

鄂尔多斯东部地区 岩盐的发现、成因及其意义

张吉森 曾少华 黄建松 马振芳

(长庆石油勘探局勘探开发研究院)

王泽中

(江汉石油学院)

摘要 鄂尔多斯东部地区巨厚的岩盐,可分为黑色胶状、黑色晶粒状、白色晶粒状和肉红色晶粒状四种。其中肉红色晶粒状岩盐含较多的KCl。巨厚岩盐的发现不仅为油气藏提供了良好的封盖条件,而且给该区寻找钾盐矿床带来了希望。

关键词 奥陶系 蒸发岩类 岩盐 油气藏盖层 钾盐矿床 上马家沟组5段。

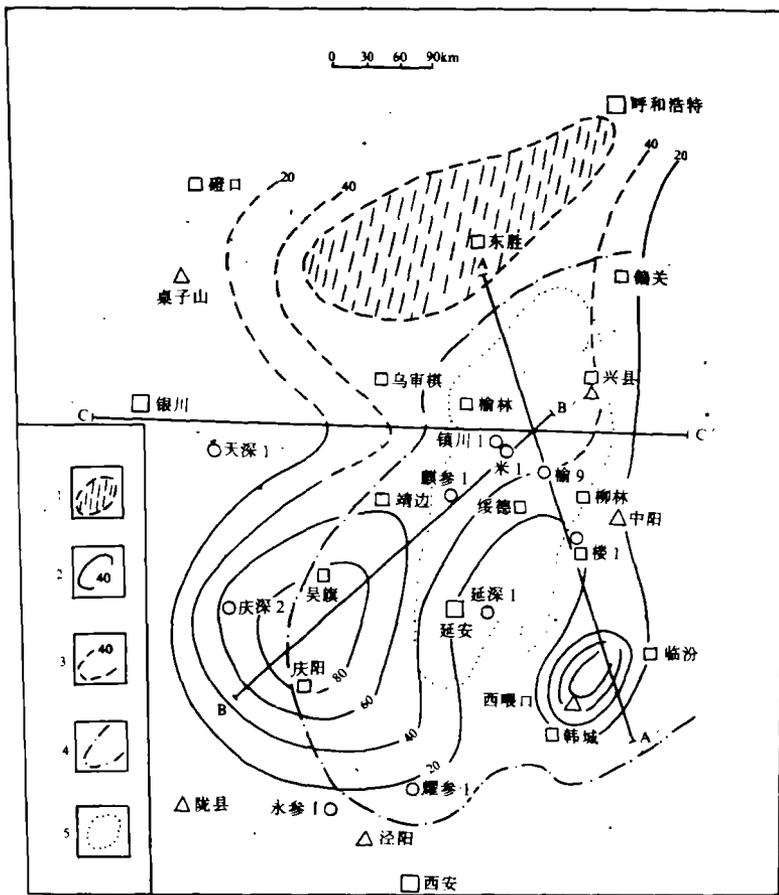
第一作者简介 张吉森 男 53岁 高级工程师 石油天然气地质与沉积学。

一、概 况

鄂尔多斯东部岩盐发现区位于陕西北部、黄河以西的符谷、靖边、延安三角地带(图1)。该区地处华北地台鄂尔多斯地块东部斜坡,属下古生代奥陶纪华北陆表海西部鄂尔多斯古隆起与吕梁古隆起之间的泻湖或废弃局限海相带。

早在1976年,笔者对黄河以东、吕梁山以西的偏关、柳林、石楼一带奥陶系进行野外调查时就发现了三套溶蚀垮塌角砾岩,可与临汾一带的石膏岩对比,当时认为它们是膏溶角砾岩。但随后在兴县、临县、中阳、离石等剖面的观察中,发现大量盐溶孔和石盐假晶,因此,推测其形成可能是盐溶作用的结果。随着研究区天然气钻探工作的进行,镇川1井、米1井和榆9井奥陶系马家沟组发现厚114—174m的岩盐,其含盐段与露头中出现的溶蚀垮塌角砾岩恰成良好的对比。此一发现为溶蚀垮塌角砾岩的成因提供了新的佐证。

