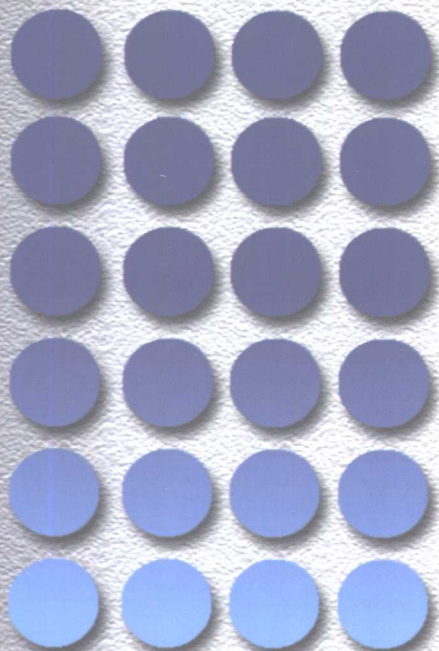
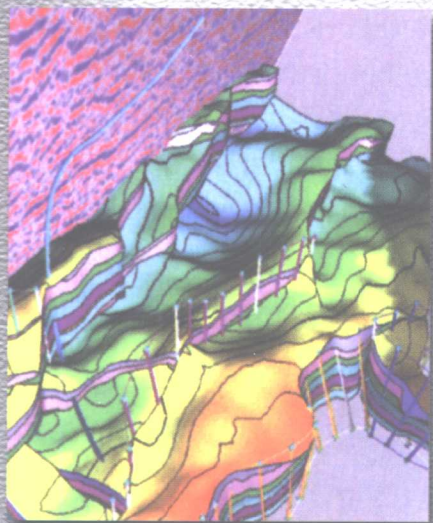




低渗透油气田 开采技术

胡永乐 宋新民 杨思玉 等编译



**DISHENTOU
YOUQITIAN
KAICAI
JISHU**

石油工业出版社

低渗透油气田开采技术

胡永乐 宋新民 杨思玉 等编译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书精选了近年来发表的关于低渗透油气田开发方面的技术文献和典型实例 35 篇, 以 2000 年美国落基山脉地区低渗透会议论文为主, 同时还收录了部分国内作者的论文。主要内容是低渗透油气藏的开发地质研究、油藏描述、数值模拟、增产技术和动态监测技术。

本书适合从事低渗透油气田开采的管理人员、研究人员和工程技术人员, 以及石油院校石油工程专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

低渗透油气田开采技术/胡永乐等编译

北京: 石油工业出版社, 2002.7

ISBN 7-5021-3591-X

I. 低…

II. 胡…

III. ①低渗透油层-油田开发

②低渗透油层-气田开发

IV. TE-348

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 079463 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)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 22 印张 560 千字 印 1—1500

2002 年 7 月北京第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3591-X/TE·2644

定价: 50.00 元

目 录

第一部分 油 藏 描 述

储层裂缝的综合表征技术	宋新民	沈平平等著	(3)
地震反演及其特殊处理技术在裂缝分布预测中的应用.....	陈军	宋新民等著	(14)
冲积扇裂缝性储层精细表征.....	曹宏	宋新民著	(20)
储层流动单元研究方法初探.....	郭燕华	熊琦华等著	(25)
低孔低渗透储层质量评价研究.....	郭燕华	熊琦华等著	(31)
在曼德逊地区利用三维地震资料预测裂缝空间分布 (F.David Gray 等著)			
.....	宋新民译	田昌炳校	(38)
利用三角洲模式和页岩岩石物理特性寻找洛基山地区油田的高渗流区			
(Rob L.Allen 著)	田昌炳译	宋新民校	(46)
成岩作用对神经网络预测粒度的影响 (A.T.Faga 等著)	王月莲译	宋新民校	(50)
白垩岩岩心柱塞中裂缝渗透率的变化 (D.Olsen 等著)	傅秀娟译	范子菲校	(56)

第二部分 油 藏 管 理

使用半解析模型分析生产动态资料用以提高油藏管理水平 (Gary A.Foster 等著)			
.....	杨思玉译	别爱芳校	(73)
应用离散裂缝网络模型集成裂缝与生产资料管理怀俄明州南俄勒冈坳陷油田			
(R.Parney 等著)	杨思玉译	尹天放校	(82)
新墨西哥州 San Juan 盆地 Dakota 地层气藏生产特征和泄气体积计算			
(Arild Sunde 等著)	胡永乐译	杨思玉校	(89)
水力压裂井生产动态评价 (Bobby D.Poe, Jr 著)	别爱芳译	宋新民校	(99)
油气井建井和生产中地应力数据的采集、校正和应用			
(Jitendra M.Avasthi 等著)	原瑞娥译	何鲁平校	(109)
在分割式曲流带油藏内井的复杂递减分析新方法 (P.T.Branagan 等著)			
.....	别爱芳译	尹天放校	(117)
渗透率影响的未压裂气井无因次流入动态曲线 (Travis Billiter 等著)			
.....	别爱芳译	冯明生校	(125)
Cupiagua 低渗凝析气藏压降时地应力的影响: 实例研究 (Luis A.Giraedo 等著)			
.....	罗 凯	钟太贤译	刘合年校 (143)

第三部分 增 产 技 术

水层或衰竭层上方层段控制裂缝高度压裂模拟 (D.M.Talbot 等著)			
.....	杨思玉译	杨长祜校	(155)
全新酸化压裂设计二维模型 (A.Tony Settari 等著)	原瑞娥译	杨思玉校	(165)

