

东亚夏季风的研究进展及其 需进一步研究的问题*

黄荣辉 黄刚

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

任保华

(中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥 230026)

摘要 回顾了近年来关于东亚夏季风的结构特征以及年际、季内的变化特征及其成因的研究进展; 并且回顾了关于东亚夏季风的数值模拟和可预测性的最新研究进展, 特别是系统地回顾了东亚夏季风与印度季风特征的异同以及 ENSO 循环、西太平洋暖池和青藏高原在东亚夏季风的年际、季内变化的作用。还提出在关于东亚夏季风变化及其模拟和预测等方面需进一步研究的问题。

关键词 东亚季风 年际变化 季内变化 ENSO循环

1 引言

季风是一种盛行风向随季节变化的气候现象, 它也是全球大气环流中重要的一环。许多研究指出亚洲季风和澳洲季风在全球气候变化中扮演着重要的角色^[1~3]。亚-澳季风从太平洋和印度洋携带充沛的水汽到大陆, 在季风区形成充沛的降水。因为季风和降水有着密切关系, 所以季风严重影响着季风区的经济、工农业生产和人民的日常生活, 尤其是季风带来的干旱和洪涝灾害将给季风区带来严重的经济损失。

南亚和东亚地区存在一个巨大的季风系统, 称亚洲季风系统, 东亚季风是其中一子系统。在东亚不同季节有许多特征天气系统, 如夏季我国江淮流域的梅雨、朝鲜半岛的“Changma”和日本的“Baiu”, 冬季持续的西北风和寒潮等。东亚季风的年际及季内变率很大, 这给我国东部、韩国和日本经常带来干旱和洪涝等灾害, 因此, 早在 60 年前, 东亚季风的特征与变化已成为东亚诸国重要的科学研究问题。我国著名气象学家竺可桢首先提出东亚夏季风和中国降水的可能关系^[4], 之后, 涂长望和黄仕松又研究了东亚夏季风的进退^[5]。这些研究开辟了研究东亚夏季风变化及其对东亚夏季气候影响的研究之路。

关于东亚夏季风研究, 陶诗言和陈隆勋已作了较系统的回顾^[6], 继他们之后, 在东亚夏季风的结构、东亚夏季风年际、季内变化及其原因以及关于东亚季风的数值模拟和预测等方面, 特别是东亚夏季风的年际、季内变化的物理机制以及季风对水汽输送和季

1997-11-12 收到, 1998-02-04 收到修改稿

* 国家自然科学基金重点项目“关于季风与 ENSO 循环相互作用研究”(49635180) 资助

风区水份能量循环等方面的研究取得很大进展。为了总结这些研究进展,使东亚夏季风研究能够更深一步,本文回顾了近年来关于东亚夏季风的研究进展,指出今后急需进一步研究的问题。

2 东亚夏季风系统的平均结构及其与印度季风系统的异同

南亚季风和东亚季风形成世界上最强的季风系统,因此,许多学者认为他们同属一个季风系统。然而,最近我国许多研究表明:这两个季风系统有许多不同特征,东亚夏季风既有热带季风的部分,又有副热带季风的部分,而印度季风属热带季风。东亚夏季风的平均结构在许多方面与印度夏季风不同。

2.1 东亚夏季风系统的组成及其与印度季风系统的异同

根据 Krishnamurti 的研究^[7],印度季风系统的主要组成部分包括:在低空有南半

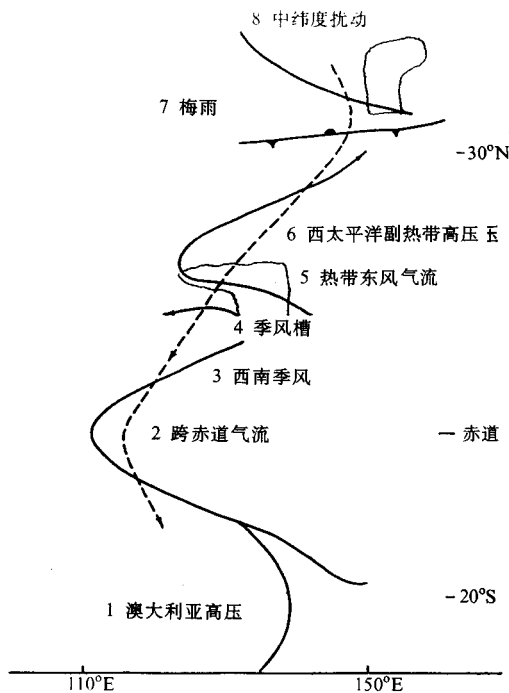


图1 东亚夏季风系统成员的配置(引自文献^[1])

球的马斯克林高压、索马里低空越赤道气流、位于印度北部的季风槽,在高空有南亚高压以及高空自北半球向南半球的越赤道气流。而根据陶诗言和陈隆勋的研究^[1],东亚夏季风系统的成员。如图1所示,它包括:印度的西南季风气流、澳大利亚的冷性反气旋、沿100°E以东的越赤道气流、南海和赤道西太平洋的季风槽(或ITCZ)、西太平洋副高和赤道东风气流、梅雨锋以及中纬度的扰动。因此,东亚夏季风是一个与印度季风环流系统相对独立的环流系统,它不仅受到印度西南季风气流的影响,而且还受到副热带高压和中纬度扰动系统的影响。研究还表明,东亚季风系统成员在东亚的分布偏北或偏南就会引起我国江淮流域、朝鲜半岛和日本的干旱或洪涝^[8]。

2.2 东亚夏季风的经向环流

因为青藏高原位于印度季风区北部和东亚季风的西部,所以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。在东亚季风区的初夏,气流越过中纬度可到达华南,季风槽(ITCZ)位于15°N,那里对流活动剧烈,并且盛行强的上升运动;由于季风槽所导致的对流层上层强的辐散作用,在15°N上空产生了向北及向赤道的经向气流;由于科氏力效应,向赤道流的经向环流可形成东风急流(在15°N到10°N);并且我国的梅雨锋区(日本的Baiu,朝鲜半岛的Changma区)同样有强的对流活动,并导致强上升运动;与前面所述相同,由于在此区域的上升运动,在东亚季风区对流层上

