

济阳坳陷罗家一垦西地区 砂砾岩体深层稠油油藏描述

张善文 王永诗 彭传圣 纪友亮 著



石油工业出版社

济阳坳陷罗家一垦西地区 砂砾岩体深层稠油油藏描述

张善文 王永诗 彭传圣 纪友亮 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书讨论了砂砾岩体深层稠油油藏描述的研究思路及研究内容；阐述了砂砾岩这一特殊地质体的层序地层划分、对比方法；研究了它的沉积特征、成岩特征和储层结构特征，以及储层定性评价参数选择及评价标准，并深入探讨了有效砂砾岩储层的地球物理定量评价技术及含油性的测井解释方法。描述了深层稠油的特征，从成藏动态演化角度讨论了深层稠油的形成机理，并介绍了砂砾岩体深层稠油油藏的评价及目标筛选。

本书可供从事石油地质、地球物理等专业的科研人员及院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

济阳坳陷罗家一垦西地区砂砾岩体深层稠油油藏描述/张善文等著. —北京：石油工业出版社，2003.6

ISBN 7-5021-4244-4

I. 济…

II. 张…

III. 粘性原油—油藏描述—济阳县

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 028464 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)

河北徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 240 千字 5 插页 印 1—1500

2003 年 6 月北京第 1 版 2003 年 6 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4244-4/TE·2979

定价：28.00 元

序

稠油是石油资源的重要组成部分。随着稠油开采技术的日臻成熟,稠油油藏的勘探越来越受到重视。但是,限于目前的稠油开采技术仅适用于浅层,因此,埋深小于 1500m 的浅层稠油油藏的研究和勘探程度较高,而对于埋深大于 1500m 甚至埋深 3000m 的深层稠油的研究和勘探开发,国内外都比较薄弱;尤其是开采,还处于探索阶段。对开发来讲,开发深层稠油油藏的难点在于目前还没有一项成熟的开采技术。对勘探而言,其难点还在于那些储藏在复杂的砂砾岩体中的深层稠油油藏,难就难在采用什么技术和方法才能搞清楚油藏的基本特征。在济阳拗陷的罗家—垦西地区,就遇到了这样的勘探对象和难题。

济阳拗陷沾化凹陷南坡的罗家鼻状构造及其东部的垦西地区,下第三系沙三下亚段和沙四上亚段,发育了大套砂砾岩,分布面积分别为 36km^2 和 98km^2 ,砂砾岩连续总厚度分别达 80m 和 350m。岩石成分复杂,分选极差,非均质性特别强。其中储藏有亿吨以上的稠油资源,油层埋藏深度 1800~2800m。原油地面密度多大于 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$, 50°C 时的粘度一般为 $4200\sim 15000\text{mPa}\cdot\text{s}$,最高粘度可达 $32241\text{mPa}\cdot\text{s}$ (80°C)。这种复杂地质体与特殊流体结合在一起的深层稠油油藏,给勘探开发带来极大的困难。虽然早在 30 多年前就已经发现了它们,但长期以来缺乏有效的技术手段搞清楚油藏特征和突破工业产能,没有获得工业油流,以至于迟迟不能探明和投入开发。

为了解决这个难题,争取尽快探明并开发这一片稠油油藏,在我主管胜利油田勘探工作期间,于 1998 年设立专项攻关研究课题,对其进行油藏描述研究和开采技术实验。经过几年的研究,利用层序地层学理论及方法和油藏描述技术,基本搞清了砂砾岩层序的划分、横向变化和油藏特征,通过开采技术攻关实验,在罗 902 井埋深 2400 多米的沙四段获得日产 7.39t、累产 1200t 的成果后,最近又在罗 9—试 1 井 2154.0~2170.0m 井段沙四段油层,获得最高日产 19.0t、18 天累产 276t 的较好效果。

通过油藏描述搞清楚油气藏基本特征,是油气勘探的一个关键环节,也是油气藏开发的基础。此项攻关研究,根据罗家—垦西地区的实际,以当前的有关石油地质理论和沉积理论为基础。综合应用多种技术手段,取得了令人信服的成果,并有所创新:应用层序地层学对砂砾岩体进行了体系域、准层序的划分,建立了等时地层格架,提出了砂砾岩体高精度层序地层研究的新思路;在细致研究砂砾岩体沉积特征、储层特征基础上,提出了比较切合实际的砂砾岩体储层定性评价方法和评价标准;深入研究岩心、测井、地震等三种资料的对应关系,利用测井二次解释技术、地震约束反演技术,建立储层解释模型和油层解释模型,开发出一套应用多井、多参数地震反演数据体定量评价有效储层的方法。在上述研究基础上,进行了区块稠油资源的评价和筛选。此外,还通过成藏条件及其形成过程的分析,对深层稠油的形成机理进行了有益的探讨。

本书作为该区攻关研究的地质基础研究——油藏描述的总结和理论升华,不仅对砂砾岩体深层稠油油藏的勘探、开发具有较高的实用价值,而且也可作为类似地质体研究的参考。

潘元林

2002年11月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 油藏描述概论	(1)
第二节 砂砾岩体及稠油油藏研究现状	(4)
第三节 油藏描述技术流程	(6)
第二章 构造	(8)
第一节 地质概况	(8)
第二节 构造层划分	(10)
第三节 构造特征	(11)
第四节 构造演化	(16)
第三章 层序地层学研究	(19)
第一节 陆相层序地层学进展	(19)
第二节 层序地层划分与对比	(20)
第三节 砂砾岩体空间展布	(29)
第四章 砂砾岩体储层综合评价	(33)
第一节 岩石相类型及特征	(33)
第二节 沉积相特征及演化	(35)
第三节 砂砾岩体储层成岩研究	(54)
第四节 储层孔隙结构及物性特征	(70)
第五节 储层分类与评价	(78)
第六节 储层地球物理评价	(83)
第七节 储层地质模型	(93)
第五章 深层稠油形成机理	(96)
第一节 原油特征	(98)
第二节 油田水性质	(108)
第三节 深层稠油形成条件	(111)
第四节 深层稠油形成机理	(113)
第六章 稠油油藏特征及评价	(125)
第一节 砂砾岩体稠油油层识别技术	(125)
第二节 成藏模式及石油分布规律	(131)
第三节 区块评价及筛选	(138)
结束语	(143)
参考文献	(146)