运用核磁共振和声波技术改进南得州低渗含气砂岩完井和裂缝模拟 (D.L.Fairhust 等著)	张爱卿译	宋新民校 (180)
在 Arcabuz Gulebra 气田利用裂缝诊断优化压裂工艺 (Stephen L. Wolhart 等著)	侯建锋译	张宏洋校 (189)
压裂技术在越南 Hanoi Trough 油田的应用 (C.L.Cipolla 等著)	侯建锋译	张宏洋校 (202)
新墨西哥 San Juan 盆地 Lewis 页岩用液体 CO ₂ 加砂压裂实例 (S.M.Campbell 等著)	侯建锋译	张宏洋校 (215)
水力压裂诊断技术 (C.L.Cipolla 等著)	田中原译	尹天放校 (224)
Wind River 盆地 Mesaverde - Meeteetse 井先进的完井方法 (Ed Lone 等著)	侯建锋译	张宏洋校 (240)
非牛顿流体在连续油管中压力摩阻损失预测的新进展 (B.Medjani 著)	杨思玉译	杨长祜校 (247)
粘弹性表面活性剂压裂液在低渗透储层中的应用 (Mathew Samuel 等著)	张爱卿译	宋新民校 (258)
利用KOH 进行粘土矿物质的稳定性处理 (C.A.Norman 等著)	胡永乐译	杨思玉校 (265)

第四部分 测试技术

低孔低渗凝析气层与轻质油层测井识别技术	肖毓祥	李薇等著 (279)
用新式双管电缆式地层测试仪和取样器实时测量渗透率和各向异性 (Mark A. Proett 等著)	傅秀娟译	范子菲校 (284)
科罗拉多 Piceance 盆地 Mamm Greak 油田多层砂岩裂缝诊断注入测试典型实例 (David P. Craig 等著)	杨思玉译	杨长祜校 (298)
低渗透油藏高效电缆式地层测试: 利用地层产率分析的质量控制法 (Jaedong Lee 等著)	李凡华译	宋新民校 (309)
利用干扰试井资料判断各向异性的快速方法 (Her - Yuan Chen 等著)	李凡华译	宋新民校 (316)
在天然裂缝油藏中部分打开井的不稳定压力分析 (T.D.Bui 等著)	李凡华译	宋新民校 (326)
天然裂缝油藏中基质块大小不同分布时的压力动态分析 (J.P.Spivey 等著)	李凡华译	宋新民校 (335)

第一部分 油 藏 描 述

原书空白页

储层裂缝的综合表征技术

宋新民 沈平平 袁士义 曹宏 张爱卿著

摘 要 通过多个裂缝性油藏的勘探开发实践,本文探索出几种裂缝性储层的综合表征方法。主要有露头裂缝的表征方法,露头裂缝是宏观了解地下裂缝空间展布的理想场所,常见露头裂缝有区域性裂缝和局部构造裂缝;岩心裂缝观察描述是最基础的研究,岩心裂缝在地下的赋存状态和地球物理响应特征信息提取至关重要;利用测井资料,特别是常规测井资料检测裂缝是经济有效的途径;利用地震资料检测裂缝,首先分析井震响应关系,然后利用多种信息,综合判断。在此提出相干数据体方法、地震属性提取方法、因素排除法和基于储层定量建模的概率方法。从地球物理方法检测裂缝的实质,在于打破常规地震数据处理的思路,即突出“干扰”,压制“一致”的非常规处理方法。这些表征方法,在地质规律指导下,综合应用,在多个油田应用取得良好效果。

一、引 言

储层天然裂缝表征一直是油气勘探开发生产和研究方面的热点话题。数十年来,许多著名学者如 Aguilera^[1]、Lorenz^[2]、Pollard^[3]、Nelson^[4]、Lynn^[5]等教授长期致力于天然裂缝方面的研究,取得丰硕的研究成果,为裂缝性油气藏的合理开发,起到积极的推动作用。但是,由于天然裂缝发育的随机性强、分布规律非常复杂,所以该领域一直处于探索性的研究阶段。天然裂缝发育的油藏往往能获得惊人的高产,如中东 Asmari 层的裂缝性碳酸盐岩储层,当钻遇裂缝非常发育的储层,能得到数千吨,甚至上万吨的产量。因此,该领域的研究和技术开发倍受大油公司的关注,他们也研制许多新技术,如 Schlumberger、Atlas、Halliburton 等石油测井和地球物理公司发展了成像测井^[6]和多波多分量地震检测技术^[7],极大地推进了天然裂缝研究的进程。成像测井在目前油田现场应用效果较好,已得到推广和应用;然而多波多分量地震检测技术,仍具有一定的探索性,数据采集和处理解释造价高,许多油公司不具备这样的资料,因此应用和发展受到很大限制。不过,从多波多分量的地震技术来检测裂缝研究是发展的方向,可能是解决这一难题的重要手段,但尚还需要一定艰苦细致的研究和一个相对较长时期的努力。因此,我们依据多数油公司普遍拥有大量的常规测井和纵波(P波)地震资料,以地质规律为指导,结合生产测试和动态资料进行天然裂缝的综合表征,如野外露头天然裂缝的表征、岩心裂缝描述与表征、成像测井裂缝表征、常规测井裂缝表征、储层生产动态测试的裂缝表征、地震资料的裂缝表征,依据构造力学和应力应变恢复的裂缝预测等。本论文主要讨论露头天然裂缝的表征及对地下储层的指导、岩心裂缝精细表征及相应地球物理信息提取,利用常规测井和地球物理资料进行裂缝表征。

二、(野外) 露头天然裂缝表征及对地下储层的指导

地下储层裂缝最直观的资料就是岩心,毕竟井孔范围很有限。试图寻找与地下储层相似

的邻区露头，通过露头裂缝的观察可以更全面地了解裂缝的产状，裂缝与构造、岩相的关系及三维空间的展布特点。因此，露头裂缝是研究天然裂缝的理想场所。根据国内外多个裂缝油藏邻区的露头裂缝研究，认为构造应力作用下形成的裂缝主要有两种类型：区域性裂缝和局部构造裂缝。

