

中国  
油藏  
开发  
模式  
丛书

基岩油藏

# 东胜堡变质岩油藏

THE METAMORPHIC  
ROCK RESERVOIRS IN  
DONGSHENGPU OILFIELD

揭克常 等编著

石油工业出版社

京)

中国油藏开发模式丛书  
Series on Reservoir Development Models in China

· 基 岩 油 藏 ·

东胜堡变质岩油藏  
The Metamorphic Rock Reservoirs in Dongshengpu Oilfield

揭克常 等编著

石 油 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》分类模式部分“基岩油藏”的典型实例之一。

本书以东胜堡变质岩潜山油藏为实例，运用油藏开发的实际资料，采用特有的变质岩油藏描述技术、室内物理实验、油藏工程分析及数值模拟和经济分析手段，从油藏主要地质特征、开发过程中有关渗流特征和驱油机理、不同开发阶段的开发对策及配套工艺技术等方面，较详细地论述了变质岩油藏开发特征和规律，优化建立了变质岩油藏开发模式和工艺技术系列，为变质岩油藏开发建立了科学模式。

本书可供石油地质、油田开发、数值模拟、矿场生产岗位的科研、技术人员和石油院校有关专业师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

东胜堡变质岩油藏/揭克常等编著.  
北京:石油工业出版社,1997.9  
(中国油藏开发模式丛书·基岩油藏)  
ISBN 7-5021-2072-6

- I. 东…
- II. 揭…
- III. 变质岩-油气藏-油田开发-辽宁
- IV. TE349

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 14941 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
北京普莱斯特录入排版中心印刷厂排版  
北京密云华都印刷厂印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 313 千字 印 1—2000  
1997 年 9 月北京第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5021-2072-6/TE·1748  
平装定价: 34.00 元

## 《中国油藏开发模式丛书》

### 编辑委员会

主任 周永康

副主任 谭文彬 王乃举

成员 曾宪义 沈平平 金毓荪 张家茂

周成勋 万仁溥 刘万赋 冈秦麟

### 编辑组成员

组长 金毓荪

成员 李志勋 杨贤梅 李春如

张卫国 咸玥瑛

# 《中国油藏开发模式丛书》

## 一、总论

## 二、分类模式研究

多层砂岩油藏

基岩油藏

气顶砂岩油藏

常规稠油油藏

低渗透砂岩油藏

热采稠油油藏

复杂断块油藏

高凝油油藏

砂砾岩油藏

凝析油油藏

## 三、典型实例

# 序

早在1987年，王涛同志在大庆的一次会议上提出，我国的油田开发有着丰富的实践经验，需要总结一套油藏开发模式，以便对新油田开发和老油田提高水平做出指导。在此之后，中国石油天然气总公司开发生产局、科技发展局、北京石油勘探开发科学研究院组织了全国五十多名专家和数百名工程技术人员，历经八个年头，终于完成了这套《中国油藏开发模式丛书》的编写工作，现在就要出版同广大读者见面了。这是我国油田开发理论研究的系列成果，也是石油工业出版界的一件大事，值得庆贺！

《中国油藏开发模式丛书》包括总论、不同类型油藏开发模式专著和典型油藏开发实例三个部分。丛书共计40册，大约1500万字。它凝结着我国油田地质、油藏和采油工程科技人员的辛劳和智慧，是数十年油田开发实践中成功经验与失败教训的高度概括，从中可以窥见到中国式的油田开发工程的一些特色。

需要指出的是，在本书出版之前，石油科技信息研究所及有关油田曾经编纂出版了一套《国外不同类型油藏开发历程及工艺技术系列研究》成果，它是本丛书的姊妹篇，国外油田开发经验为《中国油藏开发模式丛书》的编著起到了借鉴作用。

前几年我曾经讲过一个认识，“抓产量不等于抓开发”。就是说油田开发有许多科学道理，有它自身的一些规律性，只有老老实实在地按照科学规律，不断提高新老油田的开发水平，才会有产量，也才会有更好的开发效益。我希望从事石油工作的同志，特别是油田开发工作者，能够抽时间读一读或者有选择地读读这套丛书，一定会得到不少的收益。成功和失败都是我们前进的基石，摆在我们石油工作者面前的路是宽广的，也是曲折的，让我们继续奋斗吧！

周永康  
一九八八年八月

# 前 言

我国油藏类型丰富，变质岩油藏是其中的一种。

“开发模式”是从合理开发油田的角度，分析总结油藏开发历程，研究预测油田开发过程的技术特点和规律，以期能理论化、系统化地形成一套符合油藏特征、经济效益最佳的开发方式，为同类油藏的开发起到指导作用。

本书依据辽河东胜堡变质岩油藏开发实践，参考国内外裂缝性油藏的开采经验，以油田地质、渗流力学、油田开发理论为指导，研究油藏岩性特征、水锥规律、含水特征，以求最佳效益的开发模式。

