

# 破解谜题:研究气候变化对全球的影响(IV)

美国国家科学基金会

## 7 人类

环境难题的最后一个篇章或许是最复杂且最具动态性的,即人类。绝大多数气候研究人员都已达成共识(根据数十年的证据、建模和争论),即人类活动应该为地球的温度升高负责。人类行为将继续成为气候变化研究的一项主要因素,了解人类行为与气候变化之间的相互作用至关重要。人类可采取能够在很大程度上影响温室气体排放的社会活动和商业做法,实施政府的政策和法律。我们可以提高能源效率,为能源密集型活动发明可替代燃料。人类的智慧甚至可以利用地理工程技术逆转一些人为的气候变化影响。

NSF 在除健康之外的所有人文科学(human science)<sup>①</sup>领域都有其资助的研究。在美国的有些学术领域(如社会学),几乎完全依赖于 NSF 提供的政府研究资助。总体而言,在对美国学术机构进行的社会科学基础研究的全部联邦资助中,NSF 大约占 61%。NSF 在社会、行为和经济科学领域的实践,已经逐渐成为其气候变化研究的关键优势。在进行气候预测时,不仅必须考虑人类系统,还必须理解人文科学为整个研究共同体提供了了解如何有效地将研究发现传达给社会的机会。在 NSF,我们可以看到在传统的科学与工程诸学科的边界上涌现出的变革性研究,气候变化也不例外。跨学科研究团队已经获得了一些最引人注目的、范式不断改变的研究结果,包括人文科学方面。

除了支持社会、行为和经济科学之外,NSF 还通过教育来阐述气候变化的人为影响。NSF 所资助的研究不仅为研究机构提供有关研究设备、日常管理开销(overhead cost)和基础设施资金,还能够使项目负责人(PI)为本科生、研究生和博士后研究人员的培训提供经费支持,使之成为专门研究气候变化和阐释气候变化影响的下一代科学家和工程师。NSF 资助的 PI 经常会花时间和资源开展教育拓展活动,对象包括本科生、幼儿园到中小学(K-12)的学生以及一般公众。这些拓展活动与 NSF 资助的正式和非正式的教育项目(包括课堂材料、电视节目和网站)一起共同为学生和公众传授包括气候

变化在内的关于科学技术问题的知识。

工程和物质科学具有为能源、交通、建设和其他影响气候的人类活动提供突破性技术的潜力。随着我们努力理解这些新知识和先进技术的发现、传播和应用,硬科学领域所取得的进步就会影响人为因素研究。这些工具可以帮助我们适应气候变化,以及减少(或许有一天还会逆转)大气层累积的人为排放的温室气体。

### 7.1 为人类行为建模

人类行为可能是气候建模人员面临的所有变量中最善变的一项。其他参数都遵循物理定律,而人类行为则依赖于社会规范和价值观、经济力量、技术进步、政府政策以及物理模型中不可能考虑的其他因素。在最新的政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告中,通过假定不同的温室气体排放水平,从而将人类行为纳入对将来的预测中。这些情境依赖于不同的经济增长水平、对各种能源效率惯例的采纳以及文化和政府对能源体系几近严格的影响。整合的未来气候模型需要考虑关键的人为因素,包括人类群体的行为。人是模型中最复杂且最具动态性的系统。计算模型让我们开始理解新出现的行为现象和人类相互作用的临界点。

计算机科学与工程将继续对人类在跟踪与预测气候变化以及管理我们对这种变化的反应能力方面具有深刻的影响。计算工具的进步必须包括有人参与的界面的进步。计算方法提供了可以帮助人们处理复杂信息的可视化工具。关于先进的可视化工具的一个例子是高度交互式并行显示墙(HIPerWall)项目,这是一种旨在提升地球科学建模及可视化的设施。HIPerWall 正被用于分析 IPCC 数据组合。其他有人参与的界面的进步还会以智能软件的形式出现,以便让政策制定者获得有用的结果,并利用网络工具促进全世界的研究共同体之间的合作。

随着气候模型的改进,研究人员将会继续为政策制定者提供对其很重要的关于时间和空间的气候预测,而且会更加精确和详细。区域气候变化预测在整合了该区域的生物、社

本文转载自国家自然科学基金委员会政策局编《学科政策动态》2011年第10期,由中国科学院国家科学图书馆汪凌勇、黄龙光译自 <http://www.nsf.gov/news/nsf09202/nsf09202.pdf>, 国家自然科学基金委员会龚旭、韩宇校。

① NSF 在此所称的人文科学(human science)是指以人类及其活动为对象的科学研究,包括经济学、政治学、社会学、人类学、行为科学、法学等学科,相当于一般所称的社会科学,但不同于人文学(Humanities,如文学、历史学、哲学等学科),也不是社会科学与人文学的总和(往往称为人文社会科学)——校者注。

会和经济特征和趋势后,将使得这种预测变得更加有用。

## 7.2 决策

鉴于气候变化的复杂性和多面性,现在仍然存在许多不确定性因素。气候建模试图把研究人员可以量化的每一种变量都考虑进来,但是仍然有一些不为研究人员所知的因素。考虑到对未来气温、降雨模式和物种的适应,许多无法完全确定的其他变量的不确定性,以及政府官员、企业所有者和绝大部分公众都必须在不确定性科学的基础上做出决策,NSF 特资助成立了 3 个不确定性条件下决策(DMUU)研究中心和两个跨学科研究团队来应对这些问题。

位于亚利桑那州立大学的沙漠城市决策中心利用附近的菲尼克斯市(Phoenix)作为实验室,研究适应战略,尤其是在干旱气候下与水资源管理有关的战略。这个城市在过去管理水资源供应中所取得的成功受到了最近干旱条件的挑战。由于许多气候模型都预测到在未来几十年内美国西部将会变得更加温暖和干旱,所以由研究人员和当地的水管理人员组成的跨学科团队遇到的问题:这个沙漠城市是否还有足够的水来维持增长?沙漠城市决策中心率先开发了供菲尼克斯地区决策者使用的实践计算模型,该中心将成为西方其他城市因为气候变化而面临类似水资源问题的典范。

