

文章编号:0253-9985(2011)06-0859-08

火山碎屑沉积物是油气的重要储层

刘祥¹, 郎建军², 杨清福³

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2. 长春工业大学, 吉林 长春 130012; 3. 吉林省地震局, 吉林 长春 130117)

摘要:火山碎屑沉积物是重要的油气储层。火山碎屑沉积按成因划分为火山喷发空中降落堆积物、火山碎屑流状堆积物、火山泥流堆积物和火山基浪堆积物等。它们的特征和储层潜能是不同的。火山碎屑沉积物的识别和解释能够极大的影响火山碎屑层序的勘探方法、储油层几何形态和性能的预测。美国亚利桑那州早侏罗世怀特申组是一个多喷发火山口复合体,把不同成因类型的火山碎屑堆积物和熔岩分为4个相:火口相、近火口相、中间相和远端相。讨论了这些相对储层性能的影响。火山碎屑大部分由化学性活泼的和不稳定矿物组成,在埋藏成岩期间具有迅速和广泛的变化。火山碎屑的赋存,有助于溶解孔隙的发育,能够增强储油层性能。

关键词:火山; 油气储层; 火山碎屑沉积物; 火山相模式

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Pyroclastic deposits: an important reservoir for hydrocarbon accumulation

Liu Xiang¹, Lang Jianjun² and Yang Qingfu³

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China;

2. Changchun University of Technology, Changchun, Jilin 130012, China;

3. Jilin Province Bureau of Seismology, Changchun, Jilin 130117, China)

Abstract: Pyroclastic deposits are important reservoirs and can be divided into fallout tephra deposits, pyroclastic flow deposits, lahar deposits and base surge deposits by their genesis. The four kinds of pyroclastic deposits have different reservoir characteristics and potential. The identification and interpretation of the pyroclastic deposits can significantly influence the exploration methods of volcanoclastic sequences and the prediction of reservoir geometry and quality. The Lower Jurassic Wrightson Formation in Arizona is a multi-crater complex. Its pyroclastic deposits and lavas with various genesis can be divided into crater, proximal, middle and distal facies. The influences of these facies on reservoir quality are discussed. Volcanic clasts are mostly composed of chemically active and unstable minerals that can change rapidly and extensively during burial diagenesis. The occurrence of volcanic clasts may contribute to the development of dissolution porosity which can enhance reservoir quality.

Key words: volcano, hydrocarbon reservoir, pyroclastic deposit, volcanic facies model

1 在火山碎屑沉积物中寻找、勘探 油气层具有广阔的前景

1.1 世界各地在多个地质时代的火山碎屑沉积 物中发现油气层

在北欧和非洲裂谷盆地及沿着亚洲、南美的

会聚大陆边缘在含有火山碎屑沉积物的层序中发现有重要的油气沉积^[1]。地质时代包括晚古生代、中生代和新生代^[2-3]。

我国二连盆地、海拉尔盆地、松辽盆地、下辽河拗陷、苏北盆地和江汉盆地中、新生代陆相油气盆地以及淮葛尔^[4]盆地(二叠纪)中的火山岩和火山碎屑岩也是油气的重要储层。

收稿日期:2010-11-10; 修订日期:2011-12-07。

第一作者简介:刘祥(1967—),男,教授,火山学。

基金项目:国家自然科学基金项目(41072249);国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2009CB219300)。

1.2 火山碎屑沉积物的普遍性

据 Einsele^[5]文献,在盆地填充中,火山碎屑沉积起相当大的作用。在各种各样类型的盆地中,火山碎屑物质对沉积物总量的贡献可高达25%。因此,在各种盆地的火山碎屑沉积中寻找、勘探油气层具有广阔的前景。

2 不同成因类型火山碎屑沉积的识别及其储层

2.1 火山喷发空中降落堆积物及其储层

2.1.1 火山喷发空中降落堆积物

火山喷发空中降落堆积物(airfall tephra)包括火山喷发时喷向空中的所有产物。火山爆发时,热的火山碎屑和气体产生上浮的火山喷发热柱^[6],最高可达45 km(图1)。火山弹、岩块和较大的火山砾具有较大的降落速度,遵循弹道轨迹很快降落下来,形成火山渣锥(scoria cone)。较细



图1 1980年5月18日美国华盛顿州圣·海伦斯火山爆发,火山喷发柱被西风吹拂,火山灰扩散到整个美国^[7]

Fig.1 The eruptive plume of St. Helens volcano in Washington State, USA, erupted on May 18, 1980, and volcanic ashes were spreaded by west wind across the United States^[7]

较轻的碎屑顺优势风向漂浮,扩散得很远,超过数百、数千米,甚至数十、数百千米,降落下来后,形成火山碎屑席(tephra sheet)或火山碎屑扇(tephra fan)。如我国东北长白山火山1 000年前大爆发,火山灰向东一直到达日本,超过1 000 km^[8]。

