

葡西油田油水同层油藏 开发与实践

王权杰 郭殿军 赵玉武 张福坤 编著



PUXI YOUTIAN
YUSHUI TONGCENG YOUUCANG
KAIFA YU SHIJIAN



石油工业出版社

葡西油田油水同层油藏 开发与实践

王权杰 郭殿军 赵玉武 张福坤 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面描述了葡西油田区域地质特征,通过多种方法对油藏类型进行了综合判断,搞清了葡西油田油藏类型;研究了油气成藏条件与主控因素,从成藏机理角度揭示了油水同层油藏和凝析气藏地质成因;建立了适合该区地质特点的复杂储层流体识别技术,提高了油水层解释符合率,为开发井合理编制射孔方案和储量计算提供依据;提出了油水同层油藏的开发策略,为难采储量的有效有序动用提供借鉴;总结了复杂油藏开采动态规律,为后续开发提供依据。

本书可供广大科技工作者、工程技术人员以及石油院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

葡西油田油水同层油藏开发与实践/王权杰等编著.

北京:石油工业出版社,2006.12

ISBN 7-5021-5864-2

I. 葡…

II. 王…

III. 油田开发-研究-大庆市

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147898 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. cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:7.75

字数:194 千字 印数:1—1000 册

ISBN 7-5021-5864-2/TE·4426

定价:30.00 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

《葡西油田油水同层油藏开发与实践》

编 委 会

主 编：王权杰 郭殿军 赵玉武 张福坤

副主编：潘 坚 张 威 黄清强 么忠文

编 委：张树义 隋晓滨 王 勇 郝永刚

王晓靖 王亚茹

前 言

葡西油田位于黑龙江省肇源县和杜尔伯特蒙古族自治县境内,南起新肇油田,北至高西油田,东临大庆长垣葡萄花油田,西接他拉哈地区和英台地区。构造位置处于松辽盆地中央坳陷区齐家—古龙凹陷南部葡西鼻状构造,为构造—岩性或岩性油藏,以岩性圈闭为主。主要目的层为葡萄花油层和黑帝庙油层黑Ⅱ组,分别属于上白垩统姚家组姚一段和嫩江组嫩三段地层,均属三角洲前缘亚相沉积。该区自20世纪60年代初开始勘探工作,但未取得较大的勘探成果。随着松辽盆地向斜找油理论的成熟和完善,东部勘探实践和勘探技术的进步,至“八五”末期,才逐步认识到西部具有形成大面积岩性油藏的地质条件,因此,加快了葡西地区的勘探步伐。

葡西油田开发初期暴露出地质条件复杂、储量动用难度较大的实际。主要表现在以下几个方面:一是储层以薄层和薄互层为主,且发育不稳定,砂体规模小,地震预测难度大;二是储层“四性关系”不匹配,流体识别难度大;三是油水分布复杂,油水同层十分发育,射孔方案编制难度大;四是原油性质差异大,油藏类型复杂,开发管理难度大。

目前,国内外对于此类低渗透油水同层油藏的开发正处于探索阶段,尚无成型的开发经验可以借鉴。因此,为了实现葡西油田难采储量的有效和有序动用,在开发过程中,以滚动开发为总体思路,按照“试验先行、分区动用”的原则,先开辟古109试验区。通过现场试验,建立适合该区的有效厚度解释标准和流体识别方法,解决流体识别难度大的问题;搞清葡西油田成藏模式和油气富集规律;探索油水同层油藏的开发规律,确定合理的开发政策。在试验研究的基础上,葡西油田进入大面积开发阶段。2003年以来,陆续开发了古137、古1和古58、古112等区块,实现了葡西油田复杂油藏难采储量的有效、有序动用,并为大庆长垣以西地区的他拉哈、英台等低渗透油水同层油藏的动用提供了技术支撑。

书中系统、全面的描述了葡西油田区域构造演化和构造特征、储层沉积特征与油水分布规律等。在此基础上,通过多种方法对油藏类型进行了综合判断,对成藏影响因素与油气运聚模式进行了深入分析,搞清了油藏控制因素和油气富集规律;在岩电机理研究的基础上,研究出了分类图版法、半定量交绘图版法和热解参数解释等方法,形成了“以分类研究为核心,多专业知识相结合”的流体识别技术;针对复杂油藏的地质特点,结合近几年的开发实践,总结出了一套适合复杂油藏开发的配套模式,即以分类研究为核心、精细研究为主线,先简单、后复杂、先易后难的滚动开发模式;搞清了葡西油田油水同层油藏天然能量开采阶段及注水开发阶段动态特征,并制定了合理的注水开发政策。

