

# 老挝他曲盆地钾盐矿床蒸发岩硫同位素特征及成钾指示意义

张华<sup>1)</sup>, 刘成林<sup>1,2)</sup>, 王立成<sup>1)</sup>, 方小敏<sup>3)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

2) 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;

3) 中国科学院青藏高原研究所, 北京, 100101;

**内容提要:** 老挝含盐盆地白垩纪时期位于新特提斯域东南部, 晚白垩世沉积了巨型钾盐矿床。其中, 万象东南部的他曲盆地钻孔含盐系中硬石膏 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值集中分布在13.8‰~15.3‰, 与同期海相蒸发岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值近似, 表明石膏为海相成因。据此, 也进一步证实老挝含盐盆地成钾物质大多来自于同时期的古海水, 但同时也受到大陆水的掺杂。依据老挝含盐盆地与思茅盆地钾盐矿床沉积时代相近, 同时结合勒野井组石膏硫同位素组成, 笔者初步认为两盆地在硫同位素组成上具有相近的海源特征, 推断它们在海侵期可能曾连通。

**关键词:** 硫同位素; 特提斯域; 海水; 钾盐; 老挝他曲盆地

现今的呵叻高原包括泰国东北部和老挝中部, 近东西走向的普潘隆起将高原分为两个盆地: 北部的沙空那空盆地和南部的呵叻盆地(Hite, 1974; Hite and Japakasetr, 1979)。白垩纪时期, 两个盆地内蒸发岩广泛发育, 钾盐预计储量能达到420亿吨(Tabakh et al., 2003), 其丰富的钾盐储量使其已成为世界上最大的钾盐沉积矿床之一(Fan, 2000)。已有研究表明, 我国云南兰坪—思茅盆地与沙空那空—呵叻盆地在白垩纪时期处于同一构造带上, 其在盆地基底性质、盆地发展、演化及沉积环境方面均有着相似之处(曲懿华, 1997; 李兴振等, 2004, Wang Licheng et al., 2014)。因此, 对呵叻高原钾盐矿床成盐物质来源、矿床成因等问题的厘清, 可以为我国兰坪—思茅盆地钾盐矿床的研究提供重要的借鉴和指导。

与钾盐矿床的勘探和开发相比, 呵叻高原钾盐矿床系统的科学研究目前仍显得较为薄弱, 其成盐物质来源等方面仍存在争议, 争议的焦点则是成盐物质来源是否是海源(相)或者陆源(相)。Hite (1974)、Hite 和 Japakasetr (1979) 依据石盐中 Br 的含量及其在纵向上的变化趋势与海相蒸发岩相似, 认为成盐物质应来自海水, 并在这一时期可能存在

一个所谓的“呵叻海”。之后, 类似的观点相继被 Sundharovat (1976)、Thiramongkol (1978) 所引用, 他们同样认为泰国东北部钾盐可能与海侵有关或者岩盐是在晚白垩世内陆海或泻湖环境中形成。此外, 石盐流体包裹体中的硼同位素组成, 也反映了成盐物质的海源性(Tan Hongbing et al., 2010)。然而, 由于缺乏碳酸盐岩等典型海相沉积证据, 呵叻钾盐盆地曾被认为是在干旱沙漠环境中形成的一个内陆超盐化湖泊(Utha-Aroon, 1993; Racey and Goodall, 2009; Meesook, 2000)。此后, Garrett (1996) 在对呵叻高原、巴西塞尔希培盆地以及西非刚果—加蓬盆地钾盐沉积特征进行对比后, 认为含盐地层是在陆相环境中沉积。而基于呵叻和沙空那空盆地均缺少  $\text{MgSO}_4$  盐的事实, Warren (1999) 也提出卤水可能来源于大陆的观点。

对海水硫酸盐及石膏的硫同位素研究表明, 石膏沉积时造成的同位素分馏十分微弱、甚至可以忽略不计(Holser and Kaplan, 1966), 在石膏形成过程中海水母液和石膏的同位素差值仅为0‰~2.4‰(Ault and Kulp, 1959; Thode et al., 1961; Thode and Monster, 1965; Raab and Spiro, 1991)。同时, 受益地的硫源以及沉积体系的封闭和开放程度等因素影

注: 本文为国家重点基础研究发展计划973项目(编号2011CB403007)及“十二五”国家科技支撑计划(编号2011BAB06B06)的成果。

收稿日期: 2014-04-22; 改回日期: 2014-06-05。责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 张华, 男, 1985年生。博士研究生, 主要研究方向为蒸发岩沉积盆地分析。通讯地址: 100037, 北京市百万庄大街26号, 中国地质科学院矿产资源研究所; Email: zhhedut@163.com。

响,同一时代、不同沉积背景下的硫同位素在组成上往往表现出较大差异。因此,在研究古代蒸发岩沉积过程中,运用硫同位素进行沉积环境判定及物源分析已被地质学家广泛接受 (Holser and Kaplan, 1966;李任伟和辛茂安,1989;Tabakh et al.,1998,1999)。