空落火山碎屑铺天盖地而下,覆盖所有地形,其分布不受地形控制,而受风向影响。空落堆积物发育面状平行层理和递变层理,分选好,Inman分选系数常为1.0~2.0^[9]。浮岩用于中性和酸性岩浆火山碎屑,火山渣用于基性岩浆火山碎屑。空落火山渣和浮岩呈棱角状。随着距火山口越来越远,空落堆积物系统地变薄、颗粒更细、分选更好,所以空落火山碎屑的厚度、中值粒径都随远离火山口呈规律性减少^[9-10]。凝灰岩(tuff)一般为空落火山碎屑堆积物。

2.1.2 空落火山碎屑堆积物的储层

1) 空落火山碎屑沉积在距离火山口远距离,比如大于100 km也可以很厚,足以形成储油层或者与外力沉积联合形成储油层^[1]。比如:印度尼西亚含油气的Jatibarang火山岩组,是一个填充地堑的火山碎屑(凝灰岩)和火山熔岩流层序,厚1 200 m^[1]。苏格兰Midland河谷的下石炭统油页岩组,油页岩的有机碳含量高达30%。油页岩沉积在古代Cadell淡水湖中,形成0.2~6.0 m分离的矿层,其中有许多的火山灰和凝灰岩夹层。局部一个厚的凝灰岩层甚至占据一个油页岩矿层的位置^[2]。上侏罗统Kimmeridge页岩是欧洲北海区主要生油岩。有机碳含量平均5%~10%。沉积环境是开阔的内海。Moray峡湾区钻井中的Kimmeridge页岩含有不等的、局部相当多的火山成因的碎屑和薄的凝灰岩夹层^[2]。

2) 空落堆积成分均匀、分选好,广泛分布,在勘探中经常把它作为地层基准面是适宜的。比如:数层薄的凝灰岩层或凝灰质单元已被用于穿过Statford油田的详细对比^[11]。美国科罗拉多、犹他和怀俄明的始新世格林河组油页岩是白云质湖相沉积。延展超过65 000 km²,构成了世界上最大的油页岩储藏量,估计潜在的石油储量约3 000 × 10⁸ t。凝灰岩(流纹质到安山质)和凝灰质沉积物组成格林河组约2%^[2]。东地中海最年青的晚古近纪腐殖泥(上新世—第四纪)有机碳含量平均3.1%,主要是海相成因(非晶质的油母岩)。Cita

和 Grignani^[12] 评述认为,同步形成的腐殖泥和火山碎屑岩层可用高分辨率地层学,对东地中海深海记录进行精确的层对层的对比。

3) 分选好的空落堆积比分选差的火山碎屑流沉积有更好的储油性能,因此,在火山碎屑沉积层序中,经常将凝灰岩层列为主要的储油层性能^[1]。

4) 当储油层发生在空落堆积中时,这种沉积横向的连续性也被用于推测储层的连续性^[1]。

2.2 火山碎屑流状堆积物及其储层

2.2.1 火山碎屑流状堆积物

垂直的、满载火山碎屑的喷发柱的有效密度大于大气的有效密度,于是导致重力跨塌,产生火山碎屑流(pyroclastic flow)。Einsele^[5] 认为,火山碎屑流是炽热的、具有高度颗粒富集的部分流体化的气体-固体混合物,从而导致流沿山坡快速流动,填充低洼地形和以前的河谷。大部分浮岩流和火山灰流(火山灰粒级含量>50%)即形成于此(图2,图3)。火山碎屑流侵位温度 500 ~ 850 °C^[8]。

块状的、熔结的(welded)酸性和浮岩质火山碎屑流状堆积物被称为熔结凝灰岩(ignimbrite)。Cas 和 Wright^[13] 认为,熔结凝灰岩一般分选差、块状构造,含有不同量的火山灰、圆状火山砾和岩块。主要形成于火山喷发柱跨塌。

英安质-流纹质-粗面质成分大规模普林尼式爆发,从几千米高空连续地喷发柱跨塌,可形成规模巨大的广布的浮岩流席、火山灰流席。



图2 1968年菲律宾马荣火山爆发,由喷发柱垮塌形成的火山碎屑流沿山坡急驰^[9]

Fig. 2 The downslope moving pyroclastic flow resulted from column collapse of Mayon volcano erupted in 1968 in Philippines^[9]

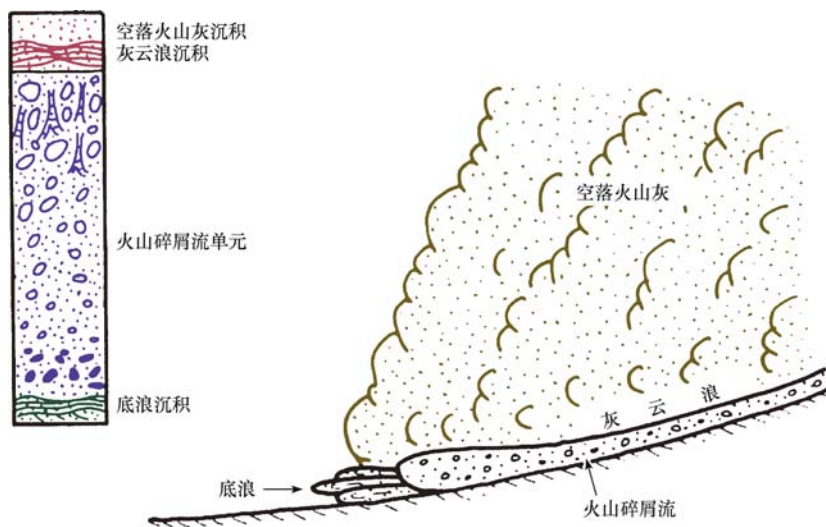


图3 火山碎屑流状堆积物的理想层序(浮岩流或熔结凝灰岩)^[13]

