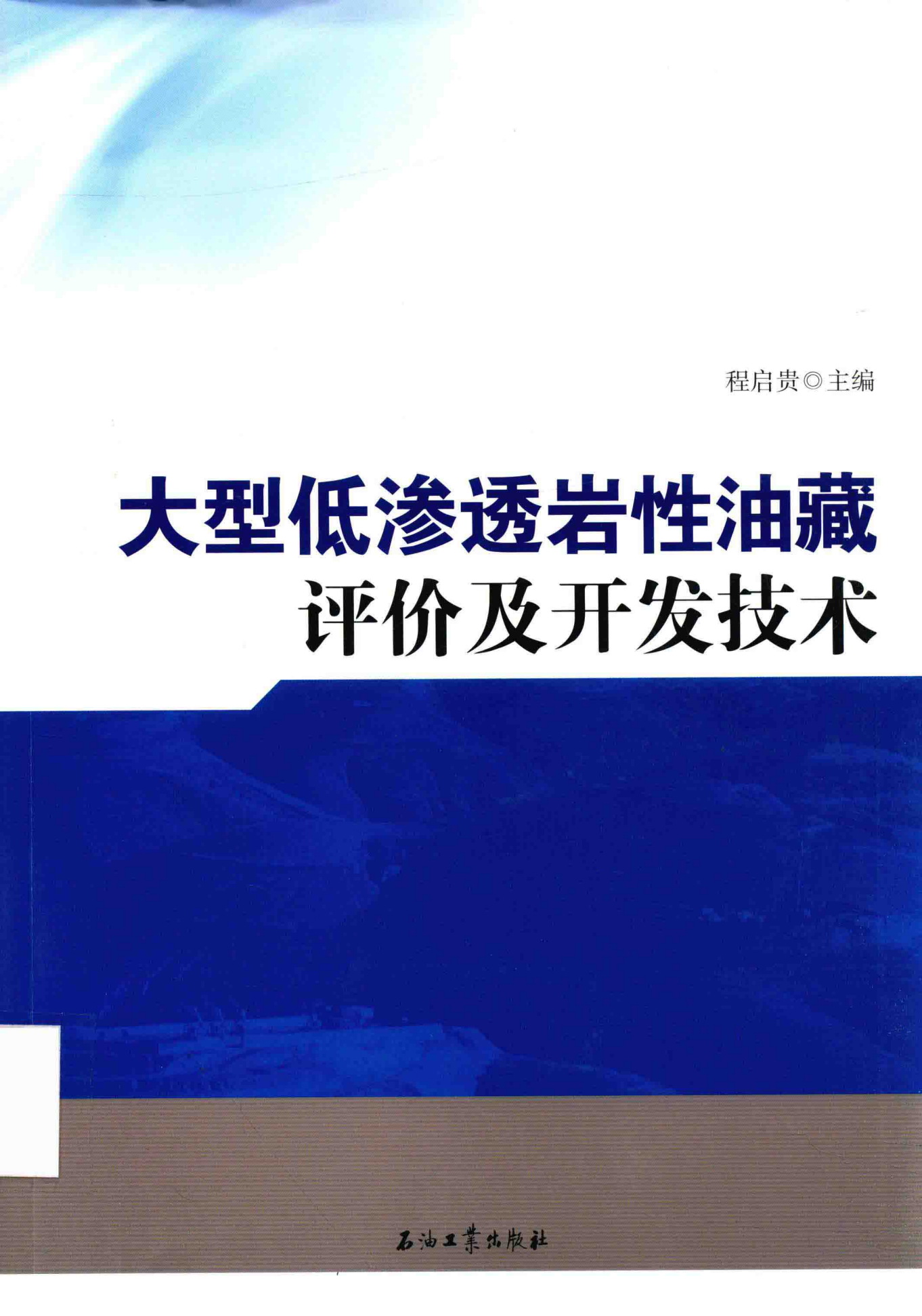




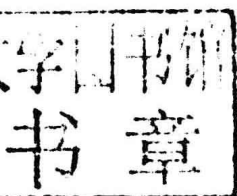
程启贵◎主编

# 大型低渗透岩性油藏 评价及开发技术

石油工业出版社

# 大型低渗透岩性油藏 评价及开发技术

程启贵 主编



石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书从大型低渗透油藏地质特征与开发特征入手,重点论述了大型低渗透岩性油藏描述技术、快速评价技术及井网优化、超前注水等7大主体开发技术。通过大量理论与实例剖析,展示了一套针对大型低渗透油藏的油藏评价及开发技术。

本书可供地球物理勘探、地球物理测井、油气田开发等相关专业生产和科研单位石油地质工作者参考,也可作为高等院校石油地质专业本科生和研究生的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

大型低渗透岩性油藏评价及开发技术. 程启贵主编.

—北京:石油工业出版社,2015.1

ISBN 978-7-5183-0454-7

I. 大…

II. 程…

III. ①低渗透油层—岩性油气藏—油藏评价 ②低渗透油层—岩性油气藏—油田开发

IV. TE348

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第248052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](http://www.petropub.com)

