

层序地层学 与隐蔽圈闭预测

——以河南泌阳凹陷为例

陈文学 姜在兴 鲜本忠 邱隆伟 操应长 著



石油工业出版社

层序地层学与隐蔽圈闭预测

——以河南泌阳凹陷为例

陈文学 姜在兴 鲜本忠 著
邱隆伟 操应长

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以南襄盆地泌阳凹陷下第三系为例,研究了泌阳凹陷的层序地层格架、各层序地层单元在凹陷内的时空展布、不同时期不同构造位置沉积体系及沉积特征、成岩作用演化、储层评价、下切沟道的特征及其在层序地层学研究及油气勘探中的意义,并用可容空间变化图解法探讨了该凹陷内下切沟道的形成和充填机制。同时,讨论了层序地层学应用于陆相湖盆隐蔽油气藏勘探的理论基础和工作方法,并将之应用于泌阳凹陷的隐蔽油气藏勘探部署实践中。

本书基础资料翔实、内容丰富,可供石油公司、科研院所、高等院校等单位的石油地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

层序地层学与隐蔽圈闭预测/陈文学等著.

北京:石油工业出版社,2001.6

ISBN 7-5021-3411-5

I. 层…

II. 陈…

III. 地层层序-关系-隐蔽-圈闭-预测-河南省

IV. P539.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 032099 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 205 千字 印 1—1000

2001 年 6 月北京第 1 版 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3411-5/TE·2544

定价:16.00 元

前 言

为了将在海相被动大陆边缘盆地中建立发展起来的层序地层学正确、有效地运用于陆相沉积湖盆中,迫切需要在陆相层序发育的成因、控制因素、沉积充填方式和各级层序边界识别及等时地层格架的建立等方面进行深入的研究。位于河南省南阳市内的泌阳凹陷是南襄盆地三个凹陷之一,为一小型山间断陷湖盆(有效勘探面积仅 800km^2),至今从未发现受海水影响的任何证据,具有典型的山间内陆湖泊沉积特征,所以,对泌阳凹陷进行层序地层学研究对于丰富陆相层序地层学理论具有一定的理论意义。另外,该凹陷自 70 年代发现油气以来便以“小而肥”著称,到目前该凹陷的勘探程度总体上已较高,已进入勘探中后期,大规模的、整装的结构油气藏和较易寻找的隐蔽油气藏的发现难度越来越大,勘探的重心已明显转移到规模较小、分布较分散的隐蔽油气藏勘探上来。本研究以层序地层学理论为指导,结合测井地质学和储层横向预测技术,充分利用测井、钻井、地震信息,首先建立起成因上相互关联的等时年代地层格架,再在此格架中进行地层分布形式、沉积环境和储层评价综合解释研究,进而进行隐蔽油气藏预测。这对于油田拓展勘探领域、明确进一步勘探方向以及“增储上产”都具有重要的价值。

本研究得到了中国石油化工集团公司、河南石油勘探局、胜利石油管理局物探公司和石油大学(华东)等单位的大力支持和帮助。参加研究的还有河南油田勘探开发研究院全书进、张志业、孙冲、罗向群、涂阳发、阎富旺、夏东领、赵追等。河南石油勘探局副局长邱荣华教授级高工对项目作了具体的指导,在此一并表示衷心的感谢。

作者

2001.4

目 录

第一章 区域地质概况	(1)
第一节 区域地质背景与构造特征.....	(1)
第二节 地层组成及分布.....	(3)
第三节 勘探现状及存在问题.....	(4)
第四节 主要研究内容和研究思路.....	(6)
第二章 核桃园组层序地层学研究	(8)
第一节 各级层序地层界面的识别.....	(8)
第二节 层序地层划分	(21)
第三节 层序的类型	(25)
第四节 各层序单元的空间展布特征	(26)
第三章 沉积体系研究	(30)
第一节 相标志	(30)
第二节 单井沉积相、储层评价.....	(33)
第三节 沉积体系研究	(36)
第四节 沉积体系演化、砂体成因及展布.....	(46)
第五节 层序地层、沉积体系综合模式.....	(52)
第四章 成岩作用及储层评价	(57)
第一节 储层岩石类型及组分特征	(57)
第二节 成岩阶段划分及成岩演化	(59)
第三节 碱性成岩作用及其对储层的影响	(68)
第四节 成岩相	(72)
第五节 储集空间特征及其分带性	(73)
第六节 储层评价	(80)
第五章 重点地区高分辨率层序地层学研究	(83)
第一节 重点地区的选择	(83)
第二节 高分辨率层序地层学对比	(83)
第三节 重点层位沉积微相分析	(88)
第四节 储层地震特殊处理	(91)
第六章 泌阳凹陷下切沟道、低位扇的发现及其石油地质意义	(101)
第一节 基本概念.....	(101)
第二节 下切沟道、低位扇的识别标志及空间分布	(101)
第三节 可容空间变化与下切沟道的形成.....	(106)
第四节 下切沟道研究的地质意义.....	(113)
第七章 层序地层学在隐蔽油藏勘探中的应用	(115)
第一节 相关概念及泌阳凹陷隐蔽油气藏勘探概况.....	(115)

第二节 应用层序地层学预测隐蔽油气藏的相关理论和方法.....	(116)
结论.....	(120)
参考文献.....	(121)
图版及图版说明.....	(123)

