



中国石油大学（北京）学术专著系列

# 鄂尔多斯盆地 天然裂缝与注水诱导裂缝

曾联波 赵向原 著



科学出版社

中国石油大学(北京)学术专著系列

# 鄂尔多斯盆地 天然裂缝与注水诱导裂缝

曾联波 赵向原 著



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组致密低渗透砂岩油藏为例,在研究天然裂缝的形成机理、主控因素与分布规律的基础上,重点介绍了注水诱导裂缝概念、形成条件、形成机理、控制因素及其识别与预测方法,探讨了致密低渗透油藏在注水开发过程中的裂缝动态变化规律及对开发的影响,成果对致密低渗透油藏中后期注水开发具有重要的指导作用。

本书可供从事致密低渗透油藏勘探开发的科研人员、生产管理人員和高等院校的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地天然裂缝与注水诱导裂缝 / 曾联波, 赵向原著. —北京: 科学出版社, 2019.7

(中国石油大学(北京)学术专著系列)

ISBN 978-7-03-061777-4

I. ①鄂… II. ①曾… ②赵… III. ①鄂尔多斯盆地-致密砂岩-砂岩油气藏-裂缝(岩石)-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第126872号

责任编辑: 万群霞 崔元春 / 责任校对: 樊雅珠  
责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

三河市春园印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年7月第一版 开本: 720×1000 B5

2019年7月第一次印刷 印张: 18 1/2

字数: 372 000

定价: 218.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 从 书 序

大学是以追求和传播真理为目的，并为社会文明进步和人类素质提高产生重要影响力和推动力的教育机构和学术组织。1953年，为适应国民经济和石油工业发展需求，北京石油学院在清华大学石油系并吸收北京大学、天津大学等院校力量的基础上创立，成为新中国第一所石油高等院校。1960年成为全国重点大学。历经1969年迁校山东改称华东石油学院，1981年又在北京办学，数次搬迁，几易其名。在半个多世纪的历史征程中，几代石大人秉承追求真理、实事求是的科学精神，在曲折中奋进，在奋进中实现了一次次跨越。目前，学校已成为石油特色鲜明，以工为主，多学科协调发展的“211工程”建设的全国重点大学。2006年12月，学校进入“国家优势学科创新平台”高校行列。

学校在发展历程中，有着深厚的学术记忆。学术记忆是一种历史的责任，也是人类科学技术发展的坐标。许多专家学者把智慧的涓涓细流，汇聚到人类学术发展的历史长河之中。据学校的史料记载：1953年建校之初，在专业课中有90%的课程采用苏联等国的教材和学术研究成果。广大教师不断消化吸收国外先进技术，并深入石油厂矿进行学术探索。到1956年，编辑整理出学术研究成果和教学用书65种。1956年4月，北京石油学院第一次科学报告会成功召开，活跃了全院的学术气氛。1957~1966年，由于受到全国形势的影响，学校的学术研究在曲折中前进。然而许多教师继续深入石油生产第一线，进行技术革新和科学研究。到1964年，学院的科研物质条件逐渐改善，学术研究成果以及译著得到出版。党的十一届三中全会之后，科学研究被提到应有的中心位置，学术交流活动的日趋活跃，同时社会科学研究成果也在逐年增多。1986年起，学校设立科研基金，学术探索的氛围更加浓厚。学校始终以国家战略需求为使命，进入“十一五”之后，学校科学研究继续走“产学研相结合”的道路，尤其重视基础和应用基础研究。“十五”以来学校的科研实力和学术水平明显提高，成为石油与石化工业的应用基础理论研究和超前储备技术研究，以及科技信息和学术交流的主要基地。

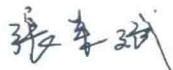
在追溯学校学术记忆的过程中，我们感受到了石大学者的学术风采。石大学者不但传道授业解惑，而且以人类进步和民族复兴为己任，做经世济时、关乎国家发展的大学问，写心存天下、裨益民生的大文章。在半个多世纪的发展历程中，石大学者历经磨难、不言放弃，发扬了石油人“实事求是、艰苦奋斗”的优良作风，创造了不凡的学术成就。