区域性裂缝是在很大范围内普遍分布，展布的规律性强，与局部褶皱、断裂构造无任何成生联系，多与区域范围、甚至板块级别的构造作用有关，常常在数百、数千平方千米范围内分布。如果了解这种裂缝的性质，将对区域范围内的油气开发有着重要的指导意义。图 1 代表中国西部与地下砂砾岩储层相邻的露头裂缝。这种裂缝在准葛尔盆地广泛分布，特别是在该盆地西缘更为发育，在盆地西缘露头区发育良好。这套储层应属下二叠统，在露头区可以看到下伏的石炭系板岩也发育与下二叠统一样呈东西向展布的区域裂缝。这套储集层的岩性主要是砂砾岩，常常在中细砾岩中更为发育，裂缝密度更大；在中粗砾岩中裂缝密度小。这套裂缝与局部的构造无联系，地下储层构造也很发育，但与褶皱、断裂作用没有直接的成生关系。认识这种裂缝的性质对油气开发在井网部署和钻井方式上有重要的指导意义。

局部构造裂缝是局部褶皱、断裂构造作用形成的裂缝。图 2 代表伊朗西南部扎格罗斯褶皱带的褶皱构造裂缝。在伊朗西南部扎格罗斯褶皱山区和更南的平原区，大量分布着呈北西—南东展布的一系列褶皱构造。通过考察地下储层和山区露头，每个褶皱构造均发育两组裂缝，平行于褶皱构造轴向的和垂直于褶皱轴向的裂缝，前者在褶皱的转折端特别发育，后者发育比较均匀，两组裂缝形成联通的网络，为油气渗流提供了良好的通道，所以才有万吨产油井之称。

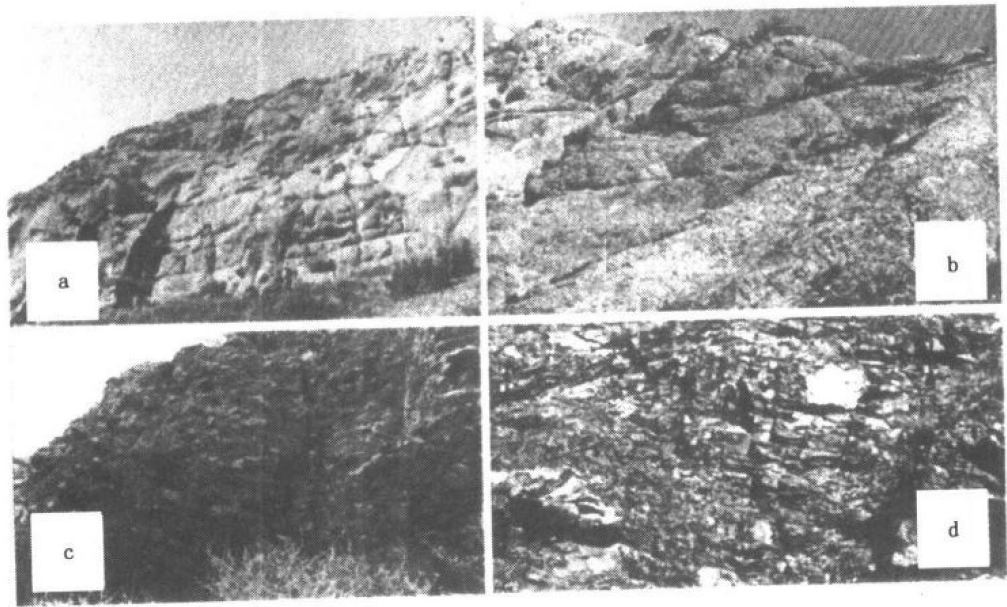


图 1 中国西北部二叠系砂砾岩储层露头裂缝，a 和 b 表示区域性的构造裂缝穿切山体，c 显示垂直缝发育在粗砾岩中，裂缝间距大，d 表示这套砂砾岩储层之下的石炭系板岩中也发育同样的裂缝，均属于区域构造裂缝成因

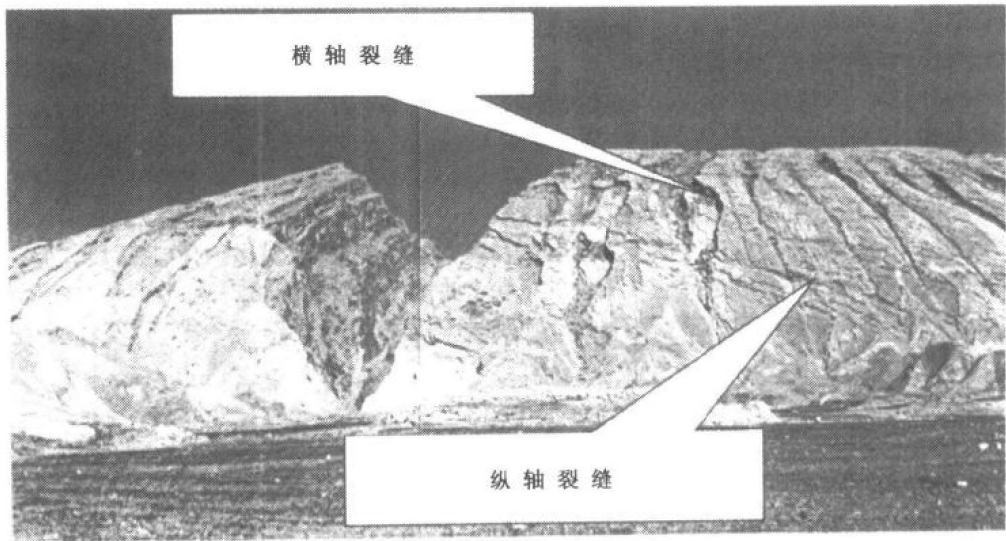


图2 伊朗西南部扎格罗斯褶皱带发育的局部构造裂缝，主要发育平行于褶皱轴向的和垂直于褶皱轴向的裂缝，属于局部构造裂缝

三、岩心裂缝表征和地球物理的裂缝信息提取

岩心裂缝的观察是认识地下裂缝最直接的手段，也是整个裂缝研究最基础的研究。对岩心裂缝的观察和描述除了一般的裂缝描述之外，特别重视两方面的研究，即裂缝的开启性和裂缝的地球物理响应特征。

