



成都理工大学
能源学院
60周年校庆文集

CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
COLLEGE OF ENERGY
THE 60TH ANNIVERSARY

油气藏内多成因

多期次天然裂缝系统评价技术

邓虎成 周文等著



科学出版社

油气藏内多成因多期次天然裂缝 系统评价技术

邓虎成 周 文 等著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

油气藏内多期次多成因天然裂缝系统是在漫长地史演化过程中, 经历多期复杂构造运动作用而形成的, 具有多期叠加、多成因交织、控制因素复杂、预测难度大等特点。本书根据多期次多成因天然裂缝特征, 形成油气藏内多成因多期次天然裂缝系统评价技术, 该项技术包括: 基于野外调查和现场岩心描述为基础的天然裂缝系统鉴定、统计、分析技术, 并剖面天然裂缝系统识别技术, 结合地质力学环境(外因)和岩石力学性质(内因)的天然裂缝期次和成因划分与确定方法, 基于分期、分成因的天然裂缝子系统划分与分布预测评价, 以及天然裂缝子系统的叠加分布综合预测评价技术。

书中汇集鄂尔多斯盆地、四川盆地、塔里木盆地、泌阳凹陷等 10 多个油气田以及中东部分油田的天然裂缝研究成果, 详细论述了油气藏内多成因多期次天然裂缝系统评价技术的具体应用。本书可以为从事油气地质、构造地质、油气藏工程等领域的专家及同行提供参考, 也可以作为硕博研究生的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

油气藏内多成因多期次天然裂缝系统评价技术 / 邓虎成, 周文著.

—北京: 科学出版社, 2015.9

ISBN 978-7-03-049950-9

I. ①油… II. ①邓… ②周… III. ①裂缝性油气藏—系统评价—研究— IV. ①TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 225516 号

责任编辑: 杨 岭 冯 铂 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年9月第一次印刷 印张: 18.25

字数: 430千字

定价: 188.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

国家自然科学基金(编号: 41202096)

高等学校博士点基金项目(编号: 20105122120006)

油气藏地质及开发工程国家重点实验室项目(编号: SK-1001)

四川省教育厅创新团队项目(编号: 14TD0008)

四川省教育厅科研基金项目(编号: 09ZC027)

中石化、中石油科研项目(编号: 2001-05、2001-KY11-9、DK2002-02、2008-007、
2008-305、2009-624、2011-434、2012-001)

油气藏内多成因多期次天然裂缝 系统评价技术

邓虎成	周 文	刘 岩	谢润成	
张银德	雷 涛	彭先锋	王 威	著
吴永平	赵安坤	毕 钰	庞 宇	

前 言

天然裂缝在地层中广泛分布,是十分重要的地质现象。根据笔者对油气藏内天然裂缝多年的研究来看,现今油气藏内天然裂缝一般具有多期叠加性和多成因类型的特征,是在漫长的地史演化和地质力学环境中形成的复杂网络系统。其复杂性表现在:天然裂缝是地质演化过程中的产物,而地质演化过程的长期性与复杂性造成了天然裂缝形成的复杂性;自然界中地质作用千变万化,而许多地质作用均能导致岩石破裂,因此形成了现今成因多样的天然裂缝系统;不同岩石所经历的地质演化环境的不同造成了岩石力学性质的差异性,从而导致了岩石破裂条件及特征的不同。因此现今油气藏内天然裂缝系统就是地层岩石在经历了复杂地质演化过程中多期叠加而成的天然裂缝网络系统,具有形成期次多、成因类型复杂的特征。

迄今为止,全球石油天然气产量超过一半产自裂缝型油气藏,该类油气藏是 21 世纪石油天然气增产的最具潜力的领域之一(何雨丹和魏春光;2007);我国的裂缝型油气藏广泛分布于四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、松辽盆地等含油气盆地的古生界、中生界地层中,目前在我国油气生产中占有很大的比重。通过对这些裂缝型油气藏的勘探开发来看,油气藏内天然裂缝的特征、成因及分布规律的研究对油气藏高效合理勘探开发具有重要意义;只有正确认识天然裂缝的特征及分布规律,才能科学合理地制定勘探开发方案和部署勘探开发工作,并规避勘探开发过程中的各类风险。

国内关于天然裂缝的研究已有几十年历史,可以划分为以下几个阶段。20 世纪中期,对油气藏内天然裂缝的研究主要基于岩心、野外露头观察等常规的地质研究手段,例如当时四川石油管理局的地质工作者就裂缝型气藏勘探通过岩心、野外露头研究提出了“一钻一沿”“三钻三沿”“三打三不打”等经验方法。20 世纪 70 年代末至 80 年代初,国内以王仁(1979)、曾锦光等(1982)为代表的研究学者引入工程地质领域岩石破裂和损伤学的理论,开展了天然裂缝分布定量预测的数值模拟,用“屈曲薄板模拟纵弯褶皱的力学模型”建立了分析褶皱应力场的计算方法并提出了区域构造裂缝系统的分布预测方法;80 年代,主要为综合利用测井和地震进行天然裂缝的识别和预测;90 年代,文世鹏和李德同(1996)、周文(1993)等学者将构造应力场数值模拟和地质研究工作结合,应用有限元数值模拟方法结合岩石破裂准则进行计算,结合正、反演技术开展油气藏内天然裂缝的精细研究;何光明、彭仕宓等人开始引入了非线性理论开展相关研究。进入 21 世纪后,越来越多的学者从构造应力场的角度应用数值模拟方法研究裂缝的定量预测。近几年,各种新兴理论发展迅速,如概率论统计、遗传算法、人工智能等给油气藏内天然裂缝预测与评价研究提供了新的思路(邓虎成等,2013),目前这些技术中大部分的理论和方法还在完善或试验阶段。

