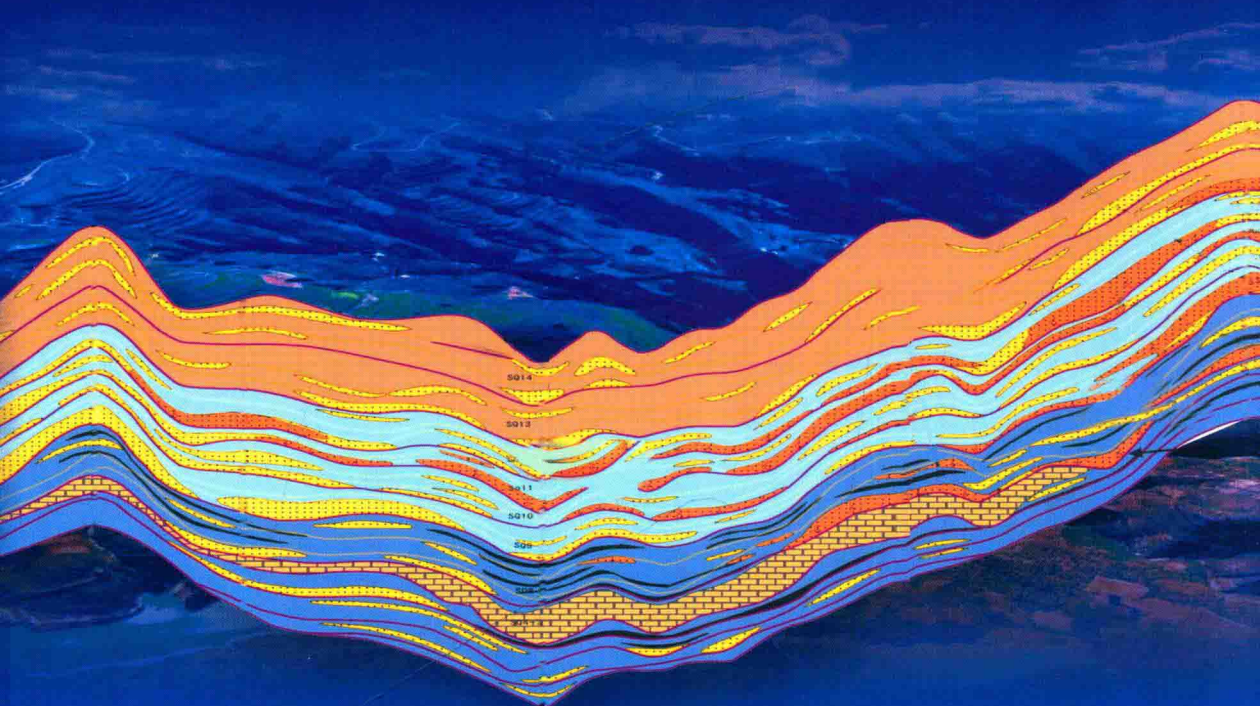


鄂尔多斯盆地

油气成藏规律与主控因素

王毅 杨伟利 张刘平等著



石油工业出版社

鄂尔多斯盆地油气成藏规律与主控因素

王 毅 杨伟利 张刘平 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从鄂尔多斯盆地的石油地质学基本特征和油气成藏动力学背景入手，详细探讨了鄂尔多斯盆地下古生界、上古生界、中生界油气成藏规律和主控因素，对于深入开展鄂尔多斯盆地油气勘探和成藏研究有重要指导意义。

本书适于从事油气勘探和成藏规律研究的科研和工程人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

鄂尔多斯盆地油气成藏规律与主控因素/王毅等著

北京：石油工业出版社，2016.5

ISBN 978-7-5183-1197-2

I. 鄂…

II. 王…

III. 鄂尔多斯盆地 - 油气藏形成 - 研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 060693 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 <http://www.petropub.com>

编辑部：(010) 64523708 图书营销中心：(010) 64523633

经 销：全国新华书店

排 版：北京中石油彩色印刷有限责任公司

印 刷：北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：12.5

字数：300 千字

定价：80.00 元

(如出现印装质量问题，我社图书营销中心负责调换)

版权所有，翻印必究

前 言

鄂尔多斯盆地位于我国中部，地跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区，是我国第二大沉积盆地。盆地四周为大山所包围，北界阴山，南界秦岭，东界吕梁山，西界贺兰山、六盘山，总面积 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。除去周边的地堑（渭河、银川、河套和六盘山等小型卫星盆地），盆地主体面积为 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。大地构造位置上处于华北地块的西缘，为大型叠合盆地，主要表现为在古生代海相与海陆交互相克拉通盆地之上又叠置了中生代陆相前陆盆地，镶边为活动的褶皱山系和地堑系。在盆地长期演化的过程中，盆地主体以整体升降为特征，内部构造平缓，断裂及构造活动性相对较弱，周缘活动性强。除盆地边缘地层有轻微褶皱，主体有超出 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的地层近于水平，以不到 0.5° 的倾角微向西倾。盆地基底为太古宇和古元古界，沉积盖层厚达 6000m，沉积岩总体积 $150 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。

鄂尔多斯盆地蕴藏着丰富的石油与天然气资源，其中石油地质资源量约 $75.53 \times 10^8 \text{ t}$ ，天然气地质资源量约 $46664 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其油气储量在全国诸含油气盆地中名列第三，仅次于松辽盆地和渤海湾盆地。但是，其资源探明程度仅为松辽盆地和渤海湾盆地资源探明程度的 $1/2 \sim 1/3$ 。因此，鄂尔多斯盆地是我国未来的主要油气接替区之一。近年来，鄂尔多斯盆地油气勘探取得巨大成果，成为中国油气产量增长最快的一个盆地。2014年，中国石油长庆油田分公司、中国石化华北油气分公司和陕西延长石油集团在鄂尔多斯盆地的合计油气产量超过 $7000 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量，是国内油气产量最高的盆地。

