

文章编号: 1000-0550(2007) 02-0253-08

构造裂缝发育期次划分方法研究与应用

——以海拉尔盆地布达特群为例

任丽华 林承焰

(中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 以海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群古潜山油藏裂缝性储层为例,对构造裂缝发育期次的划分方法进行了探讨;在大量岩心观察的基础上,结合区域构造演化史,综合采用裂缝充填物的同位素分析、包裹体测温和岩石声发射技术等,分析了裂缝的形成期次。研究认为布达特群主要存在三期构造破裂:第一期裂缝的形成与南屯末一大磨拐河组沉积时期的构造运动有关,缝内以方解石充填为主,形成温度介于 72~76℃ 之间,并见有烃类包裹体,但其成熟度较低。第二期裂缝是在伊敏时期区域伸展作用下形成的,又细分为两个亚期,第一亚期裂缝以方解石充填为主,方解石形成温度介于 117~132℃ 之间,是深埋高温环境下的产物;第二亚期裂缝以微一细晶石英充填为主,其形成温度介于 120~154℃ 之间。相对来讲,第二期烃类成熟度明显增强。第三期裂缝是在伊敏末期强烈的抬升作用下形成的,裂缝内充填了微一细晶方解石和石英。其形成温度介于 89~110℃ 之间,烃类成熟度减弱。裂缝发育期次划分对于恢复裂缝发育演化历史具有重要意义。

关键词 裂缝发育期次 研究方法 稳定同位素分析 流体包裹体 声发射技术

第一作者简介 任丽华 女 1979 年出生 讲师 博士 石油地质 E-mail: rhl-79@163.com

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

1 引言

裂缝性油藏一直是含油气沉积盆地中寻找富集高产的油气资源的重要新领域^[1,2],构造裂缝作为这类油藏主要的油气储集空间,其形成、发育与演化是油气勘探与开发中要研究的关键问题,其中对构造裂缝发育期次的划分研究对于恢复裂缝发育演化历史具有重要意义。构造裂缝发育期次的研究方法有多种,其中,基于岩心资料的裂缝观察、裂缝充填物同位素分析、包裹体测温等方法为裂缝期次研究的有效方法^[3-5]。近年来,随着裂缝形成机制研究的不断深入,涌现出许多新的方法技术,例如从裂缝形成的特殊的动力学角度出发的岩石声发射技术就是一种具有很好应用前景的研究方法技术^[6-10]。然而,由于裂缝具有多期成因、多期改造、多期充填的特点^[11,12],每一种方法技术都具有一定的局限性或多解性,因此,本文以海拉尔盆地苏德尔特构造带布达特群古潜山油藏为例,通过对区域构造演化历史的恢复、岩心宏观观察和微观实验测试技术以及岩石声发射实验技术等对构造裂缝发育期次的划分进行了探讨。

2 构造裂缝发育期次的划分方法

2.1 从区域构造演化特点分析构造裂缝的发育期次

苏德尔特构造带是近年来大庆油田外围盆地中的重点勘探和开发区块,构造上位于海拉尔盆地贝尔凹陷贝西和贝中生油洼槽之间的贝中隆起带上,是在三叠系布达特群古隆起基础上发育并沿北东向展布的继承性构造带,其面积 340 km²,勘探面积约 200 km²(图 1)。

苏德尔特凸起开始形成于中晚侏罗世海拉尔盆地的一次右旋张扭作用^[13],白垩世是其形成的主要时期,晚白垩世苏德尔特构造带最终定型。裂缝是岩石受应力作用产生的各种裂隙和破裂缝,自中生代布达特群沉积时期以来,受多期复杂的构造运动的影响,苏德尔特构造带布达特群构造裂缝的形成、发育及演化历史非常复杂^[14-18],具有继承性和多期性的特点。

与苏德尔特构造带的形成演化相一致,研究区构造裂缝主要形成、发育于白垩世,该时期是太平洋板块向欧亚板块俯冲最强烈的时期,同时也是大兴安

国家 973 项目(编号: G1999022508),教育部第二届高校青年教师奖励基金以及中国石油大庆油田有限责任公司科技攻关项目(合同编号: 41100366)的联合资助。参加本文研究工作的还有朱永峰,王海涛,李辉,刘菊,王淑萍等人。

收稿日期: 2006-04-15 收修修改稿日期: 2006-11-07

岭—松辽地幔柱上涌最高的时期,因而构造应力场变化比较频繁。尤其是早白垩世早期(南屯期),受北西—南东向强烈的区域拉伸作用的影响,研究区经历了成盆期之后的第一期规模较大的构造运动,在苏德尔特构造带产生了一系列呈北东向分布为主的张性

裂缝组合,同时沿着应变椭球体的共轭剪切面方向还形成了呈南北向和北东东向两组剪切缝组合。至早白垩世中期(大磨拐河组沉积时期),构造运动减弱,仅仅是一些控制早期断陷的北东向断层附近裂缝较为发育(图 2)。

