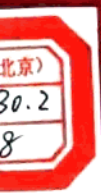


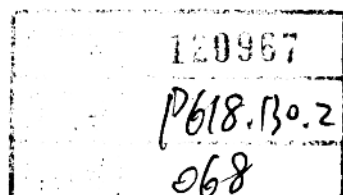
王宝清 徐论勋 李建华 张晓宇 著

古岩溶与储层研究

——陕甘宁盆地东缘奥陶系顶部储层特征



石油工业出版社



古岩溶与储层研究

——陕甘宁盆地东缘奥陶系顶部储层特征

5422/29

王宝清 徐论勋 李建华 张晓宇 著



石油0111497



石油工业出版社

内 容 提 要

本书在野外露头剖面详细的描述基础上,应用大量的储层分析手段,对陕甘宁盆地东缘奥陶系顶部古岩溶的储层特征进行了系统的研究和评价。该书重点解决了古岩溶储层横向变化的难题,为今后油气田勘探开发中的井间对比提供了重要依据。

本书可供现场地质工作者及科研人员使用,也可做为有关大专院校的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

古岩溶与储层研究:陕甘宁盆地东缘奥陶系顶部储层特征/

王宝清等著. 北京:石油工业出版社,1995.8

ISBN7-5021-1543-9

I. 古…

I. 王…

Ⅱ. 碳酸盐岩-岩溶作用-储集层-盆地,陕甘宁-研究

IV. ①P588.24②P618.130.2

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

北京康利胶印厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开 11.25印张 8插页 278千字 印1-700

1995年8月北京第1版 1995年8月北京第1次印刷

定价 14.00元

序

陕甘宁气田是我国目前已知的最大气田。气田的发现是我国油气勘探史上的一件大事,是长庆油田等单位的地质工作者长期奋战所取得的重大成果。气田的储集层为古岩溶型,奥陶系马家沟组顶部的马五₁亚段为主力气层。

古岩溶与油气、各种金属和非金属矿床关系密切,因此受到了国内外地质学家的重视。古岩溶的成因涉及到沉积学、水文地质学、地球化学等地质学分支。古岩溶的应用与石油地质学、矿床学关系密切。碳酸盐岩储层,特别是古岩溶存在着极明显的非均质性。为了经济有效地勘探、开发气田,必须了解储层的分布规律,认识储层的非均质性是了解其分布规律的前提,从古岩溶的岩石学特征入手则抓住了问题的关键。本书是继张金泉等著《鄂尔多斯盆地奥陶系沉积、古岩溶及储集特征》之后,又一本公开出版的系统、深入地论述有关陕甘宁气田古岩溶、岩石学和储层特征的专著。

作者对野外露头进行了详细地描述,注意储层的侧向变化,目的是根据对在地表露头的非均质性研究,预测井下储层的非均质性。研究中采集了大量的岩石样品,进行了各种分析测试,分析测试的项目之多和取样之密集在国内同类研究中尚属少有。作者得到大量的岩石学和储层特征的定量资料,得出了令人信服的结论。研究工作中使用了多学科相结合的综合研究方法,缝洞数据处理图形技术和分形技术在裂缝研究领域中的应用属于国际先进技术。本书注重沉积学、地球化学理论的创新及其在储层地质学中的应用。

本书的主编王宝清同志 60 年代末毕业于成都地质学院,1978 年以优异的成绩被录取为研究生,成为我国建国以来首批获得硕士学位中的一员。1987 年由国家教委派往澳大利亚塔斯马尼亚大学进修一年。回国以后一直从事碳酸盐岩成岩作用和碳酸盐岩储层学研究。“陕甘宁盆地东缘奥陶系顶部古岩溶与储层研究”是他和他的同事们在碳酸盐岩储层研究中的一次有意义的实践。本书的出版将丰富沉积学、地球化学和古岩溶学的内容,一定有助于我国碳酸盐岩储层学和古岩溶学的深入研究。值此专著付梓之际为序,以表祝贺之忱。

刘宝珺
中国科学院院士、教授

1994 年 8 月 8 日

前 言

陕甘宁盆地中部气田是我国最大的气田,多年来长庆石油勘探局的地质工作者对气田的发现和勘探做出了巨大的贡献。在气田的勘探过程中,必然涉及到储层的特征与评价。他们通过深入细致的工作,成功地解决了许多实际问题。然而,由于碳酸盐岩溶储层的非均质性,使得井间范围流体流动的预测极为困难。

收集地表露头与地下对应地层的定量储层性能资料是预测储层的侧向变化很好的方法。地表露头能够在以米、十米、百米为单位的紧密空间上采样。这些详细的露头资料能阐明井间范围内储集性能的空间变化,并能解释造成这些变化的原因。

根据陕甘宁气田勘探工作的需要,中国石油天然气总公司阎敬实教授责成江汉石油学院对陕甘宁盆地东缘奥陶系主力气层——马家沟组第五段第一亚段(马五₁)的野外露头用现代储层地质学的观点观察描述,以预测其侧向变化规律和分布特征。最终解决钻采、测试中大井间距所不能取得的横向变化问题。