鄂尔多斯盆地既富油也富气，且油气在盆地内部空间分布上具有鲜明的规律与密切联系。总格局为古生界聚气，气田主要分布在盆地的北部；中生界聚油，油田主要分布在盆地的南部。石油与天然气在整个盆地演化及改造过程中形成、聚散和成藏，其成因和分布相互关联、彼此影响，是一个统一的大含油气系统。因此，阐明油气在盆地内部的时空分布规律为盆地内部油气兼顾、立体高效和综合勘探奠定理论基础，使油气综合预测和协同勘探成为可能。

对多期大型叠合盆地而言，不同时代的盆地构成了多旋回连续演化序列，且同时代盆地在区域上的演化也不同步，形成了多类型成藏组合模式。大型叠合盆地的形成、发展、演化和改造，总体受地球深部系统内动力地质作用的控制，而盆地内沉积物的充填、油气的形成和富集，则是在盆地形成的统一动力学背景下，总体受地球表层系统（地壳表浅层、大气圈和水圈）外动力地质作用（风化、剥蚀、搬运、沉积、成岩）的制约。聚集在同一盆地中的石油与天然气，其成藏机理和条件既有联系又有区别，研究石油与天然气的时空分布有利于揭示他们的内在联系和相互作用机理，进而根据其分布规律指导油气的勘探实践。

笔者以盆地整体动态演化为主线，从叠合盆地油气形成及演化的成藏动力学和油气成藏地质条件对比分析入手，探究油气成藏机理和相互关系，进而阐明鄂尔多斯盆地油气富集成藏的主控因素及时空分布规律，为鄂尔多斯盆地更加高效的油气勘探做好理论支撑。第一章论述鄂尔多斯盆地地质条件和含油气系统的基本特征，重点介绍下古生界碳酸盐岩、上古生界碎屑岩、中生界碎屑岩等不同含油气系统的成藏静态要素（生、储、盖、圈）。第二章论

述鄂尔多斯盆地的油气成藏动力学背景，重点介绍盆地形成演化的地质背景、原型盆地特征和改造过程，并依据大量的矿物裂变径迹资料，将鄂尔多斯盆地演化过程划分为四个发育演化阶段和五个后期改造阶段。第三章论述下古生界碳酸盐岩天然气成藏规律、含油气系统与成藏组合，重点介绍下古生界天然气气源特征与气藏特征及相互关系，阐明奥陶系风化壳天然气成因类型与成藏方式，提出鄂尔多斯盆地上奥陶统背锅山组泥灰岩和中奥陶统平凉组中下部页岩是优质海相烃源岩，可能是奥陶系碳酸盐岩风化壳气田的主力烃源岩，并通过建立甲烷碳同位素动力学新模型探索了下古生界天然气来源的判识标志与方法。第四章论述上古生界碎屑岩天然气成藏规律、油气系统和成藏组合，重点介绍盆地北部地区上古生界天然气藏分布特征及成藏机制，并通过盆地南部和北部天然气成藏条件对比，分析目前天然气发现主要集中在北部的原因，提出了深盆气的成藏机理，恢复和建立油气充注过程及其成藏模式。第五章论述中生界油气成藏规律、油气系统与成藏组合，重点介绍中生界沉积体系及砂体展布特征和煤系烃源岩特征、分布、评价及其生烃演化过程，明确中生界泥岩和煤系的生排烃潜力及其地球化学控制因素，恢复和建立中生界油气充注历史和成藏模式。

本书共有五章，第一章、第二章由杨伟利、王毅编写，第三章由王毅、王传刚、伍天洪编写，第四章杨伟利、张刘平、孙宜朴编写，第五章由杨伟利、张刘平编写，全书由王毅、杨伟利统稿。在本书的编写过程中，得到了西北大学刘池洋教授、李文厚教授、任战利教授、陈强博士，西安石油大学王起琮教授，中国地质大学（北京）张金川教授，中国石化华北油气分公司研究院贾会冲副总地质师等专家和学者的大力支持与帮助，在此一并表示衷心感谢！本书的出版得到国家重大专项课题“塔里木—鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩层系大中型油气田形成规律与勘探评价（编号：2011ZX05005-004）”的资助，在此深表谢意。

目 录

第一章 鄂尔多斯盆地基本特征	(1)
第一节 构造单元划分	(1)
一、伊盟隆起	(1)
二、渭北隆起	(2)
三、西缘逆冲带	(2)
四、天环坳陷	(2)
五、伊陕斜坡	(2)
六、晋西挠褶带	(2)
第二节 地质特征	(2)
一、地层特征	(2)
二、烃源岩特征	(5)
三、储层特征	(6)
四、盖层特征	(6)
第三节 含油气系统特征及展布	(8)
一、含油气系统特征	(8)
二、含油气系统空间展布	(9)
第二章 油气成藏动力学背景	(11)
第一节 早期构造演化	(11)
一、中—新元古代大陆裂谷发育阶段	(12)
二、早古生代槽台对立发展阶段	(13)
三、晚古生代—中三叠世克拉通坳陷与碰撞边缘形成阶段	(13)
四、中生代内陆湖盆阶段	(17)
第二节 晚期演化与后期改造特征	(19)
一、中—新生代盆地演化—改造阶段划分	(19)
二、盆地演化特征和地质事件	(19)
三、盆地后期改造阶段及其地质特征	(22)
第三章 下古生界气藏成藏规律与主控因素	(24)
第一节 早古生代沉积体系及演化	(24)
一、寒武纪沉积体系及演化	(24)
二、奥陶纪沉积体系及演化	(25)
第二节 烃源岩特征与成藏潜力	(27)
一、烃源岩存在的问题	(27)
二、马家沟组烃源岩特征与潜力评价	(29)
三、中奥陶统平凉组烃源岩特征与资源评价	(37)