层形成向南和向北的经向环流; 这样从 ITCZ 区域来的向北气流与从梅雨锋区来的向南气流相辐合, 在 25°N 上空形成下沉运动, 这个下沉运动对副热带高压的形成和维持有重要作用^[6]。

王东兴和陶诗言的研究^[9]表明: 强弱夏季风其经向环流有明显不同, 东亚夏季风强, 其经向环流强, 而东亚季风弱, 其经向环流弱。

2.3 东亚夏季风区水汽输送特征及其与印度季风的差别

根据黄荣辉、张振洲和黄刚的研究^[10], 夏季东亚季风区的水汽分布特征与印度季风区有很大差别。由于印度季风区水汽分布比较均匀, 东西和南北梯度均比较小; 而东亚季风区水汽分布却很不均匀, 南北梯度很大。因此, 在东亚季风区水汽的辐合辐散主要是由于湿度平流所造成; 而印度季风区水汽的辐合辐散主要是由于风场的辐合辐散所造成的。并且, 印度季风夏季水汽输送特征是以纬向输送为主要, 经向输送很小; 而东亚季风区夏季水汽输送特征是水汽经向输送很大。

2.4 梅雨锋的性质

关于我国江淮流域的梅雨锋以及日本的 Baiu 锋的特征, 研究表明: 梅雨锋是准静止锋, 在梅雨锋上有强的对流活动和强降水系统^[11,12], 并且它与低空急流以及强的湿度梯度相联系。研究还表明了梅雨锋是一种多尺度系统, 它包括了行星尺度、天气尺度系统以及中、小尺度系统^[13], 在梅雨季节, 不管中国、日本还是韩国其夏季大量降水均与梅雨锋上中尺度扰动紧密相关。

东亚夏季的旱涝灾害是与梅雨锋紧密相关, 梅雨锋的形成和维持不仅受到印度西南气流和西太平洋副高的西部东南气流的影响, 而且也受到中纬度西风带气流的影响, 因此, 梅雨锋带是一个强水汽辐合带, 也是对流活动多发带^[14]。

虽然, 从锋系分布, 我国江淮流域的梅雨锋与日本的 Baiu, 朝鲜半岛的 Changma 是一个系统, 但是, 不管从大尺度还是从中尺度角度来看, 我江淮流域的梅雨锋结构都与日本的 Baiu 锋以及朝鲜半岛的 Changma 锋不同^[15~17]。在梅雨锋成熟的阶段, 江淮流域低层的南风分量比日本和韩国南部均强得多, 而且, 在江淮梅雨锋区, 湿度明显高于韩国和日本。

梅雨锋是东亚夏季风降水的主要雨带, 它的强弱直接影响着东亚季风区的洪涝与干旱灾害的发生。陶诗言和陈隆勋的研究^[11]表明了, 在印度季风强的夏季, 东亚季风的梅雨锋往往弱, 甚至有的年份发生空梅。

从以上的分析可以看到, 东亚夏季风与印度夏季风同属于亚洲季风系统, 但东亚夏季风与印度夏季风无论从成员、结构与水汽输送、降水具有不同特征。因此, 东亚夏季风与印度夏季风是既有相互联系, 又具有不同特征相对独立的两个亚洲季风子系统。

3 东亚夏季风的年际和季内变化及其机制

正如上面所述, 由于东亚夏季风不仅受到印度季风的影响, 而且还受到西太平洋副热带高压的影响, 因此, 东亚夏季风的年际和季内变化是很大的且很复杂。

3.1 东亚夏季风的年际变率及其成因

东亚夏季风的年际变化是很大的, 并且东亚夏季的旱涝气候灾害发生频率高, 尤其

在从长江流域、淮河流域与韩国南部到日本南部的地区。最近许多研究表明了东亚夏季风降水有明显的准两年周期振荡，特别在江淮流域、黄河流域和华北地区^[18~20]。

关于东亚夏季风变化的原因，以前许多研究强调青藏高原的热力作用并指出了青藏高原的热力异常对亚洲夏季风变异有很大的影响^[21~25]。

许多观测事实已表明，热带西太平洋是世界海表温度最高海域，被称为“暖池”。因为暖池有高的海表温度，所以，这里海-气相互作用相当强烈，而且，由于“暖池”海域处于 Walker 环流的上升支，因此，水汽的强烈辐合导致强的对流活动和大量降水^[26,27]。许多学者研究表明了暖池上空的对流活动对东亚夏季风的年际变化起着重要作用^[28~31]，黄荣辉和孙凤英^[32,33]从观测资料和动力理论分析，对于暖池热状态及菲律宾附近的对流活动对东亚夏季风环流年际异常的影响进行了系统的研究。这些研究表明：如图 2 所示，北半球夏季环流异常存在着一遥相关型，即，东亚-太平洋遥相关型（也称 EAP 型），Lau 和 Shen^[19]把这个遥相关型称作东亚-北美型。这个遥相关型表明了行星尺度扰动波列在北半球夏季能够从东南亚通过东亚向北美西部沿岸传播，它严重地影响着东亚夏季风的年际变化与旱涝发生。黄荣辉和卢理^[30]、Nikaido^[34]利用数值模拟证实了这种北半球东亚-太平洋遥相关型是与热带西太平洋对流活动有关，并且表明了菲律宾周围对流活动强时，EAP 遥相关型较显著。

