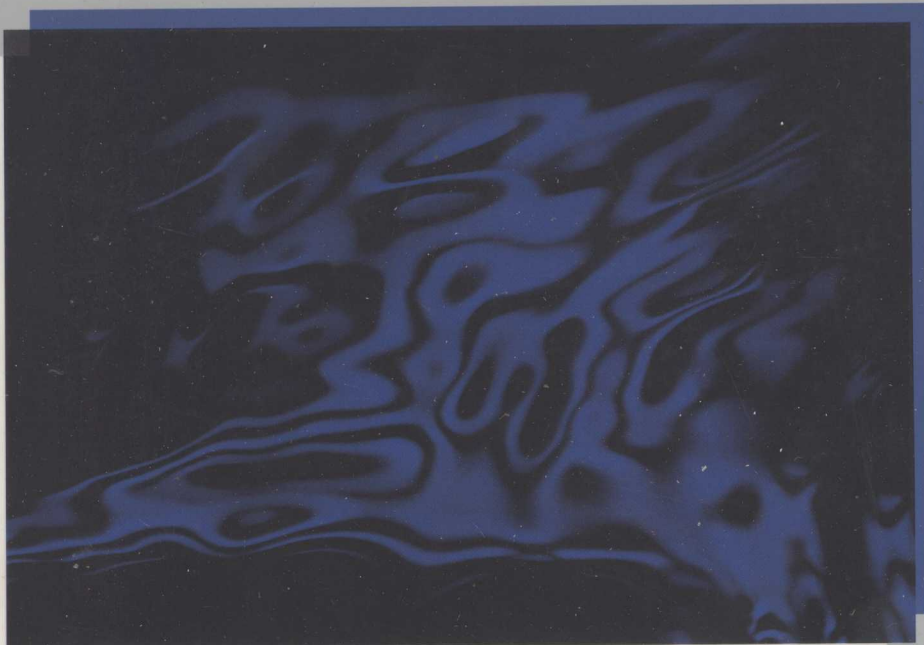


裂缝性油藏开发技术

● 袁士义 宋新民 冉启全 编著



LIEFENGXING YOU CANG
KAIFA JISHU



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

裂缝性油藏开发技术

袁士义 宋新民 冉启全 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书把理论研究与生产实践相结合,系统介绍了裂缝性油藏开发多学科综合研究的思路、方法和技术,深入论述了裂缝性油藏的类型、成因、识别和研究方法,裂缝空间分布规律预测、储层裂缝参数定量计算以及基质有效性评价,阐述了裂缝性油藏的渗流特征、采油机理、开发特征以及合理的开发方式、井网井距、井网与裂缝方位的优化配置、水平井开采、双重变形介质数值模拟等开发新技术,并给出了应用实例。本书是对裂缝性油藏开发研究和实践的系统总结,充分反映了该方面的最新研究成果。

本书可供裂缝性油藏开发科研人员、工程技术人员及有关高校的师生学习、借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

裂缝性油藏开发技术/袁士义等编著.
北京:石油工业出版社,2004.12

ISBN 7-5021-4943-0

- I. 裂…
- II. 袁…
- III. 裂隙油气藏-油田开发
- IV. TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 136106 号

裂缝性油藏开发技术

袁士义 宋新民 冉启全 编著

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.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心排版

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:21.75

字数:550 千字 印数:1—2000 册

定价:68.00 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

前 言

随着我国石油勘探开发程度的不断加深,近年来新探明的油藏类型越来越复杂,特别是复杂裂缝性油藏探明储量不断增加。我国发现的大量裂缝性油藏,岩性复杂,类型多样,包括低渗透砂岩裂缝性油藏、砂砾岩裂缝性油藏、碳酸盐岩裂缝性油藏、火成岩裂缝性油藏等,探明地质储量已超过 $40 \times 10^8 \text{t}$, 占总探明储量的 28% 以上。我国裂缝性油藏的产量逐年增长,目前年产量已超过 $1400 \times 10^4 \text{t}$ 。裂缝性油藏的勘探开发在我国石油工业中占有越来越重要的地位。

裂缝性油藏与常规孔隙型油藏相比,在储层结构和驱油机理方面有着本质上的差异。裂缝性油藏一般岩性复杂、岩相变化大,岩性、岩相识别与储层横向预测难度很大;由于缝、孔、洞共存,致使油气储集空间类型和渗流物理特征异常复杂;油气富集区多为缝洞发育区,由于缝洞分布的随机性很强,有效预测缝洞发育区难度极大,导致油井产量差异很大,高效布井难度极大。裂缝性油藏为双重介质油藏,衰竭式开采时应力敏感性强导致储层变形,渗透率和产能大幅度下降;存在边底水或注水开发时极易沿裂缝发生水窜,底水锥进很快,导致开发效果变差。可以看出,裂缝性油藏不论是在储层描述,还是在有效开发方面的难度都极大,可以说是集中了目前开发领域多种难题于一体的情况。因此,如何搞好裂缝性油藏的精细描述和有效开发,提高裂缝性油藏的开发水平,已成为当前急需深入研究和解决的重要课题。