编辑部: (010) 64523546 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

---

2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 19

字数: 500千字

---

定价: 120.00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

# 目 录

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| 第一章 大型低渗透岩性油藏地质与开发特征 ..... | ( 1 )  |
| 第一节 区域地质概况 .....           | ( 1 )  |
| 一、区域构造背景 .....             | ( 1 )  |
| 二、区域构造特征 .....             | ( 1 )  |
| 三、油田构造特征 .....             | ( 2 )  |
| 四、地层简介 .....               | ( 2 )  |
| 第二节 沉积相特征 .....            | ( 3 )  |
| 一、沉积物源分析 .....             | ( 3 )  |
| 二、沉积相类型 .....              | ( 4 )  |
| 三、沉积相带展布及演化特征 .....        | ( 5 )  |
| 第三节 储层特征 .....             | ( 7 )  |
| 一、岩石学特征 .....              | ( 7 )  |
| 二、孔隙类型与孔隙结构特征 .....        | ( 12 ) |
| 三、物性特征 .....               | ( 13 ) |
| 四、裂缝发育特征 .....             | ( 15 ) |
| 五、渗流特征 .....               | ( 18 ) |
| 第四节 低渗透成因分析 .....          | ( 21 ) |
| 一、沉积相对储层渗透率的影响 .....       | ( 21 ) |
| 二、成岩作用对储层物性的影响 .....       | ( 22 ) |
| 三、碎屑组分及填隙物对储层物性的影响 .....   | ( 26 ) |
| 第五节 油藏特征 .....             | ( 29 ) |
| 一、温度与压力 .....              | ( 29 ) |
| 二、流体性质 .....               | ( 30 ) |
| 三、可动流体饱和度 .....            | ( 31 ) |
| 四、油藏类型与驱动特征 .....          | ( 31 ) |
| 第六节 开发特征 .....             | ( 32 ) |
| 一、油井生产特征 .....             | ( 32 ) |
| 二、递减规律 .....               | ( 32 ) |
| 三、注水特征 .....               | ( 34 ) |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 四、非达西渗流特征 .....            | ( 37 )  |
| 五、开发特征影响因素 .....           | ( 40 )  |
| 第二章 大型低渗透岩性油藏描述技术 .....    | ( 45 )  |
| 第一节 精细小层划分和对比技术 .....      | ( 45 )  |
| 一、小层精细划分及对比的原则 .....       | ( 45 )  |
| 二、地层精细对比技术 .....           | ( 47 )  |
| 三、地层划分及对比结果 .....          | ( 54 )  |
| 第二节 储层非均质性表征技术 .....       | ( 56 )  |
| 一、储层非均质性影响因素及分类 .....      | ( 56 )  |
| 二、层间非均质性描述技术 .....         | ( 57 )  |
| 三、层内非均质性描述技术 .....         | ( 59 )  |
| 四、平面非均质性描述技术 .....         | ( 68 )  |
| 五、储层微观非均质性描述技术 .....       | ( 72 )  |
| 六、储层非均质性对注水开发效果的影响 .....   | ( 73 )  |
| 第三节 低渗透砂岩油藏裂缝描述技术 .....    | ( 73 )  |
| 一、裂缝分类 .....               | ( 73 )  |
| 二、裂缝表征及识别方法 .....          | ( 74 )  |
| 三、裂缝分布规律描述技术 .....         | ( 75 )  |
| 四、裂缝对低渗透油藏开发的影响 .....      | ( 80 )  |
| 第四节 流动单元研究技术 .....         | ( 83 )  |
| 一、流动单元的概念与特征 .....         | ( 83 )  |
| 二、流动单元的影响因素 .....          | ( 85 )  |
| 三、流动单元划分方法研究 .....         | ( 86 )  |
| 第五节 相控随机建模技术 .....         | ( 93 )  |
| 一、地质建模概况 .....             | ( 93 )  |
| 二、随机模拟原理及方法 .....          | ( 94 )  |
| 三、三维建模策略及步骤 .....          | ( 99 )  |
| 第六节 数值模拟技术 .....           | ( 109 ) |
| 一、模拟器及基础数据 .....           | ( 110 ) |
| 二、历史拟合技术 .....             | ( 111 ) |
| 三、动态预测技术 .....             | ( 116 ) |
| 第三章 大型低渗透岩性油藏快速评价技术 .....  | ( 121 ) |
| 第一节 低渗透储层分类标准建立及分类评价 ..... | ( 121 ) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 一、低渗透储层分类标准创建 .....           | (121) |
| 二、低渗透储层分类评价 .....             | (123) |
| 第二节 经济开发电性下限及测井产能预测方法研究 ..... | (128) |
| 一、开发单元经济开发电性下限研究 .....        | (128) |
| 二、测井产能预测方法研究 .....            | (136) |
| 三、基于支持向量机法产能快速预测系统 .....      | (150) |
| 第三节 低渗透岩性油藏产能快速评价技术 .....     | (152) |
| 一、产能快速评价技术思路 .....            | (152) |
| 二、产能快速预测方法 .....              | (153) |
| 三、产能快速评价技术应用及效果 .....         | (162) |
| 第四章 大型低渗透岩性油藏主体开发技术 .....     | (168) |
| 第一节 井网优化技术 .....              | (168) |
| 一、井网部署原则 .....                | (168) |
| 二、井网形式优化 .....                | (168) |
| 三、井排距优化 .....                 | (173) |
| 第二节 超前注水技术 .....              | (180) |
| 一、超前注水机理 .....                | (180) |
| 二、注水时机的确定 .....               | (186) |
| 三、超前注水参数的优选 .....             | (188) |
| 四、合理压力保持水平 .....              | (191) |
| 五、超前注水开发实践 .....              | (193) |
| 第三节 开发压裂技术 .....              | (195) |
| 一、整体开发压裂技术的发展历程 .....         | (196) |
| 二、开发压裂技术 .....                | (197) |
| 三、开发压裂优化方法 .....              | (200) |
| 四、开发压裂技术应用效果 .....            | (208) |
| 第四节 精细分层注水技术 .....            | (213) |
| 一、精细分层注水地质依据 .....            | (213) |
| 二、精细分层注水工艺技术 .....            | (214) |
| 三、精细分层注水应用及效果 .....           | (219) |
| 第五节 注水井调剖技术 .....             | (222) |
| 一、调剖技术历程 .....                | (222) |
| 二、调剖选井决策技术 .....              | (223) |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 三、调剖工艺技术 .....            | ( 226 ) |
| 四、调剖应用及效果 .....           | ( 229 ) |
| 第六节 井网加密调整技术 .....        | ( 232 ) |
| 一、井网加密调整基础研究 .....        | ( 232 ) |
| 二、井网加密调整研究 .....          | ( 238 ) |
| 三、配套储层改造工艺及注采政策研究 .....   | ( 246 ) |
| 四、井网加密调整实践与效果 .....       | ( 254 ) |
| 第七节 水平井开发技术 .....         | ( 257 ) |
| 一、水平井规模开发提高钻遇率技术 .....    | ( 258 ) |
| 二、低渗透砂岩油藏水平井井网优化技术 .....  | ( 267 ) |
| 三、水平井井网有效驱替压力系统建立技术 ..... | ( 274 ) |
| 四、水平井分段压裂改造技术 .....       | ( 280 ) |
| 参考文献 .....                | ( 291 ) |

