

科学家揭示水星表面的石墨丰度

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25626.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！

科学家揭示水星表面的石墨丰度。中山大学行星环境与宜居性研究实验室肖智勇教授团队研究发现水星低反照率物质中的 $\sim 12.5\%$ 缺乏石墨的增强光谱吸收特征，证明水星表壤中的石墨含量低于 $1\text{ wt}\%$ 。

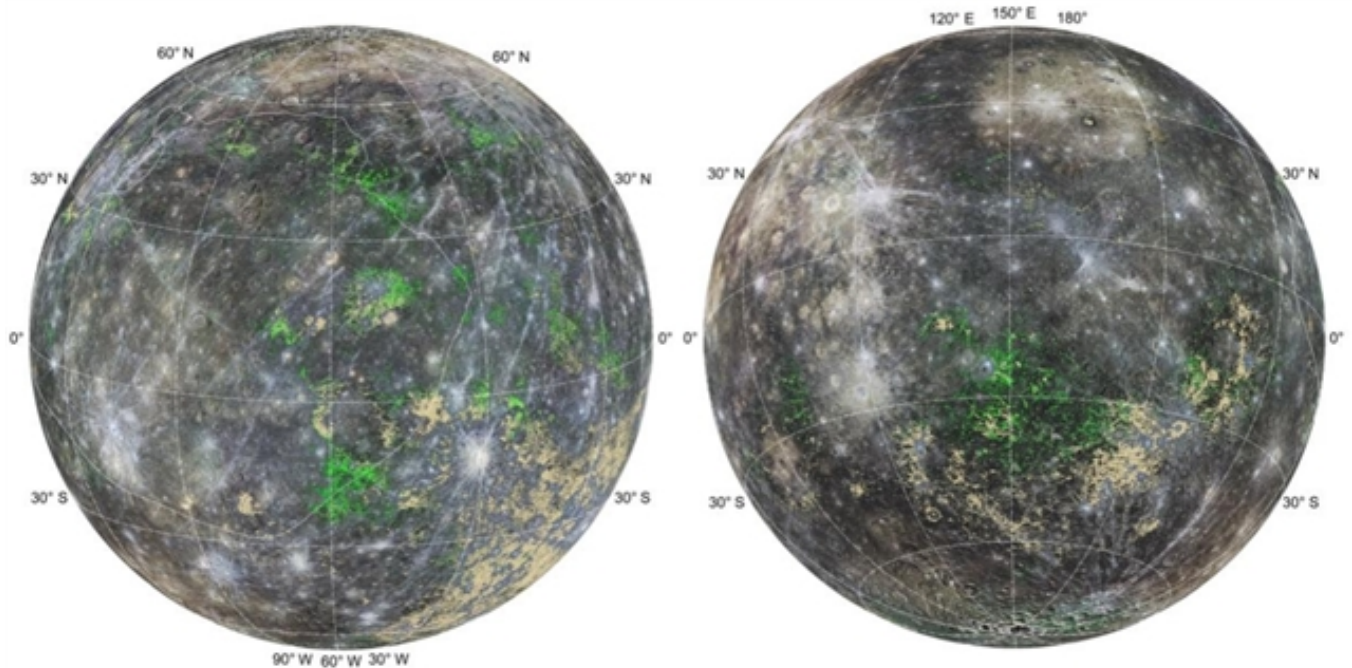
北京时间2024年1月4日，Nature Astronomy期刊在线发表了这一研究成果。论文通讯作者是肖智勇教授，第一作者是博士研究生许睿。

水星是最靠近太阳的行星，具有液核对流形成的全球偶极子磁场。在太阳系类地天体中，水星的直径最小、几何反照率最低（ ~ 0.14 ）、表面温差最大（ $\sim 700\text{ K}$ ）、净密度和核直径占比最大。目前尚未发现来自水星的陨石，轨道器探测发现水星的化学特征十分特殊。水星表面的铁含量远低于 $2\text{ wt}\%$ 、硫含量高达 $4\text{ wt}\%$ 、整体挥发份含量（K/Th）和碳含量显著高于其他类地行星和大部分球粒陨石，指示了极还原的内部化学环境。水星的化学特征与经典模型预测的太阳系原始星盘的物质分布特征不吻合。因此，水星在比较行星学研究中占有重要的位置，对了解太阳系起源和系外行星的早期轨道迁移具有重要的指示意义。