基于此,本文拟借用石膏硫同位素对蒸发岩物质来源以及沉积环境等方面的指示作用,通过对万象东南部的他曲地区 ZK2893 钻孔(图 1)中不同层位石膏硫同位素的研究,对该区蒸发岩沉积环境作初步分析,在此基础上探讨老挝含盐盆地与云南思茅盆地成钾物质来源问题。

### 1 区域地质背景及样品采集

呵叻高原位于泰国东北部和老挝中部,其北为湄公河断裂,南为北柬埔寨断裂,西为南乌江断裂,东为边和断裂。受周边深大断裂的控制,呵叻高原构成一个独特的长期稳定持续下降的拗陷带(李善

平等,2009)。古近纪早期,呵叻高原发生抬升,中部 NW—SE 向的普潘隆起形成,并将高原分为南北两个盆地,即北部沙空那空盆地以及南部呵叻盆地 (Tabakh et al.,1999)。研究区他曲盆地位于万象东南部,为呵叻高原北部沙空那空盆地东北缘的次级盆地,其南部与沙湾拿吉盆地相邻。

样品采自中农矿产资源勘探有限公司在万象东南部的他曲盆地新近布置的 ZK2893 钻孔(图 1),采集层位为上白垩统塔贡组 (Tagon Formation)。钻孔岩芯观察结果显示,塔贡组含盐层系主要由三个单元组成,自下而上表现为 3 个完整的蒸发岩序列沉积旋回,即基底硬石膏层—下盐层—下碎屑层—中盐层—中碎屑层—上盐层(硬石膏层)—上碎屑层(图 2)。区域对比表明,塔贡组含盐系中这 3 个蒸发岩沉积旋回在呵叻盆地和沙空那空盆地均广泛发育,且可以进行良好对比 (Tabakh et al.,1999)。硫同位素测试样品分别采集自钻孔中塔贡组含盐层系基底硬石膏及上盐段硬石膏层(图 2)。

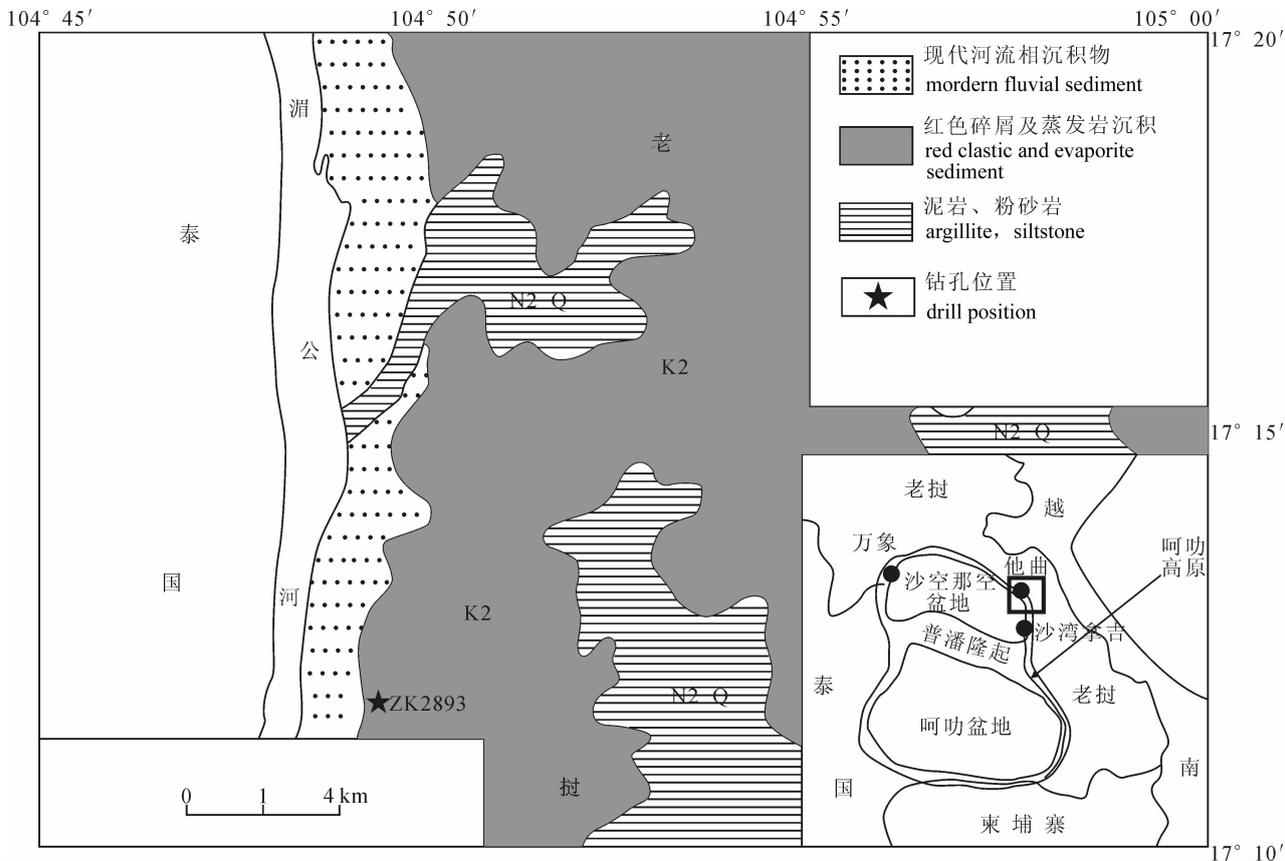


图 1 研究区地质简图及钻孔位置(底图据张西营等,2010)