近些年来,我国在裂缝性油藏开发方面开展了大量的室内实验、理论方法及新技术研究和矿场开发实践,取得了明显的进展,积累了较为丰富的实践经验。作者在分析、总结国内外裂缝性油藏开发最新成果和经验教训的基础上,结合自己在裂缝性油藏开发工作中的研究实践编著了本书。本书把理论研究与生产实践相结合,系统介绍了裂缝性油藏开发多学科综合的研究思路、方法和技术。书中主要内容均为作者多年来在裂缝性油藏开发方面的研究成果,包括新疆、玉门、吉林、大港、塔里木及国外多个裂缝性油田的开发技术研究、开发方案优化设计和矿场应用实例。

全书共分两篇。第一篇主要介绍裂缝性油藏的地质特征和裂缝性储层精细描述技术,特别是结合实例对裂缝的类型、成因、识别和研究方法,裂缝空间分布规律预测技术,储层裂缝参数的定量计算以及基质有效性评价等进行了深入的论述。第二篇主要介绍了裂缝性油藏的有效开发技术对策,阐述了裂缝性油藏的复杂渗流特征、采油机理、开发特征及合理的开发方式,给出了井网井距及其与裂缝方位的优化配置、水平井开采、双重变形介质数值模拟等开发新技术及应用实例。

由于裂缝性油藏本身的复杂性以及应用技术手段的局限性,裂缝性油藏的开发中还有不少难题有待进一步探索研究解决。希望能通过本书与有关同行专家进行交流,以进一步发展、完善裂缝性油藏的开发理论、方法和技术。在本书编著过程中得到了中国石油勘探开发研究院裂缝性油藏研究项目组专家的大力帮助,在此向他们表示衷心的感谢。由于作者水平、经验和掌握资料的局限性,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作者

2004 年 11 月于北京

目 录

第一篇 裂缝性油藏储层研究

第1章 储层裂缝的概念、研究现状和研究思路	(3)
1.1 储集层裂缝的概念	(3)
1.2 国外裂缝性储层研究现状	(3)
1.3 国内裂缝性储层开发和研究现状	(4)
1.4 储层裂缝的研究思路	(5)
参考文献	(5)
第2章 野外露头裂缝研究及构造成因分析	(7)
2.1 野外露头裂缝研究	(7)
2.1.1 区域构造裂缝类型及特征	(9)
2.1.2 局部构造裂缝类型及特征	(10)
2.2 构造裂缝的成因分析	(11)
2.2.1 区域裂缝	(11)
2.2.2 局部构造裂缝	(14)
2.3 储层构造裂缝形成的控制因素分析	(18)
2.3.1 构造裂缝与岩性的关系	(18)
2.3.2 裂缝发育强度与层厚的关系	(20)
2.3.3 构造裂缝与构造强度的关系	(22)
参考文献	(22)
第3章 岩心裂缝识别及研究方法	(24)
3.1 岩心裂缝的识别方法	(24)
3.1.1 天然裂缝与人工裂缝的识别特征	(24)
3.1.2 裂缝开启程度的识别及其意义	(25)
3.2 不同岩石类型的岩心裂缝特征	(26)
3.2.1 砂砾岩储层的裂缝类型	(26)
3.2.2 砂岩储层的裂缝类型	(27)
3.2.3 碳酸盐岩储层的裂缝类型	(28)
3.2.4 泥岩储层的裂缝类型	(29)
3.2.5 火成岩储层的裂缝类型	(29)
参考文献	(31)
第4章 利用测井资料识别裂缝的方法	(32)
4.1 成像测井裂缝识别及研究方法	(32)
4.1.1 目前最流行的成像测井技术	(32)

