

进一步发展我国长期天气预报和气候预测的研究

陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文综述了国外长期天气预报和气候预测研究的进展和发展趋势，我国在这方面的研究进展和存在的问题，并对今后我国开展研究的重点提出了自己的建议。

近几十年来，由于频繁发生全球大气环流异常，导致世界许多地区严重的干旱与洪涝、寒冬与酷暑，严重地影响到人类生产和生活的各个方面。尤其是干旱引起土地沙漠化问题，更是当代世界（包括我国）面临的一个十分严重和紧迫的问题。另外，人类的活动，例如大量消耗能源造成大气中 CO_2 和气溶胶大量增长，开发荒地和河流改道等，对长期天气和气候变化可能的影响，也不能不令人关注。一系列长期天气和气候研究计划相继提出和实施。1979年，国际科联（ICSU）和世界气象组织（WMO）共同提出的世界气候研究计划（WCRP）是目前正在进行的规模最大的一个国际合作研究计划。其目的是要加深对几周到几十年时间尺度的气候变动的物理过程和物理机制的认识，寻求作出几个月到几年的气候变动的预报途径，弄清 CO_2 的增加对长期气候变化的影响等。为期 10 年（1985—1995）的热带海洋-全球大气研究计划（TOGA）和季风气候试验计划（MCE），是 WCRP 的重要组成部分。许多国家为实施这些计划还制定了具体的研究计划。鉴于热带太平洋海-气相互作用对我国天气气候年际变化的要重性，中国科学院和国家海洋局也制定了与 TOGA 相应的研究计划。并于 1985 年底到 1986 年初派出海洋考察船，分别在西太平洋菲律宾海域和赤道太平洋进行了第一次现场综合研究。所以，近十多年来，从野外试验到具体的研究发展很快，取得不少成绩。有关的国

际性学术讨论会也非常频繁，发表的文章特别多。目前这个问题已是地学研究中一个十分活跃的课题。人们预料，最近一、二十年内在某些领域获得突破性的进展是完全可能的。

本文仅就个人肤浅的了解和认识，对国外有关研究的进展和发展趋势，我国研究的进展和存在问题，以及今后开展研究等方面，提出点滴不成熟的看法。

一、国外研究的进展和发展趋势

近一、二十年来，在长期天气和短期气候变化的研究方面，包括观测研究和理论研究，基本上是围绕着两个基本问题：一个是大气特别是低频大气本身的结构和变化的问题；另一个是大气和下垫面的相互作用，包括海-气和地-气相互作用、地形对气流的作用和大范围云的状态的作用等问题。

1. 低频大气的研究

长期天气和气候变化，要着重抓那些空间尺度大、尤其是时间尺度长的大气过程。也就是应研究超长波和驻波的演变过程，或所谓大气中的低频振动过程。然而，实际大气中包括有各种不同时空尺度的运动，它们相互掺杂在一起。为了使大尺度运动的特征能够反映得更清楚，有必要把我们暂不感兴趣的运动去掉。近十多年来，随着观测资料大量增加，特别是电子计算机和滤波技术在气象中广泛应用，发现了许多有关各种频率带大气的基本结构、演变规律的新观测事实，对其形成和变化的物理机制和物理过程也有

了进一步的了解，是长期天气预报和气候研究极有成就的一个方面。

Wallace等(1981)用冬季的月距平资料，详细地研究了北半球中高纬的各种遥相关。除证实早期 Walker 总结的北大西洋涛动和北太平洋涛动客观存在外，还确定了一些新的遥相关模型(见图1)。它们都是地理位置固定的驻波的振荡。其中“太平洋北美型(PNA)”和“欧亚型(EU)”冬季年际变化非常明显，对北美和东亚的长期天气预报有重要意义。

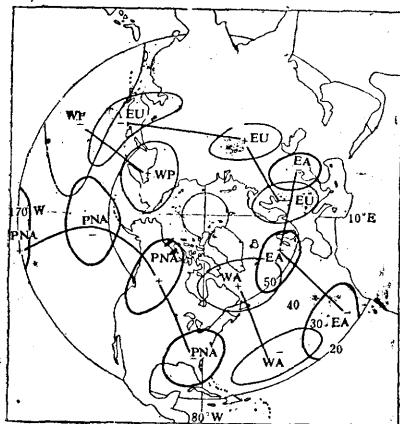


图1 遥相关型示意图

图中 PNA: 太平洋北美型, WA: 大西洋西部型, EA: 大西洋东部型, EU: 欧亚型, WP: 太平洋西部型

陈烈庭和 Reiter 利用多年逐日平均的北半球 500hPa 高度资料，对各网格点的时间序列逐个进行谐波分析，得到了年波和半年波变化的空间结构：年波的特征是东西向驻波型；半年波的特征为一些南北向的偶极型，也是驻波性质。它们都是地理位置相对稳定的振动。北太平洋和北大西洋上偶极型的空间结构和时间变化与 Walker 的北太平洋涛动和北大西洋涛动非常相似。此外，上述欧亚型在半年波的结构上也有很好反映(见图2)。这可能说明，这些遥相关型是大气半年振动的结果。初步分析还表明，它们与北大西洋和北太平洋海温有密切关系。

