天气的“心思”怎么猜

本报记者 杜 芳

热点追踪

人们对天气现象的研究已经有很长的历史了，但是风云变幻的天气如同娇羞而又狡黠的少女，人们至今还是难以完全读懂“她”的心迹。前不久美国纽约等地居民在轰鸣的除雪机声中醒来时，发现预报的“史上最大暴风雪”并未如“约”出现。为此，美国新泽西、费城等地多位气象专家为这次暴风雪天气的预报错误公开道歉。说好的风霜雨雪为何屡有“爽约”？我们如何与天气对话，探寻这位“天气少女”的心意？制约天气预报准确率的瓶颈在哪里？

图① 中央气象台天气预报大平台。
图② 华山气象站观测员于进江进行气象数据观测。
图③ 四川成都信息工程学院正在考察气象观测员运用自动化设备的能力。
图④ 用于进行数值模式计算的大型计算机。
图⑤ 陕西三原县气象部门工作人员向记者介绍天气预报的各种操作平台。杜 芳摄

探秘天气的“水晶球”：数值模式如何看现在算未来

当清晨的第一缕阳光撒向大地，在我国2000多个气象观测台站，观测员已经来到观测场，他们观云测天，记录下当时的日照、云量、冰冻以及天气现象，这些观测数据从早8点到晚8点以每三个小时一次的频率发报。与此同时，上万个自动气象站正高速运转，不停地将监测到的温度、湿度、风力、风向等数据传递到数据处理中心。上百个高空气象站上空太空气球载着各种探测仪器冉冉升起，一会儿向东飘，一会儿向西去，地面雷达则追着这些气球跑，实时监测不同高度的温度、气压、风向情况。

无论是雪域高原，还是沙漠地带，这样的情景每天都在上演。气象观测台站遍布东南西北，从地面、海洋到万米高空，每天都有大量的数据准时上传，全方位、多层次地观测大气变化。任凭天地如何风云变幻、斗转星移，全世界所有的气象观测站每天都在固定的时间同时对大气进行观测，这些观测数据迅速通过高速计算机通信网络传递汇集，成为数值天气预报的初值条件。

“通过巨型计算机进行数值计算，再用流体力学和热力学的方程组进行求解，进而预测未来一定时段的大气运动状态，这就是当今时兴的数值天气预报。”中央气象台预报员唐健说。

观测员搜集上来的是当下的数据，预报员预报的是未来的天气，数值预报的方法凭什么通过现在可以预知未来？

“如果种下一棵树，通过观察得知它每天长5厘米，那么就能知道十天以后这棵树会长多高。大气运动也是如此，我们之所以能做预报，就是因为有一个闭合的大气运动方程组，这个方程组的系数更复杂，如果知道现在的温度、压力、风速等，换算到大气的方程组中，就可以通过时间的推移知道未来的天气状况。”唐健说。

在这种模式下，全球被划出一个个网格，有的网格很密，可以达到50公里乘以50公里，有的则是100公里乘以100公里。他们共同构成一张渔网兜住了地球，每一个网格点就是数值预报模式计算的一个点。分布在网格中间的观测台站通过数学方法把观测到的数据插值在这些网格点上，通过计算得出数值预报的产品。

没有这张渔网之前，人们通过观察天象、寻找规律，有了诸多预测天气的经验，后来人们更多运用的是根据天气学原理和经验，利用天气图推算的预报方法，但是这些方法误差较大。直到有了这张渔网，天气预报才有了更为科学有效的预报手段。

数值预报方法的建立虽然只有几十年时间，但是随着计算机的普及和数值预报手段的改进，数值预报在使用过程中的优势日益凸显。中央气象台首席预报员马学款说：“数值预报短时效的预报不见得比预报员的主观判断有明显优势，但较长时效的预报，尤其是对天气形势的预报，准确率远远好于预报员主观推理。”

扇动起飓风的蝴蝶翅膀：天气预报因何会“看走眼”

把数值代入公式，在计算机里算一算，就能得出未来天气吗？就像把玉米放入爆炒机，在里面搅一搅，就会得到你想要的爆米花？当然没有这么简单。事实上，计算机算出来的数值是不能直接用的。