4.1.2	利用各种成像测井技术对不同类型储层的裂缝进行识别	(37)
4.2	利用常规测井资料识别裂缝的研究方法	(38)
4.2.1	常规测井裂缝响应机理分析	(39)
4.2.2	常规测井裂缝响应特征分析	(42)
4.2.3	利用常规测井资料定量识别裂缝的技术	(44)
4.2.4	常规测井裂缝参数计算方法	(49)
4.2.5	不同储层裂缝的常规测井识别实例	(51)
4.2.6	老测井系列 JD581 和 3700 的裂缝识别方法研究	(52)
	参考文献	(57)
第 5 章	裂缝识别的动态方法和现地应力场研究	(73)
5.1	裂缝识别的动态方法	(73)
5.1.1	泥浆漏失现象	(73)
5.1.2	井壁崩落现象	(73)
5.1.3	气测录井信息	(73)
5.1.4	钻时钻具信息	(73)
5.1.5	固井质量信息	(73)
5.1.6	压裂施工信息	(74)
5.1.7	油井动态信息	(74)
5.1.8	注水井动态信息	(74)
5.1.9	试井信息识别裂缝	(74)
5.2	现地应力场研究	(76)
5.2.1	现地应力测试	(76)
5.2.2	水力压裂与人工裂缝和天然裂缝关系	(81)
	参考文献	(84)
第 6 章	天然裂缝分布规律预测技术	(86)
6.1	利用相干数据体方法预测裂缝分布	(86)
6.2	利用地震属性参数提取预测裂缝分布	(86)
6.3	利用高分辨率地震反演岩相间接预测裂缝分布	(87)
6.4	利用“因素排除法”预测裂缝分布	(88)
6.5	利用定量储层地质建模和概率方法预测裂缝分布规律	(89)
6.6	利用叠前方位角地震属性分析技术预测裂缝分布	(93)
6.6.1	储层岩石物性的理论模型建立和地震各向异性响应	(94)
6.6.2	叠前方位角地震属性分析方法与裂缝解释	(96)
6.6.3	叠前地震属性分析方法与裂缝密度的解释	(98)
6.6.4	新立地区砂岩裂缝的地震预测技术研究	(99)
6.7	利用多波多分量地震技术进行裂缝识别	(100)
6.8	利用构造地质理论和依据构造力学数值模拟方法预测裂缝分布	(101)
6.8.1	构造应力场反演的数值模拟技术与裂缝分布规律预测	(102)
6.8.2	数值模拟模型的建立、边界条件选取和反演标准的确定	(109)
6.8.3	数值模拟的实施分析及讨论	(111)

6.8.4 有关数值模拟问题的讨论	(115)
参考文献	(115)
第7章 储层裂缝参数表征和基质有效性评价	(130)
7.1 储层裂缝参数表征方法	(130)
7.1.1 储层构造裂缝的组系与产状	(130)
7.1.2 储层构造裂缝的形态和充填性	(133)
7.1.3 储层构造裂缝的密度	(135)
7.1.4 储层构造裂缝的规模(长度、高度和宽度)	(141)
7.1.5 储层构造裂缝物性参数	(144)
7.1.6 裂缝性储层类型	(151)
7.2 裂缝性储层基质评价方法	(152)
7.2.1 通过岩心观察对储层基质储集能力的有效性进行判断	(153)
7.2.2 微观孔隙结构评价方法	(153)
7.2.3 常规物性分析评价方法	(156)
7.2.4 CT 扫描评价方法	(158)
7.2.5 核磁共振实验及测井评价方法	(160)
参考文献	(163)

第二篇 裂缝性油藏开发机理及技术对策

第8章 裂缝性油藏的渗流物理特征与采油机理	(167)
8.1 裂缝性油藏的渗流物理特征	(167)
8.1.1 裂缝性油藏的压缩系数	(167)
8.1.2 裂缝性油藏的毛管压力	(170)
8.1.3 裂缝性油藏的相对渗透率	(172)
8.2 衰竭式开采的采油机理	(176)
8.2.1 压缩变形	(177)
8.2.2 流体膨胀	(177)
8.2.3 衰竭式开采过程中基质和裂缝的采油量	(177)
8.3 水驱的采油机理	(178)
8.3.1 裂缝系统的水驱油机理	(178)
8.3.2 基质系统的水驱油机理	(179)
8.4 周期注水的采油机理	(188)
8.4.1 周期注水采油机理	(188)
8.4.2 周期注水实验研究	(190)
8.5 裂缝性油藏的流固耦合特征及其对产能的影响	(193)
8.5.1 有效应力与孔隙压力的关系	(193)
8.5.2 裂缝性油藏变形与孔隙度的变化	(193)
8.5.3 裂缝性油藏变形与渗透率的变化	(194)
8.5.4 衰竭式开采过程中裂缝变形对产能的影响	(195)