Blackmon 等(1984)用冬季一天二次的 500hPa 高度资料，通过各种滤波器和单

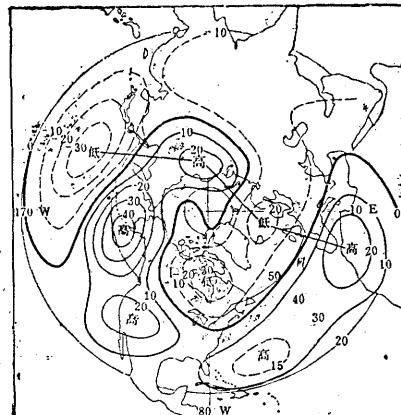


图2 北半球 500hPa 高度半年周期变化的空间结构

点相关图，分析了各种不同时间尺度变化的水平结构和时间演变的特征。指出，长期(≥ 30 天)变化的结构与上述 Wallace 等的各种遥相关型一样。这些模型有很强的地区性，在海洋上为南北向的偶极结构，在北美和欧亚为东西向弧形的驻波结构。它们与冬季基本气流的正压不稳定产生的快速增长的特征波动很相似。中期(10—30天)变化的结构表现为沿地球大弧排列的波列，波长约为 8000km。它们源于急流入口区，之后逐渐向东南弯曲穿过急流进入热带。其时间演变与 Rossby 波的频散很相似。短期(2.5—6天)变化的特征为一些东西向的波列，波长约为 4000km。它们沿气候基本气流向东传播，传播速率与 700hPa 引导气流速度相当，具有斜压波的性质。所以，不同时间尺度的变化，不仅空间结构各异，而且其动力特性也是不同的。这些结果，为更深入理解大气环流的物理本质奠定了基础。

在理论研究方面，Simmons 等(1982)曾用非线性模式模拟了冬季大气环流的遥相关。另外，黄荣辉和 Gambo(1983)指出行星波在实际基本气流中的三维传播存在两支波导，解释了大气环流遥相关的物理机制。

2. 海-地-气相互作用的研究

长期天气过程的基本特征除时空尺度之外，就是它的非绝热性。因此，下垫面(包括海洋和陆地)冷热源强度和分布持久的异

常，对长期天气过程的发展有重要意义。可以说下垫面是供给大气运动能量的“储存器”和“调节器”。这类工作最有成就的当属热带海-气相互作用的研究。

60年代，Bjerknes (1966、1969) 研究热带太平洋海温异常对大气环流的影响，在资料稀少的情况下，第一个成功地揭露了南方涛动与东赤道太平洋暖水的基本关系。并指出赤道太平洋中、东部海温异常，不仅具有明显的局地效应，直接影响那里的降水和云量，而且与中纬度的天气气候有更长时期的遥相关。他的工作为后来热带海-气相互作用研究的大发展奠定了基础。

近二十年来，国外气象和海洋学界从天气、动力和数值试验各个方面，对热带海-气相互作用特别在发生“厄尼诺”的时期的海-气相互作用问题进行了大量分析和讨论。

Philander (1982) 把南方涛动为低指数、同时赤道太平洋东部为高海温的位相看作独立事件，称之为“厄尼诺/南方涛动(简称 ENSO)”。他分析了 1950 年以来所有 ENSO 事件发展的时空特征，概括成“前兆”、“异常情况增长”和“恢复正常状态”三个位相。并讨论了各位相形成和变化的物理原因，及其与中纬度的遥相关(见图 3)。

