

川中地区前震旦系裂谷研究及其地质意义

杨志如¹ 王学军¹ 冯许魁¹ 纪学武¹ 许 浒² 李明翼²

1. 中国石油东方地球物理勘探公司研究院 2. 中国石油西南油气田公司勘探事业部

杨志如等. 川中地区前震旦系裂谷研究及其地质意义. 天然气工业, 2014, 34(3): 80-85.

摘 要 2011年四川盆地高石1井在震旦系灯影组获得天然气勘探重大突破后,为了明确川中地区震旦系—下古生界构造—沉积演化、储层和油气分布的控制因素,深化地质认识,寻找规模储量,对前震旦系进行了深入研究。运用三维连片地震资料,辅以重磁电、露头、钻井、测井和岩心等资料,结合前人的地质认识,综合分析认为川中地区可能存在前震旦系裂谷。研究表明:前震旦系裂谷盆地边界断裂继承性活动和差异沉降,控制了该区震旦系台缘带的发育、展布及下古生界地层的沉积与演化;桐湾运动和加里东运动,震旦系裂谷期大断裂继承性活动,形成北西向、北东向等多组直立正断裂;裂谷内部的油气以活化的裂谷断层作为通道运移到裂谷系上覆地层圈闭中聚集成藏,形成良好的“下生上储上盖”式天然气成藏组合。该研究成果为全面、准确地评价该区前震旦系裂谷对上覆地层的控制作用以及深层的天然气勘探开发潜力提供了技术支撑。

关键词 四川盆地 中 高石梯—磨溪 裂谷 台缘带 构造运动 油气分布 生储盖组合

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2014.03.013

Geological research and significance of a rift valley in the Presinian period in central Sichuan Basin

Yang Zhiru¹, Wang Xuejun¹, Feng Xukui¹, Ji Xuewu¹, Xu Hu², Li Mingyi²

(1. Research Institute of BGP Inc., CNPC, Zhuozhou, Hebei 072751, China; 2. Exploration Management Division of Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610041, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 34, ISSUE 3, pp. 80-85, 3/25/2014. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: Since the breakthrough was made by the Gaoshi-1 Well in 2011 in the Sinian Dengying Fm reservoirs, a further research has been conducted into the Presinian System to figure out the structure-sediment evolution, and the controlling factors of the reservoirs and the hydrocarbon distribution in the Lower Palaeozoic Erathem in central Sichuan Basin. Combined with the previous geological understandings, the comprehensive analysis conducted based on the 3D seismic data in combination with heavy magnetoelectricity, outcrop, drilling, logging, and core data, showed that there may exist a rift valley in the Presinian period in central Sichuan Basin. The study also indicated that the successive breakage and differential settlement on the edge of the Presinian rift-valley basin controlled the development and distribution of terrace marginal area within the Presinian system and the settlement and evolution of the Lower Palaeozoic strata; vertical breakages in the northwest and northeast directions were caused by the Tongwan and Caledonian Movements and the successive faults were thus formed in the valley rift period; and the oil & gas within the rift moved to the overlying strata through the rift valley faults and were accumulated in such favorable gas pools with good "lower kitchen - upper reservoir - upper caprock" assemblage. This study provides robust technical support for the comprehensive and accurate assessment of the Presinian rift valley's control over the overlying strata as well as for deep-reaching exploitation.

Keywords: central Sichuan Basin, Gaoshiti-Moxi, rift valley, terrace marginal area, tectonic movement, hydrocarbon distribution, source-reservoir-caprock assemblage

基金项目:国家科技重大专项(编号:2011ZX05004-005)、中国石油重大勘探专项“四川盆地乐山—龙女寺古隆起含油气评价及勘探配套技术研究”(编号:2012ZD01-03-01)。

作者简介:杨志如,1977年生,工程师,硕士;目前主要从事地震解释及地质综合分析研究工作。地址:(072751)河北省涿州市贾秀路11-3信箱。电话:(0312)3738176。E-mail:yangzhiru@cnpc.com.cn

