

根据泥岩压实探讨我国东部中生代含油盆地类型和油气关系

张博全 崔武林 王岫云 晁泉

(武汉地质学院)

沉积盆地的沉积物，随着自身的加厚和深埋，上覆负荷的增加和地温的升高，沉积物必将发生压实作用和固结作用。在这种成岩作用下，沉积物中的岩石矿物类型、岩石密度、孔隙度和渗透率等也将发生一系列的物理化学变化。本文主要根据泥岩压实及有关资料探讨盆地或坳(凹)陷的有关机制、类型和油气关系。

研究区的地质背景

本文研究区包括三水盆地、黄骅坳陷和泌阳凹陷，其中以三水盆地为重点。它们都是在印支—燕山褶皱基础上发育起来的晚白垩—第三纪的盆地或坳(凹)陷。沉积地层从上白垩系至上第三系，除三水盆地有几次海侵外，其他均属陆相沉积。

根据陈发景的研究，将我国东部中新代盆地或坳(凹)陷发育模式划分为初始期、发育期、萎缩期和结束期四个阶段，按此也可将本研究区各盆地或坳(凹)陷的发育史划分为四个阶段(表1)。

研究区各盆地或坳(凹)陷发育史

表 1

盆地发育阶段	三 水 盆 地	泌 阳 凹 陷	黄 骅 坳 陷
初 始 期	三水组—埽心组一段 (晚白垩纪—古新世)	大仓房组—玉皇顶组 (古新世—始新世)	孔店组—沙四段 (始新世)
发 育 期	埽心组一段—埽心组三段 (古新世—始新世)	核 桃 园 组 (始新世—渐新世)	沙三段—沙一中 (渐新世)
萎 缩 期	西 埽 组 (始新世)	廖 庄 组 (渐新世)	沙一上—东营组 (渐新世)
结 束 期	华 涌 组 (始新世—渐新世)	上 寺 组 (晚第三纪)	明化镇组—馆陶组 (晚第三纪)

这三个盆地或坳(凹)陷在大地构造上处于中国板块的东缘。属于陈发景盆地分类中的第五大类(克拉通内断陷盆地)和陈焕疆所划分的中国板内盆地的第二大类。即由地壳拉张作用形成的在大型坳折背景基础上产生的地堑、半地堑盆地和在大型隆折背景

基础上产生的并依附于断裂成生的裂陷盆地。

泥岩压实与盆地类型

泥(页)岩的压实作用是地下物理、化学和矿物的变化过程。当泥岩孔隙的流体压力接近于静水压力(即接近于压实平衡)时,则泥岩压实程度主要受埋深(或上覆负荷)的控制。鲁贝和哈伯特(1959)曾提出一个表示正常压实时的数学关系式。

$$\phi = \phi_0 e^{-CZ} \quad (1)$$

式中: ϕ 为深度 Z 处的泥岩孔隙度值(%)、 ϕ_0 为地表($Z=0$)的泥岩孔隙度(%)、 e 为自然对数的底、 C 为因次常数(长度 $^{-1}$)。

这是一个指数函数关系式,在半对数坐标纸上作图是一条直线(深度为算术座准、孔隙度为对数座标),这里 C 值是斜率。

泥岩孔隙度与深度的关系式,也可通过测井资料特别是声波测井资料来表达。据瓦利等(Wyllie et al., 1956、1958)的大量实验结果,在具有均匀分布的小孔隙固结地层中,孔隙度与传播时间之间存在如下的线性关系。

$$\Delta t_1 = \phi \Delta t_2 + (1 - \phi) \Delta t_3 \quad (2)$$

式中: Δt_1 为声波测井曲线上传播的时间(微秒/米)、 Δt_2 为地层水的传播时间(微秒/米)、 Δt_3 为岩石骨架的传播时间(微秒/米)、 ϕ 为岩石孔隙度(%)。

式(2)表明,当岩性一致时,岩层的声波时差(Δt_1)基本上可以反映其孔隙度的变化。所以,在正常压实段的声波时差与深度也是成指数的函数关系。即:

$$\Delta t = \Delta t_0 e^{-CZ} \quad (3)$$

式中: Δt 为深度 Z 处的泥岩声波时差(微秒/米)、 Δt_0 为外推至地表的声波时差(微秒/米)、 C 为正常压实趋势线的斜率。

假如研究的地区经历了明显的上升和剥蚀,那么该区的泥岩的正常压实趋势与未遭受剥蚀地区相比,则受剥蚀地区现在的所有深度上的压实程度均高于未受剥蚀地区同样深度的压实程度。因此,又可根据泥岩的压实资料估算剥蚀厚度和恢复地层的古埋深。

