

ORDOS

鄂尔多斯盆地北部 上古生界天然气成藏条件与勘探方向

侯洪斌 牟泽辉 朱宏权 等著

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

鄂尔多斯盆地北部上古生界 天然气成藏条件与勘探方向

侯洪斌 牟泽辉 朱宏权
张克银 李 良 罗 宇 冯 方 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从整体、动态角度,通过对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气藏成藏的主控因素——沉积相、储层特征、圈闭类型及其分布特征、构造背景及其控气作用、天然气聚集规律等进行深入分析;以深盆地成藏理论为指导,论述了鄂尔多斯盆地北部上古生界的天然气藏成藏特征,并通过沉积相带分布预测、地震储层横向预测与气层识别方法相结合,提出了有利于天然气富集的平面部位和纵向层位,指出了今后的勘探方向。

该书适用于从事油气地质研究,尤其是天然气勘探及研究的科研人员 and 高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向/侯洪斌等著.
北京:石油工业出版社,2004.5

ISBN 7-5021-4610-5

I. 鄂…

II. 侯…

III. ①鄂尔多斯盆地-古生代-天然气-油气藏-形成-研究

②鄂尔多斯盆地-天然气-油气勘探-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 023645 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.com.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:北京燕南印刷厂

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:260 千字 印数:1—700 册

书号:ISBN 7-5021-4610-5/TE·3233

定价:35.00 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

序

天然气的广泛应用正在改变着能源消费结构,天然气将是人类未来更为重要的洁净优质能源。自1976年在加拿大西部的阿尔伯达盆地发现艾尔姆华士巨型深盆气田以及1979年J.A.Masters提出深盆气藏概念以来,深盆气作为一种特殊的非常规气藏因储量巨大而备受广大石油地质工作者的重视。

依据勘探经验和油气发现概率模型,石油工业目前所面临的基本事实是勘探难度越来越大,发现常规大、中型油气田的概率越来越小,使常规油气储采比的总趋势不断下降。但在另一方面,新观念、新方法和新技术逐渐使更多的油气被发现、评价和开采利用,非常规油气藏的发现往往是后备储量增加的主要影响因素,而深盆气藏又是非常规油气藏的主要类型。因此,深盆气藏成藏条件、成藏规律及成藏机理是目前国内外油气工作者研究的热点之一。以中国石化原新星石油公司侯洪斌、牟泽辉为首的一批中青年学者以鄂尔多斯盆地北部上古生界气藏为典型实例,积极投入了这方面的研究工作,并以他们近几年来研究成果为基础,撰写了《鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向》一书。纵观全书,可概括为以下几个方面内容:

(1) 本书从整体、动态的观点,本着综合信息、综合判断、综合解释、综合评价的原则,以深盆气—高分辨率层序地层学—定量评价为基本思路,在前人的研究成果基础上,扩展地质、地震、油气化探成果和有关实验分析资料的应用,提出鄂尔多斯盆地北部上古生界气藏类似于加拿大阿尔伯达深盆气藏,属于深盆气藏类型;“气水倒置”是鄂尔多斯盆地北部上古生界深盆气藏的突出特点。该区具有由南往北物性渐变好的广布砂体、平缓的单斜构造及丰富的气源相配套等导致北部上古生界深盆气藏形成的基本条件。

(2) 根据深盆气藏成藏理论并结合鄂尔多斯盆地北部上古生界气藏勘探实践,勾画出了鄂尔多斯盆地北部上古生界深盆气藏的气带和水带分布范围,同时指出气带为深盆气藏勘探目标,而水带则以常规构造型或复合型圈闭气藏为勘探目标,拓展了该区油气勘探思路。

(3) 地表地球化学特征研究表明,杭锦旗区块和塔巴庙区块的物上气指标和酸解烃指标有明显的差异;伊陕斜坡北部指标浓度明显低于伊盟隆起和中央古隆起,形成一个大型的区域性环状异常。伊陕斜坡北部为上古生界深盆气藏气带发育地区,伊盟隆起处于水带范围,且在气带与水带的分界面附近地球化学指标浓度陡增。这为判别深盆气藏气水界面开辟了一个新的途径或可行方法,丰富了深盆气藏及油气化探的研究内涵。

(4) 通过岩心测试、物性分析、粒度分析、压汞资料以及相渗曲线综合分

析并结合储层“四性”关系研究，建立了适合该地区的地球物理响应模型，应用 Jason, BCI 等地震特殊处理方法，对该区一批地震资料进行了处理和精细解释，较为准确地追踪或预测了鄂尔多斯盆地北部上古生界主要储层段砂体的空间展布、几何形态及孔隙度分布特征，拓宽了致密储层的研究方法。

当前我国经济建设速度不断加快，油气生产能力与需求之间的缺口迅速扩大。因此，常规油气藏挖潜与特殊油气藏的勘探与研究，尤其是将深盆气藏巨大的地质储量合理有效地转换为有价值的产能加以开发利用显得尤为重要，依此将可补充我国经济建设和人民生活日益增长的对油气能源的需求。《鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向》一书对我国深盆气藏的勘探与研究，尤其是对鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气勘探具有重要的指导意义。在本书即将出版之际，表示祝贺。