第一章 绪 论

随着地质学科的不断发展,其分支学科越来越多,也越来越细。石油作为一种目前不可取代的重要能源,与其相关的科学领域也要求不断发展与细化。石油地质学、沉积学、地球物理学等多种学科均在不断地分支、完善。从石油地质学的发展史来看,从无机到有机、从海相到陆相、从成熟油到低熟油,都反映了石油地质理论的拓展与细化。然而,随着构造油藏等易勘探油藏的逐渐被揭示,油气勘探的难度不断地加大。目前我国大多数油气区已进入高成熟勘探程度期,开始以寻找隐蔽油气藏为主要目标,胜利油田已率先提出了饱和勘探的新概念。这些都预示着勘探家要寻找油气必须付出更大的努力,要求勘探家应用现代勘探技术,以全新的石油地质理论武装头脑,全方位把握地质信息,解放思想,从整体、动态和综合的角度对成藏的全过程进行系统的分析和恢复,在对成藏各要素进行分析评价的同时,综合联系各要素的关系及它们之间的作用,明确不同历史阶段油气藏的特征与分布规律,从而取得勘探上的突破。油藏描述作为油气藏研究的主要手段,保证了石油勘探的高效性,同时促进了石油理论的丰富发展。

第一节 油藏描述概论

一、概念

油藏描述最早是由 Schlumberger 公司以测井服务为目的,以“油藏描述讲座”报告的形式,向世界推出的多个油藏描述服务软件系统。这些系统主要是以测井资料为基础而设立的一些解释程序等,它改善了以往以钻井取心资料为主体的储层描述的局限性,使得从单井处理至多井对比处理均具有较强的可操作性。

随着石油地质及相关理论、勘探技术和计算机技术的发展,油藏描述的内涵得到了极大的丰富与发展。尤其是作为地质研究基础的层序地层学的迅猛发展、完善,进一步促进了油藏描述等石油地质研究的发展。目前的油藏描述是多学科、多技术及人才的综合。

油藏描述是指对油气藏各要素乃至成藏各作用特征的三维空间的定性、定量描述、表征及评价。它是以沉积学、层序地层学、构造地质学、石油地质学、储层地质学、测井地质学、地球化学、地质统计学等多门学科为理论基础,以计算机为手段,对含油气地质体各特征的三维空间乃至四维时空展布进行表征,从而达到研究和描述油气藏的一套技术系统。

首先,油藏描述是一门综合技术,它是以石油地质学理论为基础,紧密结合地质各门类学科,并将它们综合应用发展的科学技术。这些学科的覆盖面较广,包括有各种地层学、岩石矿物学、构造学、沉积学、石油地质学、地质统计学等诸多学科。但油藏描述不是这些学科的简单累积,而是需要综合地应用它们,以求发展它们,从而自身得以发展。正如一个人、一个企业,其生存发展是依靠各个器官、组织协调地发展,只依靠一个器官或组织的强大发展不能使整个人或企业强大起来。

其次,油藏描述具有阶段性、层次性,不同勘探、开发时期研究的对象、研究内容、使用的关键技术和研究的目的均有所差别。

再次，油藏描述除了依靠各种先进技术手段，包括计算机、地球物理以及先进的分析化验手段外，还依赖于研究人员的解放思想。胜利油田的勘探历程，从构造圈闭油藏到地层不整合油藏再到现今岩性油藏，从生油洼陷论到复式油气聚集论，从非饱和勘探到饱和勘探，无一不揭示了研究人员思想不断解放的过程，每一次勘探的突破都是思想解放的成就。可以说，解放思想是油气勘探永恒不变的主题，也是油藏描述永恒不变的主题。

最后，油藏描述的目的是表征油气藏各要素及作用的特征，落实油气藏的赋存状态、规模，最终寻找到较好的勘探、开发目标。勘探、开发目标的好坏是检验油藏描述效果最好的标准。这就需要研究人员脚踏实地，真正理清成藏过程的各个环节的实际情况，较好地恢复油气的成藏史，使所预测或评价的目标成为真正有效的目标。

二、油藏描述的阶段性的

油藏描述贯穿于油气勘探、开发的全过程，从第一口发现井到最后废弃为止是多次分阶段滚动进行的。由于不同勘探、开发阶段的任务不同，所拥有的资料基础不同，从而造成了不同阶段油藏描述所要描述的重点内容和精度的不同，其所采用的油藏描述技术和方法也有很大差别，即油藏描述具有阶段性。目前来看，已发展了适应不同阶段的三大阶段油藏描述技术和方法，即早期（勘探阶段）、中期及精细油藏描述三个阶段（穆龙新，2000）。也就是说，现代油藏描述特别强调针对性，要针对不同的开发阶段、油藏特点和所要解决的问题灵活进行，突出重点，采用先进实用的技术和方法（表1-1）。

表 1-1 不同阶段及其油藏描述阶段的主要任务、技术和方法（据穆龙新，2000）

开发阶段	开发研究的主要任务和内容	油藏描述的主要任务和内容	油藏描述的主要技术和方法	油藏描述阶段
开发准备阶段	评价阶段 计算油藏的探明地质储量和预测可采储量； 从技术和经济上对油藏是否值得开发作出可行性评价； 预测可能达到的生产规模，提出规划性的开发部署； 提出钻井、采油及地面工程的轮廓设计	油藏的主要圈闭条件及圈闭形态，产状； 宏观的油气水系统划分及其控制条件； 油气性质和油藏类型； 储层宏观展布及储层参数； 建立初步的油藏概念模型	以区域和地震资料为基础确定油藏骨架； 以储层沉积学为基础，应用地质知识库和随机建模方法预测砂体空间分布； 整体概念模型建立技术	早期油藏描述
	方案设计阶段 对开发方式、层系、井网、注采压力系统、采油速度、稳产年限等重大问题进行决策； 进行油藏、钻井、采油和地面建设工程的总体设计； 优选最佳开发方案	落实可采储量； 核实构造及油气水分布； 确定微相类型； 预测储层特别是主力储层的宏观分布规律； 完善和深化油藏地质概念模型	精细地震构造解释； 储层沉积微相描述； 地质概念模型建立技术	
主体开发阶段	方案实施阶段 确定注采井别，制定射孔方案和初期配产配注方案； 必要时对开发方案提出调整意见，交付实施投产； 进行动态监测，开发分析； 实行分层注水，调整好注采关系，实施各种增产增注措施	以钻井资料为主确定大比例的构造图并核实断块划分； 分层油气水分布图； 全油田小层对比统层，沉积微相研究，建立储层数据库； 建立储层静态模型	全区小层对比统层； 三维地震结合动静态资料的精细构造解释技术； 以测井资料为基础的多井储层评价技术； 以沉积微相为基础进行储层综合预测和油水分布规律分析	中期油藏描述

