

# 河南泌阳凹陷含碱段的浅水蒸发环境

周建民 王吉平

(化学工业部化学矿产地质研究所)

**提要** 本文通过对泌阳凹陷含碱段岩心的研究,描述了含碱段地层的细—粉砂岩、油页岩、白云岩和重碳酸盐岩四种岩石类型,详细描述了发育在含碱地层中的波状层理、冲刷构造、层面波痕和干裂等沉积构造以及白云岩的内碎屑结构。对这些岩石类型、沉积构造、沉积韵律和岩相分布进行了分析,得出了与前人不同的结论:核二段底部含碱段沉积时是蒸发的浅水环境,碱矿层是在极浅水的盆地中心湖区——干盐湖环境中沉积的。

**主题词** 重碳酸盐 浪成波痕 干裂构造 内碎屑 浅水蒸发环境 干盐湖

**第一作者简介** 周建民 男 34岁 助理工程师 盐矿地质

安棚碱矿位于南襄盆地泌阳凹陷的东南部。该凹陷面积约1000km<sup>2</sup>,是燕山运动末期在秦岭褶皱带上形成的山间断陷盆地,具有南断北超、南深北浅之特征,封闭条件良好。凹陷内主要为中新界沉积。安棚一带为该凹陷的沉积中心。始新世核桃园组核二段发育有白云岩和重碳酸盐岩等蒸发岩类,前人认为该蒸发岩区在核二段沉积时期为较深湖相沉积环境,笔者根据对核二段底部含碱段岩心的研究,认为该区在核二段沉积时期为浅水蒸发环境。

## 一、含碱段岩石类型及沉积构造组合 (图1)

核二段底部含碱段主要发育四种岩石类型:

### 1. 细—粉砂岩

多为浅灰色、中薄层状,厚几厘米到数米,一般1—2m。成分以长石为主,多为斜长石、钾长石,其次为石英、白云母,少量碳酸岩岩屑。次棱角—次圆状。粒度多在0.02—0.07mm之间。胶结物为泥晶白云石,上部有时为碳酸钠钙石亮晶胶结,胶结类型孔隙式—基底式。一般含长石40—50%,石英15—20%,白云母5% (局部多者可达10%),泥晶白云石15—20%,其它5%。

