

文章编号: 0253- 9985(2004) 06- 0609- 05

火成岩油气储层的岩石学特征及研究方向

赵海玲^{1,2}, 刘振文², 李 剑³, 狄永军², 罗 霞³, 刘清华², 赵国泉²(1. 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; 2. 中国地质大学, 北京 100083;
3. 中国石油石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

摘要: 火成岩油气储层具有分布范围广、地质时代长、不具岩石类型的专属性。火成岩冷却后所形成的晶间孔、收缩孔等原生孔隙不受压实作用的影响, 与沉积岩储层具有不同的特征。这些特征对寻找深层油气藏具有巨大的优势。根据火成岩油气储层特征, 形成演化机制、火成岩的时空展布及储层预测等方面存在的问题, 提出了火成岩油气储层需要加强火成岩岩石学、火山地质、热力学、岩浆物理性质和流体动力学以及地球物理研究。

关键词: 火成岩储层; 火成岩岩石学; 火山地质; 热力学; 流体动力学; 地球物理

中图分类号: TE112.2 文献标识码: A

Petrologic characteristics of igneous rock reservoirs and their research orientation

Zhao Hailing^{1,2}, Liu Zhenwen², Li Jian³, Di Yongjun², Luo Xia³, Liu Qinghua², Zhao Guoquan²

(1. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Exploration, China University of Geosciences, Beijing; 2. China University of Geosciences, Beijing; 3. Langfang Branch of Petroleum Exploration and Development Institute, PetroChina, Langfang, Hebei)

Abstract: Igneous rock reservoirs are characterized by their extensive distribution, long geologic time and no exclusiveness of rock types. The primary pores, such as intercrystal pores and shrinkage pores, formed while igneous rocks cool down are not influenced by compaction. These characteristics, being different with that of sedimentary reservoirs, are very favorable for seeking deep oil and gas accumulations. In view of the problems concerning the characteristics, formation and evolution mechanism, time-space distribution and prediction of igneous rock reservoirs, it is proposed that igneous petrology, volcanic geology, thermodynamics, physical properties of magma and hydrodynamics, as well as geophysics should be strengthened in study of igneous rock reservoirs.

Key words: igneous rock reservoirs; igneous petrology; volcanic geology; thermodynamics; hydrodynamics of magma; geophysics

自 1907 年在墨西哥富贝罗白垩-第三纪辉长岩中发现油气藏后, 火成岩油气藏在世界范围内陆续被发现^[1~6]。目前, 火成岩油气藏已成为国际上油气勘探的一个新领域, 作为一种特殊油气藏受到了油气勘探界的广泛重视。我国也陆续发现一批具有一定储量、一定产量、以火山岩为主要储层的油气田。尤其是我国东部中生代火山岩已成为深层油气勘探的重要储层^[7~9], 并具有良好的勘探前景。