续表

开发阶段	开发研究的主要任务和内容	油藏描述的主要任务和内容	油藏描述的主要技术和方法	油藏描述阶段
主体开发阶段	调整阶段 分析储量动用、能量保持和利用的现状和潜力； 编制有关层系、井网等综合调整方案，并进行实施	综合所有静、动态资料，完善和精细化储层静态模型，并逐步向预测模型发展	动态监测，跟踪模拟，综合解释； 储层静态模型建立技术	中期油藏描述
挖潜提高采收率阶段	改善水驱和三次采油 搞清油田的剩余油分布特征及其控制因素； 开展各种改善水驱提高采收率的先导性经验，逐步工业化推广； 进行各种三次采油方法的室内研究和先导试验，扩大工业性试验和工业化推广； 编制三次采油方案	微构造和微相研究； 流动单元划分与对比； 注水开发过程中储层物性动态变化规律研究； 水淹层测井解释； 层理、孔隙结构、粘土矿物等精细研究； 储层预测模型建立； 剩余油分布特征及规律	细分沉积微相和微构造研究技术； 流动单元研究技术； 水淹层测井解释技术； 储层物性动态变化规律研究； 储层预测模型建立技术； 地质、油藏、数模一体化技术	精细油藏描述

三、油藏描述的内容

不同阶段油藏描述的内容不同，即使在油气勘探阶段，即早期油藏描述阶段，针对不同类型的油气藏，也有着不同的描述内容和重点。如岩性油藏以落实储集体几何形态为重点，断块构造油藏以落实断层的空间组合和断块的空间特征为重点。但作为勘探阶段油藏描述，无论是哪种油藏，所要表征的是油藏要素的特征，落实油藏的规模。因此，主要的研究内容是建立三个格架，即地层格架、储层格架和油藏格架。

1. 地层格架

层序地层学的发展为油藏描述地层格架的建立提供了可靠的理论依据和实践的手段。通过建立等时地层格架，细化含油层系及研究单元，从而深化对油藏的认识。

2. 储层格架

储层格架研究包括储层的沉积相、成岩相、孔隙结构、孔隙类型等定性特征研究及几何形态、孔隙度、渗透率的三维空间展布等定量特征研究，建立储层地质模型、参数模型。

3. 油藏格架

油藏格架研究包括圈闭类型、油藏类型、流体性质、油气分布特征等多方面的研究。通过油藏格架的建立，评价各油藏的储量规模。

四、油藏描述的发展

从早期 Schlumberger 的以测井服务系统为主的油藏描述发展到现今的油藏描述，经历了以个体为主至倾向统一的发展过程。从已建立的描述系统来看，包括有以地质为主的地质描述、以测井为主的测井描述和以物探为主的地震描述三种主要的系统。早、中期发展阶段，各种描述系统都是相对独立的，这必然限制了油藏描述的发展。近些年来，学者们开始注意向多学科一体化方向发展，提出综合应用地质、物探、测井、测试等多学科信息，以石油地质学、构造地质学、沉积学等系列先进理论为指导，以计算机为手段，由复合型研究人员对油藏进行三维空间或四维时空定性、定量描述的现代油藏描述。

因此，现代油藏描述是依据研究对象的需要，以准确认识研究对象（油藏）为目的的研究技术，其必然向着整体性、综合性的方向发展。早期的储层描述、油藏特征表征仍然是现代油藏描述的主要内容，但对油藏整体性的认识和评价则日趋重要，同时还肩负着预测性的

重任。

第二节 砂砾岩体及稠油油藏研究现状

一、砂砾岩体研究现状

随着勘探形势的发展,隐蔽油气藏的勘探日益被重视,寻找新的储层已成为当前各油田所面临的较为重要的研究课题。砂砾岩体作为特殊的储层类型之一,较早地就被学者所研究。赵澄林等(1997)研究二连盆地扇三角洲砂砾岩体中就对砂砾岩体的沉积特征、成岩特征及储层的评价作了较为细致的分析,并对砂砾岩体的含油气性研究取得了规律性的认识,认为:①砾岩的含油气性好坏较为复杂;②构造缝发育的砾岩含油气性最好;③砾岩、砂砾岩体微相是油气田形成的关键;④沉积粒序控制含油气显示的好坏。总体概括起来,砂砾岩的储集条件和含油气性有四种情况:①等粒级支撑的细砾岩和多粒级支撑的中粗砾岩含油气性最好;②粗杂基支撑的中、粗砾岩、卵石质粗砾岩、混合支撑的中、粗砾岩含油气性较好;③细杂基支撑的中、细砾岩含油气性较差;④碳酸盐和泥化凝灰质胶结的砂质砾岩、含砾砂岩含油气显示最差或不含油气。

由于我国东部中、新生代陆相湖盆多以断陷性质为主,其陡坡带砂砾岩体极为发育,因此近年来东营凹陷、泌阳凹陷等区域对砂砾岩体的研究也较多。王宝言等(1997)对济阳拗陷东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体的勘探研究中提出了关于砂砾岩体的勘探方法,即:①层序地层学确定主要勘探目的层段;②沉积体系研究确定目标区域;③地震识别、描述预测扇体规模;④成藏条件分析优选勘探目标;⑤随钻跟踪、综合分析指导滚动部署;⑥油藏描述与储量计算。赵澄林等(1999)则对济阳拗陷的“四扇”砂砾岩体的沉积特征及时空展布规律进行了详细的总结,提出三种不同的北部陡坡带类型(持续下陷型边界陡坡带、有限后退型边界陡坡带和多次后退型边界陡坡带)控制了不同砂砾岩体的沉积特征。

