

鄂尔多斯盆地 三叠系延长组致密储层特征 及油藏富集规律

EERDUOSI PENDI SANDIEXI YANCHANGZU
ZHIMI CHUCENG TEZHENG JI YOUCANG FUJI GUILV

郭艳琴 李文厚 等著



石油工业出版社

获西安石油大学优秀学术著作出版基金
和国家自然科学基金重点项目(批准号:41330315)资助出版

鄂尔多斯盆地三叠系延长组致密储层 特征及油藏富集规律

郭艳琴 李文厚 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书应用了大量野外露头、钻井测井、分析化验、试油、试采等方面的资料,全面、系统地论述了鄂尔多斯盆地三叠系延长组的地层层序、物源方向及沉积体系、沉积相及砂体平面展布、沉积中心迁移演化、储层岩石学及孔隙结构、成岩作用及成岩相、物性及敏感性等方面的特征,最后对储层进行分类评价,并通过油藏特征分析进行油气富集规律研究。

本书可供从事油气地质工作的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

鄂尔多斯盆地三叠系延长组致密储层特征及油藏富集规律/郭艳琴等著. —北京:石油工业出版社,2016.9

ISBN 978—7—5183—1544—4

I. ①鄂… II. ①郭… III. ①鄂尔多斯盆地—晚三叠世—油气藏—储集层特征—研究 ②鄂尔多斯盆地—晚三叠世—油藏—分布规律—研究 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 246118 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64251362 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京创意弘图文化发展有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:13

字数:340 千字

定价:100.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

鄂尔多斯盆地是我国形成时间最早、演化时间最长的沉积盆地,是一个稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显的多旋回内陆克拉通含油气盆地,也是我国第二大沉积盆地。在早—中三叠世时,现在的鄂尔多斯地区仍属于大华北陆相沉积盆地的一部分,地形呈北高南低、西陡东缓的总趋势,以河流湖泊沉积为主;晚三叠世后逐渐与华北盆地分离,并演化为一大型内陆盆地,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$,是我国重要的能源基地,具有油气分布广、含油气层系多、储层厚度大、储层低孔低渗等特点。

鄂尔多斯盆地中生界上三叠统延长组蕴藏着丰富的石油资源,20 世纪 90 年代以来已成为中国内陆油气勘探开发的几大热点盆地之一。近年来,其探明石油地质储量、石油产量年均增长速度均居全国各大盆地之首,每年新增石油探明地质储量均超过 $1 \times 10^8 \text{ t}$,原油产量年增幅也在 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 以上,表明盆地有巨大的勘探开发潜力。

本书前三章分别从古地理格局、构造演化、构造特征及古气候变迁等方面系统地阐述了鄂尔多斯盆地的区域地质概况。从标志层出发,结合沉积旋回等进行地层划分和开发小层划分,从层序界面、准层序(组)、体系域等沉积单元出发进行层序地层划分,建立起研究区的地层及层序格架。应用轻矿物碎屑、岩屑、重矿物组成及含量、古水流方向、稀土元素配分模式及石英颗粒阴极发光特征等方法对物源方向及母岩进行系统阐述;从原生沉积构造、沉积序列、古生物及测井曲线特征入手,系统阐述研究区发育的沉积体系类型及其特征。第四章系统地描述了延长组长 10—长 1 各油层组、长 6 和长 2 各开发小层的沉积相及砂体平面展布规律,从晚三叠世构造格局、沉降中心等方面入手研究了湖岸线及沉积中心的演化及不同时期湖盆面积的变化,揭示了储层宏观展布特征和规律。第五章至第八章通过岩石碎屑、胶结物类型及含量、微观孔隙类型及结构、储层物性等资料的统计分析,系统地研究了延长组储层的成岩作用、成岩序列、成岩相、四性关系、非均质性及其敏感性,最后综合以上研究阐述了储层类别的划分和储层平面展布规律,揭示了储层微观特征及其储集性能。第九章从烃源岩及生烃能力、生储盖组合等成藏基本地质条件,油藏圈闭类型及特征等出发,系统研究油藏富集规律及其主控因素,综合储层宏观、微观等方面的研究成果及钻井试采资料,进行有利区预测。

本书是笔者及其科研团队多年来在鄂尔多斯盆地油气勘探研究方面取得成果的总结,其中第一章至第三章、第五章至第九章由郭艳琴撰写,第四章由李文厚撰写,参加本书编写工作的还有马瑶、曹红霞、吴海燕、张道锋、袁珍、余芳、冯娟萍、陈全红、李百强、李洋和梁大勇等。

本书在整体结构、文字、图表的表述上均考虑了从事石油勘探开发的不同层次读者的需求,谨以此书献给在鄂尔多斯盆地从事油气勘探、开发工作的同行们。

在本书即将出版之际,笔者向在鄂尔多斯盆地油气勘探研究工作中给予大力支持的中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司和延长石油集团的同仁们表示诚挚的谢意!本书引用了许多前人的资料,在此对他们一并表示衷心感谢!

为了写好本书,我们尽了最大努力,但书中难免有不完善之处,敬请读者批评指正。

著 者
2016 年 9 月

目 录

第一章 区域地质概况	(1)
第一节 古地理格局及构造演化	(1)
第二节 盆地构造区划分及构造特征	(3)
第三节 古气候变迁	(5)
第二章 地层及层序地层划分	(7)
第一节 地层划分及对比	(7)
第二节 层序地层划分	(17)
第三章 物源方向及沉积体系	(34)
第一节 物源分析	(34)
第二节 沉积体系类型及特征	(54)
第四章 延长组沉积中心迁移演化规律	(69)
第一节 沉积相及砂体平面展布规律	(69)
第二节 晚三叠世构造格局及其沉降中心	(96)
第三节 晚三叠世沉积中心	(101)
第四节 晚三叠世构造与湖岸线及沉积中心演化	(102)
第五章 储层岩石学及孔隙结构特征	(105)
第一节 岩石类型及特征	(105)
第二节 孔隙类型及特征	(109)
第三节 微观孔隙结构特征	(112)
第六章 储层成岩作用及成岩相特征	(122)
第一节 成岩作用类型及其对储层物性的影响	(122)
第二节 成岩阶段划分及成岩演化序列	(129)
第三节 成岩相划分及成岩相平面分布特征	(132)
第七章 储层物性特征及敏感性分析	(135)
第一节 储层物性特征及四性关系	(135)
第二节 储层的非均质性分析	(141)
第三节 储层砂岩的敏感性分析	(146)
第八章 储层的分类及展布规律	(154)
第一节 储层类别及特征	(154)
第二节 储层平面展布规律	(157)
第九章 油藏特征及富集规律	(160)
第一节 成藏基本地质条件	(160)
第二节 油藏特征	(170)
第三节 油藏富集规律及主要控制因素	(173)
第四节 有利区预测	(179)
参考文献	(186)
附录	(191)
附录一 图版	(191)
附录二 图例	(202)