本区巨厚蒸发岩属奥陶系上马家沟组。马家沟组可分为6个岩性段其中1、2、3段为下马家沟组,4、5段为上马家沟组、马6段相当于华北的峰峰组,该区上马家沟组马5段直接与上覆石炭系中统呈假整合接触。迄今为止,镇川1、米1井已钻穿马5段,亦发现巨厚的蒸发岩;榆9井揭穿整个奥陶系、在马1、3、5段均发现巨厚岩盐。由于资料所限,本文仅讨论马5段蒸发岩。



1.推测古陆, 2.准同生白云岩含量等值线, 3.推测准同生白云岩含量等值线, 4.硬石膏岩分布范围, 5.岩盐分布范围

图 1 鄂尔多斯东部蒸发岩展布图

Fig. 1 The distribution of evaporite in the eastern Ordos.

二、 蒸发岩形成机理的探讨

(一) 岩盐及其共生的蒸发岩沉积岩石学特征

1.白云岩 多为泥晶，少数为粉晶和细晶。以巨厚岩盐为界，其上下白云岩有着不同的表征和形成机理，为便于叙述，分为盐上白云岩和盐下白云岩。

盐上白云岩自形程度极差、泥质含量高达 40%，常见石膏假晶、铸模孔、鸟眼、纹层和收缩缝等。个别井岩芯中还见砾石，磨圆好、分选极差、成分与下伏白云岩相同，底部可见侵蚀面（图 2）。这种砾石是潮间带上部或潮上带暴露作用的标志。此外，常见藻纹层、藻迹和藻灰结核。如榆 9 井第 16 次取芯发现厚 1.6m 的叠层石白云岩，叠层石由波状和锥状、柱状组成（图 3）柱、锥方向大致与层面垂直，柱高不等。按 Logan 分类（Warren, 1983），这种叠层石属 SH/LLH 型。

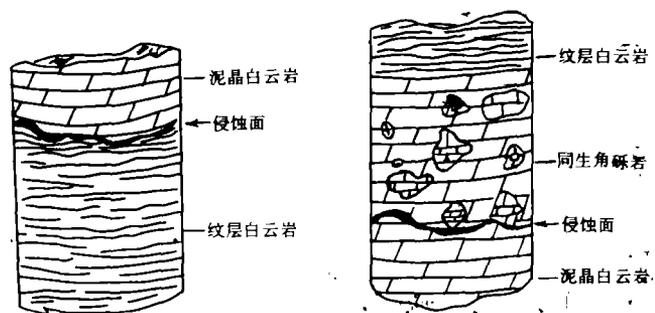
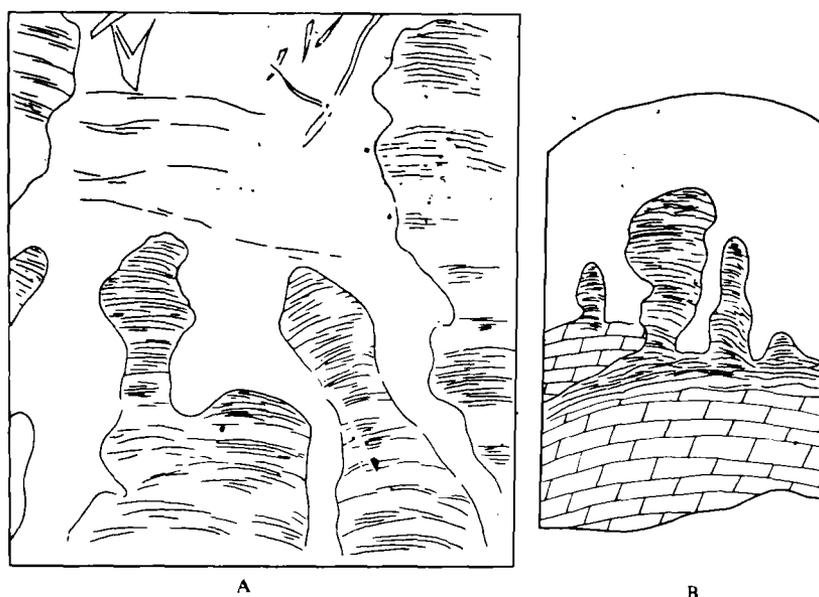


图 2 同生角砾与侵蚀面

Fig. 2 The brecciated dolomite and erosional surface.



