

声发射在油气田开发中的应用

申剑坤¹ 秦柳²

1. 西南石油大学 610500

2. 川庆钻探工程公司安全环保质量监督检测研究院 618300

摘要

声发射作为一种成熟的无损检测技术在航空航天、采矿、土木工程、电力、交通运输等方面都有广泛的应用。声发射技术作为一种非常规的无损检测手段,在石油工程领域的应用也有越来越多,并为石油钻井、完井、油气开采等各项施工作业提供理论依据。本文主要建立在声发射与材料的力学性质的关系上,参考国内外文献资料,综合声发射在油气田开发中的应用,为以后的声发射技术研究提供参考。

关键词

声发射; 油气田开发; 事件; 应用

声发射(AE)是由于材料局部能量的快速释放而发出的瞬时弹性波,也称应力波发射。声发射是一种常见的物理现象,大多数材料变形或断裂时都有声发射现象产生,但由于许多材料的声发射信号强度很弱,人耳不能直接听见,需要借助灵敏的电子仪器探测和记录,在此基础上进行的信号分析即为声发射系统。作为一种探伤手段,声发射在其它领域的应用非常广泛,在石油工程中的应用主要集中在岩石力学和石油机械方面。油气田开发中的主要研究对象是岩石以及井下的完井、固井以及开采装置等,然而由于研究环境通常是高温高压,与普通金属当中应用不同的是,岩石是由多种矿物,具有很强的非均质性,声波在岩石中的传播十分复杂,试验人员现场收集资料困难,一般的检测手段很难达到要求,给现场资料获取带来不少难度。随着计算机技术的发展,现代的研究手段也不断提高,声发射技术在此基础上也就应运而生,它集计算机实时监测、事件定位和数据采集及存储为一体,对试验过程进行动态监测。

声发射最初主要应用于工程材料的无损检测领域,然后是压力容器的检验,20世纪70年代初,现代声发射仪器的出现使声发射技术从实验室走向了现场应用。由于声发射技术实施简易、能够获取实时或连续信息、对被检件的接近要求不高以及被

检件形状不限等优点,人们正大胆地将它应用在现代油气田开发中。

1. 岩石力学参数获取

岩石力学基础参数是正确认识油气层的关键,地应力作为岩石力学的基本参数之一,它的准确性又是至关重要的。其中地应力测量方法有很多,分为室内岩石测量技术和现场获取技术,如井壁崩落法、小型水力压裂、非弹性应力恢复法等。相对而言,利用声发射的Kaiser效应测定地应力是一种成本较低且简单易行的方法。

声发射的不可逆性质称为Kaiser效应,它是由德国人Kaiser在20世纪50年代初提出的,指材料所受的重复载荷到达原先所加的最大载荷以前不发生明显的声发射事件,并且Kaiser同时还提出了连续型和突变型声发射信号的概念。Kaiser效应测量地应力开始于20世纪70年代,由于岩石对应力具有记忆性,当岩石承受的应力超过之前所承受的最大应力值后,根据Kaiser效应,会有大量的声发射事件产生,找出Kaiser点对应的应力即可得到岩石先前所受的最大应力。大量研究表明Kaiser效应测量地应力对于硬脆性岩石效果较好。

2. 水力压裂定位以及压裂程度评价

水力压裂是油气田的一项重要增产措施,它是利用向地层中注入一定体积的压裂液和支撑剂,在地层产生裂缝,为流体建立渗流通道。而此类型的施工在提高地层渗透率的同时也会对地层产生伤害,为提高施工效果,避免重复施工,减小施工对地层带来的伤害,优选增产井,以及提高施工的精确性,对水力裂缝的定位进行预测以及裂缝形成的动态过程进行监测是很有必要的。

以墨西哥湾Fenton Hill的干热岩石的试验为例,利用检波器对两个大型水力压裂和一个流动试验过程进行监测,检波器将接收到的由微震引起的剪切破坏的声波信号转化成电信号,并用幅度、频率和位置

