

山东大汶口盐矿盐类沉积的韵律特征和沉积阶段

朱忠德

(江汉石油学院地质系)

内容提要: 根据物质组分、盐矿物种类、剖面结构和厚度将含盐系划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级韵律,分别描述了各级韵律的剖面特征,也讨论了其形成机理。本文着重将Ⅲ级韵律分为钠镁盐-钾镁盐型、杂卤石-钠镁盐型、钙芒硝-杂卤石型、石盐-钙芒硝型、硬石膏-石盐型和硬石膏型,并按上述各型在剖面中的不同组合从下向上划分为Ⅱ₁-Ⅱ₄4个韵律,归纳了Ⅱ级韵律中剖面结构类型所指示的卤水演化的共同特征和沉积阶段。正是这种沉积阶段性,既滞留了卤水浓缩期的K⁺,也聚集了淡化期补给的K⁺,为钾矿层的形成提供了K⁺来源。本文还指出,赋存钾矿层的Ⅰ级韵律的盐亚段上部,应是我国东部中、新生代类似凹陷中找钾目的层段。

关键词: 盐矿 韵律 卤水 无水钾镁矾 官庄组 山东大汶口

大汶口凹陷位于鲁西隆起区中部,是该区东西向分布的汶蒙盆地西端的一个凹陷。该凹陷除南缘与古生代地层呈超覆接触外,其余均以同生断层与隆起区相接,呈北断南超,东陡西缓之势,面积达360km²。凹陷内接受了始新统官庄组沉积^[1]。该组分三段,其中之二段上部赋存有巨量的(硬)石膏、石盐和钾矿层。成盐期相图说明,凹陷内石膏相区约300km²,石盐相区大于50km²。钾盐相区位于石盐相区之中。

凹陷内盐类沉积过程中,由于气候条件的变化,构造运动,尤其是控制凹陷的同生断层的活动,直接影响了沉积条件的变化,造成了盐类沉积中最显著的地质特征——韵律构造十分发育,且具多级性。钾矿层的形成和产出层段又与这一特征有密切的关系。

根据含盐系的物质组分、盐矿物种类、剖面厚度等,将含盐系划分为三级韵律。

一、Ⅰ级韵律

官庄组含盐系只有一个成盐期,含盐系即为Ⅰ级韵律。其组成从上至下为:

1. 上泥灰岩段: 浅灰色泥灰岩与页片状泥灰岩互层或夹油页岩,厚50—280m。

2. 膏盐段: 细分为盐上膏亚段、盐亚段、盐下膏亚段。

盐上膏亚段: 由硬石膏岩夹泥灰岩组成。最厚达360m,一般厚80m左右。

盐亚段: 由石盐岩和硬石膏岩、泥质白云岩组成。前者称“盐层”或者“浓缩层”。后两者合称“淡化层”。盐层除普遍含石盐外,还含有钙芒硝、无水芒硝、杂卤石、钠镁盐(含钠镁矾、无水钠镁矾、白钠镁矾)、硫镁矾、钾芒硝和无水钾镁矾等。其种类和数量之多,和江汉盆地潜江组盐段类似,均为迄今我国东部白垩纪—第三纪盆地之冠。淡化层成分简单,只有硬石膏夹泥质白云岩和少量泥岩、粉砂岩。盐亚段位于凹陷中心偏西,靠近主干同生断层下降盘前缘的次凹之中。其厚度为105m—345.68m。Ⅱ、Ⅲ级韵律发育在盐亚段。

盐下膏亚段: 硬石膏夹泥灰岩、泥岩。最大厚度达85m,一般厚60m左右。

3. 下泥灰岩段: 深至浅灰色泥灰岩夹页片状泥灰岩,含团块状、薄层状硬石膏岩。

Ⅰ级韵律的剖面结构在石盐相区具一致性,其沉积连续,厚数百米,反映了湖泊水体从淡化到浓缩又

淡化的演变过程,反映I级韵律是在较长时期的干燥气候条件下,主要由控制盆地的同生断层活动的结果。

二、Ⅲ级韵律剖面结构类型

Ⅲ级韵律发育在膏盐段中的盐亚段。通常由盐层与淡化层反复交替组成。盐层最大厚度为18.6m(ZK6孔),最小厚度为0.10m。淡化层最大厚度大于48m,最小厚度为0.34m。无论是盐层还是淡化层,一般厚为几米至十几米,而膏层厚度变化略大。每个Ⅲ级韵律依其剖面中的位置不同,其矿物组成、数量亦不同。综合盆地钻孔资料,特别是7个主要见盐钻孔中盐亚段的特征,并以单个Ⅲ级韵律中溶解度最大的一、二种盐矿物命名,将其剖面结构分六大类。其中,有些大类又有亚类之分(图1)。

