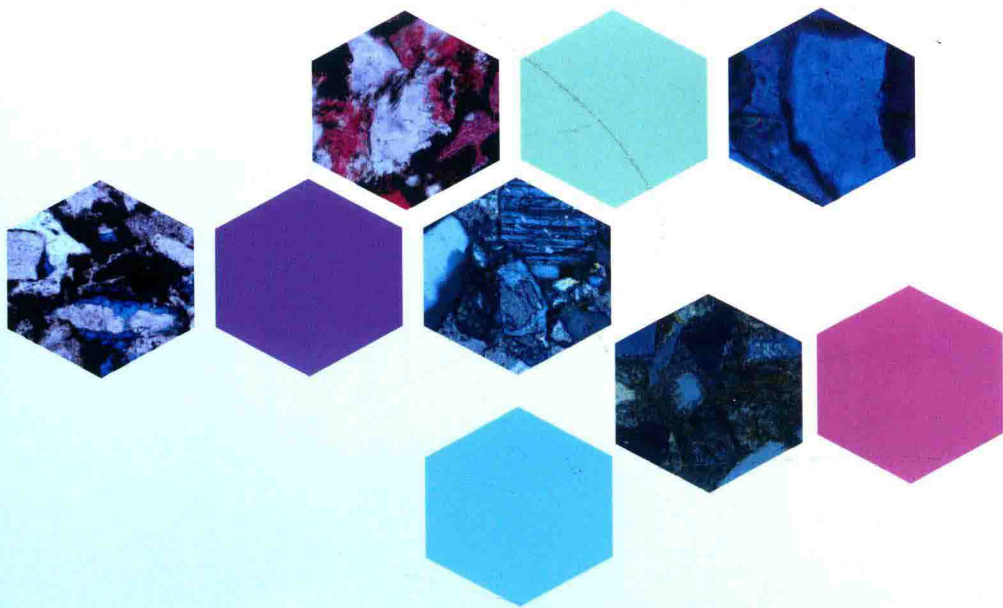





• 张瑞 著

鄂尔多斯盆地中部砂体 流体—岩石相互作用及 其储层效应

Fluid-rock interaction and reservoir effects of sandstones
in the central Ordos Basin



 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

鄂尔多斯盆地中部砂体流体— 岩石相互作用及其储层效应

张瑞 著



辽宁科学技术出版社

沈阳

© 2017 张瑞

辽宁省教育厅项目《巷道中断层和岩层的层面真产状参数测量方法研究》项目号 LJYL041

图书在版编目 (CIP) 数据

鄂尔多斯盆地中部砂体流体—岩石相互作用及其储层效应/张瑞著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2017. 8

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5591-0264-5

I. ①鄂… II. ①张… III. ①鄂尔多斯盆地—成岩作用—研究 ②鄂尔多斯盆地—储集层—油气勘探—研究
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 113403 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳天正印刷厂

幅面尺寸: 185 mm×260 mm

印 张: 8.5

字 数: 186 千字

印 数: 1~1000

出版时间: 2017 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2017 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 郑 红

策划编辑: 陈广鹏

封面设计: 嵘 嵘

责任校对: 周 文

书 号: ISBN 978-7-5591-0264-5

定 价: 30.00 元

联系电话: 024-23280036

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

前 言

鄂尔多斯盆地是我国第二大含油气沉积盆地，盆地内部构造简单、地层平缓，中生代地层蕴藏着丰富的石油资源，存在多套生储盖组合，勘探潜力巨大。随着勘探向湖盆中心推进，华庆地区不断钻遇长6、长8的厚层砂岩，以细—粉细砂岩为主。在普遍低—特低渗透背景下局部地区相对高渗透储层发育成工业油层，预示该区具有更加广阔的勘探前景。目前对华庆地区延长世湖盆中部储层成岩作用机制方面的研究还比较薄弱，从而影响了该区油气勘探。通过综合研究埋藏史、成岩史、孔隙演化史和烃类充注史，进一步深化对鄂尔多斯盆地中生界延长组优质储层分布规律的认识，进而指导盆地中生界延长组油气的勘探和开发，扩大勘探成果。

本书在观察与描述岩芯的基础上，总结出研究区内长6、长8的层内砂体主要沉积相类型，建立了单因素成岩相划分标准和综合判断原则。依据成岩相类型、分布特征，沉积—成岩耦合关系及其孔渗模型，结合储层目前所处的成岩阶段、孔隙类型组合、储集岩岩石粒度特征、平均产能、沉积微相类型等方面，建立了华庆地区延长世湖盆中部储层评价标准，并预测了研究区主要储集层段的有利储层分布区。

本书研究了鄂尔多斯盆地中部砂岩储层中多种成岩现象以及利用这些成岩现象结合沉积相来预测有利储层分布区，是研究储层中流体—岩石相互作用的经典案例，可以作为石油地质专业的研究生和高年级本科生的补充教材，同时对油气勘探和开发方面的技术人员也有一定的参考价值。