中国科学院院士

刘增祺

2003年12月

前 言

近年来,随着我国对能源需求的快速增长和石油勘探难度的增大,天然气勘探开发和利用的步伐正在加快,截至2002年,全国累计探明天然气地质储量 $3.4 \times 10^{12} \text{m}^3$,可采储量 $2.26 \times 10^{12} \text{m}^3$,可采剩余储量 $1.86 \times 10^{12} \text{m}^3$ (据全国油气储量公报)。2002年生产天然气 $315.7 \times 10^8 \text{m}^3$,居世界第13位。同时,根据还在进行之中的全国第三次油气资源评价初步成果,我国天然气资源十分丰富,达到 $54 \times 10^{12} \text{m}^3$,而且已探明程度非常低,到2002年底探明率仅为6%,具有巨大的勘探开发可持续发展潜力。

鄂尔多斯盆地位于我国西部,面积 $32 \times 10^4 \text{km}^2$ (李德生,2002),沉积岩最大厚度达6000m以上,是近年来油气勘探开发最为活跃,储、产量增长速度最快的盆地之一。截至2002年,鄂尔多斯盆地已累计探明石油地质储量 $14 \times 10^8 \text{t}$,探明天然气地质储量 $8011 \times 10^8 \text{m}^3$,分别占全国的6.1%和25.5%,尤其是近三年来一批中生界大、中型油田的发现和苏里格庙、塔巴庙等大气田的发现和相继探明,使得该盆地成为全国储、产量增幅最大的盆地。根据长庆油田2001年资源评价结果,鄂尔多斯盆地石油资源量为 $85.88 \times 10^8 \text{t}$,天然气资源量为 $10.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。到2002年,油、气资源探明率分别为16.3%和7.5%。1995—2001年期间,全盆地油气勘探发现成本仅为0.21美元/bbl,是同期中国西部六个盆地(鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、吐哈盆地、酒泉盆地)中最低的。

本书所述研究区位于鄂尔多斯盆地北部,系指纬度 38° 线以北、乌兰格尔以南、贺兰山以东、吕梁山以西的地区,地表多为沙漠或戈壁覆盖。构造单元包括伊蒙北部隆起、伊陕斜坡、天环坳陷和晋西挠褶带。近几年来,中国石油长庆油田分公司在伊陕斜坡中南部发现了陕141气田和苏里格庙大气田;中国石化华北分公司在伊陕斜坡东北部发现了大牛地气田,并在杭锦旗一带发现含油气构造。目前,针对该区天然气的勘探正在大规模地展开,地质评价与研究工作在不断深化。

中国石化华北分公司、中国石化石油勘探开发研究院及其下属研究所、中国石油长庆油田分公司以及有关大专院校,从“六五”至今,连续组织多轮针对鄂尔多斯盆地天然气勘探评价选区研究和配套技术攻关研究,其中有代表性的研究有:“鄂尔多斯盆地北部天然气勘探目标评价”(“九五”国家科技攻关项目,1999-110-03-04)、“鄂尔多斯盆地深盆气藏形成条件及综合评价”(“九五”国家科技攻关项目,1996-110-01-04)、“鄂尔多斯盆地古生界天然气资源评价与勘探方向”(中国石化原新星石油公司华北石油局第三普查勘探大队,

1997)、“鄂尔多斯盆地中部上古生界碎屑岩主要含气段储层研究”(成都理工大学, 1997)、“鄂尔多斯盆地北部古生界圈闭再评价与井位建议”(中国石化原新星石油公司华北石油局第三普查勘探大队, 1998); 一些专家学者, 如戴金星(1993, 1997, 2000, 2001)、张抗(1989)、张复礼(1994)、林壬子(1996)、张金亮等(2000)、李良等(2000), 都从不同角度或不同专业对鄂尔多斯盆地天然气资源及其勘探潜力、勘探方向与选区做过较为详细的研究, 并取得了丰富的成果和认识。然而, 鉴于该盆地含气层系多、成藏演化历史长等客观特性, 地质认识仍显不够深入, 不能满足有效地指导勘探实践的需要。已有研究工作存在的不足可概括为: (1) 对下古生界研究较多, 而对上古生界重视不够; (2) 对局部地区的研究较深入, 而把整个盆地北含气区作为整体的研究不够; (3) 虽然以小比例尺并以系或组为编图单元的沉积相研究已较多, 但以大比例尺并以岩性段为编图单元的沉积相研究较少; (4) 从常规气藏的角度研究该盆地北部上古生界成藏条件的较多, 而从非常规气藏角度的研究还很少; (5) 常规气藏识别预测方法用于该区较多, 非常规气藏识别预测方法应用很少。当然, 所有前人对该区的研究及所取得的成果, 都对认识该区的天然气成藏规律并指导勘探实践起到了重要作用, 也为本次研究提供了良好的资料和思路基础。

本专著是在中国石化原新星石油公司科研项目“鄂尔多斯盆地北部天然气再选区及进一步勘探部署建议”研究成果基础上, 经系统整理和完善编著而成的, 它是集体智慧的结晶, 也可以说是所有参与该项目研究人员的共同成果。该科研项目自 2000 年确立, 由中国石化勘探开发研究院荆州新区勘探研究所等单位承担, 历时两年, 于 2001 年底完成。设立本项目的目的是想通过开展鄂尔多斯盆地北部上古生界沉积相及储层研究、典型气藏解剖与类比分析, 着眼整个盆地北部地区, 分析、归纳天然气成藏及富集特征, 进而, 应用多种地震资料特殊处理方法, 寻求有利天然气储存和富集的储层识别标志, 总结识别方法, 并结合沉积相带分布, 预测有利的储层发育带和有利的勘探目标区, 最后提出勘探部署建议方案。