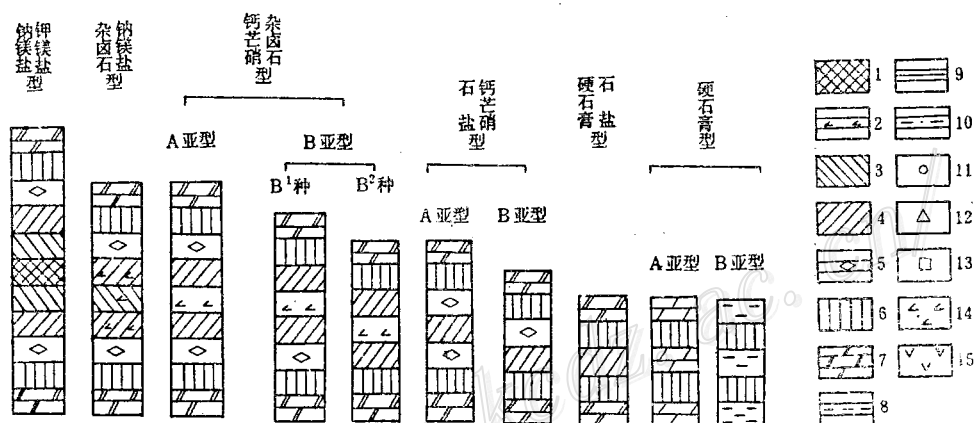


图1 大汶口盐矿Ⅲ级韵律结构类型模式图

1—无水钾镁矾岩;2—杂卤石岩;3—钠镁盐岩;4—石盐岩;5—钙芒硝岩;6—硬石膏岩;7—泥质白云岩;8—泥岩;9—油页岩;10—泥质粉砂岩;11—硫镁矾岩;12—钠镁盐;13—石盐;14—杂卤石;15—硬石膏

Fig. 1. Model for textural types of Grade III rhythm in the Dawenkou saline deposit.

1. Langbeinite rock; 2. Polyhalite rock; 3. Sodium-magnesium saline rock; 4. Halite rock; 5. Glauberite rock; 6. Anhydrite; 7. Argillaceous dolomite; 8. Mudstone; 9. Oil shale; 10. Argillaceous siltstone; 11. Sulfopicroaluminate rock; 12. Sodium-magnesium salts; 13. Halite; 14. Polyhalite; 15. Anhydrite.

(一) 钠镁盐-钾镁盐型

此型仅分布于ZK3孔1079—1098m处(图2、表1),以无水钾镁矾的存在为特征。钠镁矾、白钠镁矾、无水钠镁矾和硫镁矾与无水钾镁矾共生。本型剖面由下到上各层分布及特征如下:

下泥质白云岩层:由(深)灰色薄层或页片状泥质白云岩构成,其钙、泥质含量都大于30%,系向泥灰岩过渡的产物。其水平纹理十分发育,时夹油页岩或纹层状硬石膏。本层沉积于淡化、静水或滞流水体的强还原环境,是本型的基底层。

下硬石膏层:以灰、浅灰色硬石膏岩为主,时夹薄层泥质白云岩。硬石膏岩为细粒致密层状,因颜色、成分的差异显示水平纹理或波状纹层(照片1)。

下钙芒硝层:主要由钙芒硝组成,次之为石盐和泥质白云岩。钙芒硝为酱红色,多呈自形一半自形晶且具透明感,亦见云朵状集合体(照片2、3)。晶体周缘均有富盐泥质物分布。与上、下层接触带可分出别现石盐、硬石膏,但接触界线清楚。

下石盐层:主要由各种浅色石盐岩组成,石盐呈粗一中粒之透明块状。石盐岩中所夹杂卤石多呈条带

表 1 大汶口矿床主要见盐钻孔含盐系Ⅱ、Ⅲ级韵律的划分和Ⅲ级韵律剖面结构类型表

Table 1. Division of Grade Ⅱ and Ⅲ rhythm and textural types of Grade Ⅲ rhythm within saline sequence of major salt-detecting drill holes in the Dawenkou saline deposit

Ⅲ级韵律编号	ZK5				ZK6				ZK9				ZK8				Ⅲ级韵律
	A	H	G	P	V	A	H	G	P	V	A	H	G	P	V	K	
Ⅲ ₁																	Ⅲ ₄
Ⅲ ₂																	Ⅲ ₄
Ⅲ ₃																	Ⅲ ₄
Ⅲ ₄																	Ⅲ ₄
Ⅲ ₅																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₆																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₇																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₈																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₉																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₀																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₁																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₂																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₃																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₄																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₅																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₆																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₇																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₈																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₁₉																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₀																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₁																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₂																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₃																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₄																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₅																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₆																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₇																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₈																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₂₉																	Ⅲ ₅
Ⅲ ₃₀																	Ⅲ ₅

