
古代赤道极光揭示西太平洋磁异常演化

作者：writer 来源：中国科学院

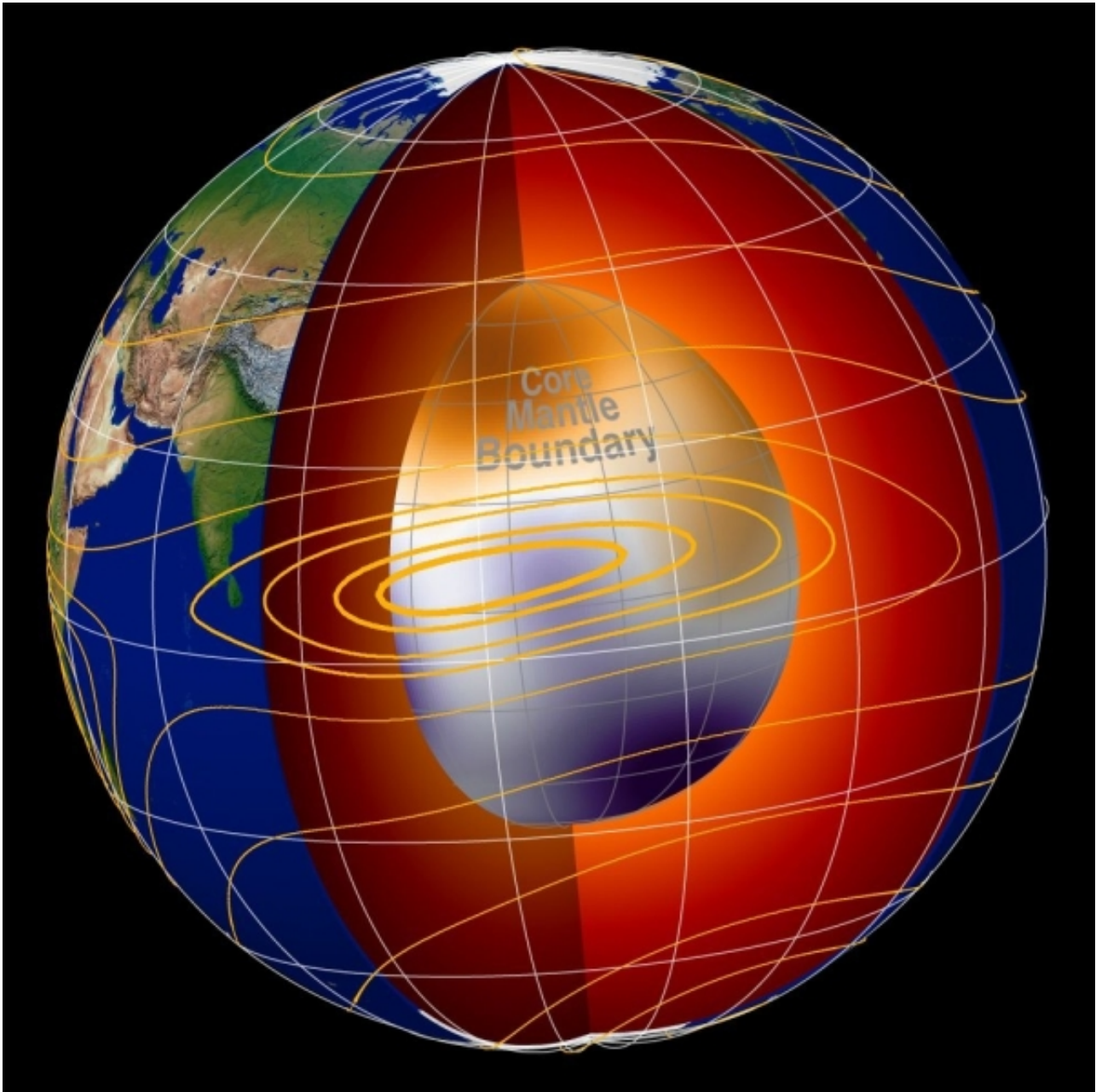
本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/14025.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

在地球系统46亿年演化进程中，偶极磁场的出现和演化改变了地球宜居环境演化的进程，与其他因素共同作用塑造了今天生机勃勃的宜居地球。地球磁场起源于地核发电机过程，而地核热动力学和化学结构的变化则导致地磁场的显著改变，磁偶极子减弱，磁多极子增强，甚至发生南北磁极的倒转，即地磁倒转，削弱对地球系统的保护，造成生物大灭绝。因此，磁场的起源和长期演化一直是地球系统科学关注的重点与难点。