A 2326.87—2327.01m. B 2330.56—2336.68m

图 3 榆 9 井第 16 次取芯中的叠层石

Fig. 3 The Stromatolite of the 16th coring in Yu-9 well.

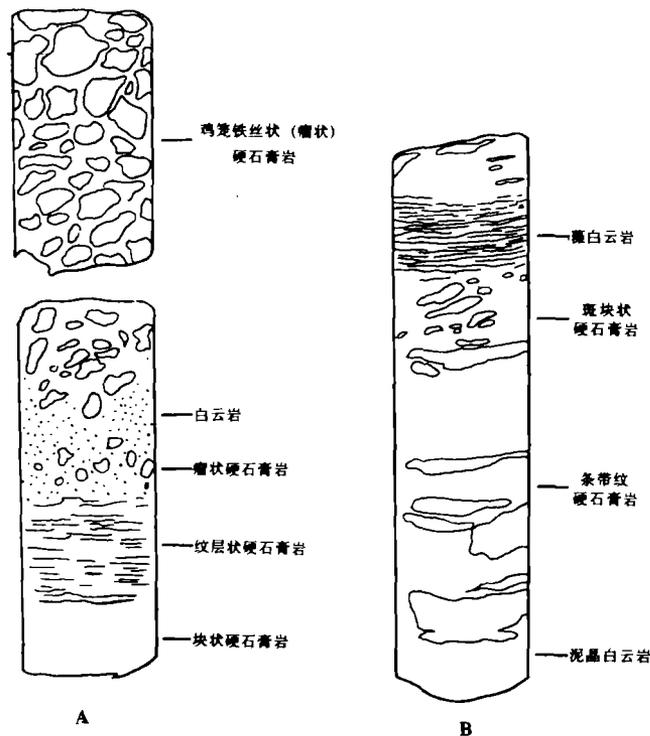
综上所述，盐上白云岩形成于浅水较高能的潮间带或潮上带，与萨布哈准同生白云岩相似，形成机理为毛细管浓缩或蒸发泵作用。

盐下（中）白云岩与盐上具浅水特征的白云岩截然不同，常与石膏或岩盐共生、色暗，富含有机质，粘土含量低，夹团块状或斑状硬石膏。其形成是在较深的盐湖中，由于盐度和 Mg^{2+}/Ca^{2+} 不断升高导致灰泥在准同生期发生云化作用的结果。

2. 硬石膏岩 宏观上可分为块状、斑状和瘤状硬石膏岩。块状硬石膏岩各向均一，未见沉积构造；多呈浅灰色；粉至细晶，主要分布于厚层岩盐之中或其后，表现出典型的较深

静水沉积特征。条带状硬石膏岩则是夹于白云岩和岩盐中的硬石膏条带，其边缘凹凸不平，宽仅几厘米。白云岩中的硬石膏条带中海水间歇性咸化作用的结果，而岩盐中的硬石膏条带则是卤水间歇性淡化作用的结果。纹层状硬石膏岩中纹层由硬石膏、白云岩纵向上含量变化或粘土含量不同而显示出来，是蒸发卤水咸淡频繁变化的结果 (Wardlaw *et al.*, 1966; Kinsman, 1960)。纹层横向上延伸范围很大，应是深水沉积的标志 (Wardlaw *et al.*, 1966)。斑状硬石膏岩多见于巨厚岩盐之上的白云岩中，斑块形状极不规则，边缘参差不齐，可见白云岩残留体，是交代白云岩的结果。瘤状硬石膏岩，又称鸡笼铁丝状硬石膏岩，是马5段上部常见一种硬石膏岩，呈白色、灰白色浑园状瘤体，分布于白云岩中，公认为萨布哈的典型标志 (Schmalz, 1069)。有趣的是以上几种硬石膏岩在纵向上是相互关联的 (图4)。

据薄片观察，绝大多数硬石膏岩均保持了石膏的晶形，显然硬石膏是石膏埋藏至一定深度后脱水的结果，极少数是次生的。



A 2292.01—2292.0m, B 2239.49—2239.81m

图4 不同类型硬石膏岩及其相互关系

Fig. 4 Different kinds of anhydrite and their correlations.