在无大气的硅酸盐天体（如月球、水星和小行星）上，影响表面反照率的主要原因是暗色物质的类型（如钛铁矿、陨硫铁、纳米-微米相金属铁）、含量和空间风化的程度。在可见光至近红外波段，水星表面的反照率远低于月球和其他类地行星，水星表面不同物质的反照率光谱差异很小，且均不存在明显的吸收特征。前人研究发现类地天体表面常见的暗色物质（如钛铁矿、陨硫铁等）无法解释水星的低反照率。另一方面，水星信使号探测器(MESSENGER)搭载的伽马射线-中子谱仪在水星表壤中检测到显著的C信号；实验岩石学模拟发现由于水星独特的化学环境，早期岩浆洋分异形成的壳层以石墨为主。因此，当前的主流观点认为石墨是造成水星极低反照率的原因。石墨在 $\sim 600\text{ nm}$ 波段存在微弱的吸收特征，在水星表面最暗的光谱单元，也即低反照率物质（low-reflectance materials；LRM）中尤其明显。基于光谱拟合，前人推断水星表面的石墨含量可能高达 $4\text{ wt}\%$ 。但是，伽马射线-中子谱仪探测C含量的空间分辨率较低，仅在北半球的局部区域达到百公里的解析度，且其中混合了大量不同反照率单元的物质。因此，水星表面C的赋存形式以及石墨的具体含量依然未知，这也是欧空局-日本航天局正在开展的BepiColombo水星探测任务的重要科学目标。

中山大学行星环境与宜居性研究实验室在水星地质和地球化学研究方面已有多年的积累。近年来的研究发现水星表面的暗色物质是连接其早期岩浆洋分异和后期地质活动（如火山活动和挥发份活动等）的关键纽带。该研究团队最近的研究发现全球低反照率物质中的 $\sim 12.5\%$ 缺乏石墨的增强光谱吸收特征，表明石墨可能不是水星上唯一的暗化相。综合影像、反照率光谱、高程、重力

场和壳厚度数据，该团队的综合地质研究发现此类低反照率物质是水星上最古老的物质，具有不同的暴露年龄。本研究进而使用辐射传输模型，模拟了水星表面典型光谱单元的反照率，例如全球平均反照率光谱、不同暴露年龄和光谱吸收特征的低反照率物质。采用精确误差控制的蒙特卡罗模拟，结果表明小于 0.75 ± 0.12 wt%的微晶石墨加上小于 0.58 ± 0.14 wt%的金属铁可以解释水星反照率单元的整体反照率；石墨和金属铁的微小成分差异足以解释水星表面的主要反照率差异。



水星上的低反照率物质，其中黄色部分具有明显的增强石墨吸收特征，绿色部分不具有增强石墨的吸收特征

本研究证实石墨是水星表壤中主要的暗化相，模型预测的全球平均C和FeO含量与顽辉球粒陨石相当；预测的石墨含量（ 0.45 ± 0.07 wt%）远高于月球（9.9 ppm）和火星（16.3 ppm）。但是，与伽马射线-中子谱仪探测的表面C含量相比，本研究预测的石墨含量显著（ 0.70 ± 0.13 wt%）偏低。这意味着假设伽马射线-中子谱仪的探测丰度精确，水星表面的C元素主要不以石墨的形式存在。这说明早期岩浆洋分异形成的石墨，在经过 ~ 45.6 亿年的地质过程后，可能大部分已转变为其他物质。例如，冲击变质形成的纳米相金刚石、空间风化产生的无定形碳等。本研究预测的水星表壤中的纳米-微米相铁（模拟粒径： $\sim 10 - 100$ nm）的含量（ $\sim 0.20 - 0.57$ wt%）高于其他观测所约束的纳米相铁（ < 25 nm， $0.1 - 0.2$ wt%）的含量。这意味着在奥斯特瓦尔德熟化（Ostwald Ripening）的作用下，水星表面的高热环境可能促进纳米相铁的扩散生长，在风化层中形成更大的金属铁颗粒。

本研究还在水星表面的年轻玄武岩平原上观测发现了普遍存在的增强石墨吸收特征。这些玄武岩平原大部分形成于 ~ 37 亿年前，少数形成在 ~ 16 亿年前。由于水星幔部高度还原和贫铁，实验岩石学模拟发现幔部部分熔融产生的岩浆在整个岩石圈内处于重力上浮状态。因此，表面火山活动的产物之间的成分差异，很大程度上反映了幔部成分随时间的演化或/和在空间上的不均一性。光谱模拟发现这些玄武岩平原的表壤中也存在 0.35 ± 0.06 wt%的石墨。这意味着幔部部分熔融时形成的含C气体（如CO）可能是驱动水星剧烈火山去气的原因。同时，该发现也表明水星早期

分异过程中幔部C并未完全析出，与实验岩石学的模拟结果对比，指示水星岩浆洋阶段的内部还原度可能比目前的认识更高。该发现为了解LRM的成因提供了新视角，指示部分LRM可能是岩浆洋分异之后，幔部部分熔融形成的古老火山产物。

该成果得到国家自然科学基金面上项目（No. 42273040、41773063、42241108）、中国科学院战略性先导科技专项B类（No. XDB41000000）等共同资助。（来源：科学网）

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41550-023-02169-5>

作者：肖智勇等 来源：《自然—天文学》

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](https://www.iikx.com)转发