“计算机给出的答案有误差，它只能是一个无限接近的可能，而不是一个确定的解。”唐健说。

答案的误差从何而来呢？原因之一是作为初值的观测数据可能不准，哪怕是0.1的误差放到方程组中，随着时间的推移会无限的放大，导致最后跟实际相偏离。

正如一只在南美洲亚马逊河流域热带雨林中的蝴蝶，偶尔扇动几下翅膀，可以在两周以后引起美国得克萨斯州的一场龙卷风。“大气运动本身是复杂多变的，当人们从大气运动的初始状态出发计算未来大气状况时，初始状态微小差异会使后来的演变结果大相径庭。这种现象可以称之为大气的内在随机性。”中国科学院气象专家曾经这样作出解释，内在随机性使得人们对于未来大气运动的描述不可能做到精雕细刻。

除了自身的随机性，大气运动受到各种因素的外在干扰，如城市热岛、温室效应以及错综复杂的地形地貌特征。这些都是影响大气运动的外在随机性，成为“无数扇动的蝴蝶翅膀”。中科院大气物理研究所研究员周家斌曾经在接受媒体采访时介绍：“开始是失之毫厘，后面就是差之千里。内在和外在随机性同时影响预报的精度，当然预报的难度就增大了很多。”

造成答案误差的另一个原因是用于计算的方程组本身有缺陷。“计算机去求解的时候，在数学分析过程中会使用一些近似，这个时候可能引入误差，这种系统误差和初始的观测误差会使得最后的结果偏离它应有的真值。”唐健说。因此，计算机出来的数据是需要进行进一步分析和订正的。

在中央气象台，天气预报员每天都在做这样的工作。摆在他们面前的是各式各样的天气图和国内外数值预报产品，预报员每天都要研究大量的天气图表，结合气象卫星、雷达探测资料，进行综合分析、判断，作出未来不同时间段的具体天气预报。

“数值模式中进行计算的一个网格可能有几十公里，这几十公里都是用一个值来表示，但是这几十公里内海陆状况不一、地形复杂多变，一个值是无法呈现更多细节的。就像一张照片的像素一定，如果就某一点无限放大会发现这个点是模糊的，没有更多细节。这时候就需要人为修补。预报员的分析和订正就是在把数值模式这个‘大照片’修补出更清晰的细节。”唐健说。

“具体而言，河北省石家庄一带西边靠近太行山，那西风吹过来就会发生沉降增温，但在数值预报模式中，一些类似于地形等的信息依然难以充分表达，因此数值模式对地形条件下的预报是有欠缺的，这时候预报员就会在模式预报的结果上进行订正，将山上的温度数值调低一些，更贴合当地的实际状况。这方面，天气预报员的经验大有可为。”唐健说。

当然，由于影响天气的原因很多，很复杂，预报员也需要集思广益，进行讨论，像医生给病人会诊一样，进行天气会商。“有时候对着同样一个区域的天气数据分析，预报员也会得出不同的结论。这个说风场辐合条件好，利于水汽汇集抬升，因此会有降雨，那个说降水条件不足，不能形成降水。常常发生很激烈的讨论。”唐健说。

尽管每次天气预报之前都经过了充分会商，但这只能保证天气预报尽量准确。气象专家表示，在天气预报中，人的分析判断毕竟会带有主观性，但天气预报又离不开这种主观判定，这也是影响预报不准的原因之一。

“常见病”遇上“疑难杂症”：何不让“抱怨”先飞一会儿

把天气报准是每个预报员的心愿，因此检验自己报得准不准成为预报员的通病。“有的预报员预报了第二天傍晚有雨，下午就会搬个小马扎到窗台上等雨来，有时候预报夜间有雪，不等雪下来预报员就睡不着。”唐健说。

对于天气预报员而言，每次预报都像是高考。高考考生最多考3天，考完可以放松；但预报员每天都在高考，在天气平稳时他们考不了满分，在天气复杂时他们更担心考不及格。但是他们还是要面对全国人民，包括各级政府、各个行业和部门的阅卷。

“基于现在的科技水平以及对整个大气，甚至对现在整个气候系统的了解程度，决定了我们的天气预报不可能完全准确。这是目前的科学技术水平所决定的，全世界都是如此。”唐健说。

“哪怕一万年后，天气预报也不一定能报准。”天气预报主持人宋英杰在接受媒体采访时，也曾表达这样的看法。“因为准的标准在水涨船高。观众在20年前只要求知道‘明天下雨吗’，现在即便把时间、区域和量级具体到‘下班前后海淀区将有今年以来最大降雨’，也没有人说你准，因为大家会接着问，那什么时候停呢，哪里下得最大呢？”

其实，我国的天气预报准确率一直都在艰难提升：中国气象局数据显示，2014年全国24小时晴雨预报准确率、最高气温和最低气温预报准确率3项指标，历史上首次全部超过80%，分别达到87.5%、80.2%和84.4%；台风路径24小时预报误差再创新低，为78公里，继续处于世界最先进水平。