Fig. 3 Idealized section of pyroclastic flow deposits (pumice flow or ignimbrite)^[13]

在火山碎屑流状堆积物中,可出现许多流单元叠加在一起。每个流单元(flow unit)代表了沉积在流舌中的一个单一的火山碎屑流^[9]。流单元的界线由粒度变化、颜色、成分和组构不同等显现出来。一个流单元的理想层序是,最底部是薄的底浪(ground surge)堆积,接踵是火山碎屑流主体,顶部以薄的灰云浪(ash cloud surge)堆积和空落火山灰(fallout ash)结束。底浪和灰云浪堆积发育低角度交错层理、微弱波状层理等(图3)。

火山碎屑流沉积环绕火山口分布,受火山喷发柱跨塌方向和地形控制,与风向无关。火山碎屑流最远前进距火山口约100 km。分选差,Inman分选系数大于2^[9]。碎屑颗粒半圆、次圆状。块状构造,粗颗粒的浮岩和岩屑可发育递变层理。厚度和粒度也不像空落堆积那样随着远离火山口而规律性减小,即近火山口厚度不一定大,颗粒不一定粗,远离火山口厚度不一定薄,颗粒不一定细^[10]。因高温侵位,常形成熔结凝灰岩(ignimbrite或welded tuff)和凝灰熔岩(tufflava)。常显假流动构造。

2.2.2 火山碎屑流状堆积物的储层

1) 熔结凝灰岩可以有很大的规模,体积大于1 000 km³,火山碎屑流能够前进距火山口很远的距离,最远达100 km。一些熔结凝灰岩具有储油层潜能或在外力沉积中与储层共生^[1]。比如:在美国内华达州,从古近纪致密熔结的火山灰流凝灰岩中每天生产石油约95.4~190.8 m³(600~1 200 bbl)^[14]。

2) 大规模的熔结凝灰岩在勘探中被识别出来是特别重要的,因其广泛扩散,体积巨大,填平沟谷和低地,覆盖平缓地形,可以形成有价值的地层标志层^[1]。

3) 当储油层出现在熔结凝灰岩中时,这种沉积横向的连续性也被用于推测储层的连续性^[1]。

4) 横向连续的“标志层”,即大规模的熔结凝灰岩和空落火山碎屑,以连续的地震反射为特征,它们能同不连续反射的填充河谷的火山碎屑流沉积和火山泥流沉积区分开来^[1]。

2.3 火山泥流堆积及其储层

2.3.1 火山泥流堆积

火山泥流(lahar)是起源于火山的奔腾流动的

火山岩石碎屑和水的混合体,常沿河谷和低地急弛,类似于流动的混凝土^[10]。火山泥流的形成机制不同,但水是必须的。一种是直接与火山喷发有关,比如积雪、积冰和大雨中的火山爆发,或者火山碎屑流注入河流。此外,由于地震、火山膨胀长大,导致火山口湖急速排水或者火山不稳定,边坡跨塌等也可形成火山泥流。

火山泥流经常前进距火山口10~100 km处^[5]。火山泥流沉积成分复杂,磨圆更好。火山泥流堆积分选更差,含有直径大于1 m的巨砾是火山泥流最重要的特征之一。火山泥流沉积显示不太清晰的层理^[10]。

2.3.2 火山泥流堆积的储层

火山泥流堆积一般局限于沟谷中,因此作为地层标志层是有局限性的。然而更广阔分布的火山泥的岩屑流(debris flow)堆积,其范围从联合裙到厚的层序,比如Absaroka火山泥流角砾岩覆盖数千平方千米^[15]。

2.4 火山基浪堆积及其储层

2.4.1 火山基浪堆积

作者于1987年在我国首次发现火山基浪堆积^[16]。基浪(base surge)一词最初见于1947年在南太平洋Bikini Atoll的水下热核实验爆炸^[17]。作为火山现象的基浪,首先是在1965年菲律宾塔尔湖底火山喷发时观察到的^[18]。岩浆一碰到水会立即发生爆炸,并伴随出现基浪。基浪云从火山喷发柱横向放射状向外扩散,特别是那些正在上升的岩浆柱同地表水或地下水接触的地方^[19](图4)。这种火山基浪是含有大量的水蒸气、火山灰和火山砾等的低温(<100℃)的喷烟柱从侧面掠过造成的。