根据以上的关系式,我们对三水盆地、黄骅坳陷、泌阳凹陷的泥岩压实程度和剥蚀厚度等进行了研究。

1. 三水盆地

根据15口井327块泥岩样品,近一千个泥岩孔隙度的实测数据,在半对数坐标纸上作 H (深度)与 ϕ (孔隙度)关系曲线,结果发现三水盆地各井泥岩孔隙度普遍偏小。将其趋势线延伸到现在地表,孔隙度不超过16%,一般为5—10%(图1)。与未受压实的现代沉积物的孔隙度(60~80%)相差甚远,说明三水盆地普遍经历了上升和剥蚀。

计算剥蚀厚度,必须预先确定原始孔隙度。据我们研究,三水盆地古湖盆沉积物的原始孔隙度应取60%。于是把图1各井实测孔隙度的正常趋势线从现在地表向上延伸到60%孔隙度处,则古湖盆的原始地表(60%孔隙度处的横实线)至现在地表(横波折线)之间的地层厚度,即代表该井所剥蚀的地层厚度。

按此方法可计算三水盆地各井的剥蚀厚度和缺失地层的厚度(表2)。

根据表2资料，我们编制了整个三水盆地的剥蚀厚度图（图2）。

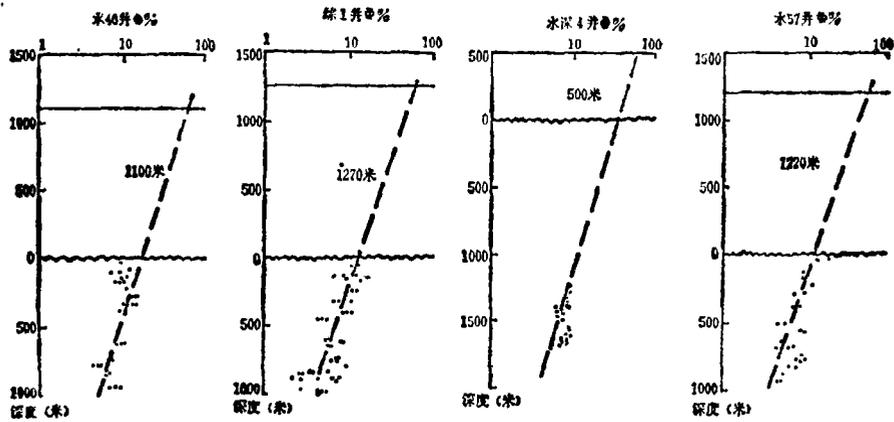


图1 三水盆地单井剥蚀厚度图

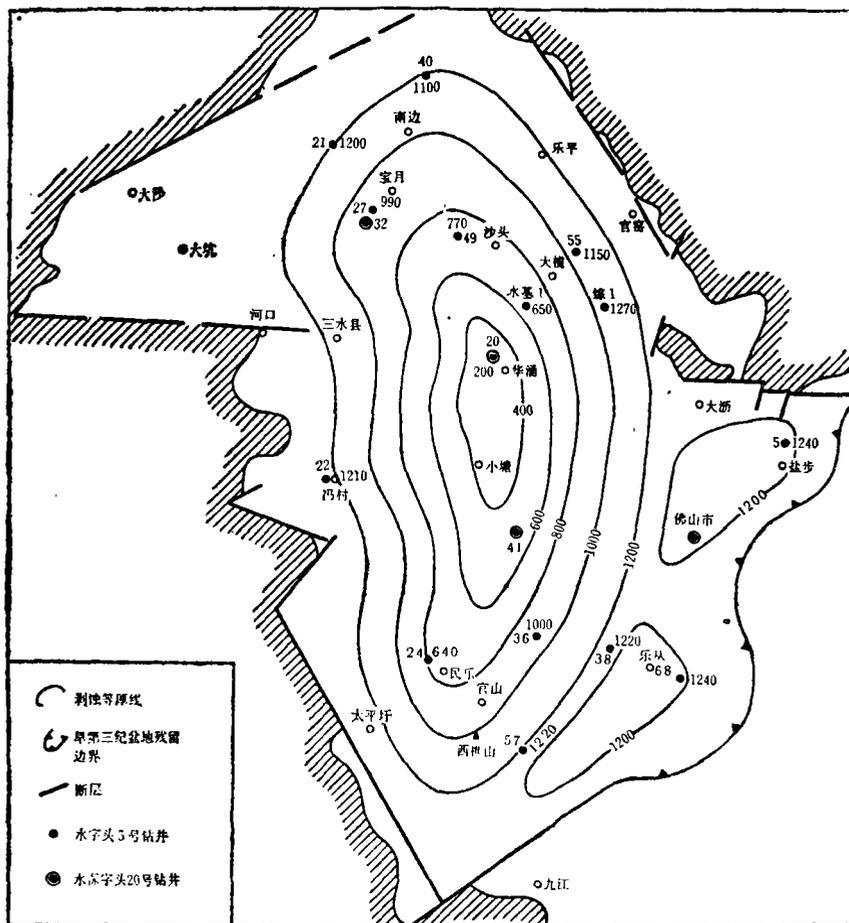


图2 三水盆地剥蚀等厚线图

三水盆地各井缺失地层厚度及计算地层剥蚀厚度图

表 2

井 号	缺失地层最大厚度 (米)	计算剥蚀地层 厚度 (米)	井 号	缺失地层最大厚度 (米)	计算剥蚀地层 厚度 (米)
水 40	1552	1100	水 5	2182	1240
水 21	1582	1200	水 22	1992	1210
水 27	1752	990	水 24	902	640
水 49	1102	770	水 36	1127	1000
水 55	2072	1150	水 38	1932	1220
综 1	1380	1270	水 68	2152	1240
水基 1	970	650	水 57	1262	1220