在卡内基·梅隆大学的气候决策中心,研究人员主要关注如何处理“不能减少的不确定性”——我们对气候变化及其影响的理解的局限性。该中心为政策制定者提出了结合普通市民的明智判断和专家提供的信息以罗列生态风险的方法。这种联合风险分析的方法可以作为其他风险管理决策的模型。

在哥伦比亚大学,环境决策研究中心关注的是在气候的不确定性条件下个体和群体的决策制定过程。该中心旨在提高风险宣传,增加对气候变化有关的科学信息的使用。

DMUU 首批资助了两个研究团队。科罗拉多大学博尔德分校的科学政策评估与气候研究团队研究了许多与根据科学知识来制定政策有关的问题,包括像风暴和洪水这样越来越频繁和强烈的灾难性事件对经济的影响;来自兰德公司的一个研究团队主要关注加利福尼亚州的水资源管理问题,以及为突发性气候变化提供预警的观察体系的建立。

## 7.3 风险的传达

NSF 在支持灾难预警体系的研究方面已经有很长的历史。在像飓风这样的极端事件中,灾难预警体系可以帮助保护人类的生命。不断升高的海平面温度意味着飓风的强度可能会提高,因为温暖的海水拥有更多提供给暴风雨的能量。气候变化还会让海平面升高,这也会增加飓风的潜在危险,因为海拔低的地方将会更容易被暴风雨的波涛带来的洪水淹没。考虑到这些日益增加的风险,在政府官员与公众之间清楚地传播灾难的知识就更加必要。

在卡特里娜飓风之后,NSF 组建了几个研究团队,不仅研究防洪堤系统为何失败,还研究了风暴对人类和社会方面的影响,包括贫困人口的脆弱性、公共卫生影响以及社会经济因素同撤离规划和决策之间有何关联。这些研究提供了关于将

来在包括野火在内的自然灾害面前如何更有效地进行灾难规划和反应的信息。由于改变了的气候模式将导致美国西部的大部分地区更加干旱,因而野火的发生频率预计会增加。

## 7.4 人类与自然耦合系统动力学

人为气候变化是人类与自然系统相互作用的最重要、规模最大的例子之一。我们知道,人类行为在局地、区域和全球水平上都是一股强有力的变化力量。在所有层次上,人类行为都会导致环境变化,并对其做出反应。人类与生态系统之间的相互作用(尤其是这些相互作用的动力)预计会发生变化,因为全球气候变化所带来的影响在当地生态系统中也越发明显。例如,降雨模式的改变将导致供应城市饮用水的可获得性发生改变,这将对城市增长模式具有重要影响。为了更好地理解这些问题,NSF 设立了一个正式的跨科学部多学科资助计划,来支持分别侧重于社会科学、自然科学和物理科学的各研究团队,这些学科都与人类和自然系统的耦合密切相关。人类与自然耦合系统动力学计划所资助的研究主题包括:为海平面上升而建造的沿海堰洲岛的未来、土地管理与碳循环之间的相互作用、气候变化对荒地与城市区域交界处的火灾危害和生态系统的影响、农业决策制定中变化的气候与技术创新之间的相互作用以及处理气候变化问题的其他许多项目。

## 7.5 北极地区的社会科学

地球北极地区受到气候变化的影响可能比其他地区更大。分布在北极圈附近的未受入侵的本土文明,是社会科学家研究和记录不断变化着的文明的唯一机会。北极地区许多土著都依赖于对北极圈内本土物种的狩猎,不仅是为了获得食物,更是一种文化身份的基础。越来越不可预测的天气和海面上逐渐消失的冰层,正在减少进入文化狩猎场地的机会。

鉴于土著对不断变化的环境条件的文化敏感性,他们可以观察到研究人员可能会错失的模式和变化。为了获取土著人的知识,并让其参与到对他们自己所处的环境的研究中来,NSF 资助的研究人员吸收了土著提供的环境观察信息,同时帮助他们为自己的后代记录和保存文化遗产。土著从祖先那里传承下来的知识和观察资料,为研究人员提供了有关气候变化的珍贵信息来源。

## 7.6 教育

NSF 的战略目标之一是让公众参与和了解科学技术。为了实现这一目标,NSF 资助了正式和非正式环境下的科学与工程项目及活动。正式环境包括课堂,而非正式教育则可以通过信息丰富的电视节目、网站和博物馆展览以及各个年龄段和背景的人都能接触到的场景来展开。通过宣传气候变化背后的科学,NSF 为确保公众做好准备以选择如何应对气候变化的影响做出了贡献。一个知情的公民群体能够对本地的环境做出正确决策,如海岸线开发、城市水资源供应以及农业土地利用等。

国际极地年激发了世界各地对极地科学的兴趣,为研究人员提供了通过网页视频、电视报告和纪录片以及被记者访问等形式,分享他们的故事的机会。在一些科学项目的网站



上,像南极西部冰盖启动计划、北极地球观察网络、南极地质钻探等,老师和学生可以找到大量适合自己年龄的信息、动画、视频和其他交互式教育材料。一个与北极科学相关的网站([www.penguinscience.com](http://www.penguinscience.com))描绘了人们对企鹅的热爱,向人们传授了气候变化对企鹅习性的影响。

NSF 资助的另一个基于网页的气候变化研究教育工具是“科学探索博物馆”的获奖全球气候变化网站,这是一个包含丰富知识的精美网站,各个年龄段的人都可以从中了解气候变化研究的不同方面,甚至可以针对特定主题提出问题。

## 7.7 技术

NSF 资助的研究人员正在研究能够减少人类对地球气候影响的创新性技术。NSF 资助的基础研究是工程师和企业家用于发明这些技术的来源。

NSF 资助的工程师正在重新思考许多事情,从计算机芯片如何充电到新建筑物应如何建造,以期找到让人类活动更具有能源效率从而减少碳排放的新方法。例如,研究人员正在开发一种薄膜技术,将太阳能电池和加热泵粘贴到建筑物的墙体和玻璃的表面上,使之最终成为一种可以利用太阳能加热和降温的气候控制系统。