作为低渗透油水同层油藏开发与实践的实例,本书力求将葡西油田在地质研究和开发过

程中所遇到的各种技术问题,以及解决这些问题的思路、方法和经验进行逐一阐述,尽管还存在许多不严密之处,但衷心希望对读者能够有所启示与帮助。

本书共分六章,其中第一章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、张威、么忠文等编著;第二章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、董凤岩等编著;第三章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、杨春宇、黄清强等编著;第四章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、么忠文、孙加华、左松林、宿大海等编著;第五章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、潘坚、丁伟勋、曲瑛新、徐安军、云海富等编著;第六章由王权杰、郭殿军、赵玉武、张福坤、王晓靖、张树义、隋晓滨、张中一、姜喜平等编著。参加本书编著的人员还有蔡敏、李生、王飞、薛凤玲、范长海、孟凡娟、张雪艳、付卫丽、邹澜涛、何桂荣、王瑞、王鸿军、赵建军、侯雪云、赵海金、王志强、丁建平、薛慧智、严晓峰、刘亚利、侯云芳、刘炳康、吴春艳、秦凤兰、侯佩宁、向青海、肖宏伟、鹿丽卿、马东、张力佳、王广霞、姜德英、丁旭林、秦东等。

本书在编著过程中得到了大庆油田有限责任公司第九采油厂各位领导的热情关怀和支持,得到了大庆油田勘探开发研究院、测井公司和录井公司相关人员的大力协助,在此特致衷心感谢!

本书的参考文献只列举了公开出版的书刊文献,大量油田内部资料未予列入,特此对作者表示歉意和谢意。

由于时间仓促、作者水平有限,难免有许多疏漏和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编著者

2006.10

目 录

第一章 油田地质特征	(1)
第一节 油田概况	(1)
第二节 油气藏地质特征	(2)
第二章 凝析气藏判别方法与实例分析	(30)
第一节 凝析气藏的判别方法	(30)
第二节 油气藏烃类流体的判别实例	(35)
第三章 油气成藏条件及主要控制因素	(44)
第一节 油气生成条件研究	(44)
第二节 油气运聚成藏机理研究	(50)
第三节 成藏模式及其控制因素	(61)
第四章 复杂储层流体识别技术	(65)
第一节 油水层识别困难的地质因素分析	(65)
第二节 葡萄花油层测井响应机理研究	(67)
第三节 测井解释方法的建立	(70)
第五章 葡西油田油水同层油藏开发策略	(86)
第一节 实施滚动开发,不断深化油藏地质认识	(86)
第二节 井网部署及开发方式	(94)
第三节 滚动射孔,稳步实施,精细编制射孔方案	(102)
第四节 以单砂体为基本单元,精细编制注水方案	(103)
第六章 复杂油藏开采动态特征	(106)
第一节 天然能量开采阶段开发特征	(106)
第二节 水驱特征及注水开发阶段开发特征	(109)
参考文献	(115)

1. 发现与预探阶段(1960—1995 年)

葡西地区勘探工作始于 20 世纪 60 年代初,1963 年 3 月钻探古 1 井,于葡萄花油层获工业油气流,标志着该油田的发现。

1970 年钻探的古 102 井在黑帝庙油层试油也获工业油流。为了进一步评价该区的构造特征和含油气规模,1976—1977 年进行了地震普查;1979—1980 年,进行了测网密度 $2.4\text{km} \times 4.8\text{km}$ 的详查;1985—1988 年进行了 $1\text{km} \times 2\text{km}$ 精查。1995—1996 年在古 105 井区做了二维高分辨率 $0.3\text{km} \times 0.6\text{km}$ 资料采集和解释,工区范围 623km^2 。这一阶段跨越时间较长,评价工作主要集中在研究构造形态、油水分布及控制因素方面。在鼻状构造和两翼钻探的 9 口评价井中,只有古 10 井、古 58 井、古 116 井三口井获工业油流,由于当时的观点认为,油气富集及油水分布受构造控制,因此勘探工作并未取得突破性进展。

2. 详探评价阶段(1996—1999 年)

到“八五”末期,随着松辽盆地向斜找油理论的成熟和完善,以及东部勘探实践和勘探技术的进步,逐步认识到盆地西部具有形成大面积岩性油藏的地质条件,因此,加快了葡西地区的勘探步伐。1996 年开展葡西地区老井复查工作,相继在古 104 井、古 110 井、古 117 井、古 118 井获工业油流,古 104 井试油达 99.1t/d ;1998 年,在常家围子地区进行了 $0.5\text{km} \times 1\text{km}$ 精查,并于 1999 年提交控制储量。

3. 勘探开发一体化阶段(2000—2002 年)

该阶段共处理和解释的老二维数字地震和二维高分辨率开发地震测线总长度 2600km ,三维地震工区面积 170km^2 。探井评价井 62 口,取心进尺 4675.6m ;密闭取心 3 口,试油 58 口 193 层,高压物性 5 口,常规岩心分析 12817 块,特殊岩心分析 675 块。

