

国家自然科学基金资助项目

(49902021, 1999 ~ 2002)

渤海湾黄骅裂谷盆地 深层水形成演化

汪 珊 张宏达 孙继朝 郭贵平 唐宏才 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是在国家自然科学基金资助项目研究成果的基础上撰写的地区性研究专著,反映了我国深层水研究领域的动向和水准。

作者以野外调查、采样测试和收集的大量地质、水文地质的第一手资料为依据,在论述盆地的地质构造演化、沉积演化的基础上,以含水系统、水文地质期和水压系统类型的划分和定位为研究的切入点,以渗流场、化学场为研究主线,比较系统详尽地展开了渗流场、化学场形成演化的论证,揭示了地温场分布的现代景观,融合“三场”的研究成果,概括了深层水的成因及其演化,并讨论了深层水形成演化研究的理论意义,评价了深层水资源开发利用的前景。

本书可供水文地质、地球化学、石油地质、环境地质等领域的科技工作者、管理工作者以及相关专业的大学院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

渤海湾黄骅裂谷盆地深层水形成演化/汪珊等著.

北京:地质出版社,2005 3

ISBN 7-116-04324-1

渤... 汪... 渤海湾-大陆裂谷-水文
地质-研究 .P641.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 143207 号

组稿编辑:王大军

责任编辑:白 铁

责任校对:田建茹

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324579(编辑室)

网 址:[http:// www .gph .com .cn](http://www.gph.com.cn)

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm 16/1

印 张:9.75

字 数:220千字

印 数:1—800册

版 次:2005年3月北京第一版·第一次印刷

定 价:30.00元

ISBN 7-116-04324-1/P·2545

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

导 言

地质流体是当代地球科学研究的前沿领域。地质流体系指地壳岩石圈中水、油气和成矿溶液的统称。从 20 世纪 70 年代至今已召开了多次国际性地质流体的学术会议。国外最早涉足该领域研究的是前苏联的研究者,欧美等国的研究滞后。我国自 20 世纪 50 年代开始持续地开展深部液气态矿(油气田)、液态矿(卤水、工业矿水、热水)和固态矿(钾盐和金属矿床)的勘察工作,推动了该领域的研究。

沉积体系中的水是地质流体中分布最为广泛、数量最多的成分,堪称其无时不在、无所不在。水是沉积体系中最活跃的物质成分,是一种强大的地质作用营力,在地质历史进程中积极地传输能量和搬运物质,参与各种各样的地质作用和成矿作用。当代从事金属和非金属矿床的研究者均将水视为成矿作用研究的关键内容。

当代,对盆地沉积体系中水的流动基本上存在两种相悖的学术观点。一种是以 J.Toth 为代表的重力穿层假设,他认为岩石均是渗透的,在整个沉积体系内存在水流的连续性和统一的流场,流动态势取决于盆地地形形态,并将流场分为局部、中间和区域流动 3 个级次。其存在的主要问题是:其一,难以揭示流场在地史进程中的形成演化过程,因为盆地地形形态在地史时期的不同地质阶段不尽相同,甚至差别很大;其二,忽视了沉积体系中水的来源、赋存条件和迁移特点在流场形成中的变化,不分渗入水和沉积水、重力水和压实(压出)水之间的循环交替,均以重力水待之;其三,不注重与流动场互为关联的化学场的研究。另一种是多数研究者认为,应将盆地沉积体系地下水系统划分为若干个子系统(含水系统),因为构成子系统的物质和环境是各不相同的,各子系统地下水的量和质的形成演化具有自身的特殊规律性,并主张通过古水文地质分析才能重溯地下水形成演化过程。但在研究中对含水系统、地下水形成的水文地质期(阶段)划分的原则和方法不仅不同,有的甚至存在本质上的差别,势必对地下水形成演化的过程和方向产生迥然不同的认识;加之在重溯各水文地质期地下水形成作用和演化过程时,由于把握的数据精度、资料的准确性、计算控制点的多寡以及对岩性剖面的概化、压实数学模型、恢复计算不同岩性岩层厚度的数学模型和计算不同性质的水交替强度等存在不同的技术处理,所有这些均可导致计算结果和学术认识上的差别。因此,重溯和恢复古水系统的形成演化是最困难的研究领域之一,但又是最能取得研究成效的领域之一。这类深层次的水文地质问题至今仍处在探索和求解阶段,亟待加强和重视该领域的研究,开展学术交流,推动其在学术论争中发展,并逐步走向成熟。

针对上述存在的问题,选择了基础地质研究程度较高和工作条件较好,但至今深层水形成演化研究尚属空白的渤海湾裂谷系中黄骅裂谷盆地作为研究靶区,以第三系沉积体系为研究对象,开展了野外地质调查,采集深层水样品 186 件,进行了宏量、微量、痕量化学组分测试,累计汇总了水化学测试样品 547 件,测试数据共计 6805 个;汇总了岩样 43 个和原油灰分样品 122 个,累计化学组分测试数据 1580 个;汇总了 77 口钻井地质录井资料,统计了第四系至第三系各层段的埋藏深度、全层厚度、砂岩和泥岩的分层厚度,以及各层段砂岩、泥岩的实测孔隙度(ϕ)、声波时差(t)、地层压力和温度等数据共计 2781 个。在上述大量原始数据整理、筛选的

基础上,计算了水动力、水化学各类参数值,勾画了反映各类规律性的图表,为展开研究提供了支撑条件和依据;构筑了紧密围绕研究命题、研究内容层次分明、结构衔接合理、逐层拓展论证的学术思路和章节设置的框架。

本书的学术思想是:盆地沉积体系中水的形成演化取决于盆地的自然地理、地质构造和沉积层岩性岩相及其在地史进程中的演化,形成了不同地质历史阶段的水文地质构造类型及其水循环流动的属性;盆地沉积体系的压实作用是一种规律性的地质现象,也是引发沉积层之间水循环交替的驱动力和引起水化学演化的重要因素;盆地沉积体系中的水在地史进程中始终处在不同速率的循环运动状态以及改变其自身的水质和水量的过程。据此,在阐述黄骅裂谷盆地地质构造演化和沉积演化的基础上,以第三系沉积体系的含水系统、水文地质期和水压系统类型的划分为研究的切入点,以渗流场和化学场为研究主线展开论证。含水系统、水文地质期等的定位,实质上是从宏观上构筑了深层水形成演化的途径和方向的框架。通过建立盆地压实数学模型,恢复计算砂岩、泥岩厚度的数学模型,采用逆求解反演法,模拟计算了各研究层在各研究时期的顶板埋藏深度、砂岩泥岩恢复厚度及其孔隙度、砂岩储水量、泥岩压出水量等批量数据;并重溯了开型水文地质构造系统的水循环特点和水交替强度,最终归结为泥岩压出水水头、水交替强度以及渗流场 3 个互为关联的系列图表,揭示渗流场在地史进程中形成演化的规律性以及地下水流动的类型。根据实测资料概括了各研究层深层水现代化学基本特性和分布景观,通过与恢复的同生沉积水化学对比得出两者之间的化学平衡差距,并以此为深层水化学演化进程的限制条件,讨论了与水文地质期型式相关的闭型、开型水文地质构造系统中地球化学作用导致深层水化学形成演化的过程,论证了各研究层的水岩相互作用形成的化学动态平衡状态的性质和演化阶段的属性,并概括了控制深层水形成演化和时空分布规律性的主导因素。根据地温测试资料,讨论了地温梯度和各研究层现代地温分布的态势。将渗流场、化学场、地温场的研究成果相互融合、综合归纳,概括了第三系深层水成因及其演化类型。最后,讨论了深层水研究成果的理论意义,评价了深层水开发利用的前景。

