

Atlas of Ordovician Reservoirs in Ordos Basin

鄂尔多斯盆地

奥陶系储层

图册

何自新 杨奕华 著

ORDOS



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

鄂尔多斯盆地奥陶系储层图册

Atlas of Ordovician Reservoirs in Ordos Basin

何自新 杨奕华 著

He Zixin Yang Yihua



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本图册以简洁的文字、大量的岩石图片、基本的地质图件和化验分析基础资料围绕储层研究这个中心,系统、翔实的介绍了鄂尔多斯盆地奥陶系的层序地层、岩相古地理、沉积微相特征、成岩作用以及碳酸盐岩储层的孔隙类型、孔隙结构特征;根据岩性、物性、电性、含油气性结合毛细管压力曲线从全盆地的角度对奥陶系碳酸盐岩储层进行了分类与评价。在几十年研究的基础上充实最新资料并取得了许多新的认识进展。对于本区下古生界的天然气勘探与开发具有重要的指导意义。

本图册可供油气勘探开发工程技术人员研读,亦可供院校有关专业师生及其相关矿产专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地奥陶系储层图册/何自新等著.
北京:石油工业出版社,2004.12
ISBN 7-5021-4769-1

I. 鄂…

II. 何…

III. 鄂尔多斯盆地-奥陶纪-储层-图集

IV. P618.130.2-46

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第100542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:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

889×1194毫米 开本:1/16 印张:16.125

字数:475千字 印数:1—1000册

定价:98.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地，也是我国最早发现并进行石油勘探开发的大型含油气盆地。近些年来，随着低渗透油气地质理论认识的不断深化和勘探开发技术水平的日益提高，盆地的油气勘探不断取得重大突破，油气储量、产量也随之得到了快速增长，并且给世人展现了鄂尔多斯盆地低渗透油气勘探开发的巨大潜力。

鄂尔多斯盆地的地质特点表现为结构简单、构造平缓、地层整合，而油气储层的普遍低渗透、特低渗透特征更是闻名于世。储层的低渗透造成了油气藏的隐蔽性，低品位、低产量的基本特点大大增加了油气勘探开发的技术难度。另一方面，储层的低渗透又给油气的长期保存提供了良好的条件。鄂尔多斯盆地主要储层的普遍含油气性、十分丰富的油气资源和有利的油气富集区带正是得益于特低渗透的岩性圈闭。可以说，没有低渗透，就没有现今盆地内丰富的油气赋存。在普遍低渗透的背景下寻找相对高渗透富集区带，储层的研究和预测便成了油气田勘探与开发的中心任务。本图册就是长庆油田油气工作者对研究、改造低渗透储层实践与理论的高度总结。

鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩覆盖面积达20万 km^2 ，该区又是华北海与祁连海交叉汇合的沉积区域，海域面积浩渺广阔，海进海退变替频繁，沉积环境复杂多变，沉积构造异彩纷呈，层序地层建造清晰可鉴，岩石类型应有尽有，生储盖组合天然浑成，风化壳储层独具特色。所有这些都为油气勘探工作者提供了广阔的用武平台。早在上世纪70年代中期，长庆油田便开始了下古生界碳酸盐岩的油气勘探工作。1976—1987年的十余年间，从事下古生界油气勘探的地质家们环绕盆地边缘，足迹踏遍陕、甘、宁、蒙、晋，丈量了数十条下古生界剖面。运用现代碳酸盐岩新理论、新方法对本区奥陶系、寒武系乃至元古界进行了石油地质学、沉积学、岩石学、生物地层学等学科的综合研究，以丰硕的成果，迎来了全国第一届碳酸盐岩学术会议在黄土高原腹部小镇庆阳召开。“七五”、“八五”连续的科研攻关，终于敲开封锁了亿万年之久的鄂尔多斯盆地中部大气田的铁门，我国最大的天然气田呈现在世人面前。储量3000亿 m^3 的大气田至今仍然在扩大、在延伸。气化北京、西安、银川、呼和浩特等大中

城市已经成为现实，鄂尔多斯的天然气也必将汇入到西气东输的大动脉奔向上海、南京、天津等地。

《鄂尔多斯盆地奥陶系储层图册》以千余幅精美的岩石图片、阴极发光图片、电镜图片、野外露头照片、岩心照片和基本的地质图件，以及大量的资料信息和研究成果，紧密围绕储层研究这个中心，向从事石油地质的人们展示鄂尔多斯地区奥陶系陆表海碳酸盐岩地层学及地层单元的划分与对比、岩相古地理的展布及沉积格局基本特点、沉积环境的演化及其微相特征、生物种类及其组合生态方式；以储层孔隙演化为主线，以成岩环境变迁及其成岩事件之间的内在联系，各种白云岩形成机理及其相互之间的成因联系为脉络，科学地描述了风化壳储集体的类型和分布规律，碳酸盐岩储层的分类评价，探讨了孔隙成因及其结构特征，孔隙充填物的类型及其分带特征。

