

济阳拗陷古水文地质条件与油气移聚

杨 绪 充

(华东石油学院)

众所周知,油气的生成、运移、聚集或逸散乃至破坏等各个环节,无一不与地下水的的作用息息相关^[1],因此研究含油气盆地的古水文地质演变是很有必要的。有鉴于此,本文试图对济阳拗陷的古水文地质条件(侧重于古水动力条件)及其与油气移聚的关系作一初步探讨。

一、古水文地质作用的旋回性

从区域构造背景控制沉积、控制水文地质条件来说,地壳构造运动的旋回性导致了沉积建造的旋回性,也导致了古水文地质作用的旋回性。实践证明,应用旋回观点研究古水文地质条件是可行的^[1-5]。

所谓水文地质旋回,是指区域水文地质发展的某一特定时期,它从区域沉降和水侵开始,经过前期的沉积作用和后期的水退与隆剥作用而结束。当下次沉降和水侵来临,便是下一个水文地质旋回的开始。一个水文地质旋回通常可以分为两个阶段,即沉积水文地质阶段和渗入水文地质阶段。前者是沉积物及其中的沉积水形成的时期,后者是因隆剥而使大气水、地表水向储层不断渗入的时期。

纵观新生代济阳拗陷的构造史与沉积史,不难发现其三分性特征是相当明显的。这便是:始新世的断陷式局限河湖充填沉积及其末期的隆剥作用(济阳运动);渐新世的断拗式近海开阔湖盆沉积及其末期的隆剥作用(东营运动);中上新世—第四纪的拗陷式湖沼河流广覆沉积及准平原化作用。

根据济阳拗陷构造史与沉积史的上述三分性特征,可将本区的古水文地质作用相应地划分为三个旋回,每一个旋回又可进一步划分为两个阶段(表1)。

地层之间的不整合接触关系是隆剥作用的产物,于是不整合面便成为确定渗入水文地质阶段存在的最好标志。在本区的沉积断面中,以始新世末的济阳运动与渐新世末的东营运动导致区域性不整合较为重要,因此将这两个不整合面作为本区各水文地质旋回之间的界限是十分理想的。实际资料表明,本区的构造变动并不是均衡进行的。尤其是早第三纪,不存在全区整体抬升或整体沉降的过程,而是在块断活动控制下,当凹陷边缘、凸起以及古潜山、古隆起部位已露出水面时,深洼陷部位仍滞留水下,使隆剥作用与沉积作用同时进行。因此一个不整合面在隆剥部位十分显著,而在深洼陷部位则往往不够清晰,甚至可以是连续沉积。这就造成渗入水作用与沉积水作用有可能同时异地

表 1 济 阳 拗 陷 新 生 代 水 文 地 质 分 期 表

水 文 地 质 分 期					构造运动	水文地质旋回 与油气的关系	
旋 回		阶 段					
序号	名 称	序号	名 称	代号			
II	中上新世— 第四纪水文 地质旋回	II ₂	第四纪渗入水阶 段	Q	} 东营运动	主要成油与移聚时期油 气藏大量形成时期	
		II ₁	馆陶期—明化镇 期沉积水阶段	Ng— Nm			
I	渐新世水 文地质旋回	I ₂	东营期末渗入水 阶段	Ed末		} 济阳运动	初始成油与移聚时期 渐新统有机质大量堆积埋 藏时期
		I ₁	沙三—东营期 沉积水阶段	Es ³ — Ed			
I	始新世水 文地质旋回	I ₂	沙四末渗入水 阶段	Es ⁴ 末	} 济阳运动		始新统有机质大量堆积埋 藏时期
		I ₁	孔店期—沙四 沉积水阶段	E _k — Es ⁴			

