

湖南慈利灯影组古油藏的发现及意义^{*}

赵宗举,冯加良,陈学时,周进高

(杭州石油地质研究所,浙江杭州 310023)

摘要:湖南慈利南山坪上震旦统灯影组古油藏形成于晚志留世—早泥盆世时期,主要储集空间为灯影组白云岩因溶蚀作用形成的溶孔、溶洞和裂缝。晚侏罗世—早白垩世的燕山运动使其上覆盖层抬升、剥蚀,从而使其彻底破坏。该古油气的发现说明了湘鄂西坳陷具有与四川威远气田相似的生油及成藏过程,其主要区别在于威远气田后期受燕山运动的影响较小,而慈利古油气藏后期盖层破坏较大。因此,在湘鄂西地区,若能寻找到的盖层和圈闭,有望发现类似而又未被破坏的南山坪上震旦统灯影组天然气藏。

关键词:古油藏;灯影组;古岩溶;油源对比;湖南

第一作者简介:赵宗举,男,33岁,高级工程师(博士生),油气地质及构造地质

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

1996年在湖南桑植-石门复向斜及其东南侧的武陵隆起北缘,发现了产于上震旦统灯影组之中的大量碳沥青,经研究属于有一定规模油气聚集而现今已被破坏的古油藏,初步估算其沥青储量可达 $100 \times 10^4 \sim 800 \times 10^4$ t,甚至更大。

1 特征

1.1 储层

1.1.1 储集空间类型

富含沥青层主要分布于灯影组顶部的岩溶角砾状泥晶白云岩及上部的纹层状泥粉晶白云岩中(图版 I-1, I-2, I-3)。顶部角砾白云岩的储层类型为孔隙-裂缝型,孔洞缝为大量沥青全充填或半充填,沥青充填的有效面孔率达 10%~20%,局部可达 25%~30%。沥青充填的孔洞缝类型多样、大小悬殊、分布不均,且呈网络状互相连接。

(1)溶孔溶洞主要包括砾间、砾内溶孔溶洞(图版 I-4)、晶洞、亮晶白云石胶结物晶间晶内溶孔(图版 I-5)、基质溶孔及溶缝、白云石脉内溶孔(图版 I-6)、溶缝等。

(2)砾内岩溶垮塌形成的不规则缝(图版 I-7)和构造挤压应力作用在岩层褶曲过程中所产生的层间滑脱缝(图版 I-8)。

(3)表生岩溶作用形成的崩塌角砾及碎裂角砾

间裂缝。潮坪相泥粉晶白云岩的同沉积干裂缝经灯影期末的暴露风化及表生岩溶使之加深扩大而形成的裂缝。另外,还有因成岩作用而形成的压溶缝、缝合线以及成岩微裂缝等。

1.1.2 影响因素

1.1.2.1 表生岩溶作用

晚震旦世末—早寒武世初桐湾运动使灯影组暴露产生表生岩溶作用,形成灯影组顶部的岩溶角砾岩、古风化壳或 I 型层序界面。岩溶角砾白云岩的碳氧同位素值分为两组:一组以低正碳同位素值和低负氧同位素为特征,为原生海相白云岩所具有;另一组碳氧同位素均具较高负值,表现出明显的大气淡水成岩特征,可作界面古岩溶的一个佐证。

1.1.2.2 胶结及充填作用

(1)(准)同生期(海底胶结作用)——一代纤维状白云石胶结:充填于岩溶孔、洞、缝的边缘部位(图版 I-5)。

(2)早中成岩期(浅埋藏阶段)——二代叶片状及粒状亮晶白云石胶结:充填于纤维状白云石胶结物之后(图版 I-5)。

(3)深埋藏或晚成岩期——粗晶粒状、块状富铁白云石及异形白云石(三代白云石)胶结:充填于岩溶孔、洞、缝的中心部位(图版 I-4~7),其包体测温数据为 103~236℃,表明形成于深埋藏环境。

