

四川盆地都匀运动不整合及其油气意义

孙冬胜,李双建,朱东亚,张殿伟,沃玉进,何治亮

(中国石化石油勘探开发研究院 构造与沉积储层实验室,北京 100083)

摘要:都匀运动在贵州南部表现最明显,得到了广泛的研究和认可,关于这期构造运动在四川盆地内部的表现及其影响的研究较少。根据露头、钻井和地震剖面对不整合的刻画,发现在川中和川西地区上奥陶统宝塔组碳酸盐岩地层上、下存在明显的角度不整合,而二叠系与志留系之间几乎不存在角度不整合。由此认为,都匀运动是影响川中古隆起变形的关键构造运动,志留纪末的广西运动在川中乃至整个四川盆地无褶皱作用发生。都匀运动在川西北地区造成了奥陶系宝塔组的暴露溶蚀,与上覆志留系烃源岩构成上生下储的成藏模式,在川中隆起及周缘造成了褶皱核部和翼部构造裂缝的发育,并加深了震旦系—奥陶系岩溶储层的发育程度。受此影响,川中隆起周缘志留系覆盖区发育震旦系—奥陶系岩溶储层,这些岩溶区是震旦系—奥陶系油气勘探的有利地区。

关键词:不整合;岩溶;奥陶系;都匀运动;四川盆地

中图分类号:TE121.2

文献标识码:A

Unconformity of the Duyun Movement in the Sichuan Basin and its significance of petroleum geology

Sun Dongsheng, Li Shuangjian, Zhu Dongya, Zhang Dianwei, Wo Yujin, He Zhiliang

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Duyun Movement is the most prominent in the south of Guizhou Province and has been studied and accepted widely. However, the study on its geological performance and effect within the Sichuan Basin were seldom documented. Unconformity description based on outcrop, drilling and seismic data shows that there is an obvious angle unconformity between the Upper Ordovician Baota Formation and its overlying strata but no obvious angle unconformity is recognized between the Permian and the Silurian in the central and west of the Sichuan Basin, which means the Duyun Movement was the key tectonic movement effecting the formation of Chuankong paleo-uplift, the Kwangsi Orogeny occurred at the end of the Silurian did not cause any folding in central even the whole Sichuan Basin. The Duyun movement caused the exposure and erosion of the Ordovician Baota Formation in northwest of the Sichuan Basin, which constitute, together with the overlying Lower Silurian source rock, a new hydrocarbon accumulation model of upper source rock and lower reservoir. The movement also caused the formation of fractures in the core and flank area of Chuankong paleo-uplift and strengthened the formation of karst in the Sinian-Ordovician. It is proved that the Sinian-Ordovician karst reservoirs are well developed in areas covered by the Silurian around the Chuankong paleo-uplift, which are favorable exploration areas.

Key words: unconformity, karst, Ordovician, Duyun Movement, Sichuan Basin

都匀运动的命名起源于贵州南部及中部,该区下志留统普遍超覆于下奥陶统(局部地区为中奥陶统)之上,其间缺失中—上奥陶统,下奥陶统也有不同程度的缺失。由于反映这一沉积间断的构造运动,在都匀地区表现最为特征,因此被命名为都匀运动^[1],经过古生物地层的详细对比,其构造活动时限应为中奥陶世之后^[2-3],属于加里东中、晚期的一幕重要的构造运动。都匀运动产生的动力学背景主要与加里东期华南

陆块与扬子陆块的相向运动有关。从黔中隆起构造变形的走向来看,它既不是华南陆块由南东向北西挤压形成,也不是湘黔桂深水前陆盆地的盆缘隆起。都匀运动的产生受控于来自滇桂—北越地块自南而北的挤压和南东方向华南陆块与扬子陆块之间的陆内挤压双重影响,这是都匀运动之后在黔中隆起出现东西向构造与南北向构造并存现象的动力原因^[4-5]。

都匀运动是黔中隆起由水下发育演变为陆上发育

收稿日期:2015-03-19;修订日期:2015-06-09。

第一作者简介:孙冬胜,(1964—),男,博士、教授级高级工程师,含油气盆地分析。E-mail:sunds_syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05005-001);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB412800);国家自然科学基金项目(40739904)。

的转折动力,由此产生了大规模的地层隆升和剥蚀,形成了广泛发育的奥陶系岩溶储层。如麻江地区的下奥陶统红花园组,溶洞最大直径可达2~3 m,且内部充满沥青,这套岩溶型储层是构成著名的麻江古油藏的主力储层,有学者曾估算麻江古油藏的原始储量可达 $16 \times 10^8 \text{ t}$ ^[6]。因此,都匀运动在黔中隆起的构造格局形成和加里东期古油藏发育上起到了至关重要的作用。