2000 年提交了新增石油探明储量,并完成了古 109 区块初步开发方案的编制,但由于该油田葡萄花油层油水分布复杂,油水层解释难度较大,且存在大量的油水同层,致使原方案设计的 156 口开发井中仅完钻 27 口即停钻,后决定开辟生产试验区,进行油水同层开发试验,设计开发试验井 33 口。

4. 开发阶段(2003 至今)

通过开辟试验区,搞清了油藏控制因素和油气富集规律,建立了适合该区地质特点的有效厚度解释标准以及油水层解释方法,解决了制约葡西油田开发的“瓶颈”问题,为葡西油田的大面积开发提供了技术支撑。在试验研究的基础上,分别于 2003 年、2004 年、2005 年开发了古 137 区块、古 1 区块和古 58 区块、古 112 等区块,共布井 422 口,实现了葡西油田复杂油藏难采储量的有效有序动用。

第二节 油气藏地质特征

一、地层层序

葡西油田钻遇的地层从下到上、由老到新依次为白垩系下统的泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组,上白垩统的四方台组、明水组,新近系的泰康组及第四系,缺失新近系大安组和依安组地层(表 1-1)。

表 1-1 葡西油田地层简表(据大庆油田研究院)

系	统	组	段	地层 代号	厚度 (m)	岩性简述	沉积相	接触 关系
第四系				Q	70	未成岩,地表黑灰色腐殖土,其下黄色粘土、粉砂,底部为白色砂砾层	河流相	不整合
新近系		泰康组		N ₂ t	90	顶为白色砂砾岩,其下为杂色砂砾岩夹薄层灰色泥岩	河流相	不整合
白垩系	上白垩统	明水组	二段	K ₂ m ₂	105 ~ 282	紫红灰绿泥岩、粉砂岩及其过渡岩性呈不等厚互层	河流相	整合
			一段	K ₂ m ₁	133	灰绿泥岩、灰色泥质粉砂岩呈两个正旋回	滨浅湖	整合
		四方台组		K ₂ s	260	紫红、灰绿色泥岩、灰色粉砂及过渡岩性呈不等厚互层	河流相	不整合
	下白垩统	嫩江组	五段	K ₁ n ₅	190	紫红、灰绿色泥岩、粉砂岩及其过渡岩性	滨浅湖	整合
			四段	K ₁ n ₄	280	灰绿色泥岩、粉砂岩及其过渡岩性呈不等厚互层	滨浅湖	整合
			三段	K ₁ n ₃	90	黑灰色泥岩与棕灰、灰色含水油浸粉砂岩、细砂岩构成三个反旋回	滨浅湖	整合
			二段	K ₁ n ₂	220	顶部一层灰色泥质粉砂岩,底为黑褐色油页岩	深湖相	整合
			一段	K ₁ n ₁	110	黑色泥岩夹含介形虫粉砂质泥岩,下部黑褐色油页岩	深湖相	不整合
		姚家组	二段、三段	K ₁ y ₂₊₃	100	大段深灰、灰绿、黑灰色泥岩夹粉砂质泥岩	半深湖	整合
			一段	K ₁ y ₁	70	顶为黑色泥岩、粉砂岩,其下深灰、绿灰色泥岩与含油显示的棕色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩互层	三角洲	假整合
		青山口组	二段、三段	K ₁ qn ₂₊₃	384	灰黑、深灰色泥岩夹薄层黑色介形虫	深湖相	整合
			一段	K ₁ qn ₁	69	大段灰黑色泥岩夹薄层黑色介形虫层,底部夹三组褐黑色劣质油页岩	深湖相	整合
		泉头组	四段	K ₁ q ₄	100	绿灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩互层,可见褐黑色含油粉砂岩	河流相	整合
			三段	K ₁ q ₃	214	绿灰色泥岩、粉砂质泥岩与灰色泥质粉砂岩、粉砂岩互层,可见褐黑色含油粉砂岩	河流相	未穿

葡萄花油层为白垩系下统姚家组姚一段地层,厚 60m 左右,岩性为灰色及灰绿色泥岩、灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩、棕灰色油斑泥质粉砂岩、粉砂岩和灰棕色油浸、含油粉砂岩呈不等厚互层。属三角洲前缘亚相沉积,与下伏地层呈假整合接触。

通过开发地震工作,整个鼻状构造背景上解释出 24 个局部构造,其中规模较大的局部构造 4 个(图 1-2)。

葡西 7 号构造:位于古 102 井附近,表现为断鼻构造,由葡西 2 号断层与 -1590m 构造线形成圈闭,圈闭面积 3.6km^2 ,闭合高度 30m。

葡西 11 号构造:位于古 105 井附近,表现为断鼻构造,由葡西 15 号断层与 -1550m 构造线形成圈闭,圈闭面积 18.4km^2 ,闭合高度 75m。

葡西 11-2 号构造:位于古 1 井附近,表现为断鼻构造,由葡西 10 号断层、葡西 6 号断层和 -1575m 构造线形成圈闭,圈闭面积 5.4km^2 ,闭合高度 40m。