水深20*	92	200	水深4**	256.3	500

*水深20井由于样品深度超过2000米,可能已处于欠压实带深度,所以计算的剥蚀度偏小;

**水深4井是根据实测孔隙度与声波测井资料建立的线性关系(孔隙度—深度关系曲线)所计算的剥蚀厚度。

根据以上资料,可归纳如下两点。

(1)除水深20、水深4井外,各井的计算剥蚀地层厚度均小于缺失地层的厚度(表2)。因此,剥蚀掉的地层就是所缺失的地层,具体说三水盆地所剥蚀掉的地层主要是华涌组各段($E_{2-3}h^4$ 、 $E_{2-3}h^3$ 、 $E_{2-3}h^2$),个别井还可能剥蚀掉 $E_{2-2}h^1$ 。由此可以推测,剥蚀时间大致为华涌期末,湖盆处萎缩阶段;

(2)盆地靠近断层的四周剥蚀较剧烈,一般均为1200米,盆地中心剥蚀较轻,如水基1井仅650米。由此又可推测,华涌期沉积以后,控制盆地发育的NE、NW向两组断裂又继续活动,并表现为剧烈上升的特征。

2. 泌阳凹陷

由图3可知,泌阳凹陷也存在剥蚀。剥蚀厚度为:凹陷中心的安店为20—50米,南侧的双河为200—400米、下二门为500—600米,北部斜坡的王集为800—900米,个别达1100米。剥蚀掉的地层主要廖江组和上寺组的部分地层,另外北部斜坡上(集)也涉及到核桃园组一段的部分地层。剥蚀时间主要在廖江期末,也正是凹陷处于萎缩阶段。

3. 黄骅坳陷

根据我们实测资料及石油工业部何炳骏、张敦祥的资料,绘制了黄骅坳陷泥岩压实曲线图(图4)。从曲线总体来看,各压实曲线都基本完整,说明黄骅坳陷基本没有剥蚀或剥蚀轻微。

有一点必须证明,图4中的综合曲线(何炳骏)与我们的曲线的差别,是由于测定方法和原始孔隙度取值不同引起的。

从上述三个盆地或坳(凹)陷泥岩压实情况可以看出,我国东部晚白垩—第三纪盆地或坳(凹)陷均存在不同程度的剥蚀(表3)。另外,从盆地演化角度来说,剥蚀地层的厚度即代表盆地上升的幅度。据此,可将我国东部盆地的泥岩压实分为两种类型。即:

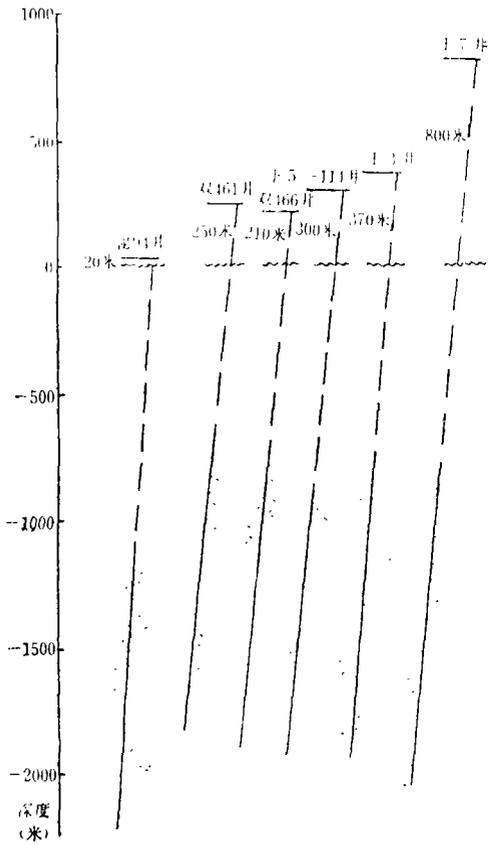


图3 泌阳凹陷各区单井剥蚀厚度图

这两种断陷盆地与陈发景、陈焕疆的分类相一致。即：（1）在大型拗折背景基础上产生的地堑、半地堑断陷盆地或裂陷盆地；（2）在大型隆折背景基础上产生的依附于断裂成生的裂陷盆地。第一类与黄骅压实型相当，第二类与三水压实型相似。

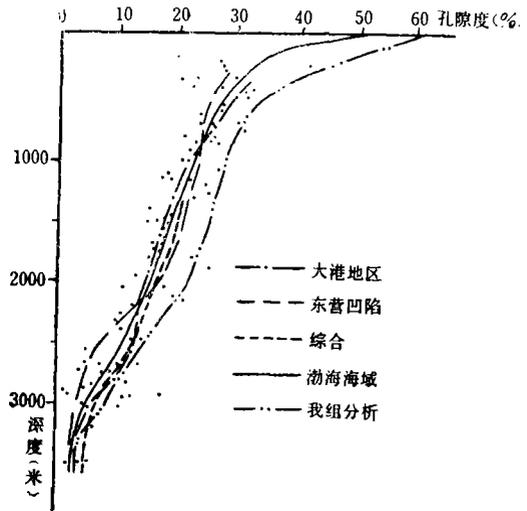


图4 黄骅拗陷泥岩压实曲线图

三水压实型：盆地发育时间短，但后期上升剥蚀强烈；

黄骅压实型：盆地发育时间长，但后期上升剥蚀微弱。

如果与地质背景联系起来，则三水压实型是一个处于长期上升的构造背景（如南岑隆起带）发生的断陷盆地，而黄骅压实型却是一个处于长期负向构造背景上发生的断陷盆地。

三水等盆地或拗(凹)陷剥蚀程度表 表3

盆地类型	三水盆地	泌阳凹陷	黄骅拗陷
剥蚀厚度	边部1300	边部约1000	轻微或少量
(米)	中心400—600	中心20—50	

泥岩压实与油气的演化和运移

油气的生成和初次运移是在生油岩中进行的，因此生油岩的成岩压实作用必然与油气的生成和初次运移有着密切的关系。

1. 与油气演化的关系

在一些严重剥蚀的盆地，由于后期上升剥蚀，地层现在的深度不能代表地层的原始深度。因此，根据现在地层深度所作的生油岩有机质演化曲线将不能反映盆地生油史。对这种类型的盆地必须进行生油岩的深度校正，将目前生油岩的深度校正到最大古埋

深，根据最大古埋深所作的有机质演化曲线，才能真正反映盆地生油史。

图5是分别以校正的深度和未校正的深度所作的三水盆地生油岩有机质演化曲线，表4是根据图5的两种演化曲线所划分的演化阶段。明显看出，虽同一盆地，但两种演化曲线划分的演化阶段截然不同，经过深度校正后的演化曲线及其划分的演化阶段，将更确切地反映了该盆地的油气演化史。

