

# 川西含油气拗陷上三叠统含水系统和水文地质期的划分和定位

汪珊 张宏达 孙继朝 荆继红

中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061

**摘要** 本文通过沉积环境、岩性组合、水化学、碳同位素等的论证,将川西拗陷上三叠统划分为须家河组须二段、四段、六段3个主要含水系统,须一段、三段、五段3个相对隔水系统;通过地壳运动、水动力条件、地球物理场等论证了各含水系统经历的水文地质期的次数和型式。“统序”和“期序”的建立,从宏观上构建了深层水形成演化的模式,为深层水及其与聚气成藏之间规律性联系指示了研究的思路、途径和方向。

**关键词** 含水系统,水文地质期,划分定位,沉积体系,川西拗陷

## The Division and Positioning of Upper Triassic Aquifer Systems and Hydrogeological Periods in Western Sichuan Petroleum depression

WANG Shan ZHANG Hongda SUN Jichao JING Jihong

*Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang, Hebei 050061*

**Abstract** The deposition environment, rock assemblages, hydrochemistry, carbon isotopes of Chuanxi depression were studied in this paper. Based on the results, the authors divided Upper Triassic Xujiahe Formation into three main aquifers, namely the 2nd, 4th and 6th members, and three aquitards, i. e., the 1st, 3rd and 5th members. Studies of tectonic movements, hydrodynamics and geophysical fields show that the aquifers have experienced different hydrogeological periods. The construction of aquifer series and hydrogeological periods helps build a general model for deep groundwater formation and evolution and also guides the study of the relationship between the deep groundwater and the gas reservoir.

**Key words** aquifer system, hydrogeological period, classification, deposition system, Chuanxi depression

### 1 研究意义和方法

川西含油气拗陷上三叠统砂泥岩沉积体系历来是四川盆地油气资源重要的勘探目的层。在拗陷内已相继发现了北部的中坝、九龙山,南部的平落坝等气田,以及合兴场、丰谷镇等含气构造,为寻找新气田,扩大储量,为西部大开发提供能源保证和服务。本研究具有重大的经济价值和战略意义。

根据我们多年来从事含油气盆地研究工作的研究,现代水文地质的研究内容和方法难以诠释油气水在地质历史过程中相互伴存、演化之间的规律性,

必须采用古水文地质的理念与方法,才能重溯和揭示沉积体系中地下水的成生演化和油气运移成藏之间的规律性,从而为预测、评价和圈定有利的油气成藏地段,为油气资源勘探布井提供科学依据。但至今川西拗陷的古水研究仍是个空白,为开展这个研究命题,首先要回答两个最基本的问题:一是川西拗陷厚达4000 m的上三叠统沉积体系究竟划分为哪几个含水系统?二是各含水系统中的流体在地史进程中经历了哪几个形成阶段—水文地质期?含水系统及其统序和水文地质期及其期序的划分和定位是水与油气之间规律性研究的起点,因为他们实质上

本文由国家自然科学基金项目(编号:40572143)资助。

责任编辑:刘志强;收稿日期:2007-09-07;改回日期:2007-11-13。

第一作者简介:汪珊,女,1969年生,硕士,研究员,从事水文地质、环境地质研究;E-mail:Wshan69@163.com。

通讯作者:孙继朝,男,1957年生,研究员,主要从事水文地质环境地质研究;通讯地址:050061,石家庄市石岗大街406号;电话:0311-87700056;E-mail:gwusun@263.net.cn。

