

中国蒸发岩研究中几个值得重视的地质问题的讨论

张彭熹

(中国科学院青海盐湖研究所)

提要 本文概括地介绍了近一个多世纪以来蒸发岩成因理论发展过程。根据现代盆湖的实际资料,强调了深部水是成盐物质来源的重要方面之一,指出含盐盆地天然水循环是研究蒸发岩成因理论的重要方面,讨论了卤水演化,特别强调我国应积极开展矿相学、蒸发岩测年和盐类矿物流质色体的研究。

关键词 蒸发岩 水特环 流质色体 成盐模式

作者简介 张彭熹 男 60岁 研究员 盐类沉积

引言

蒸发岩顾名思义是存在于地球表面溶液中的各种溶解度较大的盐类物质,经过蒸发、浓缩、结晶而沉积形成的矿产资源。由于在人类经济生活中的重要地位,很早以来就为地质学者、化学家所关注。19世纪末期荷兰学者范特霍夫应用理论化学和溶液化学研究了蒸发岩的生成作用,建立和推动了蒸发岩理论研究。

1877年奥克谢尼乌斯根据西欧盐矿的实际资料,海水蒸发试验以及泻湖咸化现象提出了蒸发岩形成环境的沙洲说。其后,1984年沃尔瑟指出成盐环境不是泻湖而是内陆沙漠盆地。从此在蒸发岩成因理论沙洲说和沙漠说之间争论了有百余年的历史。做为蒸发岩成因理论的物理化学基础研究自20世纪初以来也逐步地形成了西欧的范特霍夫学派和东欧的库尔纳柯夫学派,这种争论也一直延续至今。

随着地质勘探工作的发展,特别是石油地质勘探工作对蒸发岩矿床的发现作出了巨大贡献,至今所知在显生宙各时代都发现有蒸发岩,随着实际资料的增加和实验手段的改善,蒸发岩理论研究将会更接近于客观实际,一些争论问题将会得到解决。

我国是一个蒸发岩比较发育的地区,显然古代蒸发岩的发育程度不及西欧、北美和俄国,但是现代盐湖蒸发岩十分发育,我国的北部、西部居于副热带高压区,现代沙漠干旱已分部着许多盐湖,它们是研究蒸发岩成因理论天然实验室,且居于世界现代礁与泥炭沼泽分布区之间,是一个现代气候条件下研究蒸发岩成因理论的良好地区。本文从主观上讲不是参与沙洲说和沙漠说的争论,只是以沙漠盆地现代盐湖的实例探讨一下有关蒸发岩研究中几个值得注意的问题。

一、关于盐类的物质来源问题

在蒸发岩成因理论沙洲说和沙漠说的争论中,其争论实质之一的是物质来源问题。沙洲说认

为: 形成蒸发岩的盐类物质主要来自海水, 尽管俄、德两个学派争论已久, 但在其物质来源上的认识基本是一致的。然而, 沙漠说则强调陆源盐类物质是蒸发岩形成的物源。各自的论证都有实际资料做为基础。

我国的盐湖地质研究人员早在 60 年代初就注意到沙漠盆地大面积内的地表, 由毛细蒸发而普遍形成的地表盐壳, 厚几至几十厘米, 分布范围达几万平方公里, 它们做为陆源风化盐的一部分为盐湖提供丰富的物质来源, 并开展了淋滤风化试验, 求得了盐类物质的迁出序列和各主要离子的迁移率。随着近年来深海热卤水的发现, 我国不少学者注意到热水与盐湖物质形成之间的联系, 佟伟等 (1981) 阐述了西藏盐湖与水热活动的关系; 张彭熹 (1986) 在研究青藏高原盐湖化学及水同位素地球化学时指出: 雨水溶液水热特环蚀变转岩是高原盐湖成矿溶液的物质来源的主要方面之一。近几年来作者和 T. K. 洛温斯坦, R. J. 斯潘塞在研究现代盐湖钾盐蒸发岩时发现, 察尔汗湖区北部沿深大断裂带分布的泉水, 其化学组成为 CaCl_2 型, 它们属深部水, 沿断裂带上升并补给察尔汗湖区, 这种水对察尔汗湖区钾盐卤水的形成是至关重要的。盐湖区 CaCl_2 型深部水的存在和参与成盐作用是不容置疑的。80 年代中晚期在察尔汗湖区东南缘发现了大量南极石矿层, 毫无疑问它们是 CaCl_2 型深部水成盐的结果。