Fig. 1 Simplified geological of study area and location of borehole(base map after Zhang Xiying et al.,2010)

N<sub>2</sub>—Q—新近系至第四系;K<sub>2</sub>—上白垩统

N<sub>2</sub>—Q—Neogene to Quaternary;K<sub>2</sub>—Upper Cretaceous

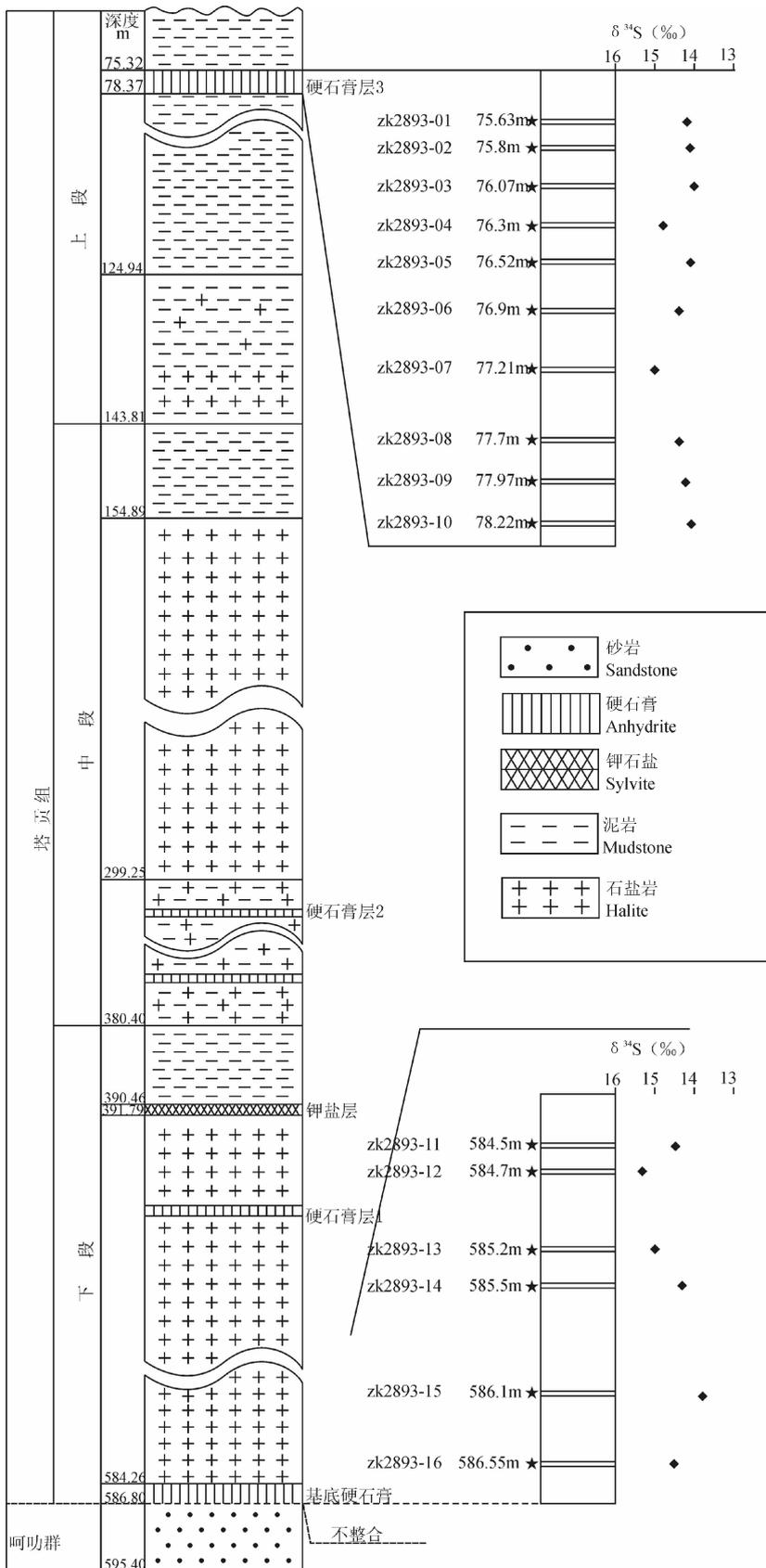


图 2 老挝万象东南部他曲盆地 ZK2893 钻孔岩性剖面及采样位置

Fig. 2 Lithological profile of borehole ZK2893 in Thakhek Basin, southeastern Vientiane, Laos, and sampling location