3.岩盐 是马5段最主要的岩石类型，根据颜色和晶粒差别，在纵向序列中自下而上分为黑色胶状、黑色晶粒状、白色晶粒状和肉红色晶粒状岩盐。在岩盐中还常见黑色胶状和黑色晶粒状岩盐条带，宽度小于10cm。化学分析表明，黑色胶状和黑色晶粒状岩盐是硬

石膏含量较高所致, 而肉红色岩盐则是 KCl 含量较高的结果 (表 1)。

表 1 不同岩盐化学成份统计表

Table 1 Chemical compositions of different kind of halite.

岩类 \ 化学成份 %	CaSO ₄	CaMg (CO ₃) ₂	KCl	NaCl	其它
肉红色晶粒状岩盐	1.36	0	0.283	78.88	19.5
白色晶粒状岩盐	0	0	0.142	78.95	20.9
含石盐硬石膏岩	50.8	9.9	0.119	7.74	31.4
黑色晶粒状岩盐	1.21	0	0.089	84.2	14.5
黑色胶状岩盐	65.56	0.089	6.61	27.7	

在三种晶粒状岩盐中, 石盐晶粒都很粗大, 一般为 30—40mm, 大可达 80mm:

(二) 蒸发岩的沉积环境

马 5 段蒸发岩系以巨厚的岩盐为界, 可分为上蒸发岩段和下蒸发岩段两部分:

1. 下蒸发岩段的沉积环境 首先遇到的是厚度巨大的岩盐, 其横向分布较稳定。从目前的钻井资料来看, 最厚的镇川 1 井厚度达 174m, 其次是榆 9 井, 厚 157m, 最薄的米 1 井亦有 114m。它们虽然厚度巨大, 但沉积时间很短。世界上几个著名的大盐矿中沉积速率最大达 $50\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$, 最小的亦有 $10\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。若取其中等沉积速度 $20\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 计算, 镇川 1 井的岩盐在 8700 年内即可形成, 可谓大矣。与沉积速度形成鲜明对比的是, 盆地的沉降速度却很缓慢, 最大的地槽沉降速度仅 $0.3\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ (Schmalz, 1969)。虽然目前还没有专门研究华北地台奥陶系沉降速度, 但作为一个台地型陆表海, 其沉降速度要比 $0.3\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 小得多, 就以 $0.3\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 计算, 8700 年中盆地仅沉降 2.61m, 因此沉积水深应为 171m。可见在这样短的时间内, 盆地的沉降速度是可以忽略的 (Wardlaw et al, 1966), 沉积时的水深应不小于蒸发岩的厚度。此外, 表现该段蒸发岩为深水沉积的直接证据有: ①黑色页岩, 在下蒸发岩段的岩盐中, 常见厚度几厘米至几十厘米不等的黑色泥岩夹层, 有机质含量高, 有的泥岩还有很强的沥青味和 H_2S 味; ②在泥岩、硬石膏岩中常见发育很好的黄铁矿晶体呈团块状或星散状分布; 在泥岩硬石膏岩和岩盐的表面常见粉末状单质硫富集, 这种硫是硬石膏在强还原环境中被还原的结果; ③硬石膏呈纹层状、条带状和块状产出, 没有发现瘤状、鸡笼铁丝状硬石膏岩; ④在与硬石膏岩、岩盐共生的白云岩中, 没有发现任何浅水构造、颗粒和藻类; ⑤与下伏马 4 段呈整合接触, 在岩性上二者是过渡的, 而马 4 段的沉积环境则被公认为是深水的低能环境。

2. 上蒸发岩段的沉积环境 与下蒸发岩段的沉积环境相反, 巨厚的岩盐沉积填平了地形上的拗陷, 使上蒸发岩段表现出明显的浅水沉积特点, 这些特点与现代潮坪、萨布哈沉积的特点非常相似, 包括: ①藻纹层、藻灰结核、藻丝体白云岩; ②侵蚀面和同生角砾岩; ③叠层石白云岩; ④瘤状、鸡笼铁丝状硬石膏岩; ⑤石膏假晶、铸模、干裂收缩缝; ⑥成岩早期的去云化现象; ⑦完整的萨布哈旋回 (图 5)。

