



成都理工大学
能源学院
60周年校庆文集

CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
COLLEGE OF ENERGY
THE 60TH ANNIVERSARY

鄂尔多斯盆地

平凉期沉积构造演化及页岩气勘探潜力

邓 昆 白 斌 周 文 周立发 等 著



科学出版社

鄂尔多斯盆地平凉期沉积构造 演化及页岩气勘探潜力

邓 昆 白 斌 周 文 周立发 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统阐述鄂尔多斯盆地奥陶纪平凉期沉积构造演化史,分析了平凉期页岩气富集地质条件,包括页岩的岩矿特征、发育规模、埋深、地球化学指标、笔石类型、微-纳米孔隙类型及页岩储层及含气性影响因素,与南方下志留统龙马溪组页岩气差异性开展讨论,介绍平凉期页岩气勘探潜力。本书的出版可推动鄂尔多斯盆地海相页岩气的综合研究,对其勘探前景有更深入和全面的认识。

本书适合从事油气勘探、盆地分析、非常规油气研究的科研人员以及石油、地质院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地平凉期沉积构造演化及页岩气勘探潜力 / 邓昆等著.

—北京: 科学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-03-049575-4

I. ①鄂… II. ①邓… III. ①鄂尔多斯盆地-沉积构造-构造演化-研究 ②鄂尔多斯盆地-油页岩-油气勘探-研究 IV. ①P548.2②P618.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 190924 号

责任编辑: 杨 岭 黄 桥 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年8月第一次印刷 印张: 6.5

字数: 180千字

定价: 59.00元

前 言

页岩气作为一种工业性的天然气资源已经在美国的勘探开发中获得了巨大成功,自1821年页岩气(天然气)的发现,拉开了美国天然气工业发展的序幕,页岩气的勘探开发沿“U”形断裂带由东部向西部逐步发展,经过了近200年的研究和探索,到2012年美国页岩气产量达到 $2653 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。我国在充分吸收了国外页岩气勘探开发经验的基础上,已开展了全国性的页岩气资源摸底和评价工作,相应的油气公司、地方政府等也相继在所属区域内投入了工作量开展研究。我国页岩气储量资源丰富,但是与“美式”页岩气的成功商业开发相比,在勘探、开发及利用上有一定差异。2011年12月国务院批准页岩气为已发现的第172种独立矿种,国土资源部也按独立矿种制定投资政策,进行页岩气资源管理,以期积极高效推进页岩气资源的勘探开发及利用。综合近些年的研究来看,我国页岩气赋存的地质条件、页岩气赋存状态等与美国存在较大差异,尤其是我国页岩气类型多样,涵盖了海相、海陆过渡相、陆相页岩气。国外的页岩气勘探开发进展比较领先的是北美地区(美国和加拿大)。这些成功开发的页岩气均发现于中—古生界(D-K)地层中,沉积环境以海相或海陆过渡相为主。国外学者对海相页岩气储层的特征有了比较深入的认识,掌握了海相页岩气储层的发育规律。中国的页岩气海相领域在四川盆地等都有了重大进展,重庆涪陵焦石坝页岩气田是中国第一个商业开发大型页岩气田,2014年,焦石坝页岩气藏新增探明储量 $1067 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2015年,在四川威远—长宁地区宁201井区、威202井区 139.4 km^2 的含气范围内,提交了五峰组—龙马溪组页岩气藏新增探明储量 $1108.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。整体而言,国内页岩气勘探开发尚处于起步阶段,但是在页岩气基本特征、富集机理及勘探技术方面取得了丰富成果。

美国沃斯堡盆地巴尼特页岩主要形成于深水斜坡—盆地环境,中国南方上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组、下寒武统牛蹄塘组页岩属深水陆棚沉积,沉积规律与其极具相似性,而鄂尔多斯盆地中奥陶统平凉组笔石页岩沉积规律也与上述地层有一定相似性,是中国仅有的几个有机质丰度较高,成熟度较低的海相泥页岩之一,为页岩气勘探潜力层系。但是,针对中奥陶统平凉组页岩气聚集条件等研究程度相对不够深入,进而影响鄂尔多斯盆地海相页岩气勘探工作。因此,有针对性开展鄂尔多斯盆地古生界平凉组页岩气的基础地质理论研究具有重要的意义。

本书研究思路以非常规页岩气地质参数理论为基础,以野外调查、钻井资料、测试分析及地球物理等作为手段,开展“鄂尔多斯盆地平凉期沉积构造演化及页岩气勘探潜力”研究。

本书主要包括以下8方面的内容和认识。

(1)中奥陶世平凉期构造格局为盆地主体抬升为陆,盆地的西缘和南缘地区为平凉期沉积区,南缘地区中晚奥陶世位于弧后位置,其盆地为弧后盆地。平凉期在不同的区域

其相带有一定变化,天深1井到定探1井之间主要发育开阔海台地沉积,岩性以碳酸盐岩为主;而向西自乌海—任3井—马家滩—环14井—平凉—陇县一带,为台地前缘碎屑岩斜坡沉积;向西进入深水盆地相沉积;南缘平凉期主要为开阔海台地、台地前缘碳酸盐岩斜坡、台地边缘生物礁沉积。