等参数描述出声发射事件,根据采集的事件参数对裂缝的位置以及水力压裂程度进行分析,还可估算孔隙压力和储层的有效渗透率。

3. 岩石性质分析以及岩石破裂阶段划分

不同岩石具有不同的声发射特性,即使是相同的岩石在不同变形阶段的声发射特性也会有差异。不少学者也做了这方面的研究,例如:1995年,李林对花岗岩、砂岩、灰岩的单轴压缩试验和剪切试验过程中的声发射特性进行了研究,并根据地震序列将岩石AE时间序列分为主震型、震群型和孤震型,试验结果得出结构均匀性较差的粗晶类脆性岩石AE时间序列一般呈主震型;结构均匀性较好的晶类岩石为孤震型,随着岩石结构均匀性的改变,AE时间序列逐渐由主震型向孤震型过渡。从岩石的应力与应变曲线上看,一般我们将岩石的破坏过程分为四个阶段,李林、赵兴东、张茹等不少专家学者都针对不同的岩石进行了研究,结果表明不同阶段的声发射特性是有明显差异的。一般在孔隙裂隙压密阶段声发射事件不明显;弹性变形阶段有少量声发射事件,振幅较小;裂纹稳定扩展阶段事件开始明显增多,且振幅和频率也在不断增大;裂纹非稳定扩展阶段事件急剧增多,振幅起伏较大,且事件能量也较大;岩石破坏后,声发射事件逐渐减少。因此,对不同岩石的声发射性质进行研究可从岩石表现出的不同的声发射特性大致识别岩性以及岩石变形阶段。

目前根据声发射源的特性以及测量出的声波参数可以为岩石的研磨性、可钻性以及岩石物性分析提供资料,并且可以分析地层应力各向异性。

4. 在材料断裂、泄漏和腐蚀中的应用

泄漏、破裂、脱落是产生AE信号的三个主要机理,声发射在材料力学中的应用同样可以应用在油田开发中,岩石失稳问题一直是钻井和开采过程中的一个难题,特别是疲劳破坏,破坏前一般情况下都没有任何征兆。采取有效的研究手段对岩石进行研究意义重大,声发射不仅能够连续、实时地监测载荷作用下岩石的破坏以及内部裂纹的动态扩展过程,还能够对破坏位置进行定位分析。正是由于这些优点,国内外不少学者将声发射应用在井壁失稳的分析中,通过对高温、高压以及不同温度或压力等情况下的岩石声发射现象进行了研究,

下转第32页

$$K_{\text{总}} = \frac{\text{Total} \cdot (V_{01} + V_{22} + V_{33}) - (V_{01} \cdot V_{21} + V_{22} \cdot V_{33} + V_{03} \cdot V_{23})}{\text{Total}^2 - (V_{01} \cdot V_{21} + V_{02} \cdot V_{22} + V_{03} \cdot V_{23})}$$

(6)

主对角线上的元素表示属性判对的情况,非对角线上的元素表示误差。总体精度、制作精度、使用精度和 Kappa 系数从不同的侧面描述了变化信息提取的精度,是简单易行并具有统计意义的指标。

(2) 属性精度评价

为了检验变化信息发现的准确性,在 2000 年影像和 2006 年影像中,以样本点的目视解译结果并结合实地考察作为实测数据,对提取的结果进行了精度验证。

采用有针对性选取典型样本区的方法,进行了变化/无变化像元的精度验证,通过计算其制作精度、使用精度、总体精度以及 Kappa 系数来比较不同的方法变化提取的精度(表 1)。

验证结果表明:比值法提取变化信息的精度最高,其次是主成分差值法,差值法和差异主成分法、分类结果比较法,多波段主成分法效果最差。比值法的总体精度比其它方法相应也高出一些,该方法在图像上变化信息和不变信息差异明显,并且实现步骤简单,主成分差值法效果次之,从图像上也可以比较明确的判断出变化和没有变化的区域。差值法和差异主成分法略微差一些。差值法对于变化信息漏判的比例相对较高。差异主成分法错判的比例较高。多波段主成分法其变化信息和不变信息在色调上差异不明显,小图斑的变化信息不容易被发现。采用两种或两种以上方法结合的方法进行变化信息的提取,相对于单一方法而言,可以更好的防止漏判及错判的发生,能更有效的提高变化信息提取的精度。