学术事业的发展犹如长江大河，前浪后浪，滔滔不绝，又如薪火传承，代代相继，火焰愈盛。后人做学问，总要了解前人已经做过的工作，继承前人的成就和经验，在此基础上继续前进。为了更好地反映学校科研与学术水平，凸显石油科技特色，弘扬科学精神，积淀学术财富，学校从2007年开始，建立“中国石油大学（北京）学术专著出版基金”，专款资助教师以科学研究成果为基础的优秀学术专著的出版，形成《中国石油大学（北京）学术专著系列》。受学校资助出版的每一部专著，均经过初审评议、校外同行评议、校学术委员会评审等程序，确保所出版专著的学术水平和学术价值。学术专著的出版覆盖学校所有的研究领域。可以说，学术专著的出版为科学研究的先行者提供了积淀、总结科学发现的平台，也为科学研究的后来者提供了传承科学成果和学术思想的重要文字载体。

石大一代代优秀的专家学者，在人类学术事业发展尤其是石油石化科学技术的发展中确立了一个个坐标，并且在不断产生着引领学术前沿的新军，他们形成了一道道亮丽的风景线。“莫道桑榆晚，为霞尚满天”。我们期待着更多优秀的学术著作，在园丁灯下伏案或电脑键盘的敲击声中诞生，展现在我们眼前的一定是石大寥廓辽远、星光灿烂的学术天地。

祝愿这套专著系列伴随新世纪的脚步，不断迈向新的高度！

中国石油大学(北京)校长



2008年3月31日

# 前 言

大量油气勘探和开发实践表明,致密低渗透砂岩储层是我国陆相沉积盆地中一种重要的油气储集层类型,其广泛分布在我国陆上各主要含油气盆地中,油气资源量丰富,是我国陆上油气增储上产的主要对象和油气勘探开发的重要领域。在强烈的成岩作用下,致密低渗透砂岩储层中成岩裂缝发育。同时,较强的成岩作用使储层岩石变得致密,脆性程度增大,在后期的构造作用下容易形成构造裂缝。这些构造裂缝和成岩裂缝是致密低渗透储层的主要渗流通道和有效储集空间,影响致密低渗透油藏开发方案的部署和开发效果。

我国致密低渗透砂岩油藏一般以注水开发为主,由于这类油藏储层物性差,基质孔隙及喉道细小,注入水在井底不容易扩散,会导致注水压力不断提高。因此,在长期的注水开发过程中,不断升高的注水压力和油藏地层压力的变化,一方面使储层中天然裂缝的地下张开度和渗透率发生动态变化;另一方面,当注水压力达到或超过裂缝的开启压力甚至地层破裂压力时,还会使天然裂缝张开和扩展,甚至产生注水诱导裂缝,形成致密低渗透油藏开发过程中新的渗透率非均质性,严重影响油藏的注水开发效果和最终采收率。为此,开展致密低渗透油藏天然裂缝及其注水开发过程中形成的注水诱导裂缝研究,对指导我国此类油藏的注水开发和提高采收率具有十分重要的理论意义及实际应用价值。

鄂尔多斯盆地是我国致密低渗透砂岩油气储层的重要分布区域,根据最新一轮油气资源评价,低渗透储层的石油资源量为 68 亿 t,占该盆地石油资源总量的 92%。自 1989 年我国第一个亿吨级整装特低渗透大油田——安塞油田全面投入开发以来,中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司(简称长庆油田)先后成功开发了安塞、靖安、西峰、姬塬、白豹、合水和新安边等亿吨级储量规模的大型致密低渗透砂岩油田,通过多年的研究和试验,形成了致密低渗透砂岩油田高效开发系列配套技术。长庆油田 2015 年的原油年产量超过 2500 万 t,为长庆油田成功建设成“西部大庆”,以及实现年产 5000 万 t 油气当量的宏伟发展目标奠定了坚实的基础。

笔者从“九五”期间开始对鄂尔多斯盆地上三叠统延长组致密低渗透砂岩储层天然裂缝与地应力开展研究,先后在靖安油田、安塞油田、西峰油田、姬塬油田、华庆油田和合水地区等重点区域开展过相关工作。既有为致密低渗透油藏开发方案部署而进行的裂缝及地应力分布规律研究及其三维地质模型建立,也有为致密低渗透油藏开发中晚期的开发方案调整而进行的裂缝动态变化规律及其开发

对策研究。这些研究成果为鄂尔多斯盆地致密低渗透油藏的高效合理开发和提高采收率提供了理论与地质依据，本书就是在这些研究工作的基础上总结提炼而成的，对深入认识鄂尔多斯盆地致密低渗透砂岩储层天然裂缝和注水诱导裂缝的形成、分布及其对注水开发的影响等方面具有借鉴作用，并对我国其他盆地的致密低渗透砂岩储层天然裂缝和注水开发过程中产生的注水诱导裂缝的研究具有参考价值。