火山基浪堆积主要由分选差的火山砂和火山砾组成。碎屑形状多为次棱角状、半圆状和圆状。在火山基浪堆积中发育低角度交错层理、爬升层理、逆行沙丘、槽泊构造和“U”型沟槽等^[14,1,16]。关于基浪辐射的最大距离,大致等于火山口的直径,但也有等于火山口直径2倍或数倍的^[16-17]。基浪常常伴随形成小的火山口,称低平火山口(maar),低平火山口往往蓄水成湖^[9-10]。



图4 亚速群岛 Capelinhos 火山的喷发柱和基浪
(直径 270 m)^[19]

Fig. 4 Eruption column and base surge (diameter 270m),
Capelinhos volcano (Azores)^[19]

2.4.2 火山基浪堆积物的储层

基浪堆积虽然厚 (>100m), 一般局限于紧邻火山口附近, 在有限的区域内含油气的潜能小^[1]。

德国西部 Eifel, Eckfeld 附近, 在始新世低平火山口 (maar) 钻孔 66.5 m 处, Negendank^[1] 等描述了互层的沥青质纹层和火山碎屑沉积。沉积作用以火山碎屑开始, 接踵有硅藻岩和油页岩形成。

2.5 火山碎屑(涌)浪堆积

基浪、底浪和灰云浪统称为火山碎屑浪或火山碎屑涌浪 (pyroclastic surge)。火山碎屑(涌)浪有 3 种类型: 基浪、底浪和灰云浪。然而, 基浪、底浪和灰云浪 3 者形成的温度和机制是不同的。正如 Cas 和 Wright^[13] 指出的, 基浪是冷的和湿的 (cold and wet), 底浪和灰云浪是热的和干的 (hot and dry)。

基浪是上升的岩浆柱遇地表水和地下水爆炸

作用产生, 属于岩浆蒸气喷发 (phreatomagmatic eruption), 有大量水参与。基浪堆积属于水成喷发碎屑 (hydroclastic)^[9]。基浪形成温度一般低于 100 °C, 因此基浪和基浪堆积是冷的和湿的。底浪和灰云浪则不同, 一般伴随火山喷发柱跨塌形成, 属于火山喷发碎屑流状堆积物, 是热的和干的, 温度在 500 ~ 800 °C 以上。很少水的卷入, 因此底浪堆积和灰云浪堆积为火成碎屑 (pyroclastic)。如前所述, 分别出现在火山碎屑流状堆积物的底部和顶部。

Cas 和 Wright^[13] 认为, 底浪是稠密的高集中的火山碎屑的先驱, 先于火山碎屑流的前部。灰云浪则是火山碎屑流上方, 上驮气体和火山灰云产生的湍流状、低密度流 (图 3)。

3 距火山口远近不同可以划分若干相

3.1 火山相模式

当把组成古火山机构的火山碎屑岩、熔岩和浅成侵入体等划分为若干相时, 必须确定组成相 (facies) 的火山碎屑岩的成因类型, 即空落堆积、火山碎屑流堆积、火山泥流和火山基浪堆积等。如此才能正确预测储层的几何形态、分布、特征和性能等。

以美国亚利桑那州 Snata Rita 山脉怀特申组多喷发口 (multi-vent) 火山复合体的相模式为例。怀特申组是一套早侏罗世火山熔岩、火山碎屑岩及其夹层石英砂屑岩和次火山岩侵入体的各种各样的组合。怀特申组为一单斜层序, 厚 4 500 m, 沿走向出露 25 km^[20]。该组划分为下、中、上 3 段。下段由英安岩、安山岩熔岩流、流状角砾岩、安粗质熔结凝灰岩和再沉积的熔结凝灰岩组成, 含少量的河流砾岩和砂岩及可能的风成砂岩。中段由英安质到流纹质熔结凝灰岩、风成石英砂屑岩、少量的安山岩和英安岩熔岩流、少量的安山质和粗面质熔结凝灰岩和火山泥流的岩屑流堆积组成。被中性到酸性岩石多次侵入。上段由大致等量的风成砂和安山岩到英安岩侵入体组成, 含少量安山岩熔岩和流状角砾岩、酸性熔结凝灰岩和火山泥流岩屑流堆积。该组下段主要为中性溢流火山活动, 中段以酸性爆发式火山活动为主, 上段显示火山活动逐渐减弱。该组在横向和纵向

上有迅速的岩相(lithofacies)变化。

怀特申组多喷发口火山相模式(facies model)包括:火口相、近火口相、中间相和远端相,应用了传统的成层火山的相模式。图 5a 即为成层火山相模式,它提供了一个了解岩相自然分布的参考资料。怀特申组中的相组合概括在图 5b 中,它们是:

火口相组合(vent 或 near-vent facies assemblage)。该相组合距中心火山口不到 2 km。在一个一般的成层火山相模式中包括脉状侵入体、火山穹丘、粗粒抛出物、厚的酸性和薄的镁铁质熔岩流和块体流(mass-flow)沉积。在这些中,怀特申