随着人们对南方加里东运动研究的深入,越来越多的证据证明,中-晚奥陶世的构造运动不仅仅在贵州地区表现明显,在南方其它地区也有代表构造转折的强烈标志。从沉积记录上看,在扬子南缘的湘中-桂东北一带,中-下奥陶统以含笔石的页岩和粉砂岩为主,上奥陶统为复理石和类复理石的韵律沉积,含较多的岩屑砂岩,表明此时地壳运动加剧,扬子陆块南缘于此时进入前陆盆地发展阶段^[7-8];从古生物的角度来看,浙西皖南从凯迪晚期(晚奥陶世)开始出现的生物相和岩相带剧烈分异,特别是在短期内形成了巨厚的浊积岩相沉积,指示了华夏古陆东端的快速抬升、剥蚀等强烈的构造运动背景^[9]。这些证据都显示扬子陆块南缘的构造活动在晚奥陶世趋于活跃,其活跃程度由南向北逐渐加强。

在扬子板块南缘表现明显的都匀运动在扬子板块

内部,特别是四川盆地及周缘是否有所表现?它对四川盆地奥陶系乃至整个下古生界的油气成藏有没有影响?对这些问题的探究既具有科学价值也具有实践意义。本文从钻井、露头 and 地震剖面的不整合识别与统计入手,详细刻画了四川盆地内部都匀运动不整合面的展布,结合已有的勘探成果和油气显示,论证了这一期构造运动的油气地质意义,以期对油气的勘探选区提供借鉴和支撑。

1 四川盆地及周缘都匀运动不整合时空分布

从野外露头、钻井和地震剖面的地层接触关系统计来看,四川盆地都匀运动形成的不整合主要表现为下志留统与上奥陶统之间的假整合(上奥陶统部分缺失)、上奥陶统-志留系与中-下奥陶统之间的角度不整合以及上奥陶统内部地层缺失形成的假不整合等几种类型(图1)。

晚奥陶世早期是中、上扬子区一次广泛的海侵期,四川盆地及其周缘沉积了一套稳定的浅海相灰岩^[7],在此之后发生的都匀构造运动,造成了隆起的形成和地层暴露,形成了一个分布不均匀的不整合界面。上