第一章 区域地质概况

鄂尔多斯盆地北跨乌兰格尔基岩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,西经掩冲构造带与六盘山、银川盆地对峙,其轮廓呈矩形,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。现今的鄂尔多斯盆地构造形态总体显示为一东翼宽缓、西翼陡窄的不对称大向斜的南北向矩形盆地。盆地边缘断裂褶皱较发育,而盆地内部构造相对简单,地层平缓,一般倾角不足 1° 。盆地内无二级构造,三级构造以鼻状褶曲为主,很少见幅度较大、圈闭较好的背斜构造。根据盆地现今构造形态、基底性质及构造特征,鄂尔多斯盆地可划分出伊盟隆起、渭北隆起、晋西挠褶带、陕北斜坡、天环坳陷及西缘冲断构造带六个一级构造单元(图 1-1)。

研究区以鄂尔多斯盆地油区为主体,北至榆林,南至旬邑—铜川一线,西到泾川一带,东到黄河,面积约 $11.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,行政区划属甘肃省东部、陕西省陕北地区。地表为典型的黄土塬地貌。

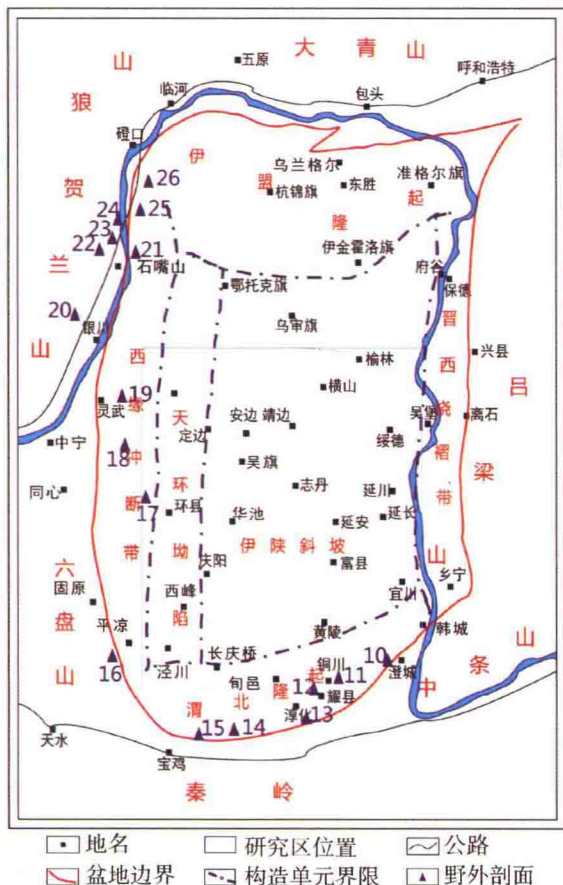


图 1-1 鄂尔多斯盆地构造区划及研究区位置图

第一节 古地理格局及构造演化

一、古地理格局

古生代至中生代早期,华北克拉通逐渐形成一个统一的大盆地,即大华北盆地。在早一中三叠世,现在的鄂尔多斯地区仍属于这个大华北陆相沉积盆地的一部分(叶连俊等,1983;刘绍龙,1986;张抗,1989;赵重远,1990),地形呈北高南低,西陡东缓,以河流沉积为主,湖泊沉积分布十分局限。到了晚三叠世,受印支运动影响,鄂尔多斯盆地经历了有史以来的重大变革。在沉积上实现了由海相、过渡相向陆相的根本性转变,使盆地自晚三叠世以来发育了完整和典型的陆相碎屑岩沉积体系,盆地演化进入了大型内陆差异沉积盆地的形成和发展时期。上三叠统延长组是在鄂尔多斯盆地坳陷持续发展和稳定沉降过程中堆积的以河流—湖泊相为特征的陆源碎屑岩系,湖盆发育到延长组第三段(T_3y_3)沉积初期达到鼎盛,湖进范围可到达盆地北部横山—乌审旗一线。之后,随着河流的不断注入充填,湖盆走向萎缩。该岩系客观地记录了

这个大型淡水湖盆从发生、发展到消亡的演化历史。同时,印支运动使盆地抬升露出水面,因风化侵蚀及季节性洪水的冲刷,延长组顶部受到强烈侵蚀切割,形成了沟谷纵横的丘陵地貌。

早侏罗世早期,沿沟谷发育了古甘陕水系,沉积了厚 20~260m 呈树枝状展布的近 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的河道砂体,此时气候一度干旱,出现了红层。随着侏罗纪早期沉积物的充填,鄂尔多斯盆地渐趋平原化,气候转向温暖潮湿,植被茂密,湖塘、沼泽星罗棋布,形成广泛分布的延安组河流与沼泽相的煤系地层,而在盆地东部,西起华池,东至延安,北抵志丹,南达富县这些范围内出现浅水湖泊环境。从侏罗纪早期充填性河流相开始到延安组煤系地层结束是鄂尔多斯内陆坳陷盆地的第二沉积阶段,并以发育河流沼泽相为主,盆地中部为汇水区,沉积中心与沉降中心基本一致。中侏罗世以砂砾岩的干旱河流开始,以棕红色泥岩、杂色泥灰岩的干旱咸化湖泊结束,为其第三沉积阶段。此阶段沉积和沉降中心不一致,沉积中心仍位于盆地中心偏南,并向西部迁移,而沉降中心仍在石沟驿一带继承发育。

早白垩世,盆地周边褶皱断裂加剧,地形高低悬殊,加速了新生山系的风化剥蚀,在盆地中发育了沉积厚达千米的棕红色砂、砾岩河流冲积相和干旱型湖泊乃至沙漠沉积。古近一新近纪时,由于气候干旱炎热,加之盆地进一步抬升,沉积范围萎缩。仅渐新世在天环坳陷北段有局部沉积,下部为盐湖相沉积,上部为河流相沉积。上新世在局部地区发育三趾马红土。