A-H——硬石膏-石盐型；H-G——石盐-钙芒硝型；
G-P——钙芒硝-杂卤石型；P-V——杂卤石-钠镁盐型；V-K——钠镁盐-钾镁盐型

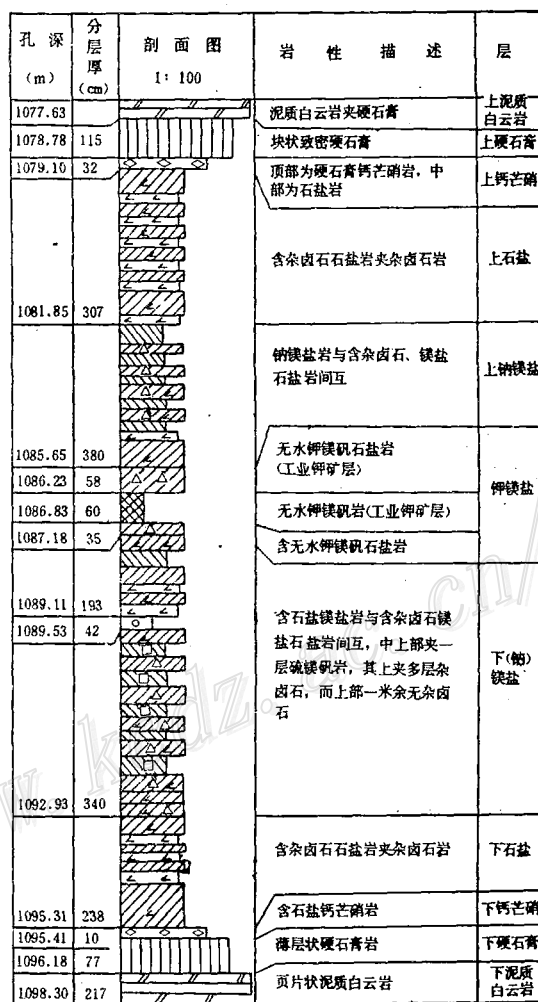


图 2 ZK8孔Ⅲ级韵律剖面图

Fig. 2. Geologic column of Ⅲ rhythm in ZK8 drill hole.

或条纹状, 由中下部向上出现6层层状杂卤石, 厚度变化于20—18cm, 还见富盐泥质杂盐分布于石盐岩中。

下(钠)镁盐层: 由石盐镁盐岩和含杂卤石镁盐石盐岩相间组成。中上部夹一层42cm的硫镁矾岩, 再向上则出现层状杂卤石岩。钠镁盐岩由无水钠镁矾、白钠镁矾、钠镁矾、石盐组成。前三种矿物均为白色中粗粒他形晶, 呈层状、云朵状分布于石盐中(照片4)。当其数量小于50%时, 则为镁盐质石盐岩。上部一米多钠镁盐矿物增多, 无杂卤石。硫镁矾呈灰白—乳白色, 细粒集合体为主, 可被钠镁矾交代。大气中硫镁矾易分解为白色粉末状泻利盐。岩石呈薄层状、条带状, 也见团块状, 具微细层理。主要共生矿物有石盐、钠镁矾和少量杂卤石、泻利盐。据此, 硫镁矾应属正常层位。但在水盐体系相图中, 其结晶区在

泻利盐之上,反映硫镁矾更可能是泻利盐脱水变质而成^[2]。

钾镁盐层:由无水钾镁矾石盐岩、无水钾镁矾岩、含无水钾镁矾石盐岩组成。乳白色无水钾镁矾是本层标志性矿物,在上述三类岩石中分别呈团块状集合体(照片5)、层状、浸染状产出。无水钾镁矾晶粒粗大,不具解理,无交代现象,与石盐、硫镁矾、钠镁矾和杂卤石共生,这可能反映无水钾镁矾系由软钾镁矾或钾镁矾脱水而成。

上钠镁盐层:含石盐镁盐岩与含杂卤石镁盐质石盐岩间互。底部向上80cm夹杂杂卤石层。含杂卤石镁盐质石盐岩厚度大,但层状含石盐镁盐岩则说明了卤水的高浓度。

上石盐层:由含杂卤石石盐岩夹杂杂卤石岩组成。底部石盐岩呈红褐色,向上变为浅灰色,但均为层状,层厚为64—5cm。杂卤石岩亦为层状,层厚多不超过10cm。石盐岩与杂卤石岩分界清楚(照片6)。

上钙芒硝层:下部为钙芒硝岩,厚4cm。中部为石盐岩夹分散状杂卤石,厚20cm。上部为钙芒硝岩,厚8cm。其余特征与下钙芒硝层相似。

上硬石膏层:主要由硬石膏岩组成。硬石膏夹薄层或者条带状泥质白云岩。

上白云岩层:主要由泥质白云岩夹硬石膏岩组成。

钠镁盐-钾镁盐型有以下特点:物质组分复杂,矿物种类多,且出现钾镁硫酸盐矿物,形成工业矿层;钠镁盐矿物在中下部就开始出现,且与硫镁矾共生;镁盐累积厚度达6m之多,占易溶盐类厚度的三分之一以上,而上、下硬石膏层厚度减少为1.92m,上、下钙芒硝厚度减少更甚,仅42cm;各层基本对称分布,

蒸发有序、完整。

以上表明原始卤水为多组成的富钾、镁而贫钙的高浓度残卤,一经蒸发,就较快地达到硫酸钠镁盐矿物析出点。由于残卤中钾高,在下部以杂卤石形式出现,至中部 Ca^{2+} 浓度骤减,则以钾镁硫酸盐矿物析出。钾镁硫酸盐矿物析出前的下部沉积,是卤水浓缩的产物,而上部的沉积层则是淡化的结果。

(二) 杂卤石-钠镁盐型

ZK8Ⅲ₁等24个Ⅲ级韵律属此类(表1)。以产出杂卤石和无水钠镁矾、白钠镁矾和钠镁矾为特征。与钠镁盐-钾镁盐型比较缺失钾镁盐层,且以钠镁盐层为中心各层上下有序对称分布(图3)。钠镁盐类是本类型原始卤水最高浓缩程度的产物,一般为团块状、层状。在ZK6Ⅲ₄韵律中其厚度最大,达8m多,其次为Ⅲ₂韵律,厚5.21m,Ⅲ₃韵律厚3.18m。在ZK8孔Ⅲ₁、Ⅲ₃韵律中其厚亦大于2.5m。钠镁盐类多沉积于盐亚段中部以上,但中下部或下部也有