裂谷是 Gregory. J. W (1896) 研究地堑时提出的^[1]。裂谷作用只是地壳拉张过程中的一部分^[2],每一阶段都具有其特殊的地质演化史,在裂谷盆地内部,自身的生储盖组合,对油气潜力有一定影响。裂谷作为一个独特的地层单位,只占世界盆地面积的 5%。然而,它们的采收率却很高,占现有油气储量的 10% (1980 年)^[3-4]。

裂谷伸张造成一系列的较深沉降中心,为富含有机质的湖相或海相沉积物提供了保存条件。同时裂谷作用引起热流升高,使得裂谷内烃源岩成熟较早^[4]。裂谷盆地是伸展构造的产物,但伸展、冷却、热收缩和伴生沉积停止后,这些盆地通常遭受后续构造事件,使得裂谷断层的再次活化,控制上覆地层的沉积和构造演化,形成圈闭。裂谷内部的油气以活化的裂谷断层作为通道运移到裂谷系上覆地层圈闭中聚集成藏,形成良好的“下生上储上盖式”成藏组合。

1 川中地区存在前震旦系裂谷

前人研究认为处于扬子地台西北侧的四川盆地在灯影组沉积前,经过澄江运动,地壳逐渐稳定下来,已构成一个完整的基底。沉积的上震旦统(陡山沱组和灯影组)在四川盆地各地的岩性、厚度比较稳定,属海相的地台型沉积,成为扬子古板块形成后第一套沉积盖层。显示了稳定的地台型特征^[5]。但随着地震、钻测井资料和地质认识不断地丰富,综合分析认为四川盆地前震旦系地层在川中地区并不是“铁板一块”,该区存在前震旦系裂谷,主要依据有以下 3 个方面。

1.1 华南新元古代沉积盆地具典型裂谷盆地沉积演化特征

裂谷盆地在其形成演化的过程中,通常要经历一个特定的“构造—地层”演化过程,同时形成相应的成因相组合。裂谷盆地的形成经历了裂谷基的形成、地幔柱作用与裂谷体的形成、被动沉降(下拗)与裂谷盖的形成 3 个阶段。

1.1.1 华南新元古代沉积盆地地层成因相组合

沉积学研究表明,华南新元古代盆地具备典型裂谷盆地沉积序列,代表裂谷盆地早期形成阶段的成因相组合有:冲洪积相组合、陆相(或海相)火山岩及火山碎屑岩相组合、滨浅海相沉积组合、淹没碳酸盐台地及欠补偿盆地黑色页岩相组合;而代表中、后期形成阶段的成因相组合有:滨岸边缘相至深海相组合,冰期冰积岩相组合、碳酸盐岩及碳硅质细碎屑岩相组合。华南裂谷盆地岩相古地理演化经历了 5 个重要的时期,整体上反映了一个由陆变海、由地堑—地垒相间盆地变

广海盆地、由浅海变深海、盆地由小变大的演化过程。

1.1.2 华南新元古代沉积盆地构造—地层单元组成

华南裂谷盆地剖面序列从下至上由 3 个大的构造—地层单元组成,即裂谷基、裂谷体及裂谷盖 3 部分。华南裂谷盆地形成的动力学过程,也就是这 3 个部分的形成与相互作用的动力学过程。

