

数值天气预报——

气象万千 尽收“眼”底

曾庆存 胡非

开卷知新

北京冬奥会日前圆满落幕。当人们还在回味这届简约、安全、精彩的体育盛会时，北京冬残奥会即将开幕。赛场上，冰雪健儿不断超越自我；赛场外，各个方面的工作人员辛勤付出，保障赛事顺利进行。这其中，就包括精确全面的天气预报。

相比夏季奥运会，冬季奥运会有更多的比赛项目在户外举行，所以受天气影响更大。降雪、气温、风向、风速、能见度等气象要素，与赛程安排、比赛成绩特别是运动员的生命安全密切相关。比如比赛期间气温以-12℃-2℃为宜，风力不超过2-3级为宜，能见度大于2公里为最佳。不同比赛项目对气象条件要求也不同，如高山滑雪要求5分钟平均风速小于10米/秒，而跳台滑雪则要求瞬时风速小于3米/秒。此外，北京冬奥会是首次在大陆性季风气候条件下举办的冬奥会，特别是山地环境更要面临“一天变四季”“十里不同天”的复杂情况。在此前历届冬奥会中，有19届曾因为气象条件不达标而推迟、延期甚至取消相关比赛项目。

冬奥会气象保障，特别是精细化的局地天气预报极具挑战性。北京冬奥会做到了“百米级、分钟级”预报：空间覆盖冬奥赛区百米网格，每隔10分钟更新。比如高山滑雪赛道区域横跨2.5公里，起终点直线距离约2.25公里，海拔落差近1000米，预报员需对这个范围内的风速、风向、温度进行非常精准的气象预报服务。北京冬奥会期间，经历了晴天、下雪、大风等不同天气。例如2月6日，原定于11时开始的高山滑雪男子滑降比赛就在天气预报的引导下多次推迟，延期至7日12时。精准的气象预报保障了比赛的安全进行。

在我国气象科技人员努力下，冬奥会气象预报准确可靠，获得国际奥委会和运动员高度认可。不仅是冬奥会的精细化天气预报，近些年来我国天气预报准确率不断提升，这都离不开数值天气预报这一技术。

数值天气预报，让天气预报定量、客观、快速

数值天气预报是指根据大气实际情况，在一定的初始和边界条件下，通过大型高速计算机作数值计算，求解描写天气演变过程的流体力学和热力学方程组，以此预测未来一定时段的大气运动状态和天气现象的方法。这一方



法将描写大气运动的数学物理方程组、计算机等新技术和人类经验融在一起形成合力，实现“1+1+1>3”的效果。如今，应用数值天气预报技术，天气预报业务可从初始时刻起，预报未来最长达7天的天气(即中期天气预报)。

过去人们观天，目见风起云涌，云收雨散，积累一定经验后，可知道一地某些天气变化规律，从而进行预测。自古以来，就有“朝霞不出门，晚霞行千里”等谚语。最著名的例子，《三国演义》中诸葛亮巧借东风，其实就利用了长江中下游地区冬季也有可能刮东风的经验。及至上世纪，人们发明并应用气象仪器定量测量大气状态变量，汇总各地气象观测数据绘成天气图，掌握天气的三维空间结构。由此，人们发现了天气系统，并可以预报天气系统的移动和强度变化。这是上世纪80年代以前的主要方法，弊端是较为依赖预报员个人经验和主观判断。

和经验气象预报相比，数值天气预报有定量、客观、快速的优势，是一次巨大飞跃。方程、计算机、数据是其三大要素。正如牛顿用数学模型将物理现象上升为科学理论，数值天气预报用流体力学的数学物理方程定量预测天气，比耳目所感、经验积累更准确、更具规律性。不过，相关方程非常复杂，计算量巨大，需要使用计算机才能快速预测天气。比如暴雨将至，若是人工计算，可能还没算出结果雨就停了。所以，各国大多将超级计算机应用于天气预报，将此作为考核其计算能力的重要指标。数据来源主要是气象监测系统，除台站观测数据外，现今主要是气象卫星和雷达遥感数据，数值天气预报要将这些数据汇集在一起作