裂缝的开启性直接影响到油气的渗流。由于取心过程中，即有钻具的冲击作用，也有泥浆柱的作用，所以岩心上看到的裂缝包括许多类型，有天然开启的裂缝，也有因钻井诱导作用形成的人工裂缝，还有原来在地下闭合但钻具作用后开启的裂缝。这些裂缝在地下的赋存状态不同，对油气渗流影响不一样。一般来说，在地下开启的裂缝，本身就是渗流的通道，因此在特低渗储层中往往能获得高产；而地下呈闭合状态的裂缝，只有注水（气）后才开启，对开发才产生影响，这在一般的低渗储层中发育很普遍。关于裂缝在地下的开启程度如何区别，已有很多文章作了讨论。

裂缝的地球物理特征响应是重要的研究内容。岩心裂缝的观察描述，一方面了解裂缝本身的特征，更为重要的一方面是寻找岩心在常规测井上的各种地球物理响应特征。如岩性、流体、裂缝等在常规测井曲线上的不同响应特征，特别是裂缝开启程度不同，在常规测井上有不同响应特征。这是由于常规测井包括着电响应、声响应、放射性响应等。另外，常规测井的径向探测范围比较大，从几厘米到几百厘米，对岩心上所看到的各种地质特征有不同的响应^{[8], [9]}。这将是利用常规测井进行裂缝识别、建立裂缝的响应机理模型的重要研究内容。

四、利用测井资料进行裂缝识别

岩心裂缝的观察是研究裂缝最直接的手段，但是不可能对每口井全部取心。另外裂缝发

育时岩心破碎，收获率极低。然而测井资料可以连续提供井孔的多个物理信息，弥补了这方面的不足。通过测井资料识别出裂缝发育段，可以直接指导射孔求产。另外，通过常规测井资料建立的各种物理响应模型，来约束地震资料的处理和解释，进行裂缝检测。因此，测井资料的分析和处理架起了地质和地震之间的桥梁。

近年来，测井技术的进展主要体现在成像测井问世后飞速发展，比较成功地应用于当前油气开发。图 3 为利用微电阻率成像（FMI）在定向斜井所测的垂直缝的图像，图 4 为利用偶极子横波在白云质泥岩储层中测的高角度裂缝的图像。成像测井不仅可以测量出裂缝的发育位置，还可以测出裂缝的方向及裂缝的物性参数，无疑是行之有效的检测手段。但是成像测井的造价比较高，可以选择有代表性的区块，少量测量。然而常规测井在每口井都测，可以充分地利用常规测井资料。

近年来，经过多个裂缝性油藏的勘探开发实践，我们开发研制出一套利用常规测井资料进行裂缝识别的方法。基本思路是通过岩心观察，标定成像测井资料，结合井史和动态测试分析，建立裂缝的物理响应模型，进行裂缝检测。基本原则是考虑组成地质体的岩石骨架响应和裂缝（溶蚀孔洞）的响应。一般来说，裂缝对孔隙的贡献较小，特别是高角度裂缝对孔隙影响甚微，但对导电性贡献相当大，裂缝越发育，导电性越好。可以通过导电平衡的原理建立裂缝的解释模型。

对于侧向测井，裂缝性地层的岩石电导率可以写成：

$$C_t = S_{wb}^n \cdot \phi_b^m \cdot C_w + S_{wf}^f \cdot \phi_f^f \cdot C_f$$

式中 C_t 、 C_w 、 C_f 分别为岩石电导率、地层水电导率、裂缝流体电导率， S_w 为含水饱和度， ϕ 为孔隙度， m 为孔隙结构指数， n 为饱和度指数， b 、 f 分别为岩块和裂缝的角标。

对导电率方程中的每项参数，赋予合理的量值，结合测井值和岩电参数及水（泥浆）分析资料，就可以进行裂缝识别及裂缝参数的估算。图 5 为利用上述原理进行裂缝识别的成果图。