致密低渗透油气藏储层天然裂缝和注水诱导裂缝的识别、预测及评价一直是油气田开发地质研究的难题，尤其是近年来，笔者依据特低渗透油藏的地质特征及在长期注水开发过程中所表现出的动态响应特征，提出了注水诱导裂缝的概念及其研究方向，对致密低渗透油藏开发地质研究提出了新的任务和要求，其研究难度大，目前尚没有成熟的技术和方法可以借鉴。希望本书的出版，能够起到抛砖引玉的作用，可以使更多的科研人员加入该研究行列，为我国致密低渗透油藏的高效合理开发做出贡献。

多年来对鄂尔多斯盆地致密低渗透油藏的研究及本书的撰写过程中，得到了中国石油大学(北京)漆家福、吴胜和、柳广弟、廖新维、程林松、张广清等教授，以及长庆油田李忠兴、赵继勇、史成恩、高春宇、李兆国、李恕军、朱圣举、何永宏、李亮、曲雪峰、王永康、穆国权、熊维亮、李书恒、张皎生、安小平、樊建明、雷启鸿、陆红军、张永强、王晓东、李向平、万晓龙、崔攀峰、刘萍、王靖华、李超、申利娜等领导、专家及同行的支持、指导和帮助；博士研究生唐小梅、巩磊、祖克威、李剑、王兆生、吕文雅、董少群、刘国平及硕士研究生王成刚、李娟、张阳禹、高昂、王继鹏、袁会会、吕鹏、王圣娇、梁丰、陆诗磊等也参加了部分研究工作。在此对他们表示衷心的感谢！

由于作者水平和掌握的资料有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2018年8月

# 目 录

丛书序

前言

第一章 鄂尔多斯盆地基本地质特征	1
第一节 区域构造特征	1
第二节 地层和沉积特征	4
一、地层特征	4
二、沉积特征	7
第三节 储层地质特征	9
一、岩石学特征	9
二、储层孔隙结构特征	10
三、储层物性特征	12
第四节 油田开发概况	13
第二章 致密低渗透储层天然裂缝的形成机理	18
第一节 天然裂缝的成因类型	18
一、天然裂缝的分类	18
二、构造裂缝	18
三、成岩裂缝	22
四、关于异常高压相关裂缝	24
五、关于区域裂缝	25
第二节 天然裂缝的分布特征	26
一、中、小尺度裂缝分布特征	26
二、微尺度裂缝分布特征	32
第三节 天然裂缝的成因机理	36
一、构造裂缝的形成时期	36
二、构造裂缝的成因机理	37
三、层理缝的形成机理	40
第三章 致密低渗透储层天然裂缝的控制因素	42
第一节 沉积作用	42
一、储层岩性	42
二、岩层厚度	44
三、沉积微相	47

第二节 成岩作用	49
一、成岩相对构造裂缝的影响	49
二、成岩作用对层理缝的影响	52
三、成岩作用对粒内缝和粒缘缝的影响	54
第三节 构造作用	55
一、构造应力场与构造裂缝形成的关系	56
二、断层对天然裂缝发育的影响	56
第四节 岩石力学性质	61
一、岩石脆性	62
二、钙质夹层	72
三、岩石力学性质的平面各向异性	78
第五节 储层构型	79
一、储层构型界面划分	79
二、天然裂缝与储层构型的关系	82
三、不同储层构型的裂缝分布模式	85
<b>第四章 致密低渗透储层天然裂缝的分布规律</b>	<b>91</b>
第一节 天然裂缝测井识别	91
一、成像测井裂缝识别	91
二、常规测井裂缝识别	95
第二节 天然裂缝的纵向分布规律	105
一、天然裂缝的组系与产状	106
二、天然裂缝的发育程度与规模	110
第三节 天然裂缝平面分布规律	122
一、基于测井资料的天然裂缝平面分布	122
二、基于储层地质力学的天然裂缝分布预测	126
第四节 天然裂缝的三维地质建模	131
一、天然裂缝三维地质建模方法	131
二、天然裂缝三维密度模型	132
三、天然裂缝三维网络模型	135
四、天然裂缝三维属性模型	136
<b>第五章 注水诱导裂缝特征与形成机理</b>	<b>138</b>
第一节 注水诱导裂缝的概念	138
第二节 注水诱导裂缝的基本特征	142
第三节 注水诱导裂缝的形成机理	148
第四节 注水诱导裂缝与天然裂缝和大孔道的区别	155
一、注水诱导裂缝与天然裂缝的区别	155

