

文章编号: 0253-9985(2009)01-0047-06

火山岩中脱玻化孔及其对储层的贡献

赵海玲^{1,2,3}, 黄微^{3,4}, 王成^{3,4}, 狄永军^{1,2,3}, 齐井顺^{3,4}, 肖勇³, 刘杰⁴

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学 岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083;

3. 中国地质大学, 北京 100083; 4. 中国石油天然气股份有限公司 大庆油田有限责任公司
石油勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 岩相学研究表明火山岩中玻璃的脱玻化作用可以产生相当数量的微孔隙, 所观察到的微孔隙为脱玻化孔和脱玻化形成的矿物与流体之间相互作用产生的孔隙之和, 统称为脱玻化孔。球粒流纹岩、熔结凝灰岩中脱玻化孔是仅次于气孔的第二大孔隙类型, 球粒流纹岩和熔结凝灰岩中脱玻化孔分别占相应岩石中所有类型孔隙的 20%, 30% 左右。脱玻化孔是凝灰岩的主要孔隙类型, 占凝灰岩中所有类型孔隙的 70% 左右。运用火山玻璃脱玻化作用的物理过程及质量平衡的原理和方法, 可估算球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩中流纹质玻璃脱玻化作用产生的孔隙。运用流体-岩石相互作用的热力学原理和方法计算出长石溶蚀至少可以产生 $20 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 的孔隙。

关键词: 球粒流纹岩; 熔结凝灰岩; 凝灰岩; 脱玻化; 微孔隙; 火山岩

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

Micropores from devitrification in volcanic rocks and their contribution to reservoirs

Zhao Hailing^{1,2,3}, Huang Wei^{3,4}, Wang Cheng^{3,4}, Di Yongjun^{1,2,3}, Qi Jingshun^{3,4}, Xiao Yong³, Liu Jie⁴

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Litho-probing Technology, Ministry of Education, China University of Geosciences,
Beijing 100083, China; 3. School of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Limited Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Petrography studies show that devitrification in volcanic rocks can produce a considerable number of micropores. The micropores observed in volcanic rocks are a complex of micropores from devitrification and that from interaction of minerals with fluids. In pyromerides and ignimbrites, micropores from devitrification are the second largest pore type after the vesicle, accounting for 20% and 30% of the total of all pore types in pyromerides and ignimbrites respectively. While in tuff, they are the predominant pore type and account for about 70% of the total pore spaces. The principles and methods of mass balance and the physical processes of devitrification can be used to estimate the micropores generated by devitrification of glass in pyromeride, ignimbrite and tuff. Calculation with the thermodynamical theories and methods of fluid-rock interaction shows that feldspar dissolution at least can produce pores of $20 \text{ cm}^3/\text{mol}$.

Key words: pyromeride; ignimbrite; tuff; devitrification; micropore; volcanics

目前由于世界性的能源紧缺以及能源需求的日益增长, 在火山岩发育区开展了大量油气勘探工作, 并获大量油气, 发现火山岩储层已成为石油与

天然气勘探开发的重要领域^[1~14]。火山岩储层具有巨大的油气潜力, 已引起了石油地质学家的关注。火山岩具有独特的储集性能, 在喷发、喷溢、

收稿日期: 2008-10-18。

第一作者简介: 赵海玲(1946—), 女, 教授、博士生导师, 矿物学、岩石学、矿床学。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40672088)。

冷凝、结晶和构造运动等因素的影响下,火山岩体内部形成各种类型的孔隙。其中脱玻化孔是火山岩中独有的一种重要孔隙类型。脱玻化作用广泛出现在含有玻璃质的火山岩中,火山岩中的玻璃发生脱玻化作用可以产生相当数量的微孔隙,是火山岩研究区的一种重要储集空间。脱玻化孔隙虽小,但由于数量多,连通性好,因此也能形成好的储层。

本文将在岩石学研究的基础上,运用火山玻璃脱玻化作用物理过程的质量平衡原理和方法及流体-岩石相互作用的热力学原理和方法,研究火山玻璃脱玻化形成的孔隙以及脱玻化形成的矿物与流体之间相互作用产生的孔隙,以及火山岩中脱玻化孔的形成机制及对储层的贡献,为孔隙的预测提供基础。