书中全面描述了东胜堡变质岩油藏的主要地质特征，根据潜山变质岩岩性特征，划分储集岩与非储集岩，用裂缝三级定量评价方法对储层裂缝进行了定量评价。依据较完整的动态监测资料，较详细地分析研究了油藏的开采特征。结合驱油机理研究，系统介绍了油藏工程分析和油藏数值模拟及室内试验方法。优化对比分析东胜堡变质岩油藏开发部署，包括井网、开采方式、采油速度、三次采油等部署对策，同时针对储层地质特征和不同开发阶段的技术要求，提出了适应东胜堡油藏的配套工艺技术系列和方法。

全书共分四章。参加编写的人员：第一章，侯正文、李铁军、王西江；第二章，揭克常、刘中民、龙晓梅、钱丽杰、王西江、钟荣清、刘兆之；第三章，揭克常、赵成林、杨绪山、张建英、李理；第四章，赵传家、王春雷、梁慧芝、鲍锋、吴得兴、吴启林。全书最后修改定稿由揭克常完成。

在本书的资料收集、编写及出版过程中，得到祝学江、甄鹏等领导的指正和支持，还得到了韩大匡、柏松章、杨培山、陈宪侃、马玉龙、姚远勤等专家的指导，杨贤梅老师给予了修改和校正。在此谨向所有关心、支持过本书的领导、专家表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，书中有些论点和认识难免有错误和不当之处，恳切地希望读者给予指正。

# 目 录

## 前言

<b>第一章 东胜堡变质岩潜山油藏地质模型</b> .....	(1)
<b>第一节 东胜堡潜山构造特征</b> .....	(1)
一、潜山构造位置、构造形态.....	(1)
二、潜山圈闭类型.....	(1)
三、潜山内幕构造.....	(1)
<b>第二节 变质岩孔隙的形成及评价方法</b> .....	(3)
一、变质岩孔隙的形成与岩性的关系.....	(3)
二、变质岩储层裂缝评价方法.....	(4)
<b>第三节 潜山岩性及其分布</b> .....	(11)
一、变质岩类型的划分及规则.....	(11)
二、东胜堡潜山变质岩类型及分布.....	(11)
<b>第四节 储层特征</b> .....	(12)
一、储层划分.....	(12)
二、孔隙类型及毛管压力曲线特征.....	(12)
三、裂缝评价.....	(16)
四、储层岩石其它物理性质.....	(22)
<b>第五节 油藏流体特征</b> .....	(28)
一、流体分布.....	(28)
二、高压物性分析.....	(28)
三、地面原油性质.....	(29)
四、天然气性质.....	(29)
五、地层水性质.....	(30)
六、油水界面张力.....	(31)
七、原油流变特性.....	(31)
<b>第六节 油藏类型</b> .....	(31)
<b>第七节 东胜堡油藏容积法地质储量计算</b> .....	(31)
一、油藏含油面积的确定.....	(32)
二、油层有效厚度的确定方法.....	(34)
三、有效孔隙度的确定.....	(37)
四、含油饱和度的计算.....	(38)
五、东胜堡潜山油藏储量.....	(39)
<b>第二章 油藏开发特征和采油机理</b> .....	(40)
<b>第一节 油藏开发特征</b> .....	(40)
一、油藏产能特征.....	(40)



二、油藏压力变化特征 .....	(43)
三、油藏水锥和油井含水特征 .....	(43)
四、裂缝性块状油藏的开发特征 .....	(52)
第二节 油藏采油机理分析 .....	(68)
一、油水相对渗透率曲线特征 .....	(68)
二、阶段水驱油效率特征 .....	(68)
三、阶段注入倍数下的驱油效率 .....	(70)
四、东胜堡变质岩油藏实施底部注水开发的水驱油效果分析 .....	(70)
五、油藏注水开发的采收率预测 .....	(71)
六、提高油藏采收率方法可行性分析 .....	(72)
<b>第三章 开发部署和开发优化对比 .....</b>	<b>(81)</b>
第一节 不同开发阶段的部署和对策 .....	(81)
一、油藏开发准备阶段 .....	(81)
二、油藏开发可行性研究 .....	(83)
三、编制开发实施方案 .....	(83)
四、开发方案实施 .....	(84)
五、油藏开发调整 .....	(84)
六、油藏监测和分析 .....	(86)
第二节 开发优化对比 .....	(88)
一、油藏数值模拟 .....	(88)
二、经济分析 .....	(97)
三、优化对比 .....	(108)
<b>第四章 采油工艺技术系列 .....</b>	<b>(114)</b>
第一节 钻井及完井工艺 .....	(114)
一、东胜堡变质岩潜山油藏钻井中的复杂情况 .....	(114)
二、钻井工艺技术 .....	(115)
三、完井工艺技术 .....	(117)
四、防止油层污染技术 .....	(122)
五、水平井钻井工艺技术 .....	(126)
六、射孔工艺技术 .....	(128)
第二节 采油方式 .....	(129)
一、产能分析方法(节点分析简介) .....	(129)
二、自喷采油 .....	(139)
三、机械采油 .....	(146)
四、高凝油井筒温场有限元分析 .....	(150)
第三节 注水工艺 .....	(156)
第四节 堵水(调剖)工艺 .....	(156)
一、机械堵水 .....	(157)
二、化学堵水 .....	(157)
第五节 油层改造工艺 .....	(157)

