

鄂尔多斯 奥陶纪 地层岩石 岩相古地理

冯增昭 鲍志东 张永生 谭健 等著



地质出版社

鄂尔多斯奥陶纪 地层岩相古地理

冯增昭

鲍志东 张永生 谭健 康祺发
韩征 王玉新 张传录 韩宇春
等著



地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

作者依据大量的野外露头剖面资料、钻井剖面资料和地震剖面资料,运用综合地层学的方法,基本上解决鄂尔多斯地区奥陶系以组为单位的划分对比问题;对该地区的各种岩石类型,尤其是各种白云岩,作了认真的岩石学、矿物学和地球化学分析研究,并对其形成机理进行了深入的阐述;用单因素分析综合作图法,编制出了该地区奥陶纪各期的单因素图 29 幅,定量岩相与地理图 10 幅,并对其古地理特征和演化进行了系统的论述。本书可供基础地质和油气勘探的科技人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理/冯增昭等著.-北京:地质出版社,1998.8

ISBN 7-116-02545-6

I. 鄂… II. 冯… III. ①奥陶纪-地层-研究-鄂尔多斯地区②奥陶纪-岩石-研究-鄂尔多斯地区
IV. P534.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 05552 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:王章俊 许嘉录

责任校对:田建茹

*

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:9.75 彩图:4 页 插页:2 字数:230 千字

1998 年 8 月北京第一版·1998 年 8 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:38.00 元

ISBN 7-116-02545-6

P·1878

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

本书主要由三个部分组成,即地层、岩石和岩相古地理。

地层部分的主要内容是鄂尔多斯奥陶纪中东部地层分区和西南部地层分区的地层划分对比问题。这是两个古海域,即华北海和祁连海的奥陶纪地层划分对比问题,是一个老大难问题,对鄂尔多斯地区的科研和生产均影响甚大。根据我们自己实测的 14 条野外露头基于剖面的岩石、化石和地层资料,根据我们自己认真研究并作过图件的 23 口打穿奥陶系的基干钻井剖面的各种测井资料和有关的岩石及化石资料,根据大量的地震剖面尤其是经过特殊处理的地震剖面的地层划分对比资料,运用岩石地层学、古生物地层学、测井地层学、地震地层学的综合研究方法,即综合地层学的方法,集众多前人长期以来的劳动智慧和成果,基本上解决了这一问题,即基本上解决了鄂尔多斯全区奥陶系以组为单位的划分对比问题。这是有重要的和长远的地质学意义和生产实践意义的。

岩石部分主要是对鄂尔多斯奥陶系各种岩石类型的特征和成因的论述,重点是对各类白云岩的特征和成因的论述,重点中的重点是对远离奥陶系—石炭系不整合面的、深埋藏的、热水白云化作用形成的白云岩的特征和成因的论述。这是为了“向白云岩要油气”而建立的几个白云岩专题研究成果的一部分。当今,鄂尔多斯下古生界的天然气主要产自靠近奥陶系—石炭系不整合面的、泥粉晶的准同生白云岩。这类当今产气的晶粒较细的泥粉晶白云岩和我们重点研究的晶粒较粗的粗砂糖状白云岩是两种岩性和成因完全不同的白云岩。粗砂糖状白云岩远离奥陶系—石炭系不整合面,储集性能良好,是下古生界最有希望的潜在油气储集岩。鄂尔多斯下古生界天然气的远景将在此。我们期待着这一大气田有新的重大的进展。

岩相古地理部分已是第三个版本了。第一个版本是 1990 年出版的《华北地台早古生代岩相古地理》一书中有关鄂尔多斯奥陶纪的图件和论述,相当粗放。第二个版本是 1991 年出版的《鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理》一书中有关奥陶纪的图件和论述,已相当精细了,但由于地层划分对比问题未彻底解决,研究程度还不够高,图件还存在着不少问题。本书的图件和论述是第三个版本,与前两个版本的图件和论述相比,在精度上有相当大的提高。这是我们以沉积学的理论为指导,以自己实测的和认真加工研究的各种野外及钻井基干剖面所取得的各种第一手的定量资料为立脚点,以单因素分析综合作图法为方法论,编制出的以组和期为单位的、中比例尺的、多级别的、多类型的、定量的岩相古地理图。这种岩相古地理图对油气的预测、勘探和开发很有用处。我们希望这些图件和论述能为鄂尔多斯的油气勘探开发更加有效地服务。

按原来计划,本书还有第四部分,即油气储层及圈闭部分。这是我们的“工业制图”项目的重点内容,有相当丰硕的研究成果。但是,这一部分生产性太强,不宜于公开发表,故只好割爱。