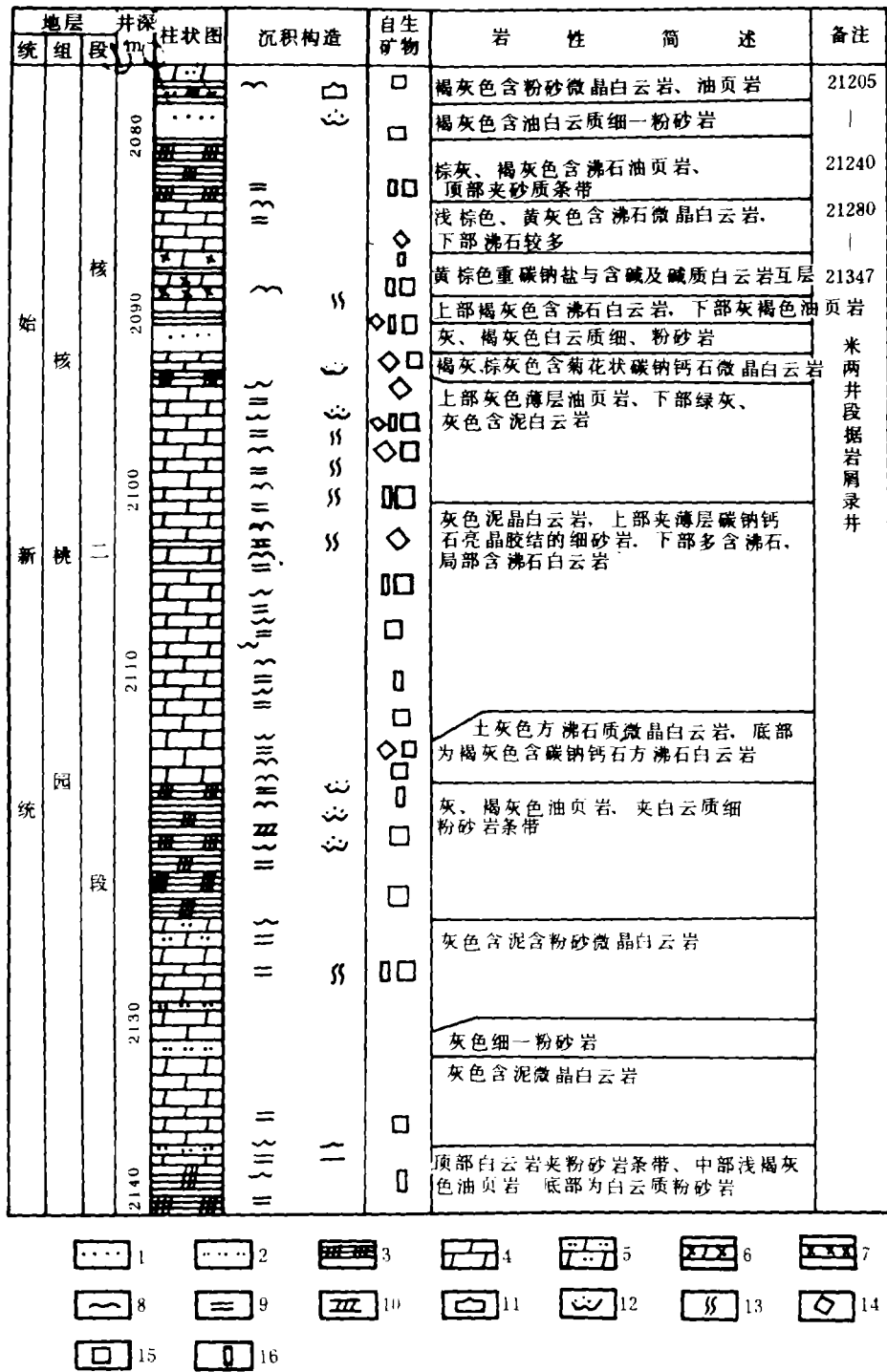
细—粉砂岩层中发育有波状层理,局部有小型交错层理和波痕。

### 2. 油页岩

多呈棕褐色,由泥晶白云石和含有机物的纹层组成,前者一般厚0.15mm,后者厚0.01—0.07mm。油页岩中多含有沸石(方沸石和钠沸石)及分散的长石、石英和泥晶白云岩微粒,并常夹碳酸钠钙石亮晶胶结的砂岩薄层或透镜体。岩心中还见有鱼骨化石和植物碳化碎片。这种油页岩实际上是一种纹理发育富含有机质的微晶白云岩。这与美国绿河碱矿的油页岩建造是一致的。油页岩以水平层理为主,局部发育小型波状层理和冲刷构造。

### 3. 白云岩

多为灰色、绿灰色,厚度一般大于3m,据酸溶法测定白云石含量52—67%。普遍含有



1. 细一粉砂岩 2. 粉砂岩 3. 油页岩 4. 微晶白云岩 5. 含粉砂白云岩 6. 含碱、碱质白云岩 7. 重碳酸盐岩  
8. 波状层理 9. 水平层理 10. 交错层理 11. 波痕 12. 冲刷构造 13. 干裂 14. 碳酸钠钙石 15. 方沸石 16. 钠沸石

图1 泌69井含碱段沉积特征综合柱状图

Fig. 1 The comprehensive columnar section of sedimentary features of the nachalite-bearing member in Bi 69 well.