(2)中奥陶世平凉期含气页岩层系主要分布于盆地西缘和西南缘的台地前缘碎屑岩斜坡相带和深水陆棚相带,发育规模自东向西逐渐变厚,埋深西缘中段较大,向南北逐渐变浅,部分区域出露地表;平凉组下段(乌拉力克组)优于平凉组上段(拉什仲组),可分为两类岩性组合:石英+方解石+伊利石组合;石英+方解石+伊利石+绿泥石组合。

(3)对鄂尔多斯盆地平凉组页岩中笔石种类及数量进行了研究,平凉期笔石主要聚集式保存在乌拉力克组(下平凉)黑色页岩中,乌拉力克组(下平凉组)属笔石相沉积(所含化石几乎全为笔石),拉什仲组(上平凉组)属混合相沉积(所含化石包括笔石和三叶虫、腕足和介形虫等共生)。乌拉力克组(下平凉组)属 *Glyptograptus teretiusculus* 组合(雕笔石),拉什仲组(上平凉组)属 *Nemagraptus gracilis* 组合(丝笔石)。另外,随着笔石数量的增加,平凉组页岩有机碳(TOC)有增加的趋势。

(4)有机质类型主要为I型,个别为II₁型和II₂型。TOC含量平面分布表现为北高南低的特征,主要为0.2%~1.4%,热演化程度多在高—过成熟阶段,R_o主要为0.9%~2.1%。

(5)对平凉组页岩微—纳米孔隙类型进行了分析,有胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)纳米孔隙、生物笔石体腔孔隙、黏土矿物粒间孔隙、粒内孔隙、矿物晶体间孔隙、溶蚀孔(粒间溶蚀微孔和粒内溶蚀微孔)、微裂缝等。

(6)对平凉组页岩储层及含气性影响因素进行了探讨,无水乙醇孔隙度测定表明其受岩矿组分控制,石英含量低、方解石和黏土矿物含量高的粉砂质含笔石页岩孔隙度明显要大。根据液氮吸附曲线,平凉组笔石页岩微孔结构可以分为两类,即I类和II类。比表面积受无机矿物的类型影响较大,样品比表面积大,其黏土矿物(主要为伊利石和绿泥石)含量高,方解石相对含量高,石英含量相对低。TOC大于1%,比表面积与TOC正相关,而TOC小于1%,比表面积与TOC的关系较为复杂。比表面积小于20m²/g,与R_o呈正相关,比表面积大于20m²/g,与R_o呈负相关,其原因主要跟岩性及无机矿物相关。老石旦2组样品甲烷等温吸附试验,理论吸附气量为0.65m³/t、1.56m³/t,反映平凉组页岩具有良好的吸附能力,与S_{BET}、TOC和R_o正相关。

(7)对平凉组页岩主量、微量及稀土元素进行了分析,平凉组笔石页岩稀土总量中等—较高,配分模式具有相似性,推测其来自于相同物源,石板沟含钙质粉砂质含笔石页岩Fe含量和∑REE明显高于老石旦、太统山黑色笔石页岩,REE的分异程度石板沟样品略低于老石旦、太统山2个分区;通常有机质是REE最强的吸附剂之一,而三个分区样品显示∑REE、Fe、Al及Ti与TOC具负相关,说明∑REE丰度较高可能不是受有机质富集影响,而是与REE赋存矿物有关。

(8)对鄂尔多斯盆地中奥陶统平凉期笔石页岩与南方上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组笔石页岩气富集条件差异性开展讨论,页岩储层发育特征、有机地化参数、保存条件及含气性表明龙马溪组笔石页岩优于平凉组笔石页岩。代表硫同位素特征的硫酸根还

原菌的黄铁矿在五峰组+龙马溪组页岩中普遍发育,发育程度远超过平凉组,表明五峰组+龙马溪组还原环境强于平凉组,因此,页岩气含气性成因与 TOC 发育、热演化及其甲烷菌有关。

在本书研究和撰写过程中,得到了成都理工大学周文、邓虎成、谢润成和陈文玲老师,西北大学周立发老师,中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院白斌、江青春等的大力支持和帮助,在此,对他们表示衷心的感谢。

本书得到“鄂尔多斯西南缘山西组稀土异常事件沉积及成因”(国家自然科学基金项目,批准号:41272129)的资助,另外,以下研究工作为本书成果提供了支撑:“页岩气优质储层成因与形成条件研究”[中国石油集团科学技术研究院国家科技重大专项(2011—2015)]、“鄂尔多斯盆地及外围页岩气资源潜力调查评价和选区”[国土资源部油气资源战略研究中心项目(2011—2013)]、“页岩气钻完井及储层评价与产能预测技术研究”专题二——“页岩气储层特征及评价技术研究”[国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013—2016)],以及“中上扬子重点区海相油气保存条件及资源潜力研究”[中国地质调查局项目(2011—2015)]等。