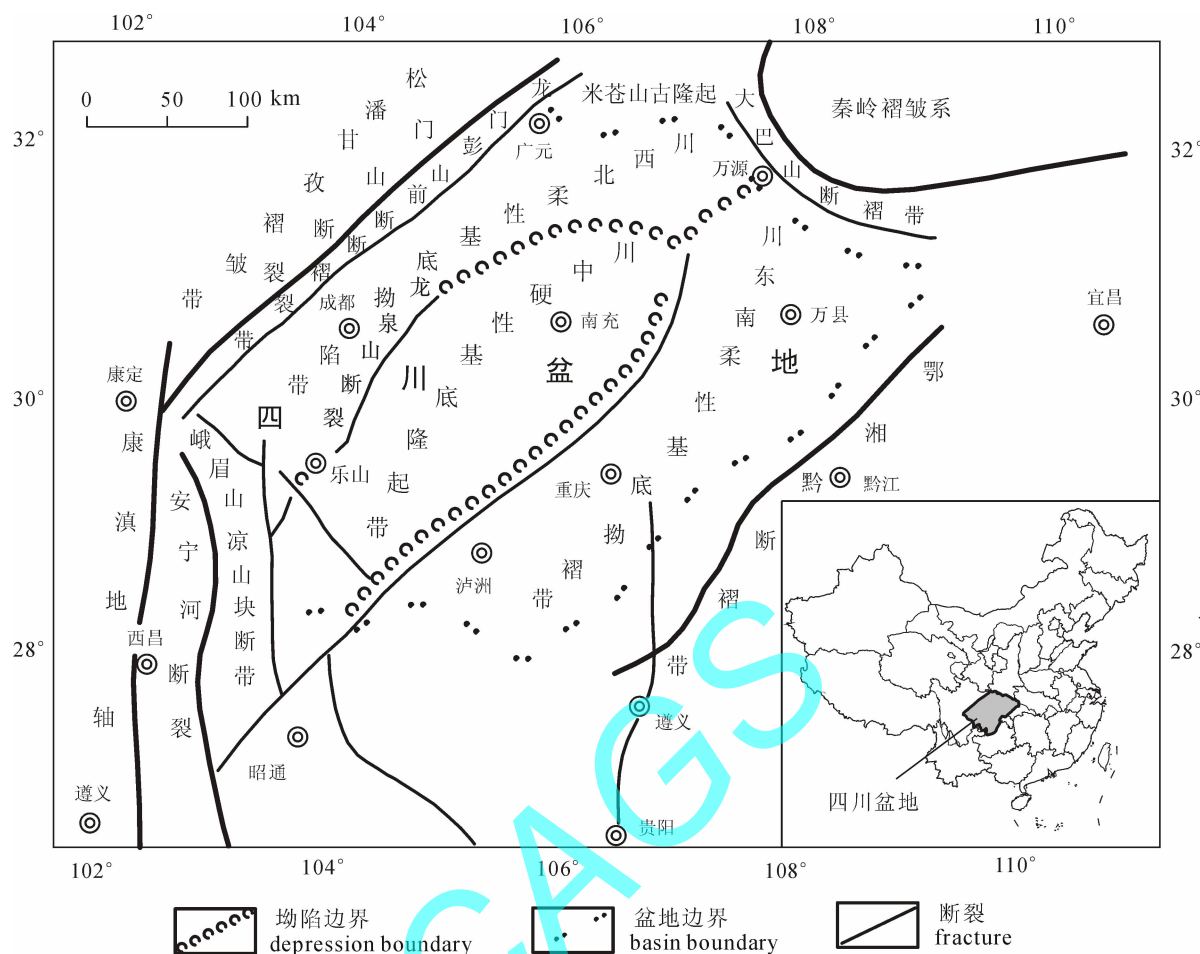


图1 四川盆地构造示意图(据张继铭等,1984 修改)

Fig. 1 Structure of Sichuan basin (modified from Zhang et al., 1984)

规范或确定了研究对象在地史过程中形成演化的时空跨度范围,从宏观上概括了各含水系统在不同质的水文地质期中流体生成演化过程的模式,为重溯各含水系统在各水文地质期中的渗流场、化学场、地温场以及水文地质、地球化学作用及其与油气运移成藏之间发生的事件勾勒了框架和限制条件。我们认为任何一个沉积盆地开展地下水史及其成油成矿作用和机理的研究必须从划分“统”、“期”着手进行。

## 2 地质构造骨架述要

四川盆地位于扬子地台西北部,是一个呈NE—SW向菱形形态分布的大型构造沉积盆地。自西往东分为川西拗陷、川中隆起和川东拗褶三个带(李国玉等,1988;中国含油气区构造特征编委会,1989)。四川盆地沉积厚度约 $1.1 \times 10^4$  m,震旦系至第四系均有发育。按主要构造旋回形变特征,纵