济阳拗陷沾化凹陷北部埕南陡坡带的研究发现,由于砂砾岩体多与洼陷带的烃源岩直接接触,而根部砂砾岩体常具封堵性,易于成藏。砂砾岩储集体多含油或偏干,较少见水层。沉积相带控制了砂砾岩体的含油气性。

总之,砂砾岩体的勘探与研究已达一定深度,取得了不少成果。但目前砂砾岩体的研究多局限于陡坡带。而缓坡带的沉积条件、成藏条件与陡坡带具有较大的差异,且在缓坡带发育巨厚砂砾岩体的区带不多,因此关于缓坡带砂砾岩体的研究很少。

二、稠油勘探开发现状

世界稠油资源非常大,据胡见义(1988)统计,世界上已发现了3万多个常规原油油田,但占有更大地位的石油烃类资源是稠油,具有比常规原油资源高数位至十余倍的巨大潜力。据统计,世界1046个稠油和特稠油油藏,地质储量约为 $15500 \times 10^8 \text{t}$ (曾凡刚,1999,为不完全统计)。由于技术、经济因素的限制,至今对稠油的勘探和认识还是初步的。在现有技术下可采储量仅约 $3000 \times 10^8 \text{t}$ 。开采方法一般有3种:一是常规开采;二是常规—热吞吐—蒸汽驱三个阶段开采;三是热吞吐—蒸汽驱两阶段开采。后来许多技术又有新的进展,如注汽过程中各种添加剂的加入、水平钻井、生物技术、新的升举技术、井底水力开采和火烧油层、湿氧化作用、同生产方法以及各种炼制改进方法等。加拿大阿萨巴斯卡油砂矿开辟了 35km^2 的露天开采的试验区,从地表至埋深100m,年采掘油砂 $1.45 \times 10^8 \text{t}$,经处理及人工合成,年产石油 $800 \times 10^4 \text{t}$ 。

我国的稠油资源也非常丰富，分布广泛，在已经勘探或开发的大多数含油气盆地中都有发现。据曾凡刚等（1999）不完全统计，在 22 个盆地中有 152 个重质油藏，资源量约为 $100.34 \times 10^8 \text{t}$ 。我国新生代的构造活动性较强、油气生成运移和成藏时间晚等特点，决定了我国重油资源丰富，有着良好的勘探前景。如在“七五”期间我国东部陆续发现了埕岛、绥中 36-1、流花 11-1 等 3 个亿吨级大型重质油藏；“八五”期间初期在辽河西部凹陷新发现了缓坡边缘带上的欢喜岭的上第三系馆陶组厚达 134m 的稠油层；又在陡坡带上扩大了冷东重质油藏的含油面积。同时在我国西部地区新疆准噶尔盆地西北缘的克拉玛依—乌尔禾重油带也有新的扩展。近几年，一些新老油田均发现了较大规模的稠油油藏，且稠油储量所占的比例也在不断地提高。因此，稠油作为一种巨大潜在的资源，在今后的能源结构中起着至关重要的作用。

济阳凹陷作为渤海湾盆地的一大坳陷，其稠油资源同样极为丰富，分布极为广泛。据统计，约有 28 个构造区块有稠油油藏，已探明、控制的稠油储量约 $5 \times 10^8 \text{t}$ ，其中可常规开采的稠油储量约 $2.3 \times 10^8 \text{t}$ ，需采取特殊措施的稠油储量约 $2.7 \times 10^8 \text{t}$ ，且在 $2.7 \times 10^8 \text{t}$ 的稠油储量中，难以动用的储量占 $1.2 \times 10^8 \text{t}$ ，多为埋深大于 1800m 的深层稠油。深层稠油多分布于凹陷内。如东营凹陷的胜坨、永安镇、纯化、王家岗、东辛地区，沾化凹陷的罗家—垦西、邵家，车镇凹陷的大王北地区，惠民凹陷的阳信、临盘、商河地区（图 1-1）。尽管稠油资源量大，但能动用的储量多为相对较稀、埋深较浅的稠油，而上述地区油性很差、埋藏较深的深层稠油较难动用，尤其是像罗家—垦西地区的深层稠油资源量大，但其储集体与流体性质均极为复杂，难以动用。因此，必须采取有效的方法对深层稠油油藏进行精细油藏描述，综合评价、认识该区块，并筛选有利目标区，部署试验井，进行开发开采实验，最终达到动用稠油储量的目的。

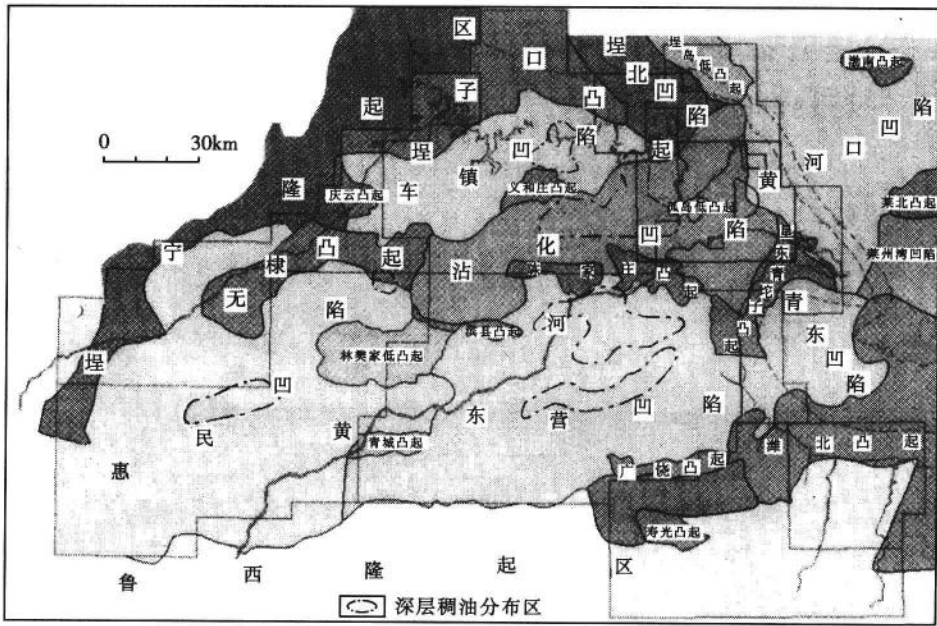


图 1-1 济阳凹陷深层稠油分布图

第三节 油藏描述技术流程

砂砾岩体和深层稠油是两个不同范畴的对象，而且都是较难研究的对象。当稠油蕴藏于埋藏较深（大于 1800m）的砂砾岩体中时，两个对象合二为一，研究的难度就更进一步加大。因此，对砂砾岩体深层稠油油藏的油藏描述应先分而化之，再合而解之。