图册共分五部分。第一部分简要介绍了鄂尔多斯盆地的区域地质概况、层序地层的划分以及岩相古地理。第二部分用简洁的文字、大量的图片资料凸显出奥陶纪各期岩相古地理的微相特征，按照海侵的方向从东到西展示了各期岩相古地理微相特征的变化规律，从岩石组合、生物类型、成岩作用等不同的角度，揭示了祁连海与华北海的沉积差异，以便读者于微细处掌握不同海域沉积环境的更叠与变迁。第三部分着重概括了本区碳酸盐岩的成岩作用类型及其成岩演化机制。独创的成岩模式科学地诠释了成岩环境的变迁及其所控制的成岩事件，深入地探讨了风化壳储层孔隙的形成与演化，为储层的分类与评价奠定了基础。第四部分重点汲取了多年来储层研究的成果以及气层压裂酸化、提高单井产量、高效开发气田的精湛工艺措施。利用岩心分析、铸体、电镜扫描、阴极发光以及压汞等资料全面、系统地展示了碳酸盐岩储层的岩石学特征、物性特征、测井曲线特征、孔隙类型、孔隙结构特征及其储层的分类和评价，并选取了大量探井剖面进行了储层的划分与对比，为气田进一步勘探开发提供了科学依据。第五部分选择了10口取心较多、资料较全的探井和开发井，自上而下表现了沉积微相、储层岩类、储集性能在各个区块的基本特征，以资勘探开发部署参考。

值此图册出版之际，对20世纪70—80年代在野外工作的古生界队伍全体队员，对于长期伏案辛勤工作的岩矿、古生物鉴定人员，对于多年从事下古生界综合研究的同事

们，对于走出院校大门深入长庆油田传经送宝、潜心研究的教授、学者们，对于常年工作在井队的地质录井人员，表示崇高的敬意。图册编撰过程中长庆油田分公司杨华副总经理自始至终鼎力支持，具体指导，精心修定。工作中一直得到张明禄院长、付金华副院长、史承恩副院长，分析实验中心主任蔺昉晓、技术负责李剑峰的大力支持，张文正教授在百忙中具体运作、筹划、组织、指导以及做了大量文字修订工作，付出了大量心血。张绍平高级工程师、解丽琴工程师提供了大量阴极发光和电镜扫描资料照片。郑聪斌高级工程师、包洪平高级工程师、于忠平工程师提供了基本的、全新的地质图件。石小虎同志精心反复编排图版。刘晓丽、张怡、车晓芳等同志做了大量资料整理工作，在此深表谢意！由于编者水平所限，不当之处敬请读者批评指正。

作 者

2004.6于西安

Preface

Ordos Basin is the second largest sedimentary basin in China. It is also one of the largest and earliest discovered, explored and developed hydrocarbon-bearing basins in China. In the past few years, great breakthroughs have been made in petroleum exploration in this basin, due to the progress on the low permeability petroleum geology and the development of petroleum exploration and exploitation techniques. As a result, the oil and gas reserves and output are keeping a rapid increase, showing great potential of low permeability petroleum exploration and development in Ordos Basin.

Geologically, Ordos Basin is characterized by simple configuration, gentle structure and conformable strata. It is famed by the universally and particularly low permeability. On the one hand, low permeability of reservoirs would be responsible for concealed oil and gas accumulation, and their low grade and low yield nature increases the exploration and development difficulty. On the other hand, the low permeability of reservoirs is favorable for the long-term preservation of oil and gas: the richness of hydrocarbon resources and favorable oil and gas accumulation zones in Ordos Basin is profited from the low permeability of the lithological traps. So the low permeability is the key factor of abundant hydrocarbon reserves in the basin. In the case of low reservoir permeability, in order to find the pay zones with a relatively higher permeability, the reservoir study and prediction have become the focused task in hydrocarbon exploration in this basin. This atlas is a practical and theoretical summary of the long-term studying and reforming on low permeability reservoirs in Changqing Oilfield.

In Ordos Basin, the Ordovician carbonates cover an area of 20×10^4 km². Ordos Basin was at the converging area of North China sea and the Qilian sea, with a vast and complex depositional environment and frequent alternation of transgression and regression, which formed a clear stratigraphic sequence and various sedimentary rocks. The combination of source-reservoir-cap rock assemblage is perfect, and the weathering crust reservoirs are distinctive. Ordos Basin provides a good place for hydrocarbon exploration and development. Since the mid-1970s, Changqing Oilfield has begun to work on hydrocarbon exploration in the Lower Paleozoic carbonate rocks in the basin. From 1976 to 1987, geologists engaged in hydrocarbon exploration in the Lower Paleozoic carbonate rocks, worked hard to tramp five provinces (Shaanxi, Gansu, Ningxia, Inner Mongolia and Shanxi) around the basin