一、油层酸化.....	(158)
二、压裂.....	(158)
第六节 作业工艺.....	(158)
一、油井解堵(凝).....	(158)
二、油井大修.....	(158)
三、油层保护.....	(159)
第七节 油井生产能测试工艺技术及现代测井.....	(159)
一、常规测试技术.....	(159)
二、双管测试技术.....	(159)
三、水力活塞泵测试工艺.....	(159)
四、现代测井技术的应用.....	(168)
第八节 油藏试井方法的应用.....	(170)
一、压力恢复曲线分析方法.....	(170)
二、脉冲试井分析方法.....	(176)
三、双重介质油藏干扰试井图版拟合分析方法.....	(178)
第九节 集输工艺.....	(180)
一、国内外高凝油的集输工艺.....	(180)
二、东胜堡高凝油集输流程.....	(180)
三、高凝油集输流程的对比与分析.....	(182)
四、高凝油处理技术的对比与分析.....	(184)
第十节 开采工艺技术优化.....	(185)
一、东胜堡油藏开发的工艺特点.....	(185)
二、开采工艺技术优化.....	(185)
参考文献.....	(186)

# 第一章 东胜堡变质岩潜山油藏地质模型

## 第一节 东胜堡潜山构造特征

### 一、潜山构造位置、构造形态

东胜堡古潜山位于大民屯凹陷中央潜山带的南端，受西掉大断层所控制，呈北东向展布，是中生代末期形成的山系。到沙三沉积时，逐渐下沉于水下接受第三纪沉积，形成了古地貌残山。西掉大断层落差最大达 1200m，断层面坡度 58°。潜山呈单面山的形态向南东方向倾斜，坡度 22°。潜山的东侧边部有一条北东向东掉断层，落差 200m（图 1.1）。

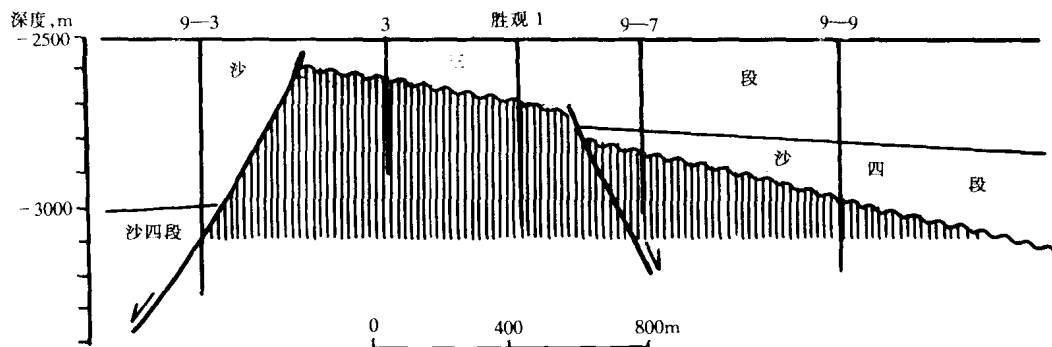


图 1.1 东胜堡变质岩潜山油藏剖面图

潜山主体部位分布小断层 9 条，一般落差都很小，仅几十米，延伸长 40~4900m 不等。分布方向：北北东向 4 条，北东东向 2 条，近东西 2 条，北西向 1 条。

### 二、潜山圈闭类型

东胜堡潜山是由西掉大断层控制的单面山圈闭。潜山最小埋深 2600m，含油底界为 3080m，含油幅度 480m，含油面积 7.9km<sup>2</sup>（图 1.2）。

### 三、潜山内幕构造

东胜堡潜山是由太古界变质岩地层所构成。地层呈北西向展布，片麻理及线理的倾向为 30°~40°，倾角为 30°~45°。潜山主体部位的主要岩性是浅粒岩及其混合岩，而潜山的周围地区，如北部的静安堡潜山、边台潜山，东部的宋家岗潜山，南部的韩三家子潜山，西部的大民屯潜山等均分布的是黑云母斜长片麻岩及其混合岩。根据这一分布特点与地层倾向的关系，推测潜山内幕是一背斜构造，背斜轴部应位于潜山的南端，呈北西—南东向展布（图 1.3，1.4）。

