

深层油气成藏要素与富集规律

——以济阳坳陷古近系为例

李文涛 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要以构造演化、温压场变化、储层演化、烃类相态演化为主线,系统研究了济阳坳陷古近系深层油气成藏要素与富集的主控因素,总结了油气富集规律,建立了油气成藏模式,明确了油气藏高产因素,优选了有利油气聚集区带。基础资料翔实,运用技术方法先进,取得的成果对我国类似济阳坳陷的断陷盆地油气勘探具有较高的参考价值。

本书适合石油地质勘探、开发地质科技人员及大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

深层油气成藏要素与富集规律——以济阳坳陷古近系为例/李文涛著.
北京:石油工业出版社,2012.3
ISBN 978-7-5021-9015-6

I. 深…

II. 李…

III. 油气藏形成-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第067213号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523736 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11.75

字数:291千字

定价:60.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

济阳拗陷作为位于中国东部典型的断陷盆地，历经 50 多年的勘探，探明石油地质储量 50 多亿吨。目前已进入中高勘探程度阶段，不仅油气勘探的主要对象由构造油气藏转向隐蔽油气藏，勘探的主要目的层也在逐渐由沙三段以上的浅部地层向沙四段、孔店组等古近系深部层系转移。近几年的油气勘探实践和地质综合研究表明，济阳拗陷古近系深层（通常指大于 3500m 的沙四段—孔店组）资源潜力较大，具有形成高产油气流的地质条件。但由于油气藏类型多样，储层演化控制因素复杂，成藏环境温度和压力较高，油气运聚和成藏条件与中浅层差别很大，仅仅依靠中浅层油气藏勘探和地质研究建立的油气运聚成藏理论，无法有效地指导深层油气勘探。因此，本书在充分参考前人研究的基础上，结合近几年济阳拗陷深层油气藏勘探的成果，由油气成藏主控因素入手，从成藏要素的角度主要探讨了济阳拗陷古近系深层盐湖相沉积的沙四段下亚段的油气富集影响因素与规律。

本书共分五章。第一章重点介绍了济阳拗陷构造演化以及宏观上对油气成烃成藏的控制作用；第二章介绍了盐下深部储层特征、主控因素，构建了储层静态模型，建立了有效储层的预测评价方法；第三章通过现今温压地质模型的建立，恢复了济阳拗陷主要凹（洼）陷的温度、压力变化史，明确了关键地质历史时期温度、压力对烃源岩成烃、成藏的影响；第四章重点对盐湖相烃源岩的生烃演化、相态和资源潜力进行了计算、评价；第五章介绍了油气成藏过程，建立了成藏模式，总结了油气富集高产主控因素。全书以构造演化、储层演化、温压场变化、烃类相态演化为主线，在盐湖沉积储层地质模型的基础上，建立了济阳拗陷古近系深层各相带沉积模型与成岩作用模型，对成岩序列约束下的储层物性演化分析及恢复进行了系统的研究，初步形成了有效储层综合评价技术；建立了现今超压多箱叠合的压力模型并进行了过程约束下的古压力恢复，深入剖析了断陷盆地异常超压形成机制，提出欠压实作用能有效抑制压实和保护储层原生孔隙，生烃超压有利于油气排出和聚集成藏的观点，明确了超压的石油地质意义；解剖了深层原油裂解气与干酪根裂解气成因，以生烃动力学、生烃模拟实验和流体包裹体实验为基础，形成了烃类相态及成因的有效判识方法，建立了“温—相—势”三元控藏模式，结合古地温、古压力和储层物性恢复的研究成果，总结了油气富集高产的“高温高孔高势型”、“高温低孔高势型”、“中温高孔低势型”三种成藏模式，建立了一套针对济阳拗陷深层油气藏勘探的系统且行之有效的研究和预测方法。

本书紧密联系油田生产实际，在各章节均有实例分析，具有较强的实用性和可操作性，希望广大读者具有参考和借鉴意义。

在本书的编写过程中，得到中国石化胜利油田分公司勘探首席高级专家宋国奇，胜利油田分公司勘探高级专家隋风贵、王永诗等领导、专家和同事们的关心和支持，在此深表感谢。

限于作者水平，书中难免存在缺点和不足，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 盆地构造演化及其对成烃成藏的控制作用	(1)
第一节 盆地结构静态模型	(1)
一、区域地质背景	(1)
二、断陷盆地的断裂样式与结构类型	(5)
第二节 盆地构造演化研究	(8)
一、主要断层活动时期分析	(8)
二、构造发育史分析	(13)
第三节 构造与油气成藏	(17)
一、构造对烃源岩的控制作用	(17)
二、构造对储层的控制作用	(21)
三、构造对生储盖组合的控制作用	(23)
四、构造对油气藏的保护和改造作用	(24)
第二章 储层地质建模与有效储层综合评价	(27)
第一节 储层静态地质模型及主控因素分析	(27)
一、储层沉积模型	(27)
二、储层成岩作用模型	(31)
三、沉积相与沉积作用演变	(33)
四、成岩环境、成岩作用及其演变	(38)
第二节 储层物性演化分析及恢复	(45)
一、测井孔隙度、渗透率的计算	(45)
二、有效储层的下限值确定	(49)
三、成岩序列约束下的储层物性恢复	(54)
四、储层物性的演化模式	(64)
第三节 有效储层的综合评价	(65)
一、有效储层综合评价方法	(65)
二、区带有利储层评价	(66)
第三章 温度、压力地质建模及古压力恢复	(68)
第一节 地层温度、压力地质模型的建立	(68)
一、地层温度地质模型	(68)
二、地层压力地质模型	(73)
第二节 古流体压力热动力学模拟与古压力恢复	(81)
一、古流体压力热动力学模拟原理	(81)
二、古流体压力热动力学模拟	(83)
三、地质时期古压力恢复	(90)

四、地层异常压力对油气成藏的影响	(94)
第四章 烃类相态演化及深层资源潜力评价	(97)
第一节 烃源岩基本特征与生烃演化	(97)
一、烃源岩基本特征	(97)
二、生烃演化过程	(103)
第二节 油气藏烃类相态静态模型	(120)
一、烃类地下相态识别方法	(120)
二、典型区带油气藏烃类相态特征与成因类型	(126)
三、烃类相态演化及分布序列	(133)
四、资源潜力评价	(141)
第五章 油气成藏演化过程与油气富集高产主控因素	(150)
第一节 流体包裹体实验分析	(150)
一、有机包裹体荧光观察及 GOI 测定	(150)
二、流体包裹体密度分析	(153)
三、流体包裹体显微测温分析	(159)
第二节 油气成藏期次与成藏时期	(161)
一、东营凹陷北带油气藏成藏期次与成藏时期	(161)
二、渤南洼陷油气成藏期次与成藏时期	(164)
第三节 油气富集高产主控因素	(167)
一、三元因素控藏油气成藏	(167)
二、两种油气成藏演化过程	(171)
三、油气藏分布序列	(175)
参考文献	(176)