10—20%的沸石(方沸石, 钠沸石)类矿物, 碱层上下的白云岩中, 沸石含量可达35—40%, 局部大于50%, 构成白云质沸石岩。泥质含量5—15%。白云岩中还普遍含有少量星散状长石、石英粉砂级碎屑, 局部分布有零星的或呈菊花状、放射状排列的碳酸钠钙石集合体。白云岩均为微晶结构, 局部发育具有内碎屑结构的白云岩。

白云岩以水平层理为主, 波状层理和干裂构造很发育, 与上覆细—粉砂岩接触的白云岩顶面还常发育冲刷构造。

#### 4. 重碳酸盐岩

是本区达到的最高浓缩阶段的蒸发岩, 主要成分为重碳酸盐和少量碳酸氢钠, 呈层状或团块状、星散状赋存在微晶白云岩中。岩心中保留的较厚层达15cm, 薄层仅0.5cm, 浅灰白色, 多为细晶半自形结构、自形结构, 致密块状。团块状或星散状者多为粗晶自形结构, 晶体直径一般3—5mm, 大者可达20mm。无色或浅灰白色, 浅绿色透明, 多呈柱状及放射状、菊花状均匀分布在微晶白云岩中, 构成含碱或碱质白云岩。

## 二、浅水蒸发环境

### 1. 沉积构造反映的浅水环境

安棚一带核二段底部含碱段发育的沉积构造主要有波痕构造、冲刷构造、波状层理和干裂构造等。

(1) 波成波痕: 一泌69井含碱段的粉砂岩(2137.2m深处)中发育一组层面波痕, 波长 $L = 1.7\text{cm}$ , 波高 $H = 0.28\text{cm}$ , 波痕指数 $L/H = 6.1$ , 对称指数 $RSI = 1.23$ , 个别波痕的波峰呈双脊状, 为浪成修饰波痕。可能是沉积时, 水位下降或风力较大, 使早期形成的波峰受到改造所致。这种波痕构造表明在该层粉砂岩沉积时, 其顶面位于浪击面之上, 应属浅湖环境。

B·Diem (1985) 根据 Airy 波理论推导了用振荡(浪成)波痕估计古水深和其它古波参数的计算公式, 并成功的计算了奥地利、德国和瑞士交界地带的磨拉石建造中发育的波痕所反映的各种古波参数。其水深计算如下:

$$d_0 = \lambda / 0.65 \quad (1)$$

$$U_i^2 = 0.21 (d_0 / D)^{1/2} \frac{(\rho_s - \rho) g \cdot D}{\rho} \quad (D < 0.5\text{mm}) \quad (2)$$

$$L_{t\infty} = \frac{\pi g d_0^2}{2U_i^2} \quad (3)$$

$$L_{max} L_{mix} = L_{t\infty} \sqrt{\frac{1 \pm \sqrt{1 - 80.4 U_i^4 / (g^2 \cdot d_0^2)}}{2}} \quad (4)$$

$$h < h_{max} = \frac{L_{max}}{2\pi} \operatorname{arcosh} \left( \frac{0.142 L_{max}}{d_0} \right) \quad (5)$$

上述各式中,  $d_0$  为水质点的底部运动轨道直径;  $\lambda$  为波痕的波长;  $D$  为沉积物粒径;  $U_i$  为水质点的底部轨道运动速度;  $\rho_s$  为沉积物密度;  $\rho$  为水的密度;  $g$  为重力加速度;  $L_{t\infty}$  为深水临界条件时波浪的波长;  $L_{max}$ 、 $L_{mix}$  分别为波浪的最大波长和最小波长;  $h_{max}$  为最大古

水深; h 为古水深.

利用上述公式计算时, 必须满足下式:

$$\lambda < 0.028D^{1.68}$$

该式中  $\lambda$  的单位为 cm, D 的单位为  $\mu\text{m}$ .