并存，使本区的古水文地质作用复杂化。

二、古水动力作用

在沉积水文地质阶段，由于压实作用，泥岩中的沉积水被挤入相邻的储层，储层本身也会受到一定程度的压实，因此沉积水将不断地沿着储层向外排驱、输导，进行沉积水的交替作用。在渗入水文地质阶段，渗入水将逐渐取代储层中的沉积水，对沉积水进行交替作用。后次水文地质旋回除本身进行着与上述类似的交替作用外，还对先次旋回产生影响。在后次旋回的沉积阶段，先次旋回储层中的水可被泥岩因进一步压实而挤出的沉积水所置换，产生沉积水的交替；而后次旋回的渗入阶段又会造成新的渗入水对先次旋回储层中水的再次交替。总之，沉积水文地质阶段产生沉积水交替作用，渗入水文地质阶段产生渗入水交替作用。如果把每一阶段的水交替作用称为一期，本区有三个水文地质旋回，则始新统储层中的水交替作用共有六期，渐新统共有四期，中上新统共有二期。由此可见本区的古水动力作用是频繁的。

沉积水交替作用的动力主要来自地静压力差。沉积水总是由沉积厚、地静压力大的凹陷中心（最大承压区）向沉积薄、地静压力低的凹陷周缘（低承压区或最小承压区）流动、排驱。在储层的露头处或有开启性断层与地表连通处则形成泄水区（点）。

早第三纪本区处于断裂作用控制下，具有强烈的分割性，各凹陷构成了相对独立的沉积体系，其间的凸起部分基本上无沉积（边部有超覆层）。因此可以认为本区始新统和渐新统两套储层的水交替作用在各凹陷基本上是自成体系的，相互影响不大。其沉积水运动的基本方向是由各凹陷中心指向凹陷边缘和凸起，同时也指向凹陷内部的古潜山、古隆起等古地形高部位，在平面上大致呈离心状，如图1中箭头所示。但这种离心流并不对称，因为凹陷中沉积水的最大承压区并不居于凹陷正中，而是偏向凹陷的北侧，与凹陷北界断裂带大致平行，最小承压区位于凹陷北界断裂带靠近凸起一侧，与最大承压区相毗邻。这便使各凹陷的北带成为地静压力的急剧变化带，也是沉积水交替最活跃的地带。此种特征显然是因各凹陷具有“北断南超”的箕状断陷构造背景所致。

晚第三纪本区进入整体拗陷时期, 沉积物遍及所有凹陷和凸起区, 故中上新统储层具有全区统一的水动力体系。这时凸起上虽有中上新统沉积, 但薄于凹陷区。其沉积水运动除部分指向凸起外, 主要是指向拗陷周围的隆起区, 即南部的鲁西隆起和北部的埕宁隆起(图2)。

渗入水交替作用的动力主要来自供水区与泄水区之间的水位差(即势差), 其交替强度还与储层的渗透性及连通性密切相关。当供、泄水区之间的势差较大, 且储层的渗透性、连通性良好时, 渗入水就比较活跃; 反之则不活跃。渗入水总是由高势区流向低势区, 但在确定某一凹陷渗入水的具体流向时还应具体分析。渗入水在盆地中的流向可有向心流、穿越流或不规则流等多种不同形式。

本区始新世末和渐新世末的两期渗入水交替作用仍以各凹陷为基本单元。水的流向大致是由凸起区和凹陷边缘受到剥蚀的储层露头区向着凹陷内部, 然后沿开启性断层泄出。同时也可能在古隆起或潜山坡覆构造的隆起部位和受到剥蚀的部位泄出。考虑到箕状断陷的构造背景, 推测各凹陷的北带亦是渗入水交替的活跃地带。因为北部凸起具有较高的古地势, 且北界断裂带又可作为渗入水的良好通道。

本区最末一期渗入水作用是第四纪至现代进行的。就总的地势变化和地层倾斜状况判断, 渗入水基本上是由拗陷的南部边缘和鲁西隆起区向北、东的渤海湾方向运移。渗入水来自大气降水、地表水和第四系潜水。由于馆陶—明化镇组的沉积范围远超过其下伏的所有下第三系, 后者被前者严密地盖住, 无露头出露, 故推测第四纪渗入期的渗入水对其下伏的下第三系储层影响甚微, 可能仅对各凹陷边缘有所影响。

