

含油气盆地中流体向固体转化的研究

罗文琴¹, 张金功¹, 吴小宁², 高浩锋¹, 雷宇¹

(1. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西西安 710069;

2. 中国石油长庆油田分公司苏里格气田研究中心, 陕西西安 710018)

摘要:含油气盆地中流体向固体转化是储层孔隙被充填的主要原因, 前人在此方面进行了大量的研究, 主要集中在单一组分浓度变化引起的流体向固体转化、两种或多种组分浓度控制的流体向固体转化和流体运移过程中组分分异引起的流体向固体转化等三个方面。存在的问题是, 在具体的含油气盆地中, 各种流体向固体转化的作用是如何表现的, 对储层、烃源岩的孔隙填充影响有多大。

关键词:含油气盆地; 流体; 流体向固体转化

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5285(2011)04-0001-04

Study on transformation of fluids to solids in petroliferous basins

LUO Wenqin¹, ZHANG Jingong¹, WU Xiaoning², GAO Haofeng¹, LEI Yu¹

(1. Northwest University, Xi'an Shanxi 710069, China; 2. Sulige Gasfield Research Center of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an Shanxi 710018, China)

Abstract: Transformation of fluids to solids in petroliferous basins is the preliminary factor leading to infilling of sediment pores. Previous investigation has been focused on three aspects: (1) Transformation of fluids to solids resulted from the change of concentration of a single component. (2) Transformation of fluids to solids due to the change of concentration of two/or multiple components. (3) Transformation of fluids to solids during differentiated deposition. Our study suggests that more scientific attention is imperative to pay on further investigation on how transformation of fluids to solids represents and influences sediment porosity in a certain petroliferous basin.

Key words: petroliferous basin; fluids; transformation of fluids to solids

* 收稿日期: 2011-03-21

基金项目: 中国石化股份有限公司重大项目“盆地升降过程油气富集机理与富集模式”, 项目编号: P06086;

国家重大专项“鄂尔多斯盆地上古生界岩性气藏成藏模拟实验”(成果之一), 项目编号: 2008ZX05007-005。

作者简介: 罗文琴, 女(1986-), 西北大学地质学系, 固体地球物理专业 2008 级硕士研究生, 研究方向为油气成藏机理。

含油气盆地中流体向固体转化是储层孔隙被充填的主要原因,前人在此方面进行了大量的研究,主要集中在单一组分浓度变化引起的流体向固体转化、两种或多种组分浓度控制的流体向固体转化和流体运移过程中组分分异引起的流体向固体转化等三个方面的研究。本文对这些研究进行了分析,并提出了流体向固体转化研究中存在的问题。

1 单一组分浓度变化引起的流体向固体转化研究

含油气盆地中由流体中的单一组分浓度变化控制其沉淀的矿物主要为石英。研究表明石英的溶解度控制着砂岩中二氧化硅含量的变化。因此,石英的沉淀主要受控于地下水中二氧化硅的浓度^[1]。

石英在水中的平衡溶解度随温度的升高增加的十分缓慢,而随压力的升高有显著的增加,所以通常情况下石英的平衡溶解度随深度的增加而增加。在浅部几百米的深度范围内,由于地下水的垂直循环,地表水带入的二氧化硅足以使石英胶结。在大于几百米的深度范围,石英在地下水中的平衡溶解度增高到几十 mg/L 甚至更高,需要另外来源的二氧化硅才能沉淀。一般情况下,在深部溶解二氧化硅的来源有两个,一个是石英的压溶作用,另一个是粘土矿物的转化作用^[1]。

有机酸是影响石英在水中平衡溶解度的另一个重要因素。Bennett 等(1987)^[2]提出有机酸的络合作用使石英在水中的平衡溶解度增加,并报道了在被原油污染的浅层地下水中石英的平衡溶解度增加。