二、区域构造演化

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、坳陷迁移的多旋回克拉通叠加盆地。鄂尔多斯盆地地质构造性质以其稳定而闻名,并以整体上升、持续沉降、坡度宽而平缓为特点,可将鄂尔多斯盆地的地质构造演化过程划分为以下 6 个构造演化阶段。

1. 基底形成阶段(太古宙—古元古代)

鄂尔多斯盆地的基底属于华北地台的组成部分,这一变质基底是古元古代末期固结的。鄂尔多斯盆地偏北部分基底的时代相对更为古老,从其北侧的阴山地区及其西侧的贺兰山地区出露的片麻岩类的年龄值推断,盆地最老的基底约为 20 亿年至 25 亿年。王鸿祯(1981)将此区域划分为华北地台基底中最古老的陆核区之一。

2. 拗拉谷阶段(中—新元古代)

中—新元古代,古中国陆块处于拼接稳化初期,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,导致非造山岩浆运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—新元古代(即长城—蓟县期)是拗拉谷发育期,这些拗拉谷经历了初始裂开、主体断陷和后期坳陷三个发育阶段,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)

早古生代,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。

早古生代构造格局的总体特点是基本继承了中—新元古代的构造格局,同时,也有新构造的产生,即在两期隆起复合部位仍保持隆起状态,在隆起与凹陷的复合部位形成鞍部,在两期凹陷的复合部位依然保持为凹陷状态。

4. 滨海平原阶段(晚古生代—中三叠世)

杨俊杰、裴锡古(1996)等认为,晚古生代,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海相夹层,厚度为 50m。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;而贺兰拗拉谷于晚石炭世再度拉开,较早地接受沉积,形成上古生界区域性沉降带。晚石炭世,西部形成了与古特提斯连通的南北向海湾,东部为华北克拉通凹陷相通的潮坪。早二叠世进一步海侵,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。早二叠世晚期盆地上升为陆,揭开了陆相沉积的序幕。早二叠世晚期,海水逐渐退出盆地,盆地内部沉降幅度一致,从早二叠世晚期开始,盆地进入全面陆相沉积阶段。

5. 内陆盆地阶段(晚三叠世—早白垩世)

从晚三叠世以来,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。三叠纪末期印支运动和随后的早期燕山运动使盆地一度整体抬升,并遭受剥蚀及变形。到早侏罗世早期,盆地转为沉降,早侏罗世中期继续沉降,中侏罗世后的燕山运动又使盆地开始抬升,仅盆地西南部具有晚侏罗世沉积。

直至早白垩世初期盆地东缘上升为山,南缘及西缘也再度上升,形成四周升起,封闭统一的盆地。在此期间,盆地地层变形基本定型,内部六个主要构造单元形成,盆地东倾单斜转化为西倾单斜,并在单斜背景上叠加了一些近东西向延伸的小鼻隆,形成了现今盆地西深东浅、南低北高的格局,此时陕北斜坡渐具规模且占据盆地中部广大地区。

6. 断陷阶段(新生代)

燕山后期和喜马拉雅期运动使盆地抬升,导致古近纪(渐新世)在盆地西部天环拗陷北部有一些盐湖、河流沉积;渐新世以后,受喜马拉雅运动 I 幕的影响,盆地全面上升,局部沉积的有上新世三趾马红土,第四纪形成黄土沉积。在此期间,盆地内部地层变形和主要的六个一级单元及次级构造得到加强并定型。

第二节 盆地构造区划分及构造特征

一、盆地构造区划分

构造分区有几种不同的分区依据,如地槽—地台学说的分区、地质力学的分析与分区、镶嵌构造学和地洼学、断块构造说、板块构造学等。对构造划分的不同方案,除了各有不同的观点或侧重点外,还因为不同时期不同人对本区基础地质资料的认识和掌握程度不同。而各种不同方案中的相似之处可以说明本区构造的某些特征。

鄂尔多斯盆地地质构造具有两重性:稳定性和活动性。盆地的整体升降、斜坡宽缓、地层水平、缺乏背斜及接触整合等为稳定性的体现;基底镶嵌增生、边缘弧形构造发育、拗陷中心由

老而新自西向东迁移以及后期周边断陷等为活动性的体现。全盆地包括六个一级地质构造区：

1. 伊盟隆起

该隆起包括伊金霍洛旗以北、河套地堑以南地区，面积约 $4.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。全区基底隆起高、沉积盖层薄，一般小于千米，顶部仅数百米，甚至局部出露变质岩。伊盟隆起自晚古生代以来常以陆地面貌出现，并且与庆阳古陆、吕梁古陆、阿拉善陆一起影响着鄂尔多斯盆地的发展和演化。伊盟隆起自北而南发育三个二级构造带。

2. 渭北隆起

渭北地区的地质构造远比以往人们认为的复杂。原来所说的渭北隆起实际上包括了小秦岭西段的一部分。因此，应将其从原渭北隆起中划出，使鄂尔多斯盆地的西南边界止于老龙山断层。我们所说的渭北挠褶带应指老龙山断裂东北、建庄—马栏以南，由陇县至铜川、韩城的三角形地区，面积约 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

3. 晋西挠褶带

晋西挠褶带东隔离石断裂与吕梁断隆相接，西越黄河与陕北斜坡为邻，北抵偏关、南达吉县，南北长 450km，东西宽 50km，面积约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该带在地史中一直相对隆起，沉积盖层较薄。

4. 天环坳陷

天环坳陷面临冲断构造带，东接陕北斜坡，北达内蒙古千里山东麓，南抵渭北小秦岭构造带北侧，南北长 600km，东西宽 50~60km，面积约 $3.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。天环坳陷也可视为西缘掩冲构造带推覆、东迁、隆升与坳陷的对立统一体，更是下白垩统的沉积前渊。构造面貌为一平缓西倾（倾角小于 1° ）呈俯冲状插于冲断带之下的斜坡。

5. 陕北斜坡

陕北斜坡是构成中生界鄂尔多斯盆地主体的西倾平缓单斜。其倾角小，中生界一般小于 1° 。陕北斜坡北起乌审旗、鄂托克前旗、伊金霍洛旗，南至正宁、黄陵，西达环县、宁县，东到黄河。