砂砾岩体的地层划分对比一直是困扰地质学家一道难题，如何将相对缺乏稳定泥岩的厚层砂砾岩体划分开，并可对比而不造成穿时等，均是砂砾岩体研究所要解决的首要问题。

砂砾岩体的储层综合评价是综合研究要解决的另一难题。许多学者已建立了砂岩储层、灰岩储层的评价标准，然而砂砾岩储层与砂岩、灰岩储层具显著差别。砂砾岩体的储层评价需选取合适的参数，制定合理的评价标准。

砂砾岩体储层的测井解释就有相当难度，当其中所储的油为稠油时，解释就更难。砂砾岩稠油油层的含油性用什么方法解释才能更准确，准确率能达到多少，这些均需深入研究。

当稠油的性质极为复杂、差异很大，不能用一种形成机制解释时，应当如何研究分析稠油的形成机制，最终如何评价砂砾岩体深层稠油油藏，亦有待细致研究。

当诸多的难题要解决时，必须有一套系统、完整的理论、技术方法作指导，形成一套系统的、有效的技术流程，即建立“三个模型”，实现“三个评价”，最终达到区块筛选的目的（图 1-2）。

先充分运用古生物、岩心、测井和地震资料，根据砂砾岩的沉积特征，以地震地层为基础，选用合适的识别标志划分层序。在层序内部依据砂砾岩体的旋回性、孔隙度变化等一系列特征划分准层序，并以最大湖泛面为基准，向上、下地层进行准层序对比，从而建立砂砾岩体地层模型，同时明确砂砾岩体的空间展布。

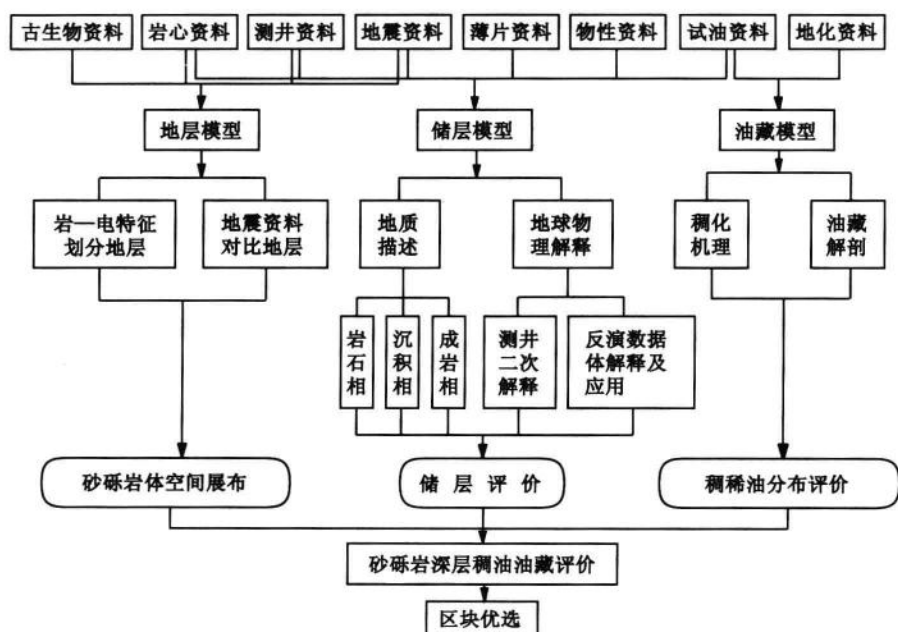


图 1-2 砂砾岩体深层稠油油藏描述流程图

再运用岩心、测井、地震以及薄片等分析化验资料进行砂砾岩体储层地质描述，判断砂砾岩体的沉积相类型，分析砂砾岩体的成岩相、成岩阶段、成岩演化史以及砂砾岩体的孔隙结构、孔隙类型等微观特征，并确定影响砂砾岩体储集性能的控制因素，建立适合砂砾岩体储层评价的标准，综合定性评价砂砾岩储层。在此基础上，进一步以“岩心刻度测井、测井刻度地震”，建立储层解释模型，开发应用多井、多参数地震约束反演数据体，定量评价砂砾岩储层。结合定性定量评价的结果，建立储层地质模型与参数模型。

运用试油资料、石油地球化学资料，从成藏动态入手，分析石油稠化机理，解剖油藏特征，总结石油分布规律，建立油藏模型，达到石油资源评价的目的。

最后在以上研究基础上，进行砂砾岩深层稠油油藏评价，并依据一定的原则优选出有利的区块。

第二章 构造

沉积盆地的形成、充填至消亡是盆地构造演化的结果。近年来,国内外对断陷湖盆的沉积层序和沉积体系的研究表明,断陷湖盆的沉积层序和沉积体系的发育演化受到裂陷期同沉积构造,特别是同沉积断裂构造活动的明显控制。结合构造与沉积分析,揭示同沉积构造对湖盆沉积体系发育演化的控制作用,对阐明盆地层序格架、沉积相配置样式、有效预测储集体等具有重要的意义。通过各构造带断裂系统的特征、活动期次、活动强度的描述,以及构造演化史的恢复,有利于进一步研究油气运聚史,界定关键时刻,判别油气藏类型,以评价油气藏。