3. 结论与建议

对以上几种变化信息提取的方法进行了分析,从中不难看出,不同的提取方法有着各自的优缺点。比值法和差值法操作简单,易于实现,反映的变化信息全面,但受遥感数据时相影响明显,同时还要注意同一地物反映在遥感图像上的灰度变化,所以易造成信息的丢漏;主成分分析法操作复杂,难于控制,受计算程序限制,变化信息载荷的反映不稳定,需分析变换矩阵后方能确定变化信息所在的主分量;当两时相遥感数据时相差距明显时,采用分类后比较法更能客观实际地显示地表覆盖的变化,且可直接确定变化的类型。但其精度仅为两试验遥感数据分类精度之积,难于达到我们的实际要求。因此,在实际应用中,应该针对不同的情况选用不同的方法进行,必要时也可以几种方法同时使用,以提高变化信息提取的准确性和可靠性。

参考文献

- [1] 陈述彭,同庆禧,郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 陈述彭,赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.
- [3] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [4] 杨贵军. 土地利用动态遥感监测中变化信息的提取方法. 东北测绘, 2002.

«« 上接第 29 页

进一步对地层条件下井壁失稳的情形进行监测和预报,为安全快速钻井以及完井方式的优选等提供理论依据。

井下泄漏也是应力失衡的一种情况,目前用于识别井下泄漏源的方法很多,如温度测井、旋转测井、井下视频成像测井等,但是这些方法检测泄漏源的范围有限,相比之下利用声波检漏是一种更加有效的方法。同理,井下套管检漏以及评价套管的潜在缺陷也是一个不错的应用前景。

密封容器的泄漏称为缺陷,采气井口、防喷器等装置的质量控制都是实现安全生产必需的设备。近些年,人们也大胆地将声发射技术应用到石油钻采设备(如防喷器和压井管汇)的潜在缺陷检测中,并引进先进的声发射仪器实行动态缺陷实时检测以及缺陷定位分析,还可以根据声发射事件的能量和持续时间等参数对缺陷进行分级,最后对被检件的安全性做出综合评价。

声发射特性受传感器灵敏度和耦合、载荷、环境等很多客观因素的影响,噪音干扰是影响声发射数据分析的一个重要的因素,检测之前必须通过调节系统的门槛值等参数消除噪音对声发射源的影响。尽管如此,目前声发射还是由于对被检件的外形没有特殊要求,适用环境较广等优点,广泛应用在油气田的勘探、油田提高采收率、完井方式优选、井下套管检漏、采油气井口装置结构的完整性评价以及海上平台的监测等。随着油田开发的进一步深入和声发射检测技术的发展,在未来的油气田开发中噪音消除、声发射源的可靠性和波形的分析,以及温度对检测结果的影响仍是值得深入研究的问题。

参考文献

- [1] 吴光琳. 声发射技术在岩石力学领域中的应用[J].
- [2] 杨明伟. 声发射检测[M]. 机械工业出版社, 2005. 1.
- [3] 沈功田. 中国声发射技术进展[C]. 2007. 4. 7.

«« 上接第 30 页

侧依次命名为 2、3、4 区。2 区与 4 区形状比较规则,扩散层宽度比较均匀,分布范围比较广,贯穿于整个三相交界处。2 区与 4 区在三相结点处汇合。3 区与其他几个区域相比较,宽度比较大,而且在三相交接点处形成一个封闭的边界。从照片中还可以看出, Ni/Ti 界面中 Ni 的界面迁移明显,这是由于 Ni 在 β -Ti 中的扩散系数要比 Ti 在 Ni 中的扩散系数打的多原因。

在 Fe-Ni-Ti 三元系统中并不存在三元金属间化合物。同时二元相 Ni₃Ti、NiTi₂ 和 FeTi₂ 能对第三元素大量溶解,并且在大多数固定含 Ti 的材料中,通过溶解第三相而形成性质均一的相。NiTi₂ 则能大量溶解 Fe。在 Fe-Ti 二元体系中 FeTi₂ 化合物不稳定。NiTi 和 FeTi 晶体结构类似,并且在 Ti 含量达到 50% 时能形成连续固溶体。在接近 Fe-Ni 二元体系的部分, γ -(Fe, Ni) 固溶体却只能溶解少量的 Ti。所以推测 2、4 区域并不是单纯的二元金属间化合物相,而是 Ni₃Ti 与 Fe 和 FeTi₂ 与 Ni 组成的混合相。3 区可能为 TiNi 化合物,并且含有少量的 Fe。