上述二、三代白云石,由于形成于埋藏环境,成岩介质 Mg^{2+}/Ca^{2+} 值相对较低,而成岩时间却很

^{*} 中国石油天然气总公司项目(9610):“湖南桑植-石门复向斜含油气构造区带划分及其圈闭评价优选”资助。

收稿日期:2000-06-02

长,尤其是三代白云石,其经历的生长时间长达数百万年,镁钙离子有充分的交换时间,因此,镁的含量均在20%以上,与白云石的化学计量十分接近。

1.1.2.3 深埋有机溶蚀作用

(1)孔洞缝中充填的粗晶粒状、块状富铁白云石及异形白云石被溶蚀成港湾状、残缕状,形成白云石晶间晶内溶孔溶洞并被沥青充填(图版I-6)。

(2)沥青充填的缝合线及缝合线溶孔、溶缝中普遍发育细粒状黄铁矿,表明其溶蚀作用在深埋藏环境下发生。

(3)镜下观察到部分风化壳表生岩溶期形成的溶蚀孔隙经埋藏期胶结物充填后,又再次被深埋溶蚀而形成孔隙(图版I-6)。

(4)溶孔溶洞的发育直接与裂缝有关,裂缝、脉内溶孔与砾间溶孔溶洞相通,说明砾间溶孔溶洞是晚期深埋阶段形成的。

1.1.2.4 白云石化作用

包括准同生白云石化、混合水白云石化及埋藏白云石化。对古油藏储层影响较大的是埋藏白云石化作用,它是深埋阶段下白云石化流体交代成因的产物。

1.2 油源对比

1.2.1 有机质丰度

赋存沥青的角砾岩为古风化面产物,它与下寒武统牛蹄塘组碳质泥岩直接接触,且牛蹄塘组有机质含量非常高(表1),具备丰富的烃源,而灯影组的有机质丰度低得多,上震旦统陡山沱组虽然具备较好的生烃条件,但其地层中存在的数层泥岩层具备较强的封挡条件,影响了烃类的运移,因而占沥青来自牛蹄塘组倒灌的可能性最大。

表1 南山坪剖面陡山沱组-牛蹄塘组有机质丰度

Table 1 Organic abundance of Doushantuo and Niutitang Formations in Nanshanping section

层位	有机碳/%	沥青“A”/%
陡山沱组	0.23/8	0.002 9/6
灯影组	0.09/3	0.001 5/3
牛蹄塘组	3.87/2	0.001 0/1

注:分母为样品数

1.2.2 饱和烃组成

从饱和烃色谱图上看,南山坪沥青的显著特点是具有双峰型分布和高的姥鲛烷、植烷含量,牛蹄塘组碳质泥岩与其具有相似的特征(表2,图1),灯影组白云岩和陡山沱组灰岩的Pr,Ph含量明显小于相

应的正烷烃,且为单峰型分布。

表2 饱和烃组成对比

Table 2 Correlation of saturated hydrocarbon compositions

样品	峰型	主峰碳	$\frac{Pr}{Ph}$	$\frac{Pr}{nC_{17}}$	$\frac{Ph}{nC_{18}}$	$\frac{\sum C_{21}}{\sum C_{22}}$
牛蹄塘组碳质泥岩	双峰	Ph, nC ₂₃	0.64	0.98	1.25	1.57
灯影组顶部沥青	双峰	Ph, nC ₂₃	0.21	2.26	3.19	0.93
灯影组顶部白云岩	单峰	nC ₁₈ , nC ₂₃	0.45	0.64	0.66	1.00
陡山沱组灰岩	单峰	nC ₂₀	0.47	0.53	0.71	1.40