1 储层特征

火成岩油气储层特征与岩浆性质、火成岩岩石的成因、形成时的物理化学环境、年龄及其时空分布规律, 以及火成岩形成后流体与岩石的相互作用密切相关。

1.1 不具岩石类型的专属性

火成岩油气储层具有分布范围广, 地质时代长的特征, 这和火成岩油气储层不具岩石类型的

专属性有关,即不论何种类型的火成岩,也不论什么时代的火成岩,都可以形成好的储层。无论是基性岩、中性岩还是酸性岩,无论是火山岩还是侵入岩,也无论是熔岩还是火山碎屑岩,自新生代到太古宙都有好的储层。例如:胜利油田的商河地区沙河街组三段辉绿岩储层;胜利油田草桥地区古近纪、大港油田枣北地区古近纪、四川周公山晚二叠世以及准噶尔盆地克拉玛依石炭纪玄武岩储层;黄骅坳陷孔南地区晚侏罗世、阿根廷帕姆帕拉乌卡三叠纪以及印度尼西亚的贾蒂巴朗新近纪安山岩油气藏;日本见附新近纪流纹质角砾岩和英安岩油气藏;辽河盆地的欧利坨子地区古近纪粗面岩油气藏;美国亚利桑那州的比聂赫-比肯亚第三纪正长岩油气藏;大庆油田徐家围子升平地区早白垩世流纹岩油气藏;辽河油田东胜堡太古界花岗岩、角闪岩油气藏。火山碎屑岩油气藏更是不胜枚举,如:大庆油田徐家围子兴城地区早白垩世流纹质晶屑凝灰岩、流纹质熔结凝灰岩和流纹质集块岩油气藏,格鲁吉亚的萨姆戈里-泊塔尔租里凝灰岩油气藏,日本新近纪富士川安山集块岩以及吉井-东柏崎流纹质角砾岩油气藏。即使在同一地区不同类型火成岩也都可以形成好的储层,如:大庆油田徐家围子地区除火山碎屑岩可作为储层外,流纹岩也是很好的储层。由上述,在世界范围内火成岩不受岩石类型和形成时代的限制都可形成好的储层,已发现数量可观的火成岩油气藏,并获得高产,显示了火成岩油气藏开发的巨大潜力。火成岩油气储层虽不受岩石类型及形成时代的限制,但它们都受到火成岩岩石特征的制约,正是火成岩的共同特征使得火成岩能成为好的储层。

1.2 与沉积岩储层的差异

长期以来,在油气勘探开发领域中,把与沉积作用有关的碎屑岩和碳酸盐岩作为油气储层的主要研究对象,而火成岩则被长期排除在外。因此,在沉积岩储层研究中积累了大量的成果和丰富的经验,人们已习惯于与沉积作用有关的岩石储层的研究方法和思路。当火成岩这一新的特殊储层出现时,也就习惯性地采用沉积岩储层的研究方法和思路研究火成岩储层。应当指出,火成岩油气储层与沉积岩储层不同,它有自己的特征,这需要从大家都熟悉的火成岩和沉积岩的差异和形成说起。火成岩和沉积岩岩石划分的依据是自然界

岩石的特征及形成作用的差异。火成岩是高温粘稠的岩浆冷却固结的产物,岩浆固结的过程是从高温炽热的状态降温并伴有结晶作用的过程。当高温炽热的岩浆全部结晶固结就形成了火成岩。沉积岩形成于地表或近地表的温度、压力条件,它是由沉积作用、经历胶结、压实和再结晶等成岩作用形成的。因此,不能按沉积岩的成岩作用过程研究火成岩。火成岩是由岩浆结晶形成的,它的结构受控于岩浆的性质、结晶过程和物理化学条件的变化,尤其是温度的降低或挥发组分的出溶,均会导致结晶作用,最终形成具有一定结构、构造的火成岩。岩浆本身的物理化学性质(岩浆的化学组成、温度、挥发组分含量及类型等)及它所处的物理化学环境(如温度、压力等),都将会对火成岩的矿物组合及岩石结构产生影响。因此同一种岩浆在不同的物理化学环境下可固结形成矿物组合及结构特征完全不同的火成岩,如:相同的基性组分的岩浆在不同的环境下可以形成玄武岩、辉绿岩、辉长岩,同样的化学成分还可以形成玄武质火山碎屑岩。由于快速降压导致挥发组分的大量出溶,出溶的气体上升汇集,在熔岩中尤其是熔岩流的上部形成大量的气孔,当完全冷却后还形成晶间孔、收缩孔等。这些都是火山岩主要的原生孔隙,它们和沉积岩的原生孔隙不一样。不仅如此,除火山碎屑岩外,火成岩的原生孔隙不受压实作用的影响。

火山碎屑岩则具有火成岩与碎屑岩的过渡类型的特征,例如:大的岩块及塑性岩屑等含有气孔,而火山碎屑又受压实作用影响。

1.3 时空分布

火成岩的时空展布是火成岩储层研究的重要方面,也是火成岩储层研究的重要基础,要寻找火成岩储层首先要弄清火成岩的时空展布。关于火成岩的形成时代是一个比较难以解决的问题,而且一直存在争议^[10]。确定火山岩系地层时代的途径主要有同位素年龄、地层古生物、古地磁、岩石学和区域上的地层对比等。目前虽已广泛采用同位素年代学来确定火山岩形成的时代,但由于样品和测试中存在的一系列问题,同位素定年并不尽善尽美,在应用时必须结合地层古生物、岩石学及与区域地层进行对比,多种证据相结合进行具体讨论和限定。与沉积岩不同,火成岩的空间展具有明显的不连续性,受控于岩浆物理性质和流

