

东营凹陷地下水动力场的形成与演化

楼章华¹ 朱 蓉¹ 金爱民¹ 武恒志² 郑和荣² 王 宁²

(1. 浙江大学水利与海洋工程学系 杭州 310028; 2. 胜利石油管理局 山东东营 257000)

摘 要 沉积盆地地下水动力场的理想模式可以归纳为对称型和不对称型两种,其中局部地下水动力单元可以划分为泥岩压榨水离心流、大气水下渗向心流、越流、越流-蒸发泄水和滞流 4 种类型。地下水动力场的演化具有旋回性,每个旋回可以分为两个阶段:盆地沉降沉积时期的泥岩压榨水离心流阶段和盆地抬升剥蚀时期的大气水下渗向心流阶段。随沉积盆地的形成与演化,水动力场也有形成、发展和消亡的过程。东营凹陷地下水动力场在平面上呈对称性:总体上大气水由凹陷边缘向凹陷中心渗入,凹陷内部各洼陷为压榨水形成的离心流区,凹陷边缘南部斜坡带和北部断阶带以及凹陷内部中央断裂带为越流泄水区。纵向上,局部水动力单元强度及演化规律与地层的埋藏深度有关。随着埋藏深度的增加,水动力单元强度逐渐减弱。

关键词 东营凹陷 流体动力场 局部水动力单元 水文地质旋回

含油气沉积盆地地下水动力学是涉及水文地质学和石油地质学的交叉学科。自 20 世纪 80 年代末以来,国内外学者开展了一系列卓有成效的研究工作,如 Chapman (1982), Toth (1987), Berg et al. (1994) 在重力作用下的地下水流动模式方面做了大量的研究工作,杨绪充 (1989) 总结了沉积盆地地下水动力场的基本特征,地质矿产部水文地质工程地质研究所 (1987) 和刘方槐等 (1991) 分别对含油气沉积盆地的油田水文地质学和水文地球化学作了详细的研究。90 年代后,有关沉积盆地流体动力学的研究不断得到重视与发展,并且从盆地流体历史分析的角度进行了新的探索 (楼章华等, 1998, 2001)。流体动力史的核心是水动力史,它是盆地演化过程中各个地质历史时期的气候、水文网 (沈照理等, 1985)、沉积环境、构造运动、深部热流及其演化在孔隙流体中的综合反映。本文以东营凹陷为例,探讨含油气沉积盆地地下水动力场的形成与演化规律,在总结沉积盆地地下水动力场模式的基础上,对东营凹陷地下水动力场的形成、演化进行初步的分析。

1 地质背景

东营凹陷位于华北平原东部渤海之滨的山东省东营市和滨州市境内,是渤海湾裂谷系内的一个开阔型中-新生代断拗复合盆地 (图 1),四周为凸 (隆) 起环绕,面积 5 700 km²。早第三纪时,在侏罗-白垩纪断陷的基础上发育了宽缓的北断南超的箕状盆地,北以陈南断裂与陈家庄凸起、滨县凸起为界,南面超覆在鲁西隆起和广饶凸起上,东、西分别为青坨子凸起与林樊家构造—青城凸起;晚第三纪-第四纪为拗陷沉积,属于华北近海拗陷盆地的一部分。

楼章华,男,1963 年 7 月生,教授,石油地质和沉积学专业。

2001 - 04 - 06 收稿,2002 - 04 - 05 第二次改回。

地质科学研究院东昌惠勘探研究室. 1994. 东营凹陷构造研究.

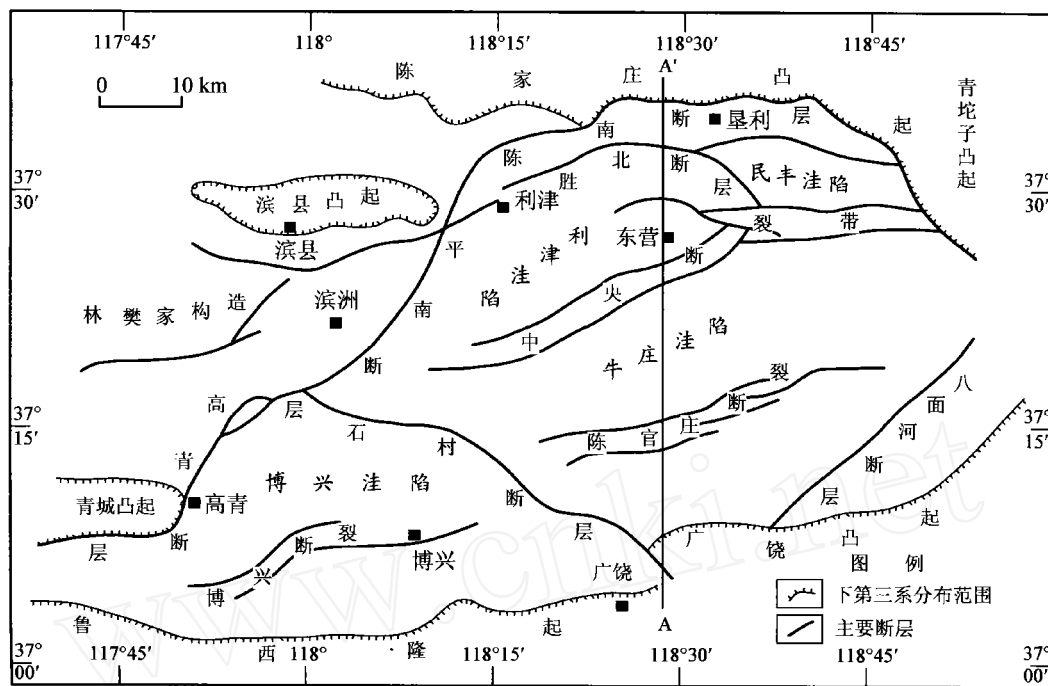


图1 东营凹陷的主要次级构造单元 (据胜利油田地质科学研究院)