第三节	储层特征与分布规律	(58)
一、	碳酸盐岩储层形成机制	(58)
二、	碳酸盐岩储层基本特征	(60)
三、	储层分布规律及其控制因素	(64)
第四节	盖层特征与分布规律	(70)
一、	直接盖层	(70)
二、	间接盖层	(70)
第五节	典型气藏解剖	(72)
一、	靖边气田	(72)
二、	大牛地气田	(78)
三、	大牛地气田与靖边气田对比	(80)
第六节	成藏规律和主控因素	(81)
一、	成藏规律	(81)
二、	成藏主控因素	(95)
第四章	上古生界成藏规律及主控因素	(97)
第一节	上古生界沉积体系与沉积环境演化	(97)
一、	本溪组	(97)
二、	太原组	(98)
三、	山西组	(99)
四、	下石盒子组	(99)
五、	上石盒子组	(100)
第二节	烃源岩特征	(101)
一、	烃源岩展布特征	(101)
二、	烃源岩地球化学特征	(102)
三、	生烃潜力	(103)
第三节	储层特征	(104)
一、	砂体展布特征	(104)
二、	储集特征	(105)
第四节	盖层特征	(106)
一、	区域性盖层	(106)
二、	局部盖层	(107)
第五节	生储盖组合特征	(107)
一、	太原组—山2段组合	(107)
二、	山1段—下石盒子组组合	(107)
三、	石千峰组组合	(107)
第六节	典型气藏解剖	(107)
一、	苏里格气田	(107)
二、	榆林气田	(109)
三、	大牛地气田	(113)
四、	杭锦旗地区	(116)

第七节 成藏规律与主控因素	(128)
一、成藏规律	(128)
二、成藏主控因素	(129)
第八节 南部和北部天然气成藏条件对比	(130)
一、烃源条件对比	(130)
二、储集条件对比	(130)
三、成藏组合条件对比	(130)
第五章 中生界油气成藏规律与主控因素	(132)
第一节 鄂尔多斯盆地南部沉积体系与演化	(132)
一、延长组沉积体系	(132)
二、侏罗系沉积体系	(137)
第二节 中生界油气成藏条件	(142)
一、烃源岩特征	(142)
二、储层特征与分布	(146)
三、盖层特征与分布规律	(157)
第三节 典型油藏解剖	(157)
一、西峰油田	(157)
二、镇泾地区曙光油田	(163)
三、富县地区中富 18 井油藏	(166)
四、麻黄山西延安组油藏	(168)
第四节 成藏规律与主控因素	(170)
一、成藏组合	(170)
二、成藏期次	(171)
三、油藏类型	(175)
四、成藏规律	(177)
五、成藏主控因素	(177)
参考文献	(180)
附图	(185)

第一章 鄂尔多斯盆地基本特征

第一节 构造单元划分

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部，是华北地台的次一级构造单元，北以河套地堑系北缘断裂为界紧邻阴山褶皱带；南以渭河地堑南缘断裂为界与秦岭造山带相接；东以离石断裂与吕梁山隆起带相邻；西缘北部以桌子山东麓断裂为界，隔银川地堑与贺兰山褶皱带相望，而西缘南部以青铜峡—固原断裂为界和六盘山弧形构造带相依，是夹持于周边活动带之间的稳定克拉通盆地。盆地面积达 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区。鄂尔多斯盆地总体特征为：周边构造活跃，断层发育；内部构造稳定，地层平缓；整体东高西低，向西平缓倾斜。

根据现今盆地构造特征，结合盆地演化历史，将鄂尔多斯盆地划分为伊盟隆起、渭北隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、伊陕斜坡、晋西挠褶带等六个一级构造单元（图 1-1）。

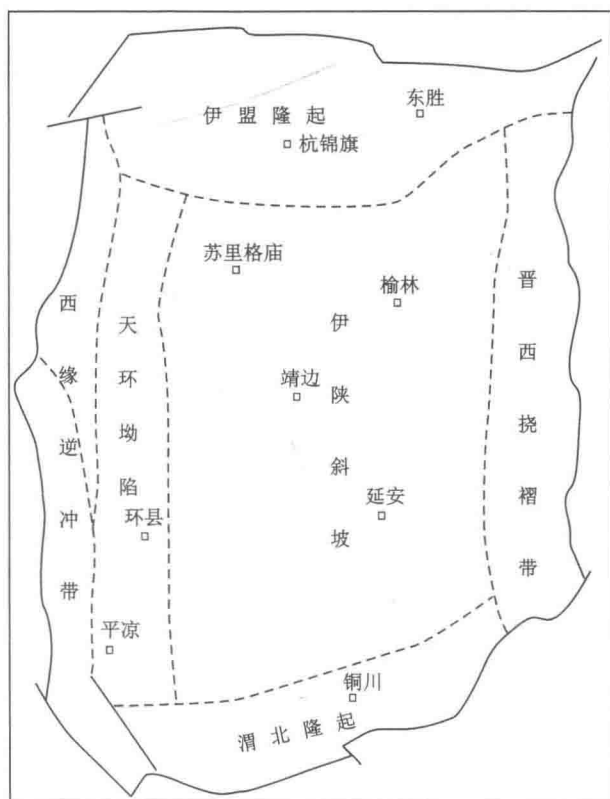


图 1-1 鄂尔多斯盆地构造单元划分

一、伊盟隆起

伊盟隆起位于盆地北缘，自古生代以来一直处于相对隆起状态，为一继承性长期隆起。

沉积盖层较薄，厚度 2000~3000m，缺失下古生界，各时代地层均向隆起方向变薄或尖灭缺失，以不同层位超覆于下伏太古宇—元古宇基底岩系之上。新生代河套盆地断陷下沉，把阴山与伊盟隆起分开，形成现今伊盟隆起的构造面貌。

二、渭北隆起

渭北隆起位于盆地南缘，南以凤翔—岐山—韩城大断裂与渭河新生代断陷盆地相隔，北与盆地主体呈渐变过渡关系。区内断裂和局部构造发育，由南向北逐渐减弱并过渡到盆内平缓西倾的背景格局。中—新元古代到早古生代为一向南倾斜的斜坡，至石炭纪东西两侧相对下沉，中生代晚期开始隆起，新生代渭河地区断陷下沉，渭北地区进一步翘倾抬升，形成现今构造面貌。