第一节 地质概况

渤海湾盆地济阳坳陷是中、新生代在印支构造运动的背景上发展起来的。据坳陷内构造发育特征、地层充填序列和火山岩活动特征,可把该坳陷演化划分为两期,即裂陷充填期(早第三纪)和坳陷期(晚第三纪)两个阶段。郑和荣等(2000)据其内发育的区域性不整合面、构造活动特征、沉积发育特征和火山岩的特征,将裂陷充填期进一步划分为四个裂陷幕,即:Ⅰ幕(孔店组沉积时期)、Ⅱ幕(沙四段沉积时期)、Ⅲ幕(沙三段—沙二段下亚段沉积时期)和Ⅳ幕(沙二段上亚段—东营组沉积时期)^①。

裂陷Ⅰ幕和Ⅱ幕相当于裂陷的初裂阶段。地层的展布明显受控于北西向断裂。这一特征继承了晚侏罗世—早白垩世中生界盆地的特点,发育了一套干旱—半干旱气候条件下的浅湖、滨浅湖相灰色泥岩夹粉细砂岩、红色泥岩、盐岩石膏和冲积环境下的砂砾岩夹红色泥岩沉积。

裂陷Ⅲ幕是坳陷的强烈裂陷伸展幕,盆地北东、北北东和东西向断裂活动强烈,总体构造格局呈北东向,发育了潮湿气候条件下巨厚的以河流、三角洲和深湖重力流为特征的沉积建造。该套沉积建造构成了济阳坳陷最主要的生油和储油组合。

裂陷Ⅳ幕是坳陷的裂陷收敛幕,坳陷内主要断裂活动减弱,沉积厚度的中心转向沾化凹陷。坳陷沉积南北差异性增强。在坳陷南部的惠民、东营凹陷发育了一套以浅湖相灰色泥岩夹细砂岩、生物灰岩和河流冲积相细砂岩、含砾砂岩夹灰色、灰绿色及紫红色泥岩为主的沉积组合。在坳陷的北部沾化、车镇凹陷则发育了一套以湖泊、三角洲为主的沉积,沉积厚度巨大。

济阳坳陷的平面特征是发育四排凸起和三排凹陷(图2-1)。四排凸起自西北向东南依次为:埕子口凸起—庆云凸起、义和庄凸起—无棣凸起、陈家庄凸起—滨县凸起、青城凸起—广饶凸起;凸起之间三排凹陷自西北向东南依次为:车镇凹陷、沾化凹陷—惠民凹陷、东营凹陷(王秉海等,1992)。各凹陷总体构造格局为北断南超。各凹陷北部陡,易形成冲积扇、水下冲积扇、近岸水下扇等砂砾岩体沉积。而南部坡度较缓,多形成三角洲、滨浅湖滩

^① 郑和荣、邱以钢、冯有良等,济阳坳陷第三系沉积、构造及含油性,2000。

坝砂岩沉积。但一些坡度较陡的南坡也可形成巨厚的砂砾岩体沉积。罗家—垦西地区位于沾化凹陷中南部（图 2-2），其中罗家地区位于沾化凹陷陈家庄凸起北部罗家鼻状构造带上，其西与邵家洼陷相连，北以斜坡过渡至四扣—渤南洼陷，东与垦西地垒及三合村洼陷相接，勘探面积约 300km²，属于济阳拗陷的缓坡之一。区内沙四、沙三段沉积有大规模砂砾岩体，面积约 120km²，至 2001 年底共完钻探井 56 口，其中获工业油流井 14 口，低产油流井 7 口。垦西地区位于沾化凹陷孤岛凸起西南部的倾伏端，北为渤南洼陷，南过孤南断层为三合村洼陷，西与罗家鼻状构造带东翼相接。区内钻遇沙四段砂砾岩体井约 37 口，面积约 40km²，获工业油流井少。