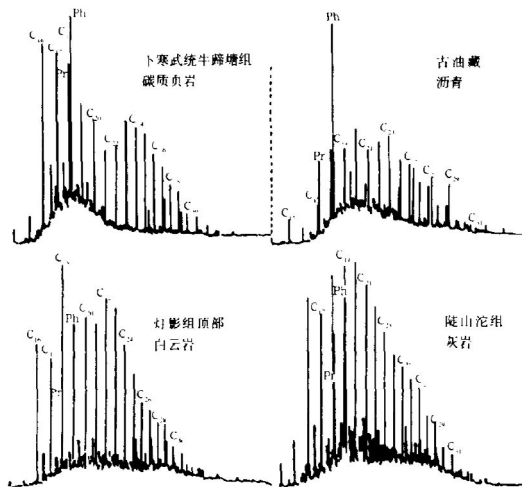


图1 饱和烃色谱图

Fig.1 Chromatogram map of saturated hydrocarbon

饱和烃中萜类生物标志物的组成,各样品具有相似的组成特征,但也存在一定区别,其中牛蹄塘组泥岩和沥青的组成最为接近(表3,图2),与上震旦统碳酸盐岩相比,它们具有较低的扩展三萜烷含量和相对较高的 γ -蜡烷含量。

表3 萜烷 ($m/z:191$)组成对比

Table 3 Correlation of terpane ($m/z:191$) compositions

样品	$\frac{C_{29}}{C_{30}}$	$\frac{C_{21}S}{C_{30}}$	$\frac{\gamma\text{-蜡烷}}{C_{31}S}$
牛蹄塘组碳质泥岩	0.21	0.15	0.75
灯影组顶部沥青	0.25	0.15	0.75
灯影组顶部白云岩	0.32	0.25	0.57
陡山沱组灰岩	0.43	0.35	0.41

碳质泥岩与沥青的甾烷组成较为相似,而与上震旦统碳酸盐岩有较明显的差别(表4,图3),泥岩与沥青的 C_{27} 小于 C_{28} ,而灯影组白云岩和陡山沱组灰岩为 C_{27} 大于 C_{28} ,另一区别为 $(C_{27}+C_{28})$ 的相对含量,泥岩和沥青不到30%,而白云岩和灰岩则接近50%。

1.2.3 碳同位素组成

南山坪灯影组沥青的碳同位素值为-3.38%,

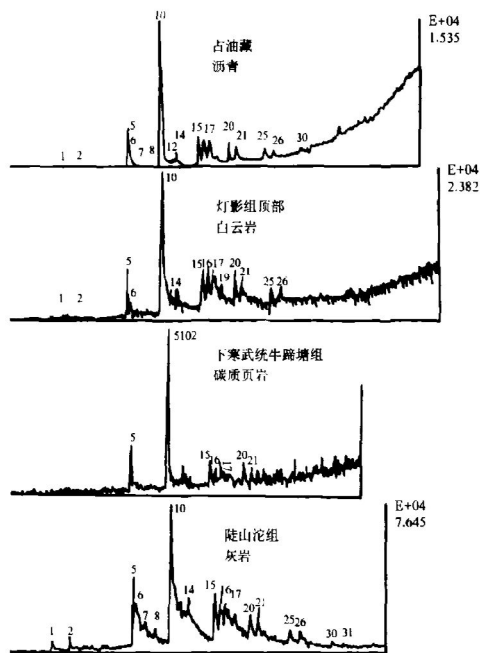


图2 饱和烃萜类色谱图

Fig.2 Chromatogram map of terpane in saturated hydrocarbon

表4 甾烷(m/z :217)组成对比Table4 Correlation of sterane (m/z :217) compositions

样 品	C_{27}	C_{28}	$C_{27} + C_{28}$
	$C_{27} + C_{28} + C_{29}$	$C_{27} + C_{28} + C_{29}$	$C_{27} + C_{28} + C_{29}$
牛蹄塘组碳质页岩	0.07	0.12	0.19
灯影组顶部沥青	0.13	0.14	0.27
灯影组顶部白云岩	0.35	0.12	0.47
陡山沱组灰岩	0.24	0.23	0.47