## 2 样品分析及测试结果

为了避免硬石膏中有其他矿物的混入影响测试结果的精确性,在本次硫同位素测试开展之前,选择具有代表性的样品进行了粉晶衍射的矿物组分分析,测试结果见表 1。硫同位素测试对象为纯净的硬石膏晶体,样品测试工作由中国地质科学院矿产资源研究所完成,分析仪器为 MAT-251EM 型质谱计。基于对标样的重复测试,δ<sup>34</sup>S 分析精度为 2‰,其结果分别以相对 V-CDT 标准的 δ 值来表示。测试结果见表 1。

本次硫同位素测试结果(表 1)显示,硬石膏 δ<sup>34</sup>S<sub>V-CDT</sub> 值分布较为集中(13.8‰ ~ 15.3‰),δ<sup>34</sup>S 值波动幅度仅为 1.4‰。不同层段硬石膏 δ<sup>34</sup>S 值显示出相近的特点,其中本次钻孔中基底硬石膏 δ<sup>34</sup>S<sub>V-CDT</sub> 值与 Tabakh (1999) 对老挝、泰国其它钻孔基底硬石膏进行硫同位素测试的 δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> 值相一致,说明本次测试数据较为可靠。

## 3 讨论

### 3.1 硫同位素的环境指示意义

现代大洋中溶解硫酸盐与海相成因蒸发岩具有相似的硫同位素组成,海相蒸发岩及其所反映的古海洋硫酸盐的同位素组成只在狭窄的范围内变化(Holser and Kaplan, 1966, 李任伟和辛茂安, 1989),而陆相湖盆中硫酸盐硫同位素组成变化往往较大(郑喜玉等, 1988; 史忠生等, 2005)。大气降水以及天然河水 δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> 值普遍分布在 10‰ 以下(章振国等, 2010),大气降水中 δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> 值一般为 0‰ ~ 5‰,天然淡水 δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> 值约为 5‰ ~ 10‰(Holser and Kaplan, 1966)。而在海陆交互相中,由于大陆淡水和海水的共同作用,石膏硫同位素组成往往兼有两者的特点,δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> 值通常为 15‰ ~ 10‰(Tabakh

et al., 1998, 1999)。但是,表生缺氧环境中,大量细菌通过消耗硫的化合物为其新陈代谢提供能量,并导致硫的化合物被还原、氧化或(和)歧化(常华进等, 2010)。因此,生物作用引起的硫同位素分馏也是硫同位素组成发生变化的主要原因(张伟等, 2007)。细菌硫酸盐还原反应过程对重硫同位素的歧视效应,最终导致生成硫化物的硫同位素显著亏损 $^{34}\text{S}$ (Chambers and Trudinger, 1979; Kaplan and Rittenberg, 1964),而残余的硫酸盐往往明显富集 $^{34}\text{S}$ 。

从表1中可以看出,本次分析测试的不同深度段的硬石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 值具有总体偏小,且分布范围较为集中的特点。这与形成于有机质堆积速度较快、介质环境缺氧的强还原环境中的硫酸盐,如四川盆地 $T_{1j}^2$ 段石膏( $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值变化范围为27.8‰~35.9‰)(陈锦石等, 1986;林耀庭, 2003)、东濮凹陷古近系( $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为28‰~33‰)(史忠生等, 2005)以及潜江凹陷等古近系硫酸盐( $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为30.1‰~40.43‰)(刘群等, 1987)形成鲜明对比

(图3),指示老挝他曲盆地石膏形成过程中,细菌还原作用较弱,生物硫酸盐还原作用对石膏硫同位素的分馏作用贡献不大。而盆地中这一时期沉积的含盐层系缺少黄铜矿、黄铁矿等指示还原环境沉积产物,以及红层广泛发育,则进一步表明石膏形成过程中,成盐环境对硫酸盐来说是开放的,对 $\text{H}_2\text{S}$ 是封闭的。这也与钻孔同一深度段内石盐中大量条带状、人字形的石盐原生流体包裹体的出现(Zhang Hua et al., 2014)所指示的浅水、开放一氧化的环境相一致。不同深度段的硬石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 值所表现出来相似性说明,老挝钾盐矿床沉积时可能长时间持续处于浅水一氧化的沉积环境。

### 3.2 老挝钾盐矿床的盐类物质来源

全球海洋硫酸盐的 $\delta^{34}\text{S}$ 记录显示,白垩纪时期海相蒸发岩 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值约为14‰~21‰(Tabakh et al., 1999; Strauss, 1999)。本次测试结果显示,老挝他曲盆地含盐系硬石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 值比白垩纪海水硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 值略低,但基本落入同期海相蒸发岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值范围内,这表明硬石膏为海相成因。这一结论也与该区盐岩地球化学指标Br含量(Tabakh et al., 1999)、以及新近的 $\delta^{11}\text{B}$ (Zhang Xiying et al., 2013; Tan Hongbing et al., 2010)得出的结论相一致。