三、西缘逆冲带

西缘逆冲带古生代处于鄂尔多斯台地西缘贺兰坳拉槽东缘；三叠纪中晚期至中侏罗世属陆相鄂尔多斯盆地西部；晚侏罗世挤压冲断活动强烈，形成南、中、北构造特征不同分区明显的构造变形带；早白垩世以来分化解体；新生代晚期，挤压冲断和抬升明显。

四、天环坳陷

天环坳陷是一个呈南北向延展的狭长条带，西邻西缘逆冲带，受西缘逆冲带的影响，西部断裂相对发育，构造活跃。在古生代表现为西倾斜坡，晚侏罗世才开始坳陷，早白垩世坳陷断续发展，新生代坳陷结构进一步加强。沉降中心逐渐向东偏移，沉降带具西翼陡东翼缓的不对称向斜结构。

五、伊陕斜坡

伊陕斜坡构成盆地主体，以构造面貌单调、倾角平缓为特征，局部构造不发育，为目前油气勘探的主体地带，以岩性或构造—岩性复合油气藏发育为主。该地区早古生代为碳酸盐岩台地一部分，晚古生代为海相碎屑岩沉积。晚侏罗世初才具斜坡雏形，形成于早白垩世之后，呈向西倾斜的平缓单斜，平均坡降 10m/km，占据着盆地中部的广大范围，以发育鼻状构造为主。

六、晋西挠褶带

晋西挠褶带在古生代、中生代分别为大华北和鄂尔多斯盆地的组成部分，长期接受沉积。晚侏罗世抬升，为陕北区域西倾大单斜的组成部分，后期强烈剥蚀成为今鄂尔多斯盆地的东部边缘。受吕梁山隆升和基底断裂活动的影响，形成南北走向的晋西挠褶带。

第二节 地质特征

一、地层特征

鄂尔多斯盆地基底由太古宇和古元古界变质岩组成，沉积盖层发育齐全、类型多、旋回性明显，各地层之间多以整合和假整合接触，各层组特征见表 1-1。按沉积特征分为五个沉积发育时期，即中—新元古代、早古生代、晚古生代、中生代以及新生代。

(一) 中—新元古代沉积

此期沉积由长城系、蓟县系和震旦系组成，厚 800~2770m。长城系、蓟县系发育于克

拉通内坳拉谷中，与下伏基岩呈假整合接触，厚 710~2670m，为石英砂岩和碳酸盐岩；震旦系罗圈组为山麓冰川沉积物，零星出露于盆地四周，厚 90~100m。

表 1-1 鄂尔多斯盆地及其周缘沉积盖层地层系列表

地层系统				岩性剖面		构造运动	发育阶段	沉积特征
界	系	统	组	W	E			
新生界	第四系	Q		-----		喜山运动	周缘断陷盆地	风成黄土。厚100m
	新近系	N		[Diagram]				河流湖泊相砂泥岩，厚50~300m。地塹内5000~8000m
	古近系	E		[Diagram]				缺失
中生界	白垩系	K ₂		[Diagram]		燕山晚期运动	前陆盆地 (内陆盆地)	河流湖泊相砂泥岩，厚500~2000m
		K ₁	志丹群	[Diagram]				砂砾岩，大部缺失
	侏罗系	J ₃	芬芳河组	[Diagram]		燕山早期运动		湖沼相砂泥岩及煤层。厚450~2000m
		J ₂	安定组	[Diagram]				砂砾岩，大部缺失
			直罗组	[Diagram]				
	J ₁	延安组	[Diagram]		印支运动	灰绿色砂岩、泥岩夹油页岩和煤层，600~3000m		
	三叠系	T ₃	富县组	[Diagram]				
		T ₂	延长组	[Diagram]				
	三叠系	T ₁	纸坊组	[Diagram]		海西运动		灰绿色砂岩、泥岩夹油页岩和煤层，600~3000m
		T ₁	和尚沟组 刘家沟组	[Diagram]				
古生界	二叠系	P ₂	石千峰组	[Diagram]		加里东运动	克拉通坳陷盆地	三角洲潮坪相砂泥岩互层和煤层，厚350~1600m
		P ₁	上石盒子组	[Diagram]				铁质岩铝土岩、厚0~500m
			下石盒子组	[Diagram]				
	石炭系	C ₃	太原组	[Diagram]		主体为陆	缺失	
		C ₂	本溪组	[Diagram]				
		C ₁		[Diagram]				
	泥盆系	D		[Diagram]		陆表海	台地相石灰岩、白云岩、泥岩和藻灰岩、泥白云岩。厚400~1800m	
	志留系	S		[Diagram]				
	奥陶系	O ₃	背锅山组	[Diagram]				斜坡陆棚相、泥岩粉砂岩和石灰岩，厚500~1500m。主要分布在西南缘
		O ₂	平凉组	[Diagram]				
		O ₁	马家沟组	[Diagram]				
	寒武系	E ₃	亮甲山组	[Diagram]		晋宁运动	主体为陆	冰碛层，厚90~100m
			冶里组	[Diagram]				
凤山组			[Diagram]					
E ₂		长山组	[Diagram]					
		固山组	[Diagram]					
		张夏组	[Diagram]					
E ₁	徐庄组	[Diagram]		吕梁运动	坳拉谷盆地	砂泥岩、燧石条带灰岩。厚700~2500m		
	毛庄组	[Diagram]						
	馒头组	[Diagram]						
中-新元古界	震旦系	Z	罗圈组	[Diagram]		吕梁运动	坳拉谷盆地	冰碛层，厚90~100m
	青白口系			[Diagram]				缺失
	蓟县系	Pt ₂₋₃		[Diagram]				砂泥岩、燧石条带灰岩。厚700~2500m
古元古界-太古宇			Ar + Pt ₁	[Diagram]				基底变质岩系

