

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

沉积盆地中镜质组反射率异常的物理化学环境探讨

邱楠生^{1,2)}, 汪为孝³⁾, 谢明举^{1,2)}

1) 中国石油大学(北京)石油与天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京, 102249

2) 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京, 102249

3) 安徽煤田地质局第一勘探队, 安徽淮南, 232052

内容提要: 根据实测的压力和镜质组反射率数据讨论了沉积盆地中镜质组反射率异常的物理化学环境。认为异常压力并不是导致镜质组反射率受到抑制的唯一原因; 沉积盆地中有机质镜质组反射率异常的原因除与有机质本身的性质有关外, 还与其所处的温度、压力等物理环境及其周围的流体性质、无机元素(矿物)的组成等化学因素密切相关。通过对钻井异常高压带和正常压力带剖面密集取样进行的微量元素与镜质组反射率分析表明, 偏酸性、低盐度的流体介质有利于有机质镜质组反射率的增加; 通过分析泥岩中的某些元素丰度与镜质组反射率的对应关系, 初步确定钙、锰、锶、硼、钡、磷等元素对镜质组反射率的演化有抑制作用, 而铁、钴、锌、镍、铷等元素对有机质的热演化具有催化作用。本研究对于有机质成熟校正、油气资源评价和利用成熟度古温标恢复盆地热历史都具有意义。

关键词: 镜质组反射率; 微量元素; 抑制/催化作用; 异常压力

国内外许多盆地(如莺-琼盆地、准噶尔盆地、北海盆地、阿尔伯达盆地、墨西哥湾地区、落基山地区等)中常常在异常高压带内存在有机质镜质组反射率异常低值(即受到抑制)的现象(Gentzis et al., 1994; Waples et al., 1995; Hao et al., 1995, 1998; Mello et al., 1996)。虽然有机质热演化受抑制在一定程度上与原始母质沉积环境有关(Petersen et al., 1998; Carr, 2000), 但目前普遍认为异常高压是导致有机质热演化和油气生成受到抑制的根本原因(Price et al., 1992; Khorasani et al., 1994; Hao et al., 1995, 1998; 龚再升等, 1997; McTavish, 1998), 而且通过地质、地球化学分析和模拟实验也证实了压力的抑制作用(Domine et al., 1992; 龚再升等, 1997; Dalla et al., 1997; 姜峰等, 1998)。这种有机质成熟演化受到抑制的问题一直是油气地质界研究的热点。

但是, 异常高压似乎并不是有机质成熟受到抑制的唯一解释。首先, 在具有典型的热液活动的异常高温高压区(如莺-琼盆地), 异常高压对有机质热成熟反应的确起到抑制作用, 但其中的异常高温及其流体在有机质成熟过程中所起的作用如何, 却探讨很少。根据有机质热降解的Arrhenius方程, 有机

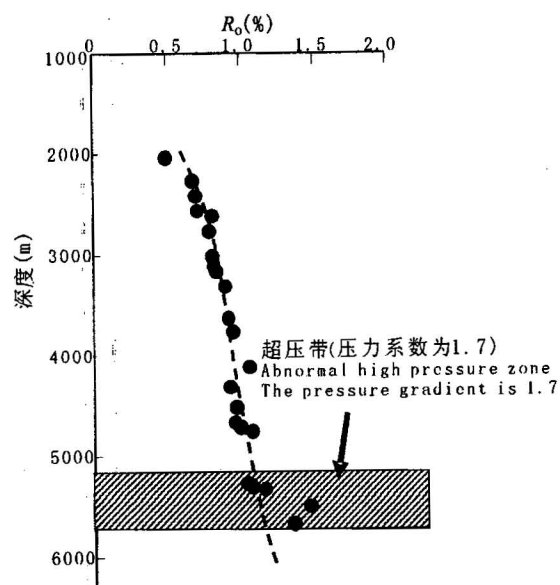


图1 柴达木盆地狮23井镜质组反射率和深度关系(虚线表示按照该区地温模拟的 R_o 正常演化趋势线)

Fig. 1 The relationship between depth and vitrinite reflectance in the well Shi-23, Qaidam Basin (The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the basin)

注: 本文为国家自然科学基金(编号 40342014)和中石油中青年创新基金(编号 03E7011)资助成果。

收稿日期: 2005-08-23; 改回日期: 2006-08-16; 责任编辑: 周健。

作者简介: 邱楠生, 男, 1968年生, 教授, 1994年于中国科学院地质研究所获构造地质学博士学位, 主要从事沉积盆地构造-热演化和油气成藏机理方面的研究。通讯地址: 102249, 北京市昌平区府学路; 电话: 010-89733340; 传真: 010-89733423; Email: qiunsh@cup.edu.cn。

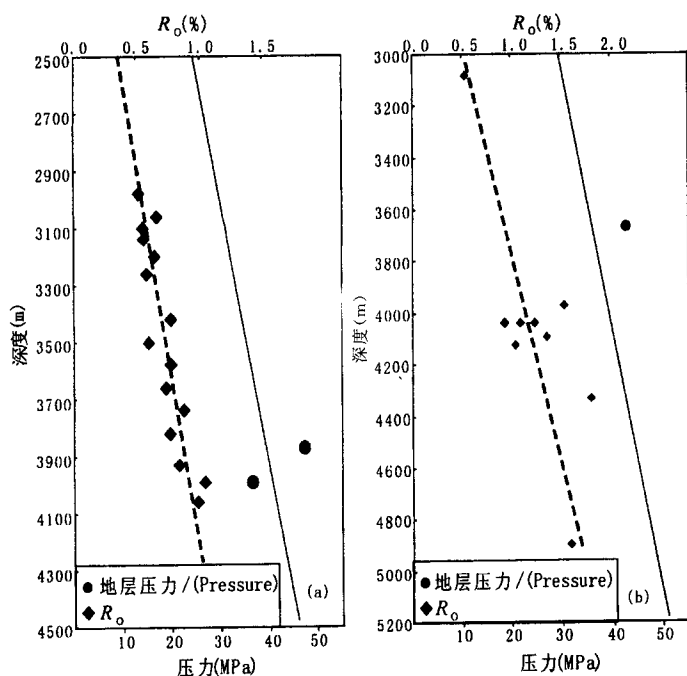


图 2 济阳坳陷渤深 4 井(a)和义 135 井(b) R_o 随深度变化及其压力分布(虚线表示按照该区地温模拟的 R_o 正常演化趋势线,实线表示静水压力曲线)

Fig. 2 The vitrinite reflectance and pressure vs. depth in the well Boshen-4 (a) and Yi-135 (b) in Jiyang depression (the dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression and the line is the hydrostatic pressure)

质的反应速度与温度呈指数增加关系。在异常高温区有机质成熟却受到抑制,温度的作用如何考虑?其次,如果是高压导致了有机质成熟受到抑制,那么在同一盆地的不同地区,为何在异常高压带有抑制现象,而在正常压力区的较深处(其压力值大于异常压力区的压力值)镜质组反射率却没有受到抑制?第三,在有些异常高压带中,有机质成熟并没有受到抑制。

