

黄骅裂谷盆地第三系深层水成因

张宏达^{1,2}, 汪 珊², 郭贵平², 荆继红²

(1. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北正定 050803)

摘要: 在阐述盆地地质和含水系统、水文地质期、水压系统的定位基础上, 通过建立数学模型, 采用反演法、地静压力法, 模拟计算了各研究层在各研究时期的砂、泥岩恢复厚度、压出水量、水交替强度。计算表明各研究层在各研究时期的压挤式水交替强度均小于1, 累加值 E_s^2 、 E_s^1 、 Ed 层的大于1, Ng 、 Nm 层的小于1; Ed 层渗入水交替强度为0.44。各研究层在各研究时期渗流场的高水压带位置和流动态势具有相似性, 并均以离心型流动为主要特征。水的初始与现代化学及其演化研究表明, 6个研究层段均起始于不同浓度的同生沉积成因水, 除 Ek^1 层局部水的现代浓度比初始浓度显著降低, 朝稀释淡化、反向变质的方向演化外, 其他5个层段水的现代浓度比初始浓度均呈不同程度的增高, 朝浓缩盐化、正向变质的地球化学方向发展, 最终演化成为不同浓度的后生沉积成因水。

关键词: 深层水成因; 渗流场; 化学场; 第三系; 黄骅裂谷盆地。

中图分类号: P641.11 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)04-0455-06

作者简介: 张宏达(1969—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事水文地质、环境地质研究。

E-mail: hongda02@yahoo.com.cn

黄骅裂谷盆地是渤海湾裂谷系的一个次级断陷, 它是在中朝地台骨架背景上演化形成的。印支期后裂谷经历了中生代晚期—老第三纪早期裂谷张裂期、老第三纪始新世—渐新世裂谷扩张全盛期、老第三纪东营组沉积时期裂谷收敛缝合期3个发育阶段^[1,2]。新第三纪转为拗陷阶段。裂谷盆地第三系沉积演化过程如下: 古新世, 盆地隆升剥蚀。始新世, 盆地南部沉积了类磨拉石建造和暗色湖相泥岩的孔店组孔三、二段、洪积扇和盐湖相膏泥岩的孔一段。渐新世, 早期盆地沉积了湖相、近岸水下扇、深水浊积扇、水道砂等重力流沉积体系; 中期盆地沉积了湖相、水下扇、湖底密度流水道砂等重力流沉积体系; 晚期沉积了湖相、三角洲扇体沉积体系。中新世, 堆积了辫状河、低曲度和洪泛相砂泥岩沉积体系。上新世, 堆积了曲流型交织网状河流相砂泥岩沉积体系。

1 水文地质研究中基本问题的定位

(1) 含水系统的定位。根据黄骅裂谷盆地构造演

化、沉积环境演化、沉积物岩性及其结构特征、层组之间的接触关系、现代水化学成分特点及其与初始化学平衡的差距、水样品地质统计分类和水循环特点等, 可将第三系沉积体系划分为孔店组孔三、二段($Ek^2 + Ek^3$)、孔一段(Ek^1)、沙河街组沙三段(Es^3)、沙二、一段($Es^2 + Es^1$)、东营组(Ed)和明化镇、馆陶组($Nm + Ng$)共6个含水系统。(2) 水文地质期的定位。根据黄骅裂谷盆地的地质条件和汪蕴璞等^[3,4]提出的分期原则、方法和期的基本型式, 可将第三系含水系统地下水发育史经历的水文地质期定位如下: $Ek^2 + Ek^3$ 、 Es^3 、 $Es^2 + Es^1$ 地下水均经历了沉积作用、埋藏—淋滤作用、沉压埋藏作用的起始时间和持续时间各不相同的3个相同性质的水文地质期。 Ek^1 、 Ed 地下水均经历了沉积作用、淋滤作用、沉压埋藏作用3个相同性质的水文地质期。 $Nm + Ng$ 地下水经历了沉积作用和沉压埋藏作用2个水文地质期。(3) 水压系统类型的定位。按照沉积盆地地下水流的驱动能量, 可将水压系统分为沉积水压系统、淋滤水压系统和沉积—淋滤(或淋滤—沉积)水压系统3种类型。根据黄骅裂谷盆地各研究层经历的水文地质期型式的属性, 可将研究层在地史进程中水压