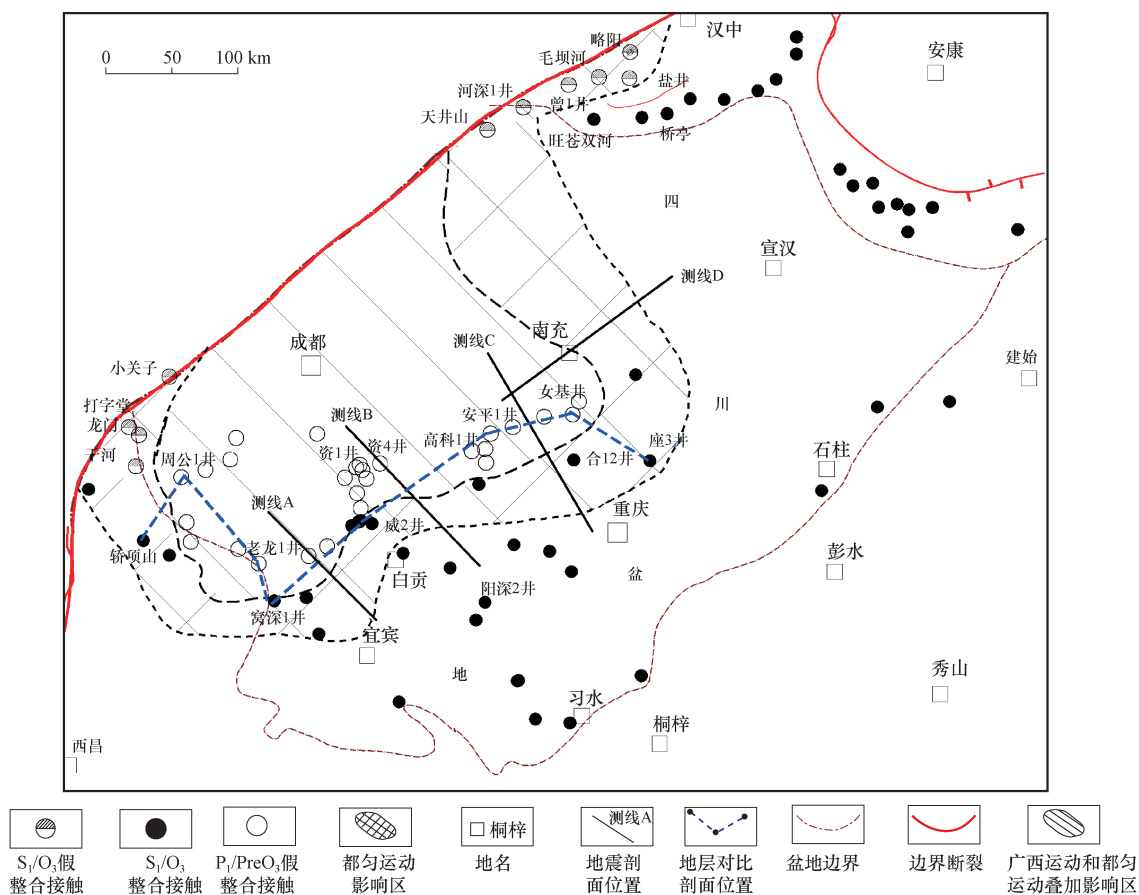


图1 四川盆地及周缘都匀运动地层接触关系与不整合分布

Fig. 1 Strata contact relations and unconformity distribution of the Dunyun Movement in the Sichuan Basin and its adjacent areas

奥陶统有明显缺失的地区主要分布在川北广元—宁强一带,呈北东走向,沿龙门山断裂分布(图1)。普遍缺失中—上寒武统的米仓山南缘和东缘,中—上奥陶统发育完整。以南江桥亭剖面为例,上奥陶统临湘组和五峰组厚度不大,仅有几米厚,但从岩性上看,临湘组为瘤状灰岩,五峰组为黑色碳质和硅质页岩,均为较深水的海相沉积。可见都匀运动期川北隆起并没有大规模扩大,而是经受了一次海侵。但是从地层古生物研究结果上看,该区上奥陶统—下志留统缺失数层笔石带,从川北宁强向东至镇巴地区,缺失层位逐渐减少。陈旭^[10]将造成笔石带缺失的构造运动称为“宁强上升”,这些笔石带的缺失可以说明在米仓山地区在晚奥陶世为水下隆起,由东向西水深变浅,直至出露地表。

川西地区在普遍沉积了上奥陶统宝塔组瘤状灰岩之后,沿着扬子西缘的龙门山古断裂,局部地区出露地表,缺失了晚奥陶世晚期沉积。天井山古隆起上奥陶统宝塔组与下志留统龙马溪组呈平行不整合接触,川西南天全地区也可见上奥陶统与下志留统之间的平行不整合,但是向川南雅安—雷波—筠连一带上奥陶统发育齐全,且五峰组仍为深水相的硅质页岩沉积(图1)。

单纯地从地层接触关系上看,川中地区都匀运动的剥蚀强度依然不大。在地层发育完整的井位,如自深1井和座3井,中—上奥陶统均为连续沉积(图2)。在中—下奥陶统与下二叠统接触的井位,很难确定是

否是由于都匀运动造成的缺失。在威2井和窝深1井等靠近川中古隆起核部的地区,上奥陶统缺失临湘组、五峰组和宝塔组(图2),说明川中古隆起在都匀期曾经局部隆起。根据汪啸风^[11]的古生物对比研究,南方的临湘阶大致相当于国际标准地层的凯迪阶中段,年代跨度大概有1~2 Ma,这可能是川中古隆起都匀期暴露的最短时间。本次研究从地震剖面的详细解释,识别出上奥陶统内部的角度不整合(图3),从而证实了都匀运动在川中地区表现强烈。前人多把川中古隆起的形成时间,限定为志留纪末的广西运动。杨家静^[12]认为寒武纪末的兴凯运动,使乐山—龙女寺古隆起首次抬升,志留纪末的广西运动使地层再次发生抬升遭受剥蚀;许效松^[13]认为川中古隆起在寒武纪形成雏形、奥陶纪隆起带扩大、志留纪末期古隆起形成。但是从跨越川中隆起的地震剖面来看,上奥陶统五峰组与下志留统龙马溪组泥页岩地层构成了强烈的地震反射轴,该同相轴之上的地层普遍超覆在中—上奥陶统之上(图3),这种超覆代表了川中古隆起在都匀运动期发生了强烈的隆升并发生褶皱,广西运动造成的下二叠统与志留系之间的不整合为平行不整合,可见广西运动造成了川中隆起及其周缘的整体隆升,并未造成大规模褶皱。二叠系与前志留系之间的角度不整合继承了都匀运动形成的构造形态,可以说川中隆起主体形成于都匀运动期,晚期的广西运动并未扩大隆起

