

研究揭示吸附-解吸附导致流体溶质同位素变化

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/18916.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！

硼 ($\delta^{11}\text{B}$)、锶 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)、锂 ($\delta^7\text{Li}$)等同位素常被用于示踪水溶组分的来源与演化。例如，海水及其衍生卤水的 $\delta^{11}\text{B}$ 值较高 (通常40‰ – 60‰)，相比之下，岩石 (通常<30‰) 和生活废水 (0‰ – 13‰) $\delta^{11}\text{B}$ 值较低。与此类似，海相碳酸盐 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值较低 (通常小于0.709)，而大陆硅酸盐溶解的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值较高 (溶解过程 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分馏不明显)。在含有粘土矿物的水-岩体系中，吸附-解吸附作用 (吸附-解吸附和离子交换具有很多共同特征，在自然界中很难单独出现，因此通常被一起考虑) 可能会影响这些溶质同位素的示踪。然而，吸附-解吸附作用速度快 (几分钟到几小时)，而地下水流速一般较慢，吸附-解吸附作用在野外样品中不易被观测或定量化。此外，粘土矿物的吸附态 (可交换态) 特征不明，导致吸附-解吸附作用对上述溶质同位素的影响机理认识不清，在实际应用中也无法考虑。

为此，中国科学院地质与地球物理研究所页岩气与地质工程院重点实验室研究员黄天明、博士利振彬、研究员庞忠和等人利用页岩气水力压裂的返排液中溶质同位素组成的短期变化探讨了粘土吸附-解吸附作用对几种特定同位素的影响。返排液的优点在于：(1) 粘土矿物含量较高，吸附-解析作用可能较显著；(2) 压裂段的岩性较为均一，吸附态组成易于确定；(3) 由于水力压裂的时间较短，可排除硅酸盐溶解作用的干扰。对可能影响水岩相互作用的页岩各个形态组成，科研人员采用顺序提取法确定压裂段页岩样品水溶性、可交换性 (吸附态) 和碳酸盐等三种形态的相关元素含量及同位素组成 (图1)，并结合相匹配的室内水岩反应实验和野外采用无添加剂的清水的水力压裂试验，对返排液进行高频率采样，研究了吸附-解吸附作用对返排液溶质含量和同位素组成的影响。

返排液是由压裂水和页岩地层水以不同比例组成，在返排初期主要由压裂水组成，后期主要由地层水组成。研究发现，吸附-解吸附作用是控制初期返排液B、Sr、Li含量和同位素组成的关键因素，而碳酸盐的溶解作用贡献率小于16%。由于压裂水和地层水之间的混合，如图2所示的混合线，粘土矿物中的B被解吸到返排液中，使得返排液的B含量增加，其同位素 $\delta^{11}\text{B}$ 值降低，代表了 $\delta^{11}\text{B}$ 相对较低的可交换B。对于Sr而言，含量呈现减少趋势，这主要是由于发生了吸附作用 (即水中

Sr、Ca等被吸附到粘土矿物表面，同时原被吸附的Na、K、Li等被解吸附到水中)。然而室内水岩反应实验表明，在吸附过程中⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值几乎不变，意味着吸附作用仅使得返排液Sr含量减少。而返排液⁸⁷Sr/⁸⁶Sr值的增加（图2），则是由于返排液中溶解态Sr与页岩吸附态Sr（⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.71803）同位素再平衡导致。相匹配的室内水岩实验证实了这一点。

研究表明，吸附-解吸附作用显著影响B、Sr等同位素的示踪和水中Na来源解析。返排液Na含量增加、⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值增加，常被认为是硅酸盐的溶解（本研究页岩样品⁸⁷Sr/⁸⁶Sr=0.75402），而实际上是由吸附-解吸附作用导致的，因此忽视该作用则会高估硅酸盐的溶解作用。全球大陆地表出露的岩石中，约33%为页岩、16%为砂岩，大多数含水层含有粘土矿物，因此该研究对于同位素示踪水岩相互作用以及解析特定离子的来源具有重要意义。

相关研究成果发表在国际学术期刊Journal of Hydrology上。研究工作得到国家自然科学基金项目、第二次青藏高原综合科学考察研究项目、中科院战略性先导科技专项和中科院青年创新促进会等的资助。