由此可见, 该区马 5 段沉积经历了一个从深盐湖到萨布哈的不断变浅的过程, 主要是岩

盐沉积填平了地形上的凹陷所致。

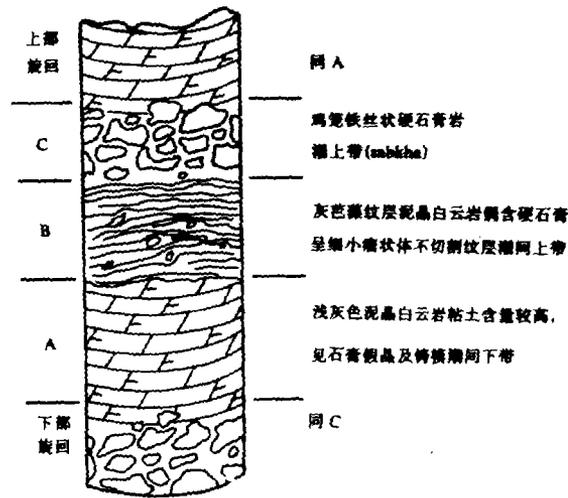
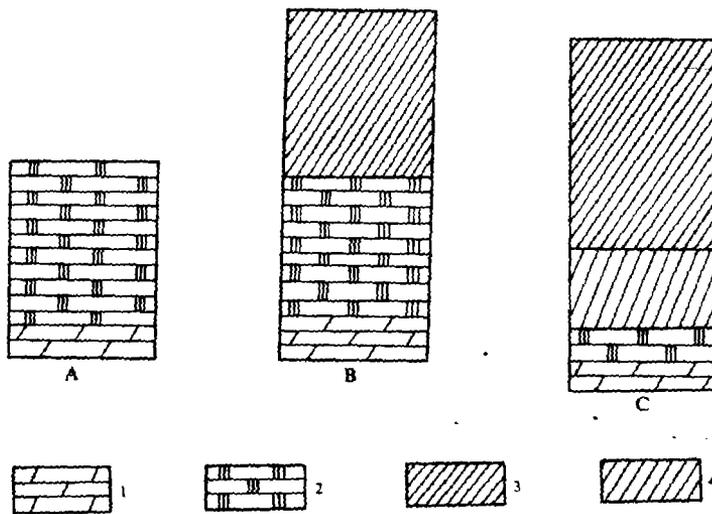


图 5 上蒸发岩段中一个完整的萨巴哈旋回

Fig. 5 A complete sabkha cycle in upper evaporite section.

(三) 蒸发岩的纵向序列

按蒸发岩形成时卤水的相对盐度，纵向序列可分低盐度型、中盐度型和高盐度型三种



1.白云岩, 2.硬石膏, 3.岩盐; 4.含钾岩盐
A.低盐度型, B.中盐度型, C.高盐度型

图 6 蒸发岩序列类型

Fig. 6 The types of evaporite sequences.

(A.Penesaline; B.Saline; C.Hypersaline)

(图6)。低盐度型序列自下而上由白云岩、硬石膏岩组成,多出现于马5段上部和下部。榆9井的岩芯分析表明,在所有硬石膏岩的底部都有厚度不同的白云岩,硬石膏和白云岩厚度比值均介于2—5之间。同样的序列存在于临汾剖面相同的层位中,该剖面共有7个这样的序列,硬石膏岩与白云岩的厚度比最大为29,最小的仅0.68。理论上,比值仅10左右(Hsu, 1972)。笔者认为较大的比值可能与回流有关,较小的比值无疑是淡化作用的结果。中盐度型序列自下而上由白云岩+硬石膏岩+岩盐组成,多见于马5段巨厚的岩盐中,主要为黑色胶状、晶粒状和白色晶粒状岩盐,一般不出现肉红色晶粒状。值得注意的是,靠近岩盐的部位,白云岩和硬石膏岩是交替出现的。最常见的是白云岩呈条带状夹于硬石膏岩中,或硬石膏呈条带状分布于白云岩中(图7)。但岩盐的底部总有一层厚度不等的硬石膏岩,没有发现白云岩直接与岩盐接触的现象,而且白云岩、硬石膏岩和岩盐之间的每一个淡化序列的底部接触面多是突变的,而顶部则是渐变的。榆9井岩盐、硬石膏岩之和与白云岩的比值为0.92—11.53,相差甚大且无任何规律。理论值为20左右,表明榆9井任何一个中盐度序列中,岩盐都尚未完全沉淀。高盐度序列自下而上由硬石膏岩和岩盐组成,这是研究区最常见的序列,广泛存在于马5段巨厚的岩盐中。除黑色胶状、黑色晶粒状和白色晶粒状岩盐之外,还常见肉红色晶粒状含钾岩盐,表明其蒸发作用显著,强于前两者。岩盐与硬石膏之比介于0.8—21之间,低于理论值(Hus, 1972),进而表明该区岩盐可通过原地卤水蒸发而成,不需要异地蒸发卤水的补给。