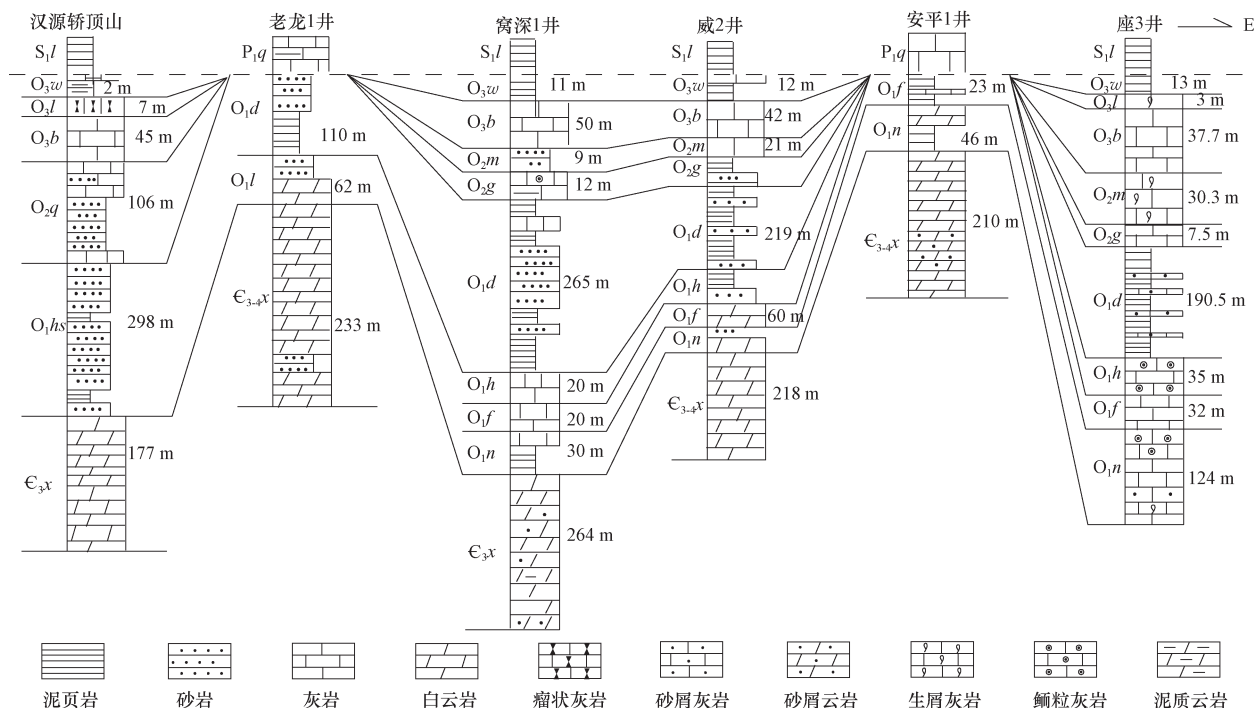


图2 川中隆起及其周缘加里东期地层接触关系对比(剖面与钻井位置见图1)

Fig. 2 Strata contact relations of the Caledonian in the Chuankong Uplift and its adjacent areas (location of section and wells after Fig. 1)
 ϵ_{3x} . 上寒武统洗象池组; O_1n . 下奥陶统南津关组; O_1f . 下奥陶统分乡组; O_1h . 下奥陶统红花园组; O_1d . 下奥陶统大湾组; O_2g . 中奥陶统高台组;
 O_2m . 中奥陶统潭潭组; O_3b . 上奥陶统宝塔组; O_3l . 上奥陶统临湘组; O_3w . 上奥陶统五峰组; O_1hs . 下奥陶统红石崖组; O_2q . 中奥陶统巧家组;
 O_1l . 下奥陶统罗汉坡组; S_1l . 下志留统龙马溪组

