

“小柯”秀

一个会写科学新闻的机器人

《科学进展》

欧亚北极四大陆架海陆相有机质反应性的地理空间格局

瑞典斯德哥尔摩大学的吴俊杰(音)团队研究了横跨欧亚北极 4 个陆架海陆相有机质反应性的地理空间格局。相关论文近日发表于《科学进展》。

储存在北极永久冻土层中的有机质是碳循环的关键组成部分，但人们对其在非均质大陆尺度永久冻土层中的反应性仍然知之甚少。

研究团队利用欧亚北极的大陆架海作为综合受体系统，以碳-14 约束的跨陆架运输时间为函数，评估陆相有机质的反应性。研究结果表明，陆相有机质释放到拉普捷夫海和东西伯利亚海西部的反应性较高，东西伯利亚海西部的反应性较低，喀拉海未检测到可推断的降解。

陆相有机质的反应性主要取决于它们的降解状态和组成，运输过程中潜在的微生物控制也可能产生影响。该研究揭示了欧亚北极边缘陆相有机质反应性的异质性，并强调了详细评估区域特定碳排放和进行建模参数化的必要性。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/sciadv.adt6806>

《地质学》

研究揭示美国一太古宙带状铁地层元古代矿化和热学史

美国明尼苏达大学的 Phillip Larson 团队通过赤铁矿-双测年确定了美国明尼苏达州东北部太古宙带状铁地层元古代矿化和热学史。该研究成果近日发表于《地质学》。

明尼苏达州苏必利尔湖弗米利恩地区赤铁矿沉积的年代和成因已经争论了一个多世纪，此前推测为新太古代或中元古代成因。利用铀-铅和铀-钍/钍-钍测年方法，研究团队首次给出了苏丹铁矿赤铁矿矿床的直接测年结果，揭示了一个此前未知的古元古代成矿事件和记录近中元古代中大陆裂谷系统侵位的热学史。赤铁矿相产生的铀-铅结晶年龄在 16 亿至 18 亿年之间，铀-钍/钍-钍年龄在分布于 16.3±0.53 亿年之间，其中约 11 亿年存在明显峰值。

研究认为，替代型赤铁矿成矿发生在古元古代造山活动期间，这些活动重新激活了剪切带，并促进了太古宙克拉通深部的热液蚀变。铀-钍/钍-钍数据表明，赤铁矿经历了热叠加改造，但没有重置铀-铅系统，最一致的日期与约 11 亿年的中大陆裂谷系统的建立相吻合。赤铁矿-双测年法被证明能直接建立前寒武纪克拉通中铁矿化与热事件和构造事件的关联，并对共存附属矿物无法提供的成因进行了限制。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1130/G53517.1>

《自然-免疫学》

研究发现儿童低级别胶质瘤治疗新靶点

德国霍普儿童癌症中心的 Till Milde 小组开发出儿童低级别胶质瘤中丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)激活的免疫抑制髓细胞群空间图。相关论文近日发表于《自然-免疫学》。

儿童低级别胶质瘤是一种在儿童中普遍存在的 MAPK 途径激活的脑肿瘤，虽然其生存率较高但伴随致病性。

研究人员采用成像质谱流式技术，在单细胞水平上对 120 例儿童低级别胶质瘤病例的肿瘤微环境进行了空间表征，并考虑了年龄、分子驱动因素、脑位置 and 肿瘤亚型。他们的分析确定了包括常驻小胶质细胞和骨髓来源巨噬细胞的髓系细胞是肿瘤微环境中的主要免疫群体，在视神经通路肿瘤中尤为显著。

此外，研究团队还发现了一种可预测无进展生存期的免疫特征。空间分析发现了特异性细胞互作，特别是髓系-髓系接触和巨噬细胞富集区域，这些区域含有 MAPK 激活的 TIM-3⁺ 髓细胞，表明肿瘤微环境具有免疫抑制作用。研究提供了对这些儿童低级别胶质瘤免疫景观的全面了解，并强调了多种骨髓浸润的免疫抑制作用。这些发现还表明，结合 TIM-3 阻断和 MAPK 抑制有望成为可同时靶向儿童低级别胶质瘤的微环境和致癌 MAPK 激活的潜在治疗策略。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41590-025-02268-7>