1 脱玻化孔特征及分布

火山玻璃是在过冷却及粘度增大的条件下形成的,火山玻璃是不稳定的,会自动形成晶体,即玻璃的脱玻化作用。在熔岩和火山碎屑岩两大类岩石的火山玻璃中均可出现脱玻化作用,本文将以球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩分别为熔岩和火山碎屑岩的典型代表进行研究。

1.1 岩相学特征

1.1.1 球粒流纹岩

球粒流纹岩为流纹构造、气孔构造(气孔含量最高可达11%左右),斑状结构,基质为球粒结构,斑晶主要为石英和碱性长石。球粒主要由石英和碱性长石组成,同时具有很多微孔隙(图1a, b),尤其在球粒中心部位微孔隙比较发育,这是流纹质玻璃脱玻化产生的微孔隙和长石溶蚀产生的孔隙之和。

球粒流纹岩的储集空间主要有气孔、气孔被充填后的残余孔及杏仁体内孔,流纹质玻璃脱玻化产生的微孔隙,长石等矿物溶蚀产生的孔隙,局部发育的微裂缝等。球粒流纹岩中流纹质玻璃脱玻化作用产生的微孔隙,虽然很小,但面积大、连通性好,加之与脱玻化产生的长石的溶蚀结合在一起,因此对于本区储集性能起了重要作用。

1.1.2 熔结凝灰岩

熔结凝灰结构,流纹构造,岩石由火山灰、晶

屑、塑变岩屑及玻屑组成。晶屑为石英、长石,长石呈半自形板状及棱角状,多具高岭土化;石英多呈棱角状;塑变岩屑、玻屑被压扁拉长,呈定向排列,塑变岩屑内部具气孔、石英、钠长石梳状边、球粒等;常见菱铁矿充填气孔、成杏仁体。局部地区岩石具碳酸盐化,可见碳酸盐交代长石假象。火山灰发生脱玻化和溶蚀具有很多微孔隙(图1c)。

熔结凝灰岩的储集空间主要有火山灰的溶蚀、塑变岩屑及岩屑中存在的气孔、气孔被充填后的残余孔及杏仁体内孔,长石等矿物溶蚀产生的孔隙,局部发育的微裂缝等。火山灰的溶蚀也是熔结凝灰岩最重要的储集空间,火山灰的溶蚀一般情况下形成大量微孔隙,孔隙虽小,但由于数量多,连通性好,因此能形成好的储层,当火山灰强烈溶蚀时,可形成大的溶洞,会形成很好的储层。

1.1.3 凝灰岩

岩心灰白色、浅灰绿色,致密、坚硬,可见角砾及石英、长石晶屑。薄片为凝灰结构,岩石由岩屑、晶屑及火山灰组成,岩屑多为球粒流纹岩、凝灰岩,晶屑为石英、长石,石英、长石多呈棱角状,长石多具高岭土化,岩屑成分主要为流纹岩、流纹质凝灰岩,岩屑大小不等。局部地区岩石具碳酸盐化,可见碳酸盐交代长石假象。凝灰岩的储集空间主要为火山灰溶蚀(图1d)、长石溶蚀产生的孔隙,局部见微裂缝。由于火山灰溶蚀的强弱不同,导致了面孔率发生较大变化。除上述3种类型火山岩具有脱玻化孔外,火山角砾岩、集块岩等也具有脱玻化孔,在此不一一列举。实际上只要有火山玻璃的火山岩都有可能发生脱玻化作用,形成脱玻化孔。

1.2 脱玻化孔特征及分布

1.2.1 脱玻化孔

火山玻璃脱玻化形成矿物时发生体积的缩小,从而形成微孔隙,另外火山玻璃脱玻化形成的铝硅酸盐等矿物在酸性流体的作用下发生溶蚀,又产生了溶蚀孔隙,所观察到的孔隙为脱玻化孔和矿物溶蚀孔之和,由于这两种孔隙难以区分,故统称为脱玻化溶蚀孔,简称脱玻化孔(图1)。

