

Sedimentary Reservoir and Natural Gas Enrichment Law on
Upper Palaeozoic in Southeastern of Ordos Basin

鄂尔多斯盆地东南部上古生界 沉积储层与天然气富集规律

王香增 王念喜 于兴河 高胜利/著



科学出版社

鄂尔多斯盆地东南部上古生界
沉积储层与天然气富集规律

**Sedimentary Reservoir and Natural Gas Enrichment Law on Upper
Palaeozoic in Southeastern of Ordos Basin**

王香增 王念喜 于兴河 高胜利 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以储层沉积学、石油地质学、测井地质学、层序地层学等油气地质理论为指导,针对鄂尔多斯盆地“南油北气”分布格局的传统认识,综合运用露头、测井、岩心及大量分析化验等资料,对盆地东南部上古生界主力产层的沉积-储层-成藏进行了全面系统介绍,阐明了海陆变迁背景下层序格架内多物源供给储集砂体的宏观展布规律与微观储集特征,理清了控制储层成岩与孔隙演化的主控因素,明晰了上古生界天然气的成藏特征与富集规律。明确提出“盆地东南部发育的海陆交互相障壁砂坝与三角洲前缘低位前积楔为有利储集相带,频繁水进水退是形成优质储层主因”的新观点;证实天然气富集是构造-沉积-成岩多因素耦合作用的结果,创新性地建立了“成熟烃源灶迁移”的成藏模式;有力地指导了盆地东南部上古生界天然气勘探实践,在传统认识的“贫气区”发现了延安大气田,实现了天然气地质理论认识的重大突破。研究成果与认识对鄂尔多斯盆地及其他类似气藏的勘探与研究有着重要的指导意义。

本书可供从事沉积学研究的科技人员、石油院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地东南部上古生界沉积储层与天然气富集规律 = Sedimentary Reservoir and Natural Gas Enrichment Law on Upper Palaeozoic in Southeastern of Ordos Basin / 王香增等著. —北京: 科学出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-03-052018-0

I. ①鄂… II. ①王… III. ①鄂尔多斯盆地-晚古生代-沉积-储集层-研究 ②鄂尔多斯盆地-晚古生代-天然气-油气聚集-研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 047132 号

责任编辑: 刘翠娜 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 无极书装

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本: 880 × 1230 1/16

2017 年 6 月第一次印刷 印张: 16

字数: 520 000

定价: 268.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



前言

鄂尔多斯盆地是我国内陆大型沉积盆地及重要的能源基地，拥有丰富的石油、天然气、煤炭和铀矿等资源，不仅是我国能源矿种最全的大型沉积盆地，而且是我国最早发现油气的沉积盆地之一。1905 年我国陆上第一口油井——“延一井”在陕西省延长县境内完成钻探，产原油 0.2~1.25t/d，结束了中国陆上不产石油的历史。1985 年，合参井于石盒子组底部获产气 $2.01 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，拉开了盆地上古生界天然气的勘探序幕。特别是“九五”以来，中石油和中石化陆续在盆地北部（北纬 38 度以北）上古生界发现了苏里格、榆林、大牛地、乌审旗等多个探明储量超 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型气田，使其成为我国天然气增储上产的重点领域；而盆地南部天然气勘探进展缓慢，与北部如火如荼的勘探形势形成了鲜明的对比，其重点产层仍然是以产油为主的三叠系延长组，从而形成了“南油北气”分布格局的认识，进一步制约了盆地东南部的天然气勘探进程，严重制约了该区天然气资源的有效利用。自“西气东输”战略确定以来，面对盆地东南部天然气勘探程度低、地质理论和技术体系缺乏的现状，延长石油集团积极地开展了沉积 - 储层 - 成藏地质理论研究，并在盆地东南部上古生界多个层段取得了天然气勘探的重大突破；打破了长期以来盆地油气分布的格局。截止到 2015 年年底，盆地东南部上古生界探明天然气地质储量超过 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，在传统认识的“贫气区”发现了延安大气田，实现了天然气地质理论认识和工艺技术的重大突破，证明鄂尔多斯盆地东南部上古生界具有广阔的天然气勘探开发前景。本书便是这一阶段研究的认识与总结。

本书基于露头、岩心、测井等各类资料，厘定了层序地层划分与对比方案，构建了盆地东南部上古生界主力产层（本溪组一下石盒子组）高精度层序地层格架；并根据不同时期的沉积特点，建立了障壁砂坝、曲流河三角洲、辫状河三角洲等三大沉积体系八种垂向沉积序列，理清了上古生界海陆变迁与潮坪 - 碳酸盐台地 - 三角洲的空间响应关系；明确提出“盆地东南部发育的海陆交互相障壁砂坝与三角洲前缘低位前积楔为有利储集相带，频繁水进水退是形成优质储层主因”的新观点。依据岩石薄片、扫描电镜、阴极发光等多种分析化验资料，对上古生界致密砂岩储层的孔隙结构、成岩作用及其演化特征进行了研究与探讨；运用灰色关联与层次分析法，采用孔隙度、渗透率、有效砂厚等多种参数，对重点含气层段的储层进行了定量评价。结合多种资料，以气藏精细解剖为基础，总结了上古生界富气规律，证实天然气富集是构造 - 沉积 - 成岩多因素耦合作用的结果，广覆式烃源岩、稳定构造背景、多期砂体叠置、溶蚀作用改造及裂缝的形成，是天然气富集的关键因素。通过流体包裹体、盆地埋藏史、沉积充填史等的研究，明确了盆地东南部上古生界成藏特征，创新性地建立了成熟烃源灶迁移控制成藏模式。总之，本书系统阐述了鄂尔多斯盆地东南部上古生界沉积、储层、成藏等方面的研究成果，对鄂尔多斯盆地及其他类似气藏的勘探与研究有重要的指导意义。

本书由陕西延长石油（集团）有限责任公司和中国地质大学（北京）共同编纂，历时 2 年，投入了大量的人力物力，完成了大量实际工作。本书共 8 章，王香增、王念喜、于兴河、高胜利提出了编纂的技术思路与基本要求，制定编著大纲、分工起草框架，并最终负责全书的统稿与审定。协助本书编写工作的有：延长石油（集团）研究院的乔向阳（第八章第四节）、韩小琴（第二章第二节）、周进松（第六章第二节）、曹红霞（第三章第四节）、漆万珍（第六章第一节）、罗腾跃（第七章第三节）、王若谷（第四章第五节）、杜永慧（第三章第六节），于兴河教授的 4 名博士生刘蓓蓓（第八章第三节）、单新（第二章第六节）、胡鹏（第五章第三节）、高阳，6 名硕士生苗亚男（第五章第二节）、蒋瑞刚（第五章第四节）、苏东旭、王娇（第七章第二节）、李亚龙（第七章第三节）、史新（第七章第二节），此外还有多位科研人员自愿参与其中，由于篇幅所限，不能一一列出。本书编写过程中，得到了陕西延长石油（集团）