第一章 区域地质概况

第一节 区域地质背景与构造特征

一、区域地质背景

泌阳凹陷位于河南省南部唐河县与泌阳县之间,是南襄盆地内发育的一个次级凹陷,属于小型山间断陷,面积约 1000km²,是叠置在秦岭褶皱带之上的一个中生代断陷盆地(图 1-1)。其西北为社旗凸起,西部以唐河低凸起与南阳凹陷相隔,南部和东部毗邻桐柏山,东北部为伏牛山。其形成主要受北西西向的唐河—栗园断裂和北东向的栗园—泌阳断裂的控制,沉积沉降中心位于东南部边界断裂交汇处的安棚—安店一带。基底最大埋深达 8000m 以上,从南向北、从东向西逐渐抬升(图 1-2),整个凹陷在平面上呈端部北指的扇形展布,剖面上构成南深北浅的箕状凹陷。

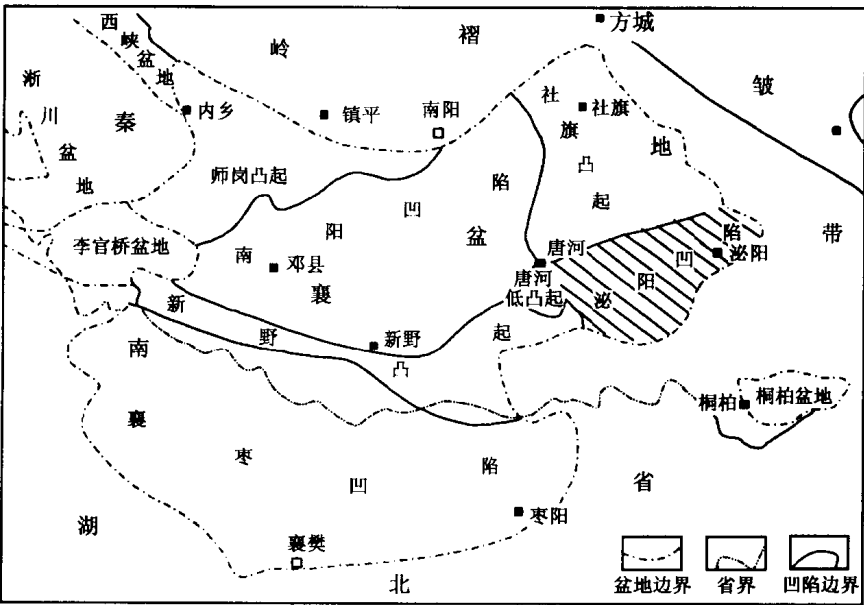


图 1-1 泌阳凹陷区域地理位置图

王尚文(1983)等认为,中国板块东部边界在中新生代的构造演化过程中有三次重要的成盆期,即晚燕山期(K_1),早喜马拉雅期(K_2-E_3)和晚喜马拉雅期(N_1-Q),后两期构造变动对泌阳凹陷都有不同程度的影响。凹陷在大地构造上位于扬子板块与华北板块结合部位的秦岭褶皱带上,是在统一的陆壳板块基底上发展起来的。

控制泌阳凹陷形成和发展的主要因素是断裂作用,按规模大致分为边界基底大断裂、盆内次级基底断裂和沉积盖层断裂三大类。其中边界基底大断裂控制着断陷的形成和发展,盆内次级基底断裂控制着凹陷内次级构造带的发展演化。北西西向的唐河—栗园断裂和北北东向的栗园—泌阳断裂决定了次级基底断裂的方向和性质。次级基底断裂主要发育在北部斜坡

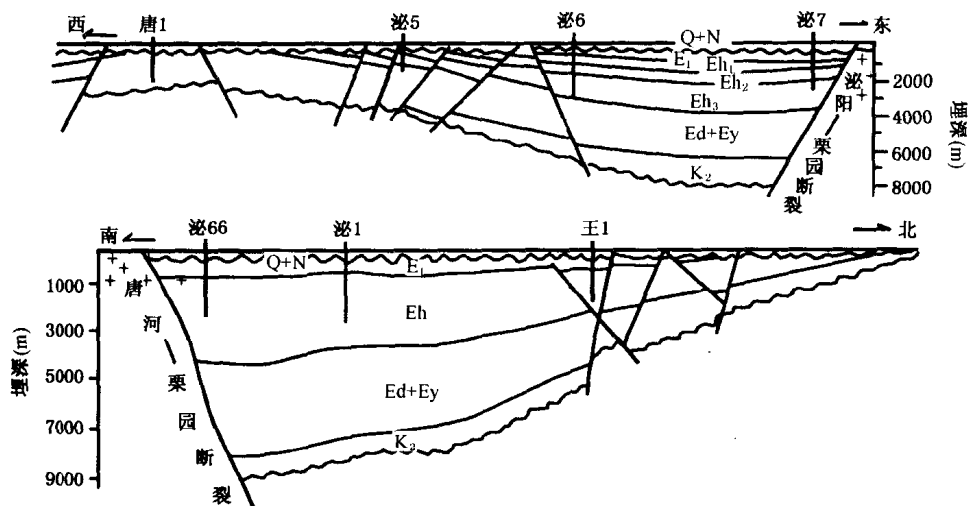


图 1-2 泌阳凹陷东西向、南北向构造剖面图

区。沉积盖层断裂也以北部斜坡区为主,主要是廖庄组沉积之后而形成的。

控制泌阳凹陷形成和发展的断裂体系大致有两种作用形式:早期(核二段沉积之前)以北北东向拉张应力为主,以北西西向下降为特征;晚期(核二段沉积之后)以北西西向拉张应力作用为主,以北西西向抬升为特征。而核二段沉积时期为两种应力转化的过渡时期,这时盆地沉降相对稳定,构造对沉积的控制作用相对减弱。