在编写本书的过程中，得到了中国科学院兰州地质研究所王琪研究员、辽宁工程技术大学嵇喜准副教授等专家学者的指点与帮助，在此表示衷心感谢。由于作者水平有限，书中内容可能有不恰当的地方，敬请斧正。

作 者

2016年6月3日

目 录

1 绪论	001
1.1 研究意义	001
1.2 成岩作用研究现状及发展趋势	002
1.2.1 成岩作用研究现状	002
1.2.2 发展趋势	002
1.3 研究内容和方法	005
1.3.1 研究内容	005
1.3.2 研究方法	005
2 区域地质概况	007
2.1 研究区构造背景	008
2.2 沉积演化与地层特征	009
3 物源分析与沉积相	012
3.1 稀土元素地球化学特征及物源示踪意义	012
3.1.1 稀土元素地球化学特征	013
3.1.2 物源方向分析	016
3.2 岩石学特征	018
3.2.1 长6储层岩石学特征	018
3.2.2 长8储层岩石学特征	022
3.2.3 不同成因砂体岩石学特征	023
3.3 沉积相展布特征	024
3.3.1 沉积相类型及其特征	024
3.3.2 沉积相展布特征	028

4	储层成岩作用研究	030
4.1	区域地温场特征	030
4.2	储层典型成岩作用类型及成因机制分析	032
4.2.1	机械压实作用	033
4.2.2	胶结作用	034
4.2.3	溶解和溶蚀作用	039
4.2.4	自生高岭石的沉淀作用	040
4.2.5	绿泥石黏土膜形成作用	041
4.2.6	伊利石沉淀作用	049
4.2.7	绢云母化作用	050
4.2.8	烃类侵位作用	050
4.3	储层成岩阶段、成岩序列与成岩环境判识	051
4.3.1	成岩阶段的确定和典型成岩序列建立	051
4.3.2	酸性和碱性成岩环境鉴别标志及演化机制	057
4.4	储层砂岩的成岩历史与孔隙演化模式	060
4.4.1	孔隙度恢复方法	060
4.4.2	参数的选取	061
4.4.3	孔隙度演化史	062
4.4.4	成岩作用对储层砂岩孔隙演化的控制作用	062
5	碳酸盐胶结物碳氧同位素特征及意义	064
5.1	碳酸盐胶结物碳氧同位素特征	064
5.2	碳氧同位素意义	066
5.2.1	碳氧同位素对古盐度和古温度的指示意义	066
5.2.2	碳酸钙胶结物的物质来源	069
5.2.3	碳氧同位素与沉积相带的关系	070
6	储层砂岩的孔隙类型、结构与物性特征	072
6.1	储层砂岩的孔隙类型与结构	072
6.1.1	孔隙类型与结构特征	072
6.1.2	孔隙度和渗透率分布特征	079
6.2	次生孔隙发育带研究	081
6.2.1	次生孔隙形成机制	081

6.2.2	次生孔隙形成条件分析	081
6.2.3	溶蚀作用在次生孔隙形成过程中的定量分析	083
7	储层评价及有利储层分布预测	085
7.1	影响储层物性因素分析	085
7.1.1	沉积作用因素	085
7.1.2	成岩作用因素	087
7.2	成岩相划分原则与展布特征	092
7.2.1	成岩相类型划分及其特征	092
7.2.2	成岩相剖面 and 平面展布特征	093
7.2.3	沉积—成岩耦合关系和物性模型研究	100
7.3	储层分类评价与有利储层分布预测	105
7.3.1	储层分类评价原则与标准	105
7.3.2	有利储层分布预测	107
8	结论	111
	参考文献	112
	附录	115

1 绪论

鄂尔多斯盆地是我国第二大含油气沉积盆地，盆地内部构造简单、地层平缓，中生代地层蕴藏着丰富的石油资源，存在多套生储盖组合，勘探潜力巨大。自2000年以来的研究以及钻探证实，鄂尔多斯盆地延长组主力产油层位是长4+5、长6、长8，其中，长4+5、长6油层是盆地东北姬塬、靖安、安塞油田的主力产层，长8油层是盆地西南、西北地区的主力产层。随着勘探向湖盆中心推进，长庆油田公司在湖盆中部华庆地区长6和长8层段发现厚层含油砂岩，预示该区具有非常广阔的勘探前景，因此加强鄂尔多斯盆地中部储层机制研究有着重要意义。