to measure tens of sections of Lower Paleozoic. Applying new theories and methods to the comprehensive studies on carbonate rocks of Cambrian, Ordovician, even Proterozoic strata, a lot of achievements have been obtained in the fields of petroleum geology, sedimentology, petrology and biostratigraphy. On this basis, the First National Conference on Carbonates was held in Qingyang town, Gansu province. Through the seventh and eighth five-year key scientific projects, the largest gas field in China—Jingbian Gasfield situated in the center of Ordos Basin, has been explored and developed. This Gasfield, with the reserves of $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$, has still been expanding and extending. The natural gas from Ordos Basin has been supplied to Beijing, Xi'an, Yingchuan and Hohhot, and it will also gasify the eastern cities, such as Tianjin, Shanghai, Nanjing and other cities through the west-east pipeline.

The *Atlas of Ordovician Reservoirs in Ordos Basin* consists of more than one thousand excellent pictures of rocks, cathodeluminescence (CL), SEM, outcrops, cores, and essential geological illustrations, as well as a large number of data and research achievements. Focusing on the reservoir study, the atlas provides information about the Ordovician carbonate stratigraphy, stratigraphic subdivision and correlation, lithofacies and palaeogeographic distribution, evolution microfacies characteristics, fossil types of the epicontinental sea. Focused on reservoir pore evolution, combined with interrelationship between the diagenesis setting change and process, integrated with genetic mechanism and relations of all kinds of dolomites, the authors scientifically describe the weathered crust reservoir body types and their distribution, as well as classification and estimation of carbonate reservoirs. In addition, the origin of pores and its textural features, filling materials and their the zonation are also discussed in the book.

This atlas comprises five parts. In the first part, the regional geology, sequence stratigraphic framework, lithofacies and palaeogeography in Ordos Basin are briefly introduced. The second part mainly includes a large amount of pictures showing the Ordovician microfacies of different phases following the E-W-oriented transgression in terms of rock associations, fossil assemblages and diagenesis, which reveals the sedimentary difference between the Qilian sea and North China sea, so that readers can learn the shift and alternation of sedimentary environments. The third part emphasizes the diagenetic styles of carbonate rocks and mechanism of diagenetic evolution. The unique diagenetic model explains the diagenetic environment change and diagenetic events controlled by environments. The origin and development of weathered crust reservoir pores are discussed. All above lay a foundation for estimation and classification of

reservoirs. Based on the achievements of reservoir researches in the past years, associated with outstanding technical measures on gas formation fracture acidizing, individual-well output promotion and highly efficient gas field exploitation, systemically employing core analysis, casting thin-sections, SEM, CL and mercury penetration data, the various characteristics of carbonate reservoirs, including petrologic, physical, logging curves, pore styles and structures, and reservoir classification and estimation are illustrated in the forth part. Many exploration and development wells have been selected for the reservoir classification and correlation, which founds a good basis for further gas field exploration and development. In the fifth part we select ten exploration wells with more cores and comprehensive data to show people the basic characteristics of microfacies, rock types and properties of reservoirs, which can provide a reference for petroleum exploration and development deployment.

At the time of the book being published, we'd like to thank the many people who worked hard on petrology, mineralogy and paleontology. We want to thank those colleagues who have engaged in research on the Lower Paleozoic for a long period. We are grateful to the professors, scholars and the loggers who made great contributions to the Changqing Oilfield. Special acknowledgements go to Yang Hua, vice general manager of the oilfield, who has given strong supports to us during the atlas compilation. Director Zhang Minglu, vice-director Fu Jinhua and Shi Chengen of Changqing Institute of Petroleum Exploration and Development, and Lin Fangxiao, head of Analysis and Test Center, and Li Jianfeng have offered their supports to this work. Professor Zhang Wenzheng took an effort to organize and revise the whole book. Senior engineer Zhang Shaoping and engineer Xie Liqin prepared a great number of photographs of SEM and cathodeluminescence. Senior engineer Zheng Congbin, Bao Hongping, and engineer Yu Zhongping gave the essential and generally new geologic pictures. Shi Xiaohu arranged the plates carefully for many times. Liu Xiaoli, Zhang Yi and Che Xiaofang took much time to organize the data in the book. We would like to thank them for their contributions and helps.

Any critical comments will be appreciated and welcome.

