 OLR 轴确定的 ITCZ 轴,从而第一次提供了卫星观测的全球 ITCZ 历史图集,图 6a 即为全球气候平均的 ITCZ 分布图。另外在 OLR 距平图上叠加了 SST 距平,这样可以更好地分析海气相互作用不同时空的状态,因而受到国内外研究与业务工作者的欢迎。图 6b 为 1983 年 1 月 OLR 及 SST 距平图,可以看出当 1982—1983 年 ENSO 发展极盛时期,中东太平洋上有强烈的 OLR 负距平($< -75\text{W}/\text{m}^2$)及 SST 正距平($> 4^\circ\text{C}$)出现,说明海气相互作用非常剧烈,但两者并不重合,OLR 负距平位于 SST 正距平偏西的位置,这一现象从 Murakami^[43]的年际尺度 OLR 与 SST 关系的研究结果中可以得到解释,即最大年际尺度的 SST 正距平的发生比 OLR 扰动(负距平)的发生超前三个月。由于两者都是自西向东移动,因而造成 OLR 负距平中心落后于 SST 正距平中心的现象。

我国 OLR 应用研究的进展的主要特点为:

1) 应用研究的广泛性

从以上 10 个方面可以看出 OLR 在中国的应用研究范围是十分广泛的。有些领域还是新开拓的工作,这对于国际上 OLR 应用研究的普及与深入起积极作用。

2) 重点放在热带海洋及青藏高原

热带海洋和夏季青藏高原地区都属于常规资料稀少而对流活跃,对大气环流的变动及中低纬气候异常影响很大的地区,卫星观测的 OLR 资料能在这些地区发挥优势,弥补常规资料的不足。

3) 揭示了许多新事实

诸如太平洋上双 ITCZ 及副热带高压的东西振荡现象; ENSO 过程赤道东西向环流

的变动及其与局地 Hadley 环流变化的关系; ITCZ 的低频振荡与长江流域旱涝的关系都有很大的理论与实际意义。

4) 紧密联系预报

对于中国的低温冷害、高原雪况及暴雨、旱涝等灾害性天气气候的预报做了不少基础性的工作,有的还投入了业务使用。

今后我国 OLR 应用研究的发展重点仍应放在热带海洋和青藏高原上,应将 OLR 资料与常规观测资料分析相结合,青藏高原的重点放在夏季对流活动和加热的异常与东亚季风与大气环流异常的关系上,热带海洋上重点放在 OLR 与大气冷热源、海气相互作用及中低纬相互联系的研究。此外还要加强 OLR 在业务预报中的应用,在长期预报中尽可能应用 OLR 资料进行物理诊断,使长期预报建立在可靠的物理基础上并探索建立长、中、短期结合的预报系统的可能性。在中短期数值预报中,应用 OLR 资料改善低纬的初始场,从而使我国的业务预报及减灾防灾的能力进一步提高。

参考文献

- 1 蒋尚城、朱亚芬, OLR 的应用和图集, 北京大学出版社, 1990.
- 2 Jiang Shangcheng, The Climatology of the ITCZ based on outgoing longwave radiation, Proceedings of Beijing international radiational symposium, 166—171, 1986, Science Press Beijing China, 1987.
- 3 蒋尚城, 全球 ITCZ 的气候特征研究, 气象学报, 46(2), 241—245, 1988.
- 4 马福慧、胡伯威, 全球副热带高压和赤道辐合带演变规律的分析, 气象, 17(8), 15—18, 1991.
- 5 蒋尚城、戴志远, 卫星观测的西太平洋副热带高压的气候学特征, 科学通报, 34(19), 1492—1493, 1989.
- 6 蒋尚城、张卫东, OLR 揭示的北太平洋副热带高压的气候学特征, 地理研究(即将发表).
- 7 Verneka A. D., Spatial and temporal radiations of large-scale subsidence and convection region derived from satellite data, Proceedings of the six annual climate diagnostics workshop, 1981, 10, U. S. NOAA, 261—267.
- 8 谢安、叶谦, OLR 低频振荡与西太平洋台风活动的探讨, 气象 13(10), 8—13, 1987.

