



中国工程院院士李国杰：计算机和微电子学科应紧密结合

■本报记者 刁雯蕙

近日,在深圳召开的第 25 届高新技术成果交易会高性能芯片设计与制造高峰论坛上,中国工程院院士、中国科学院计算技术研究所研究员李国杰指出,随着人工智能(AI)技术的进一步发展,解决算力需求“剪刀差”难题,实现微电子新器件突破迫在眉睫。同时,他还呼吁推动计算机与微电子学科相结合,为我国培养更高质量的芯片人才。

数据、模型和算力缺一不可

芯片是信息社会的基石。随着 AI 技术的迅速发展,算力成为主流 AI 不可或缺的一环。而算力的基础是芯片,没有芯片,AI 也就无法实现。有数据显示,我国 AI 算力规模在 2026 年将达到 1271 EFLOPS;2021 年全球图形处理器(GPU)市场规模为 335 亿美元,预计 2030 年将达到 4774 亿美元。

“有人开玩笑说,目前信息领域的形势是——软件在吞噬世界,AI 在吞噬软件,深度学习在吞噬 AI,GPU 在吞噬深度学习。这是片面的观点,但在一定程度上反映了芯片的重要性。”李国杰说。

近年来,算力和芯片备受关注,因为 AI 已进入重大转折期,以生成式 AI 为代表的新技术将 AI 推向了一个新高度。人们如同在黑暗的森林中看到了一线曙光,有一批学者、企业家和投资者坚信,人类可能发现了一条通往智能时代的羊肠小道,而拓宽这条小道最基本的投入就是提高算力,因此能提高算力的芯片必然受到青睐。

李国杰指出,尽管人类已经在向智能时代迈进,但至今还没有弄明白智能和计算之间的关系。即使是图灵机模型,也只是历史上提出的多种计算模型之一。

他表示,计算的复杂性跟计算模型密切相关。最近推出的大语言模型能够有效处理自然语言生成、模式识别等图灵模型中的非确定性多项式难题,说明神经网络模型在某些类型问题上已突破了传统图灵机模型的局限。近两年 AI 的走红,表面上是“算力出奇效”,本质上是计算模型的重大转变。

“人脑的算力并不高,AI 未必需要非常高的算力。目前的‘算力出奇效’可能是 AI 技术发展过程中的一幕。为了在这一阶段不掉队,我们必须大力发展算力,要特别重视支持算力的芯片,但同时也要关注发展 AI 的其他方面。”李国杰说,“这两年训练大语言模型的算力增加了 265 倍,每 3 个月翻一番。如果这种发展速度延续 10 年,算力就要增加一万亿倍,必然耗尽全世界的资源和能源,这是绝对不可能发生的事。”

实际上,AI 的发展取决于数据、模型和算力三大因素,这三者都至关重要,缺一不可。算力的提高主要依赖于芯片和系统结构的改进。过去半个多世纪以来,计算机系统性能的提升大约有一半归功于微电子技术的进步,即摩尔定律。而另一半则源于系统结构与软件的优化。“在未来 20 年内,系统结构创新的贡献可能会超过芯片本身。”李国杰说。

如果算力能够以比摩尔定律更快的速度提高,那么大规模所需的大算力就不成问题。然而,

摩尔定律已经接近物理极限,半导体器件的进步和超级计算机每 10 年提高 1000 倍的发展速度,远远无法满足日益增长的算力需求,这是当前信息科技面临的主要挑战。

对此,李国杰说:“要么改变 AI 的模型和算法,要么改变微电子器件和计算机的原理与结构。因此,研发能够满足算力需求的微电子新器件迫在眉睫。”

微电子器件的功能不限于提高算力,微电子构成的复杂系统可能涌现出意想不到的功能,微电子提供的存储、记忆、联想及控制功能与算力一样重要。智能可以“算”出来、“猜”出来,也可以通过复杂系统“联”出来。

如何提高芯片的算力?李国杰指出,这不仅可通过增加乘加运算器一条路来实现,存算一体技术、减少数据搬运、消除存储墙等途径可能更为有效。此外,模拟计算、量子计算、光学计算和生物计算等前沿技术也提供了新思路。“过早锁定技术路线可能失去更好的机会。”

