

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.225>



康滇古陆西侧断裂及岩浆活动对油气保存条件的影响：以盐源盆地为例

王正和, 邓敏, 程锦翔, 张海全

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610083

摘要:盐源盆地复杂的断裂体系及频繁的构造与岩浆活动对盆地内页岩气及常规油气保存的影响有待探讨.通过对断裂、岩浆活动与两套主要烃源岩生排烃史的匹配性分析,认为:(1)盐源盆地的边界断裂及其伴生的次级断裂在喜马拉雅期均有活动,且其活动作用主要是破坏早期的油气藏,并对油气的空间配置进行再次调整,对自生自储的原位页岩气保存主要起破坏作用;(2)盐源盆地内部北东向与北西向两组褶皱中仍然可能残留保存相对较完好的构造圈闭,并且可能富含气和轻质油;(3)盐源盆地及邻区所发育的海西期、印支期、燕山期及喜山期4期岩浆活动对盐源盆地中油气生成与运移的有利作用在于催熟烃源岩,加速其生油气,并提供潜在的运移通道;不利作用在于会破坏有利圈闭或先期油气藏,且烃源岩中的岩浆底辟会对自生自储的原位页岩气保存起破坏作用.

关键词:页岩气;盐源盆地;康滇古陆;保存条件;岩浆活动;石油地质.

中图分类号: P624

文章编号: 1000-2383(2018)10-3616-09

收稿日期: 2018-03-29

Influence of Fault and Magmatism on Oil and Gas Preservation Condition, to the West of Kangdian Ancient Continent: Taking Yanyuan Basin as an Example

Wang Zhenghe, Deng Min, Cheng Jinxiang, Zhang Haiquan

Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610083, China

Abstract: In order to understand the influences of the complex faults, frequent tectonics and magmatic activities on hydrocarbon preservation condition in the Yanyuan Basin, the relationship between faults, magmatism and the thermal history of two primary source rock are analyzed in the adjacent areas to the west of Kangdian ancient continent in this study. The results indicate that: (1) the boundary faults and their associated secondary faults all have been active in the Himalayan period and their activities which mainly involves destroying the early oil and gas reservoirs and readjusting the spatial configuration of oil and gas, which mainly has been destructive in the self-generated in situ shale gas reservoirs. (2) The north-east and north-west folds within Yanyuan Basin may still retain relatively well-preserved structural traps and may be rich in gas and light oil. (3) In Yanyuan Basin and its adjacent areas, the Hercynian, Indosinian, Yanshanian and Himalayan magmatic activities have the following beneficial effects on hydrocarbon generation and migration: ripening source rocks, accelerating their hydrocarbon generation and providing potential migration channels; the negative effects include destroying the favorable traps or previous reservoirs, and destroying the self-generated and self-storage in situ shale gas by magmatic diapirism.

Key words: shale gas; Yanyuan Basin; Kangdian ancient continent; preservation condition; magmatism; petroleum geology.

基金项目: 中国地质调查局项目(No.DD20160176).

作者简介: 王正和(1976—),男,博士,高级工程师,主要从事沉积层序及油气地质勘探方面的研究. ORCID: 0000-0003-1845-0168.

E-mail: 3121927631@qq.com

引用格式: 王正和, 邓敏, 程锦翔, 等, 2018. 康滇古陆西侧断裂及岩浆活动对油气保存条件的影响: 以盐源盆地为例. 地球科学, 43(10): 3616-3624.