笔者用上述水深计算公式对泌 69 井含碱段粉砂岩中发育的波痕作了水深计算, 由标本测得  $\lambda = 1.7\text{cm}$ ,  $D = 48\mu\text{m}$ , 满足 (6) 式. 取  $\rho_s = 2.62$  (粉砂岩成分以长石为主),  $\rho = 1$ , 代入上述各式求得:

$$h < 1.53\text{m}$$

计算结果是令人满意的, 表明该粉砂岩层是在浅水条件下沉积的.

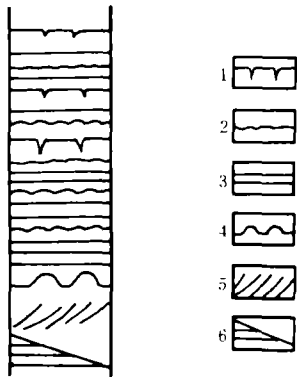
(2) 小型冲刷构造和波状层理: 冲刷构造往往发育在白云岩的顶面, 白云岩纹层被上覆的粉砂岩切割.

波状层理在白云岩中极为发育, 整个含碱段岩心中时有出现, 泌 69 井 2105.7—2108.8m 段最为发育, 每隔 30—50cm 即出现一小型或微型波状层理, 波长一般 1—2cm, 小者仅数毫米, 波高 1—3mm, 多对称, 个别波状层理的波脊呈双峰状. 可能也是受波浪作用之结果. 2109.8m 深处发育一不对称波状层理, 前积层稍陡, 波长  $L = 5\text{cm}$ , 波高  $H = 0.8\text{cm}$ , 对称指数  $RSI = 2.13$ , 属小型流水波痕.

这些小型的冲刷构造和波状层理在白云岩中如此频繁出现也表明该区在含碱段白云岩沉积时经常受到水流和波浪的作用, 应为水动力条件相对较强的浅水环境.

(3) 干裂构造: 干裂是白云岩中特征的沉积构造之一, 在泌 69 井 2089—2105m 段岩心中极为发育, 相间十多厘米到数十厘米, 频繁出现, 呈不规则的“V”和“U”字型. 裂缝开口处宽 0.1—4cm, 深几 mm 到 7cm, 个别大于 10cm. 充填物常与上覆岩性相同, 多为泥质物或砂、粉砂. 某些裂隙充填物复杂, 中部是砂, 两侧是泥, 裂隙可能经历了多次充填. 在白云岩与上覆碎屑岩接触的顶面上, 也往往发育干裂构造, 上部的砂呈楔形充填在裂隙中.

白云岩中这种频繁发育的干裂构造表明在白云岩沉积时, 该区曾多次露出水面, 成碳酸盐泥坪, 白云岩很可能是在这种基本干涸的泥坪上由蒸发泵作用形成的准同生白云岩.



1.干裂 2.波状层理 3.水平层理  
4.波痕 5.交错层理 6.冲刷构造  
图2. 沉积构造组合剖面示意图  
Fig.2 The co-existing of

sedimentary structures in the section

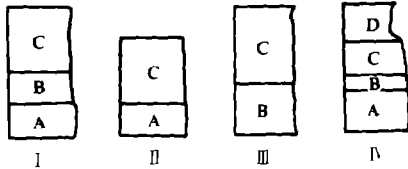
(4) 白云岩的内碎屑结构: 白云岩的内碎屑主要由微晶白云石组成, 粒度多为砂级, 分布很广泛, 扁豆状或椭球状, 磨园度好, 多零星分布, 局部呈似层状产出, 构成砂屑白云岩. 岩心中还有较大的椭球状微晶白云岩砾屑, 其岩性与周围白云岩相同, 边部有褐棕色铁质氧化圈, 新鲜面呈浅黄色而与周围岩石有明显区别. 目前剥蚀区内尚未发现白云岩, 排除了这些白云岩的陆源机械成因. 显然这是一种浅水沉积标志.