系统性的演化分为两类:一类是 $Nm+Ng, Es^1+Es^2, Es^3$ 和 Ek^2+Ek^3 归属为沉积水压系统,除 $Nm+Ng$ 外,其他层还经历了埋藏—淋滤作用水文地质期,但各自在不同地质阶段仅在盆地周边存在分布范围甚小的裸露区,入渗量甚微,水流循环的驱动主要是由内循环型压挤式水交替造成的,形成沉积水压系统.另一类是 Ed 和 Ek^1 , Ed 沉积结束至中新世沉积前为沉积间断, Ed 层裸露地表;而 Ek^1 为盐湖膏岩沉积,湖水 TDS 高达 180 g/L,而现代水 TDS 极值为 38 g/L.两者均显著遭受了渗入水冲刷和下渗作用的破坏,形成了淋滤水压系统.在地史过程中经历了沉积水压、淋滤水压和沉积水压系统的交替发展过程.

鉴于掌握的钻井地质资料绝大多数未钻穿 Es^3 ,以下仅对后 3 个含水系统渗流场、水化学场重溯并论证其成因和演化过程.

2 深层水循环和渗流场形成演化

2.1 模拟重溯的基础资料和方法要点

本次研究主要是收集了盆地范围内 77 口钻井的地质录井资料和砂岩、泥岩孔隙度(声波时差)资料,提取了分层厚度、各岩类厚度、深度等数据.内循环型压挤式水交替重溯的方法要点是:建立盆地砂岩、泥岩压实数学模型,模拟计算砂岩、泥岩恢复厚度和骨架厚度的数学模型,采用反演法求解各研究层在各研究时期的砂岩、泥岩的压出水量、水交替强

度,将地静压力视为地下水层状压力,引入岩石密度折算为各控制点的层状压力(MPa),勾划渗流场系列图.外循环型渗入式水交替重溯的要点是确定淋滤面积、研究时期的持续时间、降水量、入渗系数、用比拟法定量计算入渗量和水交替强度^[5].

2.2 沉积水交替的强度和演化

表 1 汇总的各研究层在各研究时期的各类参数值存在如下规律性:(1)除 Nm 层无可比性外,泥岩压出水水量随着地史进程(除上新世末呈显著增高外)均持续地呈降值变化.(2)砂岩储水量和压出水量随着地史进程均持续地呈降值变化.(3)水交替强度随着地史进程的变化与压出水水量的变化趋势吻合.各地质阶段的水交替强度值均小于 1,其中以上新世末的最大;在整个地史时期里累计的水交替强度, Es^2, Es^1, Ed 层均大于 1,而 Ng, Nm 层小于 1.

由上可得出 3 个重要结论:其一,各研究层随着埋深的增大,所伴生的压实作用引发的层间水循环交替十分活跃,对于静止的、封存水的观点是个否定.其二,砂岩的同生沉积水随着地史进程持续地被泥岩压出水交替更新, Es^2, Es^1, Ed 层砂岩中的水至上新世末已被压出水全部交替更新,标志着砂岩中的水已被转化为后生沉积水,而 Ng, Nm 层砂岩同生沉积水已转化为以后生沉积水为主体成分.其三, Es^2, Es^1 等层的泥岩是生烃岩,泥岩压出水和交替强度均在上新世末显著增大,这与该研究层随着埋深增大,压实作用强度渐趋减小的规律是相悖的.其原因是该时期是生烃岩生成的油气向砂岩储层运