体动力学特征、以及下伏地形的起伏。

目前,由于钻孔中取心段较少,而且大部分地区缺乏钻孔的控制,因此研究火成岩储层的时空分布,主要依赖于地球物理资料。

2 存在的问题

2.1 分类命名

已有的火成岩研究的分类命名比较混乱,这是由于采用不同的命名方法等原因造成的。火成岩分成火山岩与深成岩,一般来说深成岩是按矿物的含量定名,即用岩石薄片定名。而火山岩与深成岩不同,火山岩的结晶程度差,它含有大量的隐晶质及玻璃质,薄片鉴定难以确定其矿物成分及其含量,因此,目前普遍采用 IUGS 火成岩分会提出的火山岩 TAS (total alkali and silica) 分类方案^[11]即化学成分分类命名,火成岩的化学成分分类命名与岩石薄片鉴定命名之间存在着差距。在过去的研究中有的样品进行了化学分析,因此对这部分样品采用了化学成分命名,而对于没有进行化学分析的样品,采用了岩石薄片定名。由于采用的方法不同,而它们之间没有建立明确的对应关系,致使火成岩的岩石类型、分类命名比较混乱,火成岩的岩性与物性对应关系不能全面反应出其内在联系,火成岩岩石类型分布范围与岩相划分以及火成岩储集类型之间的关系不十分清楚。

2.2 分布规律

岩浆喷出地表具有一定的规律,火山岩喷发规律的研究对预测火山岩的时空展布及储层的分布具有重要的指导作用。

深部火成岩由于深埋地下,缺乏出露地表的露头,不能详细的观察到火成岩的空间分布、期次、旋回、产状、岩相、构造等地质特征;再加上不少钻孔由于深度浅未打到火成岩,有些虽打到火成岩,但只是局部采集样品或没有采集样品,导致火成岩样品很少,不能反映火成岩的全貌。钻孔中岩心不全加以火成岩的风化蚀变很强,给火成岩的研究带来了一定的困难,致使对火成岩地质特征研究较少,同时也给从岩石学和火成岩地质的角度研究火成岩的时空展布及储层的预测带来了一定的困难。而且,目前对已有的岩心、岩石薄片等岩石学、火山地质的直接证据研究的并不充分,没有从中获得更多有关信息。

2.3 演化机制

火成岩油气储层形成演化机制的研究是储层研究的核心问题。已有研究表明断陷盆地火成岩储层的孔隙结构一般都十分复杂,多为双孔介质储层,存在裂缝及其不同组合的孔隙类型,物性变化大,非均质性强,评价难度大^[12,13]。研究的现状是描述性的成果较多,而研究其形成机制则较少或研究尚须进一步深入。例如:火山岩原生孔隙主要是气孔,但气孔带发育在火山岩的什么部位?如何去预测?有的气孔保留得很好,有的则被碳酸盐或硅质充填,为什么?又如:同一种火成岩有的区域次生孔隙发育,有的区域则不发育,为什么?次生孔隙是如何形成的?又如何预测?这些问题研究的均较少,甚至还没有研究,这有碍于对储层的深入认识和预测。

3 研究方向

3.1 火成岩岩石学和火山地质研究

从火成岩岩石学和火山地质的角度,正确确定火山岩岩石类型、火山岩相及火山岩岩石学特征,火成岩储层的储集空间、储集类型、发育规律及其形成机制是火山岩储层研究的基础。岩相研究是火山岩储层研究的主要内容之一,不同岩相带具有不同的孔隙类型,火山岩相控制了火山岩的原始储集条件,如:喷溢相上部和爆发相气孔发育,是有利的相带。因此火山岩相对于揭示火山岩时空展布规律和不同岩性组合之间的成因联系亦具有重要意义。