本研究由国家自然科学基金(项目号 49902021, 1999 ~ 2002)资助完成。本书是在基金项目研究报告和《地球学报—中国地质科学院院报》、《中国海上油气(地质)》、《吉林大学学报(地球科学版)》、《地球科学—中国地质大学学报》和《Proceedings of the international Symposium on Hydrogeology and the Environment, (China Environmental Science Press, 2000)》等刊物及会议文集上发表的 7 篇论文的基础上,通过内容整合、设置章节结构体例、补充新的资料等撰写完成的。全书由汪珊主笔,张宏达(水动力、深层水成因)、孙继朝(水化学)、郭贵平(基础地质、开发利用)参加了部分章节的撰写,唐宏才完成了大量的技术性工作,本书是在全体成员通力合作下完成的。

在研究工作期间,中国地质科学院水文地质环境地质研究所的领导黄志兴所长,石建省、张发旺副所长,张兆吉处长给予了大力支持和关注;教授级高级工程师高锡兴给予了热情帮助和提供了工作方便;汪蕴璞、林锦璇研究员对全书进行认真的审校,并提出宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于研究周期较短,研究难度颇大,作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

著者

2004 年 12 月于石家庄

目 录

第一章 裂谷盆地地质环境概述.....	1
第一节 裂谷盆地轮廓.....	1
第二节 裂谷盆地形成演化.....	2
第三节 裂谷盆地沉积演化.....	3
第二章 深层水形成演化重溯的关键术语的定位.....	8
第一节 含水系统及其统序.....	8
第二节 水文地质期及其期序	12
第三节 水压系统及其类型	17
第三章 裂谷盆地深层水渗流场形成演化	19
第一节 模拟重溯研究的基础资料和方法顺序要点	19
第二节 内循环型压挤式水交替重溯的方法和目标	20
第三节 研究层泥岩压出水水头形成演化	30
第四节 研究层水交替形成演化	37
第五节 深层水渗流场形成演化	46
第四章 裂谷盆地深层水化学场形成演化	52
第一节 深层水化学测试资料和选用原则	52
第二节 深层水现代化学成分的基本特征	53
第三节 深层水现代化学场	54
第四节 深层水初始化学与现代化学的平衡差异	91
第五节 深层水形成演化	94
第六节 深层水化学形成演化的地球化学作用	95
第七节 深层水与围岩成分的化学平衡.....	112
第八节 深层水化学形成演化的基本规律性.....	118
第五章 裂谷盆地第三系地温场.....	121
第一节 地温及其梯度的基本特征.....	121
第二节 各研究层地温场分布的规律性.....	121
第六章 裂谷盆地深层水成因.....	126
第一节 深层水成因研究的基本原则.....	126
第二节 深层水成因类型.....	127
第七章 裂谷盆地深层水研究意义.....	131
第一节 深层水研究的理论意义.....	131
第二节 深层水资源开发利用的评价.....	131
结语.....	136
参考文献.....	137

Contents

Chapter One	General Geological settings of the Rift Basin	1
Section One	Outline of the Rift Basin	1
Section Two	Evolution of the Rift Basin	2
Section Three	Sedimentary History of the Rift Basin	3
Chapter Two	Definition of Key Terms on Evolution of the Deep Groundwater	8
Section One	Water-bearing System with Its Sequences	8
Section Two	Hydrogeological Period with Its Sequences	12
Section Three	Hydraulic Pressure System with Its Types	17
Chapter Three	Evolution of the Deep Groundwater Flow Field in the Rift Basin	19
Section One	Basic Data and Method of Reconstruction	19
Section Two	Method and Target of Compressive Water Substitution for Reconstruction	20
Section Three	Evolution of Mudstone Compressed Water Head in the Studied Strata	30
Section Four	Evolution of Water Substitution in the Studied Strata	37
Section Five	Evolution of the Deep Groundwater Flow Field	46
Chapter Four	Evolution of Hydrochemical Field of the Deep Groundwater in the Rift Basin	52
Section One	Selected Principles of the Chemical analysis data	52
Section Two	Essential Characteristics of Modern Hydrochemical Composition	53
Section Three	Modern Hydrochemical Field	54
Section Four	Equilibrium Differences Between Initial and Modern Chemistry	91
Section Five	Evolution of the Deep Groundwater	94
Section Six	Geochemical Reaction in Deep Groundwater Evolution	95
Section Seven	Chemical Equilibrium Between Water and Its Country Rocks	112
Section Eight	Basic Regularity of Hydrochemical Evolution	118
Chapter Five	Tertiary Geothermal Field in the Rift Basin	121
Section One	Basic Features of Geotemperature with Its Gradient	121
Section Two	Characteristics of Geothermal Field in the Studied Strata	121
Chapter Six	Origins of the Deep Groundwater in the Rift Basin	126
Section One	Principles of the Deep Groundwater Researches	126
Section Two	Genetic Types of the Deep Groundwater	127
Chapter Seven	Significance of the Deep Groundwater Researches	131
Section One	Theoretical Sense of the Deep Groundwater	131
Section Two	Assessments of Groundwater Resources Exploitation and Utilization	131
Conclusions		136
References		137

第一章 裂谷盆地地质环境概述

盆地沉积体系中的水堪称无时不在,无所不在,是沉积体系中最活跃的物质成分,是一种强大的地质作用营力。在地质历史进程中积极地传输能量和搬运物质,参与各种各样的地质作用,同时也改变了水自身的流动态势和化学成分的组成。赋存在不同岩性、岩相沉积层中的水,其物理化学性质和运移的动力状态是各不相同的。在水与沉积物沉积时共同形成的地质时期中,当盆地持续下降,又沉积了新的沉积层,使其处于沉压埋藏状态,间或盆地抬升,沉积间断,使其处于裸露状态,那么早期沉积层中的水,由于上述环境的变化,均会导致水的物理化学和动力条件的改变;其后续的新沉积层中水的变化亦是如此。因此,追溯水的形成演化必须查明其所在沉积盆地的构造演化、沉积演化,这是构筑水在地史进程中行为变化的依据和基础。

第一节 裂谷盆地轮廓

黄骅裂谷盆地位于我国东部渤海湾西北部沿岸和西部海域,其大地构造位置隶属于华北地台东部,是渤海湾裂谷系中部的一个断陷,其范围西以沧东断裂为界,与沧县潜伏隆起相接,北以宁河-昌黎断裂为界,与燕山褶皱带相依,东南以超覆和断层的过渡形式与埕宁潜伏隆起相连。盆地形态呈西南收敛,向北东海域撒开的狭长形断陷。盆内形成了凸凹镶嵌、东西分带、南北分区的构造格局(图 1-1)。总面积约为 17000km²,其中陆地面积约为 11000km²。

