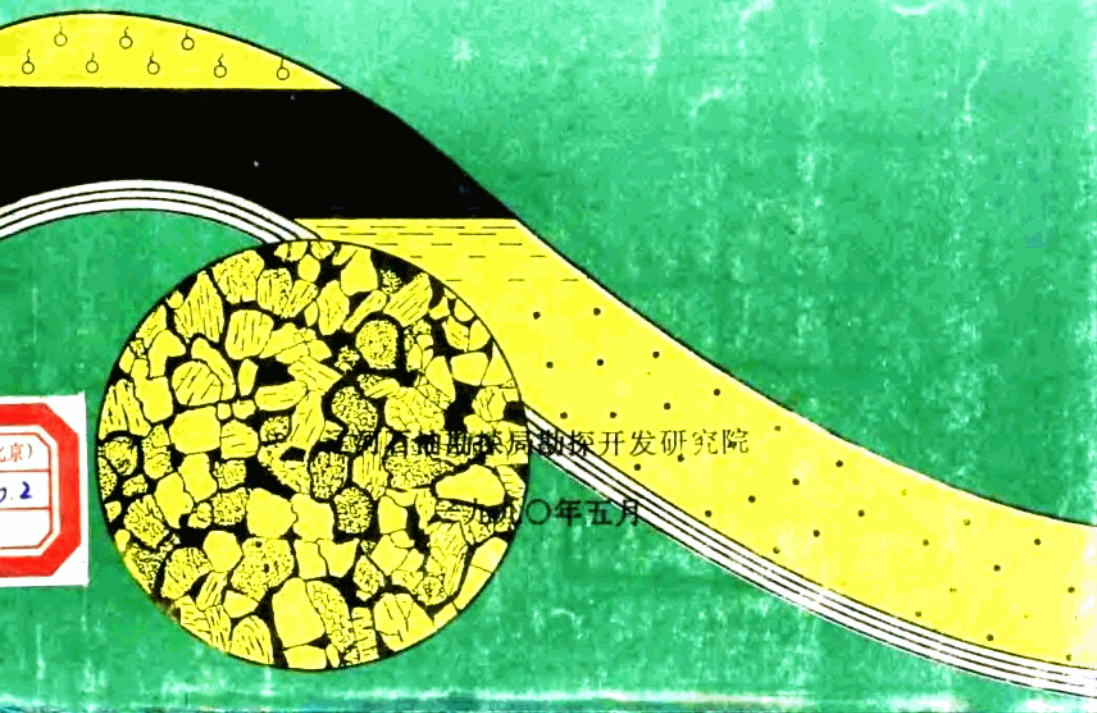


“七五”总公司科技
攻关项目成果报告

辽河断陷盆地 扇三角洲储层特征

(二)



鉴定意见

主要成果和优点:

扇三角洲是辽河油田的主要储层,研究报告对 12 个主要扇三角洲砂体及其 14 种岩相类型详细解剖的基础上,提出以河流水动力强弱与湖水波浪改造能力强弱为标准,划分为 I A、I B、I C、II B、III B、III C 等 6 种成因类型,阐明各种类型在岩性、韵律性、物性、孔喉类型等方面的特征和差别。根据砂体在横向上的连续性和非均质程度,将这些扇三角洲分为大面积连片较均质型,局部连片非均质型和网状非均质型 3 种,在注水开发中各有不同的油、水运动特点。

研究储层岩矿、孔隙结构和成岩演化史,认为粒间孔是储层孔隙的主体。储层的物性和成岩作用程度与埋藏深度有密切的关系,这些扇三角洲的砂体均处于中成岩阶段,孔隙度随着埋藏深度的增加而下降,其下降梯度是每 100 m 为 0.86%~1%,在埋深为 2 200~2 500 m(局部为 2 500~2 800 m)由于次生溶蚀孔的大量出现,使储层孔隙度可以回升 3%左右。

综合扇三角洲砂体的沉积微相,非均质性和开采动态特点,总结出了扇三角洲砂体储层特征的 4 种系统模式,它不仅是进行储层评价和开发方案编制的基础,而且可以做为扇三角洲砂体储层特征预测的重要手段。

以上的认识和结论所依据的资料丰富,论据比较充分,尤其是储层成岩作用和孔隙结构部分的照片(92 张)精细清晰。该项研究成果已经过了多年实践的检验和补充,内容比较全面。在指导油田开发方面见到了明显的效果,有着较大的实用和理论意义。

不足之处:

1. 仅有粒度概率曲线特征划分扇三角洲沉积类型比较单一,应增加沉积构造等因素综合确定。

2. 希望能进一步充实关于层内夹层的描述。

3. 报告的文字描述近 20 万字,应作适当精简。

经评委会讨论,决定给予优秀评价。

一九九〇年六月二十六日

本成果包括以下二部分:

(一)辽河断陷盆地扇三角洲储层沉积特征和非均质模式。

(二)辽河断陷盆地扇三角洲储层成岩作用与孔隙结构研究。

鉴定委员名单

序号	鉴定委员 职务	姓名	工作单位	所学专业	现从事专业	职称职务	签名
	组长	裘泽楠	北京石油研究院	石油地质	石油地质	高工 总工	裘泽楠
	副组长	袁秉衡	石油物探局	石油地质	物探	高工 副总工	袁秉衡
	副组长	朱国华	浙江石油地质研究所	石油地质	石油地质	高工	朱国华
	成员	侯方浩	西南石油学院	石油地质	石油地质	教授	侯方浩
		郭舜玲	华北油田研究院	石油地质	石油地质	高工	郭舜玲
		赵澄林	石油大学	石油地质	石油地质	教授	赵澄林
		李伯虎	大庆油田研究院	石油地质	石油地质	高工 副总工	李伯虎
		周书欣	大庆石油学院	石油地质	石油地质	副教授	周书欣
		杨业洲	江汉石油学院	石油地质	石油地质	高工 副处长	杨业洲
		薛叔浩	北京石油研究院	石油地质	石油地质	高工	薛叔浩

摘 要

辽河裂谷型盆地具有扇三角洲发育的有利条件。经多项资料综合分析,12套扇三角洲砂体分别处于中成岩阶段未成熟~成熟期。辽河盆地扇三角洲特定的沉积、埋藏条件决定了储层早期菱铁矿、含铁白云石的发育、压实作用影响较大、石英再生长普遍、化学胶结与次生溶蚀程度在不同砂体表现不同的成岩变化特点。

扇三角洲储层存在12种次生孔隙识别标志和5种次生孔隙类型。经20项参数筛选、聚类分析,将孔隙结构划分为六类13亚类。孔隙结构明显受沉积条件与成岩作用影响,三者存在有机的内在关系。