6. 西缘冲断构造带

这个构造带系指银川地堑、六盘山以东，天环坳陷以西，北起桌子山，南达平凉的狭长地带，南北长 600km，东西宽 20~50km，面积约 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该带在加里东期微弱褶皱，在燕山期强烈冲掩，具有东、西分带，南、北切块的构造分布格局。二级构造可分为 5 个冲断席。

二、构造特征

鄂尔多斯盆地的构造属性是其地壳基底的克拉通本质决定的，其地层以整体升降、平起平落、地层水平、少见背斜、沉积盖层薄、岩浆活动弱为特点。研究区主体位于陕北斜坡南部，该斜坡是一个由东向西倾斜的平缓大型单斜，倾角小于 1° ，平均坡降 10m/km，在局部区域由于差异压实作用发育鼻状构造，在华池—甘泉—宜川一线以南，鼻状隆起的幅度大，走势方向变化较大。另外，受渭北隆起的影响，在黄陵—黄龙—宜川一带表现为大型的隆起，而且非常陡峭。在华池—甘泉—宜川一线以北，其鼻状隆起表现较平缓，走势一般为东西向。从全区鼻状隆起的幅度及展布情况看，研究区北部受构造影响较小，而南部受构造影响较大。

第三节 古气候变迁

生物组合、岩石的颜色和特殊岩石是恢复鄂尔多斯盆地古气候的重要标志,根据这些标志可以了解研究区各个时期的古气候变迁趋势。

一、研究的意义

首先,气候的变化决定着湖(海)盆水体的多少。湖(海)水的主要来源是湖(海)盆汇水区内的
大气降水,而大气降水量与气候的变化密切相关。潮湿气候条件下,大量的大气降水汇集在湖(海)盆中,使湖(海)盆中的水体增加,面积增大,湖(海)平面相对上升;而在相对干旱的气候条件下,大气降水减少,淡水补充不足,水量减少,蒸发量增大,使湖(海)盆中水体进一步减少,面积缩小,甚至干涸,直至消亡。

其次,气候变化控制着沉积物供应量的大小,湖(海)盆中的碎屑沉积物主要是由其周围的水系将汇水区内的风化剥蚀物搬运到其中而沉积下来的。在潮湿的气候条件下,周围水系水流量增大,搬运能力增强,将汇区内大量的风化物搬运到盆地中沉积下来,此时形成的沉积物颗粒粗,地层厚度大,分布面积广,是湖(海)盆中沉积作用的活跃期。而在干旱的气候条件下,湖盆周围水系水流量减少甚至干涸,其搬运能力大为降低,是盆地中沉积作用较弱的时期,或者盆地内的大部分地区成为沉积作用间歇期。

气候变化还对物源区的植被发育、生物活动、风化作用等产生重要影响,使湖(海)盆周围水系的营养成分、搬运能力和沉积物性质发生一定的变化,从而影响整个地区的沉积作用。

二、古气候的标志

从 18 世纪下半叶起,地质学家就开始运用某些特殊的矿物、岩石作为查明古气候的依据。以后随着成因矿物学、地球化学、沉积学的发展,人们对各种矿物、岩石的成因环境,包括气候环境有了更深入、更细致的了解,它们的古气候意义也更为明确。因此,矿物、岩石仍是研究古气候最基本的物质依据。如鲕状赤铁矿多数在温暖甚至是炎热的条件下形成的,在野外,山西组及石盒子组这种鲕状赤铁矿比较常见。

煤是有机成因的岩石,常与页岩共生形成含煤岩系,是一种炎热潮湿或温暖潮湿的气候条件的产物。在本溪组、太原组、山西组、延长组及延安组中煤层或煤线比较常见。另外碳酸盐岩和磷块岩也可看作是温暖的热带和亚热带的标志。蒸发岩(石膏、硬石膏、钠盐和岩盐等)以及自生蒙脱石、坡缕石黏土等也指示了炎热和干燥的气候环境。

岩石中不同的矿物组合也反映了气候的变化。研究认为,同样的结晶母岩,在地形等各种条件相似的情况下遭受风化时,潮湿气候条件下的结晶母岩可为河流提供富含石英砂,而在干燥气候条件下则提供富含长石、岩屑等不稳定组分的砂。

以上这些标志对古气候再造来说是非常重要的证据,它有助于更好地理解整个盆地的古地理格局及演化历史。

三、古气候变迁的原因

气候变化既涉及地球上四大圈层的演化和作用,也涉及宇宙中多种天文因子的作用和影响。主要的影响因子有以下几种:太阳辐射、地球轨道变化和地球自转及极移。太阳光是地球

热能的主要来源,也是地球上气象变化的主因。太阳辐射是气候形成的主要因素,而地球轨道变化则引起全球各地接受太阳辐射量的变化,因而可以导致气候的变化。在地球轨道要素中地轴倾斜度主要制约着全球气候带的分布、变化及四季的形成。地球上的一切物体运动,包括大气运动、海水运动以至地壳运动,它们都不同程度受地球自转偏向力的作用。由于地球自转的作用而形成显著的纬向风带,以及遍及全球(赤道地区部分外)的纬向环流带。纬向环流带的出现又阻挡着经向气候的逾越,引起某些地区空气质量的辐合及另一些地区空气质量的辐散,相应地形成了高压带和低压带。而且这些大气活动中的位置又随着地球自转速度的变化向东和南北方向发生移动,从而控制气候。

20 世纪初有学者提出,地质历史中大陆与海洋的变迁特别是造山运动是气候变迁的一个重要原因。Umbgrove(1947)就曾指出,冰期的出现是与地势强烈变化相联系的。气候变冷或变暖,取决于制约气温变化的各种因素综合作用的趋向,也就是说受天文因素和地质因素之间共同作用的结果。