在地层中,石英的沉淀往往还与颗粒支撑方式、石英碎屑颗粒的含量、原生孔隙度、原生孔隙大小以及碎屑薄膜胶结物等有关。前人总结了有利于石英生长的条件为:中性至弱碱性的卤水、65~130 °C 的地温、少包裹物的石英碎屑颗粒和良好的流体流动条件等^[3]。

2 两种或多种组分浓度控制的流体向固体转化研究

由两种或多种组分浓度控制的流体向固体转化的矿物主要为碳酸盐矿物、硫酸盐矿物、沸石类矿物和自生粘土矿物等。

2.1 碳酸盐矿物

含油气盆地中自生碳酸盐矿物主要为方解石、铁方解石、白云石、铁白云石和钠铝石等,它们能以不

同的产状单独或同时出现在砂岩中。

一般情况下,流体的 pH 值以及 Ca^{2+} 、 H_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 CO_2 等的浓度控制碳酸盐矿物稳定性^[4]。随着 P_{CO_2} 的增加,碳酸盐的溶解度增加。当温度升高时,由于 P_{CO_2} 降低,所以碳酸钙的溶解度也降低,碳酸钙沉淀,纪友亮等(1995)^[5]以东濮凹陷为例对此进行了深入研究。二氧化碳与水、铝离子、钠离子反应生成碳钠铝石,其形成条件包括 P_{CO_2} 、温度、pH 值^[6], CO_2 的分压愈高对碳钠铝石形成愈有利^[7]。

有机酸可以作为一种外部缓冲剂参与并控制碳酸盐矿物的溶解平衡反应。在温度 80~120 °C 时,有机酸浓度达到最高值,有机酸阴离子控制着碱度,碳酸根系统由外部缓冲,碳酸盐发生溶解而不是沉淀^[8]。

自生碳酸盐矿物的矿物来源主要为大气水、海水或湖水中的蒸发沉淀、深部灰岩压溶作用、干酪根释放出的羧酸溶解地层中的碳酸盐、蒙脱石向伊利石转化以及长石、暗色矿物的溶解等^[9-13]。

2.2 硫酸盐矿物

沉积地层中的硫酸盐矿物主要为石膏。石膏的沉淀主要由 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 的浓度决定。当温度升高时,石膏的平衡溶解度下降,利于石膏晶体的析出。另外流体中的其他可溶盐离子、配合物等的浓度也是影响石膏溶解度的因素^[14]。

石膏沉淀的物质来源包括 Ca^{2+} 和硫酸根离子的来源。 Ca^{2+} 的来源有地表水、粘土矿物释放、白云石化作用、生物骨架等。硫酸根离子来源有火山碎屑、火山喷发二氧化硫、硫化物热液等^[14]。

2.3 沸石类矿物

含油气盆地中常见的沸石类矿物有浊沸石、方沸石、片沸石、斜方沸石、丝光沸石等。

$P_{\text{H}_2\text{O}}$ 、二氧化硅活性、 P_{CO_2} 以及流体离子组分特征是影响沸石类矿物平衡反应温度的主要因素。沸石类矿物平衡反应温度随 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 降低而降低,在不同渗透率的岩石中,由于 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 值不同,会导致明显的矿物带重叠现象^[15]。在新西兰的塔林加士拉,胶结致密的非渗透层中可见片沸石在浊沸石带中良好保存,而在渗透较好的岩石中片沸石在较浅的深度就消失了。研究表明浊沸石的稳定存在要求流体 P_{CO_2} 不宜太高,而且流体 CO_2 压力梯度应小于 0.0075^[16]。Green Wood(1961)^[17]已证明方沸石的稳定性受流体中可溶盐的浓度影响,其影响原因是由于可溶盐的存在降低了水的活性,从而影响了方沸石和水的平衡反应温度。二氧化硅的活度将影响涉及二氧化硅的沸石反应,例如玻璃质二氧化硅活度与

