长期预报的一些物理因子

叶笃正

解放以来，在党和政府的关怀下，在工农业实际需要的推动下，我国的长期天气预报有了很大的发展。总结前段经验，可以说，方法的研究较多，而长期天气过程和它的物理原因的研究比较少。要提高长期天气预报的准确率，这方面的研究是不可少的。

影响长期天气过程的物理因子，也就是可以用于长期天气预报的物理因子很多。首先，长期天气过程的改变和维持需要大量的能量，如果大气的能源发生变化，大气运动状态也就有相应的变化。所以应该研究能源的变化和能源与长期天气过程的关系。其次，大气运动中存在时间尺度不同的变化周期趋势，从几十天至若干年。深入了解这些周期趋势的物理原因对长期天气预报是有好处的。即使不清楚它们的原因，只要能确定这种趋势是确实存在的，也就可以为长期天气预报所用。

本文将着重讨论第一个问题，顺带讨论第二个问题。

一、天气过程的时间和空间尺度问题

大气中存在着两种波动，一种是自由波动，一种是强迫波动。自由波动的能量来自大气内部，它没有外界强迫源。强迫波动则是外界强迫源引起的。大气运动的主要强迫源是海陆分布和地形。当然大气中没有一种纯粹的自由波动或纯粹的强迫波动，一般是混合的。但如果一种波动主要是受强迫源控制，则可称为强迫波动；如果一种波动主要是受大气内部动力控制，则可称为自由波动。这两种波动也是相互制约、相互转换的。一个波动在一定的时期内主要是受大气内部的动力控制，另一个时期则可能受强迫源控制。例如，在冬季一个长波槽自欧洲有规则地向亚洲移动，入海之后，突然加深。当它有规则地在大陆上移动的时候，它主要受大气内部动力控制，是个自由波。入海之后，受下垫面加热影响而加深，变为主要受强迫源的作用，在这个短时间内变为强迫波动。当它离开控制源之后，又可变为自由波动。

可以想象，大气中的强迫源虽有时间上的变化，但相对于大气里的主要天气系统（如长波）的变化或生命史，它的变化是非常缓慢的，可以认为是相对常定的。因此强迫源引起的强迫波动的变化也是非常缓慢的。

大气波动或系统的生命长度可以叫做它的时间尺度。由上面可以看出，大气中大型系统的自由波动的时间尺度一般要比强迫波动的时间尺度短。描写天气系统的另一特征量是它空间所占的范围，叫做空间尺度。天气系统的空间尺度和时间尺度大致有个比例。如晴天积云，它的空间尺度为若干公里，时间尺度为个把小时，雷暴达几十公里，时间为若干小时；气旋波为几百公里到二千公里，时间一般为两、三天；长波为几千公里，时间一般为五、六天；超长波为万公里以上，时间为十几天。这些系统主要受大气内部的动力控制，也就是自由波。由此可见，自由波的空间尺度越大，它的时间尺度也越长。

因此，在一段时间内，预报的时间越长，越该抓比较大的系统。然而空间尺度越大，它能给出的天气也越笼统。真正比较严重的天气（如暴雨）是中小系统造成的。所以要比较长时间地预报严重天气是比较困难的。不过，一般造成严重天气的中小系统多是在适宜的大形势背景下，亦即适宜的大系统下生成的。因此，如能弄清中小系统与大

系统的依赖关系，则在比较早报好大系统的情况下，也可估计这段时期内造成严重天气的中小系统是多或少。在这基础上再对较小系统作短期较具体的预报。

上述用于预报的时、空关系，只能用于一定时段内，因为空间尺度最大的超长波的生命史也不过十几天。超过这个时间限度的预报，如月以上的预报，则必须抓大气运动的周期趋势和控制大气运动的强迫源（当然要作好中、短期天气预报，也应注意强迫源）。要很好地应用周期趋势作长期天气预报，就要深入了解周期趋势的物理原因。但这是非常困难的问题。在它的成因未能弄清之前，可以用统计方法找出确实存在的大气运动周期趋势，以便用于长期天气预报。对于这个问题，本文不作更多的讨论。下面将着重讨论大气运动的能源问题。