《细胞》

挖掘 CD4 抗原库助力新一代结核病疫苗研发

美国哈佛医学院的 Dan H. Barouch 团队挖掘了 CD4 抗原库，助力新一代结核病疫苗研发。相关成果近日发表于《细胞》。

结核病是世界传染病致死的主要原因，而卡介苗仍然是唯一临床批准的疫苗。结核疫苗研发的长期挑战在于如何从大量潜在候选抗原中系统性筛选抗原。

研究团队对人类 CD4 T 细胞的靶向抗原在小鼠中进行了功效筛选，发现在保护效果上存在显著异质性，并且多数高效保护抗原目前尚未进入临床开发阶段。该团队观察到系统发育聚集抗原之间的免疫交叉反应性，反映了共同的 CD4 表位。研究团队开发了一种由 PPE20 (Rv1387)、EssG(Rv0287) 和 PE18(Rv1788) 组成的三价 mRNA 疫苗，其在多种小鼠模型中展现出优于卡介苗的保护效果。此外，研究团队在 84% 的结核分枝杆菌暴露者中观察到针对这些抗原的细胞免疫应答。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.08.027>

更多精彩内容详见科学网小柯机器人频道：
<http://paper.sciencenet.cn/Alnews/>

人造双星揭示地球深处神秘变化

本报讯 20 年前，在我们脚下数千公里深的地方，曾发生了一次神秘的引力变化。在《地球物理研究快报》近日发表的一项研究中，科学家通过分析测量地球引力变化的卫星数据得出了这一结论。

这一现象可能源于地质变化导致的地球引力场改变，并充分证明了地球轨道卫星的价值。“这确实是一项全新的观测结果。”论文通讯作者、法国古斯塔夫·埃菲尔大学的 Isabelle Panet 指出，这项研究将帮助科学家更好理解从地壳到地幔再到地核的地球各层间的关系。这种关系影响着大地震起源，以及地球如何维持磁场以抵御太阳风暴等。

研究团队利用了重力恢复与气候实验(GRACE)卫星的数据。这是一对双星系统，以设定的间距绕地球飞行。当卫星遇到来自巨大山脉的引力牵引时，前导卫星会暂时加速远离后方卫星，这种距离变化可以测量并与引力变

化相关联。研究人员通常利用 GRACE 双星的间距变化监测地球大量水体的位移，例如农田地下水流失或冰川融化等。

但事实证明，GRACE 还能探测到地球更深处的质量变化。Panet 曾用它研究大地震前地表数百公里的质量变化。随后她意识到，GRACE 还可以探测到更深的地方——约 2900 公里的深度，那里是地核-地幔的复杂边界。

在这项研究中，科学家在 GRACE 数据中发现一个奇怪的信号，后者在 2007 年左右达到峰值，且集中出现在非洲大西洋沿岸。然而，该信号无法归因于地表水体迁移。“因此，至少部分原因是在地球内部。”Panet 解释说，“它必定来自极深的地方。”

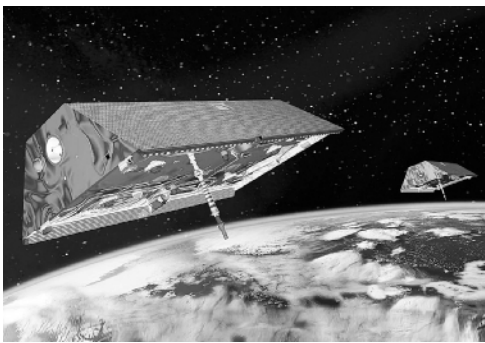
科学家此前通过测量地球磁场变化的卫星，探测到同一地区在 2007 年前后发生了一些地磁扰动。Panet 认为，最新引力观测或许能与