原江汉石油学院院长林壬子教授,立即责成地质系组建课题组。该组于1992年4~6月,收集资料,野外实地踏勘,同年7~8月开展野外工作,1993年4~5月及10月再次开展野外工作。野外露头的详细观察描述以兴县关家崖和柳林走马梁为主,兴县太平沟和高石白家庄因露头短,仅采集少量样品研究。马五₁地层因风化后,十分松散,未做储层研究。本书中的马家沟组第五段第一亚段(马五₁),如无特别申明,仅指马五₁、马五₂、马五₃。

研究工作是建立在长庆石油勘探局及兄弟单位工作的基础上,由于前人工作很深入,要有新的发现很困难。研究中尽量采用储层沉积学、岩溶学、地球化学的新手段、新理论,力图在前人研究成果的基础上有所进展,有所发现。本书系研究成果的总结。

本书由王宝清、徐论勋负责资料收集和野外踏勘。王宝清、徐论勋、张存善参加三次野外工作,王泽中参加一次野外工作,李建华、张晓宇负责数据处理。李树芬、王宝清负责薄片鉴定。张存善负责清绘图件。前言、第二、三、四、五、七章由王宝清编写,第一章由徐论勋编写,第六章由李建华、张晓宇编写。全文由王宝清审核、定稿。

参加本专题研究工作的还有江汉石油学院地质系教师李文华、钟宝荣、袁玉琴、李龙艳、陈恭洋、许晓宏、王蕴芬,学生王丕烈、王全柱、侯路、林晓辉、金颖、郑辉、李义明、余中华、邬卫明、周劲松、邵建通、杨全疆、李功全、黄义文、田永乐。

研究工作是在阎敬实教授指导下完成的,阎教授对课题的设计,具体做法都提出了十分具体的意见,并亲自检查课题的进展,其意见既联系气田勘探的实践,又富于创新精神。费安琦、宋国初、王声远三位教授也对课题做了很有意义的指导。林壬子教授一直对课题大力支持、热情关怀与指导。

长庆石油勘探局曾少华、张吉森、谢焕功、胡万才、黄健松、马振芳等给予了大力支持和帮助。杨俊杰、费安琦、唐泽尧、赖志云、李桂森、谢庆邦、林克湘、张志良、沈昭国、杨弈华等专家认真审阅初稿并提出宝贵意见。

中国科学院院士刘宝珪教授对本书的出版给予热情关怀与支持,在此致以衷心感谢!

目 录

第一章 地质概况及研究方法	(1)
第一节 地质背景与构造演化	(1)
第二节 地层	(3)
第三节 马家沟期的岩相古地理	(15)
第四节 对研究区地层的几点认识	(16)
第五节 研究方法	(17)
第二章 古岩溶形成的地质条件和古岩溶特征	(19)
第一节 古岩溶形成的地质条件	(19)
第二节 古岩溶特征	(20)
第三章 岩石学特征	(23)
第一节 岩石的类型及其一般特征	(23)
第二节 岩石的化学成分	(25)
第三节 泥晶方解石	(57)
第四节 方解石充填物	(65)
第五节 白云石和白云岩	(74)
第六节 次生方解石	(84)
第四章 储层特征及评价	(85)
第一节 孔洞	(85)
第二节 裂缝	(92)
第三节 储层的物性特征	(103)
第四节 储层评价	(132)
第五节 储层的非均质性	(137)
第六节 储集空间的发育和演化	(138)
第五章 储层及元素定量分析	(143)
第一节 用分形理论研究裂缝发育规律	(143)
第二节 利用结构难度指数研究孔隙结构	(147)
第三节 基质孔隙度、渗透率与孔隙结构参数的定量关系	(151)
第四节 元素定量分析	(155)
第五节 微量元素的因子分析	(158)
第六章 主要结论	(165)
参考文献	(167)
图版说明	(168)

第一章 地质概况及研究方法

第一节 地质背景与构造演化

一、地质背景

陕甘宁盆地处于华北地台的西部,根据盆地的地质演化史及其中生界地质构造特征,将盆地划分为伊盟隆起区、渭北挠褶区、晋西挠褶区、伊陕斜坡、天环坳陷和西缘掩冲带六个构造单元(图 1-1)。研究区位于晋西挠褶区东缘,地理位置在陕晋交界的黄河以东,吕梁山脉以西,北起兴县,南至中阳,西起柳林,东至离石,行政上归山西省吕梁地区管辖(图 1-2)。