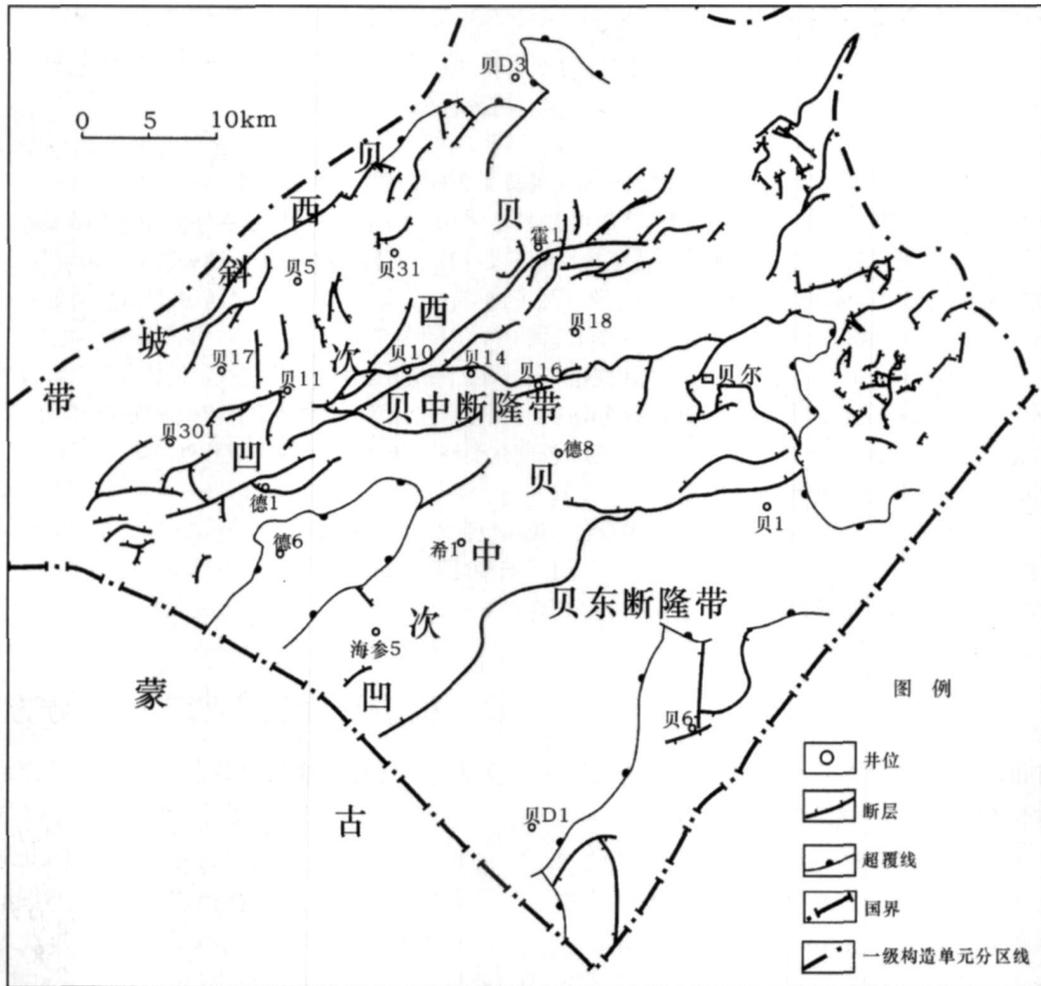


图 1 苏德尔特构造带区域构造位置图

Fig 1 The regional geological map of Sudeerte structural zone

早白垩世晚期(伊敏期),研究区基底仍继续沉降,这一时期构造运动的显著特点是伊一段沉积结束后(即伊敏晚期),北西西—南东东向的区域性伸展作用^[14]使得研究区构造活动相当活跃,不但激活了早期裂缝,还形成了一系列北西向张性缝及其剪性缝,裂缝系统复杂化。早白垩世末期(伊敏期末期—青元岗期前期)构造应力方式转换为左旋压扭型,使得裂缝多具有张扭性的特点,裂缝系统进一步复杂化。晚白垩纪以后,构造活动减弱,裂缝发育程度随之变差。

2.2 通过岩心观察结合成像测井资料划分裂缝期次

岩心观察裂缝的方法是研究不同期次裂缝特征的最直接、最真实的一种方法,通过对裂缝之间的限制、切割关系可以分析裂缝形成的期次。研究认为,苏德尔特地区布达特群岩石主要存在三期的构造破裂(图 3)。

第一期裂缝延伸较短,倾角较小($10^{\circ} \sim 30^{\circ}$),缝宽一般小于 0.5 mm,多具有张性特征,以张性缝和层间缝为主。缝内方解石和部分石英充填,并见有泥质、围岩、石膏、黄铁矿等充填物。该期裂缝形成较早,普见后期裂缝切割穿插现象,为无效裂缝。