包 1 号构造:位于古 147 井附近,表现为断鼻构造,由沿 426.9 测线的断层与 -1820m 构造线形成圈闭,圈闭面积 1.7km^2 ,闭合高度 25m。

黑 II 组油层顶面鼻状构造前缘由 -1200m 构造线形成圈闭,上倾方向在 -925m 构造线一带形成开口。在黑帝庙油层黑 II 组油层顶面构造图上,由葡西 2 号断层与 -1180m 构造线形成圈闭,圈闭面积 1.6km^2 ,闭合高度 20m。在古 1 井附近,由于上倾方向无断层遮挡,不形成圈闭(图 1-3)。

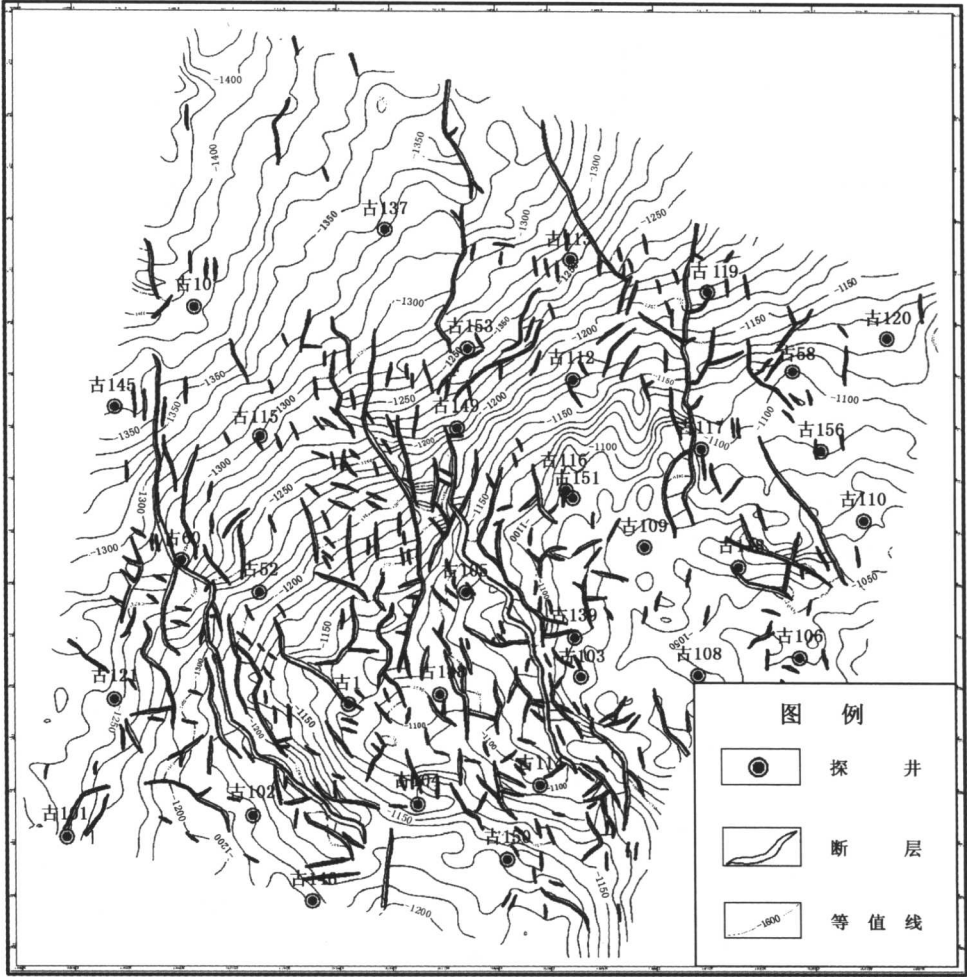


图 1-3 葡西油田黑帝庙油层黑 II 组顶面构造图

从构造剖面、断裂叠合图来看,本区断层有如下特征(图 1-4,图 1-5)。

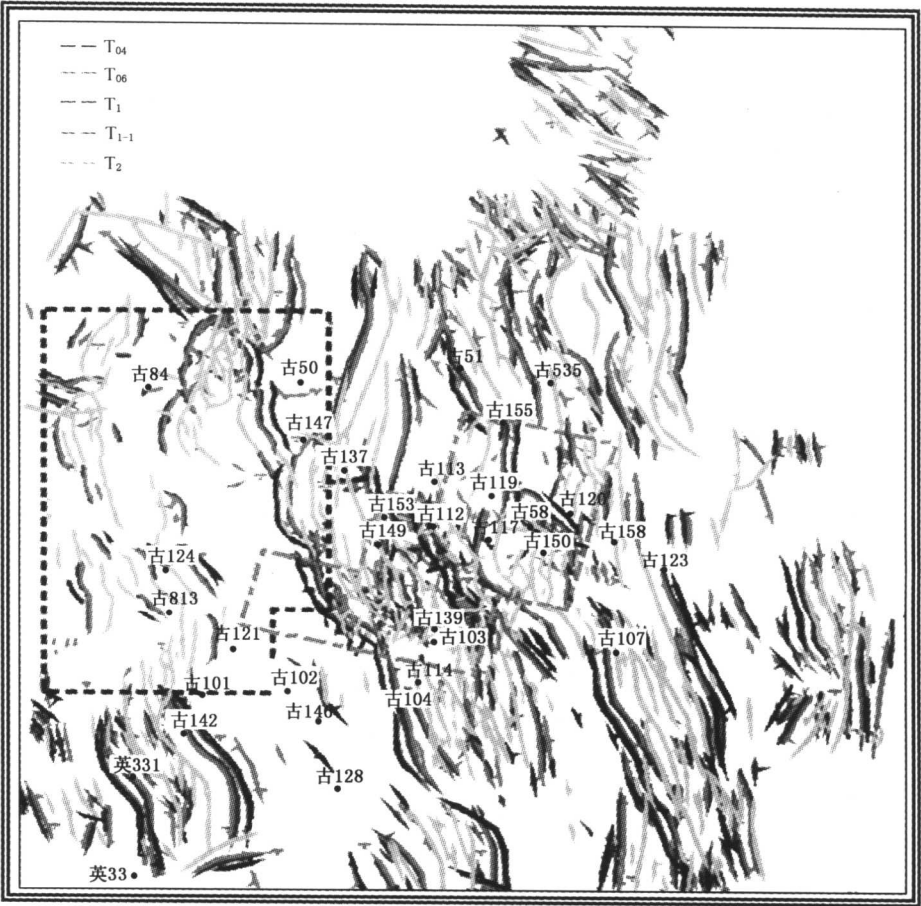


图 1-4 葡西油田断裂系统叠合图

(1)从断层走向上看,本区葡萄花油层顶面断层以北北西向及近南北向数量占绝对优势,而且延伸长度大;其次为北西向断层,而北西西向、北北东西向及近东西向断层数量较少。