Fe-Ni-Ti 三元体系看起来简单,同时对其所知甚少。简单是因为并没有生成三元金属间化合物,热力学特性主要由二元相决定。但是在二元相界面处以 Fe、Ni、Ti 为基体形成合金,合金的热力学性质的重要性却很少有人深入研究。现在很多学者都认为应该对富 Ti 区域相平衡情况做进一步的实验研究,但是又不能方便准确的得到个温度和成分下 Ti 在 Fe-Ni 合金中溶解度^[7]。

3 结论

(1). Ti/Fe 和 Ti/Ni 二元相界面处经过固态扩散反应,均生成了界面清晰的金属间化合物层。热处理后的 Fe/Ni 二元相界面处存在固溶体组织。

(2). Fe/Ni/Ti 三相界面处是几种二元金属间化合物的混合相,并没有三元金属间化合物生成。

参考文献

- [1] 苏·鲍利索娃 E·A 著. 陈石卿译. 钛合金相学. 北京: 国防工业出版社, 1984-195
- [2] 王日初,等. 三元扩散偶中的相区分布与四相平衡的关系[J]. 中国有色金属学报. 2002, 12(4): 643-647.
- [3] 余春, 陆皓, 黄巍. Ti/Fe 接触反应区微观组织及 Ti-Fe 化合物的生长行为的实验分析[J]. 实验室研究与探索. 2006, 25(5): 566-568.

声发射在油气田开发中的应用

作者: [申剑坤, 秦柳](#)
 作者单位: [申剑坤\(西南石油大学, 610500\), 秦柳\(川庆钻探工程公司安全环保质量监督检测研究院, 618300\)](#)
 刊名: [中国科技信息](#)
 英文刊名: [CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY INFORMATION](#)
 年, 卷(期): 2008, ""(24)
 引用次数: 0次

参考文献(3条)

1. 吴光琳 [声发射技术在岩石力学领域中的应用](#)
2. 杨明纬 [声发射检测](#) 2005
3. 沈功田 [中国声发射技术进展](#) 2007

相似文献(9条)

1. 学位论文 朱定军 [川东北地区河坝构造岩石物理特征及工程应用研究](#) 2009

本文利用实验室测试的大量岩石力学数据、结合岩石声发射法、差应变及剩磁方法、测井法等对川东北地区河坝构造整个地层(以陆相为主)的岩石力学性质、地应力场及三大压力剖面进行了计算、分析,并对其中典型的工程问题井段做了事故原因解释。通过本次研究,主要取得了以下认识:

结合通南巴构造带地质特征及河坝构造的钻完井资料、岩心薄片分析资料对研究区的陆相地层及海相地层有了更清楚的认识。在成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室对研究区陆相和海相两套地层基础性参数和岩石力学参数测试的基础上,根据实验数据系统分析了陆相及海相的岩石强度参数、动静弹性参数等力学参数的实验特征。

利用实验室分析成果和声波时差测井、密度测井等资料,构建了纵横声波时差、抗张强度、抗压强度、内聚力、内摩擦角及动静弹性参数关系等十个岩石力学参数模型;将实验室数据和测井数据有机结合,建立了河坝构造典型井段的岩石力学参数剖面。

针对研究区陆相地层的现今地应力在剖面上的分布特征,选用葛式模型,利用声发射数据处理后的绝对应力值获取公式各项参数,建立该区的地应力计算模型。通过差应变方法的校验,确定了最终的地应力模型;同时采用波速各项异性法及古地磁测试法确定了研究区陆相地层的地应力方向,并建立典型井的陆相地应力剖面。

分析了研究区的破裂压力、坍塌压力及地层孔隙压力特征,经过对比分析选用了适合该工区的各个计算模型。但由于该区块地应力及三个压力剖面方面的研究较少,地应力研究通过两种测试方法得到验证,破裂压力及坍塌压力剖面没有得到验证,仅供参考。最后建立了典型井的陆相综合解释剖面,选取典型工程事故发生层段进行事故原因分析,实现本次论文研究成果的工程应用价值。

2. 学位论文 马卫荣 [塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏深度酸压技术研究](#) 2005