因此,本书的三个部分都属于基础地质学的范畴,既具有鄂尔多斯奥陶纪地层、岩石和

岩相古地理的特殊性,也具有所有地区所有地质时代基础地质学的普遍性,可以公开发表。

这三个部分是近 20 年来历次科研项目成果中的基础地质部分的最终总结。

与此同时,在此 20 多年的科研工作过程中,我还培养出了 2 名博士后(王玉新和张永生)、5 名博士(陈继新、韩征、张永生、康祺发和谭健)、6 名硕士(陈继新、田波、王泽中、陈永红、韩宇春和张传录),以及许多历届的应届大学毕业生(学士)。这是人才成果,是比科研成果更为重要的成果。

与此同时,我的 5 位助手(吴胜和硕士、邓小得硕士、蒋盘良硕士、金振奎博士和鲍志东博士),也先后参加了此项工作,为以上的科研成果及人才成果的培养作出了贡献。

总之,20 年的鄂尔多斯工作宛如一个大熔炉,冶炼出了许多科研成果和人才成果。这些成果已在鄂尔多斯的油气勘探以及全国的四化建设中发挥了重要作用。此乃教育为祖国的建设服务和与生产劳动相结合之硕果也。我想,中国石油天然气总公司和石油大学的领导、参与此项工作的战友和学生,以及广大的读者,都会为此而高兴的。

在本书即将问世之际,抚今忆昔,我特别感谢长庆石油勘探局前副局长、总地质师、我的老朋友杨俊杰同志,是他在 1979 年请我去长庆讲学,讲碳酸盐岩岩石学的新进展和新成果,并和我一块去看陇县下古生界剖面。从此开始了我的鄂尔多斯下古生界的研究工作,一干就是 20 年。这 20 年的工作过程是艰辛的和曲折的。虽曾几上几下,几冷几热,但却始终没有间断。这要归功于俊杰同志的远见卓识和决断。鄂尔多斯下古生界油气勘探的持续开展和深入,以及靖边地区马五组潮坪相准同生白云岩的出气,即陕北大气田的发现,基础在此也。今特请杨俊杰同志为本书书名题字,以作永久的纪念和感谢。

还要感谢长庆石油勘探局的前副总地质师、长庆石油勘探开发研究院的前院长李银德同志,他长时期地在各个方面给我有力的和具体细致的支援。感谢研究院的前副总地质师王锡福同志和前副院长宋国初同志,他们都曾和我共同跑过野外,住过窑洞,并和我一道实测了偏关剖面。感谢研究院的高级工程师张吉森,他一直是我在长庆工作期间的战友,无论是野外工作还是室内工作,包括指导我的研究生等,他都给我以巨大的支持。感谢研究院的王少飞、帅世敏、左智峰、于忠平、蔡友贤、杨奕华、刘晓莉等工程师等,他们大都和我跑过野外,并都在室内工作中给我和我的学生们以多方面的支持。感谢研究院的前副院长裴锡古,他曾多次评审我们的科研成果,提出过许多宝贵意见。感谢研究院的现任院长闵琪同志、王世录主任、郭忠铭副院长和陈安宁副总地质师,没有他们的大力支持和友好配合,“工业制图”项目是很难完成任务的。感谢长庆物探处的蒋加钰所长、李振亚工程师、赵学仁工程师和庞福民高级工程师,他们在地震剖面的处理和地质解释上花费了大量的心血,并取得了可贵的成绩。感谢长庆油田的所有支持过我的工作的同志们,包括辛勤的司机师傅们和热情的服务员同志们。

还要感谢中国石油天然气总公司的领导周永康总经理、阎敦实总地质师、丁贵明总经理助理,勘探局的高瑞祺局长、胡朝元副局长、费安琦副总地质师等,他们均对“工业制图”项目以极大的支持。没有他们的支持,这一个巨大的科研项目是不可能立项的和不可能坚持到底的。

还要感谢北京大学的王英华教授、杨承运教授和张秀莲教授,宁夏地矿局地质研究所的郑昭昌总地质师,西安地矿所的傅力浦高级工程师等,他们均多次和我以及我的学生们跑野外,汗洒鄂尔多斯的高山和荒漠。我们的科研成果和人才成果中也有他们的功劳。

还要感谢我的众多的学生们和助手们。在这 20 年的漫长和曲折的征途中,他们与我风雨同舟、患难与共,他们是冲锋陷阵的主力军。他们既完成了教学、科研和生产任务,同时也使自己成了才。小字辈万岁!祝他们在各自的工作岗位上为祖国的四化建设作出更大的贡献。