众所周知, 中东的死海海水属 CaCl_2 型, 它是世界重要的钾盐生产基地之一, 单纯的海水和内陆河水都不可能演变成 CaCl_2 型水, 至少说死海的海水有部分深部水来源, 东非裂谷如马加迪湖的天然碱沉积也被认为是深部水来源的。一个十分有意义的问题是世界大多数具有经济意义的盐湖多分布在深断裂附近, 所有近来发现的资料表明单一的海水是蒸发岩的物质来源片面的。研究现代盐湖的资料表明 (见表 1、2) 蒸发岩成矿溶液的物质来源是多方面的, 其中一个值得注意的问题是地壳深部水问题。

表 1 西藏热水与红海热卤水重金属含量对比表

Table 1 Comparison of heavy metal content between hot spring of Tibet and hot brine of Red Sea

| 地区 | Fe / \sum 盐 | Mn / \sum 盐 | Cu / \sum 盐 | Pb / \sum 盐 | Zn / \sum 盐 |
|---------|---|----------------------|---|---|---|
| 红海海岭深海渊 | 1×10^{-6} 至 3×10^{-4} | $2-6 \times 10^{-4}$ | 1×10^{-7} 至 1×10^{-6} | 6×10^{-7} 至 2×10^{-6} | 1×10^{-6} 至 2×10^{-5} |
| 西藏 | 4×10^{-5} | 2×10^{-6} | 7×10^{-6} | 2×10^{-5} | 8×10^{-5} |

表 2 青藏地区盐湖与热水物质组成对比

Table 2 Comparison of element composition between saline lake and hot spring, Qinghai-Tibet region

| 类别 | Cl / \sum 盐 | Na / \sum 盐 | K / \sum 盐 | Mg / \sum 盐 | B / \sum 盐 | Li / \sum 盐 | Rb / \sum 盐 | Cs / \sum 盐 |
|---------|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 西藏热水 | 0.347 | 0.192 | 0.020 | 0.022 | 4.6×10^{-3} | 1.5×10^{-3} | 2.8×10^{-4} | 4.8×10^{-4} |
| 西藏盐湖 | 0.424 | 0.312 | 0.036 | 0.026 | 3.6×10^{-3} | 1.2×10^{-3} | 2.2×10^{-5} | 1×10^{-5} |
| 柴达木盆地盐湖 | 0.609 | 0.219 | 0.016 | 0.089 | 1×10^{-3} | 3.4×10^{-3} | 3.5×10^{-5} | 5.8×10^{-7} |

二、关于成盐盆地天然水循环问题

成矿溶液的溶剂就是水,自然界的水循环是现代地球化学最有意义的课题之一。它几乎在所有的地质作用中,都扮演一个十分重要的角色。蒸发岩的结晶沉积是在盐水溶液中进行的,因此研究与蒸发岩在成因上有联系的水的作用是至关重要的。

根据怀特(1957)对水的分类,不外乎是1、雨水:指经过蒸发、凝聚、降水等气象循环的水。所以陆地表面的水,如河水、湖水、冰川等都属于雨水溶液;2、海水:虽然它不断地接受大陆径流和大气降水,但一般不看成是雨水;3、同生水:指沉积物埋藏时捕集的“化石”水;4、岩浆水:是岩浆中的水或由岩浆派生的水,大部或全部岩浆水实际上可能是经过沉积岩或火山岩重熔或部分熔融的再循环水;5、变质水:变质作用时在岩石中或与岩石伴生的水;6、原生水:指原始岩浆水或由它们派生的水,严格地指它们不曾加入过水圈。