1.1 研究意义

延长组沉积期，陕西省吴起县南部与甘肃省华池县处于鄂尔多斯湖盆中部，是盆地东北与西南两大沉积体系交会区，属湖盆沉积中心。传统沉积学的观点认为，在湖盆鼎盛期，湖盆中部以半深湖—深湖泥质沉积为主，砂岩不发育，但是近两年随着石油钻探的深入，在该区长6、长8油层组不断钻遇厚层砂岩（油层段砂岩累计厚度为30~35 m，砂地比为60%~70%），以细—粉细砂岩为主，在普遍低—特低渗透背景下局部地区相对高渗透储层发育成工业油层。那么相对高渗透储层是先天沉积形成，还是后期成岩改造而成？在储集砂体沉积成因类型基本明确的前提下，对储层经历的成岩改造路径和油气充注史的研究就显得尤为重要。目前对华庆地区延长组储层成岩作用机理方面的研究还比较薄弱，从而影响了该区油气勘探。要想弄清普遍低渗透背景下相对高渗透优质储层的成因机制和分布规律，通过综合研究埋藏史、成岩史、孔隙演化史和烃类充注史则是解决这一问题的最佳途径。加强这方面的研究会进一步深化对鄂尔多斯盆地中生界延长组优质储层分布规律的认识，进而指导盆地中生界延长组油气的勘探和开发，扩大勘探成果。

成岩作用是极其复杂的物理化学过程，其影响因素的多变和过程的复杂性主要体现在岩石成分的复杂性，流体来源的广泛性，温度、压力等成岩环境条件的多变性等方面，同时还受到沉积体系、古气候、盆地沉降与折返等多因素的作用和影响。鉴于湖盆中部长6、长8储层较发育，特别是长6储层厚度大，横向较稳定，但储层物性变化较大，孔隙类型复杂，在普遍低—特低渗透背景下，局部地区相对高渗透储层发育成工业油层。通过成岩作用类型、流体—岩石相互作用机制及其导致的储层效应的详细研究，结合盆地的埋藏—热演化史与储层的孔隙成岩演化研

究,以明确高渗储层形成的主控因素及其分布规律,为研究区油气勘探部署和有利勘探目标的选择提供依据。

1.2 成岩作用研究现状及发展趋势

1.2.1 成岩作用研究现状

20世纪40—50年代以前,沉积学的研究主要是针对沉积作用过程;50—70年代也只限于一些描述性的工作,或者是单纯岩石学方面的研究。由于大多数沉积地质学家认为沉积矿床在沉积时期或至多同生沉积期就已形成,因而成岩作用研究长期以来并未受到地质学界的重视。从70年代中期开始,由于世界性能源危机的出现和对深部次生孔隙带的发现和认识,促使石油地质学家和沉积学家对成岩作用进行广泛而深入的研究,并重新评价油气地质演化过程和油气储层储集空间的形成和演化历史。80年代以来,有关成岩作用的研究已被列为沉积学和储层地质学的一个极为重要的方向,新的技术和实验方法不断应用于成岩作用研究中,成岩作用研究由此开始进入了一个快速发展阶段。90年代以来,成岩模拟研究成为研究成岩作用的重要手段之一,主要运用计算机手段和化学数学模拟方法进行储层评价和预测。

近年来,随着现代分析测试技术的发展及油气地质理论的创新,我国的成岩作用研究已由原来的定性研究逐步转向量化分析,从简单的岩石学范畴拓展到盆地规模多因素的综合研究,并与沉积学、层序地层学、成藏动力学等学科紧密结合,成岩相、成岩演化数值模拟、成岩层序地层学以及砂岩动力成岩作用概念及研究思路也应运而生。

1.2.2 发展趋势

在油气成藏过程中,储层中所发生的流体—岩石、有机—无机相互作用不仅受控于盆地类型、沉积环境及储集岩的结构构造和矿物组成特征,而且还受到构造运动、油气运聚过程、烃源岩类型和热演化特征以及储层成岩演化阶段等多种因素的制约。近十几年来,随着油藏储层中有机—无机相互作用机制的深入研究以及流体包裹体分析测试技术和成岩自生矿物分析技术,尤其是同位素年代分析技术的不断提高,油藏储层研究已经从宏观向微观、定性向定量方向发展。对油藏储层进行研究的目的是已不仅限于为了掌握储层孔隙演化规律和对储层物性进行预测。目前许多学者通过对储层微区和超微区固相、液相及气相组分的定量分析,重构了油气藏的运聚过程,确定了油气成藏期次和成藏年代,并取得了大量的研究成果。

烃源岩—储集岩系统是盆地埋藏演化过程中一个完整、统一的有机—无机相互作用体系,而不同期次、不同相态和不同性质的流体活动则是联系这一系统的重要纽带。随着埋藏深度加大、温度升高,烃源岩中有机质将由未熟—低熟—成熟—高

熟—过成熟方向演化,相应地储集岩也由早成岩阶段 A, B 期向晚成岩阶段 A, B, C 期渐次演变,并形成不同演化时期特征的自生矿物组合和成岩组构。通过烃源岩—储集岩系统内不同类型的有机—无机反应,储集岩中那些具有成因标志的自生矿物在其形成过程中,可以捕获烃源岩在不同演化时期释放出来的不同类型的烃类,并以多种赋存状态保留在储集岩中,成为人们研究地质历史时期不同油气充注期流体组成特征的重要化石证据。