但是天气预报中也有难以诊断的“疑难杂症”。中央气象台专家介绍，不同类型的天气，预报准确率是不同的。像高温、寒潮这些空间范围较大、时间尺度较长的天气，预报准确率就比较高。全国24小时晴雨预报和最高温度、最低温度预报，能够做到“八九不离十”。但有些天气发生得突然，具有很强的局地性特征，这种天气预报起来就比较难，准确率低。例如强对流天气，也就是短时间内发生的冰雹、强降雨、强雷电、大风、龙卷等，它的预报准确率就非常低。

尽管天气预报达不到100%准确，当灾害性天气来临时，可能导致社会应急做无用功，耗费人力财力，还容易引起公众“白防了”的抱怨。但“防患于未然”的思想却十分必要，因为即便空防也不会白防。对于公众来说，每一次防范，都是一次应对灾害的演练。

2010年8月12日23时至13日2时，四川省绵竹市清平乡发生强降雨，造成国内近几十年来规模最大的一次特大山洪泥石流灾害。在“8·13”特大山洪泥石流过程中，四川省、市、县三级气象部门及时沟通、准确预报、提前发出暴雨预警信号，清平乡紧急转移村民，涉灾的5000多名群众得以安全转移。“当时真是好险，如果没有预报预警之下的提前转移，上千条人命就完了！”清平乡村干部现在想想还有些后怕。

即便天气没有预报那么准，气象专家也呼吁大众在批评预报员之前让“抱怨”先飞一会儿，以平和的心态看待预报不准现象。中国气象局应急减灾与公共服务司司长张祖强告诉记者：“就拿美国这次预报来说，虽然纽约的暴雪过程不如预期的强，但是他们及时发布了暴雪预警，并采取措施规避危险，这种做法是值得借鉴的。试想如果不采取这些措施，可能会造成很大的损失，而及时把这个信息告诉公众，一旦暴雪来临，就会把不利的影响降到最低。当然，我们也要从中吸取教训，这种极端性灾害天气，尤其是大暴雪，对于全世界来说预报都是难题，需要加强相关的科学研究来不断提高对这种极端灾害性天气的预报，这个难题需要全球的气象人共同面对克服。”

科海观澜

普及太阳能将引发划时代工业革命

陈庆修

作为取之不尽、用之不竭的清洁能源，太阳能在不远的将来会代替污染严重且储量有限的化石能源。但目前由于太阳能发电成本高，大面积推广尚不具备条件。出路在于通过技术创新降低太阳能光伏成本。

目前，煤的发电成本每千瓦时为0.03美元至0.05美元，核能发电成本每千瓦时为0.08美元左右，风能发电成本每千瓦时为0.10美元左右，而太阳能发电成本每千瓦时高达0.32美元以上。成本是太阳能发电的短板，要使太阳能具有竞争优势，关键是将光伏电价降低至现行石化能源(煤、油、天然气)发电的价格水平。

降低成本要依靠技术创新来实现。太阳能光伏发电，从材料、设备、电池(包括晶体硅电池、薄膜电池等)、电池组件(包括常规组件、光伏建筑一体化组件等)、兆瓦级光伏电站等，其技术还远没有成熟。从组件设备到电池效率及电池安装，贯穿光伏发电全过程，每一步都有技术改进的空间，也都有成本下降的余地。除了在电池生产技术方面需要进行技术创新外，材料和设备企业需要技术改进的地方也很多。为了让人们普遍用得起太阳能，全世界科学家一直致力于开发高效率、低成本、易于制造的太阳能电池。

亟待降低晶硅成本。常用的多晶硅原材料生产成本的控制是降低太阳能电池成本的关键，因为多晶硅的成本约占整个太阳能发电系统成本的70%。如果多晶硅的成本下降到太阳能电池总成本的20%，那么光伏发电的成本则降低到每千瓦时0.16美元。一旦光伏发电的成本可以与石化能源竞争，那么太阳能市场就会大规模启动。与降低成本息息相关的是技术创新，只有不断加大研发力度，不断提高太阳能电池光电转化率、硅材料的利用率和优质品率，才能有效地降低太阳能发电成本。