组包括:侵入体、熔岩沉积物混合体(peperite)、酸性熔岩流和火山穹丘。

近火口相组合(proximal facies assemblage)。该组合距中心火山口 5~15 km。传统上认为由厚的中性或镁铁质熔岩流、火山泥流岩屑流堆积和熔结的熔结凝灰岩组成。所有这些在怀特申组中都存在,虽然火山泥流岩屑流沉积不常见。

中间相组合(medial facies assemblage)。距中心火山口 25~35 km,由适度熔结到未熔结的熔结凝灰岩、火山泥流岩屑流堆积、薄的空落堆积、少量的熔岩流和粗粒的外力单元组成。怀特申组中含有所有这些岩相,虽然火山泥流岩屑流稀少。

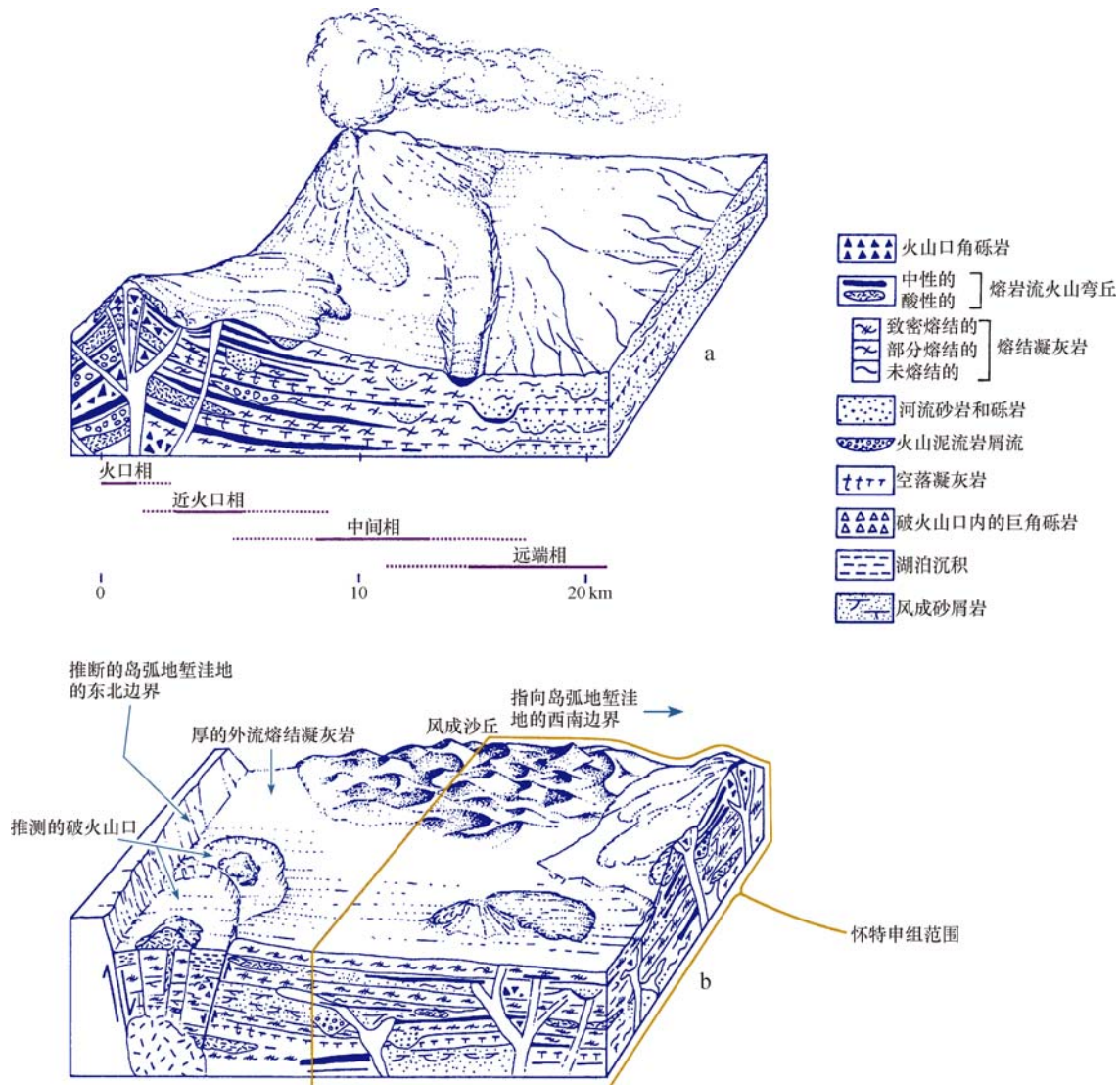
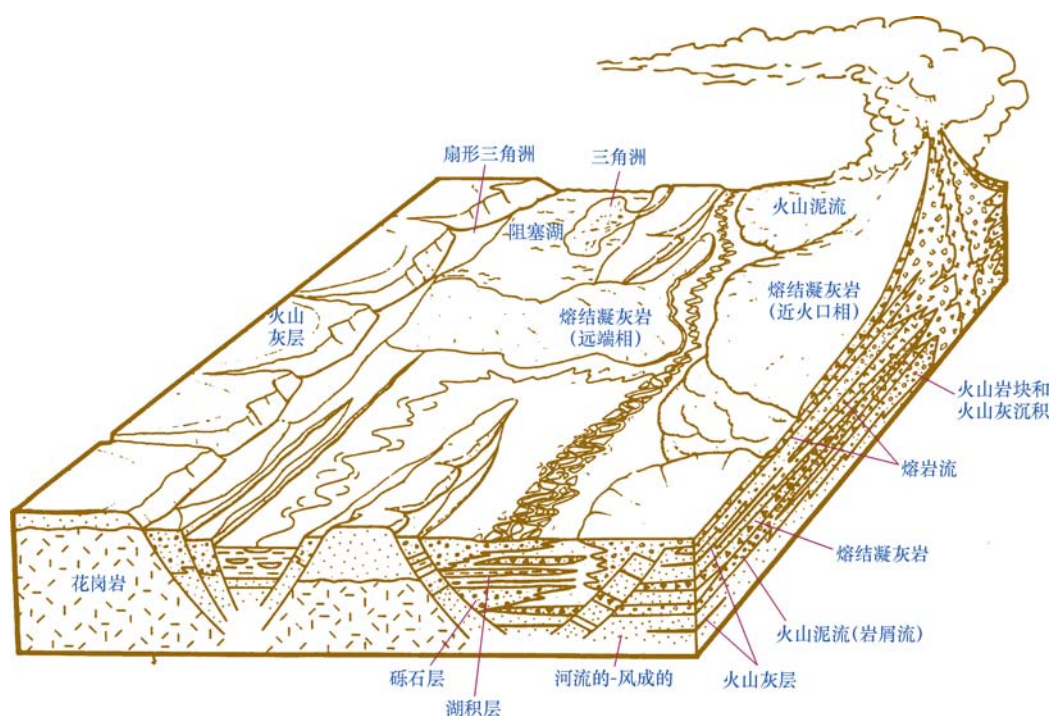