创新性能源解决方案不仅能够降低温室气体的排放,还有为美国经济供应燃料的潜力。NSF 资助了许多可替代能源研究,侧重于下一代太阳能电池材料和生物燃料生产、可替代能源生产与消费者需求匹配的战略、新燃料电池的设计和材料以及将机械能转变为电能的创新方法等。NSF 的小企业创新研究计划和小企业技术转让计划资助了正在寻求新方法为地球供电的小型公司。

此外,NSF 资助的许多研究中心和研究项目都是全部或部分以可替代能源、环境和其他具有前瞻性思维的绿色技术为主的。例如,NSF 资助的研究人员正在为从生物质中获取高能量燃料的生产寻求接触反应方法。有了已经取得成功的可替代能源(像风力涡轮机已经加入电网)以及刚开始出现的可替代能源,NSF 资助的工程师就将他们的注意力转向了已经老化的国家电网。目前配置的电网不适合风力发电和太阳能发电厂等分散式电力来源,也不能大量容纳这种体系。NSF 资助的研究人员正在重新设计用于控制分散式电力来源的方法,以便让更多的可替代能源站被纳入电网。NSF 的可持续能源计划已经资助了数十位研究下列主题的研究人员,即提高电池的容量、新型燃料电池、利用微生物发电以及用于氢存储的新材料等。

## 7.8 未来战略

科学和工程不仅能够减少人类排放到大气中的温室气体,将来还可能帮助降低人类对气候变化的影响。最近 NSF 发起了一次研讨会,主题是将 CO<sub>2</sub> 用作制造交通燃料和其他产品的供应原料。以这种方式使用 CO<sub>2</sub>,就有可能“循环利用”本来会终止于大气中的碳。NSF 资助的其他研究人员正在想办法刺激海洋中的有孔虫类及其他可以固定碳的浮游生物

的生长,让更多此类有机体出生、死亡,然后沉到海底,通过这个过程减少大气中的碳。还有一些 NSF 资助的研究人员在探索从工业流程排放的废气中消除 CO<sub>2</sub> 的方法以及封存碳的地下密封战略。

## 7.9 小结

人类对全球气候变化的影响是毋庸置疑的。但是,这也是人类创新和改变进程的能力。NSF 资助了“人民科学”(“people science”)许多方面的研究,从社会、行为和经济科学到高技术物质科学和工程,其共同点就是此类研究以这样或那样的方式与人民及其行为相关联。如果没有人类学习并应用这些知识到工作中,例如建立更好的气候模型,制定保护一种物种或生态系统的战略,制定限制碳排放的法律,或者设计一组新的实验来解决下一个尚未回答的问题,那么,NSF 或任何组织资助的气候变化研究都将没有任何意义。下面的研究成果选粹描述了致力于气候变化人的因素方面研究的许多项目。社会、行为与经济科学以及教育和绿色技术是其中的一些研究领域。这些研究项目不仅有助于我们理解人类在气候变化中所起的作用,还能为将来成为下一代科学家和工程师的学生提供学习机会。

## 附:人类研究成果选粹

### (1) 沙漠城市与水有关的决策制定

位于亚利桑那州立大学的沙漠城市决策中心(DCDC)关注的是干旱的非尼克斯城区与水有关的决策制定问题。由于在未来几十年内预计美国西部将会变得更加温暖更加干旱,所以由科学家 Patricia Gober 和当地的水利管理人员组成的跨学科团队正面临着这个沙漠城市是否还有足够的水来维持增长的问题。该中心的研究人员已经建了一个科学和政策参与的新模型,让水利管理人员和科学家在重要的研究议题以及新方法、可视化和决策工具方面进行合作,以便政策制定者可以为他们的城市、州和区域做出更好的决策。

该中心的“名牌”产品 WaterSim 整合了代表亚利桑那州中部在不同的人口增长、气候变化、个人行为和政策选择情境下的水资源消耗及其可获得性的定量模型。WaterSim 把 DCDC 的研究项目结果连接到互动工具上,让用户自己探索未来的可行前景,并考虑避免不可接受的情境出现时应采取的战略。该中心的知识、工具和可视化程度都是合作产生的,科学家负责挖掘有关模型开发的新角度和新洞见,水利管理人员确保模型本身与采用模型的决策环境保持一致。模型结果支持在市级层次上进行情境规划,突出了节约用水的必要性以及地区级层次上的需求管理,以避免出现最差的气候变化条件的不利后果。

WaterSim 目前只代表了非尼克斯市区的水利情形。经过调整之后,模型所使用的方法可以应用到全球的各个城市。除了明显可以应用于因为气候变化和增长的不确定性而面临地区性水资源供应挑战的其他城市之外,这种方法还可以

用于支持关于整个河流流域或分水岭的决策。DCDC 的研究人员计划将区域数据与作为潜在合伙人的拉斯维加斯、洛杉矶和图森的数据整合起来,以适当地评估科罗拉多河下游水资源供应的脆弱性。公众可以在网站(<http://watersim.asu.edu>)下载 WaterSim。当地的中学正在测试 WaterSim,目的是把新科学知识和学生的学习与社会需求以及政策选择结合起来。

### (2) 生态风险排序:提高公众参与的一种方法

监管人员和风险管理人员报告说,为了改善公众对环境决策制定的参与,他们需要普通市民花时间认真学习和思考,从而获得有关风险组合的有价值的观点。卡内基梅隆大学的 Granger Morgan、Michael DeKay、Paul Fischbeck 和其他人将他们的风险排序方法延伸到包括生态风险及其属性。这种方法在审慎协商的过程中综合了来自专家的信息和来自普通市民的判断。专家识别出相关风险,将它们分类,然后组织讨论,让市民提供判断和排序。所得到的结果与之前只包括健康和安全风险的研究一致,从而为这种方法的有效性提供了额外的证据。参与者报告说,他们很满意这样的程序和结果,并表示他们支持使用这种方法为风险管理决策提供来自真实世界的建议。尽管与环境因素相比,市民小组更重视健康和安全的因素,但他们同时认为,能够对重大的环境影响因素做出反应是非常重要的。