1.1.2.1 裂谷基的形成过程

经过了以下两个过程:①中元古末至新元古代初,“晋宁—四堡”运动使古华南洋关闭,华夏地块与扬子克拉通碰撞;②新元古代早期,华南“晋宁—四堡”造山带以剥蚀作用为主。

1.1.2.2 地幔柱作用与裂谷体的形成

地幔柱上隆引起的地壳侧向拉伸作用形成了华南呈“V”字形展布的裂谷盆地雏形。其后的裂谷充填作用形成裂谷盆地主体,它以裂陷沉积、块体差异沉降及火山作用为特征,反映在沉积物分布不连续、陆海古地理单元差异大等。这一阶段可以划分为 3 个亚阶段(期):①磨拉石—复理石及少量火山岩沉积期,相当于丹州群下部及河上镇群下部沉积期,江南及川滇地垒结构区缺失沉积;②火山岩、火山碎屑岩堆积充填(期),相当于三门街—叶家—上墅—井潭组火山岩喷发期,是裂谷盆地的主要裂陷、沉降期,其演化阶段在 815~800 Ma 之间;③磨拉石—复理石及早期冰碛岩堆积(期),相当于拱洞—五强溪—莲沱组沉积期及长安+富禄(冰期及间冰期)沉积期。推断这一时期的时间间隔应在 750~810 Ma 之间。

1.1.2.3 被动沉降(下拗)与裂谷盖的形成阶段

随着上升地幔物质的冷却与能量的消耗,大陆裂谷带块体差异升降运动停止,并逐渐为被动的区域性热沉降作用所取代,反映为形成广泛的海岸上超沉积作用。裂谷盖的形成大致从南沱及其相应地层沉积期开始。新元古代末,裂谷盖几乎超覆了整个华南早期存在的古陆,开始形成真正的盖层^[6]。

1.2 四川盆地存在前震旦系裂谷

华南新元古代沉积盆地依据其基底构造、沉积建造及地层组合特征等可划分为扬子区(由扬子东南缘及扬子西缘组成)与华夏区^[7-8]。四川盆地作为扬子地台一部分,应该也存在前震旦裂谷。由于四川盆地前震旦系基底埋藏较深,还没有直接找到裂谷盆地在其形成演化过程中经历特定的“构造—地层”演化过程和同时形成相应的成因相组合的依据。但根据四川盆地地震、重磁物探和钻测井资料及区域地质认识,对四川盆地基底断裂、基底岩性组合变化以及基底埋深变化分析推测四川盆地存在前震旦系裂谷。

键为一安岳断裂位于川中地区的南端,在航磁上作为划分大足、乐至 2 个磁力高的界线,位于威远构造的南翼。反映出裂谷作用的早期阶段为地幔上弯,地壳横向拉张,形成前裂谷系盆地,后期强烈的挤压回返,对桐湾古隆起和乐山—龙女寺古隆起的形成有控制作用^[9]。

就四川盆地内的基底性质而言,其基底可划分为前震旦系的结晶基底和不整合于结晶基底之上的前震旦系浅变质地层加下震旦统共同构成的沉积岩变质基底^[10]。前震旦系结晶基底地层为晚太古—早元古代。下部为一套中、基性火山岩建造,上部为中、酸性火山碎屑岩及复理石建造。按构造环境、沉积组合特征,可划分为两大类,一类是以盐边群为代表的优地槽型沉积,主要为中、基性火山岩组成;一类是以会理群为代表的冒地槽型沉积,由陆源碎屑岩、碳酸盐岩及少量火山岩组成^[5]。

区域地质资料表明,四川盆地下震旦统在各地的岩性、厚度差异悬殊,说明这时的基底起伏和地壳活动是极不均一的。对于基底的埋深而言,川中北东向隆起区的西南端位于乐山、犍为地区,经北东至资中,形成深度为 3~5 km 的第一个台阶,也是整个四川盆地沉积基底隆起最高、埋藏最浅的地区,资中往北东至南充、武胜一带,沉积基底埋深为 6~8 km,形成第二个台阶,并在渠县一带收敛后继续加深过渡为川西北坳陷中的通江凹陷区。上覆地层岩性、厚度差异及基底埋深的变化也反映了前震旦系裂谷的存在。