孔隙结构与成岩作用研究加深了对扇三角洲砂体特征的认识,并在勘探、开发及生产应用中起到指导与推动作用。

目 次

1 前言	(1)
2 辽河裂谷型断陷盆地下第三系扇三角洲储层发育背景与特征	(1)
2.1 裂陷期构造运动的发展变化直接控制了盆地内各期沉积作用	(1)
2.2 扇三角洲砂体是辽河断陷盆地的主要沉积体系	(2)
2.3 辽河盆地扇三角洲砂体沉积的地质背景	(4)
2.4 扇三角洲砂体沉积相带的划分与岩性特征	(9)
3 成岩阶段划分及依据	(10)
3.1 原始最大埋深的恢复	(10)
3.2 成岩阶段划分依据	(12)
3.3 成岩阶段划分意见	(19)
4 扇三角洲储层的成岩变化	(19)
4.1 早期碳酸盐矿物析出与交代	(23)
4.2 机械压实作用	(25)
4.3 破裂作用	(25)
4.4 压溶作用和重结晶生长	(25)
4.5 含铁方解石与含铁白云石析出与交代	(28)
4.6 溶蚀作用	(30)
4.7 自生粘土矿物析出	(31)
5 扇三角洲储层的孔隙演化	(32)
5.1 次生孔隙的识别及孔隙类型	(32)
5.2 孔隙演化及次生孔隙的规模	(34)
6 孔隙结构特征	(37)
6.1 扇三角洲储层具有多种孔隙类型,为一复杂孔隙系统	(38)
6.2 孔隙结构类型复杂、多样,各类特征差异大	(38)
7 影响储层物性的因素	(42)
7.1 沉积物源及砂体矿物组分是产生次生孔隙的基础	(47)
7.2 沉积条件控制了储层物性好坏	(47)
7.3 埋藏成岩作用对储层物性好坏起着决定作用	(56)
7.4 强裂的构造断裂活动及古地形对孔隙发育有一定影响	(61)
8 扇三角洲储层成岩作用及孔隙结构特征研究对勘探、开发的意义	(61)
8.1 对有利勘探方向的预测	(61)
8.2 成岩作用研究对提高产能、改善开发效果的指导意义	(64)
8.3 孔隙结构研究在注水开发中的应用	(65)

1 前言

辽河盆地位于辽宁省中部,介于沈大、沈山铁路之间。大地构造位置处于中朝准地台的东北角。

辽河盆地是早第三纪以来形成的中小型裂谷型断陷盆地。陆地上面积 12 400 km²,盆地内部由三个凹陷、一个凸起组成,呈北东向狭长状延伸,盆地构造产状呈北高南低,向南延伸至辽东湾水域之下。早第三纪为裂谷发育的活跃时期,下第三系地层发育,最大沉积厚度 8 000 m 以上。扇三角洲砂体是下第三系地层中重要沉积体系,也是辽河断陷盆地的主要油气储集体。

1981 年首先从兴隆台油田入手开展储层孔隙结构研究工作。通过二年对兴隆台油田的工作实践,基本建立了一套适合辽河盆地储层特点的孔隙结构研究方法,为全面开展全盆地微观结构研究工作打下了基础,积累了经验,并提供了扇三角洲孔隙结构参数计算和分类模式。随着对储层微观孔隙结构研究的不断深入,对孔隙结构资料应用日趋广泛,为了适应资源评价、开发方案编制、地质研究和开发工艺对孔隙结构资料的需要,于 1986 年,在 904 块压汞资料、576 块铸体薄片、323 块扫描电镜、580 个 X-衍射及 10 个阴极发光资料基础上,完成了全盆地 8 个油田 12 套扇三角洲含油层系储层的孔隙结构系统研究和综合分类。

从 1987 年以来,在储层微观结构研究的基础上,综合构造发育、沉积相、矿物及有机质热演化、岩石结构、构造特征等工作开展了扇三角洲储层成岩作用研究。这项工作得到了浙江省石油地质研究所朱国华高级工程师的协作配合。三年来,重点对欢喜岭油田杜家台油层、兴隆台油田兴隆台油层分别进行了系统工作,分别完成专项成岩作用及对储层物性影响的研究成果,并对辽河盆地三个凹陷其他扇三角洲砂体成岩演化及孔隙演化特征进行了普查。

本报告是对几年来扇三角洲储层孔隙结构和成岩作用研究工作的总结,是“辽河盆地陆相储层评价”课题“七五”研究成果总结的一部分。

2 辽河裂谷型断陷盆地下第三系扇三角洲储层发育背景与特征

裂谷型断陷盆地是由于地壳断裂作用形成的狭长断陷带。辽河裂谷带是郯庐断裂的组成部分,是燕山运动以后发育起来的断陷盆地,前后经历了拱张、裂陷、拗陷三大阶段。

中生代末期是裂谷发育的初始期,在裂谷内北东向地壳隆起带挤压抬升的背景上,构造运动表现为拱张特点,进入早第三纪,为裂谷的主要发展期,表现为以断裂活动为主的裂陷形式,晚第三纪以后断裂活动减弱,构造运动由裂陷转入拗陷,为裂谷活动的消亡期。

早第三纪裂陷期强烈的断裂构造活动,多种类型的沉积建造和多套发育的储集体系造就了辽河盆地下第三系地层油气富集的有利条件,表现为“小而肥”的特点。

2.1 裂陷期构造运动的发展变化直接控制了盆地内各期沉积作用

a. 裂陷早期(ES₁~ES₃)

该期断裂活动强烈发育。凹陷西侧早期发育的中生代末期继承性西掉断裂与随后发育起来的东侧基底断裂的强烈活动,形成了辽河盆地内与北东向断裂走向一致的狭长状、东陡西缓的箕状凹陷形态。

断裂活动引起的断块运动,确定了湖盆的断陷性质。断块的深陷形成深水湖盆,使盆地形成深水非补偿环境。陆源碎屑以重力流、牵引流等形式搬运,在湖盆不同部位形成斜坡浊积岩、扇三角洲和冲积扇。

以后,裂陷活动继续,但断裂活动减弱,沉积湖盆水域缩小,部分地区出露水面遭受剥蚀。

b. 裂陷中期($ES_2 \sim ES_3$)

裂陷再次发育,湖盆又一次扩张,但规模不及前一旋回,开始以西部凹陷扩张较强,后期三个凹陷活动趋于一致,在东西两侧短促河流出入湖的沉积环境下,集中发育了典型扇三角洲砂体。沙一末期盆地再次全面抬升。

该期湖盆总体表现为平衡补偿沉积环境。

c. 裂陷晚期(Ed)