### (3) 用于不确定性条件下决策的气候科学政策评估与研究

科学家们警告,将来发生灾难的成本将会提高,因为像暴风雨和洪水这样的极端事件发生的频率会更高,强度更大。预计灾难损失也会随时间增加,因为在遭遇极端事件的地方,会积累更多的人、财、物。例如,在最近几年中,由于开发的急剧增长,飓风在迈阿密海滩的破坏潜力也变得更大。

科罗拉多大学博尔德分校的 Roger Pielke Jr.和亚利桑那州立大学的 Daniel Sarewitz 共同在科学政策评估和气候研究项目下工作,他们努力把将来的损失对可能的气候变化和未来发展可能模式的敏感性进行量化。他们还在广泛的气候变化情境中识别出最有可能为将来的灾难成本负责的要素,这样的话,决策制定者就可以确定应对不确定性的强有力的政策措施。

Pielke Jr.和 Sarewitz 发现,截止到 2050 年,在任何气候变化情境下,增加灾难成本的最重要的贡献因素都是发展模式。在一种研究飓风可能带来的损害的情境中,他们得出的结论是,2000 年损失的每 1 美元,到 2050 年预计会变成 4.60 美元。在增长的 3.60 美元中,有一半是因为发展的原因,只有 1/6 是直接与气候变化有关的。在所有关于气候变化、发展和损害预测的情境中,社会变化在推动未来的损失中起着压倒性的重要作用。在其他情境中,发展的作用则更大一些。

由于任何致使温室气体排放降低的能源政策的改变,都要花几十年的时间才能对气候体系产生可观察的影响,并且由于温室气体与极端事件发生模式之间的确切关系仍然不确定而存在争议,这些发现就意味着决策制定者具有相当大

的能力,可以通过影响有可能发生极端事件的地区的发展模式,来影响将来因为灾难导致的经济损失。因此,降低全世界灾难损失增长速度的工作可继续进行,同时要继续开展降低气候变化速度和程度的不确定性的科研工作。

### (4) 阿拉斯加湖面结冰和降雪观测网络:遍及全州的 K-12 和大学科学教育与研究合作伙伴关系

阿拉斯加湖面结冰和降雪观测网络 (Alaska Lake Ice and Snow Observatory Network, ALISON) 是在阿拉斯加州费尔班克斯大学与阿拉斯加的 K-12 教育社区之间开展的一种科学教育和科学研究合作伙伴关系。该项目在遍及阿拉斯加乡村和城市的教室中把科学与科学教育结合在一起。利用来自 NSF 的资助, Martin Jeffries 在阿拉斯加的 7 个社区创建了教室观测网络,其中 4 个社区位于乡村地区,主要服务于阿拉斯加本地的学生。可以在 ALISON 网站 ([www.gi.alaska.edu/alison](http://www.gi.alaska.edu/alison)) 上看到实验性网络的成果。该项目仍在继续,并扩展了开展研究的科学家的创新性概念,他们通过辅助学生收集、分析和解释项目负责人在针对冰、雪和水的研究项目中使用的数据的方式,与科学和数学教师及其学生建立合作关系,从而达到宣传的目的。项目负责人的研究是为了确定冰、雪和水在一个冬天和多个冬天的时间段内的气候变率和变化。通过这种方式,学生和他们的老师可以了解到科学研究的本质,包括问题、简单的调研、数据收集、数据分析与解释以及研究和解释的传播交流。

### (5) 节约计算机系统电力和能源

NSF 资助的研究人员已经研究过计算机编译器优化的电力和能耗节约潜力,他们发现有几项优化方案可以比目前最先进的技术更能节约电力和能源,它们分别是动态电压和频率调整、资源冬眠,以及远程计划实施。

动态电压调整 (DVS) 被认为是最有成效的电力节约技术之一。它利用了这样一个事实,即互补金属氧化物半导体 (CMOS) 电路的大部分电力都是与电源电压呈二次方关系的。其结果是,降低电源电压可以大大减少电力的消耗。

该项目负责人制定了编译器支持的动态电压调整优化战略作为项目的一部分,在编译器上实施并评估其性能。评估以物理上的电力和功耗测量为基础进行。在一台高性能的 AMD 笔记本 (Compaq Presario) 上,整个系统降低了 28% 的功耗,性能只下降了不到 5%。平均来说,系统功耗和功耗延迟积 (EDP) 分别可以降低 11% 和 9%,而平均性能只下降 2%。

### (6) 高度交互式平行显示墙:为具有合作特点的地球系统科学而开发的高性能可视化系统

高度交互式平行显示墙 (HIPerWall) 项目为实验和理论研究提供了前所未有的高度可视化能力。其主要焦点是地球科学的可视化,但生物医学科学和工程领域的研究人员之间的合作也能从 HIPerWall 的可视化能力中受益。地球科学数据装置通常以很高的分辨率和景深覆盖地球的很大面积,在每个格点上都有许多随时间而变化的值,从而产生数十亿字节或千兆字节的数据。将这些多维的随时间变化的数



据装置可视化,是对计算/存储基础设施和当前的显示技术的一种挑战。有了 HIPerWall,研究人员可以同时看到大量的数据和细节,从而实现合作,以及对复杂结果的分享。高性能计算机的可视化线束在 HIPerWall 的 50 个显示板块上传输和处理数据,其综合分辨率高达 200 多兆像素。可视化线束可以从加利福尼亚大学欧文分校的地球系统建模设施,即一台 IBM 超级计算机(NSF 在 2003 年支持的)上接收模拟数据;可以连接到加利福尼亚大学欧文分校将来的项目 VizClass(NSF 在 2001 年支持的)的数据工场;还可以通过 Calit2 OptiPuter 网络(NSF 在 2003 年支持的)进行传送。HIPerWall 显示分辨率极高的数据组合的能力,将推动现行研究进入对以千兆字节为单位的数据的管理、传输和可视化,从而建立起信息化基础设施的试验台。