前者相互印证，形成一个完整的解释。在这种情况下，地幔底部岩石中的钕钇矿因地球内部的巨大压力发生重构，这种矿物变化反过来又导致该地区岩石密度增大、质量增加。邻近岩石随之发生轻微位移，且向外扩散，最终可能抵达地核-地幔边界并引发约 10 厘米的变形。而边界的微小变化可能影响地核中流动的液体，最终表现为异常的地磁波动。

Panet 谨慎地说，这个复杂推论能否经得起后续检验尚未可知，“仍需进一步研究验证”。

不过，美国加州大学伯克利分校的 Barbara Romanowicz 称该发现“非常有趣”。她表示，“这是我们第一次获得地幔底部动态过程的确凿证据”，这些过程非常快，但给人们研究其发生过程提供了充分的条件。

除 2007 年的信号外，Panet 团队没有在卫星数据中发现其他重大的引力信号。她计划监测 GRACE 后继卫星的数据，以探究地球深处



2002 年至 2017 年，GRACE 卫星一直在探测地球上的引力变化。图片来源：NASA

是否发生其他神秘变化。(王体瑶) 相关论文信息：
<https://doi.org/10.1029/2025GL116408>

■ 科学此刻 ■

失眠增加痴呆风险

《神经病学》9 月 10 日发表的一项研究显示，与不失眠的人相比，慢性失眠症患者记忆力和思维能力的衰退速度可能更快，相关脑部变化可在成像扫描中观察到。

慢性失眠症是指连续 3 个月以上每周至少 3 天无法入睡。研究显示，该病患者罹患轻度认知障碍或痴呆症的风险比不失眠者高 40%，相当于提前衰老了 3.5 年。该研究并未证实失眠会导致大脑衰老，仅揭示两者存在关联。

“失眠不仅影响第二天的精神状态，长期来看，还会损害大脑健康。”美国梅奥诊所的 Diego Z. Carvalho 说，“我们观察到失眠患者的思维能力会加速衰退，且大脑出现异常变化，表明慢性失眠可能是认知障碍的一个早期预警信号，甚至可能是诱因之一。”

该研究追踪了 2750 名认知健康的老人，平均年龄 70 岁，平均随访时间 5.6 年。其中，16% 的参与者患有慢性失眠症。

研究开始时，参与者被问及过去两周的睡眠时间比平时多还是少。他们还接受了思维和记忆测试，有些人做了脑部扫描，以检测白质高密度区和淀粉样斑块——前者可能是小血管疾病损害脑组织的区域，后者则与阿尔茨海默病相关。

研究期间，14% 的慢性失眠症患者出现轻度认知障碍或痴呆症状，而不失眠的人比例为 10%。在控制年龄、高血压、安眠药使用及睡眠呼吸暂停等因素后，研究人员发现，失眠患者出现轻度认知障碍或痴呆的风险比不失眠者高 40%。此外，他们在思维能力测试中表现也更差。

研究人员还将失眠人群分为两类：过去两周睡眠时间少于平时的人，以及过去两周睡眠时间比平时多的人。

研究开始时，报告睡眠时间少的人，认知测



失眠可能让大脑驶入衰老、痴呆和记忆力下降的快车道。图片来源：Shutterstock

试得分更低，相当于衰老了 4 岁，其脑白质和淀粉样斑块也更多。而报告睡眠时间多的人，则有较少的高密度脑白质。

“研究表明，失眠可能通过多种途径影响大脑，不仅涉及淀粉样斑块，还涉及为大脑供血的小血管。”Carvalho 说，“这强调了治疗慢性失眠症的重要性——不仅为了提高睡眠质量，更为为了保护大脑健康。我们的研究也获得了越来越多的证据，表明睡眠不仅是休息，还与大脑功能恢复有关。”