α 石英活度不同可以影响沸石类反映的平衡温度^[15]。

前人从各个角度研究了浊沸石的形成温度^[18-22]。浊沸石形成的稳定温度范围很宽,流体成分对其形成的影响更重要。杨晓萍等(2006)^[22]认为沉积物源和沉积微相是浊沸石形成的主要控制因素。

自生沸石矿物的物质来源主要有两种方式:一是火山碎屑岩蚀变,二是斜长石的钠长石化作用^[23-26]。柳益群等(1996)^[27]提出,除这两种主要物质来源外,蒙脱石在向伊利石、绿泥石转化作用过程中可能提供了部分钙离子。

2.4 自生粘土矿物

含油气盆地中常见的自生粘土矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石、伊/蒙混层和绿/蒙混层等。

自生高岭石可以由循环孔隙水中的二氧化硅和铝离子直接析出,也可以由火山玻璃或长石蚀变产生。自生伊利石可以由蒙脱石或高岭石在孔隙水或钾长石等富钾矿物溶解提供钾离子情况下形成^[28]。蒙皂石则主要由火山玻璃提供物质来源,同时高岭石在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 离子存在时可转化成蒙皂石。绿泥石可以由蒙皂石在碱性、富含 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 的条件下转变形成,也可能是高岭石在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 存在时转化形成。

伊利石的形成需要两种重要的物质,一种是钾离子,另一种是铝离子。在温度低于 100 °C 时,钾离子的供应一般充足,但由于缺乏铝离子而少见伊利石沉淀。当温度在 100~140 °C 时,蒙脱石和高岭石等变的不稳定,保证了铝离子的供应,这时,钾离子的浓度成为制约伊利石形成的重要因素。高岭石在更高温度下的稳定,通常与地层中缺乏钾长石有关^[29]。

赵杏媛等(1995)^[28]把粘土矿物的纵向分布划分了六种基本模式,并分析了各种类型的主要影响因素,包括流体性质、古气候条件、物源以及古地温梯度。

地温梯度对自生粘土矿物的控制作用表现在,同一种类型粘土矿物转化在地温梯度高的区域出现的深度小于在低温梯度低的区域。

王行信(1998)^[30]认为物源、古气候、流体性质和地温梯度都受盆地构造背景和构造发育史控制,因而讨论盆地构造背景和构造发育史,对粘土矿物的组成和分布具有重要意义。

3 流体运移过程中组分分异引起的流体向固体的转化研究

流体运移过程中组分分异引起的流体向固体转化的典型产物是固体沥青。

地层中的固体沥青一般有以下成因:热蚀变作用、氧化作用、水洗作用、生物降解和运移分异作用等。其中运移分异作用是指油气在运移聚集过程中经历了地质色层效应、运移分流作用和溶解作用等,是形成固体沥青的重要方式之一^[31]。