有限责任公司领导的大力支持与帮助。延安大气田的发现、探明及开发，也是多年奋战在鄂尔多斯盆地东南部油气勘探一线各位同仁的心血与智慧，在此笔者一并表示感谢。

特别值得一提的是参加本书编写的全体人员的家属，在本书漫长而繁忙的编写和修改过程中，表现出极大的耐心、热情及全身心的支持，在此由衷地表示感谢！

由于笔者掌握资料有限，遗漏和不足在所难免，敬请各位同行批评指正。

目 录

前言

第一章 鄂尔多斯盆地东南部上古生界基本地质特征..... 1

 第一节 区域大地构造演化与盆地构造单元 1

 第二节 地层划分由来与分布 5

 第三节 盆地天然气勘探开发历程 13

第二章 层序地层格架的建立..... 17

 第一节 层序地层学由来及其基本原理概况 17

 第二节 盆地东南部石炭系—二叠系层序界面特征及其识别标志 26

 第三节 含气层段层序划分方案 35

 第四节 层序地层格架及其展布特征 37

 第五节 三级层序的砂体展布特征 49

 第六节 层序充填模式 55

第三章 物源体系分析..... 57

 第一节 物源体系分析方法概述 57

 第二节 地质背景分析 59

 第三节 岩矿组分及其分布 63

 第四节 地球化学指标及其特征 71

 第五节 物源分布与演化 77

第四章 层序单元的沉积体系展布与演化..... 80

 第一节 沉积体系概念与研究方法 80

 第二节 沉积相标志 82

 第三节 沉积体系划分 96

 第四节 三级层序沉积体系展布特征 101

 第五节 沉积演化模式 105

第五章 储层特征与成岩演化..... 109

 第一节 储层岩石学特征 109

 第二节 储层微观特征和物性特征 112

 第三节 成岩作用及其演化序列 125

 第四节 储层质量控制因素分析 138

第六章 储层四性关系与非均质特征..... 142

 第一节 储层“四性”关系与气层识别 142

 第二节 储层非均质性 160

第七章 生储盖组合及其综合定量评价..... 165

 第一节 生储盖组合特征 165

 第二节 储层定量评价与预测 169

 第三节 盖层特征与评价 184

第八章 天然气成藏特征与富集规律..... 209

 第一节 气藏特征 209

 第二节 烃源岩类型、分布及生烃潜力 216

 第三节 天然气运聚特征与动力 220

 第四节 成藏期次与成藏模式 224

 第五节 天然气富集规律 231

参考文献..... 241

第一章 鄂尔多斯盆地东南部上古生界基本地质特征

鄂尔多斯盆地是我国四种能源集聚的特大型沉积盆地之一,拥有丰富的石油、天然气、煤炭及铀矿资源,其油气总资源量仅次于渤海湾与松辽盆地,天然气资源量可达 $15.16 \times 10^{12} \text{m}^3$ (国土资源部油气资源战略研究中心, 2010),是我国重要的能源基地。鄂尔多斯盆地关于油气的记载,可追溯到公元前。西汉末年,史书记载就有“高奴出脂水”之说;东汉班固《汉书·地理志》:“高奴有洧水可燃”。1907年在延长县我国第一口石油发现井的上三叠统延长组油层中获得原油 0.2~1.25t/d。新中国成立之后,鄂尔多斯盆地大范围石油勘探开始于 1954 年,同时燃料工业部石油管理总局成立陕北地质大队进入盆地。1985 年对盆地上古生界开展普查勘探,当年于鄂托克前旗大庙乡白土井钻探的合参井在石盒子组底部获天然气流 $2.01 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$; 1986 年石油部于天池构造天 1 井获天然气产量 $13.6 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,实现下古生界首次重大突破,自此正式拉开了鄂尔多斯盆地古生界油气勘探的序幕。

“八五”、“九五”期间加大天然气勘探技术攻关,于 1996 年在榆林的陕 141 井获高产气流,产天然气 $76 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。随后中国石油天然气集团公司(以下简称中石油)和中国石油化工集团公司(以下简称中石化)分别陆续在盆地北部上古生界发现了榆林、苏里格、乌审旗、大牛地等多个探明储量超 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的大型气田,截至 2012 年,仅苏里格气田探明、基本探明天然气储量就达到 $2.85 \times 10^{12} \text{m}^3$ (杨华等, 2012),盆地北部(北纬 38 度以北)成为国内天然气储量及产量增长的重点区域。截至 20 世纪末,与北部相比,盆地南部勘探对象不明,勘探程度低,地质结构认识不清,相应地质理论和勘探开发技术缺乏,天然气勘探进展缓慢,因而形成了“南油北气”的固有认识,严重制约了该区天然气勘探开发进程(杨伟利等, 2009)。自“十一五”以来,延长石油集团总结前人认识,强化地质研究,转变勘探观念,在明确基本地质结构认识的基础上,大胆探索并实施钻探,于该区上古生界多个层段取得重大突破,表明鄂尔多斯盆地东南部上古生界具有广阔的天然气勘探前景(王香增, 2014; 周进松等, 2014)。

第一节 区域大地构造演化与盆地构造单元

华北地台系指阴山以南、秦岭—大别山以北、郯庐断裂以西、吕梁山以东的广大地区(徐辉, 1987)。鄂尔多斯盆地属于华北地台的西部,西邻阿拉善地块,北起阴山、大青山,南抵秦岭,西至贺兰山、六盘山,东达吕梁山、太行山,横跨山西、陕西、甘肃、宁夏和内蒙古等省(自治区),位于北纬 $34^\circ 00' \sim 41^\circ 20'$ 、东经 $105^\circ 30' \sim 110^\circ 30'$,总面积约 $37 \times 10^4 \text{km}^2$ 。除周边河套盆地、六盘山盆地、渭河盆地、银川盆地等外围盆地外,盆地面积 $25 \times 10^4 \text{km}^2$,是我国第二大沉积盆地。盆地具有地域面积大、资源分布广、能源种类齐全、储量规模大等特点(杨华等, 2012),而鄂尔多斯盆地东南部正是此盆地的陕西省区域。

一、区域地质背景

(一) 区域大地构造特征

鄂尔多斯盆地位于华北克拉通中西部,隶属于华北克拉通的次一级构造单元,具有太古界及古元古界变质结晶基底,其上覆以中新元古界、古生界、中新生界沉积盖层(陕西地质矿产局, 1989),是一个整体稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显的多旋回克拉通盆地。盆地轮廓近矩形,总体构造面貌为南北走向、呈东缓西陡的不对称箕状向斜(黄方等, 2015)。

(二) 鄂尔多斯盆地特征

1. 地质概况

鄂尔多斯盆地隶属于华北地台的一部分,自中新元古代起开始形成克拉通拗陷(刘昊伟, 2007; 贺

晓，2009)。盆地基底为太古代、古元古代变质岩结晶基底，岩类众多，其沉积盖层时代较全，除缺失志留系—泥盆系外，自寒武系至古近系均有沉积，具有典型的双层结构（杨俊杰，2001）。鄂尔多斯盆地整体为一个古生代地台与台缘拗陷及中生代台内拗陷叠合的多构造体系、多旋回演化、多沉积类型的大型克拉通沉积盆地。

2. 地理地貌概况

从地貌特征来看，鄂尔多斯盆地周边分布着一系列海拔 2000m 左右的山脉。盆地内部海拔为 800~1400m；以长城为界，北部为干旱沙漠、草原区，著名的有毛乌素沙漠和库布齐沙漠等；向南为半干旱的黄土高原区，黄土广布，地形复杂，给地球物理勘探造成了巨大的困难。盆地外围邻近三大冲积平原，西接银川平原，南邻渭河平原，向北为河套平原，地形平坦，交通便利（于香妮，2004）（图 1-1）。