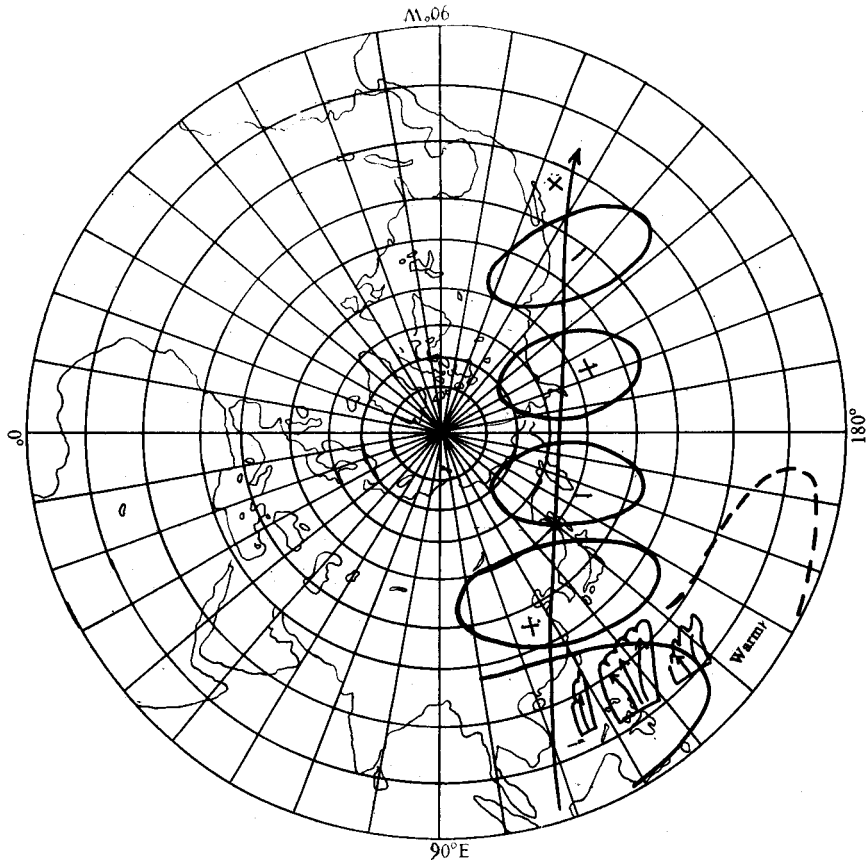


图 2 北半球夏季东亚-太平洋型大气环流异常遥相关的示意图

ENSO 循环是热带最引人注目的现象, 许多研究表明了 ENSO 循环严重影响亚洲季风活动^[35~37], 并指出了在 El Niño 年印度夏季风常常偏弱。符淙斌和滕星林^[38]以及黄荣辉和吴仪芳^[39]也指出了东亚夏季风降水异常可能与 ENSO 循环的阶段有关。黄荣辉和吴仪芳^[39]的研究还表明: 在 ENSO 发展阶段, 正如图 3a 所示, 在我国江淮流域、日本南部和韩国常常出现洪涝灾害, 而华北容易出现干旱。例如, 在 1980、1982/1983、1986/1987、1991 年夏季, 江淮流域出现严重的洪涝, 而华北地区, 特别是河套地区却出现干旱; 相反, 在 ENSO 衰减阶段, 如图 3b 所示, 我国的江淮流域、日本南部和韩国易出现干旱, 而我国华北的降水可能正常或偏多, 例如, 1981、1985、1988 和 1994 年夏季。张人禾等^[40]也指出, ENSO 循环的阶段对东亚季风环流有很大影响。

亚洲季风年际变化还受到欧亚积雪以及海陆热力差异的影响。Hahn 和 Shukla^[41], Dickson^[42]研究了印度季风降水和欧亚积雪的关系, 研究表明了这两者之间有相反的关系, 并且 Khandekar^[43]应用更新的资料也证实此种关系。陈烈庭等^[44,45], 韦志刚和罗四维^[46]的研究表明了青藏高原冬春季积雪影响着长江流域中、下游初夏的降水。

从以上研究进展可以看到, 东亚夏季风年际变化是与西太平洋暖池热状态及其菲律宾周围上空对流活动、ENSO 循环的不同阶段以及欧亚大陆和青藏高原的积雪有关。当然, 东亚冬季风的强弱也直接影响着夏季风^[47,48]。

3.2 东亚夏季风的季内变化及其成因

从气候平均状况来说, 东亚夏季风雨带在 5 月到 6 月上旬一般位于长江流域以南; 在 6 月中旬很快地北跳, 并位于江淮流域、朝鲜半岛和日本, 这就是我国梅雨季节的开始, 即朝鲜半岛的 Changma 与日本的 Baiu 季节的开始; 在 7 月中、下旬雨带又一次北跳到华北, 即江淮流域梅雨季节结束, 华北与东北的雨季开始。显然, 雨带的北移是与西太平洋副高的北跳有关。叶笃正和陶诗言等^[49]首先发现东亚夏季风环流在 6 月上、中旬存在着突变, 并指出正是这种行星尺度环流的突变才导致东亚夏季风的爆发。之后, Krishnamuti 和 Ramanathan^[50], McBride^[51]也指出了印度夏季风和澳大利亚夏季风也存在着突变现象。黄荣辉等^[52]、黄荣辉和孙凤英^[53]指出: 西太平洋副高异常北跳, 东亚夏季风环流的突变是与菲律宾附近的对流活动密切相关, 在菲律宾附近对流活动强的夏季, 西太平洋副热带高压在 6 月上、中旬突然北跳明显, 并且东亚夏季降水在江淮流域、朝鲜半岛和日本可能偏少; 相反, 在菲律宾附近对流活动弱的夏季, 西太平洋副热带高压突跳往往不明显, 在江淮流域、朝鲜半岛和日本夏季风降水可能偏多。

关于东亚夏季风和菲律宾周围对流活动之间的关系及其物理机制, 黄荣辉和孙凤英^[32,33]的研究表明: 暖池区北部的热力结构, 菲律宾周围上空对流活动、西太平洋副高与东亚夏季风之间有密切关系。如图 4a 所示, 当暖池的 SST 偏高, 暖海水在西太平洋暖池区堆积, 且有一冷舌从秘鲁沿岸沿赤道东太平洋向西扩展, 这样造成从中印半岛到菲律宾以东地区对流活动活跃, 西太平洋副热带高压位置异常偏北, 因此, 东亚地区夏季降水则偏少, 尤其在我国的江淮流域、朝鲜半岛和日本等地区, 往往发生干旱; 相反, 如图 4b 所示, 当暖池海表温度偏低, 从暖池沿赤道西太平洋有暖海水向东扩展, 这样造成菲律宾的对流活动弱, 而在日期变更线附近赤道中太平洋对流活动加强, 西太平洋副热带高压偏南, 因此, 东亚地区夏季降水往往偏多, 尤其是在我国的江淮流域、