“可视分析”的 HIPerWall 支持对原始数据、经过处理的数据以及融合数据的同时显示。例如,国际气候变化专家小组所做的 20 次模拟运行目前正在 HIPerWall 上进行分析,从而让具有不同分辨率的气候预测都可以被地球系统科学研究人员可视化地关联起来。通过揭示几乎所有模型中都很明显的气候影响,从而让科学家们达成共识。如果没有 HIPerWall 的强大的分辨能力,就只能把所有的结果都转化成常用的数据格式,并通过机器关联来显示气候变化之间的关系。由于人的眼睛对于模式识别非常有效率,所以当以清楚的方式显示数据的时候,人就能更容易有所发现。通过让科学家利用自己的眼睛看到多个模型中预测的变化,并从具体的专业知识中得出结论,将更有可能达成一致意见。

在 HIPerWall 上显示国际气候变化专家小组的数据的软件工具是 HIPerWall 提供的大量显示和计算资源的直接结果。该工具可以读取参与机构产生的 NetCDF 文件并显示参数,像二维的温度和降雨量变量。例如,它可以同时显示每个模型 50 年间随时间变化的温度和降雨量数据,并将温度和降雨量的差异与开始年度——2000 年的相应月份关联起来。该工具还可以按照从 2000 到 2009 年的时间顺序逐月前进或后退。这么多的数据被以清楚精确的方式显示,让不同特征之间的可视化关联变得可行且容易。数据是在虚拟笔记本上提供的,可以被自由转移到 HIPerWall 的任何显示板块上,以便让研究人员组织(分组)相关信息。

即便 HIPerWall 仍然处在开发阶段,它已经能够让来自不同领域的研究人员共同处理以前难以捉摸的信息可视化问题。目前,其核心研究团队由 15 名教师、博士后研究人员以及研究生和本科生构成,他们与来自加利福尼亚大学欧文分校和加利福尼亚大学圣地亚哥分校的 6 个系和 4 个学院的团队共同合作,研究地球系统科学、远程观测、传感器网络和传感器融合、紧急事件评估和反应、生物信息学以及分布式计算和可视化等问题。

#### (7) 提高电网对分布式能源及存储的可靠性

目前对风力发电场和其他形式的分布式能源的控制和保护,在最需要的时候几乎都是没用的。这是因为风力发电

场、燃料电池和其他分布式能源都是自动由内部控制器关闭来保护其不受干扰的损害。NSF 资助的研究人员,在密苏里大学罗拉分校的 Badrul Chowdhury 领导下,正在开发新技术和控制战略,以改善将包括可再生能源在内的分布式能源整合进入电网的电子接口。像超导储能器(SMES)或燃料电池等能源存储装置的使用,都可以提供更高的灵活性,让分布式能源在受干扰期间仍然在网。

作为其工作的一部分,研究人员已经利用有功/无功解耦控制计划,为三相变电器开关信号制定了控制战略。在研究固体氧化物燃料电池(SOFC)系统对干扰的反应时间时,模拟结果显示,把逆转换(DC/DC)变电器连接到固体氧化物燃料电池上,可以让反应时间加快 50%。如果把三相变电器连接到 SOFC-DC/DC 系统中,可以进一步加快 45%—48% 的反应时间(即共提高 95%—98%)。更快的反应时间可以帮助提供更快的稳定信号,来抑制由系统干扰引发的波动。这样的运行模式在预防可导致大面积断电的电网连锁故障方面至关重要,就像 2003 年 8 月份发生在美国东北部的那次故障。

#### (8) CO<sub>2</sub> 去除——微生物化学隔膜与累赘的天然气处理装置

将 CO<sub>2</sub> 从在使用前需要提炼的天然气中去除,是一件非常昂贵的事情。在 CO<sub>2</sub> 被去除之后,有些天然气可以有許多商业用途。例如,在氢氨的生产以及天然气的提纯过程中,都要将 CO<sub>2</sub> 去除。目前从天然气中去除 CO<sub>2</sub> 的商业工艺需要累赘的大规模天然气处理装置,利用氨水溶液进行。这种昂贵的资本和能源密集型工艺包括用泵吸入大量稀释的和再生的氨溶液,耗费大量的能源通过蒸汽加热稀释的氨溶液使溶液再生,然后使用昂贵的设备处理溶液。此外,热力平衡限制了 CO<sub>2</sub> 在氨溶液中的可溶性,这需要增大吸收器、再生器和相关设备的规模(也就是更大的天然气处理装置)。

鉴于目前天然气处理装置的缺陷,俄亥俄州立大学的 Ho 小组在研究和开发能够节约资金和能源的有效工艺。他们使用了一种新方法——CO<sub>2</sub> 选择性隔膜。这种新方法把 CO<sub>2</sub> 的吸收和抽离(在商业技术中,这是在两个单独的步骤中完成的)整合在只有一个步骤的隔膜工艺中。这种单一步骤的工艺不仅简化了隔离过程,还取消了在商业技术中使用的昂贵的设备,对环境的影响也更小。单一步骤的工艺还克服了氨水溶液的热力可溶性限制。

Ho 小组的研究使用了新的 CO<sub>2</sub> 选择项隔膜方法,克服天然气处理的商业技术的许多缺陷。这种方法可以节约大量资金和能源。隔膜有许多潜在应用,包括净化合成气为燃料电池生产高纯度的氢,从烟道气体中捕捉 CO<sub>2</sub> 进行封存,以及从沼气、天然气、密闭空间的空气和周围环境中移除 CO<sub>2</sub>。

#### (9) 国际研讨会探索生物地理工程学的研究机会

分子生物学、纳米科学、微生物学、成像技术和可视化技术以及工程模拟等领域的综合进步,为地理技术工程师(geotechnical engineer)和生物地理科学家提供了无数机会,为社会提供了各种解决方案,来应对因全球和地区的迅速变