图 5 美国亚利桑那州 Snata Rita 山脉怀特申组火山相模式

Fig. 5 Facies model of the Wrightson Formation, Mt. Snata Rita, Arizona, USA

a. 成层火山的相模式; b. 美国亚利桑那州 Snata Rita 山脉怀特申组古地理模型和火山背景^[20]

图6 活动裂谷背景中火山碎屑相示意图^[1]Fig. 6 Schematic diagram showing volcaniclastic facies in an active rift^[1]

远端相组合 (distal facies assemblage) 距中心火山口超过 35 ~ 50 km, 含有丰富的外力碎屑沉积, 少量的熔岩流和火山碎屑沉积, 薄的空落堆积。所有这些沉积中, 仅仅一些河流沉积和火山碎屑或再沉积的火山碎屑堆积出现在怀特申组中。

怀特申组含有存在于典型的成层火山相模式中的大多数岩相。尽管如此, 怀特申组沉积在一个低地形地区, 而不是近似于一个大的中心式成层火山。怀特申组中局部常见的致密熔结的熔结凝灰岩可能来自于怀特申组沉积中心之外的一个或几个破火山口(5b)。图6为活动裂谷中火山碎屑相示意图^[1]。

3.2 不同岩石类型通常是某个相的组成成员

以怀特申组为例, 浅成侵入体和熔岩沉积物混合物与火山口有关。当岩浆或熔岩侵入或者与湿的未固结的沉积物混合就形成熔岩沉积物混合体。

英安岩熔岩流被解释为火口相沉积, 一般情况, 英安岩熔岩距火山口 3 km 之内。安山岩熔岩流和流状角砾岩是火口相和近火口相沉积。中性成分非粘性的熔岩流通常在距火山口数十千米处被发现。

怀特申组中的熔结凝灰岩构成近火口相和中间相堆积。空落凝灰岩稀少。火山泥流岩屑流堆积为近火口相和中间相沉积物^[20]。

3.3 火山相的储层

1) 在日本, 类似规模大小和成分的众多火山丘 (volcanic mounds) 形成储油层, 有可能为火口相^[1]。

2) 一般而言, 储油层最好的是最粗粒和分选最好的岩石, 分选好的远端相比分选更差的近火口相有更好的储油层性能^[1]。

4 火山碎屑的成岩作用对储层有利并保存储层

4.1 火山碎屑的成岩作用有助于增强和保存储油层性能

因压实和胶结作用造成孔隙封存, 常导致火山碎屑砂岩油层性能快速减低。除孔隙封存外, 火山碎屑的赋存可能有助于溶解孔隙发育, 这能提高油层性能^[1]。Loucks^[21]等和海湾沿岸砂岩的其他作者已证实, 火山格架颗粒的溶解实际上对孔隙度的贡献高达 30%, 相应地在约 4 500 m

地下深处亦有高的渗透率。

据 Mathisen^[3], 菲律宾 Cagayan 盆地上新世—更新世非海相火山砂岩埋深 400 ~ 900 m, 仅仅轻微压实, 但含有大量自生的内衬孔隙粘土和沸石。斜长石、重矿物和火山岩石碎屑的溶解几乎发生在所有样品中, 薄片孔隙度增加高达 40%。这是由于在浅处埋藏成岩作用期间早期硅酸盐溶解。次生孔隙性提高火山碎屑产油层质量早于更广泛的压实和胶结作用。