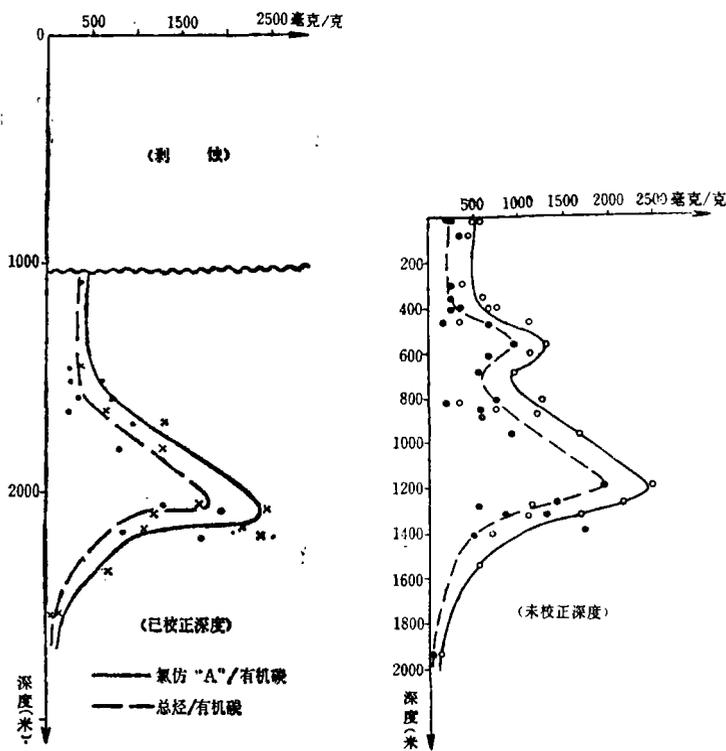


图5 三水盆地生油岩有机质演化曲线图
(据王启军及我组资料)

三水盆地生油岩有机质演化阶段表 表4

演化阶段	未深度校正*	已深度校正**
未成熟阶段	0—800米	0—1600米
成熟阶段	800—1200米	1600—2100米
成气阶段	>1200米	2100—2500米(湿气) >2500米(干气)

*据王启军资料；**据我组及十二普资料

2. 与油气初次运移的关系

从所周知，泥岩的成岩压实作用随上覆负荷的增大而增强。当达到一定深度时，如玛格拉所指出：由于排出水的体积与被压实的体积不相平衡，出现一个孔隙流体压力高于正常静水压力带，这个带叫异常压力带。这种异常压力产生了引起流体运动的剩余压力。与异常压力带相对应的是泥岩孔隙度“增高带”，这个带通常叫“欠压实带”。岩层中当某些泥岩达到压实平衡，而某些仍处于欠压实带时，这就组成了泥岩的混合压实带。泥岩混合压实带中的剩余压力为流体的移动提供了动力，因此生油门限深度下生油岩的混合压实带代表着盆

地的有利排烃带。

另外，据保厄斯（Powers, 1967）、伯斯特（Burst, 1969）等研究，在原始沉积物为蒙脱石粘土矿物的地层中，随着埋深的增加，将出现蒙脱石向伊利石转化的蒙脱石-伊利石混合层带。这种成岩转化过程中，由于层间水的排出和积体的膨胀，也产生了异常高压带，为油气的初次运移提供了动力。

我们认为，混合压实带与蒙脱石-伊利石混合层带的重合部位，将是盆地最有利的排烃带，也是油气发生初次运移的最有利深度。同时，结合埋藏史就可确定盆地油气的初次运移期。下面对三水、泌阳、黄骅三个盆地或坳(凹)陷的油气初次运移期分别进行讨论。

(1) 三水盆地

根据实测的H(深度)—ln φ(孔隙度)曲线，并考虑地层剥蚀，三水盆地各井泥岩混合压实带出现的深度：综1井为2000—2200米、水深4井为2000米、水36井为1600—1800米、水57井为1900—2000米(图1)。据此，三水盆地泥岩混合压实带的深度大致可定为1600—2200米。

另外，据49井、水基1井、水深20井、水5井、水4井和水深2井等的粘土矿物X射线衍射分析(图6)，三水盆地蒙脱石-伊利石混合层带出现深度为1000—2300米(蒙脱石带<1000米、伊利石带>2300米)。

因此，可认为在门限深度(1600米)以下两带重叠带的范围1600—2300米，是三水盆地的最有利的排烃带。同时，结合沉积史制图(图7)，便可得出三水盆地油气的初次运移期为第三纪渐新世华涌期。