化所产生的问题。这些解决方案包括城市重建的可持续性方法、碳封存、基础设施复原、现有工业工厂清除、有害废弃物处理、水资源保护以及食物生态系统维护。应对这些挑战的解决方案要求传统的科学与工程学科之间开展跨学科研究,这些学科包括地理技术工程、地球科学(geoscience)、微生物技术、地球化学、分子生物学、土壤科学,以及地理环境工程。

对这些新兴跨学科领域的探索始于2007年4月由NSF和英国工程和物质科学研究理事会(EPSC)共同举办的国际研讨会。跨学科团队将地表以下视为一个活的开放性反应系统,其机械学、生物学和化学反应的过程都是动态的、不断变化的,从而识别出许多应用领域。这些应用领域被广泛分为地下机械控制、地下液压控制、补救和废弃物处理、能源生产和碳封存以及土壤与植物之间的相互作用等。在识别出来的应用中,还有利用微生物黏合松散的土来预防地震中的建筑物倒塌;提高土壤存水能力和植物在干旱地区生长的生物和化学工艺;为洁净水、封存碳和燃料等建设地下埋藏设施;以及如京都议定书目标、水资源框架指令和土壤框架指令等全国性和国际性的计划。在所有的应用领域中,还确定了基础科学和工程研究的优先领域,有几个优先领域彼此之间还有广泛的相关性。

#### (10) 部落学院开展的气候变化研究

气候变化对于哈斯凯尔印第安民族大学而言具有一种全新的意义,这个大学正在改变其类别。为了将教育延伸至数学和科学之外,部落院校计划(TCUP)支持的项目与哈斯凯尔的“美国印第安人研究计划”共同合作,以满足来自教育和社会方面的需求。去年夏天,哈斯凯尔举办了关于气候变化对原住民的影响的座谈会。来自机构和部落学院的当地环境专业人员聚集在一起,讨论随着环境的变化,科学技术如何可以帮助更好地规划未来。Oscar Kawagley 是阿拉斯加州费尔班克斯大学的一位阿拉斯加原住民教授,他在会上描述了所在村庄如何因为海平面的上升而迁移。哈斯凯尔的学生协助会议工作。Josh Meisel 做了关于海平面上升的演讲。

#### (11) 培养下一代计算机科学家

要想处理像气候变化这样复杂的现实问题,我们需要精密的计算和数据系统及可以运行它们的人才。目前,美国面临着可以使用和维护高性能计算机和数据系统的训练有素的科学家和工程师短缺的问题。国家大气研究中心及其计算和信息系统实验室正在努力解决此问题。2007年,实验室推出了平行计算科学夏季实习生计划,该计划可以让学生获得关于处理各种平行计算科学问题的实际经验。学生在计算专家的指导下,在与该中心地球科学研究任务相关的应用中使用了高性能的计算系统。有7位来自科罗拉多州、怀俄明州和北卡罗来纳州各大学的学生参加了该计划。

#### (12) 体验气候变化:评估维柳伊萨哈(Viliui Sakha)人的知识、顺应能力和适应性

乔治·梅森大学的研究人员正在调查生活在北极地区的人们对于因全球气候变化而导致当地环境变化的适应能力。

他们尤其希望看到维柳伊萨哈人(西伯利亚东北部的原住民)需要什么信息来更全面地了解全球气候变化,以提高他们的适应能力。维柳伊萨哈人是俄罗斯萨哈共和国西北地区维柳伊河周围牧马和养牛的原住民。对4个村庄长达3年的研究是一项合作性工作,包括目标社区人员、野外助理、土著专家、国内研究团队和一位国际合作人员积极参与了该项研究。在2004年对4个村庄居民的调查中,项目负责人发现,这些居民中的90%都表现出对当地气候变化的担忧,气候变化正在导致当地发生前所未有的变化,威胁到他们的生存。

#### (13) 合成式光合作用?创造新的替代能源

阿克伦大学的研究者正在利用合成式能源方法来研究光合作用的化学和物理过程。该项研究得到NSF化学处的资助,让科学家能研究有效的光吸收操控技术,并发明更加高级的工具用于光能利用。

光合作用是一种优美而复杂的过程,是一系列有效的光子激发活动,涉及能量和电子的长距离传输。这些过程的最终结果就是将光能转换成化学能。研究者利用大分子系统控制光子,研究通过光吸收和有效模仿光合作用进行能量转换的机制。

如果顺利的话,这种研究能产生将太阳能转化成化学能的新方法,进而用于发电。该技术具有巨大潜力,将提供替代能量来源,从而可对抗全球变暖。

#### (14) 与污染做斗争,各个分子逐一击破

斯贝曼学院是一所非洲裔美国人占多数的女子学院。该学院的化学家已开发出一种多维色谱分析仪,并正在测试,以用于研究有害大气分子的结构和行为。利用这种工具开发出来的技术可提高大气污染物运动的动力学模型的精确度。

科学家已经证明,以氮氧化合物和卤素形式存在的大气污染物能破坏臭氧层,造成对植物和动物的呼吸损害。这些污染物大部分来自机动车和制造业,广泛散布于地球的大部分地区,影响全球大气的臭氧层。利用传统的光谱学形式很难研究这些破坏性分子的结构和行为,例如溴气( $\text{Br}_2$ )和二氧化氮( $\text{NO}_2$ ),而通过NSF这一资助项目所开发的新技术,已证明能有效地描绘这些大气污染物。

#### (15) 南美洲气候变化与玛雅文明的灭亡有关

目前在北大西洋热带地区的卡里亚科(Cariaco)盆地开展的一项研究发现了一些令人感兴趣的结果,揭示了古代的气候变化及其影响。

取自卡里亚科盆地的沉积物岩心通过代表物分解到分年尺度上,提供了一份绝佳的气候变化记录。将这些记录与格陵兰岛上的冰芯记录进行对比,确定在低纬度和高纬度地带的气候变化是否一致。卡里亚科的记录表明,气候突变类似于冰芯记录所代表的气候突变,包括北大西洋的新仙女木(Younger Dryas)事件。总而言之,卡里亚科记录与格陵兰岛的记录有着惊人的关联,表明最先在格陵兰岛发现的异常气候突变也同样发生在热带地区。然而,它们之间也存在一些不同之处,提供了关于气候强大力量的不同线索。例如,在沉积