0 引言

目前,中国南方四川盆地志留统龙马溪组的页岩气勘探开发已取得显著成效,并形成了威远、长宁、焦石坝及昭通等页岩气高产气田(郭彤楼,2016;郭旭升等,2016;梁兴等,2017;何治亮等,2017a,2017b;谢军,2017;岳鹏升等,2017)。然而,为了进一步探索龙马溪组的页岩气资源潜力,由中国地质调查局主导实施的公益性页岩气基础地质调查工作已推进到四川盆地之外的复杂构造区,包括在大地构造位置上位于康滇古陆西侧的盐源盆地。保存条件是油气藏形成的关键(李明诚等,1997),迄今的勘探成果与认识表明,页岩气同常规油气一样,也需要有利的构造与保存条件才能成藏,且普遍认为保存条件是决定页岩气能否富集高产的关键因素(胡东风等,2014),而构造作用与演化历史是评价页岩气保存条件的一个方面(聂海宽等,2012)。其中,构造作用中所发育的断裂体系对页岩气等非常规油气及常规油气的保存都起着至关重要的作用(楼章华等,2011;胡东风等,2014;潘仁芳等,2014),断裂若不具封堵性,通常能成为高效的流体运移通道,此时,断裂若只是沟通源一储,则有利于成藏,若其切过了盖层且不具侧向封堵性,则会破坏有利圈闭,导致油气藏的破坏(罗群和孙宏智,2000)。此外,岩浆活动也是造成油气保存单元发生变化的一个重要因素(何登发等,2004),岩浆岩对区域油气的生成、聚集和破坏会产生影响,岩浆活动时间与油气生成和运移时期的先后顺序,对油气藏保存条件至关重要(冯乔和汤锡元,1997),且可能因为岩浆的上侵作用产生张性断裂和裂缝,降低盖层的封闭能力(聂海宽等,2012)。

总之,断裂及岩浆活动都可能导致油气藏的破坏(何治亮等,2017a,2017b)。那么,针对盐源盆地这样的复杂构造区及页岩气新探区,其复杂的断裂体系及频繁的构造与岩浆活动对下志留统龙马溪组、下泥盆统坡脚组的页岩气保存条件以及研究区常规油气的保存会有什么样的影响呢?笔者对此问题拟做初步研究与探讨,以期能对类似复杂区的页岩气与常规油气的勘探评价提供借鉴与参考。

1 地质概况

盐源盆地位于上扬子西部边界川西南—滇西北

一带,其北部与西部与三江多岛弧造山系为邻,东部与金河—箐河断裂和康滇古陆为邻,南部与丽江盆地相望(朱民等,2016),位于康滇古陆西侧,为新生代盆地(李勇等,2001)。盆地主要位于锦屏山前陆逆冲推覆带上,夹于青藏特提斯构造域与扬子大陆板块构造域之间(钟康惠等,2004),为扬子准地台西缘与松潘—甘孜印支褶皱系衔接部位(胡受权和郭文平,1995),属于盐源—丽江台缘坳陷(印支—燕山期)(唐若龙,1987)。盐源盆地主要由金河—箐河断裂、小金河断裂、宁蒗—小金河断裂及宁蒗—岩蜂箐断裂所围限。

据沉积地层发育特征,金淳泰(1982)、何卫红等(2014)将研究区归于扬子区盐源—丽江分区。研究区内出露的沉积地层从老到新为震旦系至第四系,缺失侏罗系与白垩系,三叠系以下除上二叠统玄武岩以外,其余均属海相沉积地层。震旦系仅出露上震旦统,零星分布于盐源东南边缘,为白云岩,下部夹砂页岩、泥灰岩等。寒武系假整合于震旦系之上,缺失下寒武统上部至上寒武统,残留的下寒武统中、下部主要为粉、细砂碎屑岩。奥陶系假整合于寒武系之上,下奥陶统以粉、细砂碎屑岩为主,中上奥陶统为灰岩或白云岩,顶部存在风化壳,局部具风化壳型储集层发育。志留系假整合于奥陶系之上,下志留统龙马溪组以陆棚相沉积为主,以厚60 m左右的深灰—灰黑色富有机质硅质泥页岩为主,夹硅质岩、灰岩及砂岩,局部底部发育厚2 m左右的紫红色硅质泥页岩;中、上志留统主要为碳酸盐岩台地相沉积,以泥质网纹状灰岩为主,局部相变为以白云岩为主。泥盆系假整合于志留系之上,下泥盆统以碎屑岩为主,其上部发育有厚度可达约100 m的碳质泥页岩;中、上泥盆统主要为灰岩与白云岩。石炭系通常以薄层富壳化石泥岩为界假整合于泥盆系之上,岩性以灰岩为主。二叠系假整合于石炭系之上,下部梁山组主要为砂页岩,局部含煤线,之上的栖霞组、茅口组以灰岩为主,茅口组顶界发育风化壳,之上为上二叠统峨嵋山玄武岩所覆盖,峨嵋山玄武岩之上为黑泥哨组,以细碎屑岩为主,发育有深灰—灰黑色碳质泥页岩。三叠系假整合于二叠系之上,内部除中三叠统上部及上三叠统下部为碳酸盐岩沉积以外,其余主要为碎屑岩沉积,上三叠统内间或发育有煤层。古近系主要为磨拉石建造,新近系为碎屑岩沉积,中上部发育有煤层。就石油地质特征而言,研究区的沉积地层具完整的生、储、盖组合(图1),其中,下志留统龙马溪组、下泥盆统坡脚组是研究区内最为重要的两套