# 第一章 大型低渗透岩性油藏地质与开发特征

鄂尔多斯盆地中生界三叠系延长组是以大型内陆坳陷盆地为背景,以河流、湖泊相为主的陆源碎屑岩沉积,由西南和东北两大方向物源控制,在盆地发展、演化过程中,两大沉积体系此强彼弱、互有消长,共同构成了纵向上相互叠置、横向上复合连片的多套储集砂岩体。三叠系油藏以大型低渗透岩性油藏为主,孔隙结构复杂,物性差,天然能量匮乏,单井产量低,油藏总体表现为“低渗、低压、低产”的“三低”特征。

## 第一节 区域地质概况

鄂尔多斯盆地北以阴山、大青山及狼山为界,南至秦岭,西至贺兰山、六盘山,东到吕梁山,总面积  $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地基底为太古宇、元古宇变质岩结晶基底,其上有古生界、中生界、新生界盖层,具明显的二元结构。

### 一、区域构造背景

鄂尔多斯盆地是一个中生代盆地叠加在古生代盆地之上的复合盆地。古生代至中生代早期,鄂尔多斯盆地属大华北盆地的一部分。到了晚三叠世,受印支运动影响,华北盆地解体,鄂尔多斯盆地与华北盆地分离,逐渐演化形成大型内陆坳陷盆地。盆地大体经历了中新生代拗拉谷、早古生代陆表海、晚古生代海陆过渡、中生代内陆湖盆及新生代周边断陷等5大演化阶段,形成了下古生界碳酸盐岩、上古生界海陆过渡相煤系碎屑岩及中生界内陆碎屑岩沉积的三层结构。2013年底在盆地内共发现了下古生界、上古生界及中生界三套含油气层系。

上三叠统延长组第一段( $T_3y_1$ )沉积之后,盆地地形出现明显分异,南部以明显的斜坡向盆地内部倾没,北自马家滩、南至旬邑、铜川,东起延安、黄陵,西达环县、镇原,面积约  $4 \times 10^4 \text{ km}^2$  的范围为深湖盆地区,形成了厚度达 300~400m 的深湖相沉积,这套深湖相地层是盆地中生界主要的烃源岩。之后,盆地继续抬升,湖盆开始萎缩,在盆地的东北、西南方向发育两大沉积体系,形成了巨大的(长6期)三角洲沉积体,这是自晚三叠世以来湖盆发生的第一次大规模沉积建造,形成了巨型三角洲沉积体,它是鄂尔多斯盆地延长组最重要的储层之一。随后盆地下沉,湖盆又经历了一次短暂的扩张时期,沉积了一套粉细砂岩与粉砂质泥岩薄互层为主的沉积(长4+5)。而后,随着地壳的再次抬升,湖盆又一次进入萎缩期,湖盆北部抬升速度增大,湖水逐步向南退缩,沉积了一套以厚层、块状砂岩夹泥岩为主的沉积建造(长2+3)。之后,湖盆进一步缩小,局部出现沼泽环境,沉积了一套砂、泥岩夹薄煤沉积,直至湖盆消亡。

### 二、区域构造特征

鄂尔多斯盆地属大华北盆地的一部分,为克拉通边缘坳陷盆地,其构造总体上显示为东

翼宽缓、西翼陡窄的不对称矩形盆地。结合盆地演化历史，盆地共划分为伊盟隆起、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等 6 个一级构造单元（图 1-1）。盆地边缘断裂褶皱较发育，盆地内部构造相对简单，以鼻状构造为主，地层倾角不足 1°。