表 1 各研究层在各研究时期压挤式沉积水交替强度

Table 1 Sedimentary water exchange intensity of each layer in each study stage

研究层位	研究时期	计算区块数	面积/ 10^8 m^2	砂岩储水量/ 10^8 m^3	泥岩压出水量/ 10^8 m^3	水交替强度
Nm	第四系沉积末	4	62.449 2	6 373.061 0	1 049.016 4	0.166
Ng	第四系沉积末	4	62.449 2	2 735.788 2	223.873 7	0.082
	上新世末	7		3 159.529 6	1 052.538 7	0.333
Ed	第四系沉积末	3	62.449 2	1 318.831 3	226.586 6	0.172
	上新世末	7		1 536.501 7	1 115.253 1	0.726
	中新世末	9		2 167.956 5	452.983 4	0.209
Es^1	第四系沉积末	4	62.449 2	1 588.830 9	202.685 4	0.128
	上新世末	6		1 819.332 7	1 100.987 5	0.605
	中新世末	6		2 746.425 8	395.886 6	0.144
	渐新世末	9		2 854.093 6	576.193 4	0.202
Es^2	第四系沉积末	4	62.449 2	290.743 3	32.679 6	0.112
	上新世末	11		336.146 3	192.298 8	0.572
	中新世末	11		446.564 9	70.599 6	0.158
	渐新世末	8		541.152 8	119.464 9	0.221
	渐新世中期末	12		564.271 2	188.885 2	0.335

移聚集的主要时期,加强了泥岩压实作用,导致急速压实的异常现象产生.

2.3 渗入水交替的水循环

E_d 在老第三纪末,因盆地受压抬升为陆地,直至上第三系沉积前, E_d 层裸露地表,广泛经受了风化剥蚀作用和大气降水与地表水的入渗侵入. E_d 层上部岩层松散,下部或其底部呈弱固结状态,依次分布的是上层滞水、潜水和承压水.计算表明,其水交替强度为 0.44,显然,上部潜水易被渗入水交替,推测下部的承压水仍以沉积水为主.

2.4 渗流场的形成和演化

(1) $E_s^2 + E_s^1$ 渗流场.图 1a,1b,1c 表明渗流场形成演化具有如下特点:①地下水水压变动范围依次是 2~14,18~39,22~44 MPa,随着地质历史的进程,水压具有持续增高的特点.②高水压带(即水压形成带)均分布于盆地中部东侧一带,等水压线排列稠密,流动速率快,水压形成带位置具有继承性.③由高水压带朝向周围水压均呈降值变化,等水压线排列显著稀疏,流动速率减慢,直至盆地斜坡低水压带(即水压卸压带).等水压线稠密与稀疏的转折位置大体分布于盆地中部 NE-SW 向的隆起带上,这在盆地中部尤为明显,而南部和北部则渐趋消失.南部低水压带分布宽广,等水压线分布形态具有相似的特点.④地下水由水压形成带朝卸压带方向运移,盆地中部东侧南段的水压形成带和南部的水压

卸压带的地下水依次朝 SW 和 NW 方向流动,汇流于盆地中部和南部的西侧,形成宽阔的排泄带;而盆地中部北段的水压形成带的地下水朝 NW 方向流动,在板桥一带折向西和东流动,具有流动趋势十分相似的离心型流动的特点.

(2) E_d 渗流场.图 1d,1e 表明地下水水压变动范围依次是 18~27 MPa 和 21~32 MPa.两者的水压形成带位置、等水压分布形态和水流运移方向相似,并与 $E_s^2 + E_s^1$ 渗流场的大体相仿,故不赘述.

(3) $Ng + Nm$ 渗流场.由图 1f 可知,水压变动范围为 3.6~5.4 MPa;高水压带位于盆地中部东侧一带,但范围不大;低水压带分布于盆地西边界内侧一带;地下水由高水压带朝低水压带方向流动,高水压带规模和高低压差均较小,地下水流速缓慢.

3 深层水化学场形成演化

3.1 现代水化学基本特征

大量水化学测试资料统计计算(表 2)表明:(1)各层地下水 TDS 和宏量组分(除 HCO_3^- 外)浓度随着储层年代渐老而增高,但均低于现代海洋水的浓度值.(2)微量组分除 $Nm + Ng$ 层的 Sr^{2+} 、 Ba^{2+} 外,均高于海洋水的同名组分浓度值.(3)离子浓度比值中除 $c(SO_4^{2-}) \cdot 10^2 / c(Cl^-)$ 、 $c(Cl^-) / c(Br^-)$ 低于海洋水的同名参数比值外,其他均高于海洋水的同