国外对天然裂缝的研究从 20 世纪初开始,国外学者通过对岩石中天然裂缝的研究,

建立了“岩石力学”理论,以及近期的“岩体力学”和“断裂力学”等理论,奠定了油气藏内天然裂缝形成的理论基础,同时由于岩石的天然破裂过程及其裂缝分布的复杂性、无规律性,并受到观察、探测手段以及研究方法的限制,人们对沉积盆地中深层破裂作用的认识及裂缝的分布预测在理论上仍然显得十分单薄。20 世纪 60 年代,国外学者 Price、Murray 等在各种杂志上发表了许多油气藏内天然裂缝研究成果,并提出了具体的研究方法;该时期涌现一批学者从岩石声发射实验与裂缝形成期次、强度等方面对油气藏内天然裂缝开展了分析和研究,其中 Goodman(1963)发现岩石具 Kaiser 效应,并用于研究岩体的变形史和破裂史。70 年代,国外学者逐渐把分形几何学理论引入油气藏内天然裂缝研究领域。80 年代末,随着地球物理测井技术在油气藏内天然裂缝描述与预测研究方面取得的长足进展,使对油气藏内天然裂缝的识别质量得到了大幅提高,如成像测井技术以其真实的井剖面图像的呈现可以直观地对油气藏内天然裂缝分布及发育形态进行识别;同时随着地震勘探技术的快速发展,由二维勘探转变到三维勘探,反映地下地质特征的物探数据的精度不断提高,由此用地震勘探技术解释油气藏内天然裂缝时对油气藏内天然裂缝分布形态的刻画也逐步精细。90 年代后期油气藏内天然裂缝的定量研究主要集中在油气藏内构造裂缝的定量预测研究。据 Murray、Price、McQuillan 等研究认为油气藏内天然裂缝可以由与应变能相关的剪裂缝、与岩层褶皱相关的张裂缝以及与断层相关的剪裂缝和张剪裂缝为主组成;而天然裂缝的密度与曲率以及应变能和断层之间又相关密切,曲率和应变能对天然裂缝发育程度的影响又是相对独立的,因此通过叠加处理得到了裂缝密度的综合影响因子,并以此展开对天然裂缝的分布预测评价。进入 21 世纪后,国外在理论上没有明显的突破,但在油气藏内天然裂缝的识别技术上做出了巨大的贡献,Jenkins 等(2009)提出利用神经网络技术建立的 CFM 数据流程可以对裂缝进行较为精准的预测,该技术已经成功应用于许多砂岩及碳酸盐岩裂缝型储层的研究中;在裂缝的测井识别、地震识别上取得了长足进步,其中测井领域的新方法和新设备主要体现在电磁测向仪、CT 扫描仪、微 Lambda 测井、环形声波测井、成像测井(FMI)、全井眼地层微电阻率成像(FMI)、DSI 偶极横波成像仪和井下电视仪(BHTV)等,这些方法和设备能测量出油气藏内天然裂缝的倾角、走向、张开度、长度、视孔隙度以及裂缝的充填与开启程度,甚至能识别出微裂缝及亚微观裂缝。

国内外对油气藏内天然裂缝的研究发展历程,概括起来主要包括以下三方面:油气藏内天然裂缝研究经历了从岩心及野外露头的定性观测和统计到构造应力场的数学模拟;从地球物理测井到二、三维地震勘探等多学科、多领域的综合研究,经历了从简单到复杂,从二维至三维、从定性到定量的发展历程;随着科学技术的进步,对油气藏内天然裂缝研究的理论从传统线性研究发展到非线性人工智能研究领域。

前人已经针对油气藏内天然裂缝开展了大量的研究工作,虽然取得了很多有价值的成果,也很好地指导了一些油气勘探开发工作;但总体来说在对油气藏内天然裂缝特征、分布规律的把握上还存在较大的不确定性,特别是预测工作与实际勘探开发的后验吻合率偏低(何鹏等,1999;胡永章等,2003;黄辉和周文,2002;赖生华等,2005)。在总结前人关于油气藏内天然裂缝的研究工作中,笔者认为之所以对油气藏内天然裂缝特征及分布规律把握不准的主要原因在于未能针对其多期次、多成因类型的特征建立一套有

效的研究技术及思路；地史演化过程中多期次、多成因的天然裂缝叠加而成的现今的天然裂缝网络系统，如果不通过一定的方法和手段加以分解成单一的子系统进行研究，一般很难把握住这一复杂裂缝网络系统的基本规律。因此笔者将多年来在这一方面的研究心得在本著作中进行总结，希望能为相关领域的研究同行提供借鉴。