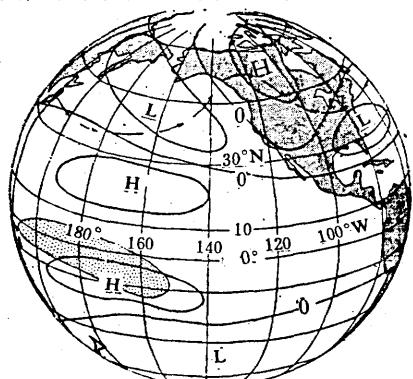


图 3 ENSO 与温带的遥相关模型

箭头表示发源于热带的二维波列沿大圆环路经传播；H 和 L 分别表示 5km 高度附近等压面异常偏高或偏低，中太平洋阴影区为降水增加的区域

符淙斌和 Fletcher (1985) 注意到 1982—1983 年“厄尼诺”期间海温的变化与经典的模型有明显不同。通过对 1963 年以来

6 个“厄尼诺”年的再分析，发现赤道太平洋“厄尼诺”期间增温存在两种型式，即东部型和西部型。并指出不同的增温型式与中纬度的遥相关可能也不一样。

目前，“厄尼诺”现象已成为人们心目中预兆世界性天气气候异常最有效的信号。因此，“厄尼诺”的预报问题，必是未来这方面研究的一个中心课题。其途径可能是：一方面通过在赤道太平洋进行现场综合研究，捕捉“厄尼诺”的早期信号；另一方面加强“厄尼诺”预报模式的研制。

关于“厄尼诺”时期的大气环流和海洋环流数值模拟的研究，近年来也有进展。例如美国地球流体力学实验室 (GFDL) 的 Lau 和 Oort，用 1962—1976 年赤道太平洋的实际海温，逐月模拟热带大气对海温变化的响应。就宏观来看，这 15 年的结果与实际观测都很相似。另一方面，GFDL 的 Philander 模拟“厄尼诺”期间海洋对大气的响应，成功地重现了全部海洋特征。所有这些工作为进一步建立海-气联合模式奠定了基础。

热带大气对海温变化的响应和海洋对大气的响应是相辅相成的两个问题。解决这些问题不仅可以进一步明确长期天气和气候可预报性的问题，而且可以解释目前预报业务上常用的规律，使预报建立在更为坚实的物理基础上。所以，既有实际预报价值又有理论意义，估计这些问题今后仍然是这方面研究最前沿的课题。

二、国内研究的进展和存在问题

近十几年来，我国在长期天气预报和气候预测的研究方面，有比较迅速的发展。某些方面取得了一些具有国际水平的研究成果。

1. 大气环流方面

(1) 通过对形成我国不同地区大范围持久性旱涝和低温等的北半球同期和前期环流特征的大量分析，对大气环流异常状态及其演变规律有了比较深刻的认识。为我国旱涝和低温等的长期预报提供了有实用价值的依据和预报方法。

(2) 进一步加深了对西太平洋副热带高压、南亚高压和极涡等一些重要天气系统活动规律的认识，探讨了它们对我国旱涝、低温和台风活动等的影响。并发现这些系统的发展与其它地区环流的变化存在着遥相关。

(3) 研究了我国历年季风活动的特点、形成和变动的物理原因，及季风活动异常与我国旱涝的关系。

(4) 认识到南半球环流和平流层环流对我国天气气候影响的重要性，并获得很好的研究成果。

(5) 采用各种滤波技术，重视低频大气的研究已在开展，有初步研究成果。

不足之处是大多工作还只停留于前后期大气环流之间或大气环流与异常天气现象之间的统计联系，忽略了进一步对长期天气演变过程进行诊断分析和理论研究。

2. 海-气相互作用方面

(1) 我国早在 50 年代就开始研究海温与旱涝和东亚气候的关系，指出西北太平洋海温对日本和我国长江流域的旱涝有重要影响。70 年代初以来，随着海洋资料不断增多，这方面的研究有比较迅速的发展。不但对西北太平洋，而且对赤道太平洋以及印度洋和大西洋也作了许多分析和研究。揭露出来的大量事实证实了海洋热力作用对东亚大气环流和我国天气气候的重要性。目前，利用海温作长期预报，已成为我国气象和水文部门主要方法之一。

(2) 对太平洋副热带高压与赤道太平洋东部海温多年演变的关系，相互影响和制约的过程，及其时空变化的特征，作了系统的分析和讨论。不仅为预报副高活动提供了新的依据，而且对副高与赤道太平洋海温相互作用的物理本质也有比较清楚的认识。

(3) 研究了“南方涛动”和“厄尼诺”的特征、演变规律、形成和变化的机制，以及它们影响我国汛期降水的物理过程。指出赤道太平洋上空的平均纬向和经向垂直环流，是联系东太平洋赤道地区海温和西太平

洋副高以及我国汛期降水的重要环节。

(4) 从动力学和热力学角度对海-气之间的耦合振荡进行了研究，增进了对一些长期天气过程的年周期性活动的了解。

我国在海-气相互作用方面的研究取得不少成果，有些是比较突出的，在国际气象和海洋界有一定地位。但是，总的来说，相应的动力学和数值模拟的研究工作做得太少，许多工作仍停留在表面现象的联系或假说，未能深入事物的本质。严重地影响了我国这方面研究的深入发展。