二、注水诱导裂缝与大孔道的区别 .....	156
<b>第六章 注水诱导裂缝的控制因素 .....</b>	<b>158</b>
第一节 天然裂缝与人工裂缝的影响 .....	158
一、天然裂缝 .....	158
二、人工裂缝 .....	162
第二节 岩石力学性质的影响 .....	164
第三节 现今地应力的影响 .....	168
第四节 储层构型的影响 .....	171
第五节 注水参数与注水时间的影响 .....	176
<b>第七章 注水诱导裂缝的形成条件 .....</b>	<b>180</b>
第一节 裂缝开启压力 .....	180
第二节 裂缝开启压力的影响因素 .....	187
一、天然裂缝产状 .....	187
二、埋藏深度 .....	187
三、孔隙流体压力 .....	188
四、现今地应力 .....	188
五、岩石力学性质 .....	188
第三节 注水对裂缝动态变化的影响 .....	189
一、地层压力与注水量之间的关系 .....	189
二、注水量与裂缝开启范围之间的关系 .....	191
<b>第八章 注水诱导裂缝识别与预测 .....</b>	<b>201</b>
第一节 注水诱导裂缝响应特征 .....	201
一、采油井见水类型 .....	201
二、注水诱导裂缝的动态响应特征 .....	203
第二节 注水诱导裂缝识别方法 .....	210
一、静态识别方法 .....	210
二、动态识别方法 .....	215
三、综合识别方法 .....	222
第三节 注水诱导裂缝预测方法 .....	223
一、地质预测方法 .....	223
二、数值模拟预测方法 .....	224
<b>第九章 裂缝动态变化对致密低渗透油藏开发的影响 .....</b>	<b>230</b>
第一节 天然裂缝对致密低渗透储层的贡献 .....	230
第二节 天然裂缝与砂体匹配关系对注水的影响 .....	233
第三节 裂缝动态变化对渗流场与压力场的影响 .....	236

---

第四节 注水诱导裂缝对开发效果的影响评价·····	245
一、初始井网条件下的影响·····	245
二、加密井网条件下的影响·····	247
三、几种调整方式对比·····	250
参考文献·····	254
图版	

# 第一章 鄂尔多斯盆地基本地质特征

## 第一节 区域构造特征

鄂尔多斯盆地位于我国中部地区,又称为陕甘宁盆地,横跨陕、甘、宁、晋、蒙 5 个省区,北以阴山—大青山—狼山为界且与河套地堑相隔,南以渭河地堑与秦岭相望,西与贺兰山—六盘山为邻,东为吕梁山—太行山,总面积约为  $37 \times 10^4 \text{km}^2$ ,是我国内陆地区第二大含油气沉积盆地。盆地内蕴藏着丰富的石油和天然气资源,以及煤、油页岩、铀矿等十几种矿产资源,是长庆油田、中国石油化工股份有限公司华北分公司和陕西延长石油(集团)有限责任公司的油气勘探区域。

鄂尔多斯盆地是一个在古生代盆地的基础上发展而来的中生代叠合盆地,属于沉积稳定的叠合克拉通拗陷盆地(杨华等, 2007)。盆地的现今构造总体表现为向西倾斜、东部较宽缓、西部略陡窄的不对称矩形盆地,由 6 个一级构造单元构成,分别为伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、伊陕斜坡、天环拗陷和西缘冲断带(图 1-1)。在盆地边缘地区发育一系列逆断裂及褶皱,而盆地内部构造较为简单,为一向西倾斜的单斜构造,地层平均倾角不足  $1^\circ$ ,坡降在  $7\text{m}/\text{km}$  左右,部分地区发育由古地貌和差异压实作用形成的小型鼻状构造。

鄂尔多斯盆地是在太古宇-古元古代结晶基底的基础上开始形成,其演化过程主要经历了中新元古代拗拉谷盆地发育阶段、古生代稳定克拉通盆地发育阶段、中生代类前陆盆地发育阶段和新生代周边断陷盆地发育阶段 4 个阶段(杨俊杰, 2002; 何自新, 2003; 杨遂正等, 2006; 杨华等, 2007)。

### 1. 太古宇—古元古代基底形成阶段

古太古代—新太古代是鄂尔多斯盆地基底雏形阶段的发育时期,这一时期,该区经历了多期火山-沉积作用、构造变形作用和变质作用,使几个互不相连的初始陆块增生、扩大并拼接成一个整体,形成了盆地基底的雏形。古元古代在太古宇古陆边缘沉积了一套海相火山岩、碎屑岩和碳酸盐岩建造。古元古代末期的构造运动伴随着强烈的岩浆活动,使地壳增厚、固结和稳定,形成华北基底。