对取心井的火成岩岩心进行系统观察,如:火山岩的气孔、杏仁、节理、裂隙、沉积层、间断面、风化壳、流动构造特征及火成岩的颜色、岩性、岩相、类型、次生变化等等。要特别注意出现在薄片中的火山岩地质特征,如:气孔带的分布、气孔的形态、火山碎屑颗粒大小的变化规律、颜色等,分析火山岩系的岩性、岩相、旋回、厚度及时空变化,为火山岩旋回、韵律的划分提供岩石学依据。

对取心井的火山岩岩心还应系统观察裂缝的发育程度,如:个数、宽度等,以及裂缝产出的角度;研究火山岩储集空间、储集类型、储集性能及成因将火成岩储集空间按成因进行类型的划分,研究火成岩储集空间的组合规律。

3.2 热力学(岩石相平衡)

次生孔隙的形成是流体与岩石相互作用的结

果,这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),温度、压力是制约流体与岩石相互作用的重要因素,决定了次生孔隙是否能形成,是次生孔隙形成的重要条件。因此以热力学的方法研究次生孔隙的形成及演化是十分必要的。

已有研究表明^[14-16]长石的溶蚀是次生孔隙形成的一个重要方面。下面以长石的溶蚀为例说明热力学条件对次生孔隙形成重要作用。钾长石、钠长石和钙长石是长石的三端元组分,它们的溶蚀反应如方程(1)、(2)和(3)所示

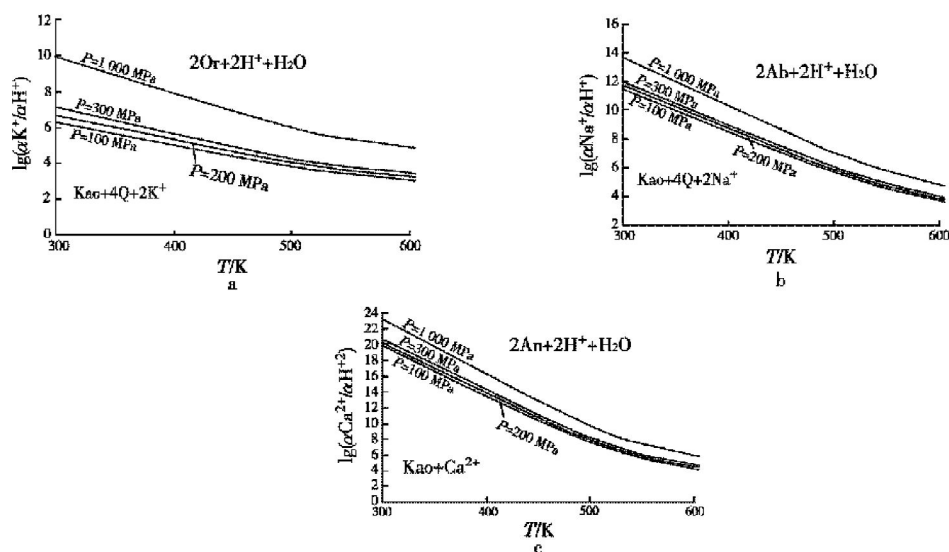
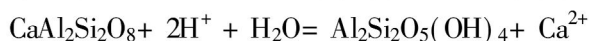
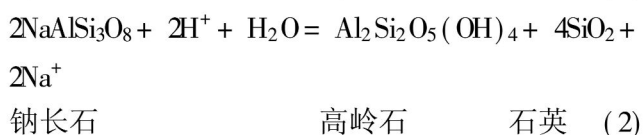
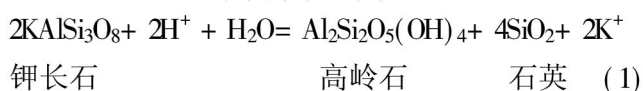