1.3 首次在川中地区地震资料上清晰识别出前震旦系裂谷

1.3.1 非地震资料推测前震旦系裂谷存在

近年来,以中国石油勘探开发研究院邹才能为首

的一批专家,根据基性火山岩航磁异常分布推测在川中地区前震旦系存在裂谷,并认为四川盆地内部沿深大断裂发育 NE 向为主的裂谷,遂宁—磨溪发育 NW 向裂谷,基性火山岩主要分布在裂谷外围。并根据重力、磁力资料和二维地震资料综合解译建立前震旦系裂谷期火山岩及盆地地层充填模式。四川盆地基底可划分为结晶基底和沉积岩变质基底,表现为弱磁异常和高重力异常,沿着基底断裂分布的基性火成岩为高磁异常和中等重力异常,裂谷充填的地层为弱磁异常和低重力异常。

1.3.2 首次在地震资料上清晰识别出前震旦系裂谷存在

裂谷盆地在构造样式上有些差异,但总体格架是一致的,也就是说,每一个盆地是由主边界断层限制,在地震反射上常表现为犁式正断层。2011 年在川中地区高石梯—磨溪地区针对震旦系一下古生界作为目的层进行了三维地震处理解释工作,通过精细处理工作,得到了高品质的地震资料,相对二维资料,特别是在深层地震资料的品质得到了很大的提高。川中古隆起前震旦系地震反射层清晰,深层构造现象丰富,地震剖面上裂谷系断层断点清晰,表现为犁式正断层,断层系统表现为非对称地堑几何形态,裂谷充填地层地震响应特征明显(图 1)。

2 前震旦系裂谷研究的地质意义

川中前震旦系裂谷盆地边界断裂的继承性活动和差异沉降,控制了区内震旦系一下古生界地层发育分布特征、断裂展布、构造圈闭发育的分布规律,以及对储层发育及油气成藏有明显的控制作用。

