

西藏青藏铁路沿线地下热水碳硫稳定同位素特征*

刘昭^{1,2)}, 邓启军³⁾, 男达瓦⁴⁾

- 1) 石家庄经济学院水资源与环境学院, 石家庄, 050031;
- 2) 河北省水资源可持续利用与开发重点实验室, 石家庄, 050031;
- 3) 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定, 071051;
- 4) 西藏自治区地质矿产勘查开发局地热地质大队, 拉萨, 850032

1 引言

研究区位于西藏自治区中部地区, 包括市县有拉萨市、尼木县、当雄县、那曲县、聂荣县、安多县, 沿线有青藏公路、铁路穿过, 交通条件较为方便。地理坐标: 东经 $90^{\circ} 00' \sim 92^{\circ} 30'$, 北纬 $29^{\circ} 15' \sim 32^{\circ} 30'$ 。区内平均海拔高度在 4000m 以上, 总体地势北高南低, 地形起伏较大。主要山脉为念青唐古拉山, 主峰海拔 7111m。研究区处在尼木—那曲地热带, 位于当雄—羊八井—多庆错活动断裂带上, 斜贯西藏高原中部, 全长约 300km。该带水热活动强烈, 显示类型齐全, 从南到北大致有续迈、羊易、吉达果、嘎日桥、羊八井、拉多岗、宁中、月腊、董翁、谷露、脱玛、罗玛、那曲、玉寨、果组等二十多个显示区^①。主要地热显示类型有: 温泉、喷泉、热水河、冒汽孔、放热地面、盐华、泉华、水热蚀变等。本次采样工作选取区内续迈、吉达果、嘎日桥、宁中、月腊、董翁、谷露、脱玛、罗玛、玉寨和果组 11 个地热田^②, 通过分析地下热水中碳硫稳定同位素特征, 来研究地下热水中碳和硫的来源, 完善区内地热流体的成因。

2 取样及试验方法

碳稳定同位素样品在野外加过饱和 NaOH 溶液 pH 调至大于 12, 加入过量 BaCl₂ 生成沉淀, 硫稳定同位素样品在野外加 1:1 盐酸 pH 调至小于 2, 加入过量 BaCl₂ 生成沉淀。地下热水中碳同位素样品测试工作在国土资源部地下水科学与工程重点实验室进行, 碳稳定同位素在 MAT-253 型气体同位素

质谱仪进行测试, 测定精度 $\pm 0.1\%$, 测定结果以相对于 PDB 标准的千分差表示。地下热水中硫同位素样品送国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 测试仪器为 MAT-253 型气体同位素质谱仪, 测试精度为 $\pm 0.2\%$, 测定结果以相对于 CDT 标准的千分差表示。

3 数据分析与讨论

地下水中的 HCO₃ 主要有三种来源, 即大气 CO₂ 溶解、土壤或沉积物中有机质降解产生 CO₂ 溶解和碳酸盐溶解产生的。这些源具有各自的碳同位素特征, 大气 CO₂ 通常为 -7‰; 土壤 CO₂ 由于生物成因作用 $\delta^{13}\text{C}$ 很低为 -25‰; 碳酸盐分为海相碳酸盐和陆相碳酸盐, 其中前者为 0, 后者变化范围较大为 -2‰ ~ -10‰, 与有机成因 CO₂ 介入有关 (顾慰祖等, 2011)。研究区地下热水中 $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围在 -7.1‰ ~ 3.8‰, 主要位于大气 CO₂ 溶解和碳酸盐溶解区间, 并且随着地下热水中 HCO₃ 和 CO₃ 含量的增加, 中 $\delta^{13}\text{C}$ 不断增大, 显示出较好的正相关关系, 受沉积层淋溶作用明显, 指示区内地下热水中 HCO₃ 主要来源于陆相碳酸盐的溶解, 热水向上运移过程中随着冷水的混入, 大气 CO₂ 溶解成因的 HCO₃ 含量逐渐增加。

地下硫的主要形式有硫酸盐和硫化物矿物、溶解的硫酸盐、溶解的硫化物和硫化氢气体 (张慧等, 2006)。蒸发盐中主要以硫酸盐形式存在, 在火成岩和变质岩、生物圈的有机物以及海洋沉积物中, 硫为微量元素, 主要以硫化物和硫酸盐形式存在, 海水中全部以硫酸盐形式存在 (Ohmoto et al.,