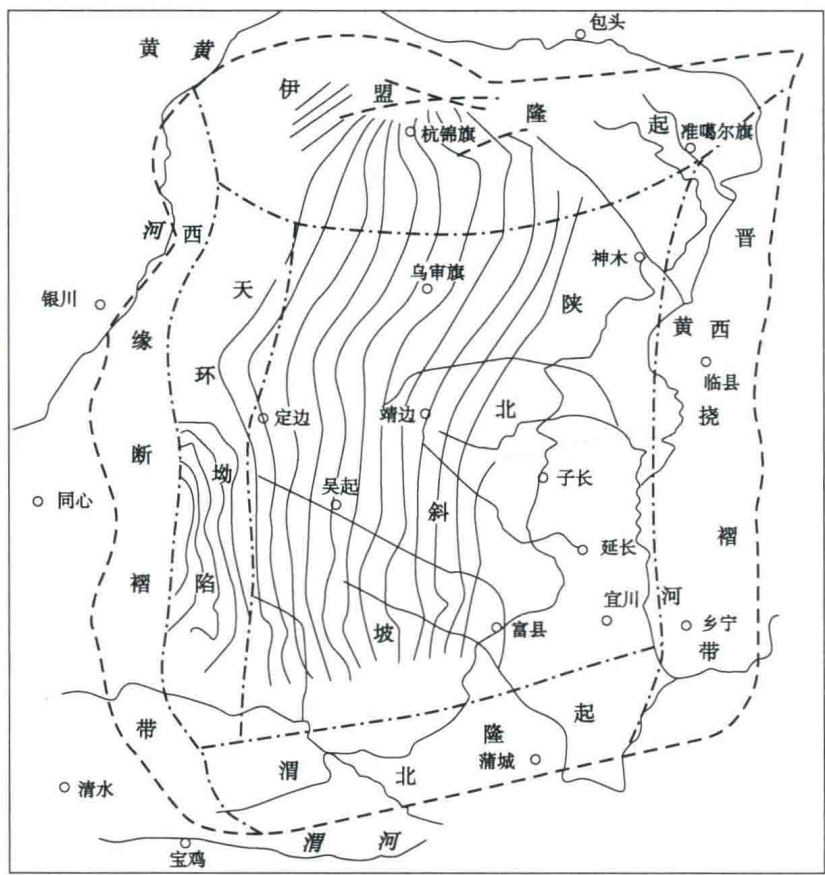


图 1-1 鄂尔多斯盆地构造单元划分图

三、油田构造特征

鄂尔多斯盆地中生界三叠系、侏罗系已探明油藏主要集中在陕北斜坡区。盆地内主要产油层延长组，区域构造背景为一平缓西倾单斜，斜坡上构造活动十分微弱，地层产状平缓，由东向西平均坡降 8.0~10.0m/km。在岩石差异压实作用下，形成小型鼻状的古隆起。这种鼻隆常呈排成群展布。这些排状鼻隆褶皱带又由多个较小的、次一级的、局部鼻状隆起褶皱组成，幅度一般 10~30m，轴长 2~12km，轴宽 0.5~3km。隆起带为向东开口的鼻状构造带，上倾方向多有岩性变化形成岩性遮挡，形成了众多的三叠系油藏。

四、地层简介

鄂尔多斯盆地有中上元古界、下古生界碳酸盐岩、上古生界滨海及海陆过渡相至陆相碎屑岩沉积和中生界陆相碎屑岩沉积，新生界只有局部地区分布。

延长组地层是鄂尔多斯盆地内陆湖盆形成后接受的第一套生储油岩系，也是盆地最主要的产油层系。根据岩性特征分为 5 段，即 T<sub>3</sub>Y<sub>1</sub>、T<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>Y<sub>3</sub>、T<sub>3</sub>Y<sub>4</sub>、T<sub>3</sub>Y<sub>5</sub>。再根据其岩性、

电性及含油性,将5段对应划分为10个油层组(长1—长10),各段与油层组对应关系及岩性特征如表1-1所示。

表 1-1 三叠系延长组地层简表

| 系           | 组           | 段                 | 厚度 (m)  | 油层组   | 岩 性                                                                |
|-------------|-------------|-------------------|---------|-------|--------------------------------------------------------------------|
| 三<br>叠<br>系 | 延<br>长<br>组 | 第五段<br>$T_{3y_5}$ | 0~200   | 长 1   | 为一套深灰色粉砂质泥岩与泥质粉砂岩、细砂岩互层,局部夹薄煤层                                     |
|             |             | 第四段<br>$T_{3y_4}$ | 100~250 | 长 2   | 为一套灰绿色中、细粒砂岩夹灰黑色粉砂泥岩,是盆地延长组重要的储油层之一                                |
|             |             |                   |         | 长 3   |                                                                    |
|             |             | 第三段<br>$T_{3y_3}$ | 120~400 | 长 4+5 | 为一套砂泥岩互层。长 7 在盆地南部发育“张家滩”页岩,是盆地的主要生油层,长 4+5 主要是泥页岩,它是生油岩,也是较好的区域盖层 |
|             |             |                   |         | 长 6   |                                                                    |
|             |             |                   |         | 长 7   |                                                                    |
|             |             | 第二段<br>$T_{3y_2}$ | 100~200 | 长 8   | 以湖相沉积为主的砂、泥岩沉积。长 8 相对较粗,是重要的储油层。长 9 以泥页岩为主,习称“李家蚌”页岩是延长组重要的生油岩之一   |
|             |             |                   |         | 长 9   |                                                                    |
|             |             | 第一段<br>$T_{3y_1}$ | 100~300 | 长 10  | 为灰绿色、浅红色长石砂岩夹暗紫色泥岩及粉砂岩。砂岩为沸石,呈麻斑结构                                 |
|             |             | 纸坊组               |         |       |                                                                    |

## 第二节 沉积相特征

### 一、沉积物源分析

鄂尔多斯盆地中生界三叠统延长组是以大型内陆拗陷盆地为背景,以河流和湖泊相为主的陆源碎屑岩沉积,由西南和东北两大方向物源控制。

当时盆地内的古地貌隆坳、河湖分布等与盆地原型、沉积体系及沉积环境相关,其中古物源是一个十分重要的方面,如古物源的种类即母岩性质、搬运距离的长短、分选性等性质,决定沉积物沉积成岩后形成的沉积岩的性质,同时,物源的性质也可以确定当时盆地内的古隆起及古地貌,因此研究古物源是恢复原型盆地的一个先决条件。

#### 1. 盆地西、西南缘各沉积体系物源

盆地西缘及南缘高地剥蚀区由宁夏古隆起、古祁连山—陇西古陆及秦岭古陆环绕。

盐池西南、环县、镇原地区各冲积扇三角洲沉积体系物源主要是来自于盆地西缘的宁夏古隆起及南缘的古祁连山—陇西古陆;盆地西南辫状河三角洲沉积体系位于陇县—平凉一带,主要物源区为秦岭古陆。

中三叠世孕育发展起来的西部古陆和晚三叠世崛起的秦岭地区成为晚三叠世早期延长湖西南缘两个重要的物源供应区。

#### 2. 盆地北、东北部沉积体系物源

盆地北部阿拉善—乌拉山—大青山一线地区的古老变质岩系为母岩区,盆地北、东北部各沉积体系可划分为安塞河流—三角洲沉积体系、志靖—吴起河流—三角洲沉积体系及安边

河流—三角洲沉积体系三大沉积体系。其中：安塞河流—三角洲沉积体系位于杏河—侯市—王窑—安塞地区，主要物源供给应该来自北北东向的呼和浩特—集宁一带的大青山地区；志靖—吴起河流—三角洲沉积体系位于志丹—吴起一带，主要物源区应该是北部达拉特旗一带的乌拉山地区；安边河流—三角洲沉积体系位于西部安边—定边一带，其物源来自北部乌拉特后旗一带地区。