为初始条件。在特定地区还得考虑该地区的边界条件，尤其是地形、地面情况。比如预报某河流附近天气，就得考虑地形甚至融入上游数据，在沿海地区还得考虑海洋的影响。如广东省数值预报中心利用高分辨率风数值模式和风云卫星实时跟踪观测等先进技术，提前5-6天准确预报出2021年第22号超强台风“雷伊”的“西行—北翘—东折”复杂移动路径，为灾害天气下的社会安全保障提供有力科学支撑。

随着社会发展，人们对天气预报的要求越来越高。天气预报的准确率要提高，气象要素和天气预报的空间、时间分辨率和量值的精度要细，即需要定时、定量、定点和高分辨率的天气预报。如何实现？这就需要以数值天气预报为基础，依托通信、物联网、全球定位系统、大数据、人工智能等新技术，同时利用多种先进探测设备及技术等。其应用前景十分广阔，除常规气象保障业务外，还可在水陆交通、航空航天、重大工程、重大活动等领域广泛应用。

气象预报将更精准更长远

有人会问：“气象能不能预报得更准？”“能不能预测未来一年甚至几年的气象？”科学家们也是怀揣着这样朴素而远大的目标，推动气象预报测得更准、更长远。未来，数值天气预报将进一步发展，其中集合预报、地球系统模式是重要发展趋势。集合预报是在数值预报模式结果基础上

进一步统计操作，是提高天气预报准确率、克服不确定性的有效手段。俗话说，众人拾柴火焰高，集合预报就循着这样的逻辑展开。概言之，集合预报是对不同数值模式的预报结果或同一模式不同时刻起报的结果，进行统计融合和归一化处理，给出最终预报结果。一方面，各国各地的数值天气预报结果不同，主要预报项目也不同，比如沿海地区预报台风准，内陆地区预报沙尘暴准；另一方面，不同时刻的初始场起报，预报的结果也不相同。集合预报将它们综合起来进行“专家会诊”，比单一预报更为准确。如今，集合预报已普遍使用，但还有很大的提升空间。

能否让气象预报报得更长更远呢？这涉及两个概念：天气和气候。天气指的是短时间的大气现象，如一天之内；而气候指的是范围较广的地区在较长时段(如一个月、一个季度、一年等)的统计平均状态。气候预测就是预测下一个季度或半年，甚至更长时间大气现象的平均状态，此时就得适当考虑海洋和陆地生态环境的影响。近20年来，已经发展出将大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈五大圈层，以及地面上各种物理、化学、生物过程作为整体考虑的模型，即地球系统模型(准确地说，是地球表层系统模型)，进而探索全球范围更长时段的气候变化，以及相关的环境生态变化。在地球系统模式下，可以预测一座新规划的城市未来几年甚至数十年会有怎样的气候变化。

地球系统模式的原理与数值天气预报模式类似，同样利用超级计算机求解数学物理方程，但要复杂得多。为此，我国正在建设地球系统数值模拟装置。它是支撑地球系统模式必备的大型设备，由高性能计算机硬件和众多计算机软件构成。利用这一装置，我们可以研究地球系统的五大圈层及其相互联系、相互作用，有望对地球的进行进行反演、对现在进行模拟、对未来进行预测。

我国气象领域工作者们将继续合作研究、协力攻关，化气象的未知为已知，用气象预报和地球环境预报的新技术、新成果助力经济社会发展。

(作者分别为中国科学院院士、中国科学院大气物理研究所研究员)

制图：赵偲汝

推荐读物：

- 1.《数值天气预报的数学物理基础(第一卷)》：曾庆存著；科学出版社出版。
2.《观天测地话卫星》：李慧等编著；气象出版社出版。

集合预报是在数值预报模式结果基础上

深厚博大的航天精神，涵养了“敢教日月换新天”的气魄，连缀起一代接着一代干的征程，引领着全体航天人砥砺前行、一往无前

航天精神薪火相传

孙家栋

习近平总书记在给参与“东方红一号”任务的老科学家的回信中强调：“新时代的航天工作者要以老一代航天人为榜样，大力弘扬‘两弹一星’精神，敢于战胜一切艰难险阻，勇于攀登航天科技高峰，让中国人探索太空的脚步迈得更稳更远，早日实现建设航天强国的伟大梦想。”