在正确的野外地质调查、沉积体系及沉积相研究基础上,室内的各种测试分析工作对研究成岩作用是十分重要的。传统的成岩作用研究手段,如铸体薄片、电镜扫描、X 衍射、阴极发光薄片法乃至各种钻井、测井、地震资料仍将在研究中发挥重要作用,它们是认识各种成岩现象,获取各种成岩参数不可替代的重要手段。现代的一些高精度、高灵敏度的技术方法的应用,对于解决成岩理论问题具有重要意义。目前,随着日益成熟的油藏储层固体、流体微区定量分析技术的迅猛发展,使得详细研究储层成岩与成藏关系成为可能。

近年来,国内外有关这方面研究取得了一定的成果和进展。

(1) 通过对储层中自生矿物的定量分析,确定各期次烃类注入的时间及顺序。成岩作用贯穿着储集岩的整个埋藏过程,成岩反应受孔隙流体、介质环境 pH、组分、温度、流体流动和交换等因素控制,储集岩中自生矿物的形成是水—岩作用的结果。烃类流体注入储层后改变了其中的地球化学环境,使某些矿物的生长受到抑制,甚至发生溶解或蚀变,同时也会形成另外一些矿物。油藏储层中自生矿物的形成和演化与储集岩埋藏过程(包括时间、深度、温度等的变化)和孔隙流体的地球化学环境变化密切相关,而油气的大量侵入可抑制储层中自生黏土矿物的生长,因此近年来许多学者通过对自生矿物的研究来确定油气成藏时间。由于油气聚集过程中水—油—岩相互作用(包括从早期富含有机酸溶液进入储层直至晚期油气大量注入),对油藏储层中自生矿物的形成和转化产生着重要影响,许多自生矿物(最常见的有自生石英、长石、方解石和白云石等)在生长过程中均可捕获流体形成大量包裹体(包括有机包裹体)。Heydari 通过对密西西比州布莱克溪油田上侏罗统斯马科弗组埋藏阶段有机—无机相互作用的深入研究后发现,3 个显著的埋藏成岩作用阶段与 3 个有机质成熟阶段相对应:生油窗前成岩作用以沥青前方解石胶结物沉淀为主;生油窗内成岩作用以含水层内白云石和硬石膏沉淀及油柱内固体沥青形成为特征;生气窗内成岩作用以热化学硫酸盐还原(TRS)为主,导致了烃类破坏、硬石膏溶解、大量 H_2S 和 CO_2 形成以及沥青后方解石胶结作用。Surdam 等经过对烃类与矿物之间氧化—还原反应的详细研究指出,当油气进入含矿物氧化剂和碳酸盐或硫酸盐粒间胶结物的砂岩中后,烃类(原油中饱和烃和芳烃)可被赤铁矿(或硫酸盐类)氧化成含氧有机化合物,而赤铁矿(氧化剂)则被烃类还原成黄铁矿(或绿泥石)。Hogg 等通过对北海 Alwyn 地区储层自生伊利石矿物 K-Ar 定年与成岩流体发展史的对比研究,指出该区砂岩储层在石油侵位之前存在大量自生伊利石形成作

用。王飞宇等通过对塔里木盆地塔中和塔北隆起石炭系东河砂岩伊利石的 K-Ar 和 Ar-Ar 年龄测定, 确定伊利石的年龄为 240~290 Ma 和小于 80 Ma。此外, 通过对储层中成岩矿物稳定同位素的分析, 可提供有关储集岩中胶结物的来源、沉淀温度和相对形成的时间等信息。因此, 通过对储层自生矿物的定量分析, 不仅可以确定自生矿物的形成时间、顺序和形成环境, 而且还可以确定烃类注入的时间, 提供充注时流体特征等信息。

(2) 通过对储层中有机包裹体组分的定量分析, 判明早期注入流体有机质成分和充注条件。在含油气盆地油气藏形成初期, 伴随着储层自生矿物的生长, 在其解理、裂隙或晶体缺陷中常可形成大量流体包裹体。随着储层含油饱和度的增加, 矿物与流体之间的反应受到抑制或中止, 自生矿物的生长逐渐停止。因此储层流体包裹体不仅直接记录了油气成藏的条件和过程, 也使早期注入储层的烃类流体得到了良好的保存。由此可见, 通过对储层中有机包裹体组分的定量分析, 可获得油藏中早期注入烃类成分等重要信息, 并可以弥补传统方法的不足。通过对流体包裹体中有机质成分与油气藏中有机质成分的定量分析与对比, 可确定各期次烃类流体的成藏贡献。对流体包裹体成分的分析, 最常用的是采用微区微束分析方法(包括显微荧光光谱、FI-IR、激光拉曼光谱等)。这种方法主要分析包裹体中气体和轻烃组分。近年来, 越来越多的研究者使用化学抽提和物理破碎相结合的方法, 从分子级水平研究烃类包裹体生物标志化合物特征, 并取得良好的效果。这为实现油藏储层内烃类组分与烃源岩的分类对比, 判明油藏中不同充注期次烃类流体的来源奠定了基础。