### 3.3 呵叻盆地与思茅盆地的关系

已有的证据表明,思茅盆地与呵叻—沙空那空盆地钾盐矿床形成于同一时期,其对应的地层年代应为晚白垩世(Racey and Goodball, 2009; 钟晓勇等, 2012; 秦占杰等, 2013)。与此同时,两盆地在构造演化、沉积特征方面的相似性,使我们有理由相信两盆地在晚白垩世联系紧密。Wang Licheng 等(2014)基于全岩地球化学、锆石U-Pb年代学以及Hf同位素组成同时结合这一时期古流向资料(Racey and Goodball, 2009)认为,勐野井组沉积物质来源与呵叻—沙空那空盆地在晚白垩世具有相似性,云南思茅盆地在晚白垩世位于呵叻—沙空那空盆地西侧且在某些时候两盆地相互连通的观点(Wang Licheng et al., 2014)。而基于兰坪—思茅陆块以及老挝含盐盆地所在的印支板块的古地磁学研究表明,两板块在晚白垩世应处于大致相同的纬度地区<sup>①</sup>,且晚白垩世以来发生过不同规模的顺时针旋转,两盆地在晚白垩世应为东西向展布(Yang Zhenyu and Besse, 1993; Charusiri et al., 2006; Yamashita et al., 2011)。对比显示,思茅盆地勐野井组石膏硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 值约为20.58‰(刘群等, 1987; 高广立, 1991)与白垩纪晚期海相蒸发岩硫同位素组成近似,但普遍

表1 老挝他曲盆地塔贡组硬石膏XRD分析结果及硫同位素组成

Table 1 XRD analysis results and sulfur isotope compositions of anhydrite from Tagon Formation in Thakhek Basin, Laos

| 样品      | XRD 分析    |         | 硫同位素   |
|---------|-----------|---------|--|
|         | 物相        |         | $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}(\text{‰})$ |
| 上盐段硬石膏层 | ZK2893-1  | 硬石膏     | 14.2   |
|         | ZK2893-2  | 硬石膏     | 14.1   |
|         | ZK2893-3  | 硬石膏、白云石 | 14   |
|         | ZK2893-4  | 硬石膏     | 14.8   |
|         | ZK2893-5  | 硬石膏     | 14.1   |
|         | ZK2893-6  | 硬石膏     | 14.4   |
|         | ZK2893-7  | 硬石膏、白云石 | 15   |
|         | ZK2893-8  | 硬石膏     | 14.4   |
|         | ZK2893-9  | 硬石膏     | 14.2   |
|         | ZK2893-10 | 硬石膏     | 14.1   |
| 基底硬石膏层  | ZK2893-11 | 硬石膏     | 14.4   |
|         | ZK2893-12 | 硬石膏     | 15.3   |
|         | ZK2893-13 | 硬石膏、白云石 | 15.1   |
|         | ZK2893-14 | 硬石膏     | 14.3   |
|         | ZK2893-15 | 硬石膏     | 13.8   |
|         | ZK2893-16 | 硬石膏     | 14.5   |
|         | * K-16    |         | 15.1   |
|         | * K-19    |         | 15.4   |
| * K-29  |           | 16.0    |  |
| * K-56  |           | 15.0    |  |

注: \* K 样品数据来自 Tabakh et al. (1999)。

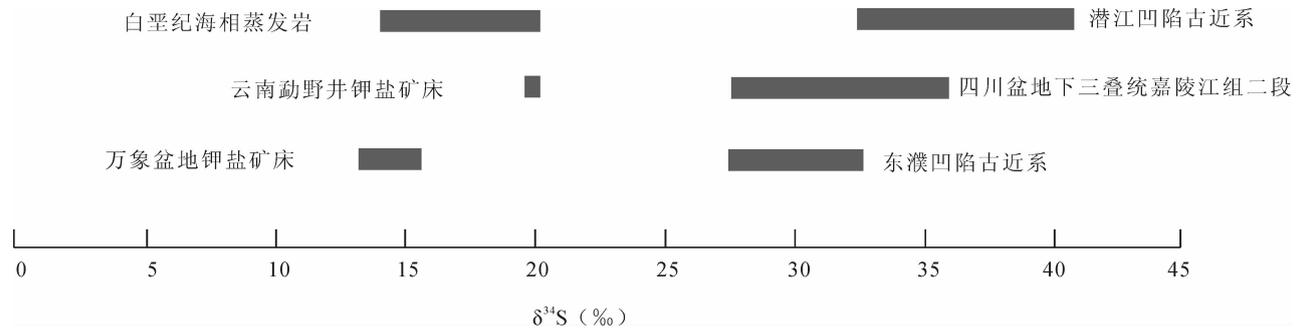


图3 不同沉积环境下蒸发岩硫同位素组成特征

Fig. 3 Sulfur isotopic composition of evaporites under different sedimentary environments