Authors

April, 2004, Xi'an

目 录

一、鄂尔多斯盆地奥陶系层序地层与岩相古地理	1
(一) 地质概况	1
(二) 奥陶系层序地层划分	3
(三) 奥陶纪岩相古地理	8
二、鄂尔多斯盆地奥陶纪沉积微相特征	14
(一) 早奥陶世冶里期沉积微相 (图版1—图版2)	14
(二) 早奥陶世亮甲山期沉积微相 (图版3—图版4)	17
(三) 早奥陶世马家沟一期沉积微相 (图版5—图版10)	20
(四) 早奥陶世马家沟二期沉积微相 (图版11—图版15)	27
(五) 早奥陶世马家沟三期沉积微相 (图版16—图版24)	33
(六) 早奥陶世马家沟四期沉积微相 (图版25—图版39)	43
(七) 早奥陶世马家沟五期沉积微相 (图版40—图版58)	59
(八) 早奥陶世峰峰期沉积微相 (图版59—图版69)	80
(九) 中、晚奥陶世沉积微相 (图版70—图版84)	93
三、鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩储层的成岩作用 (图版85—图版106)	109
(一) 综述	109
(二) 成岩环境	109
(三) 主要成岩作用类型	110
(四) 成岩环境与孔隙演化	115
四、鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩储层特征 (图版107—图版126)	141
(一) 储层岩石学特征	141
(二) 储层的剖面展布与对比	143
(三) 主要储集空间	146
(四) 储层孔、洞充填物特征及其分布规律	148
(五) 储层物性	149
(六) 碳酸盐岩储层的电性特征	152
(七) 储层孔隙结构	154
(八) 储层分类	155
(九) 有利储层分布区	156

(十) 高效开发低渗气田的酸压工艺技术	158
五、鄂尔多斯盆地奥陶系单井图版 (图版127—图版174)	180
参考文献	245

CONTENTS

Part One The Ordovician stratigraphic framework, lithofacies and palaeogeography	
in Ordos Basin	1
1.1 Regional geologic setting	1
1.2 Ordovician stratigraphic division	3
1.3 Ordovician lithofacies and palaeogeography	8
Part Two Characteristics of Ordovician sedimentary microfacies in Ordos Basin	14
2.1 Sedimentary microfacies of Yeli stage, Early Ordovician(Plates 1-2)	14
2.2 Sedimentary microfacies of Liangjiashan stage, Early Ordovician (Plates 3-4)	17
2.3 Sedimentary microfacies of phase I of Majiagou stage, Early Ordovician (Plates 5-10)	20
2.4 Sedimentary microfacies of phase II of Majiagou stage, Early Ordovician (Plates 11-15)	27
2.5 Sedimentary microfacies of phase III of Majiagou stage, Early Ordovician (Plates 16-24)	33
2.6 Sedimentary microfacies of phase IV of Majiagou stage, Early Ordovician (Plates 25-39)	43
2.7 Sedimentary microfacies of phase V of Majiagou stage, Early Ordovician (Plates 40-58)	59
2.8 Sedimentary microfacies of phase VI of Majiagou stage, Early Ordovician (Plate 59-69)	80
2.9 Sedimentary microfacies of Middle and Late Ordovician (Plates 70-84)	93
Part Three Diagenesis of carbonate reservoirs (Plates 85-106)	109
3.1 Summary	109
3.2 Diagenetic environment	109
3.3 Major diagenetic types	110
3.4 Diagenetic environment and pore evolution	115
Part Four The characteristics of carbonate reservoirs (Plates 107-126)	141
4.1 Petrological properties of reservoirs	141
4.2 Reservoir profile distribution and correlation	143
4.3 Major reservoir space	146
4.4 Reservoir pores, pore filling characters and distribution	148
4.5 Physical properties of reservoirs	149
4.6 Logging features of carbonate reservoirs	152
4.7 Textures of reservoir pores	154
4.8 Reservoir classification	155
4.9 Favorable reservoir areas	156
4.10 Acid fracturing techniques in highly efficient development of low permeable gas field	158
Part Five The individual-well plates in the Ordovician of Ordos Basin (Plates 127-174)	180
References	245

一、鄂尔多斯盆地奥陶系层序地层与岩相古地理

(一) 地质概况

1. 概述

鄂尔多斯盆地是我国第二大沉积盆地,横跨陕、甘、宁、蒙、晋五省区,东邻吕梁,南接秦岭,西与六盘、贺兰为邻,北与阴山接壤。盆地本部面积 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。古生界、中生界蕴藏着丰富的石油天然气资源。经过30余年的勘探与开发,鄂尔多斯盆地正在崛起,日益成为我国重要的石油天然气能源基地。

鄂尔多斯盆地下古生界包括两套海相碳酸盐岩地层,即寒武系和奥陶系。加里东期末,随着华北地台整体抬升,接受了长达1.5亿年的风化剥蚀,形成了沟、壑、昴、梁,槽台纵横的古岩溶风化地貌和孔、洞、缝特别发育的碳酸盐岩储层,一个巨大的岩溶天然气田孕育在黄土高原的腹部。