地层			代号	岩性柱	厚度 (m)	岩性描述	石油地质		
系	统	组					生	储	盖
第四			Q		0~100				
新近系		昔格达	N ₂ x		0~640	粉砂岩、砂质粘土岩、粘土岩互层，夹砾岩、砂砾岩透镜体和褐煤层。			
古近系		红崖子	Eh		0~972	紫色巨砾岩夹砂砾岩、岩屑长石砂岩、粉砂岩层或透镜体。			
三叠系	上统	白土田	T ₃ bt		360~1 500	黄绿色泥岩、页岩夹煤线和长石石英砂岩，东部底部含砾石层。			
		松桂	T ₃ s		200~2 400	灰绿色长石石英砂岩、页岩夹煤层或煤线，底部为砂砾岩或砾岩。			
		中窝	T ₃ z		374~492	西部为灰岩、泥灰岩、页岩、钙质页岩，东部为砂岩、粉砂岩，泥灰岩、夹燧石结核灰岩、鲕粒灰岩、顶部夹钙质页岩、煤线，底部含砾。			
	中统	白山	T ₂ bs		281~1 400	灰色、深灰色中厚层白云质灰岩，顶部含燧石条带及泥质结核，西部厚，东部薄。			
		盐塘	T ₂ yt		421~1 438	紫红、灰绿色岩屑石英砂岩、长石石英砂岩夹钙质粉砂岩、页岩及泥灰岩，长石石英砂岩夹紫红、黄绿色页岩及粉砂岩。			
	下统	青天堡	T ₁ q		390~800	紫红色砂岩夹紫色页岩，粉砂岩、长石石英砂岩，含灰绿色细粒石英砂岩，底部含砾石。			
		长兴	P ₃ ch		0~503	灰色灰岩，西部发育，东部不发育。			
二叠系	上统	黑泥哨	P ₁ h		116~587	深灰色砂岩、砾岩、页岩夹煤层或碳质页岩，西部厚，东部薄。			
		峨嵋山玄武岩	P ₁ β		650~3 230	暗绿色、灰绿色致密块状，含杏仁体，脉体，局部下部含橄榄玄武岩，择木龙—国胜一带底部为火山集块岩、火山角砾岩。			
		茅口	P ₂ m		172~384	灰色厚层块状灰岩，生物碎屑灰岩，含鲕。			
	中统	栖霞	P ₂ q		53~122	灰色灰岩，硅质岩，底部见薄层碳质页岩。			
		梁山	P ₁ l		1~43	铝铁质砂页岩，豆状粘土岩，夹煤层，底部含砾。			
	下统	梁山	P ₁ l		1~43	铝铁质砂页岩，豆状粘土岩，夹煤层，底部含砾。			
石炭系	上统	马平	C ₃ mp		137~300	浅、深灰色灰岩，鲕粒灰岩，含燧石结核，燧石团块。			
	中统	黄龙	C ₂ hl		129~300	浅灰色灰岩夹鲕粒灰岩，富含珊瑚，含白云岩。			
	下统	尖山营	C ₁ j		0~575	灰岩，夹生物灰岩、白云质灰岩，鲕粒灰岩、底部含砾，燧石条带。			
泥盆系	上统	干沟	D ₃ g		85~520	灰岩、鲕粒灰岩、灰色灰岩夹紫红色微晶灰岩，白云岩、薄层硅质岩。			
		烂泥箐	D ₃ l		145~560	灰岩、白云质灰岩、鲕粒灰岩，角砾状灰岩。			
	中统	碳山坪	D ₂ t		98~618	灰岩、生物礁灰岩夹白云质灰岩，底部含砂岩、砾岩。			
		大槽子	D ₂ d		10~378	灰色中厚层状微晶灰岩、生物灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥质白云岩，局部夹页岩、粉砂岩。			
	下统	坡脚	D ₁ pi		57~720	灰色粉砂质泥岩、黑色碳质页岩，夹灰岩透镜，顶部在择木龙一带为硅质岩夹页岩。			
		松冲	D ₁ ps		90~800	灰色泥灰岩、泥岩、细砂岩、石英砂岩，含砾砂岩。			
志留系	上统	榕树	D ₁ r		0~344	灰色灰岩、泥岩、泥灰岩、云质泥灰岩，夹页岩。			
		中槽	S ₃ z		65~330	上部为深灰色、灰黑色薄层状粉砂岩夹细砂岩、泥页岩、灰质粉砂岩、放射虫硅质岩；中部为薄—中层状微晶灰岩夹粉砂岩、粉砂质页岩；下部为灰黑色粉砂岩、粉砂质页岩、泥质粉砂岩、中层状泥灰岩夹细粒长石石英砂岩。			
	中统	稗子田	S ₂ b		68~384	浅灰—深灰色中至厚层状网纹状泥质灰岩、泥灰岩、微—粉晶灰岩、细晶白云岩，偶夹深灰色中层状碳质灰岩、角砾状灰岩、微晶白云岩，具水平层理、条带状构造。			
	下统	龙马溪	S ₁ l		0~86	黑色硅质岩、硅质泥岩夹白云岩、碳质硅质页岩、粉砂质泥岩。			
奥陶系	中上统	巧家	O ₂ q		80~110	灰色泥质条带、泥质网纹、豹皮网纹状泥质灰岩，横向相变为含燧石白云岩。			
	下统	红石崖	O ₁ h		227~580	紫红色、灰绿色长石石英砂岩，细砂岩、粉砂岩、页岩、泥岩偶夹结晶灰岩和赤铁矿透镜体。灰白色、灰紫色石英砂岩、细粉砂岩、砂质页岩夹胶凝砂岩。			
寒武系	下统	磨刀垭	Є ₁ md		63~265	紫红色、黄绿色长石石英砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩夹白云质灰岩、泥质灰岩、泥灰岩和含砾砂岩。			
		长江沟	Є ₁ cj		60~250	紫红色细砂岩、粉砂岩夹砂质页岩。			