鉴于作者的学识和能力有限,本书疏漏与不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2016 年 5 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 研究现状及存在问题	1
1.1.1 研究现状	1
1.1.2 存在的主要问题	2
1.2 研究思路、技术路线及工作量	3
1.3 主要工作量	4
1.3.1 资料调研及文献整理	4
1.3.2 野外地质调查、地球物理勘查	4
1.3.3 分析测试	5
第2章 区域地质背景	6
2.1 中生代区域大地构造单元划分及其特征	6
2.1.1 构造单元的划分原则	6
2.1.2 中生代区域大地构造单元划分	7
2.2 区域构造背景	8
2.2.1 构造单元划分	10
2.2.2 鄂尔多斯航磁异常及其反映的构造格局	12
2.3 平凉组地层特征	13
2.3.1 下古生界平凉组地层划分与对比	13
2.3.2 惠探1井平凉组地层	15
第3章 平凉期沉积构造演化	19
3.1 鄂尔多斯盆地平凉期构造演化	19
3.1.1 平凉组发育的凝灰岩及其构造意义	19
3.1.2 平凉组地层厚度及其反映的古构造格局	20
3.1.3 平凉组地球化学特征及其构造背景指示	21
3.2 鄂尔多斯盆地平凉期沉积演化	24
3.2.1 平凉期笔石化石分析	24
3.2.2 平凉组沉积相标志	28
3.2.3 惠探1井单井平凉组沉积相分析	32
3.2.4 平凉组岩相古地理	37
第4章 平凉期页岩气富集地质条件	40
4.1 平凉组页岩野外剖面调查	40
4.1.1 乌海老石旦剖面	40

4.1.2	平凉太统山(银峒山庄)剖面	40
4.1.3	环县南湫乡石板沟剖面	42
4.1.4	阿拉善左旗胡基台剖面	44
4.1.5	宁夏小罗山剖面	44
4.1.6	耀县桃曲坡剖面	45
4.2	下古生界平凉组单井剖面	45
4.3	平凉组剖面对比	49
4.4	平凉组含气页岩层系分布	52
4.4.1	平凉组含气页岩平面分布	52
4.4.2	平凉组含气页岩埋深	55
第5章	平凉期页岩有机地化特征	57
5.1	平凉组含气页岩有机质类型	57
5.2	平凉组含气页岩有机质丰度	57
5.3	平凉组含气页岩有机质成熟度	65
5.4	平凉组生气(油)史及生气(油)条件	65
第6章	平凉期含气页岩储层特征	68
6.1	平凉组页岩储层岩矿特征	68
6.2	平凉期页岩微-纳米孔隙类型	72
6.2.1	实验仪器与方法	72
6.2.2	微-纳米孔隙类型	72
6.3	平凉期页岩微储层影响因素分析	76
6.3.1	实验仪器与方法	76
6.3.2	笔石页岩孔隙度及比表面积	76
6.3.3	笔石页岩元素组成及与有机地球化学参数相关性	79
6.4	笔石页岩含气性与 S_{BET} 、TOC 和 R_o 的关系	80
第7章	平凉期页岩与五峰-龙马溪组页岩气差异讨论	82
7.1	龙马溪组页岩储层划分	82
7.2	有机地球化学差异	83
7.3	含气性差异	85
7.4	页岩气保存条件	86
第8章	平凉期页岩气有利区优选	88
8.1	有利区优选参数确定的具体方法	88
8.1.1	页岩油选区标准	88
8.1.2	页岩气选区标准	88
8.2	平凉组有利区优选结果	89
	参考文献	91

第1章 绪 论

1.1 研究现状及存在问题

1.1.1 研究现状

2011年公布的调查数据显示,我国页岩气资源居世界首位,可采资源潜力为25万亿立方米(不含青藏区)。国家发展和改革委员会、国土资源部、财政部、国家能源局于2012年3月16日共同发布了《页岩气发展规划(2011—2015年)》,规划提出:“十二五”期间,基本完成全国页岩气资源潜力调查与评价,探明页岩气地质储量6000亿立方米,可采储量2000亿立方米,并为此制定的目标是到2020年使得页岩气年产量达到600亿立方米到800亿立方米。而我国页岩气地质条件复杂,资源类型多、分布相对集中,经过两轮工作,国内页岩气井总数达到400口(2014年新钻200口新页岩气井),但仅有24口页岩气井获得工业气流,由此可以看出页岩气的勘探开发难度比预期的困难要大,为此国家将计划调整为计划到2020年将页岩气年产量提升至300亿立方米(2015年页岩气产量为44.71亿立方米),使其占整个天然气产量的比例在未来五年内从1%升至15%。

目前我国专门针对鄂尔多斯盆地地下古生界页岩气勘探的工作还未开展,主要还是围绕常规油气气源岩的研究有所涉及。2005年全国第三次油气资源评价时在对全盆下古烃源岩汇总整理过程中对下古奥陶系平凉组深色泥页岩层段从烃源岩的角度做了初步研究,认为下古富有机质页岩主要发育于中奥陶统平凉组深色泥页岩段;该套富有机质页岩是中国仅有的几个有机质丰度较高,成熟度相对较低的海相泥页岩之一;长庆油田、陈洪德、田景春等又在各自研究中陆续针对该套富有机质页岩编制了岩相古地理、泥页岩厚度分布等图件。

鄂尔多斯盆地西南缘分布着厚度巨大的中奥陶世平凉期沉积地层,发育的笔石页岩为中国北方海相页岩气勘探开发的主要层系(王传刚等,2009;倪春华等,2010;刘宝宪等,2008;王社教等,2011;邓昆等,2013;刘全有等,2012),近年来相关的研究工作较少,而四川盆地及周缘地区下寒武统牛蹄塘组页岩、下志留统龙马溪组页岩气方面已取得突破性进展(陈文玲等,2013;聂海宽等,2012;张金川等,2008;岳来群等,2013;马文辛等,2012;孙玮等,2012)。通过多年对中奥陶世平凉组的研究与认识,对平凉组页岩气富集地质条件,包括页岩岩矿特征、发育规模、埋深、地球化学指标和含气量等参数进行了初步分析,以期推进鄂尔多斯盆地地下古生界海相页岩气的勘探与地质研究持续深入。