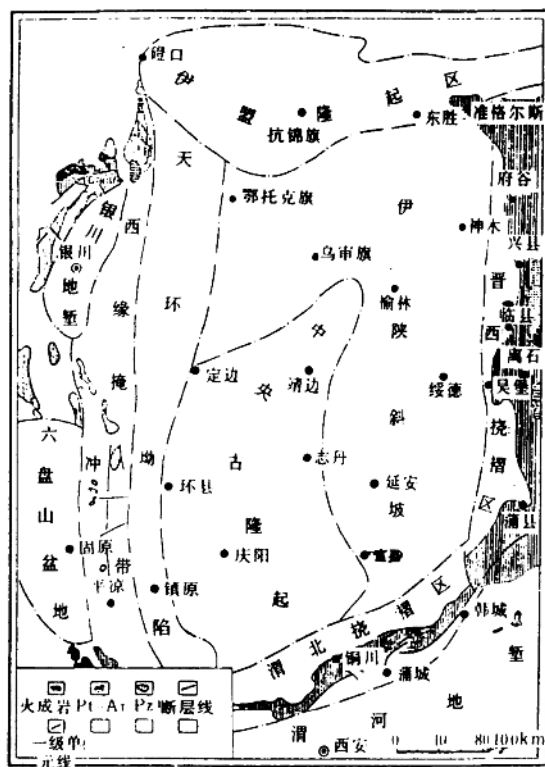


图 1-1 陕甘宁盆地古生界构造区划图

二、构造演化

本区的地质发展史按其构造演化可划分为如下几个阶段。

1. 太古代—早元古代大陆裂谷发展阶段

研究区内太古代—早元古代地层在该区称作界河口群和漳沱群,在兴县、临县、离石等地均有出露。

太古代—元古界地层,岩性主要是一套眼球状混合岩化黑云母内斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云长英片岩、石英岩、大理岩、黑云变粒岩、磁铁石英岩等,这些都是中深变质岩石;变质之前,为一套基性、超基性、中酸性海底火山喷发岩及粗碎屑岩沉积组合,有时可见明显的枕状构造的细碧岩类,这种复杂的火山杂岩体,从板块构造观点看,认为是古裂谷上的产物,而且广泛发育含铁建造,缺少碱性岩石系列,代表活动的裂谷型岩相。

2. 早元古代末期—中元古代裂谷封闭阶段

研究区下元古界地层野鸡山群、黑查山群、漳沱群,主要是一套以粗碎屑岩为主的沉积—变质岩系,岩石类型主要是粗粒石英岩、变质粒岩、千枚岩、白云大理岩、碎屑岩、硅质岩等。元古界顶部有典型的山麓磨拉石堆积,与下伏太古代地层呈明显的角度不整合,与上覆中元古界地层也呈不整合接触,这标志着在早元古代末期发生了一次强烈的地壳运动,同时,花岗岩的侵入,使下元古界地层发生褶皱变质,太古代地层也再次遭受变质。这次地壳运动,代表裂谷的封闭,这次裂谷的封闭及其地壳运动标志着华北古板块从活动的裂谷状态转为稳定的地块,其下元古界结晶岩石地层构成了华北地台的基底。

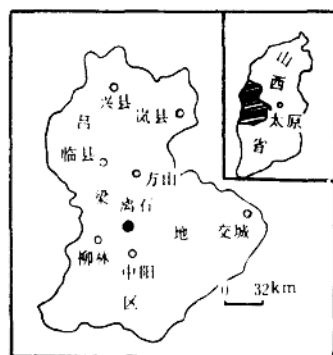


图 1-2 研究区地理位置图

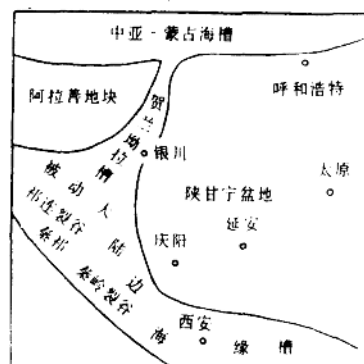


图 1-3 陕甘宁盆地中晚元古代构造示意图

3. 中晚元古代裂谷发展阶段

中晚元古代,陕甘宁盆地北面是中亚—蒙古海槽,南面是祁连山、秦岭海槽,盆地的中部及东缘仍是以稳定类型的地台型沉积为主,厚度一般 300~600m。但是由于中国古地台的解体,在华北地台西南缘开始裂开,沿祁连山—秦岭—贺兰山形成秦、祁、贺三叉裂谷系(图 1-3),北与中亚—蒙古海槽相通,南与祁、秦海槽相连,裂谷内沉积了上千米厚的中上元古界长城群、南口群、蓟县群地层。

4. 早古生代槽台对立阶段

早古生代陕甘宁盆地仍受南北两海槽的控制,盆地西南缘的秦、祁、贺三叉裂谷系继续活动,该海槽被遗弃为拗拉槽,沉积了以浅海碳酸盐岩为主的稳定类型,厚度 2000~3000m。早古

生代时晋西挠褶带基本上处于隆起状态;但在寒武—奥陶纪时该区受全球性海侵的影响,沉积了比较薄的寒武—奥陶系地层。

在加里东旋回阶段,华北地台可能向北漂移,中亚—蒙古海槽向南俯冲,由于中亚—蒙古海槽和祁连—秦岭裂谷的对挤作用,华北地台拱曲上升,海水基本退去,陕甘宁盆地也随之隆起上升,处于古陆状态,经历了长达1.5亿年的风化剥蚀阶段。因而在盆地的中部和东部缺失了中上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统的沉积,从此结束了该区槽台对立发展阶段。

5. 晚古生代槽台统一阶段

在晚古生代华力西旋回阶段,华北地台可能向北漂移,而且地台再度沉降,南北两海槽再度拉开,华北海从东向西侵入盆地,由于东面有胶辽古陆的遮挡,使盆地形成半封闭的海陆交互相至陆相的含煤沉积,所以晚古生代石炭系,下二叠统主要是一套海陆交互相的石英砂岩、泥页岩和粘土岩夹薄层碳酸盐岩及煤层沉积。