第一章 盆地构造演化及其对成烃成藏的控制作用

第一节 盆地结构静态模型

一、区域地质背景

济阳坳陷位于渤海湾西南部，属渤海湾复式断陷盆地的一部分，为埕宁隆起和鲁西隆起所挟持的一个向 NE 敞开、SW 收敛、近 EW 走向的一级负向构造单元，为一典型的“北断南超”箕状断陷盆地（图 1-1-1）。其北部以埕宁隆起为界，与黄骅坳陷相邻；南部是鲁西隆起区；东临渤海，西与临清块断盆地相连。济阳坳陷东西长约 240km，东部最宽处约

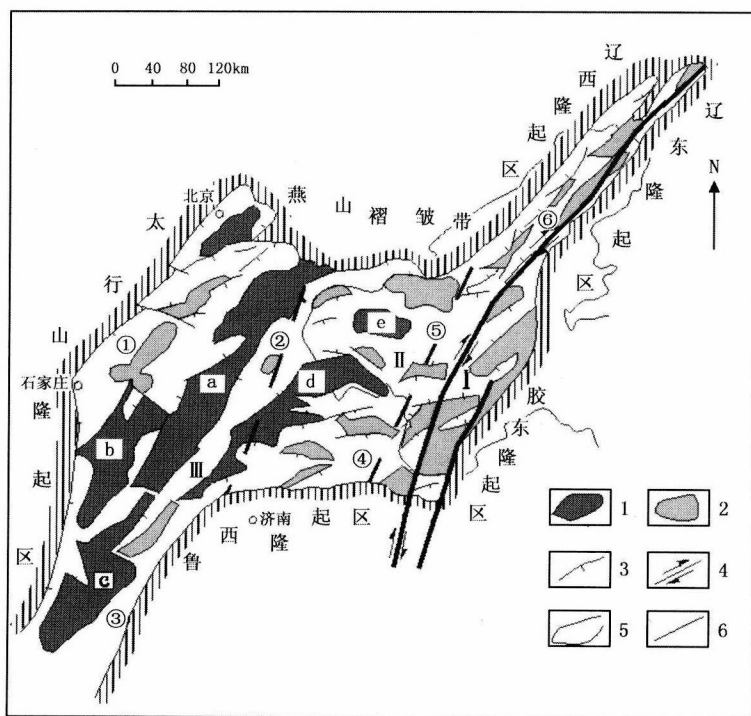


图 1-1-1 渤海湾盆地构造单元划分图

- 1—隆起区；2—凸起构造带；3—正断层；4—走滑断层；5—海岸线；6—构造分界线
①冀中坳陷；②黄骅坳陷；③临清—东濮坳陷；④济阳坳陷；⑤渤中坳陷；⑥下辽河—辽东湾坳陷；
a—沧县隆起；b—邢衡隆起；c—内黄隆起；d—埕宁隆起；e—沙垒田隆起
I—北北东向走滑构造区；II—近南北向伸展构造区；III—北西向伸展构造区

130km, 分布面积约 26500km²。坳陷内部的义和庄凸起、陈家庄凸起、无棣凸起、滨县凸起、青陀子凸起、广饶凸起又将其分为车镇凹陷、惠民凹陷、沾化凹陷和东营凹陷等四个凹陷带。

(一) 地层特征

济阳坳陷是叠置在华北克拉通古生界盖层之上的中、新生代陆相断陷沉积区。作为华北地台的一部分, 济阳坳陷早古生代为海相沉积, 晚古生代为海陆交互相沉积, 古生代、中生代陆相地层发育, 分布广泛。古生界岩性比较稳定, 整个济阳坳陷内可以对比, 与鲁西南地区接近。中生界缺失三叠系, 但侏罗系、白垩系发育, 岩性变化也较大, 因受印支运动后期挤压隆升作用的影响, 凸起部位主要遭受剥蚀, 中生界主要分布于各凹陷及凸起斜坡带。晚白垩世之后的长期隆升剥蚀作用使本区缺失晚白垩系。济阳坳陷新生代古近纪发育了一套生油岩和区域性盖层的沉积组合, 受构造运动的影响, 形成了多种类型的圈闭和复杂的油气藏, 在空间上交互叠置形成了各种复式油气聚集带。

根据物探、钻井、测井和生物地层等多项研究资料的揭示和证实, 结合野外地质调查, 济阳坳陷从老到新的地层有太古宇泰山群, 下古生界寒武系和奥陶系, 上古生界石炭系和二叠系, 中生界侏罗系和白垩系以及新生界古近系、新近系和第四系 (表 1-1-1)。前古近系, 特别是古生界与华北邻区基本一致。太古宇为底界, 缺失元古宇、古生界上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统及中生界三叠系。下古生界以浅海相碳酸盐岩地层为主, 上古生界以海陆交互相和陆棚相、河流碎屑岩相为特征; 中生界由陆上湖沼含煤碎屑岩及河流相红色碎屑岩组成; 新生界古近系古新统零星出现, 始新统和渐新统十分发育, 以湖相碎屑岩为主, 夹碳酸盐岩、盐岩、石膏和基性火山岩; 新近系和第四系则以河流相碎屑岩为主。

表 1-1-1 济阳坳陷地层发育简表

界	系	统	组	代号	岩性特征	厚度 (m)
新生界	第四系		平原组	Q	未固结黄土层	200 ~ 450
	新近系		明化镇组	Nm	棕黄色、棕红色泥岩夹棕黄色粉砂岩	800 ~ 900
			馆陶组	Ng	灰色含砾砂岩、砂岩夹灰色、绿色紫色泥岩	300 ~ 900
	古近系		东营组	Ed	灰色、灰绿色泥岩与砂岩、含砾砂岩互层	700 ~ 1000
			沙河街组	Es	深灰色泥岩与灰白色砂岩夹碳酸盐岩和油页岩	> 2000
			孔店组	Ek	棕红色与紫红色砂岩泥岩夹灰色砂岩泥岩	> 1000
中生界	白垩系	上统	王氏组	K ₂ w	紫色、杂色砾岩、含砾砂岩、砂岩与泥岩	
		下统	西洼组	K ₁ x	灰色安山岩与紫色砂泥岩	> 700
	侏罗系	上统	分水岭组	J ₃ m	杂色含砾砂岩与灰色砂岩、灰绿色泥岩互层	
		中一下统	三台组	J ₂ s	紫色泥岩与灰白色泥岩、砂岩、砾岩互层	250
			坊子组	J ₁₊₂ f	暗色、紫色、灰绿色泥岩、砂岩夹煤层	90 ~ 200
上古生界	二叠系	上统	石千峰组	P ₂ s	紫红色、棕红色、灰紫色泥岩与浅紫色砂岩	0 ~ 600
		中统	上石盒子组	P ₂ ss	黄绿色厚层砂岩及紫色灰色泥岩、泥质砂岩	400 ~ 500
			下石盒子组	P ₂ xs	灰色及灰绿色泥岩、砂岩夹薄煤层	110
		下统	山西组	P ₁ s	灰色泥岩、碳质泥岩与石英砂岩夹煤层	60
	石炭系	上统	太原组	C ₃ t	灰色泥岩、碳质泥岩与砂岩夹灰岩及煤层	160 ~ 180
		中统	本溪组	C ₂ b	杂色铁铝岩、铝土岩、灰色泥岩夹灰岩	40 ~ 100