四、古气候特征

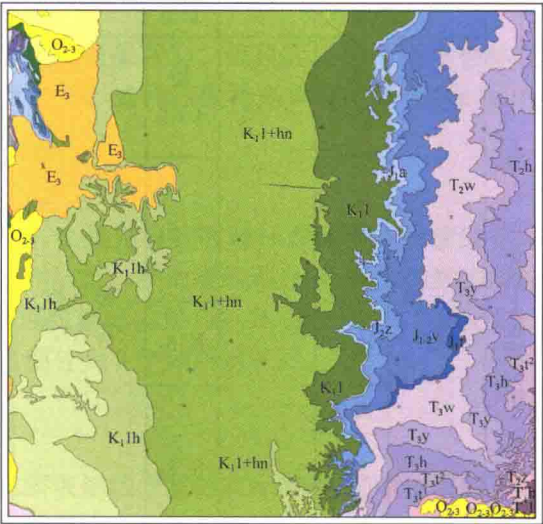
大量资料表明,从石炭纪到二叠纪,鄂尔多斯盆地的古气候发生了巨大的变化,从石炭纪的炎热潮湿、生物繁盛、化学风化作用强烈的热带—亚热带环境,以及早—中二叠世的多雨温湿气候带,向晚二叠世的炎热干燥环境转化。但到了晚三叠世,由于印支运动的影响,构造古地理格局有很大变化。随着秦岭海槽的最后封闭,华北、华南连为一体,从此结束了长期以来的南北对峙局面。这时盆地在很大程度上受到了古太平洋暖流和季风的影响。北半球潮湿气候带范围大大地扩展,在我国范围内尤为显著。由于气候潮湿,植物繁茂,沉积了较厚的灰黑色砂泥岩层、可采煤层和较厚的油页岩,以及丰富的有机物质和生物群落。在延长组植物群中苏铁类相当少,富含 D—B 植物群分子,草本的木贼类很多,具旱生耐凉特征的植物丹蕨、束脉蕨及丁菲羊齿发育,还有双壳类 *Unio*、*Shaanxiconcha*,另外还产介形类和叶肢介,代表半潮湿气候环境。

盆地侏罗纪是一个大型拗陷,接受四周古山系剥蚀区的物质,底部发育了残积、坡积和洪积相。延安组沉积时期,盆地进入稳定沉积阶段,沉积范围扩大,发育了湖泊沼泽相含煤细碎屑岩沉积,有机质丰富。在植物群中,苏铁植物较少,而以真蕨、松柏类及银杏类为主体,其中以凤尾银杏和锥叶蕨最具特征。晚侏罗世,鄂尔多斯盆地四周山岭逐渐升起,沉积盆地大大缩小。沉积物中不含煤,植物化石减少,并夹有红色泥岩,有些地方完全变为红色碎屑岩,反映气候由湿润向干旱转变。

第二章 地层及层序地层划分

第一节 地层划分及对比

研究区内所钻遇的地层由新到老有第四系、古近系、新近系、白垩系、侏罗系中统的安定组、直罗组、延安组，下统富县组，三叠系上统延长组。由于区域较大，区块分布不同，钻遇地层的情况亦有所不同，在东南部，第四系直接不整合覆盖在三叠系延长组之上，缺失侏罗系、白垩系、古近系、新近系层；西北部出现古近系、新近系和第四系。东部出露地层较老(图 2-1)，自东向西依次出露三叠系上统延长组，侏罗系下统富县组，侏罗系中统延安组、直罗组、安定组，白垩系。总体来说，研究区钻井资料表明，侏罗系延安组、富县组，三叠系延长组长 1 油层组残留厚度变化较大，而其他层段厚度比较稳定。



一、地层划分方案

鄂尔多斯盆地延长组是我国陆相三叠纪地层中出露最好、研究最早、发育比较齐全的层型剖面，延长组在陕北斜坡主要为一套灰绿色、灰色中厚层块状细砂岩、粉砂岩和深灰色、灰黑色泥岩组成的旋回性沉积，厚 800~1400m，平均厚度为 1182.2m，根据岩性特征，将三叠系延长组从下而上划分为五段，即长石砂岩带(T_{3y1})、油页岩带(T_{3y2})、含油带(T_{3y3})、块状砂岩段(T_{3y4})、瓦窑堡煤系(T_{3y5})。再根据其岩性、电性及含油性的差异，将 5 个岩性段又进一步自上而下划分为长 1 至长 10 十个油层组。延长组是盆地内中生界中的主要产油气层，具有很好的找油前景，所以在盆地中下侏罗统延安组、富县组及上三叠统延长组地层的划分对比过程中，原地矿系统、长庆油田、延长油矿对其地层及油层组的划分都形成自己的划分原则(表 2-1)。

1. 长庆油田划分方案

长庆油田的油层组划分方案主要是根据先寻找区域标志层，再寻找辅助标志层，先对大段，再对小段，旋回控制，参考厚度等方法相结合。张家滩页岩代表湖进以来盆地内部统一的最大湖泛面，在盆地南部分布稳定，是盆地三叠纪地层对比的标志层。盆地东部的定边—吴起—志丹—安塞地区一直是湖泊三角洲发育的地区，延长组古湖岸线的反复变迁是控制不同时期三角洲的主要地质因素。因此，首先按标志层控制住各油层组的大致范围，然后按旋回确

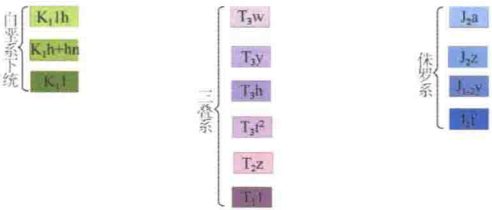


图 2-1 鄂尔多斯盆地地层出露图

定具体的油层组界限。如果在厚度上不协调,再考虑厚度原则。

表 2-1 鄂尔多斯盆地三叠系地层及油层组划分对比

地 层	延长油矿		长庆油田		华北石油局 1974 年	延长油矿 1991 年	延长油田 1988 年前		标志层		
									区域	地区	
三 叠 系 上 统 延 长 组	第五段 T_3y_5	长 1	第五段 T_3y_5	长 1	第五段 T_3y_5	长 1			瓦窑堡煤 系(K9)		
	第四段 T_3y_4	长 2	第四段 T_3y_4	长 2	第四段 T_3y_4	长 2+3	永坪油层		永坪砂岩段 (K6—K7)		
		长 3		长 3							
	第三段 T_3y_3	长 4+5		长 4+5	第三段 $T_3y_3^{1-3}$	长 4+5	延 长 油 层	11~12 层	细脖子段	高电阻率 泥岩段	
		长 6_1		长 6_1		长 6_1		13~15 层	K4—K5	B6	
						长 6_2		16~18 层			
						长 6_3		长 6_2	长 6_3	19~22 层	K3
		长 6_4		长 6_3		长 6_4		长 6_5	23~25 层		B4
									26~28 层	K2	B3
										张家滩页岩 (K1)	B2
		第二段 T_3y_2		长 7				长 7			
	长 8、 长 9		长 8、 长 9	第二段 $T_3y_2^{1-2}$							
	第一段 T_3y_1	长 10		长 10	第一段 T_3y_1			李家畔页岩(K0) 长石砂岩段			