还要感谢中国地质大学绘图室的张凤英同志,本书的图件主要是她清绘的。

最后,还要感谢本书的责任编辑王章俊副编审,他十分认真地审阅了本书的全部稿件,提出了许多宝贵意见,修正了许多问题,尤其是对本书第二章地层中的全部化石的外文和中文名称,逐字逐符地进行了校对,纠正了许多问题和错误。这真是太难得了。在他的促进下,我又对本书的全部稿件进行多次地反复地修正。在经过这一番出版前的反复审校和修正后,本书有可能达到“无错”或“少错”的境界。

教学科研,服务生产;培养人才,报效祖国;著书立说,以益社会;皆大事也。20 年岁月已逝,此书的问世或有利于鄂尔多斯以及其他地区的地质学和油气勘探事业的发展乎?是所愿也。

谨此为序,敬希广大读者指教。

冯 增 昭
于石油大学,北京
1998 年 2 月

目 录

序

第一章 绪言	1
第二章 地层	8
第一节 概述	8
第二节 中东部地层分区	10
一、山西偏关鸭子坪剖面	11
二、山西柳林三川河剖面	13
三、山西临汾晋王坟剖面	15
四、山西河津西礞口剖面	18
五、中东部地层分区小结	20
第三节 西南部地层分区	20
一、陕西耀县桃曲坡剖面	20
二、陕西泾阳铁瓦殿剖面	22
三、陕西陇县白家滩汤房梁剖面	26
四、宁夏同心青龙山剖面	29
五、内蒙古乌海桌子山剖面	33
六、西南部地层分区小结	37
第四节 地震剖面的地质解释	38
一、技术练兵	38
二、奥陶系的层位标定	39
三、寒武系的层位标定	41
四、寒武系及奥陶系五个地层单元的厚度等值线图及古构造格局	43
第五节 中东部和西南部地层分区的地层对比	50
一、对比依据	50
二、对比剖面	52
第三章 岩石	56
第一节 概述	56
第二节 石灰岩	57
一、颗粒石灰岩	57
二、颗粒质灰泥石灰岩及含颗粒灰泥石灰岩	60
三、灰泥石灰岩	60
四、晶粒石灰岩	60
五、其他特征石灰岩	61
第三节 白云岩	62
一、不与膏盐层共生的泥晶-泥粉晶白云岩——云坪型准同生白云岩	62

二、与膏盐层共生的泥晶-泥粉晶白云岩——膏盐湖型准同生白云岩	64
三、粉晶-极细晶白云岩(细砂糖状白云岩)——回流渗透白云岩	65
四、粗粉晶-细晶白云岩(粗砂糖状白云岩)——深埋藏热水白云岩	68
五、其他类型白云岩	71
第四节 蒸发岩	73
一、膏岩	73
二、盐岩	74
第五节 其他岩石类型	74
一、陆源碎屑岩	74
二、凝灰岩	75
三、硅岩	75
第四章 单因素分析综合作图法	76
第一节 概述	76
第二节 分述	76
第五章 冶里期和亮甲山期岩相古地理	80
第一节 冶里期岩相古地理	80
一、单因素图	80
二、岩相古地理图	85
第二节 亮甲山期岩相古地理	87
一、单因素图	87
二、岩相古地理图	91
第六章 马家沟期岩相古地理	92
第一节 马一期岩相古地理	92
一、单因素图	92
二、岩相古地理图	98
第二节 马二期岩相古地理	101
一、单因素图	101
二、岩相古地理图	105
第三节 马三期岩相古地理	107
一、单因素图	107
二、岩相古地理图	113
第四节 马四期岩相古地理	115
一、单因素图	115
二、岩相古地理图	117
第五节 马五期岩相古地理	122
一、单因素图	122
二、岩相古地理图	127
第六节 马六期岩相古地理	129
一、单因素图	129
二、岩相古地理图	132
第七章 平凉期和背锅山期岩相古地理	135

第一节 平凉期岩相古地理	135
一、单因素图	135
二、岩相古地理图	135
第二节 背锅山期岩相古地理	138
一、单因素图	138
二、岩相古地理图	138
第八章 各期岩相古地理的特征及演化	142
参考文献	143
图版及其说明	145