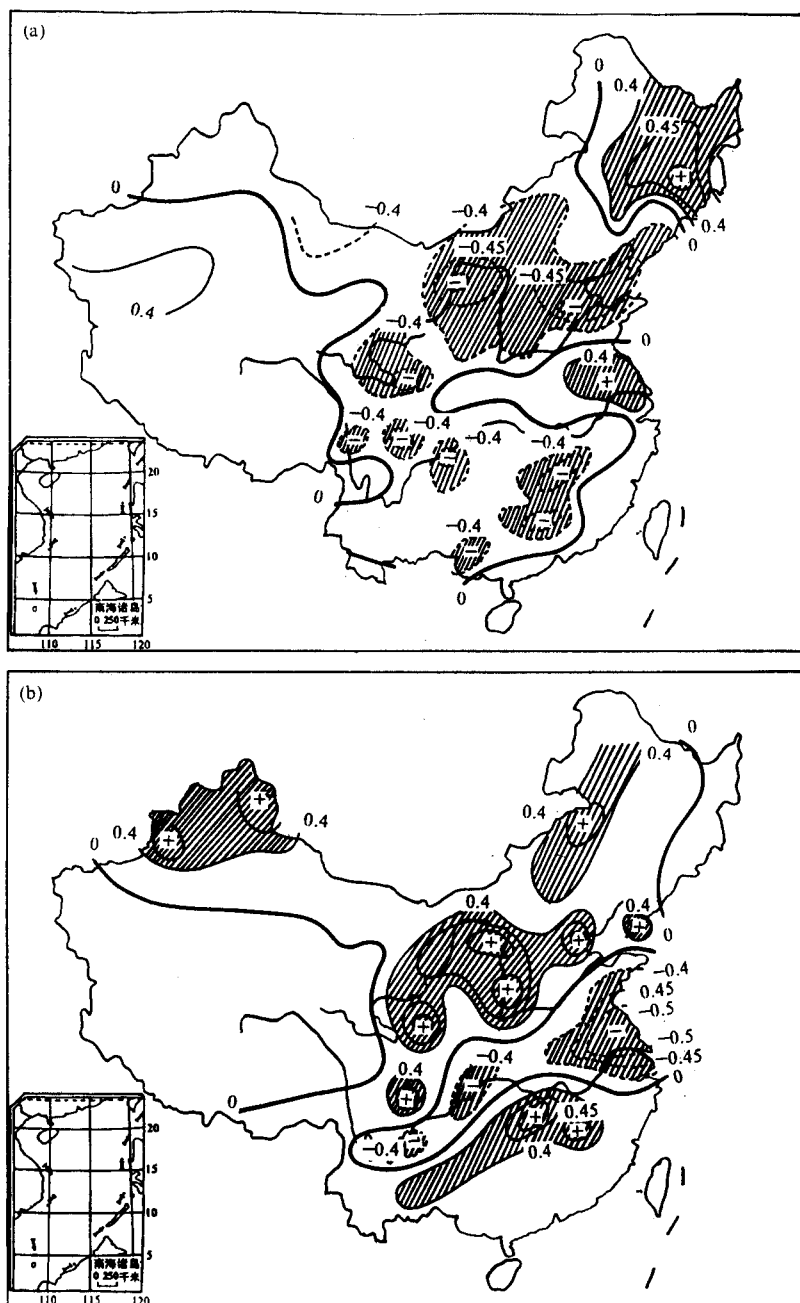


图3 ENSO不同阶段,我国夏季降水与赤道东太平洋SST的相关系数分布图
(a) ENSO处于发展阶段; (b) ENSO处于衰减阶段

韩国和日本南部可能发生严重的洪涝灾害。

许多学者研究指出,热带西太平洋海温及其上空对流活动影响着东亚夏季风环流的季内变化可能是通过30~60天低频振荡。孙安健和黄荣辉^[54]、李崇银^[55]的研究表明了

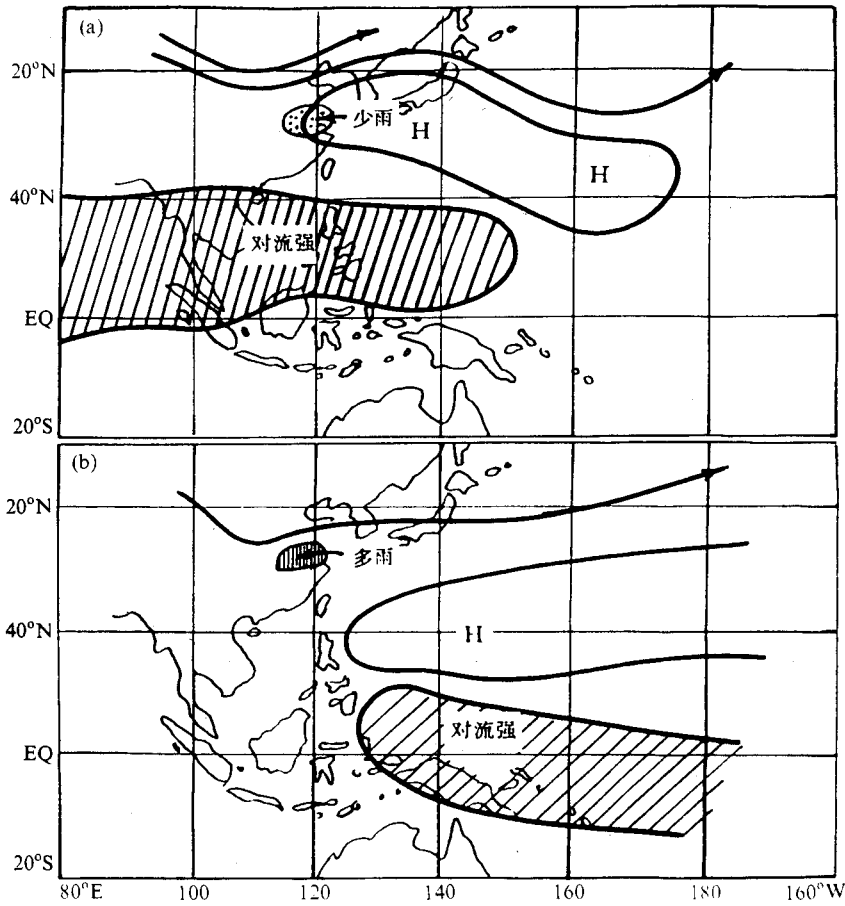


图 4 夏季热带西太平洋海温、菲律宾周围的对流活动、西太平洋副热带高压、东亚降水之间的关系
 (a) 西太平洋暖池 SST 处于暖的状态; (b) 西太平洋暖池 SST 处于冷的状态