华力西旋回末期,南北海槽再次对挤,海水迅速从华北地台、祁连海,贺兰坳拉槽退出。祁连海槽,贺兰坳拉槽再度封闭,陕甘宁盆地与华北地台重新联合形成了统一的地台。

6. 中生代内陆湖盆发展阶段

由于联合古大陆解体,欧亚板块与向北北西方向运动的太平洋板块相互作用,在中国东部产生左旋剪切运动,并形成一系列北北东方向的东部隆起带和坳陷带,其中陕甘宁盆地就是这个坳陷带的一个大型盆地,所以陕甘宁盆地从中生代开始转为内陆湖盆沉积发展阶段。

7. 新生代边缘断陷湖盆发展阶段

新生代以来地壳变动十分强烈,几个板块与海槽都发生了重大变化,如印度板块与欧亚板块碰撞、古特提斯海槽的俯冲和太平洋海槽的形成,导致了在中国西北地区的地形不断抬升,中东部地形不断下降并发生断陷,形成了一系列断陷盆地,陕甘宁盆地及其周围的河套、银川、渭河等弧形断裂盆地,就是在这个时期完成的。

第二节 地 层

一、下奥陶统地层划分

奥陶系在本区柳林、中阳、兴县等地均有广泛出露,但由于地层总体向西倾伏、黄土面积大及覆盖严重,地层出露较差,有些地方奥陶系地层仅沿沟谷零星出露。研究区仅有下奥陶统沉积,下奥陶统从北往南缺失厚度越来越大,北部有的地区缺失峰峰组,如兴县关家崖奥陶系剖面,有的甚至连上马家沟组上部地层也几乎全部被剥蚀。

该区奥陶系地层与上覆中石炭统本溪组为假整合接触,底部与寒武系凤山组深灰色厚层状白云岩为连续沉积。

下奥陶统从下往上可分为冶里组、亮甲山组、下马家沟组、上马家沟组和峰峰组(表1-1)。

1. 冶里组

本区均有分布,为一套浅黄、黄色、浅灰色厚层—中层—薄层状含泥质粉—细晶白云岩夹灰绿色白云质页岩。含燧石条带及团块中细晶泥质白云岩,白云岩具竹叶状结构,竹叶顺层面分布,具氧化圈,与下伏寒武系凤山组深灰色厚层状细至中晶白云岩为连续沉积。厚度一般40—60m。本组产头足类:*Prolocycloceras* sp., *Euesmeroceras* sp., 笔石类:*Dendrograptus* sp., *Dichograptus octobrachiatus*, *Clonograptus* sp., *Dictyonema* sp., *Adelograptus asiaticus* Cal-

lograptus sp. 三叶虫: *Koraipsis shansiensis* Chang, *Asaphellus trinodosus* Chang; 腕足类: *Linguella* sp. *L. aff. manchuriensis* Walcott, *obolus* sp.。

2. 亮甲山组

亮甲山组分布范围同冶里组。为一套灰白、灰色厚层块状含大量燧石团块、条带细至粗晶白云岩夹泥质粉至细晶白云岩、粗晶白云岩。晶间孔,溶蚀孔发育,所含燧石还有稳定的层状。普遍具波状、纹层状、同心纹层状及各种颗粒的残余结构次生交代作用明显,厚度一般 45~80m。本组产:腕足类:*Linguella* sp., *Obolus* sp., 头足类:*Manchuroceras* sp., *Linchengoceras* sp., *Kerkaceras* sp., *Yehlioceras* sp., *Cumberloceras* sp., *Hopeioceras* sp., *Cameroceras*, *Coreanoceras* sp., *Lawenceoceras* sp., 牙形类:*Chosomodina heufurthi* 等。

3. 下马家沟组

马一段:灰黄色、深灰色、黄褐色角砾状白云质泥灰岩、含泥云岩夹膏质云岩,以及薄层泥质白云岩和灰黄褐色薄一中层粗粒白云岩,白云岩中泥裂及鸟眼构造发育。底部普遍见一层灰白、棕、紫色薄层石英砂岩或含砾石英砂岩与亮甲山组分界。砂岩为细粒结构,粒度均匀。砾石常由燧石或下伏白云岩类岩石组成,棱角状一次圆状,钙质、白云质胶结,厚约 15cm 至几十厘米不等,与下伏亮甲山组为假整合接触。该段厚度一般为 20~22m。本段产三叶虫:*Asaphidae* Gen et sp. indet. *Isotelus* sp., *Basiella* sp., 腕足类:*Strophomena* Gen et sp. indet.。

马二段:灰色、青灰色厚层块状泥晶灰岩,夹二薄层灰色泥晶白云岩,石灰岩中具有藻屑、骨屑及团粒结构,本段厚层块状石灰岩有 3 层,在地貌上显示出三厚二薄的风化阶梯明显可见。厚度一般 70~90m,本段产腹足类:*Maclurites* sp., *Ophileta* sp.。

马三段:深灰、灰黑中层状致密石灰岩、白云质灰岩、豹皮状白云质灰岩、白云质泥灰岩、微粒泥晶白云岩、膏质云岩夹含泥云岩、云质泥岩、盐岩、垮塌状角砾岩。本段白云岩普遍含藻,发育断续状纹层构造、鸟眼构造和干裂等沉积标志。本段产三叶虫:*Eoisotellus* sp.。厚度一般 60~120m。