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Stratigraphy	8
Section 1 General remarks	8
Section 2 Stratigraphy in middle-east area	10
1. Yaziping section in Pianguan, Shanxi Province	11
2. Sanchuanhe section in Liulin, Shanxi Province	13
3. Jinwangfen section in Linfen, Shanxi Province	15
4. Xiweikou section in Hejin, Shanxi Province	18
5. Conclusion	20
Section 3 Stratigraphy in southwest area	20
1. Taoqupo section in Yaodian, Shaanxi Province	20
2. Tiewadian section in Jingyang, Shaanxi Province	22
3. Baijiatan-Tangfangliang section in Longxian, Shaanxi Province	26
4. Qinglongshan section in Tongxin, Ningxia Autonomous Region	29
5. Zhuozishan section in Wuhai, Inner Mongolia Autonomous Region	33
6. Conclusion	37
Section 4 Geological explanation of seismic sections	38
1. Technique drills	38
2. Plotting of the Ordovician on seismic sections	39
3. Plotting of the Cambrian on seismic sections	41
4. Isopach maps of five stratigraphical units of Cambrian and Ordovician	43
Section 5 Stratigraphic correlation between middle-east area and southwest area	50
1. Evidences of the correlation	50
2. Sections of the correlation	52
Chapter 3 Petrology	56
Section 1 General remarks	56
Section 2 Limestones	57
1. Grain limestones	57
2. Grainy lime-mud limestones and grain-bearing lime-mud limestones	60
3. lime-mud limestones	60
4. crystalline limestones	60

5. other limestones	61
Section 3 Dolostones	62
1. Mud-sized to silt-sized crystalline dolostones not associated with gypsum and halite beds — supratidal flat penecontemporaneous dolostones	62
2. Mud-sized to silt-sized crystalline dolostones associated with gypsum and halite beds — gypsum-halite lagoon penecontemporaneous dolostones	64
3. Silt-sized to very fine sand-sized crystalline dolostones (fine saccharoidal dolo- stones) — reflux dolostones	65
4. Coarse silt-sized to fine sand-sized crystalline dolostones (coarse saccharoidal dolostones) — deep burial hot water dolostones	68
5. Other dolostones	71
Section 4 Evaporate rocks	73
1. Gypsum rocks	73
2. halite rocks	74
Section 5 Other rock types	74
1. Terrigenous clastic rocks	74
2. Tuff	75
3. Siliceous rocks	75
Chapter 4 Single factor analysis and comprehensive mapping method	76
Section 1 General remarks	76
Section 2 Brief introduction of single factors	76
Chapter 5 Lithofacies paleogeography of Yeli Age and Liangjiashan Age	80
Section 1 Lithofacies paleogeography of Yeli Age	80
1. Fundamental single factor maps	80
2. Lithofacies paleogeography	85
Section 2 Lithofacies paleogeography of Liangjiashan Age	87
1. Fundamental single factor maps	87
2. Lithofacies paleogeography	91
Chapter 6 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age	92
Section 1 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 1	92
1. Fundamental single factor maps	92
2. Lithofacies paleogeography	98
Section 2 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 2	101
1. Fundamental single factor maps	101
2. Lithofacies paleogeography	105
Section 3 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 3	107
1. Fundamental single factor maps	107
2. Lithofacies paleogeography	113
Section 4 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 4	115

1. Fundamental single factor maps	115
2. Lithofacies paleogeography	117
Section 5 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 5	122
1. Fundamental single factor maps	122
2. Lithofacies paleogeography	127
Section 6 Lithofacies paleogeography of Majiagou Age 6	129
1. Fundamental single factor maps	129
2. Lithofacies paleogeography	132
Chapter 7 Lithofacies paleogeography of Pingliang Age and Beiguoshan Age	135
Section 1 Lithofacies paleogeography of Pingliang Age	135
1. Fundamental single factor maps	135
2. Lithofacies paleogeography	135
Section 2 Lithofacies paleogeography of Beiguoshan Age	138
1. Fundamental single factor maps	138
2. Lithofacies paleogeography	138
Chapter 8 Evolution and Characteristics of Lithofacies paleogeography of	
Ordovician in Ordos	142
References	143
Photoplates and their explanations	145