本书由 8 部分构成，第一章为油气藏内多期次多成因天然裂缝系统的基本特征及评价思路研究，介绍多期次多成因天然裂缝的基本特征，在考虑油气藏内天然裂缝系统的基本特征的基础上构建一套评价研究思路 and 关键技术体系；第二章为野外露头调查及钻井岩心描述技术，主要介绍基于野外露头和钻井岩心资料进行多成因多期次天然裂缝特征、分布规律等研究的方法和技术，并给出几个油气田研究的实例；第三章为井剖面识别技术，主要介绍井剖面基于钻井、测井等资料开展多期次多成因天然裂缝系统的识别方法和技术，并以四川盆地西缘新场气田须家河组钻井井剖面天然裂缝的识别为例来论述该技术的具体应用；第四章为裂缝的期次划分，该部分详细介绍野外露头与钻井岩心分期配套技术，以及利用裂缝充填物同位素分析、包裹体分析、微量元素分析、石英自旋共振测年分析、岩石声发射分析、痕量元素分析等裂缝期次确定的实验分析技术，并以新场气田须二气藏研究为例论述这些方法技术的具体应用；第五章为裂缝形成成因确定，主要总结油气藏内天然裂缝的主要类型，以及基于天然裂缝发育主控因素分析的成因确定方法；第六章为裂缝的分布预测与评价，该部分主要介绍油气藏多期次多成因天然裂缝子系统划分的目的、原则和方法，给出基于成因法的天然裂缝分布预测方法，并对鄂南地区涪河油田 17 井区延长组油藏多期次多成因天然裂缝子系统进行定性和定量的叠加分布与评价；第七章为裂缝有效性评价，该部分介绍基于岩心、测井和动态资料的天然裂缝有效性参数的解释方法，阐述不同来源天然裂缝有效性参数的含义与校正，并提出建立一套基于裂缝网络系统的有效性评价方法和定量指标；第八章为裂缝评价结果的应用，主要以鄂尔多斯盆地红河油田、麻黄山西区、泌阳凹陷安棚油田等油藏为例，介绍裂缝评价结果在勘探开发过程中的具体应用。

本书的完稿由课题组多位同仁共同完成，先后经过了多次的讨论确定了所有章节的安排以及具体撰写内容。本书由邓虎成执笔完成第一章，邓虎成、赵安坤、王威共同执笔完成第二章，刘岩、毕钰共同执笔完成第三章，谢润成、彭先锋共同执笔完成第四章，张银德、彭先锋共同执笔完成第五章，彭先锋、邓虎成、雷涛、庞宇等共同执笔完成第六章，毕钰、邓虎成、吴永平共同执笔完成第七章，邓虎成、刘岩共同执笔完成第八章；研究生肖睿、罗斌、张小菊、胡笑非、何思源、王菡等全程参与了图件编制和文字编辑校对工作；全书最后由邓虎成、周文负责统稿完成。

本书在编写过程中得到了中石化华北油气分公司、中石化西南油气分公司、中石油勘探开发研究院海外中心、中石化西北油气分公司、中石化河南油田等单位的大力支持，在此表示衷心的感谢！

油气藏内多期次多成因天然裂缝的评价是一个世界级难题(李毓等, 2005, 2007; 谢润成, 2006)，本书虽然在该领域里做了一些工作，但是仍有许多深层次的问题有待于继续研究。此外，由于作者水平有限和时间仓促，对一些问题的研究还很浅显，本书难免存在一些不足之处，甚至有认识上的偏差，敬请读者和有关专家赐教斧正！

目 录

第一章 基本特征及评价思路	1
第一节 多期次多成因天然裂缝的基本特征	1
第二节 评价思路及主要技术	8
第二章 野外露头调查及钻井岩心描述技术	13
第一节 野外露头调查技术	13
一、野外露头选择	13
二、调查方式设计	15
三、调查内容	16
四、调查工作具体应用	30
第二节 其他野外调查实例	34
一、鄂尔多斯盆地西南缘红河油田延长组裂缝野外特征	34
二、鄂尔多斯盆地西缘麻黄山油田中生界裂缝野外特征	39
第三节 钻井岩心描述技术	49
一、钻井岩心描述井点设计	49
二、描述内容	49
三、描述工作具体应用	62
第四节 其他地区钻井岩心描述实例	63
一、鄂尔多斯盆地南缘泾河油田长 8 油层组裂缝取心特征	63
二、鄂尔多斯盆地西南缘红河油田长 9 油层组裂缝取心特征	66
三、四川盆地西缘新场气田须家河组裂缝取心特征	73
第三章 井剖面识别技术	77
第一节 井剖面裂缝响应特征	77
一、钻录井响应特征	77
二、成像测井响应特征	79
三、常规测井响应特征	82
第二节 基于常规测井的识别方法与模型的建立	84
一、交会图版法	84
二、判别分析法	87
三、R/S 分析法	97
四、裂缝参数指示法	103
五、非线性建模法	109
第三节 实例应用	112

第四章 裂缝的期次划分	138
第一节 野外露头与钻井岩心分期配套技术	138
一、野外露头裂缝分期配套技术	138
二、钻井岩心裂缝分期配套技术	140
第二节 实验分析技术	141
一、裂缝充填物同位素分析	141
二、裂缝充填物包裹体分析	143
三、裂缝充填物微量元素分析	144
四、石英自旋共振测年分析	145
五、岩石声发射期次分析	146
六、痕量元素期次分析	147
第三节 裂缝期次综合分析技术实例	147
一、鄂尔多斯盆地西缘麻黄山西区中生界裂缝形成期次研究	147
二、川西坳陷新场气田须家河组裂缝形成期次研究	151
第五章 裂缝形成成因确定	157
第一节 裂缝的成因类型	157
一、基于地质成因类型划分	157
二、基于力学成因类型划分	158
第二节 基于主控因素的成因分析	158
第六章 裂缝的分布预测与评价	167
第一节 多期次多成因裂缝子系统划分	167
一、子系统划分的目的	167
二、子系统划分的原则与具体方法	167
第二节 基于成因法的裂缝分布预测	168
一、区域构造裂缝的分布预测	168
二、构造变形裂缝的分布预测	185
三、断层共(派)生裂缝的分布预测	200
第三节 多期次多成因裂缝子系统叠加分布与评价	229
一、子系统定性叠加分布与评价	229
二、子系统定量叠加分布与评价	231
第七章 裂缝有效性评价	234
第一节 裂缝有效性参数的解释	234
一、基于岩心与露头裂缝有效性参数的测量	234
二、基于测井资料的裂缝有效性参数解释	235
三、基于动态资料的裂缝有效性参数解释	235
第二节 裂缝有效性参数的含义与校正	241
一、不同来源裂缝参数的含义及关系	241
二、成像测井解释裂缝有效参数校正与评价	242