3. 地-气相互作用方面

(1) 我国对青藏高原的研究，在国际上具有突出的贡献。早在 50 年代就指出夏季青藏高原是北半球一个强大的热源，不仅对东亚环流而且对整个北半球环流有相当大的影响。近年来，进一步揭示了高原上热源的年际变化对东亚环流和我国天气气候的年际变化有重要作用。并发现一些与高原冷热源作用有关的新的观测事实。

(2) 分析了青藏高原冬春季异常积雪对大气环流可能产生的反馈作用，及其与我国某些地区降水的联系。指出它不仅对当时高原及其邻近地区的温压场有重要影响，而且对后期初夏季风和我国的天气气候有更长时期的效应。

(3) 利用缓变媒质中波的传播理论和数值试验，研究了夏季青藏高原的异常热源对北半球大气环流异常的作用，得到与实际资料一致的结果。

4. 开展了极冰、云量、地温和一些非大气物理因子，如地球自转速度变化、地极移动和太阳系的状态，对天气气候变化影响的研究。

5. 数理统计学长期天气预报方法的研究有较大发展，而且在业务预报中得到广泛应用。在统计与物理、统计与动力结合方面，也有初步结果。

6. 我国长期数值预报的研究已迈出了可喜的一步，各种预报方案正在试验中。但这

方面的研究仍然是比较薄弱，有待加强。

三、对今后我国开展研究的几点建议

1. 我国是世界上最著名的季风气候区，具有独特的天气气候特点。季风的进退同我国雨季的起迄和雨带的移动，有非常密切的关系。季风强度和来去时间的异常，往往可能造成我国一些地区严重的旱涝现象。因此，季风问题应放到重要的地位。不仅要了解各季风成员的结构、瞬时变化规律（包括季节变化、年际变化和突变等），及其与全球的联系（特别是同赤道太平洋 ENSO 的联系），而且还要研究它们形成、维持（包括中断）和崩溃的物理机制和物理过程，特别是季风异常及其对我国天气气候影响的物理机制和物理过程。没有这些研究，要想做好我国长期天气预报和气候预测，几乎是不可能的。

2. 我国许多工作证明，冬夏之间隔季相关是长期天气过程的一个重要规律。很多天气谚语也反映了它的存在。这一规律目前在我国实际预报中使用非常普遍。然而，由于人们对它的研究还很不够，预报效果时好时差。隔季相关是低频大气半年振动最好的证据，也说明冬夏季风之间存在某种内在联系。我们应当从观测研究和理论研究方面进一步探讨其物理本质，研究其空间结构、随时间变化的规律、成因和预报方法，使隔季相关预报方法建立在物理基础上，使预报准确率提高到一个新的水平。并可能形成有中国特色的长期天气预报方法。

3. 长期天气和气候变化过程及其物理成因的研究，应是今后我们这方面研究的重点。大地形和热源的影响有明显的季节性和地区性。对我国来说，青藏高原和三大洋（太平洋、印度洋和大西洋）冬春季的热状况是很重要的冷热源。在长期天气发展过程中，它们占有突出地位，是两个不可偏废的重要方面。不了解青藏高原和三大洋热力、动力特

性的变异及其对东亚季风环流形成、维持和突变作用的物理机制和物理过程，要想做好长期天气预报和气候预测，也几乎是不可能的。

4. 到目前为止，虽然大家在探索长期天气和气候变化的物理原因方面做了大量工作，但大部分工作，特别是观测研究方面的工作，只是分析不同地区个别的物理因子单一的作用和机制。这作为研究的第一步是必要的，也是可行的。但用于实际预报还不一定可靠，尽管它是有物理基础的因子。大气是一个不可分割的整体，不同地区的大气是相互影响的。因此，任何地区的天气气候将受来自全球各区物理因子不同程度的影响。所以，我们还必须进一步研究各物理因子间相互的关系，以及各因子对总体变化相对的贡献。只有这样，才能逐步对整个地球大气全部机制建立起一个总体的概念。从而可以作出较正确的预报。

5. 发展长期天气预报和气候预测，数值试验和理论研究与观测研究一样是非常重要的。然而，目前我国在理论研究方面还是一个薄弱环节。我们知道，观测研究可以为数值试验模式的设计和检验提供必要的依据，是数值试验发展的基础；而数值试验不仅在于模拟现象，更重要的可以由此了解现象产生和维持的机制，和它演化的内在的物理过程，从而证明观测研究的物理图象是否正确，指导进一步的观测研究，把问题引向深入。观测研究和数值试验与理论研究的关系也基本如此。因此，它们三者是相辅相成、缺一不可的工作。我们必须大力充实和发展理论工作的力量，使我国长期天气预报和气候预测的研究尽快赶上世界先进水平。

另外，全球资料的收集、整理和出版是一项十分重要的基础性工作，希望气象局资料部门能及时整编出版，提供有关单位使用。