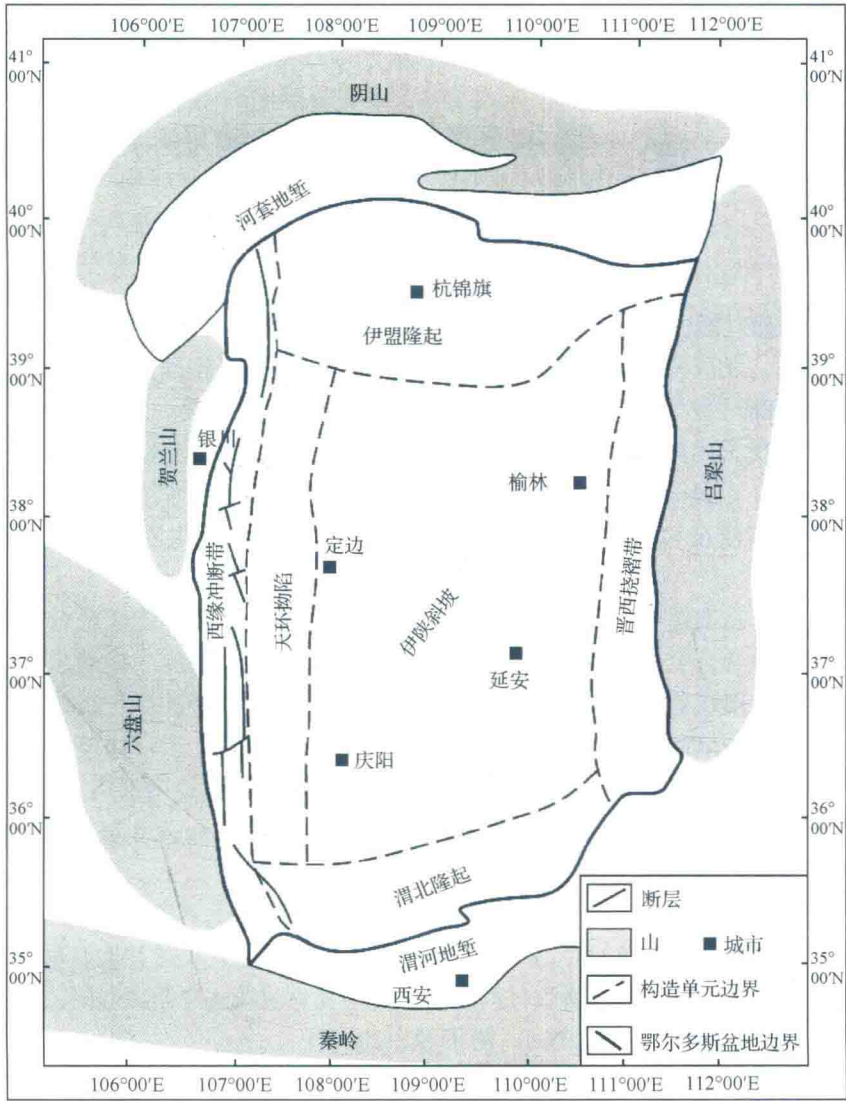


图 1-1 鄂尔多斯盆地构造单元划分图

### 2. 中新元古代拗拉谷盆地发育阶段

在中元古代早-中期，古中国陆块处于拼接稳定化初期，盆地主要沿袭了华北板块的演化特征。受地壳热点的控制，在盆地南缘发育祁秦大陆裂谷，与此同时在盆地南缘的西部发育贺兰拗拉谷，中部发育晋陕拗拉谷，东部形成豫陕拗拉谷。此时该盆地北部的构造相对稳定，在盆地南缘三大拗拉谷的控制下，主要沉积滨海相碎屑岩和碳酸盐岩。在中元古代晚期，盆地南缘和北缘均经历了由被动大陆

边缘向主动大陆边缘转换, 随后进入碰撞挤压造山阶段的发展演化。该时期鄂尔多斯盆地洋盆与裂谷相继关闭, 从而使包括鄂尔多斯盆地在内的整个华北陆块成为 Rodinia 超大陆的一部分。在新元古代中—晚期, 随着泛大陆解体, 鄂尔多斯盆地的西南缘和北缘开始张裂, 随后形成大洋, 至早寒武纪末, 盆地西南缘和北缘均已演化成为稳定的被动大陆边缘。

