
地质地球所揭示黄石湖湖底水热蚀变时空演化过程

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/19306.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！

黄石国家公园（Yellowstone National Park）是美国第一个国家公园，以丰富的野生动物种类和地热资源闻名。整个公园坐落在北美超级火山——黄石火山上，因此分布着上万个地表热显示（间歇泉、温泉、水热爆炸点），奇特的地质现象和多样的地理地貌特征不仅受到全世界游客的青睐，也吸引着大量学者的关注。

位于黄石国家公园中央偏东南的黄石湖（图1b）是这一地区最大的淡水湖，湖底同样分布着大量的热液喷口、喷气孔等。通过远程遥控机器人进入湖底开展的一系列现场监测工作发现，湖底最深处的“深坑区”（水深约为125m，图1c）为十分典型的高温（174 °C）、酸性（pH=4.2）环境，

同时也观

测到大量气泡从湖

底热液喷口中溢出。经测试分析，这

些气泡主要成分为CO₂与H₂S。显然，富含岩浆气体（CO₂和H₂

S）的高焓蒸汽在从深部穿过湖底并最终溢出的过程，必将对湖底岩石具有显著的改造作用，进而控制着湖底深坑区的形成与演化。

近年来，众多学者针对黄石湖深坑区已开展了大量地球化学演化与地热系统特征的研究工作。长期原位监测发现：在远离热液喷口的湖底分布着丰富的非晶硅、钾长石及少量赤铁矿、磁铁矿等矿物（YL17U05），而在热液喷口附近则以高岭土、石英黄铁矿等矿物为主（YL17U04）。因此推测远离热液喷口区的矿物代表新鲜矿物，其在混有岩浆气体的高焓蒸汽作用下，逐渐演化为热液喷口附近的蚀变矿物。这一推测是否合理？岩石水热蚀变过程又是如何控制着深坑区的地形演化？

针对上述问题，中国科学院地质与地球物理研究所副研究员王礼恒、副研究员董艳辉，联合美国明尼苏达大学教授William E. Seyfried Jr.等借助地下多组分反应溶质运移数值模拟（Reactive Transport Modeling, RTM）方法，针对深坑区建立了典型剖面的二维数值模型。该模型将多相流、热运移、化学反应及地形变化进行耦合，模拟了湖底岩石水热蚀变过程矿物随时间的变化特征，预测分析了深坑区地形时空演化过程。结果表明：1、混有岩浆气体的高焓蒸汽沿湖底热液喷口溢出，控制着湖底地层的压力、温度及酸性环境；高温酸性环境促使非晶硅大规模快速溶解（约在10天时间内）并转化为相对稳定的石英，造成喷口溢出流体的二氧化硅浓度先快速上升而后保持稳定；钾长石转化为高岭土与水铝石的过程则在百年至千年时间尺度上（0.5~1.5ka）；此外，暴露于富含H₂S气体环境中的赤铁矿也在0.55年左右开始形成，并最终遍布在模拟区内（图2），这一模拟结果也与现场原位观测一致。2、矿物水热蚀变过程的体积损失量是造成深坑区地形凹陷的重要原因之一，通过模拟计算发现，在经过1

k.a. 水热蚀变后，模拟区地形将会向下凹陷约20m，在10
k.a.后，将会形成一个直径超过5m、深度超过32m的倒圆锥形凹陷区（图3）。

RTM是解释地球系统中的耦合过程和不同时空尺度对其影响的重要工具，特别是在定量处理复杂地球化学过程中体现出其独特优势。黄石湖湖底热液排放的过程中，在岩浆气体混入后形成了一个典型的水-岩-气反应体系。一方面，具有侵蚀性的高温热液加速了湖底矿物蚀变过程；另一方面，矿物蚀变又显著改变了湖底地层渗透性能，决定着高温热液的流动速度与排放通量，二者之间互相影响、互相制约。该研究借助RTM首次定量描述了这个复杂蒸汽型地热系统中的水热蚀变过程，并推演了黄石湖湖底地形时空演化过程，这不仅为深入认识黄石湖丰富奇特的地质现象提供了科学依据，也为了解类似系统（如洋中脊热液系统）中物质循环与地球化学演化提供了新的思路。