二、沉积相类型

沉积相判识主要依据沉积学、古生物学、地球物理测井和地球化学 4 大类标志进行研究，各沉积相标志具有相应的沉积环境意义。结合盆地东北及西南各沉积体系的岩石沉积体特征，主要依据沉积学标志、地球物理测井标志结合古生物学和地球化学标志，判断和划分沉积相类型。通过对盆地周边野外露头剖面的系统观察，大量钻井岩心观察，结合测井资料综合分析，精细研究了长 4+5—长 8 各层位的岩性组合、沉积结构构造、垂向序列和测井响应特征，编绘了各层砂地比图、砂体厚度图和沉积相平面展布图，分析了延长组各油层沉积格局和沉积作用特点，最终对长 4+5—长 8 各主要油层组沉积体系和其包含的沉积相类型进行了划分，总结出 5 类沉积体系 13 种沉积亚相（表 1-2）。

表 1-2 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 4+5—长 8 油层组主要沉积相类型表

| 沉积体系     | 沉积相    | 亚 相      | 微 相                       | 主要岩相组合        | 分布层位           |
|----------|--------|----------|---------------------------|---------------|----------------|
| 河流体系     | 河流     | 河道       | 河床滞流沉积、心滩坝、(辫状河)、边滩、(曲流河) | 粗砂岩、砂砾、岩砂岩、泥岩 | 长 4+5—长 8 盆地北缘 |
|          |        | 河漫滩      | 天然堤、决口扇、泛滥平原              | 粗砂岩、砂砾岩、泥岩    | 长 4+5—长 8 盆地东北 |
| 湖泊体系     | 湖泊     | 滨浅湖      | 滩砂                        | 砂岩、暗色泥岩       | 盆地周缘           |
|          |        | 深湖       | 深湖泥、浊流沉积                  | 粉细砂岩、暗色泥岩     | 盆地西南           |
| 扇三角洲体系   | 扇三角洲   | 扇三角洲平原   | 辫状河、泛滥平原                  | 粉细砂岩、暗色泥岩     | 长 6—长 8 盆地西南缘  |
|          |        | 扇三角洲前缘   | 水下分流河道、分流间湾               | 砂岩、泥岩         |                |
|          |        | 前扇三角洲    | 前三角洲泥、含重力流                | 粉砂岩           |                |
| 辫状河三角洲体系 | 辫状河三角洲 | 辫状河三角洲平原 | 分流河道、泛滥平原                 | 粉细砂岩暗色泥岩      | 长 4+5—长 8 盆地西南 |
|          |        | 辫状河三角洲前缘 | 水下分流河道、间湾、席状砂、河口坝         | 细砂岩及暗色泥岩      |                |
|          |        | 前辫状河三角洲  | 前三角洲泥、远沙坝                 | 粉砂岩泥岩         |                |
| 曲流河三角洲体系 | 曲流河三角洲 | 三角洲平原    | 分流河道、河漫滩、沼泽               | 砂(泥)岩         | 长 4+5—长 8 盆地东北 |
|          |        | 三角洲前缘    | 水下分流河道、分流间湾、席状砂、河口坝       | 泥(砂)岩         |                |
|          |        | 前三角洲     | 前三角洲泥、远沙坝                 | 粉砂岩、泥岩        |                |

### 三、沉积相带展布及演化特征

#### 1. 沉积相平面分布特征

鄂尔多斯盆地三叠系延长组的沉积相特征,总体来说以发育大型内陆湖泊复合三角洲为主,盆地东南部基本上为湖相,湖盆边缘则以粗碎屑的河湖—三角洲沉积为主;各沉积相带的平面变化基本上呈环带状展布,砂体的发育情况则完全受到沉积相的控制。以低渗透岩性油藏发育的长8、长6、长4+5油层组为重点,各油层组的沉积相平面分布特征如下。

##### 1) 长8油层组

这一时期沉积相展布特征为盆地西南部发育近源快速堆积的粗粒辫状河三角洲为主,由镇原—庆阳辫状河三角洲、合水—正宁辫状河三角洲和环县辫状河三角洲组成;盆地东北部发育呈裙状分布的一系列曲流河三角洲,由神木—乌审旗三角洲和安塞三角洲组成;另外,盆地西北部发育盐定三角洲,东南缘发育规模较小的黄陵三角洲。

长8油层组沉积期以浅湖区发育为主要特征,深湖区不甚发育。湖盆位置分布在吴起—志丹—富县—正宁—庆阳—环县所圈定范围一带(图1-2),长8期湖盆向东南开口,湖盆特征是水体浅、湖盆底形东北较缓、西南较陡、周边多种水系发育,并在多个地区形成粒级较粗的复合三角洲。

##### 2) 长6油层组

长6油层组沉积期半深湖区仅限于环县—华池—直罗—富县—姬塬所限范围,呈北西南东向不对称展布,该期沉积物源具有多方向的特点,而且主次分明。东北方向的物源最为重要,形成了由安塞三角洲、志靖三角洲和安边三角洲等组成的陕北大型复合三角洲;西南物源次之,由环县、镇原—庆阳以及合水—正宁等辫状河三角洲组成西南沉积体系。另外在东南黄陵发育规模较小的三角洲,在湖盆中部发育砂质碎屑流及浊流等重力流沉积。

按照受控的构造和补给条件,长6三角洲大致可以分为3类,第一类为自北—北东方向向湖进积的大型缓坡曲流河三角洲沉积体系,第二类为自南西方向向湖进积的陡坡辫状河三角洲沉积体系。第三类为来自西部及南部的近源扇三角洲沉积体系。由长6各亚期沉积相图(图1-3)可知,在浅湖区上述各类三角洲继承性发育,并占据了湖盆的大部分空间,构成了以三角洲为主的特征性沉积格架,而在深湖区滑塌浊积扇虽不及长7发育,但仍占据湖盆腹地重要空间。

##### 3) 长4+5油层组

本期浅湖分布范围较长6期有所扩大,仍为北东—南西向走向,南东宽缓、北西狭窄,南起黄陵、宜君,北到盐池定边,湖盆周边三角洲仍继承了长6期的特征。东北部为安塞三角洲、志靖三角洲,西南为环县辫状河三角洲、镇原—庆阳三角洲和合水—正宁辫状河三角洲。