研究工作中, 注重实际资料的采集、收集和利用, 室内分析测试样品近 1000 项, 特殊处理二维地震剖面 830km, 还实际观测、描述 5 口井的岩心。

本专著从整体、动态角度, 通过对不同构造单元、不同层位气藏成藏的主控因素——沉积相、储层特征、圈闭类型及其分布特征、构造背景及其控气作用、天然气资源量及聚集与富集规律等进行深入分析, 并通过沉积相带分布预测与地震储层识别方法相结合, 提出了有利于天然气富集的平面部位和纵向层位, 指出了进一步勘探的部署方案建议。主要研究成果可概括为:

(1) 以高分辨率层序地层学理论为基础, 编制了高分辨率层序地层的自动划分程序; 以此, 将鄂尔多斯盆地北部上古生界本溪组—上石盒子组划分为 3 个中期旋回和 19 个短期旋回, 为该区地层对比和储层横向预测奠定了较好基

础。

(2) 鄂尔多斯盆地北部上古生界主要目的层段以河流—三角洲沉积体系为主, 沉积相可划分为三大类五亚类; 且以“大平原”和“小前缘”的三角洲沉积为典型特征, 辫状河三角洲平原分流河道砂体是主要储集砂体, 其次为辫状河河道砂体。

(3) 对改善储层孔渗性能起到建设性作用的主要是溶蚀作用和破裂作用, 溶蚀作用可使粒间孔隙扩大, 破裂作用可使原生孔隙相互连通, 溶蚀作用和破裂作用越发育的地区越可能形成天然气富集和高产区; 对储层起破坏性的成岩作用主要是压实作用和胶结作用。次生孔隙主要发育深度段为 1700~2500m。

(4) 对比研究发现, 鄂尔多斯盆地北部上古生界气藏与加拿大阿尔伯达深盆气藏具类似性, 应也属深盆气藏类型。“气水倒置”是该区气藏的一大特点, 由南向北储层孔渗物性逐渐变好。

(5) 平缓的单斜构造背景上与砂体叠合连片广泛分布, 并与丰富的气源相配套, 构成了该区上古生界深盆气藏形成的基本地质条件。

(6) 地球化学勘探资料研究表明, 杭锦旗一带和塔巴庙地区出现明显的异常, 指示伊陕斜坡北部可能为上古生界天然气有利聚集区, 而伊盟北部隆起可能处于水带范围, 在气带与水带交界处地球化学指标浓度陡然增高, 据此, 可为判别深盆气藏气水分带性提供依据。

(7) 根据阿尔伯达深盆气藏成藏与分布模式, 结合近几年该区天然气勘探实践、构造背景、气水及压力分布特征及地球化学特征等, 初步勾画出了鄂尔多斯盆地北部上古生界深盆气藏的气带和水带分布范围, 并指出气带为深盆气藏勘探的目标区, 而水带则为常规构造型或复合型圈闭气藏勘探的目标区。

(8) 依据岩心测试、物性分析、粒度分析、压汞及相渗曲线分析依据, 并结合储层四性关系研究, 初步建立了适合该区的储层参数测井响应经验模型, 运用自行研制的测井单井综合解释软件, 对该区塔巴庙、杭锦旗等地区若干口井资料进行了重新解释, 分区块建立了上古生界深盆气藏的气、水层测井参数解释标准。

(9) 通过 Jason, BCI 等地震资料特殊处理方法对塔巴庙、杭锦旗地区的山西组、石盒子组主要含气层段的储层进行了特征识别和横向预测, 追踪了山 1、山 2、盒 1 砂体空间展布、几何形态及孔隙度分布特征, 为下步钻探部署提供了依据。

(10) 应用人工神经网络气层识别方法对塔巴庙地区、杭锦旗地区进行了含气性预测, 结果表明塔巴庙地区凡是砂体连片分布且发育厚度大的地区, 基本上都为有利的天然气聚集区; 而杭锦旗地区只在构造圈闭发育区且在圈闭的较高部位, 才是有利的天然气聚集区。

(11) 纵向上, 天环坳陷和伊陕斜坡地区天然气勘探的首选目的层位为山 1

段和盒1段,其次是太1段、太2段和山2段,盒2段和盒3段是进一步勘探的重要层位;伊盟北部隆起区的主要勘探层位为下石盒子组和上石盒子组,石千峰组也是不可忽视的勘探层位。

(12)综合评价认为,中国石化华北石油分公司正在勘探的塔巴庙地区、杭锦旗南地区与已发现的苏里格庙大气田和陕141气田的天然气成藏条件类似,是寻找大型气田的有利区;而正在勘探的杭锦旗地区成藏条件有别于塔巴庙地区和杭锦旗南地区,整体上深盆气藏成藏条件相对差一些,下步勘探应致力于寻找构造型或复合型气藏。