4 存在问题

综上所述,流体中单一组分浓度变化、两种或多种组分浓度变化以及流体运移过程中的组分分异都能引起流体向固体的转化。然而,各种流体向固体转化的作用在具体的含油气盆地中是如何表现的,对储层、烃源岩孔隙被填充的贡献有多大是需要进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] Blatt H. Diagenetic Processes in Sandstone [A]. 西北大学地质系编译. 碎屑岩的成岩作用 [C]. 西安: 西北大学出版社, 1986: 15-29.
- [2] Bennett, P., Siegel, D.I. 有机化合物的络合作用使石英在水中的溶解度增加 [A]. 梅博文. 储层地球化学 [C]. 西安: 西北大学出版社, 1992: 15-29.
- [3] 于均民, 周晓峰, 刘立. 砂岩中石英胶结物的成因及研究意义 [J]. 世界地质, 2000, 19(1): 20-25.
- [4] Surdam R C, Crossey L J, et al. 1989. Organic-inorganic and sandstone diagenesis [J]. AAPG Bulletin, 73: 1-23.
- [5] 纪友亮, 赵澄林, 刘孟慧. 东濮凹陷地层流体的热循环对流与成岩圈闭的形成 [J]. 石油实验地质, 1995, (1): 8-16.
- [6] 曲希玉. CO_2 流体—砂岩相互作用的实验研究及其在 CO_2 气储层中的应用 [D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [7] 徐衍彬, 陈平, 徐永成. 海拉尔盆地碳钠铝石分布与油气的关系 [J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(4): 322-327.
- [8] Carothers w.w., Kharaka Y.K. Aliphatic acid anions in oil-field waters—implications for origin of naturagas [J]. AAPG Bulletin, 62: 2005-2010.
- [9] 孙致学, 孙治雷, 鲁洪江, 等. 砂岩储集层中碳酸盐胶结特征—以鄂尔多斯盆地中南部延长组为例 [J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 543-551.
- [10] 杨晓勇, 罗贤冬, 凌明星. 鄂尔多斯盆地含铀砂岩碳酸盐胶结物 C-O 同位素研究及地质意义 [J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(8): 979-985.
- [11] 王琪, 褚喜准, 陈国俊, 等. 延长组砂岩中碳酸盐胶结物碳氧同位素组成特征 [J]. 天然气工业, 2007, 27(10): 28-32.
- [12] 刘昊年. 新场地区须家河组砂岩中碳酸盐胶结物研究 [D]. 成都: 成都理工大学硕士论文, 2009.
- [13] 张敏强, 黄思静, 吴志轩, 等. 东海盆地丽水凹陷古近系储

(下转第7页)

- [5] 贺玉龙,杨立中.温度和有效应力对砂岩渗透性影响的试验研究[J].煤田地质与勘探,2004,31(2):37-39.
- [6] 张厚福.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1999.
- [7] 孙志刚.低渗透砂岩储积层启动压力及水驱油效率影响因素实验研究[J].西部探矿工程,2000,18(5):51-52.
- [8] 熊伟,高树生,高慧君,等.层间非均质油藏物理模拟结果在流动单元划分中的应用[J].大庆石油地质与开发,2005,24(2):35-37.
- [9] 胡志明,把智波,熊伟,等.低渗透油藏微观孔隙结构分析[J].大庆石油学院学报,2006,29(3):55-57.
- [10] 付静,周晓君,孙宝江,等.低渗透缝性油藏渗透率的影响因素研究[J].石油钻采工艺,2008,30(2):75-77.
- [11] 伏万军.粘土矿物成因及对砂岩储集性能的影响[J].古地理学报,2000,10(3):64-73.
- [12] 曾大乾,李淑贞.中国低渗透砂岩储层类型及地质特征[J].石油学报.1994.15(1):38-46.
- [13] 陈佩珍.储层非均匀渗透率与细分沉积相带[J].江汉石油学院学报,1992,24(2):45-50.
- [14] HERMAN H,RIEKE I,GEORGE V. 泥质沉积物的压实[M].北京:地质出版社,1984.
- [15] 张林晔,刘庆,张春荣.东营凹陷成烃与成藏关系研究[M].地质出版社.2005.
- [16] 张金功.泥岩裂缝油气藏形成的动力学机制[G].西北大学.2000.8.
- [17] 李捷,王海云.松辽盆地古龙凹陷青山口组泥岩异常高压与裂缝的关系[J].长春地质学院学报,1996.(2):138-145.
- [18] 程瑞端,陈海焱,鲜学福,等.温度对煤样渗透系数影响的实验研究[J].煤炭工程师,1998,25(1):13-16.
- [19] 杨胜来,崔飞飞,杨思松,等.煤层气渗流特征实验研究[J].中国煤层气,2005.11(1):36-39.
- [20] 张广洋,胡耀华,姜德义,等.煤的渗透性实验研究[J].贵州工学院学报,1995.24(4):65-68.
- [21] 刘大猛,姚艳斌,蔡益栋,等.华北石炭-二叠系煤的孔渗特征及主控因素[J].现代地质,2010,(6):1200-1203.
- [22] 罗新荣.煤岩渗透率测定仪[J].煤炭工程师,1998.26(6):4-6.
- [23] 周军平,鲜学福,李晓红,等.吸附不同气体对煤岩渗透特性的影响[J].岩石力学与工程学报,2010,28(11):101-107.
- ① 张金功. 东濮凹陷濮深4井下第三系沙河街组三段成岩作用.1987.6.

