

大气探测的几个问题

顾震潮

大气探测可以说是广义的气象观测。它不仅包括日常的气象观测，也不只包括气压、气温等天气动力因子的观察，而且还包括并非常规的、为预报以外的特殊要求而作的大气情况的测量，后者也是狭义的大气探测。

大气探测的历史已很久，但有许多根本问题还需要研究探讨。例如要测什么，能测什么，如何测，如何用等等问题上，还有许多地方值得考虑和研究。

大气作为一个研究对象，不仅是作为人类生活的直接环境，也是一种空间介质。日常的气象观测主要是为了了解大气这一直接的生活环境而进行的。为了了解大气这一生活环境，包含未来大气情况的预测，我们不但要观测直接影响人类生活的气象量，并且还要观测虽然并不直接影响人类生活但是对天气过程发展起作用的气象量。目前的日常气象观测虽然在历史上已经过多次改进，但主要的还是为直接影响人类生活而作的*。以地面观测而论，只有气压和气压倾向、几种云状分类和云量等少数项目可以说是为了了解天气发展过程而观测的。能见度已逐渐丧失这种意义。气温、湿度、风、日照、降水等大量的项目首先和主要是因为它们直接

影响人类活动而观测的。当然为了了解天气发展过程也要测地面气温。但是，我们知道气温从地面到一、二百米的边界层中上下相差很大，地面附近已与边界层外中的气温很不相同，而我们完全说不上为什么我们必须测离地面 1.5—2 米左右的高度上的气温，也不能说明在海上又不是观测离海面 1.5—2 米高度上的气温而是甲板上的气温**。实际上有的项目，如水平能见度，可以说并不影响天气过程的发展。而对地面天气图的分析来说，未必是现行风向杆高度的地面风观测是最好的。

从发展历史来看，日常气象观测也的确主要是为测量直接影响人类生活的气象量而发展的。以高空风和探空来说，主要还是第一次大战后航空活动大大增加、需要知道高空气象情况才大规模地发展起来。至于天气动力学上把高空天气资料综合研究作为大范

* 严格说来是为日常生活需要而作的，因为象建筑部门需要的大风风速已不是气象上的大风，而是在建筑挡风面上的大面积上平均的阵风。所牵涉的高度也未必一样。如何通过比较观测或理论计算从气象日常观测的风进行换算，在气象上还很少见到。

** 实际上这些观测高度未必能相互配合，就连观测的频率也并不相同。例如气压自记与风速自记所记的频率范围就大有不同。

围天气预报的主要根据之一，那是二十年代以后的事。

再有，按天气动力过程来说，我们很需要测垂直气流。它不但影响大气过程的发展，并且直接影响具体天气。但是到现在为止，我们还不能进行日常的直接测量。利用探空仪、相对升速等测定的垂直速度，在精确程度上还不能测定目下探空网格尺度的垂直运动（10 厘米/秒或更小）。

因此，看来需要进一步从天气预报的角度来研究大气探测应该测量哪些项目，以及如何测量的问题。

首先是已有的一些观测测量如何在天气预报工作中充分利用的问题。目前观测工作虽然并非主要从预报角度来作，天气预报上却已利用了这方面的观测，象 1.5—2 米高度上的气温、湿度在地面天气图分析上也早已使用上了，在单站预报中，也常常作为指标来使用，但是还有大量的观测资料还没有利用上。例如大量的气象要素自记记录，不但外站没有能用上，就是在本站也往往很少使预报员注意。实际上作为一种连续记录，它提供了很多的天气讯息，这种讯息在天气图上未必都能反映出来。过去，国外一些中尺度天气工作者强调所谓“时空转换”，利用了气压自记记录的个别小波动，但是这只是为了事后分析的需要，对预报仍然作用很小。现在看来，我们需要利用各个气象要素自记记录所反映的一些气象要素变化的特殊情况来帮助天气预报工作。现在我国记录稀少的地区台站往往相隔 100 公里以上，在高原、沙漠地区，测站距离有的甚至有几百公里，而且在地形复杂地区一般地面天气图上还有一些空白区，地面天气图上也难于分析。在这种情况下，四次天气预报难于满足需要，每