二、构造特征

受两期构造活动控制和其他因素的影响,该区区域构造有明显的差异,自北至南可分为三个构造单元,即北部斜坡带、中部深凹带和南部陡坡带(图 1-3)。

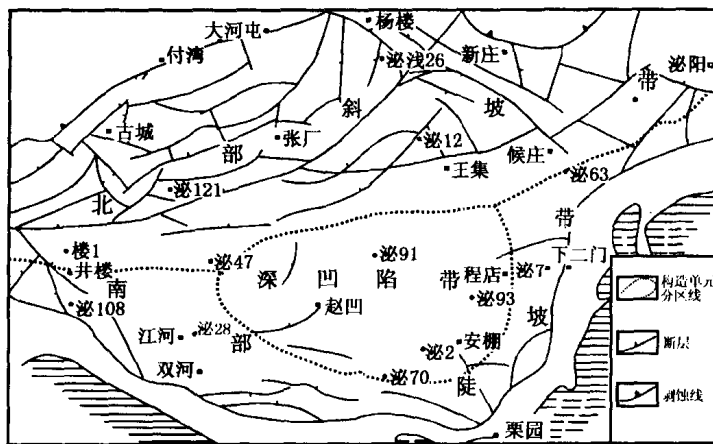


图 1-3 泌阳凹陷构造单元区划

1. 北部斜坡带

主要分布在井楼—泌 47—泌 63 井以北,为继承性单斜区,坡度较缓。从面积上看,几乎占整个凹陷的一半以上。区内沉积盖层断裂十分发育,主要由北东和北西向两组断裂构成。由于这两组断裂的交叉切割,使得斜坡带断块十分复杂。同时,还发育了一些由基底起伏和构造运动所形成的继承性鼻状褶曲。

2. 南部陡坡带

分布于凹陷南部边缘,是唐河—栗园大断裂和泌阳—栗园大断裂的断裂面在水平面上宽逾 3km 的投影区。靠近大断裂处断层较发育,其局部构造的形成受断裂作用和沉积作用的双重控制。主要发育一些小型正断层、鼻状褶曲和逆牵引构造。

3. 中部深凹带

指北部斜坡带和南部陡坡带之间的凹陷中心地带,为沉降和沉积中心。此带构造简单,断裂不发育,局部构造受基底起伏的控制,以发育向斜为主。

第二节 地层组成及分布

泌阳凹陷的形成经历了晚白垩世的初始断陷期、早第三纪的主断陷期和晚第三纪的拗陷期三个发展时期。主断陷期是凹陷形成、发展的主要时期,又进一步可以分为初期断陷、稳定断陷、强烈断陷和断陷萎缩至消亡四个阶段。沉积充填作用主要发生在主断陷期,并与上述四个阶段相适应,分出初始充填、稳定充填、强烈沉降和湖盆萎缩四个沉积充填阶段。不同的沉积充填阶段各有特色。

泌阳凹陷基底为北秦岭褶皱带的秦岭群和二郎坪群变质岩系。下元古界秦岭群为一套混合岩、片岩和大理岩;下元古界二郎坪群是一套细碧角斑岩、片岩和大理岩。

凹陷内发育的沉积地层如表 1-1 所示。

表 1-1 泌阳凹陷地层简表

地质时代		地 层		地层代号	
第四纪—晚第三纪		平原—凤凰镇组		Q + N	
早 第 三 纪	中渐新世	廖庄组		El	
		核 桃 园 组	核一段		Eh ₁
	核二段		Eh ₂		
	晚始新世		核三段	核三上段	Eh ₃ ⁺
				核三下段	Eh ₃ ⁻
中始新一古新世		大仓房—玉皇顶组		Ed + Ey	
晚白垩世		上白垩统?			
前白垩纪		前白垩系			

上白垩统:推测为洪积平原相沉积的棕红色砂砾岩夹棕红色砂质泥岩。发育在凹陷初始断陷期,是变质岩基底与玉皇顶组之间的沉积岩,地震剖面上显示为中—弱振幅,超覆在凹凸不平的基底反射之上,具有充填反射结构特征,沉积厚度小,分布范围仅局限于凹陷中心。

大仓房—玉皇顶组:为一套洪积平原相及硫酸盐湖相的紫红色泥岩、砂质泥岩与棕红色砂砾岩互层,顶部为紫红、灰绿色泥岩,集中含斑块层状石膏,总厚度达 3000~4000m。玉皇顶组发育在主断陷初期,最大厚度达 2000m,最大沉积速率达 130m/Ma。沉积时构造活动强烈,古

地貌起伏大,受北西向边界断裂和基底形态的控制,分布范围局限,沉降中心靠近唐河—栗园断裂一侧,沉积中心偏于凹陷西北部,凹陷东北部斜坡上基本无沉积或沉积层较薄。大仓房组是主断陷期稳定断陷阶段的产物,在区域分布上首次呈现出环带状特征,表明湖盆已初具雏形,但此时气候干热,雨量稀少,湖水极浅,属于浅水盐湖沉积环境,厚度约 2000m,最大沉积速率约为 180m/Ma。凹陷中的断裂活动仍以北西向为主,且对沉积体系的展布具有明显的控制作用。

核桃园组:分三段,基本上是主断陷期强烈断陷阶段的产物。

核三段主要为较深湖相的灰褐色—灰色泥岩、钙质页岩夹泥质白云岩、砂岩。上部白云岩集中,夹天然碱,中下部为深灰—灰黑色泥岩,夹白云岩和砂岩。厚约 1050~2000m。