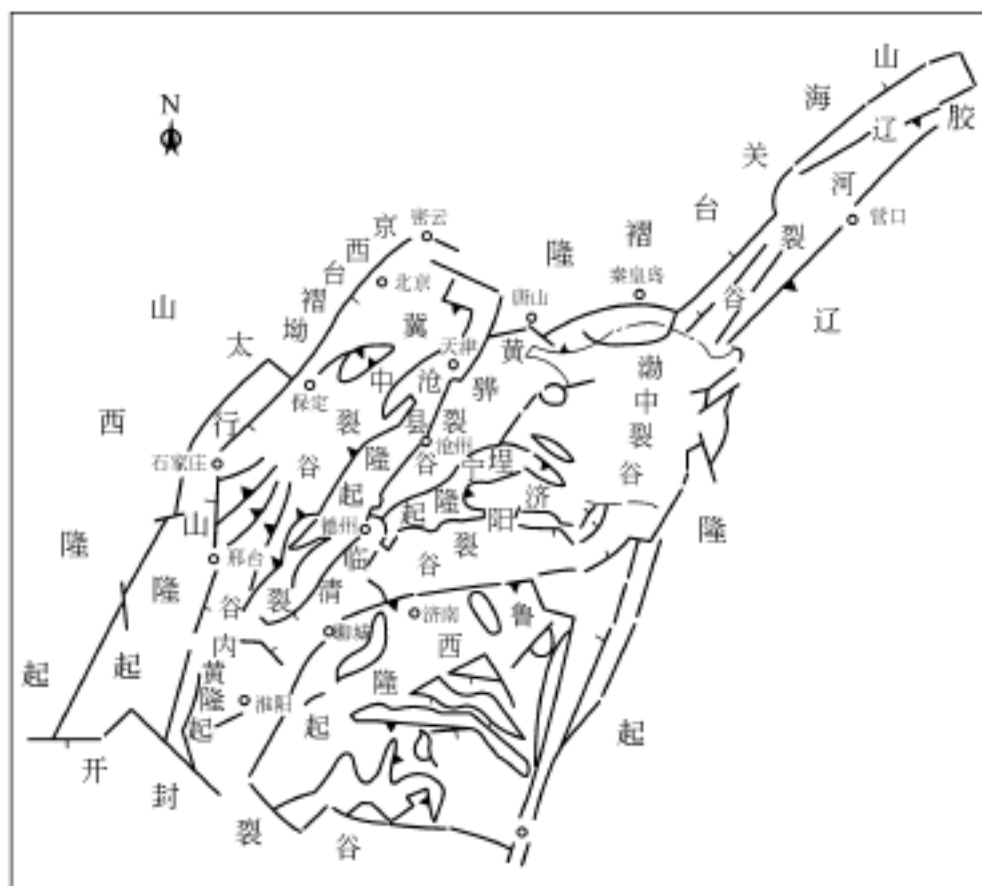


图 1-1 渤海湾裂谷盆地构造区划示意图

第二节 裂谷盆地形成演化

黄骅裂谷盆地是渤海湾裂谷系中的一个次级断陷,是在古老的中朝准地台背景上演化形成的。印支期前经历了稳定地台发育阶段,根据沉积建造、构造旋回,可分中、新元古代准地槽建造期、早古生代稳定地台发展期、晚古生代海陆交互-陆盆发育期和早中生代三叠纪陆盆萎缩-隆褶发展期四个阶段。印支期后进入中、新生代拱升裂陷-大陆裂谷型盆地发展阶段。中生代受压应力场控制,以拱升裂陷为主,火山活动强烈;新生代在地幔拱升背景上受张应力场控制形成裂谷,以断陷差异沉降为主,岩浆活动较弱。印支期后裂谷发育经历了四个阶段(李德生等,1983;陈景达,1989;李志文,1989)。

1. 中生代晚期—早第三纪早期的裂谷张裂期

该期构造演化是在不断拱升的前侏罗纪的大型复式隆起背景上进行的。由于北面燕山和南面鲁西与鲁西北两侧山区拱升强烈,盆地相对较弱,但裂陷活动强烈,形成了众多孤立的地堑或单断型断陷,充填了火山碎屑岩和类磨拉石建造。晚白垩世盆地抬升,直至古新世一直处在隆剥状态。

2. 早第三纪始新世—渐新世中期裂谷扩张裂陷期

始新世:盆地南部(扣村、羊三木一线以南),沿太行山与鲁西结晶基底过渡区的南皮、孔店一带幔体上涌,地壳拉裂,在断层下降盘生成了裂谷,形成了地堑式闭塞湖盆,分布面积约1300km²,沉积了类磨拉石建造、基性火山岩、暗色湖相泥岩的孔店组孔三、二段。孔店组一段沉积时期裂谷扩张减缓,湖盆抬升,沉积了洪积扇、基性火山岩、盐湖相膏泥岩。

渐新世:早期盆地中北部(扣村、羊三木一线以北),沿鲁西与燕辽结晶基底过渡区的歧口、南堡一带幔体上涌,地壳拉开,裂谷扩张强烈,扩张速率0.9mm/a,加剧了盆地与西、北面山系的高差,沉积了沙河街三段的湖相、近岸水下扇、深水浊积扇、水道砂等重力流沉积体系,岩性为灰或深灰色泥岩、砂岩,局部夹油页岩、生物灰岩。中期盆地南北两侧沉降幅度差异强烈,南部沙河街二段仅有200m厚的沉积,而北部沉降幅度大,堆积了500~1700m厚的沉积层。此期盆地西、北边界的沧东、昌黎断裂活动较强烈,而盆内活动减弱,湖盆底地形平坦,将早期分割的湖盆联成一体,成为大型湖盆,沉积了水下扇、湖底密度流水道砂等重力流沉积体系。

3. 早第三纪渐新世晚期裂谷收敛缝合期

东营期裂谷扩张缓慢,盆地萎缩、水体变浅,沉积中心移至歧口、南堡一带。南部水浅,物源供应少,沉积幅度小,以浅湖相灰色、绿色泥岩为主;中北部物源充足,沉积厚度大,三角洲扇体是主要沉积类型,夹有多层喷发岩。东营期末裂谷衰退,湖盆被充填,裂谷活动终止。

4. 晚第三纪裂谷掩埋拗陷期

早第三纪末的喜马拉雅运动,盆地受压上升,湖盆萎缩、消亡,结束了断陷阶段,经历了长期广泛的风化、侵蚀和剥蚀作用,盆地发生准平原化作用。自中新世起,盆地转入整体下沉,进入拗陷阶段。中新世沉积了馆陶组辫状河和低曲度河道砂砾质岩和洪泛相泥质岩。上新世沉积了明化镇组曲流型交织网状河流相泥质和砂质岩。

第三节 裂谷盆地沉积演化

裂谷盆地第三系沉积体系厚达 8000 余米,下第三系厚度为 3000 ~ 5000m,上第三系为 2000 ~ 3000m,构成了沉积剖面上的两大旋回,反映了早第三纪裂谷期和晚第三纪拗陷期两种不同构造格局背景下沉积作用和沉积相的发育阶段(李国玉等,1988;吴崇筠等,1992)。