4. 上马家沟组

马四段:深灰、灰色厚层块状豹皮状泥晶灰岩、云质灰岩夹细粉晶云岩,上部夹灰色中薄层状粉晶白云质灰岩及石膏质云岩。石灰岩中含生物碎片,云斑灰岩中的云斑含量约 60% 左右,内有残余的砂屑、骨屑及藻屑,云斑中发育针孔状孔隙,上部白云岩次生交代作用明显,晶间孔和溶孔发育,在柳林一带见高 1.2m,横向延伸十几米的大溶洞。本段产头足类:*Armenoceras* sp., *Orthoceras?* sp. 腹足类:*Bellorophon* sp., *Ecculiomphalus* sp. 厚度一般 180~184m。

(1)马五段:灰色、浅灰色、黑色角砾状结晶灰岩、角砾状白云岩、泥质白云岩、粉晶白云岩、藻泥晶白云岩及层纹石白云岩,含 5%~8% 石膏假晶。孔洞灰岩、含云灰岩、含膏云岩、盐岩、砂屑云岩、凝灰岩、凝灰质白云岩、凝灰质泥岩、白云岩和石灰岩中溶蚀孔洞和裂缝发育,孔洞缝约占 10%~15%,少部分缝洞为方解石充填,大多数缝未充填。厚度 100~134m。马五段根据岩性特征和沉积旋回,自上而下,由新到老又分为十个亚段(表 1-2),各亚段岩性及沉积特征简述如下:

马五₁ 为灰白色、灰色角砾状白云岩和石灰岩,含泥云岩夹白云质泥岩、泥质灰岩夹凝灰岩、凝灰质云岩、凝灰质灰岩;厚度一般 2.8~29.54m。

马五₂ 为浅灰、褐灰色细粉晶白云岩夹云质角砾岩、泥质云岩、砂屑云岩、残余鲕粒云岩,见较多的毫米级条板状石膏假晶,水平裂缝、斜交层面裂缝发育;厚度一般 5~10m。

表 1—1 陕甘宁盆地奥陶系地层对比划分简表

统	西部 (阜子山)		南部 (泾阳、岐山、陇县)		中部		东部 (吕梁山)	
	标准剖面	主要牙形刺属种	标准剖面	主要牙形刺属种	标准剖面	主要牙形刺属种	标准剖面	主要牙形刺属种
上统				<i>Spallugonothodus dubovici</i> <i>Shuansignathus baiguoshanensis</i> <i>Pseudobolodina dispensa</i>				
			普麟山组					
中统	蛇山组	<i>Protopanderodus insculptus</i>		<i>Protopanderodus insculptus</i>				
	公乌索组	<i>Protopanderodus liripipus</i>	龙门群组					
	拉什什组	<i>Pygodus anserinus</i>		<i>Pygodus anserinus</i>				
	乌拉力克组	<i>Pygodus serrus</i>	平原组	<i>Pygodus serrus</i>				
下统	克里摩里组	<i>Polonodus. Microvelodus</i> <i>Belodina. Eoplacognathus</i> <i>Panderodus</i>	峰峰组	<i>Erimodus typus. Microvelodus</i> <i>Panderodus. Belodina</i>	马六段		峰峰组	<i>Panderodus. Erimodus typus. Microvelodus. Panderodus. Belodina</i>
	阜子山组	<i>Juanognathus thus zhaozishanensis</i> <i>Amorophagus thus variabilis</i> <i>Parotodus originalis</i>	上马家沟组	<i>Juanognathus thus zhaozishanensis</i> <i>Aurilobodus aurilobus</i> <i>Plectodina onychodonta</i>	马五段 马四段		上马家沟组	<i>Juanognathus zhaozishanensis</i> <i>Aurilobodus aurilobus</i> <i>Plectodina onychodonta</i>
统	三道林组	<i>Rhipidognathus thus magdalenis</i> <i>Scelopodus flexilis S. mogamii</i> <i>Rhipidognathus thus laiuensis</i>	下马家沟组	<i>Urhidognathus magdalenis</i> <i>Tangshanodus tangshanensis</i> <i>Scelopodus flexilis S. mogamii</i> <i>Rhipidognathus laiuensis</i>	马三段 马二段 马一段		下马家沟组	<i>Rhipidognathus magdalenis</i> <i>Tangshanodus tangshanensis</i> <i>Scelopodus flexilis S. mogamii</i> <i>Rhipidognathus laiuensis</i>
系			亮甲山组	<i>Paracerasognathus</i> <i>palladiiformis</i>			亮甲山组	<i>Paracerasognathus palladiiformis</i>
			神里组	<i>Chuanodina herfurthi</i> <i>Teridomus gracilis</i>			神里组	<i>Chuanodina herfurthi</i> <i>Teridomus efraclis</i>

注：长庆石油勘探局 1987 年地层会设意见。

马五₃ 为深灰色、灰黑色泥质白云岩、云质泥岩、泥质角砾岩、纹层状云岩及藻层泥岩；厚度一般 18~26m。

马五₄ 为浅灰色细粉晶白云岩、含泥云岩、角砾状云岩、膏质云岩，上部有 1m 左右的绿灰色、浅棕色凝灰岩；厚度一般 23~30m。

表 1-2 陕甘宁盆地奥陶系马五段风化壳小层划分方案

统	组	段	亚段	小层	标志层	气层号	气层组	古生物(牙形刺)
下奥陶统	马家沟组	马五段	马五 ₁	马五 ₁ ¹		1	上部气层组	<i>Juanogathus</i> sp. , <i>Scandodus rectus</i> Lindstrom
				马五 ₁ ²		2		
				马五 ₁ ³		3		
				马五 ₁ ⁴	K ₁	4		
			马五 ₂	马五 ₂ ¹		5	中部气层组	
				马五 ₂ ²	K ₂	6		
			马五 ₃	马五 ₃ ¹		7		
				马五 ₃ ²				
				马五 ₃ ³		8		
			马五 ₄	马五 ₄ ¹	K ₃	9	下部气层组	
				马五 ₄ ²		10		
				马五 ₄ ³				
			马五 ₅	马五 ₅ ¹				<i>Drepanodus arcuatus</i>
				马五 ₅ ²				<i>Furnish Acontiodus Viriosus</i> <i>us</i>
			马五 ₆					
			马五 ₇					
			马五 ₈					
			马五 ₉					
			马五 ₁₀					