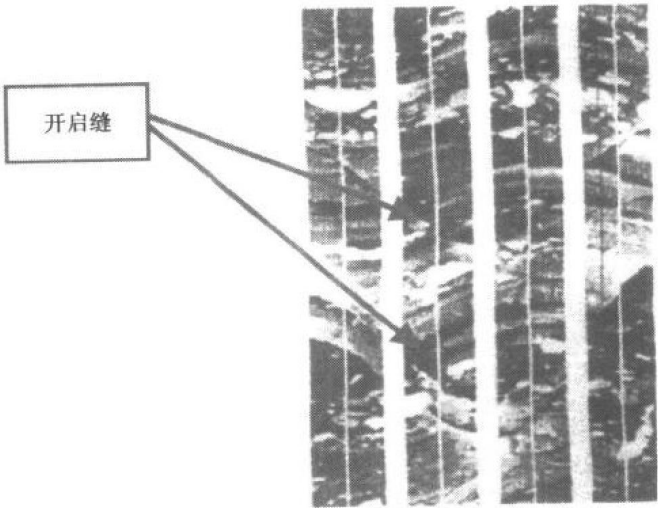


图 3 中国西北部裂缝型砂砾岩储层中，定向斜井里测得的垂直缝的 FMI 的图像

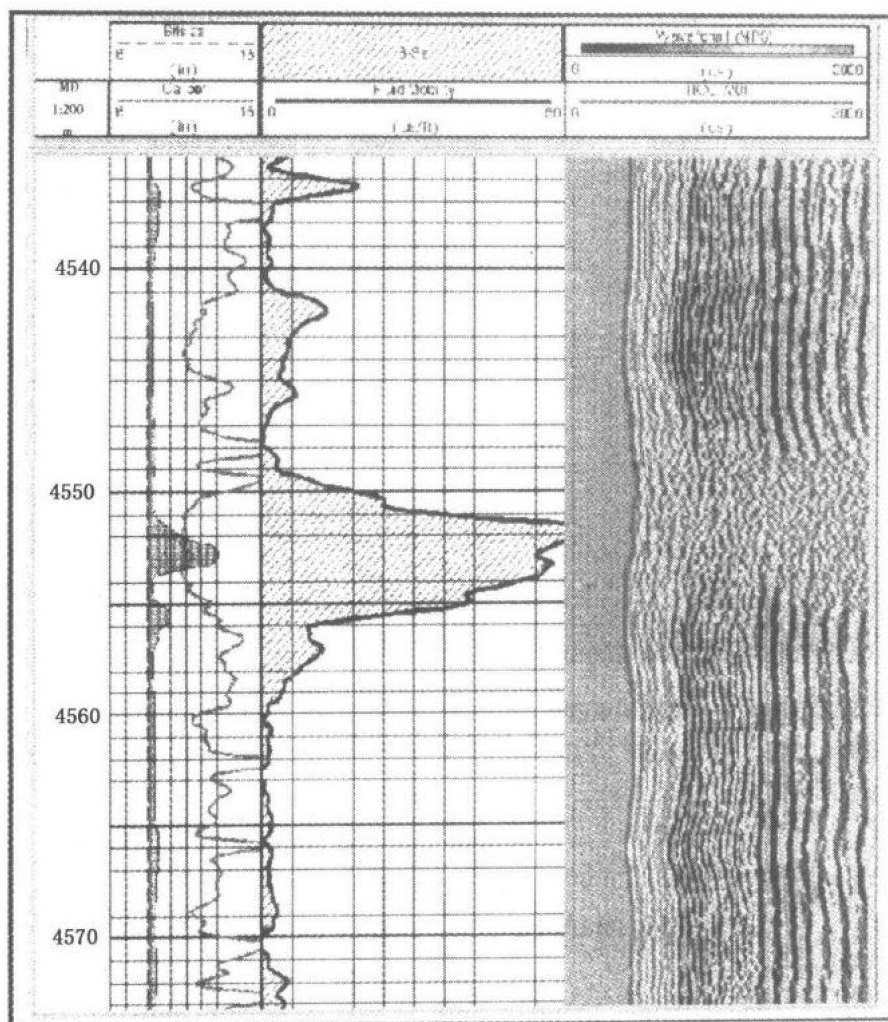


图4 中国西部裂缝型白云质泥岩储层中，垂直缝的偶极子横波图像

五、利用地震资料进行裂缝信息提取

地震探测技术是了解井间地质结构的唯一手段。近年来，人们试图从振幅随炮间距的变化^[10]和多波多分量地震技术^[7]来检测裂缝，但仍处于探索阶段。我们立足于油田普遍拥有的纵波资料，综合多种方法来检测裂缝。本文提出四种方法：相干数据体方法、地震属性提取方法、因素排除方法、基于定量储层建模和概率方法综合检测裂缝。

1. 相干数据体方法

常规的地震资料处理采用压制干扰，突出一致性的方法。但对裂缝性储层，这种“干扰”有其特殊的意义。假设一个均匀的地质体，地震波在其传播过程中，各种物理信息（如振幅、速度、相位等）也应该是均匀的；当地质体的结构发生变化时，如发育断层、裂缝、溶蚀孔洞、岩性尖灭……等，地震波形必然发生变化，出现异常。对于裂缝性储层，这种异常代表了断层、缝洞的存在，当然是在同样的岩相背景下。因此，在地震资料上要打破常规，设法弄清和突出“干扰”，采用“去同存异”的逆向思维，压制一致性，使“噪音”充