### 3. 古生代稳定克拉通盆地发育阶段

在古生代时期, 鄂尔多斯盆地处于相对稳定的构造环境, 以盆地整体升降为主, 形成了稳定的克拉通盆地(图 1-2)。该时期盆地总体上表现为南部低、北部高、东西部低、中部高的特点。在古生代早期, 鄂尔多斯盆地西缘和南缘由于紧邻秦祁海槽, 表现为被动大陆边缘, 盆地整体为华北盆地的组成部分。该时期盆地的大部分地区主要沉积了一套浅海台地相碳酸盐岩, 在南部和西部地区主要沉积了一套较厚的碳酸盐岩、海相碎屑岩和浊积岩。进入奥陶纪晚期, 华北地块南部和北部洋壳向地块下部俯冲, 使华北地块整体发生抬升, 鄂尔多斯盆地的志留系、泥盆系及下石炭统沉积普遍遭受剥蚀而缺失。到中石炭世, 鄂尔多斯盆地结束抬升剥蚀, 开始接受沉积。进入晚石炭世末期, 盆地发生区域性沉降, 海水侵入, 沉积范围变大, 沉积充填由拗陷型转变为广覆型, 中央古隆起逐渐消亡。

### 4. 中生代类前陆盆地发育阶段

从中生代开始, 由于受古亚洲洋、古特提斯洋和古太平洋三大区域动力体系的影响, 鄂尔多斯盆地开始了独立的演化过程, 表现出多旋回沉积和多期构造演化的特点。在早—中三叠世时期, 鄂尔多斯盆地构造相对稳定, 主要表现为在二叠纪形成的古构造格局的基础上持续沉积。至晚三叠世时期, 由于受古特提斯洋闭合的影响, 盆地周缘受到强烈的造山运动作用, 形成了多个陆相沉积物源补给区, 沉积了一套陆相碎屑岩体系, 是鄂尔多斯盆地的主力含油层和石油勘探开发目标层。进入早侏罗世时期, 整个盆地构造稳定, 并持续沉积。到中侏罗世时期, 盆地东部地区隆起范围增大, 沉积范围逐渐向西缩小, 使得盆地呈现出东西分异、呈南北展布的沉积特点。至晚侏罗世时期, 受到特提斯构造域各地块和西伯利亚板块的双向挤压及阿拉善地块的向东挤压作用, 盆地西缘产生剧烈的逆冲变形作用, 盆地东部抬升和剥蚀, 地层厚度由东向西逐渐加厚, 并与白垩系地层呈高角度不整合接触关系。进入早白垩世时期, 盆地西部持续挤压逆冲, 而东部继续抬升。至晚白垩世时期, 鄂尔多斯盆地整体持续隆升, 地层遭受风化剥蚀作用, 盆地发育结束(图 1-2)。