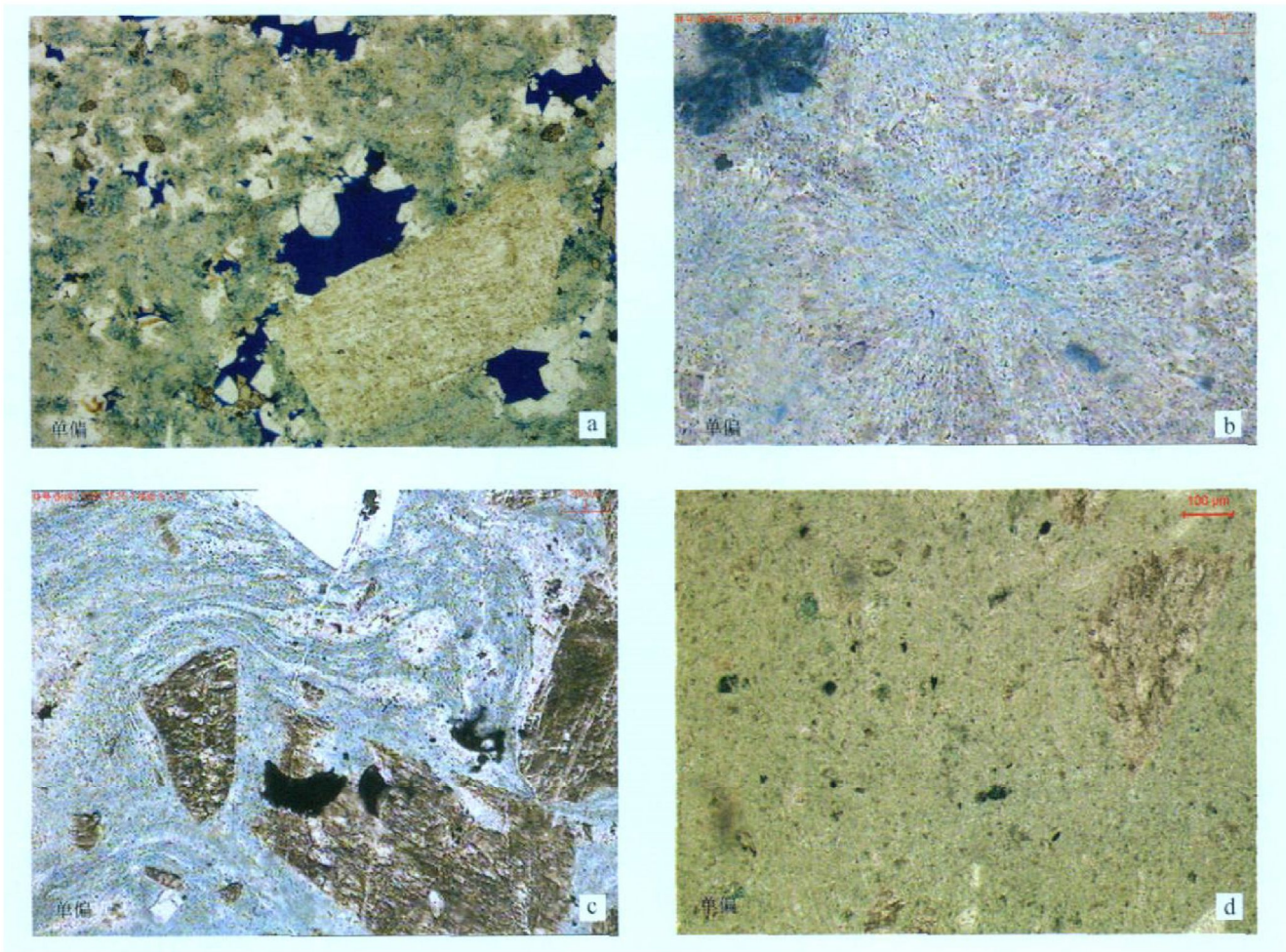


图 1 火山岩脱玻化微孔照片

Fig. 1 Pictures of micropores from devitrification in volcanic rocks

a. 球粒流纹岩, 球粒中的脱玻化孔; b. 球粒流纹岩, 球粒中的脱玻化微孔隙;
c. 熔结凝灰岩, 火山灰的脱玻化孔; d. 凝灰岩, 火山灰的脱玻化孔

1. 2. 2 脱玻化孔的分布

为了探讨脱玻化孔在储集空间中分布规律, 首先需要对火山岩的主要孔隙类型进行研究。对主要孔隙类型进行识别和定量评价, 了解脱玻化孔在储集空间中的作用, 因此从脱玻化孔占总孔隙中的百分含量入手进行研究。以松辽盆地北部地区火山岩为例, 球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩是松辽盆地北部地区发育最广泛的 3 种类型火山岩, 因此以它们为典型代表进行研究。在岩相学研究的基础, 在偏光显微镜下利用铸体薄片对球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩的主要孔隙类型进行了识别及定量评价。这 3 种火山岩的主要孔隙类型有原生孔隙、次生孔隙和微裂缝, 原生孔隙主要为气孔, 次生孔隙类型主要为脱玻化孔、长石溶孔。将其定量评价的研究结果列于表 1。由表 1 可以看出球粒流纹岩、熔结凝灰岩的主要孔隙类