镜质组反射率(R_o)是目前最常用的表征沉积盆地有机质成熟度和热演化历史的指标。如何客观、准确地获取和认识镜质组反射率,是正确评价盆地中的烃源岩成熟与否的关键。同时,由于镜质组反射率作为目前恢复盆地热历史的古温标,其准确性也是客观地分析盆地的构造-热演化的重要保证。本文从有机质镜质组沉积后与周围的无机矿物的关系及所处的温度、压力和流体化学性质等物理和化学环境入手,探讨镜质组反射率值出现异常(受到抑制或催化)的原因,对于正确建立有机质生油气模式、评价烃源岩的成熟性及沉积盆地热历史的反演等都具有重要的意义。

1 压力的作用

镜质组反射率异常低值所出现的深度段绝大部分均与异常高压带相一致,这也是目前大多数学者支持异常压力抑制反射率增加的原因。但在一些地区,镜质组反射率的异常值并非与异常高压有关,一些现象还与目前的认识相矛盾。如在柴达木盆地西部地区异常高压带中的镜质组反射率反而加快(图 1)。在一些地区,存在异常压力时, R_o 未出现异常。如济阳坳陷的渤深 4 井中 3898m 处地层压力为 49.19MPa,属于微弱超压,对应于 R_o 的演化属于正常情况;义 135 井中 3698m 处地层压力为 41.74MPa,属于弱超压,对应的 R_o 未出现异常(图 2)。而在某些地区,在负压的情况下,镜质组反射率仍为正常。如昌潍坳陷昌 64 井中 2661m 处地层压力为 19.22MPa,2990m 处地层压力为 17.22MPa,3243m 处地层压力为 21.57MPa,属于负压,对应的 R_o 演化属于正常情况;济阳坳陷的义 36 井中 3472m 处地层压力为 21.79MPa,属于负压,对应的 R_o 未出现异常(图 3)。有时甚至是在正常压力带出现了镜质组反射率的异常低值,如济阳坳陷的邵 4 井中 2634m 处地层压力为 27.57MPa,属于正常压力背景,对应的 R_o 异常偏低。滨 653 井中 2867m 处地层压力为 27.83MPa,属于正常压力背景,对应的 R_o 异常偏低(图 4)。

以上分析表明异常压力并不是镜质组反射率剖面异常的唯一原因。虽然 R_o 异常偏低通常与异常高压的分布层段一致,但在异常高压层段内也发现了 R_o 异常偏高和正常演化的情况。这些都表明 R_o 异常的成因除了异常压力外还有别的因素。有机质类型和有机质形成时的介质环境(包括有机质所处的无机地球化学环境),及有些常量和微量元素对有机质的热演化都具有催化或抑制作用。关于有机质类型对成熟度的抑制作用已有大量的文献(Hunton et al., 1980; 赵师庆等, 1990; Goodarzi et al., 1994; Petersen et al., 1998),在此不再叙述。

我们认为,在分析一个地区的异常压力是否对有机质镜质组反射率造成影响时,必须考虑异常压力的形成时间与有机质成熟时间的匹配关系!异常压力对有机质镜质组反射率的抑制作用与否,取决于异常压力的形成时期及其与有机质演化的匹配关

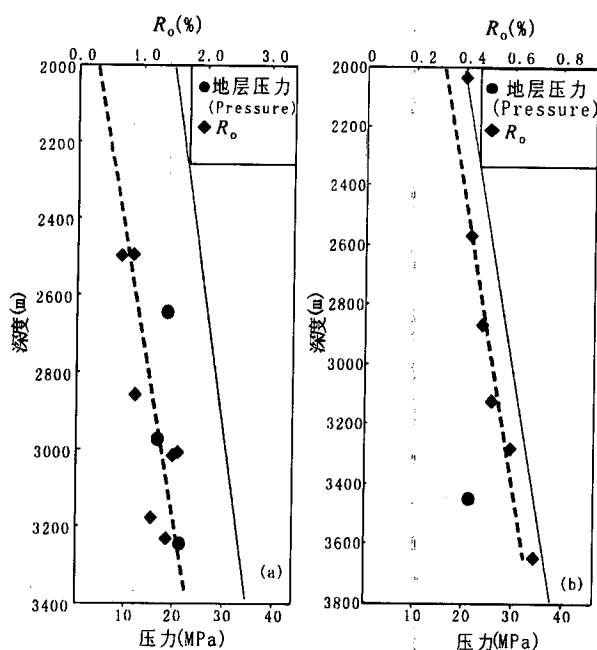


图3 昌64 (a)和义36井(b) R_o 随深度变化及其压力分布(虚线表示按照该区地温模拟的 R_o 正常演化趋势线,实线表示静水压力曲线)

Fig. 3 The vitrinite reflectance and pressure vs. depth in the well Chang-64 (a) and Yi-36 (b)
(The legend is the same with Fig. 2)

系。尽管目前国际上对于古压力的恢复仍存在许多困难,但还是可以通过一些途径来恢复压力的演化历史,从而得知异常压力的形成时期(Roedder et al., 1980; Aplin et al., 2000; 李纯泉等, 2002; 陈红汉等, 2002; 米敬奎等, 2003)。例如,对于某一层位的有机质来说,如果在该层系的异常高压形成之前就已经经历了成熟演化,则可认为后期的异常压力对有机质的演化没有作用。反之,如果异常高压在有机质成熟演化之前就已存在,或者异常高压的形成时期与有机质的演化同时进行,则异常压力的影响就可能很大。因此,关键是确定异常压力形成的时间!而目前所观测到的往往是在有机质成熟受到抑制的层段存在异常高压,就造成了“异常高压抑制有机质成熟”的认识。在实际工作中,应该明确异常高压的形成时期,才能客观地研究超压与有机质成熟的抑制作用。

2 温度的作用

有机质随正常地温演化的情况这里不进行讨论,本文仅分析由于异常热场(如火成岩侵入、深部热流体等)引起的有机质镜质组反射率的异常变化。火成岩侵入后引起地温场的异常演变前人已进行了

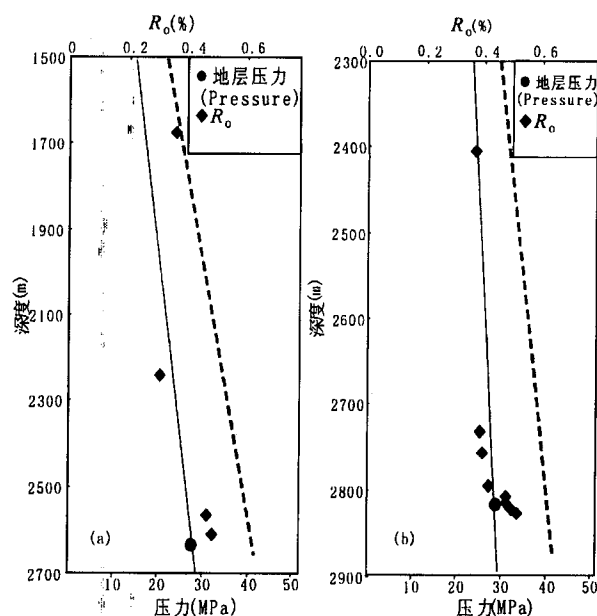


图4 邵4井(a)和滨653井(b) R_o 随深度变化及其压力分布(虚线表示按照该区地温模拟的 R_o 正常演化趋势线,实线表示静水压力曲线)