盆地第三次大规模扩张。其特点为断裂活动减弱,即断陷逐渐向拗陷活动转化,表现为大面积的翘倾活动。早期的北东向断裂活动减弱,而横切凹陷的同生断层发育,明显控制着湖盆的发育与沉积,由于周边水系发育,陆源碎屑供给充足,湖盆表现过补偿沉积环境,浅水湖泊及三角洲,泛滥平原沉积体系发育。本期沉积以水进开始,水退结束。后期水域收缩,盆地抬升,大范围剥蚀,与上覆第三系地层呈区域不整合接触关系。至此裂陷期结束。

2.2 扇三角洲砂体是辽河断陷盆地的主要沉积体系

扇三角洲体系是从邻近湖盆的高地进入水体的冲积扇,其形成机理与冲积扇相似,形成环境与三角洲大致相同,即牵引流携带的碎屑在水陆交互带上的堆积。因此,扇三角洲沉积形成的有利条件是具有紧邻的、大坡降的剥蚀地貌环境;陆源碎屑供给充足、丰富并有较强冲积能力的出入湖的水系条件。扇三角洲发育的有利部位是凹陷两侧依山面水的湖盆边缘地带。其沉积体系主体为水下前积层,水下辫状分流河道发育为其重要特征。在沉积特点上表现为砂体规模小(一般仅几十~几百 km^2)、相带狭窄、平面演变快和发育不完全,分异不明显,在沉积过程中既缺乏广阔的发育空间,又缺乏充足的发育时间。三角洲平原相极不发育或缺失,沿水流方向相带窄,缺少大型河口坝和前缘薄层砂。在沉积结构、构造上表现为岩性以粗粒碎屑为主,结构成熟度与矿物成熟度均低,具有与辫状河相似的层理类型与组合特点,多具底砾、冲刷面和平行层理、粒序层理。

断裂活动和断块运动主导了盆地的沉积作用。任何一种沉积体系都是具体沉积环境的产物,扇三角洲也不例外。辽河断陷盆地裂陷期的构造发育特点,为扇三角洲体系发育提供了有利条件,但是,在盆地第三纪整个时期扇三角洲体系发育并非均衡的,而是有其集中发育期和发育部位。也就是说,扇三角洲砂体有其具体的形成条件:

a. 适中的裂陷活动

辽河盆地裂陷期经历了多次扩张和抬升的周期性变化,扇三角洲往往发育在中等强度的扩张条件下。因此,裂陷中期($ES_2 \sim ES_3$)和裂陷早期的初始阶段(ES_1)裂陷活动适中,有利于扇三角洲砂体发育(见图1);

b. 平衡补偿的沉积环境

一般盆地构造运动比较活跃,同时周边物源补给又较充分的浅水湖盆,表现为沉积与沉降都较积极而又相对均衡的环境。既保证有丰富的物源供给和较强的水动力搬运条件,又不至于由于强烈扩张而造成非补偿环境;

c. 出入湖的快速堆积条件

既要求湖盆边缘坡度大、近物源、强水流、快速堆积的冲积扇沉积的古地貌条件,又要具有一般三角洲沉积的水陆过渡的沉积环境。扇三角洲在砂体形态上类似冲积扇,但在成因、性质和形成环境上又有与正常三角洲类似条件。因此,扇三角洲砂体展布在湖盆边缘滨湖地带,并常沿湖盆长轴方向多个砂体平行岸边成排出现;