根据标志层和沉积旋回,将张家滩页岩段以上的延长组细分为 6 个油层组。

长庆油田从延长组中挑选出了 10 个标志层,自下而上编号为 K0—K9。

K0 又称李家畔页岩,位于长 9 顶部,主要为暗色泥岩、页岩夹灰色粉-细砂岩,具有高电阻率、高伽马、自然电位偏正,以及在盆地东北部因含凝灰岩而具有低电阻率、高伽马、自然电位偏正的特点。K0 在全区都有分布,旬邑、宜君、黄陵、富县等地区比较厚。

K1 又称张家滩页岩,在盆地南部分布稳定,位于长 7 中下部,主要为黑色泥岩、页岩、碳质泥岩、凝灰质泥岩,有的地方为油页岩。其电性特征表现为高声波时差、高伽马、高电阻率、自然电位偏正。

K2 位于长 6₃底界处,为灰黑色泥岩、碳质泥岩、粉砂质泥岩,局部可见凝灰岩,出现三到四个厚度小于 1m 左右,呈高声波时差、高伽马、低电阻率、低密度、低感应、尖刀状井径的薄层带。

K3 位于长 6₂底界处,为灰黄色凝灰岩,高声波时差、高伽马、低电阻率、低密度,厚度小于 0.5~1m。

K4 为长 6 和长 4+5 之分层标志,为黑色泥岩、页岩,高声波时差、高伽马、高电位、较低电

阻率、低密度。位于长 6 顶 3~10m 处。

K5 位于长 4+5 中部,为黑色泥岩、页岩,具高声波时差、高伽马、高电位、较低电阻率、低密度及尖刀状井径等特征。

K6 位于长 3 底部。为暗色泥岩与凝灰岩,具高声波时差、高伽马、高电位、较低电阻率、低密度及尖刀状井径等特征。

K7 位于长 3 顶 3~5m 处。为暗色泥岩与凝灰岩,具高声波时差、高伽马、高电位、较低电阻率、低密度及尖刀状井径等特征。

K8 为碳质泥岩、凝灰岩互层,具高声波时差、高伽马、高电位、较低电阻率、低密度及尖刀状井径等特征,位于长₂顶 3~5m 处。

K9 位于长 1 底 0~5m 处,为页岩、碳质泥岩、煤线夹凝灰岩。该段泥岩的电阻率整体较高,只是在底部因凝灰质含量较高而引起电阻率值变低。该段还保持高声波时差、高伽马、自然电位偏正等特点。

2. 延长油矿划分方案

延长油矿在对延长组进行划分时所遵循的原则,也是先寻找区域标志层再寻找辅助标志层、先对大段再对小段、旋回控制、参考厚度等方法相结合。在油层组划分上,其大的标志层与长庆油田的方案大体一致,但在小层划分上,依据斑脱岩标志层(B₁、B₂、B₃、B₄、B₅)将长 6 油层组细分为 4 个砂层组,与长庆油田对长 6 油层组细分为 3 个砂层组不同。

二、地层划分的思路及方法

本书以“油层组”作为地层划分单位,符合陕北斜坡油区开发的实际需要,同时也限制了层序地层学等较新的理论和方法的应用,但在工作中尽量将一些新的理论、方法融入成果当中。

地层划分的工作思路是:首先要了解跨系的区域构造、沉积演化规律,掌握研究区延长期前后的构造变动、古地貌特征和测井曲线的识别标准并进行客观解释。在此基础上,寻找、建立地层对比的综合标志,确定这些标志的适用范围。在地层对比过程中,从点到线,从线到面三位一体对比,从标志显著的点开始,由粗到细层层深入,由近向远逐渐展开。垂向分层时密切注意岩层的穿时特征,横向对比时要注意识别等时地层界面。由于河流沉积中河道的随机、频繁摆动改道,使得河道砂体在泛滥沉积中随机出现,任何一个等时单元在侧向上总是出现河道砂体与泛滥沉积的交互相变,依据简单的沉积补偿原理,以任何一个遵循区域厚度变化趋势基本平行标准层的层段切片,取其界面作为等时线控制对比。另外,河流相沉积砂体横向上相变迅速,砂体厚度变化大的特点,在厚层与薄层间采用相变对比模式。依据上述原则,对标志层及旋回不太明显的井主要采用等高程、相变和侧向连续对比小层。

地层划分的基本方法是:以综合测井和录井的直井资料为基础,建立标准井,建立骨干剖面,其划分原则为先寻找区域标志层,再寻找辅助标志层,先对大段再对小段,旋回控制,并结合等高程、相变、侧向连续和下切砂体对比法等。在砂层组及小层对比过程中,突出了沉积旋回及岩性变化规律的应用。其中用声波时差划分大层,利用自然电位、微电极和自然伽马数据划分小层。

三、标志层及其特征

通过对研究区内钻井及野外剖面资料的对比,确定了全区分布比较稳定的 4 个主要标志层和 2 个辅助标志层。

1. 主要标志层

1)长 9 李家畔页岩(K0)

该岩层位于长 9 顶部,岩性为灰黑色泥井、页岩、含凝灰质泥岩。在盆地的东北部表现为低阻段,这是因为在盆地的东北部泥岩中的凝灰质含量增高的原故。低电阻率特征在中部、东部及东北部分布比较稳定,如富古 2 井的低阻、扩径、高声波时差和高伽马层(图 2-2,图例见本书附录二);高电阻率页岩在盆地南部发育,俗称李家畔页岩,典型的如子龙 5 井(图 2-3)。其中富 12—中富 28 一线及其以北更为清楚,由电阻率、井径、声波时差、自然伽马组成一个电性特征标志层,是三叠系地层对比的一个重要标志层(图 2-4,图 2-5)。