Fig. 1 Main sub-order tectonic units of the Dongying Depression

东营凹陷在沙河街组三段沉积以前以石村断层为界,其西南部为博兴洼陷,其北为东营北部洼陷。沙河街组四段沉积以后,随着中央断裂带的产生与发展,北部洼陷被分隔成三个次级洼陷:利津洼陷、牛庄洼陷和民丰洼陷,在沙河街组三段沉积时分隔性最为明显(图2)。它们与博兴洼陷一起,构成东营凹陷中的4个生油中心。

东营凹陷沉积的环境为湖泊—三角洲体系,相带呈环状分布,砂、泥比往各洼陷中心方向降低;湖相泥岩主要分布在洼陷区内。沉积环境及其演化决定了不同岩性地层单元在三维空间上的组合关系,也决定了水动力场的基本格局。

2 现今地下水动力场特征

东营凹陷中央的洼陷区湖相泥岩厚度大,孔隙水含量高,随着埋藏和压实作用,发育异常高压,在洼陷中心形成压力系数、水头的相对高值区,发育离心流。压力系数及水头沿离心流方向减小。凹陷边缘重力诱导形成大气水下渗向心流区,孔隙水供、排基本平衡,以正常地层压力为主(图3)。

在研究运移动力、运移通道、供水方式与供水区、泄水方式与泄水区的基础上,结合油田水化学场和地层压力场,就可以建立起东营凹陷地下水动力场模式。含油气沉积盆地地下水动力场的理想模式可以归纳为两种,即对称型和不对称型(图4)。东营凹陷属对称型。

凹陷边缘大气水下渗补给形成向心流,中央的洼陷区泥岩压榨水形成离心流,中间

过渡区为越流-蒸发泄水(图 5)。

东营凹陷边缘大气水下渗向心流区以大气水淡化作用为主,整体上具有低矿化度和低离子浓度的特点。在向心流的流动方向上,矿化度、 Cl^- 和 Na^+ 浓度分别由 20 g/l、10 g/l 和 8 g/l 增加至 60 g/l、30 g/l 和 24 g/l。泥岩压榨水离心流区以沉积埋藏水和内生水为主,泥岩压实排出水具有低 Cl^- 、 Na^+ 浓度和低矿化度的特点。且在离心流过程中, Na^+ 、 Cl^- 浓度和矿化度由洼陷中心的 6 g/l、8 g/l 和 15 g/l 增加至 24 g/l、45 g/l 和 80 g/l,从而在各洼陷中心形成 Na^+ 、 Cl^- 和矿化度的相对低值区。凹陷边缘南部斜坡和北部断阶带以及凹陷内部中央断裂带为越流-蒸发泄水区,矿化度可达 140 ~ 180 g/l,具有明显的高矿化度和高离子浓度的特点。

3 地下水动力场的形成与演化

地下水的补给源包括(地质矿产部水文地质工程地质研究所,1987):内补给源,即泥岩压实排水补给;外补给源,即大气水下渗补给。泥岩压实排出水是沉积盆地水动力场演化过程中重要的孔隙水来源,在很大程度上决定了沉积盆地水动力场的形成与演化。目前人们(刘方槐等,1991)广泛采用压出水水头、沉积水动力和水交替强度来研究古水动力场的形成与演化。外补给源的强度、影响范围及其演化规律,主要依靠恢复沉积—构造史、古气候史和古地貌史并结合水化学场、现今水动力场的分布和水文地质旋回的划分,分析大气水的下渗规律和影响强度、范围(焦大庆等,1998)。