8.5.5 压力升降反复过程中的变形特征	(196)
参考文献	(198)
第9章 裂缝性油藏开发特征	(199)
9.1 裂缝性油藏的试井曲线特征	(199)
9.1.1 双重孔隙介质油藏模型	(199)
9.1.2 双重孔隙介质油藏中油井压力变化的特征	(199)
9.1.3 双重孔隙介质油藏试井曲线特征	(200)
9.2 裂缝性油藏衰竭式开采特征	(216)
9.2.1 裂缝性油藏渗流动态及油井产量变化规律	(216)
9.2.2 油井初期产量高,采油速度大	(217)
9.2.3 油井产量递减快,其递减规律体现了双重介质特征	(218)
9.2.4 裂缝性油藏非均质性严重,井间产量差异大	(219)
9.3 裂缝性油藏注水开发特征	(221)
9.3.1 注入水沿裂缝窜流,油井暴性水淹,含水上升快	(222)
9.3.2 油井注水见效及水淹特征的方向性明显	(223)
9.3.3 裂缝性油藏注水井注入压力低、吸水能力强	(225)
9.3.4 裂缝性油藏注水指示曲线存在明显拐点	(226)
参考文献	(228)
第10章 裂缝性油藏有效开发的技术对策	(229)
10.1 裂缝性油藏的开发方式	(229)
10.1.1 衰竭式开采	(229)
10.1.2 常规注水开采	(230)
10.1.3 周期注水开采	(231)
10.1.4 超前注水开采	(232)
10.2 裂缝性油藏开发的合理井网密度研究	(237)
10.2.1 技术合理井网密度	(238)
10.2.2 经济合理井网密度	(245)
10.3 裂缝性油藏开发井网的优化部署	(253)
10.3.1 常规油藏的注采井网	(253)
10.3.2 裂缝性油藏开发井网的优化部署	(257)
10.4 裂缝性油藏的注采压力系统	(275)
10.4.1 地层压力	(275)
10.4.2 最低合理流动压力	(276)
10.4.3 油层破裂压力与裂缝开启压力	(279)
10.4.4 注水压力	(281)
10.5 裂缝性油藏水平井开采技术	(281)
10.5.1 水平井在裂缝性油藏中的应用情况	(281)
10.5.2 水平井与直井的开发效果及经济效益对比	(283)
10.5.3 影响裂缝性油藏水平井产能的主要因素	(284)
10.5.4 裂缝性油藏水平井试井分析方法	(288)
10.5.5 裂缝性油藏水平井数值模拟技术	(291)

10.5.6 裂缝性油藏水平井开采的井网部署	(293)
参考文献	(298)
第11章 裂缝性油藏数值模拟技术及应用实例	(299)
11.1 双重介质渗流模型分类	(299)
11.1.1 双孔双渗模型	(299)
11.1.2 双孔单渗模型	(300)
11.2 双重介质渗流数学模型	(302)
11.2.1 常规裂缝性油藏数学模型	(302)
11.2.2 考虑变形的裂缝性油藏数学模型	(305)
11.2.3 裂缝性稠油油藏的热采数学模型	(309)
11.3 裂缝性油藏数值模拟应用实例	(314)
11.3.1 玉门青西低渗透裂缝性砂砾岩油藏	(314)
11.3.2 大港枣园火成岩裂缝性稠油油藏	(322)
参考文献	(330)
第12章 裂缝性油藏开发技术展望	(332)
12.1 储层天然裂缝识别及分布预测技术	(332)
12.1.1 裂缝描述	(332)
12.1.2 裂缝探测	(332)
12.1.3 裂缝预测	(333)
12.2 考虑裂缝和基质变形的流固耦合油藏数值模拟技术	(333)
12.2.1 跨尺度耦合问题研究	(334)
12.2.2 大规模流固耦合计算机软件的开发及应用	(334)
12.3 裂缝性油藏开采技术	(334)
12.3.1 合理注采井网井距及其与裂缝方位的优化配置	(334)
12.3.2 周期注水开采	(334)
12.3.3 超前注水开采	(335)
12.3.4 注气开发	(335)
12.3.5 水平井等复杂结构井开采技术	(335)
12.3.6 低渗透裂缝性油藏大型整体压裂、三维水力压裂技术研究	(335)
参考文献	(335)

第一篇 裂缝性油藏储层研究

第 1 章 储层裂缝的概念、研究 现状和研究思路

据不完全统计,世界上裂缝性油藏的储量约占已探明总储量的一半。因此,对裂缝性储层进行研究有着非常重要的意义。关于裂缝的研究,已有 100 多年的历史。1988 年斯坦福大学 Pollard 教授曾发表文章,对裂缝研究进行了百年回顾,作出了精辟的总结^[1]。