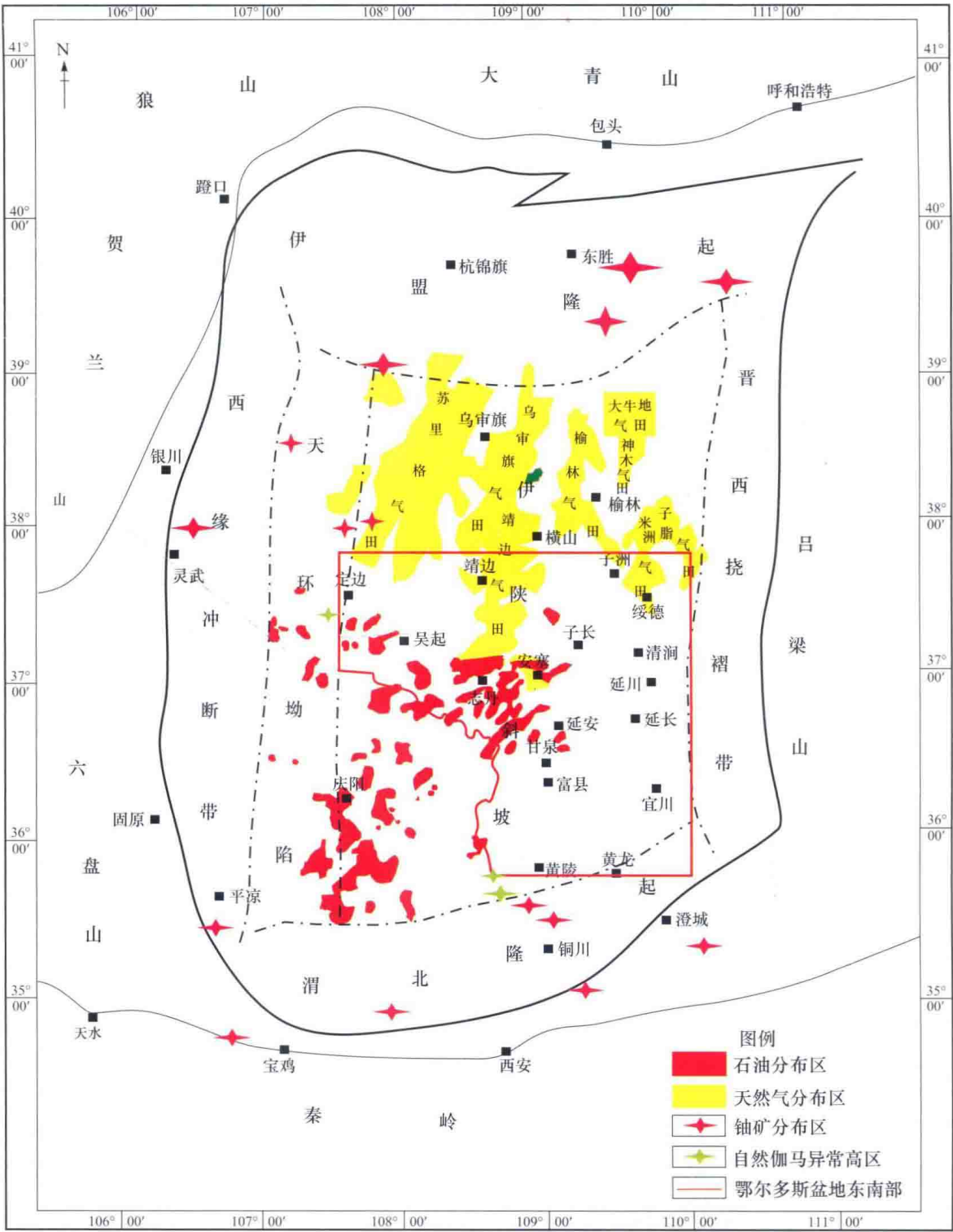


图 1-1 鄂尔多斯盆地构造划分及研究区位置图（柳益群，2009）

盆地东南部北至绥德、西抵志丹、南达洛川、东部以黄河为界，整体位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东

南部(图 1-1), 面积为 $6.2 \times 10^4 \text{km}^2$ 。属温带半干旱大陆性季风气候, 春季多风, 夏季干旱, 秋季阴雨, 冬季严寒且风沙频繁。鄂尔多斯盆地东南部地处黄土塬区东部, 地表黄土塬长期受风雨侵蚀、冲刷、切割, 形成了独特的塬、梁、峁、坡、沟交错出现的地貌, 地表沟壑纵横、起伏剧烈。

二、区域大地构造演化

华北板块经吕梁运动固结后, 从中元古代开始在鄂尔多斯周缘形成裂谷、拗拉槽及裂陷槽, 主要有贺兰拗拉槽、豫晋拗拉槽及渣尔泰裂陷槽, 随着沉积盖层发育(刘和甫等, 2000), 鄂尔多斯盆地克拉通旋回与周缘造山旋回同步进行(图 1-2):