第二期裂缝延伸较远,斜交缝和高角度缝发育,

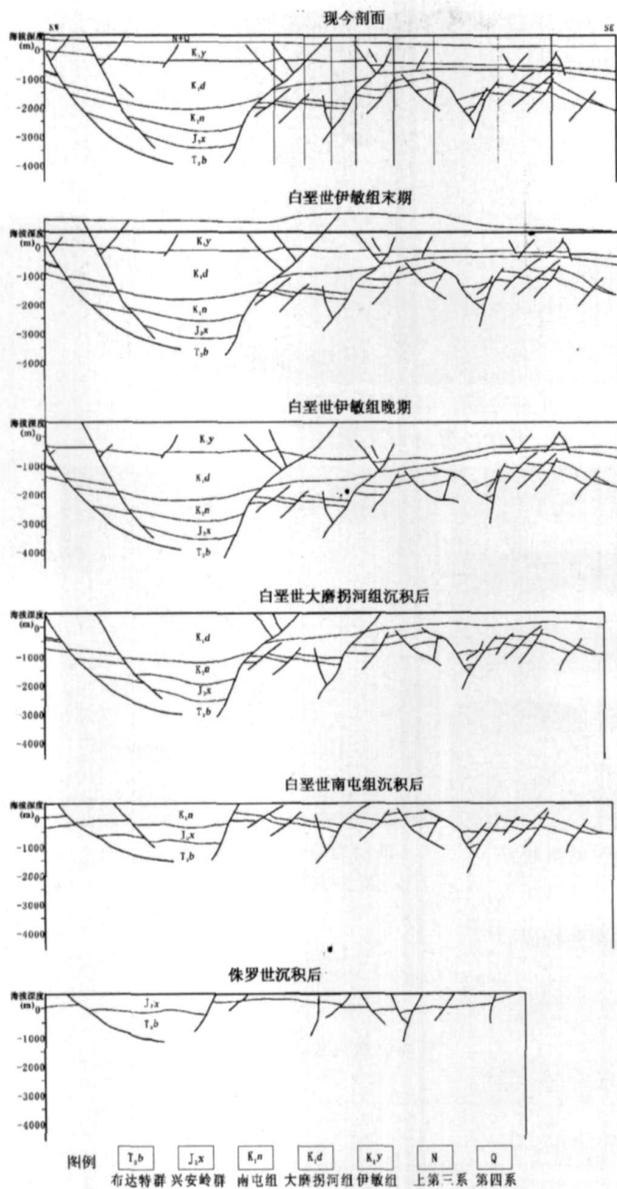


图 2 苏德尔特构造带构造发育史图

Fig. 2 Structural evolution model in Sudeerte structural zone

以张性缝较为多见, 剪性缝或以一组为主, 或两组交叉成共轭状产出, 该期裂缝宽度在 0.1~5 mm 之间不等。缝内石英、方解石充填或半充填为主。该期裂缝切割或终止于第 1 期裂缝。

第 2 期裂缝既有追踪前两组裂缝发育而呈锯齿状曲折延伸的, 也有前期裂缝再次活动的, 还有较平直明显切割前两期裂缝的, 因而该期的裂缝多为复合成因, 具有张性或张扭性特征。裂缝宽度一般在 1~4 mm, 石英、方解石半充填, 常见油气显示, 有效储集空间主要是石英充填缝中残余的孔缝, 而方解石充填的裂缝充填程度大, 仅见部分溶蚀孔缝。另外, 该期

裂缝对沟通前两组裂缝的有效空间也具有十分重要的作用。

岩心观察研究区裂缝产状至少存在四组, 但由于该区岩心均未定向, 因而其具体产状不明。结合电成像测井处理与解释的结果, 可以看出这四组走向分别 30°~70°、70°~90°、270°~310°、340°~10° (图 4)。

2.3 利用同位素、包裹体和声发射特征划分裂缝形成期次

2.3.1 利用裂缝充填物中的稳定同位素划分裂缝形成期次

裂缝充填物的稳定同位素对于确定裂缝形成期次及其古物化环境十分有意义。当地层水进入裂缝时, 或多或少有结晶矿物析出并沉淀在裂缝壁上。裂缝中的结晶矿物属成岩期的产物, 其氧稳定同位素 ($\delta^{18}O$) 主要取决于形成时的温度和水介质条件, 可指示形成温度, 而形成温度的差别表明裂缝形成期次不同^[3]。许多学者已提出不同的同位素测温方程^[3, 19~21], 本文采用 Epstein (1953) 提出的氧同位素测温方程:

$$T = 16.5 - 4.3(\delta^{18}O - \delta^{18}O_w) + 0.14(\delta^{18}O - \delta^{18}O_w)^2$$

式中 T ——方解石矿物形成的温度值, °C; $\delta^{18}O_w$ ——形成矿物时水介质氧同位素, ‰, PDB; $\delta^{18}O$ ——矿物的氧同位素, ‰, PDB。由于同一时期形成的构造裂缝内可以存在多期充填物的充填, 因此在选取用于测定裂缝期次的同位素样品时, 要在岩心裂缝期次定性观察的基础上, 从不同期次裂缝中取得。实验表明, 方解石充填的裂缝存在 2 期以上的构造破裂 (图 5)。

第 1 期: 方解石充填物 $\delta^{18}O$ 值为 -16.4‰ 和 -18.6‰, PDB $\delta^{13}C$ 值分别为 -7.8‰ 和 -7.2‰ (PDB), 根据 $\delta^{18}O$ 进行测温计算, 可以得到形成温度为 56.0°C 和 70.7°C, 考虑到本区地面平均温度 13°C^[23], 则按古地热梯度 3.73°C/100m^[13] 计算得到其形成时埋深约为 924 m 和 1240 m, 按样品层位分析, 应为南屯期—大磨拐河组时期构造活动的产物。