变化的地磁场在空间延伸，将地表2800 km以下的液态铁核的运动与近地空间环境动力学联系起来。当前地磁场显著特征是南大西洋异常区（South Atlantic Anomaly, SAA），这是一个磁场强度显著低于偶极磁场的区域，即负地磁异常区，其导致范艾伦辐射带的高能粒子穿透大气层更深，威胁近地轨道卫星安全。SAA范围的增长和磁场强度的减弱与磁偶极矩的变化有关，而历史上在该区域重现的低磁场强度被归因于非洲下部低剪切速度地幔异常体（LLVP）对地核热动力学和化学结构的影响。尽管地磁场重建模型揭示了更多SAA演化的细节，但通过研究其他类似的低磁场区域，可进一步增进对控制SAA动力学的物理过程的科学理解。由于SAA是目前唯一的负地磁异常区，因而需要在古地磁和其他相关历史记录中寻找其他的异常区。

利用古代航海数据建立的gufm1全球地磁模型曾首次展示西太平洋地区在16-18世纪存在明显的负地磁异常，即西太平洋地磁异常区（West Pacific Anomaly, WPA）（图1）。WPA在地理上位于太平洋LLVP的西边缘，正如SAA位于非洲LLVP的西边缘，这表明WPA也可能像SAA一样，是由地幔驱动的特征。由于模型不可避免的时间平滑处理，较短时间尺度上演变信息无法获知。