- 9 肖文俊, 台风演变过程中 OLR 场的特征与流场的联系, 热带天气系统的发生发展与海况的相互影响文集(下), 246—256, 北京大学, 1990.
- 10 江吉喜、陈美珍, 应用 OLR 资料研究台风的异常运动及其移动路径的现时预报, 卫星气象学, 47—56, 国家卫星气象中心, 1991.
- 11 戴志远、蒋尚城, 西太平洋对流活动的 ISV 特征研究, 热带天气系统的发生发展与海况的相互影响文集(下), 274—282, 北京大学, 1990.
- 12 Chen Longxun and Xie An, Westward Propagation Low-Frequency Oscillation and its Teleconnection in the East Hemisphere, *Acta Meteor Sinica*, 2(3), 300—312, 1988.
- 13 叶谦、谢安, OLR 资料所揭示的青藏高原地区中期振荡过程, 热带气象, 5(2), 127—133, 1989.
- 14 郭炜、蒋尚城, 青藏高原地区 OLR 的季内变化(待发表).
- 15 施宁、朱盛明, 春季热带地区 OLR 低频振荡及其与长江中下游连阴雨, 大气科学, 15(2), 53—61, 1991.
- 16 Julian, P. R., Objective analysis in the tropics: A proposed scheme, *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1752—1767, 1984.
- 17 Krishnamurti, T. N., and S. Low-Nam, On the relationship between the OLR and the divergent circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*. 64, 709—710, 1986.
- 18 谢安、白人海, OLR 资料在低纬风场中的应用, 气象学报(即将出版).
- 19 蒋尚城、张永生, OLR 对热带散度风的反演及其对 ENSO 过程的分析应用(待发表).
- 20 Jiang Shangcheng and Chen Liyan(1983), The climatic characteristics of the interaction between ocean and atmosphere in the Pacific, PACON, 93 China Symposium Proceedings(in press).
- 21 蒋尚城、郭炜, 热带洋面上最小 OLR 轴与最大 OLR 轴关系的气候学研究, 海洋学报, 14(1), 124—128, 1992.
- 22 Saha, K. K. Global distribution of double cloud bands over tropical oceans, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 99, 551—555, 1973.
- 23 Arkin, P. A., A diagnostic precipitation index from infrared satellite imagery, *Tropical Ocean Atmos. Newsletter*, 17, 5—7, 1983.
- 24 Climate Diagnostics Bulletin, Climate analysis center, U. S. NOAA, NWS, NMC.
- 25 蒋尚城、温斯顿, 长江流域早涝的 OLR 特征, 气象学报, 47(4), 479—483, 1989.
- 26 徐国昌、李栋梁、蒋尚城, 卫星观测的 OLR 对夏季青藏高原雨量及凝结潜热的估算, 高原气象, 9(3), 256—263, 1990.
- 27 蒋尚城、朱亚芬、朱元兢, 卫星观测的中国区域气候, 气象学报, 49(4), 512—517, 1991.
- 28 Ohring G. and A. Gruber, Satellite radiation observation and climate theory, *Advances in geophysics*, 25, 296—301, 1983.
- 29 Zhu Yuanjing, etl., Anomalies in outgoing longwave radiation and their possible relationship to precipitation in China during 1974—1984, *Proceedings of Beijing international radiation symposium*, 231—240, 1986, Science Press Beijing China, 1987.
- 30 Zha, Y. J. and Z. Y. Tao etl., Teleconnection between the winter temperature of China and global outgoing longwave radiation, *Contributions to Atmospheric Physics*, 62, 46—56, 1989.
- 31 毛贤敏等, 东北夏季低温的 OLR 场特征, 气象, 14, 4—8, 1988.
- 32 康善福、吴俊明, 青藏高原 OLR 场与宁夏夏季低温关系的研究, 21—25, 宁夏气象.
- 33 李栋梁, 中国大陆 OLR 与西北夏季降水, 卫星气象学术和应用服务技术会议文摘, 1991, 10.
- 34 李月洪、刘煜, 向外长波辐射与我国华北地区旱涝关系的初步研究, 应用气象学报, 2(2), 213—217, 1991.
- 35 Jiang S. C., and J. S. Winston, The characteristics of outgoing longwave radiation related flood and drought over Yangtze River basin, *WMO/TD*, 87, 431—435, 1986.
- 36 蒋尚城, 卫星观测对长江流域早涝的诊断研究, 科学通报, 37(19). 1992.
- 37 蒋尚城等, 1991 年江淮洪涝的 OLR 诊断研究, 应用气象学报, 4(3), 1993.
- 38 李月洪、刘煜, 长江流域早涝与太平洋 OLR 场的关联, 气象 16(8), 15—19, 1990.
- 39 吴尚森、黄成昌、薛惠娟, 华南后汛期降水的年际变化, 热带气象, 6(4), 348—350, 1990.
- 40 上官鸿模, 试用气象卫星资料预报高原雪况的研究, 青藏高原气象科学实验十周年学术讨论会交流材料汇编, 1990.
- 41 江吉喜、陈美珍、方宗义, 气象卫星资料在长江上游地区强暴雨 3—5 天预报中的应用, 应用气象学报, 2(3), 301—307, 1991.
- 42 Monthly and seasonal mean OLR and anomalies, NOAA Technical Report NESIDIS 26, U. S. NOAA, 1986.
- 43 T. Murakami and Wadunawatte Sumathi Pala, Relationship between OLR and SST on interannual time scale, *UHMET* 88—03, 1988.