美国地质调查局(USGS)于2009年提出海相页岩气选区的参考指标,如富有机质的页岩厚度大于15m、有机碳(TOC)含量大于4%、有机质成熟度(R_o)大于1.1%、孔隙度大于4%、含水饱和度低、伴有微裂缝等,国土资源部2012年根据中国海相页岩气特征

制定了选区评价标准。

页岩气气藏在构造特征、储集空间类型、储集层物性、富集机理等方面与常规气藏有较大差异。国外各大石油公司在页岩气选区评价中所采用的关键参数大致有两类,即地质条件类参数和工程技术条件类参数,前者控制页岩气的生成与富集,包括含气页岩面积、厚度、有机质丰度、类型、成熟度、脆性矿物含量及油气显示等;由于页岩气资源地区不同、层位不同、深度不同、岩性组合页岩气资源评价的指标及标准均可以不同,这是影响我国目前页岩气资源选区的关键所在。如何利用三维地震、地球物理测井及野外露头资料,结合实验室参数,就页岩气埋深、厚度、空间分布、有机质丰度、类型、成熟度、脆性矿物含量等参数标准进行科学、合理评价,开展各类参数及样品的分析、统计、综合研究,用于更好地勘探和评估页岩气资源。

页岩储层方面:页岩微-纳米孔隙特征是页岩气评价重要参数,诸多学者取得了一定的研究成果,对页岩气储层孔隙性质和分布状况进行了分析(Montgomery, 2005),对巴尼特页岩孔隙类型进行记录、说明和分类,认为硅质泥岩主要为纳米级孔隙类型,多数与有机质颗粒有关,部分与黄铁矿球粒相关(Loucks et al., 2012)。认为 TOC 与吸附气量有很好的正相关性, Si/Al 与孔隙度呈负相关(Daniel et al., 2008, 2009),采用纳米级分辨率成像研究不同地层页岩在二维和三维的微结构,微孔归纳为微裂隙、有机孔和层状硅酸盐孔隙(Mark et al., 2012),运用纳米-微米多尺度 CT 三维成像表征了页岩孔隙结构特征(白斌等, 2013a),指出页岩孔隙的直径分布为 5~100nm(Philip, 2009)。从页岩的微观结构和物性特征讨论了其封闭性,认为蒙脱石、伊利石增加页岩密封能力(David et al., 2002)。通过对页岩不同孔隙类型进行描述和分类,讨论了孔隙对气(油)存储空间以及渗流途径的贡献,认为黏土絮凝形成的微裂缝和有机孔隙为烃分子提供存放场所以及迁移途径(Roger and Neal, 2011)。分析页岩岩石物理参数,弹性各向异性,认为成岩作用和沉积环境影响黏土矿物各向异性(Claudio et al., 2015)。研究了页岩有机地球化学参数与沉积环境、页岩气潜力相关性,有利因素为缺氧环境、合适的 TOC、成熟度,不利因素为低的 HI 值和高黏土含量(Gross et al., 2015)。对海陆过渡相页岩裂缝的发育特点和主要控制因素开展分析,微裂缝发育的增加与层理发育的程度、有机碳含量的增多、石英、伊蒙混层和伊利石的增多和高岭石的减少有关(Ding et al., 2013)。认为龙马溪组页岩气储层孔隙结构复杂,主要由纳米孔隙组成,具有一定的无规则孔隙结构,TOC 是控制储层中纳米孔隙体积及其比表面积的主要内在因素(陈尚斌等, 2012)。提出地球化学分析揭示了页岩层内在地质规律,美国典型页岩初始原地气(OGIP)与 TOC 关系呈正相关,TOC 与有机质类型为页岩气主控因素(王飞宇等, 2011)。探讨页岩孔隙结构特征对甲烷吸附能力的影响(侯宇光等, 2012)。综上,页岩气储层孔隙特征及其影响因素研究成果十分丰富,但是,平凉组笔石页岩微-纳米孔隙特征研究程度较低,与有机、无机地化参数等相关性对比数据较少,对影响页岩储层的各种因素(笔石含量、矿物类型、有机参数、无机成分等)及对孔隙结构、含气性等影响研究深度不够。

1.1.2 存在的主要问题

(1) 细粒沉积岩矿物成分复杂,缺乏一套完善、系统且适用性强的分类方案;海相细

粒沉积体系分类较为简单,多数为陆棚沉积体系,在细粒沉积岩的组成、结构及成因机制上需要从理论上突破及方法创新。

(2)地球化学研究包括残余有机碳含量(TOC)、有机质类型、有机质热演化程度(R_o)等研究,当前研究已表明有机质类型和成熟度对油气相态及分区有明显的控制作用,对平凉组地球化学的控制作用研究深度不够。

(3)页岩气储层评价中最重要的孔隙结构测定目前国内外无成熟的方法技术。采用静态吸附毛细管压力曲线测定方法(BET法),开展页岩气储层的孔隙结构测定和研究,孔隙结构对页岩储层的贡献有待进一步深入。