酸化压裂是碳酸盐岩油藏增产的重要措施,在现场得到了广泛应用。碳酸盐岩储层常发育有裂缝和溶洞,其流体滤失机理与均质油藏或一般裂缝性油藏的流体滤失存在明显的差异。酸液在井筒和裂缝流动时的温度场和速度场模拟是进行酸液就地性能参数计算的前提。酸液体系是酸压施工中最为重要的材料,研究适宜于高温深层的酸液体系是确保酸压施工成功的关键。另外,借助于各种手段全面进行压后评估是分析酸压施工效果、提高后续酸压施工设计水平的基础。上述内容有机地构成了塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏深度酸压技术研究的主要内容。

本文根据塔河油田缝洞型油藏压裂的实际需要,开展缝洞型油藏压裂设计理论和酸液体系的研究,取得了以下主要成果:

- (1) 考虑压裂液沿天然裂缝和基质的渗滤,建立了有限裂缝性地层压裂液滤失解析计算模型;
- (2) 基于缝洞型碳酸盐岩储层所表现出的三重介质渗流特征,建立了三重介质压裂液滤失模型,给出了模型的解析解;
- (3) 建立了酸蚀孔的增长模型、酸液在孔内流动反应模型,提出了考虑孔蚀的酸液滤失计算方法;
- (4) 建立了并筒温度场数值计算模型,引入裂缝溶洞型油藏流体的滤失计算方法,改进了裂缝内酸液的温度场计算模型;
- (5) 研制了针对高温深层酸压需要的高粘度胶凝酸液体系和低摩阻乳化成酸液体系,在塔河油田的酸压施工中取得成功应用;
- (6) 采用压后压力降落分析、产量历史合分析、不稳定试井评价和声发射裂缝监测的综合评价技术,进行了酸压施工井的综合评估分析。

通过论文对塔河油田缝洞型油藏压裂技术研究,获得了一些有益的结论:

- (1) 大量的压裂液是在压裂初期滤失进入地层,并主要经由天然裂缝滤失掉,裂缝性油藏压裂液滤失计算中应考虑天然裂缝的影响;
- (2) 三重介质压裂液滤失模型较好地反映了滤失的压裂液在缝洞型储层中的流动特性,并可推广应用于解决多重介质的滤失及渗流问题;
- (3) 酸液主要通过孔蚀滤失,酸蚀孔的长度又是影响酸液滤失的主要因素;适当提高酸液粘度能减缓酸蚀孔的增长速度,以有效降低酸液的滤失;
- (4) 改进的全三维裂缝及近缝地层温度分布数值计算模型,可更好地用于缝洞型油藏的酸压设计;
- (5) 研制的性能良好的高粘度胶凝酸液体系和低摩阻乳化成酸液体系,能满足塔河油田奥陶系缝洞型碳酸盐岩储层深度酸压改造的需要;
- (6) 采用压后压力降落分析、产量拟合评价、不稳定试井分析评估、声发射地面裂缝监测等综合评估酸压裂缝状况,有利于客观准确地分析压裂裂缝参数。

3. 学位论文 崔京彬 [低孔、低渗储层损害评价及改造对策——以南阳凹陷东南部地区核二段为例](#) 2001

该文运用沉积、钻井、测井和岩心等资料,以实验分析为主要手段,对本区储层进行储层损害及酸化改造试验;利用声发射实验资料,对测井资料求得的地应力值进行校正,从而求得整个井段的地应力,以便进行水力压裂施工设计;结合沉积相分布、薄片鉴定、物性分析和孔隙结构进行有利储集带预测,最后综合以上分析提出储层损害改造对策及建议。

4. 学位论文 周文 [川西致密储层现今地应力场特征及石油工程地质应用研究](#) 2006

以石油地质学、构造地质学、地球物理测井、储层地质学、岩石力学、岩体力学、石油钻井工程、油气储层改造、油气藏工程学等多学科理论和方法为指导,系统开展川西地区致密储层现今地应力场特征及石油工程地质应用研究。