本专著由侯洪斌教授、牟泽辉教授制定编写提纲。各章节编写具体分工为:前言,侯洪斌;第一章,侯洪斌、李良;第二章,牟泽辉、张克银;第三章,朱宏权、牟泽辉、张哨楠;第四章,李良、罗宇、冯方;第五章,牟泽辉、朱宏权;第六章,张克银、侯洪斌;第七章,牟泽辉、张克银、侯洪斌、朱宏权。

值此本专著出版之际,我们特别感谢刘宝珺院士在百忙之中为本书作序并给予指导;衷心感谢中国石化原新星石油公司周玉琦副总经理、原新星石油公司勘探部及科技部的领导及专家们给予的关心和支持;感谢中国石化华北分公司郝蜀民副经理、袁志祥处长、尤欢增处长及惠宽洋副院长给予的帮助;感谢中国石化石油勘探开发研究院荆州新区勘探研究所戴少武所长和龚铭副总工程师等专家们的支持;本专著的图件清绘由中国石化石油勘探开发研究院荆州新区勘探研究所卜晓红、汤惠珉完成,在此一并表示感谢;对在该书中引用成果的单位和个人表示致谢。

鄂尔多斯盆地天然气勘探已取得丰硕成果,并正在向纵深发展,与勘探实践相配套的科学研究工作也需要加快步伐,走向深入,勘探实践中不断遇到的新问题,急需科技工作者开动脑筋,发挥睿智,逐个加快攻克。我们仅仅在这一不断实践和反复认识过程中,从一个侧面做出些许探讨,不足之处甚至纰缪难以避免,敬请同行批评指正。

作 者

2003年12月

目 录

第一章 区域地质背景	(1)
第一节 盆地构造演化及构造格局	(1)
第二节 区域沉积背景	(4)
第三节 形成深盆气藏的有利地质条件	(7)
第二章 上古生界主要目的层沉积体系分析	(9)
第一节 高分辨率层序地层学特征	(9)
第二节 沉积相划分	(13)
第三节 主要沉积相特征	(13)
第四节 沉积体系展布规律	(17)
第三章 北部上古生界主要目的层储层特征	(28)
第一节 岩石学特征	(28)
第二节 成岩作用类型及特征	(31)
第三节 成岩环境及成岩作用序列	(35)
第四节 孔隙类型及孔隙演化	(40)
第五节 孔隙结构、物性条件及影响因素	(42)
第六节 储层评价	(51)
第四章 上古生界天然气气层识别及储层横向预测	(54)
第一节 气层识别	(54)
第二节 利用地震资料进行气层识别	(69)
第三节 储层横向预测	(80)
第四节 塔巴庙、杭锦旗地区主要产气砂体特征及其分布规律	(87)
第五章 典型气藏解剖	(90)
第一节 阿尔伯达深盆气气藏解剖	(90)
第二节 大牛地上古生界山 1 段、盒 1 段气藏解剖	(94)
第三节 陕 141 井区气藏解剖	(97)
第六章 北部上古生界深盆气藏成藏规律研究	(100)
第一节 深盆气藏形成的气源条件	(100)
第二节 上古生界深盆气藏运聚特征	(104)
第三节 上古生界深盆气藏气、水及压力分布规律	(107)
第四节 上古生界深盆气藏近地表地球化学特征	(112)
第五节 上古生界深盆气藏成藏条件	(122)
第六节 上古生界深盆气藏成藏事件及成藏模式分析	(127)
第七章 圈闭条件、综合评价及勘探方向	(130)
第一节 圈闭条件分析	(130)
第二节 北部天然气勘探区块定量评价	(135)

第三节 近中期勘探方向..... (142)

第四节 结论与勘探部署建议..... (151)

参考文献..... (153)

图版说明及图版..... (155)

第一章 区域地质背景

鄂尔多斯盆地北跨乌兰格爾凸起与河套盆地为邻，南越渭北挠褶带与渭河盆地相望，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。鄂尔多斯盆地处于我国沉积盆地分布的中带，兼受其东滨太平洋构造域和其西南特提斯—喜马拉雅构造域地壳运动的影响，是一个稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显的多旋回克拉通叠加盆地。晚古生代是鄂尔多斯盆地由克拉通盆地演化为内陆盆地的时期，在盆地北部发育了含丰富的滨岸沼泽和河漫沼泽的煤系地层，且又广泛发育了河流相和三角洲分流河道的致密储层砂体。因而，高强度的生气中心、大面积多层复合致密储层砂体、平缓的西倾单斜是鄂尔多斯盆地北部上古生界深盆气藏形成的基本地质条件。