#### 2. 沉积相演化特征

三叠世延长组沉积期盆地不对称,沉积底床东浅西深,碎屑沉积东细西粗,沉积厚度东薄西厚,东部相带宽,分布有序,呈渐变式;西部相带窄,呈突变式;湖盆垂向变迁、平面演化呈现3种类型:湖进、湖退和稳定型(图1-4);湖中心沉积泥质为生油岩叠合发育区,近岸处是储集岩发育区;边缘是沼泽广布。具体演化如下。



图 1-2 鄂尔多斯盆地长 8<sub>1</sub> 沉积相图

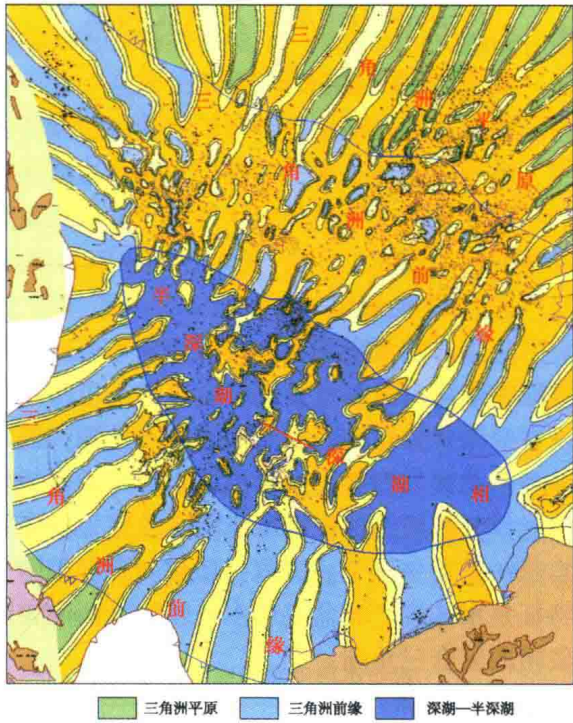


图 1-3 鄂尔多斯盆地长 6<sub>1</sub> 沉积相图

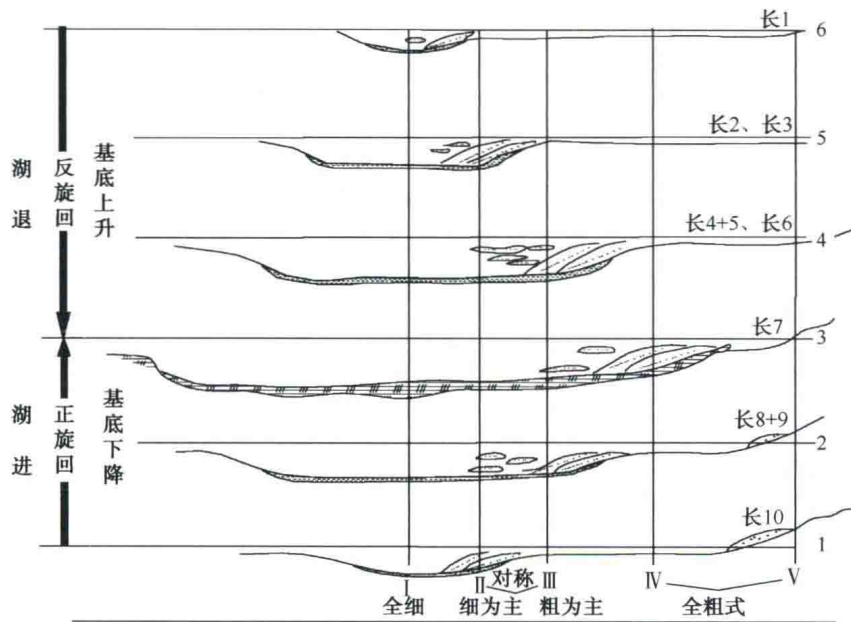


图 1-4 鄂尔多斯盆地延长组湖进—湖退演化模式图

长 10 期是鄂尔多斯盆地晚三叠世盆地形成初始期，为河流相沉积环境，该期地形高差较大，物源碎屑供应能力强，沉积以粗碎屑为主，形成砂体厚度较大，一般在 90m 以上，总体呈北东向展布。砂体剖面上具明显的半韵律旋回性，每一旋回的底部有一清晰的冲刷面，粒度向

上变细。

进入长9期后,盆地东北部沉积相与环境发生了明显变化,由于盆地下沉速度明显增大,湖岸线大范围向外推移,已至旦八镇、吴起南地区,区内河流相已退居次要,而以三角洲平原亚相为主,此时安塞、志靖、安边三大三角洲已初具规模,只是表现为破坏性三角洲。

长8期是在长9基础上,随盆地进一步下陷扩大的过程中形成的,盆地东北部湖侵进一步扩大,湖岸线已至红墩界—杨桥畔一线,河流相沉积已不复存在,全区为三角洲相,以三角洲前缘亚相为主,发育水下分流河道、河口坝微相。发育安塞、志靖、安边三大三角洲;盆地西南部的崇信辫状河三角洲横向范围宽,纵向砂比高,是构成陇东长8储层的主力三角洲,发育水下分流河道、河口坝微相。

到长7期湖盆急剧下沉,深湖区面积广,水体变深,发生了延长统沉积史上的最大湖侵,砂体展布方向与长8亚期类似,西南—北东向,陆源碎屑供给不足,砂岩规模明显不及长8亚期,在该组的中下部发育一套以碳质泥岩和油页岩为主的半深湖相沉积,薄层浊积岩、块状浊积岩均有发育,成为盆地内中生界最主要的生油岩。