第一章 绪 言

一、鄂尔多斯奥陶系

鄂尔多斯是指贺兰山以东、吕梁山以西、阴山以南、秦岭以北的地区,包括甘肃的东部、宁夏的大部、陕西的中部和北部、内蒙古的西部、山西的西部,面积约 32 万 km²。

鄂尔多斯位于华北地台的西部,是华北地台的一部分。

奥陶系主要出露在鄂尔多斯的东缘、南缘和西缘,厚度一般为 300~1000m,最大厚度达 2000m 以上。在鄂尔多斯的中部,奥陶系被上古生界和中新生界所覆盖。

鄂尔多斯奥陶系的岩石主要是碳酸盐岩,其次为膏岩、盐岩和碎屑岩等。

鄂尔多斯奥陶系是鄂尔多斯大气田的主要产层。

二、前人的工作

鄂尔多斯奥陶系的地层学研究有相当长的历史,袁复礼(1925)^[1]、关士聪和车树政(1955)^[2]、穆恩之(1959)^[3]、张日东(1959,1962)^[4,5]、张文堂(1962)^[6]、车福鑫(1963)^[7]、陈均远(1976)^[8]、傅力浦(1977)^[9]、赖才根(1982)^[10,11]、李晋僧和于芬玲(1983)^[12]、费安琪和张吉森(1983)^[13]、陆瑞如(1983)^[14]、安太庠等(1983)^[15]、陈均远等(1984)^[16]、陈均远和邹西平(1984)^[17]、林宝玉等(1984)^[18]、施从广和王华东(1985)^[19]、安太庠等(1985)^[20]、于芬玲和王志浩(1986)^[21]、郑昭昌和李玉珍(1987)^[22]、葛梅钰等(1990)^[23]、安太庠和郑昭昌(1990)^[24]、傅力浦等(1993)^[25],均作了重要的工作,奠定了古生物地层学的基础。

在 70 年代后期,长庆油田开展了鄂尔多斯地区早古生代的地层、岩石及石油地质研究工作,实测了柳林三川河、河津西喂口、泾阳铁瓦殿、陇县龙门洞、环县石板沟、同心青龙山、乌海桌子山等剖面。这就为以后的工作打下了基础。

三、80 年代的工作

鄂尔多斯奥陶系的岩石、沉积相及岩相古地理研究工作主要是从 80 年代初期开始的,主要是从笔者到长庆以后开始的。

1980 年,在前人的古生物地层学研究成果的基础上,在长庆油田 70 年代后期实测的一些下古生界基干剖面的基础上,笔者与长庆油田的同志们一起,用新的碳酸盐岩岩石学的理论和方法,开始了鄂尔多斯奥陶系及寒武系的地层、岩石、沉积相、岩相古地理以及石油地质的研究工作。首先是复查或重新实测长庆油田 70 年代后期实测的基干剖面,取得各种定性的及定量的资料,尤其是定量的资料,并在此基础上,采用单因素分析综合图法,编制了鄂尔多斯地区以组为单位的各种单因素基础图件。然后再综合这些单因素基础图件,编制出了相应的以期为单位的定量的岩相古地理图。最后,再以此为基础,对鄂尔多斯早古生代的油气勘探前景进行评价和预测,指出了陕北地区的“靖边偏关局限海”是油气勘探的最有利地

区,并建议在该地区布置探井,勘探这一处女地(当时尚无一口探井)的奥秘^[26]。

大油气田果然在这一地区被发现,我们的科学预测被证实了。这是一个重大的突破。从此,鄂尔多斯早古生代的油气勘探出现了全新的局面。

在80年代,虽然鄂尔多斯下古生界的科学研究和油气勘探经历了不少曲折,但笔者与长庆油田的协作关系一直没有间断。这多亏杨俊杰副局长和李银德院长的高瞻远瞩和正确决断。否则,鄂尔多斯的下古生界的天然气勘探和开发不可能有现在这一兴旺局面。

80年代这十年的工作是十分重要的,是奠定鄂尔多斯下古生界基础地质研究和油气勘探工作基础的十年。在这十年中,笔者等发表了一些论文和专著^[26~31]。

这些著作主要是鄂尔多斯下古生界基础地质(地层学、岩石学和岩相古地理学)的研究成果。这些基础地质的研究成果当然也涉及到了油气勘探工作,而且还相当有成效。这就说明基础地质研究工作对油气勘探多么重要!

概括起来,80年代的工作,成果不少,主要的有以下三个方面:

第一,在地层学方面,主要是起用了“马家沟群”这一地层学名称,并按其岩性和古生物特征,把它划分为六个组,即马家沟一组、马家沟二组、马家沟三组、马家沟四组、马家沟五组和马家沟六组,简称马一组、马二组、马三组、马四组、马五组和马六组。马一组和马二组相当于下马家沟组,马三组和马四组相当于上马家沟组,马五组和马六组相当于峰峰组。马家沟群是位于怀远运动所形成的不整合面和加里东运动所形成的不整合面之间的一套完整的碳酸盐岩沉积层系。以此为基础,试图解决鄂尔多斯东西部两个海域(华北海和祁连海)的奥陶系各组的划分和对比问题。这是一个十分重要的问题。

第二,在岩相古地理学方面,采用单因素分析综合作图法,编制出了鄂尔多斯地区奥陶纪(也包括寒武纪)以期为单位的定量岩相古地理图,并对其格局作了一个相当清楚的概括,即“陆外为坪,坪外有滩,滩外为海,海外为槽”。这个“十六字律”是对鄂尔多斯(也包括整个华北地台)早古生代岩相古地理特征的高度概括。