注: 本文为中国地质调查局项目 (编号 1212011220840) 和石家庄经济学院博士科研启动基金 (编号 BQ201506) 资助的成果。

收稿日期: 2015-02-03; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 周健。

作者简介: 刘昭, 男, 1983 年生。博士, 讲师, 地质工程专业。Email: liuzhao0129@126.com。

1997; Hoefs et al., 2009; Afsin et al., 2014)。区内对自然硫和泉华的硫同位素研究较多, 佟伟(1982)指出西藏水热区大部分自然硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 与陨硫石的偏离不显著, 而这些主要是高温水热区的硫华或含硫盐华, 主要来源于深部岩浆体, 热补给源具岩浆囊的性质; 张理刚(1985)根据西藏自然硫的 $\delta^{34}\text{S}$ 与典型火山区地热田硫同位素组成存在明显差异, 判断硫主要来源于不同沉积层的淋滤; 李振清(2002)指出热水系统中硫同位素可能来自沉积层的局部重熔或热水系统淋滤不同的沉积层, 而同一热水活动区的 $\delta^{34}\text{S}$ 高值和分散性, 似乎暗示了其淋滤成因。区内地下热水硫酸盐中 $\delta^{34}\text{S}$ 分布范围在 6.8‰~17.4‰, $\delta^{34}\text{S}$ 分布较离散, 但均落在大气硫酸盐和蒸发硫酸盐区间内, 显示地下热水中硫酸盐主要来源于沉积层的淋滤作用, 如谷露温泉水、玉寨地热井水为典型的蒸发硫酸盐来源, 续迈、月腊温泉水受冷水混入影响明显, 大气硫酸盐成分比例增多, 其他地热田地下热水表现为过渡类型。同时, 区内 $\delta^{34}\text{S}$ 分布与火山硫 (SO_2 及 SO_4) 有交叉部分, 结合区内独特地质及构造条件分析, 可能有轻微的火山硫 (SO_2 及 SO_4) 混入, 在部分地热田气体中检测出明显的 H_2S 和 SO_2 气体, 本次研究未对气体中 H_2S 和 SO_2 进行测试, 但在玉寨地热田热水中出现的明显的 D 同位素富集, 显示该地热田地热气体中有显著的 H_2S 和 SO_2 气体, 该处火山硫 (SO_2 及 SO_4) 混入可能性较大, 即有深部幔源物质的混入。

4 结论

地下热水中碳硫同位素特征的研究, 揭示区内地下热水碳源和硫源主要来源于沉积层的淋滤作

用, 随着冷水混入大气成因来源不断增加, 多数介于二者的过渡类型, 部分有深部幔源物质的来源。

注 释 / Notes

- ① 西藏地热地质大队. 1991. 西藏自治区那曲—尼木地热带地热调查报告.
- ② 胡先才, 范珍材, 谢鄂军, 等. 2012. 青藏铁路沿线高温地热资源调查评价 2012 年总结.

参 考 文 献 / References

- 顾慰祖, 庞忠和, 王全九, 等. 2011. 同位素水文学. 北京: 科学出版社.
- Clark L D, Fritz P 著. 2006. 水文地质学中的环境同位素. 张慧, 张新基译. 郑州: 黄河水利出版社.
- 李振清. 2002. 青藏高原碰撞造山过程中的现代热水活动. 中国地质科学院博士论文, 1~89.
- 刘昭. 2014. 西藏尼木—那曲地热带典型高温地热系统形成机理研究. 中国地质科学院博士论文, 1~102.
- 佟伟, 朱梅湘, 陈民扬. 1982. 西藏水热区硫同位素组成和深源热补给的研究. 北京大学学报(自然科学版), (2): 79~85.
- 张理刚. 1985. 稳定同位素在地质科学中的应用: 金属活化热液成矿作用及找矿. 西安: 陕西科学技术出版社.
- Afsin M, Allen D M, Kirste D, et al. 2014. Mixing processes in hydrothermal spring systems and implications for interpreting geochemical data: a case study in the Cappadocia region of Turkey. *Hydrogeology Journal*, 22(1): 7~23.
- Jochen Hoefs. 2009. *Stable Isotope Geochemistry* (Sixth Edition). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ohmoto H, Goldhaber M B. 1997. Sulfur and carbon isotopes. In: Barnes H L, ed. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd edn. New York: Wiley, 435~486.