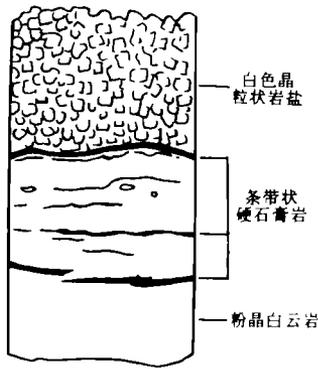


图7 白云岩-硬石膏岩-岩盐的纵向序列

Fig. 7 An upward sequence from dolomite to halite.

纵向上,这三种序列频繁变化,反映在蒸发过程中,卤水的淡化是普遍存在的。这种淡化可能是由正常海水的补给而引起的,因而一方面保证了盐类物质的来源,另一方面又抑制了蒸发作用向更强的程度发展,以致钾盐不甚发育,仅见肉红色含钾岩盐。由于淡化是旋回性的,因此海水的被给也可能是间歇性的。

(四) 蒸发岩的分布

1. 华北地台早奥陶世蒸发岩的分布

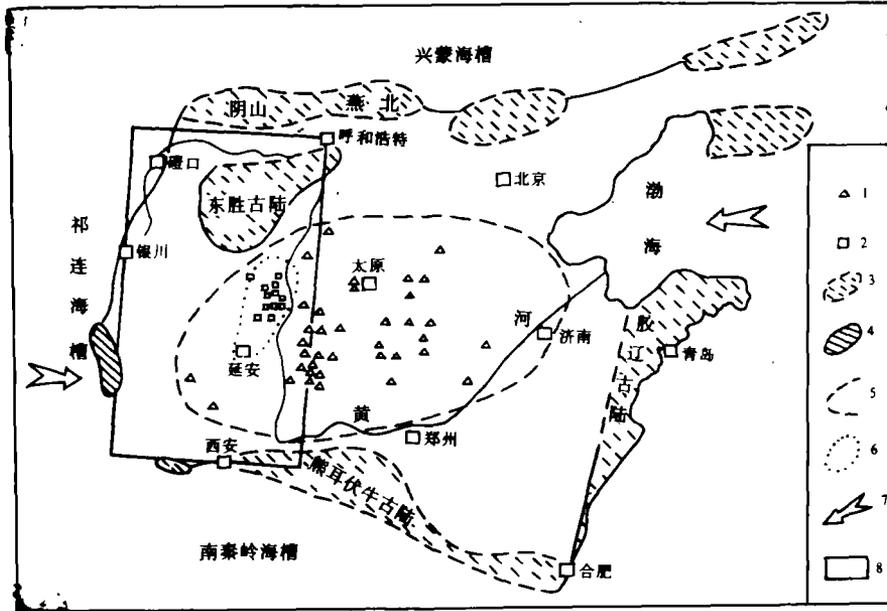
鄂尔多斯东部地区巨厚的蒸发岩沉积与整个华北地台的蒸发岩沉积密切相关。研究表明,奥陶纪时的华北地台是一个范围广阔的陆表海台地,蒸发岩有着广泛的分布(图8)。蒸发岩的分布界线是长轴呈东西向延伸的椭圆形,其形态可能是受海水进入方向控制的。