第 2 期: 方解石充填物 $\delta^{18}O$ 值为 -23.6‰ ~ -26.4‰, PDB $\delta^{13}C$ 值分别为 -3‰ ~ -6.2‰ (PDB), 其中 $\delta^{18}O$ 值较第 1 期方解石 $\delta^{18}O$ 值要轻, 这种高负值的 $\delta^{18}O$ 是温度增高引起氧同位素分流的结果, 表明该期裂缝中的方解石是在深埋高温环境中沉淀的。根据 $\delta^{18}O$ 进行测温计算, 得到形成温度为 109.1~133.7°C, 计算得到形成时埋深约为 2067~

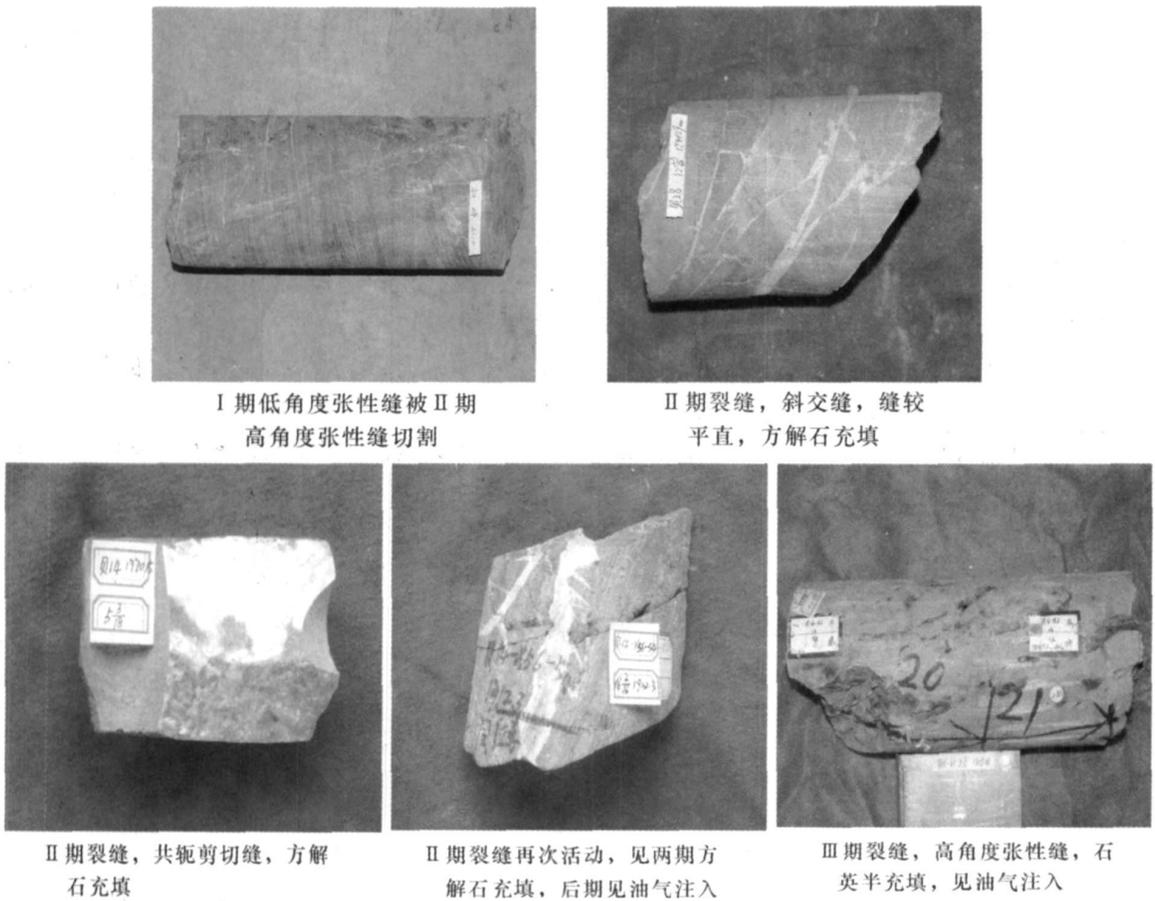


图 3 不同期次裂缝特征

Fig 3 The character of fractures with different stage

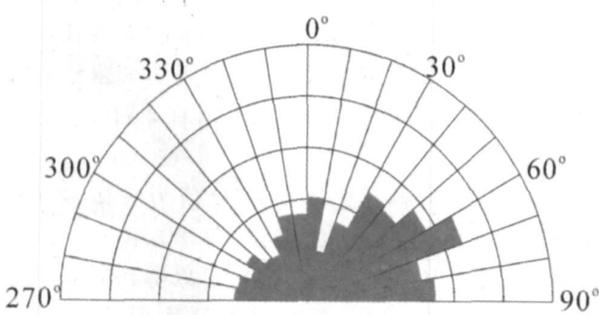


图 4 裂缝走向玫瑰花图

Fig 4 The rose diagram of the strikes of fracture

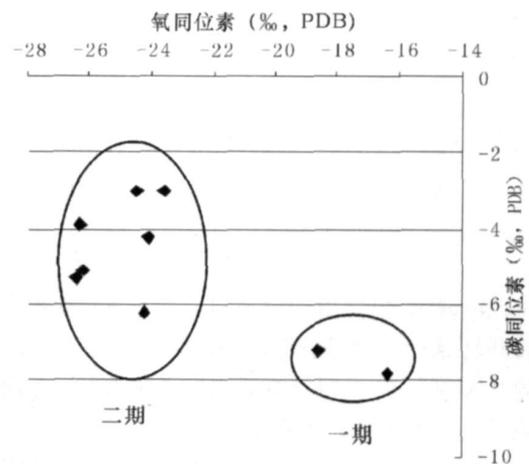


图 5 裂缝充填方解石碳氧同位素分布图

Fig 5 The distribution of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ of calcite in filled fractures