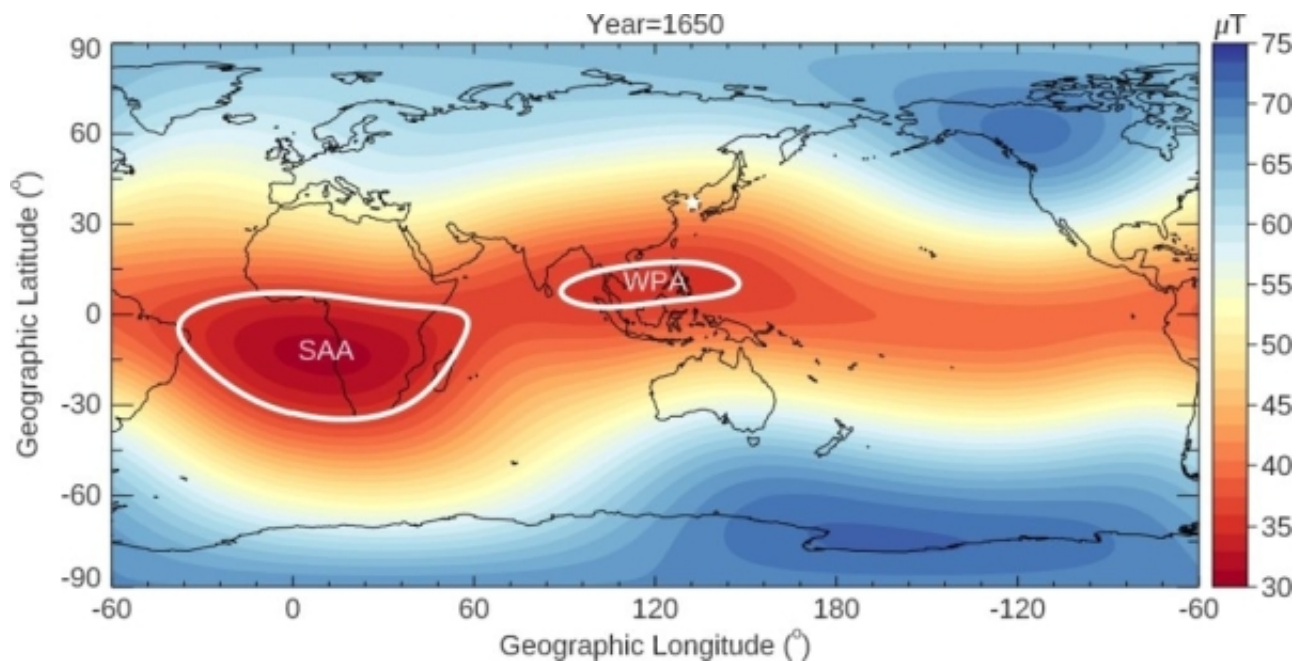


图1.WPA示意图

地磁场的结构对地球的大气层和空间环境产生影响。在负地磁异常区内，沉降的高能粒子可达 $\sim 100\text{ km}$ 高度，在夜空中产生一种异于传统红色大气气辉的独特的红色赤道极光（何飞等，NSR，2020）。因此，除了从地球内部寻找WPA的证据外，通过大气异常现象也可以获取WPA演化的线索。在WPA的北方，古代中国、朝鲜和日本保存了大量的历史古籍。特别是在16-18世纪，古朝鲜保存了官方日记，持续而详细地记载君王活动、国家事务、天气、天象等信息。在天象记录中，有一种被频繁记录的夜间大气发光现象——“有气如火光”，大部分位于朝鲜半岛南方，其肉眼可见性和动态变化性表明，“有气如火光”是赤道极光，由朝鲜半岛南方的负磁场异常引起的高能粒子沉降产生（图2）。中国科学院地质与地球物理研究所研究员魏勇带领团队，系统整理朝鲜古籍，发掘出公元1012-1811年的2013条极光记录，相关古籍记录已整理出版专著（《古代朝鲜极光年表》，魏勇、万卫星，2020），并在*JGR-Space Physics*发表了详细的数据库（王誉棋等，2020）。