(上接第3页)

- 层砂岩中碳酸盐胶结物及形成机制[J].成都理工大学学报,2007,34(3):259-266.
- [14] 陈果.川东北飞仙关组石膏成因和分布与储层发育的关系[D].成都:西南石油学院,2005.
- [15] Ghent E. D. Problems in zeolite facies geothermometry, geobarometry, and fluid compositions[A].In Scholle P. A, and Schluger P.R.Aspects of Diagenesis [C],Spec.SEMP, 26:81-87.
- [16] Mahon W. A. J, James B. Finlayson The chemistry of the Broadlands geothermal area, New Zealand [J].American Journal of Science, 1972,272(1):48-68.
- [17] Greenwood H.J.The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{H}_2\text{O} - \text{argon}$; total pressure and water pressure in metamorphism[J].Journal of Geophysical Research, 1961,66(11):3923-3946.
- [18] 应凤祥.我国陆生碎屑岩中的自生矿物[A].石宝珩.中国油气储层研究论文集[C].北京:石油工业出版社,1993: 1-30.
- [19] 王成,邵雪梅,等.松辽盆地北部深层碎屑岩浊沸石成因、演化与油气藏关系的研究 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004,23(3):213-218.
- [20] 柳益群.关于成岩作用与变质作用界线的讨论—从沸石相谈起[J].地质论评,1996b,42(3):215-223.
- [21] 黄思静,刘洁,沈立成,等.碎屑岩成岩过程中浊沸石形成条件的热力学解释[J].地质论评,2001,47(3):1-308.
- [22] 杨晓萍,张宝民,雷震宇,等.含油气盆地中浊沸石的形成与分布及其对油气勘探的意义[J].石油地质,2006,(2): 33-38.
- [23] 朱国华.陕甘宁盆地西南部上三叠系延长统低渗透砂体和次生孔隙砂体的形成[J].沉积学报,1985,3(2):1-16.
- [24] 杨晓萍,袁悛楠.鄂尔多斯盆地上三叠统浊沸石的形成机理、分布规律与油气关系[J].沉积学报,2002, 20(4):628-632.
- [25] 陈亦寒,刘大猛,魏喜,等.海外河油田东营组自生沸石的发现成因及其地质意义[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(4):54-56.
- [26] 白清华,柳益群,樊婷婷.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组浊沸石分布及其成因分析[J].西北地质,2009,42(2): 100-107.
- [27] 柳益群,李文厚.陕甘宁盆地东部上三叠统含油长石砂岩的成岩特点及孔隙演化[J].沉积学报,1996,14(3):87-95.
- [28] 赵杏媛,王行信,张有瑜,等.中国含油气盆地粘土矿物[M].中国地质大学出版社,36-40.
- [29] Knunt Bjørlykke, Per Aagaard, Per K.Egeberg, et al.从北海与(墨西哥)海湾沿岸盆地地层水分析论储集岩中石英、长石和伊利石沉淀作用的地球化学制约因素[A].王铁冠.油藏地球化学[C].北京:石油工业出版社,1997: 42-61.
- [30] 王行信.盆地形成演化对粘土矿物组成和分布的影响[J].中国海上油气(地质),1998,12(3):154-158.
- [31] 钟宁宁,张枝焕.石油地球化学进展[M].北京:石油工业出版社,1998: 44-63.