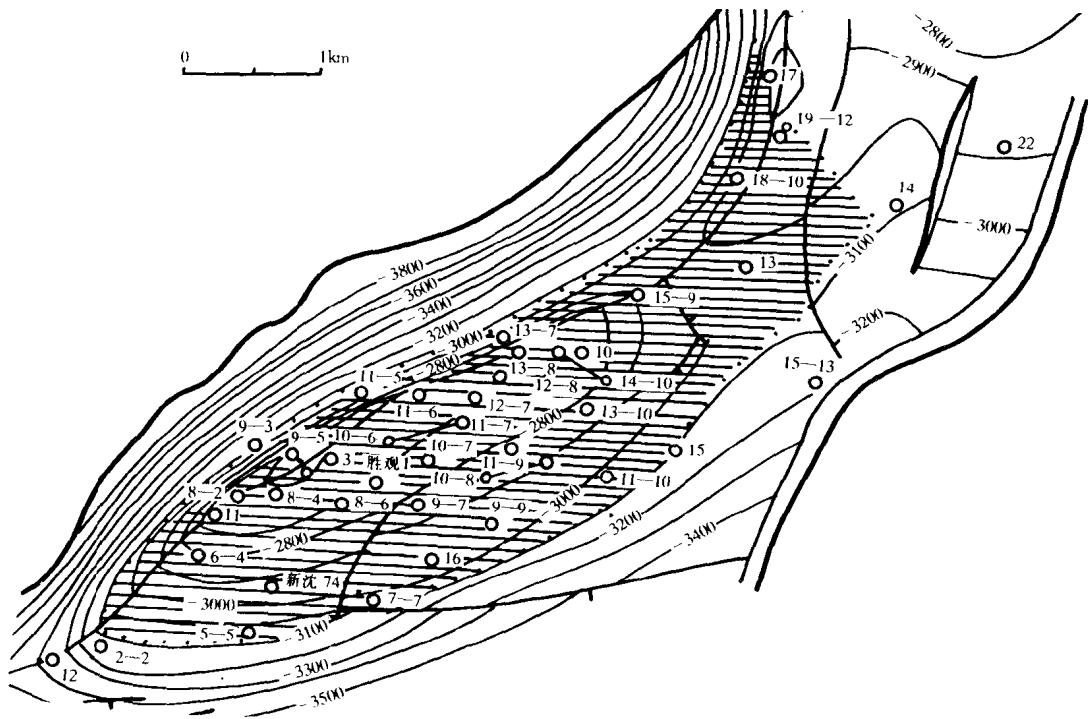


图 1.2 东胜堡变质岩潜山油藏含油面积图

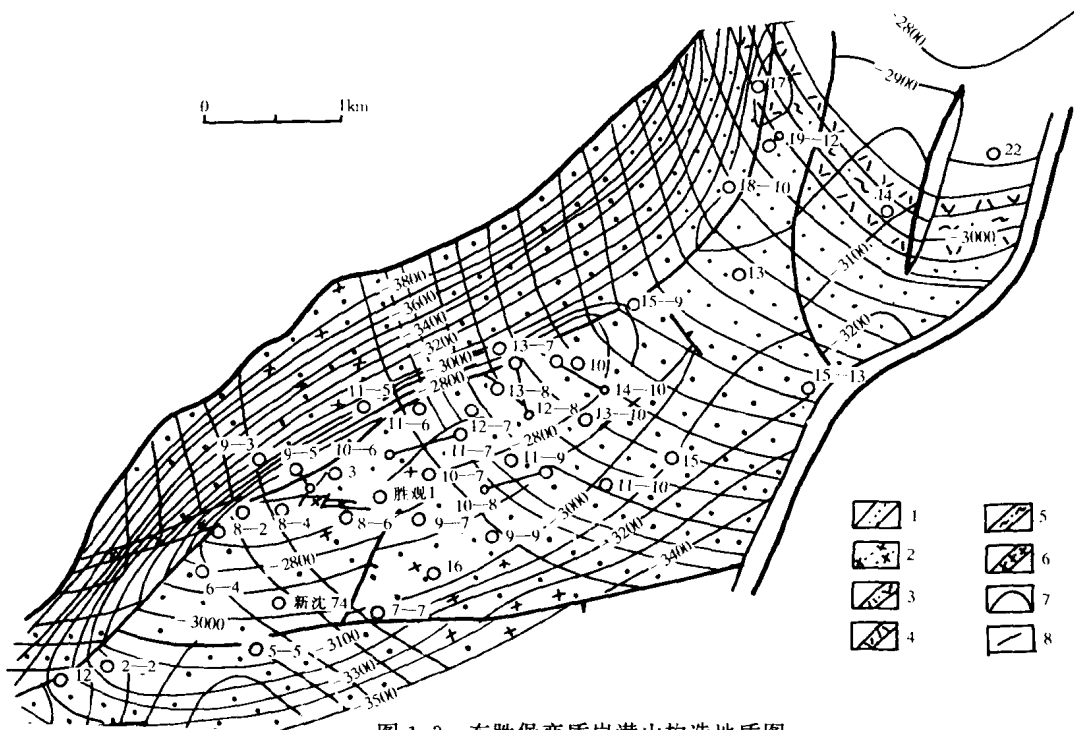


图 1.3 东胜堡变质岩潜山构造地质图

1—浅粒岩；2—混合岩；3—角闪变粒岩与黑云母变粒岩互层段；4—斜长角闪岩；  
5—黑云母变粒岩；6—辉绿岩脉；7—构造等深线；8—剖面线位置

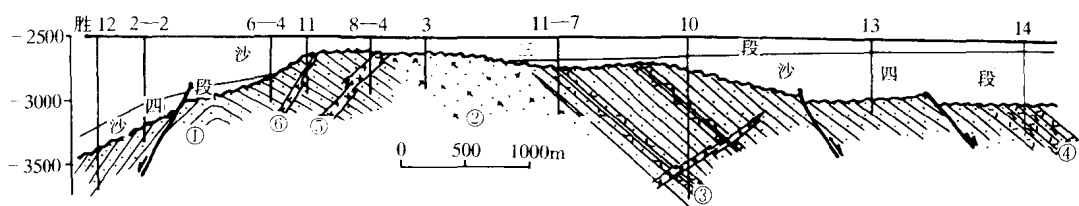


图 1.4 东胜堡变质岩潜山地质剖面图

- ①—浅粒岩；②—混合岩；③—角闪变粒岩与黑云母变粒岩互层段；  
④—斜长角闪岩与黑云母变粒岩互层段；⑤—辉绿岩脉；⑥—云斜煌斑岩脉

## 第二节 变质岩孔隙的形成及评价方法

### 一、变质岩孔隙的形成与岩性的关系

辽河盆地基底太古界变质岩及其混合岩孔隙的形成，按时间先后可划分为两期，即早期和晚期。

#### 1. 岩性对早期裂缝的发育程度、张开宽度起控制作用

早期指在第三系沉积盆地形成之前，太古界变质岩地层经过多次构造运动形成发育的构造裂缝，并在中生代末期经过长期风化和雨水、地下水的淋滤和溶蚀作用，使原有的构造裂缝张开宽度扩大（扩大几倍甚至几十倍），有时还可以沿着裂缝形成溶蚀孔、洞。所以，多次构造运动和风化淋滤作用对变质岩储层的形成具有同等重要意义。

早期孔隙的形成除与构造运动和风化淋滤作用直接相关外，变质岩岩性对裂缝的发育程度、张开宽度及裂缝的性质起控制作用，即在同一构造变动情况下，其岩性不同，裂缝的发育状况差别可以很大。根据辽河盆地变质岩的岩性特点，可划分三种类型。第一种类型是粒状岩石类中的浅粒岩及其混合岩（也可包括石英岩）所发育的构造裂缝，多为大裂缝，即宏观裂缝，裂缝孔隙度可达1%~3%，由此可形成裂缝性储层。浅粒岩的特点是粗—细晶等粒状结构，暗色矿物含量很少（<15%）。例如钠长浅粒岩、二长浅粒岩、微斜长石浅粒岩等在辽河盆地结晶基底中分布较为广泛。这类岩石由于结构均匀，暗色矿物含量少（与长石、石英相比，暗色矿物是一种塑性矿物），在同样条件下可以形成大裂缝。