上节所指的深部水不具有成因意义,它可能是雨水、同生水、也可能是岩浆水等,搞清水的成因类型是蒸发岩理论研究的一个重要方面。50年代以来由于质谱技术的提高,稳定同位素地球化学研究飞速发展,在不断积累同位素基本资料的基础上,得知地球内部和地表不同成因类型水的同位素组成是不同的,从而利用水的同位素研究判明成盐溶液的来源是有效的。我国在盐湖领域中开展水的同位素研究始于1975年(黄琪等)在此以前多为零星分析数据的积累,80年代以来国内多数单位引进稳定同位素气体质谱,从而使这一工作得到发展,研究工作表明青藏高原成盐盆地的深部水属雨水溶液(Zhang Baozhen, 1990)或是经历了雨水强裂改造过的其它类型成因水。这样,研究成盐盆地水的循环及其作用就显得十分重要。

笔者在研究达布逊盐湖类沉积淤泥水的水同位素组成时发现,该湖的表面卤水可下渗到湖底以下10m左右,从理论上讲在适当的地质条件雨水可渗入地下几公里或更深。高浓度卤水下渗将影响整个成盐过程及后生变化。据笔者对察尔汗湖区近50m的盐类沉积特征研究发现:原生石盐层较少,而更多的是在成岩过程中后生的石盐,它们是由卤水下渗在地下多孔沉积物中折出的,这种石盐往往有泥粒包裹体,它们的结晶是透明的。从所周知,世界上有很多规模很大的蒸发岩沉积,其厚度可达几百至几千米。根据许靖华教授的资料(1980),蒸发掉10000m水深海水才能形成130m厚的岩盐层,从而人们以泻湖回流和盐盆地的准同期拗陷来解释。近一个时期以来国外十分注意蒸发岩的成岩作用研究,但在我国还没引起重视。我国盐湖沉积的实际资料表明它是研究成岩作用最理想的地区,如柴达木盆地的大浪滩干盐湖,蒸发岩沉积仅几千平方公里,而碎屑盐类沉积厚达数百米。研究卤水在成盐盆地中的循环及其作用将对蒸发岩的成因理论研究作出贡献。

三、关于卤水的演化问题

1849年意大利人尤西利奥利用地中海海水为原料,在40℃的温度条件下进行蒸发浓缩用以研究盐类析出的关系;荷兰学者范特霍夫于1897—1908年间经合德国斯塔斯孚尔特盐矿的资料研究了在常压和一定的温度条件下海水蒸发析盐序列。蒸发岩成因理论的沙洲说正是建立在海水蒸发试验基础之上的。但是在人们所熟知的50个显生宙钾盐蒸发岩中有一半以上被称为是异常或缺失 $MgSO_4$ 盐的海相蒸发岩,而 $MgSO_4$ 盐是海水蒸发析盐序列产物的基本特征;人们也清楚地知道海水的化学成分在显生宙期间没有发生有意义的变化,那么在海相蒸发岩矿床中 $MgSO_4$ 盐哪里去了。这种实际钾盐蒸发岩的物质成分与海水蒸发析盐的物质成分之间的巨大差

异, 曾被很多学者如 Sonnenfeld (1984), Wardlam (1968) 等人归因于 $MgSO_4$ 母液从海水组分中丢失或是原生海相蒸发岩的成岩转化。为了解释这种根本性的差异, 德国学派强调了成岩后生变化而俄国学派则提出了卤水成分变质作用。

笔者和洛温斯坦、斯潘塞等人于 1988 年以来在我国现代钾盐沉积盐湖区, 研究了现代沉积物的沉积学、补给水的地球化学及其随之而来的表面湖水的演化路径等。研究结果表明达布逊湖滨的钾盐卤水是由约 40 份河水和 1 份 $CaCl_2$ 型深部水混合而成, 经过卤水的蒸发析盐而演化成钾盐卤水, 这种预测的析盐序列: 方解石—石膏 (硬石膏)—石盐—光卤石 (钾石盐) …… , 与在湖区所见的蒸发岩矿物序列是一致的, 正所谓是海相异常钾盐蒸发岩矿物序列。众所周知柴达木盆地自中生代以来就是内陆盆地, 因此所谓的异常钾盐蒸发岩或许是由类似于达布逊湖那样是大陆成因的, 位于海相环境中的异常钾盐蒸发岩或许是在某一时期有非海相 $CaCl_2$ 型深部水渗杂, 也许是在其海相生成环境中存在地下热卤水的补给 (Lowenstein et. al., 1989)。