三、常规测井解释裂缝有效参数校正与评价	244
第三节 裂缝有效性的评价	251
一、有效性评价指标建立	251
二、裂缝有效性与其组系和产状的关系	253
三、裂缝纵向层段上的有效性评价	257
四、裂缝平面上的有效性评价	259
第八章 裂缝评价结果的应用	262
第一节 勘探目标优选与建议	262
一、鄂尔多斯盆地红河油田长 9 油藏勘探目标优选与建议	262
二、鄂尔多斯盆地麻黄山西区中生界油藏勘探目标优选与建议	266
第二节 裂缝属性建模	270
参考文献	276

第一章 基本特征及评价思路

第一节 多期次多成因天然裂缝的基本特征

油气藏内多期次多成因天然裂缝系统(本书下文中在未特殊强调时,所提裂缝均为天然裂缝)在野外、岩心、井剖面、物探等资料的研究过程中往往表现出极度的复杂性和不可预测性,很难把握其客观规律。下面将多期次多成因裂缝的一些基本特征归纳如下。

1. 裂缝组系多而杂、倾角分布不集中、产状空间上变化规律不明显

多期次多成因裂缝叠加至今,往往是不同时期地质力学环境下各类成因条件下形成的;因此裂缝发育走向表现出组系多、分布规律杂乱的特征,裂缝倾角从低角度至高角度均有分布,且分布不集中。下面是对重庆万县—梁平—忠县地区侏罗系自流井组和川西坳陷熊坡构造东北翼三叠系须家河组开展的野外裂缝调研工作,这两个地区自沉积以来主要经历了燕山期和喜山期多幕构造运动,形成了多期次多成因的裂缝系统。

根据对重庆万县—梁平—忠县地区侏罗系自流井组 8 个野外露头的调查来看,各点统计的裂缝倾角变化差异较大,每一个调查点裂缝倾角从低角度至高角度均有发育,不同调查点裂缝的优势倾角在低角度斜交裂缝($15^{\circ}\sim 45^{\circ}$)、高角度斜交裂缝($45^{\circ}\sim 75^{\circ}$)、近于垂直裂缝($75^{\circ}\sim 90^{\circ}$)几个区间均有集中分布(如图 1-1~图 1-4);裂缝组系在各点一般成像 2~3 个组系,且各点的优势组系不一致(如图 1-5)。