第二种类型是片麻岩类（包括混合片麻岩类）所形成的以微裂缝为主要储集空间的储层。片麻岩类的特点是结晶粗大，可有巨大的交代斑晶，片麻状构造显著，暗色矿物含量多，一般达15%~35%以上，多为黑云母及普通角闪石。例如黑云母斜长片麻岩、黑云母角闪斜长片麻岩、黑云母斜长混合片麻岩、肠状混合岩等在辽河盆地结晶基底中分布极为广泛。由于这类岩石的特殊结构构造和暗色矿物含量高的原因，使其与浅粒岩相比具有一定的可塑性，所以在相同的构造变动条件下，形成的裂隙以微裂缝为主。如片麻理缝、晶间缝、长石类矿物的解理缝等都是由此而产生的。大裂缝不发育，且易被次生方解石所填充，一般裂缝孔隙度不超过0.5%。这类储层是一种微裂缝型低渗透储层。第三种类型是由角闪质岩类所构成的非储集岩类。这种岩类主要有斜长角闪岩、角闪片麻岩、角闪变粒岩等。其暗色矿物含量更高，且主要是普通角闪石。角闪石

易发生次生变化形成大量的方解石可把裂缝完全填满。所以把这种岩类划分为非储集岩。

## 2. 晚期形成的变质岩储层与变质岩岩性关系不大

晚期是辽河盆地的发展过程中由逆断层破碎带形成的储层。控制辽河盆地形成的大断层，早期以裂隙为主，而晚期（东营期）以走滑为主，尤以台安一大洼断层最为明显。走滑断层的西侧向北推移，结果使盆地形成侧向的强大挤压应力，使太古界变质岩基底在局部地区像“刺穿”一样形成逆断层“推覆体”。这种“推覆体”形成以碎裂粒间孔隙为主的变质岩储层，孔隙度可高达15%~25%。例如东胜堡潜山东北部的曹台潜山，西部凹陷台安一大洼断层西侧边部的冷124潜山均属于这种类型。一般晚期形成的变质岩储层与变质岩岩性关系不大，而且只存在于逆断层的破碎带上。

## 二、变质岩储层裂缝评价方法

### 1. 裂缝类型的划分

变质岩是一种超低孔隙储层，一般孔隙度仅2%~4%。孔隙度的大小不能反映储层的性质。这种现象的产生是由于裂缝开度分布的随机性所决定的。孔隙度大，不一定裂缝开度就大，可能正好相反。一般裂缝性油藏的裂缝渗透率与孔隙度一次方成正比，而与裂缝开度是以二次方关系成正比。显然裂缝开度的大小对于结晶岩石储层性质起决定性作用。因此，对裂缝类型的划分主要考虑裂缝开度的大小。