四、关于蒸发岩的测年和盐类矿物流质包裹体研究的重要性

越来越多的资料表明盐类的绝对年龄远远晚于其所赋存的地层年龄, 这就使人怀疑这些盐类是否是原生沉积。的确在笔者从事的盐湖盐类沉积工作中发现: 成岩堆积石盐要比由湖水中析出的原生石盐沉积层多而厚, 绝对年龄测定结果表明成岩作用过程中形成的石盐要比上覆沉积层年龄晚得多。因此在测年工作中, 如果以石盐作拭料, 必须严格地选取原生石盐, 一般来讲从现代盐湖区分原生石盐和非原生石盐是较易做到的, 对古代蒸发岩而言, 则必须进行矿相学的研究, 这正是我国盐矿地质作用应该加强的一个重要方面。有关原生石盐所具有的结构构造特征 L.A.Hardie (1983) 和 T.K.Lowenstein (1985) 已做过详细研究。

蒸发岩沉积中只有少量的孢粉而很少有化石, 因此适合做测年的拭料较少。在现代盐湖的测年中往往以黑色淤泥做拭料进行 ^{14}C 断代, 所得数据往往并不可靠, 因为现代水的影响可能使测得的结果偏轻, 也可能沉积物中有搬运来的碳酸岩会使断代的结果偏老。如果从淤泥中提取有机碳进行测年, 由于盐湖沉积中有机碳含量较低, 则须要大量的拭料, 从而使测年的误差增大, 加之 ^{14}C 断代时间较短, 铀系虽然能克服断代时间较短的缺点, 但它还需要一个成熟的过程, 特别应当发展利用石盐作拭料的铀系测年研究。只有用同类拭料测年才能进行同时性蒸发岩对比, 这对推动蒸发岩的理论研究是很重要的。

盐类矿物流质包裹体是保存在蒸发岩中的“活化石”, 它保存着许多盐类沉积时的气象、水文和沉积环境信息。全面研究盐矿中的流体包体还会加深成岩作用过程和后生变化的认识。因此, 盐类矿物流质包裹体的研究将会在蒸发岩成因理论研究中逐步占有重要位置。

我国盐类矿物流质包裹体的研究刚刚起步, 张保珍等 (1990) 在研究了石盐矿物流质包裹体的氢氧稳定同位素分析方法的基础上, 讨论了原生石盐包体 δD 、 $\delta^{18}O$ 的分布特征, 并根据包体水同位素组成特点阐述了蔡尔汗湖近 5 万年来成盐环境的演化 (张保珍等, 1990)。随后作者等人 (1991) 根据包体水 δD 、 $\delta^{18}O$ 所反映的沉积环境特点, 论述了现代盐湖钾盐蒸发岩的形成方式 (张彭熹等, 1991)。少量非原生石盐流包体 $\delta^{18}O$ 的研究表明: 它们的分布范围为 -6.8% — $+10.2\%$, 如果数据可靠, 那么它正反映了成盐作用过程所形成的石盐在成因上的复杂性——有可能是表面高浓度湖水下渗, 在环境改变的情况下 (如温度) 结晶生成; 有些则可能是雨水或侧向淡水溶解盐层后, 在成岩过程中重结晶的石盐。少量云南省江城石盐的包体水的 δD 、 $\delta^{18}O$ 分布 (δD 为 -59.5 — 72.0% 、 $\delta^{18}O$ 为 -1.4 — 3.0%) 表明, 它不是海源的, 当然确定其物质来源还

需要综合其它地质资料才能得出正确的结论。

关于石盐矿物包裹体流质的物质成分分析, 由于其流质的含量极少 (μg 量级), 国外则应用中子活化分析, 另一种方法是利用显微镜冷台在不断降温的条件下观测液包体的固相析出物, 根据饱和石盐水不同温度析出盐类的溶解度计算流质的物质成分, 近几年来利用研磨、无水乙醇萃取法制备样品, 用石墨炉原子吸收或等离子光谱测定流质的阳离子浓度。我国目前还没有开展这方面的工作, 而后一种方法开展起来难度不大, 我国大部分蒸发岩研究机构都不存在仪器设备上的困难, 应当积极地开展方法研究。