2. 盆地沉积构造特征

鄂尔多斯盆地由7个一级构造单元组成,即西部的西缘逆冲带、天环凹陷区,北部的伊盟隆起,腹部的伊陕斜坡,南部的渭北隆起和渭河地堑,以及东部的晋西挠褶带(图1-1)。下古生界的靖边气田和上古生界的苏里格气田、乌审旗气田、榆林气田与米脂气田均发育在伊陕斜坡上。

早古生代,鄂尔多斯地区南北为加里东地槽所控制,东西为残存的裂陷所夹持,形成北高南低、中间高东西两侧低的古地貌背景。早古生代沉积了400~1000m厚的浅海台地相碳酸盐岩,而其南缘和西缘濒临秦祁海域,沉积了厚达4500m的碳酸盐岩、海相碎屑岩和浊积岩,形成了向秦祁海域倾斜的广海陆架区。

鄂尔多斯地区奥陶纪经历了三次大的海侵海退。盆地区域地质构造演化研究表明,早奥陶世,鄂尔多斯古陆南部贯通范围扩大,仅吕梁、渭北、贺兰地区为海域,在原先裂谷体系的基础上形成西缘的“L”形沉积带和东南缘的反“L”沉积带;至马家沟期,这两个沉积带进一步扩大并连为一体,使鄂尔多斯古陆退至伊盟北部。平凉期再度海退,鄂尔多斯古陆随之扩大。至背锅山期,阿拉善古陆、鄂尔多斯古陆、吕梁古陆连为一体,拉开了加里东地壳运动的前奏。

在上述古地理的背景上,鄂尔多斯地区早古生代沉积演化经历了四大期次,即苏峪口—徐庄期以混合沉积为特征,发育陆源碎屑岩及云坪;张夏—亮家山期以浅水碳酸盐台地清水沉积为主,沉积物以高能的颗粒组分为特征,反映出规模较大的潮下浅滩及滩间海沉积;马家沟期颤抖性地壳运动加剧,鄂尔多斯海域时而扩大时而紧缩,表现在沉积上,马一、马三、马五段以蒸发台地膏、盐、白云岩发育,马二、马四段、峰峰组以局限海低能石灰岩沉积为主;平凉—背锅山期,随着华北地台隆起,海水撤出鄂尔多斯本部,在其西南缘以深水斜坡为特征,发育碳酸盐岩重力流。其南缘为开阔台地碳酸盐岩沉积。

值得注意的是,最近在甘肃省镇原县北部钻探的镇探1井,在钻至4474m时,山西组不整合覆盖在震旦系罗圈组冰碛砾岩之上,从而缺失了寒武纪、奥陶纪乃至石炭纪的沉积。冰碛砾岩覆盖在蓟县系冯家湾组之上,表明了该区自震旦纪抬升之后从未接受海相沉积,直至山西期才下沉直接进入河湖大陆型沉积领域。这一发现对于研究该区岩相古地理具有重大意义。