为了做到对裂缝的定量解释，根据裂缝开度把裂缝划分为三级裂缝类型。

第一级为宏观裂缝，裂缝开度大于 $10\mu\text{m}$ 。由于裂缝开度较大，束缚水薄膜厚度与之相比，在油藏条件下可忽略不计，视为全部含油，是裂缝中最有效的部分。评价宏观裂缝时只能用岩心裂缝描述数据来表述，任何岩心的测试数据都不能取代这种描述数据。道理很简单：用岩心进行任何实验测试时，都必须对岩心进行加工处理，而裂缝发育的岩心最易碎掉，结果加工出的岩心样品只能是岩心的致密部分，由此而测得的实验数据不可能反映宏观裂缝的特性。

第二级是微裂缝，裂缝开度 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 。在油藏条件下除饱和束缚水之外，尚有剩余空间可供油气的储存。因此，它是裂缝中的有效孔隙空间。

第三级是裂缝开度小于 $0.1\mu\text{m}$ 的超微裂缝。由于裂缝开度太小，在油藏条件下全部由束缚水所饱和，是完全无效的裂缝。

微裂缝及超微裂缝由于裂缝开度太小，用岩心描述方法实现对其定量解释是不可能的。但岩心的实验室测试数据，就其本质而言，反映的正是微裂缝的特性，所以以岩心实验数据来表述微裂缝及超微裂缝。由此看来，岩心裂缝描述数据与实验测试数据对于评价结晶岩石储层可以弥补彼此的不足，起到互为补偿的作用。

微裂缝与超微裂缝之间的界线不应是固定的，根据岩性不同、润湿性的不同等具体情况而定。例如强亲水性的岩石其束缚水薄膜厚度要比弱亲水性或中性要大。具体选取该界线值时可根据油藏高度、润湿角、油水界面张力求得。

### 2. 宏观裂缝的评价方法

#### (1) 岩心裂缝描述方法

结晶岩的宏观裂缝（以下简称裂缝）包括构造变动所形成的裂缝及区域节理缝。但无论是哪种成因的裂缝，在进行岩心裂缝描述时都要做到详尽，其主要描述内容如下：

1) 特征面描述。特征面系岩心上所能观察到的具有一定特征的构造面，如层理、层面、

片理、片麻理、劈理、擦痕面等。这些特征面的倾向方向在岩心上不能直接测量，但可以用间接方法来获得。例如，利用高分辨地层倾角测井、地震反射层的对比等方法都可确定地层产状。总之利用这些间接方法使非定向的岩心达到定向的目的。

特征面的倾角可直接在岩心上测量。

2) 裂缝描述。裂缝的相对倾向及倾角都是在岩心上直接测量。相对倾向是指裂缝面的倾向方向与特征面倾向间的夹角，一旦特征面的倾向可以确定时，则裂缝面的真倾向等于相对倾向与特征面倾向角度之和。

裂缝面投影长  $L$  是指裂缝在岩心上最高点与最低点之间的距离，即裂缝面在岩心轴线上的投影长度 (图 1.5)；裂缝面的顶点到岩心中心轴线的垂直距离为中心距  $H$  (图 1.6, 1.7)，中心距有正负之分。任何可测量裂缝，其裂缝面与岩心柱体表面之交线的几何形态均为椭圆的一部分或椭圆的全部。当裂缝面与岩心柱体的表面交线自上而下向岩心柱体之中心轴线靠近时，其中心距  $H$  为正 (图 1.6)；反之，自上而下远距中心轴线时，中心距  $H$  为负 (图 1.7)。

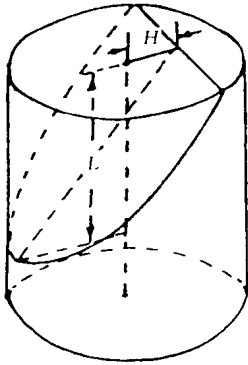


图 1.5 裂缝面投影

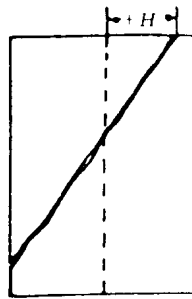


图 1.6 正中心距

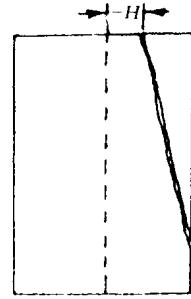


图 1.7 负中心距

裂缝开度系裂缝的张开宽度 (不包括填充矿物)。裂缝开度不能用目测估计，而要用塞尺实际测量。

基质块  $a$ ，当岩心上裂缝密度很大或取得的岩心沿着裂缝已破碎成小块时，再用上述方法不易取得裂缝的测量数据，则可把岩心被裂缝切割的最小单元称为基质块，以符号  $a$  表示， $a$  的几何形态和尺寸的大小可反映裂缝的发育程度。