(二) 早古生代沉积

早古生代经历了初始沉降 ($\text{E}-\text{O}_1\text{l}$)、强烈拗陷 (O_1m) 和后期抬升三个阶段。下古生界发育寒武系和奥陶系, 缺失志留系。寒武系和奥陶系主要为连续沉积, 局部地区可能存在沉积间断 (张吉森等, 1990)。

下寒武统包括辛集组和馒头组, 盆地东部一般缺失。中寒武统包括毛庄组、徐庄组和张夏组。毛庄组主要分布在盆地西部和南部, 岩性为砂岩、石灰岩和页岩等; 徐庄组和张夏组除在伊盟和吕梁两地区缺失外均有分布, 岩性主要为石灰岩、白云岩和鲕粒灰岩等, 厚度 500~1000m。上寒武统在伊盟隆起和庆阳古陆缺失, 主要岩性为泥晶、粉晶白云岩及竹叶状白云岩, 厚度 30~600m。

奥陶系在盆地内广泛分布, 自下而上为冶里组、亮甲山组、马家沟组、平凉组和背锅山组等。冶里组、亮甲山组只在盆地东部、南部和贺兰山地区分布, 盆地主体区域地层缺失; 马家沟组在盆地内除伊盟古陆外其余地区均有分布; 平凉组和背锅山组主要分布于盆地西缘、南缘。

(三) 晚古生代沉积

加里东运动使鄂尔多斯地块在晚奥陶世全面抬升, 直到早石炭世, 沉积中断达 1.3 亿年 (郭忠铭等, 1994), 缺失泥盆系和下石炭统。鄂尔多斯盆地上古生界包括本溪组、太原组、山西组、上一下石盒子组和石千峰组。本溪组主要由铁质岩、铝土岩和石灰岩透镜体组成, 厚 2~40m; 西部为羊虎沟组, 以灰黑色泥岩、粉砂岩和砂岩为主。石炭系太原组和二叠系全区分布, 太原组由泥岩、砂岩、石灰岩和煤层组成, 厚 40~200m; 二叠系山西组以砂岩、泥岩夹煤层为特征, 厚约 100m; 上一下石盒子组以泥岩、粉砂岩和砂岩组成, 厚 80~280m; 石千峰组为暗紫色泥岩、粉砂岩, 夹中—粗粒砂岩, 厚 180~240m。

(四) 中生代沉积

三叠系发育齐全, 缺失下侏罗统下部, 大部分地区缺失上侏罗统以及上白垩统。

下三叠统刘家沟组、和尚沟组为红色砂岩、砂质泥岩, 厚 370~530m; 中三叠统纸坊组和铜川组由灰绿色、杂色砂岩、泥岩组成, 厚 590~1100m。中—下三叠统在地块西缘的山前地带粒度普遍较粗, 或夹多层砾岩, 或全部为粗砾岩—崆峒山砾岩。上三叠统延长组为灰绿色砂岩、泥岩夹油页岩, 厚 1100~3500m, 部分地区含瓦窑堡煤系。

下侏罗系统富县组岩性岩相变化大, 一般为砂岩、泥岩, 局部夹油页岩和煤线, 厚 0~152m; 中侏罗统包括延安组、直罗组和安定组。中侏罗统延安组为该区主含煤地层, 下部为灰白色砂岩等细碎屑岩、上部以暗色泥岩为主, 夹煤层。地层厚度变化较大, 10~600m 不等。与上覆直罗组和下伏富县组均为整合接触, 局部与下伏上三叠统延长组呈平行不整合或角度不整合接触。白垩系只发育下侏罗统志丹群, 底部为砾岩, 中下部以砂岩为主, 上部由泥岩、粉砂岩组成, 厚约 1050m。

(五) 新生代沉积

鄂尔多斯盆地内古近—新近系仅有上新统, 其下部以砂砾岩为主, 上部是桔红色黏土, 厚度一般为数米至数十米, 华池—庆阳一带可达 150m; 地块周缘的新生代断陷盆地内和六盘山地区发育较全, 为红色碎屑岩系。

鄂尔多斯盆地内第四系主要为风成黄土堆积, 但分布于无定河中上游的更新统萨拉乌苏组为河湖相碎屑岩, 厚度 100m; 地块周缘的断陷内主要为河湖相碎屑岩, 厚度较大。

二、烃源岩特征

鄂尔多斯盆地发育中奥陶统、石炭—二叠系、三叠系延长组、侏罗系延安组四套烃源岩,其中奥陶系平凉组、背锅山组泥页岩、石炭—二叠系煤层和三叠系湖相泥岩是主要烃源岩。

(一) 下古生界烃源岩

下奥陶统马家沟组碳酸盐岩残余有机质丰度一般在 0.12%~0.33% 之间,平均为 0.19%,生烃潜力一直备受争论。中奥陶统泥页岩、泥灰岩烃源岩主要产于中奥陶统平凉组、背锅山组,分布于中央古隆起西、南缘,泥页岩有机碳含量一般为 0.20%~1.00%;泥灰岩残余有机碳含量大多为 0.2%~0.5%,最高达 1.11%。干酪根镜检、干酪根碳同位素及轻烃组成等研究表明,中奥陶统平凉组有机质为海相腐泥型生烃母质,即以 I—II₁ 型干酪根为主,有机质成熟度大多已进入高成熟阶段,以生气为主。

(二) 上古生界烃源岩

石炭—二叠系烃源岩主要是一套海陆过渡相及陆相含煤岩系,主要发育在下石炭统本溪组、上石炭统太原组、下二叠统山西组,分布广泛。煤和暗色泥岩主要分布于太原组和山西组。暗色泥岩有机质丰度比较高,有机碳含量为 0.52%~7.19%,平均为 2.71%。石炭—二叠系煤主要显微组分为镜质组,属腐殖型(徐正球等,1993;夏新宇等,1999);暗色泥岩一般为腐殖型,少量本溪组、太原组泥岩干酪根为腐泥型(张文正等,1997)。盆地南部富县一带热演化程度最高, R_o 在 2.2% 以上(局部达 2.8% 以上),向四周均有所降低。盆地东北部热成熟度最低($R_o < 1.0%$),盆地西缘天环坳陷中部 R_o 在 2.0% 左右,但西南部由于深陷, R_o 可达 4.0% 以上。西缘逆冲带上盘成熟度低,下盘成熟度高。总之,鄂尔多斯盆地上古生界属于一套生气为主的烃源岩层系,基本达到成熟—过成熟阶段。