加里东末,全区抬升,缺失了志留系、泥盆系及下石炭统,沉积间断达1.5亿年以上,所形成的奥陶系顶部风化壳古岩溶带对天然气的聚集有重大意义。

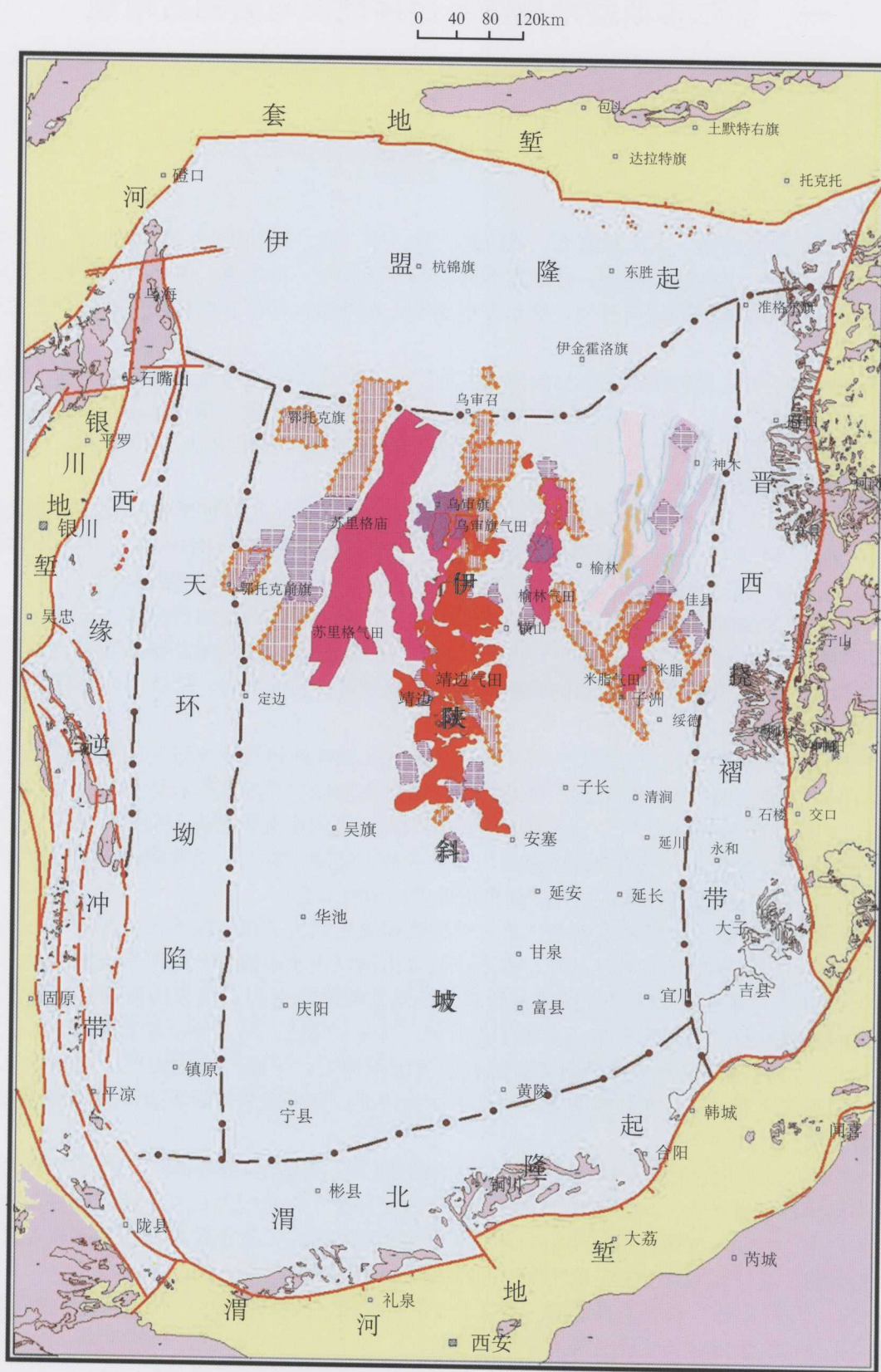


图1-1 鄂尔多斯盆地构造区划图

(二) 奥陶系层序地层划分

鄂尔多斯地区奥陶系分布广泛,一般厚度为1000m左右,最大厚度达2000m以上,由于沉积环境的差异奥陶系可分为三个地层分布区,即东—中部、南部和西部。东—中部、南部为碳酸盐岩分布区,地层自下而上为下统冶里组、亮甲山组、马家沟组,中统平凉组,上统背锅山组。西部为碳酸盐岩与碎屑岩分布区,下统缺失冶里组和亮甲山组,上统缺失背锅山组。地层自下而上为下统三道坎组、桌子山组、克里摩里组,中统为乌拉里克组、拉什仲组、公乌素组和蛇山组。其各组特征如下。

1. 冶里组

仅分布在东缘、南缘及西缘的贺兰山地区。在东缘,冶里组岩性为灰、浅灰、灰黄色泥质白云岩夹竹叶状白云岩,厚20~72m,由北向南厚度渐薄,在清水河和偏关产头足类爱丽斯木角石及树笔石等。在南缘,冶里组岩性为灰、黄灰色薄至中层白云岩、泥质白云岩,厚77~112m。在西缘贺兰山,冶里组岩性为灰色薄—中层含燧石白云岩、泥质白云岩和竹叶状白云岩,厚11m。冶里组与下伏凤山组为连续沉积。

2. 亮甲山组

分布范围与冶里组相同,岩性为富含燧石条带及团块的中厚层白云岩。在清水河和偏关一带,下部夹黄绿色页岩,向南页岩消失。总之,亮甲山组含燧石白云岩在全区都较稳定,常作为亮甲山组的标志层。在清水河和偏关产头足类满洲角石,在南缘岐山和泾阳两地,均采获牙形刺。由于怀远运动,使亮甲山组顶部遭受不同程度的剥蚀。南缘最厚可达50m左右,北端厚度为110m左右。

3. 马家沟组

可分为五个地层段。马家沟一段分布在本区的东部、南部及西部,隆起部位缺失。在东部和南部,马一段岩性为灰黄色、土黄色泥质白云岩、石膏质白云岩夹粉砂岩,厚20~60m。在西部,马一段相当于三道坎组,岩性为砂质白云岩、白云质砂岩及粉晶白云岩。在桌子山,包括拟高原角石和假五顶角石两个化石带。宁夏固原和甘肃平凉产古等称虫,厚20~80m。