白垩纪海相蒸发岩,据 Paytan et al.,2004;Tabakh et al.,1999;四川盆地数据,据陈锦石等,1986;林耀庭,2003;  
东濮凹陷数据,据史忠生等,2005;潜江凹陷数据,据刘群等,1987;云南数据,据高广立,1991,刘群等,1987

Data of Cretaceous evaporite from Paytan et al.,2004,Tabakh et al.,1999;data of Sichuan Basin from Chen Jinshi et al.,1986,Lin Yaoting,2003;  
data of Dongpu depression from Shi Zhongsheng et al.,2005;data of Qianjiang depression from Liu Qun et al.,1987;data of Yunnan from Liu Qun  
et al.,1987,Gao Guangli,1991

高于他曲盆地不同层段硬石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 值。在远离海源的蒸发岩盆地中,海水对盆地的补给通常是间歇性的,海相硫酸盐在形成过程中常常会受到周缘淡水的注入,从而导致沉积水体 $^{34}\text{S}$ 亏损, $\delta^{34}\text{S}$ 值相对这一时期正常的海洋硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 值偏小。这一硫同位素组成变轻的过程,在新生代塔里木海湾的演化过程中表现尤为显著(张华等,2013)。

基于上述证据,我们推断老挝含盐盆地与思茅盆地钾盐矿床的形成与当时的新特提斯海关系密切,钾盐成矿物质主要来自当时的古海水;两盆地在海侵的时候可能曾连通,海水可能从西向东侵入,即先进入思茅盆地,再入侵老挝含盐盆地,这可能是导致思茅盆地勐野井组石膏硫同位素组成更接近这一时期海水硫同位素,而老挝他曲地区蒸发岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值则因受到较多大陆淡水的影响,而低于同期海水的主要原因之一。

## 4 结论

基于对老挝他曲盆地硫酸盐硫同位素组成特征的分析,及其与其他蒸发岩盆地硫同位素组成对比研究,大致可以得出如下结论:

(1) 老挝他曲盆地蒸发岩形成于持续浅水—氧化的沉积环境,这与盆地同时期含盐系缺乏黄铁矿、黄铜矿等指示还原环境的产物以及同一层位盐岩中发育大量人字形、条带状的原生流体包裹体等地质证据相符合。

(2) 老挝含盐盆地与思茅盆地钾盐矿床的钾盐物质来源应为白垩纪海水,海侵时两盆地可能曾经

相通;由于掺杂陆源淡水的影响,从而导致老挝含盐盆地硬石膏硫同位素具有海—陆混合的特征。

**致谢:** 本文测试样品来自中农矿产资源勘探有限公司勘探钻井岩芯,钻孔编录由中国科学院青藏高原研究所科研人员完成,采样过程得到中国科学院青藏高原研究所杨一博博士的帮助;审稿专家对本文提出了大量宝贵意见,在此一并表示感谢。

## 注释 / Note

① 中国地质科学院矿产资源研究所,等. 2012. 国家重点基础研究发展计划 973 项目“中国陆块海相成钾规律及预测研究 2012 年度中期总结报告。

## 参考文献 / References

- 常华进,储雪蕾,黄晶,冯连君,张启锐. 2007. 沉积环境细菌作用下的硫同位素分馏,地质论评,53(6):807~813. 陈锦石,储雪蕾,邵茂茸. 1986. 三叠纪海的硫同位素. 地质科学,4:330~338.
- 高广立. 1991. 金顶铅锌矿区硬石膏矿的形成时代及其所涉及的问题. 云南地质,10(2):191~205.
- 李善平,马海州,山发寿,高东林,王明祥,唐启亮,程怀德. 2009. 老挝万象盆地通芒地区盐构造特征及成因机制. 盐湖研究,17(2):5~12.
- 李任伟,辛茂安. 1989. 东濮盆地蒸发岩的成因. 沉积学报,7(4):141~147.
- 李兴振,刘朝基,丁俊. 2005. 大湄公河次地区主要结合带的对比与连接. 沉积与特提斯地质,24(4):1~12.
- 林耀庭. 2003. 四川盆地三叠纪海相沉积石膏和卤水的硫同位素研究. 盐湖研究,11(2):1~7.
- 刘群,陈郁华,李银彩,蓝庆春,袁鹤然,阎东兰. 1987. 中国中、新生代陆源碎屑—化学岩型盐类沉积. 北京:科学技术出版社. 秦占杰,袁秦,魏海成,盛淑荣,山发寿. 2013. 老挝甘蒙省晚白垩世农波组孢粉组合及其对成盐环境的指示意义. 地球学报,34(5):638~642.