相关研究成果发表在*Geochimica et Cosmochimica Acta*上。研究工作得到国家自然科学基金、美国国家自然科学基金、国家留学基金委的资助。

[论文链接](#)

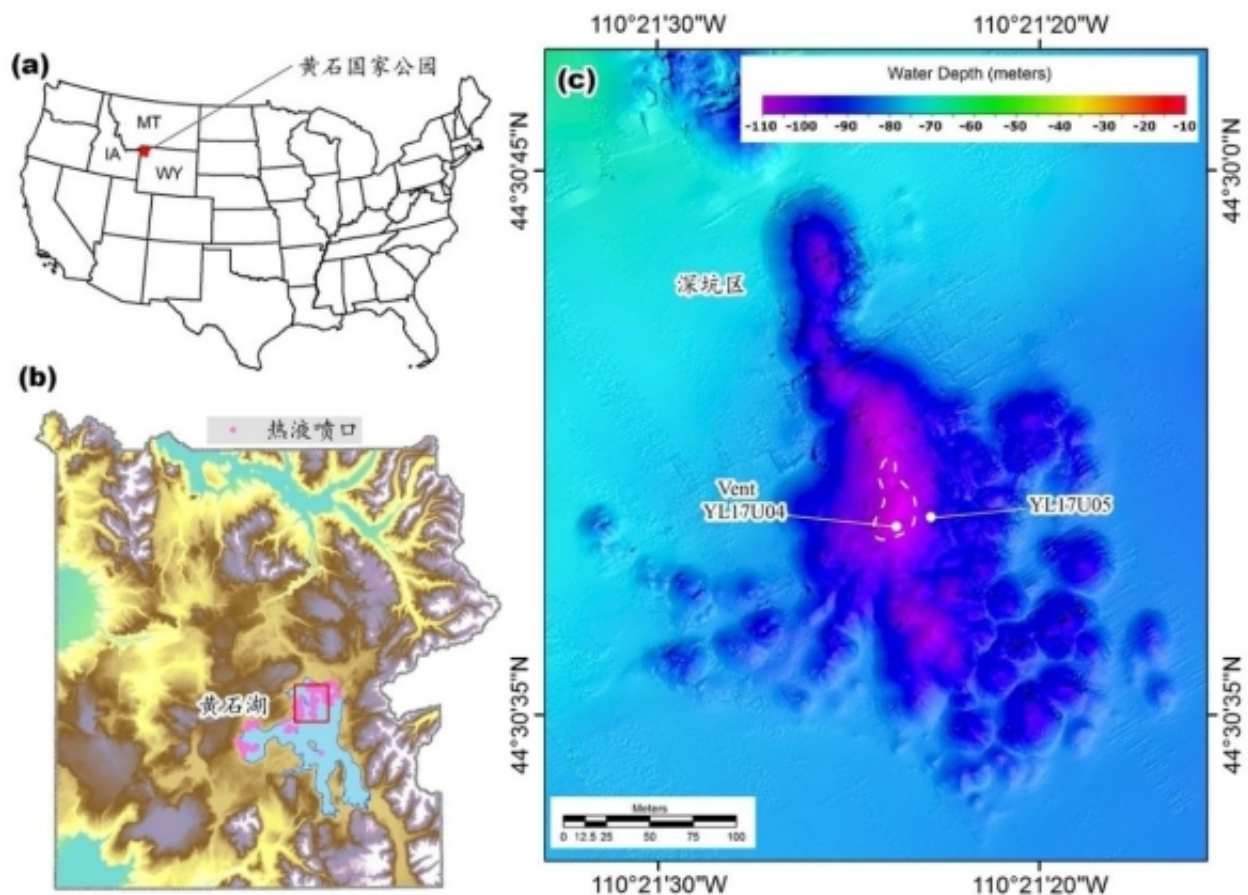


图1 (a) 黄石国家公园在美国的位置；(b) 黄石湖及深坑区（Deep Hole Region）在黄石公园的位置；(c) 现今深坑区水深分布图，YL17U04代表喷口附近岩石取样点（代表蚀变矿物），YL17U05代表远离喷口位置取样点（代表新鲜矿物）