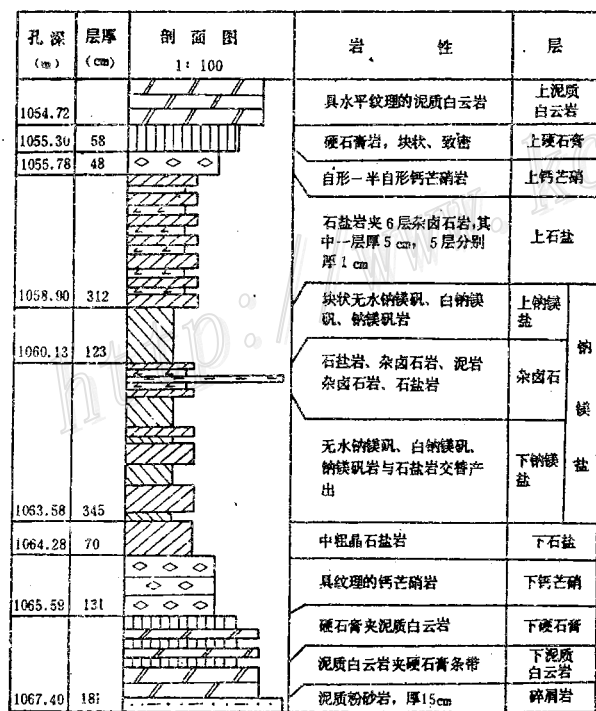


图3 ZK8Ⅲ₁韵律剖面图

Fig. 3. Geologic column of Ⅲ₁ rhythm in ZK8 drill hole.

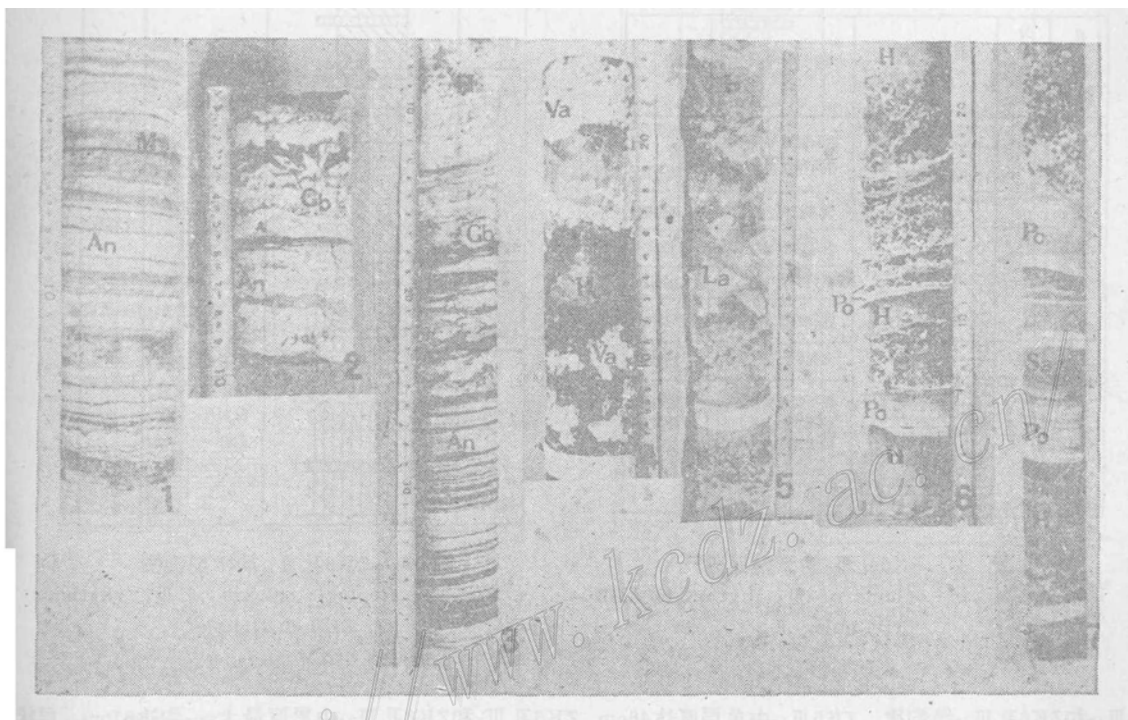
产出(图3)。钠镁盐层包含较多石盐岩,也常夹杂杂卤石层。图3中钠镁盐层就是由下钠镁盐、杂卤石、上钠镁盐三亚层组成。

层状、条带状杂卤石在本类型剖面中部以上分布,具水平纹理(照片6、7),所夹的泥质白云岩和

偶夹的菱镁矿条纹也发育水平纹理。层状杂卤石与各种盐矿物共生,说明它是直接从卤水中沉淀析出的。即当石盐析出后,适量含钙淡水进入盐湖,与富钾、镁的卤水发生掺合而结晶析出。图3中杂卤石亚层由石盐岩、杂卤石岩、泥岩、杂卤石岩、石盐岩构成。这是该机理的岩性剖面记录。照片7是又一实例,只是杂卤石中夹有7cm厚的泥质细砂岩。