第一节 盆地构造演化及构造格局

一、盆地北部构造格局

现行的鄂尔多斯盆地地质构造单元划分结果已被广大地质工作者认可并被广泛引用，鄂尔多斯盆地北部构造区划如图 1-1 所示。鄂尔多斯盆地北部主要划分为以下构造单元：

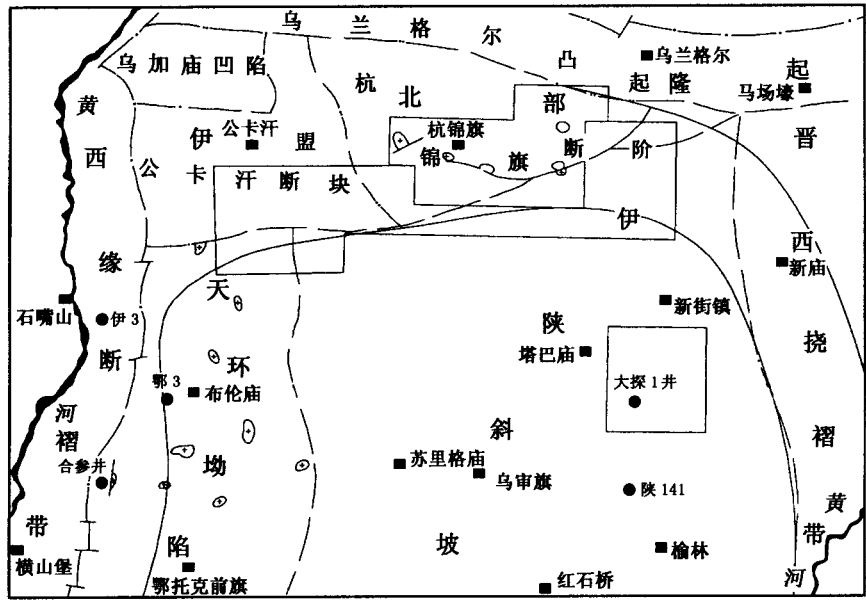


图 1-1 鄂尔多斯盆地北部构造区划图

- (1) 鄂尔多斯盆地北部 (I)；
- (2) 伊盟北部隆起 (I₁)；

- (3) 乌兰格尔凸起 (I_1^1);
- (4) 杭锦旗断阶 (I_1^2);
- (5) 公卡汉断块 (I_1^3);
- (6) 乌加庙凹陷 (I_1^4);
- (7) 伊陕斜坡 (I_2);
- (8) 天环拗陷 (I_3);
- (9) 晋西挠褶带 (I_4)。

二、盆地构造演化

鄂尔多斯盆地地质构造性质以其稳定而闻名, 其以整体上升、持续沉降、坡度宽而平缓、低幅度隆起、低角度平缓单斜的地层、接触整一为特点。对于鄂尔多斯盆地构造演化, 许多研究者曾做过系统的研究工作及论述(赵重远等, 1990; 张复礼等, 1994; 杨俊杰、裴锡古等, 1996), 鄂尔多斯盆地的地质构造演化过程可划分为以下六个构造演化阶段。

1. 基底形成阶段

太古代—早元古代是鄂尔多斯盆地的基底形成时期, 其间经历了迁西、阜平、五台及吕梁—中条四次主要构造运动, 使基底岩系经受了复杂的变质作用, 混合岩化作用和变形作用, 其中在早太古代为古陆核雏形形成时期, 形成以基性、中基性到酸性火山岩及富铝粘土岩为主的、为原始硅铝壳逐步形成和加厚的产物; 而晚太古代的构造特征则是以硅铝壳加厚固结及陆地面积增加为特点。经过太古代末的阜平运动, 陆壳普遍褶皱上升, 鄂尔多斯古陆核得以形成。总之, 整个太古代陆壳的形变以塑性为主, 主体构造方向呈东西向展布。

早元古代构造活动明显受太古代古陆核的格局和再活动的控制, 即进入早元古代, 古陆核经历了由塑性向刚性的转化, 早期裂隙活动以韧性剪切形式出现, 伴随巨厚的火山—沉积岩堆积, 形成角闪岩相到绿片岩相的绿岩建造。早元古代晚期, 随着陆壳厚度和刚性的增加, 在早期韧性断裂带基础上发生了脆性断裂。

2. 拗拉谷阶段

中、晚元古代, 古中国陆块处于拼接稳定初期, 吕梁—中条运动之后, 鄂尔多斯地区的构造发展进入了新的阶段, 由地壳热点所控制的秦祁大陆裂谷应运而生, 在一系列三联点的作用下, 产生了一系列由秦祁裂谷向华北古陆块楔入的陆内裂谷并在发展中夭折, 导致非造山岩浆活动和似盖层性质的稳定型沉积建造形成。区内主要有贺兰拗拉谷与秦晋拗拉谷, 它们分别以近南北向和北东向垂直古陆的西南和南缘插入古陆内部, 并具有向北和北东方向收敛、向南及西南方向敞开的楔形轮廓。

总之, 中、晚元古代(即长城—蓟县期)是拗拉谷发育期, 这些拗拉谷一般经历了初始裂开、主体断陷和后期拗陷三个发育阶段, 相应的建造类型有陆相火山岩—碎屑岩建造, 巨厚的河流—浅海碎屑岩建造(贺兰、秦晋拗拉谷此期沉积幅度达 3000m 以上)及后期广覆碳酸盐岩建造。鄂尔多斯盆地正是在贺兰、秦晋两个拗拉谷夹持的背景下发展演化的。经过晋宁运动, 上述大陆裂谷关闭, 形成统一的中国地台, 这一构造层也是鄂尔多斯盆地的基础。

3. 浅海台地阶段

早古生代时期, 即晋宁运动后, 鄂尔多斯盆地表现为稳定的整体升降运动, 在陆块内部形成典型的克拉通拗陷。在此阶段内, 鄂尔多斯地区南北为加里东地槽所控制, 东西为残存