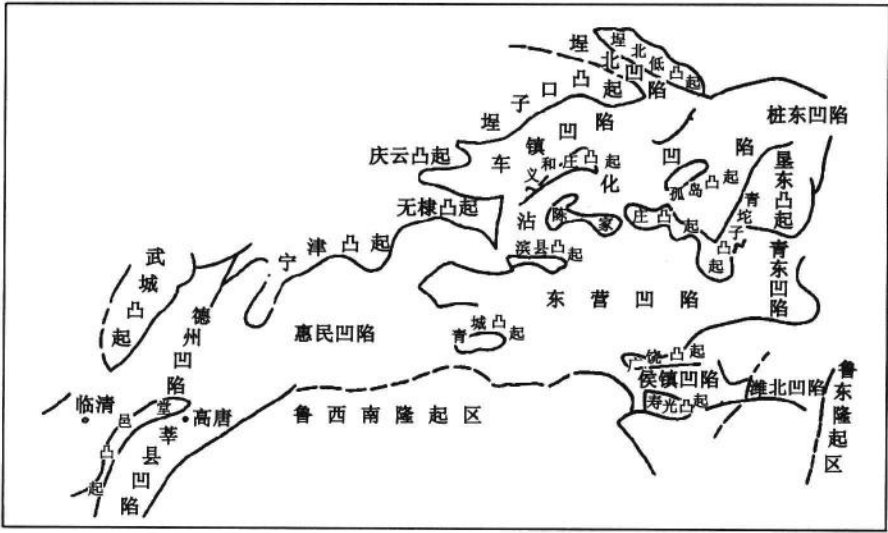


图 2-1 济阳拗陷第三纪构造单元略图（据王秉海等，1992）

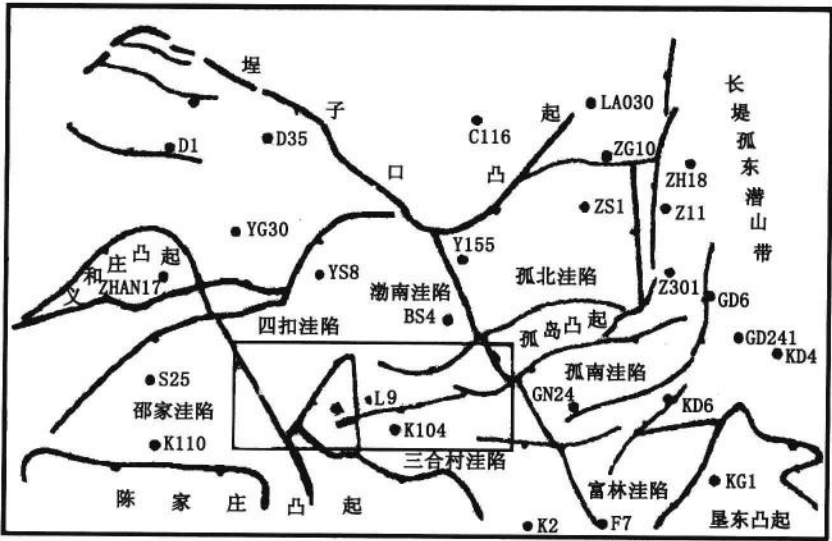


图 2-2 罗家—垦西地区构造位置图

第二节 构造层划分

构造层是指在一期构造活动的开始到结束过程中所控制沉积的一大套有成因联系的地层，顶底为构造抬升形成的侵蚀面，或盆地基底停止沉降产生的沉积间断面。

根据钻井、地震及邻区地质资料分析，将罗家一垦西地区自下而上分为四个构造层（王秉海等，1992）（图 2-3、表 2-1）。

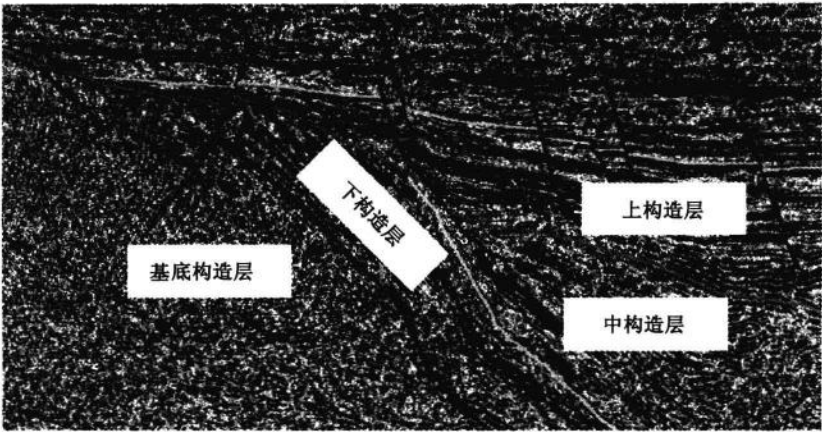


图 2-3 罗家地区构造层结构图

表 2-1 罗家一垦西地区构造层次划分表

构造层				地 层		地震反射层	力学机制	拉分期	构造静力学特征
上构造层 (Kz)	IV	IV ₂	Q	Qp	T ₁	坳陷发育，准平原化沉积	后拉分期	断层活动逐渐减弱，整体坳陷，并发育披覆构造及滚动构造	
			N	Nm					
				Ng					
		IV ₁	E ₃	E ₃ d	T ₂ T ₆	左旋扭张	左旋拉分期	北东、北东东向断层发育，具雁形特征，发育断块、断鼻构造为主，后期北东向断层活动逐渐停止	
				E ₃ s ₁					
				E ₃ s ₂					
			E ₂	E ₂ s ₃					
				E ₂ s ₄					
				E ₂ k					
				中构造层 (Mz)					III
K ₁									
J	J ₃	T _p T _{g1}	造山反转拉张成盆		挤压造山				
下构造层 (Pz)	II			II ₂		Pz ₂		C—P	
				II ₁		Pz ₁	Є—O		
基底构造层	I	AnZ	Art	T _{g2}	持续沉积稳定古陆	前拉分期	地层褶皱变形强烈，后抬升受严重剥蚀		
							发育韧性剪切、流动褶皱，并具透水性结构		

基底构造层（Ⅰ）由太古界花岗片麻岩、片岩等高级区域变质岩组成，在地震剖面上表现为杂乱反射，无成层性。

下构造层（Ⅱ）由古生界组成，它与下伏太古界呈角度不整合接触关系，其内部又分为两个构造亚层。下古生界构造亚层（Ⅱ₁）为寒武、奥陶系海相碳酸盐岩，最厚达 1200m，在地震剖面上下古生界顶底表现为相隔 400ms 的两组强反射波组特征。上古生界构造亚层（Ⅱ₂）为石炭、二叠系的海陆交互相陆源碎屑为主的沉积，最厚达 800~1000m，与下伏的下古生界呈假整合接触关系。

中构造层（Ⅲ）由中生界组成，岩性为凝灰质砂岩与砂泥岩不等厚互层，区域上与下伏古生界呈不整合接触关系。以块断掀斜为主的构造运动使中生界厚度变化大，中生界在凹陷中保存较全，陈家庄凸起东、西高点被剥蚀殆尽。

上构造层（Ⅳ）由新生界组成，岩性为砂岩、砾岩、泥岩、油页岩、碳酸盐岩不等厚互层。与下伏中生界呈角度不整合接触，其内部可分成两个构造亚层。

下第三系构造亚层（Ⅳ₁）与下伏中生界呈不整合接触。该构造亚层控制形成了四个二级沉积层序：第一层序是孔店组；第二层序是沙四段；第三层序是沙三段；第四层序是沙二段—东营组。罗家—垦西地区，第一层序为一套砂砾岩与泥岩不等厚互层沉积；第二层序发育了大规模砂砾岩体，其下与第一层序呈不整合接触；第三层序下部也发育一套砂砾岩体，但规模小，中上部为泥岩、油页岩夹砂岩沉积，其下与第二层序呈不整合或假整合接触；第四层序为砂岩、泥岩、油页岩沉积，其下与第三层序呈不整合接触，上与上第三系构造亚层呈不整合接触。

上第三系构造亚层（Ⅳ₂）包括馆陶组、明化镇组，分别为河流相和泛滥平原相沉积。馆陶组以大套的砂岩、泥岩互层为主；明化镇组下部为砂泥互层，上部以大套泥岩为主，是区域性盖层。

