

陕北奥陶系含钾盆地的形成及其演化*

祝有海

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

杜之岳

(山东第二地质大队, 山东兖州)

提 要: 华北奥陶系马家沟组是一套海相碳酸盐岩夹蒸发岩建造, 可分成 6 个岩性段, 其中马一段、马三段和马五段为蒸发岩段。古构造和古地理是控制蒸发岩盆地的主要因素。华北含膏盆地是受深大断裂控制的大型克拉通盆地, 陕北盐盆是含膏盆地内受同沉积断裂控制的断陷盆地, 含钾盆地则是盐盆内的次级凹陷。蒸发岩盆地的周边存在一系列古陆或水下隆起, 使水体循环受到限制, 有利于蒸发岩的形成。蒸发岩沉积具有多旋回性和多韵律性的特点, 以马五段的蒸发强度最强, 含钾沉积仅见于该段的第六亚段。蒸发岩盆地具有明显的继承性, 各时期的沉积中心基本一致, 但面积却有所变化, 马一期的含膏盆地和含盐盆地面积较大, 马三期达到最大, 至马五期缩小。

关键词: 奥陶系 含膏盆地 含盐盆地 含钾盆地 陕北

华北地区是我国奥陶系分布最广泛的地区之一, 由一套海相碳酸盐岩夹蒸发岩组成, 厚 600~700 m, 自下而上依次分为冶里组、亮甲山组和马家沟组。马家沟组又细分为马一段、马二段、马三段、马四段、马五段和马六段六个岩性段, 其中马一段、马三段和马五段是蒸发岩段。含膏沉积广布于 108°~120° E、32°~40° S 之间的广大地区, 面积达 65 万平方公里。含盐沉积见于陕北地区, 面积约 4.6 万平方公里。于马一段、马三段和马五段发现厚层石盐层。依其蒸发沉积旋回和岩石组合, 可将陕北的马五段细分成 10 个岩性亚段, 自上而下依次为第一亚段、第二亚段……, 直至第十亚段, 其中第四亚段、第六亚段、第八亚段和第十亚段为含盐段, 加上马一段和马三段, 陕北盐盆共有 6 个含盐层位。

最近我们在陕北盐盆的马五段中首次发现钾石盐、光卤石和钾铁盐等钾镁盐类矿物, 这不仅是我国找钾工作的重大突破, 也是世界上首次在奥陶系中发现含钾沉积, 其意义非同寻常。下面本文将着重就蒸发岩盆地的形成及其演化进行探讨。

1 华北含膏盆地

通过古地磁测量和古地理复原 (Scotese et al., 1979), 在奥陶纪时华北地区地处中低纬度带, 约在 18° S 附近。这一纬度带是蒸发岩沉积的有利地带。

华北地块于 1850×10^6 a 的吕梁运动最终固结之后, 演变成稳定的克拉通盆地, 但这一盆地内仍发育有一系列的断裂、隆起和拗陷。正因为这些次级构造单元的存在以及它们之间的相对活动, 才导致含膏盆地、含盐盆地和含钾盆地的形成。

华北含膏盆地位于华北克拉通盆地的中部, 其边缘受大同-吴旗断裂、乌拉山断裂、郯庐断裂、郑州-宿县断裂和渭北断裂等 5 个深大断裂所控制 (图 1)。同时, 含膏盆地以临汾—邯郸—济南拗陷带为中心, 呈近 EW 向展布。也就是说, 华北含膏盆地形成于由深大断裂所控制的拗陷盆地内。