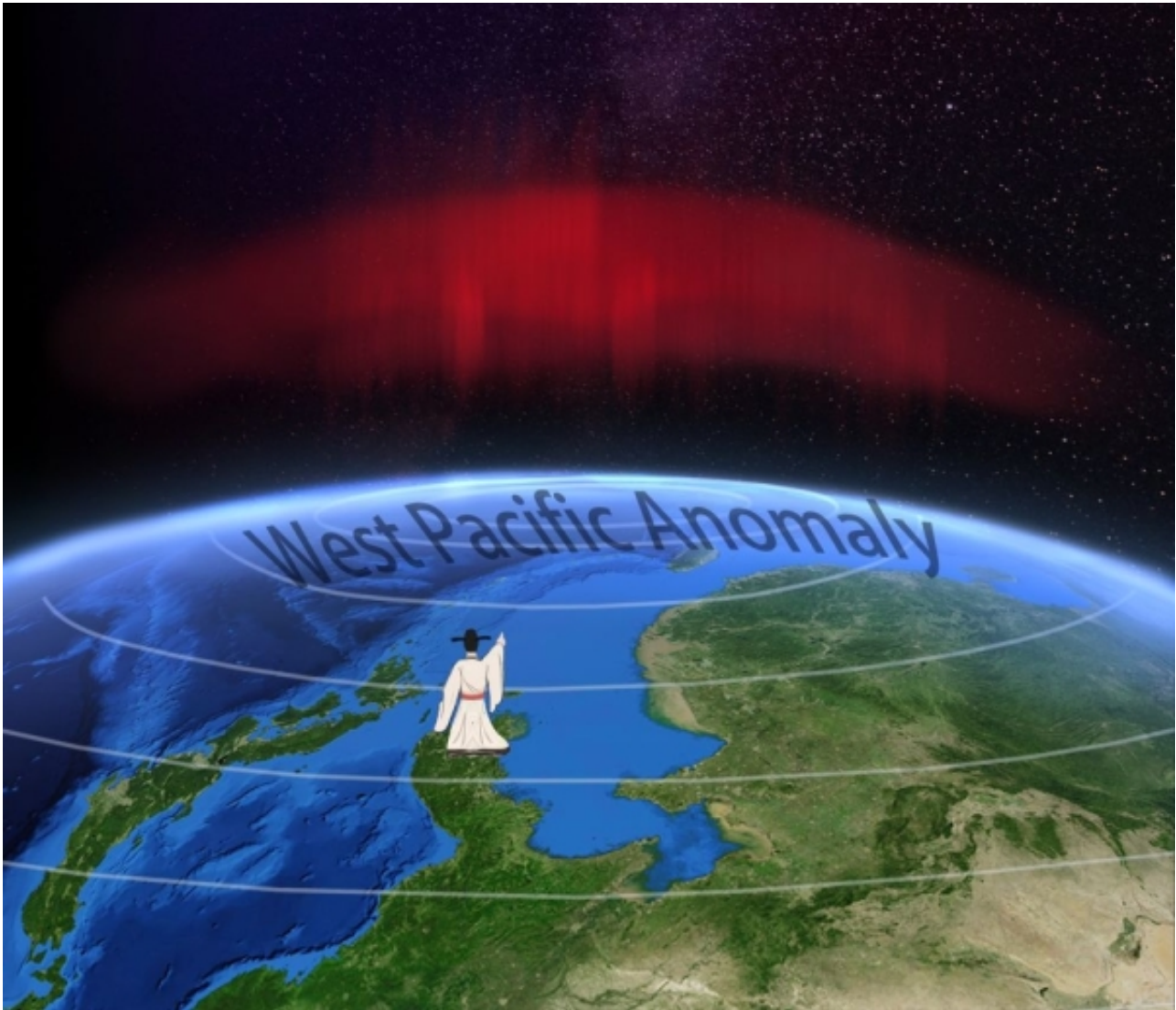


图2.朝鲜半岛观察赤道极光示意图

为了探寻赤道极光与WPA的联系，刻画WPA的演化特征，地质地球所研究员何飞、魏勇、副研究员蔡书慧，中科院院士朱日祥，联合英国利兹大学教授Philip W. Livermore团队，开展了赤道极光和地球发电机模拟的交叉研究工作，揭示WPA百年时间尺度的震荡特征。研究首次清晰地展示了地球内部与空间的协同演变，为今后相关区域考古磁学工作提出了新方向，也为当今SAA区域研究提供了新思路。

图3显示了公元1000-1900年，太阳活动、古极光和地磁场演变。古极光主要发生在1500-1800年，74%发生在朝鲜半岛南方，表明古极光记录主要是赤道极光。图3C显示的古极光发生的峰值（粉色包络线）与图3A中太阳黑子数表征的太阳活动趋势是解耦的。1500-1800年，孟德尔极小期极弱的太阳活动不足以使极光带扩展到朝鲜半岛以下的纬度，进一步表明古极光记录显示的是赤道极光。相反，古极光发生的峰值与朝鲜半岛（图3B）和西太平洋地区磁场强度（图3D-3E）的显著下降相吻合，两者极值均出现在1650年附近，表明赤道极光发生的主要背景是朝鲜半岛南方负地磁异常区的出现，即主要驱动因素是WPA。研究团队进一步分析古极光记录发生频率发现，1500-1800年极光发生频率出现了百年尺度的震荡（图3C蓝色包络线）。除了发生频率，赤道极光发生的方位也出现百年尺度的震荡（图4），这表明WPA的位置、范围可能发生了百年尺度