的拗拉谷所夹持，形成北高南低、中间高东西两侧低的古地貌背景。

寒武纪的构造面貌为：早期继承了中、晚元古代的构造格局，表现为北高南低、中隆（乌审旗—庆阳中央古隆起带）东西拗；晚期则为南北高，中间低，中拗（盐池、米脂拗陷）南北隆（环县—庆阳隆起、乌兰格尔蒙起）的形态，整个寒武纪为一个完整的陆表海海进—海退旋回，沉积厚度为 200~400m，最厚达 600m。

奥陶纪基本继承了晚寒武世的构造轮廓，即克拉通北部的乌兰格尔蒙起带仍保持古陆形式，而南部环县—庆阳隆起则表现为相对较低的水下隆起。

在上述古地理背景上，冯增昭、陈继新等将鄂尔多斯地区早古生代的岩相演化分为四期（冯增昭等，1991），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—亮甲山期以清水沉积为特征，发育滩及滩间海；马家沟期 1，3，5 段以蒸发沉积为特征，发育云坪、盐膏洼，马家沟期 2，4，6 段以陆表海沉积为特征，发育大面积低能开阔海石灰岩；平凉—背锅山期以深水斜坡为特征，发育碳酸盐岩重力流。奥陶纪末，加里东运动使全区抬升，缺失了志留系、泥盆系和下石炭统，形成了后来成为下古生界天然气聚集的重要场所的奥陶系顶部风化壳古岩溶带。

4. 滨海平原阶段

杨俊杰、裴锡古等（1996）认为，晚古生代时，鄂尔多斯地区进一步与华北地块统一发展，仅其西南隅濒临古特提斯海域，在麟游的二叠系见有多层潮坪海相夹层，厚度为 50m，这就是当时该区滨海的证据。在此阶段内，鄂尔多斯地区在阴山火山弧向南俯冲、秦岭火山弧向北俯冲的作用下，其北缘及南缘相对仰冲而隆升；而贺兰拗拉谷于中石炭世再度拉开，较早地接受沉积，形成上古生界区域性沉降带，出现了乌达（1700m）、韦州（1250m）、中宁（1700m）等三个局部拗陷。中石炭世，西部形成与古特提斯连通的南北向海湾，沉积了靖远组和羊虎沟组的黑色泥页岩、砂岩、生物灰岩与煤层；东部为与华北克拉通凹陷相通的潮坪，沉积了本溪组的黑色页岩、砂岩和石灰岩，厚度数十米。晚石炭世，进一步海侵，导致沉积范围扩大，西侧的祁连海向中部古隆起东超，东侧的华北海向中部古隆起西超，最终汇聚。下二叠统山西组为煤系地层，中部古隆起仍然存在，西部浅凹陷在银川、环县一带，沉积岩厚 150m，东部浅凹陷在绥德、宜川一带，沉积岩厚 100m，而中部古隆起区的沉积厚度在 75m 以内。石盒子组基本承袭了山西组的沉积背景，气候逐渐干旱，鄂尔多斯地区沉积了河流相杂色碎屑岩，其西部沉降区厚度为 350m，东部沉降区厚度为 420m，中部古隆起区厚度为 250m。

5. 内陆盆地阶段

三叠纪及燕山运动以来，盆地演化进入了大型内陆差异沉降盆地的形成和发展时期。燕山运动导致大规模构造形变的发生，其不但影响断块间的活动带，也影响断块内部的构造形变，这就造成了鄂尔多斯盆地三叠系在盆内与侏罗系的区域性平行不整合，而在盆地边缘地区则由于掀斜抬升和侵蚀，造成微角度和角度不整合（张抗，1989）。燕山期运动在盆地周缘表现尤为强烈，在盆地周缘常造成强烈的褶皱冲断和逆冲推覆构造。

鄂尔多斯中生代内陆盆地阶段发育了五个陆相碎屑岩沉积旋回，即上三叠统延长组、下侏罗统富县—延安组、中侏罗统直罗—安定组及下白垩统志丹组下部和上部。它们以河流相开始、湖沼相结束为特点（杨俊杰、裴锡古等，1996）。

6. 新生代断陷阶段

燕山运动晚期，鄂尔多斯地块由长期的沉降转为上升的面貌。即新生代以来主要受东部

太平洋板块向亚洲大陆的斜向俯冲，亚洲大陆向东蠕散及西南印度板块碰撞的联合作用，导致鄂尔多斯地块周缘出现总体张性、局部挤压性的构造环境，结果使得周缘发生一系列右旋拉张的断裂活动，产生一系列断陷，如河套、银川、渭河断陷。以南侧的渭河断陷为例，它的深度巨大，红色碎屑岩沉积厚达近 7000m（张复礼、黄舜兴、杨昌贵等，1994）。

第二节 区域沉积背景

鄂尔多斯盆地主体自早古生代晚期（中奥陶世）开始遭受剥蚀，直至晚古生代早期，从晚石炭世开始发育了较完整的上石炭统一二叠系的晚古生代地层（表 1-1），但在北部边缘地区仍然缺失整个古生代沉积。