奥陶纪时, 华北克拉通盆地的北缘为蒙古海, 西南缘为秦祁海, 东缘为古太平洋海, 是一个四周由广

* 本文系国家攻关项目 (85-901-06-02) 部分成果

祝有海, 男, 1963 年出生, 助研, 长期从事于盐类矿床、沉积学和海洋地质研究工作。邮政编码: 100037

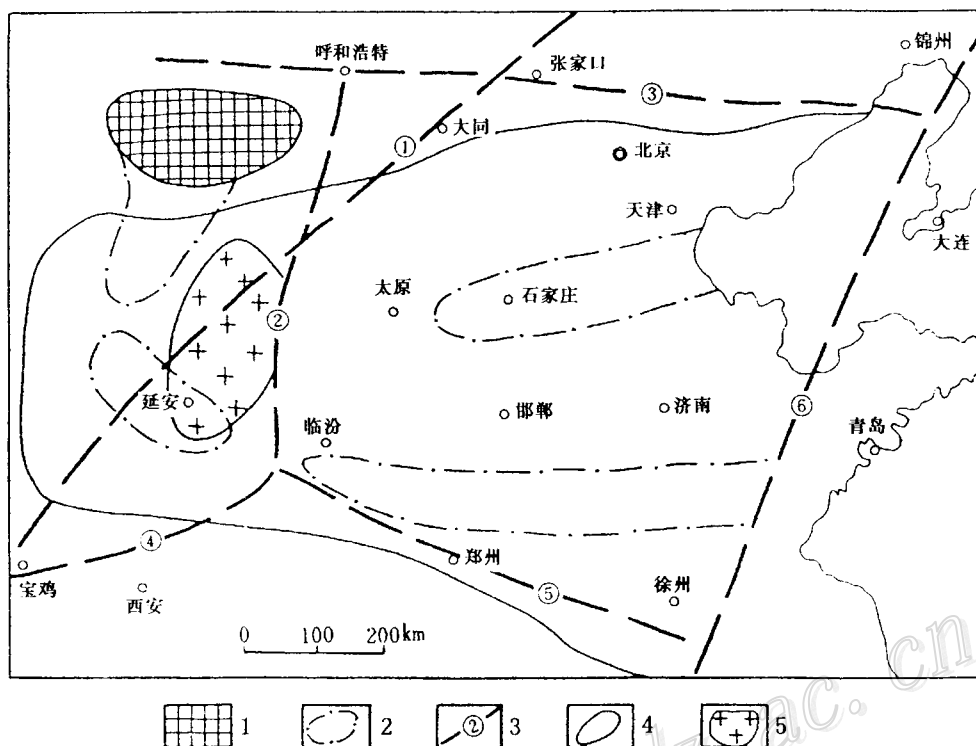


图1 华北蒸发岩盆地古构造略图

1—古陆；2—隆起；3—断裂及其编号：①—大同-吴旗断裂；②—吕梁断裂；③—乌拉山断裂；
④—渭北断裂；⑤—郑州-宿县断裂；⑥—郟庐断裂；4—含膏盆地边界；5—含盐盆地边界

海所环绕的大型碳酸盐岩台地，台地中心为浅水—极浅水沉积。台地北缘和南缘存在一系列的古陆或水下隆起，致使台地内的水体与外海海水的循环受到限制。同时，由于台地规模巨大，台地中心的水体循环自然受到限制。这种封闭、半封闭的古地理条件有利于蒸发岩的形成。

台地东缘可能为一开口，是台地与外海连接的主要通道。原始海水经这一开口由东向西迁移，在迁移过程中，海水不断地蒸发浓缩，在盆地东部即可形成部分石膏-硬石膏沉积。经初步蒸发的海水继续西进，尤其是越过太行山浅滩及其潮坪进入山西后，继续沉积大量的石膏-硬石膏。浓缩卤水继续西进，经吕梁隆起进入陕北后，则形成高浓缩阶段的石盐，乃至钾镁盐沉积。因此，华北含膏盆地总体上类似于“多级海盆”模式。

马一段的含膏沉积广布于华北克拉通盆地内，面积约60万平方公里，沉积中心在河北、山东等地。马三段含膏沉积的分布范围与马一段基本相似，但其面积略有扩大，达65万平方公里，沉积中心在山西。马五段是华北地区最重要的含膏层位，该层位一般可分成上下两套含膏层，分别相当于陕北的第四亚段和第六亚段。尽管马五段的蒸发强度最强，但其分布范围却明显缩小，面积仅35万平方公里。

尽管含膏盆地在空间上逐渐收缩，但其蒸发强度却逐渐增大，沉积中心逐渐西移。

2 陕北盐盆

陕北盐盆地处华北含膏盆地的西部，位于 $108^{\circ}30' \sim 110^{\circ}30' \text{E}$ 、 $36^{\circ}10' \sim 39^{\circ}10' \text{N}$ 之间。迄今已有24个钻孔钻遇石盐，所控制的盐盆面积约4.6万平方公里。含盐层深埋地下，埋深达2000~3000 m，盐层累计