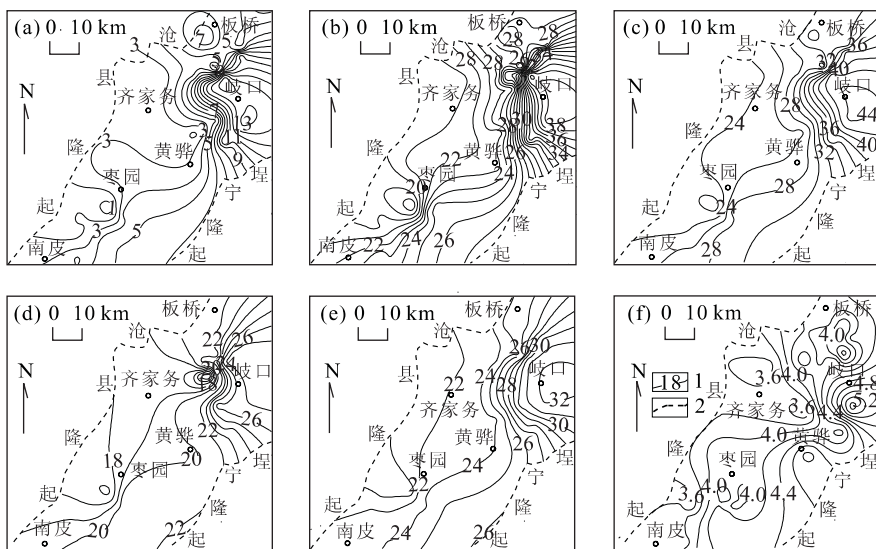


图 1 黄骅裂谷盆地第三系渗流场形成演化

Fig. 1 Evolution of groundwater flow field of Tertiary in Huanghua rift basin

a. 老第三纪末 $E_s^2 + E_s^1$ 渗流场; b. 第三纪末 $E_s^2 + E_s^1$ 渗流场; c. 第四系沉积末 $E_s^2 + E_s^1$ 渗流场; d. 第三纪末 E_d 渗流场; e. 第四系沉积末 E_d 渗流场; f. 第四系沉积末 $Ng + Nm$ 渗流场; 1. 等水压线(MPa); 2. 盆地边界线

表 2 黄骅裂谷盆地第三系沉积体系水化学参数均值特征

Table 2 Groundwater chemical characteristics of Tertiary sedimentary system in Huanghua rift basin

$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	Ng+Nm	Ed	Es ¹ +Es ²	Es ³	Ek ¹	Ek ² +Ek ³	现代大洋水
Na ⁺ +K ⁺	1 394.00	3 059.47	4 784.94	5 689.84	10 465.66	10 002.9	11 044.00
Ca ²⁺	30.22	32.00	173.14	176.03	556.84	394.5	420.00
Mg ²⁺	22.80	22.33	44.37	47.83	72.44	61.21	1317.00
Cl ⁻	1 538.76	2 738.73	6 363.14	7 377.3	16 278.74	14 549.25	19 324.00
SO ₄ ²⁻	73.11	99.20	123.95	293.13	643.90	484.28	2 686.00
HCO ₃ ⁻	1 043.85	3 434.33	2 503.34	1 725.49	464.20	1 234.41	150.00
Li ⁺	0.375		2.715	2.390	2.320		0.17
Rb ⁺	0.086		0.140	0.090	0.140		0.20
Cs ⁺	<0.02		<0.02	<0.02	<0.02		<0.01
Sr ²⁺	2.400		16.995	29.340	36.410		8.00
Ba ²⁺	1.330		7.935	16.640	9.740		
B ³⁺	1.820		7.800	11.640	13.980		4.70
Br ⁻	21.730		34.570	42.280	15.590		65.00
I ⁻	0.355		34.570	42.280	15.590		0.06
$\rho(\text{TDS})/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	4.521	10.616	13.582	16.580	27.248	25.814	35.0
$c(\text{Na}^+)/c(\text{Cl}^-)$	1.380	1.967	1.657	1.603	1.095	1.081	0.87
$c(\text{Ca}^{2+})/c(\text{Cl}^-)$	0.035	0.024	0.051	0.055	0.051	0.046	0.039
$c(\text{Mg}^{2+})/c(\text{Cl}^-)$	0.034	0.023	0.027	0.213	0.021	0.014	0.20
$c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot 10^2/c(\text{Cl}^-)$	5.014	4.972	3.998	10.547	7.620	8.19	10.20
$c(\text{Na}^+)/c(\text{Ca}^{2+})$	67.838	168.889	96.055	75.114	33.071	66.274	25.00
$c(\text{Ca}^{2+})/c(\text{Mg}^{2+})$	2.219	1.222	4.641	2.500	4.751	21.142	0.19
$c(\text{Cl}^-)/c(\text{Br}^-)$	100.030		123.496	112.385	1261.918		293.00