续表

界	系	统	组	代号	岩性特征	厚度 (m)
下 古 生 界	奥陶系	中统	八陡组	O ₂ b	深灰色块状灰岩、灰色泥质白云岩	60 ~ 260
			上马家沟组	O ₂ sm	黄色角砾状泥灰岩、豹皮灰岩、灰岩夹白云岩	280 ~ 300
			下马家沟组	O ₂ xm	黄色角砾状灰岩、豹皮灰岩、灰岩夹白云岩	200
		下统	亮甲山组	O ₁ l	灰—浅灰色结晶白云岩, 底部燧石结核白云岩	90 ~ 120
			冶里组	O ₁ y	灰—浅灰色结晶白云岩, 底部为竹叶状白云岩	90 ~ 120
	寒武系	上统	凤山组	Є ₃ f	浅灰色结晶白云岩、泥质条带灰岩	100 ~ 110
			长山组	Є ₃ c	灰色泥质条带灰岩、竹叶状灰岩夹黄绿色页岩	50 ~ 100
			崮山组	Є ₃ g	疙瘩状灰岩、泥质条带灰岩夹黄绿色页岩	50
		中统	张夏组	Є ₂ z	灰色鲕状灰岩及显微晶灰岩	180 ~ 190
			徐庄组	Є ₂ x	灰绿色、紫灰色页岩夹灰岩, 含海绿石砂岩	80 ~ 100
			毛庄组	Є ₂ mz	下部灰岩, 上部暗紫红色页岩、砂岩	30 ~ 60
		下统	馒头组	Є ₁ m	灰色隐晶白云岩及紫红色页岩	100 ~ 150
太 古 宇			泰山群	Art	多种片麻岩为主, 次为闪长角闪岩、角闪岩	> 10000

(二) 区域大地构造背景

渤海湾盆地是在华北地台基础上发育起来的张性块断盆地, 是经历了古生代、中生代和新生代等多旋回演化的一个多期叠合盆地。在大地构造演化史方面, 寒武纪前, 渤海湾地区经历了泰山运动、五台运动及吕梁运动三次大的褶皱运动, 下伏太古宇泰山群地层普遍遭受了中高级变质程度的混合岩化和花岗岩化, 形成了华北地台的基底, 并造成太古宇与寒武系之间的不整合面。华北地台古生代构造运动较为平稳, 期间规模较小的构造运动振荡频繁, 地壳稳定升降, 海侵与海退交替, 渤海湾地区接受了滨浅海—海陆交替—陆地的古生界沉积组合, 形成了华北地台盖层。中—新生代, 渤海湾盆地经历了断陷、断拗、拗陷三个发展阶段而形成, 沉积了巨厚的陆相地层。三叠纪晚期—侏罗纪早期, 印支运动的发生使渤海湾地区地壳褶皱抬升, 地台活化, 形成了一系列断陷和断块隆起, 受此影响, 地台盖层 NE 向的宽缓同心褶皱和逆冲断层十分发育。晚侏罗世—早白垩世的燕山运动使盆地进入了第一期断陷时期, 强烈的岩浆侵入和火山喷发使渤海湾盆地晚白垩世—古新世早期经历了区域隆升剥蚀均夷过程。在此基础上, 新生代古近纪, 渤海湾地区在裂陷作用下, 进入了箕状断拗盆地阶段和新近纪—第四纪的区域性拗陷阶段。新生代块断活动有较强的继承性, 对早新生代地质结构及中新世断陷进行了强烈的改造, 形成了古潜山—凹陷相间的分布格局。

渤海湾盆地构造格架可分为三部分: 其东带及西带均为受控于以郯庐断裂为代表的巨形断裂系, 呈 NNE 向展布。东带自辽河南延至渤海湾海域进入山东, 其隆起与拗陷均呈 NNE 向间列, 属于右旋走滑伸展性质。西带以太行山山前断裂构成盆地边界, 盆地内部冀东拗陷、沧县隆起、黄骅拗陷等均呈 NNE 向, 也属于走滑伸展性质。东带和西带均在 NNW—SEE 方向伸展, 拗陷均呈半地堑、地堑样式。盆地中带从济阳拗陷向北到渤海湾海域中部和西部, 构造方向明显与两侧东带、西带古走滑带控制的隆起与拗陷不一致, EW 向、NNW 向构造十分发育, 显示出南北向拉伸特征。

(三) 区域构造演化的地球动力学背景

1. 中生代区域构造演化的地球动力学背景

中生代是中国东部重要的构造变革时期, 发生了多次构造变革运动。构造变革起因于板块相互作用的重大事件。基于最新的古地磁资料而建立的华南与华北地块中生代构造动力学模式 (Gilder, 1998), 早中三叠世时期, 华南板块顺时针转向华北地块, 二者之间的古秦岭洋闭合, 这个时期的郯庐断裂为转换断层。晚三叠世到早侏罗世期间, 华北和华南地块开始在大别山地区碰撞, 大别山开始楔入到华南地块, 导致华南盖层中褶皱和断裂作用产生, 郯庐断裂成为陆内剪切带。中侏罗世时期, 陆—陆碰撞继续使华南地块变形, 由于大别山的碰撞楔入作用, 郯庐断裂继续加长。晚侏罗世时期, 华北和华南地块的碰撞结束, 古太平洋板块的俯冲作用开始, 大规模的岩浆侵入作用和火山作用发生。早白垩世时期, 与俯冲作用有关的火山作用继续在海岸地区发生, 郯庐断裂继续左旋位移。

在上述动力学背景之下, 华北地块内部盆地的分布和类型发生明显规律性的变化。三叠纪时期的大鄂尔多斯盆地的原形为近东西向展布的大型陆内拗陷型盆地, 沉积相展布特征也显示了类似的特征。早中侏罗世期间, 鄂尔多斯盆地的东界西移, 华北地块的东部出现一系列小型的拗陷型盆地, 显示出原始太平洋板块开始对盆地发育产生影响。到晚侏罗世—早白垩世期间, 鄂尔多斯盆地继续大规模向西退缩, 华北地块东部发育 NE 或 NNE 向展布的断陷盆地。古近纪, 盆地处于裂陷期, 盆地的范围有所减小。到新近纪之后, 盆地整体处于拗陷期, 沉积范围增大, 是油气藏形成的最佳时期。