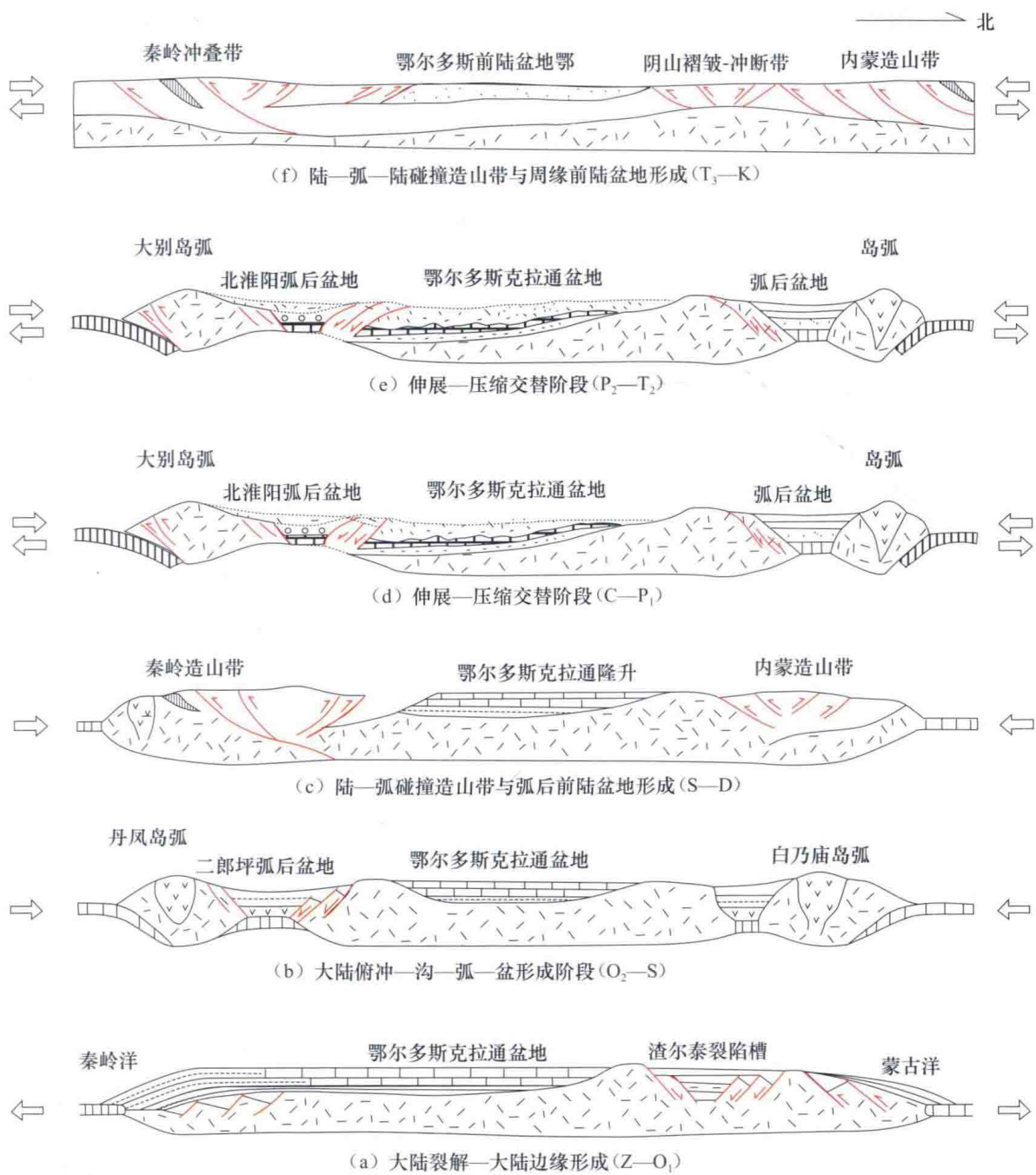


图 1-2 鄂尔多斯盆地及南北缘造山带演化(据刘和甫等, 2000, 有修改)

鄂尔多斯盆地为华北板块内克拉通盆地与前陆盆地叠合的盆地, 周缘被造山带和地堑系所环绕(孙肇才和谢秋元, 1980), 南缘为秦岭造山带与渭河地堑, 北缘的阴山褶皱冲断带与河套地堑, 西缘为贺兰褶皱冲断带与银川地堑及东缘的太行山与汾河地堑共同构成稳定地块与活动构造所环绕的格架。

(一) 中—新元古代 (Pt₂₋₃)

中元古代早期, 原始古中国大陆发生裂解, 为秦祁贺三叉裂谷(拗拉谷)系发育阶段(Pt₂₋₃)。在鄂尔多斯地区经过古元古代进一步固结形成的刚性地块上, 从中、新元古代起开始发育克拉通拗陷(刘昊伟,

2007)。受吕梁运动的影响,中元古代开始以宁夏中宁—同心一带为中心的三叉裂谷系,西南支为祁连裂谷,东南支为秦岭裂谷,东北支为贺兰裂谷,又称“秦祁贺三叉裂谷系”。随后秦岭裂谷及祁连裂谷进一步发育形成秦祁洋盆,贺兰裂谷夭折形成拗拉槽。

(二) 震旦纪—古生代 (Z—Pz)

1. 震旦纪—早奥陶世 (Z—O₁)

鄂尔多斯早古生代克拉通盆地及贺兰拗拉槽发育阶段 (Z—O₁)。从新元古代开始,中朝陆块从原中国陆块中分立出来而开始其自身演化。加里东运动时期,形成贺兰拗拉槽。其向北北东方向收敛,向西南与祁连海槽相通。贺兰拗拉槽形成初期,是华北西部陆缘拗陷的一部分,厚度大于华北陆块内克拉通拗陷同时期沉积厚度。华北克拉通裂解与沉降,鄂尔多斯地块发展形成早古生代克拉通内盆地,以碳酸盐台地沉积层序发育为主要特征。其南部为秦岭洋,北部发育渣尔泰裂陷槽和蒙古洋。

2. 中奥陶世—志留纪 (O₂—S)

大洋俯冲—鄂尔多斯早古生代克拉通盆地隆升及沟弧盆系形成阶段 (O₂—S₃)。海西运动时期,鄂尔多斯盆地南缘出现秦岭洋向北俯冲,华北板块南缘被动大陆边缘随之转化为活动大陆边缘,相应出现岛弧火山沉积岩系(丹凤群)与弧后盆地火山碎屑碳酸盐岩系(二郎坪群)。同样在鄂尔多斯北缘蒙古洋向南俯冲,在华北板块北缘形成活动大陆边缘,出现白乃庙岛弧带和弧后盆地沉积复理石(徐尼乌苏组)。

3. 志留纪—泥盆纪 (S—D)

华北陆块边缘处于活动大陆边缘环境,大陆碰撞—鄂尔多斯克拉通上升及南缘弧后前陆盆地形成阶段 (S—D)。早志留世开始残留洋盆消减,受海西运动的影响,大洋俯冲转化为陆弧碰撞,南部为秦岭造山带,北部为内蒙造山带,并形成志留—泥盆纪弧后前陆盆地。碰撞的效应不仅使包括鄂尔多斯台地和贺兰拗拉槽在内的华北陆块整体隆升、陆表海消失,同时还在华北陆块南北缘形成了加里东褶皱带,并与陆块拼接,使陆块向两侧增生改变了早古生代的构造和古地理格局,并深刻影响了晚古生代地理和构造的演化。

4. 石炭纪—二叠纪 (C—P)

晚古生代,华北陆块北缘地带总体处于挤压构造状态,华北晚古生代克拉通盆地海进及转化为内陆盆地阶段 (C—P)。石炭纪开始秦祁造山带逐渐被夷平,华北克拉通与柴达木地块拼合,广泛发育浅海陆架沉积,早期以碎屑型滨岸—潮坪相为主,后期随着障壁的消失,出现碳酸盐岩台地。早石炭世仅在秦祁残留海槽及贺兰再生拗拉槽内发育,海水从祁连向贺兰地区推进,晚石炭世开始向鄂尔多斯克拉通盆地超覆。二叠纪早期海进达到高峰,晚期开始海水向西南撤退,鄂尔多斯西缘及河西走廊地区已变为稳定的克拉通内陆相沉积,鄂尔多斯盆地转化为内陆盆地。

总体来说,鄂尔多斯盆地在晚加里东运动后期,由于秦祁海槽关闭,上升为陆地,并与华北地块连成一片,使区内经历了长达1.3亿~1.5亿年之久的风化剥蚀,至海西旋回中期,秦岭、祁连海槽和中亚—蒙古海槽再度拉开,包括研究区在内的整个鄂尔多斯盆地发生区域沉降,进入了海相沉积阶段。由于海西运动的影响,盆地西缘自早石炭世开始接受沉积,而东缘直至晚石炭世早期才开始接受沉积,并在早二叠世,东部海水从东—东南方侵入并越过中央古隆起与西部海域联合,形成统一陆表海。在历经本溪期、太原期沉积之后,到海西旋回末期,秦岭、祁连海槽再次对挤、挟击,海水被迫逐渐退出了鄂尔多斯盆地。

(三) 中生代 (Mz)

陆—弧—陆碰撞造山作用与周缘前陆盆地形成阶段 (T₃—K),印支运动开始秦岭造山活动,伴随前陆盆地沉降,形成前陆盆地与克拉通盆地的叠合,但南缘前陆盆地为新生代渭河地堑所分割,仅在其西部六盘山一带形成发育在冲断层之上的背驮式前陆盆地。同时在鄂尔多斯西缘贺兰拗拉槽强烈反转形成贺兰山,并在其东侧形成侏罗纪—白垩纪沉降中心,鄂尔多斯北缘大青山地区出现侏罗纪前陆盆地,晚侏罗世开始形成薄皮褶皱冲断带。

(四) 新生代 (R—Q)

