

天气数值预报浅谈(四)

长期天气数值预报的若干问题

范 远 荣

一、引 言

10—15天以上的天气预报，通常称为长期天气预报。国内外发布长期天气预报已有很长的时间了，但到目前为止，使用的方法基本上是一些预报经验和统计方法，预报准确率很低。为什么长期天气预报的准确率至今仍然很低呢？问题的关键是对长期天气过程的规律认识不够。短期预报自1950年以来由经验方法发展到数值预报方法，准确率有了显著提高。特别是对一些在过去几乎是不可能预报的大范围气压场和风场的转折过程，目前在许多情况下已能掌握。这就很自然地唤起人们一个想法，即对长期天气是否也能搞数值预报呢？这个问题早在五十年代初期，美国的恰尼、奥本亥姆就提出来了，而苏联的布林诺娃更早从1943年就开始了这方面的探索，她不考虑非绝热作用，用正压线性涡度方程做了五年多的实际长期业务预报。至1958年巴格诺夫检查了这种方法所作的预报，发现比气候预报的准确率还低。所以说，布林诺娃的长期数值预报，也和里恰逊的短期数值预报一样，是以失败告终的。但是我们不能“以成败论英雄”。他们失败的经验，给予后来人很多有益的教训和启示。布林诺娃的失败，使人们对长期天气预报的非绝热性，有了更深刻的认识。

二、长期天气预报的非绝热性

由于摩擦不断消耗大气的动能，据估计如果没有能量的补充，则现有大气的能量在一个星期左右的时间就会耗散光。大气运动的根本能量来自太阳辐射，但是，大气直接吸收到的太阳辐射并不多。大部分太阳辐射都为地表所吸收，然后通过长波辐射、感热（湍流热交换）和潜热释放给予大气。所以大气运动的能量可以说直接来源于地表。大气的运动是处在不断从地表获得能量，同时通过摩擦耗散掉的过程中。如果说在做短期预报时，可以忽略掉大气中实际存在的这种加热和摩擦过程，将大气运动近似地看成是绝热的、无摩擦的，那么，对长期预报是不能允许的。现在大家公认长期天气过程最根本的物理特征是非绝热性，即外部对大气的热作用是长期变化的基本原因。从这种观点看来，布林诺娃曾做过的那种长期数值预报的失败是很自然的。而热作用过程的复杂性带来了长期天气变化物理机制的复杂性。

大气的加热场主要取决于辐射、湍流、凝结，它们都是和小尺度的运动有关的，如果在研究长期的大尺度运动时，将这些小尺度运动也统统引入，势必使问题十分复杂化，而抓不住主要矛盾，使问题难以解决。现在人们企图用大尺度运动的变量来考虑这些过

程总的统计影响，这被称为参数化的办法。这种办法还有许多工作要做。

关于湍流的描述研究得很早，结果是取决于温度场分布的状况和表示湍流强弱的湍流交换系数。辐射过程分为短波辐射和长波辐射，其描述原是极为复杂的。不过对长期预报而言，似乎用不着那么精细，可以采取简化的方法，只要仍能抓住实际过程的主要方面。1973年郭晓岚对大气中长波辐射的传播得出很简单的描写公式，即相当于一个湍流扩散过程和牛顿冷却过程。用这个方法得到的地面气温日变化的理论结果和实际观测结果颇为符合。凝结潜热的描写是最困难的问题，特别是对长期预报。考虑到水汽资料的缺乏和观测误差太大，加上水汽相变物理过程的引进，会使问题大大复杂。通常认为潜热的释放取决于上升运动的分布，而对大尺度运动来说，垂直运动的分布和温压场的分布是紧密联系的。

总之，利用参数化的办法可以得到表征大气加热场的数学公式，这对建立长期数值预报模式是很关键的一步。对长期预报而言可以认定大气是静力和地转的，这样水平风场和垂直速度场都取决于大气的温压场。这样一来，可以说大气的加热场是取决于地表面的温度场和大气温压场本身（至少近似的是这样）。也就是说对应于地表面的一定的温度场和大气温压场，相应的有一定的加热场。