核二段为碳酸盐湖相的浅褐色泥质白云岩与褐灰色白云质泥岩、泥岩互层,夹白云岩和天然碱,厚约 500~800m。

核三段至核二段总体上湖水较深,沉积分布较广,是凹陷内主要的生储油层段。此时边界断裂活动强度大,山高水深,沉积物补给处于欠饱和—饱和状态,凹陷持续强烈下沉,气候由干旱转为相对潮湿,出现了较深湖沉积。沿湖盆四周发育三角洲、扇三角洲、近岸水下扇砂体。总厚度达 1500~2800m,最大沉积速率为 500m/Ma。断裂活动仍以北西西向张性断裂为主,北北东向断裂在整个凹陷的演化中起着调节作用,其结果是沿唐河—栗园断裂一带发育有长桥、桂岸、平氏、杨桥、栗园等一系列扇三角洲和近岸水下扇,规模相对较大,而沿栗园—泌阳断裂一带仅发育了下二门处间歇性的小规模扇三角洲沉积。沉积中心和沉降中心呈北西向展布,与主边界断层基本平行。核三段沉积时期湖盆范围扩大,在垂向上展现为退积体系,核二段沉积时水体相对变浅,盐度升高,北部斜坡地层局部遭受剥蚀。

核一段以滨浅湖相的灰绿色泥岩夹页岩、砂岩和薄层泥质白云岩、油页岩为主,厚约 350~500m。此时边界断裂活动进一步减弱,沉降幅度减小,北部斜坡区仍然在抬升且接受更强烈的剥蚀。南部的近岸水下扇和扇三角洲几乎连成一片,仅可明确区分出桂岸和平氏两个主要的物源体系方向,与盆地东缘断层近于平行。沿南缘断裂的砂体开始收缩。最大沉积速率为 100m/Ma。

廖庄组:下部为河流—冲积平原相的棕红色泥岩与砂岩互层,厚 0~720m。包括王集、下二门以及已联为一体的双河与郑老庄等冲积砂体。该组上部沉积中发育石膏晶体和石膏脉,说明气候更加干旱。沉积末期凹陷开始抬升,沉积体遭受剥蚀,而以西北部斜坡剥蚀量最大,可达 1000m 以上。

上第三系凤凰镇组及第四系:岩性为棕黄色砂质粘土与砂砾岩互层,厚 0~200m。与下伏地层呈角度不整合接触。早第三纪末的构造抬升,结束了凹陷的断陷历史,进入到一个新的发展时期即拗陷充填阶段。该阶段为一套灰黄、灰绿色粘土和砂砾岩沉积,沉积速率约为 50m/Ma。

第三节 勘探现状及存在问题

一、勘探现状

泌阳凹陷的勘探自 1973 年以来大体经历了六个阶段,即凹陷的发现和定凹阶段(1973—1975);主要油田的发现阶段——第一个勘探高潮(1976—1979);勘探低潮阶段(1980—1983);第二次勘探高潮阶段(1984—1988);勘探相对低潮阶段(1989—1999)及第三次勘探发展阶段

(2000 至今)。

通过 27 年的勘探,在泌阳凹陷已发现双河、江河、下二门、安棚、井楼、古城、付湾、杨楼、新庄、王集、赵凹等一批油田,形成了 $150 \times 10^4 \text{t}$ 左右的产能。

泌阳凹陷自 1975 年投入勘探以来,已累计完成二维地震 7172.84km,三维地震 504.43 km^2 ,占凹陷有效勘探面积的 72%,已基本覆盖整个凹陷。共完成探井 361 口,总进尺 $75.99 \times 10^4 \text{m}$,地质浅井 153 口,进尺 $11.8 \times 10^4 \text{m}$,完成探井试油 230 口,试油层数 1152 层,获工业油气流井 155 口,探明地质储量 $16622 \times 10^4 \text{t}$ 。

泌阳凹陷二维地震测线平均密度为 $1 \times 1 \text{km}$,三维地震已基本覆盖整个凹陷。全凹陷探井密度达到 0.51 口/ km^2 ,有效勘探范围探井密度 0.64 口/ km^2 ,资源转化率达 59.2%,已进入高成熟勘探期。南阳凹陷二维测线凹陷北部地区 $\geq 2 \times 2 \text{km}$,整个凹陷平均密度小于 $1 \times 1 \text{km}$,凹陷主体部位已被三维地震覆盖,探井密度 0.05 口/ km^2 ,主体部位达 0.2 口/ km^2 ,探明储量占总资源量的近 40%,已进入较高成熟勘探期。

二、存在问题

总体上看,目前泌阳凹陷已经进入勘探中后期阶段,以下几个问题表现较为突出。

1. 各地区勘探程度差异较大

就整个凹陷而言,泌阳凹陷的勘探程度已很高,但其中个别地区,如两个边界断层交汇处的南部陡坡区的勘探程度和研究程度都较低。另外,特别是在两边界断层的附近地区,尽管前人曾经做过不少地质、地震勘探方面的工作,但由于其地质情况复杂、地震反射层速度变化大而无规律,地震资料品质差,致使该区地质、构造等方面的不少基础问题尚有待进一步的研究和落实。

2. 地层划分与对比中的不等时性问题

由于油田的地层划分和对比一直沿用生物地层和岩性地层的方法,必然导致以前所划分出的地层单元存在一定的不等时性。这种地层的不等时性极有可能导致地层对比(包括区域对比和砂体小层对比)时出现“穿时”和“窜层”的现象,这对地层圈闭和岩性圈闭的勘探带来极大的困难,同时也会对油田开发方案的制定产生多方面的不利影响。