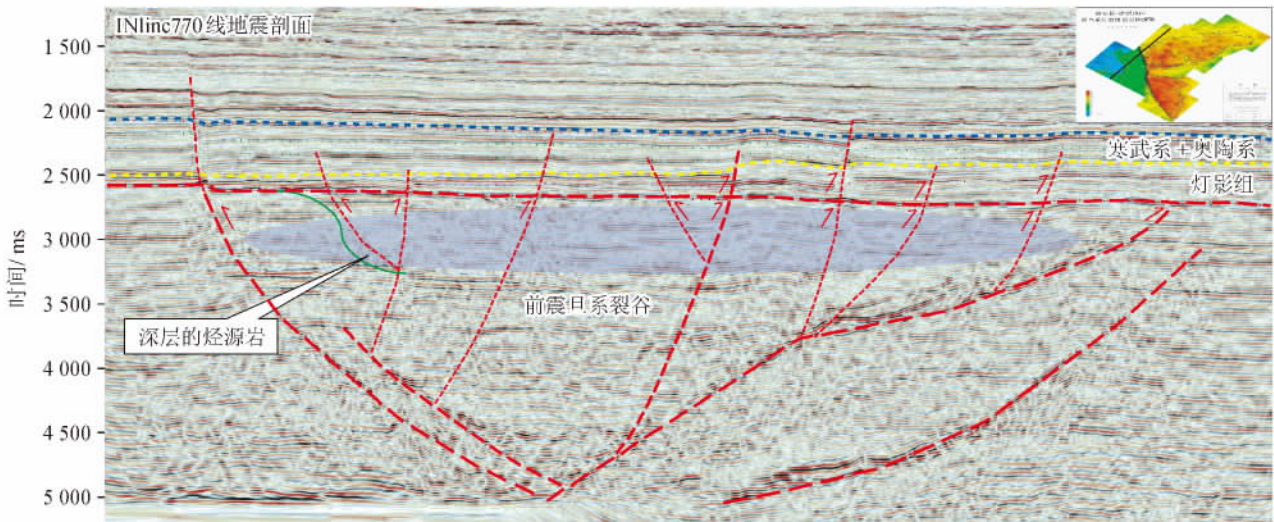


图 1 高石梯—磨溪地区深层三维地震剖面图

2.1 川中前震旦系裂谷控制震旦系一下古生界地层沉积演化

前震旦系裂谷消亡之后成为上覆地层的沉积基底,晋宁运动后,基底基本被夷平,震旦系超覆不整合基底之上。但下震旦统在各地的岩性、厚度差异悬殊,说明这时的基底起伏和地壳活动是极不均一的。在上震旦统灯影组沉积时期,这种基底起伏地貌依然存在,在高石梯—磨溪构造和威远构造之间存在北西向台内洼槽,洼槽的两侧,沉积地貌相对较高,成为高石梯西侧及威远构造的东侧发育北西向台缘带的地貌基础(图 2)。桐湾期,前震旦系裂谷盆地边界断裂的继

承性活动和差异沉降,灯影组在高石梯地区和威远地区的台缘及台内沉积了一套 800 m 厚藻白云岩地层(高石 1 井灯影组钻厚 879 m)。在高石梯地区和威远地区之间的洼槽内沉积了一套 300 m 厚泥质云岩地层(高石 17 井灯影组钻遇 45 m)。灯影组沉积末期和寒武系沉积早期,桐湾二幕活动,整个台地抬升,位于台缘带区域的灯影组地层顶部遭受剥蚀,威远地区地貌较高,地层剥蚀至灯二段,高石梯地区地貌相对较低,灯四顶部部分剥蚀。同时在高石梯西部洼槽内沉积了一套寒武系麦地坪组的地层,洼槽填平补齐,在此基础上沉积了寒武系筇竹寺组的一套暗色的碎屑岩地层(图 3)。