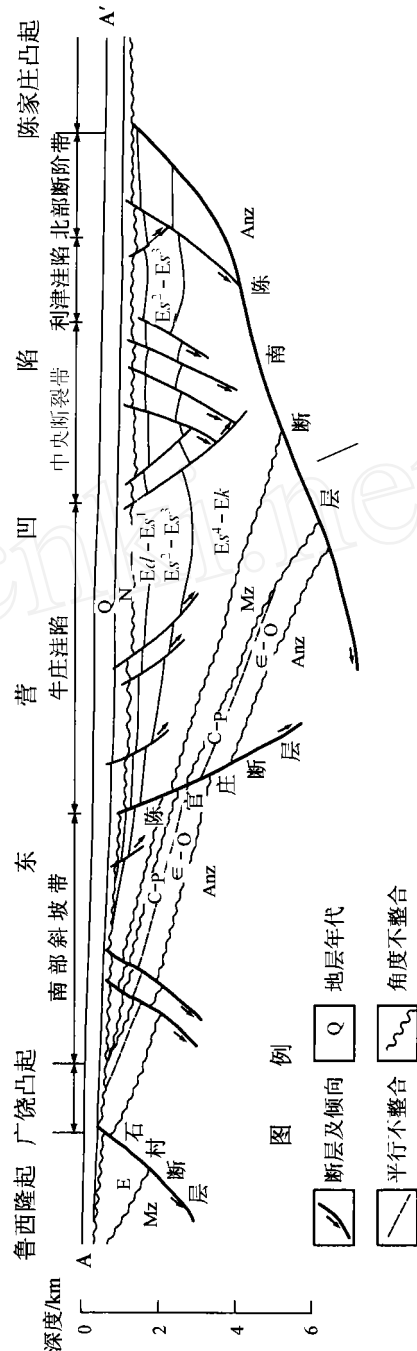


图2 东营凹陷A-A'线地质剖面图(据胜利油田地质科学研究院)
E₄ 东营组; E₃ 沙河街组(1、2、3和4分别示一段、二段、三段和四段); E₂ 孔店组

Fig. 2 A geological profile section along A-a' of the Dongying Depression

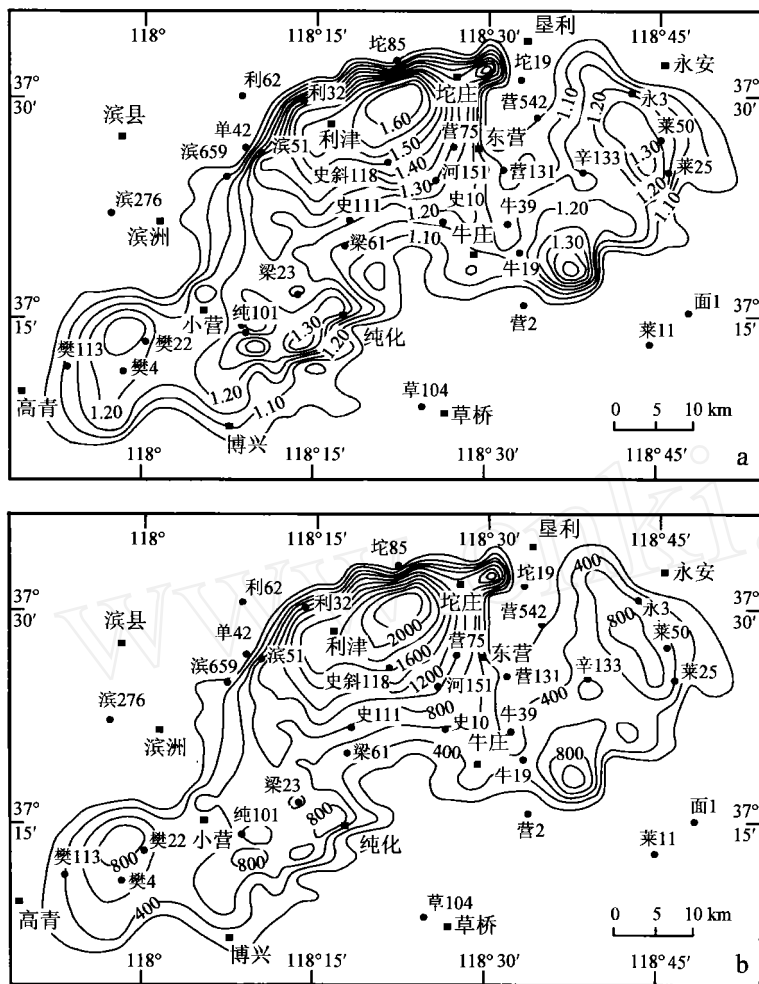


图3 沙河街组四段地层流体压力系数(a)和水头/m(b)平面分布图
实心圈为钻孔,黑方块为村镇(下同)

Fig. 3 Contour maps showing fluid pressure coefficient(a) and hydraulic head/m(b) in the Forth Member of the Shahejie Formation

3.1 地层埋藏压实与离心流

目前,大多数石油地质工作者都认为沉积水在油气矿产形成中起着巨大的作用。因此,计算岩石压缩时沉积水挤出的体积,系统研究水动力场的形成与演化,对确定地下水的流动方向具有重大的意义。

压出水水头是通过每一个钻孔资料计算得出的,某一地质历史时期决定一定范围盆地内循环水动力系统(离心流)的地层压缩厚度,换算为压出水水头高度。因为不考虑地层在横向上的压缩,故压出水水头实际上等于两个时期地层厚度之差,即孔隙缩小值(高锡兴, 1998)。

压出水水头可以用来反映离心流的方向和强度(地质矿产部水文地质工程地质研究所, 1987)。在充分考虑供水方式与供水区,泄水方式与泄水区的前提下,可以利用压出水水头分析地下水的流动方向。通常地下水的流动方向由压出水水头的高值区流向低值区。通过压出水水头的计算,可以分析沉积盆地离心流的成因与演化。我们按所划分的地层计算并编绘了各地层单元沉积阶段末的水动力图(图6)。沙河街组三段、四段的泥岩是东营凹陷的主要生油岩,因此沙河街组一段、二段、三段和四段地层的压实排水作用决定了东营凹陷离心流性质和石油运移方向。利津洼陷和博兴洼陷为两个明显的离心流区,离心流的方向由洼陷中心向边缘呈放射状。压出水水头以洼陷为中心,往边缘呈不规则环状降低。凹陷边缘为水头低值区,成为离心流的汇合区和越流泄水区。牛庄洼陷和民丰洼陷的离心

流区不明显。

3.2 水文地质旋回的划分

卡尔采夫 1969 年时曾指出,水文地质旋回即区域水文地质发展的一段时期,从区域下沉和水侵开始(包括其后的隆起和水退)到下一次沉降和水侵前结束(见程汝楠等,1981)。水文地质旋回决定了地下水动力场形成与演化旋回的多期性。一个水文地质旋回分为两个阶段:沉积水文地质阶段,为压榨水形成的离心流发育阶段;渗入水文地质阶段,为大气水下渗形成的向心流发育阶段。前者从区域沉降和水

侵开始,包括了发生沉积作用和埋藏沉积水的整个时期;后者则是指区域隆起、水退、含水岩石遭受剥蚀并发生大气水下渗形成渗入水的整个时期。

表示沉积、剥蚀和地层上、下接触关系的综合柱状图,各时期的岩相古地理图和盆地的构造演化史,是划分水文地质旋回和阶段的主要依据。

东营凹陷构造发展的阶段性,不但形成第三系沉积建造的旋回性,也导致了古水文地质作用的旋回性。水文地质旋回取决于盆地的构造史和不整合面的形成与分布。中晚始新世之间的济阳运动一幕和渐新世末期的东营运动这 2 期较强的构造运动决定了东营凹陷的主要水文地质旋回。东营凹陷的新生代可明显地划分为 3 个水文地质旋回,即古新世-中始新世、晚始新世-渐新世、新第三纪-第四纪水文地质旋回。各旋回又可进一步划分为沉积水文地质与渗入水文地质阶段(图 7)。