名参数比值。

3.2 现代水化学场

各层水化学场分布具有如下特点：(1)各层水的浓度场强度及其浓度随着储层年代愈老、埋深愈深呈现持续增高、增大的变化态势(图 2a, 2b, 2c)。(2)各层水的 TDS 低值区均分布在盆地中部东侧(黄骅以北一带),其浓度在时空上的增降变化趋势具有相似性。(3)各层水的其他水化学参数在时空上的增降变化趋势与 TDS 的呈顺向或逆向变化。(4)各层水的 TDS 和宏量组分浓度均以 Ek¹ 最高,为第三系的盐化带,朝其上方或下方均呈降值变化,其上方构成正向型水化学剖面,其下方为反向型剖面。

3.3 水的初始化学与现代化学的平衡差异

盆地第三系各层水的现代化学景观是在地质历史进程中经历了各种自然因素综合作用的结果。为追溯其演变程度和过程,从水的初始化学与现代化学对比中获得两者差异性,判别其演变过程和方向。

(1)初始化学—同生沉积水化学。根据第三系沉积体系岩性、岩相、生物生态、气候环境、碳氢氧同位素组成^[7]以及沉积层的指相化学组分及其比值等的研究,可将各沉积层同生沉积成因水化学重溯如下: Nm+Ng 层水为 HCO₃-Ca 型河流相孔隙淡水,

TDS 为 1 g/L 左右。Ed 层水为 HCO₃-Ca 型河湖相孔隙淡水, TDS 为 1~3 g/L 左右。Es¹+Es² 层水为受海泛影响的 Cl·HCO₃-Na 或 Cl-Na 型湖相孔隙咸水, TDS 约 6~8 g/L。Es³ 层水为受海泛影响的 Cl·HCO₃-Na 或 Cl-Na 型湖相孔隙咸水, TDS 极值为 6 g/L。Ek¹ 层水在盆地南部北段为 Cl·SO₄-Na·Ca 型盐湖相孔隙卤水, TDS 为 150 g/L 左右; 南段为 HCO₃-Ca 型冲洪积相孔隙淡水, TDS 为 1 g/L 左右。Ek²+Ek³ 层水为 HCO₃-Ca 型近岸扇、湖相孔隙淡水, TDS 小于 1 g/L。

(2)初始化学与现代化学的差异。对比水的初始与现代浓度表明: Ek¹ 层在盆地南部北段的水现代浓度比初始浓度显著降低, 标志着其朝向稀释淡化、反向变质的方向演化, 而南段的则显著增高, 朝浓缩盐化、正向变质的方向发展。其他 5 个层段水的现代浓度比初始浓度均呈不同程度的增高, 标志其演化结果是朝浓缩盐化、正向变质的地球化学方向发展的。

3.4 水化学形成演化过程的诠释

根据第三系各层地下水经历的水文地质期的属性, 其形成演化的主导作用和过程(表 3)具有以下特点: (1)第一类水, 在地史进程中经历了相似性质的地球化学作用和内循环型挤压式沉积水交替, 均