图 1 盐源盆地综合柱状图

Fig.1 The comprehensive stratigraphic column of Yanyuan Basin

榕树组据何原相和钱咏臻(2000),稗子田地区早泥盆系发育情况据王成源等(2009),其余地层参考四川省地质矿产研究所(1987)

主力烃源岩,而且也最具页岩气勘探潜力,三叠系及新近系的煤层规模有限,但具有一定的煤层气勘探潜力.因此,下文的烃源岩埋藏演化讨论主要针对龙马溪组与坡脚组两套地层.

2 龙马溪组与坡脚组生排烃史

鉴于研究区内迄今尚无深井资料可用,笔者主要基于区域地质资料及露头样品所得到的数据,恢复了研究区主要烃源岩生烃演化过程(图2).研究表明,研究区下志留统龙马溪组烃源岩有机质成熟度在早泥盆世晚期—中泥盆世早期开始进入早期成熟阶段,开始生油;在晚泥盆世早期至中二叠世晚期,一直处于中期成熟阶段,并处于生油窗内,并在石炭纪末至早二叠世处于生排油高峰,同时开始大量生排烃;在晚二叠世早—中期处于晚期成熟阶段,并大量生排烃;晚二叠世晚期进入过成熟阶段,生排烃量大幅度下降.

下泥盆统坡脚组烃源岩有机质成熟度在石炭纪密西西比亚纪早期至早二叠世处于早期成熟阶段;在中二叠世至中三叠世中期处于中期成熟阶段,进入生油窗,并在中三叠世中期处于生排油高峰;大致在中三叠世晚期至晚三叠世早期处于晚期成熟阶段,大量生排烃;大致在晚三叠世晚期进入过成熟阶段.

因此,研究区龙马溪组烃源岩在石炭纪末至早二叠世为生排油高峰,并开始进入大量生排烃阶段,至晚二叠世则生排烃高峰结束.研究区下泥盆统坡脚组烃源岩在中三叠世中期大量生排油,在中三叠世晚期至晚三叠世早期大量生排烃.