压榨水形成的离心流是东营凹陷石油运移的最主要动力,也是石油聚集成藏的最主要阶段。水文地质旋回的周期性决定了石油和压榨水运移、流动的阶段性的,使得石油从生油中心往边缘阶段式运移,油藏呈阶梯式或环带状分布的石油运移、聚集规律。

3.3 东营凹陷水动力场的形成与演化

含油气沉积盆地水动力场的形成、演化,是不同岩性地层单元在三维空间的组合规律、构造性质与演化在孔隙流体中的综合反映。它直接受盆地地貌、水文网、沉积环境、构造性质及其演化史的控制。

东营凹陷主要供水体系位于南、北两侧的鲁西隆起和陈家庄凸起为主的凹陷边缘区。大气渗入水影响主要发生在东营运动造成的抬升剥蚀期间,从凹陷中心往边缘地下

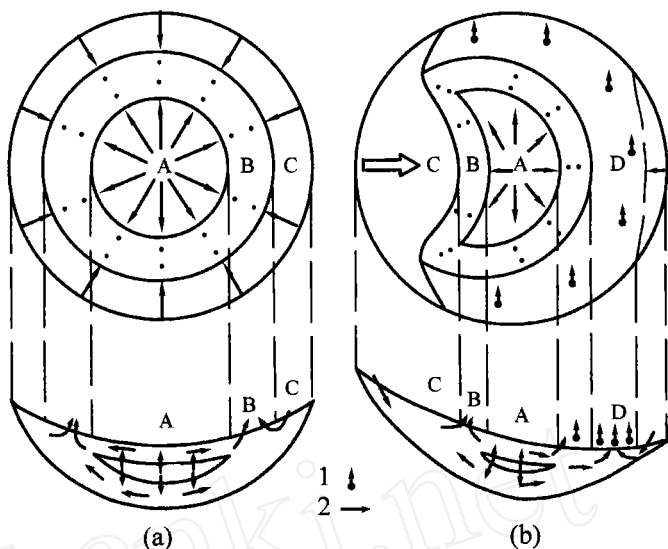


图 4 沉积盆地水动力场理想模式图(据楼章华等,1998)

a. 对称型; b. 不对称型; 1. 蒸发泄水作用; 2. 地下水流动方向;

A. 泥岩压榨水离心流; B. 越流泄水; C. 大气水下渗向心流; D. 越流-蒸发泄水

Fig. 4 Theoretical Models of hydrodynamic field in a sedimentary basin

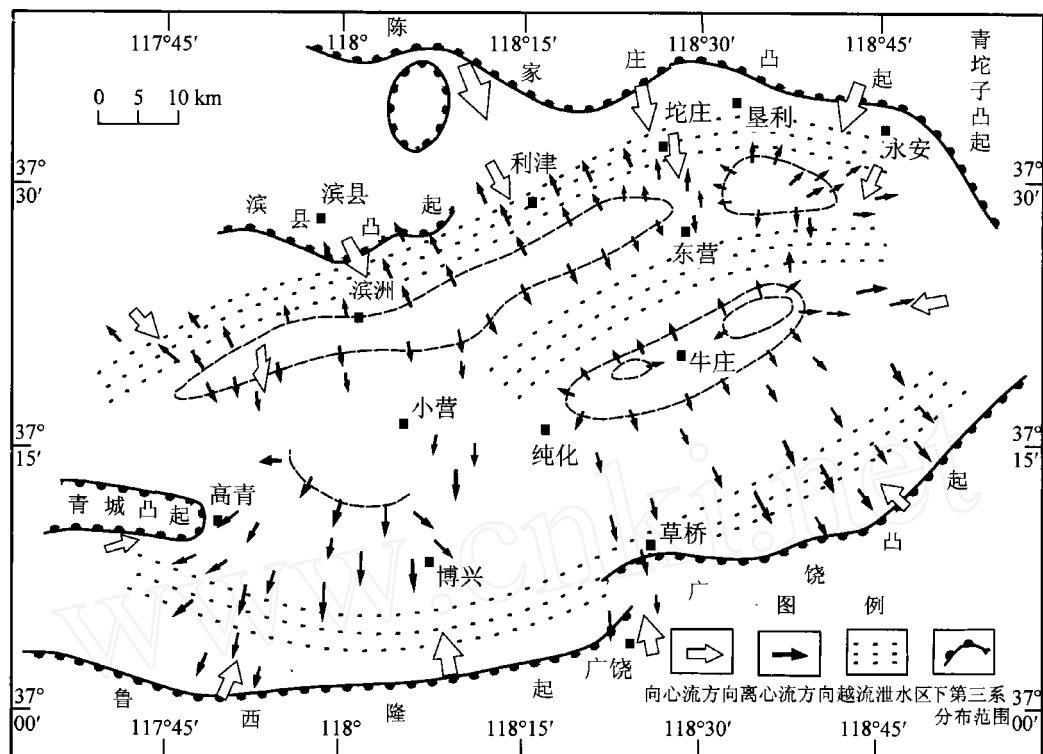


图 5 东营凹陷地下水动力场模式

Fig. 5 A hydrodynamic field model for the Dongying Depression

水矿化度、离子浓度呈不规则环状降低。随着新第三纪的沉积,大气渗入水阶段结束,现今整个凹陷以泥岩压榨水离心流为主。凹陷沉积史决定了沉积相带和不同岩性地层单元在空间上的组合关系。水下沉积的湖相泥岩具有高孔隙度和高含孔隙水的特点,是控制压榨水离心流形成、分布的关键因素之一。凹陷的构造史则决定了地层之间的接触关系以及水文地质旋回的两个阶段——压榨水离心流阶段和大气水下渗向心流阶段的交替组合。