黑帝庙油层黑Ⅱ组顶面断层断裂发育较少,规模也较小,且主要为北西向断层。断层的主要延伸方向与区域伸展方向垂直,说明了本区断裂的形成是区域伸展的结果。

(2)从分布规律看,断层在平面上自西向东可划分为三个断裂发育带:西部断裂带(古84—英331井)断裂发育少,以北西向断层为主,断层延伸长度小,断穿层位少(T_2 — T_{1-1});中部断裂带(古147—古104井)以北北西向及近南北向为主,延伸长度大,断开层位多(T_2 — T_{04});东部断裂带(古155—古107井)以近南北向及北西向为主,延伸长度较大,其中南部断裂密度大,断开层位多,北部断裂密度小且断开层位少。

(3)从断层几何特征看,所有断层均为正断层,断面上陡下缓,断距深层大浅层小,具铲式断层的特点,反映了早期活动强烈而晚期活动弱的点;平面上中间断距大两头断距小。

(4)从断层规模看,葡萄花油层顶面断层延伸长度一般为4.0km,最大8.0km;黑帝庙油层黑Ⅱ组顶面断层延伸长度一般为2.0km,最大可达5.0km;从 T_2 断至 T_{04} 的断层,断距大,延伸长度大,活动期次多,主要集中在南部和中部。