Fig. 4 The vitrinite reflectance and pressure vs. depth in the well Shao-4 (a) and Bin-653 (b)
(The legend is the same with Fig. 2)

一些工作(Petersen et al., 1994; 张健等, 1997; 范桃园等, 1999; 侯增谦等, 1999; 金强等, 2003)。一方面,生油岩中有机质形成的有机酸对火山矿物中的金属元素是一种有效的溶剂和迁移介质,特别能促使其中的过渡元素活化和溶解。而一些过渡金属是有机质生烃演化良好的催化剂,从而使与火成岩共生的生油岩油气生成量大大提高。另一方面,火成岩由于其温度明显比围岩高,侵入后会明显地改变地温场的分布、加速烃源岩的演化、直至破坏烃源岩的生烃能力。以济阳坳陷某井为例,该井在沙河街组四段上部和沙三段实测的镜质组反射率有明显偏高。通过建立火成岩侵入模拟进行热模拟计算可以看出,由于岩浆的侵入,导致了温度在短时间内急剧上升,并由此导致了对源岩的“烘烤”作用,使得镜质组反射率出现异常高值(图5)。

3 流体介质及无机矿物/元素的作用

沉积盆地中有机质热演化作用始终是在一定的温度、压力条件下与周围介质(包括流体)所进行的有机和无机相互作用的复杂反应过程。因此,特定地层中的无机矿物可能是造成有机质成熟受到抑制或催化的又一因素。在有机质与周围的无机矿物构成的有机-无机相互作用系统中,不同矿物元素与有

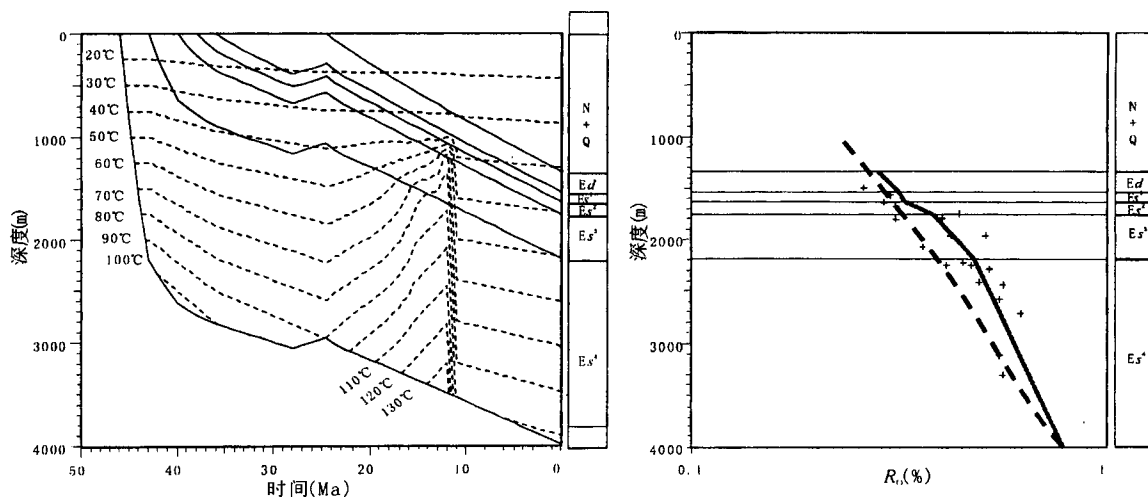


图 5 济阳坳陷某井火成岩侵入作用对有机质镜质体的影响

(右图虚线是正常地温梯度下的镜质组反射率演化趋势,实线是火成岩作用下的演化趋势)

Fig. 5 The thermal modeling result of magma intrusion in the well of Jiyang depression (The dashed line is the modeled R_o evolution obtained by the normal thermal gradient and the line is the modeled R_o evolution by the magma intrusion)

机质作用后,一方面可能改变了化学反应的条件,而另一方面则可能改变有机质的结构,从而使得有机质演化的化学反应有可能加速或是受到了抑制。目前一些学者已注意到这种有机和无机相互作用对有机质(包括油)热解作用产生的影响(刘晓燕,1995; Li et al., 1998; 李术元等,1999, 2002; Seewald et al., 2000; 郭绍辉等,2000)。比如水和矿物可以作为反应物或催化剂影响有机质的反应,进而影响了有机质的热演化进程(朱扬明等,1991; Mello et al., 1995; Hetenyi, 1995; 金强, 1998; 李术元等, 1999, 2002; Seewald et al., 2000; Seewald, 2001, 2003; 秦建中等, 2002)。沉积物中的粘土矿物、碳酸盐矿物、卤化物、某些金属(如铁、钛、钒、铬、钴、镍、锰、钼等)的氧化物和硫化物、热液活动以及形成的火山岩、各种无机盐都不同程度的影响了有机质的热演化,它们对油气形成过程中的化学反应(如氧化、脱氢、脱水、加氢、聚合、异构化、烷基化以及烃类的骨架重排等)都有影响(Mango et al., 1994; 雷怀彦等, 1997; 宁占武等, 2004)。此外,与有机质相互作用的矿物既包括烃源岩周围的一些矿物元素,也包括流体中的某些微量元素。在沉积盆地的异常高压带一般有流体的参与,构成了一个流体—岩石相互作用系统。在一些热液流体活动区,热液活动常常导致某些微量元素的富集。

研究中在东营凹陷采集了牛 38 井和王 35 井 61 块样品,分别进行无机元素和镜质组反射率的测定(测试工作在核工业北京地质研究院分析测试研究中心进行),无机元素的测试包括了微量元素和常

量元素的测量,涉及的元素有钾、钠、镁、锂、钙、锰、锶、硼、钡、镉、铁、钴、锌、镍、钛、钒、铬、铷、铝、硅、铜、铀、钍、汞、铅。此外,根据实测压力数据,牛 38 井采样层段处在超压背景下,压力系数为 $r=1.5$, R_o 从上部的 0.6% 向下逐渐降为 0.45%, 在 3000~3400m 处 R_o 出现了明显的异常偏低(图 6)。而王 35 井处于正常压力环境中,压力系数为 1.1 左右,镜质组反射率在 2140~2180m 深度范围内出现明显异常低(图 6)。图中的虚线是根据研究区的热史资料

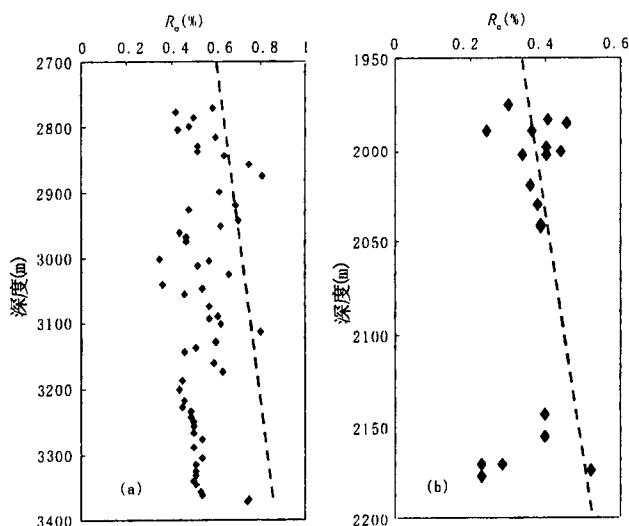


图 6 牛 38 井(a)和王 35 井(b)的镜质组反射率随深度变化情况(虚线为正常演化趋势)