东营凹陷水动力场的形成和演化,在平面上具有明显的对称性:总体上大气水由凹陷边缘向中心渗入补给形成向心流;凹陷内部各洼陷区泥岩压榨水形成离心流区;凹陷边缘南部斜坡和北部断阶带以及凹陷内部中央断裂带为越流泄水区。在时间上具有阶段性,即水文地质旋回性:区域沉降时期为压榨水离心流阶段;抬升剥蚀时期为大气水下渗向心流阶段(图 8)。古新世-中始新世水文地质旋回的孔店组—沙河街组四段沉积时期,研究区内发育了沙河街组四段、孔店组二段生油岩,同时沉积水在地静压力作用下开始由凹陷中心向边缘排出,发育离心流,离心流的运移方向主要从凹陷中心向周围侧向运移(图 8a₁)。沙河街组四段末期济阳运动波及全区,使本旋回沉积水文地质阶段转入渗入水文地质阶段,地表水由凹陷边缘砂岩储层露头渗入,并在静水压力作用下向凹陷内部排驱(图 8b₁)。晚始新世-渐新世水文地质旋回的沙河街组三段—东营组沉积时期,

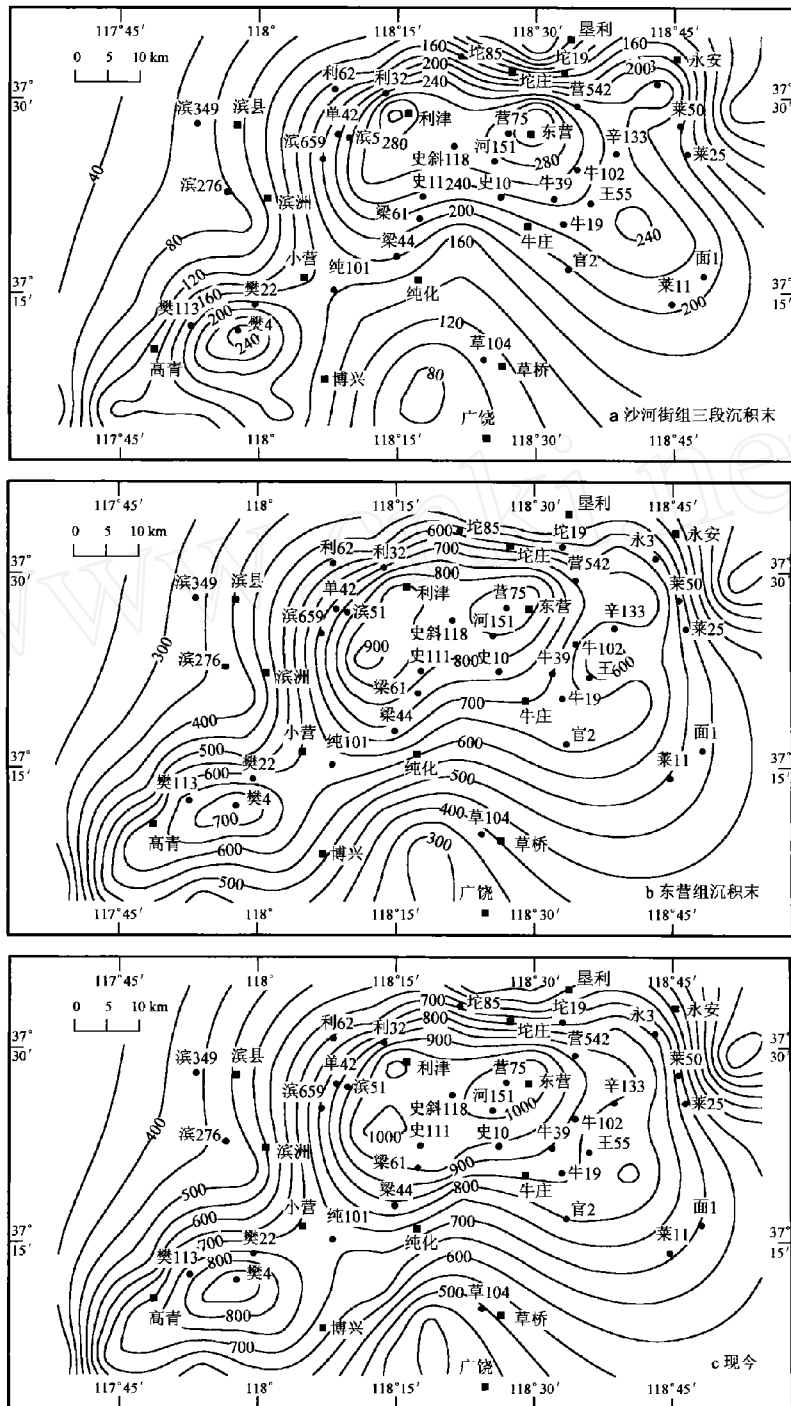


图 6 不同沉积阶段末的压出水水头/m 平面分布图

Fig. 6 Contour maps showing hydraulic heads/ m of compacted water at the end of each sedimentary stages

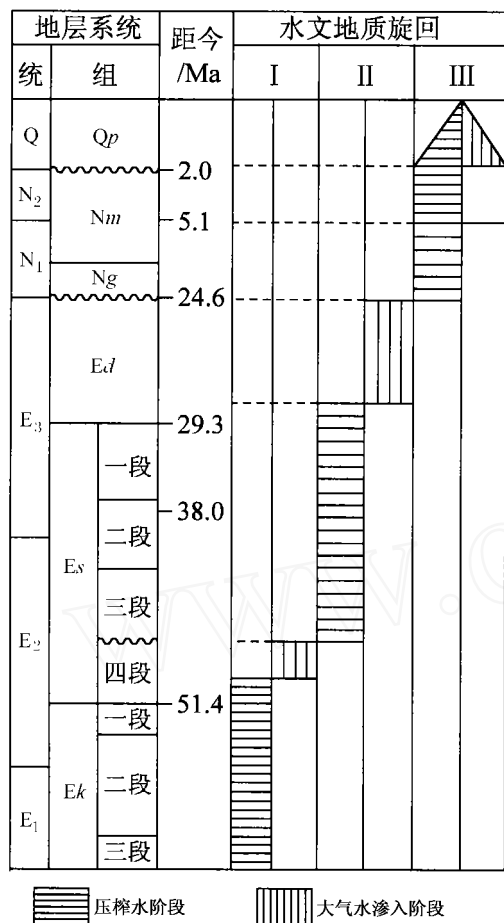


图 7 东营凹陷水文地质旋回

· 古新世-中始新世水文地质旋回; · 晚始新世-渐新世水文地质旋回; · 新第三纪-第四纪水文地质旋回; Ng. 馆陶组; Nm. 明化镇组; Qp. 平原组;