小时的航空报告又需要很大人力，经过研究，充分利用本站或上游站的自记记录，编报自记记录上的短时间中较细的变化特征，看来还是有用的。即使在台站网比较密一些的地区，自记记录仍然还有很大用处。在自记纸上，地方性日变化的改变看得很清楚，它反映了天气系统的影响。象焚风作用等现象在自记纸上反应很清楚，而在天气图上往往看不清。以春季贝加尔湖气旋中的暖锋在我国内蒙的活动来说，内蒙测站的自记纸上就有特殊的反映，它对这暖锋的分析预报很有用处。看来，这是值得注意研究的问题。

其次是已经观测的气象量按预报要求改进，扩充范围，提高质量的问题。有的气象量已经有观测，但即使作为生活环境来说，也有改进观测的必要。例如大气下层的低空急流及超低空急流和一、二公里以下的温度分布，在航空、工业污染等许多工作上都十分需要，而作为预报问题也首先要这些观测资料。在有的情况下可以利用高山记录，例如低空急流现象在南岳很明显，层次分明，强度变化也有规律。但我们目前对高山气象资料还缺少系统的研究，因此利用也还不充分。而在有的情况下，不需要测的是本地上空的情况，这主要是如何确定携带气象仪器的合适工具的问题。一般说来，观测所用的仪器还不是大问题。国外有的用低空气球、低空火箭，但看来还不合适，因为还不能连续观测。用间接探测方法测定本站四周几十公里内或高空一、二十公里以下的气象情况，搞得又快又好，值得发展。对于一些人烟稀少的地区还要研究用自动气象站进行常规的气象观测。自动气象站设备比较昂贵，制造费事。但是除了一般的自动气象站以外，搞些

简易的自动观测站，那怕只有风向、风速或是温度、气压、湿度三项也是十分有用的。这方面最主要的是如何解决它在严酷的条件下继续工作的问题，例如在高山雾凇严重情况下的自动观测发报问题，而不是一般自动化或遥测工作的问题，因此项目可以搞简单一些，甚至搞单项观测，但早日在各种严酷的野外条件下经受实际考验和改进它的牢靠性，看来是更合适的作法。当然一些特殊需要的而目前自动气象站上还没有观测的项目(如云量)，也需要研究自动观测的方法。

从长远来说，还需要进行新的观测项目来帮助天气预报。本来象气压那样，就同一地点来说，每天的日常变化只有气压值的千分之几，最多百分之几。但是对于天气预报来说，人们发现这千分之几的变化却十分重要。同样的，大气中还有一些物理量的细致变化与天气变化有关系的还没有系统的观测。由于这些变化往往在大气中传播很快，传得很远，就更值得我们注意利用。例如大气中有着各种各样的射电源，辐射着各种不同波长的无线电电磁波。大家知道，雷暴活动的低频射电就是很强的。近半年来发现雷暴活动所发射的射电频率很广，可以由几千公里的超长波一直到厘米波段。尤其重要的是在沒有雷暴的时候也往往有一些气象射电源发射射电，例如沙暴活动时就有所谓“天电”干扰。由于这些气象射电反映一些大气的重要过程，气象射电观测就有它的预报意义。在目前已经观测到在雷雨之前高频电波干扰加强^{*}，虽然由于云的发展很快，在时效上还不能用来作预报，但是对探测雷雨过程特征已经可以看出是有用的。至于一些特殊天气现象如沙暴、雪暴的气象射电探测在人烟稀少地区对短期预报是有帮助的。为

此，应该观测不同气象条件下一些特殊大气现象的气象射电频谱的特征和变化。从射电频谱的特征和变化，我们有可能辨认出远处(例如几百公里外)一些不同天气现象和它发展的情况。