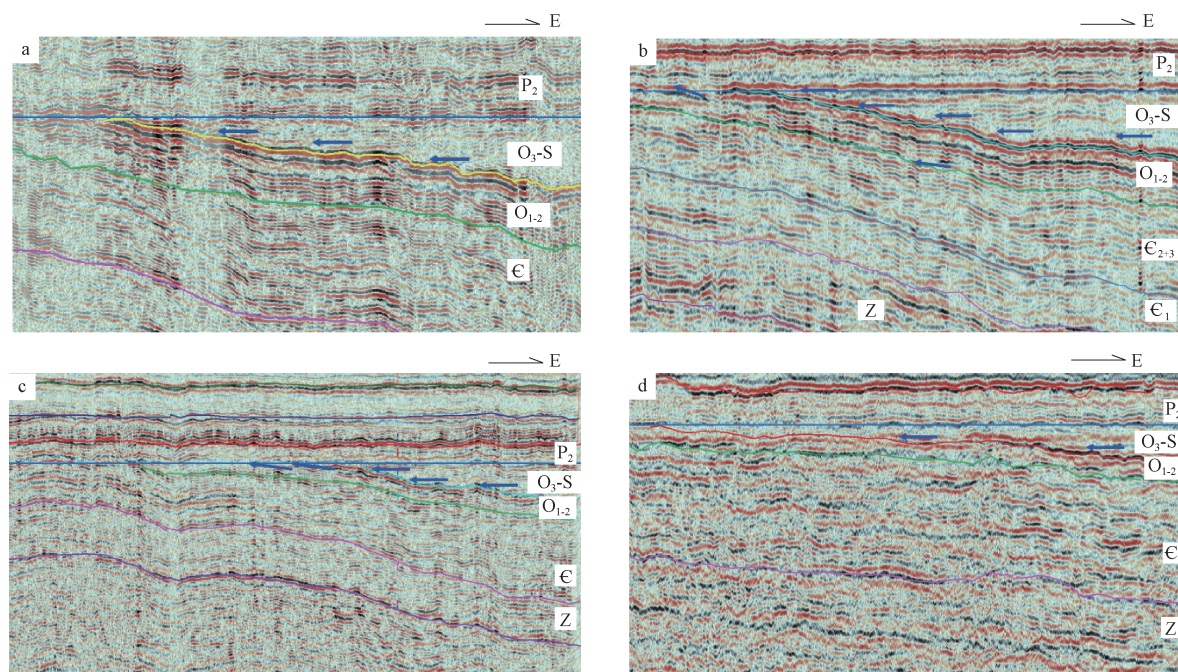


图3 川中隆起周缘都匀运动期地层角度不整合(剖面位置见图1)

Fig. 3 Angle unconformity of the Duyun Movement in the Chuansong Uplift and its adjacent areas (location of seismic section after Fig. 1)

a. 测线 A; b. 测线 B; c. 测线 C; d. 测线 D

的范围。但是,由于古隆起周缘上奥陶统和下志留统均为黑色页岩沉积,缺乏陆源碎屑,说明古隆起暴露的持续时间很短,未发生大规模剥蚀,古隆起核部的大量剥蚀可能发生在志留纪之后。

2 都匀运动的油气地质意义

都匀构造运动造成了上奥陶统的缺失,在川北和川中地区形成了广泛的地层剥蚀暴露,对中-下奥陶统碳酸盐岩岩溶储层的形成具有建设性作用,同时由于下志留统为区域性的优质烃源岩和盖层,可能在局部地区的奥陶系储层中形成新生古储的油气藏。更为重要的是,都匀运动是影响川中古隆起构造定型的关键构造运动,势必会对油气早期运聚起到重要影响。

2.1 对储层发育的影响

都匀运动尽管持续时间仅有 1~2 Ma,但是仍然可以形成大规模的岩溶储层,黔中隆起志留系之下广泛发育的奥陶系红花园组岩溶就是最好的证明。在川中和川北地区的钻井和露头依然有中-下奥陶统岩溶储层发育的大量证据。川北地区米仓山隆起西缘的广元毛坝河剖面 and 旺苍盐井万家乡剖面都见到了清晰的都匀运动假整合地层接触关系,不整合面之下的奥陶系宝塔组顶面呈现出凹凸不平的侵蚀暴露标志,受不整合面岩溶作用的影响,宝塔组生屑灰岩中见小型溶蚀孔洞,孔洞中见方解石、石英等矿物和沥青的充填,在靠近顶部的裂隙中还可见到轻质油

苗(图4)。

在四川盆地内部,特别是川中陆隆起周缘也有大量钻井揭示了奥陶系岩溶储层^[14-15],但是由于多数是下二叠统梁山组与中-下奥陶统直接接触,难以区分这些岩溶是由中奥陶世末的都匀运动还是志留纪末的广西运动造成的。在志留系覆盖区,目前仅有合 12 井可以确定发育了宝塔组岩溶。合 12 井位于上奥陶统和志留系覆盖区(图5),断层不发育,但宝塔组钻井过程中发生井涌,岩心显示该层段孔洞发育,充填石英、方解石和沥青,疑为地下岩溶洞穴,岩溶发育层位距志留系顶面 122 m^[16]。对该套岩溶储层形成机制的解释有两种:一种是地表水从碳酸盐岩裸露区渗流到碎屑岩覆盖区,宝塔组灰岩发生了顺层岩溶;另一种解释是地表水穿越厚层碎屑岩对宝塔组进行溶蚀。很显然这两种解释都不能完全解释合 12 井岩溶储层的发育特征。该区断裂和裂缝不发育,缺乏流体流动的输导体系,另外在更容易出现溶蚀的下奥陶统南津关组未发现大规模顺层岩溶。由此,合 12 井奥陶系宝塔组岩溶可能是都匀运动期的暴露造成的,与川北露头剖面的岩溶储层形成机制类似。