(三) 钙芒硝-杂卤石型

根据层又细分完整亚型(或A亚型)和不完整亚型(或B亚型)。完整亚型以杂卤石层为对称中心,石



照片1 硬石膏(An)、泥灰岩(M)中的水平纹理和波状纹理

照片2 硬石膏(An)层中的钙芒硝(Gb)

照片3 具纹理的硬石膏(An)和石盐(H)层之间的云朵状钙芒硝(Gb)

照片4 石盐(H)层中的层状、云朵状钠镁盐(Va)

照片5 石盐(H)中的团块状无水钾镁矾(La)

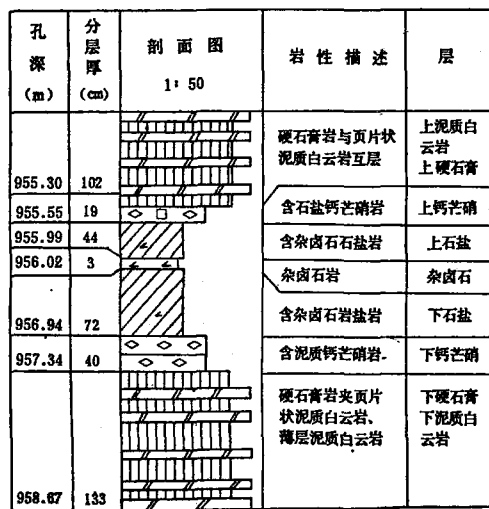
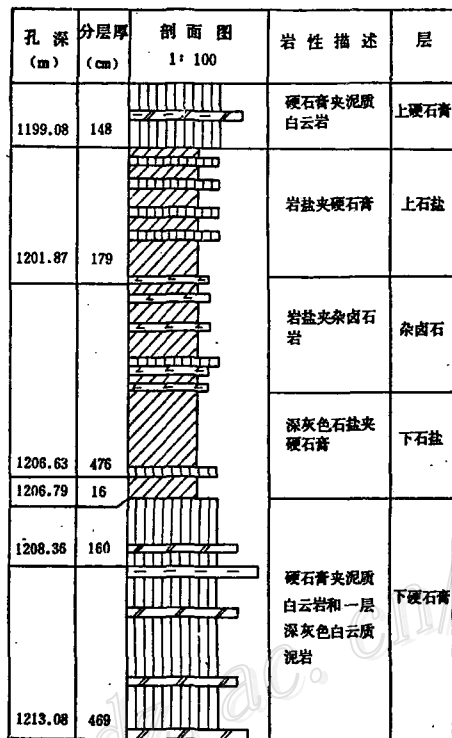
照片6 杂卤石(Po)与石盐(H)的接触关系

照片7 石盐层(H)中的薄层杂卤石(Po)夹泥质细砂岩(Sa),杂卤石中水平纹理发育

钙芒硝、硬石膏、泥质白云岩各层上下对称分布(图4)。ZK5孔Ⅲ₆、Ⅲ₇、Ⅲ₈, ZK6孔Ⅲ₁、Ⅲ₁₅、ZK9孔Ⅲ₅、Ⅲ₉、Ⅲ₁₂、Ⅲ₁₅、Ⅲ₁₈, ZK8孔Ⅲ₃、Ⅲ₁₀属之(表1)。不完整亚型主要缺失钙芒硝层。其情况有两种。其一, ZK5孔Ⅲ₁₂、Ⅲ₃、Ⅲ₄与ZK6孔Ⅲ₉、Ⅲ₇、Ⅲ₁₀等6个Ⅲ级韵律缺失上钙芒硝层, 命名为B¹种。其二, ZK8孔Ⅲ₁₄、Ⅲ₁₅等韵律上、下钙芒硝层均缺失, 剖面结构主要由石盐岩、杂卤石岩组成, 且上、下泥质白云岩层常不发育。泥质白云岩常夹于硬石膏之中(图5), 命名为B²种。

钙芒硝的缺失反映了卤水浓缩或淡化的急剧性。

杂卤石多呈薄层状, 与上下突变, 厚1cm以上者在单个韵律中一般为几层至十几层, 如ZK5孔Ⅲ₇、

图 4 ZK5孔Ⅲ₁韵律剖面图Fig. 4. Geologic column of Ⅲ₁ rhythm in ZK5 drill hole.图 5 ZK8孔Ⅲ₁₄韵律剖面图Fig. 5. Geologic column of Ⅲ₁₄ rhythm in ZK8 drill hole.