人才短缺制约芯片发展

谈及芯片人才培养问题,李国杰在接受《中国科学报》采访时指出,人才短缺是制约芯片发展的重要因素。集成电路产业不仅缺乏领军人才和骨干人才,还缺乏一般的工程技术人才,这也反映了集成电路人才培养体系已不适应产业的发展。

据统计,目前国内芯片行业从业人员约有 63 万人,人才缺口在 26 万人左右。

“缺乏芯片人才的原因主要是历史欠账太多。”李国杰表示,长期以来,我国信息领域头重脚轻、基础不牢,大部分人才都走向互联网应用企业。在我国高校中,一方面,与微电子有关的大部分院系,师资力量薄弱,人才供应不足。另一方面,在人才培养方式上,没有按照芯片人才的需求进行培养,高校比较偏向基础理论教育,学生的实践能力和动手能力较为欠缺。

对此,李国杰指出,培养芯片人才需要紧密结合计算机和微电子两个学科。“世界顶尖大学的计算机学科和微电子学科大多是在同一个院系。相比之下,我国这两个学科长期脱钩,不利于集成电路产业的发展。”

他以微电子中的电子设计自动化(EDA)软件工具为例说:“如果说集成电路是皇冠,那么微电子中的 EDA 工具就是皇冠上的宝石。EDA 软件工具在逻辑设计、物理设计、加工生产的过程中,凝结了人类对物理世界和信息空间的认知。集成电路的发展水平基本上取决于 EDA 软件的发展水平。没有计算机领域的人才参与,仅凭微电子领域的人才无法完成 EDA 工具的开发。”

李国杰提到,仅靠器件层面的创新,无法降低功耗又提高性能,必须从跨层设计入手,才能达到相关优化目标。只有将新型器件特性与电路、结构、应用特性结合,将新型器件与计算算法结合,才能走出困境。在逆全球化盛行的新环境下,我国要更加重视芯片的设计以及系统结构和软件的创新,争取在低世代工艺的条件下,研制生产出与国外高世代工艺水平相当的芯片。

1 万年前南极冰盖为何退缩

■本报记者 沈春蕾

在 1.8 万至 1.1 万年前的末次冰消期,南极冰盖曾存在几次快速的退缩过程。有科学家认为,这可能与冰下融水排放导致的冰盖失稳有关。然而,由于缺乏直接的地质证据,二者的联系尚不清楚。

为此,中国科学院南京地质古生物研究所(以下简称南京古生物所)、英国布里斯托大学、英国圣安德鲁斯大学、南京大学的学者开展合作,利用南大洋德雷克海峡的深海珊瑚样品,获得了末次冰消期以来高分辨率南大洋中层海水铀同位素演化记录,进而揭示了冰下融水的释放和冰盖退缩、海平面上升之间的直接联系,为推测末次冰消期冰盖可能的变化提供了重要参考。

相关研究成果近日发表于《自然-通讯》。

冰盖底部有许多湖泊

南极地表覆盖着大范围常年不融化的冰雪,又称南极冰盖。2020 年 11 月,科技部国家遥感中心发布的《全球生态环境遥感监测 2020 年度报告》首次将“南极冰盖变化”纳入专题系列。

论文第一作者、南京古生物所副研究员李涛介绍,南极冰盖底部的水文过程对冰盖的稳定性存在显著影响,因而受到广泛关注。

据了解,随着压力增加和温度升高,冰盖深部的固态冰会逐渐转化为液态融水,在冰盖底部形成许多大小不一的冰下湖泊。现有统计数据表明,全球已探明的冰下湖泊有 773 个,其中南极洲有 675 个,格陵兰岛有 64 个。

当南极冰盖不稳定时,冰下湖泊储存的冰川融水在冰盖底部的流动性加强,存在大量排放的可能性。冰川融水的排放过程会反过来影响冰盖的稳定性,导致冰架崩塌速度加快。

“由于现有观测手段无法直接记录冰盖底部融水的释放过程,目前我们对冰下融水的释放和冰盖退缩之间的联系还缺乏可靠认识。”李涛告诉《中国科学报》。

此前研究发现,冰盖底部岩石颗粒表面释放的铀同位素(²³⁴U)会在冰下融水中不断累积,导致冰下融水通常具有较高的铀同位素值(²³⁴U/²³⁸U)。最近的研究显示,东南极洲冰盖底部化学沉积物的铀同位素值高达 4000‰,如此巨量且过剩的 ²³⁴U 的释放会显著改变周围海水的铀同位素组成。