3. 对一些地质现象和圈闭性质、成藏条件认识不清

尽管经过前期的勘探,已经探明了一批新的含油区,但对这些含油区内油藏性质和成藏条件的认识存在一些问题,这些有待重新认识的或者不准确的“认识”一定程度上约束了勘探者的思维,影响了油田勘探决策的制定和实施。例如,经过 B118、B160、B191 井的钻探基本控制了一块新的含油区,但是以前对该区油藏的类型和成藏模式的认识一直局限在“断块油藏”的认识中。因为断块油藏的成藏规模和成藏条件都受到断块面积的大小、断层活动的强弱(断距的大小)和油源及油气运移通道的控制,这就无法解释 B160 井这样的小面积断块控制的“断块油藏”自投产以来的十几年中一直“高产”的现象。这说明原有认识可能存在不足之处,而往往“认识上”的提高和完善会直接指导新的油气藏(田)的勘探。

4. 隐蔽圈闭勘探的问题

自 80 年代以来,对隐蔽圈闭的勘探便被提上了议事日程,尤其是到如今隐蔽油气藏的勘探已成为新增储量和保证“稳产增产”的支柱之一。前人在这方面做了大量的工作,并取得了一定的成效。河南油田在 1998 年曾专门立项研究了泌阳凹陷东南部深洼区隐蔽圈闭,提出了

一些新的勘探方法和技术,如多参数模式判别技术、土壤物性综合参数找油技术、土壤油气化探直接找油方法、热释光技术及电场差分直接找油技术和岩性探测技术等。这些新的勘探技术和方法丰富了油气勘探的手段,具有一定的开拓意义,但这些方法技术用于隐蔽油气藏勘探时美中不足的是忽略了隐蔽油气藏得以形成的地层和沉积基础研究。

第四节 主要研究内容和研究思路

一、主要研究内容

1. 层序地层研究

综合分析岩心、地震、录井、测井等资料,研究湖平面的变化规律,首先建立分区层序地层格架,在此基础上,按照湖平面统一变化的原理进行区域性层序地层对比,建立区域层序地层格架。

2. 沉积相研究

在对取心井的岩心进行细致观察、描述、分析的基础上,结合粒度、古生物、重矿物以及薄片等微观分析鉴定,进行单井相分析研究,然后在此基础上进行剖面相对比分析,从而建立全区沉积相综合模式。

3. 沉积体系研究

在综合分析区域构造特征、古水流、古地形等基础上,结合沉积相分析和层序地层分析结果,总结全区沉积体系的类型和分布,并探讨各沉积体系的沉积特征。

4. 砂体的成因和对比研究

在层序地层学分析的基础上,分区分析每套砂体的垂向湖平面的变化特征,寻找不同级序的层序地层界面,然后按照统一性原理进行砂体横向对比。结合层序地层学研究和沉积学研究,确定不同砂体的成因和分布规律。

5. 成岩作用和储层评价研究

对已发现的砂体进行成岩事件、成岩演化、储层分类和评价研究。

6. 储层地震地层学研究

利用时频、声波合成、砂体层位标定、测井约束反演、相对声阻抗等技术对沉积旋回、储层展布及储层物性进行研究和预测。

7. 成藏模式研究

通过沉积体系、砂体空间展布、层序地层模式、储层预测和成岩演化等方面的基础地质研究,结合该区构造演化、层序地层空间展布和内部结构、全区生储盖配置关系,指出目前剩余油的分布和主要勘探目标,总结包括沉积、层序地层、成岩和成藏的综合地质模式。