d. 在沉积体系的空间分布上,扇三角洲与冲积扇,斜坡浊积岩有成因上的联系,三种沉积砂体在空间上关系密切,有规律分布(见图2)。

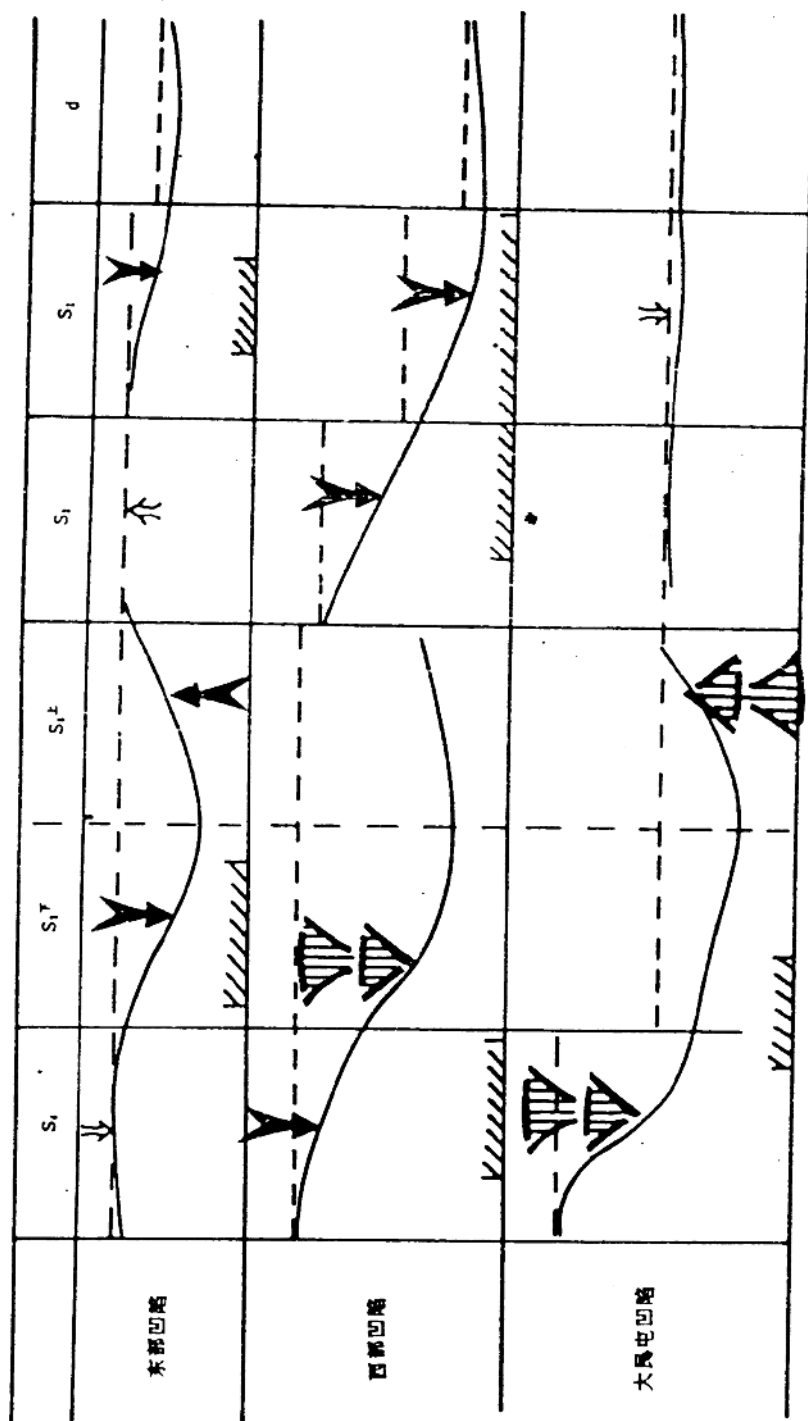


图1 盆地发育与三角洲砂体发育关系示意图

- 强扩张沉降
 中扩张沉降
 弱扩张沉降
 强抬升
 中抬升
 弱抬升
 三角洲体
 沉积补偿基准线

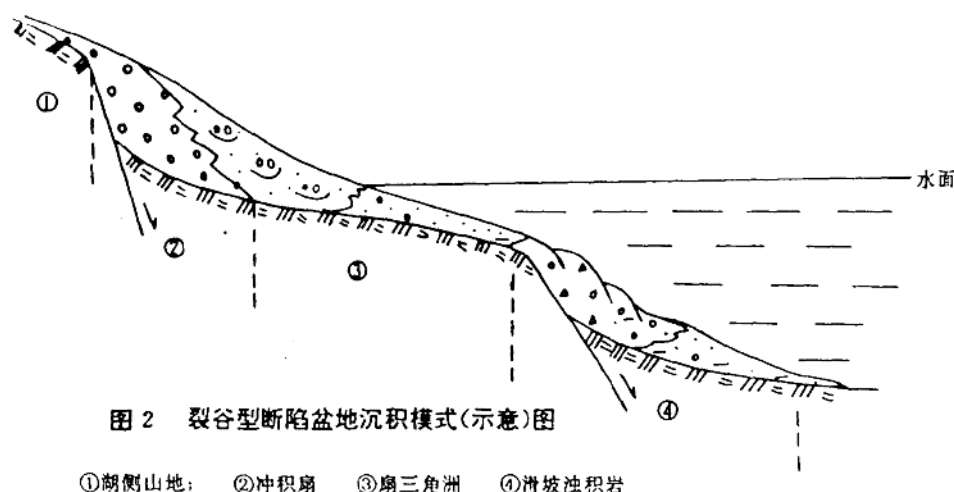


图2 裂谷型断陷盆地沉积模式(示意)图

辽河断陷湖盆的构造、沉积发育特点具备扇三角洲发育的有利条件,使扇三角洲砂体成为辽河盆地的主要沉积体系和油气储集单元。扇三角洲在三个二级凹陷中以西部凹陷最为发育,其次为东部凹陷。在发育时期上,以水进时期的沙四时期(西部凹陷、大民屯凹陷)、沙三早期(东部凹陷、大民屯凹陷)和沙二~沙一时期(西部凹陷、东部凹陷)发育。发育规模以沙二~沙一时期最大(见表1)。

2.3 辽河盆地扇三角洲砂体沉积的地质背景

2.3.1 沉积物源与陆源碎屑组份

由于裂谷湖盆是边裂陷边发育的,从而四周的隆起区则是主要物源区。辽河裂谷湖盆呈北东走向的狭长谷地特征,物源的供给主要来自东西两侧,因此东西两侧山地和中央凸起成为东、西部凹陷和大民屯凹陷的主要物源区。一些长期继承性发育的山间古河道水流为下第三纪不同时期搬运碎屑物质的主要动力,造成同一盆地部位的不同时期砂体展布和碎屑组份的继承性。

大量地震、钻探、露头资料说明,辽河盆地自下第三纪以来一直保持了“三凹一凸”的基本构造格局。东西两侧山地均为前第三系地层,中央凸起也表现上第三系直接覆盖在前震旦系地层之上。

组成辽河盆地前第三系基底的岩性大致可以划分为太古界~中上元古界古老结晶变质岩、古生界海相~海陆过渡相沉积岩和中生界陆相含煤沉积建造和火山喷发岩。以太古界~中上元古界刚性基底为主,岩性为混合岩化的花岗片麻岩、白云岩、石英岩类;古生界灰岩为主的海相沉积分布局限;中生界以砂岩泥岩沉积为主,夹多期水下火山喷发岩。火山岩以中一基性辉石安山岩、玄武岩、斜长安山岩为主。具体分布,见表2、图3。

表 1 辽河断陷盆地扇三角洲砂体分布

	ES ₁				ES ₂				ES ₃				ES ₄				ES ₅				Ed
	扇三角洲	面积	厚度	物源	扇三角洲	面积	厚度	物源	扇三角洲	面积	厚度	物源	扇三角洲	面积	厚度	物源	扇三角洲	面积	厚度	物源	
东部 凹陷	少 有 沉 积	大湾	80 km ²	中央 凸起	冲积扇 泛滥平原	于楼	21 km ²	50~ 70 m	中央 凸起	牛居	290 km ²	200~ 300 m	东侧断 层外	冲积扇 泛滥平原 南部为 湖泊沉积	290 km ²	130~ 150 m	东侧断 层外	290 km ²	200~ 300 m	东侧断 层外	冲积扇 泛滥平原
			126 km ²	中央 凸起																	
			114 km ²	中央 凸起																	
西部 凹陷	滑坡浊积扇	曙光	128 km ²	西部 山地	滑坡浊积扇	兴隆台~ 马圈子	250 km ²	30~ 60 m	中央 凸起	兴隆台~ 马圈子	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原
			100 km ²	西部 山地																	
			70 km ²	西部 山地																	
大民屯 凹陷	北部闭塞浅水湖盆 南部扇三角洲发育	曙光	128 km ²	西部 山地	滑坡浊积扇	兴隆台~ 马圈子	250 km ²	30~ 60 m	中央 凸起	兴隆台~ 马圈子	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原
			100 km ²	西部 山地																	
			70 km ²	西部 山地																	
大民屯 凹陷	北部闭塞浅水湖盆 南部扇三角洲发育	曙光	128 km ²	西部 山地	滑坡浊积扇	兴隆台~ 马圈子	250 km ²	30~ 60 m	中央 凸起	兴隆台~ 马圈子	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原
			100 km ²	西部 山地																	
			70 km ²	西部 山地																	
大民屯 凹陷	北部闭塞浅水湖盆 南部扇三角洲发育	曙光	128 km ²	西部 山地	滑坡浊积扇	兴隆台~ 马圈子	250 km ²	30~ 60 m	中央 凸起	兴隆台~ 马圈子	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	300 km ²	80~ 100 m	中央 凸起	冲积扇、泛滥平原
			100 km ²	西部 山地																	
			70 km ²	西部 山地																	

表 2 物源区及基底岩性分布

	北 段	中 段	南 段
西部凸起	Ar 混合花岗岩	Ar 混合花岗岩, J ₃ 安山岩, 偏东部有 P ₁ 石英岩、灰岩、白云岩	J ₃ 安山岩、及燕山期花岗岩
中央凸起	Ar 混合花岗岩	Ar 混合花岗岩、燕山期花岗岩侵入	
东部凸起	P ₂ 灰岩, J ₃ 安山岩	J ₃ 安山岩、Ar 混合花岗岩	Ar 混合花岗岩