造山带伸展与裂陷盆地形成 (R—Q),新生代造山带发生伸展作用,根据银川地堑钻井资料揭示,在新近纪和古近纪沉积之下为奥陶系灰岩,说明银川地堑是在褶皱冲断隆起带上伸展塌陷而成。同样在鄂尔多斯南缘秦岭—大别山造山带则由印支—燕山期叠瓦冲断造山作用转化为后期伸展造山作用,喜山期形成南缘渭河地堑系及东缘汾河地堑系。北缘阴山褶皱冲断带前缘裂陷,形成河套地堑系。

三、鄂尔多斯盆地构造单元划分

根据现今构造形态、盆地演化史、构造发展史和构造特征,将鄂尔多斯盆地划分为伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、伊陕斜坡、天环拗陷、西缘冲断带共六个二级构造单元(图 1-1)。

1. 伊盟隆起

伊盟隆起位于鄂尔多斯盆地的最北部,包括伊金霍洛以南地区,面积 $4.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ (王明健等, 2011)。自古生代以来一直处于相对隆起状态,隆起顶部是东西向的乌兰格尔凸起,各时代地层均向隆起方向变薄或尖灭缺失,与新生代河套断陷盆地相邻。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。隆起区内可见一些短轴背斜及鼻状构造,并发育近东西向的正断层及北东向、北西向的挠曲。局部构造、断层与挠曲走向平行,具伴生关系。

2. 渭北隆起

渭北隆起是指老龙山断裂以北、建庄—马栏以南,陇县至铜川、韩城的弧形地区,面积约 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ (任战利等, 2014)。中新元古代到早古生代为一向南倾斜的斜坡,至中石炭世东西两侧相对下沉,至中生代形成隆起,为盆地的南部边缘;西侧沉积了羊虎沟组,东侧沉积了本溪组。新生代鄂尔多斯盆地边部解体,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。隆起区内断层发育,逆断层居多,局部构造成排成带,地面构造多为长轴背斜。

3. 晋西挠褶带

古、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。挠褶带东隔离石断裂与吕梁断隆相接,西越黄河与伊陕斜坡为邻,北抵偏关,南达吉县,南北长 450km,东西宽 50km,面积 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。中新元古代—古生代相对隆起,仅在中晚寒武世、早奥陶世、中晚石炭世及早二叠世沉积 100~200m 地层,中生代晚侏罗世抬升,为陕北区域西倾大单斜的组成部分,后期强烈剥蚀使之成为现今鄂尔多斯盆地的东部边缘,因此该地区的沉积盖层较薄。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,断层走向和背斜走向变化较大。

4. 伊陕斜坡

在晚侏罗世初显雏形,主要形成于早白垩世之后,整体为一向西倾斜的平缓单斜,平均坡降 10m/km,倾角不到 1° 。该斜坡占据着盆地中部的广大范围,以发育鼻状构造为主。

5. 天环拗陷

天环拗陷东接伊陕斜坡,西邻冲断构造带,北达内蒙古千里山东麓,南抵渭北构造带北侧,面积约 $3.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ (赵彦德等, 2011)。天环拗陷可视为西缘掩冲构造带推覆、东迁过程中隆升与拗陷的对立统一体,不同时期天环拗陷的轴部位置也具有一定的迁移性。在古生代表现为西倾斜坡,晚三叠世才开始拗陷,侏罗纪和白垩纪拗陷持续发展,拗陷结构进一步加强,沉降中心向东偏移,沉降带具西翼陡东翼缓的不对称向斜构造。地面发育不对称短轴背斜,方向性明显,南部为北西向,北部为北北东向。高角度正断层发育,倾角 $60^\circ \sim 85^\circ$,断距 5~10m。

6. 西缘冲断带

西缘冲断带系指银川地堑,六盘山以东,天环拗陷以西,北起桌子山,南达平凉的狭长地带,范围 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。早、晚古生代处于现今盆地之西贺兰海的东部,中段和南段为鄂尔多斯地台边缘拗陷,晚古生代为前缘拗陷。三叠纪中晚期及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,形成南北构造特征不同、分区明显的构造变形带,断裂与局部构造发育,成排成带分布。早白垩世以来分化解体,新生代晚期,挤压冲断并抬升明显。总体呈南北向延伸,具有东西分带、南北分块的特征。主断层延伸长、断距大、断面上陡下缓,兼有挤压扭动性质。

第二节 地层划分由来与分布

鄂尔多斯盆地上古生界自下而上发育了石炭系—二叠系的本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组等 6 套地层,总沉积厚度在 900m 左右,其中本溪组、山西组和下石盒子组为鄂

多斯盆地东南部主要的含气层段。

一、地层划分的阶段性

早在 19 世纪 70~80 年代华北地区晚古生代含煤地层就备受关注，众多学者对其进行了大量的调查研究，并开始就煤系地层建立了一些标准的地层剖面，如太原西山石炭系一二叠系剖面，至今已有百余年历史。这些地质学家的研究成果和专著（图 1-3）至今仍有重要参考价值。

层位	标志层	李希霍芬 (1882)	维里士 (1907)	那琳 (1922)	李四光 赵亚曾 (1926)	王竹泉 (1926)	赫勒 (1927)	李星学 盛金章 (1956)	刘鸿允 (1957)	赵一阳 (1958)	杜宽平 沈玉蔚 (1959)	全国地层 委员会 (1959)	潘随贤 (1987)	张志存 (1983)	夏国英 (1987)	陈钟惠 (1989)
骆驼脖子砂岩		煤系 以上砂岩系	上部	石千 峰系		红色 岩系	石千 峰系			石千 峰统	石千 峰统					
				石盒 子系		黄色 岩系	上石盒 子系		上石盒 子系	石盒 子统	石盒 子统					
							下石盒 子系		下石盒 子系	骆驼 脖子组	骆驼 脖子组					
北岔沟砂岩		含煤建造	山西系										下石村段			
东大窑灰岩													山西组			
七里沟砂岩													北岔沟段			
斜道灰岩																
毛儿沟灰岩																
庙沟灰岩																
西铭砂岩																
吴家峪灰岩																
晋祠砂岩																
畔沟灰岩																
奥陶纪灰岩		石炭纪灰岩	系舟灰岩	奥陶系马家沟组灰岩												

图 1-3 鄂尔多斯盆地上古生界地层划分沿革表

(一) 19 世纪末

李希霍芬（Richthofen）在 1882 年写的《中国》一书中，根据岩性的不同将太原附近的晚古生代自下而上划分为“石炭纪灰岩”（现在的奥陶纪灰岩）“太原系”“含煤建造”及“煤系以上的砂岩系”四个层序，其中的“太原系”大体相当于现在的本溪组，其上界略高（叶黎明，2006）。

(二) 20 世纪初叶

1. 美国学者

Willis（1907）通过对化石的研究，认为“石炭纪灰岩”的地质年代应属奥陶纪，并另起名为“系舟灰岩”。将“太原系”“含煤建造”及“煤系以上的砂岩系”等地层统称为“山西系”或“山西煤系”，“山西系”的上分界线位于骆驼脖子砂岩的底部，并依据腕足类化石认定“山西系”下部含薄层石灰岩层位应属于晚石炭世。