1.1 储集层裂缝的概念

裂缝是一种非常普遍的自然现象。人们从不同角度对“裂缝”这一术语进行了定义,Dennis 的定义是纯描述性的^[2],Pollard 从力学角度进行了定义^[1]。这里主要讨论天然裂缝对储集岩的影响,提出两个概念,“储集层裂缝”和“裂缝性储集层”。前者是指由变形作用或物理成岩作用形成的,在岩石中存在天然的不连续面;后者是指天然存在的裂缝对储集层内流体的流动具有重要影响或据预测具有重要影响的储集层^[3]。本节主要讨论构造应力作用形成的天然裂缝,所以应为“储层构造裂缝”和“构造裂缝性储层”。

根据 Stearns, Friedman 和 Nelson 对天然裂缝的分类意见并作适当修正,认为构造应力形成的天然裂缝包括区域裂缝和构造裂缝,按其力学性质又可能区分为剪裂缝、扩张裂缝和拉张裂缝^[3~5]。这里主要讨论由于力学性质不同的裂缝分类。剪裂缝具有位移方向与破裂面平行的特征,是当三个主应力都是挤压时形成的。当中间主应力(σ^2)接近最大主应力(σ^1)时, σ^1 与破裂面之间的夹角变小。扩张裂缝具有位移方向与破裂面垂直并远离破裂面的特征,也是当三个主应力都是挤压时形成的,经常与剪裂缝同时形成。拉张裂缝也具有位移方向与破裂面垂直并远离破裂面的特征,但是三个主应力中至少必须有一个主应力是拉张的,可是形成扩张裂缝时,三个主应力都是挤压的。这一点在地下裂缝的数学模拟预测中是重要的。因为岩石在拉张试验中比在扩张试验中具有更低的破裂强度(低 10 ~ 50 倍)。尽管平时笼统地称“张裂缝”,但从力学性质上看,两类张裂缝是不一样的,一定要区分开,这也是人们经常容易忽略的。

1.2 国外裂缝性储层研究现状

国外关于裂缝性储层的研究和开发已有上百年的历史,许多学者已发表了大量的研究成果。如研究裂缝储层的知名外国学者有 Aguilera, Nelson, Lorenz, Pollard, Narr 等,他们曾出版专著和发表了大量的论文^[1,3,5,7~11],为裂缝性储层的表征和开发提供了强有力的理论和技术支持。特别是美国能源部的 Sandia 国家实验室(National Laboratory),在美国能源部的大力资助下,开展了野外露头裂缝的系统研究和得克萨斯州 Speraperay 油田的 MWX 实验研究,对裂

缝性油藏的开发提出了许多突破性的认识。

近年来,国外油公司和大学、研究机构着重在成像测井和多波多分量地震技术方面对裂缝进行检测,取得了重大进展。成像测井技术日趋成熟,在井点裂缝识别方面发挥了巨大的作用。特别是裂缝发育段,岩心收获率极低,成像测井是最好的裂缝检测手段。成像测井可以直观地显示裂缝在地下的赋存状态。多波多分量地震是检测地下非均质性的有效手段。裂缝在地下造成强烈的非均质性,必然对多波多分量地震有很好的敏感性,但是这项技术尚处于探索阶段。

从国外裂缝油藏的研究情况看,对井点裂缝的识别比较有把握,对裂缝分布规律预测还没有很成熟的技术,但大家都在从不同的角度对裂缝分布认识进行探索。

另外,裂缝性储层基质的评价直接关系到一个油田开发的规模和潜力。就已开发的一些油田来看,储层基质的贡献很有限,主要靠裂缝储渗。在开发初期如何客观地评价储层基质的有效性也是认识裂缝性低渗透储层的难题,国外近年来主要以核磁测井技术为特征开展这方面的研究。

1.3 国内裂缝性储层开发和研究现状

国内关于裂缝性储层开发和研究也有几十年的历史。自从20世纪六七十年代四川碳酸盐岩和华北古潜山油藏发现并大规模投入开发以来,揭开了中国关于裂缝性储层研究的序幕。随后80年代新疆火烧山裂缝性砂岩油藏发现,由于对裂缝性油藏认识不足,所以开发效果不尽如人意。90年代新疆小拐油田砂砾岩裂缝性储层的发现,再次向油藏工程师们提出挑战。在开发初期遇到多口低效井后,通过组织专家进行艰苦的攻关,终于客观地认识了油藏的特征,使得开发效果得到相应的改善。近年来发现的大港千米桥孔、缝、洞储层、玉门青西裂缝性白云质泥岩储层、吉林裂缝性低渗透储层等,非常复杂、开发难度很大。通过早期系统地综合研究,对这些油气藏进行了合理的开发部署,使得开发效果和效益得到大大改善。