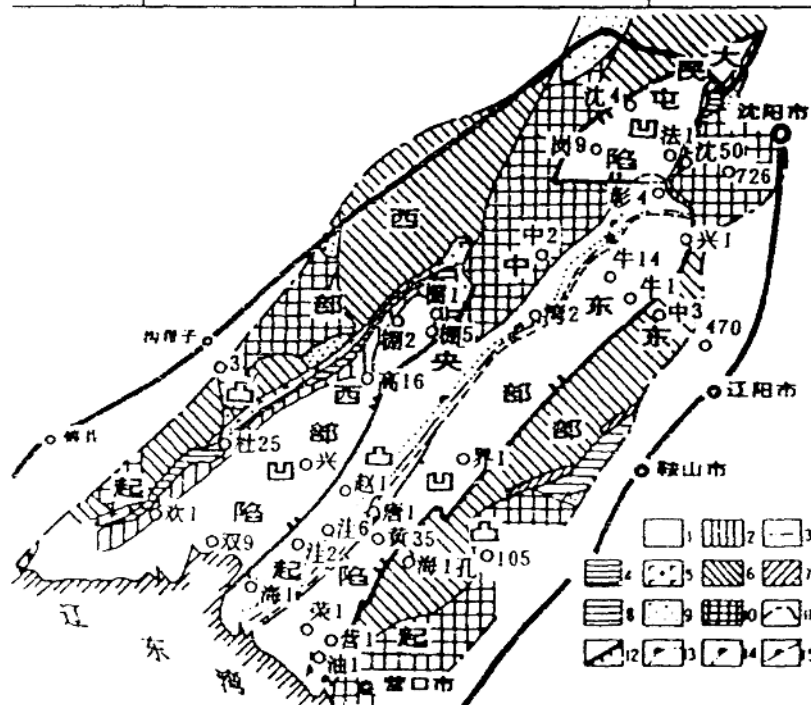


图 3 辽河断陷新第三纪前地质略图

1. 下第三系东胜组 2. 沙一段 3. 沙二段 4. 沙三段 5. 沙四段 6. 侏罗白垩系 7. 石炭二迭系
8. 寒武奥陶系 9. 震旦系 10. 前震旦系 11. 上第三系缺失线 12. 基底断裂 13. 潜伏沙一超复线
14. 潜伏沙二超复线 15. 潜伏沙三超复线

不同物源部位为下第三系扇三角洲砂体提供了不同的陆源碎屑。陆源碎屑性质的不同在一定程度上影响了砂体成岩与孔隙演化特征。

2.3.2 扇三角洲的发育背景与古地貌特征

下第三纪沙四~沙三早期、沙二~沙一时期是辽河断陷盆地扇三角洲砂体集中发育时期。

沙四期开始,断陷盆地进入裂陷期第一个构造运动旋回,构造活动以西部凹陷和大民屯凹陷强烈,均呈东陡西缓的箕状形态。扇三角洲发育在西侧缓坡部位。由西侧山地供应的碎屑由山间水流携带顺势而下在湖盆边缘堆积,其沉积地貌条件复杂,古老基岩在接受沙四沉积前由于长期剥蚀风化和断裂活动作用呈潜山地貌条件,在接受扇三角洲体沉积过程中仍有继承性活动,呈孤岛状出露水面。沙四沉积以低洼部位充填超复式堆积,这种现象一直延续到沙三早期。古潜山的存在既明显地控制了该期扇三角洲砂体的展布方向和发育程度,同时又做为一个

次要物源为沉积提供碎屑物质。

沙二、沙一期沉积是在沙三末期大规模抬升的背景上实现的。沙三晚期全盆地的抬升以大民屯凹陷、东部凹陷幅度最大,至沙二沉积时期仍处于广泛的剥蚀或接受泛滥平原相沉积。扇三角洲主要发育于西部凹陷。西部凹陷沙三末期的抬升造成凹陷边部沉积间断、剥蚀,但没有改变湖盆原来的西缓东陡的沉积环境。西部凹陷在沙二时期强烈扩张作用下,再次水进,东西两侧(中央凸起、西部山地)的碎屑物质在山间强水流的携带下冲入湖盆,使湖盆两侧分别形成缓坡与陡坡类型扇三角洲砂体沉积。大坡降的地貌条件控制了扇三角洲砂体的相带展布。

2.3.3 沉积时的水体环境

辽河盆地地下第三系为断陷湖盆的陆相湖泊沉积体系。沉积了一套淡水~半咸水陆源碎屑沉积。地层中的化石组合及分布特征反映了各时期的水体深度与沉积环境。

古生物组合与断陷活动、构造发育有明显的关系。古生物组合特征及保存情况在一定程度上反映了水介质环境、水动力条件及有机质丰富程度。从辽河盆地地下第三系地层生物组合,特别是微体生物组合来看,下第三纪主要表现了陆相浅水湖泊条件为主,在沙三、沙一时期分别有明显的水进、湖水加深的特点。沙三时期华北介、渤海藻、纺锤玻璃介和沙一时期的西苔介、广北介组合都反映了深水湖泊特点。

从生物发展的种属数量和分布范围可以看出,三个凹陷相比较以西部凹陷水体开阔、水深,其次为东部凹陷、大民屯凹陷。同一个凹陷南北差异亦很明显。由于北高南低的构造发育特点,造成水流总的方向由北向南,湖盆水体北浅南深,水质北淡南咸的生物组合分区特点。

西部凹陷在沙四时期、沙二~沙一时期扇三角洲砂体发育。从生物组合来看,沙四地层广泛发育了轮藻、介形类、腹足类和孢粉化石,如似轮藻、扁球轮藻、南星介、美星介、土星介、水螺、中华扁卷螺等属,都反映陆相浅水、淡~半咸水水介质条件生物组合。从该套地层有代表性的轮藻较发育来看,水体较浅,大体3~5米以下。孢粉中杉、麻黄属孢粉十分发育反映了较温暖潮湿的生态环境。由于水下隆起的阻隔,西部凹陷南北差异较大。水质南部为淡水,北部由于湖盆闭塞,蒸发量大,碳酸盐含量高。沙二~沙一时期为一水进过程,沙二段化石组合明显不同于沙三段,以体壳粗厚的椭圆拱星介、似瘤田螺、拟黑螺等淡水、水深小于4m的浅水动荡环境组合为特点。向沙一段过渡,深水、广盐性生物和华花介、真是介、西苔介、狭口螺及大量的藻类等发育,总的来看,南部地区种属丰富,水深、盐度大;北部地区种属单调,水浅、水淡。