马家沟二至五段分布范围最广,除伊盟地区和甘肃镇原等小范围内缺失外,其他地区均有分布。在东部,马家沟二段至马家沟五段岩性变化很明显,马二段和马四段主要由石灰岩组成,马三段和马五段主要由泥质白云岩和膏、盐岩组成,马二段至马五段构成两个海侵海退旋回。在马二段和马四段中有丰富的化石,如头足类、腕足类和藻类等。在清水河和偏关发现华北马家沟组常见的东方古等称虫、小边大壳虫等。厚度一般为400~600m,由北向南厚度渐薄。在西部和西南部,马家沟二段至五段相当于桌子山组或水泉岭组,岩性与东部极不相同,已不存在像东部那样明显的岩性旋回。岩性基本上为灰色、深灰色泥晶石灰岩、球粒石灰岩、瘤状石灰岩及少量颗粒石灰岩。在桌子山剖面包括了三个化石带,即桌子山多泡角石带、鄂尔多斯角石带及小组纹形长颈角石带,在前两带中华北型生物仍占一定数量,但后一带则含有许多的扬子型生物。厚度由北往南逐渐减薄,厚150~500m。在南部,马家沟二段至五段岩性变化不明显,主要为灰、深灰色中厚层粉晶白云岩、藻灰结核白云岩、球粒白云岩、泥晶石灰岩、球粒石灰岩等。在泾河剖面,本组顶部产有丰富的唐山刺,可与华北东部对比。

4. 峰峰组

在本区东部为灰、深灰色厚层块状泥晶灰岩,山西柳林剖面产典型支架刺、微腔刺,可与华北东部的峰峰组直接对比。在西部,峰峰组相当于克里摩里组、三道沟组等。在桌子山剖面,该组岩石为黑灰色薄层泥晶灰岩夹黑色页岩,厚203m,包括精美翼笔石和紧密围笔石两个化石带;在陇县、平凉、环县一带,岩石为灰、深灰色厚层块状泥—细晶石灰岩、含藻石灰岩及少量砂屑石灰岩,厚100~200m。在南部,峰峰组岩性为灰、深灰色厚层块状粉—细晶白云岩夹颗粒白云岩、藻白云岩及泥晶灰岩。在岐山、泾阳、富平,产有*Erismodus typus Mirocoelodus* sp.等牙形刺组合,可与华北东部峰峰组对比,厚150~250m。

5. 平凉组下部

在桌子山地区相当于乌拉里克组和拉什仲组,岩性为灰黑色页岩、泥岩、粉砂岩夹石灰角砾岩和泥晶石灰岩,包括了圆滑雕笔石、纤细丝笔石及小盾栅笔石三个笔石带,厚322m,向西急剧增厚。在贺兰山地区,平凉组下部相当于该区平凉组四个岩性段的下两段,即砂岩、页岩段和页岩夹角砾石灰岩段,厚度大于954.8m。在平凉—陇县一带平凉组下部(相当于狭义的平凉组)岩性为黑灰色灰质页岩、灰色页岩、灰质砂岩、泥晶石灰岩、角砾石灰岩夹凝灰岩,富含长石和重力流沉积。含丰富笔石,厚300~500m。在岐山—扶风地区,该组岩性以泥岩为主,夹石灰岩、石灰角砾岩、凝灰岩等,但砂岩已明显减少,厚500m以上。在南部泾阳地区,本组又称为西陵沟组,岩性已极不相同,为一套灰白色厚层块状砂屑灰岩、介壳灰岩、泥晶灰岩和凝灰岩,厚157m。在富平地区,该组岩性又发生变化,为一套薄层泥晶灰岩、云质灰岩、角砾石灰岩夹燧石层和砂岩,厚403m。

6. 平凉组上部

在西缘桌子山地区相当于蛇山组和公乌素组,包括了 *Amplexnograptus qansuensis* 和 *Climacograptus qenculatus* 两个笔石带,岩性为深灰色、绿灰色粉砂质泥岩、粉细砂岩、泥灰岩及颗粒石灰岩夹角砾灰岩,厚95m。向西急剧增厚,在贺兰山西侧胡家台厚度大于1000m。在贺兰山地区,平凉组上部相当于该区平凉组四个岩性段的上两段,即砂岩、页岩和石灰岩段,厚度大于700m。到环县—陇县一带,本组又称为龙门洞组或车道组,岩性为绿灰色、深灰色石英粉、细砂岩、粉砂质泥岩、泥灰岩、颗粒灰岩夹少量角砾石灰岩和凝灰岩,厚200~700m。在岐山—扶风地区,该组岩石为灰黄色、绿灰色中薄层泥岩、泥灰岩夹角砾石灰岩、凝灰岩和板岩,厚度为362m。在泾河地区,本组又称为白玉组,岩性为浅灰色、灰白色砂屑灰岩、泥—粉晶灰岩及介壳灰岩,厚度为395m。在富平地区,该组岩性为灰黑色薄层石灰岩、泥灰岩夹角砾状石灰岩和凝灰岩,厚312m。