关于裂缝研究,20世纪90年代以前基本上限于传统的地质方法,只从井眼本身的资料研究裂缝的识别方法。90年代初,曾经设立裂缝分布预测项目,以北京大学石油天然气研究中心钱祥麟教授为代表^①,探索出利用构造力学和数值模拟技术反演古构造应力场进行裂缝预测的方法,并在油气田开发行业得到普遍应用。但由于该方法所采用的模型对地下非均质性的描述存在一定的局限性,所以该方法的应用受到一定的限制。最近几年,中国石油勘探开发研究院,组成了一支包括地质、测井、地震和油藏工程专家的多学科裂缝研究项目组^②,通过总结国内外十余个裂缝性油藏的勘探开发实践,立足于中国裂缝性低渗透油田的储层发育特征和实际开发现状,探索出一套综合的裂缝识别和分布预测地质评价技术,包括裂缝性储层基质评价方法(微观孔隙结构评价方法、常规物性评价方法、CT扫描评价方法、核磁共振评价方法、多信息综合评价方法)、天然裂缝识别方法(野外露头裂缝研究方法、岩心裂缝识别及研究方

① 钱祥麟等人,构造裂缝定量预测技术研究,以丘陵油田为例,“八五”中国石油天然气总公司重点科技攻关项目——中国油气储层研究成果报告,1994年。

② 袁士义,宋新民等人,低渗透油藏高效开发技术,2000年。

法、成像测井裂缝识别及研究方法、常规测井裂缝识别及研究方法、裂缝识别的其他研究方法)、天然裂缝分布规律预测方法(利用地震相分析方法预测裂缝发育规律、利用相干数据体方法预测裂缝分布规律、利用地震属性参数提取预测裂缝分布、利用高分辨率地震反演岩相间预测裂缝分布、依据定量储层地质建模和概率方法预测裂缝分布、利用因素排除方法预测裂缝分布、利用构造地质理论和依据构造力学的数值模拟方法预测裂缝分布)。这套技术已在多个裂缝性油藏的开发和调整中获得了成功的应用,研究成果得到了国内外专家的高度关注和评价,多次在国内外专业会议上交流,被国际 SPE 学会录为当代石油工业实用技术^[12,13]。但是,由于裂缝分布的复杂性,研究难度很大,目前该领域的研究仍处在探索性阶段。本书的主要内容正是以中国石油勘探开发研究院裂缝研究工作项目组,近年来在几个典型裂缝油藏的勘探开发实践中取得的成果基础上总结出来的,我们感觉到很有必要和大家一起交流,共同探讨,相互提高。

1.4 储层裂缝的研究思路

通过大批研究人员对储层裂缝的攻关研究,对井点裂缝的识别技术基本成熟。通过对井点岩心裂缝的观察,搞清裂缝的发育特征和类型,并结合钻井、压裂、试井等方面的信息标定成像和常规测井,最后根据常规测井对裂缝的响应机理分析,建立解释模型,进行裂缝的有效识别。但是关于井间裂缝的分布规律预测,还没有形成比较成熟的技术,仍处于探索性的研究阶段。目前看,对裂缝的分布预测多从两方面去考虑:一方面的考虑是在井点裂缝有效识别的基础上,通过测井信息,刻度地震资料,充分挖掘裂缝的地震信息;另一方面考虑裂缝作为自然界的一种构造地质行迹,是由于构造应力作用的结果,可以通过构造地质理论分析和古应力场模拟及岩石破裂理论判断裂缝的发育特征。尽管如此,为了客观地揭示地下裂缝的分布特点,仍需要多学科、多手段集成多方面的信息,综合分析,反复实践,不断修正模型,以达到日益完善的目的。

参 考 文 献

- [1] Pollard D D. Aydin A. Progress in Understanding Jointing over the Past Century. Bull. Geol. Soc. Am. 100, 1988;1811 ~ 1204
- [2] Dennis J G. International Tectonic Dictionary. Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 7, 1967:196
- [3] Lorenz J C. Teufel LW. Warpinski NR. Regional Fractures I: A Mechanism for the Formation of Regional Fractures at Depth in Flat - Lying Reservoirs. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 1991, 75(11):1714 ~ 1737
- [4] Friedman M. Stearns D. W. Relations Between Stresses Inferred from Calcite Twin Lamellae and Macrofractures. Teton Abtcline, Montana, Geol. Soc. Amer. Bull., 1971, 82(11):3151 ~ 3162
- [5] Nelson R A. Geological Analysis of Naturally Fractured Reservoirs. Houston, Gulf Publishing Company, 1985
- [6] Stearns D W., Friedman M. Reservoirs in Fractured Rock. Am. Assoc. Petrol. Geol., Memoir 16. 1972:82 ~ 100
- [7] Aguilera R. Determination of Subsurface Distance Between Vertical Parallel Natural Fractures Based on Core Data. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 1988, 72(7):845 ~ 851
- [8] Aguilera, R. Natural Fractured Reservoir. Penewell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1995:181 ~ 183