2.3.4 油田水地球化学特征

大量地层水分析资料证实,辽河断陷盆地地下第三系地层水为 N_2HCO_3 型水。化学成份以 N_2^+ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 为主 Cl^- 、 SO_4^{2-} 较少;($\text{Cl}^- < 24\%$ $\text{SO}_4^{2-} 2\% \pm$)。pH>7为碱性水。这种水型在成因上与地下埋藏过程的脱硫作用有关,即水中的硫酸盐在细菌作用下被碳氢物质所还原而成($\text{C}_2\text{H}_6 + \text{N}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{N}_2\text{HCO}_3 + \text{H}_2\text{S} + (\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$)。表现了地层具有良好的埋藏封闭性特点。

地层水矿化度一般在2500~7000 mg/L,且表现为随着埋藏深度与层位加深,矿化度由小变大特点。(Ed₁:1500~3500 mg/L, ES₁₋₂:2500~6500 mg/L, ES₃₋₄:2500~8000 mg/L)。同一层位平面变化除受水盆原始水介质条件影响外,同时也受区域基岩性质所影响。例如高升北部地区下第三纪早期由于闭塞蒸发的湖盆环境,造成其地层水矿化度增高。临近中生代火山岩的地层水中 Cl^- 含量略有增加。

2.3.5 辽河断陷盆地的古地温特征

地层温度是有机质成熟转化、成岩作用与演化的主导因素。

从现今地温场来看,辽河断陷盆地与一般裂谷型盆地一样具有高地温场特点,地温梯度大

大超过正常值。从系统井温测试看出,下第三系地温梯度高于上第三系,即在断陷盆地的裂陷期具有较高地温场。西部凹陷下第三系平均地温梯度 $4.54^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, (最大 $6.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 一般 $3.3\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) 东部凹陷 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (最大 $4.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 一般 $3\sim 4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) 大民屯凹陷 $4.17^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (最大 $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 一般 $3.5\sim 4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) (见表 3)。

表 3 辽河盆地与其他地区地温梯度对比表

地 区	地质时代	地温梯度 $^{\circ}\text{C}/100$ 米		
		最大	一般	平均
辽河盆地	西部凹陷	6.7	$3.3\sim 4.5$	4.54
	东部凹陷	4.5	$3\sim 4$	3.5
	大民屯凹陷	6	$3.5\sim 4$	4.17
松辽盆地	下白垩系	6.2	$3.1\sim 4.8$	
冀中拗陷	震旦系	4.2		3.7
黄骅拗陷	下第三系	3.95	$3.3\sim 3.6$	
济阳拗陷	下第三系	3.84	$3.1\sim 3.9$	3.6
江汉盆地	下第三系	3.25		3.1
四川盆地	侏罗系	2.7	$2.2\sim 2.4$	
陕甘宁盆地	侏罗系	2.8		2.75
准葛尔盆地	三迭~侏罗		$2.2\sim 2.3$	

根据中国科学院地质研究所地热研究室利用 TTI 法、 R_0-T 经验关系式等方法对辽河盆地古地温研究表明:中生代末期~新生代早第三纪早期具有较高的古地温梯度,与燕山运动使本区由稳定地块进入断陷活动和相伴生的强烈的火山活动有关;当进入早第三纪晚期,裂陷活动减弱,造成 $ES_2\sim Ed$ 期古地温相对变小;晚第三纪的拗陷运动又进一步促使古地温梯度再度升高。研究指出,早第三纪早期的古热流高出现代热流约 20%,早第三纪晚期低于现代 20%~25%,晚第三纪后热流约同于今日或略高。中生代末期的古热流可能比现代高 30%~50%。古地温变化特点结合盆地沉积速度、埋藏深度决定了早第三系地层成为辽河盆地重要生油层系(见表 4、图 4)。

表 4 据镜煤反射率资料演算的古地温一览表

构造位置	测量井	古 地 温 梯 度(℃/100 m)						新生代 古地温 梯度平均	测深范围 今平均 地温梯度	
		中生代	早第三纪				晚第三纪 —第四纪			
			ES ₄	ES ₃	ES ₂	ES ₁				Ed
西部凹陷兴马区	马深 1		4.60	2.67	2.75—2.85	3.51	3.32	3.32		
西部凹陷双台子区	双深 3		3.93	3.38	3.06	3.64	3.25	3.17		
西部凹陷曙光区	曙 2—5—4		4.51	4.61	3.88	4.54	3.86	4.29	4.20	3.7
东部凹陷黄于热南	黄 45		3.07	2.74	3.06	3.12	3.05	3.3		
东部凹陷黄于热北	热 27 等		3.84	3.55	3.01	3.27	3.27	3.6		
东部凹陷北段	牛 16 等		4.14	3.86	3.37	3.54	3.53	3.5		
东部凹陷北中段	龙 10 等	4.63	4.16	3.20	3.07	3.45	3.33	3.14		
东部凹陷西坡	董 13 等		4.24	2.91	3.49	4.03	3.75	4.0		

(据中科院地质研究所 1984 年)

2.4 扇三角洲砂体沉积相带的划分与岩性特征

2.4.1 扇三角洲沉积相带的划分、命名

根据几年来对不同油田扇三角洲砂岩储层岩相工作的总结,结合扇三角洲特有的沉积机制和砂体特征,在扇三角洲砂体的沉积相带划分和命名上综合考虑了冲积扇和三角洲的特点。

表 5 辽河盆地扇三角洲砂体相带划分与命名

相	扇三角洲						
亚相	扇三角洲平原		扇三角洲前缘				前扇三角洲
微相	主河道	天然堤	漫滩	辫状分流道	分流间	指状砂坝	前缘薄层砂 小型滑塌 浊积体
部位			主流线	边部	坝核	坝边	

扇三角洲前缘亚相是构成辽河断陷湖盆扇三角洲油气储层的主要相带类型。在微相类型上,以辫状分流河道和指状砂坝砂体为砂体骨架,其次发育分流间和前缘薄层砂。个别在三角洲前端伴有小型滑塌浊积砂体。

2.4.2 辽河盆地扇三角洲砂体主要岩性特征

a 沉积岩粒度以中~粗砂及含砾、砂砾岩为主。含砾砂岩级以上的相段厚度占整个砂岩储层的 39.7%,一般砾径 1~5 mm,最大达 10 cm 以上。砂粒级相段厚占储层 44.4%,其中以中砂以上为主。

b 矿物成熟度低。组成碎屑颗粒成份中不稳定组份(长石和岩屑)含量高,岩屑以高级变质岩等刚性颗粒为主。岩性主要为混合砂岩、岩屑质长石砂岩、长石砂岩(见图 5)。不稳定组份含量总的变化趋势是陡坡型扇三角洲较缓坡型高、近物源区较砂体前缘高、粗粒储层较细粒储层高。例如陡坡型的兴隆台油田兴隆台油层,长石与岩屑含量达 70%左右,局部粗碎屑砂层中长石含量可达 60%,有的砂砾岩中岩屑含量可高达 80%。缓坡型欢喜岭油田杜家台油层长石与岩屑含量平均占碎屑成份的 53%,岩屑含量从近物源的西部到远离物源部位其值由 40%以上变到 20%左右。