二、大气运动的能源问题

以 10 米/秒代表大气的平均风速，全球大气动能为 2.55×10^{27}尔格。摩擦对大气动能的消耗率约为 3.7×10^{26} 尔格/日，一个星期左右就可以把它消耗干净。要维持平衡，每天要有同样巨大的能量转成大气动能。

设北半球大气运动状态从平均 8 米/秒变到 12 米/秒，它的动能变化约为 1.0×10^{27}尔格。这也是巨大的数字。

从这两个计算可以看出，如使大范围大气从一种状态变到另一种状态并要长时间维持，非有巨大的能源不可。所以要作好长期天气预报，应当注意足以长时期供应大范围大气运动能量的能源。大气运动的能量源泉来自太阳。如太阳活动有较长时期的变化，就会引起大气运动状态较长时期变化。如太阳黑子活动有平均 11 年的周期，不少天气现象也有类似的周期。所以有不少的人研究太阳活动与大气运动状态的关系。并用以做长期天气预报。

我们知道，即使太阳活动完全正常，但如吸收太阳能的物质状态发生变化（如云量变化），则输送给大气的能量也要变化。太阳能进入大气之后，约有20%被大气（包括云）吸收，32%被反射回到天空，其余的约48%被地球吸收。大气虽然吸收了不少的太阳辐射能，但它辐射（长波）出去的更多，两者的差额要从其他方面来补充。在吸收和支出能量的过程中，大气产生了斜压性。贮存在斜压之中的一部分能量（称为有效位能），可以释放出来供给大气运动之用。但这个能源仅够大气运动短期变化之用。大气长期变化所需要的能量必须来自大气以外的能源，也就是地球。

长时期供应大范围的大气运动状态演变的能源，要具有两个特性，才能作为长期天气预报的物理因子：第一，相对于大气来说，它的热容量要大得多，这样才可以把吸收的能量存起来，缓慢地放出，长期地影响大气运动，使大气在比较长时间内沿着比较一定的方向变化。第二，这个能源要有足够大的面积，才能影响大范围的大气运动。下面我们从这两个条件来讨论地球上可以作为长期大气运动的能源。

（1）海水

地球表面，海洋比陆地大三倍。但对大气运动状态影响来说，陆地面积也是够大的，海陆都能满足第二个条件。但陆地与海洋的热容量则相差非常悬殊。因为陆地比热很小，它白天吸热之后，地温立即升高；太阳辐射切断之后，夜间立即降温。这表示陆地不能保存热量。海洋则不然，它的质量约为空气的 250 倍，海水的比热约为空气的 4 倍，海洋的热容量约为空气的1,000倍，所以海洋的热惯性比空气大得多。海洋很小的热量变动，即可对大气有较大的影响。此外，海水流动有上下交换，表层海水吸热之后，可以通过交换方式输送到较深的水层贮存起来。同样，深水层的热量也可以输送到表面水层，释放出来影响大气运动。例如 50 米深的海水降温0.2℃，释放出的热量即可使整个大气升高约 6 ℃。所以海洋是大气运动的一个理想能源。要作好长期天气预报，应抓海洋对大气影响的研究。

（2）海冰

每克水变成冰时要放出约80卡的热量。设59°到60°纬度带为 1 米厚的海冰覆盖，它溶化成水时，约需 1.9×10^{20}卡的热量。如果热量完全来自一个半球的大气（当然相当大的一部分热量要来自海洋本身），则可使大气降温约 3 ℃。所以大范围海水结冰或融化时，可以影响大范围大气运动状态。冬季海水结冰，春季开始融化，它的作用也是长时期的。此外，被海冰覆盖的海域，一方面会减少海洋向空气输送的感热和潜热，另一方面也改变了海洋对太阳辐射的吸收，这都会影响大气运动状态。因此，海冰状况（结冰厚度，结冰范围和地区等）可以作为长期天气预报的一个因子。

（3）高纬度的冬季积雪

从热容量角度看，陆地虽然不是大气运动的一个能源，但是冬季高纬地区大面积的积雪，一方面会改变地面的热力性质（如反射率），从而影响大气的热量平衡；另一方面高纬度的冬季积雪要贮存到春季才开始融化，可以长期地影响大气运动状态。