8. 隐蔽油气藏勘探及井位部署

在对重点目标区进行沉积微相、高分辨率层序地层对比和成藏条件研究的基础上,进行隐蔽油气藏勘探和探井部署。

二、研究思路

研究技术路线见图 1-4。

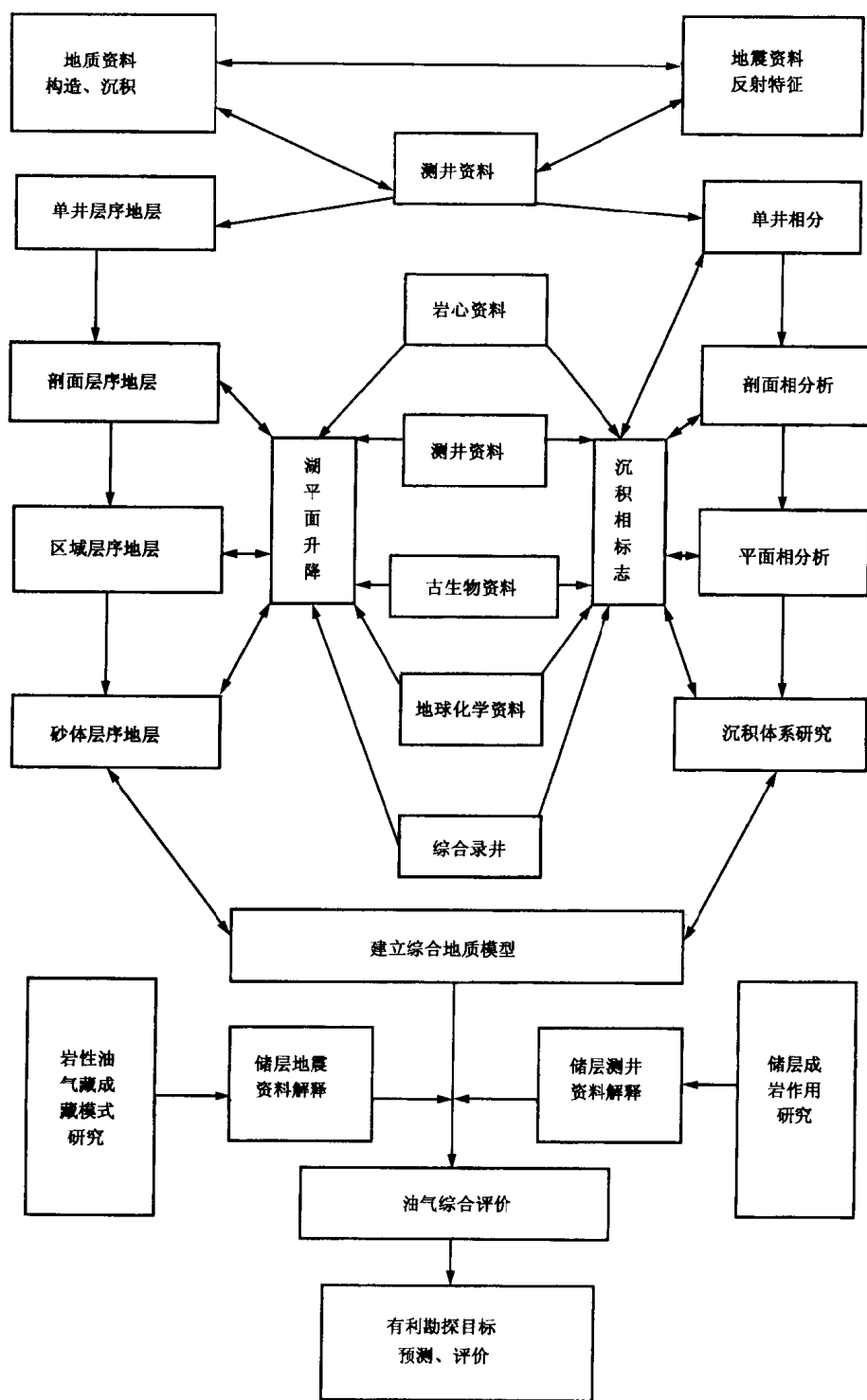


图 1-4 技术路线框架图

第二章 核桃园组层序地层学研究

层序地层学通过对不整合、整合、初次海(湖)泛面、最大海(湖)泛面以及各级海(湖)泛面的识别和对比,从层序的划分入手,再细分体系域、准层序组、准层序类型,逐步进行研究,以期“提供一种更精确的地质时代对比、古地理再造和钻前预测储层、生油层和盖层的方法”。因此层序界面及体系域界面的识别和研究具有相当重要的意义。

层序特征主要包括两个方面的内容:一是层序边界的特征,二是层序内部反射结构特征。其中边界特征是识别层序类型的主要标志。区域层序地层学研究的主要内容便是通过对层序边界形成机理、识别方法、边界类型及特征等方面的研究,结合层序内部结构特征,建立泌阳凹陷核桃园组地层的等时地层框架体系,实现工区范围内地层的基本等时对比。

第一节 各级层序地层界面的识别

一、层序边界识别

层序是层序地层学分析的基本地层单元。它是由不整合面或与之对应的整合面作为边界,一个相对整合的、有内在联系的地层序列。因为下一层序的顶界面同时又是上一层序的底界,所以我们讨论泌阳凹陷核桃园组地层划出的四个层序的层序边界时,实际上只讨论各层序的底界和层序 IV 的顶界共 5 个层序的特征及识别标志就可以了。根据层序界面在地震、测井和沉积学、沉积地球化学、古生物学上的响应特征,可以对层序边界加以识别。

1. 矿物、岩石、沉积证据(层序界面的岩性特征)

根据“相序递变”规律,只有横向上成因相近且紧密相邻而发育着的相,才能在垂向上依次叠覆出现而没有间断。也就是说,横向上相距较远的相类型在垂向上相邻出现必然意味着其间存在一个沉积间断。这种相带的突变在钻井剖面中表现得尤为清楚。

层序 I 的底界、层序 IV 的顶底界面在岩性变化和相变上特征明显。层序 I 的底界面表现为大仓房组顶部红色、杂色含膏泥岩和核桃园组底部的灰色泥岩和砂岩之间的界面,界面以下自然电位曲线平直,视电阻率低,进入该界面之上后电阻曲线猛然增加,自然电位曲线幅度明显增加,这表示沉积环境发生了突变。

结合其他研究表明,底部地层为洪积相,向上陡然变为正常湖泊和三角洲沉积环境。

层序 IV 的底界基本上与核二段和核三段之间的界面相对应,岩性上核三段顶部为深灰色泥岩,局部夹粉砂质泥岩,自然电位曲线平直,视电阻率低且呈齿状,进入界面之上后岩性变化明显,特别是斜坡区变为砂砾岩夹泥岩沉积。层序 IV 的顶界面在井楼、古城地区被风化剥蚀,但在下二门、双河及王集地区都有显示,表现为截面以下发育一套灰绿色泥岩夹粉砂质泥岩,厚 50~10m 不等,自然电位曲线平直,视电阻率低。其上为棕红色泥岩、粉砂岩和杂色、灰黄色砂砾岩及砂岩的河流—冲积平原沉积,包括双河、下二门、郑老庄及王集四个冲积砂体,其中双河与郑老庄砂体已连为一体。

通过岩心观察,我们在位于凹陷南部陡坡带和北部缓坡带的 B203、B218、B191、B207 等井中均发现了不同程度的“红层”(棕红色、红褐色、棕褐色、黄色泥岩及部分粉细砂岩)现象,这种