川中多数碳酸盐岩岩溶发育区,受都匀运动以来的多期构造运动影响,主要分布在川中古隆起的奥陶系广西运动暴露面附近。如在安平 1 井南津关组 4 154 m 岩心段中,孔洞大小一般在 50 mm × 15 mm ~ 12 mm × 6 mm,孔洞累计厚度可占取心段的 34.21%^[15]。在女基井南津关组风化岩溶孔洞发育,测试产气 3.09 × 10⁴ m³/d。磨深 1 井在南津关组 4 375 ~

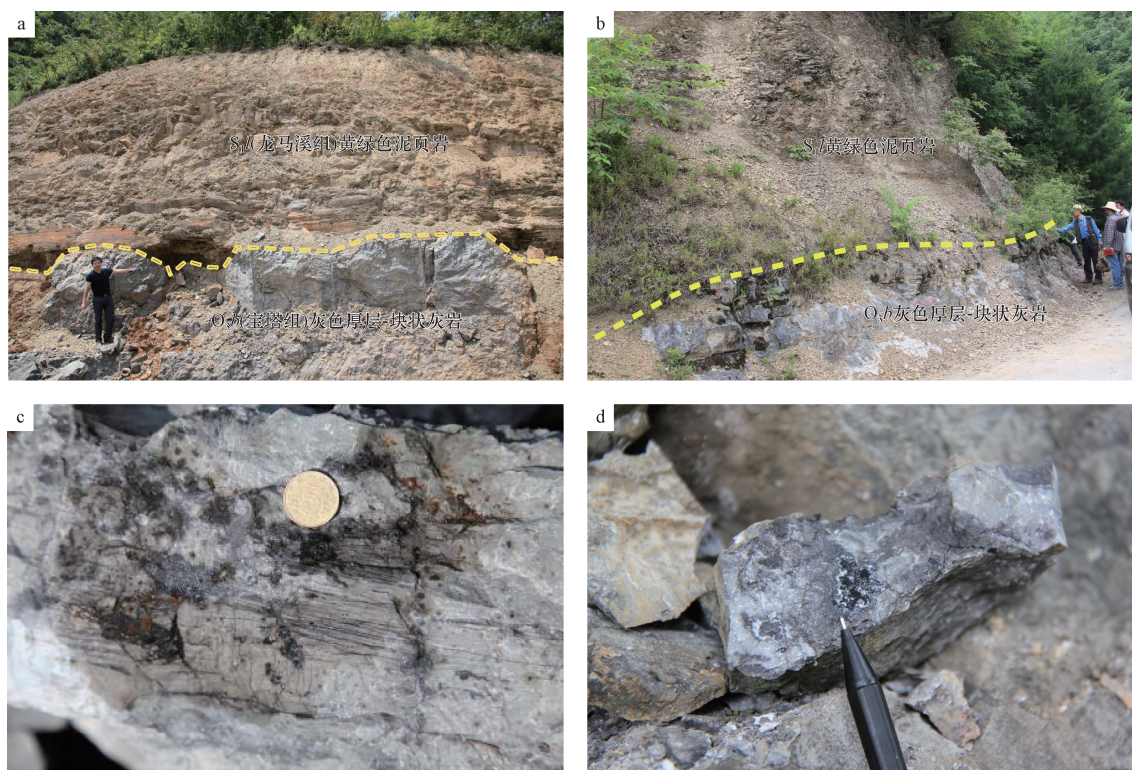


图4 都匀运动不整合面结构与相关油气显示

Fig. 4 Unconformity structure of the Duyun Movement and related hydrocarbon shows

a. 广元毛坝河剖面, $S_1/L/O_3b$ 侵蚀不整合面; b. 旺苍盐井剖面, $S_1/L/O_3b$ 侵蚀不整合面; c. 广元毛坝河剖面, 奥陶系宝塔组泥粉晶灰岩见溶孔、洞、缝, 沥青充填, 裂缝中见轻质油; d. 旺苍盐井剖面, 奥陶系宝塔组泥粉晶灰岩溶蚀孔洞中见沥青充填