表 1-1 鄂尔多斯盆地北部上古生界地层划分简表

地区		盆地西缘	盆地北部	盆地东缘
层位				
上覆层		刘家沟组 (T ₁ l)	刘家沟组 (T ₁ l)	刘家沟组 (T ₁ l)
二叠系	上统	石千峰组 (P ₂ sh)	石千峰组 (P ₂ sh)	石千峰组 (P ₂ sh)
		上石盒子组 (P ₂ s)	上石盒子组 (P ₂ s)	上石盒子组 (P ₂ s)
	下统	下石盒子组 (P ₁ x)	下石盒子组 (P ₁ x)	下石盒子组 (P ₁ x)
		山西组 (P ₁ s)	山西组 (P ₁ s)	山西组 (P ₁ s)
石炭系	上统	太原组 (C ₃ t)	太原组 (C ₃ t)	太原组 (C ₃ t)
	中统	羊虎沟组 (C ₂ y)	缺失	本溪组 (C ₂ b)
		靖远组 (C ₂ l)		缺失
下伏层		O ₁ m	O ₁ m—Ar	O ₁ m

本专著应用的地层划分方案主要采用中国石化原新星石油公司华北石油局第三普查大队的划分方案（表 1-2）。

表 1-2 鄂尔多斯盆地北部上古生界主要目的层层段划分及分布情况 m

地区		杭锦旗断阶	塔巴庙地区	布伦庙地区	备注
层位					
上覆层		P ₂ s	P ₂ s	P ₂ s	
下石盒子组	盒 3 段	25.5~63	14~59.5	24~57	产气层
	盒 2 段	11.5~40	21.5~58.5	21.5~57.5	含气层
	盒 1 段	21.2~84	13.5~60.9	13.5~93.8	主力气层
山西组	山 2 段	6~32.8	13.5~37	12~52.8	含气层
	山 1 段	6.2~48.5	16.5~42	16.5~78	主力气层
太原组	太 2 段	13.4~29.1	16.5~39	17~32.5	含气层
	太 1 段	18.5~67	20~47	14.8~41	含气层
下伏层		O ₁ m, Ar	O ₁ m, C ₂ b	C ₂ y, AnZ	

上古生界目的层段具有如下地球物理特征：下石盒子组岩层总体速度低于山西组岩层总体速度；下石盒子组平均层速度为 4200m/s 左右，其中砂岩速度在 4000~4300m/s 之间变化，泥岩速度最低可达 3600m/s；山西组地层总体速度在 4500m/s 左右，其中砂岩速度最高可达 4800m/s，泥岩速度为 3900~4200m/s 左右；在山西组和太原组中还发育着一层或数层厚度不等（厚度为 1~10m）的煤层，煤层的速度为 2800~3000m/s；在太原组底部砂泥岩和其下伏的碳酸盐岩之间形成一个较大的速度台阶，砂泥岩的速度为 4400m/s 左右，碳酸盐岩的速度为 5000~6250m/s。由此可见，煤层与其上覆下伏地层，底部砂泥岩和碳酸盐岩之间均可形成较大的阻抗差界面（反射界面），形成强的反射波组；而砂岩和泥岩之间可形成中等或弱的反射波组。

图 1-2 是大探 1 井 VSP 桥式标定图：

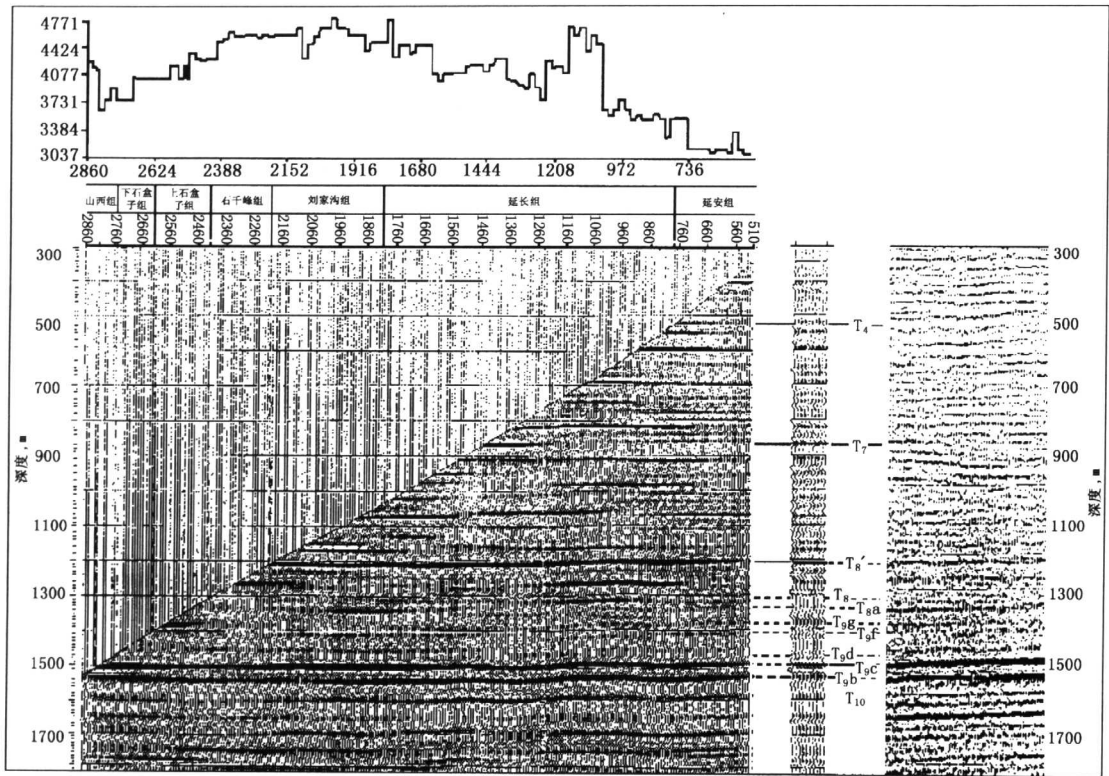


图 1-2 大探 1 井 VSP 桥式标定图
(据中国石化原新星石油公司华北石油局第三普查大队)