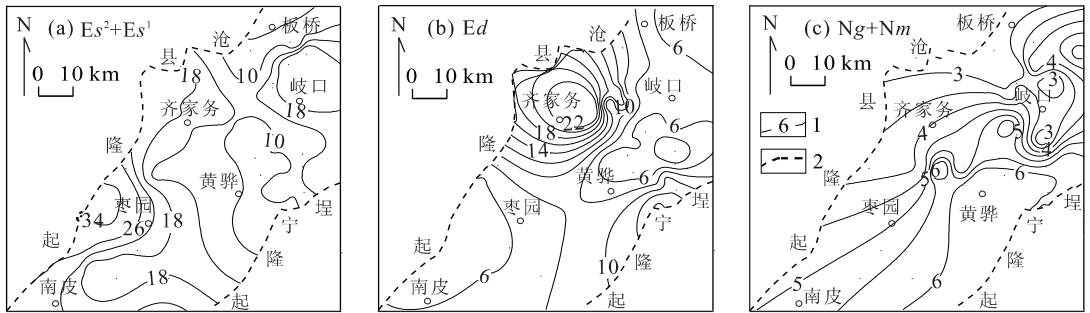


图 2 黄骅裂谷盆地第三系地下水浓度(TDS)场

Fig. 2 Groundwater TDS concentration of Tertiary in Huanghua rift basin

1. 等浓度线($g \cdot L^{-1}$); 2. 盆地边界线

表 3 第三系水化学和成因的形成演化过程

Table 3 Evolution of hydrochemistry and genesis of Tertiary

类别	层位	初始化学	水文地质期的型式	水文地质构造类型	水循环特点	地球化学主要作用	变质作用方向	水岩化学动态	水化学形成演变结果		浓度和水型
									成因型演化	其他组分	
第一类	Nm + Ng	TDS 小于 1 g/L Ca>Na HCO ₃ >Cl HCO ₃ -Ca 型	↑	封闭型	内循环 挤压式 水交替	溶滤作用 热地球 化学作用 有机质 变质作用 扩散作用 压出水的 淡化作用 粘土矿物 转化释水的 淡化作用	浓缩盐化 正向变质	水岩的 主要盐 分趋于 动态平 衡状态 随着层 位时代 愈老理 深愈大 平衡愈 加牢固	TDS 为 3.5~6.5 g/L Cl·HCO ₃ - Na 型	微量组 分和生 物成因 组分含 量增高, 有机组 分种类 和含量 增高, 生物成 因和还 原环境 气体含 量增高, 含有古 渗入水 的稳定 性组分 含量增 高,非 稳定性 组分含 量减少	后生沉积成 因咸、盐水
	Es ¹ + Es ²	TDS 为 6~8 g/L Cl·HCO ₃ -Na 型或 Cl-Na 型							Nm+Ng; 河流相同生沉 积成因淡水, Ek ² +Ek ³ ; 河湖相同生沉 积成因淡水, Es ¹ +Es ² 、 Es ³ ;受海泛影 响的湖相同生 沉积成因咸水		
	Es ³	TDS 小于 1 g/L Ca>Na HCO ₃ >Cl HCO ₃ -Ca 型							后生沉积 成因咸、盐水		
	Ek ² + Ek ³										
第二类	Ed	TDS 为 1~3 g/L HCO ₃ -Ca 型为主	↑	封闭型	内循环 挤压式 水交替	与第一 类水的 基本相同 Ek ¹ 还发 生石膏转 化为硬石 膏释放的 水淡化作 用开敞型 渗入水冲 刷和入渗	浓缩盐化 正向变质	TDS 为 8~32 g/L Cl-Na 型和 Cl·HCO ₃ - Na 型	上部:渗入 成因水 下部:同生沉 积成因水		
	Ek ¹	TDS 为 150 g/L Cl·SO ₄ -Na 型 (盆地中部北段) TDS 小于 1 g/L HCO ₃ -Ca 型(南段)	↑	开敞型	外循环 渗入式 水交替	↑	稀释淡化 反向变质 (Ek ¹ 卤 水破坏)	TDS 为 6~22 g/L Cl·HCO ₃ -Na 型 和 Cl-Na 型		Ed:河湖相 同生沉积淡 水 Ek ¹ :盐湖 相同生沉积 卤水和冲积 相同生沉积 淡水	
				↑	封闭型	内循环 挤压式 水交替	↑	浓缩盐化 正向变质			TDS 为 16~38 g/L Cl-Na 型