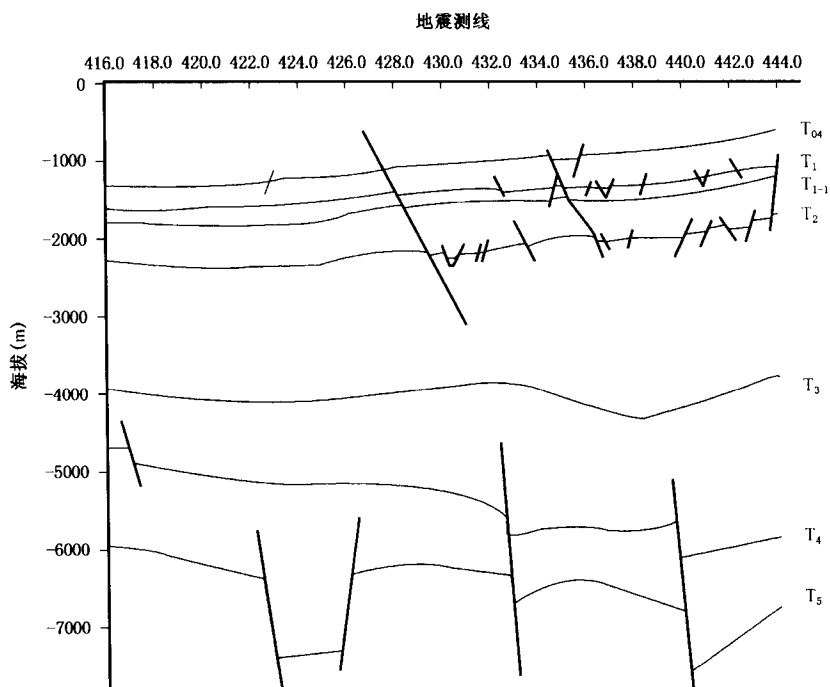


图 1-5 葡西油田断层发育史剖面图

(5)从断层的形成时期看,据断裂发育史研究,本区中浅层断层主要有两个发育时期(图 1-5),即对应于地震剖面的 T_2 、 T_1 ,一直持续的继承性断层较少,而以间歇式活动为主。葡萄花油层顶面多是在 T_1 后形成的,仅少数较大规模的断裂具有继承性发展的特点,因而可以断定断层对沉积的控制作用较小。

2. 构造发育史特征

葡西鼻状构造是大庆长垣西侧的 5 个小型鼻状构造之一,其形成与发展和大庆长垣的形成与发展密切相关。长垣及西侧可划分为 5 个构造发育阶段:姚家组沉积末期、嫩二段沉积末期、嫩四段沉积末期、嫩五段沉积末期和明水组沉积末期。

根据本区构造发育史(图 1-6),结合大庆长垣的形成与发展,可以看出长垣西侧及本区的古构造发育史有如下特点:

(1)姚家组沉积末期:大庆长垣北高南低,构造平缓,长垣西侧杏西低凹,萨西单斜,葡西、高西构造平缓。

(2)嫩二段沉积末期:基本保持了姚家组沉积末期的构造格局,仅高西和葡西有局部隆起显示。

(3)嫩四段沉积末期:大庆长垣改变了北高南低的面貌,呈南北高、中间低,长垣西侧也是南北高、中间低,北部的萨西和南部的葡西隆起,中部的高西和杏西相对较低。

(4)嫩江组沉积末期:经过嫩江组末期的构造运动,大庆长垣及其西侧已初具轮廓,构造基本定型。长垣西侧的鼻状构造已与今构造大体一致。

可见,葡西鼻状构造于嫩二末开始发育,嫩江组末基本定型。

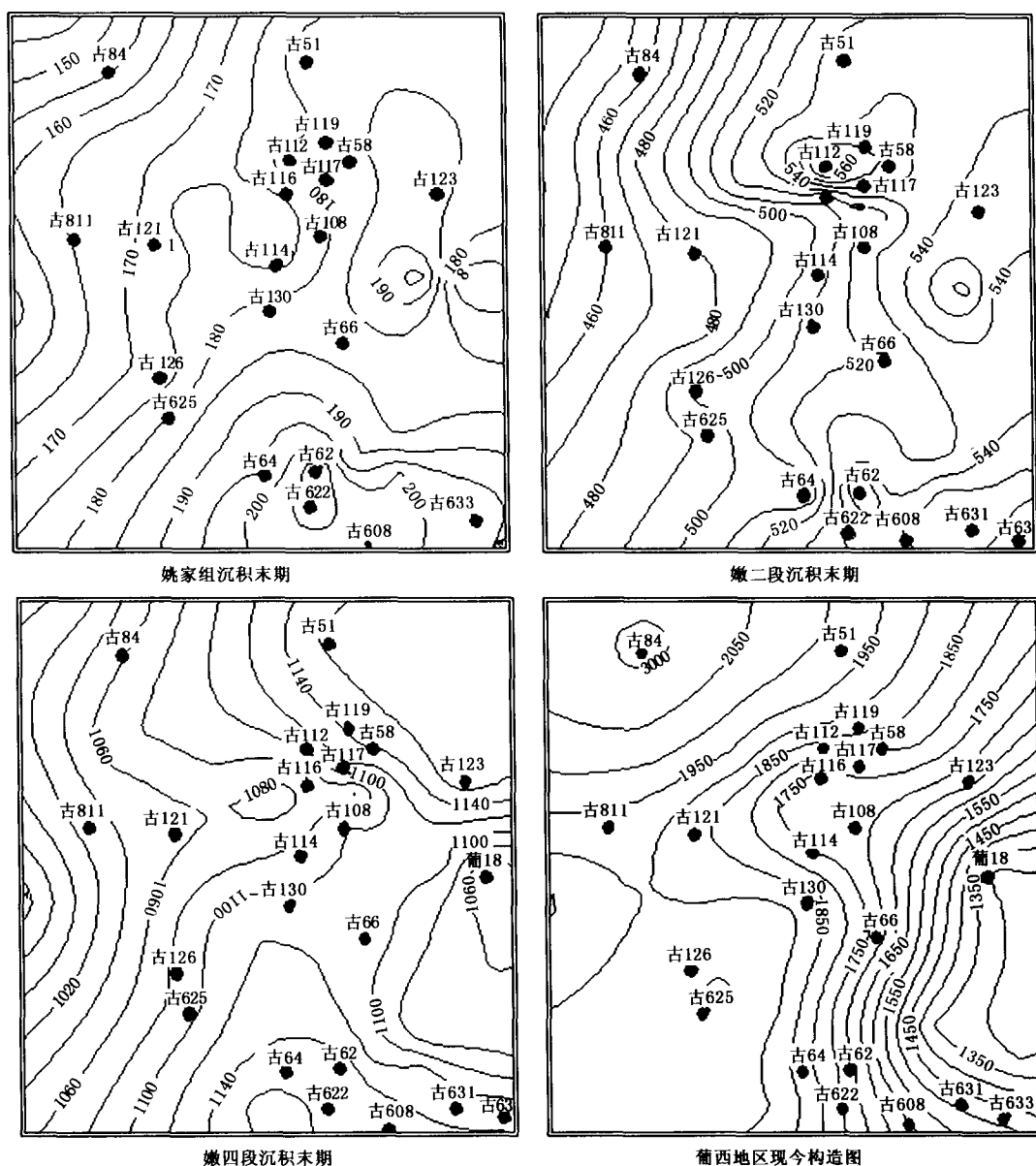


图 1-6 葡西油田葡萄花油层顶面构造发育史

3. 葡西鼻状构造的成因分析

根据本区的沉积特征、构造形态特征及与大庆长垣的相互关系,分析认为葡西鼻状构造是差异压实及压扭的结果,而压扭作用可能是关键因素。

1) 差异压实作用

差异压实作用,是由于沉积物组合及厚度的不同而产生的不均衡压实作用造成的。据研究认为砂岩可压缩性比泥岩小得多,特别是深湖相黑色泥岩孔隙度大,有机质含量高,含水也多,压缩系数尤其大。一般在上覆层厚 1000m 时可压缩到原体积的三分之一,在上覆层厚 1300m 时可压缩到原体积的四分之一。

由于葡萄花油层沉积时期,本区是三角洲发育期,鼻状构造的主体部位是东、中、西三支水系的交汇处,因而是水下分流河道砂、河口坝集中发育区,沉积物的砂泥比较大;而鼻状构造两侧是分流间湾及前缘席状砂发育区,湖相泥岩发育,砂地比低;实际上从青山口组到姚家组沉积时期,本区及大庆长垣地区主要为河流及三角洲沉积,沉积了较厚的砂岩,这为后期的差异压实作用提供了条件。在上覆沉积物地静压力的压实作用下,构造两翼压实程度较大,主体部位压实程度相对较小,差异压实的结果,造成了嫩二末鼻状构造雏形的形成。由于本区砂地比的横向变化相差并不悬殊,因此差异压实的作用效果也不会太明显,但为后期的构造变形打下了基础。

2) 压扭作用

前人研究认为,嫩江组沉积末期,盆地受到了近南北向的左行压扭应力场的作用,这种应力场对本区的鼻状构造的发展,产生了不可避免的重要影响。图 1-7 是这个时期的应力场示意图,在区域的近南北向的左旋压应力场的作用下,派生出垂直于构造主轴方向的主压应力,压应力的作用使其基本定型;而平行于主轴方向为主张应力方向,因而可断定,构造上的北西、北北西及近南北向的断裂也应是在这个时期形成的,属于伴生断层。明水组末期,区域性的近东西向的强烈挤压作用,造成盆地内基底断裂的强烈收缩及反转,在盆地中浅层形成了一系列构造。葡西鼻状构造在这种变形机制下,受大庆长垣构造反转隆起的局部扭压应力作用,而得到了进一步的发展和最终定型。

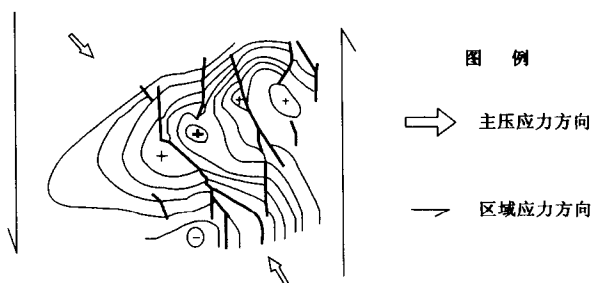


图 1-7 葡西鼻状构造嫩末时期的应力场示意图

三、沉积环境及沉积相

1. 沉积模式研究及沉积相划分

从区域沉积特征看,葡萄花油层沉积主要受北部沉积体系控制,属于三角洲前缘亚相沉积,平面上大体有三支水系伸入本区,即西支水系、中支水系和东支水系。油田的主体部位主要受西支水系和中支水系控制(图 1-8)。