2. 新生代区域构造演化的地球动力学背景

新生代, 中国大陆地处印度板块、欧亚板块和太平洋板块的交汇部位。在中国大陆西南侧, 印度板块以 50mm/a 的速度向欧亚板块推进, 在中国西部产生向北的强烈推挤力。在中国东部, 太平洋板块向欧亚板块的俯冲和日本海的弧后扩张, 相当于施加了一个北西西向的推挤力。因此, 印度板块和太平洋板块作用的综合效应是在中国大陆区形成了主压应力轴由西部的近 NS 向有规律地向东部偏转成 NEE 向的总体应力场格局。在这样的区域应力场作用下, 中国西部地壳除在逆冲断裂带附近缩短外, 其间的塔里木和甘青块体等以 $14 \sim 15\text{mm/a}$ 的速度向北运动。向东由于主压应力轴逐渐向东偏转, 其向北的作用力分量将会有规律地依次递减, 包括青藏高原东缘的川滇菱形块体、甘青块体东部和华北亚板块西部等在内的地区随印度板块的大规模向北推进而被动地向北运动, 运动幅度和速度向东逐渐减小, 使华北及其邻区在内的中国东部广大地区自古近纪以来普遍被动地发生了大规模的顺时针转动。据古近纪玄武岩和砂岩的古地磁磁偏角计算, 华北及其邻区顺时针转动大约为 10.6° , 其中, 华北亚板块的顺时针转动量较西部新疆和田地区要大 $1.6^\circ \sim 3.5^\circ$ 。

渤海湾盆地新生代的裂陷作用就是在上述区域应力和块体运动背景下发生的, 在块体间不平衡向北推移引起向北伸展的同时, 由于华北亚板块东西两端向北运动的速率和距离的差异, 引起板内的 NW 向拉张。具体表现为燕山褶皱带和太行山隆起向北和北西运动, 昌黎和太行山山前断裂发生正断作用, 在这两条边界断层正断作用的控制下, 其南和南东的断块发生翘倾伸展, 形成渤海湾盆地古近纪 NE 至近 EW 走向多凸多凹的构造格局。在块体差异运动和上述翘倾伸展运动过程中, 郯庐断裂起了走滑调节作用, 使剪切应力得到有效释放。同时, 在郯庐断裂带形成一系列走滑型拗(凹)陷。

济阳断陷盆地的形成和演化经历了前震旦纪运动期、加里东—海西运动期、印支—燕山运动期和喜马拉雅运动期等多期构造运动, 构成了中生代和新生代不同类型盆地的叠合盆

地。燕山运动期的北西向断层不仅控制了中生代盆地的形成，还影响了新生代盆地的发育和展布。喜马拉雅运动期主要表现为古近纪的断陷作用和新近纪的拗陷作用，断陷早期是断陷盆地发育演化的中间阶段，拉张断陷作用是该时期的主要特征，期间充填了巨厚的孔店组、沙河街组沙四段和沙三段河流相、湖泊相的砂岩、泥岩等陆相碎屑岩沉积，该套地层的岩性组合、分布特征等受盆地构造演化控制。因此，在断陷盆地的形成和演化过程中，同沉积大断层起着决定性的控制作用，并构成了盆地的边界，也组成了断陷盆地不同结构特征。

二、断陷盆地的断裂样式与结构类型

(一) 断陷盆地的断裂样式

断陷盆地由多个正断层控制的断陷组成，控制各个断陷的主干断层在平面上展布有多种形式，致使伸展断陷构造也呈现不同的平面形态，比较典型的有锯齿状、侧列式、斜列式、枝杈状和羽状等（图 1-1-2）。

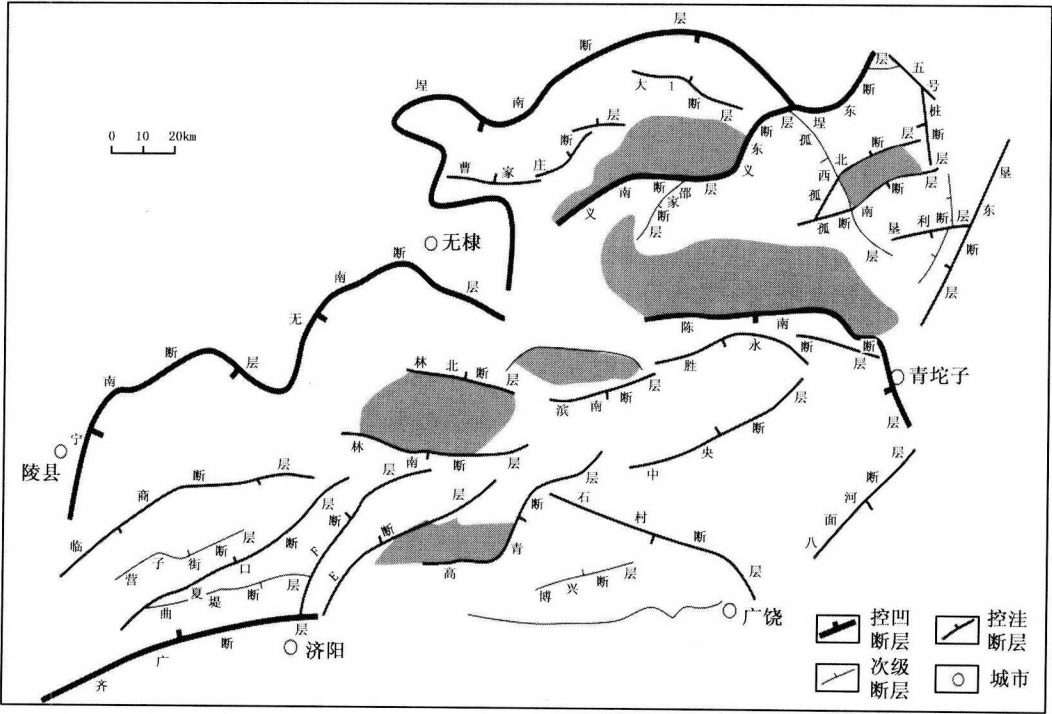


图 1-1-2 济阳拗陷 Ek—Es₄ 构造纲要平面分布图

1. 锯齿状

济阳拗陷各凹陷北部边界的 NE 向控凹断层，由多段不同的断层组成。在平面上相互连接构成锯齿状，有惠民凹陷无南断层和宁南断层，车镇凹陷埕南断层，东营凹陷陈南断层和高青—平南断层等。