Ek, Es 和 Ed 的意义同图 2

Fig. 7 Hydrogeological cycles in the Dongying Depression

发育了巨厚的生油岩系和储油岩系,并形成欠压实带。此时孔店组二段、沙河街组四段以及沙河街组三段下部的生油岩系已开始成熟,于是在本旋回末开始了本区第一次初始成油与运移时期。作为油气运移载体的水,其运移方向控制了油气的运移方向。由于东营期断裂活动剧烈,发育大量断层,离心流的运移方向从侧向运移为主转为沿断裂带垂向运移为主,油气同时向生油岩上方运移并聚集成藏,离心流的强度随着埋深的增加逐渐减弱(图 8a₂)。渐新世末,东营运动造成东营组沉积后本区隆升,发生大规模广泛剥蚀,致使第一成油期停止发展,转入渗入水文地质阶段,大气水下渗活跃。在局部隆起较高处的油藏由于遭受水洗,氧化形成稠油(图 8b₂)。新第三纪-第四纪水文地质旋回,本区开始下沉,进入整体坳陷阶段。由于热沉降作用沉积了厚逾 1 000 m 的馆陶组和明化镇组,生油岩重又深埋到生油门限以下,油气再次大量生成,在垂向和侧向上围绕生油洼陷离心状运移,形成油气聚集带,是东营凹陷最主要的成藏时期(图 8a₃)。

此外,纵向上局部水动力单元强度及演化规律与地层的埋藏深度有关。随地层埋深的增加,地层的压实强度增强,压实排水作用减弱、消失,离心流减弱、停止,从而在凹陷中心的深部地层中发育滞流的水动力环境。大气水下渗作用也随着埋深的增加而减弱。

4 局部水动力单元分布规律

东营凹陷水动力单元大致可以划分为:泥岩压榨水离心流,大气水下渗向心流,层间越流、越流-蒸发泄水和滞流 4 种类型。

4.1 泥岩压榨水离心流

在埋藏过程中,泥岩压实排水,同时发育异常高压。高压由凹陷中心往盆地边缘呈不规则环状减弱,由此引起的势能差异导致由凹陷中心往边缘放射状的地下水流动,称

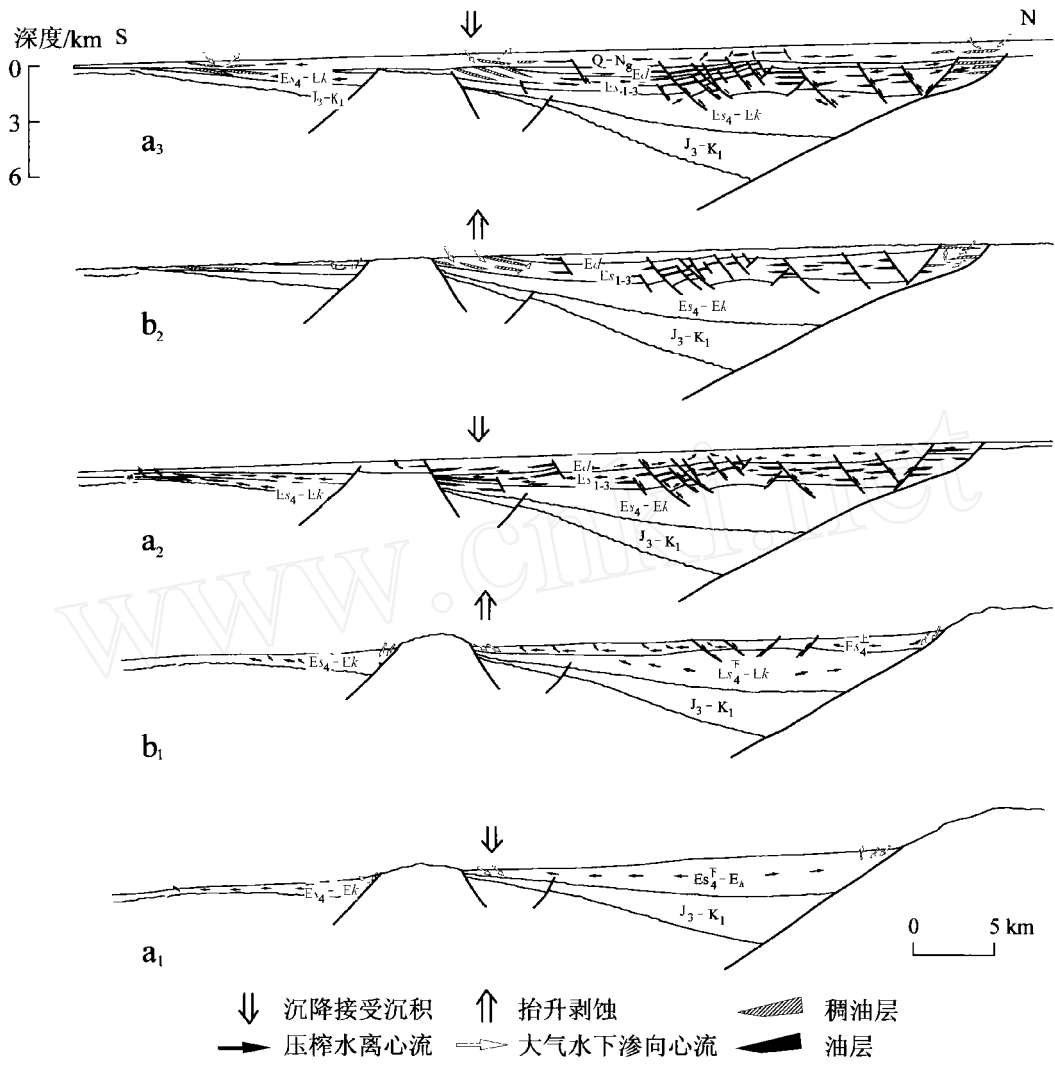


图 8 东营凹陷水文地质旋回、水动力场演化与油气运移关系

a. 沉降接受沉积压榨水离心流阶段; b. 抬升剥蚀大气水下渗向心流阶段; 1、2 和 3 示水文地质的 3 个旋回(见正文)