建立系统的应力场状态确定方法,包括:①应力来源分析;②声发射等实验室方法、压裂法、测井等方法的应力值大小的确定;③声发射、声波各向异性等实验室方法、测井方法、构造方法、地震方法、定向岩心方法等确定地应力方向;④利用测井、结合实验室资料、压裂资料确定岩石力学参数的方法。编制了确定井剖面岩石力学参数、地应力值、破裂压力等多参数的测井解释软件,提出了确定川西致密砂岩储层破裂压力的新评价公式。对研究四个侏罗系主要气田近100余口井进行了处理,建立了地应力剖面,划分出五类应力剖面类型。系统开展了四个主要气田沙溪庙组、蓬萊镇组主力产层的岩石力学参数测定和测井资料计算,对影响力学参数的地质因素进行了分析。根据压裂资料、测井资料、实验室资料对应力状态的确定,采用二维、拟三维有限元应力场模拟技术对研究区四个主要气田7个主力产层进行了应力场分布模拟,由模拟结果分析了地应力的分布特征。结果表明:①研究区存在由龙门山方向来的构造应力,地层中主要以 $\sigma_x > \sigma_z > \sigma_y$ 及 $\sigma_z > \sigma_x > \sigma_y$ 应力状态为主;②地应力大小分布主要受控于埋深、构造应力大小、断层

分布。水平最大主应力基本上为NW-SE向。平面上可能有8-15°的仰角。

系统研究了影响侏罗系产层压裂施工效果的地质因素，认为压裂造缝长度、产层的物性及含气性是主要影响因素，确定出了在造缝长度大于120m后，产能增加才明显的认识；研究了地应力与压裂缝的产状、破裂模式等之间关系，建立了评价压裂缝参数(长度、宽度、高度)的评价方法。结果表明形成的压裂缝以垂直为主，破裂模型为KGD、PKN。分析了地应力剖面特征，提出了适合研究区的压裂造缝标准。讨论地应力与井壁稳定性的关系、与水平井方位的关系、与破裂压力关系、与射孔方式的关系、与有裂缝井压裂的关系、与压裂开发井网类型和极限井距关系。取得了大量认识。

5. 期刊论文 [杨宇, 汪三谷, 郭春华, 曾炎, Yang Yu, Wang Sangu, Guo Chunhua, Zeng Yan 川西低渗气藏单井地应力计算](#) [方法综合研究-天然气工业2006, 26\(4\)](#)

四川盆地新场气田是一个低孔低渗的裂缝性砂岩气田, 储层物性差, 自然产能低, 需经压裂后才能投产, 压裂后气井增加的产能与压裂的效果密切相关。提前认识储层当地应力的特征, 有助于压裂设计时确定裂缝产状、缝长、缝宽等参数, 减少储层水力压裂改造的盲目性, 降低中、低渗透气田开发的风险。通过大量测井资料的计算, 确定了新场气田储层地应力的大小和方向, 并综合采用微地震测量、岩石声发射资料、古地磁等岩心测试资料和水力压裂等多种方法进行交叉验证, 各种方法求得的地应力特征十分相近, 说明利用测井资料求取储集层地应力原理简单, 计算结果符合实际的地应力特征, 是一种低风险计算储层地应力特征的方法, 可以用于指导低渗透气田的井网部署和储层的单井压裂改造。

6. 学位论文 [谢润成 川西坳陷须家河组探井地应力解释与井壁稳定性评价](#) 2009

川西坳陷须家河组天然气资源丰富, 已有的油气勘探开发成果表明了该气藏具有良好的天然气勘探开发前景。但由于川西须家河组地质条件复杂, 地层超高压异常, 泥页岩易坍塌, 且天然裂缝发育, 导致一系列井下复杂问题发生, 严重影响钻井工程进度及压裂施工等, 制约了整个须家河组气藏勘探开发评价工作。

国内外已有的研究表明, 井下复杂问题的产生与其地区的地应力关系密切。本文针对研究区须家河组地层钻井中出现的复杂井下情况, 以石油地质学、构造地质学、地球物理测井、储层地质学、岩石力学、岩体力学、钻井工程、油气储层改造、油气藏工程等多学科理论和方法为指导, 从岩石基本物理特征分析入手, 开展了模拟地层条件下的岩石力学参数试验、地应力解释、三大压力建立及井壁稳定性评价。