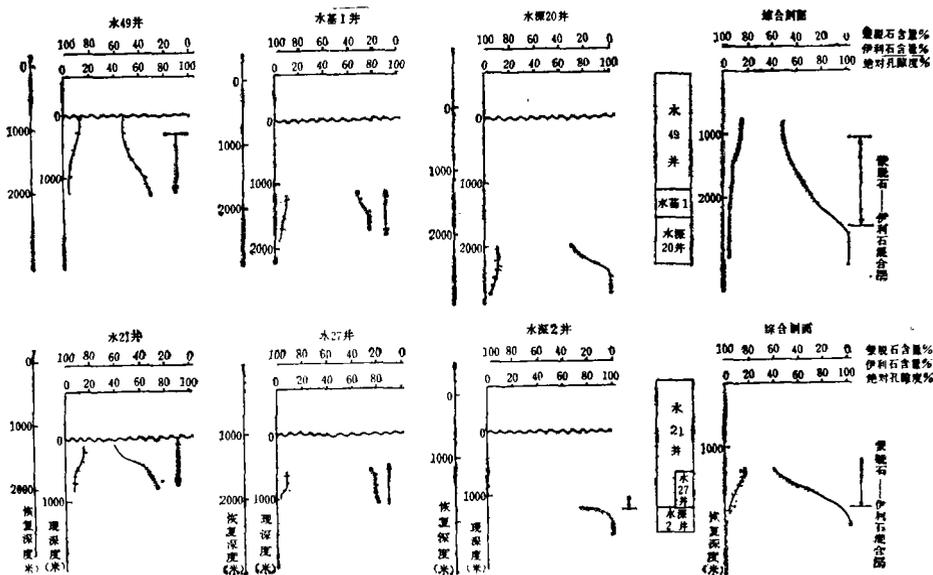


图6 三水盆地粘土矿物随深度变化曲线图

(2) 泌阳凹陷

根据声波测井资料分析，泌阳凹陷泥岩混合压实带的深度为1800—2300米。由于未做粘土矿物的X射线衍射分析，我们暂定泌阳凹的最有利排烃带深度为1800—2300米。