晚白垩世—古新世:盆地抬升,直至古新世一直处于隆升、剥蚀状态,古新统缺失。

始新世:始新世主要分布在盆地南部孔店以南的南皮一带,面积约 1300km²。在由断裂控制的地堑式封闭的湖盆内堆积了 2500m 厚的孔店组。此期盆地地形高差悬殊,气候干热,沉积了一套岩性以红—黑 红、粗 细 粗的旋回。孔店组三段至二段为类磨拉石建造、基性火山岩、暗色湖相泥岩,总厚度约 1000m;孔店组一段为冲积扇 膏泥岩伴生的沉积组合,厚度达 1000m,膏盐层厚度为 400m。图 1-2、图 1-3 揭示了孔店组二段和一段沉积层的分布景观。孔二段为封闭性湖相沉积,沉积速率较慢,约 0.1mm/a,碎屑入湖量少;孔一段冲积扇分布于盆地周边大断裂下降一侧,其中以东部的冲积扇规模为最大,由南北两个复合支扇组成,北部为膏泥岩沉积体系的盐湖沉积。

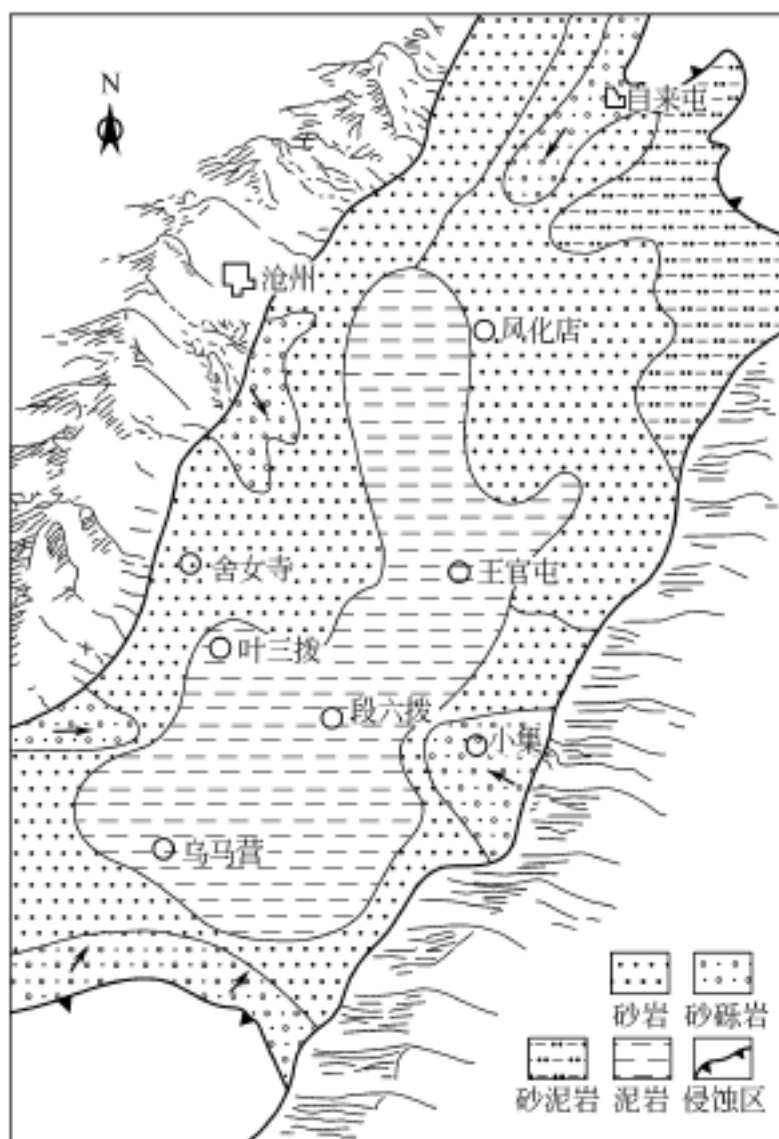


图 1-2 黄骅裂谷盆地孔店组二段沉积环境略图

渐新世沙河街期:盆内断块由南往北扩张和大幅度沉降,形成了盆内统一的大湖,除沙河街组三段时有过短暂的湖面缩小外,整个沙河街期一直处在扩展和沉降的环境中。因此,

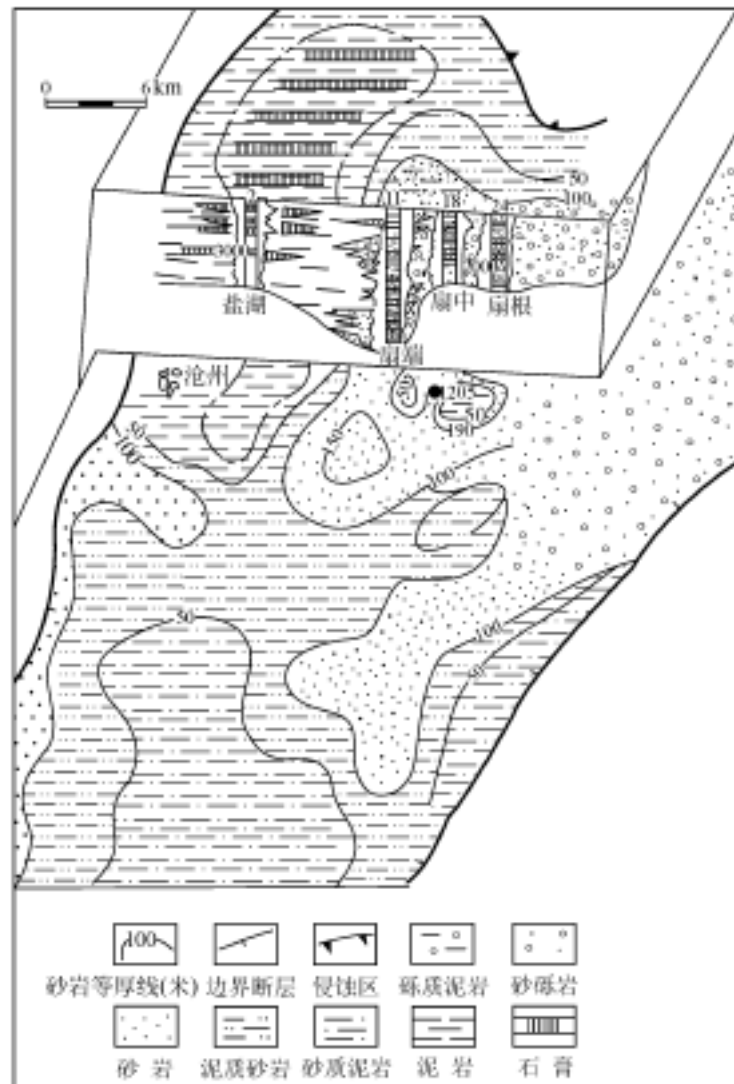


图 1-3 黄骅裂谷盆地孔店组一段沉积环境略图

其周边山系陆源和快速下陷的湖盆构成了沙河街沉积的特殊背景,尤其是在盆地的北部,碎屑岩沉积具有近源急流入盆堆积的特点,以颗粒流、沉积物液化流和浊流三种形式的密度流为该期沉积的基本特色。由于受盆地古构造的控制,盆地堆积具有南北分区的特点。