Fig. 6 The vitrinite reflectance vs. depth in the well of Niu-38 (a) and well Wang-35 (b) (The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

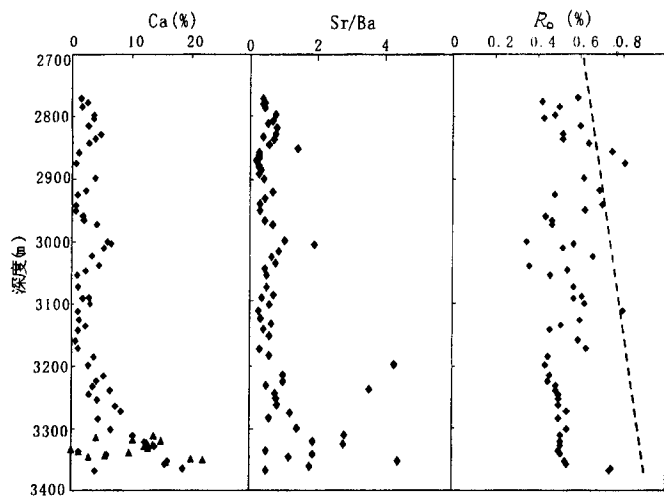


图 7 牛 38 井钙和 Sr/Ba 随深度变化及其与 R_o 的关系
(虚线为镜质组反射率正常演化趋势线)

Fig. 7 The contents of element Ca and Sr/B value vs. depth in the well Niu-38 and their relationship with R_o (The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

(邱楠生等, 2004) 得到的镜质组反射率正常演化趋势线。

地质流体中, 钙在碱性溶液中其活动能力受到限制而易沉淀富集, 在酸性溶液中多呈游离状态增大了活动性而易于散失, 导致含量低。因此, 钙的含量可以反映出古流体的酸碱性条件; 而 Sr/Ba 比值可以很好的反映古流体的盐度变化。牛 38 井研究深

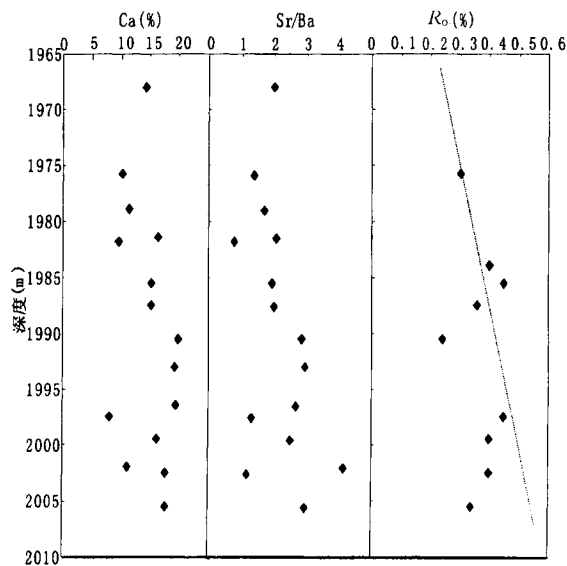


图 8 王 35 井钙和 Sr/Ba 随深度变化及其与 R_o 的关系
(虚线为镜质组反射率正常演化趋势线)

Fig. 8 The contents of element Ca and Sr/B value vs. depth in the well Wang-35 and their relationship with R_o (The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

度段 (2750 ~ 3380m) 钙含量为 0.56 ~ 18.73%, 平均为 4.38%, 钙的含量由上向下含量逐渐增高 (图 7)。这种含量的变化意味着水体自下而上逐渐向酸性过渡, 湖盆水体由安静向活跃转化。镜质组反射率异常低对应偏碱性的环境, 钙与 R_o 呈负向相关。事实上, 许多有机反应都受到了酸的催化, 尤其是 C-O 键的断裂。从 Sr/Ba 的比值看自下而上逐渐减小, 反应水体自下而上逐渐淡化, 可以推测在淡水环境下形成的有机质易于热演化, 因为在咸水环境形成的有机质更加富氢, 在成熟过程中镜质组反射率受到抑制。从王 35 井 1965 ~ 2010m 范围内钙的含量自下而上由碱性向酸性过渡。Sr/Ba 值自下而上逐渐减小, 水体逐渐淡化 (图 8)。同样可以看出酸性条件有利于有机质热演化的进行, 盐度较高的条件下, 不利于有机质热演化, 也就是说淡水环境有利于有机质的成熟及 R_o 随深度的增加。

从牛 38 井 2750 ~ 3380m 深度段中锰、锶、硼、钡等元素的含量与镜质组反射率的对应关系看, 这些元素与 R_o 之间也存在相关关系 (图 9)。研究层段下部锰的含量平均为 607×10^{-6} , 上部锰含量平均为 389×10^{-6} , 反应出古水体自下而上由碱性向酸性过渡, 锰与 R_o 负向相关; Sr/Ba 值由下部的 Sr/Ba > 1 演变到上部的 Sr/Ba < 1, 说明水体自下而上有一个逐渐淡化的过程。锶的分布与钙的分布非常相似, 锶含量与 R_o 呈负向相关。同时说明该层段水体盐度较大, 还原性较强, 不利于有机质的热演化进行, 不利于 R_o 的增加。钡是碱土金属, 与锶的化学性质十分相近, 与钙的化学性质也很相近, 该井段自下而上钡含量有增加的趋势, 表明水体逐渐淡化; 钡含量较低的层位对应镜质组反射率异常偏低的情况, 表明淡水环境有利于有机质的成熟及 R_o 的增加, 钡与 R_o 正向相关。王 35 井的分析同样可以发现, 钙的含量自下而上有所降低, 表明水体 pH 值有所减小, 钙含量较大的下部对应 R_o 受到抑制的层位, 表明偏酸性环境有利于有机质热演化的进行。钙、钡、锰、锶和硼自下而上含量有所降低, 在下段中镜质组反射率出现了明显的异常偏低现象, 反映出它们与 R_o 之间可能具有近似的负向相关性, 可以近似推断钙、锰、锶、硼和钡对有机质的热演化具有抑制作用 (图 10)。