(4)页岩气藏特征是:分布范围大(连续性),无圈闭、无成藏过程。页岩气赋存的地质条件、形成及演化过程、富集机理等都异常复杂,而鄂尔多斯盆地西缘区域构造地质条件复杂,页岩气形成演化过程中的保存条件未开展深入工作。

(5)关键参数的准确获取存在一定困难,如缺乏充分的现场解析实验落实含气性参数等。如含气参数的获取问题,按吸附气含量计算结果偏大,含气性参数需要进一步确定,包括取样方式和测试方法。

1.2 研究思路、技术路线及工作量

研究思路以非常规页岩气地质参数理论为基础,拟采用的方法主要以构造地质学、沉积学、岩石学、有机岩石学、石油地质学、地球化学等理论作为指导;以野外调查、钻井岩心描述、测试分析、测井技术、物探技术、统计分析等作为手段;采用多学科融合、宏观微观结合、室内室外结合思路来完成本课题。技术路线见图1-1。

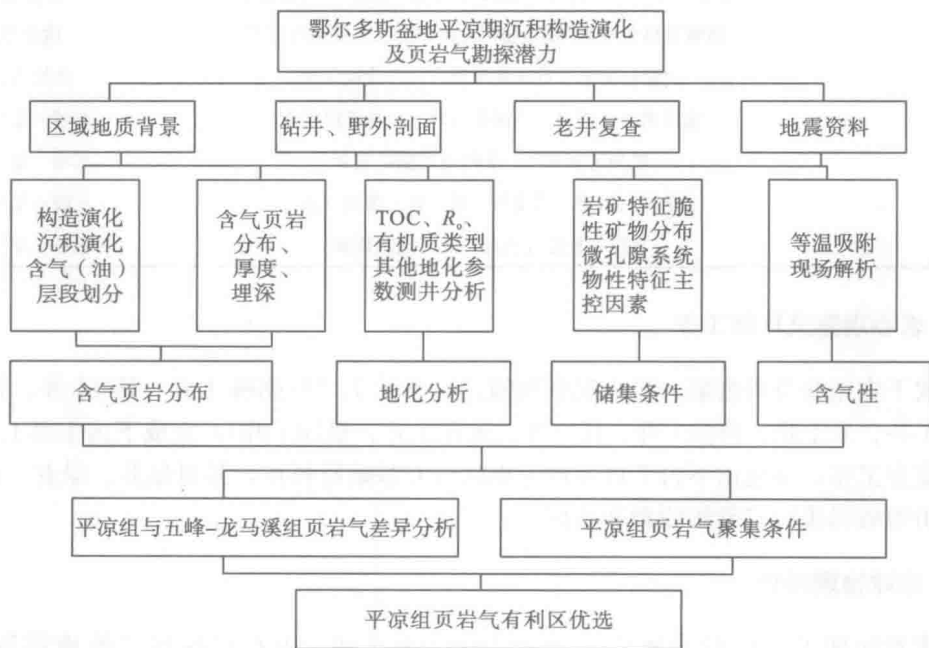


图 1-1 技术路线图

1.3 主要工作量

1.3.1 资料调研及文献整理

2011~2015 年通过到中石油长庆油田、中石化华北局、延长油矿、地调部门以及网上文献数据库检索等完成了对全盆地基础地质资料的收集,其中收集整理相关文献约 220 个,报告约 28 份。

1.3.2 野外地质调查、地球物理勘查

1. 野外地质调查

完成鄂尔多斯盆地下古生界平凉组野外地质调查 6 条,兼顾四川盆地、中扬子地区志留系龙马溪组剖面 4 条(表 1-1)。

表 1-1 野外地质调查剖面

剖面编号	剖面名称	调查层位
1	甘肃平凉银洞官庄中奥陶统平凉组剖面	平凉组
2	甘肃环县石板沟平凉组上段(拉什仲组)剖面	拉什仲组
3	内蒙阿拉善左旗胡基台下奥陶统剖面(樱桃沟组含笔石粉砂页岩)	樱桃沟组
4	宁夏同心小罗山一大罗山奥陶系剖面(米钵山组含笔石粉砂质页岩)	米钵山组
5	陕西耀县桃曲坡奥陶系剖面(桃曲坡组底部含笔石页岩)	桃曲坡组
6	内蒙乌海老石旦中奥陶统乌拉力克组剖面	乌拉力克组
7	重庆黔江水田乡一金溪镇五峰—龙马溪组剖面	五峰—龙马溪组
8	贵州道真平胜—平模龙马溪组剖面	五峰—龙马溪组
9	湖北利川咸丰活龙坪五峰—龙马溪组剖面	五峰—龙马溪组
10	重庆石柱漆辽五峰—龙马溪组剖面	五峰—龙马溪组

2. 岩心观察及取样工作

完成下古钻井资料搜集、岩心观察和描述井共计 11 口(惠探 1 井、环 14 井、苦深 1 井、布 1 井、乐 1 井、芦参 1 井、任 3 井、天深 1 井、棋探 1 井),完成下古生界 18 口井的老井复查工作,筛选出下古 7 口井作为本次研究基础资料点,并对钻井、录井、测井、实验分析等资料进行了系统收集和整理。