现象说明,该构造位置在沉积物沉积时曾经暴露陆上。所以,可以认为,这些“红层”对应的层位正位于层序的边界上或边界附近。表 2-1 是“红层”出现的层位及厚度的详细资料。

表 2-1 泌阳凹陷东南部部分井“红层”发育统计数据

井号	取心编号	岩性描述	深度(m)	层位
B203	2(5/54)	棕红色泥岩	2655~2561	Eh ₃ -Ⅲ底
	5(70/72)	红褐色泥岩	2839.5~2840.4	Eh ₃ -Ⅴ顶
	6(1~20/65)	红褐色泥岩	2840.4~2841.5	Eh ₃ -Ⅴ顶
B218	2(9~21/84)	红色泥岩	2134.9~2144.1	Eh ₃ -Ⅳ顶
	2(46~57/84)			
	3(6~28/116) 3(90~95/116)	红色泥岩	2144~2152.9	Eh ₃ -Ⅳ顶
B191	4(53~66/67)	红褐色泥岩	2599~2608	Eh ₃ -Ⅳ顶
B185	1(56/130)	棕褐色泥岩夹层	2864.2	Eh ₃ -Ⅳ顶
B207	1(1~50/59)	褐色泥与砾状砂互层	1807~1814	Eh ₃ -Ⅱ底
	2(1~47/47)	红褐色细砾岩	1815.6~1824.1	
	4(37~43/43)	(夹层)红色泥砾	1838~1839.2	
	5(44~59/59)	红棕色夹灰绿色泥岩	1841.7~1847	
	6	红褐色夹灰绿色泥岩	1850.4~1852	
B143	12(7/38)、 27次	红褐色泥岩	2493~2499	Eh ₃ -Ⅲ
		红褐色泥岩	3011~3014.96	Eh ₃ -Ⅶ
B160	7次取心	红褐色泥岩	2711.5~2717	Eh ₃ -Ⅳ

由表 2-1 可以看出,在 B207 井的核三段二砂组底部和 B185、B191、B218 井的核三段四砂组和 B203 井的核三段五砂组顶部“红层”发育。这说明在核三段二砂组底和核三段四砂组底对应地质时期,湖盆收缩,湖盆边缘地区地层暴露,遭受风化和削蚀。

2. 地球物理学证据

(1)地震剖面上的层序边界特征

地震剖面中几种特殊的反射波终止或消失现象——削蚀、上超和顶超——通常反映地层的角度不整合和超覆不整合的接触关系。

削蚀是指地震同相轴的顶部反射终止现象,既可以是下伏倾斜地层的顶部与上覆水平层间的反射终止(图 2-1),也可以是河谷底面的侵蚀造成的下伏水平地层反射的终止(图 2-2)。它代表一种侵蚀作用,说明在下伏地层沉积之后,经过了较强烈的构造运动(抬升、剥蚀)或强烈的切割作用(河谷下切)。削蚀面是层序边界的组成部分。

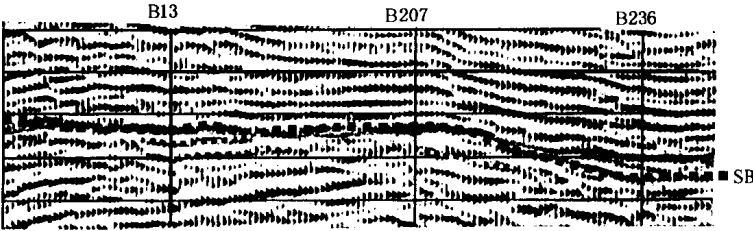


图 2-1 削蚀地震反射特征——层序边界

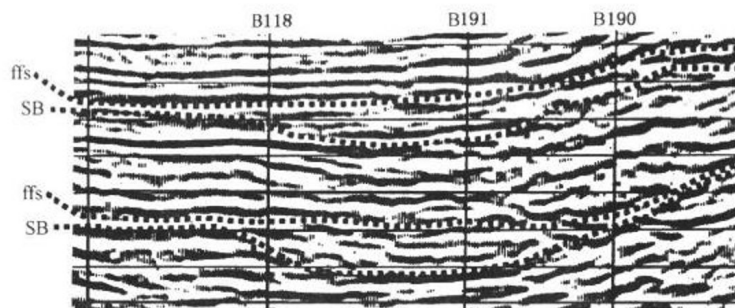


图 2-2 河谷下切成因的削蚀地震反射特征

上超是指地层沿原始倾斜面逐层向上终止,它代表水域不断扩大时逐层超覆的沉积现象,代表沉积物的向岸推进作用,表示层序底部在前期形成的层序界面上逐层上超(图 2-3)。另外,在较深水地区于高位域的深水细粒沉积上沉积的水下扇(或低位扇)沉积物在地震剖面上形成的杂乱充填上超地震相也是层序边界的一种间接识别标志之一。例如,在过 B188 井的东北方向的地震剖面上,1.6~1.7s 表现出非常明显的充填上超地震相(图 2-4)。

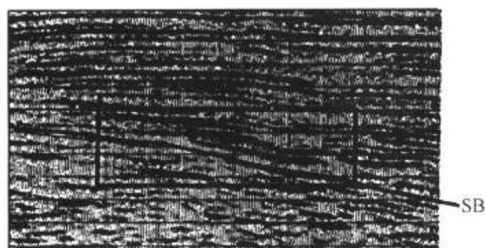


图 2-3 上超地震反射(王集三维)