## (2) 裂缝的空间分布规律

研究裂缝的空间分布规律主要是指裂缝的发育方向、裂缝与构造的成因联系、裂缝在纵向上的分布规律等，从而达到对裂缝发育段在空间上分布的预测。在油田地质勘探的特殊条件下，不能采用露头直接描述方法，而只能根据岩心和测井资料进行研究。

1) 利用地层倾角测井研究裂缝发育方向：高分辨地层倾角测井所测四条电导率曲线及双井径曲线均可求出异常方向的极坐标频率图 (图 1.8)。电导率异常方向及双井径扩径或缩径方向均反映了裂缝的发育方向。

2) 吴氏网投影法研究裂缝三维空间位置：这种方法是利用岩心裂缝的描述数据，在吴氏网上进行投影，然后统计投影点的密度，从而得到裂缝在三维空间中的分布。

投影方法是按裂缝面倾向及倾角的大小，把裂缝面法线投影在吴氏网上，这时法线的投

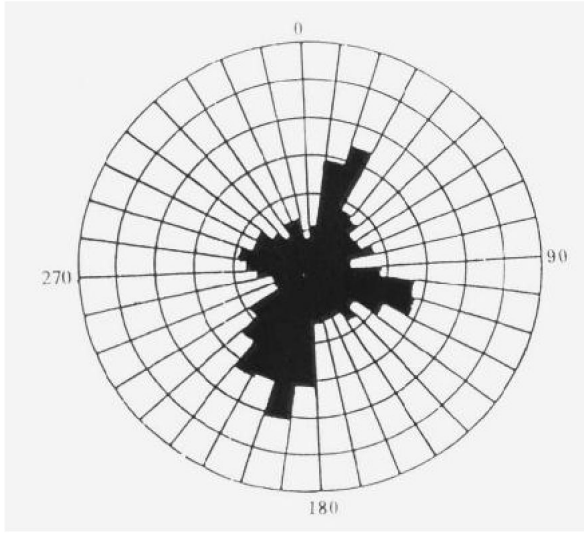


图 1.8 地层倾角测井电导率检测异常极坐标频率图

影在吴氏网上是一个点。例如有一倾向为  $132^\circ$ ，倾角为  $40^\circ$  的裂缝，投影时，首先在吴氏网上（图 1.9）找到  $132^\circ$  的位置并划一箭头，然后在吴氏网上转动图纸使箭头对准吴氏网的东赤道。这时自吴氏网的中心向另一侧读取倾角  $40^\circ$  的位置即为裂缝面的法线投影点  $P$ （图 1.10）。

把一口井的岩心上所有可定向的裂缝都投影在同一图上，则可以得到一张裂缝面法线投影点分布图。投影点的分布密度可以反映裂缝在三维空间的主要分布位置，因此如何统计投影点的密度是这种做图法的最终成果。一般有两种方法。一种是把吴氏网投影点图按正方形划分成 400 等分，以小正方形的交点为圆心，以小正方形的一边长为半径做

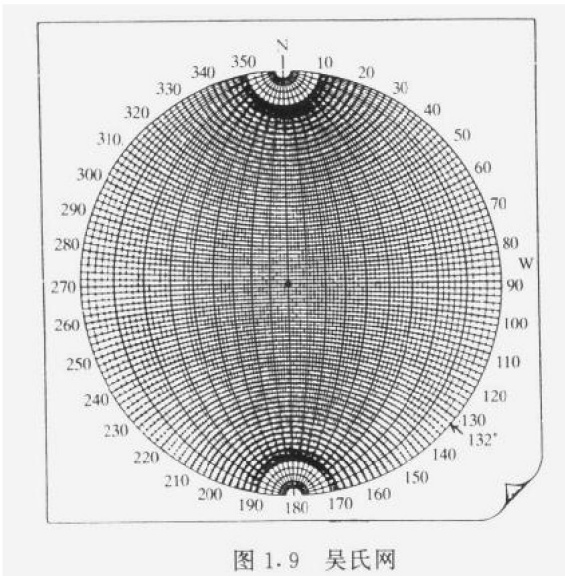


图 1.9 吴氏网

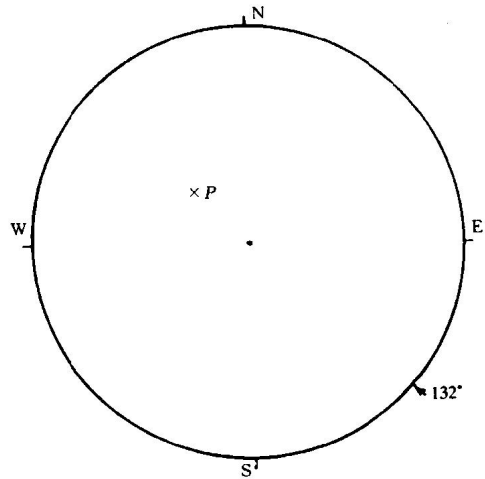


图 1.10 裂缝面的法线投影

一小圆密度尺（图 1.11）。用小圆密度尺统计每个小正方形边线结点上投影点的百分数，然后做结点百分数的等值线。即为裂缝法线投影点等密度图（图 1.12）。这是一种等面积统计方法，但吴氏网是一种等角度投影图，因此这种方法是一种近似的统计。另一种方法是用普洛宁网（图 1.13）统计。普洛宁网是一种接近等角度网，更趋于实际情况。对于研究裂缝的分布规律来说，这两种统计方法的精度都可以满足研究目的。