（4）青藏高原

青藏高原（以下简称高原）对大气运动有两种强迫源的作用，一个是大地形的机械动力作用，另一个是冷热源的作用。作为地形，它是不变的，但对大气运动的影响则依大气运动本身的结构而变。如何用它作为长期预报因子，是个困难问题，本文暂不讨论它。

高原虽是陆地，但它在夏季是个巨大的热源。尤其是它耸立于对流层中部，对大气环流有特殊的影响。近年来在这方面已有不少的研究。作为热源，它的强度一方面决

定它的降水强度，另一方面也决定于它的地表物理性质，而地表物理性质则与冬季高原上积雪范围和厚度有关。冬季积雪情况不同，关系到春、夏季的化雪情况，影响到向高原大气吸收的热量也就不一样；同时融化量的变化也改变了高原上土壤含水量，因而也影响了夏季高原热源强度。

高原的面积虽比海洋小得多，但是它是世界上最大的高原，在东亚它占据相当大的面积，所以对东亚大气环流来说，它也是满足前面对热源所提的第二个条件的。

由于它对我国大部分地区的天气有特殊影响，我们在作长期天气预报时，对高原的影响要予以应有的注意。

由以上讨论可以看出，要做好长期天气预报，从能源角度看，要研究海气关系，海冰与高纬度积雪对大气环流的影响，在我国更应注意高原的作用。应当指出，除这些因子外，火山爆发的灰尘等也会改变大气对太阳辐射的吸收，从而影响大气运动的状态。

三、大范围较长时期的大气环流的异常问题

前面提到大气内部贮存的能量不足以供应大气长时期演变之用。但无论太阳直接给予大气的能量，被反射回天空的能量或到达地面的能量都受到大气运动状态本身的影响。如云多（少）、水汽含量多（少），大气吸收太阳辐射能也就多（少），反射回天空的辐射也多（少），因而到达地面的太阳辐射能就少（多）些。冬季海冰的多寡、高纬度积雪的多少和高原上积雪的多少等也直接与大气环流状态有关。所以大气能量本身虽然不能作为长期大气运动演变的能源，但大气运动状态则可以影响热源的强度。

除直接影响地面热源强度之外，大气环流与海洋环流相互关系更是重要的一环。设在某个海域上，长时期里气旋性环流异常活跃，通过摩擦和地转偏向力作用，它必将引起上层海水的辐散，于是深层较冷的海水上翻，降低上层海水的温度。反之，如果这个海域上长时期里反气旋环流异常活跃，则上层海水将发生辐合，同时下沉，这个海域的上层海水温度就要上升。大范围较长时期海水温度的上升或下降，反过来将引起下阶段的大气运动状态。

另外，外因通过内因起作用。外界能源对大气运动的影响在一定程度上也和大气运动状态本身有关。所以用外界能源作长期预报因子时，应同时注意大气运动状态本身。外界能源和大气环流状态的异常同时用为长期预报的因子，效果可能更好些。

由以上讨论可以看出，即使大气本身的能量不够作为大气长期运动的能源，但它能直接影响大气长期运动的能源，同时外界能源也只有通过大气运动本身才能起作用。由此出发，大范围较长时期的大气运动特征也可以用作长期天气预报的指标。此外，由于种种原因，大气环流状态存在着长周期的振荡趋势，这种振荡趋势也可以用于长期天气预报。

四、几种长期预报物理因子应用举例

前面讨论了一些可以用于长期天气预报的物理因子。现在的问题首先是在观测误差允许的范围内，这些因子是否存在大范围较长时期的异常；其次，某个时期某个因子的异常是否能够引起下个时期的天气异常。只有这样，这些因子才能用于长期天气预报。