通过轨迹的分析计算,李涛等人推测,富



深海珊瑚。受访者供图

²³⁴U 的底部融水可能来自南极半岛或阿蒙森海附近,并推测冰盖附近的海水铀同位素组成是记录冰下融水释放的潜在指标。

深海珊瑚是可靠载体

“海水铀同位素的重建需要精确测定样品的绝对年龄和铀同位素组成,大部分地质样品无法满足这一要求。”李涛表示,深海珊瑚被证明是记录海水铀同位素组成的可靠载体,可以通过铀-钍定年方法获得绝对年龄和初始铀同位素组成。

此前就有研究利用深海珊瑚样品重建了末次冰消期以来大西洋和太平洋海水铀同位素演化,揭示了物理风化和水团混合过程对海水铀同位素组成的影响。

李涛等人通过分析南大洋德雷克海峡的深海珊瑚样品,获得了末次冰消期以来高分辨率南大洋海水铀同位素演化记录。这里的南大洋是围绕南极洲的海洋,是世界第 5 个被确定的大洋。

相关数据显示,过去 1.54 万年到 1.4 万年之间,部分深海珊瑚样品的铀同位素组成明显升高。通过对比不同区域的深海珊瑚铀同位素记录,李涛等人排除了其他洋盆的海水和南美洲地表水输入的影响,指出南极冰盖冰下融水释放是导致该时期南大洋海水铀同位素上升的主要原因。

李涛说:“该时期南大洋海水铀同位素的异常与冰筏碎屑通量的高值、融水脉冲事件 1A 和全球海平面的快速上升具有很好的对应关系,指示了冰下融水释放和冰盖退缩、海平面上升之间的直接联系。”

据介绍,融水脉冲事件 1A 是指大约在 1.4

万年前,当最后一块冰开始融化时,海平面在不到 500 年的时间里上升了 20 米甚至更多。

寻找年龄适宜的珊瑚样品

“研究中遇到最大的困难是寻找合适的深海珊瑚样品。”李涛说,研究团队的目标是寻找末次冰消期以来年龄低于 1.8 万年的珊瑚样品。

深海珊瑚是一种生活在海水深度 200 米以下的珊瑚类群,深海珊瑚的采集严重依赖于深潜技术。李涛介绍,深海珊瑚在大西洋已经被研究了几十年,在美国西海岸、夏威夷乃至南大洋的研究中也有很多报道。2018 年,我国在南海北部至中部的深潜航次首次发现了深海底部的柳珊瑚林,在此之前,深海珊瑚在我国几乎是一个完全未知的领域。

由于研究的深海珊瑚绝大部分是单体珊瑚,每一个深海珊瑚样品化石的年龄都是未知的,需要单独测量获得,而高精度的铀-钍测年是一件非常耗时耗力的事情。研究人员不可能对数以千计的珊瑚样品进行高精度的铀-钍测年,然后再选择年龄低于 1.8 万年的样品进行研究。

经过不断摸索,在英国同行的帮助下,李涛和南京大学地球科学与工程学院教授陈天宇开展合作,在南京古生物所实验技术中心的环境元素同位素平台开发了激光-质谱仪联用的铀-钍测年手段,在保证一定的测量精度前提下,将样品处理的效率提高到每天约 100 个。

“该方法可以用于年龄低于 60 万年的晚第四纪碳酸盐样品的快速测年。我们将其首次用于深海珊瑚的测年,并建立了成熟的方法体系。”李涛说,“利用该方法,我们首先对几千个化石珊瑚样品进行了初步的测年,然后根据测年结果选择合适年龄范围内的样品进行高精度的铀-钍测年,从而达到研究的目的。”

此外,通过对比末次冰消期海洋平均温度和南大洋上涌流强度等记录,研究人员进一步指出,末次冰消期以来,南极绕极深层海水温度的上升和上涌流强度的加强可能是导致南极冰盖冰下融水释放和冰盖退缩的先决条件。