向上可分为三大构造层:震旦系—志留系的加里东构造层;泥盆系—三叠系中统的海西期—印支早期构造层;三叠系上统一第三系的印支晚期至喜山期构造层,喜山期盆地全部褶皱,构造盆地最终定型。前两个构造层均为海相碳酸岩盐沉积,第三个构造层上三叠世早期为海湾淤泥相沉积,晚期为陆相含煤沉积,侏罗系至第三系均为陆相红色砂泥岩沉积。

川西拗陷带是中、新生代继承性拗陷,它是印支晚期晚三叠世形成的,沉积了厚达2000~4000 m的上三叠统,上覆侏罗系和新生界沉积层,埋深为川盆之最;川中隆起带是中生代拗陷,新生代隆起,侏罗—白垩系裸露地表,上三叠统厚度为1000 m左右,埋深变浅;川东拗褶带是中生代大幅拗陷,新生代强烈褶皱隆起,上三叠统广泛裸露地表,遭受剥蚀,厚度最薄,约500 m。上三叠统(即须家河组)岩性主要是泥岩、砂岩和个别层段夹有灰岩、煤层,分为须家河组一段至六段共6个层段。

### 3 含水系统的划分和定位

#### 3.1 含水系统的内涵

含水系统是由具有一定的沉积特征和物质结构的岩石集合体组成系统的骨架,具有储存和运移水的连续性和统一性的循环运移条件,在一定的地质时段内具有一定的形态、范围和边界,以及物质、能量信息的输入和输出的特性,在不同的地质时段内可以发生变化(王大纯等,1980;汪蕴璞等,1982;汪珊等,2005)。

#### 3.2 含水系统划分的依据

(1)沉积环境:须家河组须一段岩性主要是泥岩以及薄层灰岩和局部夹有砂岩,底部含有丰富的海相双壳类,如 *Halobia* sp., *Burme sialirata*, 腕足类如 *Neoretzid* sp., 菊石类如 *Thisbites* sp., 以及有孔虫、棘皮等各门类动物化石;中上部主要有半咸水双壳类 *Unionites* sp., 顶部有典型的海相双壳类 *Halobia* sp.。岩相主要是海湾泥岩相,灰岩泥岩相,海湾泥—三角洲前缘砂—三角洲平原砂泥岩相或滨海滩坝砂岩相,滨海平原泥岩相。据此认为中三叠世末的印支运动造陆性质导致四川海盆向西萎缩,沉积了以海湾相泥岩为主体的须一段。

须二段是海湾相砂岩为主体的沉积层,产咸水双壳类(*Unionites* sp., *Yunnanoporus* sp. 等)、介形虫和海相疑源类等化石;砂岩中常见自生海绿石和磷灰石等海相矿物,硼含量均大于 130 mg/l,指示为海相沉积。须四段沉积时,沉积区范围由现今盆地的西部扩大到全盆地,转化为陆相河湖沉积。

(2)岩性组合:须家河组二、四、六段是由粗粒物质组成的砂质岩为主要岩性成分,而须一、三、五段是由细粒物质组成的泥质岩为主要岩性成分;且二者在空间上具有广泛分布的连续性。

(3)泥岩的厚度和分布:须二段和须四段的下伏、上覆的须一、须三和须五段均主要由细粒物质组成的泥质岩为主体岩性成分,广泛分布,最大厚度 1000 m,这些厚层泥质岩构成了须二段与中三叠统雷口坡组,须二段与须四段,须四段与须六段含水系统之间的区域性相对隔水层。

(4)气田水化学参数:须二段水的质量浓度  $\rho$  (TDS) (60 ~ 180 g/kg) 和  $\text{Ba}^{2+}$  浓度(800 ~ 5000 mg/kg) 的变动幅度均高于须四段水的浓度值(依次为 20 ~ 100 g/kg, 200 ~ 3000 mg/kg), 而须六段水的质量浓度  $\rho$  (TDS) 和  $\text{Ba}^{2+}$  浓度的最大值依次仅为 80

g/kg 和 1000 mg/kg; 反映水变质作用强度的  $c(\text{Na})/c(\text{Cl})$  和  $c(\text{Ca})/c(\text{Cl})$ , 须二段水比须四段的均要低, 变动幅度依次为 0.58 ~ 0.83 和 0.03 ~ 1.1, 0.46 ~ 0.86 和 0.34 ~ 0.94, 而须六段的依次为 0.85 ~ 0.89 和 0.08 ~ 0.14。表明三者水化学特性存在显著的差异和具有各自的特点。