型为气孔, 脱玻化孔是仅次于气孔的第二大孔隙类型, 球粒流纹岩中脱玻化孔约占该岩石中所有类型孔隙的 20% 左右, 熔结凝灰岩脱玻化孔约占该岩石中所有类型孔隙的 30% 左右, 脱玻化孔是

表 1 松辽盆地北部地区火山岩主要类型孔隙相对含量

Table 1 Relative contents of the main pore types in volcanic rocks in the northern Songliao Basin

样品编号	岩石类型	原生孔隙, %		次生孔隙, %	
		气孔	脱玻化孔	长石溶孔	微裂缝
1	球粒流纹岩	71.31	21.17	2.94	4.59
2		77.22	16.86	1.24	4.68
3		73.79	19.36	2.22	4.63
1	熔结凝灰岩	50.00	31.25	8.33	16.98
2		44.21	32.64	18.31	4.84
3		44.39	32.59	18.01	4.76
1	凝灰岩	10.38	60.38	12.26	16.98
2		2.22	77.24	14.71	3.33
3		2.59	76.49	14.60	3.95

凝灰岩的主要孔隙类型, 约占该岩石中所有类型孔隙的 70% 左右。由上述可见脱玻化孔是火山岩中的主要孔隙类型, 它为储层提供了重要的储集空间; 另一方面脱玻化孔隙虽小, 但数量多, 连通性好, 为火山岩的储集性能提供了重要基础。

2 脱玻化作用形成孔隙的近似计算

为了评价脱玻化孔对储层的贡献, 我们分别以球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩为代表对它们产生的脱玻化孔进行了定量计算。如前所述, 火山玻璃脱玻化形成矿物发生体积的缩小, 从而形成微孔隙, 另外火山玻璃脱玻化形成的铝硅酸盐等矿物在酸性流体的作用下发生溶蚀, 又产生了溶蚀孔隙, 所观察到的孔隙为脱玻化孔和矿物溶蚀孔之和。因此计算分两部分进行, 一是脱玻化时产生的脱玻化孔对储层的贡献, 二是玻璃脱玻化形成的长石产生的溶蚀孔隙对储层的贡献。研究思路和方法是, 脱玻化时产生的脱玻化孔用质量平衡的方法; 玻璃脱玻化形成的长石产生的溶蚀孔隙用热力学方法。

2.1 脱玻化作用形成的孔隙

对脱玻化作用形成的孔隙可采用两种方法进行近似计算。方法 1: 假定计算的边界条件是岩石全部由流纹质玻璃脱玻化形成的球粒组成, 对脱玻化形成的矿物, 用密度最小的正长石的密度, 用质量平衡的方法算出脱玻化形成的孔隙; 方法 2: 用全岩化学分析数据算出岩石的 CIPW 标准矿物含量, 经过剔除斑晶、晶屑和浆屑含量的校正后, 用质量平衡的方法算出脱玻化形成的孔隙。对比上述两种方法, 方法 2 比方法 1 更接近实际情况。

2.1.1 方法 1

由偏光显微镜观察可看出球粒流纹岩中未见玻璃质, 说明原来的玻璃已全部发生了脱玻化作用, 形成了矿物。球粒流纹岩的基质具球粒结构, 球粒是由流纹质玻璃脱玻化形成的碱性长石、石英和微孔隙组成, 即流纹质玻璃脱玻化形成碱性长石、石英, 同时释放出一定的微孔隙, 其物理过程为: 流纹质玻璃(脱玻化) — 碱性长石(正长石、钠长石) + 石英 + 微孔隙。表 2 列出了流纹质玻璃、钠长石、正长石和石英的密度。由表 2 可知,

表 2 流纹质玻璃及其脱玻化形成矿物密度^[15]