(3) 通过对油藏储层的依次抽提, 检测早期注入油藏烃类的地球化学特征。Wilhelms 等通过对油藏储层中残余沥青的微观分布和分子分馏作用的深入研究后指出, 早期进入孔隙的石油将强烈地与矿物颗粒接触并相互作用, 而后续的石油吸附在早期石油的表面。并认为那些封闭和滞留在极性化合物内和吸附于矿物表面的早期进入储层的烃类, 由于它们的流动性受阻, 可能会保留一些最初的特征, 即大都具有较低的成熟度、脂肪酸中重质组分偏多和极性化合物的浓度较高等, 这就是洋葱皮模型的核心思想。据此, Wilhelms 等提出运用依次(分步)抽提法来检测早期注入油藏烃类的地球化学特征。近期的研究表明, 运用依次抽提法不仅可以有效地测定包裹体中的中—高分子量烃类, 而且可以测定吸附于储层封闭孔隙矿物颗粒表面的早期注入烃类的有机质组成特征。研究结果证明, 储层中游离烃、封闭烃及束缚烃的地球化学特征常具有明显的差异。这反映了许多油藏中不同充注期次的烃类来源于不同的烃源岩。

综上所述, 随着油藏储层自生矿物和包裹体定量分析技术的提高, 近年来许多学者通过对储层自生矿物及包裹体的有机质分布定量和半定量分析研究, 解决了许多有关储层流体—岩石作用机理、油气运聚过程及成藏期次和成藏年代等问题, 并取得了许多重要成果和进展。毋庸置疑, 油藏储层中的自生矿物和包裹体是记录了

大量油气成藏条件及各充注期次烃类特征等信息的固体、流体微化石。因此,通过各种先进的分析测试手段,对油藏储层内有机—无机相互作用信息进行系统提取,势必成为研究多源多期复杂油藏不同充注期次烃类特征、来源及混合作用的最佳研究途径,也是今后储层成岩与成藏关系研究发展的一个重要方向。

1.3 研究内容和方法

1.3.1 研究内容

以鄂尔多斯湖盆中部延长组长 6、长 8 为研究对象,围绕目的层储层特征,开展研究。

1.3.1.1 储层岩石学特征研究

重点研究储层岩石学、矿物学特征,分析其矿物和元素组成,分选性、磨圆度、杂基含量、胶结物类型,进一步分析成分成熟度、结构成熟度,总结不同成因类型砂体的岩石学特征。

1.3.1.2 储层成岩特征研究

重点研究储层成岩作用类型、自生矿物组合、成岩组构特征及其成因机制分析,特别是流体—岩石相互作用机制的研究;成岩演化阶段厘定、成岩序列、成岩环境以及成岩与成藏的关系。

1.3.1.3 储层孔隙结构特征研究

重点研究孔隙结构特征、孔喉类型及组合特征,定量计算不同成岩作用对储层孔隙造成的减孔率和增孔率,结合成岩作用研究成果分析研究区孔隙演化规律。

1.3.1.4 储层成岩相研究

通过对影响储层物性主控成岩因素的分析,识别出主要的建设性和破坏性成岩作用类型,并划分成岩相类型,以实测的物性参数为基础,综合分析高渗储层形成机制及分布规律。

1.3.1.5 综合研究

在上述成岩及孔隙结构综合研究基础上,划分成岩相区,利用已有的沉积相研究成果,建立沉积—成岩相耦合关系,以沉积—成岩相物性参数模型为基础,对有利的储集区带进行预测。

1.3.2 研究方法

充分收集和利用研究区已有的各类分析测试资料及前人研究成果,综合运用岩石学、矿物学和地球化学(主要是有机地球化学、元素地球化学和同位素地球化学)等多学科交叉渗透的研究方法,对储层成岩相进行研究。选择鄂尔多斯盆地延长长期湖盆中部长 6、长 8 为研究对象,通过对重点取芯井(段)的详细岩芯观察和

系统采样,依据储层中自生矿物的叠置关系、晶体结构、同位素和微量元素特征的定量分析,建立判识储层自生矿物形成次序和形成环境的成因标志。

厘清研究区主要成岩作用类型,特别强调以储层成岩作用机制为研究切入点,重点弄清成岩作用类型、成岩序列和成岩阶段。通过分析油气充注与储层成岩和孔隙演化的关系,明确成岩与成藏的序次关系,深入剖析影响储层孔隙演化的成岩主控因素,弄清高渗储层的形成机制及分布规律,建立成岩相划分标准、物性模型及沉积—成岩耦合关系,阐明成岩相平面分区特征,为有利储集区带预测打下基础。