图 1 长石溶蚀反应的物理化学条件

Fig. 1 Physico-chemical conditions of feldspar corrosion

a—钾长石溶蚀反应的活度-温度相图; b—钠长石溶蚀反应的活度-温度相图;

c—钙长石溶蚀反应的活度-温度相图; αH^+ , αK^+ , αNa^+ , αCa^{2+} 分别为氢离子、钾离子、钠离子、

钙离子的活度; T/K 为绝对温度; P 为压力; Or—钾长石; Ab—钠长石; An—钙长石; Kao—高岭石; Q—石英; H_2O —水

3.3 岩浆物理性质及流体动力学研究

岩浆物理性质及流体动力学是岩浆的组成、物理化学状态的综合体现,它决定了岩石的矿物组合、结构、构造特征、及其空间分布特征。

岩浆的密度、粘度等硅酸盐熔体的基本性质,是影响硅酸盐熔体动力学行为的最重要的物理参

数,在岩浆起源和演化的一系列动力学过程中,都

受到了岩浆的密度、粘度等物理性质的制约。岩浆物理性质及流体动力学与地质学、岩石学和地球化学有效地结合起来,研究岩石的矿物组合、结构、构造、及其空间分布特征。例如:岩浆粘度对火山的喷发类型及地貌形态有重要影响,酸性、碱

上述反应能否进行以及反应进行的方向,必须依据热力学第三定律,自由能的变化来确定。根据热力学参数^[17]计算结果分别绘制了不同压力下钠长石、钾长石、及钙长石溶蚀反应的活度-温度相图(图 1 a, b, c)。由相图可以看出溶液的酸度(H^+ 浓度)对长石的溶蚀有明显的影响,酸度的增加,有利于长石的溶蚀,形成有利于油气储集的次生孔隙。长石溶蚀除与流体性质有关外,还与温度和压力有关,随温度的升高,长石的稳定区增加,而高岭土与石英的稳定区减小,即随温度的升高长石溶蚀作用减小;随压力的升高,长石的稳定区减小,而高岭土与石英的稳定区增加,随压力升高长石溶蚀作用增加。除上述流体酸度、温度和压力影响长石的溶蚀外,长石的组成是影响溶蚀的重要因素,由图 1 可以看出钙长石最易溶蚀,其次为钠长石,钾长石最不易溶蚀。上述热力学的研究结果和薄片中的观察一致。

性的熔浆粘度较大、挥发组分含量较高,流动性小,多呈爆发式喷发,以爆发相的火山碎屑岩为主,形成陡峭的层状火山锥,溢流相的熔岩不仅分布较少,而且呈短而厚的岩流形态或穹形火山体。与酸性岩形成明显对照,玄武质熔浆粘性较小,多呈宁静溢流喷发,富流动性,常常形成熔岩平原或盾形火山。但除了这些地表效应外,岩浆粘度在地下深处岩浆作用过程中也起着重要的作用,如:晶体的生长和沉降,渗滤压和岩浆冷凝速率等都与粘度有关。

从已知火山岩的化学成分可以计算岩浆的物理性质参数和流体动力学参数^[18],进而推断和反演火山爆发强度、流动状态及在空间的展布等特征。

3.4 火成岩的地球物理研究

火成岩的地球物理研究主要是对于钻孔中没有取心的地段和没有钻孔的区域进行推断和预测。主要包括两方面的内容,一是岩性的识别,二是储层的评价。目前采用的方法主要是测井、地震和非地震法。利用测井在火山岩岩性的识别及储层物性评价上均取得了一定成果,例如:利用各种岩石物理参数建立火成岩的岩性判别图解,利用测井曲线特征识别火成岩的岩性,进而对未取心井段的岩性进行推断解释。在储层的评价上利用了成像、核磁等先进技术,但由于火成岩储集层的孔隙结构十分复杂,多为双孔介质储层,存在裂缝及其不同组合的孔隙类型,物性变化大,非均质性强,储层评价尚处于定性阶段^[19~22]。测井评价应向着模型化和定量化方向发展,在测井解释上应建立火成岩自己的模型。