4 395 m 层段具有气侵, 产气 $4\ 220\ \text{m}^3/\text{d}$ 。古隆核部的高科1井南津关组古风化壳储层中见有丰富的沥青, 成层状风化岩溶孔洞中常仅充填有沥青或其他矿物^[14]。威远地区奥陶系也处于古风化带, 宝塔组普遍被交代成细-粗晶白云岩, 白云岩储层中晶间溶孔十分发育, 并充填大量的沥青, 沥青含量一般在 12% ~ 15%。

前期研究普遍认为受广西运动和云南运动的影响比较大, 但是本次研究识别出了中-晚奥陶世之间的角度不整合, 确立了造成川中褶皱隆起的动力背景为都匀运动。由此可以明确, 都匀运动对奥陶系及下伏地层的岩溶有重要的影响。这种影响不但体现在地层暴露岩溶, 更重要的是这次构造运动形成了地层的倾斜, 在川中隆起东缘的中奥陶统及以下地层, 地层倾角在 $20^\circ \sim 40^\circ$, 而上奥陶统-下志留统与下二叠统之间几乎是完全的平行不整合。水平的地层不易形成广泛的岩溶, 而倾斜的地层会造成更多的地层暴露和顺层的岩溶。在川中隆起核部遭受剥蚀后, 地表水可以对奥陶系和寒武系多套碳酸盐岩储层进行溶蚀。在靠近古隆起的志留系碎屑岩覆盖区, 有多个钻井已揭示寒武系岩溶储层, 如川南的窝深1井和宫深1井。

2.2 对油气聚集的影响

都匀运动造成了川中古隆起最强烈的褶皱变形,

从而奠定了古隆起的构造形态, 在挤压变形过程中, 会在隆起顶部和翼部将形成“X”型剪切缝和与侧压应力方向一致的横张缝, 这些裂缝成为震旦系-奥陶系风化壳岩溶的重要先存孔隙, 为岩石的进一步溶蚀和岩溶水的流动提供了通道, 同时也从横向和纵向上沟通了下伏优质烃源岩, 成为油气向上运移的有利输导体系, 在野外露头 and 钻上都见到了碳酸岩储层裂缝中充填有大量沥青(图4), 从沥青和次生矿物的充填序列看, 这些裂缝都是在烃源岩大规模生烃前形成的。

由于古隆起后期的发育具有继承性和长期性, 它对油气藏储层组合的形成和油气长期聚集有重要控制作用。川中古隆起的构造形态一直延续到今, 它控制了该区震旦系-奥陶系油气的富集^[17], 黄文明等^[18]对钻井岩心的沥青含量统计表明, 震旦系-奥陶系古油藏的沥青含量及有沥青薄片机遇率等值线与古隆起高点的展布有密切关系, 隆起核心部位沥青含量高, 而远离古隆起, 沥青含量骤降。如隆起的南高点乐山附近的威远气田中奥陶统宝塔组储层沥青的质量分数为 12% ~ 15%, 隆起北高点龙女寺-安平店构造沥青的质量分数平均为 3.12% ~ 6.78%, 有沥青薄片机遇率则为 10% ~ 50%; 隆起斜坡部位的合12井两者值分别为 1.22% 和 1.65%, 而凹陷区为 0。

