



计算机硬件设备“硅立方”  
「地球系统数值模拟装置」的



N 北京日报

日前,由中国科学院大气物理研究所和清华大学共同建设的“地球系统数值模拟装置”顺利通过国家验收,正式开放运行。该装置位于怀柔科学城东部组团密云经济开发区,是国家重大科技基础设施项目。

这一大科学装置英文名为“Earthlab”,中文名为“寰”,将研究地球系统的大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈、生物圈的物理、化学、生物过程及其相互作用,探究上述相互作用对地球系统整体和我国区域环境的影响等,被形象地称为“把地球搬进实验室”。

# 把“地球”搬进实验室

## 影响地球气候的五大圈层

今年夏天,我国多地气温打破当地历史纪录,“高温天气”频频登上热搜。受极端高温和持续少雨的影响,长江流域出现了极其严重的干旱,为61年来最强干旱,为61年来最强干旱。今年鄱阳湖提前进入枯水期,9月23日鄱阳湖星子站水位跌至7.10米,刷新鄱阳湖有记录以来历史最低水位。经受高温“烤”验的远不止我国,整个北半球都在高温下“挣扎”。比如,印度最高气温一度飙升到了50℃,部分地区创下百余年来最高气温纪录。欧洲遭遇了500年以来最严重的干旱,许多河流湖泊水位持续下降,甚至接近干涸。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《气候变化2021:自然科学基础》报告中称,全球变暖如果不加以控制,过去50年一遇的极端高温,未来或每6年会出现一次,同时暴雨和干旱也将变得更加频繁。地

球未来的气候如何变化,以及如何采取措施和方法降低气候变暖达到1.5℃阈值的概率,是目前世界各国面临的最紧迫的科学问题之一。

地球未来的气候如何变化,这是一个多学科的问题,因为地球系统极为复杂,它包含了太阳辐射、大气动力学、地理、地质学、海洋环流、冰和生物圈之间错综复杂的非线性相互作用。地球系统的概念,20世纪80年代由美国科学家提出,是指由地球自然圈层构成的系统,一般包括大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈这五大圈层,更广义的说法还包括地核、地幔等。

地球系统各圈层之间彼此交错、相互影响,构成了地球的演化,大气圈与其他圈层相互作用,又影响着地球的气候状态。五大圈层中,任何一个圈层的变化,都可能引起一个地区甚至全球的气候变化。

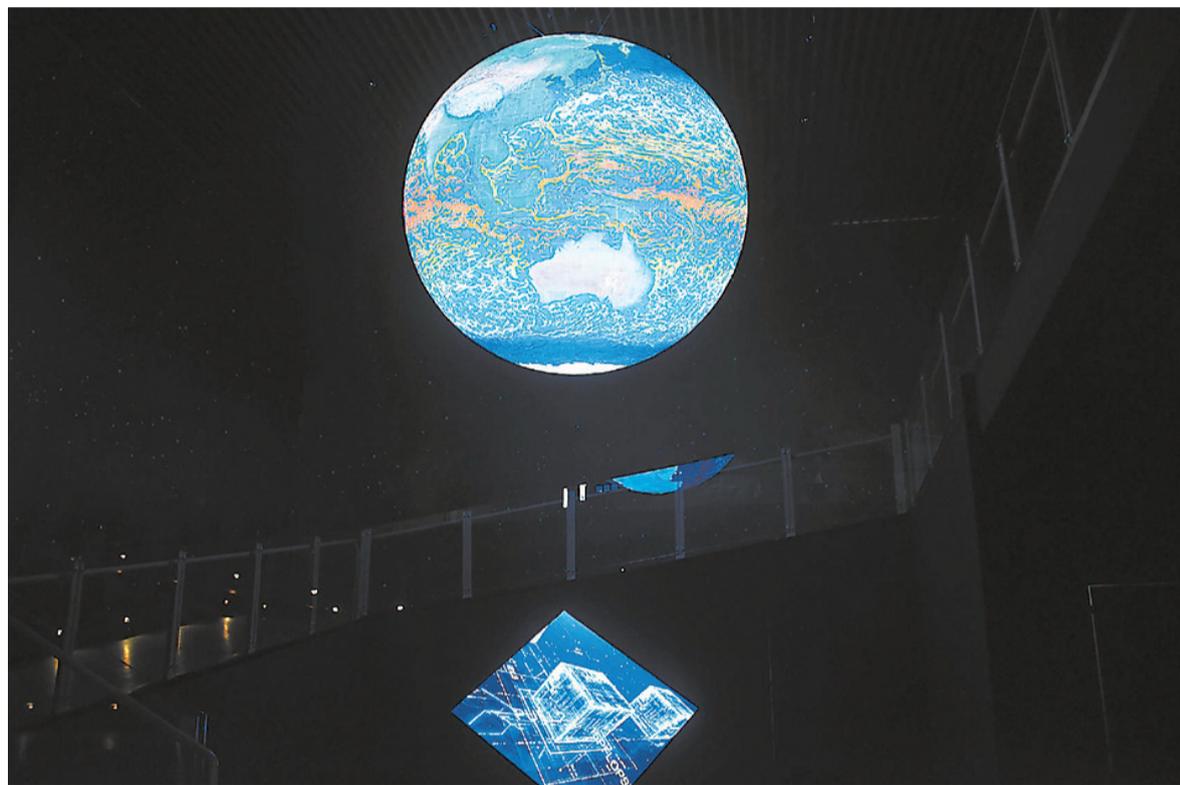
## 用数值模拟预测天气气候

那么,用什么方法来研究地球系统呢?随着电子计算机的出现,国际上提出了被称为“数值模拟”或“数值试验”的研究方法。简言之,就是通过建立数学模型,利用电子计算机求解,把经过理论模型计算后的数值和实际对比,来证明理论预测是不是和实际的一致。如果这个数学模型与实际相符,就可用来进行模拟试验。