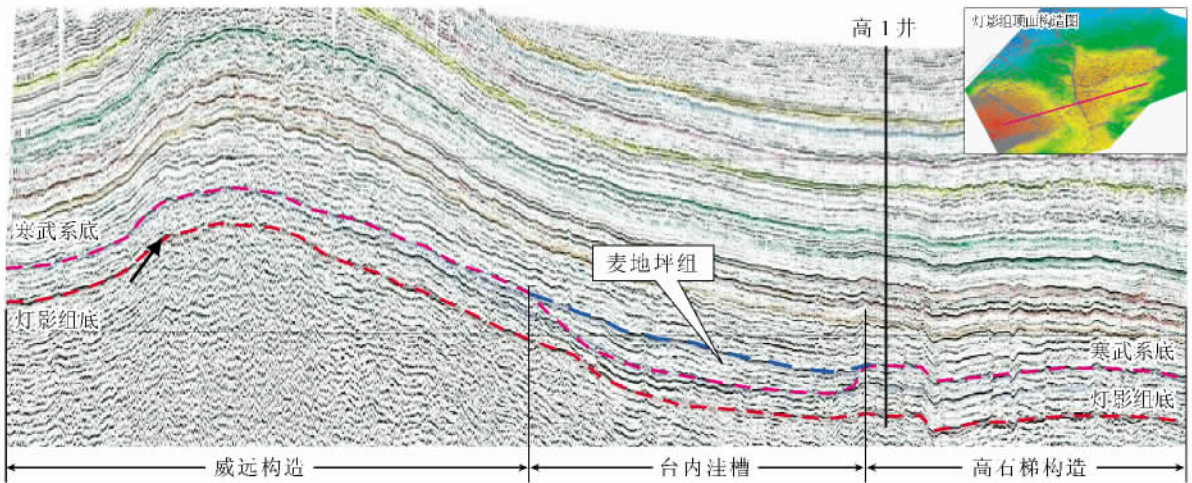


图 2 威远—高石梯地区地震大剖面图

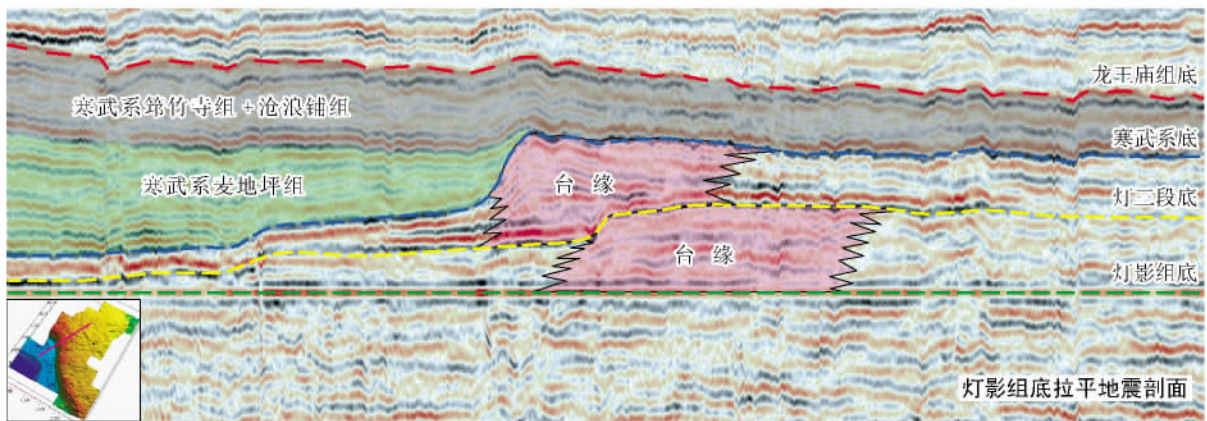


图 3 高石梯—磨溪地区三维地震剖面图

2.2 川中前震旦系裂谷控制震旦系一下古生界地层变形和断裂分布

澄江运动后,震旦系一下古生界的构造主要受桐湾运动和加里东运动控制。桐湾运动和加里东运动期,裂谷期大断裂继承性活动,致裂谷系深大断裂回返,形成北西向、北东向等多组直立正断裂。桐湾构造

期,构造走向为北西向;加里东构造期,构造走向为北东向,两期构造活动叠加,形成多组断裂。合理的解释了高石梯—磨溪地区多组断裂共生发育的平面展布特征(图 4)。

从事过四川盆地的地震勘探的工作者都有很深的印象,四川的地震资料,特别是中深层,不管二维还是

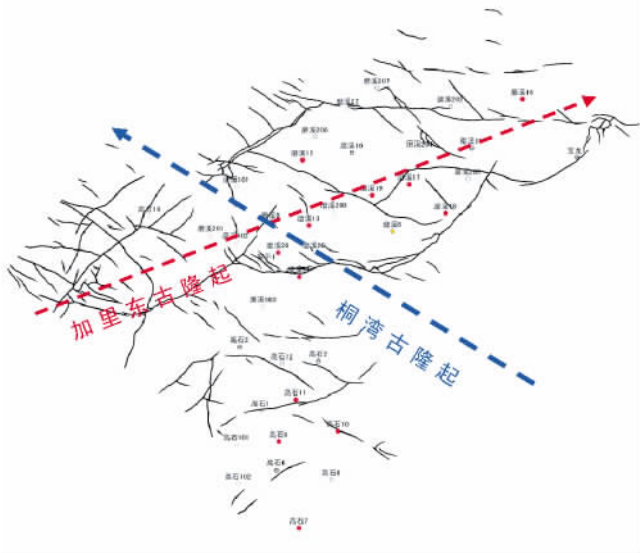


图 4 高石梯—磨溪地区灯影组顶面断裂纲要图

三维,从剖面上看,具有“波浪式抖动”的现象。分析认为,除了在震旦系沉积前沉积地貌起伏变化外,主要是由于构造运动导致上覆地层沿着深大断裂挤压回返,地层受断层影响形成的局部变形依附于断层的构造现象。在剖面上表现为“波浪式抖动”,在平面上表现为局部小构造高点众多的构造样式(图 5)。