2 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台的西部，是一个南北向长东西向短的矩形盆地。盆地北起阴山、大青山和狼山，南至秦岭，东自吕梁山、中条山，西起贺兰山、六盘山，面积约为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是我国陆上第二大盆地。其现今构造总体上显示为东翼宽缓、西翼陡窄的不对称矩形盆地。盆地边缘断裂褶皱发育，盆地内部构造相对简单，以鼻状构造为主，地层平缓。依据其构造演化史和现今的构造形态，将鄂尔多斯盆地划分为伊盟隆起、渭北隆起、西缘冲断带、天环坳陷带、陕北斜坡带、晋西挠褶带 6 个一级构造单元（图 2-1）。垂向上盆地具有双层结构，基底由太古界及下元古界的变质岩构成，盖层为中上元古界、下古生界的海相碳酸盐岩层，上古生界—中生界的滨海相及陆相碎屑岩。新生界仅在局部地区分布。盆地自中生代以来，长期稳定发展，后期构造变动微弱，构造圈闭不发育，主要以岩性油气藏为主。

鄂尔多斯盆地中生界的石油勘探已有近百年历史，经历了从“井井有油，井井不流”，到“区块连片，年产千万”的勘探发展过程。前人对该盆地中生界层序地层、沉积微相与沉积体系、砂体展布及其控制、裂缝发育与分布、物源类型及其影响、成岩作用、储层特征等方面开展了广泛而深入的综合地质研究，对油气勘探起到了显著的推动作用。近 10 年来，随着对盆地石油地质基础研究的深入和认识程度的提

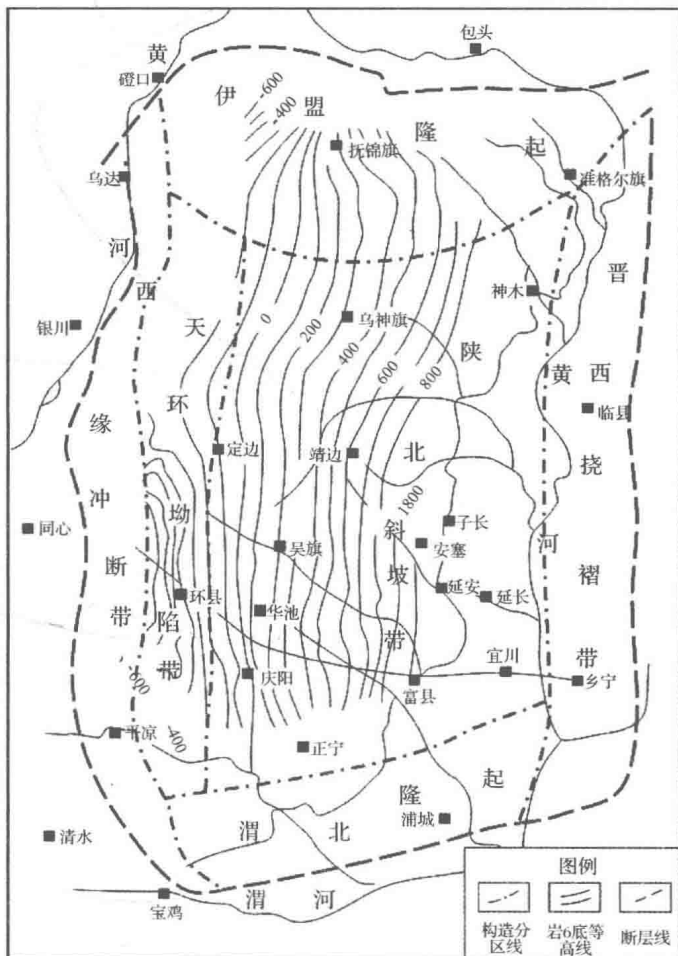


图 2-1 鄂尔多斯盆地构造区划

高,石油勘探一年一个台阶,得到了产、储量的快速上升。

2.1 研究区构造背景

鄂尔多斯盆地地处华北克拉通西部,兼受滨太平洋构造域和特提斯—喜马拉雅构造域地壳运动的影响,是一个古生代稳定沉降,中生代凹陷迁移,新生代周边扭动、断陷的多旋回叠合盆地。早元古代末期中条运动敛合、固化逐渐形成较稳定的统一陆块,但因地壳薄,固化程度低,在中晚元古代受秦岭海槽裂开、扩张的影响,在北高南低的基底背景上,发育了一系列北东、北北东向的裂陷槽。

早古生代,该区进入碳酸盐岩台地发育的阶段;到晚古生代,进入克拉通内碎屑岩沉积发展阶段。直至中生代早期,鄂尔多斯盆地仍属于大华北盆地的一部分,是大华北盆地的一个主体拗陷。