的震荡，但可能由于古地磁模型采用的时间和空间平滑，掩盖了这一重要信息。

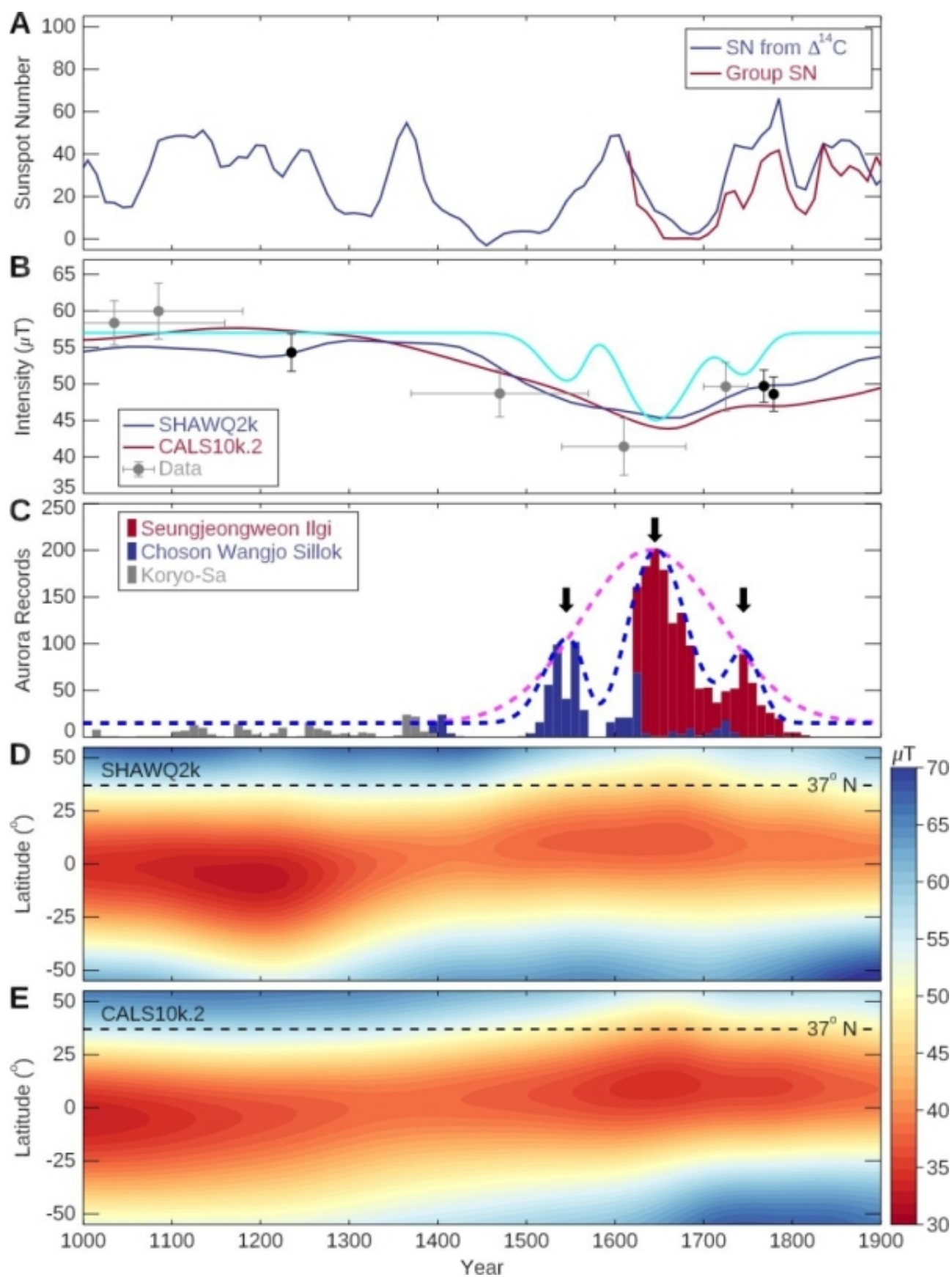


图3.1000-1900年，磁场和赤道极光演化。A、太阳黑子数和群黑子数演化；B、朝鲜半岛磁场强度变化（曲线：模型预测，圆点：古地磁数据）；C、古极光记录数目变化；D-E、SHAWQ2k和CAL510k.2模型预测的东经127°子午线磁场强度演化