图 2-4 充填上超反射特征

顶超是由无沉积作用的上界面上形成的反射终止现象,见于层序的顶界面,通常以很小的角度逐步收敛于上覆层序底面反射上,代表无沉积作用或水流冲刷作用的沉积间断,所以顶超面也是一种不连续面。

另外,值得特别说明的是,下超面的产生是由于沉积速度大于沉降速度,沉积物向盆推进的结果。只有在远离海岸的半深海、深海环境中,陆源物质供应不到,出现“水下沉积间断”后,上覆地层向层序边界的下超才属于绝对的下超,可为一种不整合标志。而在陆相湖盆中,由于湖盆面积小、物源近、陆源碎屑物质供应丰富,通常情况下只要湖泊存在,任何地方都存在沉积作用,只存在厚薄、粗细的差别而已。湖盆中下超面的形成是因为远源泥岩的沉积速率相对较低,使边缘沉积厚而凹陷中心沉积薄,造成反射同相轴从边缘向中心逐渐向下“收敛”,因此在湖相地层中下超面实际上是一种整合面,规模较大、现象明显的下超面反应的往往是最大湖泛面的沉积特征。

通过对本研究区内地震资料的反复观察,发现在凹陷南部陡坡带可见明显的削蚀、上超等同相轴终止现象,说明在该区的这些层位地层曾经遭受抬升,暴露地表,遭受风化和剥蚀,形成了规模较小的地层不整合接触。比如,在 B10—B207—B236 和 B23—B207—B223—Z8—B182—B195 等连井地震剖面上(图 2-1),可以清楚地识别出三套上超、削蚀等代表不整合接触的地震同相轴终止现象。这三套特征分别对应于层序 II、层序 III 和层序 IV 的层序底界。在 B207 井的岩心观察中于 1800~1850m 井段发现多套红褐色、棕褐色等“红层”,其对应层位正好与地震识别出的层序 III 的层序底界相吻合,这从另一个角度说明该时期在 B207、B23 等

井处发生过地层暴露和风化、剥蚀。

在北部缓坡带地区的王集、王楼、后李庄一带的三维地震剖面上,上超现象比较明显,如B218、B154、B45等井附近的层序I和层序II中上超现象非常清楚,可以明显看出同相轴向盆缘方向发生终止(图2-3)。但是在北部缓坡带地区的层序I、II、III地震剖面中没有发现过特征明显的削蚀现象,这说明在该区不存在较长时间、较大规模的剥蚀,其不整合以平行不整合为主,角度不整合不发育或规模较小,难于识别。这可能主要有以下几方面的原因:一是本次研究的范围没能包括北部地区湖盆萎缩、湖平面下降到最大时形成的主要地层暴露区,也就没有收集到相关的地震资料,从而没有发现较大规模的角度不整合地层接触。二是北部地形平缓,在地层小规模(时间短)发生暴露时,其遭受风化、剥蚀的程度相对较小,在地震反射上不易形成相应的响应。

(2) 测井曲线特征

1) 地层倾角测井曲线上的响应

沉积间断或不整合面上下地层产状通常不一致,在地层倾角测井曲线上有明显的反映;反过来,通过识别地层倾角测井上矢量图模式的变化,也可以推断沉积间断或不整合面的存在。

2) 声波测井曲线

Wyllie等(1956)依据大量的实验结果推断认为,在具有均匀分布的小孔隙的固结地层中,孔隙度与传播时间之间存在着正比线性关系。在此基础上,Magara K. (1976)总结前人的研究成果,提出泥页岩在正常压实情况下的声波时差—深度关系式

$$\Delta t = \Delta t_0 e^{-CH}$$

式中 Δt ——泥页岩在深度 Z 处的传播时间;

Δt_0 ——外推出地表的传播时间;

C ——正常压实超势斜率;

H ——埋深。

即声波时差的对数与埋深存在线性关系。地层中的孔隙度受多种因素控制,但主控因素主要为机械压实作用。而地层间断常反映地层缺失、环境的变化,因而在间断面上下沉积物特征和沉积物的压实作用效果也存在明显的差异,而这种差异又体现为泥页岩与声波时差随深度变化的曲线。因此,可利用曲线的变化特征来帮助分析沉积间断等的存在。

3) 其他测井曲线上的响应

由于层序边界上下地层的沉积环境和成岩作用条件存在突变特征,所以在能谱测井上钍、铀、钾含量值及相互关系也存在突变现象。在本区研究时所收集到的资料中缺乏这方面资料而没法考察这方面的特征。

此外,自然电位、自然伽马、视电阻率曲线等在层序附近也有剧烈地变化,例如自然电位的基线发生强烈偏移,视电阻率值突增或突减(图2-5)。值得注意的是,这几种常规测井曲线只能作为辅助判别依据,而不宜作为主要判别条件。

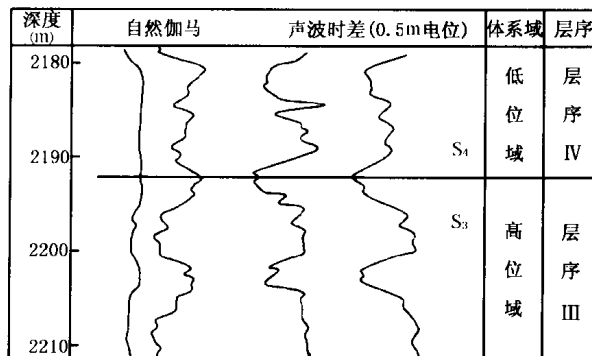


图2-5 泌196井层序IV底界测井响应