我们先看海温。大范围海水温度是在它常年平均上下变化着，有些年分它的变化幅度是很大的。这已经由很多资料所证实，这里不再举例。一个时期海温的异常是否能影响下个时期大气运动状态呢？这种现象的个例也很多。这里给一个统计例子。有人做过沿50°N、130°—160°W间的夏季海温与该地区秋季气压的相关，相关系数为－0.67，而这个地区的秋季海温与同时期的气压的相关为0.92。这意味着前期海温的冷暖影响后期大气运动，当大气运动发生变化时，海水又不断演变以适应大气环流的发展。大气物理研究所长期预报组研究了前期冬季太平洋海温距平与我国东部地区汛期降水关系，发现前期黑潮温度距平与长江三角洲5、6月分降水距平和华北7、8月分降水距平有显著相关，由此制作了这两个地区的汛期降水的长期预报方法，并初见成效。再有1972年全世界范围出现了大旱、大涝、严寒与酷热等灾害性天气，这种灾害性天气是长时期大气环流的异常造成的。从1971年的12月到1972年的3月，西欧上空为异常强大的阻塞高压盘踞，急流明显的分支，同时期北太平洋阻塞高压也异常地强大。这种环流异常与前期大西洋与太平洋两支最大的暖洋流——墨西哥湾流和黑潮的明显的偏冷有联系。

由上所述，大范围海温的异常是存在的，它对长期天气预报也是有价值的。大气环流的异常也是存在的，它对长期天气预报是否也有价值呢？这也有不少例子可以说明。最近青海省气象局发现该省春季降水量的多少和前期冬季亚洲（尤其是乌拉尔地区）平均环流异常有比较密切的关系，并由此提出青海春季平均降水量的预报指标。这说明前期环流特征对较长的后期环流特征是有关联的，可以作为长期天气预报指标之用。

高原对我国天气有特殊作用。有的同志早就注意到夏季高原上空100毫巴上的大高压的强度和它的东伸与西退对我国天气的影响。最近四川省气象局进而指出青藏高压与四川伏旱的关系。青藏高压的强弱和它建立的迟早在很大程度上依赖于高原热源强度和这个热源建立的迟早，而高原热源强度和建立的

迟早可能在一定程度上依赖于高原的前期状况。如冬季高原上的积雪多，范围广，则春夏季的融雪量大，土壤就湿润；反之，土壤就干燥。因此在一定程度上，由高原的前期状况可以预测它春夏季情况，从而可以由此进行长期天气预报。这方面的试验还不多，但有的单位已开始用高原上若干站的冬季积温做长江流域的汛期降水预报。

由于海冰和高纬度冬季积雪的资料还不多，用它们来做长期天气预报的研究还有待资料的积累。

五、县站利用上述物理因子做长期天气预报的问题

县气象站（以下简称县站）如何用上述物理因子作长期天气预报呢？这里提一些不成熟的意见。

天气系统的时间和空间尺度有一定关系，单站气象要素的时间变化在一定程度上能反映它。如果某一地区被一种天气系统长期盘踞，例如1959年7月副热带高压控制长江流域达一个月之久，这个地区的某站气压在这段时间里也会异常的高，气温也会异常地高。所以单站要素曲线在一定程度上也能表示环流形势的异常。此外，对同类天气系统讲，强度大的一般生存时间较长，强度小的生存时间也较短。由此可以推论，单站气象要素变化振幅强大的讯息持续时间也较长，强度小的讯息持续时间也较短；变化的时间尺度可以用要素曲线的峰点或谷点间的时间间隔来度量，大的讯息在空间持续时间也较长，变化时间尺度小的讯息在空间持续时间也较短。还可以想象强度大的和持续时间长的系统引起的天气变化也大，引起变化的持续时间也长；强度小的和持续时间短的系统引起的天气变化也小，引起变化的持续时间也短。因此用单站要素曲线作预报时，也有个预报时段的长短和采用的曲线变化时段长短相适应的问题，同时以选取时间变化尺度较大的讯息作预报指标为好。应当指出，在天气图上大系统和小系统是很容易分清的，可是在单站曲线上它们就不那么容易分清了。所以用单站曲线作预报时，要先从曲线上作出不同时间尺度的分辨工作。

至于海温等物理因子对县站的长期天气预报也同样可用，不过一般不能要求每个县站都有这种资料。大台可以利用这种资料对一个较大地区作出长期天气预报，提供县站参考。