2596 m。按样品层位分析, 应为伊敏时期构造活动的产物, 这与区域构造分析中伊敏时期该区受北西西—南东东向的区域拉张作用相吻合。

从石英充填物氧同位素测试结果看, 石英填充的裂缝也存在两期以上的破裂。结合同位素样品的手标本看, 其中见有一期为未完全充填的张性缝, 切割第一期方解石填充的裂缝, 另外一期石英充填的裂缝

与其它期次的裂缝切割关系不清。可见, 该区裂缝应至少存在三期以上的破裂。

表 1 充填于不同构造期次裂缝中的石英和方解石盐水包裹体特征表

Table 1 Inclusion characteristics of quartz and calcite in filled fractures at different tectonic stages

裂缝期次	赋存矿物状态 原生 次生包裹体	气液比 f/%	形状	大小 /μm	均一温度 /℃	盐度 /w % NaCl	测定 个数	可能时期
	方解石充填物中的原生包裹体和少量石英充填物中的原生包裹体	≤5	规则	石英充填物中的包裹体 2×6~15×20/5×14, 方解石充填物中包裹体 3×15	72~76	0.88~1.44	11	南屯一大磨拐河组时期
	方解石充填物中的原生包裹体和少量次生包裹体	≤5	规则	方解石充填物中包裹体 3×10~5×10/4×12	原生包裹体: 117~132 次生包裹体: 120	/	11	伊敏晚期
	石英充填物中的次生包裹体和少量原生包裹体	≤5	规则	石英充填物中的包裹体 2×10~10×20/8×15	原生包裹体: 120~154 次生包裹体: 142~167	4.49	8	
	方解石充填物中的原生包裹体和石英充填物中的次生包裹体	≤5	规则	方解石充填物中包裹体 2×3~10×20/3×9, 石英充填物中的包裹体 3×5~8×20/5×11	原生包裹体: 89~110 次生包裹体: 89~101	3.39~5.11	38	伊敏末期

2.3.2 利用裂缝充填物的包裹体特征划分裂缝形成期次

流体包裹体技术也是近年来裂缝期次研究的一种新技术,通过测定与裂缝充填物同时形成的原生包裹体的温度,可推断裂缝形成的时期^[5]。

本次研究在岩心采样和包裹体薄片的制样过程中除考虑选取裂缝中最主要的充填矿物外,还注意在不同时期的孔洞缝系统中选取有代表性的样品。测试结果表明,研究区裂缝主要存在三期的构造破裂(表 1)。

第一期裂缝形成于南屯末一大磨拐河组沉积时期。该时期整体以构造沉降为主。裂缝内多见方解石充填。缝内原生的油气包裹体成群或密集分布于方解石矿物中,原生包裹体均一温度介于 72~76℃之间,并见有以气液烃包裹体占优势烃类包裹体的出现。反映了裂缝形成时,已有烃类运移和聚集到潜山圈闭中。但是,由于液烃呈灰褐色,显示浅褐黄色荧光,说明包裹体被捕获时的烃类混合物中沥青、非烃含量较高,烃类的成熟度较低,这与苏德尔特地区烃源岩在大磨拐河组时期刚刚开始生烃相吻合^[24]。

第二期裂缝主要形成于伊敏时期,根据裂缝内充填物类型及包裹体均一温度的不同,又可细分为两个亚期。早期裂缝以方解石充填为主,原生包裹体均一温度介于 117~132℃之间,大小平均值为 4μm×12μm。油气包裹体发育丰度较高,成群或均匀的分布于方解石中,均为原生包裹体,以纯液烃包裹体占绝对优势和气液烃包裹体相对较多为特征,并出现少

量的纯气烃包裹体。其中液烃呈褐色、褐黄色及淡黄色,显示弱褐色及强浅黄色荧光。晚期裂缝以石英充填为主,原生、次生包裹体均有发育,其均一温度分别介于 120~154℃、142~167℃之间,大小较早期包裹体要大,平均值为 8μm×15μm。油气包裹体发育丰度中等,呈孤立状或线性分布于石英及晶间缝隙中。该期以气液烃包裹体占绝对优势和纯气烃包裹体所占比例增大为特征。其中液烃颜色呈淡黄色,显示强的浅黄色、黄白色及蓝色荧光,反映烃类成熟度明显增强。同时由于有机质的存在,为石英的形成创造了有利的酸性环境,使得该期裂缝中充填的石英晶形普遍较好,见微一细晶结构。