作为一名航天“老兵”，我有幸亲历了中国航天事业自创建以来的峥嵘岁月，有幸参与了许多重大工程任务，有幸见证了许许多多重要历史时刻。这么多年来，我一直有一种强烈的感觉：搞航天、干事业，既要靠物质的力量，更要靠精神的力量。航天精神是伟大的精神，蕴含着无穷的力量。当我们传承与弘扬这种精神，把它转化成不可限量的物质创造力，航天事业就能够继续发展下去，兴旺发达。

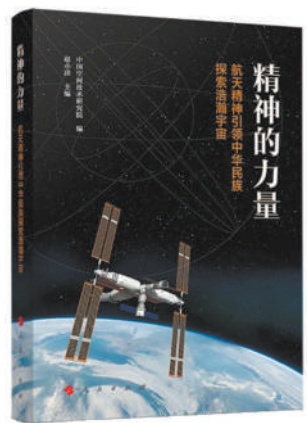
回顾我国航天事业刚起步时，真是一无所有、一穷二白。几十年过去了，我们一步一个脚印走到了今天，取得了辉煌成就，得到了党中央的肯定和全国人民的点赞加油，让世界刮目相看。是精神，是深厚博大的航天精神，涵养了“敢教日月换新天”的气魄，连缀起一代接着一代干的征程，引领着全体航天人砥砺前行、一往无前。《精神的力量——航天精神引领中华民族探索浩瀚宇宙》这本书从理论层面阐发航天精神，总结了规律，提炼了经验。这样做非常必要、很有意义、引人深思。

翻开这本书，中国航天事业的历程一一展现，字里行间全是澎湃的热情，全是珍贵的回忆。在激情燃烧的岁月里，在党中央的战略决策和坚强领导下，中国航天人自力更生、艰苦奋斗，航天事业从无到有、从小到大，迅速发展壮大。我永远忘不了，从天上传来的《东方红》旋律是那么地悠扬，那样地动听！改革开放以来，党中央和全国人民继续大力支持航天事业，中国航天人披荆斩棘、刻苦攻关，航天事业一日千里，突飞猛进地实现飞跃，大踏步赶上时代。首次载人航天飞行，神舟五号载人飞船成功升空并安全返回，获得圆满成功；神舟七号载人飞船实施宇航员空间出舱活动。这一切无不给我们带来激动和幸福！进入新时代，航天梦引领中国航天人奋力奔跑、勇敢逐梦，让航天事业奔向强国目标，自立自强地谱写着新的辉煌篇章。北斗泽沐八方，嫦娥飞天揽月，天问造访火星，天和筑梦天河……这些好消息一件接着一件地传来，很不容易，真是令人万般欣慰！

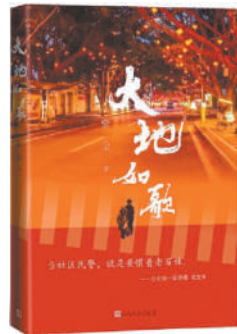
探索浩瀚宇宙，是中华民族数千年来矢志不渝的追求，也是全人类共同的梦想。仰望星空，航天事业神圣而光荣，但也充满坎坷与艰辛，我们必须坚持精神引领，用好精神力量。无论条件如何变化，无论前进到哪一阶段，都要把航天精神传承好、弘扬好、发展好。

现在，历史的接力棒已经交到新时代航天人的手中，建设航天强国使命在肩，弘扬航天精神薪火相传。在新的征程上，我愿与大家继续一起前进。我坚信，有党的领导和全国人民的支持，有伟大航天精神的激励，我们中国航天人接续奋斗，一定能够实现航天强国的梦想，开创更加美好的明天！

(作者为“共和国勋章”获得者、“两弹一星”功勋奖章获得者、中国科学院院士)