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000214155>

试得分更低，相当于衰老了 4 岁，其脑白质和淀粉样斑块也更多。而报告睡眠时间多的人，则有较少的高密度脑白质。

“研究表明，失眠可能通过多种途径影响大脑，不仅涉及淀粉样斑块，还涉及为大脑供血的小血管。”Carvalho 说，“这强调了治疗慢性失眠症的重要性——不仅为了提高睡眠质量，更为为了保护大脑健康。我们的研究也获得了越来越多的证据，表明睡眠不仅是休息，还与大脑功能恢复有关。”

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000214155>

火箭发射次数飙升影响臭氧层恢复

本报讯 一个国际研究团队发现，火箭发射和落回地球的太空碎片会向大气释放污染物，破坏臭氧层。近日，相关研究成果发表于《npj-气候与大气科学》。

关于火箭排放物对臭氧层影响的研究始于 30 多年前。如今，随着全球航天发射活动的迅猛增加，这项研究逐渐得到人们的重视。数据显示，2019 年全球只有 97 次火箭入轨发射，2024 年已飙升升至 258 次，且预计未来还将快速上升。

研究发现，由于中高层大气缺乏云驱动的清除过程，导致火箭和进入大气的太空碎片的排放比地面排放时间长了 100 倍。尽管大多数火箭发射活动集中在北半球，但大气环流会将污染物扩散至全球。

为更好了解火箭排放带来的长期影响，瑞士苏黎世联邦理工学院的 Sandro Vattioni 与新

西兰坎特伯雷大学的 Laura Revell 合作，利用苏黎世联邦理工学院和瑞士达沃斯物理气象观象台(PMOD/WRC)开发的化学气候模型，模拟了截至 2030 年火箭排放对地球臭氧层的影响。

研究人员假设到 2030 年，火箭发射次数增长至 2040 次——约为 2024 年的 8 倍，则全球臭氧层平均厚度减少近 0.3%，南极洲臭氧层季节性减少 4%，那里每年春天仍会出现臭氧层空洞。

尽管这些数字看似不大，但臭氧层目前处于恢复期，因氟氯烃造成的损害一直存在。即便在今天，全球臭氧层厚度仍比工业化前水平低约 2%，预计到 2066 年才能完全恢复。研究表明，目前不受监管的火箭排放可能会将臭氧层恢复时间推迟数年或数十年。

破坏臭氧层的火箭排放物主要是气态氯和烟尘颗粒。氯会催化破坏臭氧分子，而烟尘颗粒

会使中层大气变暖，加速消耗臭氧的化学反应。

此外，低地球轨道卫星在落回大气层的燃烧过程中会产生额外污染物，包括各种金属颗粒和氮氧化物。其中氮氧化物会催化消耗臭氧，金属颗粒则可能有助于形成极地平流层云或成为反应表面，加剧臭氧损耗。目前人们对这部分排放知之甚少，且尚未纳入大多数大气模型。随着卫星星座的增加，重返大气层的卫星排放将更加频繁，其影响可能远超当前预估。

针对上述问题，研究人员呼吁构建避免臭氧层被破坏的发射行业，具体措施包括监测火箭排放、减少产生氯和烟尘的燃料的使用、推广清洁推进系统，并加强法规约束等。而这需要科学家、政策制定者和相关行业共同努力。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41612-025-01098-6>

■ 环球科技参考 ■

中国科学院西北研究院文献情报中心

新模型揭示地质时间边界

近日，《地球与行星科学通讯》发表文章指出，地质时间中纪元、时期和时代的边界分布情况是不均匀的，呈集群状分布，被相对平静的长时间间隔分隔开。研究人员使用多重分形概念估算地球系统的“外部时间尺度”，即揭示其自然变化全貌所需的时间跨度。结果表明，该时间尺度的极限约为 5 亿年甚至更长，即如果想要了解地球的各种事件，无论是平静时期还是全球剧变，至少需要 5 亿年的地质记录。

地质年代中存在一系列定义生物地层及地质时间尺度中各个时期(宙、代、纪、世、期)之间层级关系的事件。古温度和宏观进化速率表明，约一百万年到数百万年范围是一个具有层级关系的“超级气候”状态。