厚度达 317.27 m, 石盐资源量达 6 万亿吨。

陕北盐盆位于米脂坳陷中部。这一 NNE 向坳陷是一长期的继承性坳陷, 是由早元古代的裂谷演化为中晚元古代的沉积坳陷 (张抗, 1989), 在奥陶纪时仍为相对坳陷状态。同时, 米脂坳陷的中心恰好是大同-吴旗深大断裂所通过的部位, 有证据表明这一断裂在早古生代期间曾相对活动。

盐盆东缘为近 SN 向的吕梁山深大断裂带。吕梁山断裂在奥陶纪时也有所活动, 是同沉积断裂, 致使盐盆呈西部舒缓、东部陡峭的箕状盆地, 其核部在榆 9 井附近。各含盐层至该断裂带附近急剧减薄, 直至最终消失。在断裂带以东, 基本上未发现石盐沉积, 仅有大面积的含膏沉积。吕梁山断裂和大同-吴旗断裂的同沉积沉降, 导致陕北盐盆一直处于相对坳陷状态, 使初步浓缩的卤水最终向这里汇聚, 并经再次蒸发, 形成石盐乃至钾镁盐类沉积。

马家沟期, 盐盆的北缘为伊盟古陆, 古陆南部是以庆阳隆起为代表的中央隆起带, 它们限制了盐盆内的卤水与北部内蒙海槽、西部贺兰海槽海水间的交换。有限的地质和地球物理资料显示, 在陕北盐盆南部的富县、黄陵一带也存在一幅度不大的隆起带。在这一隆起带上, 缺失冶里组上部、亮甲山组、马一段、马二段和马三段的沉积, 马四段后演变成水下隆起。该隆起带经韩城, 东延到晋南的河津地区。

盐盆东侧, 即吕梁山断裂之东为吕梁隆起。该隆起在寒武纪时一直以古陆形式存在, 至马家沟期, 演化成水下隆起, 在局部地区, 表现为古岛或浅滩, 从而限制了陕北盐盆与华北含膏盆地间的水体交换。由此可见, 盐盆的周缘存在一系列的古陆或水下隆起, 对盐盆起到良好的封闭作用, 有利于成盐成钾。

盐盆以东为大型的华北含膏盆地, 在其西南缘也存在一狭长状的小型含膏盆地。这一小型盆地沿庆阳隆起和富县-黄陵隆起外侧呈“L”型分布, 如在西部的桌子山地区和青龙山地区发现马家沟组的含膏沉积, 在西南部的庆深 1 井、庆深 2 井和黄古 1 井也发现该层位的石膏。这些含膏盆地作为陕北盐盆的预备盆地, 为盐盆源源不断地提供浓缩卤水。这也可从陕北盐盆本身的沉积得以佐证, 如陕北盐盆内硫酸盐沉积相对贫乏, 硬石膏岩的厚度仅为石盐岩的 $1/3 \sim 1/10$, 石盐层往往与白云岩, 甚至与灰岩直接相接。硬石膏岩的硫同位素值 ($\delta^{34}\text{S}$) 为 $25.2\% \sim 30.1\%$, 相对较富重硫同位素。这些都与从海水中直接蒸发沉积的含盐系有所差别。

盐盆 6 个含盐层位的面积略有不同。马一期盐盆面积为 3.4 万平方公里, 马二期仅在陕 15 井和榆 9 井有两个局部小盐盆, 马三期的盐盆规模达到最大, 面积为 4.6 万平方公里。之后盐盆逐渐缩小, 马五期第十亚段、第八亚段、第六亚段和第四亚段的盐盆面积 (万平方公里) 分别为 2.0、2.5、2.0 和 1.0。盐盆的演化具有明显的继承性和收缩性, 各时期的盐盆中心基本不变, 但盐盆范围由西南逐渐向东北收缩。