就是从气压波来说，也还有不少探测工作要做。人们早就见到气压自记纸上常常有一些锯齿形的“微波”(温度、湿度自记记录上也常另有一些小波动)，这就是一般所谓“重力波”在气压变化上的表现。但是这一类重力波有着各种大小的尺度，而在天气预报上还远沒有进行专门观测以及利用它来帮助天气预报。实际上，这些重力波传播得很快(一般以声速传播)，有好些波段又很少受大气的阻尼，传播中又有许多特征，因此，可以由此了解远距离外的大气情况。事实上，原子爆炸所引起的微气压波就已经用来进行原子爆炸侦察，因为这些气压微波振幅往往远不到一毫巴，但是有的可以环绕地球多次仍能观测出来。同样的，一些剧烈的天气发展也会形成一定的气压波并且很快传播到远处。问题是我们要注意探测和辨认它。但目前了解得还很粗浅。象锋面到达本地之前往往就先有气压微波($10-10^2$ 微巴级)出现，只是从现在一般气压自记记录上看来还嫌出现太迟。进一步探测看来是有希望的。这比藤田等人所重新强调的雷暴高压之类要有意意义得多。大家知道，雷暴高压在气压自记曲线上所反应的气压小波只是雷暴后期的现象，对预报来说，价值是很有限的。

当然更进一步还有从天气方程来看需要测些什么，以及如何来测的问题。不一定就

^{*} 应该指出，美国 Sartor 观测暖云射电的结果(见 Science, 1964, 948—950)，是可疑的，他所测到的暖云射电强度看来量级太大了。

需要把天气方程组中需要的气象量都测下来,例如前面说过垂直运动就还没有好办法来测,我们可以在方程组中消去它,但这样一来就有新的观测要求,譬如说,由于消去W后方程式最高阶次提高而使定解问题对观测资料有新的要求等等。我们以前曾提出按观测资料对天气方程提出更合适的定解问题来作预报,而现在看来,从观测上也可同时考虑如何进行观测来实现更合乎预报要求的天气方程定解问题,其中包括风场的观测的作法和在数值预报中使用它们的问题。

仔细想想,问题的确是不少的。例如为什么我们目前观测的一些气象量,如高空风,被看成恰恰是天气方程中需要的高空风数值呢?早在20年代, Hesselberg 等提出日常气象观测中所得的气象要素值是否满足气象方程的问题,而在预报问题上,这就更严重了。譬如说,现在的风速观测在地面上是一分钟的平均风,高空风是当地几公里或几十公里外五百米左右一层的平均风,这样的风作为大尺度大气方程中的风来用,在代表性或相配性上就可能有问题。

大气探测方面,另一个值得注意的问题是确定合理的观测精度。大家知道,在理论计算中不必要的精确度,不但会带来极大的工作量的浪费,而且所计算的数字位数比有效数字位数会更多造成错误的似乎更为精确的印象。在大气探测方面,这个问题就更严重。一方面因为精度加高一个量级,观测方法就要根本改变,所需要的劳动和技术就远为复杂。而另一方面,人们所提出的一些精度要求往往在客观上是沒有意义的。首先,大气探测有各种各样的误差,而这些误差量级往往大小不同,单独减小某一方面的探测误差来提高精度是办不到的。如果某一项大

的误差不可能减小的话,减少其他比较小的误差并不会提高探测最后结果的精度,这情况就好象理论计算各部分的有效数字位数不一致时,我们一般只需按照最少的那个有效数字的数值来计算就行了。计算到更多的位数并不能使计算的精度有多大提高,或者使计算的误差大大缩小。

大气的一个很大的特点就是经常有着很明显的湍流运动。为此我们常常把大气的物理量分成平均量和湍流量两部分。这两个量往往是要分别测量的,因为对于不同的目的,我们需要测量不同的部分。在分别测量这两部分时往往是互相干扰的,也就是它们互为“噪声”。大气探测中对于湍流量的测量来说,平均量的干扰问题还比较小,因为平均量是慢变化的量,容易去掉它的影响。但是对于平均量的测量,湍流量的干扰有时就不容易去掉,固然,在地面观测中,它很容易由较长的时间观测加以平滑而去掉,或者加长仪器的时间常数(感应慢一些)来去掉,然而探测自由大气时,情况往往就不一样,而对平均量来说,湍流的干扰就成为不可避免的一种误差来源。