第三期裂缝是伊敏末期构造运动的产物。研究区在此时期处于构造隆起状态,包裹体均一温度介于 89~110℃之间,裂缝内充填方解石和石英,其中石英充填的裂缝往往是追踪和叠加发育在早期裂缝基础之上,再经破裂而成的。地层的抬升导致研究区生烃作用减弱^[25],纯液烃包裹体所占比例较前一期增大。液烃呈淡黄色、灰褐色,显示强的浅黄色、浅黄白色及浅褐色荧光,气烃呈灰色。

2.3.3 利用岩石声发射特征划分裂缝形成期次

1950年德国 Kaiser研究金属材料的声发射现象时,发现声发射活动对材料载荷历史中的主要应力场期次和强度具有记忆力和不可逆特性,他把这一现象称为“Kaiser”效应。1963年 Goodman发现岩石亦具 Kaiser效应,并提出用这一效应可以推断岩石曾经历的变形史和破裂史。随着该技术的不断成熟,近十年

来,各专家学者开始利用声发射实验对岩石经历的历史应力作用的应力场期次和主应力大小具有“记忆”和“抹录不净现象”特性,开发了对裂缝活动规律、裂缝期次、确定裂缝形成时的应力场强度等方面的应用^[6-10]。其基本原理是:地下岩层因遭受地史中的构造应力场作用,普遍发育有微观的或隐蔽的微裂纹。在进行声发射实验时,样品在模拟古构造应力场的加载过程中,因微裂纹失稳扩展(破裂)而构成不可逆的 Kaiser 效应。理论上,当施加的应力达到古应力场的强度时,微裂纹才会开始扩张,并由此而造成发射次数和强度急剧增加,因而施加在该点上的应力值可相当古应力场强度。如果单一方面连续施加载

荷力,由不同期次的构造应力所形成的微裂纹会相继发生扩展而形成多个强度不一的 Kaiser 效应点。因而,利用声发射实验 AE 曲线上出现的 Kaiser 效应点的个数,可以判断岩层所经受过的最少应力作用期次及应力场强度。

裂缝充填物与岩石具有不同的弹性模量,一般充填物更容易破裂。因此,声发射测试选取样品时要尽量避免裂缝,以免影响测试结果。通常选用最为普遍的样品尺寸为直径 25mm,高 50~70mm 的岩柱。限于岩心条件,本次研究仅在 3 口井的岩心中取到 3 块可供实验用的样品,经实验得到声发射曲线(图 6)。

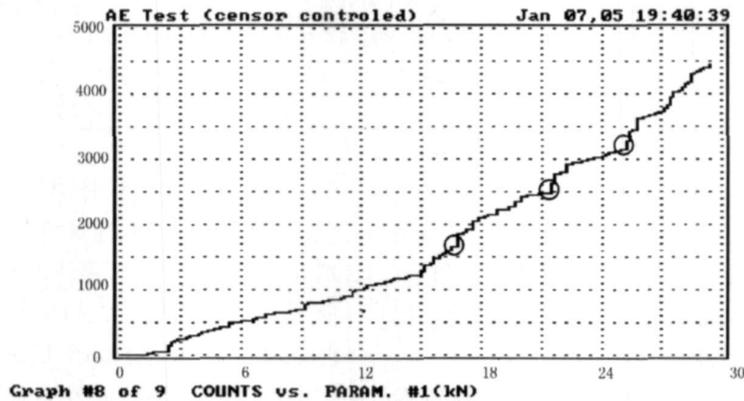


图 6 苏德尔特构造带布达特群岩石声发射 AE 曲线

Fig 6 The acoustic emission curve of rocks in Budate Group in the Sudeerte structural zone

图中的横坐标为施加的载荷力,纵坐标为声发射特征参数累计频数,它的大小直接反映声发射的强度。AE 曲线中 Kaiser 效应出现的位置对应于阶梯状骤然递增的部位,但前后出现的阶梯并不代表 Kaiser 效应的先后顺序。从图 6 可以看出,具明显特征的 Kaiser 效应点有 3 个,根据每个明显的 Kaiser 效应点对应岩石在地质过程中的一次应力场作用结果的原理,经历构造事件越多的古老地层岩石,记忆的应力场期次就越多。因此可以得出,苏德尔特构造带布达特群地层经历了至少三期主要的应力作用,并相应形成了三期性质不同的裂缝。而这三期应力可能对布达特群潜山形成过程中的主要应力时期,即南屯期、伊敏晚期、伊敏末期。

3 讨论与认识

本文提出在区域构造演化史研究的基础上,通过岩石裂缝的宏观观察以及不同期次裂缝充填物中包裹体、同位素分析以及声发射实验分析可以用来对裂

缝形成期次的划分,这些方法是有效的。如果在研究区具有定向岩心资料,裂缝期次划分方法就不仅能够划分裂缝发育的期次问题,而且还可以恢复不同期次裂缝的产状以及岩石的受力方向,这将对以裂缝为主要储集空间的油气藏的勘探开发具有很好的指导意义。