三、水交替次数估算

地层水交替、更迭的次数可作为水交替的强度指标(考虑到时间因素), 因为它反映了地层水的活跃程度。当具备区域地质、地球化学及沉积压实等资料时, 便可在区域古水文地质研究的基础上着手进行水交替次数的估算。

(一) 沉积水交替次数

本文估算的沉积水交替次数指储层孔隙中的水被泥岩因压实而挤出的水更换的次数, 它等于泥岩中挤出水体积与储层孔隙体积之比。

因济阳拗陷的主要生油层和储集层多集中在下第三系沙河街组一、二、三段, 故本文只对沙河街组进行沉积水交替次数的估算。估算时的原始数据、各步骤所用具体算式以及估算的结果均列于表2中, 各栏目的顺序即运算顺序(可照此编排程序上机完成)。此外, 对估算需要作如下说明:

1. 本文是将沙河街组(除沙四段, 以下同)作为一个估算单元处理的, 即认为沙河街组是一个独立的挤出一排替系统, 其泥岩挤出水未进入上下相邻层位, 储层亦未接受来自上下相邻层位的挤出水。考虑到本区以砂泥岩互层沉积为主, 水的穿层流动比较困难(开启断层除外), 为简化计算, 这一处理基本上是允许的。

2. 为了配合各水文地质旋回的研究, 一般应按各旋回估算交替次数; 但在研究沉积水交替与油气的关系时, 则按主力生油层有机质成熟前后估算更好。成熟前的交替与油

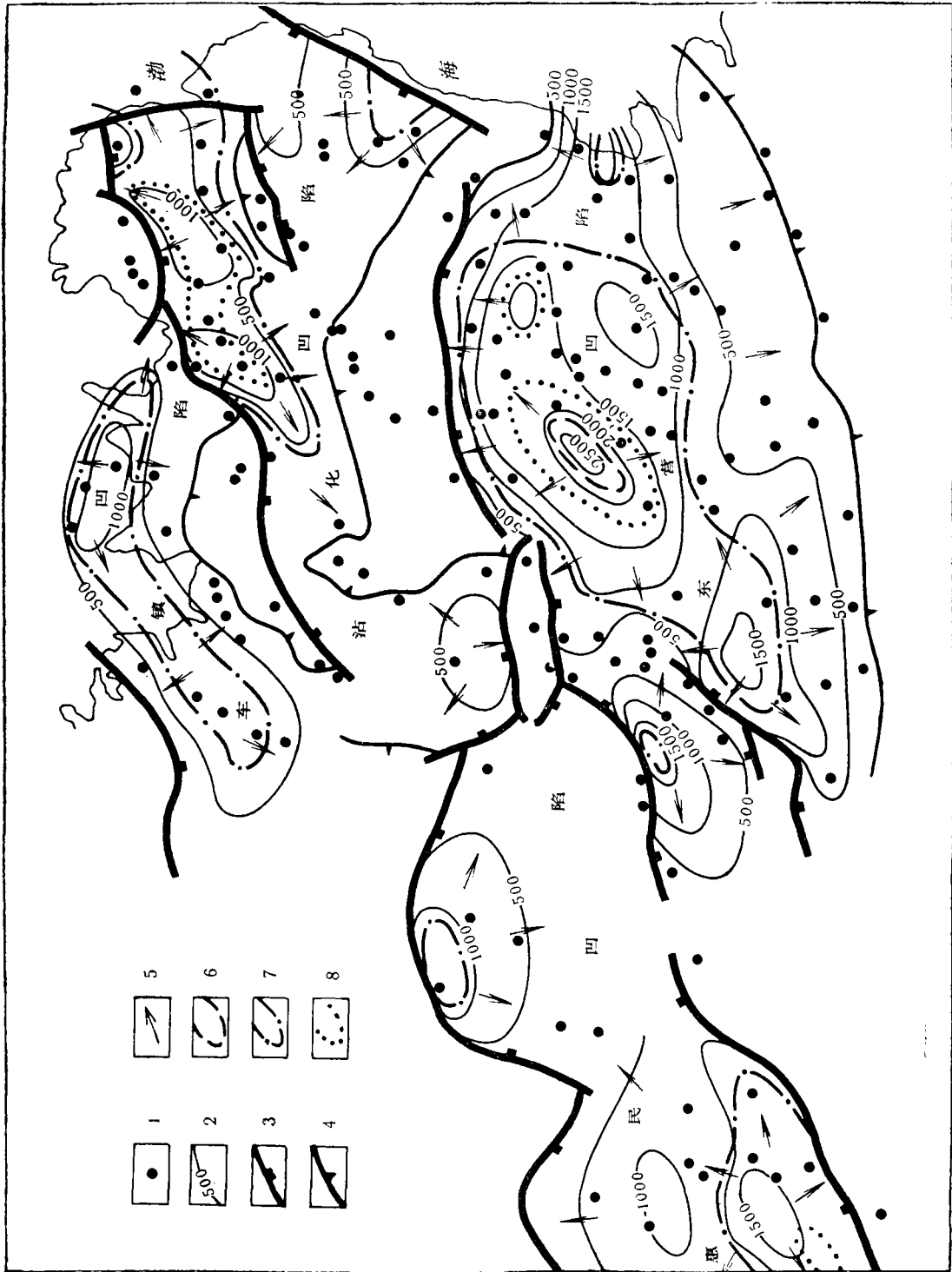


图1 济阳拗陷沙河街组（除沙四段）沉积水古水动力及有机质演化状况图

1.控制井点 2.沙河街组等厚线(米) 3.断层 4.尖灭线 5.沙河街组沉积水运动方向 6.东营期末沙三段中部生油岩成熟范围 7.明化镇期末沙三段中部生油岩成熟范围 8.明化镇期末沙三段中部生油高峰范围