物样本中作为代表物的铁和钛的含量的变化,表明了南美洲北部地区性降雨量和水文的变化。直至今日的结果显示,这些变化并没有体现出与高纬度地区的温度之间的清晰关系,反而反映出在低纬度地区主导太阳辐射的地球自转运动所产生的巨大力量。

研究人员可以将他们的发现与玛雅文明的灭亡联系起来。他们能够从每年沉积物的分层上获得多个测量数据,可以分清每年的雨季和旱季。先前的研究表明,持续一个世纪的超级大干旱导致了玛雅帝国的终结,但这次详细的研究表明,玛雅帝国的终结是由一系列更短的干旱期造成的,每一次干旱期一般持续 4—9a,它们叠加在一起从而拖长了整个干旱期。这些干旱的时机看上去和玛雅居民区遗弃的历史记录有关联。该地区的干旱和更大范围的气候变化造成了一个重大人类文明的灭亡,其间的关系警示着我们:在地区和全球层面上了解气候变化是多么的重要。

#### (16) “海洋探险者号”上的跨学科地球科学研究和研究培训 EAGLE 联盟及船载仪器的获取

“海洋探险者号”(Explorer of the Seas)代表着各界独特的合作关系,包括学术界(迈阿密大学),联邦政府(NSF、NOAA、NASA),私人企业(皇家加勒比海游轮公司)。“海洋探险者号”装备有科学仪器,能在航行期间开展海洋和大气测量,进行气候、污染和社会等领域的研究。除了在航行期间为研究者收集数据以外,游客们还可以通过设置在游轮甲板上的实验室内的互动显示屏以及听取到访科学家的演讲,参与并了解这里正进行的科学活动。每个星期抽取 200—300 名各个年龄段具有不同文化背景的游客,欢迎他们公开游览大气和海洋实验室。2002 年,到访科学家们在游轮上作了 52 场原创的科学演讲,这些演讲主题丰富,涉及珊瑚礁鱼类和健康、全球变暖、厄尔尼诺、飓风研究、深海热液喷口、鲸类、大气气溶胶和海洋考古学等。

大西洋热带地区和加勒比海地区的海水交换影响着许多现象,例如墨西哥湾暖流的形成、整个加勒比海地区浮游生物的传播和分布。利用“海洋探险者号”甲板上的仪器所收集到的数据,科学家就能得到关于以下课题的许多知识,如大气气溶胶质量负荷对地球太阳能供应的影响,非海盐硫酸盐、矿物粉尘和海盐对大气气溶胶的影响。至少有 27 位研究者利用“海洋探险者号”收集的数据进行了研究。

在 2003 年,迈阿密大学主导了一个试验性大学生课程,集中利用“海洋探险者号”数据集来教学数据分析技术。该课程包括在游轮甲板上进行一周的实验室强化实习,在实习期间,学生们要利用流动的海水系统进行盐度校准、碱度滴定和浮游生物定级试验。学生们要把他们的研究成果作总结并向游客们讲演。

#### (17) 印度尼西亚的农业决策制定:集成气候科学、风险评估和政策分析

Rosamond Naylor 和许多来自斯坦福大学、华盛顿大学和威斯康星大学经济学与气候学领域的同事们组成团队,在了解

解气候变率和气候变化对印度尼西亚农业的影响方面取得了重大进步。印度尼西亚是世界上人口第四大国,几乎一半的人口直接参与农业生产。此类生产对雨量的短期和长期变化特别敏感,气候变化直接影响印度尼西亚数千万贫困人群的生活和福利。

通过 NSF 资助的研究工作,Naylor 及其同事们成功开发出预测模型,预测印度尼西亚在全球变暖情况下每年的降雨量变化(与太平洋地区的厄尔尼诺现象有关)和更长期的降雨量变化。该团队随后将这些变化与印度尼西亚的农业决策制定结合起来。研究发现,季风雨时机上的变化解释了大部分观察到的农业生产率的变化,而这些雨水的降临会随着全球变暖而越来越晚——这将对印度尼西亚大面积水稻种植区的贫困人群产生不利影响,特别是爪哇岛和巴厘岛地区。

该团队的预测模型现在已被印度尼西亚农业部的决策者采用,用于预测农业领域中即时和未来潜在的需求。在获得新的 NSF 资助后,该研究工作有望复制并扩大到中国,希望帮助数千万中国农民解决其所面临的类似的气候易变问题。该团队关于中国的科学研究将通过与中国科学院农业政策研究中心和全球预测中心的同事的合作,把相关研究整合进决策制定过程中。

#### (18) 向教师传授气候变化知识

密西根理工大学的 Kurt Pregitzer 开发了“全球气候变化教师进修学院”(Global Climate Change Teacher Institute)项目,培训了来自全美数十名初中和高中教师,教授他们有关全球气候变化的物理、化学和生物学知识。Pregitzer 的研究得到 NSF 的资助,该研究表明,大气氮持续长期沉降影响了北部硬木林区的氮和碳循环。在项目执行期间,Pregitzer 努力提高教师和学生在科学上的参与度。每个暑期,为期一周的教师进修学院把教师们带到与 Pregitzer 项目有关的野外和实验室进行实地考察。在那里,教师们能学到 CO<sub>2</sub> 和臭氧水平提高、氮沉降、酸雨和外侵物种对林业生态系统带来的影响,同时获得毕业课程的学分。在这个强化周结束之前,每个教师需要设计一个能用于课堂教学的“全民科学”项目。该项目通过给教师们提供能用于课堂教学的教学工具,用知识和自信武装教师,促使他们在介于课程和专业科学家中间寻求更进一步的研究机会,从而加倍放大了指导影响力。例如,一位教师可以利用她的课程经验设计一个协作性项目,和政府机构一起测试当地发电厂周围的酸沉降。Pregitzer 的课程得到全国关注——美国林业局(U.S. Forest Service)和国家公园管理局(National Park Service)正在寻找方法在全美开发类似于“全球气候变化教师进修学院”的项目。