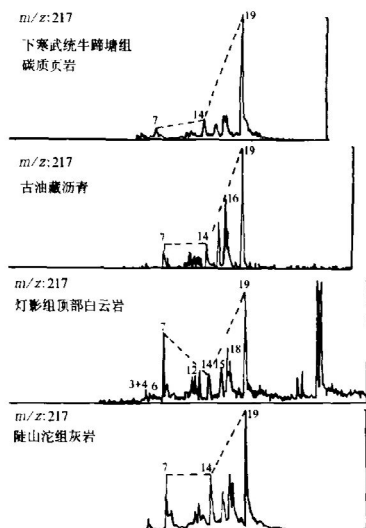


图3 饱和烃甾烷色谱图

Fig.3 Chromatogram map of sterane in saturated hydrocarbon

灯影组白云岩沥青“A”的 $\delta^{13}C$ 值为 -3.0% ,陡山沱组灰岩干酪根的 $\delta^{13}C$ 值为 -2.824% ,牛蹄塘组碳质页岩干酪根的 $\delta^{13}C$ 值为 -3.186% 。在高演化阶段的古老地层中,沥青“A”与干酪根的同位素组成并无大的差别,如桑植—石门复向斜石堤西上奥陶统泥岩样品干酪根的 $\delta^{13}C$ 值为 -3.102% ,而其沥青“A”的 $\delta^{13}C$ 值也仅为 -3.130% ,不少样品甚至出现沥青“A”碳同位素组成重于干酪根的现象,所以从同位素组成看,灯影组沥青与牛蹄塘组碳质页岩最为接近,灯影组白云岩次之。

2 演化

南山坪灯影组古油藏经历了复杂的演化过程(图4),作为其主要烃源岩的下寒武统及可能烃源

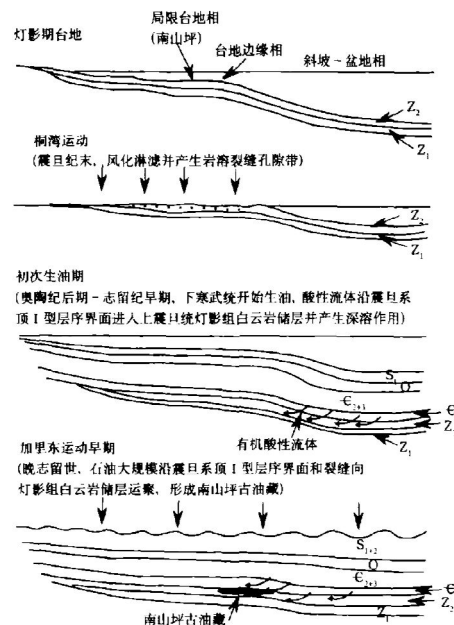


图4 慈利南山坪上震旦统灯影组古油藏演化图

Fig.4 Evolution of fossil oil pool from Dengying

Formation of Nanshanping, Cili County

岩的上震旦统陡山沱组(Z_2^1)从沉积以后直到中三叠世总体处于持续深埋状态,分别于中晚志留世—早泥盆世及中晚三叠世进入生油—湿气高峰及干气高峰,与之配套的是加里东晚期—海西早期(晚志留世—早泥盆世)的构造运动形成了南山坪背斜锥形并于印支期(中三叠世末—晚三叠世初)得到加强,同时由桐湾运动形成的灯影组顶部古岩溶储层被加里东晚期—海西早期(志留纪—早泥盆世)

的深埋有机溶蚀作用改造成为优质的有效储油层,该储层被随之而来的石油所充填而形成了南山坪背斜—古风化壳复合型油藏(晚志留世—早泥盆世)。

由于南山坪地区从震旦纪—早古生代长期处于西北台地与东南部斜坡—盆地之间,加之加里东运动使之形成了最靠近台地边缘的首排背斜构造圈闭以及张家界—慈利断裂活动为其提供了更便捷的石油运移通道,从而使之长期成为油气运移聚集的指向区,第一套区域盖层(中奥陶统—中志留统)和第二套区域盖层(二叠系—中三叠统)在加里东晚期南山坪油藏形成以后直到侏罗纪均较完整地保存并成为有效的油气封盖层,对加里东晚期的油藏以及中晚三叠世快速深埋热裂解而变成南山坪天然气藏均起到了很好的保护作用。但由于遭受晚侏罗世—早白垩世燕山运动主幕(宁镇运动)的强烈冲断褶皱、抬升剥蚀的影响,上述盖层遭到断裂作用改造并不断地被剥蚀减薄,造成对南山坪气藏的破坏。因此该古油藏的沥青应属于热演化沥青,是石油在中晚三叠世热裂解变成天然气及残余沥青的结果。另外,包裹体测温的第二组高峰值达190℃也说明了南山坪古油气藏曾深埋6000~7000m,从而造成其热裂解,这一深埋时期也为中晚三叠世。