结合埋藏史作图（图8），初次运移期为：

核三下段：渐新世核二至核一期；

核三上段：渐新世核一至中新世上寺期。

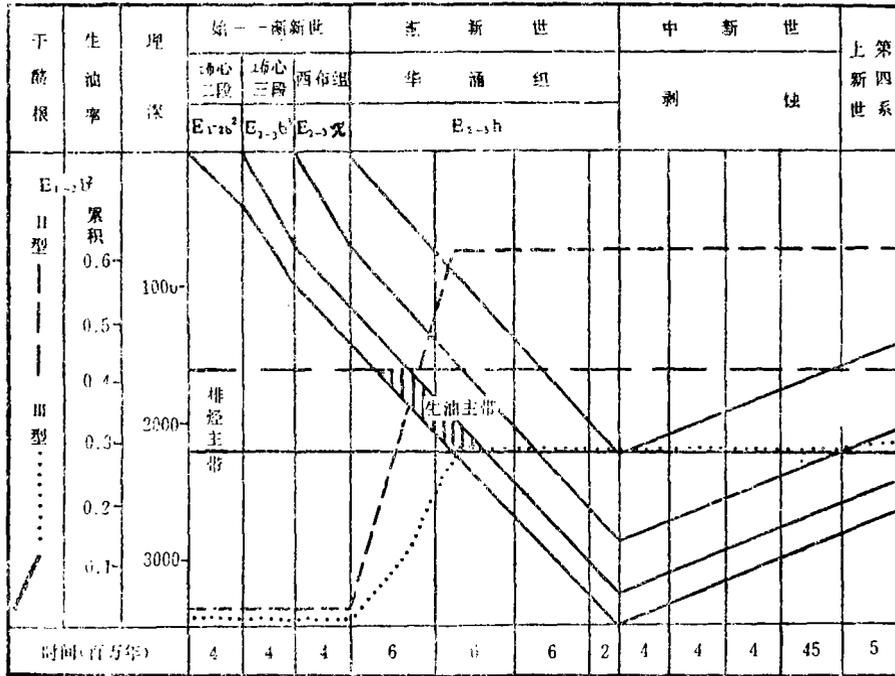


图 7 三水盆地（中心）初次运移期图

（据十二普、王启军和我组资料）

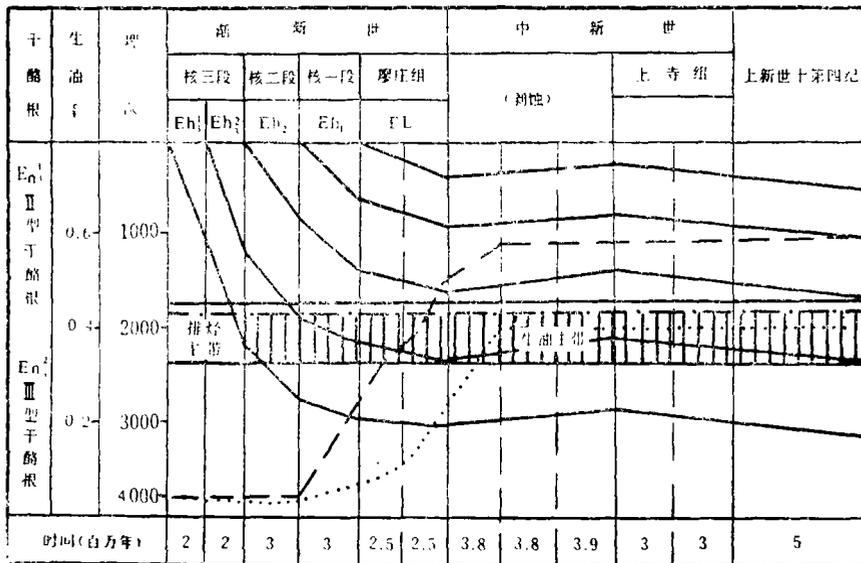


图 8 泌阳凹陷初次运移期图

（据田世澄、南阳油田及我组资料）

(3) 黄骅拗陷

这里主要研究黄骅拗陷中区的歧口凹陷。

据我室生油组和大港油田的有机地化资料，歧口凹陷主要生油带为2500—3500米。据我室田世澄、黄盛红的声波资料分析，混合压实带深度为2600—3800米。另外，据粘土矿物X射线衍射分析，蒙脱石-伊利石混合层带深度为1000—4000米。因此，可确定歧口凹陷的最有利排烃带为2600—3800米。

结合埋藏史作图(图9)，歧口凹陷主要生油岩的最有利初次运移期为：

沙三段为渐新世的沙一至东营期；

沙二段为渐新世到中新世初的东营至馆陶期；

沙一段为中新世至上新世早期的馆陶至明化期。

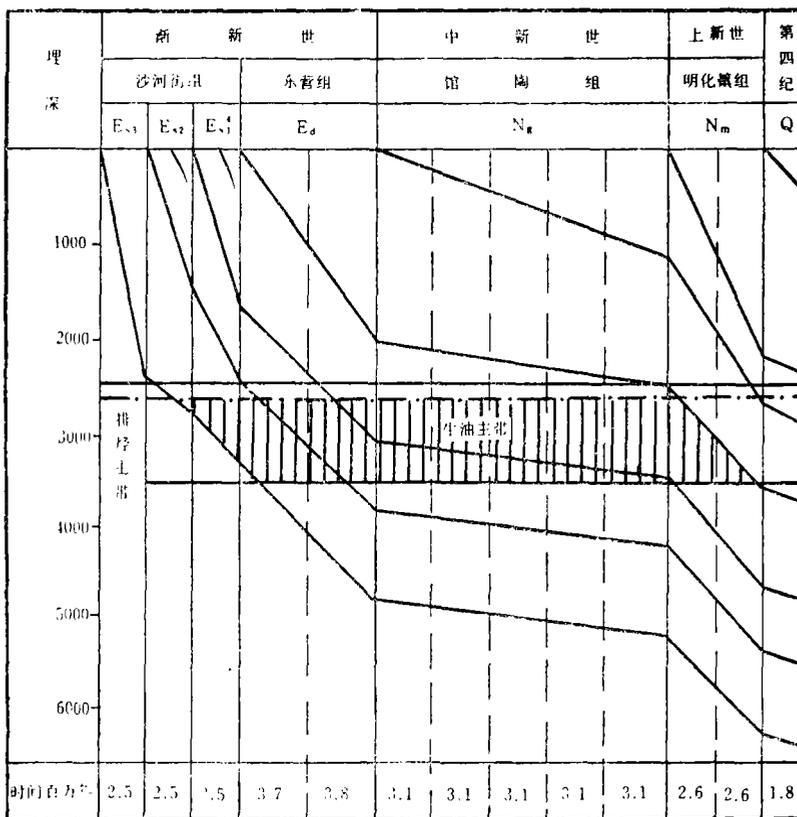


图9 黄骅歧口凹陷初次运移期图

(据大港油田、田世澄资料)

结束语

根据对我国东部中生代盆地或拗(凹)陷泥岩压实的初步研究,可归纳如下几点。

1. 利用泥岩压实曲线可以判断盆地或拗(凹)陷的剥蚀程度和计算剥蚀厚度。综上所述,我国东部中生代盆地的剥蚀程度从南往北逐步递减。即三水盆地剥蚀厚度为1300米,泌阳凹陷约1000米,到黄骅拗陷仅有轻微的剥蚀;