图 4 由 TTI 法恢复古地温(马深 1 井)

据汪集旻等 1984

①测温曲线 ②镜煤反射率曲线

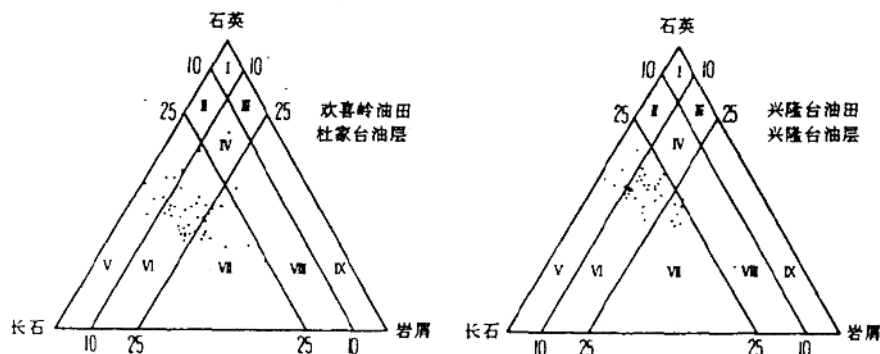
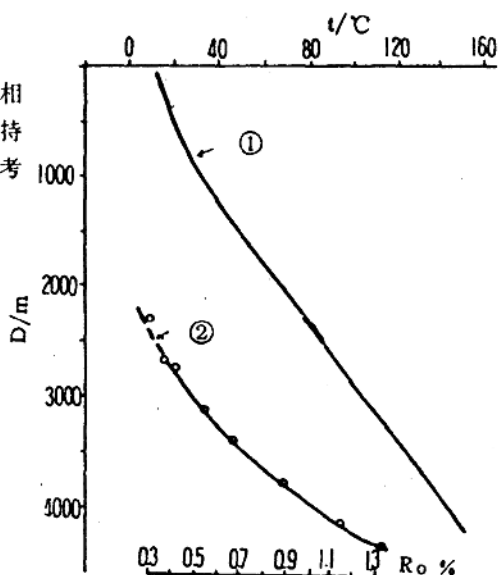


图 5 砂岩成份分类图

c 岩石结构成熟度具有双重性。一方面表现为碎屑颗粒的分选、磨圆均较差,结构成熟度低。分选系数均在 1.5~2 以上,多数颗粒呈次圆~次尖状;另一方面,由于扇三角洲沉积水动力强,杂基含量不高,粗粒砂岩更少。据兴隆台油田兴隆台油层统计,中砂以上岩性的杂基含量为 1%~2.5%、细砂 3%~6%、不等粒砂岩 6%~7%、粉砂岩为 15% 左右。

d 砂体平面展布不稳定,砂岩非均质性强,辫状分流通河道和指状砂坝砂构成储层的主体,砂体方向性强、横向递变性、层内多韵律性的特点比较突出,表现在储层物性上,层内、层间与平面非均质性都较强。

扇三角洲一般为多韵律层的迭加,单层韵律一般 2~4 个,最多可达 40 个。根据 11 个扇三角洲砂体统计,砂层间隔层小于 1 m 的分别占总层数的 3%~30%,强水动力条件下辫流河道的频繁变迁砂层迭复性强,小于 1 m 隔层可占总层数 35%。据 78 口井统计,层平均单层突进系数最大为 4.9,一般 2.5~6.0;52 口井统计层内突进系数平均最大值为 14.1,一般 6~16。主体相带(分流河道、指状砂坝微相)层内非均质性统计,均质程度一般 0.13~0.6,变异系数一般 0.6~1.5,渗透率级差可达数百以上,最大达 2401 倍。

3 成岩阶段划分及依据

3.1 原始最大埋深的恢复

沉积物在达到有效埋藏之后进入埋藏成岩作用阶段,温度和压力特别是温度的变化主导了埋藏成岩作用和烃类的形成、转化、聚散变化规律。温度和压力的变化与沉积物埋藏深度有直接关系。由于温度变化引起的热演化现象和成岩演化特征往往是不可逆的(例如镜煤反射率),或者是难于消失的,因此恢复沉积物在成岩埋藏史中最大埋藏深度对研究成岩演化程度和所处成岩阶段有重要的实用价值。

辽河断陷盆地在整个新生代构造发育史中三个构造层的划分比较清楚,即下第三系沙三~沙四构造层、下第三系东营~沙二构造层和上第三系构造层。三个构造层间由于全盆地的广泛抬升,曾有大面积的间断、剥蚀,不同程度地存在地层厚度的缺失。但是,断陷盆地的持续沉降,三个凹陷,接受了 5 000~8 000 m 巨厚的第三系沉积。因此,尽管在构造发育史中有二次大的间断剥蚀,但由于后期有充分的补偿沉积条件,使绝大部分地区的油层,在现今保持了历史最大埋藏深度。

粘土在刚刚沉积时的孔隙度较高,约为 70%~80%。在埋藏早期,孔隙度将迅速减少。泥页岩孔隙度大于 62% 时,由于粘土颗粒浓度很小,声波在岩层中的速度主要取决于水的作用,基本保持不变,约为 656 $\mu\text{s}/\text{m}$ 。根据迪金森(1953 年)在湾岸地区建立的页岩孔隙度-深度关系曲线,在埋藏早期的 100 英尺(30 米)泥岩孔隙度约为 62%。随着埋深加大,孔隙度变小,声波传播受颗粒骨架的影响加大,即传播速度与孔隙度有密切关系。如果建立深层泥页岩孔隙度-深度关系图版,推算到地表时的孔隙度若等于或略大于 62% 时,可以做为已恢复最大埋深的正常压实趋势曲线对待。如果按深部油层建立的泥页岩孔隙度与深度关系曲线趋势外推到地表的孔隙度小于 62%,可以认为剥蚀厚度引起的异常没有消除,油层现今埋深不是历史最大埋深。利用 ϕ -D 关系曲线可以恢复剥蚀厚度,推测恢复历史最大埋藏深度。从下面二条泥页岩孔隙度-现今埋藏深度关系曲线看出,兴隆台油田、欢喜岭油田油层现今埋藏为历史最大埋藏深度(见图 6、7)。