从沥青干裂缝中所含的粒状亮晶白云石及硅质胶结物的充填状况可以看出,宁镇运动以后南山坪古油气藏被彻底破坏。

3 意义

南山坪古油藏处于自加里东运动以来一直存在的古隆起——武陵隆起的北缘,晚震旦世—中三叠世湘鄂西坳陷是一个持续性的生烃凹陷,其中沉积了厚达400~900余米的优质烃源岩;泥质岩残余有机碳含量0.11%~3.70%,平均1.05%;碳酸盐岩残余有机碳含量0.10%~0.55%,平均0.22%。除此之外,还有上震旦统陡山沱组烃源岩,厚达100~300m,泥质岩残余有机碳含量0.15%~2.48%,平均0.81%;碳酸盐岩残余有机碳含量0.13%~1.11%,平均0.54%。有机质类型均以腐泥型为主,因此,湘鄂西坳陷与其东南侧的斜坡—盆地一样,同样具有良好的烃源条件及供烃能力。该古油藏的发现充分说明了武陵隆起及湘鄂西地区曾经具备了形成工业性油气藏的条件。联系到浙江余杭县泰山上震旦统古油藏、绍兴坡塘上震旦统古油藏及浙西新塘坞上震旦统古

油藏等的情况^[1],它们均产于江南隆起的北缘,主力烃源也都为下寒武统,其油气成藏与破坏的历史也基本相同,究其原因,主要是因为江南—九岭—武陵—雪峰隆起具有相似的形成及改造历史,而湘鄂西生烃凹陷及钱塘生烃凹陷主力烃源岩下寒武统也具有相似的生烃过程,其储层也主要是上震旦统灯影组顶部及上部古风化壳及白云岩。

四川威远气田的形成与自加里东期以来的乐山—龙女寺古隆起的存在有着密切的成生联系^[2,3],其储层也为灯影组白云岩,主力烃源也为下寒武统^[4],初次成藏期为加里东晚期(志留纪),当时在乐山—龙女寺隆起形成较大面积的油藏,印支期—燕山早期(三叠纪—侏罗纪)深埋热裂解成为天然气藏,在喜山运动主幕(早第三纪末—晚第三纪初)的改造下形成了现今所见的威远背斜构造圈闭,同时使早期的乐山—龙女寺隆起天然气藏中的天然气发生重新分配及水溶解气从地层水中因构造抬升而减压释出并聚集于威远背斜中,从而形成了现今的威远气田^[2,3],应该说,早期(加里东期—印支期)的油气演化对乐山—龙女寺隆起及江南—武陵隆起来说是相似的,而威远气田得以形成及保存、泰山古油藏及南山坪古油藏等却遭到破坏,其主要区别在于四川盆地缺乏较强的燕山运动而现今所见的褶皱及背斜圈闭主要形成于喜山期,四川盆地以外的扬子区包括江南—武陵隆起却遭受了强烈的燕山运动特别是晚侏罗世—早白垩世的燕山运动主幕的褶皱及冲断改造(当然,这些地区的喜山期改造及抬升剥蚀也是很强烈的),从而造成了对早期油气藏的破坏,而四川盆地目前仍具备好的油气盖层及保存条件是天然气藏得以保存的关键。因此,在湘鄂西地区,寻找好的盖层及圈闭,可能会找到类似但未被破坏的南山坪上震旦统天然气藏。

参 考 文 献

- 1 徐克定,金梅春,周光荣. 浙西古油藏成藏条件与演化特征[A]. 见:石宝珩,周望,关德范,等. 扬子海相地质与油气[C]. 北京:石油工业出版社,1993.277~285
- 2 邱蕴玉,徐谦,黄华梁. 威远气田成藏模式初探[J]. 天然气工业,1994,14(1):9~13
- 3 李一平. 四川盆地已知大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业,1996,16(增刊):1~12
- 4 徐世琦,李国辉,王廷栋. 加里东古隆起震旦系的烃源条件[J]. 天然气勘探与开发,1998,21(4):13~44