Fig. 8 Relationship of hydrogeological cycles, hydrodynamic evolution and oil-gas migration in the Dongying Depression

为泥岩压榨水离心流。东营凹陷的离心流主要发育在利津洼陷和博兴洼陷,其次是牛庄洼陷和民丰洼陷。离心流呈放射状由各洼陷中心的高势区指向洼陷边缘的低势区。离心流区以湖相泥岩发育和砂、泥比低为特征。离心流区的地层压力以高压为主,在离心流方向上,压力系统呈不规则环状降低。地下水被泥岩压实排水交替,矿化度、 Cl^- 和 Na^+ 浓度相对较低,盐化系数较小,形成了矿化度、 Cl^- 、 Na^+ 浓度和盐化系数盆地中心低值区。而 SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度、变质系数和脱硫系数大,形成了 SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度、变质系数和脱硫系数盆地中心高值区。在离心流方向上,地层水的矿化度、 Cl^- 、

Na^+ 浓度和盐化系数升高, SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度和变质系数降低。

4.2 大气水下渗向心流

凹陷边缘隆起剥蚀区, 由于上第三系泥岩沉积厚度较薄, 或凹陷内断层的连通作用, 促使大气水在重力势能作用下, 从凹陷边缘或沿某些断裂带下渗, 发育大气水下渗向心流。从现今水头分布可知, 东营凹陷的水头由凹陷边缘往凹陷中心方向升高, 没有明显的现今大气水下渗向心流作用。大气渗入水影响主要发生在东营运动造成的抬升剥蚀期间, 随着上第三系的沉积, 大气渗入水阶段结束, 现今整个凹陷以泥岩压榨水离心流为主。但是从地下水化学参数的特征中可以发现, 在凹陷的边缘地带曾存有大气水下渗向心流作用, 使得地下水的矿化度和离子浓度偏低, 并造成由凹陷边缘往中心方向, 地下水的矿化度、 Cl^- 、 Na^+ 浓度和盐化系数增加, SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度、变质系数和脱硫系数减小的变化趋势。

4.3 越流泄水

越流泄水是指盆地沉积层中的地下水随着埋藏压实作用穿越层面, 垂直于等势面由相对高势区流向相对低势区的地下水流动。总体上, 越流泄水由盆地深部流向浅部和地表。大气水下渗和泥岩压实排水都给渗透层提供了地下水, 只有通过泄水才能保持物质平衡。泄水方式包括越流泄水和蒸发泄水。随着埋深的增加, 蒸发泄水作用减弱。越流泄水是埋藏较深层段的主要泄水方式。

东营凹陷的主要泄水区有: 环凹陷边缘地带的越流泄水区和中央断裂带越流-蒸发泄水区。1) 环凹陷边缘地带的越流泄水区包括东营凹陷南部斜坡带和北部断阶带。该区位于凹陷边缘大气水下渗向心流与凹陷内部泥岩压榨水离心流的交会地带, 离心流和向心流的汇合势必导致地下水的越流泄水, 形成越流泄水区。地层压力以正常压力为主, 地下水的矿化度和离子浓度相对较高。2) 中央断裂带越流-蒸发泄水区位于利津洼陷、牛庄洼陷和民丰洼陷包围的中心, 是一个离心流集中指向的区域。离心流补给的地下水往浅部越流-蒸发排泄, 保持长期的供排平衡。地下水的矿化度和离子浓度是整个盆地中最高的。

4.4 滞 流

含油气沉积盆地地下水动力场具有形成、发展和消亡的过程。在地下水动力场的演化过程中, 由于地层的埋深增加, 泥岩压实排水枯竭, 大气水下渗受阻, 就会出现地下水滞流现象。此外, 由于盆地中局部空间的能量下降并处于相对封闭状态, 也会出现暂时性的滞流现象。

5 结 论

(1) 沉积盆地水动力场理想模式可以归纳为对称型和不对称型两种, 东营凹陷水动力场属对称型: 总体上大气水由凹陷边缘向中心渗入, 凹陷内部各洼陷为离心流区, 凹陷边缘南部斜坡和北部断阶带以及凹陷内部中央断裂带为越流泄水区。

(2) 东营凹陷水动力场在时间上具有阶段性,即水文地质旋回性。东营凹陷的新生代可明显地划分为 3 个水文地质旋回,即古新世-中始新世、晚始新世-渐新世和新第三纪-第四纪水文地质旋回。各旋回又可进一步划分为沉积水文地质与渗入水文地质 2 个阶段。

(3) 局部水动力单元强度及演化规律与地层的埋藏深度有关。随埋深增加,地层的压实强度增强,压实排水作用减弱、消失,离心流减弱、停止;大气水下渗作用也随着埋深的增加而减弱。