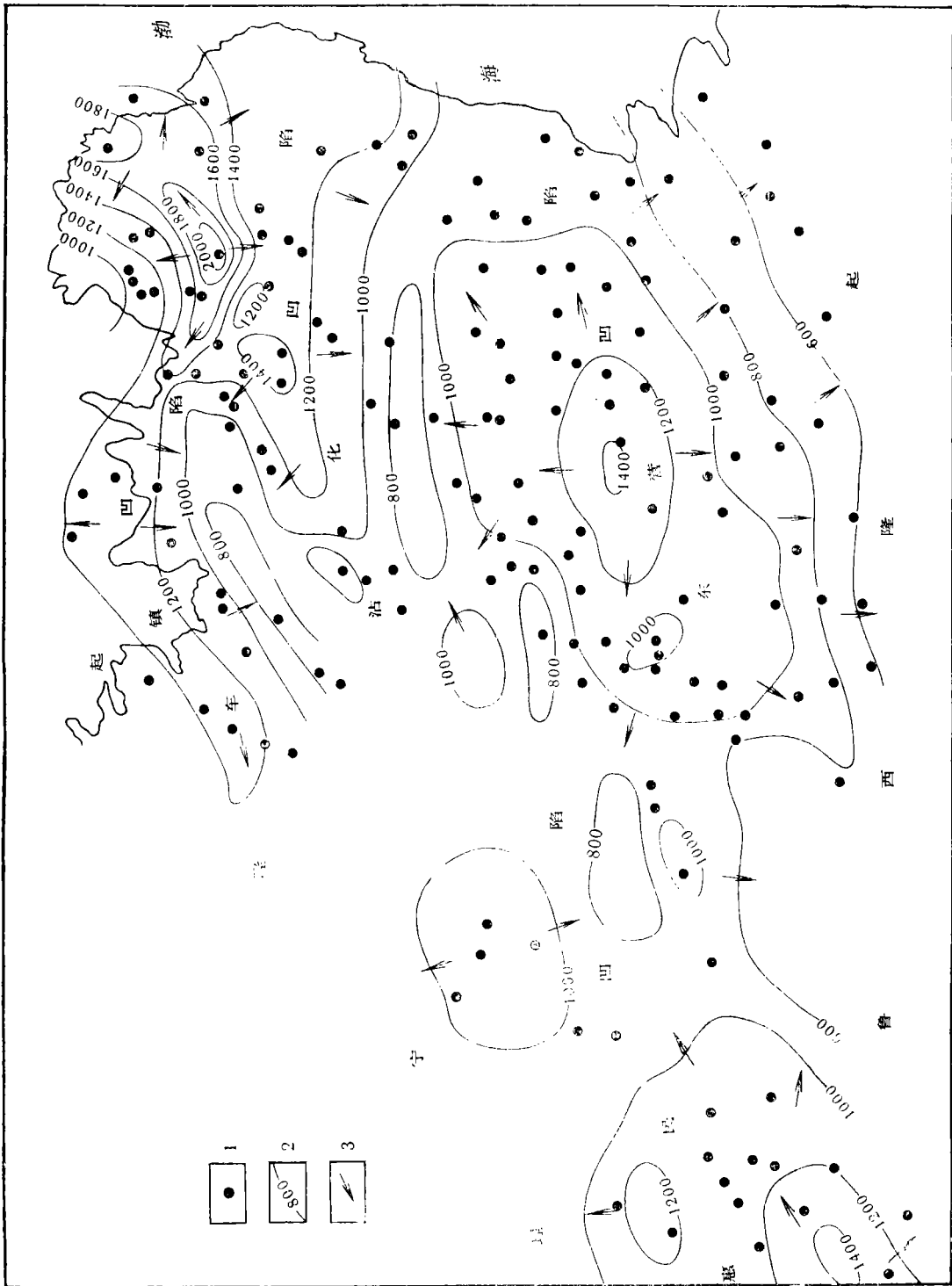


图2 济阳拗陷馆陶—明化镇组沉积及含水层古水动力图

1.控制井点 2.馆陶—明化镇组等厚线(米) 3.沉积水运动方向

表 2 济阳拗陷下第三系沙河街组一至三段 (Es¹⁻³) 沉积水交替次数估算总表

凹陷名称	Es ¹⁻³ 目前平均厚度 (米)		泥岩目前平均厚度 (米)		Es ¹⁻³ 中部平均埋深 (米)		Es ¹⁻³ 中部孔隙度 (按 h _m 、h _p 由图 3 相应曲线查得)			泥岩原始厚度 (米)		Es ³ 成熟时储层厚度 (米)		
	Es ¹⁻³ 目前平均厚度 (米)	h _{ps}	h _{pr}	Es ³ 成熟时		h _p	Es ³ 成熟时	m _{ps}	m _{ms}	m _{ps}	m _{pr}	h _{os}	h _{ps}	h _{pr}
				目前	h _p									
东营	850	650	200	1950	2600	53	16.8	6.0	25.2	19.6	1300.0	215.0	149.0	
沾化	730	590	140	2050	2800	53	15.1	4.3	23.9	19.0	1201.3	144.6	128.1	
惠民	665	525	140	2060	2350	53	15.0	10.4	23.8	21.3	1000.9	144.6	128.1	
车镇	600	475	125	2070	2500	53	14.9	11.4	23.7	21.8	895.4	144.6	128.1	

凹陷面积 (公里 ²)	S	泥岩原始体积 (公里 ³)		储层体积 (公里 ³)		泥岩中挤出水体积 (公里 ³)		储层孔隙体积 (公里 ³)		沉积水交替次数	
		V _{os} = S · h _{os}	V _{pr} = S · h _{pr}	V _{mr} = S · h _{mr}	V _{pr} = S · h _{pr}	Es ³ 成熟前	Es ³ 成熟后	Es ³ 成熟前	Es ³ 成熟后	Es ³ 成熟前	Es ³ 成熟后
5700	7410.0	1225.5	1140.0	10.8	2682.4	510.6	308.8	223.4	8.9	2.29	10.98
2800	3363.6	417.2	392.0	10.8	1274.8	225.6	99.7	74.5	12.79	3.03	15.82
6500	6505.9	939.9	910.0	4.6	2472.2	185.6	223.7	193.8	11.05	0.96	12.01
2100	1880.3	269.0	262.5	3.5	716.4	40.7	63.8	57.2	11.23	0.71	11.94