Table 2 Density of rhyolite glass and minerals from its devitrification g/cm^3

流纹质玻璃	石英	钠长石		正长石	
		变化范围	平均值	变化范围	平均值
2.36	2.65	2.61~2.62	2.62	2.55~2.63	2.59

流纹质玻璃的密度为 2.36 g/cm^3 , 正长石的平均密度为 2.59 g/cm^3 , 钠长石的平均密度为 2.62 g/cm^3 , 石英的密度为 2.65 g/cm^3 , 脱玻化后生成物的密度均大于流纹质玻璃的密度。

运用流纹质玻璃脱玻化作用物理过程的质量平衡原理和方法, 并假定计算的边界条件是岩石全部由流纹质玻璃脱玻化形成的球粒组成, 同时为了计算方便, 我们将流纹质玻璃作为球粒流纹岩中玻璃脱玻化前酸性玻璃的密度, 由于钠长石和石英的密度均大于正长石, 因此用密度最小的正长石的密度进行计算。由于脱玻化形成矿物密度增大, 1 kg 流纹质玻璃脱玻化形成长石、石英球粒, 就至少会产生 37.63 cm^3 的孔隙, 换算成面孔隙率相当于 8.88% 。当然形成的这些孔隙可能被后来形成的新生矿物充填, 而不能完全被保留下来。

通过球粒流纹岩中流纹质玻璃脱玻化前后体积的对比与估算表明, 流纹质玻璃的脱玻化可以产生相当数量的微孔隙。因此, 球粒流纹岩中流纹质玻璃脱玻化作用是孔隙形成的重要机制之一。

2.1.2 方法 2

具体方法是用全岩化学分析数据算出岩石的 CIPW 标准矿物含量, 得出球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩的 CIPW 标准矿物的含量。从岩石 CIPW 标准矿物含量中去掉火山岩中已有的实际矿物的含量(对于熔岩去掉斑晶的含量, 对于火山碎屑岩去掉晶屑、岩屑及浆屑中实际矿物的含量), 剩余部分为玻璃的 CIPW 标准矿物含量; 用质量平衡的方法算出脱玻化形成的孔隙。

球粒流纹岩中除含有球粒外, 还含有石英和长石斑晶, 因此需要剔除球粒流纹岩中的石英和长石斑晶, 即从球粒流纹岩中算出的石英和长石 CIPW 标准矿物含量中剔除掉石英和长石斑晶的含量, 就得到流纹质玻璃中的石英和长石 CIPW 标准矿物含量。由脱玻化后产生的石英、钾长石和钠长石的含量和及相应物质的密度, 可算出球

粒流纹岩的在脱玻化作用后所释放的孔隙大小。

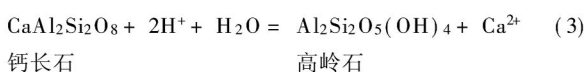
对于熔结凝灰岩采用与上述同样原理及思路, 所不同的是熔结凝灰岩中含有晶屑、塑变岩屑, 因此需要从熔结凝灰岩中剔除晶屑、浆屑的影响。通过偏光显微镜下薄片观察, 确定晶屑、浆屑中的石英、钾长石和钠长石的含量, 从熔结凝灰岩中算出的石英和长石 CIPW 标准矿物含量中剔除掉晶屑、浆屑中的石英和长石的含量, 就得到熔结凝灰岩玻璃中的石英和长石的含量。根据脱玻化后产生的石英、钾长石和钠长石的含量和及相应物质的密度, 可算出熔结凝灰岩在脱玻化作用后所释放的孔隙大小。

同理由于凝灰岩中含有晶屑和岩屑, 因此需要剔除凝灰岩中晶屑和岩屑的影响, 之后可算出凝灰岩的在脱玻化作用后所释放的孔隙大小。

2.2 脱玻化形成的长石溶蚀孔

流纹质玻璃除了脱玻化形成的孔隙外, 脱玻化形成的矿物发生溶蚀也可以产生一定的孔隙。溶蚀孔是流体-岩石相互作用产生的矿物溶解, 流体与岩石相互作用形成溶蚀孔隙除了取决于流体的性质和岩石的组成外, 还取决于热力学条件(温度、压力)。基于本区火山岩中矿物在地下水中溶解反应的 Gibbs 自由能, 确定矿物溶解的趋势。在建立矿物的溶解、次生矿物的出现及孔隙水的化学变化的关系上, 以岩石物理化学为基础, 利用热力学参数和进行热力学计算, 获取矿物溶解与沉淀的热力学条件及相关系。