东亚夏季风的季节内变化是与 30~60 天低频振荡有关; 并且, 黄荣辉的研究表明: 东亚夏季风的低频振荡可能与热带西太平洋和中纬度地区的 30~60 天低频振荡向东亚季风区传播有关^[56]。

4 东亚季风在全球气候变化中的作用

最近的研究表明, 亚洲季风和 ENSO 循环之间的相互作用是很明显的, 通过诊断和模拟研究也揭示了亚洲夏季风活动的变化对赤道太平洋的大气-海洋耦合系统有明显作用, Yamagata 和 Matsumoto^[57]、Yasunari^[58,59]等也指出弱(强)亚洲夏季风可能导致大气-海洋系统的异常, 有利于 El Niño (非 El Niño 或 La Niña) 现象在赤道东太平洋的发生, 这些研究强调了印度季风对赤道中、东太平洋增温的作用。黄荣辉等^[60~62]从观测资料分析, 指出东亚夏季风的异常可能对 ENSO 事件的产生起着重要的作用, 如图 5 所示, 赤道西太平洋上空西风异常对赤道东太平洋的 El Niño 事件的形成

有重要的动力作用，赤道西太平洋的西风异常的产生不仅来自南亚季风区，而且也来自东亚季风区，东亚季风区的西风异常通过 EU 型遥相关，从东亚季风区低层向南传播，导致了赤道西太平洋的西风异常。

李崇银深入地研究了东亚冬季风对赤道太平洋 ENSO 事件的触发作用^[63,64]，他指出东亚强冬季风将带来频繁的强寒潮，使赤道西太平洋的对流活动加强，对流活动将加强赤道西太平洋上空大气 30~60 天振荡，低频振荡的加强能够触发 ENSO 事件的发生。

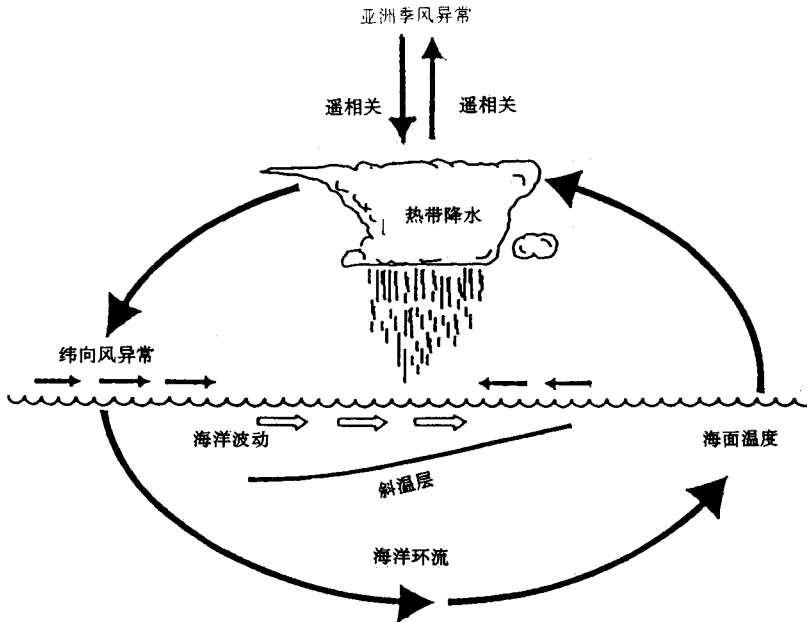


图 5 亚洲季风与 ENSO 循环相互作用的概念图

5 东亚夏季风的模拟和可预报性

最近大气环流模式(GCM)和气候数值模式研究进展导致亚洲季风的模拟和预测取得初步成功^[65]。曾庆存等^[66]已成功地模拟出东亚季风环流从冬到夏的突变现象；黄荣辉和卢理^[30]、黄荣辉和孙凤英^[32]等使用 IAP-GCM 模式成功地模拟了西太平洋暖池北部的热力变化对东亚夏季风的影响，并且成功地模拟了影响东亚夏季风环流异常的北半球夏季遥相关型 EAP (东亚、太平洋型)，Nikaidou^[34]利用 MRI-GCM 也成功地模拟出 EAP 型。除此以外，还有许多研究利用大气环流数值模式很好地模拟青藏高原对亚洲季风变化的动力和热力作用以及陆面的雪盖、反照率和土壤湿度方面对东亚夏季风的影响^[67~69]。

然而，近几年来利用 GCM 或气候模式来模拟亚洲季风的降水一直没有实质性的提高^[70]，所有的 GCM 模拟季风环流系统不仅在区域尺度，而且在行星尺度都存在着系统性误差，这些误差敏感于西太平洋暖池表面热通量，热带和季风区的对流活动以及

陆面过程的计算方案^[71]。黄荣辉、陈文和成安宁^[72]指出, 东亚夏季风降水和环流的模拟结果对积云参数化方案非常敏感, 利用不同积云对流参数化方案, 夏季风环流与降水的模拟结果是非常不同的。

由于东亚季风的年际和季内变化是相当复杂的, 直到现在, 在中国、日本、韩国等国家, 夏季风降水的季度预测中还广泛地应用经验和统计预报的方法^[73~75]。这些方法的预测准确率不稳定, 许多科学家正在花大力气研究旱涝数值预测方法。曾庆存等^[76]首先对东亚夏季风降水季度预测作尝试, 其结果是令人振奋的; 紧接着, 曾庆存等^[77]和黄荣辉等^[78]分别利用 IAP-耦合 GCM 和滤波方案的 IAP-GCM 对东亚夏季风降水的季度预测作了一系列预测试验。这些结果都显示出 GCM 或是耦合气候模式可能是东亚夏季风降水一种有效的预测方法。