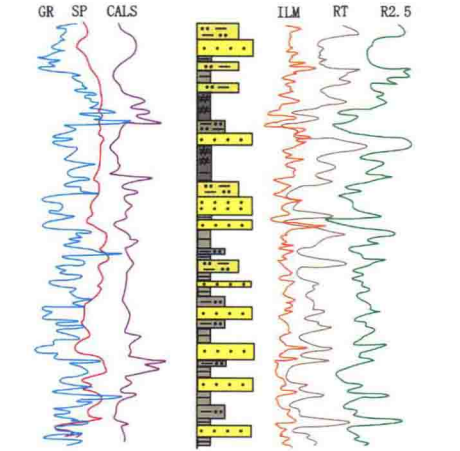


图 2-2 富古 2 井李家畔页岩低阻岩电特征

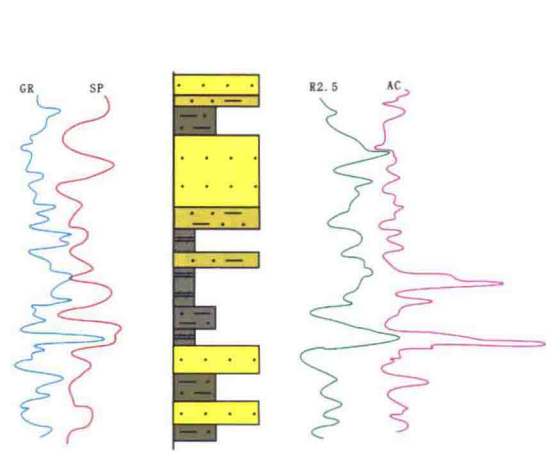


图 2-3 子龙 5 井李家畔页岩岩电特征

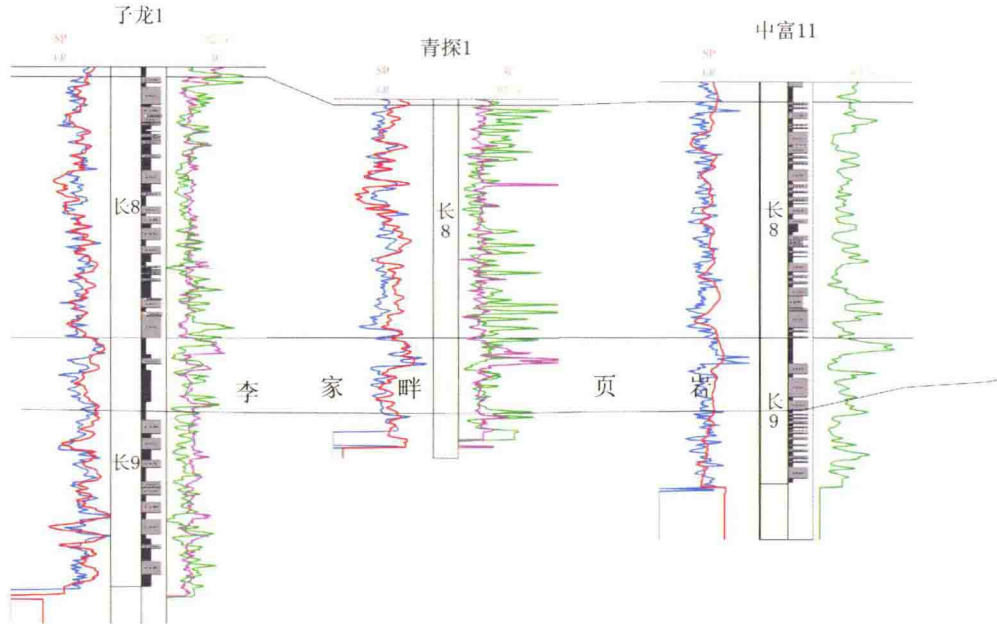


图 2-4 子龙 1—青探 1—中富 11 井长 9 油层组李家畔页岩岩电特征图

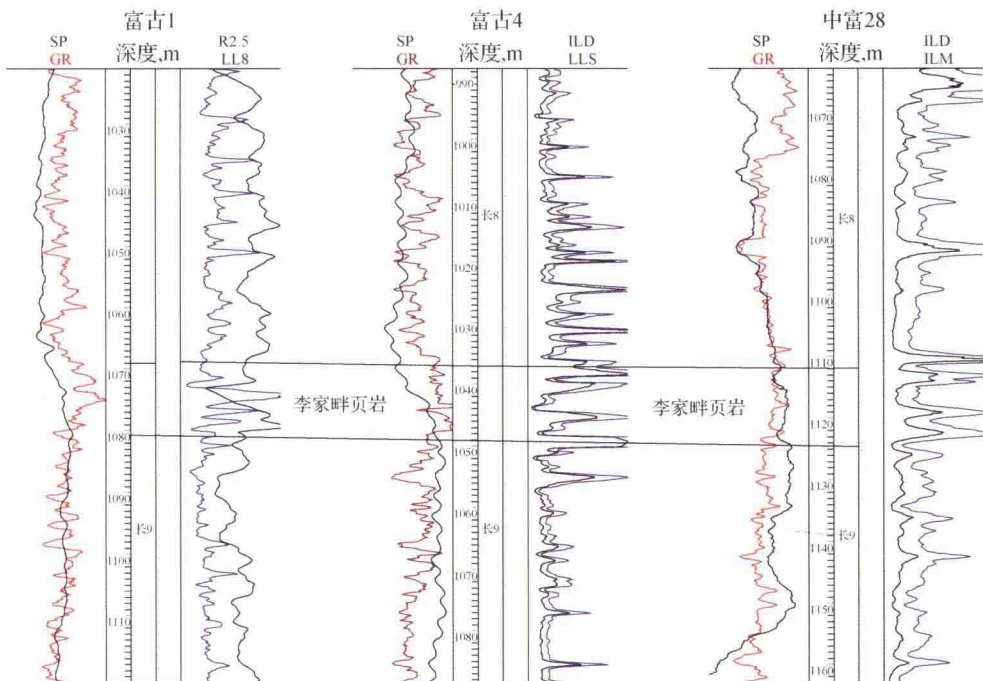


图 2-5 富古 1-富古 4-中富 28 井长 9 油层组李家畔页岩电特征

2) 长 7 张家滩页岩(K1)