中生代内陆湖盆阶段是鄂尔多斯盆地石油形成和聚集的重要时期。晚三叠世,由于受到印支运动的影响,华北盆地解体,至白垩纪逐渐演变为独立的内陆盆地,共发育5个陆相碎屑岩沉积旋回,厚约3 000 m。其中晚三叠世延长组,早侏罗世富县组、延安组是中生代主要含油层系。晚三叠世延长组是大型内陆湖盆发生、发展到消亡的主要时期,沉积厚度约为1 000 m。特别是在上三叠统延长组第一段(T_3y^1)沉积之后,盆地地形出现明显分异,南部以明显的斜坡向盆地内部倾没,北自马家滩,南至旬邑、铜川,东起延安、黄陵,西达环县、镇原,面积 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的范围为深湖盆地区,形成了厚达300~400 m的深湖相沉积,这套深湖相地层是盆地中生界主要的烃源岩。之后,盆地抬升,湖盆开始萎缩。在盆地的东北、西南方向发育两大沉积体系,形成了巨大的(长6期)三角洲沉积体。这是自晚三叠世以来湖盆发生的第一次大规模沉积建造,形成了巨厚的三角洲沉积体,它是鄂尔多斯盆地延长组最重要的储集层之一。随后盆地下沉,湖盆又经历了一次短暂的扩张时期,沉积了一套以粉细砂岩与粉砂质泥岩的薄互层为主的沉积建造(长4+5)。而后,随着地壳的再次抬升,湖盆又一次进入萎缩期,湖盆北部抬升速度加快,湖水逐步向南退缩,沉积了一套以厚层、块状砂岩夹泥岩为主的沉积建造(长2+长3)。晚三叠世—侏罗纪湖盆进一步缩小,盆地局部出现河流—沼泽环境,发育了一套砂、泥岩夹薄煤层沉积。

新生代,鄂尔多斯盆地进入周缘断陷发展阶段。早白垩世末的燕山晚期构造运动,使鄂尔多斯盆地全面抬升。新生代仅在盆地周缘地区形成一系列断陷,而盆地内部主体仍以前期的构造面貌继续抬升遭受剥蚀至今。

现今鄂尔多斯盆地构造总体上呈东翼宽缓、西翼狭窄的不对称形态。盆地边缘断裂褶皱发育,而盆地内部构造相对简单,地层平缓,一般倾角不足 1° 。盆地内无二级构造,三级构造仅发育一系列幅度较小的鼻状隆起。

2.2 沉积演化与地层特征

上三叠统延长组是鄂尔多斯盆地内陆湖盆形成后接受的第一套生储油岩系，也是盆地最主要的勘探层系。延长组沉积时随湖盆演化，盆地内总体沉积了一套灰绿色、灰色中厚层粉细砂岩、粉砂岩和深灰色、灰黑色泥岩地层，下部以河流中、粗砂岩沉积为主，中部以湖泊—三角洲砂泥互层沉积为主，上部为河流相砂泥岩沉积。粒度呈北粗南细，厚度呈北薄南厚，厚度为800~1500 m，最厚地层在盆地西南边缘的

油水河剖面，为1500 m。岩性呈明显的韵律变化，并发育多期旋回，这些变化在区域上有较强的可对比性，依据延长组中凝灰岩、页岩、炭质泥岩或煤线等标志的变化特征将延长组自下而上分为5段，即 T_3y^1 、 T_3y^2 、 T_3y^3 、 T_3y^4 、 T_3y^5 ，再根据其岩性、电性及含油性，将5段对应划分为10个油层组（图2-2、表2-1）。长10~长7

期为湖盆形成到发展的湖进期，表现为纵向上的正旋回沉积和平面上各期岸线逐步向外扩张的特征。长7期湖盆进入全盛时期，广阔水域形成浅湖—半深湖相的大型生油凹陷，发育了面积达 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、厚数百米的暗色生油岩系。长6~长1期为湖盆三角洲建设发育期，湖水退缩渐消亡，表现为纵向上反旋回沉积，平面上各期湖岸线向湖心收敛的特征；盆地东部沉积受东部和东南部两大物源区的控制，发育湖盆—河流—三角洲沉积体系，东北部发育安塞—延安三角洲，东南部发育黄陵—富