《精神的力量——航天精神引领中华民族探索浩瀚宇宙》：赵小津主编，中国空间技术研究院编；人民出版社出版。



著，《大地如歌》：紫金著，人民文学出版社出版。



新书架



《听一线记者讲“疫”故事》：中华全国新闻工作者协会国内工作部编；学习出版社出版。

这本书汇集了来自全国新闻战线的抗疫记者手记70篇，展现新闻战线履行职责使命的担当精神。



《中国漫画——再次发现中国》：《讽刺与幽默(人民日报漫画增刊)》主编；中信出版集团出版。

本书集纳《讽刺与幽默》自创办以来刊发的不同时期的代表作。这些漫画令人会心一笑或掩卷沉思，是生活的生动注解。

书写新时代雷锋式的好榜样

李朝全

“雷锋是时代的楷模，雷锋精神是永恒的。”几十年来，雷锋的事迹在中国大地传颂，学雷锋活动蓬勃开展。在雷锋精神感召下，一批又一批雷锋式的先进典型不断涌现，书写着不同时代的雷锋故事。作家紫金创作的《大地如歌》，就是一部描写新时代雷锋式人物高宝来的长篇纪实文学。

高宝来是北京市公安局恩济庄派出所的一名普通民警。35年来，他在平凡岗位上兢兢业业、勤勤恳恳，被评为人民满意的公安民警、爱民模范、全国敬业奉献模范、“北京榜样”和“时代楷模”。作者通过深入细致的采访，用细腻深情的笔触讲述了高宝来平凡、奉献的一生，尤其是他从警后在寻常工作中做出不凡业绩的感人故事。

“每当我回忆雷锋的事迹，都会情不自禁流下感动的泪水。这泪水化作了我终生向他学习的力量和决心……我常常想，如果能像雷锋那样，把自己的一生毫不保留地贡献给人民，将是我最大的荣幸！”这段话是高宝来在高中毕业时写下的，成为他一生的誓言。高宝来从小就热心肠。路遇哭泣的陌生小孩，自己掏钱给孩子买糖豆吃；在凌晨帮助邻居陈姨挪挪冬储大白菜……无论是在学校、参军入伍，还是转业成为一名警察，高宝来始终以雷锋精神激励自己。社区民警工作离不开的是家长里短，干

出来的是温暖人心。居民王女士年轻时生活坎坷，缺乏安全感的她每天拨打报警电话。高宝来认为凡事必有因，于是他按照户籍底档进行调查，逐渐了解了王女士的经历，同时不断思考怎么做才能帮到王女士。在几次家访中，高宝来发现王女士对母亲非常孝顺，恰逢北京市开展万名孝星评选活动，于是热心帮她争取。当接过“北京市孝星”荣誉证书时，王女士喜极而泣。理解和尊重让王女士找到尊严，她的人生也因此发生改变。

对高宝来说，身为警察、国家公职人员，要牢记为人民服务的宗旨，勤勤恳恳地做人民公仆。只要老百姓需要，他有求必应，不解决问题绝不放手。每天清晨6点半，高宝来总是准时出现在所在辖区小学的大门口。由于学校紧邻交通要道，每到上下学时间，交通拥堵，人车混行，孩子们的出行安全必须有保障。高宝来想出了一个办法：他主动站在车边，拉开车门、接孩子、关上车门，再把孩子送到安全地带，节省车辆停留时间，保证学生安全。每接送一个人，高宝来需要7秒，寒来暑往，5年里900多个上学日，高宝来从未空过一班岗。这串专业的接送动作，他做了数十万次。高宝来像一盏灯照亮了别人，像一团火温暖着他人。他实现了自己的诺言，成为一名新时代的活雷锋。本书除了描述高宝来的工作细节外，还展

现了他对家人的爱，两相烘托，让人物形象更加丰满。对父母来说，高宝来是孝子。结婚以后，高宝来和妻子相亲相爱，相濡以沫。当高宝来从机关来到基层派出所工作时，妻子全力支持；为了不打扰早起工作的妻子夜间休息，高宝来在加班时往往就留在岗亭或派出所过夜。在作者的笔下，这对夫妻互敬互爱的平凡相守温馨动人。

2015年，高宝来因病医治无效去世。临终前，他对守在病床前的人们说出深藏一生的信念：我的偶像是雷锋……高宝来已经远去，但他点亮了一盏不灭的明灯，成为新时代雷锋式的好榜样。