研究结果表明, 饱水岩样波速度大于干燥岩样波速, 相同饱和流体介质条件下, 波速与岩石粒度成反比, 同时利用实测纵波数据采用最小二乘法进行二项式拟合获得研究区横波时差计算公式; 采用粘弹性频散方程, 实现不同频率声波之间的转换, 解决了岩电对应性问题, 直接建立起模拟地层温度、压力及饱和流体性质的岩石力学强度参数、弹性参数解释模型及动静弹性关系式; 在区分岩性的基础上, 考虑泥质含量对岩石抗压强度的影响, 建立起模拟地层条件下砂岩、泥岩抗压强度测井解释评价方法, 解决了岩石抗压强度测井解释难的问题, 同时形成了岩石力学参数试验-测井解释评价方法体系。

根据试验结果, 采用非线性拟合方法建立起岩石孔隙弹性系数解释方法; 采用人工取点, 利用等效深度法建立起研究区地层压力解释图版, 并探索Eaton法、有效应力法解释地层压力; 通过声发射、波速各向异性测试、粘滞剩磁试验、差应变测试、特殊测井、压裂施工资料反演, 获得了须家河组地应力值的大小及方向, 现今水平最大主应力方向总体上为近东西向, 平面上不同构造部位略有转变;

在比较各测井地应力计算模式的基础上, 选用ADS法计算地应力剖面, 利用压裂资料反演地应力结果校正, 获得了较为可靠的地应力剖面。

采用岩心刻度测井有效地识别裂缝, 并利用R/S法进行单井裂缝识别, 划分出完整井壁与非完整井壁, 分析井壁崩落规律; 选用库仑-摩尔强度准则, 以实钻钻井液密度修正井壁岩石非线性应力系数, 建立起地层坍塌力评价方法; 结合粘土矿物成分分析、泥页岩膨胀试验、分散性试验等开展泥页岩水化研究, 讨论和评价了模拟地层条件下不同岩样尺度钻井液浸泡对岩石力学性质的影响, 以及力学与化学耦合对岩石力学性质的影响; 结合岩心测试、现场测试及实钻资料统计分析, 对岩石力学强度解释剖面、地应力解释剖面、地层压力解释结果以及地层破裂压力、坍塌压力剖面进行验证, 结果表明所建立的剖面解释精度高, 与实钻情况符合程度较高, 预测结果具有较高的可靠性。

论文研究中形成了一套从岩石力学参数解释、岩石孔隙弹性系数评价、地层孔隙压力解释、地应力解释、破裂压力评价、坍塌压力解释、到结合实钻资料验证综合分析评价单井岩石力学、地应力及井壁稳定性的工程地质特征综合研究方法技术体系。论文研究成果为加强研究区须家河组钻井工程工艺技术应用研究、确保钻井工程科学、高效、安全施工以及压裂改造等措施开展提供了强有力的技术支撑。论文研究方法与技术手段对同类型气藏研究具有借鉴意义。

7. 学位论文 [李毓 现今地应力场特征与评价——以川西坳陷中部侏罗系为例](#) 2004

该次论文研究充分利用水力压裂法、岩石声发射法、测井法等现今地应力计算方法及有限元法现今地应力场模拟对川西坳陷中部侏罗系地层蓬莱镇组和沙溪庙组的现今地应力场进行分析、计算、模拟, 得到研究区现今地应力场分布特征及规律。在大量原始资料和计算数据资料的基础上, 系统分析了影响本区现今地应力分布特征的各种地质因素包括岩石力学性质、岩性、深度、层位和构造的形态、部位、地势等。分析了地应力特征和压裂缝的关系, 表明地应力分布特征主要影响压裂缝产状和压裂缝参数。研究区地层中存在三种不同地应力状态, 导致压裂缝的三种不同破裂方式。结合前人的研究成果, 利用压裂资料建立判别模型, 对已压裂井进行判别, 分析出不同层位的地应力状态。分析并找出了偏应力和破裂压力、压裂缝延伸伸长、压后增加产能之间的关系。考虑主应力值和偏应力值的大小、地应力状态、目的层和隔层应力差、压裂井所处构造位置, 并结合前人划分的地应力剖面类型标准, 提出了该区压裂造缝的标准及相关参数。最后分析压裂缝方位、长度并结合研究区的地应力状态特征, 提出了作为开发参考的井网距及井排方向参数。