裂缝等密度图的统计可以编成程序，由计算机来完成。

根据不同的研究目的，可按不同岩性、不同的裂缝、不同的含油产状等做出不同的投影等密度图，从中找出有规律性的东西。在有些情况下，吴氏网投影等密度图可以解决裂缝与构造之间的成因联系。例如，由背斜或向斜褶曲产生的岩层裂缝在吴氏网投影等密度图上具有明显的规律性。图 1.14a 是一背斜构造产生的裂隙，有裂缝面，垂直背斜轴为  $E_1$ ，平行背斜



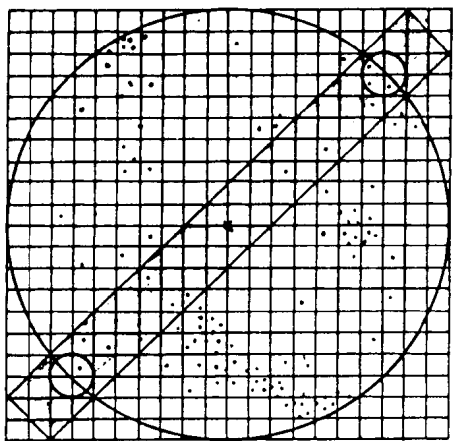


图 1.11 密度尺

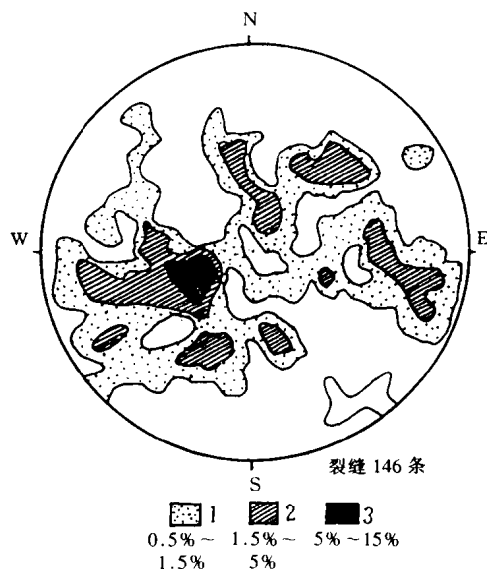


图 1.12 裂缝法线投影等密度图

轴为  $E_2$ ，而产生的剪切裂缝为  $C_1$  与  $C_2$ 。它们的共同特点是裂缝面都垂直于岩层的层理，因此在吴氏网投影等密度图上的密集点都分布在同一大圆上（图 1.14b）。根据这一特点可推测出地层的褶皱形态，从而预测褶皱轴部的裂缝发育带。

### (3) 裂缝密度

裂缝密度是评价结晶岩石储层相对定量的重要参数。对于结晶岩较为实用的裂缝密度可有三种，即岩心裂缝密度、线裂缝密度及体积裂缝密度。

1) 岩心裂缝密度。为了便于在岩心上统计裂缝而采用的一种方法，岩心裂缝密度即在单位长度的岩心上所有可测量裂缝的条数。为了辨别不同岩性的裂缝发育程度、次生矿物的填充情况及含油性等可以按不同岩性、不同情况分别进行密度统计。

2) 线裂缝密度。这是油藏工程中根据流体流动方向与裂缝方向之间的关系而提出的一种概念，即在流体流动方向上所通过的裂缝条数。但是，我们是在岩心上统计裂缝密度，并不知道流体的流动方向，因此可把线裂缝密度规定为一组互相平行的裂缝其法线方向上单位长度内所有可测量裂缝条数。显然只局限于互相平行的裂缝。

3) 体积裂缝密度。基质块的表面积之和称为体积裂缝密度。结晶岩石被裂缝切割时，使

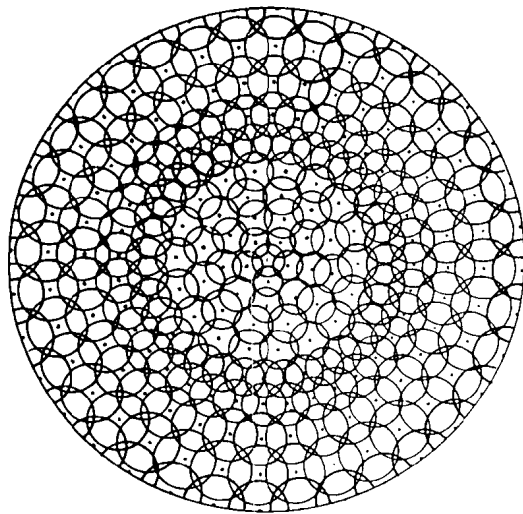


图 1.13 普洛宁网