2. 瑞典学者

那琳（Norin）在前人的研究基础上，对太原西山上古生界进行了详细、系统的研究，并确定了主要标志层，于 1922 年发表了他在太原附近工作多年的地质报告《山西太原地层详考》，对之后的研究具有重要的意义。他沿用了“太原系”“山西系”这两个地层名称，但重新厘定了其界线，又将二者合称为“月门沟煤系”，其上为“石盒子系”（张泓，1997）。之后，李四光和赵亚增在分别详细研究了太原附近及华北其他一些地区的蜓化石和腕足类化石后，都得出了那琳的“太原系”还可以分为上、下两部分的结论，并将其下部命名为“本溪系”，代表华北中石炭世沉积，上部仍袭用“太原系”一名，时代属晚石炭世，而“本溪系”和“太原系”的分界划在庙沟灰岩下的煤层底部。

3. 德国学者与我国学者

赫勒 (Halle, 1927) 研究了太原西山的植物化石后认为,“月门沟煤系”可划分为上、下两部分,上部相当于那琳的“山西系”,下部则相当于李四光和赵亚曾的“太原系”。上、下两部分均属于石炭纪—二叠纪。赫勒在论证月门沟煤系下部只包括太原系时,指出其与本溪系的分界应为晋祠砂岩底部。同一时期,王竹泉 (1925)、霍士诚 (1937) 等也在该地区做了许多工作,提出了自己的划分意见。

(三) 20 世纪中叶

1. 新中国成立后

随着地质工作的大规模展开,对太原西山晚古生代含煤地层的研究也进一步深化。李星学和盛金章 (1956) 在“太原西山的月门沟煤系并论太原统与山西统的上、下界问题”一文中认为,赫勒把太原统与本溪统的界限放在晋祠砂岩底是合乎实际的,至于太原统与山西统的分界则应定为“北岔沟砂岩 (实际上是现在的七里沟砂岩)”底界更为恰当 (那琳原意是划在斜道灰岩与“北岔沟砂岩”之间,在“北岔沟砂岩”底部煤层之下约 0.5m 处)。

2. 地层学家

刘鸿允等 (1959) 将月门沟煤系称月门沟统,并划分为晋祠组、太原组和山西组,下部的本溪组根据岩性特征分铁铝岩段和畔沟段。晋祠组由晋祠砂岩底至西铭砂岩 (或屯兰砂岩) 的底界,太原组是由西铭砂岩 (或屯兰砂岩) 底界至“北岔沟砂岩”底界,山西组则是由“北岔沟砂岩”底界至骆驼脖子砂岩底界的一套地层。

杜宽平 (1958) 和张嘉琦 (1959) 一致认为那琳在地层对比过程中产生了错误,将上、下北岔沟砂岩视为同一层。山西组应以上北岔沟砂岩之底作为底界,赵一阳 (1958) 在“太原西山石炭纪及二叠纪地层的初步商榷”一文中也从古生物学或沉积岩石学观点证实了这种划分方法是合理的。

1959 年全国地层会议“山西现场会”按当时多数人的意见拟定了山西组的上、下限,即山西组在太原西山是指东大窑灰岩顶部或北岔沟砂岩至骆驼脖子砂岩底的这一段地层,纠正了那琳在东大窑剖面上所定的“北岔沟砂岩”与北岔沟标准地点对比上的错误。

3. 古生物学家

进入 80 年代,又有许多人在太原西山开展了研究工作,如张志存 (1983; 1984)、王志浩和李润兰 (1984)、万世禄和丁惠 (1984)、王柏林等 (1984),其成果主要为蜓和牙形化石组合与分带的发现、太原组和山西组的时代归属、太原西山剖面与华北其他地区的地层对比等。

4. 煤炭学家

煤炭科学研究院地质勘探分院和山西省煤田地质勘探公司于 80 年代后期对太原西山含煤地层划分为晚石炭世的本溪组、晋祠组和早二叠世的太原组、山西组 (潘随贤和程像洲, 1987)。本溪组沿用刘鸿允等 (1957) 的意见,划分为下部的铁铝岩段和上部的畔沟段。晋祠组下界为晋祠砂岩底,上界至西铭砂岩之底。太原组为西铭砂岩之底至东大窑灰岩之顶的一段地层,其下部称毛儿沟段,上部称东大窑段。毛儿沟段的上界为毛儿沟灰岩之上的马兰砂岩之底 (刘金华和周修高, 1990)。东大窑段的下界为毛儿沟灰岩顶的马兰砂岩,其上为东大窑灰岩及其上的海相泥岩至山西组北岔沟砂岩以下的一段地层。山西组包括北岔沟段及下石村段,两者以山西组中部海相泥岩顶板为界。之后,陈钟慧等 (1989) 也对太原西山晚古生代含煤地层进行了研究,其划分意见基本与刘鸿允等 (1957) 和潘随贤、徐惠龙、刘渝等一致,所不同的是把晋祠组的顶界由西铭砂岩底下移到吴家峪灰岩顶。

5. 石油地质学家

经过众多学者多年的研究,目前针对华北板块晚古生代地层组的划分已基本一致。骆驼脖子砂岩底是石盒子组与山西组的分界线,山西组的底界为北岔沟砂岩底,而太原组是西铭砂岩或庙沟灰岩底到北岔沟砂岩底的一套地层,晋祠砂岩底界是晋祠组与本溪组的界线。

二、主要标志层

受加里东运动影响,鄂尔多斯盆地东南部于中奥陶世抬升,遭受长期风化剥蚀,缺失中上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统,造成本溪组与下伏奥陶系马家沟组呈平行不整合接触,为一区域性剥蚀面。界

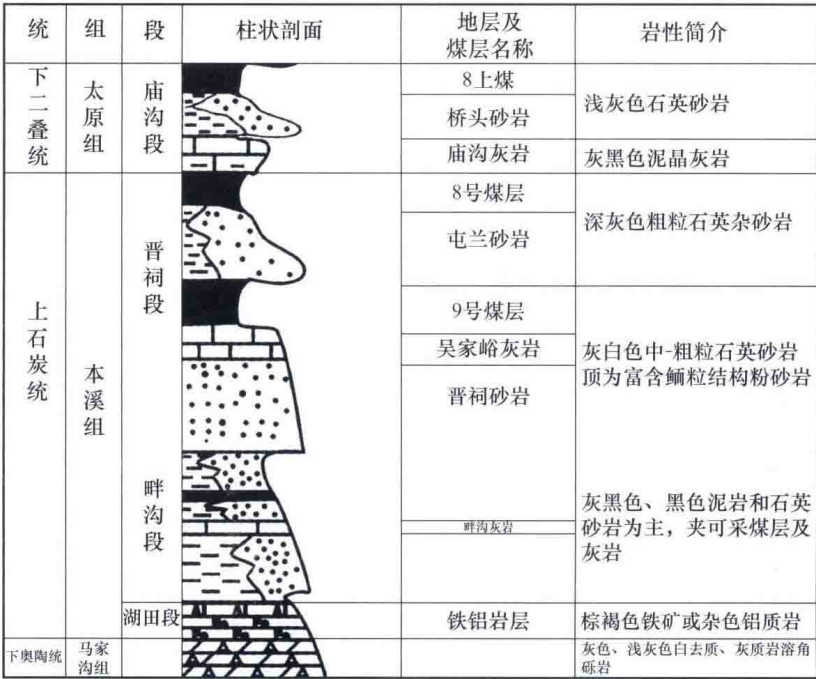


图 1-4 本溪组地层主要标志层示意图（王宝清等，2006）

转换界面；局部地区如河曲梁家碛剖面存在下蚀作用，切割下伏张家沟灰岩，在区内容易识别，具有等时意义。在鄂尔多斯盆地全区发育，在盆地内厚度为 5~10m，最厚可达 15~20m，向南逐渐减薄。在油气田勘探应用中，连同其上覆吴家峪灰岩和准旗 8、9 号煤或下煤组，被定名为晋祠段，为一个十分重要的地层单元（图 1-6）。