第三,在油气地质学方面,对鄂尔多斯奥陶系中的天然气主要是陕北地区马五组中的天然气的古地理背景,有了一个明确的了解,即这些巨大的天然气流并不是来自所谓的什么“礁”,而是来自准同生白云岩的云坪,即“坪中有气”也。这是事实,这是扎实的基础地质研究的正确总结。因此,今后的地质研究和油气勘探的主攻方向应是白云岩,应把鄂尔多斯下古生界所有的白云岩层段的岩石特征、纵横向的展布规律、形成机理、储集物性、油气圈闭等研究清楚,向白云岩要油气,从而发现更多更好更大的白云岩储集层和勘探靶区,使鄂尔多斯奥陶系,甚至整个下古生界的天然气勘探再上一个新台阶。这就是今后油气地质及勘探的主攻方向。

90年代的工作正是在这些研究和勘探成果的基础上,瞄准“向白云岩要油气”这一主攻方向开展起来的。

四、90年代的工作

从90年代开始,笔者前后承担并完成了两个重要研究项目。第一个是国家“八五”科技攻关项目“鄂尔多斯盆地大中气田分布规律及勘探技术”(85-102-02)的四级课题“鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组沉积相及白云岩形成机理研究”。第二个是中国石油天然气总公司勘探科研项目“鄂尔多斯盆地天然气勘探新方向和目标评价”的二级课题“鄂尔多斯盆地及周缘

地区奥陶系岩性、岩相及储集体工业制图”。

1. “八五”科技攻关项目(1991~1994年)

“八五”科技攻关项目的主要工作人员有韩征(博士生)、王玉新(博士后)、韩宇春(硕士生)、张传录(硕士生)、张永生(博士生)等,长庆油田的张吉森高级工程师、王少飞工程师、帅世敏工程师、蔡友贤工程师、左智峰工程师和于忠平工程师等也参加了工作。

在1991~1994年,实测了陕西泾阳铁瓦殿、陕西陇县白家滩、陕西富平金粟山、陕西蒲城尧山、宁夏同心青龙山等5条马家沟群的露头基干剖面,总厚度为2897m。还观察了山西临汾、河津,陕西韩城、澄城、富平赵老裕、歧山、千阳,宁夏贺兰山,内蒙古桌子山等9条野外辅助剖面。分析牙形石样280个,磨制及观察薄片3779片,完成了5条野外基干剖面的1:500的岩石学及沉积环境分析柱状图,3条野外基干剖面的1:500的岩石储集物性分析柱状图。

对城川1井、陕15井、富探1井和召探1井等4口井的岩心、岩屑和薄片(共738片)进行了观察和研究,并绘出了这4口基干井剖面的1:500的岩石学及沉积环境分析柱状图。同时,我们还观察了其它26口井(李1井、布1井、天深1井、天1井、任3井、环14井、芦参1井、永参1井、耀参1井、新耀2井、桃1井、神1井、牛1井、米1井、榆2井、陕6井、陕7井、陕13井、陕14井、陕16井、陕24井、陕50井、陕51井、陕55井、陕56井、陕102井)的岩芯及岩屑薄片3865片,对前人的工作做了一定的修正和补充。

对白云岩和石灰岩进行了大量的岩石学和地球化学分析。其中,氧碳同位素360个,电子探针分析197点,铸体91片,孔隙图像分析9个,岩石孔隙度及声速测定133个,不溶残余物测定68个,X射线衍射分析36个,电镜扫描15个小时,微量元素分析42个,稀土元素分析31个,差热分析7个,阴极发光分析131片。

对本区马家沟群白云岩的岩石学特征及形成机理进行了深入的探讨,并按其形成机理分为云坪型准同生白云岩、膏盐湖型准同生白云岩、回流渗透白云岩、混合水白云岩、埋藏白云岩和淡水白云石。

在白云岩岩石学研究的基础上,分析了白云岩的储集空间类型及成岩作用对储集空间的影响,并对各类白云岩的储集性进行了探讨。

在单剖面分析的基础上,通过古生物地层学、岩石地层学、碳氧同位素地层学以及沉积旋回和测井资料的综合研究,将马家沟群六个组的划分方案应用到了鄂尔多斯南缘和西缘,从而初步统一了鄂尔多斯全区的地质划分和对比。我们还根据生产单位的需要,将马家沟五组划分为上、下两段,这样就提供了全区统一的7个岩相古地理作图单位,即马家沟一组、马家沟二组、马家沟三组、马家沟四组、马家沟五组下段、马家沟五组上段和马家沟六组。