3 前震旦系裂谷控制灯影组油气分布

目前对于川中古隆起震旦系气藏的油气来源还不是很明确。据研究认为有 4 套烃源岩,分别为陡山沱组泥岩、灯三段泥岩、灯影组藻云岩和寒武系筇竹寺组泥页岩。但通过分析对比高石 1 井震旦系天然气,表明属于原油裂解气,应用气—气、气—源、沥青—源岩 3 类方法对比后认为,高石 1 井天然气主要来源于震旦系烃源岩,寒武系筇竹寺组只有一些贡献。

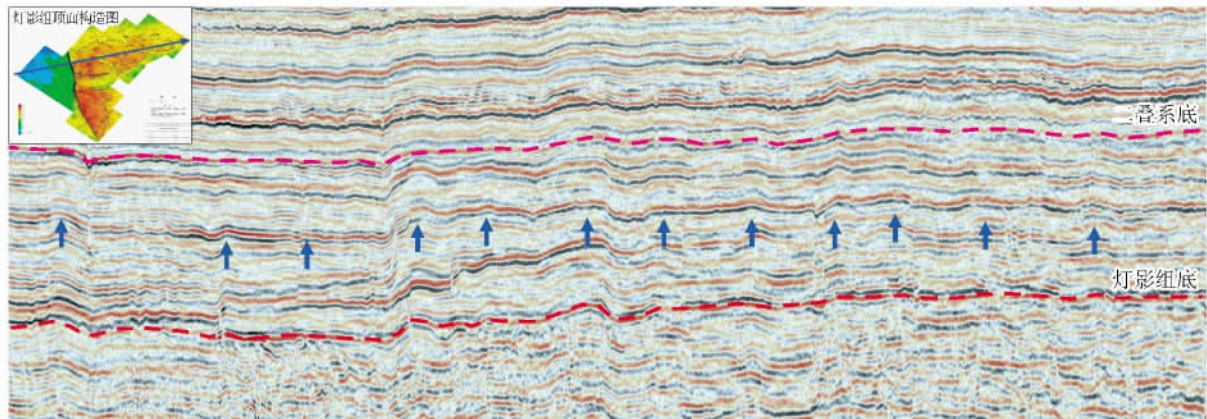


图 5 高石梯—磨溪地区三维地震剖面图

钻井及露头资料揭示,灯三段发育优质泥质烃源岩,但厚度较薄,分布有限。灯影组内的藻类都为小壳藻,生烃能力有限。露头 and 钻井资料分析陡山沱组泥岩厚度大,有机碳含量高,具良好生烃潜力;盆地周缘露头剖面普遍发育,厚度 20~200 m;女基井钻遇厚度 9 m,岩性为黑色富藻泥质岩,有机碳含量为 0.9%~1.75%,平均 1.73%,属于高一过成熟阶段(R_o 大于 3.0%)。

对于高石 1 井灯二段能获得百万方的高产气,靠灯三段泥岩和震旦系藻白云岩的气源可能性不是很大,灯二段到寒武系中间相隔灯三段和灯四段,厚度大概为 400 m,如果是寒武系的烃源岩提供气源,油气生成后要向下运移 400 m 到灯二段成藏,这种可能性也很小。那么陡山沱组或更深层生成的油气,以深层的基底断裂作为油气运移的有利通道,将深层的烃源岩生成的油气运移到灯影组,在有利的储层部位富集成藏(灯二段气藏),这种认识就更为合理(图 1)。

4 结束语

通过上述研究,笔者认为川中地区存在前震旦系裂谷,并运用裂谷及裂谷盆地边界断裂继承性活动和差异沉降等地质认识,合理解释了川中高石梯—磨溪地区灯影组台缘带发育和北西向展布特征、高石梯构造和威远构造之间洼槽内存在寒武系麦地坪组地层、高石梯—磨溪地区地震剖面上发育直立正断裂和平面多组断裂共生的特征及灯影组灯二段气藏的油气可能来自灯影组下伏地层等地质问题。对川中地区前震旦系裂谷和裂谷对该地区深层油气分布影响的研究还仅仅是一个初步的成果。只有对该区前震旦系“构造—地层”演化过程、形成相应的成因相组合等诸多方面开展深入分析与研究之后,才能全面、准确地对前震旦系裂谷、裂谷对上覆地层控制以及该区深层的天然气勘探开发潜力做出更符合实际的评价。