- [9] Lorenz J C. Finley S J. Regional Fractures II: Fracturing of Mesaverde Reservoirs in the Piceance Basin. Colorado, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. , 1991, 75(11):1738 ~ 1757
- [10] Narr W. Suppe J. Joint Spacing in Sedimentary Rocks. J. Struct. Geol. , 1991, 13(9):1037 ~ 1048
- [11] Narr W. Lerch I A. Method for Estimating Subsurface Fracture Density in Core. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. , 1984, 68(5):637 ~ 648
- [12] Xinmin Song, et al. Identification and Distribution of Natural Fractures. Paper 50877 Presented at the 1998 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Nov. 1998:3 ~ 6
- [13] Xinmin Song, et al. Integrated Characterization of Natural Fractures. Paper 64776 Presented at the 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Nov. 2000:3 ~ 6

第2章 野外露头裂缝研究及 构造成因分析

野外露头是进行地质研究最好的实验室。通过野外露头进行裂缝研究,可以直观地、全面地考察裂缝的发育特征,包括裂缝参数本身特征、裂缝在不同构造部位的发育特征、裂缝与岩性岩相的关系及裂缝的总体发育特征。通过野外露头裂缝与地下相应储层裂缝比较可以指导对地下裂缝的认识。

2.1 野外露头裂缝研究

近年来,我们通过对国内外多处裂缝露头的研究,如新疆准噶尔盆地西缘砂砾岩裂缝露头(图2-1)、松辽盆地的砂岩裂缝露头(图2-2)、伊朗西南部扎格罗斯褶皱带(Zagros Fold Zone)裂缝露头(图2-3、图2-4)、柴达木盆地柴西地区泥灰岩裂缝露头(图2-5)和北京西山裂缝露头的调查与研究,建立了裂缝发育的构造力学模型,用于指导地下裂缝的研究。

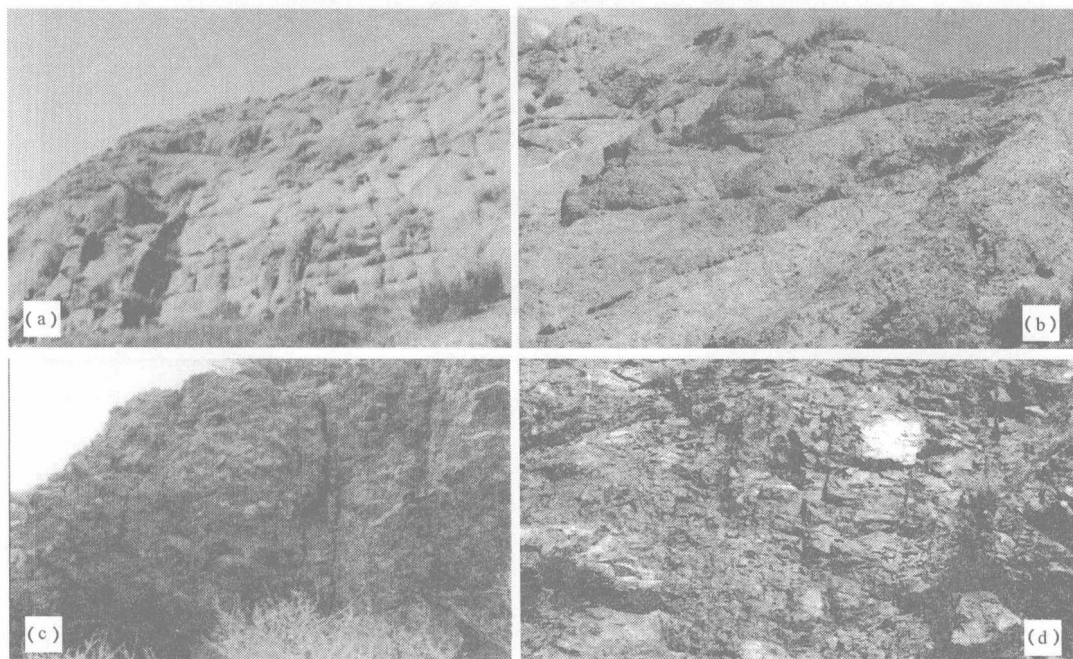


图2-1 中国西北部二叠系砂砾岩储层露头裂缝

(a),(b)表示区域性的构造裂缝穿切山体;(c)显示垂直缝发育在粗砾岩中,裂缝间距大;
(d)表示这套砂砾岩储层之下的石炭系板岩中也发育同样的裂缝,均属于区域构造裂缝成因