加拿大蒙特利尔大学的研究人员应用包括哈尔波达、结构函数、轨迹矩和扩展自相似性在内的分析技术，对两个全球性、4 个区域性生物地层序列中边界事件的时间密度[$\rho(t)$]进行了分析。结果表明， $\rho(t)$ 本身是一种新的古气候指标，并确定了表征平均波动、间断性和多重分形程度的基本多重分形指数。强间歇性表明超级气候尺度至少约为 5 亿年。研究还发现，边

界事件的时间密度也存在巨大变异性，偶尔会出现非常长的间隔。

研究人员表示，现有证据证明地球系统变化不仅是随机的，而且是深层次、有层次结构的。这不仅对理解地球的过去有重大意义，对如何模拟未来行星变化也有深远影响。(王晓晨) 相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2025.119460>

地幔柱对岩石圈的“双重改造”作用首次获揭示

英国剑桥大学地球科学系的科研团队首次证实了地幔柱诱导的板块减薄不仅控制古火山活动，还通过塑造岩石圈影响地震分布。该研究不仅解决了地幔动力学领域的长期争议，还为板内地震灾害评估提供了新理论与新方法。相关研究成果近日发表于《自然-通讯》。

地幔柱被认为会触发地表隆升和大火成岩省(LIP)的形成，如始于约 6200 万年前的北大西洋火成省(NAIP)，普遍认为与冰岛地幔柱相关。然而，岩浆中心的广泛分散令人困惑，引发了 NAIP 是由多地幔柱导致，还是与地幔柱无关的岩石圈/上地幔过程有关的争论。

研究人员利用表面波层析成像与地震热成像技术，结合英国-爱尔兰地区的地震数据、低温年代学数据等，证实约 6000 万年前冰岛地幔柱物质横向流动侵蚀岩石圈，促使 NAIP 的英国-爱尔兰分支(BIPIP)的隆升与岩浆活动集中于当时岩石圈薄区；同时发现当前英伦三岛板内地震集中于岩石圈薄区及厚薄边界，证实地幔柱诱导的板块减薄不仅控制古火山活动，还通过塑造岩石圈长期力学不均一性影响地震分布。

研究首次获得了“地幔柱物质沿薄岩石圈通道横向流动”的直接观测证据，厘清了 NAIP 岩浆中心分散的成因，建立了“地幔柱-岩石圈减薄-火山活动”的明确关联，进而证实了地幔柱对岩石圈的“双重改造”作用。(张文亮) 相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s41467-025-62967-5>

研究首次证实火星地幔呈高度非均质性

近日，美国国家航空航天局(NASA)公布最新研究成果称，一项国际联合研究利用 NASA“洞察号”火星着陆器探测数据，首次证实火星地幔呈高度非均质性。相关研究成果发表于《科学》。

该研究发现了被完好保存于火星表面深处的 45 亿年前火星大规模撞击碎片。这些古老的撞击释放出足够的能量，将大陆大小的早期地壳和地幔熔化成巨大的岩浆海洋，同时将撞击体碎片和火星碎片深深注入火星内部。目前还无法确定是什么撞击了火星。

研究人员表示，以前从未如此详细和清晰地看到一颗行星的内部。呈现在科学家面前的是一个镶嵌着古代碎片的火星地幔。它们保存至今意味着，火星的地幔在数十亿年时间里进化缓慢。在地球上，像这样的特征大部分已经被抹去。

该研究还确定了 8 次火星地震。分析表明，地震产生的高能量地震波在到达地幔深处的同时被明显改变了。高频地震波在火星地幔深部的传播存在明显延迟，并且延迟随穿越地幔的距离而增加。研究人员将这种延迟归因于火星地幔的非均质性。造成这种非均质性的原因可能是行星形成的残余，意味着火星地幔在缓慢对流的驱动下经历了有限的混合。

科学家还可以利用同样的研究方法进一步揭秘金星、水星等其他同样没有板块构造的岩石行星的内部组成。(张树良) 相关论文信息：
<https://doi.org/10.1126/science.adk4292>