持续地朝不同程度的浓缩盐化、正向变质作用的地球化学方向发展,但演变结果形成的水的质量浓度和分量组分浓度等是不同的。(2)第二类水,Ed 和 Ek¹ 两者虽经历了相似性质的作用和过程,但演变

结果迥然不同,Ed 层水的浓度显著增高,而 Ek¹ 膏盐层水的浓度显著降低,是一种淡化的典型,但其南段的洪积扇砂泥岩层的水则是浓缩盐化的结果。(3)各层段水与围岩之间的水岩作用至今已处在化学动

态相对稳定平衡阶段,这种相对稳定平衡随着沉积层埋藏愈深,时代愈老,则愈加牢固。(4)各层段地下水现代化学存在显著差别,但均已演化成为相对成熟的水型,在地史进程中已进入地球化学演化的最后一个“站”,在不含盐的陆相砂泥岩沉积体系中水的浓度值最高通常不会超过 35~40 g/L。

4 成因演化模式

$Nm+Ng$ 、 Ek^2+Ek^3 层依次起始于河流相和河湖相的同生沉积成因淡水,而 Es^1+Es^2 、 Es^3 层均起始于受海泛影响的湖相同生沉积成因咸水;在地史进程中均演化成为不同浓度的后生沉积成因咸、盐水。 Ed 、 Ek^1 层依次起始于河湖相同生沉积成因淡水、同生沉积卤水和淡水,在地史进程中,均经受了渗入水的冲刷、入渗、淡化作用转化为渗入成因水,后又演化为含有古渗入水的后生沉积成因咸、盐水。

参考文献:

- [1] 陈景达. 板块构造大陆边缘与含油气盆地[M]. 北京:石油大学出版社,1989. 104—110.
CHEN J D. Plate tectonics continental margin and petroliferous basin [M]. Beijing: University of Petroleum

Press, 1989. 104—110.

- [2] 李志文. 黄骈断陷构造特征与油气藏分布规律[A]. 中国含油气区构造特征编委会. 油气资源评价丛书[C]. 北京:石油工业出版社,1989. 94—98.
LI Z W. Characteristics of structure and regularities of distribution of oil/gas in Huanghua rift [A]. hydrocarbon resources series [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989. 94—98.
- [3] 汪蕴璞,赵宝忠,张金来,等. 古水文地质研究内容和方法[J]. 水文地质工程地质,1982, (1): 45—49.
WANG Y P, ZHAO B Z, ZHANG J L, et al. Contents and methods of research on paleohydrogeology [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1982, (1): 45—49.
- [4] 汪蕴璞,汪珊,林锦璇,等. 油田古水文地质与水文地球化学[M]. 北京:科学出版社,1987.
WANG Y P, WANG S, LIN J X, et al. Paleohydrogeology and hydrogeochemistry in oilfield [M]. Beijing: Science Press, 1987.
- [5] 汪珊. 沉积盆地渗流场形成演化的研究方法[J]. 地球学报,2001, 22(5): 471—476.
WANG S. Method for studying the formation and evolution of vadose field in sedimentary basins [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(5): 471—476.

Tertiary Deep Water Genesis in Huanghua Rift Basin

ZHANG Hong-da^{1,2}, WANG Shan², GUO Gui-ping², JING Ji-hong²

(1. Faculty of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Hydrogeology & Environmental Geology, CAGS, Zhengding 050803, China)

Abstract: This paper makes a quantitative study, in terms of the geologic setting and characteristics of aqueous system, partition of hydrogeological stage and types of hydraulic pressure system in Huanghua rift basin, of the recovery thickness of sandstone and mudstone, of the extrude output of water and of the intensity of groundwater exchange on each interested layer in its different periods by means of inversion and geostatic pressure and the established mathematical model. The results indicate that the intensities of sedimentary water exchange on each investigated layer in its different periods are less than 1. The cumulative values of the intensities are more than 1 in Es^2 , Es^1 , Ed , and less than 1 in Ng , Nm . The infiltration groundwater exchange intensity is 0.44 in Ed . Each investigated layer in its different periods is similar to each other in terms of both the location of high-pressure belt and the flow characteristics in the groundwater flow field. In addition, their major characteristics are centrifugal flow. The

(下转 470 页)