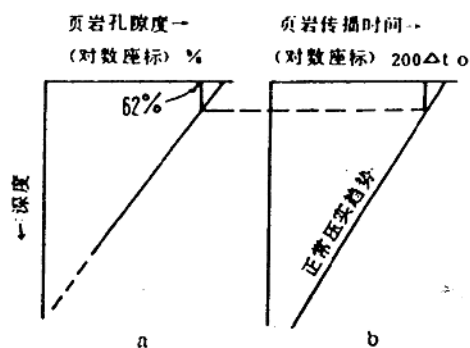


图6 a 正常压实趋势的页岩孔隙度与深度关系示意图
b 与a相适应的传播时间与深度关系示意图

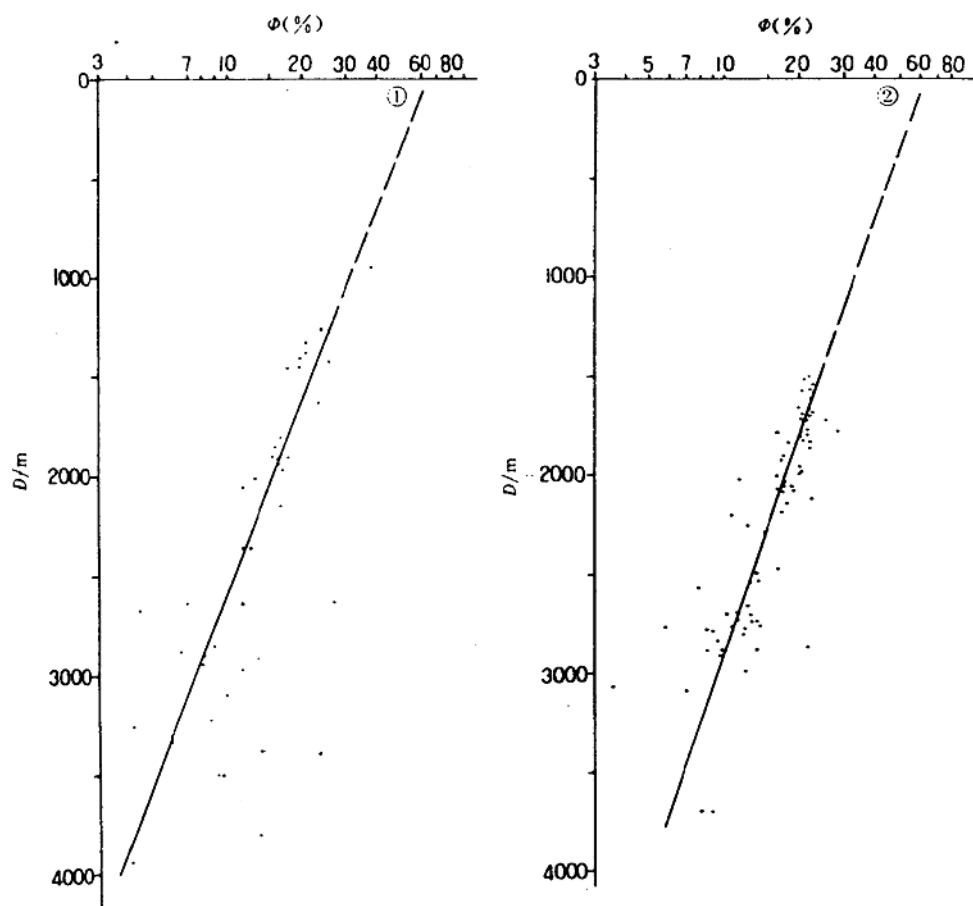


图7 泥岩孔隙度与埋藏深度关系图

①欢双地区 15 口井资料 ②兴马地区 21 口井资料

3.2 成岩阶段划分依据

3.2.1 粘土矿物组合及转化规律

辽河断陷盆地扇三角洲储层粘土矿物组合为“高、蒙、伊”或“高、蒙、伊、绿”组合。

根据盆地内储层粘土与法库、宣化、建平等地蒙脱石矿对比,总结出蒙/伊混层的判别条件:

- a 自然定向片与 350℃加热片衍射峰强度比值,纯蒙脱石一般为 3~8,混层一般小于 3;
- b 伊—蒙混层在自然定向片晶面间距(d)为 10~15Å 的宽衍射峰,并与 10Å 伊利石峰连在一起,使 10Å 峰只显一个小“肩”。
- c 乙二醇处理(EG 片),纯蒙脱石晶面膨胀强, d 值高(17Å 以上),峰形尖而窄。随深度增加,蒙脱石向伊利石转化量增加, d 值变小,峰形变低而宽,并随蒙脱石减少 d 值变小,直至只剩 10Å 峰(见图 8)。

根据兴隆台油田兴隆台油层和欢喜岭油田杜家台油层纵向上蒙脱石含量的计算,随着埋藏深度的增加,存在着 2~3 个蒙脱石向伊利石急剧转化带。第一转化带大约在 2 100 m 左右(欢喜岭油田不甚明显),第二转化带在 2 700~2 800 m 附近,第三转化带为 3 500~3 800 m。根据石油天然气总公司勘探开发研究院实验中心对混层比的计算,蒙脱石在蒙/伊混层中的含量在第一急剧转化带时将由 >70% 降为 50%~35%,有机质进入低成熟阶段;第二转化带由 50%~35% 降为 20% 左右,蒙脱石由无序混层转为有序混层,有机质进入成熟阶段;第三转化带后蒙脱石百分含量小于 20%~15%,有机质高成熟(见图 9)。

3.2.2 自生矿物的分布及演变

3.2.2.1 碳酸盐类自生矿物

辽河断陷盆地扇三角洲储层中广泛分布有方解石、菱铁矿、白云石、含铁白云石及含铁方解石等,它们形成于不同成岩阶段,其结晶大小、产状、出现顺序各不相同,这些特点可以用于划分不同成岩阶段。

从分析资料看结晶细的隐、微晶菱铁矿、云(灰)泥及一些细、粉晶白云石属于早成岩阶段的产物,产状呈环边或孔隙充填式。

方解石及含铁白云石可以形成于不同成岩阶段,但亮晶含铁方解石一般形成于强石英自生加大以后,均为它形,结晶颗粒,一般为中——细粒晶,常以充填孔隙、裂缝或交代长石碎屑颗粒形式存在。它的出现井段与蒙/伊混层矿物的第二转化带井段(2 700——2 800 m)基本一致,因此,含铁方解石可以做为进入中成岩阶段成熟期的标志矿物。

3.2.2.2 石英自生加大

埋深 1 600 m 以上较少见石英自生加大,1 600~2 300 m 弱加大,2 300 m 以下强加大。

石英加大与压溶有一定关系,但不完全决定于压溶程度。辽河盆地扇三角洲储层总的来讲,由于颗粒粗、支点少压溶量并不太大,但石英自生加大却很普遍,与该区高长石含量、长石高岭土化过程中析出 SiO_2 有关。

除石英加大以外,还可见少量长石、方解石的加大现象,其出现大体在中成岩阶段成熟 A 期。