气无关,成熟后的交替则直接决定生油层中烃类的排出程度。本区主力生油层为沙三段,其成熟门限深度为2200米,故将沙三段小于和大于此深度时沙河街组沉积水的交替次数分开估算。

3.估算过程中需要用到的泥岩、砂岩孔隙度与深度的关系曲线见图3¹⁾、[6.7.8],其中泥岩曲线为济阳拗陷资料,砂岩曲线为渤海湾盆地资料。济阳拗陷沙河街组储层中尚有少量生物灰岩、针孔灰岩、礁灰岩及白云岩等,因数量有限,对整个估算影响不大,故未列入。

4.估算时只考虑了泥岩挤出水对储层孔隙水的交替,未考虑储层因压实孔隙体积减小而导致的自身孔隙水的排替。这主要是因为前者与油气初次运移(即泥岩排烃)有关,后者与其无关;另一方面也是为了简化估算工作。当然,储层孔隙水自身的排替作用对油气二次运移是有一定影响的,但砂岩储层的压实率较小,所以影响不大。

5.估算时假设沉积物已达到了压实平衡状态,即不存在异常高压现象和欠压实岩层。但实际资料表明本估算单元的部分地层是存在异常高压现象的,也即并未完全达到压实平衡状态,因此估算结果会有一定误差。

由表2可知,本区各凹陷沙河街组沉积水的总交替次数为10.98至15.82次。对于内陆小型断陷盆地来说,这样的沉积水交替强度是相当可观的,表明沙河街组沉积水的作用是比较活跃的。

(二) 渗入水交替次数

渗入水交替次数指储层孔隙中的水被渗入水更换的次数,它与渗入水的活跃程度及渗入时间的长短等直接相关。

限于资料和研究程度,目前估算本区的渗入水交替次数尚有一定困难,这里仅作一初步尝试。估算时考虑了以下几点:

- 1.仍以沙一至三段为一估算单元,并对各凹陷分别进行估算。
- 2.沙四未渗入阶段本估算单元尚未形成,故与本估算无关。东营期末的渗入阶段约为3百万年,第四纪约为2百万年,故渗入阶段持续时间共约5百万年。
- 3.关于古渗入水的流速,可按相似原理借用现代自流盆地的资料。经分析对比,考虑到本区小型陆相盆地,渗入水流速较低,故取0.01米/年^[4]。

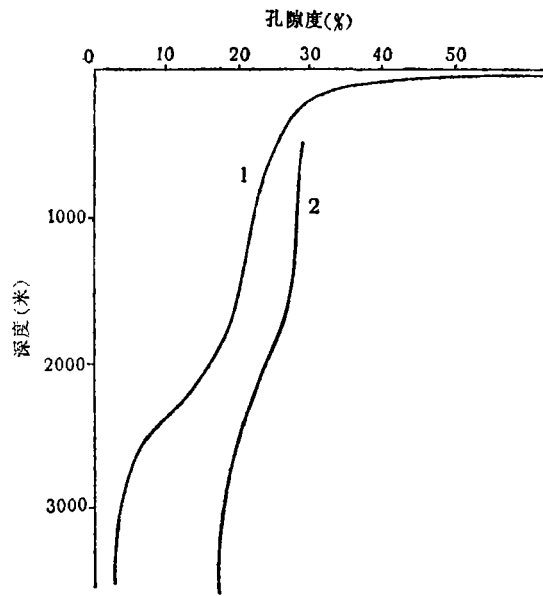


图3 泥岩压实曲线

1.泥岩 2.砂岩

1) 张教祥, 1979, 东营凹陷泥岩压实实验——油气初次运移的初步探讨。胜利油田探勘开发研究报告集, 第5集。

根据上述渗流速度及各凹陷的面积（见表 2），可估算出渗入水自凹陷边缘流至泄水区所需的时间，然后根据渗入阶段持续的时间便可估算出渗入水交替的次数。这样估算的结果，当设想渗入水交替的方式为穿越流或向心流时，各凹陷的渗入水交替次数均不超过 2 次。与本区沉积水交替次数相比，渗入水交替次数是很小的，这表明本区的渗入水是不活跃的。