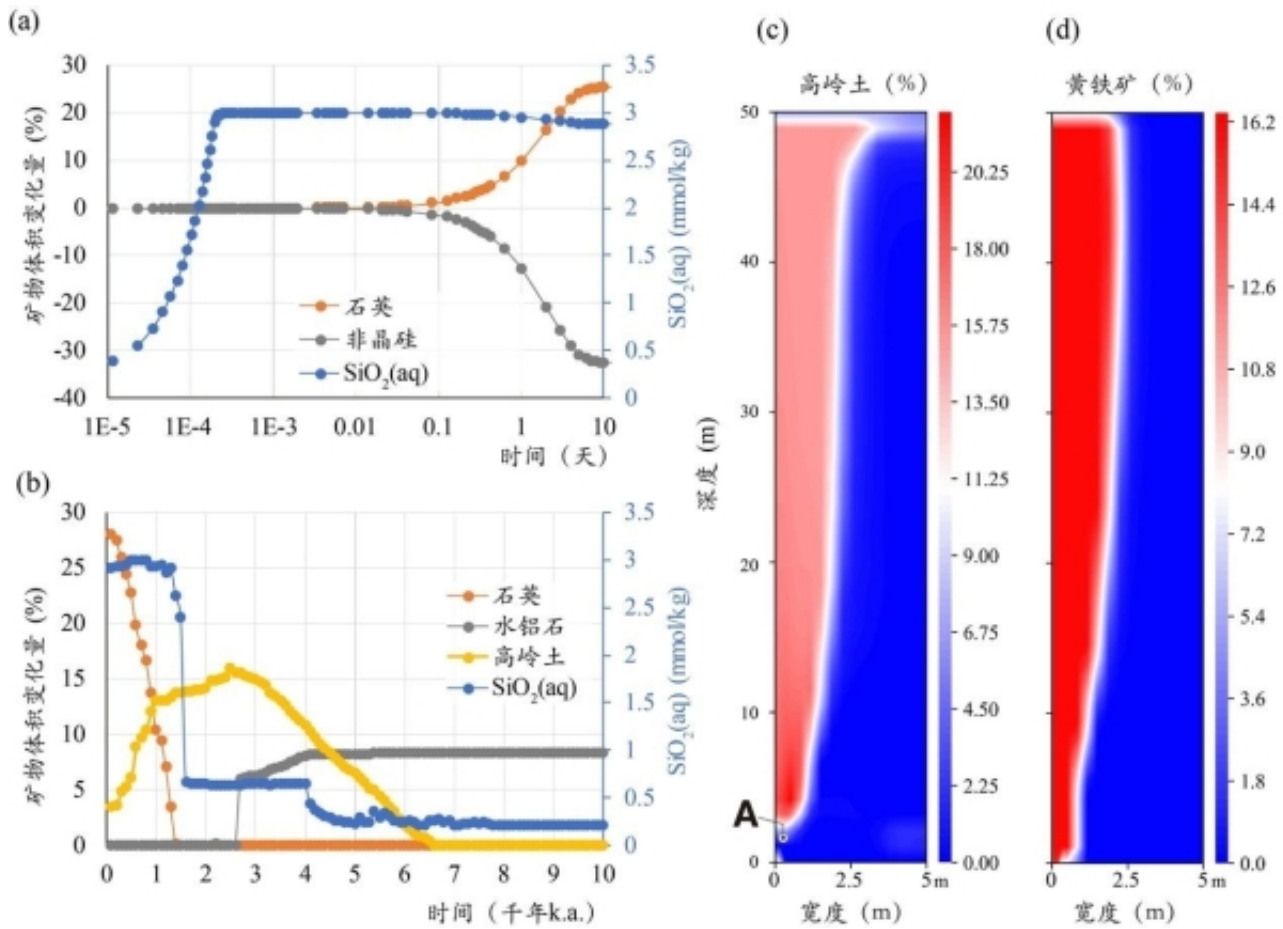


图2 (a、b) 模拟区底部观测点矿物蚀变过程，左纵坐标为矿物体积变化量，负值代表体积减少、正值代表体积增加，右纵坐标为液相二氧化硅浓度；(c、d) 模拟期结束时高岭土与黄铁矿在模拟区的体积百分比分布情况，模型宽度为5m、深度为50m