大气在一定的加热场作用下，按照动力—热力学规律而运动，运动的结果使温压场发生改变。由于大气加热场是依赖于大气温压场的，所以大气加热场又发生了改变。由此可见，大气温压场和大气加热场是处在相互作用的不断变动之中，这种相互作用的不断变动遵循什么规律呢？

三、加热场和温压场的相互调整适应

大气温压场和加热场的相互作用过程是很复杂的，如果把各种因素同时加以考虑，会使人如入迷宫之中。现在可以通过一些理想情况来分析研究。

如果认定一个定常的加热场，在不考虑非线性的平流作用时，则不难证明，温压场将趋于定常状态，这时在加热的区域有上升运动，冷却的区域有下沉运动，加热场的效用为垂直运动的效用所抵消，温度场保持不变。垂直运动造成的水平辐散形成了风场。这一过程可以看成是温压场向加热场适应。在考虑非线性平流作用后，场不再是定常的了。虽然如此，数值试验表明，一个适当时段的平均温压场将趋于一种定常状态。如果我们考虑的不是瞬时场，而正是这种平均场的话，这也表明存在着温压场向加热场的适应过程。

但是大气中的加热场是和温压场的分布有关的，即使在地表面温度场不随时间改变的情况下，随着温

压场的变化，加热场也会发生改变。加热场不随时间改变的假定是过于脱离实际的。现在假设地表面的温度场不随时间改变，那么如不考虑非线性的平流作用，则也趋向于一个定常状态，这表明温压场和加热场的一个相互适应过程。非线性的平流作用使场不定常，但如不考虑瞬时场，而考虑一段适当时段的平均场的话，则这种平均场也将是定常的。

问题在于地表面的温度场是受地气界面上的热量平衡所制约的，不宜假设为不变量。下面一种理想化的模型将有助于我们认识的加深，我们设想大气在定常的太阳辐射作用下（即略去地球公转而造成太阳入射角随时间的年变化，认为此入射角不随时间改变）而下垫面是不能储存热量的，这种理想模型，如不考虑非线性作用，则在太阳辐射加热作用下的大气运动，最终将趋于一种定常状态。非线性作用使运动不再定常，但这里非线性是一种平流作用，天气图上系统的移动主要是这种作用造成的。其特征时间为2—3天，是短期的天气过程。如果我们考虑的是一段适当时间的平均状态，这段时间大到足以平滑（或过滤）掉短期天气过程（如月平均状况），那么，对于上述理想模型而言，则上述平均状况将趋于一种不随时问改变的情况，这时，相应的大气温压场、加热场、地表面的温度场的平均状态一定，相互满足一定的关系。这表明大气中存在着温压场向加热场调整适应的过程，这种过程的特定时间是多少呢？数值试验表明为一个多月。从上述理想模型可以看出，既然，太阳入射角不随时间改变和下垫面不能储存能量时，发生大气温压场和加热场的相互调整适应过程，在适应以后，大气平均状况将不随时间改变。由此可见，大气平均状态随时间的变化是与太阳入射角随时间的变化（或者说达到大气上界的太阳短波辐射随时间的变化）以及下垫面的能量储放有关的。太阳入射角的变化，主要形成了大气环流的年变，而大气环流的正常年变不是长期预报的对象。至于太阳的变化所引起的辐射改变对大气环流的影响，国内外的看法很不一致。但是至少这一点是可以肯定的，就是即使太阳辐射不变，由于下垫面能量储放起作用，也足以造成观测到的这种长期天气变化。

大气温压场和加热场之间的影响关系并非单向性的，反过来，大气温压场的变化又会改变下垫面的热力特征，两者之间是什么在起调节作用呢？

四、地（海）气联合系统

大气的能量直接来源于下垫面，而下垫面的能量则来自太阳的短波辐射。什么东西可以遮断向下的热辐射把定常的太阳辐射热通量改变成在空间和时间上不均匀分布的大气热流入量呢？这就是云，云量的不均匀造成下垫面不均匀增温，形成不均匀的加热场，