鄂尔多斯东部地区发现的巨厚岩盐也显示出岩盐并不位于石膏岩分布的中心,而是位于该中心的西北缘。进一步的研究表明,岩盐的这一分布受控于局部的隆起和拗陷。

2. 鄂尔多斯东部地区蒸发岩的分布

对取芯较全的榆9井进行岩电分析和研究,表明由于白云岩、硬石膏岩和岩盐三种岩石的密度、溶解性、导电性和波阻抗相差很大,在测井曲线和地震反射剖面上易于识别,为蒸发岩对比并确定其分布范围提供了便利。结合镇川1

井、米1井和榆9井的研究, 可作出鄂尔多斯东部地区岩盐和硬石膏的平面展布图(图1)。由图可见, 本区岩盐的展布方向与整个华北地台硬石膏岩的展布方向近于垂直, 说明两者并非受同一形成机制的控制。该图还展示了奥陶系马家沟组准同生白云岩含量与岩盐分布



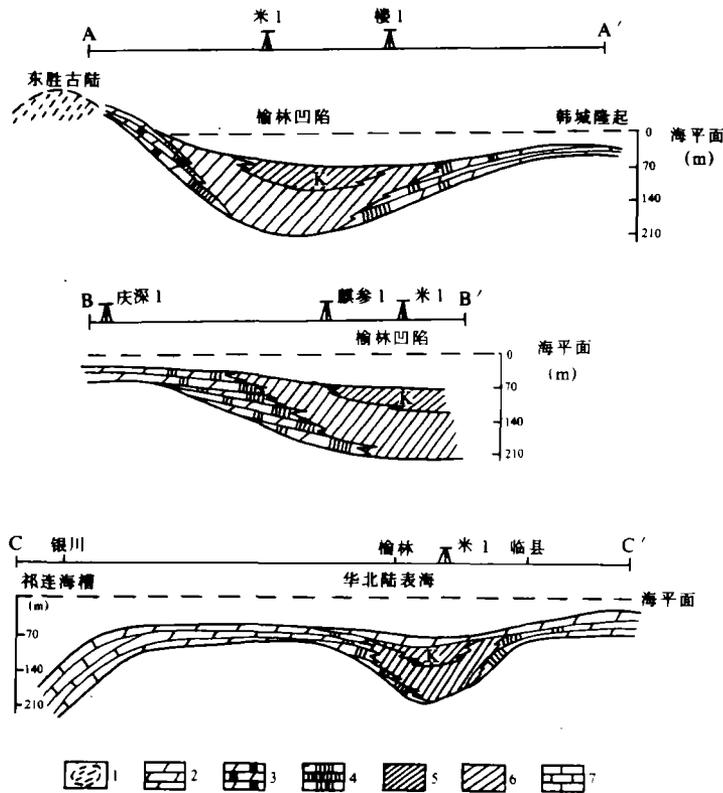
1.石膏或膏溶角砾岩分布点, 2.石盐岩分布点, 3.推测古陆, 4.古陆, 5.石膏分布界线, 6.石盐分布界线, 7.可能的海水进退方向, 8.研究区位置

图8 华北地台奥陶系蒸发岩的分布及古地理轮廓

Fig. 8 The distribution of evaporites and the palaeo-geographic delineation of Ordovician on Huabei Platform.

的关系, 在浅水低能的碳酸盐台地中, 隆起的部位多表现为准同生白云岩沉积。古构造的研究证实庆阳、吴旗、韩城、蒲县一带为隆起区, 其北部为东胜古陆。在榆林、绥德一带为相对较大的凹陷区。在蒸发岩分布范围内, 该凹陷为相对独立的半封闭海域, 故有巨厚的岩盐沉积。这种凹陷是在大面积蒸发潮坪中发育的, 随着岩盐的沉积, 凹陷不断被充填。当巨厚的岩盐的沉积结束时, 该区和其它地区一样变成了广阔的陆表海潮坪沉积(图9)。

笔者认为鄂尔多斯东部地区巨厚的岩盐是在区域蒸发背景下暖局部隆起和拗陷控制的。这些隆起并未露出水面, 只在拗陷区形成一种半封闭的海域, 决定了岩盐形成过程中淡化作用的普遍存在。而岩盐形成的详细机理, 有待资料更加充实的情况下进一步补充说明。



1.推测古陆, 2.准同生白云岩, 3.含膏白云岩, 4.硬石膏岩, 5.岩盐, 6.含钾岩盐, 7.灰岩

图 9 鄂尔多斯东部地区岩盐沉积模式

Fig. 9 The depositional model of halite in eastern Ordos.