在上述各项研究的基础上,采用“单因素分析综合作图法”,按前述的7个作图单位,编制出了各作图单位的1:100万的各单因素基础图件26幅。在这些单因素基础图件的基础上,参考其它的岩石学的定量及定性资料、沉积相标志、区域地质资料、测井资料、地震资料等,全面分析,综合判断,编制出了本区7个地质单位的1:100万岩相古地理图7幅。

在以上工作基础上,编写出了总结报告“鄂尔多斯地区奥陶系马家沟群岩相古地理及白云岩形成机理研究”,从而完成了国家“八五”科技攻关项目的任务。此总结报告获长庆石油勘探局1996年科技进步奖二等奖。

2. “工业制图”项目(1994~1997年)

“工业制图”项目的主要工作人员有鲍志东(副教授)、张永生(博士后)、张传录(硕士

生)、康祺发(博士生)、谭健(博士生)等;石油大学(华东)的迟元苓副教授及许建华(硕士生),大庆石油学院的杜鸿烈副教授等,宁夏地矿局的郑昭昌高级工程师,地矿部西安地矿所的傅力浦高级工程师,长庆石油勘探局物探处的蒋加钰高级工程师、李振亚工程师、庞福民高级工程师及赵学仁高级工程师等也参加了工作。

这一研究任务是“八五”科技攻关任务的直接延续和发展。

在 1994~1997 年这三年中,又实测了内蒙古乌海桌子山、宁夏同心青龙山(冶里组和平凉组)、陕西陇县龙门洞(平凉组和背锅山组)、陕西耀县和泾阳铁瓦殿(冶里组和亮甲山组)等 5 条露头基干剖面,总厚度为 1988.74m。此外,还踏勘了陕西韩城华子山、山西临汾晋王坟和宁夏贺兰山等露头剖面。共磨制薄片 985 块,分析鉴定牙形石样 125 个。完成了内蒙古乌海桌子山奥陶系、宁夏同心青龙山奥陶系、陕西陇县平凉组和背锅山组、陕西耀县的耀县组和桃曲坡组以及陕西泾阳铁瓦殿的冶里组和亮甲山组的 1:500 的岩石学特征及沉积环境分析综合柱状图共 5 幅。还整理了山西偏关、兴县、柳林、临汾和河津西碾口等 5 条奥陶系剖面。

综合这三年“工业制图”项目的工作,加上前三年“八五”科技攻关项目的工作及以前 80 年代的工作,在这 18 年的持续不断的工作中,先后共实测了偏关鸭子坪、柳林三川河、临汾晋王坟、河津西碾口、蒲城尧山、富平金粟山、泾阳铁瓦殿、耀县桃曲坡、陇县龙门洞和白家滩、同心青龙山、乌海桌子山和岗德尔山、银川苏峪口、阿拉善左旗贺兰山、乌拉特前旗大奈太等 14 条露头基干剖面,每条剖面均按统一的规范,完成野外分层描述资料及组段小结资料、薄片鉴定资料、综合修正资料、1:500 的岩石学特征及沉积环境分析柱状图、相应的照片图版及其说明、文字总结报告等。这样,我们就取得了足够数量的野外露头基干剖面的各种第一手的定性及定量资料,尤其是定量资料。这就是我们能够在前人工作的基础上有所前进的第一个立脚点。

与此同时,还在以前工作的基础上,对全区 23 口重要钻井(主要是打穿奥陶系的钻井),即城川 1 井、富探 1 井、召探 1 井、陕 15 井、榆 9 井、定探 1 井、定探 2 井、鄂 6 井、旬探 1 井、淳探 1 井、耀参 1 井、天 1 井、天深 1 井、天 2 井、李 1 井、宜探 1 井、布 1 井、任 1 井、任 3 井、庆深 1 井、庆深 2 井、陕参 1 井和宁探 1 井进行了详细的岩心描述、薄片鉴定及测井曲线的综合解释。共完成城川 1 井、富探 1 井、召探 1 井、陕 15 井、定探 1 井、定探 2 井、鄂 6 井、榆 9 井、旬探 1 井、淳探 1 井、耀参 1 井、天 1 井、天 2 井、天深 1 井、李 1 井、宜探 1 井、布 1 井等 17 口井的 1:500 岩石学特征及沉积环境分析综合柱状图。在岩心描述、薄片观察、测井曲线综合解释的基础上,并参考区域地层分析成果,还对任 1 井、任 3 井、庆深 1 井、庆深 2 井、陕参 1 井和宁探 1 井等 6 口井的地层划分进行了重新研究,并做了部分修改。这样,我们又取得了足够数量的钻井基干剖面的各种第一手的定性及定量资料,尤其是定量资料。这是我们能在前人工作基础上有所前进的第二个立脚点。