流纹质玻璃脱玻化形成碱性长石和石英, 碱性长石主要为钾长石和钠长石(不是端元组分, 包含少量钙长石)组成。钾长石、钠长石、钙长石为长石的 3 个端元组分, 它们的溶蚀作用可分别用下述化学反应式表示:



然而反应能否进行, 必须依据热力学第三定律-自由能变化的数值来确定反应进行的方向与热力学趋势, 恒温状态下反应的 ΔG 可以表示为:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (4)$$

式中: ΔG 为反应自由能, J; ΔH 为反应焓的改变

量, 为 $\sum H_{\text{生成物}} - \sum H_{\text{反应物}}$, J; ΔS 为反应熵的改变量, 即 $\sum S_{\text{生成物}} - \sum S_{\text{反应物}}$, J/K; T 为反应温度, K。

当 $\Delta G^0(T) < 0$ 时, 反应可以自发地进行; 当 $\Delta G^0(T) = 0$ 时, 反应达到平衡状态; 当 $\Delta G^0(T) > 0$ 时, 反应不能自发进行。

上面是从反应的热力学趋势来讨论 3 种长石端元反应的可能性, 考虑流体中的各离子浓度对平衡常数的影响, 反应的 $\Delta G(T, P)$ 可以表示为下式:

$$\Delta G(T, P) = \Delta G_{(T)}^0 + \int \Delta V_{R(P)} dP + RT \ln K \quad (5)$$

当反应达到平衡状态时, $\Delta G(T, P) = 0$, 有:

$$\Delta G^0(T) = - \int \Delta V_{(P)} dP - RT \ln K \quad (6)$$

式中:

$\Delta G(T, P)$ — 在温度为 $T(K)$ 和压力为 P 条件下反应的自由能变化;

$\Delta G^0(T)$ — 在温度为 $T(K)$ 时, $P = 1 \text{ atm}$ 条件下反应的自由能变化, 可由 $\Delta G^0(T) = \Delta H_{298}^0 - \Delta S_{298}^0$ 求得;

$\Delta V(P)$ — 反应过程矿物体积随压力的变化;

K — 平衡常数, 对于溶液来说, $K = \text{生成物中离子的活度积} / \text{反应物中离子的活度积}$ 。

当火山岩中有 H^+ 和 H_2O 或有 HCO_3^- 和 H_2O 存在的条件下, 长石均可以发生溶解, 不论何种类型长石的溶解, 均可形成有利于油气储集的次生孔隙。

根据上述热力学公式及热力学参数^[16]分别计算了压力为 30~150 MPa(间隔为 20 MPa), 温度为 40~180 °C(间隔为 20 °C) 时, 钾长石、钠长石及钙长石溶蚀反应的热力学参数。将上述温度、压力范围内钾长石、钠长石及钙长石溶蚀的 ΔV 最小值、最大值及热力学参数列于表 3。由表 3 可以看出在上述温压范围内钾长石全部溶蚀反应体积减少 19.9~26.1 cm^3/mol , 钠长石全部溶蚀反应体积减少 21.0~29.0 cm^3/mol , 钙长石全部溶蚀反应体积减少 29.4~44.3 cm^3/mol , 由此可以看出在长石全部溶蚀时反应体积至少减少 20.0 cm^3/mol 。当然由流纹质玻璃脱玻化形成的碱性长石是否全部溶蚀, 需要进一步工作, 这里给出的是假定长石全部溶蚀时释放出空间的最小值。

表3 长石溶蚀产生的 ΔV 最小值、最大值及热力学参数Talbe 3 The minimum and maximum ΔV and other thermodynamic parameters for dissolution of feldspar

样品	压力/ MPa	温度/ ℃	ΔV / ($\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)	$\ln K$	$\Delta G/\text{J}$	$\Delta H/\text{J}$	ΔS / ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)	ΔC_p / ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$)
Or, 1	150	60	- 19. 9	8. 650	- 55 187	- 32 183	69. 88	14. 23
Or, 2	30	180	- 26. 1	7. 000	- 60 689	- 32 451	62. 76	- 45. 61
Ab, 1	150	80	- 21. 0	12. 982	- 87 772	- 85 784	5. 86	82. 43
Ab, 2	30	180	- 29. 0	9. 951	- 86 333	- 77 442	19. 67	
An, 1	150	40	- 29. 4	19. 319	- 115 817	- 156 766	- 130. 54	- 37. 66
An, 2	30	180	- 44. 3	10. 574	- 91 730	- 163 289	- 157. 74	- 100. 00