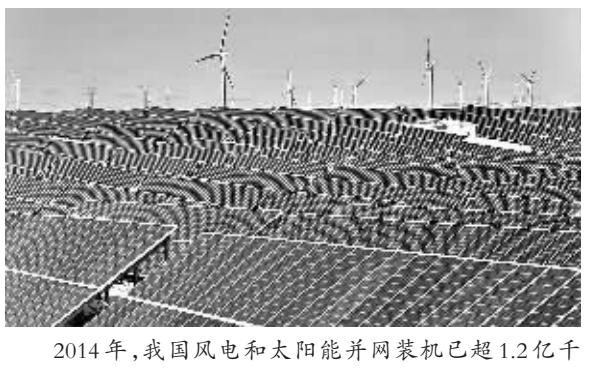
着力提高电池效率。目前，单晶硅太阳能电池转换效率为20%，多晶硅为18%，硅太阳能电池的理论效率为31%。由于太阳能撞击电池的能量只是小部分转化为电能，大部分以“热电子”形式作为热能散失。研究发现，用半导体纳米晶可以捕获那些热电子，这样可以将太阳能光伏的转化效率增至66%，甚至更高。如果能大幅度提高太阳能转化为电能的效率，那么太阳能发电成本将比人们想象的要低得多。同时，为避免光照受云雾和黑夜的影响，可以采用空间太阳能发电，即在太空利用光伏获得电能，通过微波或激光等多种方式传到地面。这样的技术成熟之后，太阳能取代化石能源就顺理成章了。

被誉为“后起之秀”的薄膜太阳能电池，以其价格优势不断挑战晶硅电池的地位。瑞士材料科技联邦实验室开发出一种新的薄膜太阳能电池，以CIGS(铜铟镓硒)为光电转换材料，用柔软灵活的高分子聚合物作衬底，其光电转化率达到20.4%，已经相当于多晶硅太阳能电池的效率，CIGS太阳能电池可以实现每千瓦时0.05美元，意味着太阳能发电成本与化石燃料发电成本不相上下，明显低于海上风能发电成本，CIGS在太阳能电池中极具成本效益优势。

太阳能发电前景广阔。国际能源署(IEA)最近在报告中表示，由于光伏模块和系统的成本快速下降，开启了太阳能作为电力主要来源的新前景。太阳能光伏的扩张将由中国引领，位居其后的是美国。太阳能光电系统是最为人知的方式，许多人在自家屋顶就安装了这种装置；而另外一种形式是利用太阳光的热力将水加热以产生蒸汽去推动涡轮机来发电，太阳能热力发电可能将在美国、非洲、印度和中东得到发展。到2030年太阳能的成本将为每兆瓦时100美元以下，并将与燃料一较高下，届时化石燃料的碳价格每吨50美元左右，在2050年前碳价格可增至每吨150美元。届时太阳能发电会超越石油、风力、水力与核能等而成为主要的电力来源。全球每年将可减少排放二氧化碳达60亿吨以上，人类将可扭转片面依赖化石能源所造成的环境污染。

在化石能源日趋耗尽和环境恶化的双重压力下，太阳能等可再生能源受到空前重视。太阳能光伏产业作为可再生能源领域的生力军，已成为世界上增长最快的高新技术产业之一。为适应太阳能逐步强化的地位，要建立多元化新能源利用体系，合理均衡地发展新能源，相应地要优化电网配套运行。目前电力系统以石化能源的火电系统为主，用其他辅助能源进行调峰；今后将以太阳能等可再生能源作为主力，原有的火电机组作为调峰，相应的电力系统必须进行改造，电价也必须进行改革。

我国太阳能开发势头强劲。太阳能产业是我国在全球领先的高科技产业。目前，我国已经成为太阳能电池生产第一大国，光伏产品的份额有望占到全球份额的50%以上。从顶层设计来讲，到2050年我国整个能源需求将达到52亿吨标准煤，可再生能源在整个能源需求里占到40%，在电力需求里火力发电要从现在的72.5%下降到30%左右，绿色清洁能源达到70%的比例，而这其中光伏发电将会起到决定性的作用。



2014年，我国风电和太阳能并网装机已超1.2亿千瓦，预计发电量达1750亿千瓦时。其中，太阳能发电并网装机达3000万千瓦，预计年发电量250亿千瓦时。图为冀北张家口坝上地区一处风电场与一处光伏电场。（新华社发）

本版编辑 童 娜 郎 冰
联系邮箱 jjrbxzh@163.com

社址：北京市西城区白纸坊东街2号 读者服务窗：dzzs@ced.com.cn 010-58393509 查号台：58392088 邮编：100054 传真：58392840 定价：每月24.75元 每份：1.00元 广告许可证：京西工商广字第8166号 广告部：58392178 发行部：58393121 昨日(北京)开印时间：3:20 印完时间：4:40 本报印刷厂印刷