上述沉积构造一致表明了含碱段沉积时的浅水环境. 这些沉积构造在剖面中的组合似乎也很有规律 (图 2), 下部为冲刷构造、小型交错层理和浅水波痕; 中部为水平层理和小型波状层理; 上部出现了干裂. 这种组合表明含碱段沉积时, 自下而上, 湖水具有逐渐变浅直至干涸的趋势.

### 2.蒸发环境

上述重碳酸盐岩、白云岩等蒸发岩的存在是蒸发环境的最有力佐证，而古气候、沉积韵律和沉积构造组合特征也反映了蒸发环境。

(1) 古气候：据古植物化石和孢粉组合分析，泌阳凹陷在核二段沉积时期为亚热带干旱、半干旱气候。泌 69 井含碱段两个重碳酸盐矿物包体样爆裂法测温结果是 45℃ 和 60℃，表明当时的气温较高。这种干旱、半干旱的高温气候创造了良好的蒸发条件。



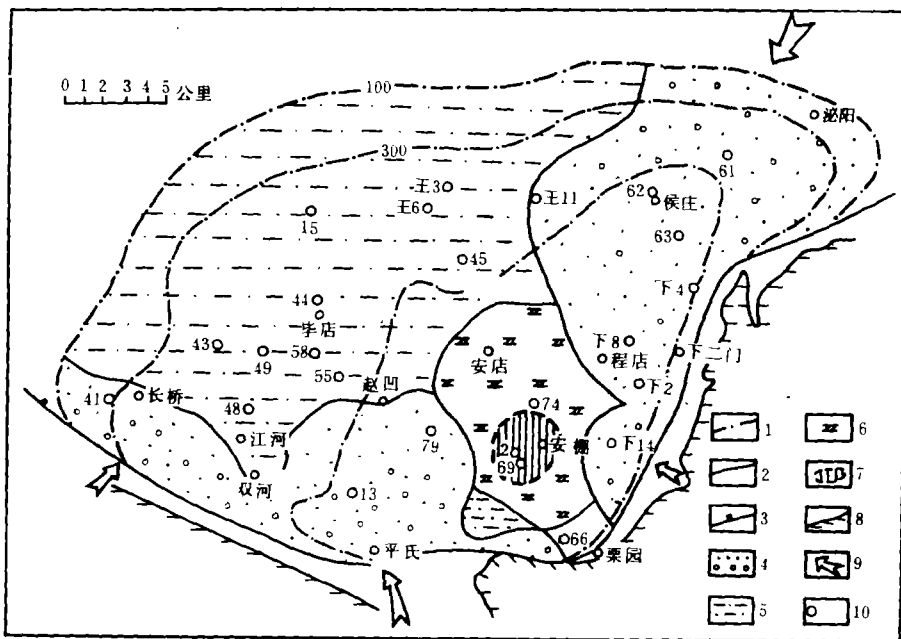
A. 细一粉砂岩 B. 油页岩 C. 白云岩 D. 重碳酸盐岩

图 3. 基本韵律类型示意图

Fig. 3 Main types of sedimentary rhythm in the mahcalite-bearing member

(2) 沉积韵律反映蒸发环境：含碱段主要发育四种韵律类型，I .ABC 型，II .AC 型，III .BC 型，IV .ABCD 型 (图 3)，每个韵律往往以底部的碎屑岩起始，而以顶部的蒸发岩结束，表征着一个蒸发浓缩过程。I、II、III 韵律不完整，位于含碱段的下部，均缺失 D 层的重碳酸盐岩。韵律 IV 位于含碱段的上部，是含碱段中发育的最完整韵律，重碳酸盐岩层的存在

标志着湖水达到了本区的较高浓缩阶段，显然，就浓缩程度而言，含碱段剖面中自下而上沉积韵律是由低级向高级的发展过程。这种沉积韵律结构本身就反映了湖盆的蒸发环境。



1. 地层等厚线 2. 岩性区界限 3. 断层 4. 砂砾岩区 5. 砂泥岩区 6. 白云岩区 7. 推测重碳酸盐区 8. 出露区 9. 物源方向 10. 井位及编号