注: Or 为钾长石, Ab 为钠长石, An 为钙长石; 1 为 ΔV 的最小值, 2 为 ΔV 的最大值; 压力为 30~ 150 MPa, 温度为 40~ 180 ℃。

3 脱玻化作用形成条件

火山玻璃脱玻化形成矿物发生体积缩小, 因而形成微孔隙。玻璃脱玻化作用的发生除需要漫长的地质历史时期, 还需要适当的水分、温度、压力, 而且还和火山岩成分及类型有关。

地球上的火山岩都经历了漫长的地质历史时期, 这为脱玻化作用的发生提供了最基本的条件。水为活动组分, 可增加玻璃质中质点运动, 缺乏水分就不能脱玻化, 因此与地球年代相似的陨石玻璃, 由于缺水, 仍为玻璃质。水为多来源, 主要有地下水, 也有地表水, 并有大气降水的深循环以及干酪根成熟过程中释放出的水, 这些水混合在一起形成水的渗流, 可以在沉积盆地中渗入相当的深度。沿层间或断层-裂缝渗流带入到火山岩体中。尤其裂缝发育处水易于活动、赋存, 所以脱玻化常常从裂隙开始。在火山碎屑岩、珍珠结构及流纹构造等空隙多的岩石中易于脱玻化。

温度升高及压力增加有利于脱玻化。温度升高有利于玻璃质中质点的活动及重新排列, 地热及火山的喷发、侵入岩的烘烤、热液活动等, 直接影响着脱玻化的时间, 据实验及理论计算资料表明, 由玻璃质变为霏细结构, 在 300 ℃时须 100 万年; 400 ℃时只须几千年。玻璃质变为结晶质, 体积变小, 因此, 静压力, 尤其构造应力使火山岩易于脱玻化。火山岩喷出后被埋于地下, 受静压力及构造应力作用影响, 均有利于脱玻化作用的发生, 压力来自上覆地层及构造活动。受到一定的力, 加以火山热等影响, 又有一定的温度及水分, 更易于脱玻化。

成分越酸性的火山岩, 结晶程度一般越差, 据统计斑晶越少的火山岩, 基质中一般易出现玻璃

质, 酸性火山岩易出现玻璃质。有人认为珍珠结构是玻璃质冷却过程中体积缩小产生的, 而有的则认为珍珠结构(据实验)并非冷缩产物, 而与低温低压下水化及水的分布不均匀有关^[17]。

4 结论

火山岩中玻璃的脱玻化作用可以产生相当数量的微孔隙, 所观察到的微孔隙为脱玻化孔和脱玻化形成的矿物与流体之间相互作用产生的孔隙之和, 统称为脱玻化孔。球粒流纹岩、熔结凝灰岩中脱玻化孔是仅次于气孔的第二大孔隙类型, 球粒流纹岩和熔结凝灰岩中脱玻化孔分别占相应岩石中所有类型孔隙的 20%, 30% 左右。脱玻化孔是凝灰岩的主要孔隙类型, 占凝灰岩中所有类型孔隙的 70% 左右。运用火山玻璃脱玻化作用的物理过程及质量平衡的原理和方法, 可估算球粒流纹岩、熔结凝灰岩、凝灰岩中流纹质玻璃脱玻化作用产生的孔隙。运用流体-岩石相互作用的热力学原理和方法计算出长石溶蚀至少可以产生 $20 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 的孔隙。

参 考 文 献

- 1 Petford N, Mccaffrey K J W. Hydrocarbons in crystalline rocks[A]. The Geological Society of London, Special Publications, 2003: 1- 236
- 2 Seemann U, Schere M. Volcaniclastics as potential hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Minerals, 1984. 19(9): 457- 470
- 3 Mark E M, John G M. Volcaniclastic deposits: implications for hydrocarbon exploration. In: Richard V, Fisher and Smith G A, eds. Sedimentation in volcanic settings[J]. Society for Sedimentary Geology, Special Publication, 1991, 45: 20- 27

(下转第 58 页)

5) 绿泥石环边胶结物的存在使大量残余原生孔隙得以保存, 而且绿泥石矿物具有大量的晶间孔隙^[13], 这为后期酸性水介质流动提供运移通道, 有利于后期溶蚀作用的不断进行。