T_{9b} 为太原组中一套较厚的煤层的反射，T_{9c} 为山西组中一套较厚的煤层的反射，T_{9b}、T_{9c} 两波组形成强的“双轨”反射，在全区可连续追踪，是全区主要地震标志层，当较厚的煤层层数较多时，可形成“三轨”反射；

T_{9d} 为山西组顶部反射，T_{9f} 为下石盒子组顶部反射，T₈ 为上石盒子组顶部反射，T_{9d}、T_{9f}、T₈ 反射能量较弱，由于是多韵律多叠置沉积，它们呈反射能量弱且连续性差的特征。

在杭锦旗地区采用钻井合成地震记录对地震反射界面的地质属性进行了标定，标定出了

下石盒子组顶面 (T_{P_2}) 波组 (表 1-3 和图 1-3)。

表 1-3 杭锦旗地区上古生界地震波组特征

地震波组	波组特征	地质层位
T_8	反射能量弱至中等, 连续性尚可, 一般可以追踪对比	石千峰组底部, 位于区域盖层的中部
T_{P_2}	反射能量较弱, 但可以追踪对比, 分叉、合并现象多见	下石盒子组顶, 位于区域主力含气层段的上部
T_9	是全区最强、连续性最好的标准波组, 一般由单相位构成	上古生界底部, 位于区域主力含气层段的底部

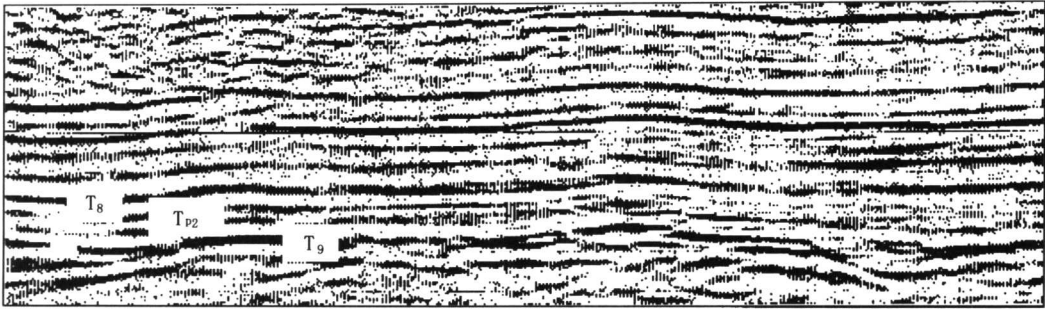


图 1-3 杭锦旗地区地震波组标定

(据中国石化原新星石油公司华北石油局第三普查大队)

一、石炭系太原组 (C_{3t}) 沉积背景

太原组主要分布于三眼井—泊尔江海子断裂以南地区, 是上古生界重要的煤系地层和区域标志层之一, 主要由灰白和灰色中厚层状含砾石英砂岩, 岩屑石英砂岩与黑色、深灰色泥岩、碳质泥岩, 铝土质泥岩及煤层的不等厚互层夹少量深灰色泥岩—微晶灰岩, 生物碎屑灰岩和煤线构成。砂岩分布于层序底部和中上部, 煤层常集中于下部和中部, 底部常见铝土岩、黄铁矿结核或菱铁矿薄层。泥质岩中陆相植物化石丰富, 石灰岩中则常见腕足、瓣腮、蜓类等海相动物化石。全组地层纵向显示下粗上细特点, 自下而上可进一步分为两个次一级正旋回段 (分别命名为太 1 段、太 2 段)。横向上, 本组地层北薄南厚, 北粗南细, 厚度一般为 45~100m, 最厚 118m (鄂 6 井), 最薄 9.2m (伊 10 井), 超覆沉积在下古生界下奥陶统马家沟组之上, 杭锦旗地区超覆于中、上元古界—太古界地层之上。其中砂岩和煤层大多含天然气显示, 局部富集成藏。沉积体系主体为滨岸沼泽—三角洲—海湾泻湖沉积体系, 在研究区即鄂尔多斯北部地区, 北部大部分地区以滨岸或滨岸沼泽—三角洲沉积环境为主, 其次为海湾泻湖沉积环境 (主要展布于南部区域)。

二、二叠系下二叠统山西组 (P_{1s}) 沉积背景

山西组分布范围基本同太原组, 岩性主要由灰白、浅灰色块状含砾岩屑石英砂岩、石英长石砂岩、岩屑砂岩及灰黑、深灰色泥岩、粉砂质泥岩组成, 区域性夹煤层或煤线。砂岩主要分布于层序底部和中、下部, 粒度下粗上细, 正旋回特征明显, 富含云母和高岭石矿物, 植物化石丰富。全组基本由下粗上细的两个次一级正旋回, 即山 1 段 (P_{1s_1})、山 2 段