总之, 盐类矿物流质包裹体的研究是蒸发岩成因理论研究的重要方面之一, 而且它的发展历史较短, 在有条件的情况下应当迎头赶上, 而不应该只是重复本世纪初的一些工作。

五、关于蒸发岩的沉积模式问题

近一个多世纪以来, 随着蒸发岩类矿床的不断发现和地球物理、地球化学及深海沉积研究等的发展积累了大量蒸发岩的实际资料。因而, 对沙洲说泻湖成盐沉积模式提出了挑战。目前世界上流行的蒸发岩沉积模式主要有萨布哈成盐模式, 深盆深水、深盆浅水、深盆干化等沉积模式。这些沉积模式的提出都有其各自的实际资料做为基础, 本文不是企图支持或否认哪种模式, 只是强调自然界是一个复杂的体系, 每一地区的地质发展既有其属于全球的共性, 也有其属于地区的个性, 从而不可能用一种模式统观全局。

关于上述成盐模式的含义和评述, 袁见齐 (1980)、复文杰等 (1983) 作了较详细的论述。这里只是介绍一下我国 1983 年由盐类矿床学家提出的一种新的成盐模式——高山深盆成盐模式 (袁见齐等, 1983)。有人认为袁见齐教授等人提出的这一模式实质上与内陆萨布哈模式相当。其实不然, 作者强调高山深盆是现代和古代成盐盆地普遍的地貌特征, 重要的是高山深盆是裂谷、堑沟构造发展一定阶段的产物, 这个产物不仅是成盐的地形条件, 重要的是它是物质来源的多源集中地, 正因为如此, 它有着特殊的成岩作用历程和后生变化环境。因此, 高山深盆成盐模式不同于内陆萨布哈成盐模式。中外盐湖工作者都十分清楚的一个事实是: 世界上大型的具有经济意义的现代盐湖矿床大多分布于世界干旱带所控制下的板块或离散板块边缘地带。从现实主义的哲学思想出发, 这两个因素的存在是古代蒸发岩成因理论研究的重要依据。张彭熹等 (1987) 在研究柴达木盆地现代盐湖和古盐类沉积, 特别是钾盐和锶盐沉积的大量实际资料的基础上, 概括了各家所长, 提出了“高山深盆, 振荡干化、分离盆地同步分异”的成盐成钾模式。这一模式并不是什么新东西, 高山深盆可能是大陆板块碰撞带附近的挤压张裂型深大断裂, 也可能是大洋板块俯冲带前的孤后盆地, 也可能是离散板块裂谷、堑沟等构造发展到一定阶段的聚盐地形、构造条件; 振荡干化是成盐的气候条件, 它是在干旱气候总进程中以波动的气候为其特征的——频率较快的干、湿交替气候, 既不是一成不变的持续干旱, 也不是永远潮湿, 即干旱带中的波动气候区, 而高山深盆对这种气候的形成是不无影响的。分离盆地同步分异, 主要是强调成盐元素的沉积分异环境。分离盆地最早是由布兰森 (1915) 提出, 六十年代博歇特提出了多极盆地假说。分离盆地同步分异是根据柴达木盆地成盐环境的沉积中心迁移和迁移过程中成盐元素的沉积分异作用、成岩作用和后生作用等提出的。最近许靖华、乾作华等 (1991) 又提出蒸发泵成盐模式。其主要观点之一是深部地下卤水通过蒸发泵吸方式在盐盆中成盐。

总之, 成盐模式较多, 再不是沙洲说的一统天下, 目前的这些成盐模式都是建立在一定的实际地质资料基础上的。我国是世界上现代盐湖分布最多的国家之一, 各种类型的盐湖十分发育,