关于东亚夏季风变化的可预性研究, 由于它不仅要搞清楚东亚夏季风的变化规律、成因和物理因子, 而且要设计好描述东亚夏季风变化的数值模式, 并且, 这些模式不仅要准确地描述大气、海洋过程, 而且要准确地描述陆面过程, 因此, 东亚夏季风年际变化的可预性研究是一个很艰巨的研究课题。

6 关于东亚夏季风研究中亟待进一步研究的问题

综上所述, 这几年来关于东亚夏季风变化与成因研究取得重大进展, 但是, 关于东亚夏季风研究中还有许多问题仍不清楚, 亟待进一步研究。

(1) 关于季风指数: 季风指数是衡量季风强弱的一个标准, 这是研究季风年际变化所必需的。目前关于亚洲季风指数有两种定义: 一种从热力学要素出发, 如陶诗言和陈隆勋^[6]从季风降水的多寡来定义季风强弱指数, 涂长望、黄仕松^[5]从季风区的 θ_{se} 来定义季风强弱指数; Murakami 和 Matsumoto^[79]从 OLR 来定义季风强弱指数; 另一种从动力学要素出发, 如 Webster 和 Yang^[80]、曾庆存等^[81]从季风区的高低空纬向风的分布来定义季风强弱指数。这些季风定义各有优缺点, 前者定义易受局地的影响, 而后者更适合于南亚季风。由于东亚季风与南亚季风有所不同, 往往在南亚季风强的夏季, 东亚降水偏少, 并且东亚季风经向风分量较大, 从纬向风分量来定义东亚夏季风的强度不一定合适。因此, 如何从热力学与动力学相结合来定义一个适合于东亚季风的季风指数是当前亟待进一步研究的问题。

(2) 关于季风活动与大气季节内振荡的相互作用: 正如在第 3 节中所述, 许多研究都表明了热带与中纬度地区的低频振荡对于东亚夏季风有着重要影响, 而东亚夏季风的活动(包括季风的爆发、活跃及中断)对大气季内振荡也有影响, 它们之间相互作用迄今还很不清楚, 因此, 关于季风活动与大气季内振荡相互作用的研究也是一个重要的问题。这也是 CLIVAR 计划重要内容之一。

(3) 关于季风系统内动力过程: 季风系统内部有很复杂的动力、热力过程, 季风系统包含着不同空间尺度与不同时间尺度的系统, 它们之间的相互作用对于季风活动有着重要影响; 并且, 季风环流的动力稳定性对于季风活动与维持也有重要作用, 然而, 关于这个问题目前研究还不多, 因此, 关于季风系统内动力过程应进一步深入研究。

(4) 关于季风与 ENSO 循环的相互作用: ENSO 循环不同的阶段影响着东亚夏季

风环流与降水,但是它通过什么物理过程,至今还不清楚;并且东亚季风影响着 ENSO 事件的发生,东亚季风通过低频振荡的传播或是什么物理过程使得赤道西、中太平洋上空产生西风异常。这些问题必须从观测资料分析、动力理论和数值模拟进一步详细地进行研究。

(5) 关于东亚夏季风的模拟与可预报性: 究竟什么原因导致东亚夏季风的降水的模拟与观测事实之间存在着很大的差异,这可能是由于以下几个原因造成的: 第一,东亚夏季风系统是多尺度系统且各尺度系统之间的相互作用不清楚,从而造成难于设计出适合于东亚季风区的对流参数化方案; 第二,东亚季风区陆地表面的雪盖、反照率和水循环等过程仍很不清楚,从而在模式中陆面过程很不准确; 第三,热带西太平洋的海表热通量和积云对流参数化方案还有待于进一步改进。因此,很有必要采取一些加密观测试验,以便详细了解东亚季风系统的多尺度特性,东亚季风区的能量和水分平衡以及热带西太平洋的海-气相互作用等。为了更深入地了解这些,从 1995 年以后, WCRP 制定了全球能量和水分循环试验 (GEWEX), 并且 GEWEX 亚洲季风试验 (GAME) 被认为是 GEWEX 的主要部分。通过 GAME 计划,我们将有可能确定亚洲季风在全球气候系统的重要性,提出更好的积云参数化方案和陆面过程的描述,建立一个较好的大气-海洋-陆面耦合模式来模拟东亚季风的变化。

(6) 关于东亚季风的年代际变化: 观测表明了东亚季风有很大的年代际变化,但其成因至今还不清楚,研究也很少; 并且,如前所述,模拟和预测东亚季风的年际以及年代际变化仍是很困难的课题。为此,国际上已制定了气候变率和可预报性研究计划 (CLIVAR), 此计划将持续 15 年。季风系统年际以及十年尺度变化的研究将成为 CLIVAR 的主要研究目标。我们可以相信,经过 CLIVAR 计划的研究,东亚夏季风年代际变化的研究将有可能取得一定进展。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyun and Chen Longxun, 1985, The East Asian summer monsoon, Proceedings of International Conference on Monsoon in the Far East, Tokyo, Nov. 5-8, 1985, 1~11.
- 2 Ding Yihui, 1994, *Monsoons over China*, Kluwer Academic Publishers, 550pp.
- 3 Yasunari, T. and Y. Seki, 1992, Role of the Asian monsoon on the interannual variability of the global climate system, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 179~189.
- 4 竺可桢, 1934, 东南季风与中国之雨量, *地理学报*, **1**(1), 1~27.
- 5 涂长望、黄仕松, 1944, 夏季风进退, *气象杂志*, **18**, 1~20.
- 6 Tao Shiyun and Chen Longxun, 1987, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Edited by C. P. Cheng and T. N. Krishnamurti, Oxford University Press, 60~92.
- 7 Krishnamurti, T. N., 1982, *Tropical Meteorology*, WMO Publications, Geneva.
- 8 陶诗言、朱文妹、赵卫, 1988, 论梅雨的年际变异, *大气科学(特刊)*, 13~21.
- 9 王兴东, 陶诗言, 1984, 南海跨赤道气流的结构, *海洋学报*, **6**, 160~173.
- 10 黄荣辉、张振洲、黄刚、任保华, 1997, 夏季风东亚水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别, *大气科学*, **22**(4), 460~469.
- 11 Ninomiya, K., 1984, Characteristics of the Baiu front as a predominant subtropical front in summer northern hemisphere, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 880~894.
- 12 Ninomiya, K. 1985, Characteristics of Baiu front and Baiu-frontal disturbances, Proceedings of International Conferences on Monsoon in the Far East, Tokyo, Nov. 5-8, 1985, 77~83.
- 13 Ninomiya, K. and T. Akiyama, 1992, Multi-scale features of Baiu, the summer monsoon over Japan and the