根据探井资料分析,葡萄花油层的砂体沉积相主要可划分为水下分流河道砂、分流河道间薄层砂和三角洲前缘席状砂等砂体类型(图 1-9、图 1-10、图 1-11)。

水下分流河道砂:为分流体系末端高度分散的衰竭型河流,河流规模窄小、水流强度和切割能力较弱;且经常决口改道,单一河道存在的时间短,不发生明显的侧向迂曲。主要由垂向加积作用形成河道充填砂体,其砂体宽度近似于河道。这类砂体以粉、细砂岩为主,单层厚度大,河道砂的底部普遍见有冲刷面或平整的岩性突变面,有时也可见到泥砾层,测井曲线表为箱形或钟形。

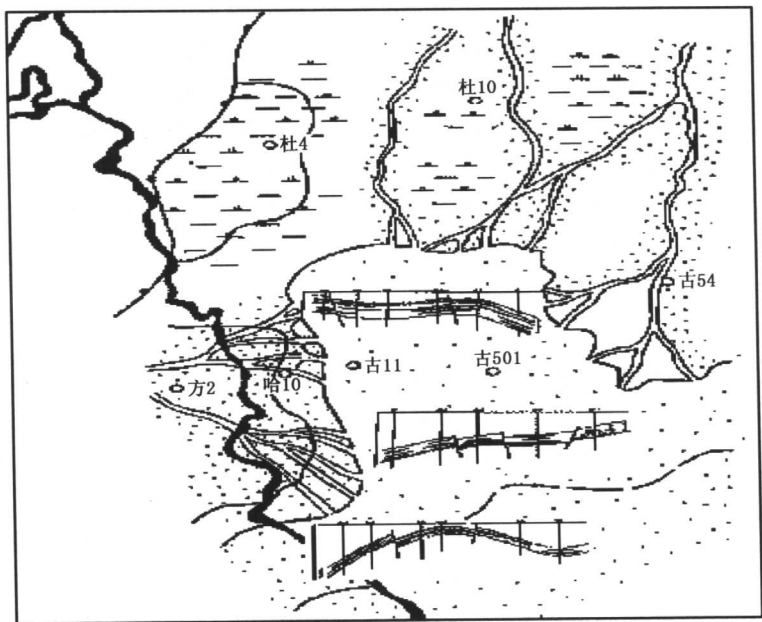


图 1-8 大庆长垣以西地区葡萄花油层沉积相分布图

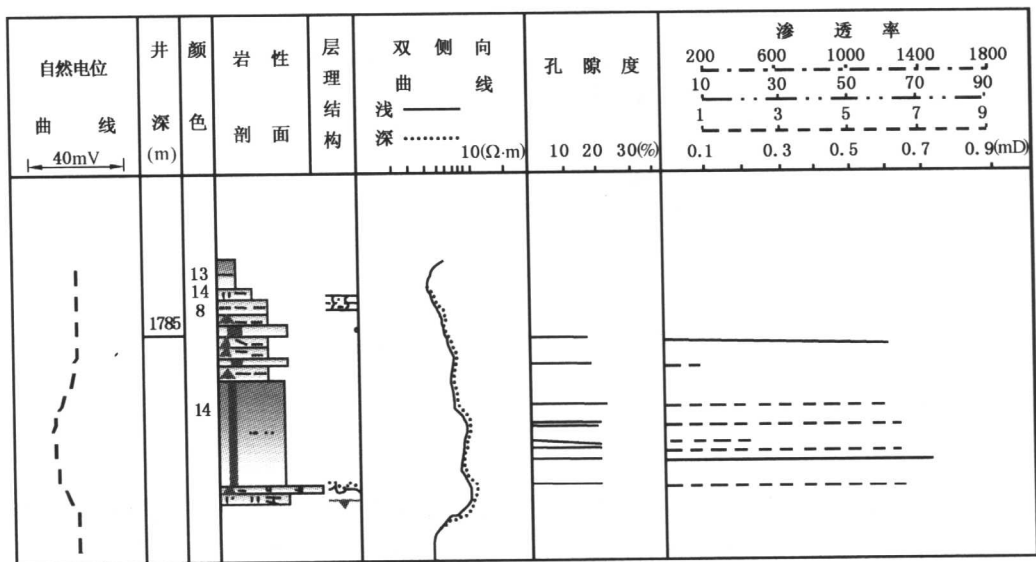


图 1-9 水下分流河道砂典型曲线

水下分流河道间薄层砂:为不规则的片状一条带状的薄层—薄互层型砂体,是由洪水季节水下河床漫流沉积的结果。这类砂体以粉砂—泥质粉砂岩为主,常与滨浅湖的灰绿色泥岩间互分布,旋回性多数不清楚,少数显示向上变细的正渐变。层序被多个泥岩夹层分割,砂体显得零散,稳定性差,单层厚度薄,测井曲线形态呈现尖峰状或正渐变锯齿状。

三角洲前缘席状砂:由于水体较深,河口坝及远沙坝在波浪的簸选、均夷作用下,形成广泛分布的席状砂。其特点是粒度细、分选好、厚度薄。一般单层厚度小于 2.0m,它们的旋回性以