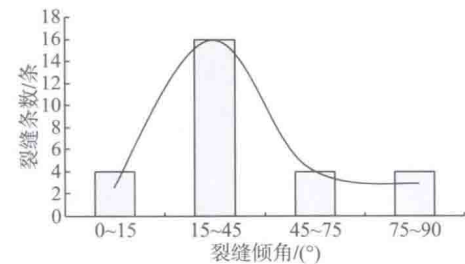


图 1-1 同兴场剖面裂缝倾角统计图

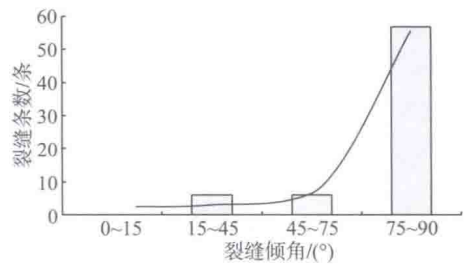


图 1-2 长滩镇剖面裂缝倾角统计图

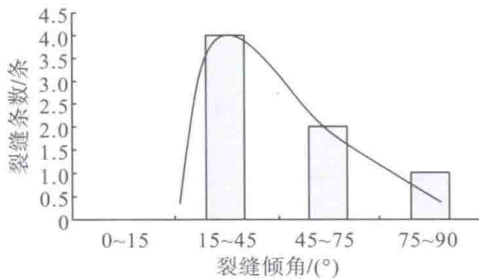


图 1-3 金鸡场剖面裂缝倾角统计图

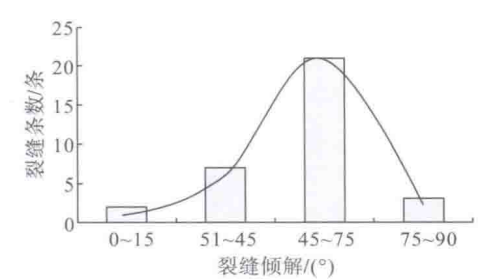


图 1-4 福禄镇剖面裂缝倾角统计图

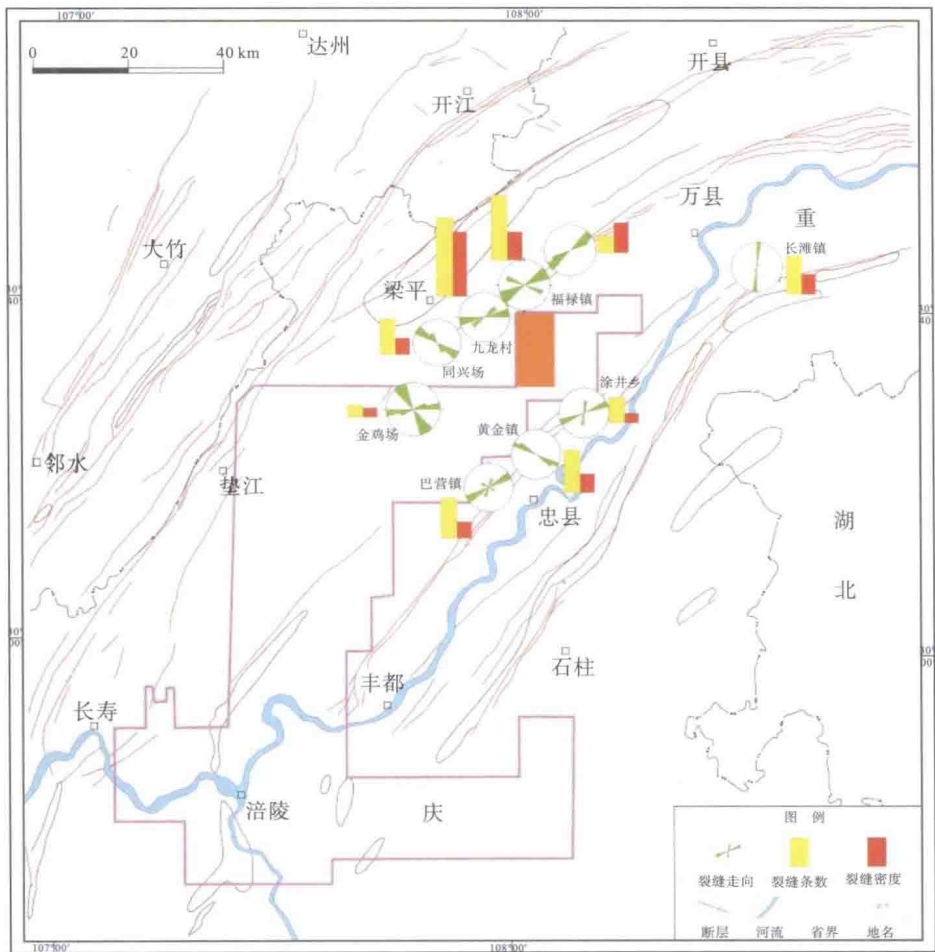


图 1-5 重庆万县—梁平—忠县区域野外裂缝调查结果

通过对川西坳陷熊坡构造东北翼开展的野外裂缝调查，利用 63 个野外点的实测统计数据编制了裂缝倾角分布图和走向分布图(如图 1-6、图 1-7)，该构造上裂缝倾角的统计分布虽然以近垂直裂缝为主($75^{\circ}\sim 90^{\circ}$)，但在中低倾角的各个区间($<75^{\circ}$)均有一定比例的分