Ⅲ₁₂和ZK6孔Ⅲ₁₀等韵律。ZK5Ⅲ₁₂中单层厚达48cm。ZK5孔Ⅲ₇和ZK6孔Ⅲ₁₀中累厚最大，均达81cm。层状杂卤石都出现在石盐岩中部以上层段。

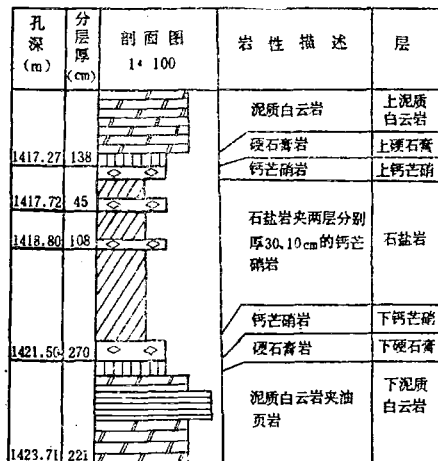
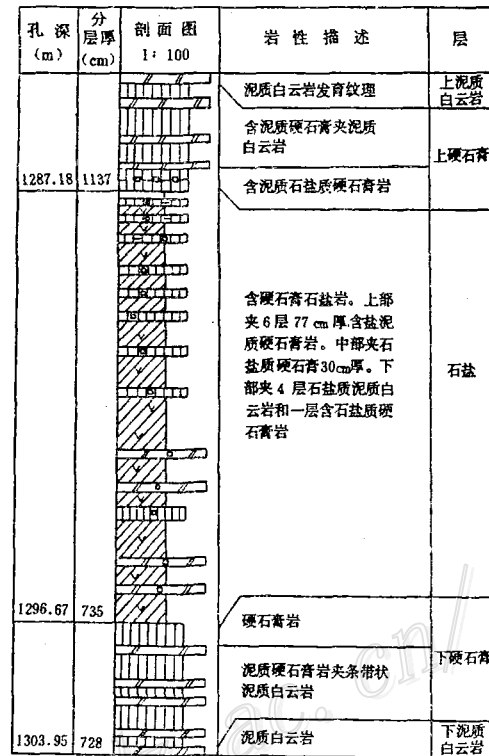
本型与杂卤石-钠镁盐型比较，无钠镁盐沉积，与石盐-钙芒硝比较，则多了杂卤石沉积，因此，它是卤水蒸发析盐进入自析阶段中期的产物。

(四) 石盐-钙芒硝型

本型亦可分完整亚型(A亚型)和不完整亚型(B亚型)。完整亚型以石盐层为分布中心，泥质白云岩、硬石膏、钙芒硝各层按溶解度上下对称分布(图6)。不完整亚型缺失下钙芒硝层，ZK5孔Ⅲ₁₁、Ⅲ₁₀、Ⅲ₉、Ⅲ₁₄等韵律属之。石盐是本类型最主要矿物组分，粒度以中粗粒居多，少数为细粒和巨晶。镜下常见羽毛状骸晶结构和气液包体。石盐岩单层厚可达1m多，而钙芒硝远小于此，仅个别层厚达30cm。泥质白云岩层中常夹油页岩、泥岩甚至细一粉砂岩，反映盐类沉积前有陆源物质的补给。本型矿物中石盐溶解度最大，故原始卤水仍处于自析阶段。

(五) 硬石膏-石盐型

本型剖面由下泥质白云岩、下硬石膏、石盐、上硬石膏、上泥质白云岩组成。矿物种类不多，成分简单。以石盐层为中心，上、下对称分布的泥质白云岩和硬石膏十分清晰。ZK6孔Ⅲ₂₀等35个Ⅲ级韵律属此(图7、表1)。在石盐相区亦是主要韵律类型之一。上、下泥质白云岩层厚度小，硬石膏层中常夹泥质白云岩，此现象在本型中具代表性。石盐层中普遍有硬石膏晶粒，也夹层状、带状硬石膏，显示了卤水在自析阶段初期的组分和数量特征。

图6 ZK9孔Ⅲ₁₀韵律剖面图Fig. 6. Geologic column of Ⅲ₁₀ rhythm in ZK9 drill hole.图7 ZK6孔Ⅲ₂₉韵律剖面图Fig. 7. Geologic column of Ⅲ₂₉ rhythm in ZK6 drill hole.

(六) 硬石膏型

本型主要分布于膏盐系中的盐上膏和盐下膏段, 其它见膏盐系中的韵律类型亦属此。按层的组成可分A亚型和B亚型。A亚型由下泥灰岩、硬石膏、上泥岩组成。B亚型由下泥岩、硬石膏、上泥岩组成。泥岩多呈紫红色, 有时含粉砂或夹粉砂岩。粉砂岩具砂纹层理。泥灰岩亦见类似特征, 有时还见水平层理, 是膏盐生成于氧化、浅水、低能环境的标志。

鉴于单个Ⅲ级韵律厚度不等, 但变化范围不大, 各相邻钻孔Ⅲ级韵律的个数也不相同, 因此推断Ⅲ级韵律是在干燥气候条件下, 由于盆地同生断层的差异活动, 导致凹陷内沉积条件发生局部性周期变化而成。这些沉积条件包括淡水补给状况、卤水倾侧、凹陷底形的起伏等。其中任一条件的改变均可影响Ⅲ级韵律的发育抑或终止。

三、Ⅱ级韵律的特征和钾矿层的产出层段

Ⅱ级韵律是在比形成Ⅲ级韵律长的沉积期内, 按水盐体系平衡原理, 由析出的一套具周期性的沉积物组成。这套周期性沉积物若蒸发完全, 则多由二个以上Ⅲ级韵律组成。本文在划定Ⅲ级韵律剖面结构类型的基础上, 为更准确地探讨钾矿层的产出层段, 特选择Ⅲ级韵律结构类型在剖面中显示卤水从淡化至浓缩的半韵律作为划分各孔Ⅱ级韵律的界线(表1)。现择ZK8孔(图8)由下而上叙述如下。