3. 地球物理勘查

收集和处理了过全盆地地震大剖面 4 条,中石油、中石化探区二维地震资料约 800km,三维地震资料 60km²。

4. 前期研究成果复查

对盆地地质志,前三轮资源量评价,“十五”“十一五”国家重大专项,中石油、中石化以及延长油矿关于盆地资源量评价等成果报告进行了复查和落实。

1.3.3 分析测试

完成下古生界平凉组各项测试、试验分析 192 件次(表 1-2)。

表 1-2 实验测试分析统计详表

层位	项目	完成工作量
平凉组	薄片鉴定	10
	扫描电镜	20
	X-衍射	16
	页岩 TOC 测定	50
	比表面积	8
	镜煤反射率	30
	等温吸附测试	2
	热解分析	30
	孔隙度测定	10
	主微量稀土测试	16

第2章 区域地质背景

鄂尔多斯盆地系指阴山以南、秦岭以北、贺兰山以东、吕梁山以西的广大沙漠草原和黄土高原地区,北纬 $34^{\circ}00'$ ~ $41^{\circ}20'$,东经 $105^{\circ}30'$ ~ $110^{\circ}30'$,分布面积为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$,地理上横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省(区)。除外围的河套、渭河、银川、六盘山等新生代断陷盆地,盆地本部面积可达 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ (杨俊杰, 2002),在大地构造单元上,是华北地台的一部分,构造位置处于我国东部构造域和西部构造域的过渡带,是一个稳定沉降、拗陷迁移的多旋回演化的克拉通盆地。本书重点研究区为鄂尔多斯盆地西缘、南缘,同时涉及相邻的祁连—秦岭地区。

2.1 中生代区域大地构造单元划分及其特征

2.1.1 构造单元的划分原则

王鸿祯(1999)提出包括大陆地台和大陆边缘褶皱区在内的高级构造单元构造域,构造域之间的分界是大陆边缘之间的对接消减(缝合)带,大陆地台和大陆边缘褶皱区是大陆上最基本的两个构造单元,具有盆山转换和盆山耦合的地质特征。中国的地层发育总体上受构造阶段的控制,可以晋宁造山期(900~800Ma)和印支造山期(230~200Ma)为界分为三大阶段。

构造单元的划分和研究其实质在于研究工区内地壳构造的“共性”和“个性”及其相互之间的时空结构关系,也就是从时间尺度和空间尺度上探讨研究区地壳演化的时空结构的有序性。通过构造单元的划分与研究,既可以了解研究区各构造单元在不同构造阶段的地质特点,又可以了解同一构造阶段不同构造单元的构造特征,以及各构造单元在不同构造阶段的空间结构及其共同演化的时空结构的有序性,从而系统、全面地揭示研究区总的构造特点及其时空演化规律。

20世纪60年代产生的板块构造学说,有力地拓展了固体地球科学的研究领域,激发了多学科的交叉研究,使地学观念产生了重要的和革命性的变化(马宗晋和高祥林, 2004)。板块构造理论从全球动力学整体考虑,将岩石圈板块边界划分为汇聚型、离散型和转换型三种基本类型。区分出不同性质的大陆边缘,识别出不同构造环境的沉积盆地及含油气区(盆地系),使大地构造研究从静态步入动态研究,沉积盆地的研究进入了一个崭新的阶段(Allen and Allen, 1990)。按照现代板块构造理论,洋中脊、B型俯冲带和转换断层是板块构造的三种基本边界。但是对于洋盆已消失的大陆板块构造来讲,寻找两板块之间的接合带或缝合带就成为板块构造划分的最基本依据。这些缝合带曾经是两

大陆块之间洋壳消失、大陆俯冲—碰撞的最终产物。也就是说,对于研究区构造单元的划分必须首先考虑曾以洋盆相隔,经过长期演化而残余于大陆地壳内的古缝合带作为一级大地构造单元划分的最主要依据。以地质发展史中最具影响的构造特点为依据,适当考虑后期构造作用的叠加改造,这是因为最具影响的构造形成基本奠定了现今研究区基本构成的原始板块及其拼合配置关系以及各大地构造单元的基本物质组成。对于一个确定的板块来讲,板块不同部位具有不同地壳结构型式,板块相互作用又导致同一板块不同构造位置的构造特征及形成具有较大差异。板块相互作用在同一板块不同构造位置产生的构造效应的差异,是划分板块内部次级构造单元的最主要依据。

鄂尔多斯西缘、南缘及其相邻的祁连—秦岭地区经历了长期构造演化,它是华北板块、秦岭板块、扬子板块相互俯冲碰撞且又经历了复杂的大陆内多期次造山及成盆作用而形成的复合型大陆构造带与盆地(赵重远和周立发,2000;杨俊杰,2002;周立发,1992)。这些构造带与盆地分别包容着不同时代、不同性质、不同类型的造山作用与成盆作用所形成的岩石地层单元及其结构构造型式,它们共同组成了极其复杂的物质组成单元及相对应的空间复合结构型式。以不同的构造学术观点,强调某一构造发展阶段的构造组成,会有不同的构造单元划分方案,由此出现:贺兰断褶带、鄂尔多斯西缘冲断构造带、华北地台南缘台褶带、北秦岭加里东褶皱带,南秦岭海西—印支褶皱带、秦岭构造区等诸多术语。