南部,在港西凸起以南、沧县和埕宁两大古隆起之间的狭长地带,盆内受由南往北排列的徐黑、孔店、港西三大凸起的影响,形成了隆高凹窄的特点。沙河街组最大厚度为 1000m,一般为 500m。除毗邻周边的南皮、舍女寺等堆积了有限的粗碎屑岩外,主要堆积的是由盆内三大凸起控制的岛岸滩沙体,其他广大地区均以暗色泥岩、碳酸盐岩沉积。以沉积层薄而广、岩性稳定为特色。

北部,在港西凸起之北、燕山以南的开阔地区,形成了凹大而深、隆小而少的特点。沙河街组厚度在 3000m 以上,为一套水进暗色砂泥岩互层为主的沉积。砂岩比南部发育,占剖面厚度的 30% 以上,一般多分布于水下低斜坡和盆地低洼处。以近岸水下扇、湖底浊积扇、深水重力流水道砂沉积为主,均属密度流类型。表征了北部水域广而深,陆源物质供给充分。以边界大断裂为岸,地形坡度大,且复杂多变,在燕山物源充足的供给下沉积,沉降速率大,沉积物粒度远比南部的粗。砂岩以长石砂岩、岩屑长石砂岩为主,并有混合砂岩和岩屑砂岩。

渐新世沙河街期三段和一段沉积相分布景观如图 1-4、图 1-5 所示。

渐新世东营期:盆地边界断裂活动减弱,直至消失,湖岸坡降减小,湖盆收缩。在经历了沙河街期长期冲刷、堆积作用背景上,盆内形成了湖滨平原地貌。此期的大陆径流多为平原

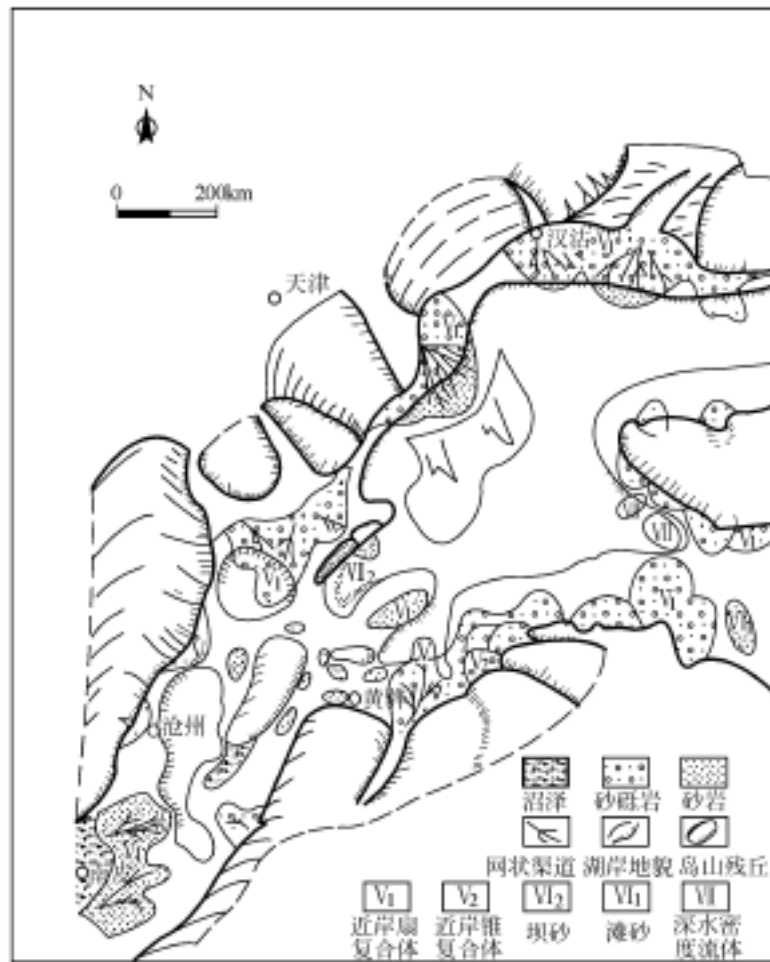


图 1-4 黄骅裂谷盆地沙河街组三段沉积环境略图

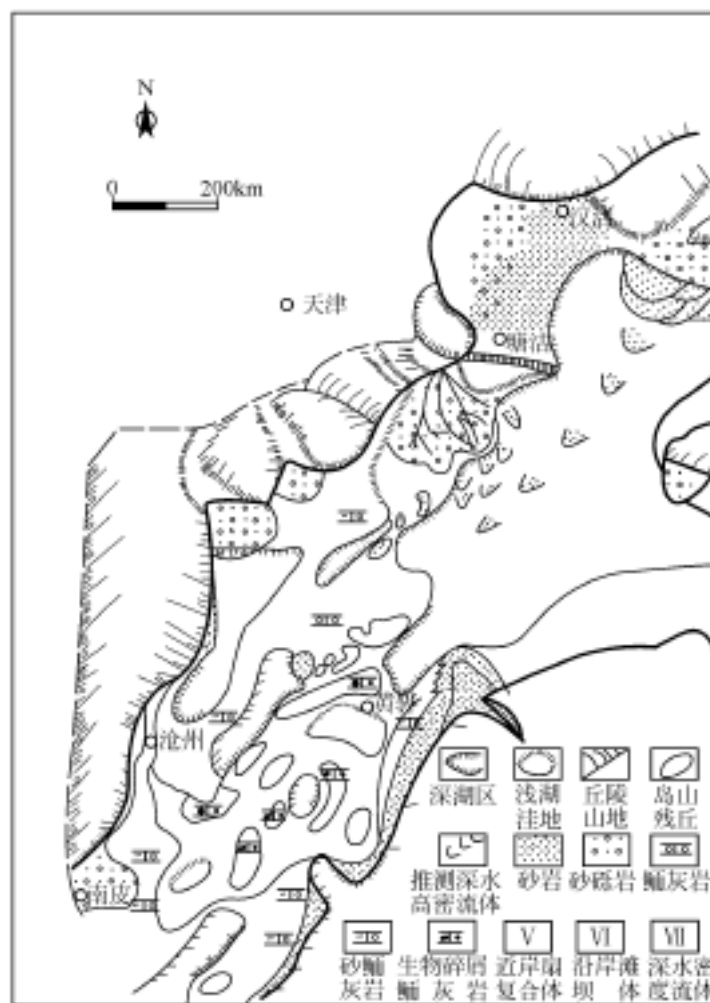


图 1-5 黄骅裂谷盆地沙河街组一段沉积环境略图

型河流,河载碎屑物分异显著,在入口处河面展宽,流速降低,水体相混,运载的大量物质在

河口三角洲沉积。因此,东营期沉积的显著特点是河流三角洲相发育,规模很大,三角洲扇体是其主要类型。这种三角洲在河口的堆积,是导致岸线向湖区不断推进的一种沉积造陆作用,湖盆渐趋萎缩。图 1-6 展示了东营期沉积相分布的景观。规模庞大的三角洲体主要分布在盆地的北部,明显受控于燕山陆源物质的供给。燕山自中生代以来,一直在不断隆升,保持了山地地貌特征,来自蒙古高原或燕山的水系多属沙质河流,至少以两个分支贯入盆地,形成了盆地北部拼接的三角洲扇体。此外,还有受埕宁隆起陆源控制形成的三角洲体,但规模不及前者。盆地南部自南往北的黑龙村、孔店、沈青庄一带存在剥蚀区,南区水浅,物源供应不足,沉降幅度小,以浅湖相灰色、绿色泥岩为主,最大厚度为 500m,而盆地北部的歧口、南堡等沉积厚度达 1000 ~ 2700m。