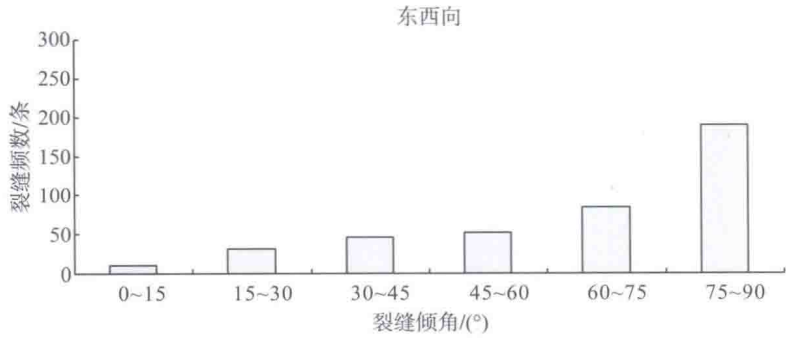


图 1-6 川西坳陷熊坡构造东北翼野外裂缝倾角统计图

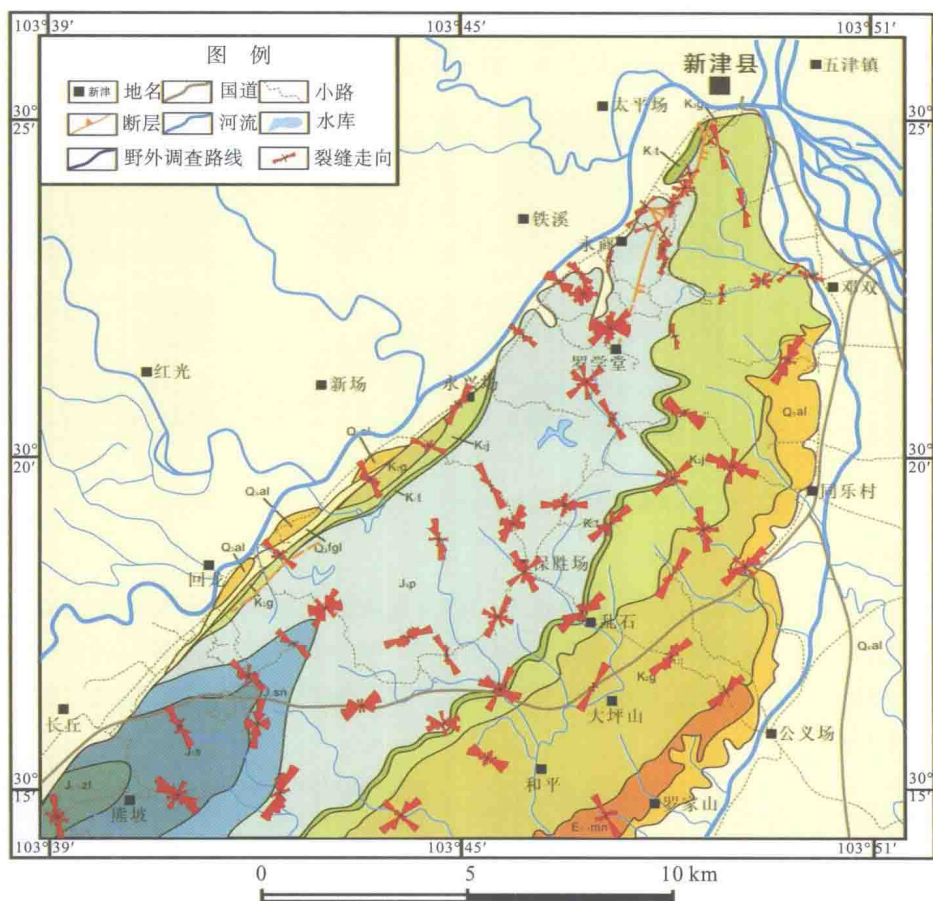


图 1-7 川西坳陷熊坡构造东北翼野外裂缝走向分布图

综合上述两个野外调查情况来看,地层中裂缝因其多期性和多成因类型而导致了裂缝的产状特征为:组系多而杂、倾角分布不集中、产状空间变化规律不明显。

2. 裂缝力学性质类型多样, 破裂成因复杂

在以往的研究过程中,通过对野外露头剖面 and 钻井岩心上裂缝特征与各种加载条件下岩石的破裂特征进行对比,总结了在野外及岩心观察描述中对裂缝力学性质的判断方法。

从岩石破裂力学成因上来分类,岩石中裂缝类型分为剪性裂缝和张性裂缝(周家尧,1991),其中剪性裂缝是岩石在受力过程中,所承受的剪应力突破了其抗剪强度而形成剪切面上的破裂面;张性裂缝是岩石在受力过程中,岩石所承受的张应力突破了其抗张强度而形成的拉张破裂面。剪性裂缝和张性裂缝由于形成力学环境不同,因此它们在缝面结构、组系、充填性等特征上具有明显的差异,可作为裂缝力学成因类型的判断依据,下面就此进行归纳和阐述。

1) 剪性裂缝特征

由于剪性裂缝是在剪切应力作用下形成的,室内剪性破裂模拟实验表明剪性裂缝一般表现为成对共轭出现、缝面光滑平整、裂缝闭合等特征。结合野外岩心、露头调查结

果, 剪性裂缝的特征表现为: 裂缝缝面见剖面型、平面型、斜交型、共轭斜交型等多种类型擦痕; 缝面光滑平整, 少见充填物; 存在共轭剪切组系(如图 1-8)。



图 1-8 鄂尔多斯盆地红河油田长 8 油层组各类剪性裂缝特征

2) 张性裂缝特征

张性裂缝是在拉张应力作用下形成的, 室内张性破裂模拟实验表明张性裂缝一般表现为缝面粗糙不平、成组出现、开启度高等特征。结合野外岩心、露头调查结果, 张性裂缝特征表现为: 缝面粗糙、凹凸不平、呈弯曲状; 缝面多见方解石等充填物; 可见多组平行组系(如图 1-9)。

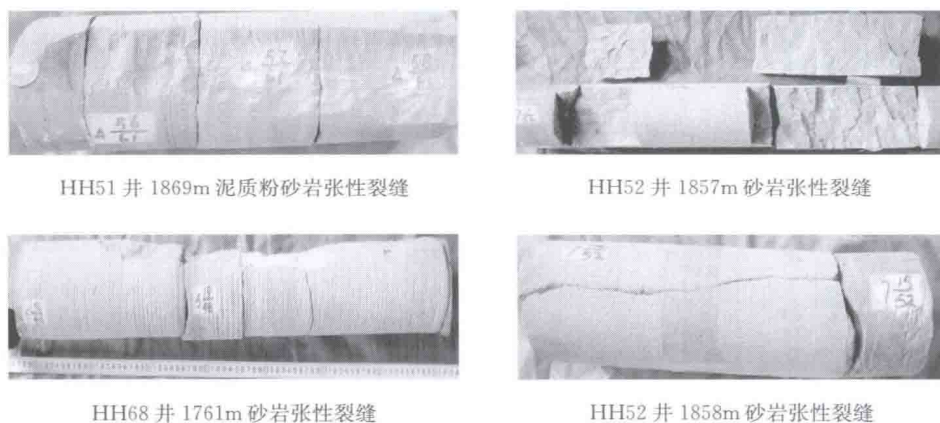
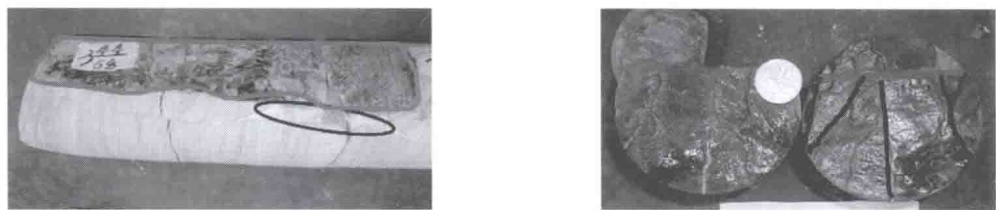


图 1-9 鄂尔多斯盆地红河油田长 8 油层组各类张性裂缝特征

根据上述剪性、张性裂缝的特征, 在油气藏钻井岩心、野外露头中的调查表明, 不同地质条件下各类剪性、张性裂缝发育, 且特征不一, 反映了多成因多期次裂缝系统力学性质类型多样、破裂成因复杂。

3. 裂缝多期充填, 形成期次多

野外调查、岩心描述中从裂缝充填特征、裂缝组系、充填物时间等都反映了油气藏内现今裂缝的多期性(邓虎成和周文, 2009)。图 1-10 和图 1-11 是针对鄂尔多斯盆地麻黄山油田及周缘相似露头中生界延长组、延安组裂缝研究成果(邓虎成等, 2010); 研究表明现今裂缝为多期形成叠加的产物。