张家滩页岩是鄂尔多斯盆地三叠纪地层对比的传统标志层,地表将其定为 KT 标志层。华北石油局第三普查勘探大队将其确定为长 7 油层组的顶部,而长庆油田则将它划为长 7 油层组的中下部。此标志层在盆地南部分布稳定,在研究区各个区块都有出现。它在含义上是指延长组第三段下部(即长 7 油层组底部)的黑色泥岩、页岩、碳质泥岩、凝灰质泥岩,但主要为油页岩。在电性上,该层以高阻出现,尤其在区内的富县区块上述特点表现得非常典型,称为上高阻段。在电性上还表现为高声波时差、高伽马、自然电位偏正等特点,如延长油田西区的正字号井,盆地南部富县区块及周围的黄参井、子龙井、富古 2 井、红 3 井(图 2-6)。据对钻穿长 7 井的对比来看(图 2-7),该段泥岩在盆地内分布比较稳定。其特点是自西南向东北,逐渐由页岩、碳质页岩变为含凝灰质泥岩,其电性特征也由典型的高电阻率变为典型的低电阻

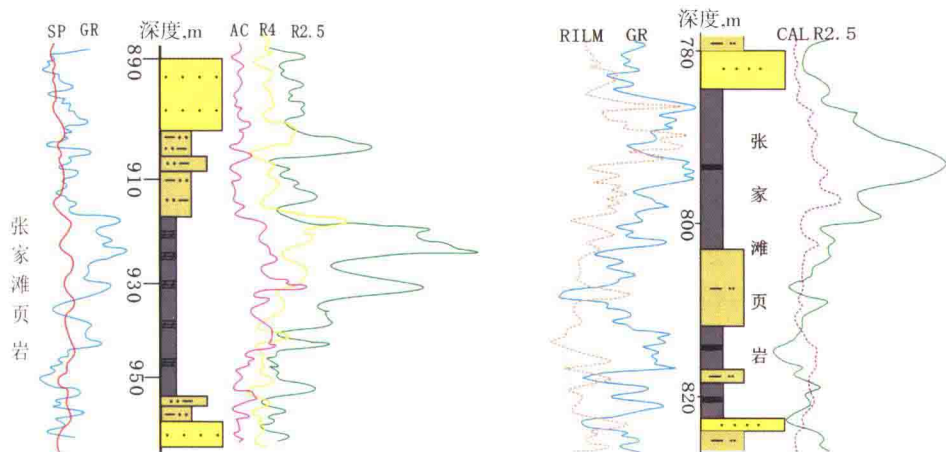


图 2-6 黄参 12 井、富古 2 井张家滩页岩电特征图

率,而高伽马、高声波时差、自然电位偏正等特点不变。只是在凝灰质含量高时,声波时差和自然伽马值表现得特别高。从对比来看,这一变化显然与泥岩的凝灰质含量有关,从其对应的电性特征看,具低电阻率,高伽马、高声波时差、自然电位偏正等特点(图 2-8)。

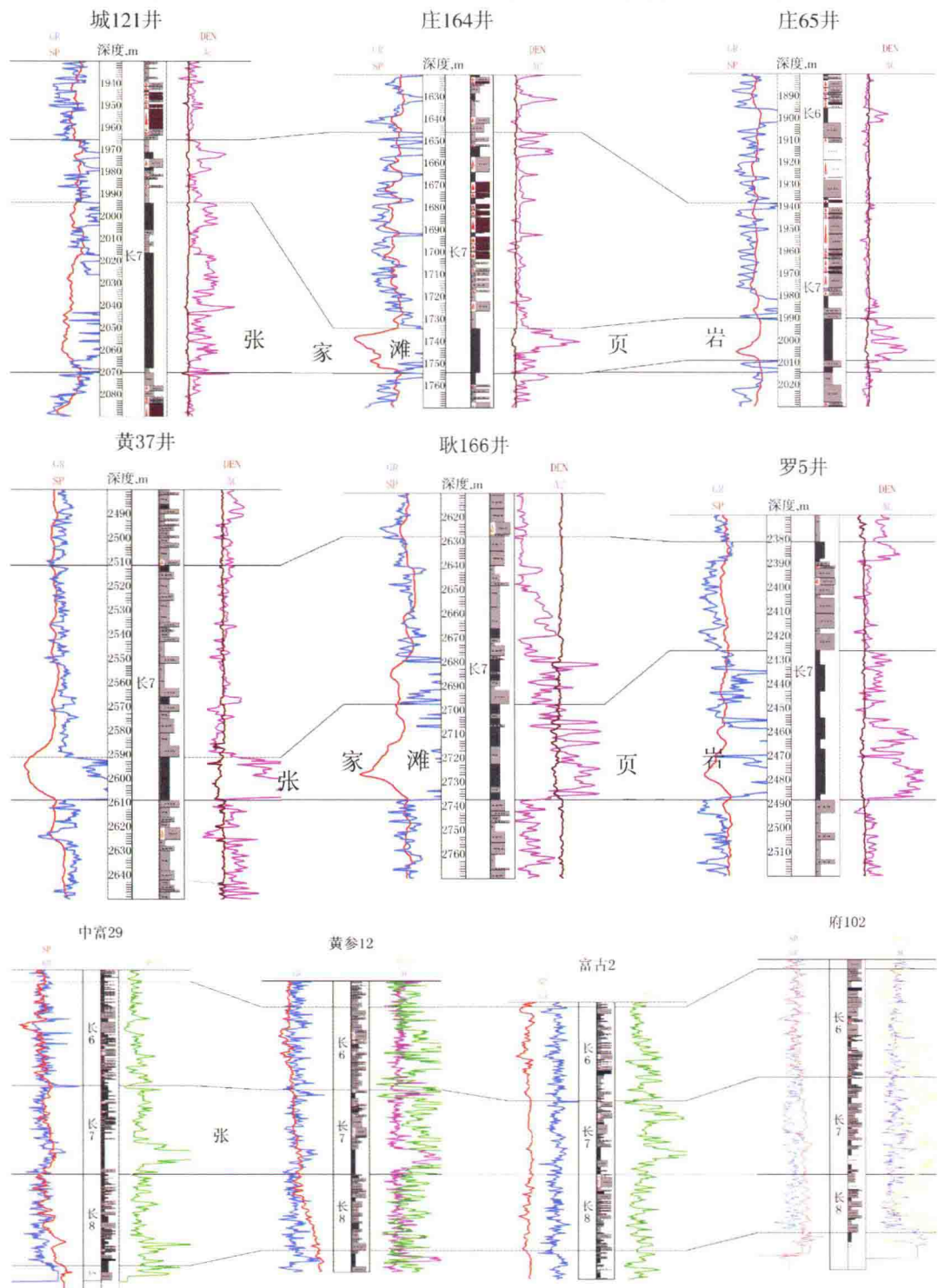


图 2-7 长 7 张家滩页岩剖面对比图