致 谢 审稿专家提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 程汝楠(编译),杨淑贞(校). 1981. 古水文地质及其应用. 北京:地质出版社. 1—12.
- Cheng Runan and Yang Shuzhen (eds.). 1981. Paleohydrogeology and Its Application. Beijing: Geological Publ. House. 1—12.
- 地质矿产部水文地质工程地质研究所. 1987. 油田古水文地质与水文地球化学——以冀中拗陷为例. 北京:科学出版社. 10—26.
- Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources. 1987. Paleohydrogeology and Hydrogeochemistry for Oil Fields ——A Case Study from the Central Hebei Depression. Beijing: Science Press. 10—26.
- 高锡兴(编著). 1998. 中国含油气盆地油田水. 北京:石油工业出版社. 310—319.
- Gao Xixing (ed.). 1998. The Water of Oil Field in Oil and Gas Basins in China. Beijing: Petroleum Industry Press. 310—319.
- 焦大庆,梁志刚,王长青,任来义. 1998. 含油气盆地流体演化研究. 北京:石油工业出版社. 7—9.
- Jiao Daqing, Liang Zhigang, Wang Changqing and Ren Laiyi. 1998. The Study on Liquid Evolution in Oil and Gas Basin. Beijing: Petroleum Industry Press. 7—9.
- 刘方槐,颜婉荪. 1991. 油气田水文地质学原理. 北京:石油工业出版社. 55—95.
- Liu Fanghuai and Yan Wansun. 1991. Principle of Hydrogeology in Oil and Gas Fields. Beijing: Petroleum Industry Press. 55—95.
- 楼章华,蔡希源,高瑞祺. 1998. 松辽盆地流体历史与油气藏形成分析. 贵阳:贵州科技出版社. 69.
- Lou Zhanghua, Cai Xiyuan and Gao Ruiqi. 1998. Analysis of Fluid History and the Formation of Oil and Gas Pools in the Songliao Basin. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press. 69.
- 楼章华,金爱民,朱 蓉,蔡希源,高瑞祺. 2001. 论松辽盆地地下水动力场的形成与演化. 地质学报, 75(1): 111—120.
- Lou Zhanghua, Jin Aimin, Zhu Rong, Cai Xiyuan and Gao Ruiqi. 2001. Formation and evolution of the hydrodynamic field in the Songliao Basin. Acta Geologica Sinica, 75(1): 111—120.
- 沈照理,刘光亚,杨成田. 1985. 水文地质学. 北京:科学出版社. 11—49.
- Shen Zhaoli, Liu Guangya and Yang Chengtian. 1985. Hydrogeology. Beijing: Science Press. 11—49.
- 杨绪充. 1989. 论含油气盆地地下水动力环境. 石油学报, 10(4): 27—34.
- Yang Xuchong. 1989. On the underground hydrodynamic environment in an oil and gas basin. Acta Petrolei Sinica, 10(4): 27—34.
- Berg R R, Denis W D and Mitsdaffer A R. 1994. Hydrodynamic effects on Mission Canyon (Mississippian) oil accumulations, Billings Nose area, North Dakota. AAPG Bull., 78: 501—518.
- Chapman R E. 1982. Effects of oil and gas accumulation on water movement. AAPG Bull., 66: 368—378.
- Toth J. 1987. Gravity-induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth Region, Alberta, Canada: analysis, patterns and evolution. Water Resources Research, 14(5): 805—843.

FORMATION AND EVOLUTION OF HYDRODYNAMIC FIELD IN THE DONGYING DEPRESSION

Lou Zhanghua¹ Zhu Rong¹ Jin Aimin¹ Wu Hengzhi² Zhen Herong² Wang Ning²

(1. Department of Hydrology and Oceanography, Zhejiang University, Hangzhou 310028;

2. Shengli Petroleum Administration Bureau, Dongying, Shandong 257000)

Abstract

Theoretical models of hydrodynamic field in a sedimentary basin could be concluded as two types: symmetrical and asymmetrical ones. Four types of local groundwater hydrodynamic units in the basin could be recognized: centrifugal flow caused by mudstone compaction at depression areas; gravity-induced centripetal flow recharged by meteoric water along basin margins generally; discharge area by cross-formational flow, or cross-formational flow and evaporation, and stagnation flow area. The evolution of hydrodynamic field had the property of a hydrogeological cycle. It could be divided into centrifugal flow stage during which the basin subsided and sedimentation occurred, and centripetal flow stage during which the basin uplifted and eroded. Accompanying the origin and evolution of sedimentary basin, hydrodynamic field underwent a process of origin, development and perished at last. Obviously, the hydrodynamic field in the Dongying Depression was symmetrical, with the characteristics of gravity-induced centripetal flow recharged by meteoric water along the edges of the depression, centrifugal flow formed by compaction in the central depression area, and cross-formational flow and concentration by evaporation in the southern slope and northern fault ramp along the basin margins and the central fracture zone in the interior depression area. The intensity of hydrodynamics had the property of vertical zoning. The intensity weakened gradually with the increasing depth.

Key Words The Dongying Depression, Hydrodynamic field, Local hydrodynamic units, Hydrogeological cycles

(上接第 84 页)

440 ~ 500 Ma, 而东部的大别山和苏鲁地区为 220 ~ 240 Ma。那么, 它们属于同一条超高压变质带还是不同的变质带? 此外, 在大别山不断报道有 300 ~ 400 Ma 左右的变质年龄, 最近在西天山超高压变质岩又测到 215 Ma 的锆石 U-Pb 变质年龄, 这为中央造山带的构造演化解释增添了复杂性。一种看法认为, 在中央造山带发生过两期超高压事件, 超高压变质岩中的古生代年龄值不可忽视; 另一种看法认为, 目前的年代学研究需再精细些, 应考虑到所测变质岩中同位素的不平衡性。类似争论在世界上其它超高压变质带研究中同样存在, 表明超高压研究的深度正在日益增大。

讨论会期间进行了国际岩石圈计划第 -8 任务组会议, 大家一致同意下一次超高压学术讨论会在挪威召开。会议增补美国斯坦福大学地球物理系 S. Klemperer 教授和英国里斯特大学地质系 B. Windley 教授为任务组新成员。

(王清晨)