马五₅ 为灰黑色泥晶灰岩。石灰岩质纯单一，上部 6m 处夹 0.1m 左右黑色泥岩；厚度一般 22~27m。

马五₆ 为白色盐岩，厚度一般 110~170m。

马五₇ 为浅灰灰质云岩，厚度一般 28m。

马五₈ 为白色盐岩，厚度一般 20m。

马五₉ 浅灰色白云岩，厚度一般 26m。

马五₁₀ 为白色盐岩，厚度一般 11m。

(2) 马六段：(相当于盆地西部的克里摩里组和华北地台的峰峰组)，由一套灰、深灰色厚层块状泥晶石灰岩组成，该段许多地区均遭剥蚀，关家崖地区也未保存，其它地区残存厚度不一，一般厚度在 20m 左右。产牙形刺 *Erismodus typus*; *Microcoelodus* sp. 马六段(或马五段)不整合于中石炭本溪组之下。

二、马五₁ 亚段地层特征

1. 兴县关家崖马五₁ 亚段实测地层剖面描述

兴县关家崖马五₁ 亚段地层特征如图 1-4 所示，图 1-4 是建立在实测剖面的基础上，现描述如下：

上覆地层：中石炭统本溪组为红褐色铁质岩，向上为浅灰色致密状铝土岩和高岭岩。

——平行不整合——

马五₁ 亚段地层厚 29.55m。

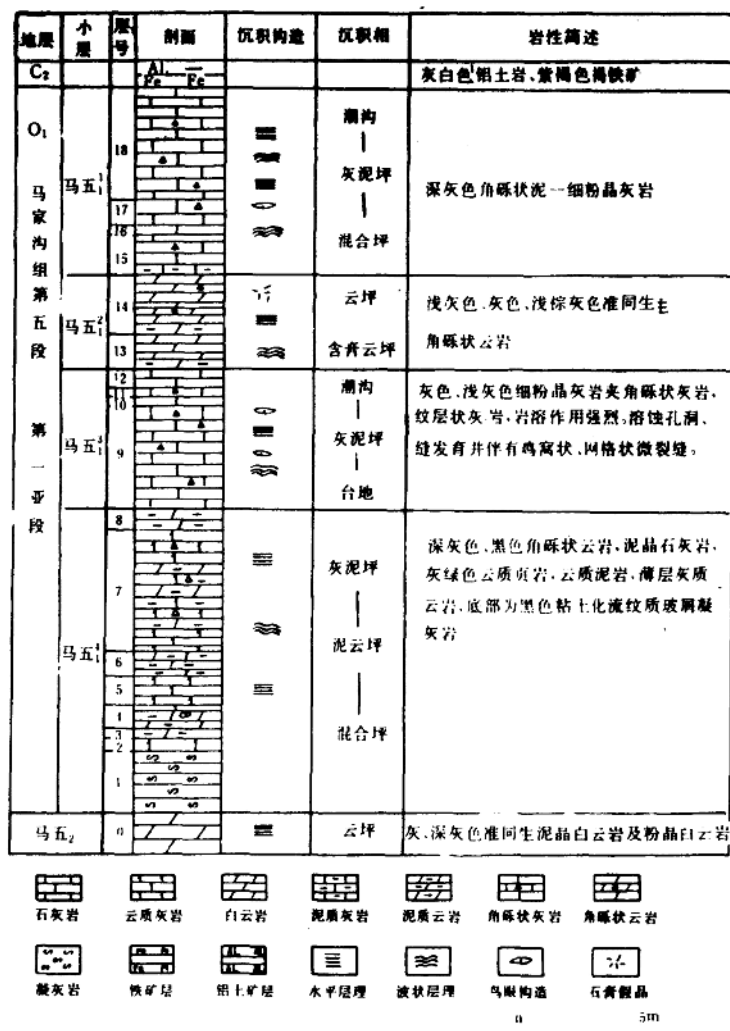


图 1-4 兴县关家崖马五₁ 地层剖面柱状图

- ①浅灰色块状角砾状泥—细晶灰岩夹褐色斑块,偶见流纹质玻屑凝灰岩角砾;凝灰岩角砾明显具粘土化,具鸟眼构造,风化裂缝、溶孔、溶洞发育,有黄铁矿及铝土质、泥质等充填,厚 4.8m。
- ②浅灰色夹紫灰斑块中层泥—细晶灰岩,偶夹泥—细晶云岩角砾,水平纹层、风化裂缝、溶孔、溶洞发育,厚 1.05m。
- ③褐灰色夹紫红斑块薄层泥晶灰岩,偶夹泥晶云岩角砾,水平层理、溶蚀孔、洞、缝发育,有黄铁矿、铝土质、泥质充填,厚 0.45m。
- ④紫灰色厚层角砾状泥晶灰岩,水平层理发育,底部为 0.10~0.20m 厚的绿灰色薄层泥—细晶泥质灰岩,厚 0.85m。
- ⑤褐灰色—浅灰色薄层细—粉晶白云岩与灰色、棕黄色厚层块状角砾状泥晶白云岩、纹层状云岩互层,水平层理发育,具有大量的毫米级板状石膏假晶、鸟眼构造、干裂、纹层构造、溶蚀孔洞及针孔都很发育,底部为 15~20cm 厚的深灰色云质泥岩,厚 2.2m。
- ⑥浅褐色薄层—中层泥—细晶白云岩,底部为 20~30cm 厚的深灰色云质泥岩,厚 1.8m。
- ⑦褐灰色厚层泥晶灰岩,厚 10.55m。
- ⑧褐灰色薄层粉—泥晶泥质灰岩,水平层理发育,厚 0.35m。
- ⑨浅褐色中层角砾状细晶灰岩,厚 0.5m。
- ⑩浅灰、褐灰色块状角砾状泥晶灰岩、纹层状云岩,有硅化现象,纹层发育,岩溶作用强烈,具水平层理、泥裂。孔洞、裂缝十分发育,连通性好,常构成网状裂缝,厚 4.55m。
- ⑪灰褐色中—薄层泥晶含灰含泥云岩,厚 0.8m。