2.1.2 中生代区域大地构造单元划分

根据以上原则,并参考研究区岩石圈结构特征、重磁场特征、地震资料解释和构造变形特征等(杨俊杰,1993;张国伟等,2001;王涛等,2007),以商丹—北淮阳古缝合带(PF1)和略阳—襄樊古缝合带(PF2)为界,可将研究区及邻区划分为三个相互独立的板块或一级构造单元:华北古板块、秦岭古板块和扬子古板块(图2-1)。

对于商丹缝合带以北的华北板块(南部),根据其中中生代构造特征、岩浆活动和构造趋向及其转换的差异性,又可将其划分为:北祁连—北秦岭逆冲推覆构造系、华北板块南缘对冲构造系、河西走廊冲断构造系、鄂尔多斯西缘走滑冲断构造系、平顶山—淮南被动冲断构造系、洛阳—宿州构造转换区、鄂尔多斯断块、山西断褶带、太行山断隆、渤海湾盆地、鲁东隆起。

值得提及的是,中生代区域上以鄂尔多斯南缘的圣人桥断裂、济源—商丘断裂为界,以北地区的构造线主体呈南北或北北东方向展布,以南地区的构造线主体呈东西或北西西向展布;同时以北地区新生代的构造伸展作用极其强烈,形成众多呈北北东方向展布的断陷盆地,发育下白垩统地层;以南地区这种构造伸展作用明显减弱,发育上白垩统地层。由此可见,鄂尔多斯南缘的圣人桥断裂、华北南缘的济源—商丘断裂、中牟断裂是区域上十分重要的构造转换断裂,其定型于燕山期。

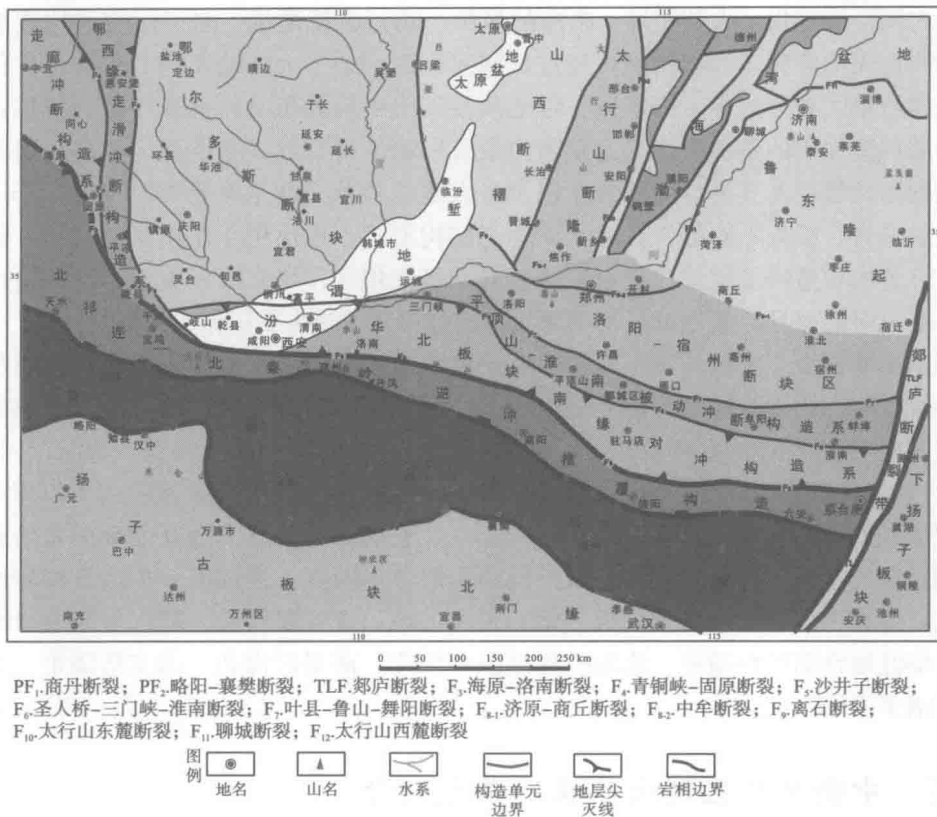


图 2-1 华北板块南缘及秦岭中生代大地构造单元划分图

2.2 区域构造背景

鄂尔多斯盆地现今总体为近南北走向西翼陡东翼缓的大向斜(图 2-2、图 2-3)。盆地现今构造格局奠基于中燕山运动,发育完善于喜马拉雅运动,盆地北跨乌兰格尔凸起与河套盆地为邻,南与渭北挠褶带和渭河盆地相望,东接晋西挠褶带与吕梁隆起呼应,西经逆掩冲断构造带与六盘山、银川盆地对峙。根据鄂尔多斯盆地现今的构造形态、基底特征,结合沉积建造、油气资源分布特点及重力、磁力资料,将其划分为六个一级构造单元(图 2-4):伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环向斜、西缘冲断构造带。