参 考 文 献

- [1] 余开富,王守德. 贵州南部的都匀运动及其古构造特征和石油地质意义[J]. 贵州地质,1995,12(3):225-232.
Yu Kaifu, Wang Shoude. Duyun movement in south Guizhou province and its paleostructure, and their significance in petroleum geology [J]. GuiZhou Geology, 1995, 12(3): 225-232.
- [2] 刘特民. 黔中何时隆起[J]. 贵州地质,1987,(1):65-71.
Liu Temin. Uplift time of Middle GuiZhou [J], GuiZhou Geology, 1987, (1): 65-71.
- [3] 陈旭,戎嘉余,周志毅,等. 上扬子区奥陶-志留纪之交的黔中隆起和宜昌上升[J]. 科学通报,2001,46(12):1052-1056.
Chen Xu, Rong Jiayu, Zhou Zhiyi, et al. The Central Guizhou and Yichang uplifts, Upper Yangtze region between Ordovician and Silurian [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(18): 1580-1584.
- [4] 梅冥相. 论“黔中古陆”[J]. 贵州地质,1994,11(3):199-206.
Mei Mingxiang. Discussion on middle GuiZhou paleo-uplift [J]. GuiZhou Geology, 1994, 11(3): 199-206.
- [5] 牛新生,冯常茂,刘进. 黔中隆起的形成时间及形成机制探讨[J]. 海相油气地质,2007,12(2):46-50.
Niu Xinsheng, Feng Changmao, Liu Jin. Formation mechanism and time of Qianzhong uplift [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(2): 46-50.
- [6] 韩世庆. 黔东麻江古油藏的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质,1982,3(4):316-326.
Han Shiqing. The discovery of a destroyed oil field in Majiang and its geological significance [J]. Oil & Gas Geology, 1982, 3(4): 316-326.
- [7] 李志明,龚淑云,陈建强,等. 中国南方奥陶-志留纪沉积层序与构造运动的关系[J]. 地球科学-地质大学学报,1997,22(5):526-530.
Li Zhiming, Gong Shuyun, Chen Jianqiang, et al. The relationship between sedimentary sequence and tectonics of Ordovician-Silurian, South of China [J]. Earth Science: Journal of China University of Geology, 1997, 22(5): 526-530.
- [8] 尹福光,许效松,万方,等. 加里东期上扬子区前陆盆地演化过程中的层序特征与地层划分[J]. 地层学杂志,2002,26(4):315-319.
Yin Fuguang, Xu Xiaosong, Wan Fang, et al. Characteristic of sequence and stratigraphical division in forland basin evolution process of upper Yangtze area during Caledonian [J]. Journal of Stratigraphy, 2002, 26(4): 315-319.
- [9] 陈旭,张元动,樊隽轩,等. 广西运动的进程:来自生物相和岩相带的证据[J]. 中国科学:地球科学,2012,42(11):1617-1626.
Chen Xu, Zhang Yuandong, Fan Junxuan, et al. Onset of the Kwang-sian Orogeny as evidenced by biofacies and lithofacies [J]. Science China: Earth Sciences, 2012, 55(10): 1592-1600.
- [10] 陈旭,徐均涛,成汉钧,等. 论汉南古陆和大巴山隆起[J]. 地层学杂志,1990,14(2):81-116.
Chen Xu, Xu Juntao, Cheng Hanjun, et al. Discussion on Hannan old land and Daba mountain uplift [J]. Journal of Stratigraphy, 1990, 4(2): 81-116.
- [11] 汪啸风,陈旭,陈孝红,等. 中国地层典·奥陶系[M]. 北京:地质出版社,1998.
Wang Xiaofeng, Chen Xu, Chen Xiaohong, et al. Stratigraphy of China-Ordovician [M]. Beijing: Geology Press, 1998.
- [12] 杨家静. 四川盆地乐山-龙女寺古隆起震旦系油气藏形成演化研究[D]. 西南石油学院,2002.
Yang Jiajing. The formation and evolution of Sinian oil & gas field in Leshan-Longnvsi paleo-uplift, Sichuan Basin [D]. Southwest Petroleum University, 2002.
- [13] 许效松. 原特提斯构造演化与中上扬子油气下组合研究[R]. 北京:中国石化科技开发部,2009.
Xu Xiaosong. Tectonic evolution of Proto-Tethys and hydrocarbon research of Lower combination in middle-upper Yangtze area [R]. Beijing: The Ministry of Science and Technology Development, SINOPEC, 2009.
- [14] 黄文明,刘树根,马文辛,等. 四川盆地奥陶系油气勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2011,32(3):462-473.
Huang Wenming, Liu Shugen, Ma Wenxin, et al. Petroleum exploration potential of the Ordovician in Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3): 462-473.
- [15] 郭彤楼. 四川盆地奥陶系储层发育特征与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质,2014,35(3):372-378.
Guo Tonglou. Characteristics and exploration potential of Ordovician reservoirs in Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 371-378.
- [16] 洪余刚,陈景山,代宗仰,等. 古地貌恢复在风化壳岩溶型储层研究中的应用[J]. 大庆石油地质与开发,2007,26(1):1-5.
Hong Shengang, Chen Jingshan, Dai Zongyang, et al. The application of ancient geomorphology recovery to the study on the palaeoweathering crust-type karst reservoir [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(1): 1-5.
- [17] 李晓青,汪泽成,张兴为,等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2001,22(4):347-350.
Li Xiaoqing, Wang Zecheng, Zhang Xinwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan Basin and their control action on natural gas [J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347-350.
- [18] 黄文明,刘树根,马文辛,等. 四川盆地震旦系-下古生界古油藏特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2010,(37)6:638-648.
Huang Wenming, Liu Shugen, Ma Wenxin, et al. Primary study on characteristics of paleo-oil reservoirs of Sinian System-Lower Paleozoic in Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, (37) 6: 638-648.
- [19] 吴浩若. 重新解释广西运动[J]. 科学通报,2000,45(5):555-558.
Wu Haoru. Reinterpretation of the Guangxian Orogeny [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(5): 555-558.

(编辑 张玉银)