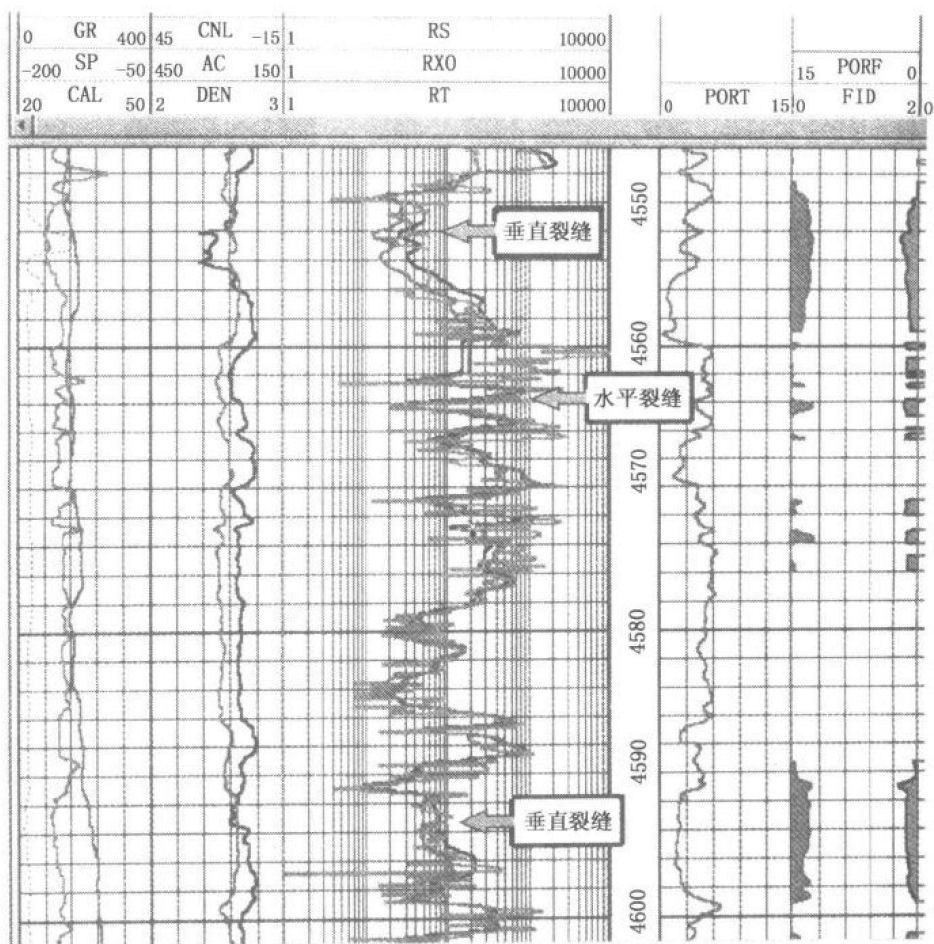


图5 利用常规测井方法解释的裂缝成果图，图中左半部分为常规测井曲线，右半部分为解释成果：PORT为总孔隙度；FID为裂缝强度指数，值越大、裂缝越发育；PORF为裂缝孔隙度

分暴露。具体实现就是采用相干程度来判别地质结构的均质性。图6是利用相干数据体方法处理的相干程度分布图。弱相干区块表示断层、缝洞发育、储层发育好，钻遇弱相干区块的井都获得惊人的高产。

2. 地震属性提取方法

地震属性有好多种，如振幅、速度、频率、相位等，是地下地质结构的综合反映。通过多个裂缝油藏的具体实践，把井与井旁道的地震相比较，发现缝洞发育时，地震振幅能量衰减，相位和频率均有变化，如振幅降低、极性反转、相位紊乱等。图7为中国西部裂缝性白云质泥岩储层中的均方根振幅属性分布图，图中低振幅分布的A、F、G区块，缝洞比较发育，井况生产良好；相反B、C、D、E区块，振幅呈高值，井况较差。

3. 因素排除法

相干数据体方法是纯粹依据地震资料突出“干扰”，压制“均匀”的处理方法。因素排除法就是井震结合、消除岩石骨架部分的影响，突出“异常”信息。因为地震信息中包含有骨架的信息和骨架以外的信息，通过提取非骨架的信息，即缝洞发育的成分，正是因素排除法的实质所在。

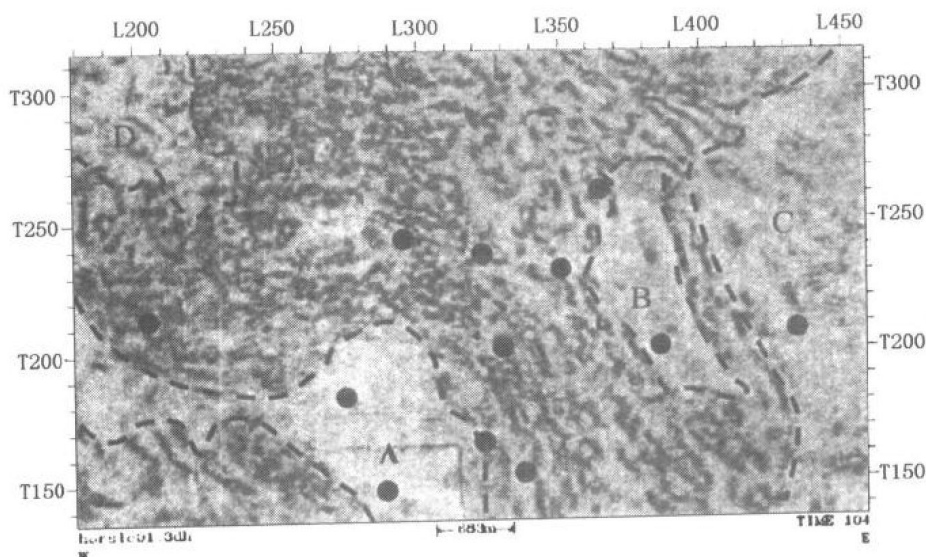


图6 中国西部某油田的相干数据体切片，深灰色表示弱相干，储层发育；浅灰色表示强相干，储层不发育

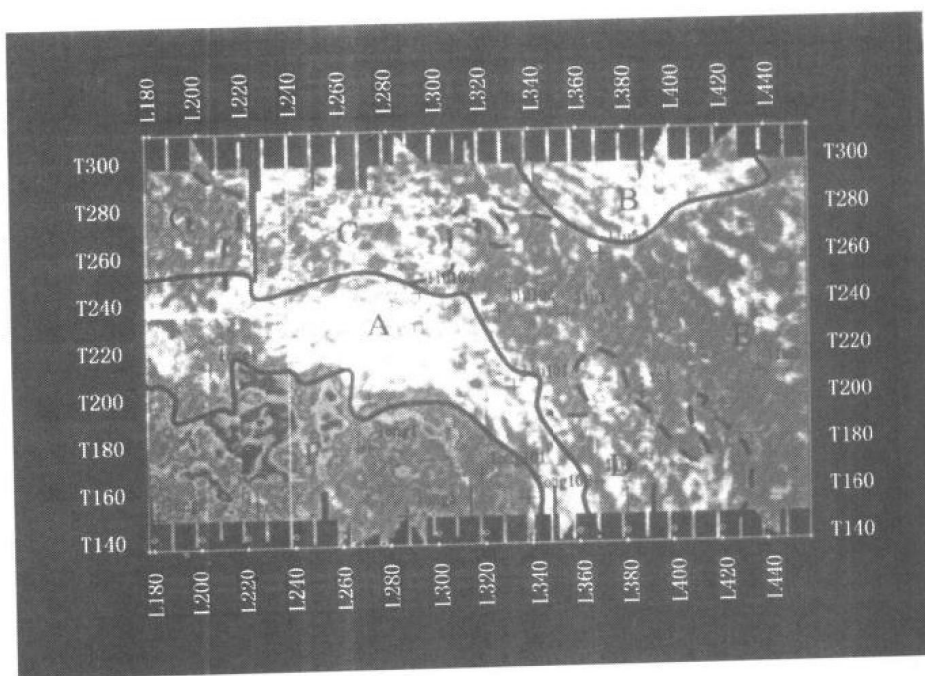


图7 中国西部某油田的均方根振幅属性切片

对以高角度和垂直缝发育的储层，声波和中子对裂缝响应不明显，可以通过声波和中子重构岩石的骨架信息，然后以重构的骨架曲线建立初始地质模型，制作合成地震记录，然后再进行反演得到反映岩石骨架的数据体，最后与原始地震记录反演得到的结果比较，寻找二者差值，差值越大、裂缝越发育。该方法在中国西部裂缝性砂砾岩储层得到成功的应用。