- East Asia, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 467~495.
- 14 Ninomiya, K., 1989, Cloud distribution over East Asia during Baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 639~658.
 - 15 Kato, K., 1989, Seasonal transition of the lower-level circulation systems and East Asian June 500 mb height, *Papers of Meteor. and Geophys.*, **40**, 51~54.
 - 16 Ding Yihui, 1992, Summer monsoon rainfalls in China, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 373~396.
 - 17 Lu Riyu and Y. S. Chung, 1995, Interannual variations of the precipitation in Korea and the comparison with those in China and Japan, *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, **4**, 345~356.
 - 18 缪锦海、刘家铭, 1990, 东亚季风降水的年际变化, *应用气象*, **1**, 377~382.
 - 19 Lau, K. M. and S. H. Shen, 1992, Biennial oscillation associated with the East Asian summer monsoon and tropical sea surface temperature. *Climate Variability*, Edited by Ye Duzheng et al., Beijing, China Meteorological Press, 53~58.
 - 20 殷宝玉、王莲英、黄荣辉, 1996, 东亚夏季风降水的准两年振荡及其可能的物理机制, “灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 196~205.
 - 21 叶笃正、高由禧, 1979, 青藏高原气象学, 北京: 科学出版社, 279pp.
 - 22 Nitta, Ts., 1983, Observational study of heat sources over the eastern Tibetan Plateau during the summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 590~605.
 - 23 Luo, H. B. and M. Yanai, 1984, The large-scale circulation and heat sources over the Tibetan Plateau and surrounding areas during the early summer of 1979, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 1849~1853.
 - 24 Huang Ronghui, 1984, The characteristics of the forced planetary wave propagations in the summer Northern Hemisphere, *Adv. Atmos. Sci.*, **1**, 85~94.
 - 25 Huang Ronghui, 1985, Numerical simulation of the three-dimensional teleconnections in the summer circulation over the Northern Hemisphere, *Adv. Atmos. Sci.*, **2**, 81~92.
 - 26 Cornejo-Garrido, A. G. and P. H. Stone, 1977, On the heat balance of the Walker circulation, *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1155~1162.
 - 27 Hartmann, D., H. Hendon and R. A. Houze, 1984, Some implications of the meso-scale circulations in tropical cloud cluster for large-scale dynamics and climate, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 113~121.
 - 28 Nitta, Ts. 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 373~390.
 - 29 Huang Ronghui and Li Weijing, 1987, Influence of the heat source anomaly over the tropical western Pacific on the subtropical high over East Asia, Proceedings of the International Conference on the General Circulation of East Asia, Chengdu, April 10-15, 1987, 40~51.
 - 30 Huang Ronghui and Lu Li, 1989, Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific, *Adv. Atmos. Sci.*, **6**, 202~214.
 - 31 Kurihara, K., 1989, A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western northern Pacific, *Geophys. Mag.*, **43**, 45~104.
 - 32 Huang Ronghui and Sun Fengyin, 1992, Impact of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**(1), (B), 243~256.
 - 33 黄荣辉、孙凤英, 1994, 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响, *大气科学*, **18**(2), 141~151.
 - 34 Nikaido, Y., 1989, The P-J like north-south oscillation — found in 4-month integration of the global spectral model T42, *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 587~604.
 - 35 Mooley, D. and B. Parthasarathy, 1983, Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation feature, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 967~978.
 - 36 Rassmussen, E. M. and T. Carpenter, 1983, The relationship between eastern equatorial sea surface temperature and rainfall over India and Sri Lanka, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 517~527.
 - 37 Khandekar, M. L., and V. R. Neralla, 1984, On the relationship between the sea surface temperature in the equatorial Pacific and the Indian monsoon rainfall, *Geophys. Res. Lett.*, **11**, 1137~1140.
 - 38 符淙斌、滕星林, 1988, ENSO与中国夏季气候的关系, *大气科学(特刊)*, 133~141.
 - 39 Huang Ronghui and Wu Yifang, 1989, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanisms, *Adv. Atmos. Sci.*, **6**, 21~32.