- ⑫褐灰色、深灰色角砾状含泥质云质灰岩与薄层(<0.15m)泥—细晶泥质云岩,或云质泥岩互层,夹泥晶云岩透镜体,云岩中含砾屑,水平层理纹层发育,厚 5.2m。
- ⑬灰褐色薄层云质含泥质云质灰岩,夹泥—细晶泥质云岩及泥晶硅质云岩,由下往上颜色变浅,泥质含量减少,水平层理发育,白云岩中见扁平砾石,厚 1.05m。
- ⑭黄绿灰色薄层极细—泥晶含泥灰质云岩,水平层理发育,厚 1.20m。
- ⑮浅灰色薄层泥质灰岩,夹极细—泥晶泥质云岩、灰岩透镜体,水平层理发育,厚 0.90m。
- ⑯黄绿色薄层泥质灰岩夹泥质云岩,含泥质云岩、灰岩透镜体,水平层理发育,厚 0.35m。
- ⑰浅灰色中层角砾状细—中晶含云灰岩,偶见粘土化流纹质玻屑凝灰岩岩屑,水平层理、纹层较发育,时见扁平砾石,晶洞发育,其中部分充填巨晶方解石,厚 0.45m。
- ⑱深灰色、灰黑色粘土化玻屑流纹质凝灰岩,易呈鳞片状剥落,夹凝灰质云岩或云岩透镜体,透镜体长 10~200cm 不等,一般厚 10cm 左右,最厚达 20cm,形状极不规则,厚 2.5m。

——连续沉积——

下伏地层:马五₂亚段,为灰黄色中层泥—极细晶白云岩、砂屑云岩,含石膏假晶、鸟眼构造,纹层及坍塌裂缝发育,干裂收缩缝在层面上呈网状分布。

2. 马五₁地层特征及地层划分

马五₁地层在研究区分布比较广,在兴县、离石、柳林、中阳等地均有出露,马五₁地层根据岩性、岩相、沉积旋回、微量元素含量、粘土矿物成分等特征自上而下划分为马五₁¹、马五₁²、马五₁³、马五₁⁴四个小层(图 1-4 和图 1-5)。

1) 按岩性、岩相和沉积旋回特征的划分方案

马五₁¹以深灰、褐灰色角砾状泥—细粉晶灰岩为主,横向上可相变为准同生角砾状白云岩和含灰云岩和含泥灰岩,底部有一薄层(15~20cm)泥质灰岩或灰质泥岩作为该小层的底界。该小层为风化壳的顶部,由于长期风化剥蚀,层面上发育风化裂缝、溶孔、溶洞,有的缝、洞已被方解石、黄铁矿、铝土质及泥质充填。关家崖剖面上第 15 层至第 18 层划分为马五₁¹,现马五₁¹各地均是风化后的残存厚度,各地不一,一般厚度 5~10m。

马五₁²以灰色、浅灰色、浅棕灰色准同生角砾化白云岩为主,次为细粉晶云岩和砂屑云岩,

该小层特点是白云岩风化后呈鳞片状,含有大量的条板状石膏假晶,白云岩具水平层理、干裂、鸟眼构造等沉积特征,溶孔、溶洞、裂缝也十分发育,下部夹两层深灰色云质泥岩薄层,最下部一层泥岩薄层的底部作为马五₁²的底部界线。关家崖剖面上第13层至第14层划为马五₁²。厚度一般4~8m。

马五₁³以灰色、浅灰色细粉晶灰岩夹角砾状灰岩,以及纹层状灰岩为主,偶见石膏假晶,岩溶作用强烈,具鸟眼构造,斑状溶蚀孔洞发育,伴有鸡窝状、网格状、成岩微裂缝。关家崖剖面上第9层至第12层划分为马五₁³。厚度一般3~6m。