(三) 中生界烃源岩

中生界烃源岩主要以暗色泥岩、油页岩、碳质泥岩等碎屑岩类为主,纵向上主要发育于上三叠统延长组和中侏罗统延安组,生油岩的分布严格受沉积环境制约。由于延长组与延安组的沉积环境存在一定差异,其烃源岩的分布特征亦有所不同。

延长组烃源岩主要为半深水湖相沉积,泥岩有机质丰度高,有机碳含量平均为 1.56%。平面上以陕北地区有机质丰度最高,陇东及灵盐地区有机质丰度明显变低。延长组泥岩的有机质丰度整体属于较好—好的生油岩类。延长组泥岩有机质以腐殖—腐泥型为主,部分为腐泥型,是中生界的主要生油岩。

延安组主要生油岩段的暗色泥岩分布于吴旗—环县—华池—庆阳—志丹一带,主要为碳质泥岩及暗色泥岩。暗色泥岩的有机质丰度较高,有机质以腐殖型为主,并有少量腐泥—腐殖型,处于低成熟—成熟阶段。

(四) 烃源岩生烃演化

鄂尔多斯盆地在早古生代至中生代早中期古地温较低,多在 2.2~3.0°C/100m 之间;中生代晚期(早白垩世以后)由于受燕山中期构造及岩浆活动(白垩系中夹凝灰岩,局部夹玄武岩),盆地及周缘发生构造热事件,古地温梯度上升至 3.3~4.5°C/100m。新生代以来地温又逐渐降低,现今为 2.2~3.2°C/100m。古生界(包括奥陶系统、石炭系和二叠系)大约在晚三叠世进入油气窗,中侏罗世进入凝析气、湿气阶段,白垩纪后达到干气阶段。古生界的天然气生成时间都比较晚,天然气大规模生成期均在中生代晚期的侏罗纪到白垩纪,

生气高峰期晚,有利于天然气的保存。中生界三叠系延长组烃源岩生烃高峰也在晚白垩世末。燕山旋回以后,鄂尔多斯盆地整体大幅度抬升,地温梯度的降低,使源岩埋深变小,生烃作用逐渐减弱或停止(任战利,1996)。

三、储层特征

(一) 下古生界奥陶系储层

奥陶系碳酸盐岩储层主要分布于马家沟组马5段,从上到下有马 5_1 —马 5_{10} 等十段,其中,以马 5_1^3 储层最好,马 5_4^1 次之。储集层分布广,一般厚度为20~25m,其中白云岩厚10~13m。储集岩以细粉晶白云岩为主,次为泥晶白云岩、粒屑白云岩、含灰细粉晶白云岩、含泥粉晶白云岩,多形成于蒸发潮坪相的白云坪—含膏白云坪微相中,岩层含石膏及盐结核、斑晶或砾屑等易溶矿物。由于发生过多期的古岩溶(层间岩溶、风化壳岩溶和缝洞系岩溶)作用,岩溶孔隙经过选择性溶蚀、淡水改造、酸性水改造和热水改造,形成现今孔、洞、缝性古风化壳岩溶储层。储集空间主要有晶间孔、溶孔和裂缝,构成孔隙型、裂缝—溶蚀孔洞型和裂缝—微细孔型三种储集类型,孔隙度为4%~7%,渗透率为5~10mD。

(二) 上古生界储层

上古生界为一套海陆交互相地层。晚古生代,盆地发育陆棚、障壁—潟湖、潮坪、三角洲和河流等五大沉积体系。储层既有碎屑岩,又有碳酸盐岩。碎屑岩储层是一套低孔低渗的致密砂岩,孔隙度为4%~10%,渗透率为0.1~5mD。孔隙类型有残余原生粒间孔、次生孔隙和微裂隙。碳酸盐储层主要集中在太原组上部,储集空间类型有原生孔隙、次生孔隙、裂隙,裂隙普遍发育。

(三) 三叠系延长组储层

晚三叠世,物源主要有东北、西南两个方向。盆地东北部发育陕北三角洲群。三角洲纵向多期叠加、平面复合连片。从长6到长2砂体不断向湖盆中心推进,三角洲前缘河口砂坝、水下分流河道砂体及三角洲平原水上分流河道砂体均是良好的储集体。在盆地东部形成长6三角洲、长4+5三角洲、长3下部三角洲、长3上部及长2分流河道等五种含油组合。盆地西部地形较陡,水体较深,发育浊流和三角洲两种沉积环境体系。长8以三角洲沉积为主,长6、长7则主要为浊流沉积。长8三角洲前缘砂体和三角洲平原水上分流河道砂体侧向迁移大,砂体连片性较差,砂岩粒度较粗,但杂基含量较高,总体上物性较差,但局部高渗区可形成工业油藏。长6、长7浊积砂体厚度大,展布广,砂岩含油普遍,物性普遍较差,但产量很低,难以工业开发。长3三角洲平原相水上分流河道砂体,厚度较小,侧向摆迁较快,物性较好。盆地西部三叠系整体储集条件不及盆地东部。

(四) 侏罗系延安组储层

上三叠统延长组沉积后,印支运动使盆地抬升露出水面,遭受风化剥蚀和季节性洪水的冲刷,延长组顶部受到强烈的侵蚀切割,形成沟谷纵横的古地貌环境。侏罗纪早期的富县—延10沿谷地发育几条古河,沉积了一套呈树枝状展布的河流相砂体,随着侏罗纪早期沉积物的充填,盆地逐渐准平原化,气候也转向温暖潮湿,雨量充沛,形成广泛分布的河流和沼泽相的煤系地层,只在盆地东部延安—横山地区出现浅水湖泊环境。延安组砂岩储集体主要有延10、富县的河流边滩砂体和延8—延9的三角洲前缘、三角洲平原相砂体。