2. 侧列式

惠民凹陷临商断层和夏口断层，林南断层和林北断层，东营凹陷中央断层、八面河断层平面上平行排列，侧列分布。

3. 斜列式

沾化凹陷义南断层和义东断层，东营凹陷胜永断层和滨南断层，它们走向上大体平行，斜列分布；车镇凹陷曹家庄断裂带各断层也呈斜列状分布。

4. 枝杈状

沾化凹陷垦东断层和垦利断层，惠民凹陷曲堤断层与白桥断层，在平面上呈“人”字形分布。

5. 羽状

这种组合类型发育于大的断层与其派生小断层之间。

(二) 断陷盆地的结构类型

根据断陷盆地的结构特点及其对石油勘探的意义，依据盆地的构造形态特征，将断陷盆地结构细分为单断型、双断型和复合型。

1. 单断型

单断型凹陷的主干断层可以由一条或多条倾向相同的、走向近于平行的正断层组成，相邻断陷的产状近于一致，单个断陷呈不对称的箕状。单个断陷中的沉积盖层呈楔状沉积体，盖层产状自下而上由陡倾渐变为平缓。单断型盆地中常见的犁式断裂构造带多为阶梯型及复合型组合样式，犁式断裂带中的断层都具有断层向断陷中心变新和变陡的趋势。这种类型主要分布于东营凹陷、沾化凹陷的孤北洼陷、车镇凹陷。

东营凹陷为一个典型的单断型盆地（图 1-1-3），其发育和形成主要受陈南断层控制，由于断层活动速率的不同，陈南断层东西两段在剖面上也表现出不同的形态。陈南断层东段表现为上陡下缓的铲状断层，陈南断层中段表现为阶梯式断层，陈南断层西段大部分在纵向上表现为座椅状，局部为铲状。东营凹陷整体上呈北断南超的构造格局，北部为东营凹陷北部陡坡构造带，南部为东营凹陷南部缓坡构造带，中部为东营凹陷中央隆起带，同时在这些构造带之间由利津洼陷、民丰洼陷、牛庄洼陷、博兴洼陷等组成。

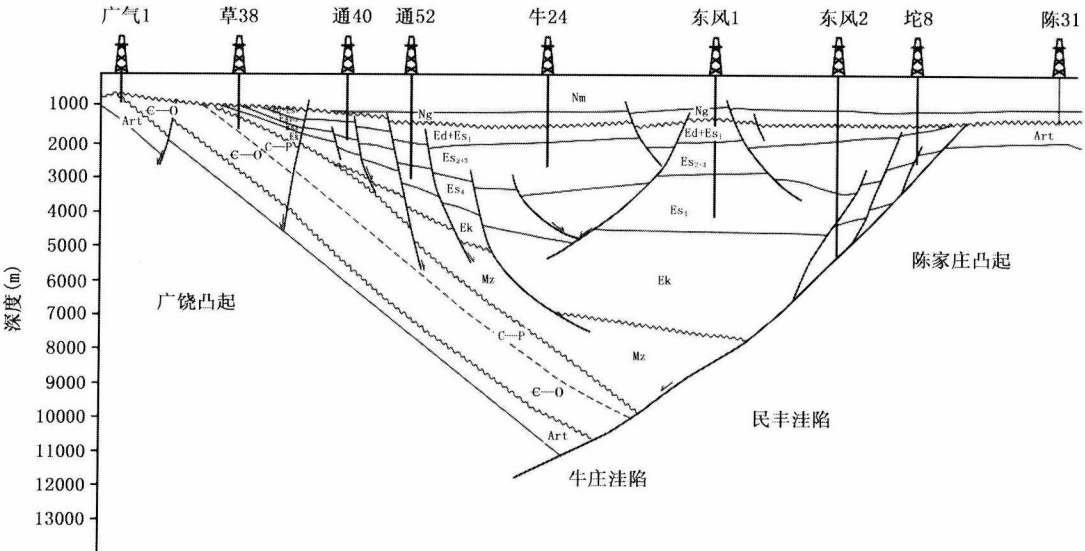


图 1-1-3 东营凹陷单断型地质结构剖面图

2. 双断型

双断型凹陷两侧发育主干边界断层，盆地形态呈近对称的“凹”形或“凹—凸”相间形。济阳坳陷比较典型的双断型主要分布于惠民凹陷临南洼陷和沾化凹陷渤南洼陷（图 1-1-4）。对于断陷早期充填层系地层而言，由阳信大断层与夏口断层构成的双断型，北部边界阳信大断层发育于印支—燕山期，主要活动时期为喜马拉雅早期（Ek 沉积期），在 Es_2 —Ed 沉积期明显减弱，甚至出现“且断且超”的情形；南部的夏口断层强烈活动于 Ek 沉积期，在夏口断层与阳信断层构成的地堑带成为孔店组的沉积中心，沉积了较厚的孔店组。同时临商断层、林北断层、林南断层的活动使该盆地双断型呈现出复杂化，在不同的地震剖面上可见到断层剖面“入”字形组合、“Y”字形组合及“入”字形组合等。

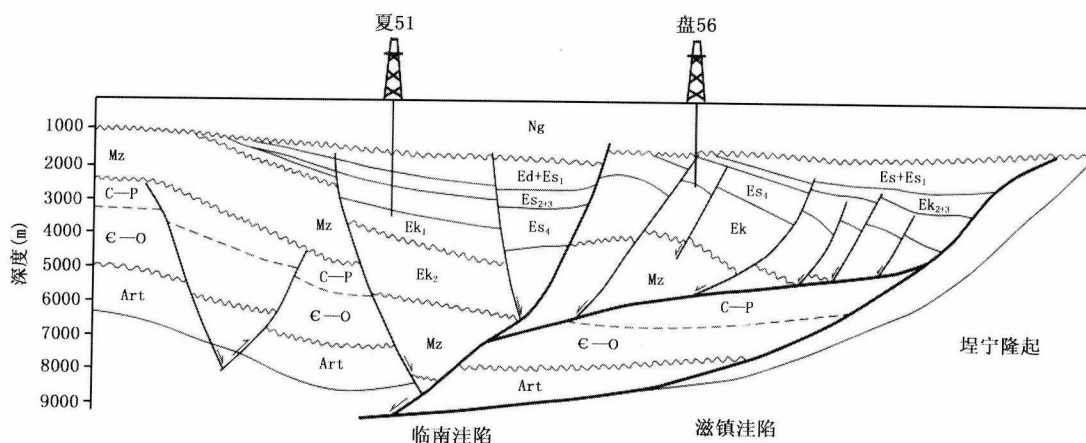


图 1-1-4 惠民凹陷双断型地质结构剖面图

3. 复合型

复合型凹陷发育多条主干边界断层，可分为断面倾向相反的两组，盆地基底变化较大，断陷平行排列，盆地呈非对称性或近对称性结构，是单断型和双断型盆地复杂化的结果。复合型盆地盖层产状变化大，断陷中的盖层结构有断翘型和超翘型。济阳坳陷各凹陷均发育此种类型，从坳陷或凹陷作为一个单元来划分，复合型分布最广，也决定了复式油气聚集带油气藏类型的多样性。