(5)Q型聚类分析:选取须四段水样 10 个、须二段 10 个、雷口坡组 7 个,每个水样均取 TDS、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $c(\text{Na})/c(\text{Cl})$  等 11 个变量。以相关系数作为相似性统计量的 Q 型聚类分析谱系图上显示,当相似性水平为 0.23 时,27 个样品分为 3 类:第 1 类均由须四段的样品组成;第 2 类均为须二段样品;第 3 类除 1 个为须二段的样品,其余均为雷口坡组的样品。表明,须二段、须四段和雷口坡组的水化学属性存在显著差异,反映了它们各自具有水化学的形成特性,是互为分隔的 3 个含水系统。

(6)天然气碳同位素:生、储层中须二段天然气碳同位素较重, $\delta^{13}\text{C}$  变化在  $-30\text{‰} \sim -32\text{‰}$  之间,须四段(含生气层须三段)的碳同位素较轻, $\delta^{13}\text{C}$  变化在  $-37\text{‰} \sim -40\text{‰}$  之间,而须五段和须六段的碳同位素较重, $\delta^{13}\text{C}$  的变化一般在  $-33\text{‰} \sim -35\text{‰}$  之间。碳同位素在层段上的差别,是判别须二段和须四段和须六段含水系统存在分隔性的佐证。

#### 3.3 含水系统的定位

(1)川西拗陷上三叠统须家河组与其下伏的中三叠统雷口坡组海相碳酸盐岩含水系统是两个截然不同的含水系统。

(2)须家河组砂泥岩沉积体系中砂岩为主体成分的须二段、须四段和须六段为 3 个主要含水系统,是地下水形成演化的主研目的层。

(3)上述 3 个含水系统之间以泥岩为主体成分的须一段、须三段和须五段为 3 个相对隔水系统。

必须指出:其一,厚层泥岩其间夹有厚度甚薄、呈断续分布、四周被泥岩围限孤立存在的砂岩透水路,在系统内部的水力联系处在相对平衡的静止状态,同样,在相对隔水系统与主要含水系统之间水力联系亦然。其二,相对隔水系统实际上也是含水的,但泥质层透水性很差,可视为与砂质层之间不存在水力联系。实验证明,在相同压力作用下细粒泥质层比粗粒砂质层的抗压强度小,压缩强度大。在压力作用下,泥质层中的水朝上覆、下伏的砂质层中作垂向运移,这种运移直至达到压力相对平衡为止。



盆地沉积演化过程中,沉积层在上覆沉积层厚度不断增大,承受的地静(岩静)压力持续增高,则沉积层持续发生压固成岩作用,伴随着发生释水效应。特别是在早期成岩作用阶段,这种压实水迁移交替十分活跃,随着成岩作用的进程,水迁移交替效应逐渐弱化。泥质层在成岩过程中,粘土矿物蒙脱石转型为伊利石可释放出大量结晶水,硫酸盐类石膏转换为硬石膏时亦可释放出大量结晶水,参与地下水的循环交替和迁移。因此,重溯砂泥岩沉积体系的储集层中水的形成演化过程,必须涉足研究相对隔水系统泥质层在压实作用过程中释水效应在地下水形成演化过程中的作用和贡献。

## 4 水文地质期的划分和定位

### 4.1 期的内涵

#### 4.1.1 期的学术概念

在盆地沉积体系含水系统及其统序建立的基础上,追踪和重溯盆地演化的水文地质发育史,并将其划分为若干个水文地质期,用以研究和揭示地下水的形成演化及其有关的成油成矿作用的规律性,汪蕴璞等早在 1982 年初提出了有别于原苏联 Карцев (1969)、Басков(1976)的分期原则、方法和命名,形成了自身的认识体系。笔者从 1992 年开始涉足古水文地质领域研究,在学习和实践中应用前人研究的理论和方法中,加以改进完善。

所谓沉积盆地的水文地质发育史系指盆地地质历史进程中水文地质条件变化发展的历史,是由地质历史的各个地质阶段内的不同质的水文地质期顺序排列组成的,不同质的水文地质期意味着地下水的渗流场、化学场、温度场等的形成条件的质的飞跃,这种质的区别反映了地下水形成及其变化的方向是不同的。