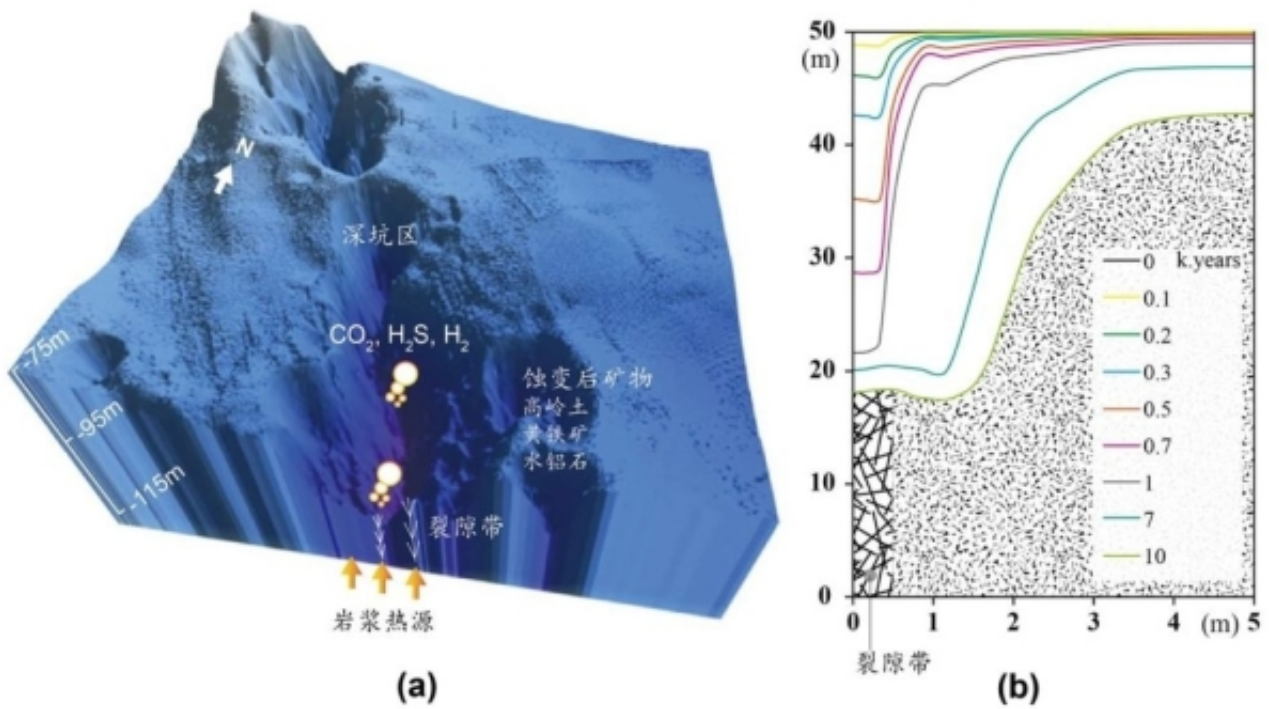


图3 (a) 湖底深坑区矿物蚀变过程及三维地形分布；(b) 地形时空演化过程

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](http://www.iikx.com)转发