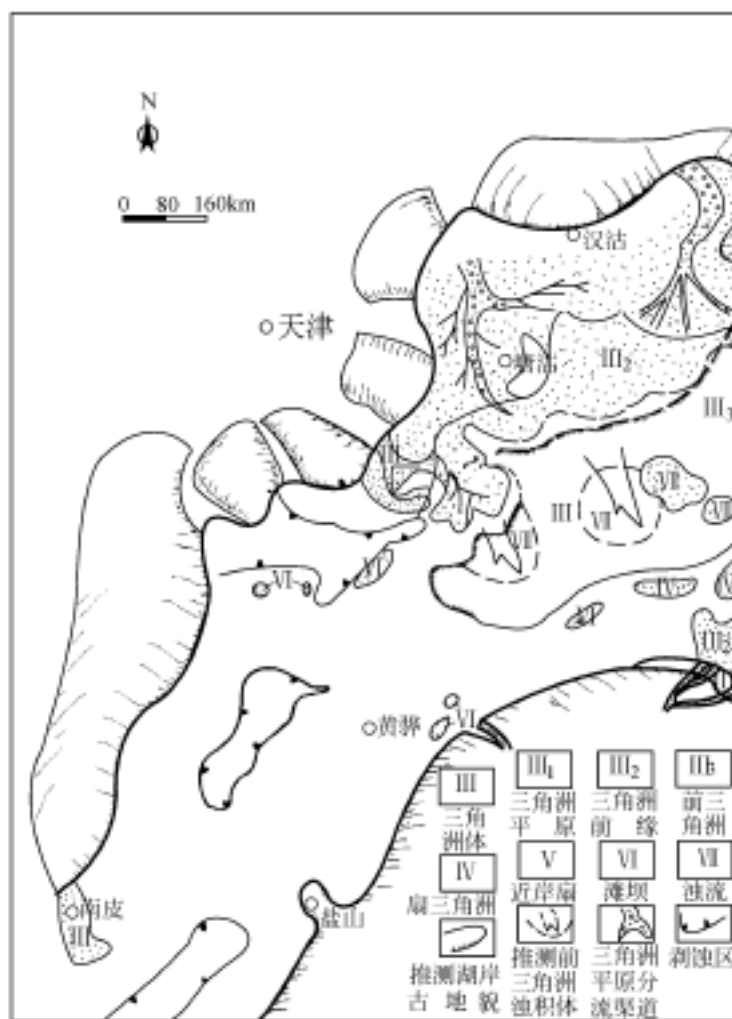


图 1-6 黄骅裂谷盆地东营组下段沉积环境略图

晚第三纪渐新世末的喜马拉雅运动结束了断陷活动,湖盆进一步萎缩,直至消亡。在经受了长期的侵蚀和准平原化之后,晚第三纪盆地整体下沉,进入拗陷阶段,堆积了上第三系 1500 ~ 2000m(海区 2500m)厚的河流相砂泥岩红色建造。

馆陶组厚约 400m,为一套砂砾质冲积和紫红、灰绿色洪泛泥质沉积,具有南北分区的特征。北部受燕山水系控制,山前砾质冲积辫状河系发育,剖面岩性较粗,砂岩一般占剖面厚的 50% 以上,在平面上呈板状分布;南部存在由南西向北东流动的低曲河道带,剖面底部砾岩甚少,厚层块状砂岩发育,呈板状分布。图 1-7 展示了馆陶期河流分布发育的景观。

明化镇组厚 800 ~ 1200m,为厚层棕红、紫红色泥质岩与砂岩不等厚互层,砂岩一般占剖面厚的 30%,为曲流型交织网状河系沉积体系。

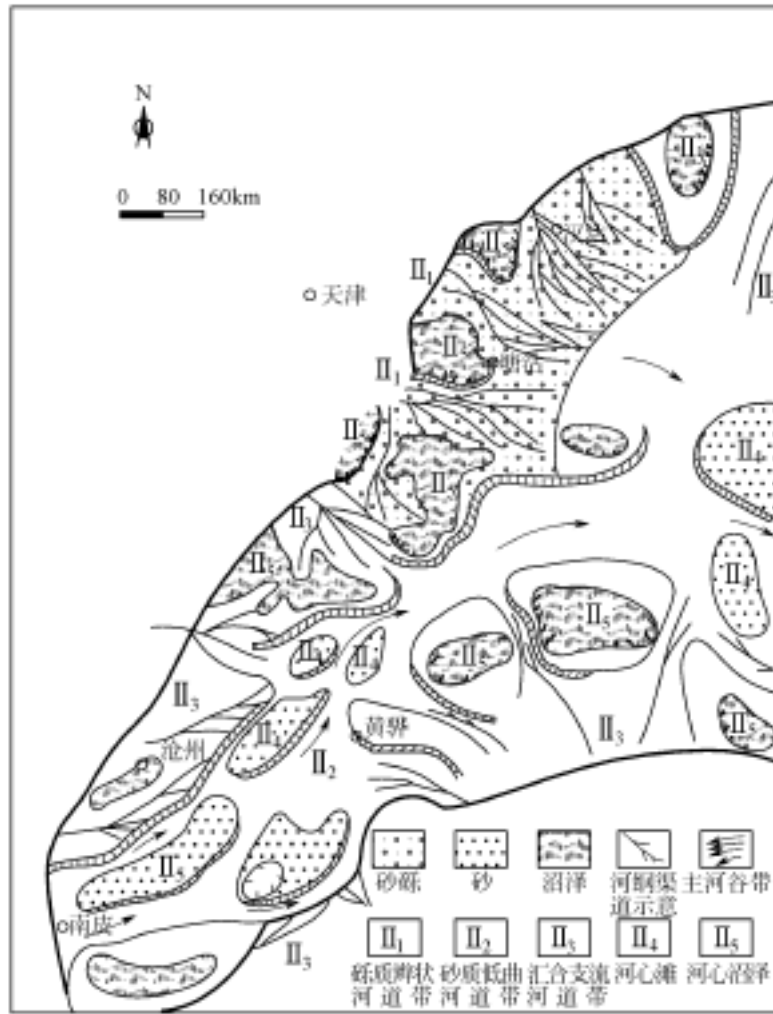


图 1-7 黄骅裂谷盆地馆陶组沉积环境略图

第二章 深层水形成演化重溯的关键术语的定位

黄骅裂谷盆地地质环境仅仅指出了赋存地下水的物质、环境及其演化的特性和进程,但究竟怎样重溯和阐明沉积体系中深层水形成演化?首先至少要涉及与回答含水系统、水文地质期和水压系统三个相关的关键术语(或学术概念)及其在沉积体系上的定位。但至今认识不尽相同,甚至存在原则的分歧。因此,正确认识这三个问题,实质上是从宏观上构筑了沉积盆地含水系统地下水形成演化的途径和方向的框架,指示和规范了各含水系统深层水在各水文地质期的水文地质构造类型、水循环交替的性质、地球化学作用的主要特点和演化的过程。因此,以黄骅裂谷盆地深层水形成演化为研究的切入点。