应当指出，在自然界中，无论是沉积水或渗入水的交替都是十分复杂的，水的推进绝不是“活塞式”的。对本区而言，一方面陆相沉积的非均质性十分明显，另一方面开启性断层亦会沟通上下邻层，使地层水产生纵向运动（例如本区东营组、馆陶组的次生油藏的形成可能与地层水的这种纵向运动有关）。因此水交替次数只能是一种近似的估算结果，不过这种近似的半定量估算较之传统的定性概念来说毕竟还是向前迈进了一步。

四、古水动力作用下的油气移聚

根据对济阳拗陷的上述分析和结算，可帮助我们从古水文地质作用，尤其是古水动力作用的角度来认识本区的含油气远景以及油气移聚的时期、方向和规模等问题。

1. 油气的生成、运移、聚集和保存等与沉积水文地质阶段有关，而渗入水文地质阶段则导致油气的再运移、再聚集以及氧化、破坏、散失等。因此沉积水与渗入水交替次数的多少便成为评价区域含油气远景的重要指标之一。此外，还可将沉积水与渗入水作用持续时间之比作为另一与古水动力作用有关的评价指标，称沉积渗入时间比。本区沙一至三段沉积水作用持续时间约为 35 百万年，渗入水作用持续时间约为 5 百万年，故沉积渗入时间比为 $35/5 = 7$ 。

当沉积水交替次数和沉积渗入时间比愈大，渗入水交替次数愈小，则区域含油气远景愈好。

现将我国目前已作过初步研究的几个地区的数据 [5] 列于表 3。可知济阳拗陷的各项指标均优于四川和苏北，故其远景是不言而喻的。

表 3 按古水动力条件进行的远景评价对比表

地 区	层 位	水 交 替 次 数		沉积渗入时间比
		沉 积 水	渗 入 水	
四 川 盆 地	二 叠 系	1—4	32—187	2
苏 北 盆 地 泰 州 地 区		4.38—8.72 (阜宁—戴南组)	16—28 (阜宁组—盐城群下段)	5 (泰州组—盐城群下段)
济 阳 拗 陷	沙—沙三段	10.98—15.82	< 2	7

济阳拗陷生、储、盖组合配套良好，有机质成熟和生油高峰时期正是蒙脱石转化为伊利石而释放出大量吸附水和晶格层间水的泥岩压实剧变时期 [6, 7, 8]，同时也出现了有利于排烃的高异常地层压力，因此可认为油气一边生成即一边向储层进行初次运移。

进入储层的油气受压实水流的水动力和浮力的作用一边进行二次运移，一边也就在适宜的圈闭中聚集起来（水则继续排替）。这样，本区的油气生成、运移和聚集过程总的说来基本上是同步进行的。这一过程从东营期后期便已开始。但当时本区主力生油层沙三段埋深不甚大，地温不够高，虽已进入生油门限，而油气生成和移聚的规模尚小，处于油气移聚的初始阶段（表1）。东营期末的地壳抬升和渗入水淋滤作用会对油气的生成和移聚带来一定的不利影响，特别是始新统的油气。渐新统（包括沙三段）当时只在个别深洼陷（例如利津洼陷）中心开始有小规模的油气生成和移聚作用，凹陷边缘渗入水的影响是有限的（图1）。然而东营运动形成的大量圈闭却为尔后生成、运移的油气提供了良好的聚集场所。

本区油气的大量生成、移聚是在上第三纪至第四纪水文地质旋回进行的〔9〕。随着主力生油层埋深增加，地温提高，有机质成熟度不断增大，除车镇凹陷外，其余三个凹陷在这一时期均相继达到生油高峰（图1）〔8〕。活跃的沉积水导致了本区油气大规模移聚和油气藏大量形成时期的到来（表1）。