#### 4.1.2 分期的主要标志

分期的主要标志可概括为:

(1) 地壳运动:构造运动引起盆地隆升和沉降、海陆的变迁,蓄水盆地规模的扩大和收缩、沉积和淋滤、堆积和剥蚀等的更替,导致地下水形成条件的本质变化。因此,可将隆升和沉降两个构造幕面之间的地质时间段作为一个水文地质期。

(2) 水动力条件:储集层中地下水形成条件取决于水的来源、循环方式和条件,以及与大气圈、地表水圈之间的交换和转化,储水体的水文地质开启程度等,是影响和制约地下水形成演化的重要因素。

(3) 地球物理场:它可引起沉积盆地地下水的温度、压力、酸碱度、氧化还原电位、沉积层的压实作用、压缩强度和排液量、水岩相互作用和热地球化学作用等的改变,这些均可强烈地控制和改变地下水化学性质演变,以及水的迁移型式、途径、强度和方向的变化。

(4) 技术经济活动:人类技术经济活动对地下水及其伴生资源的开发利用引起能量的消耗,抑或为增能增压注入流体,均可改变和破坏地下水的天然状态,从而导致渗流场、化学场等发生改变。

在分期时要综合考虑上述内容,地壳构造运动是内力作用的结果,是分期的主要标志,从一定意义上讲,除人类技术经济活动作用外,其它因素均是由其派生的,在分期上是从属的,但可用作期的命名,它比较贴切地表述和反映了控制、影响地下水形成的主体作用,并明确地反映了期的不同性质和地下水形成演化的途径和过程。

#### 4.1.3 期的型式

根据上述分期的标志,可将盆地沉积体系地下水形成演化的水文地质期分为五种基本型式:① 当地壳发生负向运动,发生水侵,水域规模扩大,发生沉积作用,沉积物不断堆积,直至地壳上隆,沉积作用停止时的这段地质时期,谓之沉积作用水文地质期;② 当地壳发生正向运动,发生水退,上隆为陆,形成残留盆地,沉积层裸露地表遭受剥蚀、冲刷和淋滤,直至地壳再度下降,淋滤作用停止的这段地质时期,谓之淋滤作用水文地质期;③ 当地壳再度发生负向运动,在原有的沉积层上堆积覆盖了新的沉积层,此时新的沉积层经历了沉积作用水文地质期,而其下伏的老沉积层则处于上覆新沉积层不断加厚的状态,假若新沉积层是以超覆沉积,则其处于封闭状态,赋存其间的地下水处于围压条件下的阻滞状态,在沉压埋藏条件下系统内发生内循环型挤压式积水交替为主要动力特点,以及水岩相互作用产生物质成分的交流,该期是由新沉积物沉积作用开始直至停止时的这段地质时期,谓之沉压埋藏作用水文地质期;④ 当地壳发生剧烈的运动,形成了隆起和拗陷,褶皱断裂异常发育,伴随着岩浆的喷发或侵入以及幔液水的侵入,引起地壳应力场、地温场的迅速变化,导致地下水的迁移速率和方向的改变,以及热地球化学作用等,并建立地下水新的动态平衡系统,由地壳运动发生到终止的这段地质时期,谓之构造热液作用水文地质期;⑤ 人类技术经济活

动开发地下水、油气和盐矿资源时,由于提取和排放大量流体,抑或为了增能增压进行人工注水,势必引起天然压力平衡的破坏,随着开发的进程,破坏作用愈大,这一时期谓之人类经济活动作用水文地质期。

在沉积盆地中,相同时代的含水系统既可经历相同性质的水文地质期,亦可经历不同性质的水文地质期;不同时代的含水系统可经历不同性质的水文地质期,亦可经历水文地质作用强度、持续时间不同的性质相似的水文地质发育史。一个盆地划分几个水文地质期,期的组合序次以及它们在空间上的分布、配置关系应根据盆地的实际地质情况而定。

#### 4.2 研究目的层分期的依据

划分水文地质期应把握2个要点。其一,应以研究目的层的沉积背景、沉积作用及其以后地史进程中的沉积、构造演化为依据论证期的划分。其二,针对主要含水系统进行分期。分期的依据是:

(1) 古生代末发生的海西运动导致川盆上升,海水退出,二叠系等遭受剥蚀。中生代开始海水复又侵入,川盆成为外海伸向内陆的一个陆缘海。中三叠世末发生的印支运动导致川盆中、东部露出水面,以中三叠世末不整合面绘制的古地质图显示,以泸州为中心朝向北西方向由老到新呈环状分布,直至乐山、仁寿一带中三叠统保存完整(汪蕴璞等,1982),中三叠世浅海显著向西萎缩,在川盆西外侧龙门山前山带和盆内川中前隆之间形成了川西晚三叠世残留海盆。

晚三叠世龙门山后山带及其以西地区松潘—甘孜地区大规模的拉张裂陷,沉积了巨厚的海相层和大陆斜坡的浊流沉积。特提斯海通过康滇古陆与龙门山半岛、或与新生的乐山—龙女寺陆地之间的海峡与残留盆地连通,发展成为以川西为沉降中心西断东超的箕状川西拗陷,沉积了上三叠统须家河组须一段海湾泥岩相、须二段三角洲砂岩相、须三段泥岩沼泽相,其后由于龙门山前山带强烈活动和隆升,露出水面,导致残留盆地开始转化为须四段至须六段的陆相沉积,之后又陆续沉积了侏罗系、白垩系(2000~5000 m)陆相红层。晚三叠世箕状断陷盆地逐步发展成为沉降的大型拗陷盆地。白垩纪沉积时范围缩小,早第三纪沉积已萎缩至川西地区。

白垩纪末发生了规模巨大的对四川盆地构造形态起决定性的正向构造运动—燕山运动(又名四川运动),结束了川盆中东部的沉积历史。川盆周围地层褶皱隆起升为高山,川盆西缘伴随着岩浆喷发

形成花岗岩等深成岩类,盆内中生代地层发生首次断褶,川盆现代轮廓基本定型。第三纪沉积除在江河两岸零星分布外,主要沉积于川西拗陷。

晚第三纪喜山运动川盆进一步遭受挤压褶皱和断裂,盆内不同性质的三大块构造最终定型。川西拗陷内堆积了厚度甚薄的第四系的沉积层。

(2) 依据川西拗陷的沉积演化、构造演化的进程和笔者的分期理念,可将上三叠统须二、四、六段3个主要含水系统经历的水文地质期划分出沉积作用、沉压埋藏作用和构造热液作用3个型式的水文地质期。

必须指出,各含水系统“期”的起始时期和持续时间、作用的强度和效应是不同的。

(3) 川西拗陷是中新生代的继承性拗陷,上三叠统沉积后继而连续沉积了侏罗系、白垩系,上三叠统最大埋深在5000 m之下,最浅的也有2000 m,上三叠统沉积结束后未裸露地表,即未经受过淋滤作用的改造。但根据钻井地层分层数据编制的各段厚度分布图发现,须六段分布在拗陷的南部,约占拗陷总面积的一半多,北部大面积缺失,须四段在拗陷内大面积分布,但在拗陷北部北边界内侧、西边界内侧的江油一带缺失。这种状况的出现可能是:其一,上三叠统由海相转化为陆相沉积时,由于龙门山前山带强烈活动和隆升,不仅切断了残留海盆与外海的联系,转变为陆相沉积,而且引发了拗陷北部的抬升,导致湖盆水域朝向拗陷南部不断萎缩。其二,须四、须六的沉积结束后露出水面,经剥蚀作用形成的,但上三叠统是个连续沉积的过程,不存在沉积间断,且这些被剥蚀的沉积物搬运至拗陷外,还是在拗陷内搬运,按现掌握的资料难以佐证。

不管哪种原因造成的,须四段在侏罗纪沉积覆盖前曾有一段地质时间裸露地表,遭受淋滤作用改造。按第一种状况,须六段未经受过淋滤作用。

(4) 难以取得川西拗陷在油气和卤水开发过程中的水动力、水化学动态测试资料,人类技术经济活动作用缺乏支撑讨论的条件。

#### 4.3 期的定位

按照上述分期依据的分析,可将含水系统地下水历经的水文地质期概括于表1。

须二段含水系统地下水在地史进程中依次经历了沉积作用、沉压埋藏作用和构造热液作用3个水文地质期。沉积作用期自须二段沉积开始至沉积结束的持续时间;沉压埋藏作用期自须三段沉积开始