假如气象量 A , 它的平均成分和湍流起伏成分各是 $\bar{A}$ 和 A' 。观测地点与使用资料地点的距离是 L , 观测时间与使用资料时间之间相隔时间是 T , 观测误差是 E 。我们要使用的其实是平均成分 $\bar{A}$, 那末, 如果观测时不曾把湍流成分除去, 一般说来, 由于湍流的存在, 观测误差只须到

$$O_c(E) \sim O(\nabla \bar{A} \cdot L), \text{ 或 } O\left(\frac{\partial \bar{A}}{\partial t} \cdot T\right), \text{ 或 } O(A')$$

中最大的一个就行了(O 表示量级)。这里的梯度 $\nabla \bar{A}$ 和 $\partial \bar{A} / \partial t$ 各是 L 尺度和 T 尺度的特征值(一般说来, 湍流成分的特征时间

比 T 小很多)。观测误差再减小就未必有意义。原因很清楚,费很大的劲把观测误差弄到比湍流成分这种干扰更小许多或者比使用时间间隔或空间间隔中的平均量变化本身更小许多是不必要的。

所以在湍流比较强以及使用时间间隔、空间间隔比较大或者平均量本身变化比较大的情况下,观测精度不适当地提高到比上面所说的限度以内的做法是有问题的。因此在提高观测精度以前,我们应该很好地研究有关尺度上 $\Delta \bar{A}$ 、 $\partial \bar{A} / \partial t$ 以及 A' 的大小,避免不必要的巨大浪费,达到多快好省的目的。同时也可以看出,即使在当地观测,当时立即测到,平均量变化又很小,但如果湍流量仍然不小的话,提高一般的观测精度也是没有意义的。

以人工降雨工作中的观测为例,现在已经有比较好的含水量、滴谱等观测方法,作为累积研究资料来说,这些观测是完全有用的。另一方面,由于一般的人工降水作业对象即浓积云中气象平均量的变化和湍流起伏都比较大,即使飞机作业时,观测时间与作业时间之间的间隔也已和一个对流胞的生命期同一量级。因此这些观测对于人工降水作业的进一步发展来说虽然非常必要,但它常常会超过作业当时使用所需要的精度。

本来这是非常明显的事,譬如迟到的危险天气电报和航空天气电报实际上就常常是无意义的。由于危险天气已过去,危险天气电报中所包含的天气情况和观测精度完全超

过需要了。

在自由大气探测方面,还会有这种浪费。这些观测一般比较花时间(半小时到1小时),同时气球一般也飘离比较远(30—100公里)。以温度来说,在这尺度上 $\nabla T \sim 1^\circ / 100$ 公里,而气球轨迹往往穿过等温线,超过 $1/2^\circ$ 的温度观测精度未必有意义。对于风来说,问题就更大了,风的湍流起伏往往很大,在短时间内,起伏就可到米/秒量级。根据飞机观测在对流层中,几十公里的尺度上也可到 $\nabla |\vec{v}| \cdot M \sim$ 几个米/秒,而且直到平流层高处湍流的强度都还没有多大的减小。因此,目前的各种高空风观测方法对当时使用来说,看来不需要把精度提高到1或0.5米/秒以上。据了解,美帝国主义为侵略目的而作的高空风观测,有不少要求测到0.1米/秒,即使对于对流层上部的测风要求也如此(而高空的气球测风误差更大)。看来,他们这方面有不少工作是白白浪费的。

总之,大气探测方面,我们还缺少系统的研究。整个说来,还有许多重要问题需要考虑。大气探测技术一定要大大提高,但更重要的是发展什么大气探测技术? 如何发展? 要求到什么地步以及能解决什么问题? 国外的气象卫星观测就有如何使用的问题。到现在为止,它一般还只起风暴雷达之类的作用。看来这方面的考虑研究是不够的。我们为了生产和国防的需要多快好省地发展大气探测,这些问题看来是值得全面考虑的。