2. 根据泥岩压实曲线计算的剥蚀厚度, 可将我国东部中生代盆地或坳(凹)陷分为三水压实型和黄骅压实型两种类型。这两种类型即相当于陈发景、陈焕疆关于中国克拉通内(陈焕疆称中国板内)受地壳拉张作用形成的盆地的两个亚类。因此, 按板块观点将我国东部受拉张作用形成的盆地分为大型坳折背景基础上产生的断陷盆地和大型隆折背景基础上产生的断陷盆地两个亚类是可取的;

3. 对存在严重剥蚀的盆地必须根据剥蚀厚度恢复地层的最大埋深和重建生油史。例如三水盆地的生油门限, 未进行深度校正时门限深度为 800 米, 深度校正后为 1600 米, 实际剥蚀了 800 米。这就为研究三水盆地的生油岩埋藏浅而成熟度高提供了可靠的依据;

4. 根据泥岩的混合压实带和泥岩粘土矿物的蒙脱石-伊利石混合层带可以确定盆地或坳(凹)陷的最有利排烃带, 再结合盆地或坳(凹)陷的埋藏史, 进而可定出盆地或坳(凹)陷的油气初次运移期。

本课题研究是在陈发景同志的指导下完成的, 成文后又经陈发景同志的审阅和修改。同时, 课题研究中还深得地矿部第十二普查大队李杰才、李可明、唐忠取、肖玉华等同志的大力协助和帮助, 在此一并致谢!

(收稿日期: 1984年6月29日)

参 考 文 献

- [1] 真柄钦次著, 陈荷立等译, 压实与流体运动, 石油工业出版社, 1981年。
- [2] Magara, K., 1979, Thickness of Removed Sediments, Paleopore pressure, and Paleotemperature, Southwestern Part of Western Canada Basin Bull, AAPG, Vol.60, p.554—565.
- [3] 陈发景等, 我国东部中生代盆地生油岩、煤、蒸发岩的分布及其控制因素, 地球科学, 1982年第一期。
- [4] 陈发景等, 我国东部白垩纪—早第三纪蒸发岩和生油岩沉积的区域构造背景, 石油与天然气地质, 第4卷第2期, 1983年。
- [5] 陈焕疆, 中国油气盆地的构造体制和控油关系, 石油地质论文集——区域评价, 地质出版社, 1981年。
- [6] 何炳骏, 华北地区地层压实作用与油气初次运移, 石油学报, 增刊, 1981年。
- [7] 孙永福, 上海地区第四系工程地质性质与分区, 上海地质, 1980年第1期。
- [8] 田克勤等, 黄骅坳陷油气生成与初次运移的探讨, 石油学报, 第二卷第一期, 1981年。

TYPES OF CENO-MESOZOIC PETROLIFEROUS BASINS IN EASTERN CHINA, AND ITS RELATIONSHIP WITH OIL AND GAS—BASED ON THE COMPACTION OF MUDSTONE

Zhang Bopuan Cui Wulin Wang Xiuyun Yan Gao

(Wuhan College of Geology)

Abstract

Based on a large number of data of the measured porosity of mudstone, the acoustic logging, and the X-ray diffraction analysis of clay minerals, the types of Ceno-Mesozoic basins, i.e. Sanshui, Miyang, Huanghua, in eastern China, and its relationships with oil and gas are studied. The authors proposed,

1. The compaction curve of mudstone can be used to estimate the denudation and calculate the depths of denudation of a basin or depression. The study shows that the degree of the denudation of the Ceno-Mesozoic basins in eastern China is decreased gradually from south to north.

2. According to the depths of denudation calculated by the compaction curve of mudstone, the Ceno-Mesozoic basins in eastern China can be divided into seriously denuded Sanshui compaction type and slightly denuded Huanghua compaction type. These two types correspond with the two sub-types, from the plate tectonic view point, i.e. the fault-down basin developed on the basis of large-scale of depression fold, and the fault-down basin developed on the basis of large scale of uplift fold, which were formed under extension in eastern China.

3. As to the serious denudation basins, the maximum buried depth of the strata must be restored and the history of oil-generation must be reestablished according to the depth of denudation.

4. In the light of the mixed compaction zone of mudstone and montmorillonite-illite mixed layer zone of clay minerals, the favourable zone of hydrocarbon expulsion of a basin or depression can be defined. Together with the buried history of the basin or depression, the period of the primary migration of oil and gas can then be inferred.