李涛表示,未来绕极深层海水温度的进一步上升,可能导致冰盖底部融水释放加快,进而引起南极冰盖的崩解和海平面快速上升。

相关论文信息:
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-42974-0>

我国首个“完整”地球系统模式发布

本报讯(记者崔雪芹)近日,首届地球系统数值模拟科学大会暨中国科学院地球系统模式 CAS-ESM2.0 开源发布会在京召开。会上,中国科学院大气物理研究所(以下简称大气所)发布了我国首个具有自主知识产权的“完整”地球系统模式 CAS-ESM2.0,并宣布释放其源代码,有望加速推动我国地球系统模式达到国际领先水平。

“当前,气候和环境问题仍是人类实现可持续发展面临的最为严峻的挑战之一。在此契机下,搭建一个集地球科学、高性能计算、大数据、人工智能等多学科交叉研究的综合研发平台,科学谋划、创新攻关,形成一个良好开放的地球系统研究氛围至关重要。”中国科学院

院士、大气所研究员曾庆存表示。

CAS-ESM2.0 是国家“十二五”重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”的核心软件组成部分,总计约 270 万行地球系统模拟程序代码,被称为地球系统科学研究的“实验室”。

CAS-ESM2.0 包含完整的气候系统和生态环境系统分量,集成了大气环流、海洋环流、植被动力学等 8 个分系统模式,通过耦合器实现地球各圈层间物质、能量的交换。基于这套模式系统完整的“数值模拟”,CAS-ESM2.0 可用于探索和理解气候与环境演变规律,预测未来地球系统变化等,为防灾减灾及制定应对气候变化的国家战略等重大需求提供决策依据和科技支撑。

大气所研究员周广庆表示,2015 年 CAS-ESM1.0 正式发布,使得我国成为继美、日、欧等发达国家之后,在地球系统模拟和全球气候变化研究领域取得突破性进展的大国。CAS-ESM2.0 则是在 CAS-ESM1.0 基础上的进一步更新迭代,对当代气候有较好的模拟能力,能够准确地模拟大气及海洋的经向热输送及大西洋经圈翻转环流的垂直廓线。此外,CAS-ESM2.0 还可追踪计算大气二氧化碳的时空变化,并准确再现大气二氧化碳浓度的历史增加趋势和季节变化的空间分布。

据悉,2020 年以来,CAS-ESM2.0 参加了第六次国际耦合模式比较计划的数值模拟试验,其对热带风场等指标的模拟性能位于世界前列。

英国批准全球首个 CRISPR 基因编辑疗法



本报讯 近日,英国批准了一种基于 CRISPR 基因编辑技术的疗法,用于治疗两种遗传性血液疾病——镰状细胞病和输血依赖性 β 地中海贫血。这在全球尚属首例。

据《科学》报道,这种名为 Casgevy 的疗法由美国福泰制药公司与瑞士 CRISPR 治疗公司共同开发。该疗法通过从患者的骨髓中提取干细胞,然后在实验室中对细胞中的基因进行编辑,最后再将其输回患者体内,从而产生功能性血红蛋白。

镰状细胞病患者红细胞中携带氧气的血红蛋白存在缺陷,导致细胞形成镰状,堵塞血管。患者通常会经历剧烈疼痛、严重且危及生命的感染,以及贫血。该病常见于非洲或加勒比族裔人群。输血依赖性 β 地中海贫血则主要影响地中

海、南亚、东南亚和中东地区的人群,可能导致严重贫血,患者通常需要每 3 至 5 周输血一次。

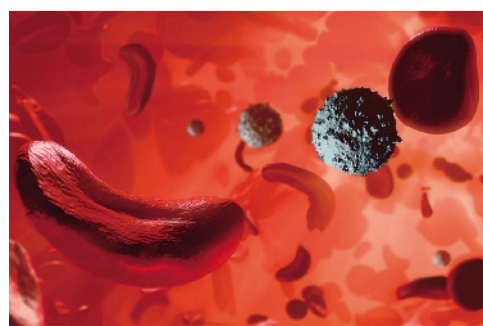
临床试验显示,接受 Casgevy 疗法的 29 名镰状细胞病患者中,有 28 人不再有剧烈的疼痛发作;接受 Casgevy 疗法的 42 名输血依赖性 β 地中海贫血患者中,有 39 人至少 12 个月不需要输血以避免严重贫血。