图版 I 说明

- 图版 I -1 岩溶角砾岩,角砾成分为泥晶白云岩,砾间为多世代白云石胶结,其中充填碳沥青(含量高达10%~15%)。局限台地,灯影组顶部。
- 图版 I -2 中厚层状藻纹层白云岩,碳沥青顺层产出,局部富集。局限台地,灯影组中上部。
- 图版 I -3 下寒武统牛蹄塘组与上震旦统灯影组呈假整合接触,银头处为I型层序界面,其下为灯影组岩溶角砾白云岩,上部则为牛蹄塘组中薄层泥晶灰岩,靠近界面处为一层含陆源碎屑云质灰岩。
- 图版 I -4 灯影组岩溶角砾白云岩中角砾间裂缝及溶孔充填的碳

青,单偏光,×25。

- 图版 I -5 灯影组岩溶角砾白云岩中角砾间溶蚀孔洞及裂缝被多世代白云石胶结,其中的粗晶白云岩被溶蚀并为沥青充填。单偏光,×25。
- 图版 I -6 灯影组岩溶角砾白云岩溶孔溶洞中,粗晶块状白云石(异形白云石)被深埋有机溶蚀作用强烈溶蚀。粗晶白云石形成于深埋藏环境。单偏光,×25。
- 图版 I -7 灯影组岩溶角砾白云岩中,角砾间裂缝溶蚀为沥青充填。单偏光,×25。
- 图版 I -8 灰黑色中薄层状藻纹层泥晶白云岩,具水平层理,白云石脉顺层发育,其中充填碳沥青。局限台地,灯影组上部。

DISCOVERY OF DENGYING FORMATION FOSSIL POOL IN CILI, HUNAN AND ITS SIGNIFICANCE

Zhao Zhongju Feng Jialiang Chen Xueshi Zhou Jingao
(Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou, Zhejiang)

Abstract: The Dengying Formation fossil oil pool of Upper Sinian in Nanshanping, Cili County, Hunan Province was formed in Late Silurian-Early Devonian Period. The reservoir spaces were corroded pores, holes and fractures in Dengying Formation dolomite. The Late Jurassic-Early Cretaceous Yenshan movement caused the uplift and erosion of the cover bed of the fossil pool, thus resulting in complete damage of the pool. The discovery of the fossil pool suggests that West Hunan-Hubei Depression had similar hydrocarbon generation and pool-forming process as Weiyuan Gasfields in Sichuan Province. The difference is that Yenshan movement had little influence on Weiyuan Gasfield, but the Cili fossil oil pool was seriously damaged by the movement. So it is considered that favourable oil and gas pools could be found in Western Hunan-Hubei Region if favourable cover beds and traps could be found in the area.

Key Words: fossil pool; Dengying Formation; paleo-karst; oil-source comparison; Hunan

(上接第101页)

GENETIC DISCRIMINATION OF MARINE SAPROPELIC TYPE GAS IN TARIM BASIN

Chen Shijia¹ Ma Liyu Fu Xiaowen¹ Lin Feng¹ Luo Yuhong³

(1 Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan; 2 Qinghai Institute of Petroleum Exploration and Development, Dunhuang, Gansu; 3 Chuanchong Petroleum Company, Suining, Sichuan)

Abstract: Sapropelic gas could be derived from the cracking of both sapropelic kerogen and sapropelic crude oil. The differences between these two different kinds of genetic gases are: 1 the value of C_2/C_3 of the gas derived from kerogen remains constant while that of the gas derived from crude oil increases gradually; the difference of carbon isotope of ($\delta^{13}C_2 - \delta^{13}C_3$) is opposite to the above mentioned values. It is considered that the gas in Jilak, Sangtamu and Jiefangqu regions in North Tarim Basin is derived from sapropelic kerogen while the gas in Lunnan, Yinmali regions is derived from crude oil.

Key Words: natural gas; kerogen cracking; crude cracking; Tarim