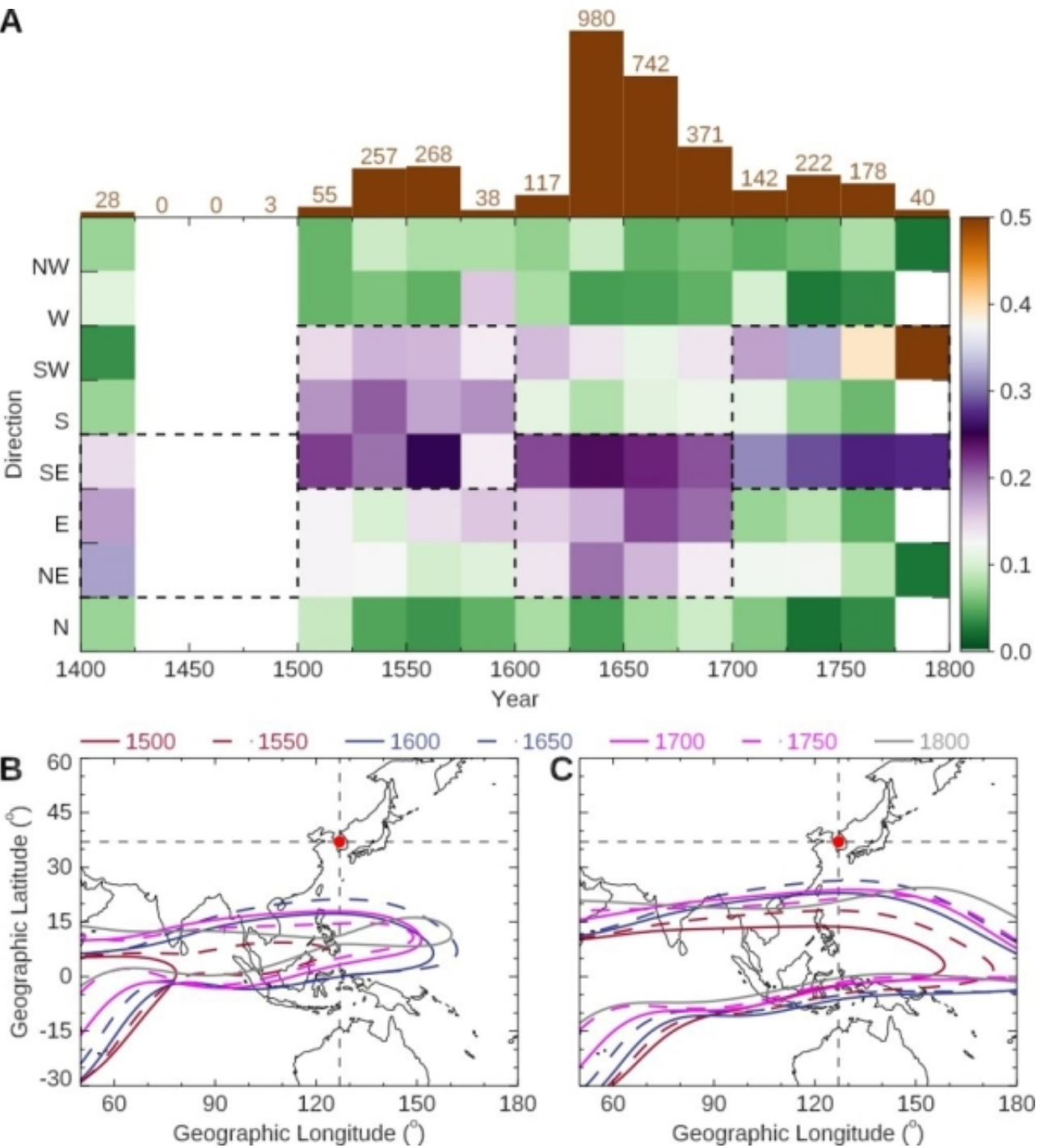


图4.赤道极光方位和地磁场演化。A、不同方向归一化发生概率；B-C、CAL510k.2模型计算的低于36000 nT和38000 nT磁场区域变化

研究团队进一步从地磁发电机的角度，探究地核动力学的变化是否能造成相当强度的地磁场减弱，进而驱动赤道极光的频繁发生。根据古极光发生频率和朝鲜半岛稀疏的古地磁数据限定，科研人员利用多高斯函数拟合出其磁场强度变化规律（如图3B中的浅蓝色曲线所示）。假定朝鲜半岛

的磁场变化是由WPA变化引起，则WPA区域的磁场变化也应遵循类似的规律。由此，得到WPA区域的磁场变化速率需要达到100 nT/yr。研究团队利用利兹大学地磁发电机模型，采用1590年的模型磁场作为演化背景，使用四种几何构型的液态外核流模型进行约束和优化计算，结果显示，WPA区域的磁场变化速率均超过了100 nT/yr（图5）。最优化流结构并不是纯粹环向的，均存在水平发散结构，表明太平洋和朝鲜半岛下部的上升流可能是引起磁场震荡的关键：大约每100年发生一次，每一次之后都有下降流或其他机制来重新增强磁场。类比当今南大西洋下方的反向通量块（Reversed Flux Patch, RFP，核幔边界上磁场方向与所在半球背景磁场方向相反），模拟结果表明，历史上在东亚地区存在相似的结构和负地磁异常是合理的。