不仅有苏打、天然碱盐湖、石盐、芒硝盐湖; 还有所谓正常海水蒸发析盐序列的钾盐盐湖, 也有所谓异常(缺失 $MgSO_4$ 盐)海水蒸发析盐序列的现代钾盐沉积盐湖, 加之 60 年代中、晚期以来先后在衡阳、云应等盆地发现了石盐矿床; 在去南江城找到了钾盐矿床, 湖北江汉、江苏、安徽都发现了大量蒸发岩沉积; 在河南也发现了大型天然碱沉积等。所有这些古代和现代蒸发岩沉积都是发展蒸发岩成因理论研究的基础。百余年来所建立的蒸发岩形成理论中有不少与我国的资料不符, 我们可结合我国古代蒸发岩的实例充分利用现代盐湖这个天然的巨大试验来发展蒸发岩成因理论研究, 我们应该充分利用现代科学技术手段, 把我国蒸发岩研究水平提高到一个崭新的阶段。

本人受专业及业务水平所限, 上述问题的讨论, 难免有井蛙之见, 不当之处望指正。文稿得到世倬同志审阅, 在此表示谢意。

参 考 文 献

- (1) 许靖华, 1980, 沉积学讲座, 地质部成都地质矿产研究所, 第105页。
- (2) 许靖华, 1991, 化工地质, 4期, 1-6页。
- (3) 佟伟等, 1981, 西藏地热, 科学出版社, 59-63页。
- (4) 张彭熏等, 1987, 柴达木盆地盐湖, 科学出版社, 129-131页。
- (5) 张彭熏, 1986, 青海柴达木盆地晚新生代地质环境的演化, 科学出版社, 50-58页。
- (6) 张彭熏等, 1991, 地球化学, 2期, 139-142页。
- (7) 张保珍等, 1990, 沉积学报, 8卷, 1期, 3-16页。
- (8) 袁见齐, 1980, 地质论评, 26卷, 1期, 56-59页。
- (9) 袁见齐等, 1983, 地质论评, 29卷, 2期, 159-165页。
- (10) 黄琪等, 1975, 地球化学, 1期, 55-62页。
- (11) 夏文杰等, 1983, 矿物岩石, 3卷, 3期, 6-9页。
- (12) Hardie L. A. et al., 1983, Sixth International Symposium on Salt, V.1, p.11-39.
- (13) Lowenstein T. K. et al., 1985, Sedimentology, Vol.32, p.627-644.
- (14) Lowenstein T.K., Spencer R. J., and Zhang Pengxi, 1989, Science, V.245, p.1090-1092.
- (15) Sonnenfeld P., 1984, Brines and Evaporites. Orlando, Florida Acade Press Inc. p.613.
- (16) Wardlam N. C., 1968, Geological Society of America Bulletin. V.79, p.1273-1294.
- (17) White D. E., 1957, Bull. Geol. Soc Am, V.68, p.1659.
- (18) Zhang Baozhen et al, 1990, Chinese Journal of Geochemistry, V.9, N.4, p.336-346.

Discussion on Some Geological Problems of the Research of Evaporite in China

Zhang Pengxi

(Qinghai Institute of Saline Lake, Chinese Academy Sciences)

Abstract

Evaporite is an important rock type because of its economic value. In the earth's surficial water body, the easy-dissolved salts can deposit and form evaporite by evaporation, condensation and crystallization.

The research of evaporite theory has become to a special branch of science with the continuously discovery of evaporite deposits and the development of geophysics and geochemistry.

In the past two to three decades, the theoretical research of evaporite reached its peak, accompany with the study of modern sedimentation, more and more new models of salt forming have been put forward and the classical ones had been surmounted, accomplished and modified. China is an evaporites developing country, the study of modern diagenesis of evaporite is the key to reveal the mechanics of palaeo-evaporite.

The present paper, based on the statics of modern saline lakes in Qinghai-Tibet Plateau, emphasized that the deep water body is one of the important material source of salt forming; suggested that the theoretical foundation of evaporite forming is the cyclation of natural water in salt-bearing basin, and the cycle of saline water dissolution is the key factor both in the study of diagenesis and catagenesis; discussed the evolution of hypersalin water, and especially emphasised the significance of dating and fluid inclusion of salt minerals. The world-wide spreaded models of salt forming in the past three decades and the generally domestically adopted models in the recent years are introduced briefly in this paper too. And the author believes that the theory of evaporite forming will certainly go to a new stage on basis of the evolutionary study on evaporite.