以牛 38 井为例分析钾、钠、钙、镁、锂、铁、钴、

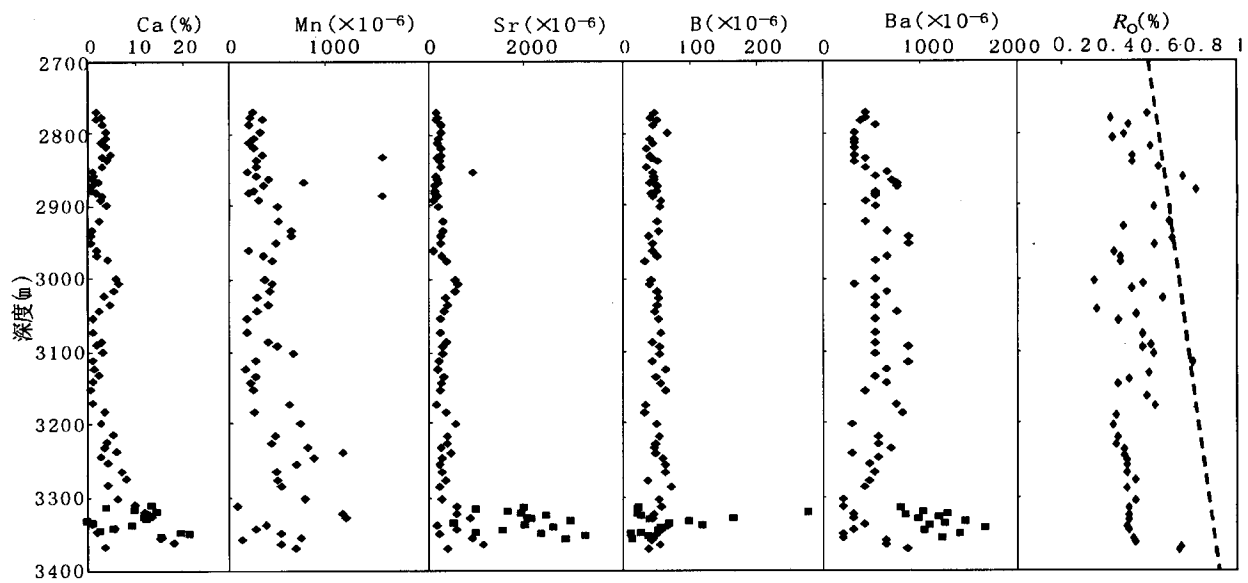


图 9 牛 38 井钙、锰、锶、硼、钡随深度变化及其与 R_o 的关系(虚线为镜质组反射率正常演化趋势)

Fig. 9 The contents of element Ca, Mn, Sr, B and Ba vs. depth in the well Niu-38 and their relationship with R_o .

(The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

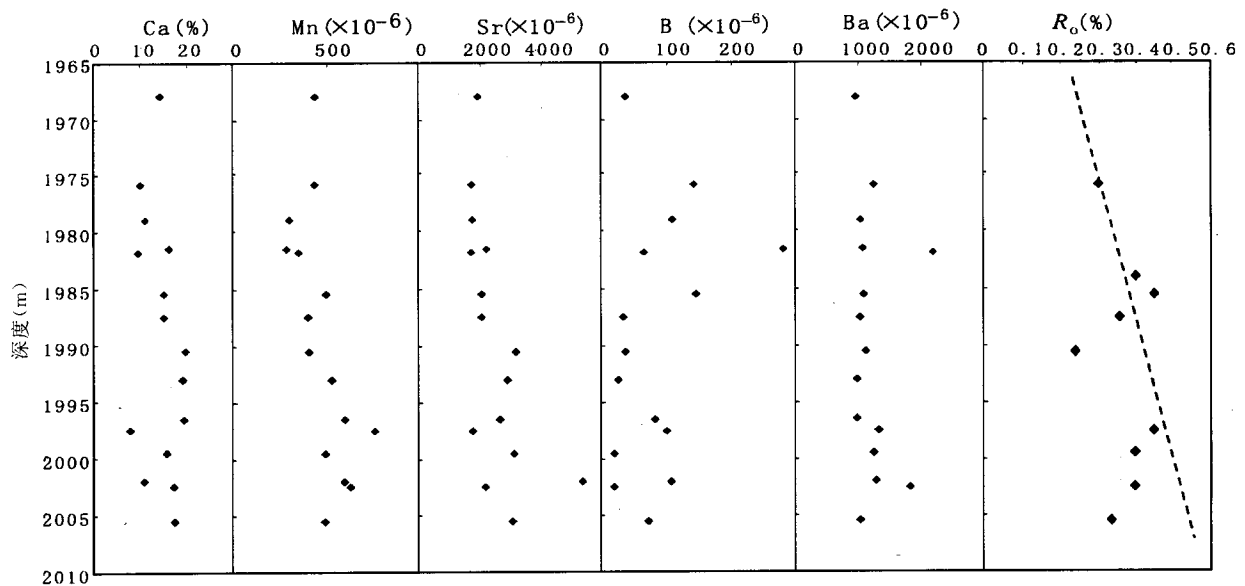


图 10 王 35 井钙、锰、锶、硼、钡元素含量随深度变化及其与 R_o 的关系(虚线为镜质组反射率正常演化趋势)

Fig. 10 The contents of element Ca, Mn, Sr, B and Ba vs. depth in the well Wang-35 and their relationship with R_o .

(The dashed line is the normal R_o evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

锌、镍、铷等元素与镜质组反射率的关系(图 9)。总体上,钙、锰、锶、硼与镜质组反射率呈负相关关系,它们含量偏高的层段于对应镜质组反射率受到抑制的层段,反映出它们抑制了镜质组反射率的增加。

酸性环境中,铁的还原作用增强,促使铁呈二价进入溶液中,在碱性溶液中铁的氧化作用增强,铁呈三价,从溶液中沉淀出来,氧化环境有利于铁的沉淀,还原环境有利于铁的迁移。研究层段的上部,铁

含量较高,中下部含量次之,下部含量低。这意味着沉积环境自下而上由湖盆中心向岸边迁移,环境氧化性增强。铁含量较低的层位对应镜质组反射率受到抑制的层位,初步表明铁与 R_o 正向对应相关(图 11)。镍的活性不受氧化还原条件的限制,但在缺氧条件下,常可形成镍的硫化物。在酸性环境中镍易于溶解,富含有机质的泥页岩中镍较富集,镍对酸碱度和 Eh 的敏感程度不如前几种元素。该井段的上