表1 上三叠统含水系统“期”的演化

Table 1 Evolution of hydrogeological period of Upper Triassic aquifer system

地层		构造运动	沉积相	岩性	系统属性	期的型式													
						T <sub>3X</sub> <sup>2</sup>		T <sub>3X</sub> <sup>4</sup>		T <sub>3X</sub> <sup>6</sup>									
第四系	Q	喜山	陆相	砂泥岩互层	III	III	IV	IV	IV	IV	IV								
第三系	E			四川 (燕山)								砂泥岩互层							
白垩系	K											砂泥岩互层							
侏罗系	J	砂泥岩互层																	
上三叠统	T <sub>3X</sub> <sup>6</sup>	印支		海相								砂岩	I	I	II	III	I	I	I
	T <sub>3X</sub> <sup>5</sup>											泥岩							
	T <sub>3X</sub> <sup>4</sup>		砂岩																
	T <sub>3X</sub> <sup>3</sup>		泥岩																
	T <sub>3X</sub> <sup>2</sup>		砂岩																
	T <sub>3X</sub> <sup>1</sup>		泥岩																
中一下三叠统	T <sub>2L</sub> + T <sub>ij</sub>		碳酸盐岩																

注: I—沉积作用; II—淋滤作用; III—沉压埋藏作用; IV—构造热液作用。

至白垩纪沉积结束的持续时间;构造热液作用期自白垩纪末发生的燕山运动(四川运动)至第三纪末发生的喜山运动的持续时间。

须四段含水系统地下水在地史进程中依次经历了沉积作用、淋滤作用、沉压埋藏作用和构造热液作用4个水文地质期。沉积作用期自须四段沉积开始至沉积结束的持续时间;淋滤作用期自须四段沉积结束至侏罗纪沉积前的持续时间;沉压埋藏作用期自须四段沉积结束至白垩纪沉积结束的持续时间;构造热液作用期的持续时间与须二段的相同。

须六段含水系统地下水在地史进程中经历了与须二段顺序相同的3个水文地质期,构造热液作用期的持续时间与须二段相同。沉积作用期自须六段沉积开始至沉积结束的持续时间;沉压埋藏作用期自须六段沉积结束至白垩纪沉积结束的持续时间。

### 参考文献

- 李国玉,吕鸣岗,等. 1988. 中国含油气盆地图集. 北京:石油工业出版社.
- "中国含油气区构造特征"编委会编. 1989. 中国含油气区构造特征. 北京:石油工业出版社.
- 王大纯,张人权,史毅虹,等. 1980. 水文地质学基础. 北京:地质出版社.
- 汪蕴璞. 1982. 古水文地质研究内容和方法. 水文地质工程地质,

(1):45~49.

汪蕴璞,王东升,徐恩孝,等. 1982. 深层卤水形成问题及其研究方法. 北京:地质出版社.

汪珊,张宏达,孙继朝,等. 2005. 渤海湾黄骅裂谷盆地深层水形成演化. 北京:地质出版社.

### References

- Карцев А А, Вагцн С Б, Басков Е А. 1969, Палеогидрогеология. - М.: Недра.
- Басков Е А. 1976. ПАЛЕОГИДРО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. Ленинград 《НЕДРА》 ленинградское отделение.
- Li Guoyu, Lv Minggang, et al. 1988. The atlas of oil and gas basin in China. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese).
- The editorial board of the symposium on structural features of oil and gas bearing areas in China. 1989. The symposium on structural features of oil and gas bearing areas in China. Beijing: The Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Wang Dachun, Zhang Renquan, Shi Yihong, et al. 1980. Foundation of hydrogeology. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Yunpu. 1982. The research content and Method of paleohydrogeology. Hydrogeology & Engineering Geology, (1):45~49 (in Chinese).
- Wang Yunpu, Wang Dongsheng, Xu Enxiao, et al. 1982. Deep brine water formation and its research method. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Shan, Zhang Hongda, Sun Jichao, et al. 2005. Evolution of deep groundwater at Huanghua rift basin in Bohai Bay. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).