加热场引起大气运动的改变，而大气运动（主要是垂直运动）的改变又导致云量的增长和消散，这表明云量是具有反馈作用的调节器。

云量的作用可以做如下简单设想，假使开始时，下垫面储存了较多的热量并给予大气以增强的加热，这时在大气中上升运动加强并造成云量的增加。云量遮断了太阳辐射时，出现太阳热通量的负距平，于是下垫面得到的热量少于它给予大气的热量而冷却，并开始使大气冷却，这样在大气中就产生下沉运动，且云开始消散。而在云量减少的情况下，下垫面的加热将增强，从而恢复到我们开始所假设的条件，这样整个过程将重复。因此，由于云的存在和下垫面能够储放热量，大气的运动将产生振荡。

莫宁、巢纪平等用简单的线性模式研究了这种大气运动，从理论上确定了系统的周期，在典型的条件下，这个周期为数月。

云并不是唯一的具有反馈作用的调节器。海洋的洋流也是有这种重要作用的。近十多年来，很多人注意到，海洋表层（几百米深）的温度在月与月之间或年与年之间有很大变化，但比气温变化慢得多，据估计只有气温变化的 $1/10$ ，适宜于作为长期预报因子。而海温与大气过程的相关已揭露出许多事实。从物理上看，在海洋上空形成的云系，如果云量低于气候标准，则能使较多的太阳辐射通过，于是水的表层被强烈加热。海洋表层所蓄的热能部分以长波辐射形式释放，继而加热大气。另一部分热量通过垂直湍流交换传输到海洋的下层达几百米的深度。和大陆不同，海水是流动的介质，和空气一样，海水处于不停的流动之中，海水的大规模流动即海洋环流简称洋流。被加热的水可以被洋流输送到其他地方，有时竟输送到很遥远的地方，并在那里把热量传递给大气，造成看来很突然的天气变化。而洋流的情况取决于什么呢？据近代海洋学的研究，大洋表层的海流主要是由于紧贴海面的空气流即风，以在海面上切线力的形式胁迫海水作水平运动而发生的。所以洋流的状况强烈地受大气环流状况的影响，反过来它又影响大气环流，由此可见，洋流和云一样是具有反馈作用的调节器。

世界的海洋是一个整体，大洋表层由风吹所引起的流动势必出现某海域减水，而他海域则增水。据海水的连续性知道，就势必出现上升流和下降流，从而形成垂直环流，以调剂减水和增水，这样也会影响海温。沿岸的地形阻挡作用又使洋流更加复杂化。和大气环流一样，需要用数学物理的方法描写海洋环流。在长期预报的理论中有必要同时混合研究这两种环流，把海洋环流和大气环流作为一个整体，海洋对大气的影响主要是热力的，大气对海洋的影响主要是动

力的。

综上所述，可见长期天气的变化是在太阳一大气—地球下垫面（陆地和海洋）的相互制约和矛盾斗争中形成的，而下垫面的能量储放起了最主要的作用，云量和海洋则是重要的具有反馈作用的调节器。长期数值预报应该将地（海）气作为一个统一的系统，全力抓住这样一些与短期预报不同的主要矛盾和矛盾的主要方面。

五、下垫面的能量储放和环流的历史演变

从物理的观点看来，下垫面的能量储放对长期天气过程有重大的作用，结果在做实际预报时，就需要掌握整个地球表面（约一二百米厚度的所谓活动层）的热力状况，而目前却缺乏这种观测，已有的少量资料，不仅精度不高，还不易收集。另一方面，广大预报员多年来在长期预报的业务实践中，主要是研究大气环流前后演变的规律及其对以后长期天气的影响，在这方面得出了不少反映了较深刻的规律性的经验法则。数值预报把问题提成古典的初值问题，要求用一个瞬时的大气温压场和下垫面热状况的资料，而预报员在实践中从发展的角度看问题，用环流历史演变的资料。可见，长期数值预报也应该吸取预报员的实践经验，并把它作为设计模式的依据。其实，下垫面热力特征的异常是由前期和同时期大气环流造成的，它蕴含在环流的历史演变之中。最近有人用数学方法论证了大气温压场的连续演变和下垫面热状况的等价性，使得现在缺少的下垫面热状况的资料，可以用现有的大气温压场的连续演变的资料来代替，充分利用已有的资料，避免用现在缺乏的资料，乃是一个多快好省的做法。从理论上讲，在环流的历史演变中形成了下垫面的一定的热状况，这一一定的热状况就是大气环流之所以会有前后演变的规律的物理基础，这表明依据下垫面热状况和依据环流的历史演变规律在物理上是并不矛盾的。从实践上说，由此得到了一个考虑了地气系统反馈，即云和洋流的影响和青藏高原大地形作用的用环流报环流的动力统计相结合的长期数值预报模式。这个模式不仅考虑了空间，而且考虑了时间，这样既注意了大气垂直结构，也注意了天气历史的演变。将此模式投入实际业务预报，不再会遇到缺乏或难以及时获得做预报所必须的实况资料等技术性困难。