3.区内渗入水的作用比较微弱，油气移聚与沉积水的行踪较为密切，各凹陷沉积水的流向多呈不对称离心状，故油气移聚的总方向是由凹（洼）陷中心的沉积水最大承压区指向边缘的最小承压区。各凹（洼）陷的北带是沉积水最活跃的地区，亦是油气移聚最有利的地区。凹陷内的古隆起、古潜山及披复背斜、滚动背斜等是沉积水低承压区，无疑是油气藏形成的重要部位。而凹陷间的凸起作为沉积水运动的最终指向和泄水区，只要有适宜的圈闭条件，亦可成为油气聚集的场所，因此凸起（特别是凸起的边缘）并不是勘探的禁区。

总之，沉积水的离心流导致了油气围绕各凹（洼）陷中心呈环状聚集分布，这一规律随着勘探工作的深入进行已越来越清楚地表现了出来。

4.油气移聚的规模与油气生成的规模有关，而后者又与有机质演化的程度有关，因此可根据演化程度〔9〕绘出主力生油层有机质成熟和进入生油高峰的范围（图1）。由图可知车镇凹陷目前尚未达到生油高峰期，惠民凹陷只在其中的临邑洼陷的小范围内进入了生油高峰期，东营、沾化凹陷已有相当广大的生油高峰区。故东营、沾化凹陷的油气移聚规模当居本区领先地位。迄今的勘探实践业已证明，本区较大的油气田和日产千吨以上的高产井均位于生油高峰区或其附近，这绝非偶然。

油气移聚规模的大小还与有机质成熟后沉积水交替次数（ N_{da} ）及泥岩挤出水体积（ V_{aw} ）有关（表2）。如果地化成果能提供水中烃类的含量及其变化情况，便可根据表2中的有机质成熟后泥岩挤出水体积大致上得知排烃量（即初次运移量）的顺序。就表2的估算结果来看，有机质成熟后泥岩生油层挤出水体积的大小以东营凹陷居首位，其次为沾化凹陷，然后是惠民、车镇凹陷。若设各凹陷挤出水中烃浓度大致相当，则上述顺序即为各凹陷排烃量大小的顺序，在一定程度上这也反映了油气移聚规模和含油气远景的顺序。

（收稿日期：1985年2月14日）

参 考 文 献

- [1] Карцев, А.А., 1969, Палеогидрогеология. Москва, Недра.
- [2] Ходжакулиев, Я.А., 1976, Гидрогеологические Закономерности Формирования и Размещения Скоплений Газа и Нефти. Москва.
- [3] Сухарев, Г.М., 1979, Гидрогеология Нефтяных и Газовых Месторождений. Недра.
- [4] 刘方槐, 古水文地质研究方法及其在四川地区的应用, 天然气勘探与开发, 1982年第2期。
- [5] 龚与颀, 泰州地区古水文地质条件与油气, 石油与天然气地质, 1983年第1期。
- [6] 何炳俊, 华北地区地层压实作用与油、气初次运移, 石油学报, 1981年增刊。
- [7] 王尚文等, 中国石油地质学, 石油工业出版社, 1983年。
- [8] 杨绪充, 用剩碳率法探讨东营凹陷有机质演化史, 石油与天然气地质, 第5卷第1期, 1984年。

THE PALEOHYDROGEOLOGICAL CONDITION AND THE MIGRATION—ACCUMULATION OF OIL AND GAS IN JIYANG DEPRESSION

Yang Xuchong

(Huadong College of Petroleum)

Abstract

The paleohydrogeological condition and its relationship to the migration and accumulation of oil and gas in Jiyang Depression are studied with the cyclic standpoints. Depending on the hydrogeological cycles, the Cenozoic (K_2) in this area can be divided into Eocene (E_2), Oligocene (E_3) and Nogene(N)—Quaternary(Q). Each cycle can be divided into two hydrogeological stages of sedimentation and seeping. The water-exchanges of Shahejie Formation (except E_5^4) are evaluated. The result shows the activity of deposition water is far exceeded than that of seeping water. This condition is quite favourable for migration, accumulation and preservation of oil/gas. The prospects of oil and gas in this area are evaluated in accordance to the paleohydrodynamic effects, and the time, trend and size of migration and accumulation of oil/gas are discussed as well.