四、盖层特征

鄂尔多斯盆地油气层盖层类型多样,有泥岩类、碳酸盐岩类、盐岩和膏岩类。

(一) 泥岩类盖层

泥岩类盖层从下古生界到中生界均有分布, 根据其 与油气藏的组合关系可分为直接盖层、间接盖层、区域盖层等。

1. 下古生界海相泥岩类盖层

下古生界海相泥岩中一般都含有一定量的碳酸盐矿物, 由于其胶结作用使岩石变的很致密。这套泥岩主要分布在盆地西缘和南缘古生代“L”型沉降带, 平凉组泥岩厚可达 35~80m, 是西缘和南缘下古生界气藏的直接盖层。气体绝对渗透率小于 10mD, 饱含空气时突破压力大于 6MPa, 饱含水时一般大于 13MPa (吕强, 1998)。

2. 上古生界山西组泥岩夹石灰岩类盖层

山西组为含煤碎屑岩沉积和海相碳酸盐岩, 在盆地分布广泛, 其中泥质岩厚度 80~140m, 煤层厚度 4~20m, 泥晶灰岩厚度 8~28m。气体绝对渗透率为 2.8~3.8mD, 饱含空气时突破压力为 11MPa, 排替压力 8~10MPa; 泥晶灰岩气体绝对渗透率为 1.1~2.15mD, 饱含空气条件下的突破压力为 11.2MPa (吕强, 1998)。为下古生界气藏的间接盖层, 上古生界直接盖层。

石炭系本溪组底部的铁铝质泥岩, 是奥陶系风化壳气藏的直接盖层, 主要分布在盆地中东部, 一般厚 12m 左右, 最厚 22m。

3. 二叠系上石盒子组和石千峰组泥岩盖层

此盖层是一套湖相为主的砂泥岩沉积, 其中上石盒子组泥质岩厚度为 100~140m, 石千峰组泥质岩厚度为 141~205m。两套地层的泥质岩厚度占地层厚度的 80% 以上。具有分布面积广、厚度大等特点。单层泥岩厚 30~50m, 可连续追踪 20~30km 以上, 为上古生界气藏的直接盖层, 下古生界气藏的区域盖层。

4. 三叠系延长组泥岩盖层

延长组上部主要为河流、浅湖沼泽相沉积的砂、泥岩夹煤线, 暗色泥岩厚 80~120m, 为三叠系油气藏的重要封盖层。长 4+5—长 9 主要为湖相沉积物, 暗色泥岩厚约 200m, 是中生界主要生油岩, 同时也具有良好的封盖性能, 主要为延长组油藏的直接盖层和间接盖层。

5. 侏罗系延安组泥岩盖层

下侏罗统延安组沉积了厚 250~300m 的煤系地层, 盆地南部延安组中部延 6、延 7 和延 8、延 9 暗色泥岩厚度普遍大于 60m, 许多地方大于 80m。该套泥岩主要以物性封闭为主, 是侏罗系油藏的直接盖层, 同时也是盆地中生界油藏的区域盖层。

(二) 致密碳酸盐岩盖层

致密碳酸盐岩盖层主要发育于马家沟组, 含泥较高, 晶体结构较细, 富含有机质。岩性组合有泥灰岩、含泥灰岩、泥晶灰岩、泥晶白云岩, 含泥白云岩等。其封盖性能与含泥量有关, 含泥越高, 其封盖性能越好, 主要作为奥陶系内部储层的盖层。

(三) 蒸发岩盖层

蒸发岩盖层在盆地中东部分布较广, 是奥陶系内幕封盖层的主要类型。其岩性组成主要为硬石膏岩、盐岩、泥质石膏岩、膏质白云岩等。主要以物性封闭为主, 尚缺其他封闭要素, 综合评价为较差封盖层, 在风化壳主要为马 5 段气层的间隔层, 具有局部封盖的意义。

第三节 含油气系统特征及展布

鄂尔多斯盆地可以划出三个主要含油气系统，即中生界含油气系统、上古生界含气系统和下古生界含气系统，另外尚存在一个复杂的奥陶系顶部古风化壳含气系统，暂列入下古生界含气系统一起论述。已知含油气系统事件见图 1-2，关键时刻基本都在早白垩世末。

一、含油气系统特征

(一) 下古生界含气系统及复杂含气系统

下古生界含气系统指下古生界碳酸盐岩内幕气藏，储层为下奥陶统马家沟组溶蚀细粉晶白云岩、泥晶白云岩，中奥陶统平凉组礁滩型储集体等。下古生界烃源岩（平凉组、背锅山组）提供了丰富的天然气来源。下古生界泥岩、白云岩、泥灰岩、泥质灰岩具有良好封盖封盖条件。该类型气藏在盆地主体部位和西、南缘均有分布。

下古生界复杂含气系统主要指奥陶系顶部风化壳型气藏。天然气既有来自下古生界平凉组、背锅山组泥岩成分，也有来自上古生界成分。上古生界烃源岩分布广，生烃强度大，在奥陶系顶缺失铝土质泥岩的沟槽部位，向下进入风化壳储层。总体而言，虽然以盆地西、南缘平凉组烃源岩为主，但具有多源、混源现象。储层以奥陶系顶部风化壳溶蚀孔洞储集体最为重要。它是由于加里东期的构造抬升运动而形成区域性古风化面，致使其下的碳酸盐岩经历了层间岩溶、风化壳岩溶和埋藏期酸性压释水和热水岩溶的叠加改造后，形成的各种古岩溶型储层，具有丰富的储集空间和复杂的孔缝组合关系。

(二) 上古生界含油气系统

气源岩为潮坪—三角洲—河、湖、沼泽相的暗色泥岩和煤，广泛分布，叠加厚度 40~130m。盆地北部的榆林—乌审旗和盆地西南部庆阳地区有机质相对丰富，生烃强度最高（图 1-3）。储集层主要为滨岸砂体、三角洲分流河道砂体以及河道砂体。二叠系上石盒子组、石千峰组泥岩是上古生界气藏的区域性盖层，内部的泥岩层则构成了各含气组合的局部性盖层。