火成岩地震特征明显有别于沉积岩,火成岩在地震剖面上及平面上的反射特征已广泛用于识别火山岩,地震解释的成功有赖于高质量的地震资料和精细的资料处理。大地电磁、高精度重磁等非地震方法也用于火山岩的油气勘探,多种方法的综合利用有助于对其多解性问题的解决。

火成岩油气储层研究需要准确刻画储层的特征,应采用多学科的综合研究分析,对火成岩岩性及储层进行综合评价。

致谢:应本刊主编王庭斌教授的邀请,笔者编写了此文,在此深表感谢。

参 考 文 献

1 张子枢,吴邦贵. 国内外火山岩油气藏研究现状及勘探技术

调研[J]. 天然气勘探与开发, 1994, 16(1): 1~ 26

- 2 伊培荣,彭峰,韩芸,等编译. 国外火山岩油气藏特征及其勘探方法[J]. 特种油气藏, 1998, 15(2): 69~ 70
- 3 Seemann U, Schere M. Volcaniclastics as potential hydrocarbon reservoirs [J]. Clay Minerals, 1984, 19(9): 457~ 470
- 4 Vernik Lev. A new type reservoir rock in volcaniclastic sequences [J]. AAPG Bull, 1990, 74(6): 830~ 836
- 5 Mark E M, John G M. Volcaniclastic deposits: implications for hydrocarbon exploration [A]. In: Richard V, Fisher R V, Smith G A, eds. Sedimentation in volcanic settings [C]. Society for Sedimentary Geology, Special Publication, 1991, 45: 20~ 27
- 6 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
- 7 程日辉,刘万洙,王璞2,等. 徐家围子断陷火山岩赋存型式及意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 24~ 27
- 8 马乾,鄂俊杰. 黄骅坳陷北堡地区深层火成岩储层评价[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(4): 337~ 340
- 9 冀国盛,戴俊生,马欣本,等. 苏北盆地闵北地区阜宁组一、二段火山岩的储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 289~ 292
- 10 赵海玲,邓晋福,陈发景,等. 松辽盆地东南缘中生代火山岩及其盆地形成的构造背景[J]. 地球科学, 1996, 21(4): 421~ 427
- 11 Le Maitre R W. A classification of igneous rocks and glossary of terms, recommendation of the IUGS subcommission on the systematic of igneous rocks [M]. London: Blackwell Scientific Publication, 1989
- 12 赵澄林. 火山岩储层储集空间形成机理及含油性[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 37~ 43
- 13 赵澄林,孟卫工,金春爽,等. 辽河盆地火山岩与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999
- 14 Surdam R C, Boese S W, Crossey L J. The chemistry of secondary porosity [A]. In: McDonald D A, Surdam R C. Clastic diagenesis [C] AAPG Memoir, 1984, 37: 127~ 150.
- 15 Surdam R C, MacGowan D B. Oilfield waters and sandstone diagenesis [J]. Appl Geochem, 1988, 2: 613~ 620.
- 16 Welch S A, Ullman W J. The effect of organic acids on plagioclase dissolution rates and stoichiometry [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1992, 57: 2725~ 2736.
- 17 林传仙,白正华,张哲儒. 矿物及有关化合物热力学数据手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1985
- 18 赵海玲. 岩浆物理化学性质和流体动力学 [M]. 北京: 地震出版社, 1995
- 19 范宜仁,黄隆基,代诗华,等. 交会图技术在火山岩岩性与裂缝识别中的应用 [J]. 测井技术, 1999, 23(1): 53~ 64
- 20 代诗华,罗兴平. 火山岩储集层测井响应与解释方法 [J]. 新疆石油地质, 1998, 19(6): 525~ 526
- 21 雍世和. 测井数据处理与综合解释 [M]. 北京: 石油大学出版社, 1996
- 22 李善军,肖乘文,汪涵明,等. 裂缝的双侧向测井响应的数学模型及裂缝孔隙度的定量解释 [J]. 地球物理学报, 1996, 39, 845~ 852