第一节 含水系统及其统序

一、含水系统内涵

在沉积盆地含水系统认识上存有两种相悖的观点:一种是以 J.Toth 为代表的重力穿层假设,将盆地沉积体系视为统一的地下水系统。其主要弊病是不能揭示地下水的形成演化过程,也不能区分渗入水与沉积水、重力水与压实水之间的循环转化,在操作上也难以勾画化学场和渗流场图,进行其形成年代的定位。另一种是大多数研究者主张将地下水系统分为若干个子系统进行研究(汪蕴璞等,1987,1995;邸世祥,1991;王大纯等,1995;汪珊,2001;汪珊等,2002;张宏达等,2003),怎样划分却不尽相同。作者主张将沉积体系划分为若干个含水系统,因为地下水的循环运动是按一定的系统发生和发展的。一个特定的含水系统中地下水的形成演化受控于构成该系统的物质和环境的属性,同一系统中的水动力、水化学等要素在时空上的变化具有连续性和统一性;而相邻系统的水则是相互隔绝的,抑或存在很弱或局部的水力联系,但这种联系并不改变相邻系统的地下水各自具有的主体特征。因此,含水系统可定义为: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,但在不同的地质时段内可以发生变化。

二、研究区含水系统的划分和定位

黄骅裂谷盆地在侏罗纪—白垩纪为拱升裂陷发育期,其间充填了火山碎屑岩和类磨拉石建造;晚白垩世盆地开始抬升,直至早第三纪古新世一直处在隆剥状态;从始新世开始盆内堆积了厚达 8000 余米的第三系沉积体系。那么,这套碎屑岩沉积体系划分几个含水系统呢?

1) 始新世早期在盆地南部地壳拉裂形成裂谷,充填了孔店组二、三段类磨拉石建造和暗

色湖相泥岩。由于地形高差悬殊,气候干热,形成了沉积物色调为红—黑—红相间,粒度为粗—细—粗旋回的沉积层。始新世晚期,湖盆分异,在其北部形成了盐湖,沉积的是膏泥岩,膏岩厚达 400m;其南部为洪积扇沉积层。始新世早、晚期的沉积环境、岩性岩相和物质结构以及裂谷发育进程和规模均存在显著差别。这种差别决定了孔店组二、三段与一段赋存的同生沉积水化学具有本质的区别。因此,将孔店组二、三段和一段沉积层划分为两个含水系统。

2) 渐新世早、中期为盆地裂谷的扩张发展期。早期断块由南往北发展和大幅度沉降,形成了与盆地南部早期裂谷相连的不对称的多沉降中心的湖盆,充填了以水下冲积扇和湖底密度流水道砂为主的重力流沉积体系,盆地南部还存在陆地;中期湖盆规模显著扩展,几乎为深湖、浅湖相沉积,水下冲积扇沉积规模萎缩。沙河街组一段直接超覆于沙河街组三段的中、上部之上,形成了局部不整合,沙河街组三段与沙河街组一段的沉积环境、特征和物质结构存在差别,故将其分为两个含水系统加以研究。那么,沙河街组二段是作为一个含水系统,还是归并到沙河街组三段或者一段含水系统加以研究呢?鉴于掌握的钻井地质记录的地层分层厚度多数将沙河街组二段与沙河街组一段的合并统计,与此相关的沙河街组二段的水化学测试资料较少,难以展示其水化学分布的规律性。由沙河街组三段与一段的接触关系表明,沙河街组三段沉积末盆地曾发生过抬升,湖盆萎缩,沙河街组二段沉积规模减小,岩性岩相与沙河街组三段的存在差异;运用多元统计法进行水化学样品分类的计算中是将沙河街组二段与一段划分在同一类。因此,将沙河街组二段和一段划为同一个含水系统。

3) 渐新世晚期东营组沉积时,裂谷收敛直至缝合,盆地边界断裂活动减弱直至消失,湖岸坡降减小,湖盆显著萎缩,仅在盆地南部沉积了主要是浅湖相灰色、绿色泥岩,盆地中北部河流三角洲扇体沉积体系异常发育,与下伏的沙河街组一段存在显著区别,故将东营组划分为独立的含水系统。

4) 渐新世末发生的喜马拉雅运动,盆地结束了断陷活动历史,盆地上升,湖盆消亡,经历了长期的风化剥蚀和准平原化之后,盆地整体下沉进入拗陷阶段。馆陶组为一套厚约 400m 的砂砾质冲积和紫红色、灰绿色洪泛泥质沉积,盆地北部发育辫状河流,南部发育低洼河道带;明化镇组为一套厚度 800~1200m 的棕红、紫红色泥质岩与砂质岩互层的曲流型交织网状河系沉积体系。故将二者归并为同一个含水系统。

5) 第三系沉积体系的储集类型均为孔隙裂隙型。

6) 以最新测定的、成分齐全的 41 个水样的化学成分资料为依据,对样品进行 Q-型聚类分析。计算结果(图 2-1)表明,不同含水系统的水基本上按年代由新到老的顺序排列,同一年代的含水系统的水各自归并在同一类里,其分辨率较高,仅有个别样品有所偏离。表明不同含水系统的水各自具有特定的化学特性,而这种化学特性的差别意味着各含水系统的水各自具有自身的形成演化的特点和过程,从数学上论证了含水系统划分的正确性。

7) 依据各含水系统深层水大量水化学成分测试资料统计分析表明:反映水化学成分本质差别的水化学参数值差异很大,诸如各层水的 TDS、宏量组分浓度和组分比值等(表 2-1),表明其层位性显著,各自具有自身的水化学特点。

基于上述,黄骅裂谷盆地第三系沉积体系自下而上可分为孔店组二段与三段($E_k^2 +$

E_k^3)、孔店组一段 (E_k^1)、沙河街组三段 (E_s^3)、沙河街组一段与二段 ($E_s^1 + E_s^2$)、东营组 (E_d)以及明化镇组与馆陶组 ($N_m + N_g$)6 个含水系统。