6) 发育绿泥石环边胶结物的砂岩储层具有良好的孔喉结构及物性条件, 绿泥石环边胶结物的存在是本区砂岩储层孔隙保存的重要因素。

参 考 文 献

- Pittman E D. Clay coats: occurrence and relevance to preservation of porosity in sandstones[J]. SEPM Special Publication, 1992, 47: 241– 255
- Ehrenberg S N. Preservation of anomalously high porosity in deeply buried sandstones by chlorite rims: Examples from the Norwegian Continental Shelf[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77: 1 260– 1 286
- Salman Bloch, Robert H L, Linda B. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86: 301– 328
- 柳益群, 李文厚. 陕甘宁盆地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~ 96
- 黄思静, 谢连文, 张萌, 等. 中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(3): 273~ 281
- 刘林玉, 曲志浩, 孙卫, 等. 新疆鄯善油田碎屑岩中的粘土矿物特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(5): 443~ 446
- Jeffrey D G. Origin and growth mechanism of authigenic chlorite in sandstones of the lower vicksburg formation, south texas[J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71: 27– 36
- V Billault. A nanopetrographic and textural study of chlorite rims in sandstone reservoirs[J]. Clay Minerals, 2003, 38: 315– 328
- 曾伟. 张强凹陷上侏罗统成岩作用及储层分布[J]. 西南石油学院学报, 1996, 18(4): 9~ 15
- Walderhaug O. Temperatures of quartz cementation in Jurassic sandstones from the Norwegian continental shelf: evidence from fluid inclusions[J]. Journal of Sedimentary Research, 1994b, 64: 311– 323
- Walderhaug O. Kinetic modelling of quartz cementation and porosity loss in deeply buried sandstone reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 1996, 80: 731– 745
- Salman Bloch, Robert H L, Linda B. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: Origin and predictability[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86: 301– 328
- 王芙蓉. 准噶尔盆地腹部永进地区深埋侏罗系砂岩内绿泥石环边胶结物对储层物性的影响[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 24~ 27
- 吕修祥, 杨宁, 解启东, 等. 塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 284~ 289, 296
- 刘成林, 朱筱敏, 朱玉新, 等. 不同构造背景天然气储层成岩作用及孔隙演化特点[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 746~ 753
- 张莉, 柳广弟, 谢增业, 等. 川西前陆盆地南部储层流体包裹体特征及其在天然气成藏研究中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 800~ 807
- (编辑 陈喜禄)

(上接第52页)

- Yuli Mitsuhashi, Koichi Matsuo, Matato Minegishi. Magnetotelluric survey for exploration of a volcanic rock reservoir in the Yurihara oil and gas field, Japan [J]. Geophysical Prospecting, 1999, 47(2): 195– 218
- Levin L E. Volcanogenic and volcanoclastic reservoir rocks in Mesozoic-Cenozoic island arcs: examples from the Caucasus and the NW Pacific[J]. Journal of Petroleum Geology, 1995, 18(3): 267– 288
- 齐井顺. 松辽盆地北部深层火山岩天然气勘探实践[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 590~ 596
- Vernik L. A new type of reservoir rock in volcanoclastic sequences[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(6): 830– 836
- Sruoga P, Rubinstein N, Hinterwimmer G. Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study on the Serie Tobfera, South Patagonia, Argentina[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2004, 132: 31– 43
- 赵海玲, 李小光, 陈振岩, 等. 辽河油田坳32井区中生界火山岩岩石学特征及成因[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(4): 549~ 556
- 赵海玲, 刘振文, 李剑, 等. 火山岩油气储层的岩石学特征及研究方向[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 609~ 613
- 赵澄林. 特殊油气储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- Che Zhenyen. Relationship between tertiary volcanic rocks and hydrocarbons in the Liaohe basin, People's Republic of China [J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(6): 1 004– 1 014
- 赵海玲. 火山岩储层[J]. 现代地质, 1998, 12(1): 56~ 58
- 陈建文. 一门新兴的边缘科学-火山岩储层地质学[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 19~ 22
- 北京大学地质系岩矿教研室. 光性矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1979
- 王高尚, 李鹏九. 热液平衡计算数据手册[M]. 北京: 地质出版社, 1991
- 张新培, 邓宏文, 张吉昌, 等. 辽河坳陷东部凹陷欧-黄地区火山岩储集层特征及有利储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(3): 370~ 376
- (编辑 董立)