六、年变上的小扰动

大气能量的根本来源是太阳辐射。由于地球绕日公转和地轴的倾斜，地球上单位面积所接受的太阳辐射有个年变化，由此造成了气象场的年变化。年变化

虽然是最显著的变化，但不是长期预报问题。因为正常年变可由实况历史观测资料得知，是气候问题，不是预报问题。长期预报的对象是正常年变上的小扰动（距平）。

大气环流的数值试验实际上是研究正常年变的物理成因，20多年来做了大量的工作，取得了很大的进展，但至今仍然未能圆满地解决这个问题。大气环流的研究无疑地增加了我们对长期天气过程的知识，有助于长期数值预报的建立，但也应该看到它和长期数值预报毕竟不是一回事。

由于在长期预报的业务实践中对月平均500mb的高度距平的变化规律已发现不少统计事实，所以，直接研究距平便于将预报员的预报经验吸收到预报中来。

七、长期天气运动的确定性与随机性

动量守恒定律、质量守恒定律和能量守恒定律是物质运动所遵循的普遍规律。由这些物理定律导出的大气动力学方程描写了各种时-空尺度的大气运动，自然也包括长期天气运动，所以说这种运动具有遵循物理定律或满足微分方程的确定性的一面，这一点是不用怀疑的。但是大量的用统计方法研究长期天气运动的结果表明，它确实存在统计规律性，这表明长期天气运动又有随机性的一面。迄今，对长期天气预报的研究，用统计方法已经作了不少工作，动力方法的研究也有进展，如国内已经提出了长期数值预报模式。动力方法侧重于考虑问题的确定性的一面，统计方法侧重考虑问题的随机性的一面，自然会想到，研究长期天气预报宜于将两种方法结合起来，这种途径可

以有三种：第一种是，在统计预报中，选进一些有明显物理意义的动力因子和预报量进行相关分析；第二种是，在动力模式中从统计的角度使用实况资料，改进模式的性能；第三种是建立描写长期天气运动的随机微分方程（或随机动力模式）。目前开展工作比较多的是第一种，取得了肯定的结果。前面已经指出，对长期天气运动来说，加热场的作用是很重要的。因此，在统计预报中如果也能选取加热场作为预报因子是很有意义的。当然，这里首先要求有好的方法根据实况资料算出大范围历史上加热场分布。第二种途径也有人探索，比如在长期数值预报模式中包含了一些物理参数（如湍流交换系数，辐射系数，热导系数等等），这应该是一类可变参数，其数值如何选定是个困难问题。现在提出用实况资料统计决定这些参数，大大避免了主观性，也可能补充了纯动力模式的不足。这种工作正在试验之中。第三种途径也是很有希望的，因为用随机微分方程理论解决工程实际问题已有先例，比如带有某种随机作用的振动现象，可以用这种方法进行研究，它是将随机作用考虑为一种随机强迫力引入振动方程，然后求问题的解。在研究长期天气预报问题时，怎样反映某种随机因素，以及如何将这种随机因素合适的引入动力预报模式，这些都是亟待研究解决的问题。

长期天气过程问题复杂，至今没有较好的预报方法，预报准确率很低，困难确实不少，但是通过人们的不断实践，其存在问题已逐渐暴露，困难的根源也开始明确。俗话说：“病怕无名”，当我们明白困难的根源时，会找到克服困难的办法的。