第三节 构造特征

一、罗家鼻状构造带

罗家鼻状构造带是在古地形背景上发育起来的具继承性与迁移性的构造带。早期受罗西断层活动及渤南洼陷沉降影响，罗家鼻状构造轴向为北北西向。随着罗西断层的活动减弱乃至停止，四扣洼陷沉降，其轴向转为北北东向（图 2-4）。该构造将渤南地区分成不对称的东西两部分，即渤南洼陷与四扣—邵家洼陷（图 2-5）。随着向洼陷带的倾伏，构造幅度越来越小。后期罗家鼻状构造继承性发育，但幅度变小。

罗家砂砾岩体顶面鼻状构造轴向为北北东向，其东西各有两个次鼻，为砂砾岩体沉积后差异压实形成。东次鼻轴向为北东向，西次鼻轴向为北西向，东次鼻幅度大于西次鼻。由于多组断层发育，罗家鼻状构造被切割得极为复杂，形成了复杂的油水系统。区内的主要断层有北东、北西和近东西向三组，近东西走向的断层大多是继承性和后期的同生断层，北西向断层为早期活动后期消失的老断层。主要断层的特点描述如下（表 2-2）。

1. 罗西断层

罗西断层是陈家庄凸起中段的反向屋脊断层。从构造演化剖面上可以看出（图 2-6），罗西断层发生于燕山运动早期湖盆断陷期，罗西断层走向北西，分为南、北两段，南段断面平直，倾角为 40°~50°，断层延伸 18km，在前第三系顶面构造图上断层已没有落差，向南

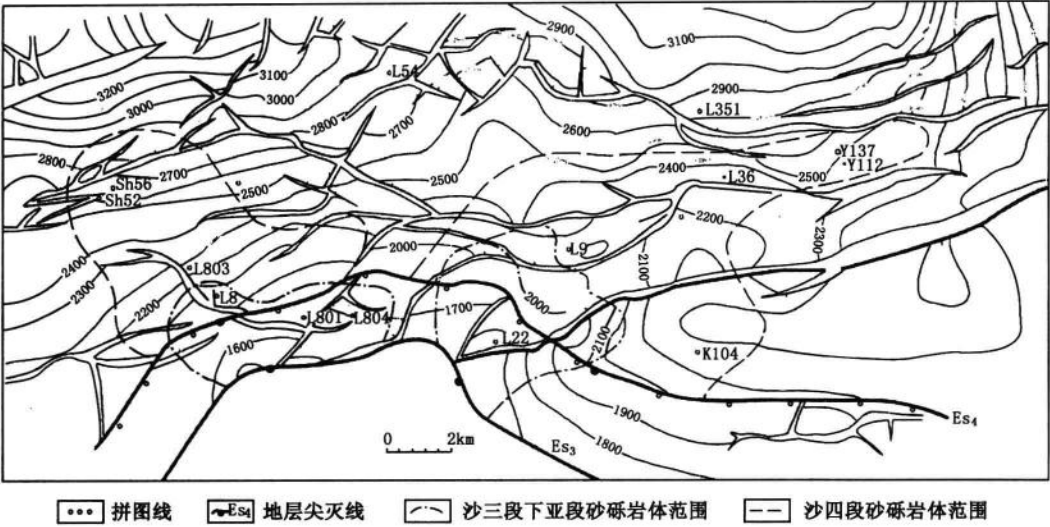


图 2-4 罗家地区砂砾岩体顶面构造图

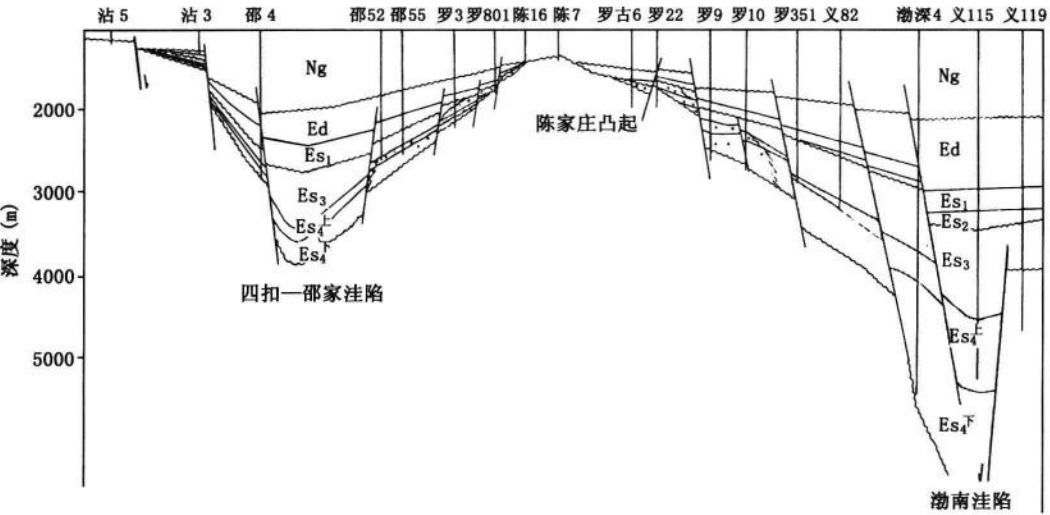


图 2-5 罗家鼻状构造地质剖面图

表 2-2 罗家—垦西地区断层要素表

级别	名 称	走向	长度 (km)	倾角 (°)	活动时期	最大落差 (m)
Ⅱ	罗西断层	北西	30	35~50	Mz—Es ₄	200 (T _r)
Ⅱ	孤西断层	北西	29	45~50	Mz—Es ₄	2500 (T _r)
Ⅱ	孤南断层西段	北东东	13	40~50	Es ₄ —Ng	900 (T _R)
Ⅲ	罗 8—罗 801 南断层	北西、北西西	9.5	40~50	Es ₃ —Ng	150 (T ₆)
Ⅲ	罗 9 断层	北东	10	40~50	Es ₃ —Ng	240 (T ₆)
Ⅲ	罗 39—罗 12—罗 10 断层	近东西	24	35~45	Es ₃ —Ng	220 (T ₆)
Ⅲ	罗 351—罗 353 南断层	近东西	21.5	40~50	Es ₃ —Ng	140 (T ₆)
Ⅲ	垦 102—垦 621 断层	北东东	9	40~50	Es ₄ —Ng	400 (T ₆)