ND3 井, 2486.99~2489.50m, 天然裂缝沥青与方解石充填 ND3 井, 2516.23~2516.47m, 多组垂直裂缝限制切割

图 1-10 鄂尔多斯盆地西缘麻黄山油田长 6 油层组裂缝充填及组系切割多期性特征

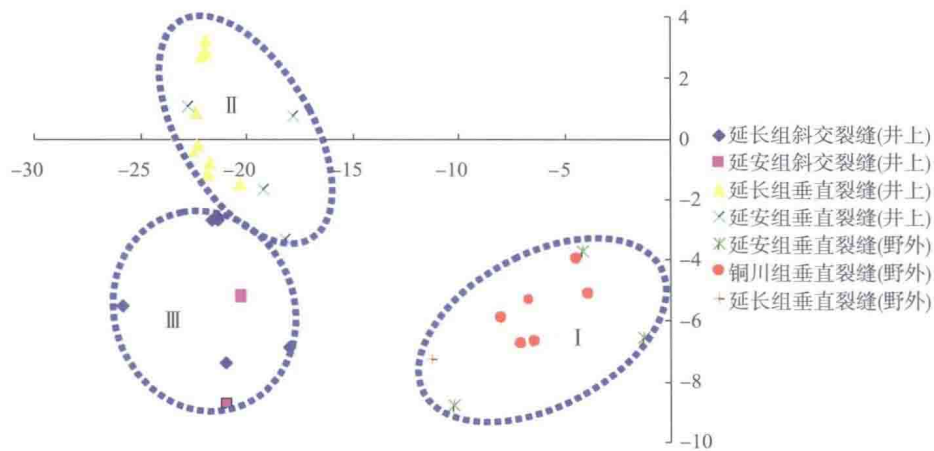


图 1-11 鄂尔多斯盆地西缘麻黄山油田及相似露头中生界裂缝方解石充填物碳氧同位素统计图

4. 裂缝发育规模及分布变化大

油气藏内多成因多期次裂缝在发育规模和分布规律上具有较强的非均质性，由于不同期、不同成因裂缝发育规模的差异性以及发育主控因素的不同，造成了现今油气藏内裂缝发育规模及分布变化的非均质性。在对四川盆地新津熊坡构倾末端野外裂缝调查中，裂缝高度在尺度上和层位贯穿能力上差异显著，裂缝长度在统计上从 0~10cm 到大于 500cm 各个区间上均有分布，优势分布区间不明显(如图 1-12、图 1-13)；从对鄂尔多斯盆地泾河油田泾河 2—泾河 17 井区井剖面裂缝发育密度的统计分布来看，裂缝发育程度在空间上分布规律性不强，非均值程度大(如图 1-14)。