复合型凹陷的多期构造运动和断裂活动使原来简单化的构造带变得复杂化，也表明了不同的成因机制。沾化凹陷由五号桩洼陷、孤北洼陷、渤南—四扣洼陷等多个构造区带组成，五号桩断层、孤北断层、孤西断层、义东断层在中生代经历逆冲挤压、构造反转和拉张断陷等作用，并且断层活动时间和活动强度又存在差异，比如孤西断层在沙四段沉积期属于强烈活动时期，而五号桩断层和孤北断层在此时期活动减弱，五号桩洼陷和孤北洼陷沉积的沙四段较薄（图 1-1-5）。

结合济阳坳陷的构造演化史，则可发现断层在剖面上具有如下组合特征：

(1) NW 向的罗西断层控制了 Es_4 下亚段的沉积，以后停止活动；孤西断层、五号桩断层则控制了整个 Es_4 沉积期的沉积。

(2) 断面形态可见平面式、铲式和座椅式。平面式如罗西断层，铲式如埕东断层、义东断层、五号桩断层，座椅式如孤西断层。

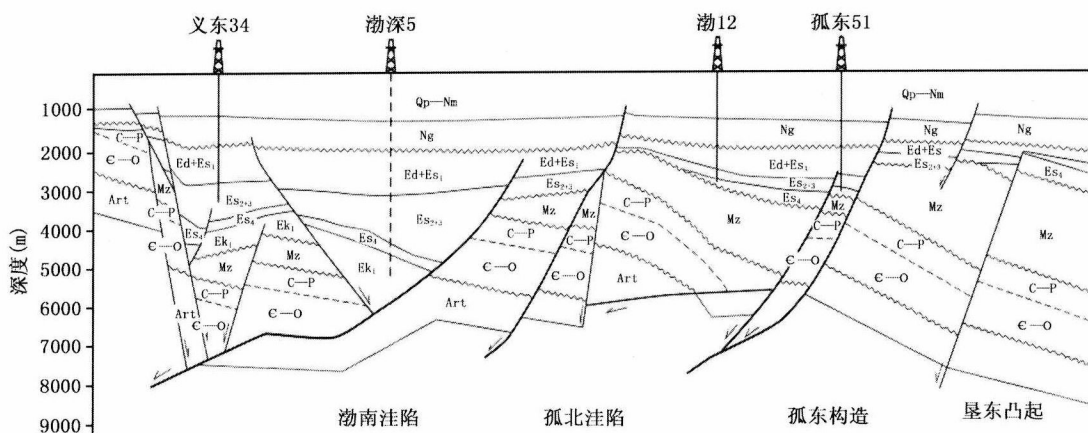


图 1-1-5 沾化凹陷复合型地质结构剖面图

(3) 断层剖面组合可见“入”字形组合、“Y”字形组合。“入”字形组合如罗西断层及其东侧小断层，“Y”字形组合如孤西断层及其西侧小断层。

(4) 地堑及半地堑。地堑如义东 AA'段的义东断层及其南侧小断层之间。半地堑主要以滚动式半地堑为主，如各条铲式伸展断层控制的剖面组合形式。

第二节 盆地构造演化研究

一、主要断层活动时期分析

地震剖面、三维地震水平切片、钻井资料、重力资料、火山岩分布等资料揭示，济阳拗陷新生代各凹陷的边界断层大都表现为北东（东）向，主要有惠民凹陷宁南断层、无南断层、齐广断层，车镇凹陷埕南断层，沾化凹陷义南断层、义东断层、埕东断层，东营凹陷高青断层、滨南断层、陈南断层。而济阳拗陷中、新生代北西向断层主要有以下几条：惠民凹陷滋镇断层、阳信断层，沾化凹陷罗西断层、孤西断层、五号桩断层，东营凹陷石村断层、牛庄断层、陈南断层等。

（一）北东（东）向断层活动性定量分析

1. 惠民凹陷

1) 宁南断层

宁南断层西段走向呈 NE25°~30°，东段走向呈 NEE75°~80°，长度约为 60km，断层倾角为 40°~60°。断层 Ek 沉积时期开始活动，Es₄ 沉积时期—Es₁ 沉积时期断层活动强度较大，Ed 沉积时期—Ng 沉积时期断层活动逐渐减弱，至 Ng 沉积末期断层停止活动（图 1-2-1）。就整条断层来看，活动强度自西向东逐渐减弱。

2) 无南断层

无南断层西段走向为 NE70°~75°，东段走向为 NW115°~120°，长度约为 75km，断层倾角为 40°~50°。断层 Ek 沉积时期开始活动，断层活动呈现单峰的特征，Es₃ 沉积时期断层活动强度最为强烈，之后逐渐减弱，Ng 沉积时期断层停止活动（图 1-2-1）。总体上，西段断层活动较东段断层活动强烈。

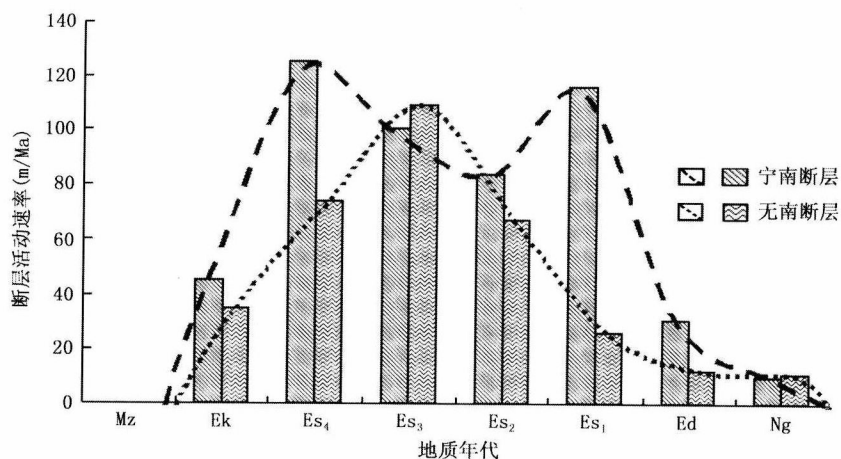


图 1-2-1 惠民凹陷北部控凹断层活动速率随时间变化对比图

3) 齐广断层

齐广断层西段走向为 $NE45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ，东段走向为 $NE80^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ，长度约为 50km，断层倾角为 60° 。断层在 Ek 沉积时期开始活动，断层活动呈现双峰的特征，Es₄ 沉积时期和 Es₁ 沉积时期断层活动较强烈，断层在第四纪仍在活动。