3. 吴家峪灰岩

由山西区测队 1975 年定名，见于晋祠段中部，为一层深灰色具透镜状、脉状层理的泥晶碎屑灰岩，含丰富的蜓类等海相动物化石。在保德、柳林一带较发育，也称扒楼沟灰岩，一般 1~2 层，局部达 4 层；厚度 1~2m，有时可达 5m。由柳林一乡宁一线向西、向南逐渐变薄或相变为钙质泥岩，富含腕足类化石。由于吴家峪灰岩是介于晋祠砂岩和下煤组之间的岩层，当其变薄或尖灭时，亦可由晋祠砂岩和下煤组推断出所在位置，是一个重要的岩性对比标志层（图 1-7、图 1-8）。

4. 下煤组

位于庙沟—毛儿沟灰岩之下的下煤组分布范围较广，它由 8 号、9 号煤层组成，局部地区 8 号、9 号煤合并为单一煤层，呈煤系出现，分布普遍，厚度大，结构简单，是重要的对比标志层。该煤组碳化程度高，节理发育，具玻璃光泽，性脆，密度小，易染手，因含硫（H₂S）较高，常有异味，俗称臭煤，属于海相成因煤。晋祠砂岩、吴家峪灰岩和下煤组组成的一套完整沉积被归并为晋祠段。研究区下煤组分布稳定，是石炭系本溪组与二叠系太原组的分界标志（以下煤组顶部为界）（图 1-9）。

5. 东大窑灰岩

位于太原组顶部，厚 5~13m，分布稳定，区域延伸，为深灰色含生物碎屑微晶灰岩，在灰岩顶部与

面之上发育残积成因的湖田段铁铝岩层（图 1-4），厚度为 2~15m，其上覆为砂泥岩沉积，下伏马家沟组岩性以灰岩、白云岩为主。

1. 畔沟灰岩

畔沟灰岩位于本溪组的下部，由 Norin 等（1924）定名，源于太原西山畔沟，在铁铝岩层之上的砂页岩和炭质页岩或薄煤层中，为一层或数层的层状或透镜状灰岩，厚度为 0.5~2m，在山西中部地区较厚，向南、北变薄。灰岩内蜓类化石丰富（图 1-5、图 1-6）。

2. 晋祠砂岩

晋祠砂岩底界是区别本溪组内部本 1 段和本 2 段的标志层，由灰白、灰绿及灰褐色石英砂岩组成，并夹有薄层凝灰质（砂岩）火山物质，代表着沉积体系

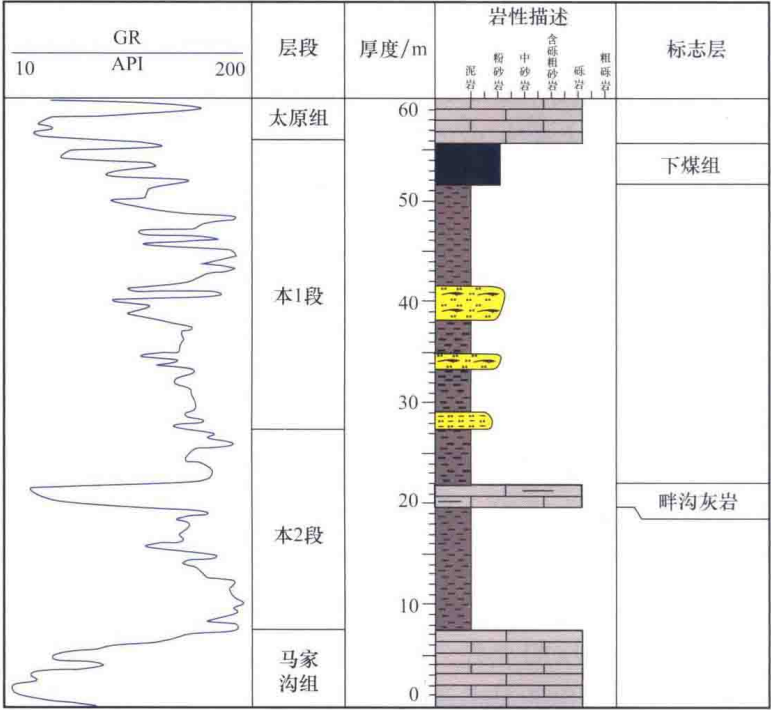


图 1-5 远离海岸线的本溪组主要标志层（一）



图 1-6 本溪组—马家沟组界线露头特征

钙质菱铁矿层共生。在东大窑灰岩之上，往往发育一层厚 1~2m 的泥岩或煤层，这一层泥岩和煤层们于东大窑灰岩与北岔沟砂岩之间易将太原组和山西组分开。

6. 北岔沟砂岩 (K3 砂岩)

北岔沟砂岩是山西组底部的标志层，岩性主要为灰色、灰白色含砾粗砂岩、石英砂岩、岩屑石英砂岩，为中煤层的底板。在测井曲线上，北岔沟砂岩具有低自然伽马、低自然电位、低电阻、低声波时差、低补偿中子等特征，自然伽马和自然电位呈箱状和钟状。北岔沟砂岩厚度大，在研究区东部分布稳定，对下伏地层具有明显的冲刷作用 (图 1-10、图 1-11)，西部地区不发育。

7. 中煤组

中煤组是鄂尔多斯盆地重要的工业可采煤层，由河东煤田的 4 号和 5 号煤层组成，中煤组之上，有时常见一层钙质砂岩或钙质页岩，是山西组山 2 段与山 1 段分界线。煤组厚 3~12m，常夹炭质泥岩；该煤组在东部地区分布稳定，往往呈多套薄煤层，在中子、密度及声波测井曲线上呈尖刀状或指状，总体呈“三高、三低”的特征，即高声波时差、高中子、高电阻率和低密度、低自然电位、低自然伽马。

8. 铁磨沟砂岩

铁磨沟砂岩是山 1 段和山 2 段的分界砂体，主要为浅灰色—灰色中细砂岩，砂岩底部常发育薄煤层或钙质页岩 (图 1-12~图 1-14)。该套砂岩发育不稳定，可作为局部标志层。