- 40 Zhang Renhe., A. Sumi and M. Kimoto, 1996, Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86 / 87 and 91 / 92 events, *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 49~62.
- 41 Hahn, D. J. and J. Shukla. 1976, An apparent relationship between snow cover and the Indian monsoon rainfall, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 2461~2462.
- 42 Dickinson, R. R., 1984, Eurasian snow cover versus Indian rainfall — An extension of the Hahn-Skukla results, *J. Clim. Appl. Meteor.*, **23**, 171~173.
- 43 Khandekar, M. L., 1991: Eurasian snow cover, Indian monsoon and El Niño / Southern Oscillation — a synthesis, *Atmos. Ocean*, **29**, 636~647.
- 44 陈烈庭、阎志新, 1979, 青藏高原冬春积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响, 中长期水文气象预报文集 I, 北京: 水利电力出版社, 185~195.
- 45 陈烈庭、阎志新, 1981, 青藏高原冬春异常雪盖影响初夏季风的统计分析, 中长期水文气象预报文集 II, 北京: 水利电力出版社, 133~141.
- 46 韦志刚、罗四维, 1996, 中国西部积雪对我国汛期降水的影响, “灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 137~140.
- 47 孙淑清、孙伯民, 1996, 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系, “灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 40~45.
- 48 孙伯民、孙淑清, 1996, 海温在东亚冬季风影响江淮流域旱涝中的作用, “灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 40~45.
- 49 Yeh, T. C. (Ye Duzheng), Tao Shiyan and Li Maicun, 1959, The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October, *Atmosphere and the Sea in Motion*, 249~267.
- 50 Krishnamurti, T. N. and Y. Kamanathan, 1982, Sensitivity of monsoon onset to differential heating, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 1290~1306.
- 51 McBride, J. J., 1987, The Australian summer monsoon, *Monsoon Meteorology*, Edited by C. P. Chang and T. N. Krishnamurti, Oxford University Press, 203~232.
- 52 Huang Ronghui, B. Y. Yin and A. D. Liu, 1992, Intraseasonal variability of the East Asian summer monsoon and its association with the convective activities in the tropical western Pacific, *Climate Variability*, Edited by Ye Duzheng et al., Beijing, China Meteorological Press, 134~155.
- 53 黄荣辉、孙凤英, 1994, 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响, 大气科学, **18**(4), 456~465.
- 54 孙安健、黄荣辉, 1994, 1983与1985年夏季北半球500 hPa高度场大气低频波的振荡特征, 大气科学, **18**(5), 576~585.
- 55 李崇银, 1996, 江淮流域的汛期降水与热带大气季节内振荡的活动, “灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 67~71.
- 56 Huang Ronghui 1994: Interaction between the 30-60 day oscillation, the Walker circulation and the convective activities in the tropical western Pacific and their relations to the interannual oscillation, *Adv. Atmos. Sci.*, **11**, 367~384.
- 57 Yamagata, T. and Y. Matsumoto, 1989, A simple ocean-atmosphere coupled model for the origin of a warm El Niño / Southern Oscillation event, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, **329**, 225~236.
- 58 Yasunari, T., 1990, Impact of Indian monsoon on the coupled atmosphere / ocean systems in the tropical Pacific, *Meteor. & Atmos. Phys.*, **44**, 29~41.
- 59 Yasunari, T., 1991, The monsoon year — a new concept of the climatic year in the tropics, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **72**, 1331~1338.
- 60 黄荣辉、吴仪芳, 1992, 关于ENSO循环动力学研究, 海洋环流研讨会论文集, 曾庆存等编, 北京: 海洋出版社, 41~51.
- 61 黄荣辉、傅云飞, 1996, 关于ENSO循环动力学研究的若干进展与问题, “灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, II. 灾害性气候的过程及诊断, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 172~188.
- 62 黄荣辉、傅云飞、臧晓云, 1996, 亚洲季风与ENSO循环的相互作用, 气候与环境研究, **1**(1), 38~54.
- 63 李崇银, 1988, 频繁强东亚大槽活动与El Niño的发生, 中国科学 (B辑), 667~674.
- 64 Li Chongyin 1990, Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events, *Adv. Atmos. Sci.*, **7**, 36~46.
- 65 Palmer, T. N., et al., 1992, Modelling of interannual variations of summer monsoon, *J. Climate*, **5**, 399~417.
- 66 曾庆存、梁信忠、张明华, 1988, 季风和大气环流季节突变的数值模拟, 大气科学 (特刊), 22~42.

- 67 Yasunari, T., A. Kitoh and T. Tokioka, 1991, Local and remote response to excessive snow mass over Eurasia appearing in the Northern spring and summer climate—A study with the MRI-GCM-1, *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 474~487.
- 68 Kuo, H. L. and Y. F. Qian, 1982, Numerical simulation of the development of mean monsoon circulation in July, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1879~1897.
- 69 吴国雄、薛纪善、王在志、刘辉、刘安国、赵宇澄, 1995, 青藏高原化雪迟早的辐射效应对季节变化的影响, *甘肃气象*, **13**(11), 1~8.
- 70 Gadgil, S. and G. Asha, 1992, Intraseasonal variation of the summer monsoon, I Observational aspects, *J. Meteor. Soc. Japan*, **70**, 517~527.
- 71 WMO, 1992, Simulation of Interannual and Intraseasonal Monsoon Variability, WMO/TD. No.47.
- 72 Huang Ronghui, Chen Wen and Cheng Anning, 1996, Influence of different cumulus parameterization schemes on the numerical simulation of the East Asian Monsoon, Proceedings of the Third Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate, Chuangli, May 16-18, 1996, 165~171.
- 73 黄荣辉等, 1990, 综合长期预报方法及对旱涝季度与超季度预报试验, *大气科学*, **14**(1), 26~31.
- 74 Kurihara, K., 1985, Relationship between the surface air temperature in Japan and sea water temperature in the western tropical Pacific during summer, *Tenki (天气)*, **36**, 281~289.
- 75 Moon, S. E., 1996, On the possibility of long-range forecasts of Changma in Korea, Proceedings of International Symposium for Climate and Global Environmental Change, Beijing, August 7-9, 1996, 63~64.
- 76 曾庆存等, 1990, 跨季度气候距平数值预测试验, *大气科学*, **14**(1), 10~25.
- 77 Zeng Qingcun, 1994, Experiments of seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation, Proc. International Conference on Monsoon Variability and Predictability, Trieste, May 9-13, 1994, 452~459.
- 78 黄荣辉、陈金中、陆日宇、刘爱娣, 1996, 滤波在旱涝季度数值预测中的作用, “灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”项目论文集, III. 灾害性气候的模拟与预测, 黄荣辉等编, 北京: 气象出版社, 55~64.
- 79 Murakami, T. and J. Matsumoto, 1994, Summer monsoon over the Asian continent and western north Pacific, *J. Meteor. Soc. Japan*, **72**, 745~791.
- 80 Webster, P. J. and S. Yang, 1992, Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **118**, 877~926.
- 81 Zeng Qingcun, Zhang Banglin, Liang Youlin and Zhao Sixiong, 1994, East Asian summer monsoon—a case study, *Proc. Indian Nation. Sci. Acad.*, **60**(1), 81~96.

Advances and Problems Needed for Further Investigation in the Studies of the East Asian Summer Monsoon

Huang Ronghui and Huang Gang

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

Ren Baohua

(Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract Advances of the recent studies on the features of construction, interannual and intraseasonal variations of the East Asian summer monsoon and their causes are reviewed. Moreover, results of the most new studies on simulation and predictability of the East Asian summer monsoon are also reviewed; particularly, the difference of the characteristics between the East Asian summer monsoon and the Indian summer monsoon, and the effect of ENSO cycle, the western Pacific warm pool and the Tibetan Plateau on the interannual and intraseasonal variations of the East Asian summer monsoon are systematically reviewed. Besides, the problems needed for further studies on the variability of East Asian summer monsoon and its simulation and prediction are put forward.

Key words East Asian summer monsoon interannual variation intraseasonal variation ENSO cycle