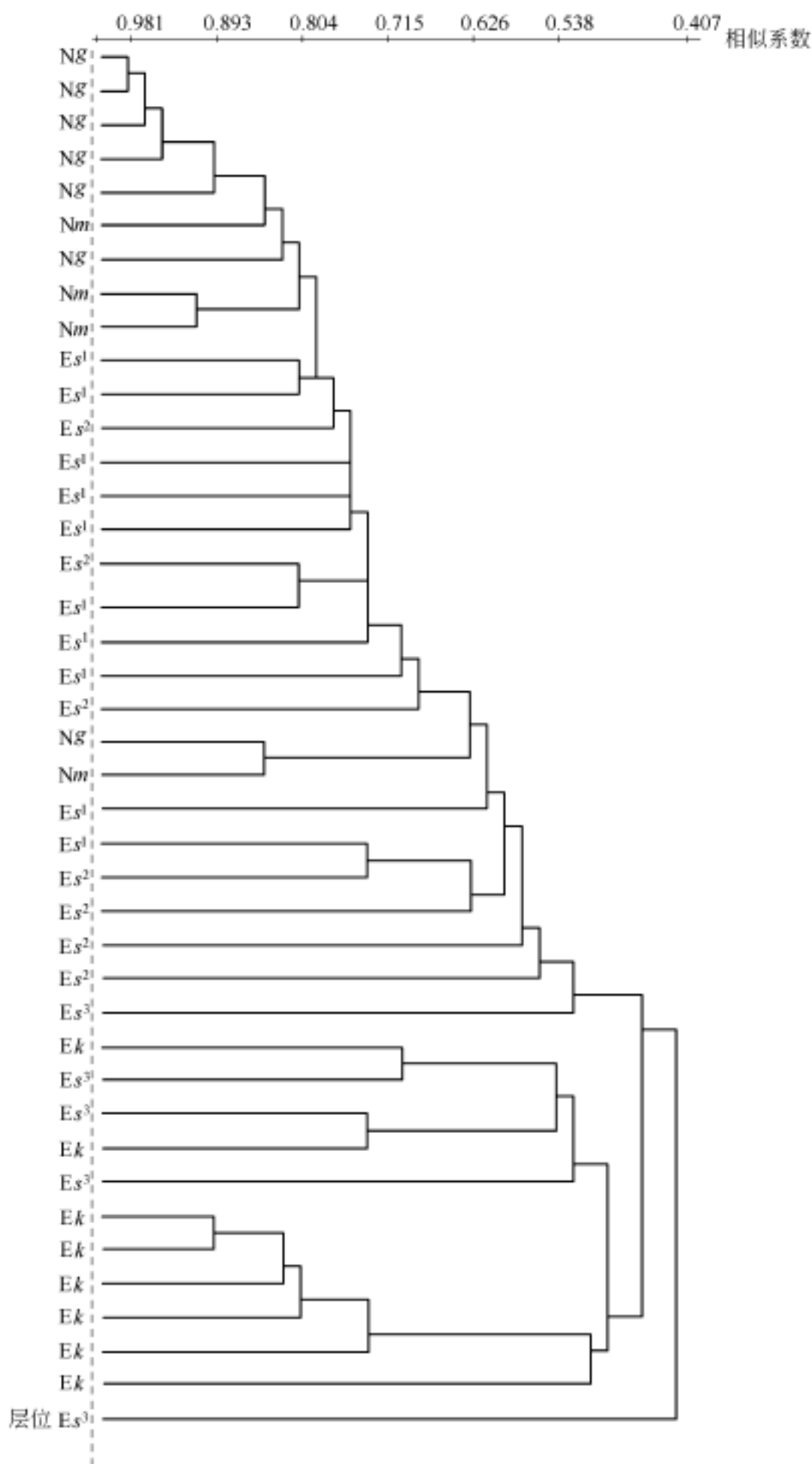


图 2-1 黄骅裂谷盆地第三系地下水化学 Q 型聚类分析谱系图
(样品数:41 变量数:22)

表 2-1 黄骅裂谷盆地第三系深层水化学参数均值特征表

含水系统		Nm + Ng	Ed	Es ¹ + Es ²	Es ³	Ek ¹	Ek ²	Mz	Pt—O	现代大洋水
水化学参数	Na ⁺ + K ⁺	1394.000	3059.47	4784.94	5689.84	10465.66	10002.90	6724.10	6616.15	11044.00
	Ca ²⁺	30.220	32.00	173.14	176.03	556.84	394.50	2305.90	223.15	420.00
	Mg ²⁺	22.800	22.33	44.37	47.83	72.44	61.21	50.92	66.69	1317.00
	Cl ⁻	1538.760	2738.73	6363.14	7377.30	16278.74	14549.25	13768.97	9174.62	19324.00
	SO ₄ ²⁻	73.110	99.20	123.95	293.13	643.90	484.28	234.28	461.92	2686.00
	HCO ₃ ⁻	1043.850	3434.33	2503.34	1725.49	646.20	1234.41	979.18	1980.92	150.00
微量痕量组分 (mg/L)	Li ⁺	0.375		2.715	2.390	2.320		5.957	6.700	0.17
	Rb ⁺	0.086		0.140	0.090	0.140		0.485	0.800	0.20
	Cs ⁺	<0.02		<0.02	<0.02	<0.020		0.096	0.062	0.01
	Sr ²⁺	2.400		16.995	29.340	36.410		181.629	7.500	8.00
	B ²⁺	1.330		7.935	16.640	9.740		3.700	1.5	
	Mn	0.105		0.205	0.210	0.170		0.821	0.082	0.14
	Fe	1.730		10.855	3.060	1.650		2.437	2.400	0.52
	Cu	0.040		0.100	0.075	<0.05		<0.05	<0.05	0.15
	Ni	<0.02		<0.02	<0.02	0.110		1.156	0.07	0.54
	Co	<0.02		<0.02	<0.02	<0.02		0.070	<0.05	0.39
	B ³⁺	1.820		27.800	11.640	13.980		22.214	31.000	4.70
	Br ⁻	21.730		34.570	42.280	15.590		17.200	19.100	65.00
	I ⁻	0.355		1.665	1.550	1.795		2.270	0.370	0.06
溶解固体量 TDS(g/L)		4.521	10.616	13.582	16.580	27.248	25.814	21.601	21.860	35.00
离子比值	c _{Na} /c _{Cl}	1.380	1.967	1.657	1.603	1.095	1.081	1.058	1.351	0.87
	c _{Ca} /c _{Cl}	0.035	0.051	0.055	0.051	0.046	0.166	0.082	0.039	
	c _{Mg} /c _{Cl}	0.034	0.023	0.027	0.213	0.021	0.014	0.098	0.047	0.20
	SO ₄ · 10 ² /Cl	5.014	4.972	3.998	10.547	7.620	8.190	13.553	10.852	10.20
	c _{Na} /c _{Ca}	67.838	168.889	96.055	75.114	33.071	66.274	68.591	34.449	25.00
	c _{Ca} /c _{Mg}	2.219	1.222	4.641	2.500	4.751	21.142	8.63	3.771	0.19
	Cl/Br	100.030		123.496	112.385	1261.918		800.522	480.347	293.00
	(Ca · SO ₄) ^{1/2}	33.014	42.648	103.626	197.173	656.445	382.581	493.571	383.988	1175.17
	*	26.430	38.237	51.541	52.891	59.083	57.276	6.077	76.777	211.42
	IBE	-0.569	-0.878	0.405	-0.376	0.527	0.550	9.710	0.336	3.13

注：* 为[(HCO₃ + CO₃)²⁻ · Ca]^{1/3}；IBE 为碱交换指数。