

# 呵叻高原钾盐矿床溢晶石成因初步研究\*

张西营<sup>1,2</sup>, 马海州<sup>1</sup>, 唐启亮<sup>1</sup>, 李斌凯<sup>1,2</sup>, 李廷伟<sup>1,2</sup>, 李永寿<sup>1</sup>, 袁小龙<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院青海盐湖研究所盐湖资源与化学重点实验室, 青海 西宁 810008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

溢晶石作为一种极易溶的盐类矿物, 不能从正常海水蒸发的最终产物中得到 (Herrmann et al., 1973; Hardie, 1990), 在一些存在富钙镁卤水的现代环境中, 即使在干旱条件下, 溢晶石也不会沉淀 (El Tabakh et al., 1999)。但是, 在白垩纪的蒸发岩中却发现了大量该矿物, 它们主要分布在 3 个地区 (Vysotskiy, 1988): 南美洲巴西的 Sergipe-Alagoas 盆地, 西非的 Congo-Gabon 盆地, 以及东南亚的 Khorat 高原上的 Sakhon Nakhon-Khorat 盆地。

## 1 呵叻高原钾盐沉积特征

Maha Sarakham 组蒸发岩位于呵叻高原之上, 其上覆 Phu Tok 组而下伏 Khorat 群。一般认为这些蒸发岩盆地形成于晚白垩世 (112.2-93.5Ma) (Sattayarak et al, 1991; Smith et al., 1996)。该组由蒸发岩和硅质碎屑红层组成, 一般包括 7 个部分: 基底硬石膏层、下盐层、下碎屑层、中盐层、中碎屑层、上盐层和上碎屑层, 其中钾盐主要赋存于下盐层的上部 (Hite and Japakasetr, 1979; El Tabakh et al., 1999)。溢晶石层位于钾盐矿层之中, 与之共生的矿物有光卤石、石盐、硬石膏以及硼酸盐矿物等 (Hite and Japakasetr, 1979)。

## 2 呵叻高原钾盐矿床中溢晶石的分布

根据呵叻高原已有的钻孔资料分析, 溢晶石在沙空那空盆地和呵叻盆地的分布是相似的, 都集中于中西部, 东部地区没有发现该矿物。呵叻高原钾盐沉积中的溢晶石层通常以单层形式出现在上、下光卤石层之间而极少与光卤石互层, 并且它从不出现在钾盐层顶部和底部或单独以单层形式出现 (Suwanich, 1986)。

## 3 溢晶石成因

### 3.1 前人研究: 深部热液提供了物质来源和热量条件?

虽然关于这些盆地中溢晶石的形成问题仍存在争论 (Braitsch, 1971; Wardlaw, 1972; Borchert, 1977; Hardie, 1990; Garrett, 1996), 多数认为溢晶石沉淀自非海相的富  $\text{CaCl}_2$  的卤水热液中 (Lowenstein et al., 1989; Hardie, 1990; El Tabakh et al., 1999), 并且它们都是原始沉积而非沉积后成岩转化所致 (Wardlaw, 1972; Szatmari et al., 1979; Hardie, 1990)。Hardie (1990) 认为马哈萨拉堪组蒸发岩的形成应该与上述巴西和西非白垩纪盆地中溢晶石形成的方式类似。

如果卤水相当热或在结合了热源和水化学成分的地热条件下 (深部水), 溢晶石则会较容易地形成 (El Tabakh et al., 1999)。Wardlaw (1972) 认为, 只有在温度大于  $35^\circ\text{C}$ , 溢晶石才能从卤水中结晶析出。

然而, 热液成因的深部的富 Ca 卤水通常流经深部的断层, 如红海的底部 (Craig, 1969)。对于南大

\*本文得到国家自然科学基金项目 (批准号: 40903014 和 40903024) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-344) 的联合资助  
第一作者简介 张西营, 男, 1977 年生, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事盐湖矿物学和地球化学研究. Email: xyzhchina@isl.ac.cn

西洋两岸(巴西和西非)蒸发岩盆地中的溢晶石,一般认为与裂谷存在密切关系(Wardlaw, 1972),但呵叻高原没有发现存在深大断裂的明显证据(Hardie, 1990)。Vysotskiy (1988)认为富含  $\text{CaCl}_2$  的卤水从马哈萨拉堪组含盐系下伏岩石层沿断裂或软弱带进入呵叻成盐盆地为溢晶石的形成提供了物质来源,而干热的气候条件则为溢晶石的形成提供了热源。Smith 等(1996)认为 Khorat 高原在白垩纪存在热水活动和热事件,这很可能提供了富  $\text{CaCl}_2$  的热液卤水进入了该盆地。该蒸发岩盆地中石盐流体包裹体成分分析则表明,呵叻高原白垩纪海水中较高的Ca含量和较低的Mg/Ca比值与洋中脊热液卤水有联系(Timofeeff et al., 2006)。还有一些作者认为溢晶石的形成是光卤石矿物转化的结果或与石盐置换原生石膏作用有关(Suwanich, 1992; Tabakh, 1999)。

问题是,热液能否提供持续而稳定的热条件尚值得商榷。笔者认为,深部热液可能只为溢晶石的形成提供了必要的物质条件,热液掺入成盐晚期的浓缩卤水中时,只会导致成盐卤水的稀释,这与溢晶石形成需要极高浓度的卤水环境是相矛盾的,因此热液很可能只提供了物质条件而非热量条件。显然,这一条件还不足以形成溢晶石。

### 3.2 新认识:呵叻高原地区,曾经的半混合盐湖(“呵叻海”?)

盐梯度池或湖泊的水体温度随深度的增加而增加,直到某一深度,这一现象在自然界长期存在,只是最近才被观测和记录到,这些湖泊在湖泊学上被称之为半混合湖(Findenegg, 1935; Hutchinson, 1937)。在大多数湖泊中,盐梯度的稳定度不足以克服风的影响而呈现完全混合状态(Wetzel, 1983),故半混合湖是稀少的;据推测,现代湖泊中大约有1/1000属于半混合型(Lindholm, 1995)。这也意味着,只要盐度和盐梯度足够大,其产生的稳定性应该能够阻止湖泊发生完全对流或混合。

研究表明,白垩纪时期印支微地块位置位于20°N附近(Achache, et al., 1983),这暗示了当时的干热气候(Meesook, 2000; Vu Khuc, 2000),而溢晶石形成时期成矿母卤显然具有极高的浓度,这些条件都为半混合盐湖的形成提供良好的保障。半混合湖的形成成为盐盆地溢晶石的形成提供了必要的和较为稳定的热条件,加之深部热液提供的物质条件,于是在呵叻盆地形成了具有一定规模的溢晶石矿物的沉积。

## 4 结 论

在溢晶石形成时期,呵叻高原成盐盆地很可能是一个半混合盐湖,半混合盐湖温度梯度的形成和盐度分层为溢晶石的形成储备了所需要的热量,从而导致较大规模的溢晶石沉积。深部的热液很可能只为呵叻高原溢晶石的形成提供了必要的物质来源。

参 考 文 献 (略)