参 考 文 献

- [1] GREGORY J W. The great rift valley[M]. London: Seeley Service, 1896: 405.
- [2] LOWELL J D. Structural styles in petroleum exploration [M]. Tulsa, Oklahoma: Oil and Gas Consultants International, 1985: 477.
- [3] KLEMME H D. Petroleum basins—classifications and characteristics[J]. Journal of Petroleum Geology, 1980 (3): 187-207.
- [4] 兰登. 内裂谷盆地[M]. 刘忠, 鲁兵, 李铁军, 译. 北京: 石油工业出版社, 2001.
LONDON S M. Interior rift basins[M]. LIU Zhong, LU Bing, LI Tiejun, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [5] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志 [卷十]——四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
Editorial Committee of Petroleum Geology on Oil & Gas Zones in Sichuan Basin. Petroleum geology of China (Vol. 10): Oil & gas zones in Sichuan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [6] 王剑, 刘宝琛, 潘桂堂. 华南新元古代裂谷盆地演化——Rodinia 超大陆解体的前奏[J]. 矿物学报, 2001, 21(3): 135-145.
WANG Jian, LIU Baojun, PAN Guitang, et al. Neoproterozoic rifting history of South China Significant Rodinia Breakup[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2001, 21 (3): 135-145.
- [7] 王鸿祯. 中国地壳构造发展的主要阶段[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 1982(3): 155-177.
WANG Hongzhen. The main stages of crustal development of China[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1982(3): 155-177.
- [8] 王鸿祯. 华南地区古大陆边缘构造史[M]. 武汉: 武汉地质出版社, 1986.
WANG Hongzhen. Tectonic history of the ancient continental margins of South China[M]. Wuhan: Wuhan Geological Press, 1986.
- [9] 罗志立. 四川盆地基底结构的新认识[J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 191-200.
LUO Zhili. New recognition of basement in Sichuan Basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1998, 25 (2): 191-200.
- [10] 宋洪彪, 罗志立. 四川盆地基底及深部地质结构研究的进展[J]. 地学前缘, 1995, 2(3/4): 231-236.
SONG Hongbiao, LUO Zhili. The study of the basement and deep geological structures of Sichuan Basin, China[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3/4): 231-236.

(收稿日期 2014-01-22 编辑 韩晓渝)

多种原因使得去冬今春未发生大规模“气荒”

2013 年年末随着“煤改气”计划的逐步落实以及冬季的来临, 各界对“气荒”(天然气供应紧张)的关注史无前例, 预测 2013 年全年我国天然气的缺口将达到 $140 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而当时的中石油会议资料显示, 高峰时段中石油在全国天然气供应缺口将在 $80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。

现在已经进入 2014 年 3 月, 冬季即将结束, 然而 2013 年年末各界所担心的大规模气荒却并未出现。有专家表示, 没有发生气荒的原因包括: ①提前预警, 每天压减 $4\ 000 \times 10^4 \sim 5\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的下游用户用气量; ②天气给力, 今年的冬季气温高于往年, 特别是北京 2014 年 1 月份天然气用量低于上一年; ③政府协调力度加大, 石油公司加大国产气和采购进口气量; ④价格杠杆也起到一定作用。

中国能源网认为“困难比预料的多, 结果比预想的好”这句话用来形容我国天然气行业发展情况也恰如其分。页岩气开采形势由悲观转为乐观, 大唐克旗煤制气项目向北京送气, 四川推进混合所有制模式开采页岩气, 国家能源局发布《油气管网公平开放监管办法(试行)》等。这些迹象都表明, 我国天然气行业在朝着好的方向发展, 随着一系列利好举措的落实, “气荒”一词或将不再成为人们所关注的焦点。

(天工 摘编自《中国能源网》)