#### (19) 激发中美在生物能源开发上进行合作的研讨会

中国和美国作为 CO<sub>2</sub> 排放量居前两位的国家,有着特别的机遇来制定相关解决方案,以应对日趋紧迫的能源和环境问题的压力。田纳西大学诺克斯维尔分校安全和可持续环境研究所(ISSE)的研究人员和来自中国科学院地理科学与资源研究所的合作伙伴一起,联合召开了 2008 年秋季研讨会。研

讨论集中在多学科主题上,例如生物能源作物的可持续生产、土地使用变化、碳沉积、水资源和生态恢复。研讨会有望在中美关键的主题上催化出新的研究,对满足全球能源需求和保护环境做出重要贡献。与会者讨论了生态系统的过程和管理、生物能源生产的环境可持续性以及水资源的生态基础。本次会议有望产生一项重要成果,计划开展测试并开发新技术,缓解对生态环境系统产生的负面影响。会议同意,美方由5位美国研究生去探索这些问题并发展相应的研究伙伴关系,以帮助提升未来中美合作研究的优先领域。除了开展研究以外,研讨会还有望激发建立一种新机制,以吸引大学生和青年研究人员走进跨文化的国际研究中,解决生物能源和环境变化问题。

#### (20) 计算的可持续性:可持续环境、经济与社会的方法

为可持续的未来而平衡环境、经济和社会之间的需求,需要解决周围空前规模的复杂性问题。由于具备一些天然产生的条件,全球规模的动态和不确定行为、离散和连续的影响的相互混合以及高度互动成分,使得与地球资源可持续发展有关的问题可以利用计算型方法和思路来取得巨大的成功。计算机和信息科学起到了关键作用,可提高人类管理和配置自然资源的效率和效力。该项目意在构建并培育一个新的研究领域——计算的可持续性,该领域是由可持续研究中广泛的“硬”计算难题和关键性挑战而驱动的。应用理论探究将致力于3个计算可持续主题的跨学科研究,这3大主题为:保护与生物多样性、平衡社会经济需求和环境保护以及可再生能源。由于看到自然问题具备一种可以被机器学习技术所发现并得到解决的特殊结构,故而这种研究试图激励跨越学科边界的协同和各种理念的融合,包括组合优化、动态系统、机器学习和约束推理等。康奈尔大学计算可持续性研究所将成为基础性科学进步和可持续性实践应用的中心。该行动的部分任务就是在计算的可持续性领域建立一个鲜明的研究共同体,通过暑期研究体验和其他积极主动开展的活动,吸引具有所有研究背景的新学生加入该领域,包括来自弱势群体的学生。

#### (21) 提升生物质向乙醇的转化以发展可再生能源

国家可再生能源实验室(NREL)致力于开发一种技术,能将大批量的生物质转化成乙醇,从而提供一种清洁的可再生的燃料来源。此举可减少对化石燃料和进口石油的依赖度,并且能保护气候。在让此技术变得经济可行的过程中存在一个关键性的瓶颈,即纤维素酶对纤维素的降解速度极其缓慢;科学家必须在分子水平上了解该过程,这样才能展开有针对性的进一步研究,以加速这种反应。

为了探究该过程错综复杂的分子动力学机制,研究者利用哈佛大学分子力学化学实验室(CHARMM)的软件代码,该多功能代码能模拟生物反应。然而,其模拟所需的规模非常巨大(超过100万个原子),而且所需时间也很长(一个10纳秒或以上的模拟需要5000次以上的步骤),超出了CHARMM

目前的能力。

圣地亚哥超级计算机中心(SDSC)的研究者正在和NREL、康奈尔大学、斯克利普斯研究所和科罗拉多矿业学院的同事们一起,对CHARMM进行升级,使模拟升级至百万原子级,能在最大的超级计算机中数百个处理器上,包括在SDSC的DataStar和TeraGrid上运行模拟过程。这将使得模拟这种关键反应变得可行。这些研究可让前所未有的大型模拟得以进行,从而解决重要的科学问题,并产生巨大的经济和环境收益。除此之外,CHARMM代码的升级也能让科学界开展更广泛的应用,以解决其他科学问题。

#### (22) 南极企鹅:教授气候变化的科学

有一项NSF资助的活动,将“气候变化的领头羊”阿德利(Adelie)企鹅研究成果传播给开展K-12教育的共同体,取得了实际效果。从30个州450多所K-8教室雪片般飞来9000多张由儿童设计的个性四溢的明信片,表达了孩子们对企鹅的关爱和关心。许多明信片上都写有问题,并表示课堂与该项目紧紧相连。每一张明信片都得到回复,盖上南极洲的邮戳并寄回给孩子们。

该项目的交互性网站([www.penguinscience.com](http://www.penguinscience.com))估计在2008年1月前获得了100万次的点击率。网站每天提供观测,可以观察企鹅抚养小企鹅的过程。有6个巢穴展示给学生,为学生提供收集数据并记录他们自己野外科学日记的机会。

孩子们可以记录哪些企鹅父母在巢内、它们孵蛋时间多久、企鹅父母对孵蛋各奉献多少以及天气条件和影响等问题。孩子们能跟踪企鹅宝宝从毛绒绒的小球转变成羽翼丰满的高大企鹅以准备下海的全过程。网站也包含许多信息,专门针对老师的旨在让其了解全球气候变化以及企鹅如何应对环境变化。

这些信息正广泛传播至更多的人群。这种适用于教室教学的资料附有一张DVD光盘,给教师们带来了有关企鹅、极地地区和全球气候变化的高质量的课程计划、照片、图片和各项活动,以及一个介绍科学家是如何工作的特别短片。教育版DVD面向的对象是4—8年级的学生,该DVD通过网站发布,在全国各地主要城市的教师研讨会上分发。2008年3月,精装版DVD在国家电视台“动物星球”栏目播映。

(完)

本文第I、II、III部分分别发表于本刊第15、16、17期。

#### 《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映我国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域我国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:[www.kjdb.org](http://www.kjdb.org)。