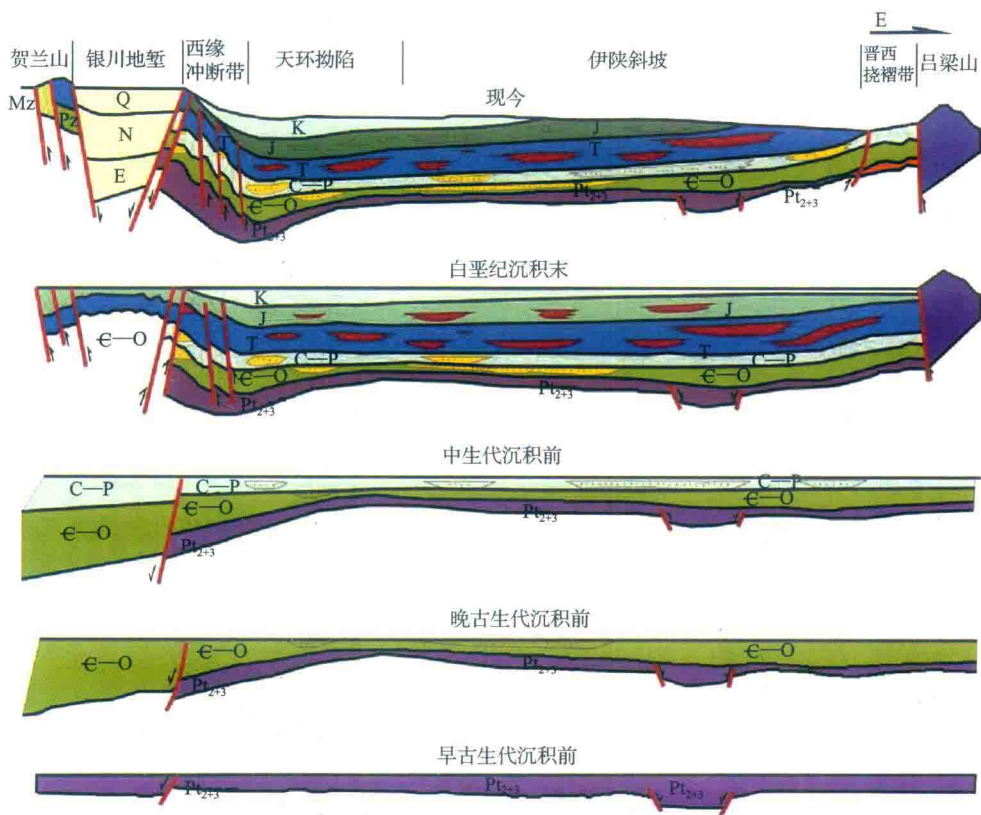


图 1-2 鄂尔多斯盆地构造—沉积演化剖面图(何自新, 2003)

### 5. 新生代周边断陷盆地发育阶段

自新生代以来, 鄂尔多斯盆地受到来自西北部欧亚板块、东部太平洋板块和南部印度板块的联合挤压作用, 盆地整体抬升, 但在盆地周围地区陆续形成了一系列小型地堑型断陷盆地, 沉积了一套厚度较大的新生代地层。之后, 鄂尔多斯盆地逐渐消亡, 形成目前的构造格局。

## 第二节 地层和沉积特征

### 一、地层特征

鄂尔多斯盆地发育有中新元古界、下古生界、上古生界和中生界海相碳酸盐岩、海陆过渡相和陆相碎屑岩沉积, 新生界沉积只分布在局部地区。在三叠纪时期, 鄂尔多斯盆地进入内陆湖盆演化阶段, 沉积了上三叠统延长组第一套陆相碎屑岩沉积体系(表 1-1), 它是鄂尔多斯盆地最重要的烃源岩层和储集层, 也是本书的主要研究层位。

表 1-1 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组地层简况表(杨华等, 2007)

系	统	组	段	油层组	地层厚度/m	岩性
侏罗系	下统	富县组			0~150	灰白色中粗粒含砾粗砂岩或灰黑色、杂色泥岩
三叠系	上统	延长组	第五段 (T <sub>3y5</sub> )	长 1	0~240	灰绿色泥岩夹粉-细砂岩, 碳质页岩及煤层, 局部地区底部夹薄层凝灰岩
			第四段 (T <sub>3y4</sub> )	长 2	120~150	浅灰色、灰绿色块状中、细砂岩夹灰色、深灰色泥岩
				长 3	90~110	灰绿色、灰褐色细砂岩夹暗色泥岩, 局部层段夹薄层凝灰岩
			第三段 (T <sub>3y3</sub> )	长 4+5	80~90	暗色泥岩、碳质泥岩、煤线夹薄层灰绿色粉-细砂岩, 中部夹薄层凝灰岩
				长 6	110~130	绿灰、灰绿色细砂岩夹暗色泥岩, 中下部夹薄层凝灰岩
				长 7	100~120	暗色泥岩、油页岩夹粉-细砂岩, 底部及中部夹薄层凝灰岩
			第二段 (T <sub>3y2</sub> )	长 8	75~90	灰绿色细砂岩夹暗色泥岩、粉砂岩
				长 9	80~110	暗色泥岩、页岩, 灰绿色粉-细砂岩, 局部地区发育油页岩, 中上部夹薄层凝灰岩
			第一段 (T <sub>3y1</sub> )	长 10	210~350	灰绿色中粗粒长石砂岩夹粉砂质泥岩
				中统	纸坊组	

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组地层从下到上分为 5 段(T<sub>3y1</sub>、T<sub>3y2</sub>、T<sub>3y3</sub>、T<sub>3y4</sub>、T<sub>3y5</sub>)。再根据其岩性、电性及含油性特征, 从上到下进一步细分为长 1~长 10 共 10 个油层组。各段与油层组之间的对应关系及特征如下所述(杨华等, 2007)。

第一段(T<sub>3y1</sub>): 主要为长 10 油层组, 地层厚度为 210~350m, 厚度稳定, 为一套灰绿色中粗粒长石砂岩夹粉砂质泥岩。

第二段(T<sub>3y2</sub>): 包括长 9 和长 8 油层组, 其中长 9 油层组主要为一套暗色泥岩、页岩, 灰绿色粉-细砂岩, 局部地区发育油页岩, 中上部夹薄层凝灰岩, 地层厚度为 80~110m; 长 8 油层组主要为灰绿色细砂岩夹暗色泥岩、粉砂岩, 地层厚度为 75~90m, 是盆地主要的储油层位。