8. 期刊论文 [周新桂, 张林炎, 范昆, 黄臣军, 刘格云, 侯勤虎, ZHOU Xin-gui, ZHANG Lin-yan, FAN kun, HUANG Chen-jun, LIU Ge-yun, HOU Qin-hu 鄂尔多斯盆地现今地应力测量及其在油气开发中的应用](#) [-西安石油大学学报\(自然科学版\) 2009, 24\(3\)](#)

油气田开发中实施水力压裂措施、部署和优化注采井网必须考虑现今地应力方向、大小及其分布规律。通过岩石声发射法、钻孔井壁崩落法、古地磁定向岩石应变法以及岩石压缩等实验方法, 测定了鄂尔多斯盆地伊陕斜坡区现今主应力大小和方向, 并以吴旗探区为例, 讨论了现今地应力在油气开发中的初步应用。认为伊陕斜坡区不同深度砂岩的现今最大水平主应力(σ_1)值介于20.3~60.01 MPa之间, 与深度线性相关性好, 相关系数 $r=0.952$; 现今最大水平主应力方向为NE-NNE-近EW向, 由盆地西南(西)向东北(东)方向逐步偏转变大。在现今应力状态下, 吴旗探区中生界延长组长6储层NNE-NNE向裂缝系统在水利压裂过程中将首先启动张开并连通, 最先形成有效主渗流通道, 随着外界流体压力逐步增大, NW及NNW向裂缝系统可成为次级渗流通道; 同时认为长61储层人工裂缝扩展方位约为NE-SW向, 压裂缝为沿最大水平主应力方向延伸的垂直裂缝, 且井孔相对稳定。

9. 学位论文 [罗桂滨 鄂尔多斯西部麻黄山延长组储层裂缝评价](#) 2008

鄂尔多斯盆地西部中生界麻黄山组一岩性控制的低孔低渗型油藏, 勘探开发难度较大, 油气产能很大程度上取决于储层中天然裂缝系统的发育程度, 并且储层裂缝形成条件、裂缝发育规律对石油聚集也起着重要的控制作用。研究储层裂缝分布规律, 为下一步研究区勘探部署、油田开发措施的制定和实施提供科学参考。

本文通过野外剖面裂缝的调查及麻黄山三叠系延长组岩心裂缝的观察分析, 认为研究区控制裂缝发育的主要因素是岩性、层厚和构造作用, 并且多期构造作用是造成该区裂缝发育程度差异的主导因素; 随着岩石颗粒和孔隙的减小, 岩石变得致密而更容易形成裂缝; 层厚与裂缝的发育成反比关系; 处于构造变形较大的部位裂缝较发育。通过分析岩心裂缝与测井电性响应特征之间的关系, 在此基础上对地层裂缝张开度、孔隙度进行计算, 并建立了裂缝的判别公式与运用R/S分析法对单井裂缝进行识别, 认为三叠系延长组长3段和长5段裂缝较为发育, 而长6段相对不太发育, 研究区整体上东北面裂缝较为发育。通过声发射实验、野外剖面裂缝和岩心裂缝分期配套关系认为研究区三叠系延长组至少应有3个构造应力破裂期, 在前人研究基础上认为分别对应的是早期的燕山构造运动时期、晚期的燕山构造运动时期和早期的喜山构造运动时期; 通过构造变形主曲率法、屈服薄板法、定向滤波法对研究区三叠系延长组进行裂缝评价, 最后通过专家评分原则对研究区延长组裂缝进行综合评价, 吻合率为86.36%, 其结果比较可靠。并认为研究区的东面整体比西面整体裂缝较为发育, 研究区的北面裂缝也相对比较发育。通过裂缝平面分布分析, 认为燕山构造运动和喜山构造运动对研究区的边缘向内挤压, 造成西面的摆变断阶带与范家原断阶带严重直接形成大断层断裂带, 而东面的道沟凹陷带与圈湾子凸起带变形较小破裂相对较轻, 所以研究区整体上东面裂缝比西面裂缝较为发育。同理整体上研究区的北部与南部断裂较为发育, 但由于南部处于推覆带前缘, 构造变形剧烈形成规模大的断层, 而北部变形相对平缓, 除了局部地区应力发育有小断层外, 整体形成了裂缝发育区。

结合裂缝平面分布与前人的成藏研究, 认为研究区圈湾子凸起带北部将是本区的三叠系延长组最为有利的勘探区域。

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgkjxx200824013.aspx

下载时间: 2010年5月31日