Ⅱ₁韵律: 位于盐亚段底部。包括Ⅲ₁₄—Ⅲ₁₄等11个Ⅲ级韵律。剖面结构由下向上依次为硬石膏-石盐

型、石盐-钙芒硝型、钙芒硝-杂卤石型。含Ⅲ级韵律数分别为7、2、2。

Ⅱ₂韵律：由Ⅲ₁₃—Ⅲ₉等5个Ⅲ级韵律组成。剖面结构由下向上依次为石盐-钙芒硝型、钙芒硝-杂卤石型、杂卤石-钠镁盐型，含Ⅲ级韵律数各为3、1、1。

Ⅱ₃韵律：由Ⅲ₈—Ⅲ₃等6个Ⅲ级韵律组成。其剖面结构由下向上依次为钙芒硝-杂卤石型、石盐-钙芒硝型、杂卤石-钠镁盐型、钠镁盐-钾镁盐型。含Ⅲ级韵律数依次各为1、2、2、1，是浓缩程度最高的Ⅱ级韵律。

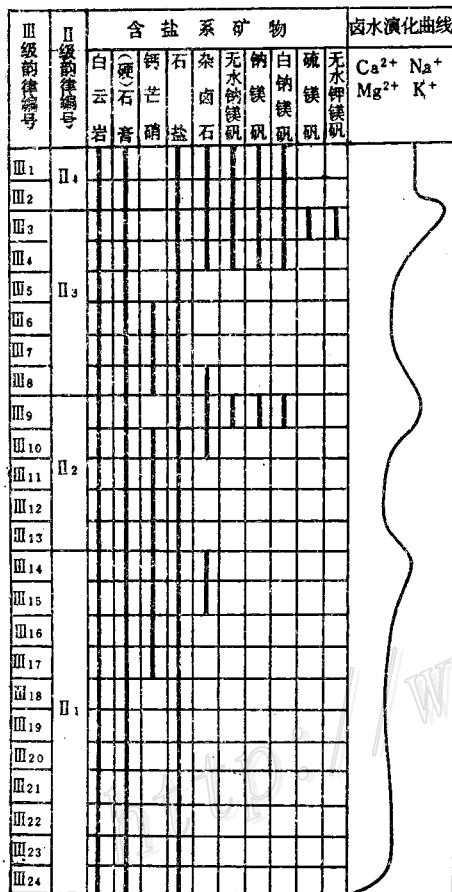


图 8 ZK8孔膏盐系韵律中矿物的分布及卤水演化曲线示意图

Fig. 8. Schematic diagram showing distribution of minerals and evolution of brine in gypsum-saline rhythm sequence in ZK8 drill hole.

Ⅱ₂沉积阶段：与Ⅱ₁沉积阶段比较，卤水中K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺均增加。本阶段前，由于卤水局部倾侧，或有少量淡水补给，或其它原因，原地卤水遭到淡化，使Ⅱ₁顶部的钙芒硝-杂卤石型退变到钙芒硝-石盐型，尔后蒸发，重复其结晶路线析盐（表1）。此阶段Mg²⁺浓度甚高，已达到钠镁硫酸盐矿物析出点，形成杂卤石-钠镁盐型剖面结构。

Ⅱ₃沉积阶段：本阶段为残卤，淡化卤水的掺杂作用不仅在Ⅲ₈韵律形成前继续，而且沉积后仍在进行，故其剖面类型从钙芒硝-杂卤石型退变到Ⅲ₇、Ⅲ₆的石盐-钙芒硝型。但是在经过Ⅱ₁、Ⅱ₂等程度不等的反复淡化、浓缩、淡化后，残卤中已滞留了大量K⁺、Mg²⁺，一旦淡化或者掺杂作用减弱，先析出钠镁矾、白钠镁矾、无水钠镁矾、硫镁矾，最后析出硫酸钾镁盐矿物。

级韵律。

Ⅱ₄韵律：位于盐亚段上部，由Ⅲ₁、Ⅲ₂两个Ⅲ级韵律组成，剖面结构属杂卤石-钠镁盐类。Ⅱ₄之上是盐上膏中的硬石膏型，这种Ⅲ级韵律类型的不连续性是盆地终止盐湖阶段而造成的。

表1所列各孔Ⅱ级韵律，除最上的一个以外，均具如下特征：

1. 每个Ⅱ级韵律底部的Ⅲ级韵律剖面结构类型是由下伏Ⅲ级韵律剖面结构类型淡化所致，可代表其原卤水的最低或较低浓缩程度。而顶部则相反，代表其最高浓缩程度。

2. 单个Ⅱ级韵律中，从下往上除ZK8孔Ⅲ₈韵律是高浓度残卤受掺杂作用外，其Ⅲ级剖面结构类型所代表的原卤水浓缩程度逐渐增高。

3. 比较Ⅱ级韵律，上覆者包括的Ⅲ级韵律剖面结构类型所代表的原卤水浓缩程度比下伏的高。对比Ⅱ级韵律顶、底的Ⅲ级韵律剖面结构类型，上覆的比下伏的所代表的原卤水浓缩程度也高。

上述特征表明，Ⅱ级韵律反映了卤水演化的阶段性。现仍以ZK8孔为例说明之（表1及图8）。

Ⅱ₁沉积阶段：卤水中主要组分是Na⁺、Ca²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻，次要组分是Mg²⁺、K⁺、CO₃²⁻。上述组分相对变化如下：凹陷中沉积80余米（硬）石膏后，进入到石盐盆地，Ca²⁺除继续生成（硬）石膏外，因其量有限，在Ⅱ₁阶段早期形成的7个Ⅲ级韵律剖面中均缺失钙芒硝。后期，卤水中K⁺、Mg²⁺已聚集到一定数量。另外，淡水补给带来了部分Ca²⁺、SO₄²⁻，因此在形成钙芒硝后，还形成了杂卤石。