骆驼脖子砂岩是下石盒子组底部标志层，对下伏山西组形成明显冲刷，为一套灰白色、浅黄色、褐

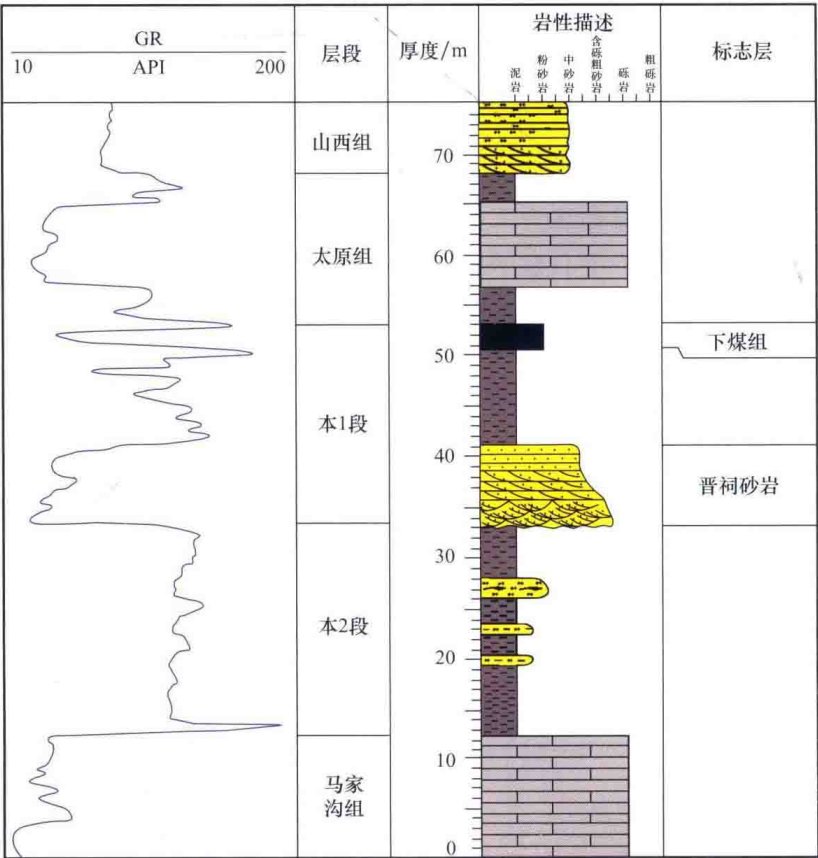


图 1-7 靠近海岸线的本溪组主要标志层 (二)



图 1-8 晋祠砂岩露头特征

西组分为山 1 段、山 2 段，细分为山¹₁、山²₁、山³₁、山¹₂、山²₂和山³₂；石盒子组分为上石盒子组（盒 1 段、盒 2 段、盒 3 段、盒 4 段）和下石盒子组（盒 5 段、盒 6 段、盒 7 段、盒 8 段）。延长、苏里格、大牛地等地区上古生界划分方案有着良好的可对比性。三者在上古生界划分方案具有基本一致性，主要体现在：自下而上，均发育石炭—二叠系本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组等 6 套地层。但是，三者在上古生界划分方案上的差异性也较为明显，主要表现在以下几点。

（一）本溪组
大牛地气田本溪期主要为铝土岩沉积，厚度仅 0~21m，砂岩不发育，未进一步细分；苏里格气田自下而上，进一步

色砂砾岩，结构成熟度和成分成熟度均差，有多个砂砾岩-砂岩-泥（页）岩沉积旋回，局部地区夹煤线。浅色岩系发育，砂岩厚度大且大面积分布，在野外极易识别。在测井上，该套砂岩测井曲线特征明显，表现出低自然伽马、低自然电位、低密度、平缓低幅度的声波时差和深感应，易于识别。

三、石炭系—二叠系划分方案

延长地区上古生界划分方案与盆地划分方案基本一致。上古生界自下而上分别为石炭系本溪组、二叠系太原组、山西组、石盒子组及石千峰组（表 1-1）。其中本溪组分为本 1 段、本 2 段；山

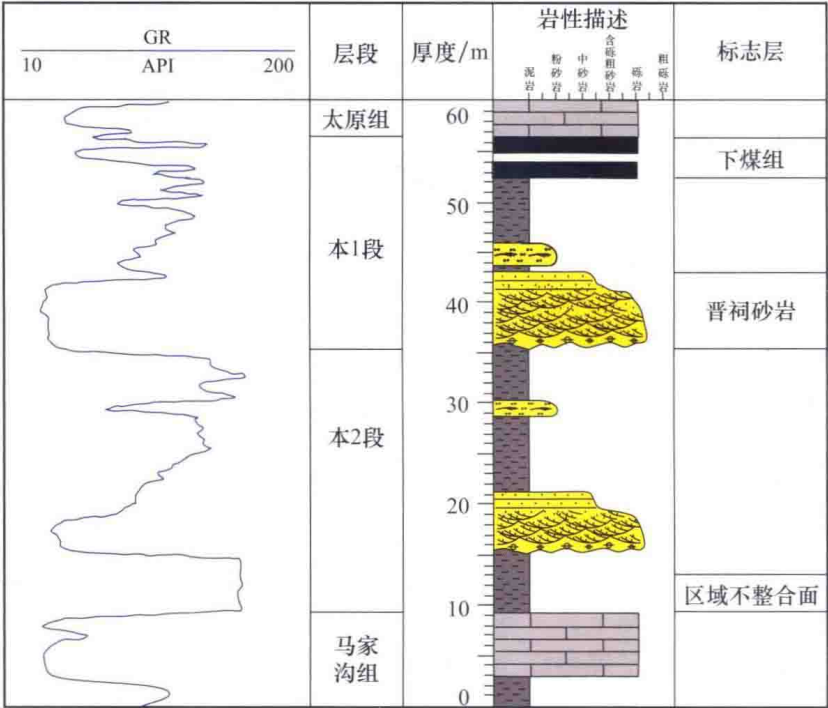


图 1-9 海岸线附近的本溪组主要标志层（三）

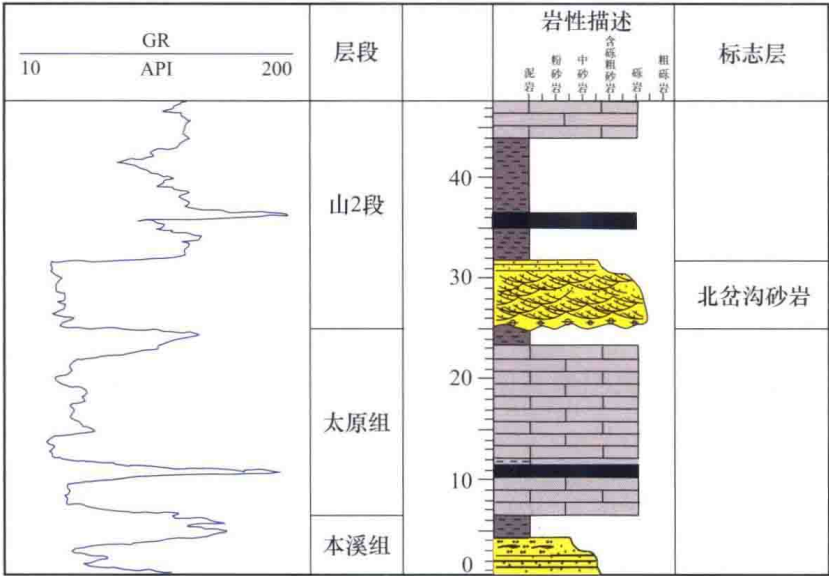


图 1-10 山西组—太原组标志层

细分为本 3 段、本 2 段、本 1 段；延长地区自下而上，将本溪组划分为为本 2 段、本 1 段。

（二）太原组及其归属

石炭系与二叠系的分界长期以来是我国悬而未决的重大地质界线之一，在 20 世纪 80 年代以前，我国南方以 *Pseudoschwagerina* 带结束作为石炭系的顶界，北方把产有类 *Pseudoschwagerina texana*, *Quasifusulina longissima*, *Rugosofusulina complicata* 和植物化石 *Neuropterispseudoovata*, *Lepidodendron posthumi* 的太原组视为晚石炭世晚期沉积，这一划分方案长期以来为我国地层