- 曲懿华. 1997. 兰坪—思茅盆地与泰国呵叻盆地含钾卤水同源性研究——兼论该区找钾有利层位. *化工矿产地质*, 19(2): 81~84.
- 史忠生, 陈开远, 何生. 2005. 东濮盐湖古近系锶、硫、氧同位素组成及古环境意义. *地球学报*, 30(6): 430~436.
- 张华, 刘成林, 曹养同, 孙宏伟, 王立成. 2013. 塔里木古海湾新生代海退时限及方式的初步探讨. *地球学报*, 34(5): 577~584.
- 张西营, 马海州, 谭红兵, 高东林, 李斌凯, 王明祥, 唐启亮, 袁小龙. 2010. 老挝东泰钾盐矿床地球化学及其沉积后变化初步研究. *矿床地质*, 29(4): 713~721.
- 张伟, 刘丛强, 梁小兵. 2007. 硫同位素分馏中的生物作用及其环境效应. *地球与环境*, 35(3): 223~227.
- 章振国, 高继雷, 张向文. 2010. 塔里木盆地古代蒸发岩硫同位素地球化学研究. *甘肃地质*, 19(1): 32~37.
- 郑喜玉, 唐渊, 徐昶. 1988. 西藏盐湖. 北京: 科学技术出版社.
- 钟晓勇, 袁秦, 秦占杰, 魏海成, 山发寿. 2012. 老挝甘蒙省晚白垩世工农组下段孢粉分析及成钾时代. *地球学报*, 33(3): 323~330.
- Ault W U, Kulp J L. 1959. Isotopic geochemistry of sulphur. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 16: 201~235.
- Chambers L A, Trudinger P A. 1979. Microbiological fractionation of stable sulfur isotopes; a review and critique. *Geomicrobiol. J.* 1: 249~293.
- Charusiri P, Imsamut S, Zhuang Zhonghai, Ampaiwan T, Xu Xiaohong. 2006. Paleomagnetism of the earliest Cretaceous to early late Cretaceous sandstones, Khorat Group, Northeast Thailand; implications for tectonic plate movement of the Indochina Block. *Gondwana Research* 9, 310~325.
- Fan Pow-foong. 2000. Accreted terranes and mineral deposits of Indochina. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(3): 343~350.
- Garrett D E. 1996. Potash; deposits, processing, properties and uses. London, UK: Chapman & Hall.
- Hite R J. 1974. Evaporite deposits of the Khorat Plateau, northeastern Thailand//Coogan A H ed. Fourth Symposium on Salt. Cleveland: Northern Ohio Geological Society Inc: 135~146.
- Hite R J, Japakasetr T. 1979. Potash deposits of the Khorat plateau, Thailand and Laos. *Economic Geology*, 74(2): 448~458.
- Holser W T, Kaplan I R. 1966. Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. *Chem Geol.* 1: 93~135.
- Kaplan I R, Rittenberg S C. 1964. Microbiological fractionation of sulfur isotopes. *J. Gen. Microbiol.* 34: 195~212.
- Meesook A. 2000. Cretaceous environments of northeastern Thailand. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 17: 207~223.
- Paytan A, Kastner M, Campbell D, Mark H T. 2004. Seawater sulfur isotope fluctuations in the Cretaceous. *Science*, 304(5677): 1665~1669.
- Raab M, Spiro B. 1991. Sulfur isotopic variations during seawater evaporation with fractional crystallization. *Chem. Geol.* 86: 323~333.
- Racey A, Goodall J G S. 2009. Palynology and stratigraphy of the Mesozoic Khorat Group red bed sequences from Thailand. *Geological Society, London, Special Publications*, 315(1): 69~83.
- Strauss H. 1999. Geological evolution from isotope proxy signals-sulfur. *Chemical Geology*, 161: 89~101.
- Sundharovat S. Potash in E-Sam. 1976. *Mineral Resources Gazette*, 21(11): 1~8.
- Tabakh M E, Schreiber B C, Utha-Aroon C, Lee Coshell, Warren J K. 1998. Diagenetic origin of Basal Anhydrite in Cretaceous Maha Sarakham salt, Khorat Plateau, NE Thailand. *Sedimentology*, 45(3): 579~594.
- Tabakh M E, Utha-Aroon C, Schreiber B C. 1999. Sedimentology of the Mahasarakham evaporites in the Khorat Plateau of northeastern Thailand. *Sedimentary Geology*, 18: 343~350.
- Tabakh M E, Utha-Aroon C, Warren J K, Schreiber B C. 2003. Origin of dolomites in the Cretaceous Maha Sarakham evaporites of the Khorat Plateau, northeast Thailand. *Sedimentary Geology*, 157(3): 235~252.
- Tan Hongbing, Ma Haizhou, Li Binkai, Zhang Xiyong, Xiao Yingkai. 2010. Strontium and boron isotopic constraint on the marine origin of the Khammuane potash deposits in southeastern Laos. *Chinese Science Bulletin*, 55(3): 1~8.
- Thiramongkol N. 1978. Some suggestions of potash and rock salt geneses in NE region. *Min. Resour. Gazette*, 21(8): 24~40.
- Thode H G, Monster J. 1965. Sulfur isotope geochemistry of petroleum, evaporites and ancient seas. *AAPG Mem.* 4: 367~377.
- Thode H G, Monster J, Dunford H B. 1961. Sulphur isotope geochemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 25: 159~174.
- Utha-Aroon C. 1993. Continental origin of the Maha Sarakham evaporites, northeastern Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8(1): 193~203.
- Warren J K. 1999. *Evaporites; their evolution and economics.* Oxford: Blackwell Science.
- Wang Licheng, Liu Chenglin, Gao Xiang, Zhang Hua. 2014. Provenance and paleogeography of the Late Cretaceous Mengyejing Formation, Simao Basin, southeastern Tibetan Plateau: Whole-rock geochemistry, U-Pb geochronology, and Hf isotopic constraints. *Sedimentary Geology*, 304: 44~58.
- Yamashita I, Surinkum A, Wada Yutaka, Fujihara M, Yokoyama M, Zaman H, Otofujii Y. 2011. Paleomagnetism of the Middle—Late Jurassic to Cretaceous red beds from the Peninsular Thailand: Implications for collision tectonics. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40: 784~796.
- Yang Zhenyu, Besse J. 1993. Paleomagnetic study of Permian and Mesozoic sedimentary rocks from Northern Thailand supports the extrusion model for Indochina. *Earth and Planetary Science Letters*, 117: 525~552.
- Zhang Hua, Liu Chenglin, Zhao Yanjun, Wang Licheng, Ding Ting. 2014. Extremely high temperatures record of Cretaceous terrestrial climate; evidence from halite fluid inclusions. *Cretaceous Research*, Under Review.
- Zhang Xiyong, Ma Haizhou, Ma Yunqi, Tang Qiliang, Yuan Xiaolong. 2013. Origin of the late Cretaceous potash-bearing evaporites in the Vientiane Basin of Laos;  $\delta^{11}\text{B}$  evidence from borates. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62: 812~818.