对低角度或水平缝，无论电阻率曲线，还是孔隙度曲线，都有明显的响应。可以通过孔

隙度曲线和电阻率曲线重构岩石骨架信息, 仿照上述方法进行裂缝信息提取。该方法在中国柴达木盆地应用已取得较好效果^[9]。

4. 基于定量储层地质建模和概率方法的裂缝信息提取

基本思路是首先进行定量储层建模, 然后依据常规测井解释的裂缝强度指数、井震响应关系和概率方法进行裂缝预测^[11]。

定量储层建模包括确定性模型的生成和基于随机反演(条件模拟)方法的模型优化。首先进行地震反演求取参数剖面, 基于地震资料提取不同方向不同位置的变异函数, 建立确定性模型; 然后进行随机反演, 进行模型优化。关键是变异函数的提取和随机反演。目前, 地震资料是提取井间地质信息最通常的来源, 它能提供储层的空间变化特性及变异函数模型。使用地震资料作为变异函数的源数据体, 可以求取几乎任意方向的变异函数, 而不必去分象限拟合。只要任意给定两点的位置, 就能求取过这两点的直线方向上的唯一的变异函数。因此任意方向、任意位置的变异函数:

$$\gamma_{(h)|\theta, p_1 p_2} = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{N_{(h)}} [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2$$

其中 θ 代表方向, p_1, p_2 代表变异函数所处的位置。

确定性定量建模是从地震资料中提取层位、形态信息(包括方位及变异函数)特征, 建立克里金方程组, 求解一组权系数, 并计算预测值和误差范围。确定性定量建模的构架来自于井的资料, 地震提供的只是空间的变化趋势。在大多数情况下, 地震与测井只有宏观上的一致性, 局部细节差别较大。因此, 我们应该使用相对权系数, 最后再参考测井及地震信息进行校正。这样的建模, 使得井间的非均质性得到较好的反映, 分辨率也有较大的提高。确定性模型在很大程度上保留了地震所提供的井间信息, 继承了测井所提供的高的垂向分辨率。但它与实际地质体之间的吻合程度如何, 尚不能确定, 因此就需要一个模型优化的过程, 即随机反演。模型优化的参照标准可以是岩心、测井资料或地震记录等。优化的方法可以通过模型反演(将该模型作为地震反演的初始模型)和随机反演的方法来实现。鉴于集成化目标和井间数据的优化, 通常选用地震记录作为标准, 采用随机反演的方法。具体做法是: 依据每一点的预测值及误差范围, 产生随机数, 计算一个可能的在误差范围内的随机地震道, 将之转换为反射系数, 再褶积子波, 就可以得到一道随机地震记录, 将之与实际地震记录相比较, 直至达到所要求的相关程度为止。

裂缝对岩石孔隙度的贡献一般很小, 但可以显著地改变岩石的导电性。在此主要讨论高角度裂缝, 使用 CF 指数来表征裂缝的发育程度:

$$CF = \left| \frac{R_o - R_t}{R_o} \right|$$

R_t 为裂缝性地层的电阻率, R_o 为具有相同孔隙度值的粒间孔隙地层的电阻率(原状地层的电阻率)。因此, 关键是计算 R_o , 由于高角度缝对声波没响应, 可以通过声波计算 R_o , 通过测井处理, 得到某油区的 R_o 。

因此

$$R_o = (-0.0002 \times v + 1.2159)^{-2}$$

$$CF = \frac{R_o - R_t}{R_o} = 1 - \frac{R_t}{(1.2159 - 0.0002 \times v)^{-2}}$$

计算表明, CF 值均在 0~1 范围内。这里用 CF 值来表征裂缝发育的强度, 数值越高, 代表

裂缝越发育。

这样就建立起裂缝强度指数与速度之间的关系，可直接用于建立半定量的裂缝分布概念模型（图 8）。

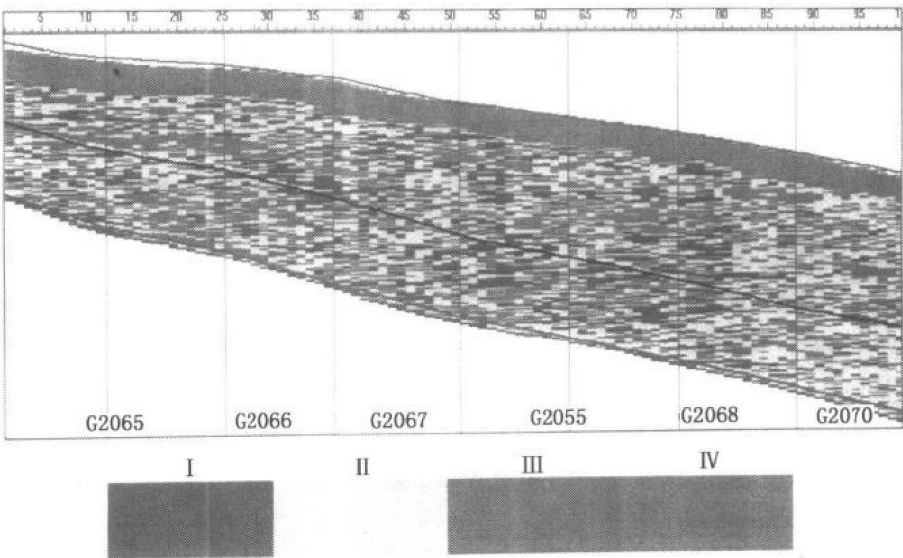


图 8 LINE2 裂缝发育概念模型图

对实际的储层而言，这种概念模型能够大致反映裂缝的宏观分布规律。但是，每一区间用一个数值来表示实际上不准确的。因为速度的差异从一定程度上也反映了裂缝发育程度的不同，所以有必要在此基础上建立更科学的裂缝表征方法。对数据点的分布是呈雾状的，建立速度与 CF 之间的处理方式是基于雾状图的概率算法（如 RC^2 公司及 $GOCAD$ 建模软件中就曾使用这种方法）。