上世纪60年代,中国科学院大气物理研究所的曾庆存(现为中国科学院院士、国家最高科学技术奖获得者、“寰”发起人之一)从单一的大气圈入手,发展了一个区域尺度且相对简化的大气模式,能在小范围内预报出短时间内的天气情况。在这项研究中,曾庆存从分析大气运动规律的本质入手,用不同的计算方法分别计算不同过程,提出了“半隐式差分法”,是世界上首个用原始方程直接进行实际天气预报的方法。该算法至今仍是世界数值天气预报核心技术的基础。

到了上世纪80年代,曾庆存带领团队设计了一套全球尺度的大气环流模式,在此基础上,后人不断对其升级。上世纪90年代,曾庆存又和团队利用大气、海洋、陆面三个分系统模型,耦合成气候系统模式,这个模式在超级计算机上运转,实现了跨季度的气候预测,比如在冬末就能预测来年夏天的洪水。

然而,要研究长时间跨度的气候变化问题,不能只利用大气、海洋、陆面模型,还需要将地球系统中对气候状态变化有影响的环境、生态等过程都考虑在内,并计算它们之间的相互作用,这就必须建立一个更复杂的地球系统模式,也需要一个足够强大的超级计算机。21世纪初,国际上的气候变化研究开始从气候系统模拟向地球系统模拟过渡,日本、美国、欧洲等国家和地区纷纷制定了地球系统模式研究计划,并投入巨资进行发展。



地球系统数值模拟装置——“寰”在北京怀柔科学城东部组团通过验收。展厅中悬挂着直径3米、清晰度达到5K的LED球形屏,装置模拟实验的部分结果会通过球体进行可视化直观展示。

## 用数字造出地球“孪生兄弟”

2005年,曾庆存初步提出了“地球系统模式”的思想。2007年,在一次地球系统模式研讨会上,曾庆存与科学家们讨论了地球系统模式如何应用到未来气候变化研究,得到中科院的高度重视。2011年,中科院向国家申报建立“地球系统数值模拟装置”。2013年,申报获国家批准。2018年,“地球系统数值模拟装置”在北京怀柔科学城动工。2021年6月23日,“地球系统数值模拟装置”在北京怀柔科学城实现试运行,为建党百年、北京冬奥会和冬残奥会等重大活动提供气象和环境保障,取得了不错的效果。2022年10月17日,“地球系统数值模拟装置”通过国家验收,正式开放运行。

地球系统数值模拟装置——“寰”是我国研制成功的首个具有自主知识产权,以地球系统各圈层数值模拟软件为核心,软、硬件指标相适应,规模及综合技术水平位于世界前列的专用地球系统数值模拟装置。“独立自主”是“寰”最值

得骄傲的“特质”(软、硬件的自主化率超过90%),它是首个具有我国自主知识产权的“完整”地球系统模式,采用国产芯片,取得了我国大科学装置建设“自主可控”的突破。

作为一个软、硬件一体的大科学装置,“寰”包含两个应用软件(地球系统模式数值模拟系统、区域高精度环境模拟系统)和两个支撑软件,实现了全球高分辨率(大气24公里、海洋7.8公里)数值模拟、全国1至3公里区域高精度环境模拟。“寰”的硬件设备“硅立方”,是专为“寰”研制的面向地球科学的高性能计算系统,采用独特的计算分区设计,与通用超算相比,具备“高效、节能、环保”优点,其1分钟的算力相当于全球76亿人同时用计算器不间断计算4年,并提供了126PB的总存储空间,可以装下约20个国家图书馆的馆藏数据,保存着大气、海洋、陆地、生态等地球科学领域内各个圈层的观测及模拟资料,可以说是为地球打造了一个“孪生兄弟”。

科普

## “寰”如何预测全球气候变化

数值模式是“寰”的灵魂,“寰”的核心模式软件就是大气所经过长期科研攻关、自主研发的地球系统模式CAS-ESM。除了传统的大气环流、海洋环流、陆面过程等用于描述气候系统(温度、降水、海温、极端天气等)演变分量模式,还加入了用于描述生态和环境变化的分量模式,如植被演替,全球碳循环,气溶胶的排放、生成和传输,海洋上层生态系统生长消亡等,此外还拓展了具有我国独创特色的模块,如日地空间环境模式、固体地球模式、大陆冰盖模式等。

“寰”不仅有“大局观念”,可以预测全球的气候变化,关注全人类的命运,也同样注重“细节”。“寰”的另一个模式系统——区域高精度环境模拟系统,直接面向我国天气预报、大气污染预报预警、农业干旱预测以及气候风险评估等关键区域环境问题,形成对我国主要环境要素(气候、天气、大气污染、农业旱灾)的高精度模拟能力。系统的区域高精度大气污染模式分系统,是国内首个全球多尺度嵌套的、具有完全自主知识产权的大气复合污染传输模式,将区域大气污染模拟分辨率提升至全国平均3公里、中东部1公里。

在“寰”建成之前,美国、日本、欧洲等国家和地区已经建有软、硬件结合的地球系统数值模拟装置,并以此掌握着全球气候变化特别是全球变暖减缓、控制措施等方面的话语权。“寰”的建成,不仅使我国成为近20年来唯一有能力发展自己的地球系统模式的发展中国家,还使我国在地球模拟科学特别是在全球气候化学学术领域不再处于被动地位。正如曾庆存“寰”试运行启动仪式上所说的,我们要用自己的计算数据作为气候与环境领域的谈判依据,提升我国的国际话语权。