## Characteristics of Evaporites Sulfur Isotope from Potash Deposit in Thakhek Basin, Laos, and Its Implication for Potash Formation

ZHANG Hua<sup>1)</sup>, LIU Chenglin<sup>1,2)</sup>, WANG Licheng<sup>1)</sup>, FANG Xiaomin<sup>3)</sup>

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100037;*

3) *Institute of Qinghai—Xizang (Tibetan) Plateau Research, Chinese Academy of Science, Beijing, 100101*

**Abstract:** The Laos's salt-bearing Basin was located in the southeast of new Tethys domain during Cretaceous and hosted huge potash deposit during late Cretaceous.  $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$  of anhydrite from borehole of Thakhek basin located in the southeastern Vientiane with value of 13.8‰ ~ 15.3‰ is similar to that of contemporaneous marine evaporites that indicated these anhydrites were with marine origin. These evidences further prove that the potassium materials in both the Laos's salt-bearing basin sourced from Cretaceous seawater with the mixture of fresh water from land. Combining with the update data that the time of potash deposition in both the Laos's salt-bearing basin and Simao basin was approximated and sulfur isotopic composition of Mengyejing Formation, we inferred that the sulfur isotopic composition in both the Laos's salt-bearing basin and Simao basin were consistent with that of contemporaneous sea water and proposed a preliminary scenario that the two basins were possibly connected when marine transgression happened.

**Key words:** sulfur isotope; Tethys domain; seawater; potash; Thakhek Basin, Laos

## 裴荣富院士和朱光有博士荣获第十届光华工程科技奖

6月11日,在中国科学院第十七次院士大会和中国工程院第十二次院士大会上,2014年第十届光华工程科技奖揭晓,国务院副总理刘延东为获奖专家颁奖。中国工程院院士、中国地质科学院矿产资源研究所研究员裴荣富荣获光华工程科技奖“工程奖”。中国地质学会推荐的中国石油勘探开发研究院朱光有博士获得第十届光华工程科技奖“青年奖”。

第十届光华工程科技奖共有29位专家获奖,其中,1位科学家获得光华工程科技奖“成就奖”,15位专家获得光华工程科技奖“工程奖”,13位青年专家获得光华工程科技奖“青年奖”。

光华工程科技奖是1996年由全国政协副主席、两院院士朱光亚先生,台湾实业家陈由豪先生、杜俊元先生和尹衍木梁先生共同捐资,经国家科技奖励办公室批准的一项社会力量科技奖项。2002年再次获科技部批准,并在原设“工程奖”的基础上增设“成就奖”、“青年奖”,以表彰那些在工程科学领域做出过重要贡献的人,这也是我国社会力量设立的中国工程界的最高奖项。

光华工程科技奖每两年颁发一次,迄今共奖励了涉及机械、运载、信息、电子、化工、冶金、材料、能源、矿业、土木、水利、建筑、环境、轻纺、农业、医药、卫生、管理等工程领域的202位院士和专家。

(章雨旭 据: [http://www.cae.cn/cae/html/main/col66/2014-06/12/20140612092243314883588\\_1.html](http://www.cae.cn/cae/html/main/col66/2014-06/12/20140612092243314883588_1.html);  
<http://www.cags.ac.cn/YWJX/2014/0618-1.html>  
<http://www.geosociety.org.cn/?category=aW5mb0NlbnRlcm5ld3M=&id=3995> 编辑)