7. 上奥陶统

包括姜家湾组和背锅山组。姜家湾组目前仅发现于环县石板沟姜家湾,为一套灰色、灰绿色、灰黄色、灰褐色钙质泥页岩、砂岩,厚250m左右,产万源南京三瘤虫。背锅山组仅分布在南缘的陇县、岐山、泾阳、耀县,西缘的固原,北缘的乌拉特前旗大余太一带。在南缘,该组岩性为浅灰色、灰白色块状泥—粉晶灰岩、藻灰岩、砾屑灰岩、生物灰岩,夹页岩和重力流成因的角砾状石灰岩,含灰岩角砾泥岩。南部较厚,一般为300~450m,泾阳最厚达1324m,固原较薄,为129.5m,北部大余太最薄,为29m。本区背锅山组岩性无太大变化,都含有丰富的珊瑚化石。与下伏的平凉组上部 and 上覆的中石炭统为假整合接触。

奥陶系划分及对比见表1-1,主要剖面的划分与对比见图1-2和图1-3。

表 1-1 鄂尔多斯地区奥陶系西部—东部地层对应表

地 区	西部(桌子山)				南部(平凉、淳化、泾阳、岐山、陇县)				中东部(城川 1井、榆 9井、山西柳林、偏关)			
	地层名称		岩性及化石		地层名称		岩性及化石		地层名称		岩性及化石	
上统					背锅山组	浅灰色、灰白色块状泥—粉晶灰岩、藻灰岩、砾屑灰岩、生物灰岩，夹页岩和重力流成因的角砾状石灰岩，含灰岩角砾泥岩。 <i>Belodina compress</i>						
						平凉组	上部绿灰色、深灰色石英英粉、细砂岩、粉砂质泥岩、泥灰岩、颗粒灰岩夹少量角砾石灰岩和凝灰岩；下部灰白色厚层块状砂屑灰岩、介壳灰岩、泥晶灰岩和凝灰岩。笔石 <i>Climacograptus geniculatus</i> Zone, <i>Pseudoclimacograptus scharebergi</i> Zone, <i>Climacograptus Peltiter</i> Zone					
	蛇山组	灰绿色泥页岩夹鲕粒灰岩。 <i>Eurasiacoceras-stetheshanoceras</i>										
	公乌素组	灰岩、粉砂岩、灰岩 <i>Amplexograptus-ganseansis</i>										
拉什仲组	灰绿色灰岩与粉砂岩互层。笔石 <i>Nenugraptus gracilis</i> , 牙形 <i>Pegogus ansenius</i>											
中统	乌拉克组	黑色页岩，笔石 <i>Glvpiograptus teretiusauic</i> , 牙形 <i>egodus serrus</i>			峰峰组	灰、深灰色厚层块状粉—细晶白云岩夹颗粒白云岩、藻白云岩及泥晶灰岩。产有 <i>Erismodius typus Mirocoelodus</i> sp等牙形刺组合						
	克里摩里组	黑色等厚泥晶灰岩夹黑色页岩。笔石 <i>Pterograptus elegans</i> , <i>Amplexgraptus confertus</i> , 牙形刺 <i>Eplacognathus reclinatus</i> <i>Microcoelodus symmetricus</i> <i>Belodina compress</i> <i>Pygodus</i> sp.					灰、深灰色厚层块状泥晶灰岩，山西柳林剖面产典型支架刺、微腔刺。 <i>Erismodus typus Masymmetricus Pcompress</i>					
下统	桌子山组	灰色泥晶灰岩、团粒灰岩、含泥灰岩、鲕状灰岩，少量亮晶鲕粒灰岩。头足 <i>Dideracers undulatum-pomp-laceras</i> <i>Drdoaceras quasili-nitatum</i> <i>Loxodus dissectus</i> <i>Aurilobodus leptosomatus</i>		上马家沟组	马家沟组	泥粉晶白云岩，泥晶灰岩，次生灰岩，角砾状白云岩，云斑灰岩。 <i>Aurilobodus aurilobus Juanognathus zhuzoizhanensis Aurilobodus aurilobus Erratocodon tangshanensis</i>						
				下马家沟组		泥、粉晶白云岩，泥晶灰岩等。 <i>Tangshanodus angshanensis Scolopodus flexilis S.nogamii Rhipidognathus maggolenshis Rhipidognathus laiwuensis</i>						
				亮甲山组		富含燧石条带及团块的中厚层白云岩。 <i>Paraserratognathus</i> sp.						
	三道坎组	砂质白云岩、白云质砂岩及粉晶白云岩。 <i>Pardkogenoceras Pseudoudinoceras</i>		冶里组	灰、黄灰色薄至中层白云岩、泥质白云岩。 <i>Chosonodina herfurthi</i>							
						亮甲山组	富含燧石条带及团块的中厚层白云岩。 <i>Drepanodus tenuis</i>					
					冶里组	灰、浅灰、灰黄色泥质白云岩夹竹叶白云岩。 <i>Oitodus</i> sp.						

奥 陶 系