综合分析认为:苏德尔特构造带布达特群裂缝的形成和发育与构造运动密切相关,具有多期性和继承性的发育特点,主要存在 3 个破裂期。第一期裂缝形成于南屯末—大磨拐河组沉积时期,缝内以方解石充填为主,包裹体均一温度介于 72~76℃ 之间,该期已见有烃类包裹体,但其成熟度较低。第二期裂缝是在伊敏时期区域伸展作用下形成的,可细分为两个亚期,充填物分别为方解石、石英,均一温度分别介于 117~132℃、120~154℃ 之间。第三期烃类成熟度明显较高。第三期裂缝是在伊敏末期强烈的抬升作用下形成的,裂缝内充填微—细晶方解石和石英,均一温度介于 89~110℃ 之间,该期烃类成熟度较低。第

、 期裂缝对储层贡献较大。

致谢 大庆油田勘探开发研究院油藏评价室海拉尔项目组的张荻楠高级工程师以及其他成员, 大庆油田勘探开发研究院牛彦良、崔宝文、李莉、周永炳、李伯虎、赵翰卿以及大庆油田公司袁庆峰等领导和专家给本文研究提供了大力支持、帮助和指导。另外, 胜利油田地质科学研究王智邦高级工程师以及中国石油大学(华东)李理副教授提出许多宝贵意见, 在此一并表示感谢!

参考文献 (References)

- 1 王允诚. 裂缝性致密油气储集层. 北京: 地质出版社, 1992 137-138 [Wang Yuncheng. Fractured Tight Reservoirs. Beijing: Geological Publishing House, 1992 137-138]
- 2 袁士义, 宋新民, 冉启全. 裂缝性油藏开发技术. 北京: 石油工业出版社, 2004 3-5 [Yuan Shiyi, Song Xinmin, Ran Qiquan. Development Technology in Fractured Reservoir. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004 3-5]
- 3 赖生华, 余谦, 周文, 等. 楚雄盆地北部上三叠统一侏罗系裂缝发育期次. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 25-29 [Lai Shenghua, Yu Qian, Zhou Wen, et al. Development periods of fractures in the Late Triassic-Jurassic in the north Chuxiong Basin. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 25-29]
- 4 吴垫虹. 国外断裂研究中包裹体测温技术的某些应用. 地质科技情报, 1999, 18(1): 85-93 [Wu Dianhong. Application of microthermometry on fluid inclusion in fractures abroad. Geological Science and Technology Information, 1999, 18(1): 85-93]
- 5 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 199-202 [Zhang Wenhui, Chen Ziyang. Geology of Fluid Inclusion. Wuhan: Publishing House of Chinese Geological University, 1993. 199-202]
- 6 傅强, 王家林, 周祖翼. 利用岩矿记忆信息恢复基岩潜山裂缝储层形成的机制. 地质论评, 1999, 45(4): 434-438 [Fu Qiang, Wang Jialin, Zhou Zuyi. The use of rock and mineral remembrance information to recall the dynamics of buried basement rock hill fracture reservoirs. Geological Review, 1999, 45(4): 434-438]
- 7 郑荣才. 储层裂缝研究的新方法——声发射实验. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 186-189 [Zheng Rongcai. A new method of studying reservoir fractures—acoustic emission experiment. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 186-189]
- 8 丁原辰, 张大伦. 声发射记录不尽现象在地应力测量中的应用. 岩石力学与工程学报, 1991, 10(4): 313-326 [Ding Yuanchen, Zhang Dalun. The non-opping phenomenon of acoustic emission and its application in the ground-stress measurement. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1991, 10(4): 313-326]
- 9 黄思静, 单钰铭, 刘维国, 等. 陕甘宁盆地 G 地区岩石声发射试验与构造应力. 成都理工学院学报, 1998, 25(4): 559-565 [Huang Sijing, Shan Yuming, Liu Weiguo, et al. AE test of reservoir rocks and tectonic geostress of the Triassic Yanchang Formation in G region. Shangnaning Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25(4): 559-565]
- 10 孙宝珊, 丁原辰, 邵兆刚, 等. 辽北张强地区燕山期以来主要构造运动期最大主应力的测定. 地质论评, 2000, 44(1): 92-98 [Sun Baoshan, Ding Yuanchen, Shao Zhaogang, et al. A measurement of maximum principal stresses of main tectonic phases in the Zhangqiang Area, Northern Liaoning Province since the Yanshanian Movement. Geological Review, 2000, 44(1): 92-98]
- 11 周永昌, 王新维, 杨国龙. 塔里木盆地阿克库勒地区奥陶系碳酸盐岩成藏条件及勘探前景. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 104-109 [Zhou Yongchang, Wang Xinwei, Yang Guolong. Oil and gas pool forming condition and exploration prospects of Ordovician carbonate rocks in Akekule region, Tarim Basin. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 104-109]
- 12 邬光辉, 李建平, 卢玉红. 塔中 1 号断裂带奥陶系灰岩裂缝特征探讨. 石油学报, 1999, 20(4): 19-23 [Wu Guanghui, Li Jianping, Lu Yuhong. The fracture characteristic of Ordovician limestone in Tazhong No. 1 fault belt. Acta Petroli Sinica, 1999, 20(4): 19-23]
- 13 张晓东, 刘光鼎, 王家林. 海拉尔盆地的构造特征及其演化. 石油实验地质, 1994, 16(2): 119-127 [Zhang Xiaodong, Liu Guangding, Wang Jialin. Structural characters of the Hailaer Basin and its geological evolution. Experimental Petroleum Geology, 1994, 16(2): 119-127]
- 14 刘振彪, 陈守田, 张财, 等. 贝尔凹陷的形成机制及其油气分布规律. 石油地球物理勘探, 1999, 34(增刊): 109-112 [Liu Zhenbiao, Chen Shoutian, Zhang Cai, et al. Genetic mechanism and oil-gas distribution pattern of Beier depression. Oil Geophysical Prospecting, 1999, 34: 109-112]
- 15 陈发景, 汪新文. 中国中、新生代含油气盆地成因类型、构造体系及地球动力学模式. 现代地质, 1997, 11(4): 409-424 [Chen Fajing, Wang Xinwen. Genetic types, tectonic systems and geodynamic models of Mesozoic and Cenozoic oil-and gas-bearing basins in China. Geoscience, 1997, 11(4): 409-424]
- 16 刘德来, 马莉. 中生代东亚大陆边缘构造演化. 现代地质, 1997, 11(4): 444-452 [Liu Delai, Ma Li. Mesozoic tectonic evolution of continental margin in east Asia. Geoscience, 1997, 11(4): 444-452]
- 17 王家亮, 张金川, 张杰, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷的油气运聚分析. 现代地质, 2003, 11(4): 459-465 [Wang Jialiang, Zhang Jinchuan, Zhang Jie, et al. Oil migration and accumulation in the Beier depression, Hailaer Basin. Geoscience, 2003, 11(4): 459-465]
- 18 陈守田, 刘招君, 崔凤林, 等. 海拉尔盆地含油气系统. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(2): 151-154 [Chen Shoutian, Liu Zhaojun, Cui Fenglin, et al. Oil-gas bearing system of Hailaer Basin. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(2): 151-154]
- 19 Dodson M H. Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. Contrib Mineral Petrology, 1973, 40(2): 259-274
- 20 Giletti B J. Diffusion effect on oxygen isotope temperatures of slowly