长6期湖盆回升初期,湖岸线比长7亚期向湖心收缩,陆源碎屑供给充分,发育浅湖相三角洲前缘砂岩。

在盆地西南缘,沉积基底较陡,长6期沉积过程中伴随有频繁的震荡运动,导致长6期大型浊流沉积,三角洲前缘快速堆积的未固结沉积物向盆地中心滑塌流动,在坡度较大的半深湖中发育浊积水道沉积,在坡度较小的深湖中发育浊积叶状体沉积,浊积岩横向分布稳定,形成了与物源方向垂直的砂岩主体带。陇东合水地区长6储层即为该类浊积体;盆地东北方向湖盆开始进入收缩期,沉积作用逐渐加强。三角洲体系发育,形成巨大的三角洲复合体,由东向西主要形成了延安、安塞—志靖、吴起、盐定等三角洲储集体。主要发育三角洲平原亚相和三角洲前缘亚相。

长4+5期是继长7之后出现的又一次较大的湖侵期,也是盆地又一次重要的生油岩形成时期。此时在长6期形成的三角洲前缘砂体之上沉积了大面积薄层状泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,构成陕北地区长6油层的区域性盖层。本期浅湖分布范围较长期有所扩大,仍为北西—南东走向,东南宽阔,西北狭窄,南起黄陵、宜君,北到盐池、定边。湖盆周边三角洲仍继承长期的特征,东北为安塞三角洲、志靖三角洲和安边三角洲,西南为环县辫状河三角洲、镇原—庆阳辫状河三角洲和合水—正宁辫状河三角洲。西北缘的盐定三角洲和东南部的黄陵浊积扇较长期大为收缩。

长3—长2期湖盆逐渐收缩,又开始全区性湖泊三角洲建设期,但在北部出现河流相沉积环境;长1期湖泊消亡解体,全区平原沼泽化。

### 第三节 储层特征

#### 一、岩石学特征

##### 1. 主要碎屑类型

延长组砂岩碎屑组分基本上以低石英、高长石为其基本特征,但在不同的地区、不同的

层段也具有显著的差别。主要碎屑为石英、长石、岩浆岩屑、变质岩屑、沉积岩屑、云母和绿泥石碎片以及少量的重矿物。

2. 主要碎屑组合特征

1) 长 4+5 储层段碎屑组合特征

长 4+5 储层段粒度较细，古峰庄地区长石含量 38%，石英含量 32.9%，岩屑含量 25.3%，具有明显的近源沉积的特征。盐池、吴起、靖安—安塞地区长石、石英比例接近于 2：1，属典型的北部物源的特征，向南部姬塬地区、白豹地区混源特征明显，高长石段、高石英段互层沉积。高长石段储层杂基含量少，储层物性明显较高，而高石英段储层杂基含量高，物性明显变差。上里塬、镇原地区长石、石英比例接近于 1：2，岩屑含量相对较高（表 1-3）。

表 1-3 鄂尔多斯盆地长 4+5 储层碎屑组合特征

| 组分含量<br>地区 | 石英（%） | 长石（%） | 岩屑（%） | 其他（%） |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 古峰庄        | 32.9  | 38    | 25.3  | 3.8   |
| 盐池         | 29.0  | 54.3  | 10.2  | 6.5   |
| 吴起         | 27.6  | 53.4  | 13.3  | 5.7   |
| 靖安—安塞      | 22.8  | 62.1  | 10.5  | 4.6   |
| 姬塬         | 32.0  | 46.1  | 15.7  | 6.2   |
| 白豹         | 36.5  | 40.2  | 17.4  | 5.8   |
| 环县         | 57.0  | 18.1  | 20.2  | 4.7   |
| 上里塬        | 42.6  | 21.5  | 32.8  | 3.1   |
| 镇原         | 55.8  | 15.6  | 26.1  | 2.5   |
| 华庆         | 21.9  | 48.5  | 12.2  | 17.4  |

2) 长 6 储层段碎屑组分特征

长 6 储层碎屑组合分区性更加明显（表 1-4）。延长组湖盆北部，包括古峰庄、盐池、吴起、靖安和安塞均具有明显的碎屑组合特征，即高长石、低石英、低岩屑、高云母的组合特征。长石、石英比例为 3：1~2：1，岩屑含量一般在 20.0%以下，当然，古峰庄近源区的沉积除外。环县、上里塬、西峰、合水、宁县和华庆等广大南部地区和北部具有相反的特征。低长石、高石英、高岩屑组合特征为主，并见丰富的碳酸盐岩岩屑。在姬塬地区、合水北部地区具有明显的混源沉积的特征。

表 1-4 鄂尔多斯盆地长 6 储层碎屑组合特征

| 组分含量<br>地区 | 石英（%） | 长石（%） | 岩屑（%） | 其他（%） |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 古峰庄        | 29.1  | 48.9  | 14    | 8.0   |
| 盐池         | 30.8  | 49.8  | 10.8  | 8.5   |
| 吴起         | 23.0  | 61.7  | 9.7   | 5.6   |
| 靖安—安塞      | 21.5  | 61.4  | 11.3  | 5.9   |

续表

| 地区 \ 组分含量 | 石英 (%) | 长石 (%) | 岩屑 (%) | 其他 (%) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 姬塬        | 24.6   | 62.0   | 9.4    | 4.1    |
| 环县        | 60.7   | 17.8   | 17.2   | 4.3    |
| 上里塬       | 49.0   | 23.0   | 24.2   | 3.8    |
| 西峰        | 47.6   | 34.5   | 16.7   | 1.2    |
| 合水        | 28.4   | 56.8   | 10.2   | 4.7    |
| 宁县        | 54.7   | 26.5   | 12.7   | 6.1    |
| 华庆        | 21.1   | 50.4   | 9.2    | 19.3   |

## 3) 长8储层段碎屑组合特征

延长组长8储层长石、石英、岩屑的比例接近于1:1:1,长8储层一个典型的特征是高岩屑总量(可达19.4%~34.5%)、高的喷发岩岩屑,而且以中基性喷发岩岩屑如玄武岩为主,同时含较高的浅变质岩岩屑。在平面上,碎屑组分组合基本一致,但在吴起、白豹地区喷发岩岩屑明显偏低。