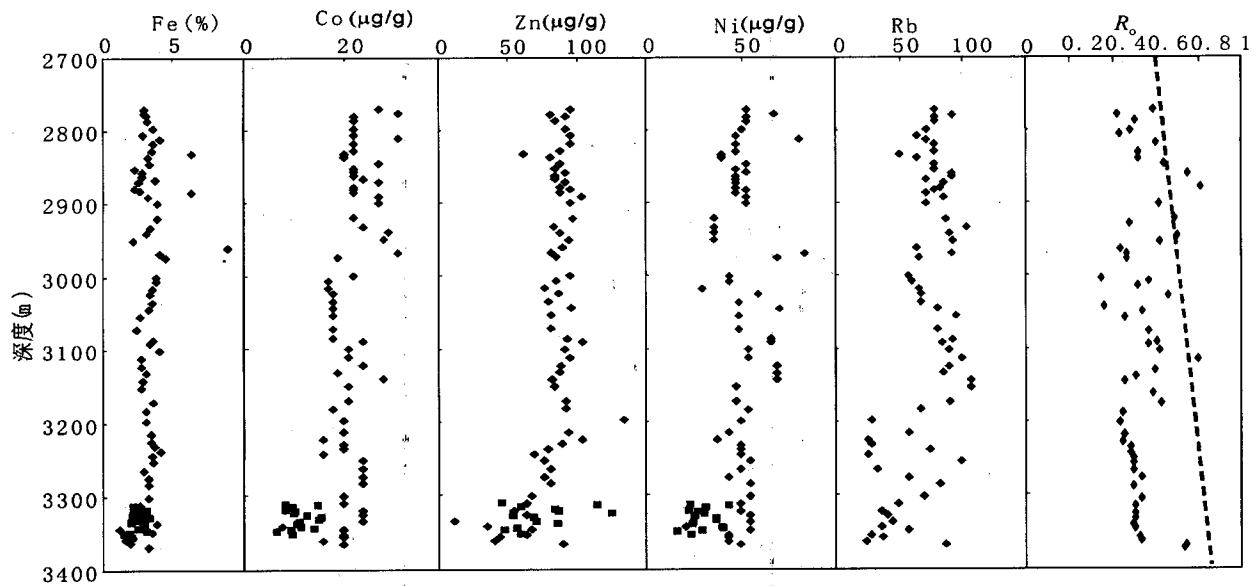


图 11 牛 38 井铁、钴、锌、镍、铷随深度变化及其与 R_0 的关系

(虚线为按照该区地温模拟的镜质组反射率正常演化趋势线)

Fig. 11 The contents of element Fe, Co, Zn, Ni and Rb vs. depth in the well Niu-38 and their relationship with R_0 .
(The dashed line is the normal R_0 evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

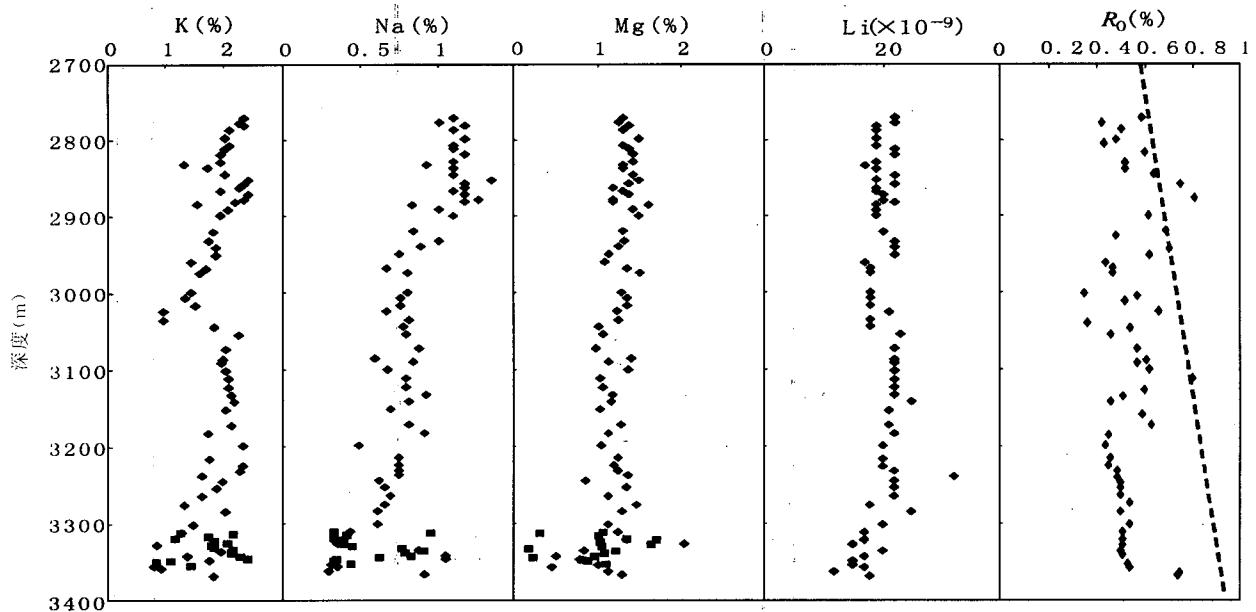


图 12 牛 38 井钾、钠、镁、锂随深度变化及其与 R_0 的关系(虚线为按照该区地温模拟的镜质组反射率正常演化趋势线)

Fig. 12 The contents of element K, Na, Mg and Li vs. depth in the well Niu-38 and their relationship with R_0 .

(The dashed line is the normal R_0 evolution obtained by the thermal gradient of the depression)

部镜质组反射率较高可能与该层段镍含量较高有正向对应关系(图 11)。也就是说从镜质组反射率与镍的含量分布可以初步证实镍等过渡金属元素催化了有机质的热演化。锌具有铜型离子的结构特点,为强烈的亲硫元素,具有一定的亲氧性,锌含量较低对应着镜质组反射率异常偏低的层位,可以初步说明锌对有机质热演化具有催化作用。钴具有亲铁和亲硫

性,但以亲硫性最强,当 pH 超过 5 时钴沉淀。研究井段自下而上钴含量有所增加,增加的幅度不大,钴含量较低的层位对应 R_0 受到抑制的层位,初步表明钴对镜质组反射率增加具有促进作用,钴的分布与 R_0 呈正向相关,这与 Mango 等(1994)的研究结果一样,钴催化了有机质的热演化。铷与锌具有相似的变化趋势(图 11)。因此,可以说铁、钡、钴、锌、镍、铷等

与镜质组反射率呈正向相关关系,它们含量偏低的层段对应于镜质组反射率受到抑制的层段,促进了有机质热演化的进行。

牛 38 井取心井段内钾、钠、镁、锂含量变化不大,与镜质组反射率没有明显的对应关系(图 12)。

4 结论和讨论

根据上述分析,有机质所处的物理和化学环境是决定其演化的关键因素。①异常压力并不是决定有机质镜质组反射率受到抑制的唯一原因,判别异常高压是否对有机质热演化起抑制作用必须与异常高压的演化历史相结合;②异常高温(岩浆作用和深部热液作用)是导致有机质镜质组反射率异常高的主要原因;③根据无机元素分析的结果,偏酸性、低盐度的流体介质有利于有机质镜质组反射率的增加;④钙、锰、锶、硼、钡、磷等元素对镜质组反射率的演化有抑制作用,铁、钴、锌、镍、铷等元素对有机质的热演化具有催化作用。

沉积盆地中的有机-无机相互作用系统中的有机质成熟演化是一个复杂的过程,有机质成熟演化受到抑制或催化往往是多种因素作用的结果。至于各种因素在抑制作用中各自的权重,则仍是一个有待今后进一步研究的问题。对于单一因素所起的作用,可以通过实验室模拟研究得到。但如果有多种因素的共同作用,则往往导致模拟试验的异常复杂。一般而言,在盆地的某一层系或某一区域,可能是某一种因素(如异常高压、有机质类型)占主导地位。然而,正如前所述,即使是目前所公认的异常高压的抑制作用也仅仅是一种现象的描述而已,在地质历史中异常高压对于有机质演化的抑制作用到底起多大的作用?在有机质演化的哪个阶段起作用?因此,要定量研究沉积盆地中每一种因素对有机质成熟演化起到抑制或催化作用时所占的比例,难度很大。目前,一般仅限于定性的分析。本研究从无机元素-流体和有机质作用的角度进行分析,对于更好地认识和评价有机质的成熟作用有重要的理论意义;同时,微量元素抑制或催化有机质成熟演化作用将改变常规认识上的液态烃门限深度范围,对于盆地油气的勘探有实际意义;而有机质成熟度指标是恢复盆地古地温最常用的参数,正确认识和获取古温标对于盆地分析中古热场的研究也可以获得更客观的结果。