图 4 泌阳凹陷核二段沉积岩相略图

Fig. 4 Sedimentary facies of the No. 2 member of Hetaoyuan formation, Beiyang Basin

发环境：如图 2 所示，含碱段剖面中由下部的冲刷构造、交错层理和浪成波痕等浅水构造发展到上部的干裂构造，表明当时的湖水是逐步变浅的。在封闭条件良好的内陆湖盆，湖水变浅显然与蒸发作用有密切关系。

(4) 岩相分布：泌阳凹陷核二段的岩相如图 4 所示，各种岩相区的分布是典型不对称的环带状牛眼式，碱层分布在沉积中心，向外被碳酸盐岩包围，最外为砂泥岩、砾岩区。这种

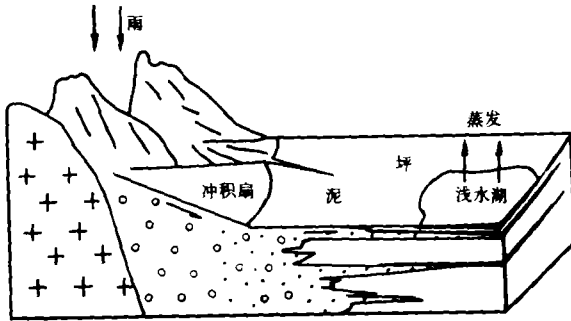
(3) 剖面上的沉积构造组合也反映了蒸

相带分布特征与以干盐湖模式解释的美国绿河碱矿 Wilkins Peak 段的岩相分布一致，具有内陆干旱成盐盆地的特征。

### 三、结 论

1. 安棚一带含碱段发育的岩石类型、沉积韵律、沉积构造组合和岩相分布均表明，该区至少在核二段底部含碱段沉积时期应为蒸发环境下的浅水沉积，而非深水湖相。

2. 含碱段发育的沉积构造组合、沉积韵律和岩相分布与用干盐湖模式解释的美国绿河碱矿极为一致。盆地边缘为灰质胶结的砂砾岩，中部是广阔的暴露的白云质碳酸盐泥坪，中心湖区为极浅的或季节性有水的浅湖。重碳酸盐岩是在这种干盐湖环境的中心浅水湖中沉积的 (图 5)。



1.基岩 2.砾岩 3.砂岩 4.油页岩 5.碱层 6.白云岩 7.地下径流

图 5.干盐湖沉积模式示意图 (据 Eugster, 有修改)

Fig.5 The deposited model of playas

在研究工作中，曾求教于张瑞锡、冯增昭教授，乐昌硕副教授和钱自强高级工程师，同时得到张幼勋、徐玉斌、魏东岩、袁民、李润民等工程师的热情帮助，在此一并致谢。

收稿日期 1987 年 3 月 14 日

### 参 考 文 献

( 1 ) 宜昌地质矿产研究所, 1979, 中南地区白垩纪第三纪岩相古地理, 地质出版社, 1-5 页。  
 ( 2 ) B.D. van, 1985 Sedimentology, V.32, p.705-720.  
 ( 3 ) H.P.Eugster and R.C.Surdam, 1973, Geol.Soc.America Bull., V.84, N.4, p.1115-1120.  
 ( 4 ) H.P.Eugster and L.A.Hordie, 1975, Geol.Soc.America Bull., V.86, N.1-4, p.319-334.  
 ( 5 ) W.H.Bradley, 1973, Geol.Soc.America Bull., V.84, N.4, p.1121-1124

# SHALLOW EVAPORATIVE ENVIRONMENT FOR THE FORMATION OF NAHCALITE-BEARING SERIES IN THE BIYANG BASIN, HENAN

Zhou Jianmin      Wang Jiping

(Institute of Chemistry and Mining Geology, Ministry of Chemical Industry)