3 含钾盆地

含钾沉积已见于榆 9 井、陕钾 1 井和镇川 1 井等 3 个钻孔, 由此所圈定的面积已达 854 km^2 。含钾层位为马五段第六亚段和第四亚段, 尤以前者为主。钾盐矿物以钾石盐 (KCl) 为主, 在榆 9 井中还见有光卤石 ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 和钾铁盐 ($3\text{KCl} \cdot \text{NaCl} \cdot \text{FeCl}_2$)。按其产状可分成两种类型: 一是浸染状含钾石盐岩; 一是薄层状钾石盐岩。前者的细粒钾石盐矿物散布于石盐岩的粒间孔隙中, K 含量大于 0.09% , 在榆 9 井中有 6 层此类岩石, 累计厚度 24.60 m, 陕钾 1 井中见有 7 层, 累计厚度 14.95 m, 镇川 1 井也见有该类岩石。薄层状钾石盐岩仅见于榆 9 井, 厚仅 4 cm, 钾石盐、光卤石和钾铁盐总含量约 45% 。化学分析结果表明 K 含量达 2.5% , KCl 达 4.67% 。

陕北盐盆内存在着次级隆起和凹陷, 其中的次级凹陷控制着含钾盆地的展布。马五段的地层等厚线图显示在盐盆中部存在一 SN 向的米脂隆起和一近 EW 向的子州隆起, 它们将盐盆分成三个次级凹陷, 即北部的镇川 1 井凹陷、东部的榆 9 井—陕钾 1 井凹陷和西南部的子长北凹陷。这些次级凹陷有利于盐盆内的高浓缩卤水最终向这里汇聚, 并形成钾镁盐沉积。目前已在镇川 1 井凹陷和榆 9 井—陕钾 1 井凹陷中发现钾镁盐类沉积, 推测在子长北凹陷中也可能存在含钾沉积。

经漫长的沉积演化,至马五期时蒸发强度达到最大,所形成的石盐岩厚度最厚。在石盐沉积后,盐盆内常处于干盐湖状态,晶间卤水继续蒸发,当其达到钾石盐沉积阶段时,开始析出钾石盐晶体,形成浸染状钾石盐。局部地段可能存在一些小型洼地,表层卤水或晶间卤水向这里汇聚,形成残留卤水湖,继续蒸发可形成薄层钾石盐层。

4 结 论

(1) 华北马家沟组可分成6个岩性段,其中马一段、马三段和马五段是区域性的含膏段。陕北盐盆的马五段又可分成10个岩性亚段,其中第十亚段、第八亚段、第六亚段和第四亚段为含盐段,加上马一段和马三段,共有6个含盐层位。

(2) 古构造是控制蒸发岩盆地的最重要因素,华北含膏盆地是受深大断裂控制的大型克拉通盆地,陕北盐盆是含膏盆地内受同沉积断裂控制的断陷盆地,含钾盆地则是陕北盐盆内的次级凹陷。

(3) 蒸发岩盆地的周边存在一系列的古陆或隆起,它们限制了盆地内的卤水与外海间的水体交换,有利于蒸发岩形成。

(4) 蒸发岩盆地具有预备盆地和多级海盆的模式。由东而来的海水经初步浓缩后,在华北地区形成大面积的含膏沉积,浓缩卤水继续西进,在陕北地区形成含盐沉积,乃至钾镁盐沉积。华北含膏盆地和鄂尔多斯西缘含膏盆地是陕北盐盆的预备盆地。

(5) 蒸发岩盆地具有继承性的特点。各时期蒸发岩盆地及其沉积中心基本不变,但其分布范围则有所变化。无论是含膏盆地,还是含盐盆地,马一期的面积较大,马三期达到最大,至马五期则急剧缩小。

参 考 文 献

- 1 冯增昭等. 华北地台早古生代岩相古地理. 北京: 地质出版社, 1990.
- 2 冯增昭等. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理. 北京: 地质出版社, 1991.
- 3 赖才根等. 中国的奥陶系. 北京: 地质出版社, 1982.
- 4 刘群, 杜之岳, 陈郁华等. 陕北奥陶系和塔里木石炭系钾盐找矿远景. 北京: 原子能出版社, 1997.
- 5 刘群, 马丽芳, 祝有海等. 华北早寒武世岩相古地理和膏盐沉积. 北京: 地质出版社, 1994.
- 6 张抗. 鄂尔多斯断块构造和资源. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- 7 祝有海. 碳酸盐台地蒸发岩的沉积模式. 见: 中国地质大学矿物学岩石学论丛编辑部主编. 矿物学岩石学论丛, 第8辑, 北京: 地质出版社, 1993.
- 8 Scotese C R et al. Palaeozoic base maps. J. Geol. 1979, 87: 217~277.
- 9 Zharkov M A. History of Paleozoic salt accumulation. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag, 1981.