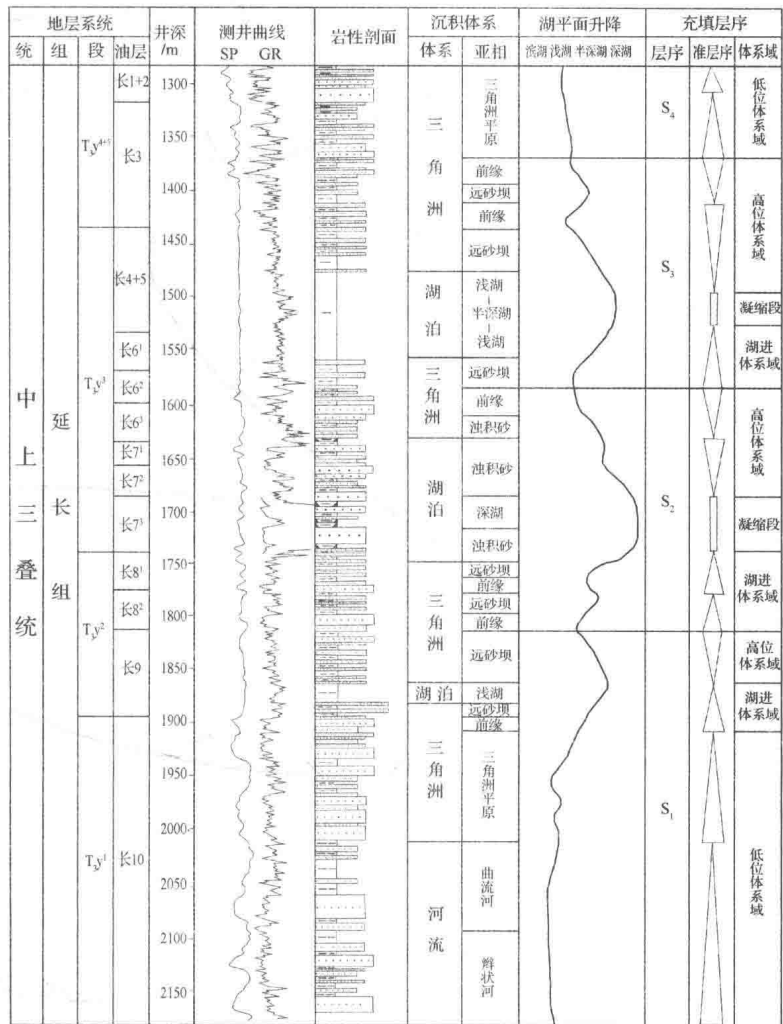


图2-2 三叠系延长组综合地层柱状图

县三角洲, 这些三角洲紧邻生油中心, 成为延长组的主要储集体。各期三角洲砂体与湖相或湖沼相泥岩间互, 形成多套生储盖组合。延长组物源方向来自盆地四周, 晚三叠世早、中期北部和西南部是其主要物源方向, 晚期随着西南方向地形的进一步抬升, 西南部物源影响范围明显超出北部物源区。

表 2-1 三叠系延长组地层简表

系	组	段	厚度/m	油层组	岩性
侏罗系	富县组		0~150		为浅灰色厚层块状石英砂岩、细粒岩夹紫红色泥岩
三叠系	延长组	第五段 T_3y^5	100~200	长 1	为一套深灰色粉砂质泥岩与泥质粉砂岩、细砂岩互层, 局部夹薄煤层
		第四段 T_3y^4	100~250	长 2	为一套灰绿色中、细粒砂岩夹灰黑色粉砂质泥岩, 是盆地延长组重要的储油层之一
				长 3	
		第三段 T_3y^3	120~400	长 4+5	一套砂泥岩互层, 长 7 在盆地南部发育张家滩页岩, 是盆地的主要生油层; 长 4+5 主要是泥页岩, 它是生油岩, 也是较好的区域盖层
				长 6	
				长 7	
	第二段 T_3y^2	100~200	长 8	以湖相砂、泥岩沉积为主, 长 8 相对较粗, 是重要的储油层; 长 9 以泥页岩为主, 习称李家蚌页岩, 是延长组重要的生油岩之一	
长 9					
第一段 T_3y^1	100~300	长 10	为灰绿色、浅红色长石砂岩夹暗紫色泥岩及粉砂岩		
	纸坊组		300~350		上部为灰绿色、棕紫色泥质岩夹砂岩, 下部为灰绿色砂岩、砂砾岩

延长组沉积后, 盆地全面抬升, 由于河流下切造成高低起伏的地貌景观。在此背景上发育了下侏罗统延安组、富县组的河流—湖沼相沉积, 由于河流对下伏延长组地层的切割, 使延安组河道砂体直接覆盖于烃源岩层之上, 形成良好的生储盖组合。然而, 盆地东部延长期抬升比西部缓慢, 直流岔沟不发育, 河流下切能量有限, 使延安组砂体与延长组生油岩接触面积小, 成藏条件变差。中侏罗世盆地再次接受沉积, 表现为正旋回的沉积特点。下部直罗组为河流相沉积, 向上逐渐变细, 砂岩减少, 泥岩增多, 至安定期演变为湖沼相沉积, 形成了一套覆盖全盆地的区域性盖层。

燕山旋回中期, 盆地西部受推挤, 拗陷部位逐渐东移, 而盆地东部却逐渐抬升, 从而与大华北盆地分离, 成为独立的鄂尔多斯盆地, 沉积了厚达 1 000 m 的边缘相带明显的下白垩统, 盆地西部发生冲断, 并在推挤作用下隆起。喜山旋回期, 盆地均衡上升。早第三纪陕北斜坡带上升为剥蚀区, 至第四纪又接受大面积的黄土层及河床砾石层沉积。延长组沉积后水体几进几退, 沉积和剥蚀交替进行, 在周缘隆起和基底断裂作用下, 盆地表现为区域性的整体抬升, 但由于盆地不同区带抬升幅度在时间和空间上的变化, 因而造成地层剥蚀程度上的差异。