图 1-12 四川盆地新津熊坡构倾末端不同岩层厚度内裂缝发育情况

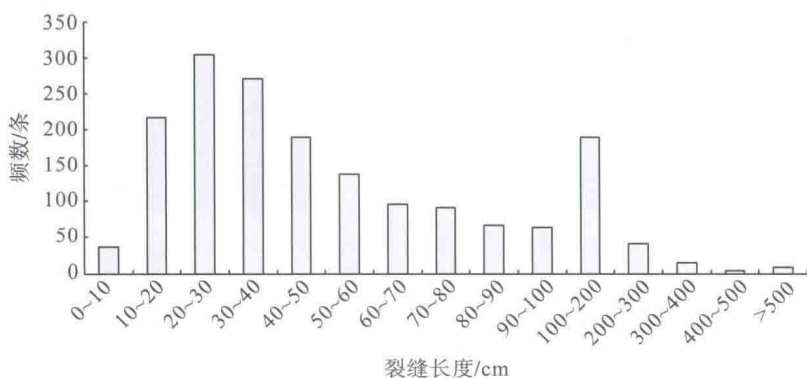


图 1-13 四川盆地新津熊坡构倾末端裂缝长度统计图

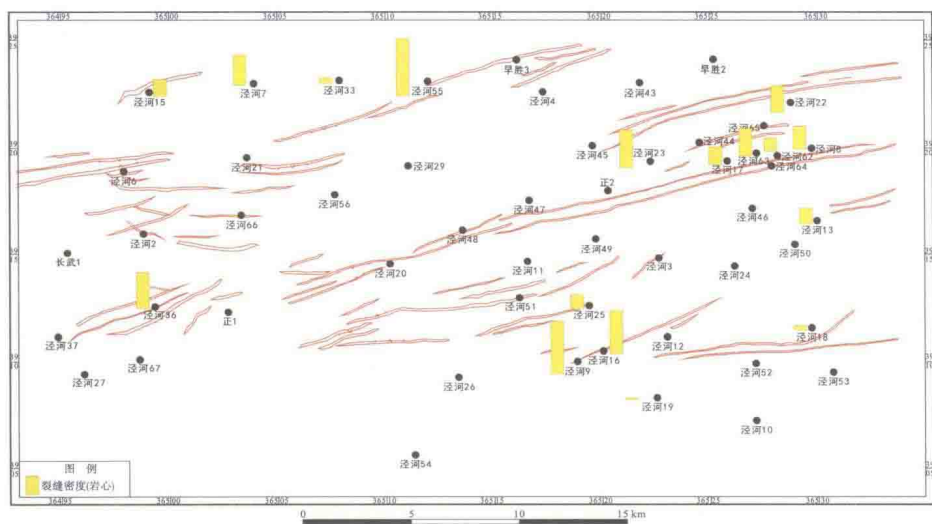


图 1-14 鄂尔多斯盆地涪河油田涪河 2—涪河 17 井区井剖面裂缝发育密度分布图

5. 裂缝发育控制因素多但主控因素不明

油气藏内多成因多期次裂缝系统由于具有多期性和多成因类型的特征，如果笼统地对裂缝特征及分布规律进行研究，一般难以找到其主控因素。图 1-15 是川西坳陷新场气田须二气藏井剖面裂缝发育指数与断裂、构造曲率的分布图(毕海龙等, 2012, 2013; 苏媛, 2011)，从图中可以看出裂缝的发育程度与断裂和构造变形(构造曲率)有一定的相关性；但在一些井点又存在不吻合的现象(如图 1-16、图 1-17)，由此看来该气藏裂缝系统应该是一个多成因、多期次叠加的裂缝系统，总体来看主控因素不明确。通过对该气藏裂缝特征的深入研究，并对期次和成因进一步确定的基础上，明确了新场气田须二气藏裂缝发育在不同时期受到了断层、构造变形、岩性、地层厚度等因素的控制；而在不同的地区、不同层段具有其对应的主控因素，如断层附近裂缝主要受断层控制，非断裂区受构造变形和岩性控制，纵向上裂缝发育程度的差异总体上又受岩层厚度和岩性的控制(如图 1-18)；因此不加以分析，笼而统之地进行研究一般很难抓住其主控因素。

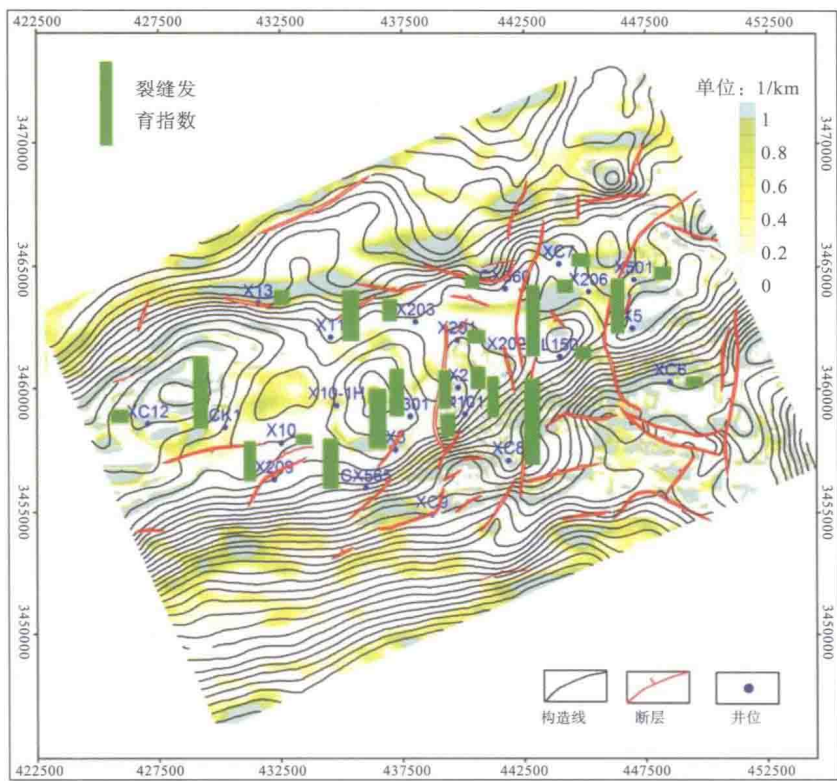


图 1-15 川西坳陷新场气田须二气藏井剖面裂缝发育指数与断裂、构造曲率分布图

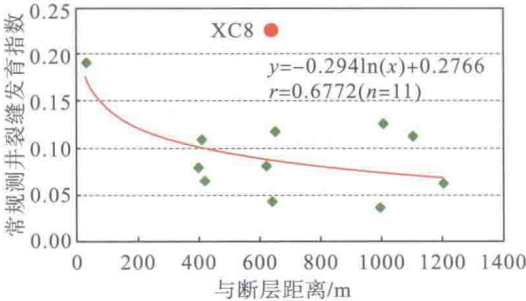


图 1-16 川西坳陷新场气田须二气藏裂缝发育程度与南北向断层关系

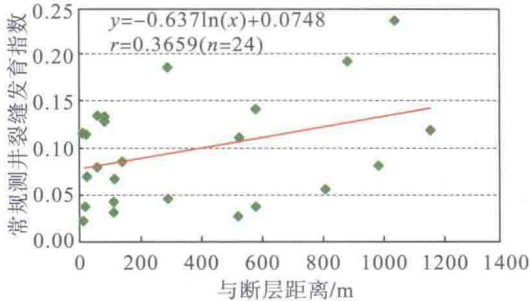


图 1-17 川西坳陷新场气田须二气藏裂缝发育程度与构造变形关系

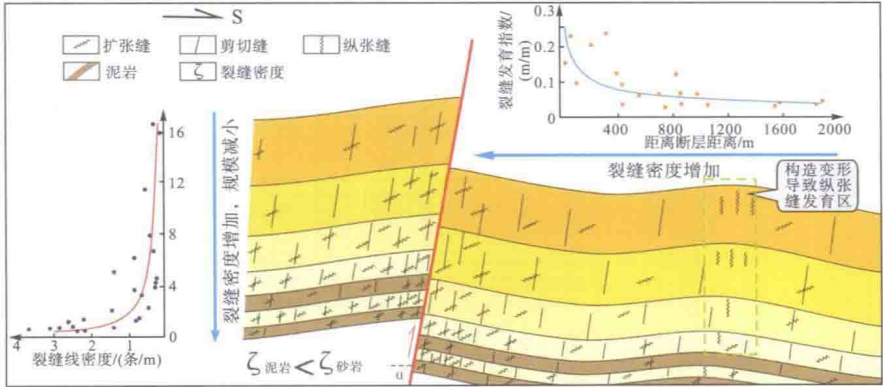


图 1-18 川西坳陷新场气田须二气藏裂缝发育模式