美国得克萨斯州 Allen Ranch 油田的下 Vicksburg 砂岩(渐新世)在 2 835 ~ 4 572 m 深产天然气^[22]。砂岩的机械压实作用被早期成岩作用期间初始的胶结作用所阻滞。原生孔隙由方解石胶结作用的早期成岩作用期间形成。然而在发生深埋之后, 方解石胶结物、长石和火山岩碎屑溶解导致次生孔隙发育。接踵溶解的是石英过度生长的沉淀作用、自生粘土矿物(高岭土、绿泥石、伊利石、蒙脱石和蛭石)的形成等。在 2 939 ~ 3 836 m 深处孔隙度从约 15% 增加到 20%。这种增加与异常的高压梯度(20.8 kPa/m)和升高的地热梯度有关。沿着得克萨斯海湾沿岸, 早古近纪砂岩产油层的次生淋滤孔隙在近地表到深处地下是常见的, 直到占主要地位。在埋深超过约 3 000 m 以下的深度, 以次生孔隙为主, 占总孔隙度的 50% ~ 100%^[23]。

4.2 热液成因的浊沸石富集有利孔隙性和渗透性形成

前苏联东乔治亚几个油田从中始新世浊沸石凝灰岩中采油已超过 10 年^[24]。在浊沸石凝灰岩中次生孔隙和渗透性明显发育。这些岩石产生于安山质凝灰岩强烈的热液蚀变期间, 局部常常成透镜体(几米厚)。

上面描述的热液交代成因的产油层最可能发生在岛弧或裂谷区内, 在那里中性成分的火山岩层序在 CO₂ 活动极低的情况下被变质为沸石相。异常的物理性质和原地应力使得它们容易通过井下的地球物理测井并进行探查^[24]。

4.3 成岩中的冷却、风化和断裂作用有利储层

Trap Spring 油田位于美国内华达州, 形成于古近纪火山灰流凝灰岩中。自从 1976 年被发现已产油约 $28.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ($1.8 \times 10^6 \text{ bbl}$)^[14]。火山灰流凝灰岩侵位后, 风化作用立即开始。高度多

孔、未熔结或部分熔结的上部在比较短的时期内可能被剥蚀掉或风化掉, 留下更致密熔结的流的坚硬部分。熔结凝灰岩的化学风化作用导致其蚀变, 形成多种粘土矿物。下一个火山灰流席的沉积作用有效地中断了被埋藏的熔结凝灰岩的风化作用。这样, 剥蚀作用、风化作用和埋藏就形成了一个未蚀变的致密熔结的熔结凝灰岩与部分到完全蚀变成粘土的熔结凝灰岩的不渗透的交替层序。

当火山灰流冷凝时, 形成冷却和收缩节理。在露头处, 节理通常为直线状, 彼此间隔 0.6 ~ 1.2 m。冷缩节理被考虑为 Trap Spring 产油层有效孔隙率的主要部分。节理可能因断裂作用而不同程度张开。这一点指出, 任何发育冷缩节理的致密熔结的火山灰流凝灰岩并已受到断裂作用, 能被预期具有储油层性能。

我国也有类似的情况^[25]。

参 考 文 献

- [1] Mathisen M E, McPherson J G. Volcaniclastic deposits: implication for hydrocarbon exploration[J]. Sedimentation in Volcanic Setting, SEPM Special Publication, 1991, 45: 28 - 36.
- [2] Zimmerle W. New aspects on the formation of hydrocarbon rocks[J]. Geological Rundschau, 1985, 74(2): 385 - 416.
- [3] Mathisen M E. Diagenesis of Plio-Pleistocene nonmarine sandstones, Cagayan Basin, Philippines: early development of secondary porosity in volcanic sandstone[J]. Clastic Diagenesis; American Association of Petroleum Geologists memoir, 1984, 37: 177 - 199.
- [4] 王璞珺, 冯志强. 盆地火山岩: 岩性·岩相·储层·气藏·勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1 - 8.
Wang Pujun, Feng Zhiqiang. Volcanic rocks in petroliferous basin: petrography. Facies·Reservoir·pool·exploration[M]. Beijing: Science publishing House, 2007: 1 - 8.
- [5] Einsele G. Sedimentary basins[M]. Springer-Verlag, 1991: 66 - 76.
- [6] Sparks R S J, Bursik M I, Carey S N, et al. Volcanic plumes[M]. New York: Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto, 1997: 1 - 574.
- [7] Coch N K. Geohazards: natural and human[J]. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 07632, 1995: 1 - 481.
- [8] 刘祥. 长白山火山历史上最大爆发火山碎屑物层序与分布[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(3): 313 - 318.
Liu Xiang. Sequence and distribution of the pyroclastic deposits of the greatest eruption of Changbaishan volcano during the period of history[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2006, 36(3): 313 - 318.