与此同时,还对 371 条共长 16173km 的下古生界地震剖面进行了处理和地质解释,主要是在利用人工合成记录和 VSP-LOG 对过井剖面进行标定解释的基础上,对鄂尔多斯全区的下古生界进行划分和对比。首先把下古生界划分为 5 个地层单元,即寒武系下部碎屑岩单元、寒武系中上部和冶里组及亮甲山组碳酸盐岩单元、马家沟群下部单元、马家沟群上部单元、平凉组和背锅山组单元。这样,就从地震资料的地质解释上基本解决了鄂尔多斯全区下古生界大层段的地层划分对比问题。以此为基础,在鄂尔多斯全区的以组为单位的地层划

分对比以及等厚图的编制上,我们也充分利用了地震资料。在地震资料的地质解释上,这是一个重大的进展。这是我们能有所前进的第三个立脚点。

与此同时,为了实现“向白云岩要油气”,还重点对马六组、马五组、马四组的白云岩储集体进行了专题研究,即对这些白云岩体的岩石类型及特征、岩体形态、形成机理、储集性能、有利储集区带以及圈闭等进行了深入的研究,主要是对一些重要的野外基干剖面 and 钻井基干剖面进行了系统的采样和分析化验工作,如孔隙度、渗透率、岩石薄片观察研究、电镜观察研究、电子探针研究、X-射线衍射分析、氧碳同位素分析、包体测温以及地震剖面的特殊处理和研究等,并取得了重要成果。这是有重要生产实践意义的,也是我们能够有所前进的第四个立脚点。

五、主要研究成果

现在,“八五”科技攻关及“工业制图”两个重要科研项目均已胜利完成,并已通过验收评审,取得的重要科研成果,主要有以下5个方面。

1. 地层学方面

在14条野外露头基干剖面资料、23口钻井基干剖面资料、371条地震剖面地质解释资料的基础上,在前人有关地层学研究成果的基础上,采用岩石地层学、古生物地层学、测井地层学和地震地层学的方法,即综合地层学的方法,首先从野外露头基干剖面入手,尤其是那些研究程度较高的基干剖面,如柳林三川河剖面、临汾晋王坟剖面、河津西碛口剖面、泾阳铁瓦殿剖面、陇县白家滩剖面、乌海桌子山剖面等,先把这几条剖面的马家沟群的底界和顶界及其内部的六个组划分对比清楚。马家沟群的底界和顶界面是两个区域性不整合面,可作全区性的对比,十分重要和关键。马家沟群内部的6个组,中东部地层分区的岩性特征和古生物特征十分清楚,和华北地台一致,早已解决,关键是和西南部地层分区的对比。在这两个地层分区的对比中,西碛口剖面、铁瓦殿剖面、陇县剖面 and 桌子山剖面的化石组合(前人的和我们的)起了决定性作用。马家沟群的划分对比问题解决了,其下伏地层冶里组和亮甲山组和其上覆地层平凉组和背锅山组的划分对比问题就好解决了。总之,根据露头剖面的岩性特征及古生物特征的地层划分对比,再结合钻井剖面的岩性特征和测井曲线特征,并辅之以地震剖面大层段的控制,全鄂尔多斯地区的奥陶系,从地面到井下,从中东部地层分区到西南部地层分区,从古华北海到古祁连海,就都可以以组为单位进行划分对比了。

这是一个重要的突破,有十分重要的地质意义和生产实践意义。

2. 古构造学方面

在地层学研究的基础上,主要是在鄂尔多斯下古生界,尤其是奥陶系的划分对比的基础上,我们编制了两套等厚图。一套是鄂尔多斯下古生界5个地层单元(寒武系中下部、寒武系中上部和冶里组及亮甲山组、马家沟群下部、马家沟群上部、平凉组和背锅山组)的等厚图,主要是用地震资料编制出来的,比例尺为1:50万。另一套是鄂尔多斯奥陶系10个组(冶里组、亮甲山组、马一组、马二组、马三组、马四组、马五组、马六组、平凉组、背锅山组)的等厚图,是综合利用野外剖面、钻井剖面、地震剖面的厚度资料编制出来的,比例尺为1:100万。

这在鄂尔多斯下古生界的研究历史上还是第一次。

其他单位的研究人员利用地震资料编制的地层等厚图,大都是以系为单位,即鄂尔多斯寒武系等厚图、鄂尔多斯奥陶系等厚图等。此次,我们在对下古生界的地震剖面进行地质解