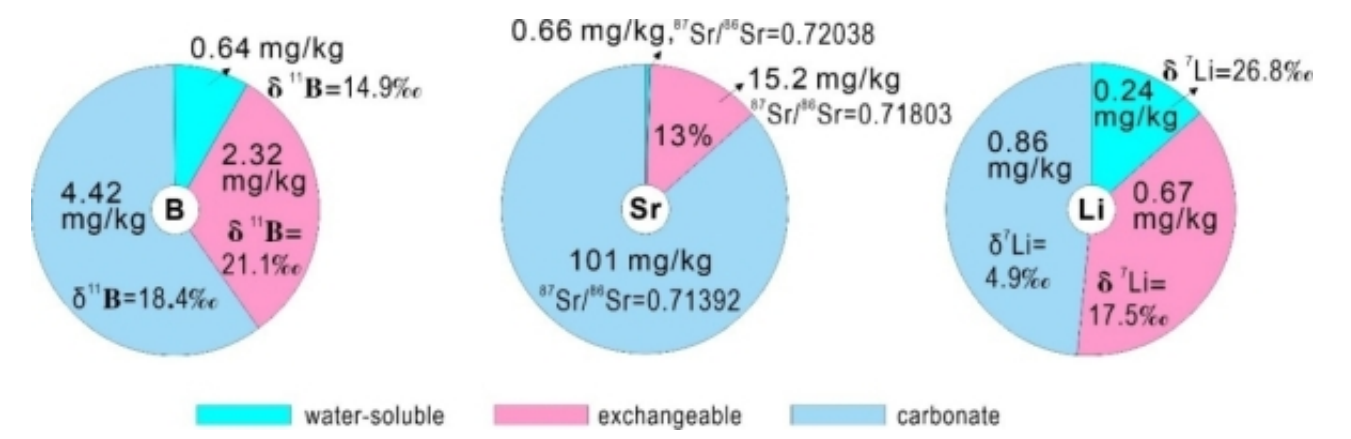


图1.页岩样品中不同形态（水溶性、可交换态和碳酸盐）B、Sr、Li含量及同位素组成

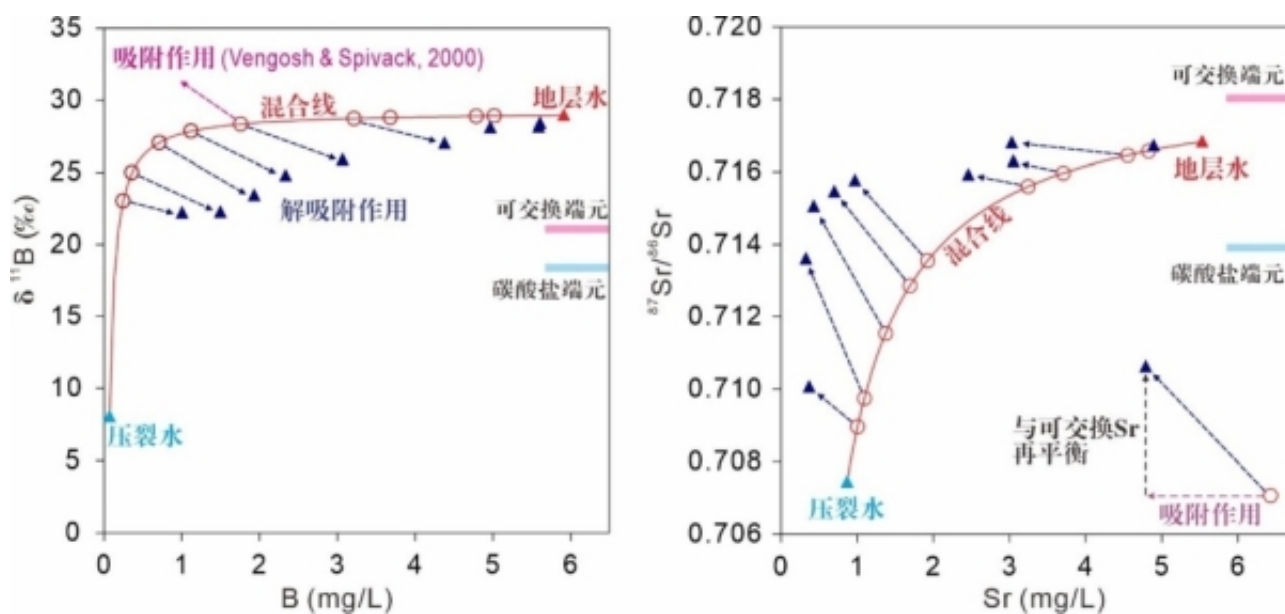


图2.返排液B和Sr含量及同位素变化特征及机理 (Li与B的机制类似)

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](https://www.iikx.com)转发