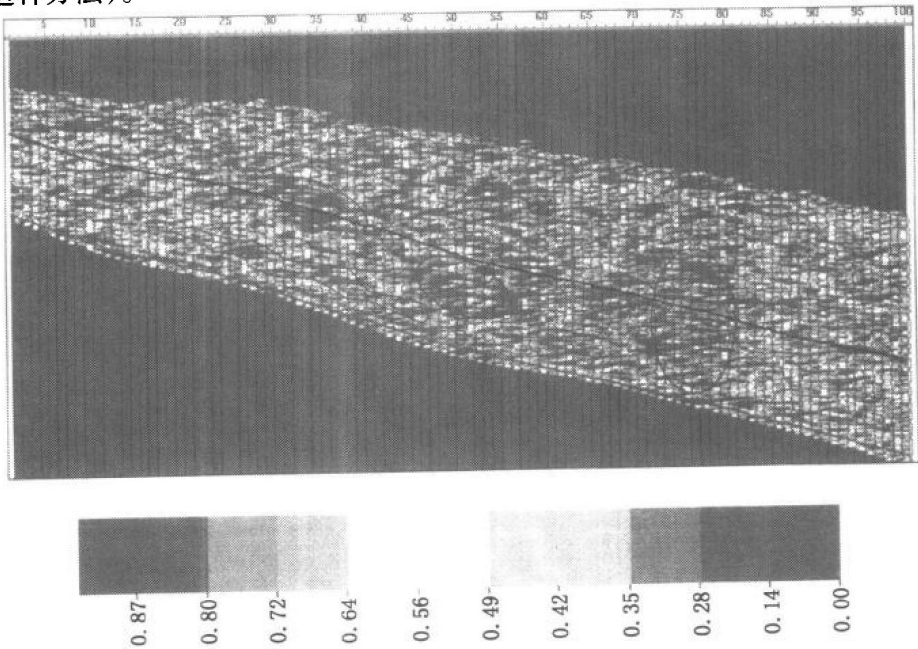


图 9 LINE2 裂缝发育概率图

对某一给定的速度值,其 CF 值的频率分布特征是不同的。如果事先给定一个门槛值 (D),那么就可以求取 CF 值大于 D 的概率。数学表达式为:

$$P_v = P_{(CF>D)} = \frac{N_{(CF>D)}}{N_{\text{total}}}$$

概率越高,表明裂缝越发育。 D 值的确定可以根据实际的裂缝发育段的测井数据统计得到。图 9 是用上述方法得到的裂缝发育程度概率剖面。以 $P_v=0.8$ 为界,可以圈定裂缝发育的层段。该结果与由速度剖面所预测的有利储集显然是相符的,与动态吻合。

六、结 论

本文论述了裂缝表征的 4 种方法:露头裂缝表征、岩心裂缝表征、利用测井资料进行裂缝识别、利用地震资料进行裂缝检测。

(1) 露头裂缝的观察,可以从更大范围了解裂缝的总体发育特征,如裂缝在三维空间的展布特点、裂缝与构造和岩相的关系等。常见区域性裂缝和局部构造裂缝。

(2) 岩心裂缝表征是裂缝研究最直接的手段,裂缝在地下的开启程度和裂缝的地球物理响应分析是非常重要的研究内容。

(3) 利用常规测井资料进行裂缝识别,是经济有效的方法,可以直接指导射孔求产。裂缝的测井响应模型研究架起了裂缝地质分析与地震裂缝检测的桥梁。

(4) 利用相干数据体分析、地震属性分析、因素排除方法、基于定量储层建模和概率分析 4 个方面,可以综合预测裂缝的分布,利用地球物理资料检测裂缝的实质,在于打破常规地震数据处理的思路,即突出“干扰”,压制“一致”的非常规处理方法。这些方法在现场应用取得良好效果。

参 考 文 献

- [1] Aguilera R. “Natural Fractured Reservoir,” Pennewell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1995, 181~183
- [2] Lorenz J C, Hill R E. subsurface Fracture Spacing: Comparison of inferences from Slant/Horizontal and Cores, SPEFE, March, 1994
- [3] Kulander B R, Dean S L, Ward B J, Jr. “Fractured Core Analysis: Interpretation, Logging, and Use of Natural and Induced Fractures in Core,” American Assn. of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series, 1990, (8): 88~90
- [4] Nelson R A. “Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs,” Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1985, 134~157; 245~246
- [5] Lynn H B, Bates C R, Layman M, Jones M. “Natural Fractural Characterization Using P-wave Reflection Seismic Data, VSP, Borehole Imaging Logs, and in-situ Stress Field Determination,” Paper SPE 29595, 1994
- [6] Petroleum Well-logging Information Association: “Research for New Well-logging technology,” Petroleum Industry Press, Beijing, 1998, 4~8
- [7] Gray D F, Head J K. “Using 3D seismic to Identify Variant Fracture Orientation in the Mandeson Field,” the Paper SPE60296 Presented at the 2000 SPE Rocky Mountain Regional/Low Permeability Symposium and Exhibition Held in Denver, Colorado, 2000, 12~15
- [8] Xinmin Song et al. “Identification and Distribution of Natural Fractures,” Paper 50877 Presented at the 1998