II. 沉积阶段: 盆地已开始进入淡化期。II₂ 沉积后, 卤水中K⁺ 骤减, 因此剖面中为杂卤石-钠镁盐型。由于盆地的演化终止了成盐作用, 限制了淡化产物的发育, 故缺失了钙芒硝-杂卤石等类型的沉积。

综上所述, 从II₁至II₂ 沉积阶段, 卤水在淡化与浓缩的交替中持续向浓缩方向发展。其内每个III级韵律的沉积, 亦是相应规模的淡化-浓缩作用的产物。正是这种淡化-浓缩作用, 既滞留了原卤水中的K⁺, 又聚积了淡化期补给的K⁺, 最终在本凹陷I级韵律的盐亚段上部即II₂ 韵律沉积了工业钾矿层。

值得指出, 大汶口凹陷因其演化终止了成盐作用, 故赋存钾矿层的I级韵律的盐亚段上部相当于理想的I级韵律完整模式的中部。我国东部中、新生代类似凹陷中, 该部应是找钾的目的层段。

在搜集本文资料的过程中, 蒙山东地矿局九队鹿庆峰、何湘龙、林焕庭、史献林诸位工程师, 湖北地矿局潘杰锋同志的帮助, 成文后, 武汉地质学院北京研究生部蔡克勤老师提出了宝贵的意见, 在此一并致以谢意。

参 考 文 献

- 〔1〕 王鸿祯、刘本培 1980 《地史学教程》 地质出版社
- 〔2〕 曲懿华、钱自强、韩蔚田 1979 《盐矿物鉴定手册》 地质出版社

RHYTHM CHARACTERISTICS AND DEPOSITIONAL STAGES OF SALTS IN DAWENKOU DEPRESSION OF SHANDONG PROVINCE

Zhu Zhongde

(Jianghan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei)

Abstract

Dawenkou depression is situated at the west end of Wenmeng faulted basin in the middle of Luxi uplift, where large amounts of anhydrite, gypsum, halite, polyhalite and langbeinite are found in the upper part of 2nd-member of Eocene-Oligocene Wenkou Formation.

The rhythm is well developed within the Dawenkou salt deposit, and can be divided into three orders according to mineral composition, mineral types and thickness of the salt section. Order-I is composed of upper and lower portions of argillaceous limestone and the anhydrite-halite sequence in the middle which can be further divided into three parts, i. e., anhydrite above the halite, halite and anhydrite below the halite. The thickness of Order-I can reach 500m, and its development is thought to be mainly controlled by the evolution of the basin and the activities of the contemporaneous faults.

The rhythms of Order-III occur within the anhydrite-halite sequence, formed by alternate halite layers and desalinated layers, with the halite layers varying from 0.1m to 18.6m and the desalinated layers from 0.34m to 48m in

thickness. According to the assemblages, quantities and types of minerals, especially minerals with high solubility, the rhythms of Order-III can be classified into six types: (1) sodium-magnesium salt—potassium-magnesium salt type; (2) polyhalite—sodium-magnesium salt type; (3) glauberite—polyhalite type; (4) halite—glauberite type; (5) anhydrite—halite type and (6) anhydrite type. Of them, the sodium-magnesium salt—potassium magnesium salt type is most highly concentrated; in the section, sodium-magnesium salt, halite, glauberite, anhydrite, argillaceous limestone are symmetrically distributed with the potassium-magnesium salt at the center. Each rhythm of Order-III ranges from several to ten or even tens of meters. The density of the rhythms of Order-III differs from place to place, even within a short distance, suggesting that the formation of these rhythms was affected by the local depositional conditions.

The rhythms of Order-II is formed by the regular distribution rhythms of Order-III with different textural types in the salt section. For example, four kinds of rhythms of Order-II can be observed in drill hole ZK8; Rhythm-II₁ lies at the bottom of the anhydrite-halite sequence, and is composed of anhydrite-halite type, halite-glauberite type and glauberite-polyhalite type; Rhythm-II₂ lies over Rhythm-II₁, and is made up of halite-glauberite type, glauberite-polyhalite type, and polyhalite—sodium-magnesium salt type; Rhythm-II₃ overlies Rhythm-II₂, and consists of glauberite-polyhalite type, halite-glauberite type, polyhalite—sodium-magnesium salt type, and sodium-magnesium salt—potassium-magnesium salt type. Rhythm-II₄ occurs in the upper part of the anhydrite-halite sequence and comprises merely polyhalite—sodium magnesium type. It can be concluded that the rhythm of Order-II represents a change from desalination through concentration to another cycle of desalination, indicating peculiar deposition stages in the brine evolution, which are also discussed in this paper.

The textural types, spatial distribution and evolution stages of variant rhythms in the salt section all indicate that the potassium ore bed composed mainly of langbeinite results from the cyclic change from desalination to concentration. It is just this cyclic process that retains potassium in the brine and accumulates the potassium supplied during the desalination. This results in the formation of the potassium ore bed in the upper part of the rhythms of Order-I. It is also considered that many Meso-Cenozoic salt deposits similar to Rhythm-II₃ in geological setting and depositional conditions in Eastern China might provide suitable potassium resources.