第三段(T<sub>3y3</sub>): 包括长 7、长 6 和长 4+5 油层组, 其中长 7 油层组为一套暗色泥岩、油页岩夹粉-细砂岩, 底部及中部夹薄层凝灰岩, 地层厚度为 100~120m, 是盆地的主力烃源岩和页岩油分布的主要层位; 长 6 油层组为一套绿灰、灰绿色细砂岩夹暗色泥岩, 中下部夹薄层凝灰岩, 地层厚度为 110~130m, 是盆地主要的储油层位; 长 4+5 主要为暗色泥岩、碳质泥岩、煤线夹薄层灰绿色粉-细砂岩, 中部夹薄层凝灰岩, 地层厚度为 80~90m, 是盆地重要的储油层位。

第四段(T<sub>3y4</sub>): 包括长 3 和长 2 油层组, 长 3 油层组主要为灰绿色、灰褐色细砂岩夹暗色泥岩, 局部层段夹薄层凝灰岩, 地层厚度为 90~110m; 长 2 油层组

为浅灰色、灰绿色块状中、细砂岩夹灰色、深灰色泥岩，地层厚度为 120~150m。

第五段( $T_{3y_5}$ )：主要为长 1 油层组，主要为一套灰绿色泥岩夹粉-细砂岩，碳质页岩及煤层，局部地区底部夹薄层凝灰岩，地层厚度小于 240m。

根据盆地岩性的变化规律，按照层序地层学原理，鄂尔多斯盆地上三叠统延长组可识别出 1 个 II 级层序和 5 个 III 级层序(图 1-3)。其中，5 个 III 级层序自下而上分别为 III<sub>1</sub>(长 10)、III<sub>2</sub>(长 9~长 8<sub>2</sub>)、III<sub>3</sub>(长 8<sub>1</sub>~长 6<sub>3</sub>)、III<sub>4</sub>(长 6<sub>2</sub>~长 3<sub>3</sub>)、III<sub>5</sub>(长 3<sub>2</sub>~长 1)，反映了湖平面的变化规律及盆地初始扩张、最大扩张、稳定收缩、快速收缩和消亡 5 个演化阶段。

地层				层序划分				湖平面变化特征			湖盆演化			
段	油层组	亚油层组	厚度/m	II 级	III 级	体系域	准层序组	陆	湖岸线	湖				
$T_{3y_5}$	长 1	长 1 <sub>1</sub>	0~240	II 级	III 级	AST	下降	湖平面变化特征	湖岸线	湖	消亡			
		长 1 <sub>2</sub>					进积							
		长 1 <sub>3</sub>					退积							
$T_{3y_4}$	长 2	长 2 <sub>1</sub>	120~150			III <sub>5</sub>	HST				进积	快速收缩		
		长 2 <sub>2</sub>									退积			
		长 2 <sub>3</sub>									进积			
	长 3	长 3 <sub>1</sub>	90~110				III <sub>4</sub>				TST		退积	稳定收缩
		长 3 <sub>2</sub>											进积	
		长 3 <sub>3</sub>											加积	
$T_{3y_3}$	长 4+5	长(4+5) <sub>1</sub>	80~90			III <sub>3</sub>	HST				进积	最大扩张		
		长(4+5) <sub>2</sub>									退积			
	长 6	长 6 <sub>1</sub>	110~130				III <sub>2</sub>				TST		退积	初始扩张
		长 6 <sub>2</sub>											进积	
		长 6 <sub>3</sub>											加积	
	长 7	长 7 <sub>1</sub>	100~120				III <sub>1</sub>				LST		退积	
长 7 <sub>2</sub>		进积												
长 7 <sub>3</sub>		加积												
$T_{3y_2}$	长 8	长 8 <sub>1</sub>	75~90	III <sub>1</sub>	HST	进积								
		长 8 <sub>2</sub>				退积								
	长 9	长 9 <sub>1</sub>	80~110		III <sub>2</sub>	TST	退积							
		长 9 <sub>2</sub>					进积							
$T_{3y_1}$	长 10		210~350	III <sub>1</sub>	LST	退积								
						加积								

图 1-3 鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分简图

HST 高位体系域；LST 低位体系域；TST 湖进体系域；AST 冲积体系域