表 1-5 鄂尔多斯盆地长8储层碎屑组分特征

| 地区 \ 组分含量 | 石英 (%) | 长石 (%) | 岩屑 (%) | 其他 (%) |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 白马区       | 29.3   | 33.8   | 29.5   | 7.4    |
| 董志区       | 30.1   | 33.4   | 30.2   | 6.3    |
| 镇原区       | 29.9   | 29     | 34.5   | 6.6    |
| 马岭区       | 30.5   | 33.8   | 29.8   | 5.9    |
| 板桥区       | 32.2   | 32.5   | 29.7   | 5.6    |
| 什社区       | 34.5   | 28.8   | 31.8   | 4.9    |
| 古峰庄       | 43.9   | 29.3   | 25.6   | 1.2    |
| 吴起        | 28.5   | 29.5   | 32.8   | 9.2    |
| 环县        | 35.8   | 32     | 24.7   | 7.5    |
| 白豹        | 33.3   | 23.2   | 26     | 17.5   |
| 姬塬        | 29.8   | 29.8   | 25.2   | 15.2   |
| 华庆        | 31.6   | 34.8   | 19.4   | 14.2   |

## 4) 长9储层段碎屑组合特征

姬塬油田长9油藏长9<sub>1</sub>储层岩石碎屑成分以石英、长石为主,含量分别为32.8%、37.1%,岩屑含量为15.78%,其他(主要为云母)含量3.61%(表1-6)。

表 1-6 姬塬油田长 9 油藏储层岩矿组合表

| 地区 | 井数<br>(口) | 样品数<br>(个) | 石英    | 长石    | 岩屑    | 其他   |
|----|-----------|------------|-------|-------|-------|------|
| 姬塬 | 19        | 44         | 32.77 | 37.06 | 15.78 | 3.61 |

3. 岩石学类型及分布特征

按照《岩石薄片鉴定方法》（SY/T 5836—2001）的分类标准，鄂尔多斯盆地延长组岩石类型主要有：长石砂岩、岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩和岩屑砂岩等 4 种基本类型，不同的层位、不同的地区具有不同的组合特征（图 1-5）。

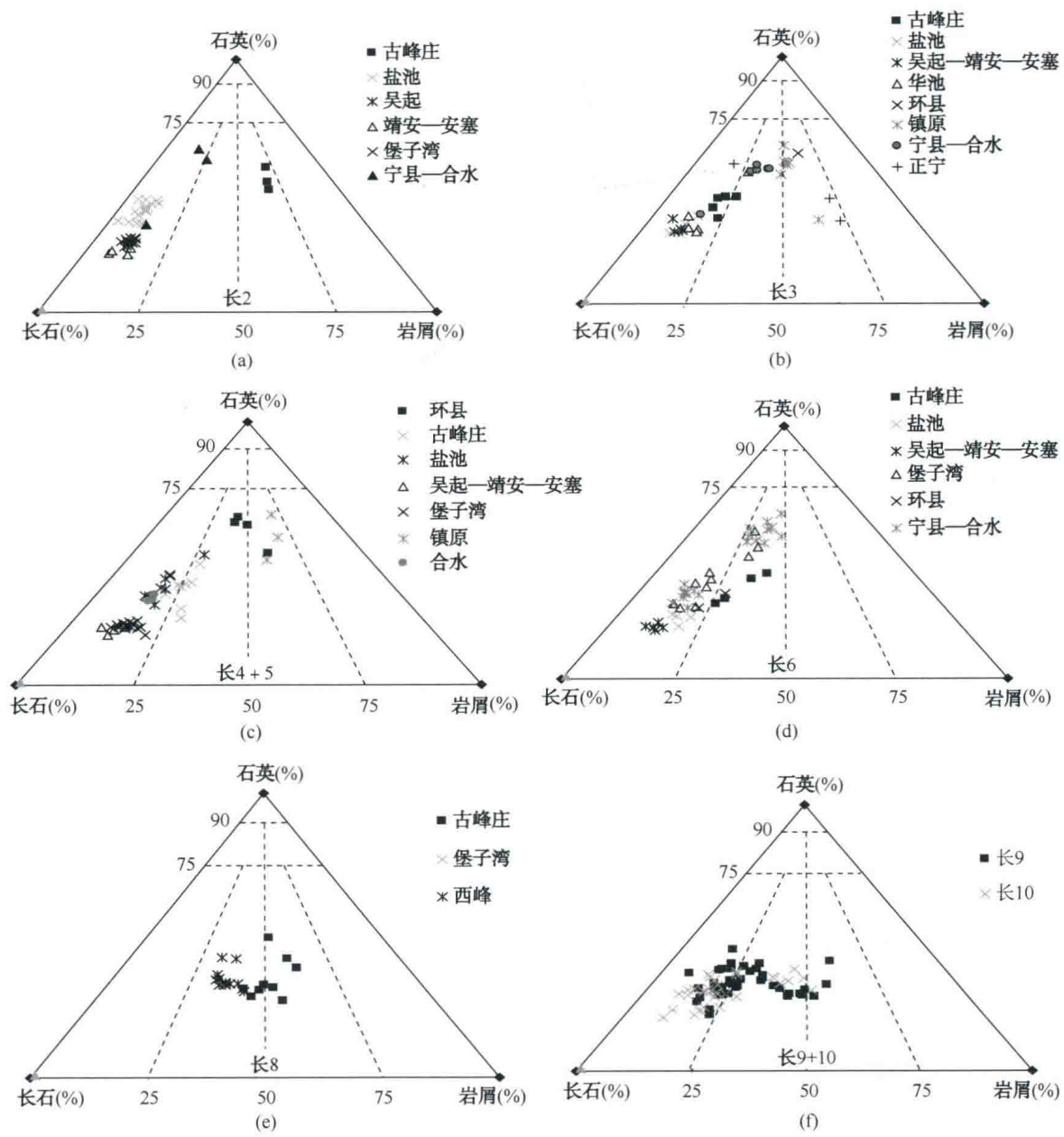


图 1-5 鄂尔多斯盆地延长组砂岩分类三角图