参 考 文 献

- 陈红汉,董伟良,张树林,等. 2002. 流体包裹体在古压力研究中的应用. 石油与天然气地质, 23(3): 207~211.
- 范桃园,石耀霖,周炎如. 1999. 沉积盆地热演化过程中的岩浆作用. 中国科学院研究生院学报, 16(1): 63~68.
- 龚再升,李思田,谢泰俊,等. 1997. 南海北部大陆架边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社, 257~363.
- 郭绍辉,李术元,秦匡宗. 2000. 用钨离子催化法研究干酪根及其显微组分的化学结构. 石油大学学报, 24(3): 54~57.
- 侯增谦,艾永德,曲晓明,等. 1999. 岩浆流体对冲绳海槽海底成矿热水系统的可能贡献. 地质学报, 73(1): 57~65.
- 姜峰,杜建国,王万春,等. 1998. 高温高压模拟实验研究: I. 温压条件对有机质成熟作用的影响. 沉积学报, 16(3): 153~155.
- 金强. 1998. 裂谷盆地生油层中火山岩及其矿物与有机质的相互作用——油气生成的催化和加氢作用研究进展及展望. 地球科学进展, 13(6): 542~546.
- 金强,翟庆龙. 2003. 裂谷盆地的火山热液活动和油气生成. 地质科学, 38(3): 413~424.
- 雷怀彦,师育新,关平,等. 1997. 铝硅酸盐粘土矿物对形成过渡带气的催化作用研究. 中国科学(D 辑), 27(1): 39~44.
- 李纯泉,陈红汉,张树林. 2002. 琼东南盆地压力场及其演化特征. 新疆石油地质, 23(5): 389~391.
- 李术元,郭绍辉,刘宗玉. 1999. 盐介质中煤的早期热解生烃特征和动力学. 石油大学学报, 23(2): 71~74.
- 李术元,林世静,郭绍辉,等. 2002. 无机盐类对干酪根生烃过程的影响. 地球化学, 31(1): 15~20.
- 刘晓燕. 1995. 粘土矿物对有机质演化的影响. 天然气地球科学, 6(3): 23~26.
- 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等. 2003. 利用储层流体包裹体的 PVT 特征模拟计算天然气藏形成古压力——以鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏为例. 中国科学(D), 33(7): 679~685.
- 宁占武,王卫华,温美娟,等. 2004. 过渡金属对有机质热解生烃过程的影响. 天然气地球科学, 15(3): 317~319.
- 秦建中,刘井旺,刘宝泉,等. 2002. 加温时间、加水量对模拟实验油气产率及地化参数的影响. 石油实验地质, 24(2): 152~157.
- 邱楠生,胡圣标,何丽娟. 2004. 沉积盆地热体制研究的理论和应用. 北京: 石油工业出版社, 133~150.
- 张健,石耀霖. 1997. 沉积盆地岩浆侵入的热模拟. 地球物理学进展, 12(3): 55~64.
- 赵师庆,王飞宇. 1990. 镜质体的抑制效应及富氢镜质体的形成模式. 淮南矿业学院学报, 10(3): 1~11.
- 朱扬明,周中毅. 1991. 矿物质对有机质演化影响的研究. 地球化学, 20(3): 306~311.
- Aplin A C, Larter S R, Bigge M A, et al. 2000. PVTX history of the North Sea's Judy oilfield. In: Pueyo J J, Cardellach E, Bitzer K, et al., ed. Proceedings of geofluids III. Journal of Geochemical Exploration, 69/70: 641~644.
- Carr A D. 2000. Suppression and retardation of vitrinite reflectance. Part 1. Formation and significance for hydrocarbon generation. J. Petrol. Geol., 23(3): 313~343.
- Chen H H, Dong W L, Zhang S L, et al. 2002. Application of fluid inclusion in palaeopressure modeling research. Oil and Gas Geology, 23(3): 207~211 (in Chinese with English abstract).
- Dalla T M, Mahlmann R E, Ernst W G. 1997. Experimental study on the pressure dependence of vitrinite maturation. Geochimica et Cosmochimica Acta, 61: 2921~2928.
- Domine F, Enguehard F. 1992. Kinetics of hexane pyrolysis at very high pressure. 3— Application to geochemical modeling. Org. Geochem., 18: 41~49.
- Fan T Y, Shi Y L, Zhou Y R. 1999. Effect of magma intrusion on