2. 车镇凹陷

埕南断层为车镇凹陷的北部边界断层，整体走向为 NE 向，但可细分为三段，西段走向呈 $NWW15^{\circ}$ ，中段走向呈 $NE40^{\circ}$ ，东段走向呈 $NW25^{\circ}$ ，长度约为 150km，断层倾角为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。断层活动速率曲线呈现双峰的特征（图 1-2-2），断层 Ek 沉积时期开始活动，活动强度迅速增大，Es₄ 沉积时期断层活动达到高峰，Es₃ 沉积时期和 Es₂ 沉积时期断层活动相对较弱，Es₁ 沉积时期断层活动又达到活动高峰，之后断层活动性迅速减弱，至 Ng 沉积初期，断层停止活动。就整条断层活动来看，断层中段的的活动性较断层两端活动强度要大。

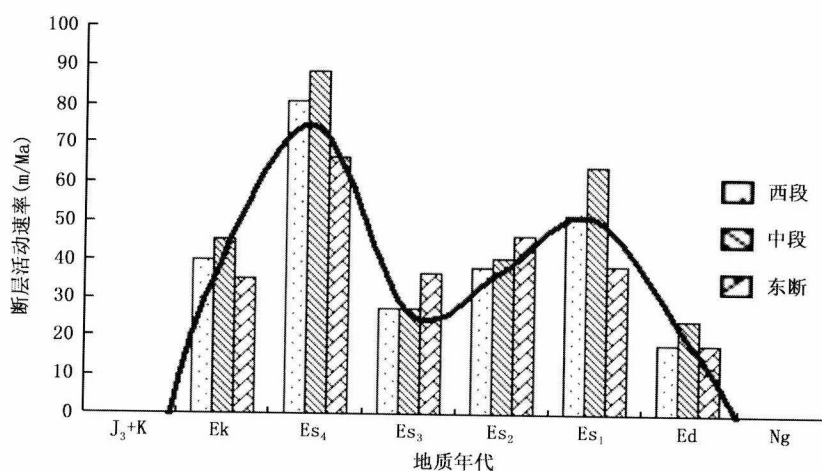


图 1-2-2 埕南断层活动速率随时间变化直方图

3. 沾化凹陷

1) 义南断层

义南断层位于义和庄凸起的南缘,走向 65° ,长度约为50km,倾角约为 55° 。断层活动速率曲线表现为双峰型,高峰期分别出现在 Es_4 沉积时期和 Es_1 沉积期,其中 Es_4 沉积时期最大,活动速率可达22m/Ma;Ed沉积时期断层活动性开始减弱,Ng沉积时期趋于停滞。整体而言,西段的活动强度大于东段,但断层活动结束的时间早于东段。

2) 义东断层

义东断层走向 30° ,长度约为20km,倾角 $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。断层于 Es_4 沉积时期开始活动, Es_3 沉积时期— Es_1 沉积时期活动强烈。断层不同位置上活动规律不尽相同,如图1-2-3所示,在YD1点处,断层活动明显呈现双峰的特征, Es_3 沉积时期和 Es_1 沉积时期断层活动性较强;但是在YD2点和YD3点处,断层为单峰的特征,在 Es_2 沉积时期— Es_1 沉积时期断层活动性最强;YD3点处断层停止活动的时间较西侧的YD1点、YD2点处要早。

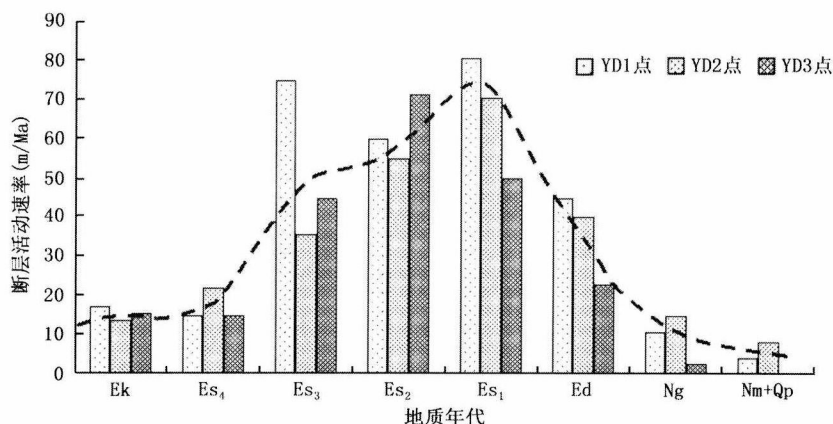


图1-2-3 义东断层活动速率随时间变化直方图

3) 埕东断层

埕东断层走向 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$,长度约为20km,倾角 $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。断层于 Es_4 沉积时期开始活动,如图1-2-4所示,CD1、CD2点断层活动强度出现两个峰值,CD1在Ed沉积时期、 Es_2 沉积时期活动性较强,CD2峰值出现在 Es_1 沉积时期和 Es_3 沉积时期,CD3、CD4点处的最大活动时期出现在 Es_1 沉积时期。

4. 东营凹陷

1) 高青断层

高青断层西段走向呈EW向,东段呈 $NE30^{\circ} \sim 35^{\circ}$,断层长度约为70km,断层倾角为 $45^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 。断层Ek沉积时期开始活动,西段断层活动呈现双峰的特征, Es_3 沉积时期和 Es_1 沉积时期断层活动相对较强, Es_1 沉积时期后,断层活动性迅速降低,Ed沉积时期和Ng沉积时期活动微弱;东段断层活动呈现单峰的特征, Es_3 沉积时期断层活动最为强烈,之后活动逐渐减弱,整条断层Ng沉积时期断层停止活动(图1-2-5)。

2) 滨南断层

滨南断层走向为 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,长度约为35km,倾角为 $55^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。断层活动速率曲线表现为双峰的特征,断层自Ek沉积时期开始活动, Es_4 沉积时期和 Es_1 沉积时期断层活动分别达

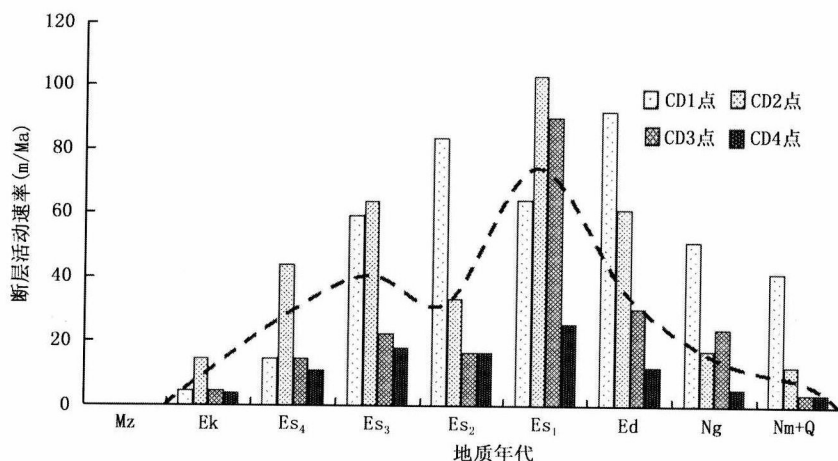


图 1-2-4 埕东断层活动速率随时间变化直方图

到高峰, Es_1 沉积时期后, 断层活动逐渐减弱, 至 Ng 沉积时期断层停止活动 (图 1-2-5)。

3) 陈南断层 (西段)