此前,骨髓移植是这两类患者唯一的永久性治疗选择,但移植的骨髓必须来自匹配的捐赠者,并存在排斥风险。与骨髓移植不同,输注编辑过的、患者自己的细胞,没有上述限制和风险。

英国药品与保健品管理局称,这种疗法“有可能显著改善许多人的生活”。该机构批准这一疗法用于 12 岁及以上镰状细胞病或输血依赖性 β 地中海贫血的患者。

其他国家的监管机构可能很快会效仿英国。上个月,美国食品药品监督管理局(FDA)的一个顾问小组得出结论,认为使用该疗法治疗镰状细胞病利大于弊。FDA 预计将于 12 月 8 日批准其用于该病的治疗。不过,欧洲监管机构对此尚未作出决定。

一个随之而来的问题是,英国国家医疗服务体系和美国保险公司是否会支付相关治疗费用,因为这笔费用预计将达数百万美元。另外,大多数镰状细胞病患者生活在非洲,而那里几乎没有医疗机构能提供治疗所需复杂的护理,这也让 Casgevy 疗法的进一步应用蒙上阴影。(文乐乐)



CRISPR 基因编辑疗法将用于治疗镰状细胞病。图片来源:MARK GARLICK



11 月 20 日,全球马力最大的纯电拖轮“云港拖二”在江苏连云港交付使用。该拖轮设计总长 39 米、型宽 10.5 米、型深 4.8 米,最大航速 13.0 节,最大拖力达 65 吨,是目前全球范围内马力最大、电池装机容量最大的纯电拖轮。据了解,5400 马力的“云港拖二”纯电拖轮采用磷酸铁锂电池组作为动力源,实现大气污染物的零排放。图片来源:视觉中国

科研人员成功制备全金属富勒烯

本报讯(记者陈彬 通讯员李享)近日,南开大学在线发表于《科学》的一项研究成果,表述了全金属富勒烯 [K@Au₂₄Sb₂₄]⁺ 的合成及成键机制,并展示了一种全新的化合物合成技术以及对金属键的精准调控在结构化学中的应用,为新材料的创制提供了崭新的研究思路。

1985 年,人类首次发现了由 60 个碳原子构成的足球状碳簇 C₆₀,也被称为富勒烯。因其具有独特的高度对称的结构、特殊的物理性质以及多种多样的化学反应特性,富勒烯自被发现以来一直备受瞩目,使得人们不断探索其在不同领域的应用。富勒烯的成键特性也被逐渐拓展到无机合成化学领域,理论上预测无机富勒烯将表现出非同寻常的稳定性和反应性,这引发了科学家的极大兴趣,但其合成依然面临巨大挑战。

南开大学材料科学与工程学院教授孙志明课题组通过研发一种新的合成方法,将高温固相合成与金属有机化学相结合,成功制备出全金属富勒烯 [K@Au₂₄Sb₂₄]⁺。这一化合物呈现出接近阿基米德十二面体的结构,每一面皆由内嵌一个金原子的五边形平面构成,内径约为 0.90 纳米,略大于 C₆₀ 分子 0.71 纳米的直径。在这个相对

较大的团簇空腔内,仅内嵌了一个钾离子,并且团簇整体无须有机配体的保护,其结构依然能够具有很好的化学稳定性,这使其成为迄今为止配位环境最接近富勒烯的纯无机化合物。

据介绍,这一裸露的重金属球状团簇的稳定性得以实现,一方面归因于中心的钾离子起到了模板支撑作用,另一方面,金-铋之间独特的异金属键在维持整体结构完整性方面发挥了至关重要的作用。

理论计算结果显示,该分子的最显著特征之一是其三维芳香电子结构,导致在团簇表面形成了一层离域 π 电子云,赋予全金属富勒烯化合物独特的物理化学特性。这一发现有望在光电材料或室温催化等领域发挥重要作用,具备广泛的应用潜力。

美国《化学与工程新闻》报道认为,这种无机富勒烯可能有助于化学家设计并合成其他精密结构的纳米材料。德国图宾根大学化学家 Andreas Schnepf 教授表示,这种分子具有引人注目的键合特性,这些团簇在溶液中可能展现出有趣的反应性和应用潜力。

相关链接信息:
<https://doi.org/10.1126/science.adf6491>