(下转第 889 页)

- [13] 李国平. 天然气封盖层研究与评价[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
Li Guoping. Research and evaluation of natural gas seal layer [M]. Beijing:Petroleum Industry Press,1996.
- [14] 杨华,张军,王飞雁,等. 鄂尔多斯盆地古生界含气系统特征[J]. 天然气工业,2000,20(6):7-11.
Yang Hua, Zhang Jun, Wang Feiyan, et al. Characteristics of Paleozoic gas system in e'erdusi basin[J]. Natural gas industry,2000,20(6):7-11.
- [15] 郝蜀民,李良,尤欢增. 大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式[J]. 中国地质,2007,38(4):606-610.
Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permo-Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near-source box-type gas accumulation-forming model [J]. Geology in China,2007,38(4):606-610.
- [16] 闵琪,付金华,席胜利,等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移聚集特征[J]. 石油勘探与开发,2000,27(4):26-29.
Min Qi, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Characteristics of natural gas migration and accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4):26-29.
- [17] 赵林,夏新宇,戴金星. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气的运移与聚集[J]. 地质地球化学,2000,28(3):48-53.
Zhao Lin, Xia Xinyu, Dai Jinxing. Migration and accumulation of natural gases in Upper Paleozoic Ordos basin [J]. Geology - Geochemistry,2000,28(3):48-53.

(编辑 张亚雄)

(上接第866页)

- [9] Fisher R V, Schmincke H U. Pyroclastic rocks [M]. London: Springer Verlag,1984:1-472.
- [10] 刘祥,向天元. 中国东北地区新生代火山和火山碎屑堆积物资源与灾害[M]. 长春:吉林大学出版社,1997:1-161.
Liu Xiang, Xiang Tianyuan. Cenozoic volcanoes and pyroclastic deposits in northeastern China [M]. Changchun: Jilin University Publishing House,1997:1-161.
- [11] Malm O A, Furnes H, Bjorlykke K. Volcaniclastic of Middle Jurassic age in the statford oil field of the North Sea [J]. Neues Jahrbuch Geologische Palaeontologie Monatshefte,1979,10:607-618.
- [12] Cita M B, Grignani D. Nature and origin of Late Neogene Mediterranean sapropels [J]. Nature and Origin of Cretaceous Carbon-rich facies,1982:165-196.
- [13] Cas R A F, Wright J V. Volcanic successions, modern and ancient [M]. London, United Kingdom: Allen and Unwin, 1987:1-472.
- [14] French D E, Freeman K J. Volcanic yield another oil field [J]. World Oil,1979:58-63.
- [15] Parsons W H. Criteria for the recognition of volcanic breccias [J]. Review: Geological Society of America Memoir 115, 1969:263-304.
- [16] 刘祥,王锡魁. 吉林省辉南县大龙湾火山基浪(base-surge)堆积物的发现[J]. 地质论评,1987,33(6):577-582.
Liu Xiang, Wang Xikui. Discovery of the volcanic base-surge deposits in Dalongwan, Huinan County, Jilin Province [J]. Geological Review,1987,33(6):577-582.
- [17] Crowe B M, Fisher R V. Sedimentary structure in base-surge deposits with special reference to cross-bedding Ubehebe Craters, Death Valley, California [J]. Geological society American Bulletin,1973,84:663-682.
- [18] Moor J G, Nakamura K, Alcaraz A. The 1965 eruption of Taal volcano [J]. Science,1966,51:955-960.
- [19] Waters A C, Fisher R V. Base-surge and their deposits: Capelinhos and Taal Volcanoes [J]. Journal of Geophysical Research,1971,76:5596-5614.
- [20] Riggs N R, Busby-spera C J. Evolution of a multi-vent volcanic complex within a subsiding arc graben depression: Mount Wrightson Formation, Arizona [J]. Geological Society of America Bulletin,1990,102:1114-1135.
- [21] Loucks R G, Dodge M M, Galloway W E. Regional controls on diagenesis and reservoir quality in Lower Tertiary sandstones along the Texas Gulf Coast [J]. American Association of Petroleum Geologists Memoir,1984,37:15-45.
- [22] Klass M J, Kersey D G, Berg R R, et al. Diagenesis and secondary porosity in Vicksburg sandstones, McAllen ranch field, Hidalgo County, Texas [J]. Transactions, Gulf Coast Association of Geological Societies,1981,30:115-123.
- [23] Loucks R G, Dodge M M, Galloway W E. Importance of secondary leached porosity in Lower Tertiary sandstones along the Texas Gulf Coast [J]. Transactions, Gulf Coast Association of Geological Societies,1979,29:164-171.
- [24] Vernik L. A new type of reservoir rock in volcaniclastic sequences [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin,1990,74:830-836.
- [25] 王洪江,吴聿元. 松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J]. 石油与天然气地质,2011,32(3):360-367.
Wang Hongjiang, Wu Yuyuan. Distribution patterns and controlling factors of volcanic gas pools in the Changling fault depression, the Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology,2011,32(3):360-367.

(编辑 高岩)