- cooled igneous and metamorphic rocks. *Earth Planet* 1986, 45(2): 218-228
- 21 Eiler JM, Baumgartner LP, Valley JW. Fast grain boundary: A FORTRAN-77 program for calculating the effect of retrograde intradiffusion of stable isotope. *Computer & Geoscience* 1994, 58(5): 5525-5535
- 22 王峥荣. 矿物氧同位素模式温度计算. *岩石学报*, 2000, 16(1): 97-107 [Wang Zhengrong. Calculation of oxygen model temperature in minerals. *Acta Petrologica Sinica* 2000, 16(1): 97-107]
- 23 卢双舫, 王子文, 付晓泰, 等. 镜质体成烃反应动力学模型的标定及其在热史恢复中的应用. *沉积学报*, 1996, 14(4): 24-30 [Lu Shuangfang, Wang Ziwen, Fu Xiaotai, et al. Calibration of the reactive kinetic model of hydrocarbon generation of vitrinite and its application in restoring paleoheat history of Hailuohu depression, Hailuohu Basin. *Acta Sedimentologica Sinica* 1996, 14(4): 24-30]
- 24 杨巍然, 张文淮. 断裂性质与流体包裹体组合特征. *地球科学*, 1996, 21(3): 285-290 [Yang Weiran, Zhang Wenhua. Character of fault property and combination of fluid inclusions. *Earth Science* 1996, 21(3): 285-290]
- 25 陈守田, 刘招君, 于洪金. 海拉尔盆地热演化史研究. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2004, 34(1): 85-92 [Chen Shoutian, Liu Zhaojun, Yu Hongjin. Researches of thermal evolution history in Hailuohu Basin. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2004, 34(1): 85-92]

Classification Methods for Development Period of Fractures and Its Application—a case study from Budate Group of Hailuohu Basin

REN Lihua, LI Chengyan

(Faculty of Earth Resource and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061)

Abstract Taking fractured reservoir of Budate Group in the buried hill of Sudeerte structural zone, Hailuohu basin as an example, this paper discusses classification methods for development period of fractures. Based on the core observation and description, the stable isotopic analysis, fluid inclusion homogenization temperature of in-filled components in fractures and acoustic emission technology, and combined with regional structural evolution history, the development period of fractures is researched. The result indicates about three stages of structural break occur in Budate Group. The fractures activity in stage 1 relates to Nantun-Danoguaihe movement. The fractures are filled by mainly calcite, of which the forming temperature is between 72 and 76 degrees. In this stage, hydrocarbon inclusions are found but their maturity is low. The fractures of stage 2 are the result of regional extension movement of Y in in phase. Stage 2 is subdivided into two stages. In the first stage, fractures are filled by calcite, of which the forming temperature is between 117 and 132 degrees. In the second stage, fractures are filled by microcrystalline-aplite quartz, which forming temperature is between 120 and 154 degrees. Relatively, the hydrocarbon maturity of stage 2 boosts up in evidence. The fractures of stage 3 come in to being in violent uplift movement of Y in in telophase. The fillings of fractures are microcrystalline-aplite calcite and quartz, of which the forming temperature is between 89 and 110 degrees. The hydrocarbon maturity weakens. It is significant for rebuilding evolution history fractures to classify the development period of fractures.

Key words development period of fractures, research methods, stable isotope analysis, fluid inclusion, acoustic emission technology