马五₁⁴为深灰色、黑色、灰色角砾状白云岩、泥晶灰岩,以及灰绿色云质页岩、角砾状云泥岩、薄层灰质云岩夹凝灰质泥岩、泥灰岩,底部为灰黑色粘土化流纹质玻屑凝灰岩,该段地层成层性差,泥质含量高,凝灰质薄层白云岩与石灰岩间互相穿插,石灰岩、白云岩往往呈透镜状,厚度一般15~20cm。该剖面第1层至第8层为马五₁⁴地层,凝灰岩的底界作为马五₁⁴的底界。该小层厚度一般6~12m。综上所述,马五₁¹以灰岩为主;马五₁²以鳞片状白云岩为主并含有大量条板状石膏假晶;马五₁³以细粉晶灰岩和角砾状灰岩为主;马五₁⁴的岩性比较复杂些,以白云岩、石灰岩为主,但含泥,含凝灰质较重,底部有一层凝灰岩为其特征。因此,马五₁地层岩性四分性明显,把马五₁地层划分为四个小层是合理的。

2) 利用主要元素和微量元素划分地层

充分利用岩石-矿物及地化等资料对马五₁地层进行划分,根据目前生产中使用最多反映最为敏感的元素,选取Zr、Zn、V、Tn、Ti、Se、P、Ni、Mn、La、Ce、Cu、Cr、Co、Ba、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、Na₂O、K₂O、Li、Sr、Fe⁺⁺、H₂O⁺、U、B灼失等进行含量对比。分析结果表明,不同的小层反映的元素含量值的曲线形态不一样,也就是反映了岩石化学成分上的变化,从图1-6看出,元素迁移集散所反映的含量变化与马五₁碳酸盐岩的泥质含量密切相关,这是由于泥质中的有机质与粘土矿物对微量元素具有较强的吸附作用,容易使元素再迁移,向泥质集中富集。因此在地层剖面中,随着泥质含量的变化,不同小层地层的元素值及元素组合值是不一样的。因此可根据元素含量值的不同,划分出不同的小层。从图1-6可看出,大多数元素的变化规律都十分相似,如元素锆(Zr),顶部一段曲线值稳定在37.8ppm,而后上升到75.3ppm,然后曲线下降,曲线的特点平直,有一个尖峰,这层为马五₁¹。下一段曲线值稳定在27.4ppm,曲线平直且有下降趋势,这一小层划为马五₁²。再下段曲线值上升到62.7ppm,而后下降,又上升,该段划为马五₁³。再下一段曲线值含量最高达107ppm,最小为19.2ppm,一般为56.2ppm,含量值差别比较大,曲线为锯齿状,因为该段岩性变化比较频繁,泥质含量不一,曲线来回波动,该段划为马五₁⁴。

再看元素磷(P)的曲线形态,马五₁¹小层顶部曲线,磷的含量值一般在131ppm,最高达527ppm,然后下降,曲线有个尖峰的特点。往下曲线为马五₁²小层,曲线磷的含量值稳定在80.8~57.5ppm值之间,曲线变化幅度不大,比较平稳。再往下曲线为马五₁³小层,曲线磷的含量为96.5~74.1ppm,最大含量值452ppm,曲线有个尖峰;往下曲线为马五₁⁴,磷含量值的变化范围为396~110ppm,曲线形态呈锯齿状。

再看氧化镁(MgO)曲线,顶部一段曲线值稳定在0.95%~1.25%之间,到下部开始上升,这一段曲线为马五₁¹小层。下一段曲线MgO含量值从14.1%下降到3.64%,该段划为马五₁²。再往下MgO曲线含量值稳定在1.64%~1.62%之间,该段划为马五₁³小层。往下曲线回升,差别比较大,为8.68~12.3%,曲线呈锯齿状,该段划为马五₁⁴小层。

其它小层微量元素在纵向上同样有这些曲线形态特征,可以划分出明显的四个小层,这几

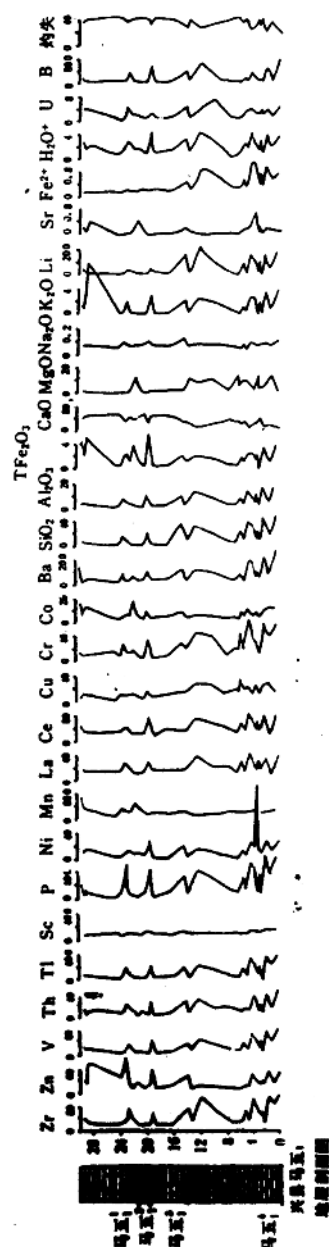


图 1-6 山西兴县关家崖陶系古风化壳马五、露头碳酸盐岩化学成分剖面