## Abstract

Occurring at the bottom of the He-No.2 member of the Hetaoyuan formation, the Anpeng nahcalite-bearing series is made up of rocks of four lithotypes. The first type is a fine to silty rock dominated by feldspar, with cements of aphanitic dolomite, and showing such sedimentary structures as current bedding, cross bedding and ripple mark. Next to the first, oil shale in fact represents a kind of organic rich microcrystalline dolomite probably compared with the oil shale formation of the Green River trona deposit, USA, consisting of aphanitic dolomite and laminated organic materials. The third type is provided by dolomite with a great amounts of the minerals of zeolite race and aggregate of shortite. Texturally, it locally has the form of intraclast and, structurally, horizontal bedding, current bedding, drying cracks and washing marks only found in the contact with the overlying fine to silty rock. The final type is composed of principal bicarbonate and subnate wegscheiderite which scatter in the microcrystalline dolomite but highly concentrate to thinness of 15cm in the core.

The Anpeng nahcalite-bearing series is abundant in sedimentary structures including ripple marks, washing prints, current bedding and drying cracks.

The nahcalite-bearing silt in the Bi-No.69 borehole has individual ripple marks measured at wave length of 1.7cm, wave height of 0.28cm, wave trace index of 6.1 and symmetric index of 1.23. Taking the form of double-peak, some typical ripple marks are attributed to the reworking of the previous wave-formed ones. The attribution of the ripple marks reveals that the surfaces of the silt beds during deposition were directly against the front of wave, a circumstance characteristic of fairly shallow basins. The then depth was less than 1.53m according to the author's calculation using B.Diem's formula which is based on Airy wave theory and applicable to the estimation of paleodepth and some other paleowave parameters by wave-formed ripple mark. This further supports the shallowness of the basin where the silt deposited.

Washing structures develops a great deal at the uppermost part of the dolomite whose lamellae seems to be cut cross by the overlying silt which is set down in those washing

channels. Like the washing structures, current bedding is seen always in the dolomite and sometimes in the whole nahcalite-bearing series, belonging to a small-sized bedding relative to running water. All the sedimentary structures appear so frequently the dolomite that a more strongly hydrodynamic regime is also believed to exist when the dolomite must be subjected to running water and wave action during deposition.

Besides the above structural features, drying cracks are very of the found at intervals of teens to tens cm in the dolomite. They are in the form of irregular "V" or "U" and infilled with argillaceous and sandy materials analogous lithologically to those from the overlying silt. Its general but interval development in the dolomite allows that it emerged many times from the waters during formation and became carbonate mud flat. It is from this almost wholly dried mud flat that what is now called as metasynthetic dolomite generated by evaporative pumping.

Some other evidences for the shallow deposition of the dolomite are given by its carrying a number of elliptical dolomatic gravels and stratified dolomatic cuttings.

In a word, many aspects of sedimentary structures and their assemblages of the dolomite point to a shallow, even shallower and shallower to thoroughly dried, basin where the nahcalite-bearing series deposited.

On the basis of paleobotanical and paleopolynological analyses combined with studies of sedimentary rhythms and structures, the period when the He-No.2 member took place is characteristic of semi-arid to arid climate highly favorable for the evaporation of the basin.

Lithological types, depositional rhythms, sedimentary structures and facies zonation, all exhibit that the Anpeng area was not deep at least during the deposition of the nahcalite-bearing series or the lower part of the member but shallow, thus leading to intensive evaporation. Such a sedimentary environment caused sedimentary structures, depositional rhythms, facies zonation etc. to become, ingeneral, good analogs to those of the Green River trona deposit which may be explained by so-called playas model. This model suggests facies distribution pattern from the margin of the basin to the centre, i.e., along the margin lime-cemented sandstone and conglomerate, in the middle extensively exposed, mainly dolomatic, carbonate mud flat, and at the centre bicarbonate owing to extreme shallowness and sometimes even dryup.