- the thermal evolution in a sedimentary basins. J. of Graduate School, Academ in Sinica, 16(1): 63~68 (in Chinese with English abstract).
- Gentzis T, Goodarzi F. 1994. Reflectance suppression in some Cretaceous coals from Alberta, Canada. In: Mukhopadhyay P K, Dow W G, eds. Vitrinite reflectance as a maturity parameter: applications and limitations. Amer. Chem. Soc., Symposium Series, 570: 93~112.
- Gong Z S, Li S T, Xie T J, et al. 1997. Dynamic research of oil and gas accumulation in Northern Marginal basins of South China Sea. Beijing: Science Press, 257~363 (in Chinese with English abstract).
- Goodarzi F, Snowdon L, Gentzis T, et al. 1994. Petrological and chemical characteristics of liptinite-rich coals from Alberta, Canada. Marine and Petroleum Geology, 11:307~319.
- Guo S H, Li S Y, Qin K Z. 2000. Mixed solvent extraction of immature sources and its geochemical significance. J. of the University of Petroleum, China, 24(3):54~57 (in Chinese with English abstract).
- Hao F, Sun Y C, Li S T, et al. 1995. Overpressure retardation of organic-matter maturation and hydrocarbon generation: A case study from the Yinggehai and Qiongdongnan basins, offshore South China Sea. AAPG, 79:551~562.
- Hao F, Li S, Dong W, et al. 1998. Abnormal organic matter maturation in the Yinggehai Basin, South China Sea: Implications for hydrocarbon expulsion and fluid migration from overpressure systems. J. Petrol. Geol., 21: 427~444.
- Hetenyi M. 1995. Simulated thermal maturation of type I and type II kerogens in the presence and absence of calcite and montmorillonite. Org. Geochem., 23(2):121~127.
- Hou Z Q, Ai Y D, Qu X M, et al. 1999. Possible contribution of magmatic fluids to seafloor ore-forming hydrothermal system in the Okinawa Trough. Acta Geologica Sinica, 73(1): 57~65 (in Chinese with English abstract).
- Huntton A C, Cook A C. 1980. Influence of alginate on reflectance of vitrinite from Joadja NSW, and some other coals and oil shales containing alginate. Fuel, 59(10): 711~714.
- Jiang F, Du J G, Wang W C, et al. 1998. The deduction of sedimentary environments using grey cluster Analysis. Acta Sedimentologica Sinica, 16(3): 153~155 (in Chinese with English abstract).
- Jin Q. 1998. Hydrocarbon generation in rift basins, eastern China: catalysis and hydrogenation — interaction between volcanic minerals and organic matter. Advances in Earth Science, 13(6): 542~546 (in Chinese with English abstract).
- Jin Q, Zhai Q L. 2003. Volcanic and thermal water activities and hydrocarbon generations in the rift basins, eastern China. Chinese J. of Geology, 38(3): 413~424 (in Chinese with English abstract).
- Khorasani G K, Michelsen J K. 1994. The effects of overpressure, lithology, chemistry and heating rate on vitrinite reflectance evolution and its relationship with oil generation. APEA J., 34: 418~435.
- Lei H Y, Shi Y X, Guan P, et al. 1997. The study on the catalysis of clay minerals of aluminite-silicate to transitional gas generation. Science in China (series D), 27(1): 39~44 (in Chinese).
- Li C Q, Chen H H, Zhang S L. 2002. Pressure field and its evolutionary characteristics in Qiongdongnan basin. Xinjiang Petroleum Geology, 23(5): 389~391 (in Chinese with English abstract).
- Li S, Guo S H, Tan X F. 1998. Characteristics and kinetics of catalytic degradation of immature kerogen in presence of mineral and salt. Organ. Geochem., 29(5~7): 1431~1440.
- Li S Y, Guo S H, Liu Z Y. 1999. Characteristics of hydrocarbon generation from hydrous pyrolysis of Fanzhi lignite. J. of the University of Petroleum, China, 23(2): 71~74 (in Chinese with English abstract).
- Li S Y, Lin S J, Guo S H, et al. 2002. Effects of inorganic salts on the hydrocarbon generation from kerogens. Geochimica, 31(1): 15~20 (in Chinese with English abstract).
- Liu X Y. 1995. The clay minerals' effect on the organic matter evolution. Natural Gas Geoscience, 6(3): 23~26 (in Chinese with English abstract).
- Mango F D, Hightower J W, Alan T J. 1994. Role of transition metal catalysis in the generation of natural gas. Nature, 368(7):536~538.
- Mello U T, Karner G J, Anderson R N. 1995. Role of salt in restraining the maturation of subsalt source rocks. Marine and Petroleum Geology, 12(7):697~16.
- Mello T U, Karner G D. 1996. Development of sedimentary overpressure and its effect on thermal maturation: application to the Gulf of Mexico basin. AAPG, 80(9):1367~1396.
- McTavish R A. 1998. The role of overpressure in the retardation of organic matter maturation. J. of Petroleum Geology, 21(2):153~186.
- Mi J K, Xiao X M, Liu D H, et al. 2003. Determination of paleopressure for a natural gas pool formation based on PVT characteristics of fluid inclusions in reservoir rocks— A case study of Upper Paleozoic deep basin gas trap of the Ordos basin. Science in China (series D), 33(7):679~685 (in Chinese).
- Ning Z W, Wang W H, Wen M J, et al. 2004. Catalytic effects of transitional metals on the generation of hydrocarbon in organic matter. Natural Gas Geoscience, 15(3): 317~319 (in Chinese with English abstract).
- Petersen H I, Rosenberg P. 1998. Reflectance retardation and source rock properties related to hydrocarbon-enrich vitrinite in Middle Jurassic coals, Danish North Sea. J. Petrol. Geol., 21(3):247~263.
- Petersen K, Lerche I. 1994. Thermal anomalies in sedimentary near evolving salt structure; important for modeling timing of oil generation. AAPG, 78:1473~1482.
- Price L C, Wenger L M. 1992. The influence of pressure on petroleum generation as suggested by aqueous pyrolysis. Org. Geochem., 19:141~159.
- Qin J Z, Liu J W, Liu B Q, et al. 2002. Hydrocarbon yield and geochemical parameters affected by heating time and added water amount in the simulation test. Petroleum Geology and Experiment, 24(2): 152~157 (in Chinese with English abstract).
- Qiu N S, Hu S B, He L J. 2004. Theories of thermal regime of sedimentary basins and its application. Beijing: Petroleum Industry Press, 133~150 (in Chinese with English abstract).
- Roedder E, Bodnor R J. 1980. Geological pressure determining from fluid inclusion studies. Annual Review of Earth Planetary Science, 8:263~301.
- Seewald J S, Eglington L B, Ong Y L. 2000. An experimental study

- of organic-inorganic interactions during vitrinite maturation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64:1577~1591.
- Seewald J S. 2001. Aqueous geochemistry of low molecular weight hydrocarbons at elevated temperatures and pressures: constraints from mineral buffered laboratory experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(10):1641~1644.
- Seewald J S. 2003. Organic-inorganic interaction in petroleum-producing sedimentary basins. *Nature*, 426: 327~333.
- Waples D W, Ramily M, Leslie W. 1995. Implications of vitrinite-reflectance suppression for the tectonic and thermal history of the Malay Basin. *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, 37:269~284.
- Zhang J, Shi Y L. 1997. The thermal modeling of magma intrusion in sedimentary basins. *Progress in Geophysics*, 12(3):55~64 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Shiqing, Wang Feiyu. 1990. The retardation effect of vitrinite and the formation model of hydro-rich vitrinite. *J. of the Huainan Mining Institute*, 10(3): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Zhu M Y, Zhou Z Y. 1991. An approach to the effects of mineral matrix on the evolution of organic matter. *Geochimica*, 20(3): 306~311 (in Chinese with English abstract).

Study on the Physical and Chemical Environments of Abnormal Vitrinite Reflectance Evolution in the Sedimentary Basins

QIU Nansheng^{1,2)}, WANG Weixiao³⁾, XIE Mingjiu^{1,2)}

1) *Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing, 102249*

2) *Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing, 102249*

3) *The 1st Prospecting Team, Anhui Coalfield Geological Bureau, Huainan, Anhui, 232052*

Abstract

Based on the tested data of pressure and vitrinite reflectance of some wells in sedimentary basin, the abnormal high pressure is not the only factor to retard the increase of vitrinite reflectance (R_o). Besides the types of the organic matter, the physical environment (temperature and pressure) and chemical environment (fluid composition and inorganic elements) will result in the abnormal vitrinite reflectance values in the sedimentary basins. This paper tested trace elements and vitrinite reflectance data from the abnormal high pressure and normal pressure strata profiles respectively, and the contents of some kinds of trace elements in the mudstone are related well with the vitrinite reflectance values. The acidic and lower salinity strata is favorable to the increase of R_o . The typical trace elements, which may suppress and/or catalyze the vitrinite reflectance of organic matter, are determined qualitatively in this research work. The elements of Ca, Mn, Sr, B, Ba and P may result in the retardation of R_o . However, elements of Fe, Co, Zn, Ni and Rb may catalyze the organic matter maturation. This study will benefit the organic maturation correction, oil and gas assessment and thermal history reconstruction by the paleothermometry.

Key words: vitrinite reflectance; trace element; retardation/catalysis; abnormal pressure