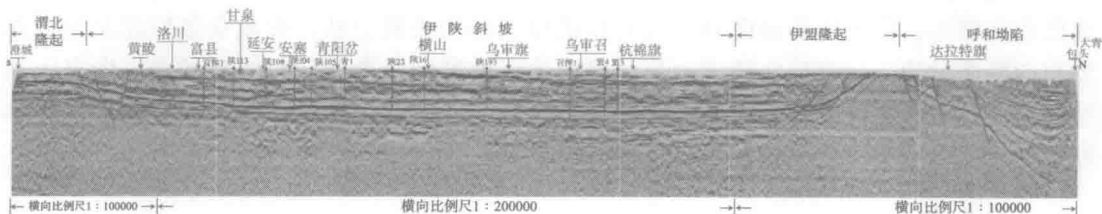


图 2-2 鄂尔多斯盆地南北向横剖面(据张军, 2005)

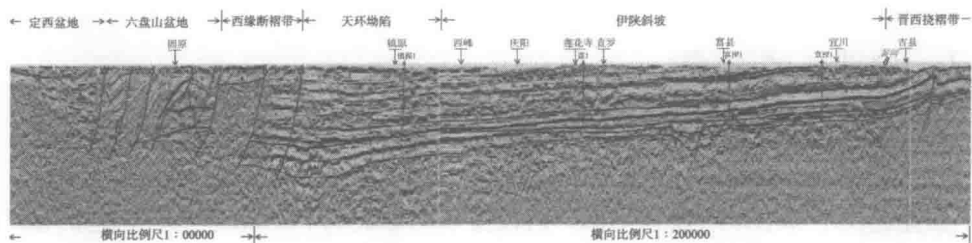


图 2-3 鄂尔多斯盆地东西向横剖面(据张军, 2005)

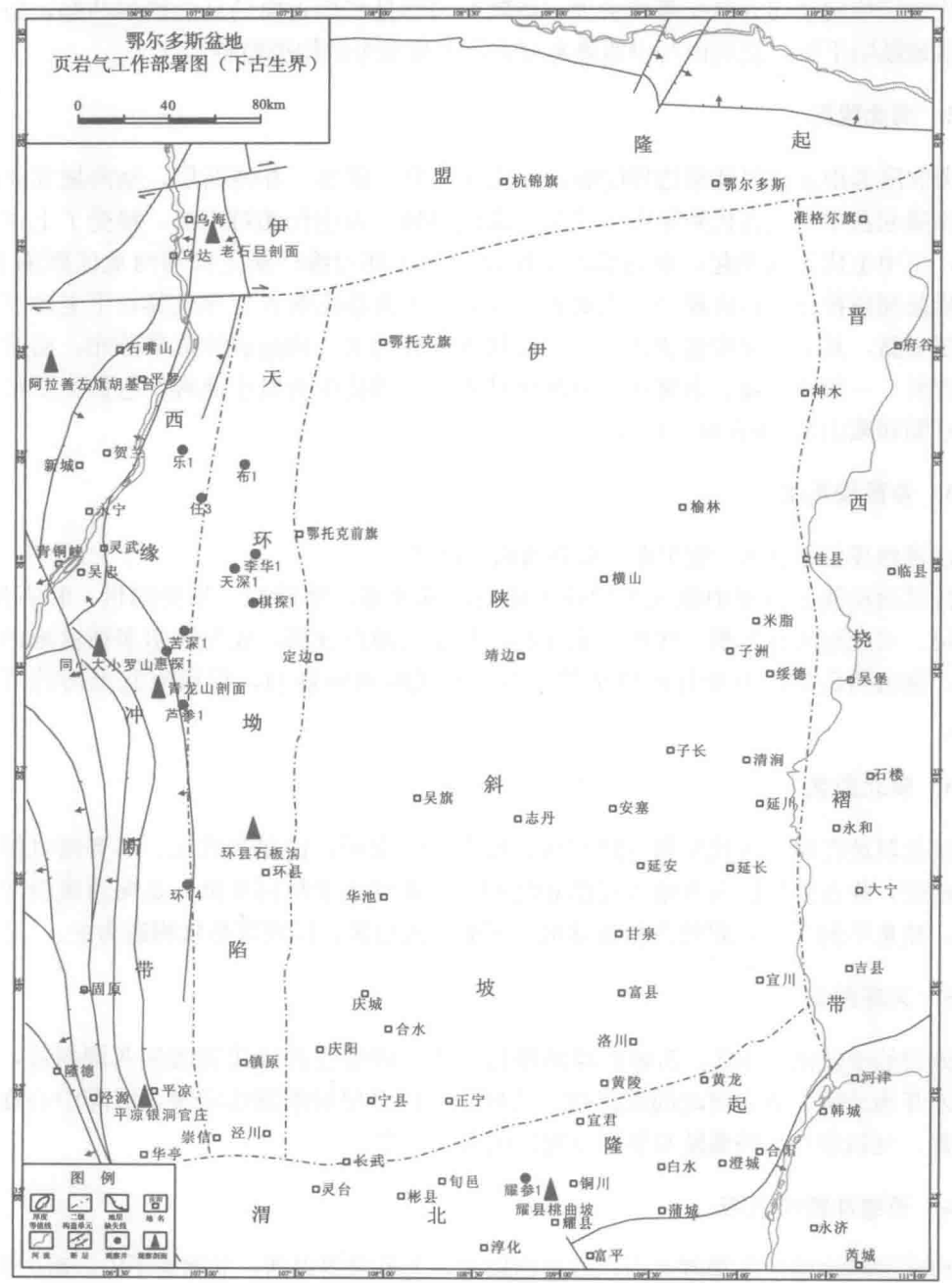


图 2-4 鄂尔多斯盆地构造单元划分图