(三) 中生界含油气系统

烃源岩主要为三叠系延长组湖相暗色泥岩，是盆地中生界最重要的生油岩，其中又以长 7 段、长 9 段暗色泥岩生油条件最佳；其次为侏罗系暗色泥岩与煤。最有利生油区属深湖相泥岩，呈北西向“葫芦瓜”形分布于定边—吴旗—富县—正宁—华池一带，面积达 4.2km²（附图 1）。储层主要是三叠系延长组三角洲砂体、中—下侏罗统河流相砂体，盖层则为三叠—侏罗系泥岩。

在西缘逆冲带油气以垂向运移为主，而中部和东部则以横向运移为主，总体由西向东运移。对延长组而言，分布于生油拗陷周缘的三角洲砂体及水下扇砂体，不仅构成了重要的油气运移通道，而且也是油气主要的储集体，而各砂带间的间湾泥岩则构成其分隔屏蔽，在一定程度上起了侧向封挡作用。

这一含油气系统主要分布于盆地南部（北纬 38°以南），其上三叠统延长组河流—三角洲相有利储集砂体累计厚达数百米，定边、吴旗、志丹、安塞、延安五大三角洲以及盆地西南缘的庆阳—华池三角洲沉积体系控制了二叠系油气田的基本分布。下侏罗统延安组的油气富集则主要受印支运动侵蚀面及早侏罗世古地貌格局的双重控制。

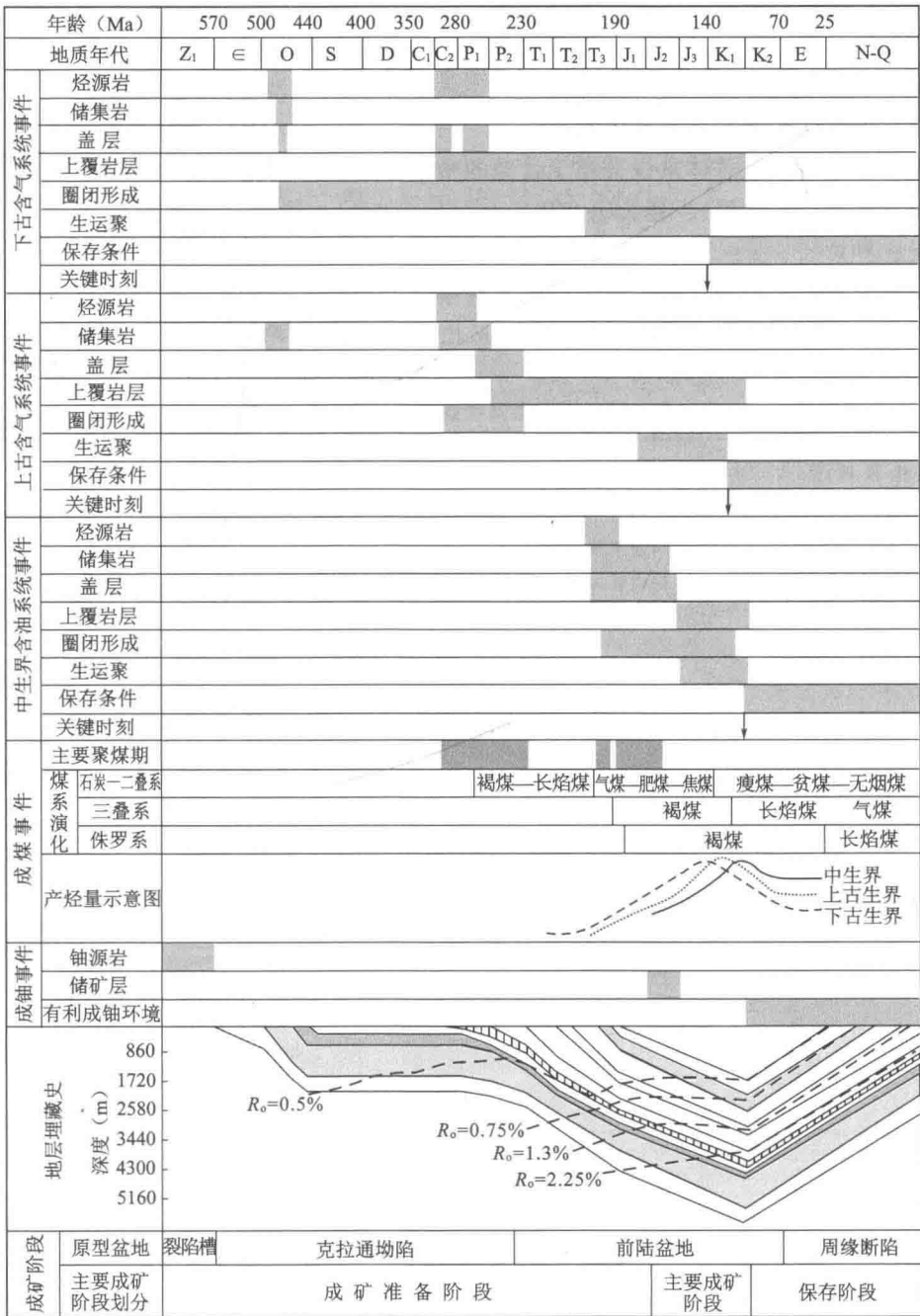


图 1-2 鄂尔多斯盆地含油气系统事件

二、含油气系统空间展布

上古生界含气系统北起杭锦旗伊 1 井, 南含渭北隆起, 东至延川以东, 西到天环拗陷西界 (附图 1), 平面上主要受储集体的控制, 纵向上相互叠置。

根据有利储集层分布和目前已有的钻井油气显示分析, 下古生界含气系统大致分布于北起鄂托克旗, 南至渭北隆起永参 1 井与淳探 1 井, 东西边界分别在榆 2 井、榆 5 井、延深 1