三、岩盐发现的意义

(一) 岩盐是天然气的良好盖层

鄂尔多斯地区下古生界具有丰富的气源岩，而天然气藏对盖层的要求极为严格，因而鄂尔多斯东部地区岩盐的发现有着特别重要的意义。笔者认为，该区存在两种可能的气藏类型；其一是以岩盐为遮挡层的背斜型气藏；其二是由于横向相变形成的指状尖灭型岩性油气藏。由于盆地东部地区构造平缓以及东高西低，主要生油区位于中部和西部，且岩盐向西逐渐过渡为晶粒状白云岩和石灰岩，因此第二种类型的油气藏可能具有特别重要的意义。此外，由于岩盐和硬石膏岩的塑性特点，可能会在局部形成盐丘、底辟构造等油气圈闭。目前尚未发现大规模的盐丘，但小规模、小范围的盐底劈构造、盐枕确有存在。

(二) 巨厚岩盐的发现为该区寻找钾盐矿床带来了希望

在华北地台奥陶系蒸发岩中寻找钾盐矿床一直受到广泛关注，鄂尔多斯东部地区蒸发岩，特别是巨厚的岩盐的发现，无疑为该区寻找钾盐矿床带来了希望。从该区三口探井的岩芯来看，虽然还没有发现较纯的钾盐沉积，但在榆9井的某些井段已发现含钾岩盐，即肉红

色晶粒状岩盐。地震剖面分析表明, 这三口井所在的位置均不是岩盐形成时海水浓缩的中心, 因而不能排除该区找到钾盐矿床的可能性。

收稿日期: 1989年3月8日

参 考 文 献

- (1) Hsu K.J., 1972, *Earth-Sci.Rew.*, V.8, p.371—396.
- (2) Kinsman J.J., 1969, *AAPG*, V.53, No.4, p.830—840.
- (3) Schmalz R.F., 1969, *AAPG*, V.53, No.4, p.798—823.
- (4) Wardlaw N.C. and Schwertner N.C., 1966, *Geol.SOC.America.Bull.*, p.331—342.
- (5) Warren J.K., 1983, In six international syposium on salt, vo.1, p.161—169.

The Occurrence and Significance of Halite in Eastern Ordos

Zhang Jisen Zeng Shaohua
Huang Jiansong Ma Zhenfang

(The Exploration and Development Institute of Changqing Petroleum Exploration Bureau)

Wang Zezhong

(Jiangnan Petroleum Institute)

Abstract

Block halite had been found in three test-wells from the upper Majiagou Formation of Ordovician in eastern Ordos. There are four layers of bedded halite whichs' thickness is 114 to 157m, and serverat thin layers of anhydrite and dolomite interbedded in it, the content of pure salt is about 90 percent.

The dolomite and anhydrite have different characters above and below the block halite. The dolomites above have obvious shallow-water depositional features; but the dolomites below are characterized by deepwater depositional features.

There are four types of halite: black opaque matrix, black transparent crystals, white transparent crystals and reddish transparent crystals. The most common is the third type followed by the fourth. The first two contain much more anhydrite, and the fourth contains more KCl.

The block halite is composed by many cycles which consist of penesaline, saline and hypersaline sediments in vertical. The first is made up of dolomite and anhydrite; the second, dolomite and anhydrite and salt; the third, anhydrite and salt (often reddish crystal salt). Anhydrite with thickness less than 10cm usually 2—4cm is often found in halite. Vertically, the thickness of pure salt is less than 1 m.

The block halite was formed in a short period and a deep water environment, but the dolomite and anhydrite above it have obvious shallowwater depositional features, it indicated that the forming of halite had filled the geomorphological depression.

The occurrence of halite is significant for survey of KCl-bearing salt deposits and gas pool.