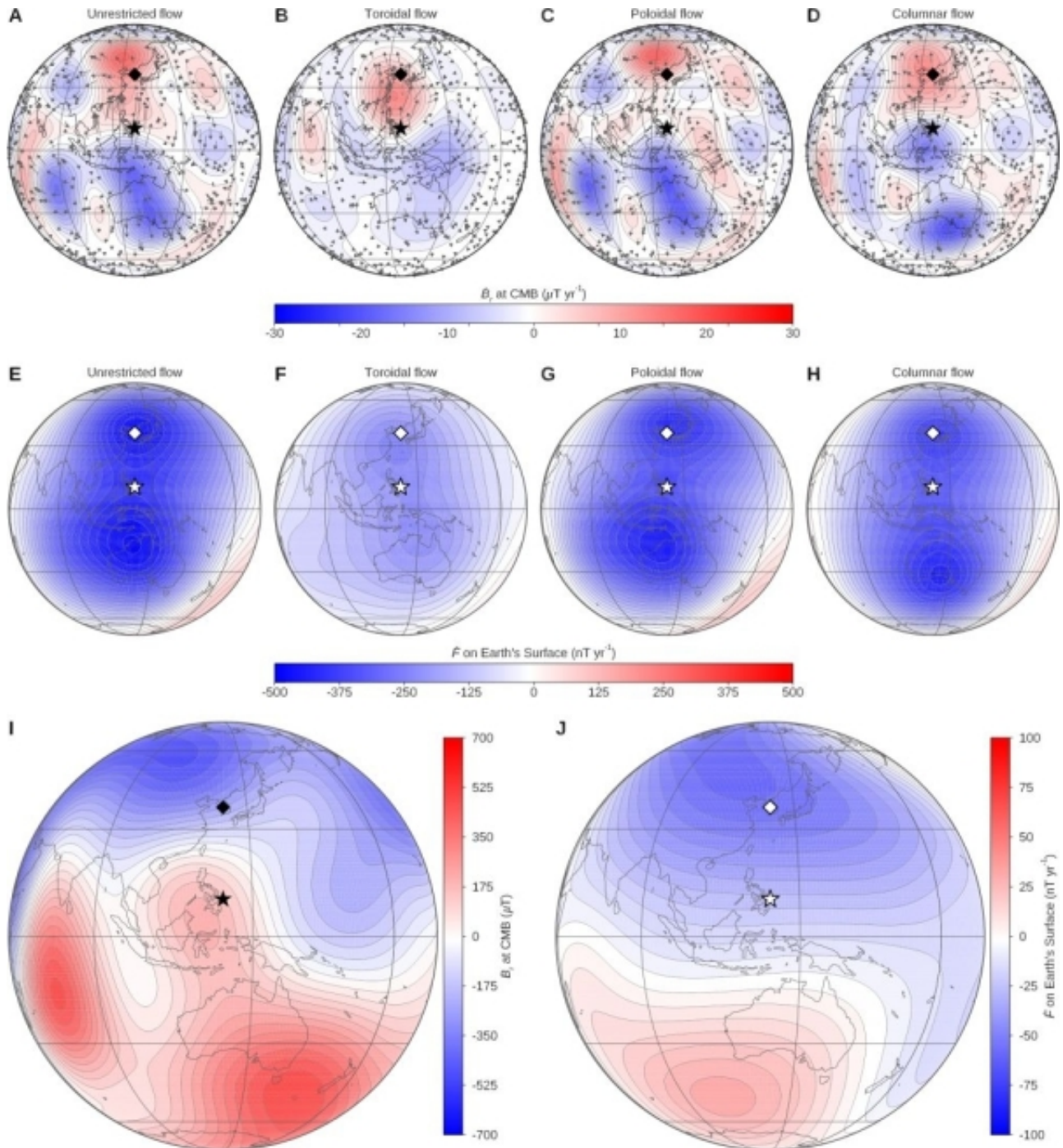


图5.优化后的核幔边界流场（A-D）、地表磁场强度变化（E-

H)、CALS10k.2计算的1590年核幔边界径向磁场分量分布 (I) 和强度变化速率分布 (J)

该研究首次清晰地呈现了地球内部与空间的紧密联系，内部影响空间，空间反映内部。WPA的演化对于理解当今SAA的演化和地磁场的整体变化具有重要的指示作用。过去几十年以来，SAA强度一直在持续减弱，范围在不断扩大，未来是否会发生下一次地磁倒转，尚属未知。未来，应加强在我国南海、东南亚地区、孟加拉湾地区的考古磁学和古地磁研究，丰富和完善1800年之前的地磁记录，为构建准确的WPA演化模型提供基础数据，从而为预测地球磁场的未来演变提供坚实的依据。此外，我们还应该加强从古籍文献中发掘科学信息，为探知地球过去打开一扇大门，并为预测地球的未来奠定可靠的基础。

相关研究成果发表在 [PNAS](#)

上。研究工作得到地质地球所重点部署项目、中科院战略性先导科技专项 (A类)、中科院青年创新促进会、英国自然环境研究委员会等的资助。

研究团队单位：地质与地球物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](#)转发