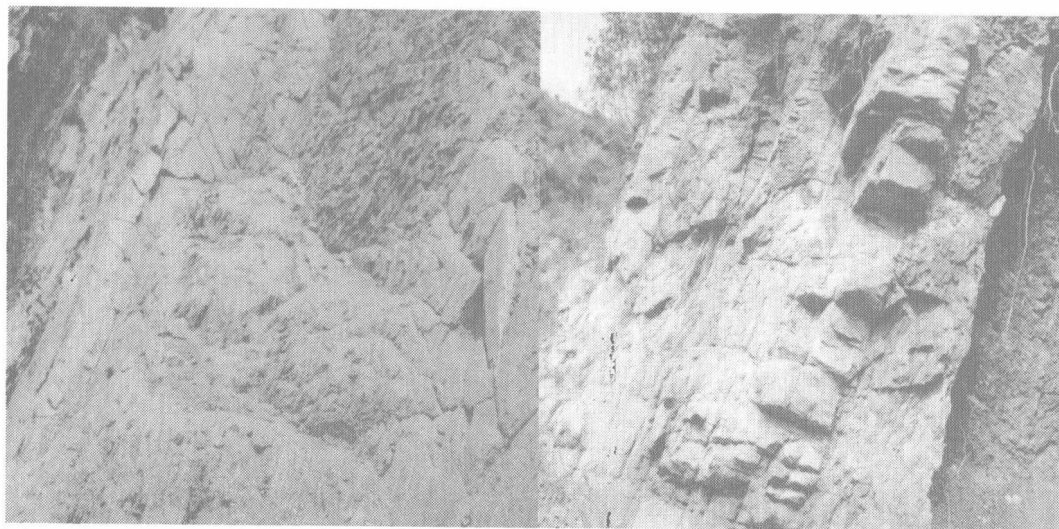


图 2-2 吉林前郭县哈达山泉四段露头裂缝:砂岩中裂缝相当发育

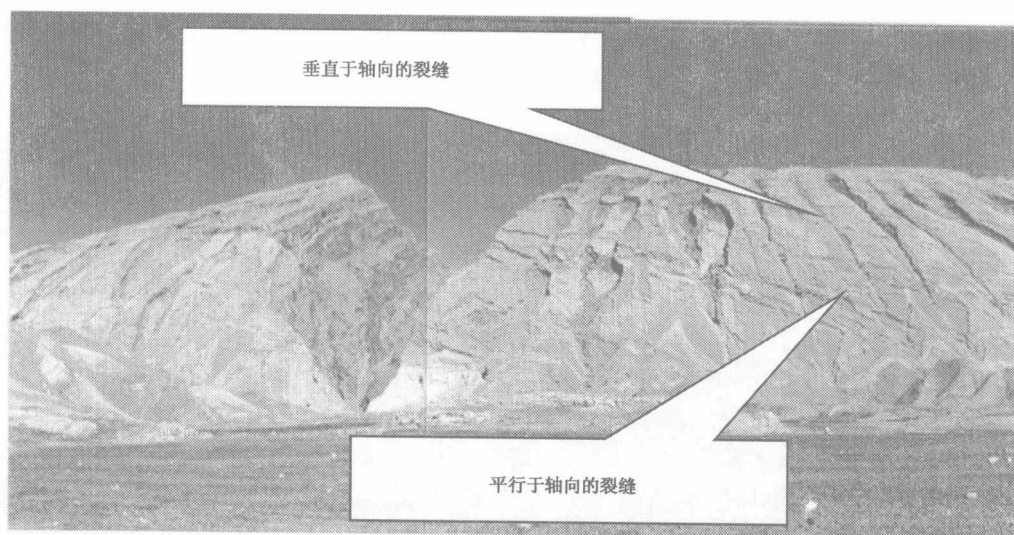


图 2-3 伊朗西南部扎格罗斯褶皱带发育的局部构造裂缝,主要发育
平行于褶皱轴向和垂直于褶皱轴向的裂缝,属于局部构造裂缝

从成因上裂缝可以划分为区域性裂缝和局部构造裂缝。前者在广阔的范围发育,与局部构造无任何成因联系。如新疆准噶尔盆地普遍发育一组近东西向的垂直裂缝,在不同的岩相带内发育程度不尽一致,特别是在该盆地西缘更加显著。再比如伊朗西南部普遍发育垂直于扎格罗斯褶皱带(Zagros Fold Zone)的垂直裂缝等。局部构造裂缝是指与褶皱、断层的发育密切相关的一类裂缝,如柴达木盆地发育的南翼山褶皱构造、跃进 1 号褶皱构造,所发育的裂缝受褶皱构造本身控制;玉门青西油田所发育的低角度(水平层面)裂缝受断层发育程度所控制。