陈南断层(西段)走向为 $NEE75^\circ \sim 85^\circ$, 长度约为 80km, 倾角为 $10^\circ \sim 30^\circ$ 。断层活动具有单峰的特征。断层自 $J_3 + K$ 沉积时期开始活动, 至 Es_4 沉积时期— Es_3 沉积时期断层活动达到最大值, 之后断层活动强度逐渐减弱, 至 Ed 沉积末期, 断层停止活动 (图 1-2-5)。

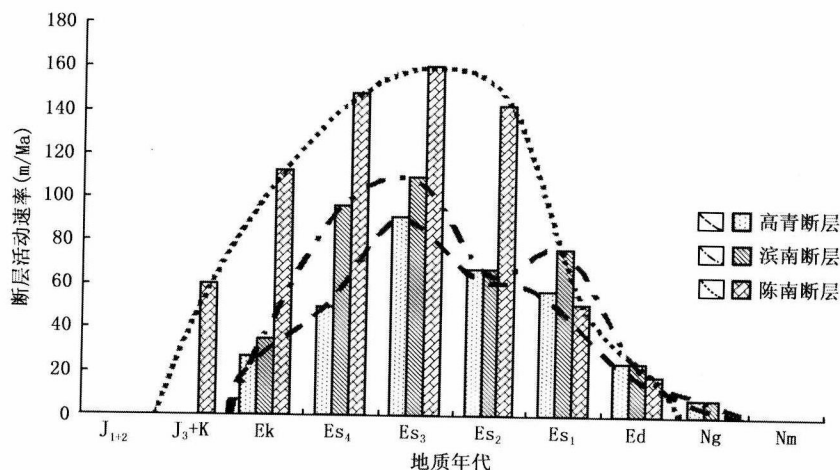


图 1-2-5 东营凹陷北东(东)向边界断层活动速率随时间变化对比图

5. 北东(东)向控凹断层活动规律

综合上述各凹陷边界断层的活动特点, 除了东营凹陷的陈南断层(西段)外, 大多数控凹边界断层开始活动的时期为 Ek 沉积初期。

从断层活动形式来看, 惠民凹陷宁南断层, 车镇凹陷埕南断层, 沾化凹陷义南断层、义东断层和埕东断层的双峰现象明显, 峰值出现于 Es_3 (或 Es_4) 沉积时期、 Es_1 沉积时期。惠民凹陷无南断层以及东营凹陷高青断层、滨南断层、陈南断层(西段)则表现为单峰型, 活动高峰出现于 Es_3 沉积时期。 Es_4 沉积时期— Es_3 沉积时期、 Es_1 沉积时期是济阳拗陷各凹

陷的主要发育期。

从断层的活动强度来看, 济阳拗陷整体表现出东南部活动性强的特点, 东营凹陷、沾化凹陷“西弱东强”的特征尤为突出, 车镇凹陷的北部边界断层活动强度变化表现为“中段强, 两端弱”的特点, 而惠民凹陷则为“北强南弱”。

从断层活动结束的时期来看, 绝大多数的 NE (或 NEE) 向控凹断层均于 N_g 沉积时期衰弱、消亡, 只有沾化凹陷义东断层、埕东断层等少数几条断层活动延续到 N_m 沉积时期。

(二) 北西向断层活动性定量分析

结合济阳拗陷中生代各时期原始地层厚度和剥蚀厚度研究成果, 对地震剖面所能揭示北西向断层活动速率进行了计算, 包括沾化凹陷孤西断层、罗西断层、五号桩断层, 东营凹陷石村断层和陈南 (东段) 断层。

1. 孤西断层

孤西断层被孤北断层截为南、北两段。南段走向为 310° , 长度约 28km, 倾角为 $45^\circ \sim 50^\circ$; 北段走向为 $335^\circ \sim 340^\circ$, 长度约 25km, 倾角为 $50^\circ \sim 55^\circ$ 。就整条断层的发育情况而言, 经历了由 T_3 沉积时期的逆断层到 $J_3 + K - E_{s3}$ 沉积时期的正断层的构造反转过程, 逆断层发育阶段, T_3 沉积时期为高峰期, 正断层发育阶段, $J_3 - E_k$ 沉积时期为高峰期, E_{s4} 沉积时期开始减弱, 直至 E_{s3} 沉积时期停滞 (图 1-2-6)。

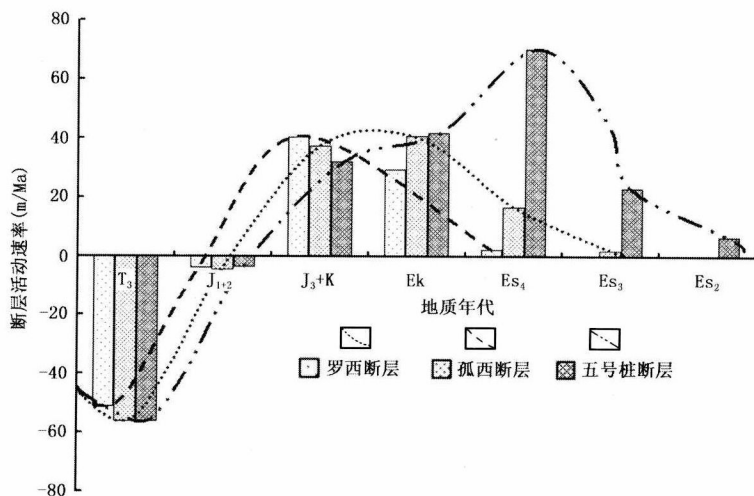


图 1-2-6 沾化凹陷主要北西向断层活动速率随时间变化对比图

2. 罗西断层

断层走向为 $320^\circ \sim 330^\circ$, 倾角约 40° 。断层在 T_3 时期为逆断层, 且活动强烈, J_2 时期后开始发生构造反转, 由逆断层转换为正断层, $J_3 + K$ 沉积时期为活动高峰期, E_k 沉积时期断层活动性开始减弱, 至 E_{s4} 沉积初期基本停止活动 (图 1-2-6)。

3. 五号桩断层

五号桩断层走向为 $330^\circ \sim 340^\circ$, 长度约为 40km, 倾角为 $45^\circ \sim 55^\circ$ 。该断层与罗西断层、孤西断层相似, 其发育和形成也经历了反转过程, 在 J_{1+2} 沉积时期由逆断层转化为正断层。 T_3 沉积时期为逆断层发育高峰期, $J_3 + K - E_{s2}$ 沉积时期为正断层发育阶段, E_{s4} 沉积时期达到高峰期, E_{s3} 沉积时期开始减弱, 直至 E_{s2} 沉积时期停滞 (图 1-2-6)。