3 断裂与油气关系

3.1 断裂发育特征

邻近康滇古陆西侧的盐源盆地主要由东南边的金河—箐河断裂、东北边的小金河断裂、西北边的宁蒗—小金河断裂及西南边的宁蒗—岩蜂箐断裂所围限(图3),盆地内的次级断裂也主要由这几条断裂单独或共同作用而派生.其中,宁蒗—岩蜂箐断裂为盐源盆地与宁蒗盆地的分界断裂.

3.1.1 金河—箐河断裂 为一逆冲断裂,在平川镇以南大致为北东走向,其断面向北西倾斜,倾角为 $35^{\circ}\sim 70^{\circ}$,在平川镇以北,大致为南北走向(图3),断面西倾.王夫运等(2008)认为该断裂为扬子板块西边界,为一构造拆离面,其上为表层低速推覆体,其下为深部高速基底,从而构成盐源推覆薄皮构造.该断裂垂直断距超过10 km,导致最大时间跨度的地层对接为震旦系与三叠系相接触(图3).断裂南东侧在奥陶纪—早泥盆世属于康滇古陆,缺失奥陶系、志

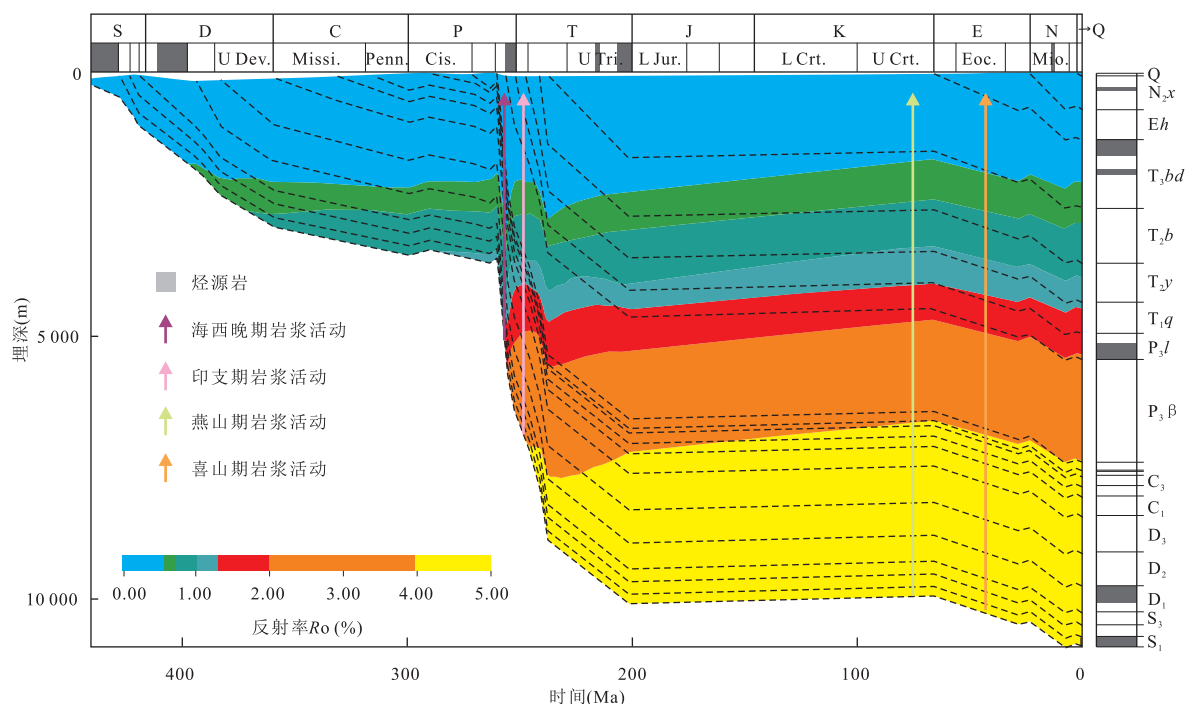


图2 盐源盆地主要烃源岩生烃演化及岩浆活动期次

Fig.2 The hydrocarbon-generation evolution of the major source rocks and the magmatism phases in Yanyuan Basin

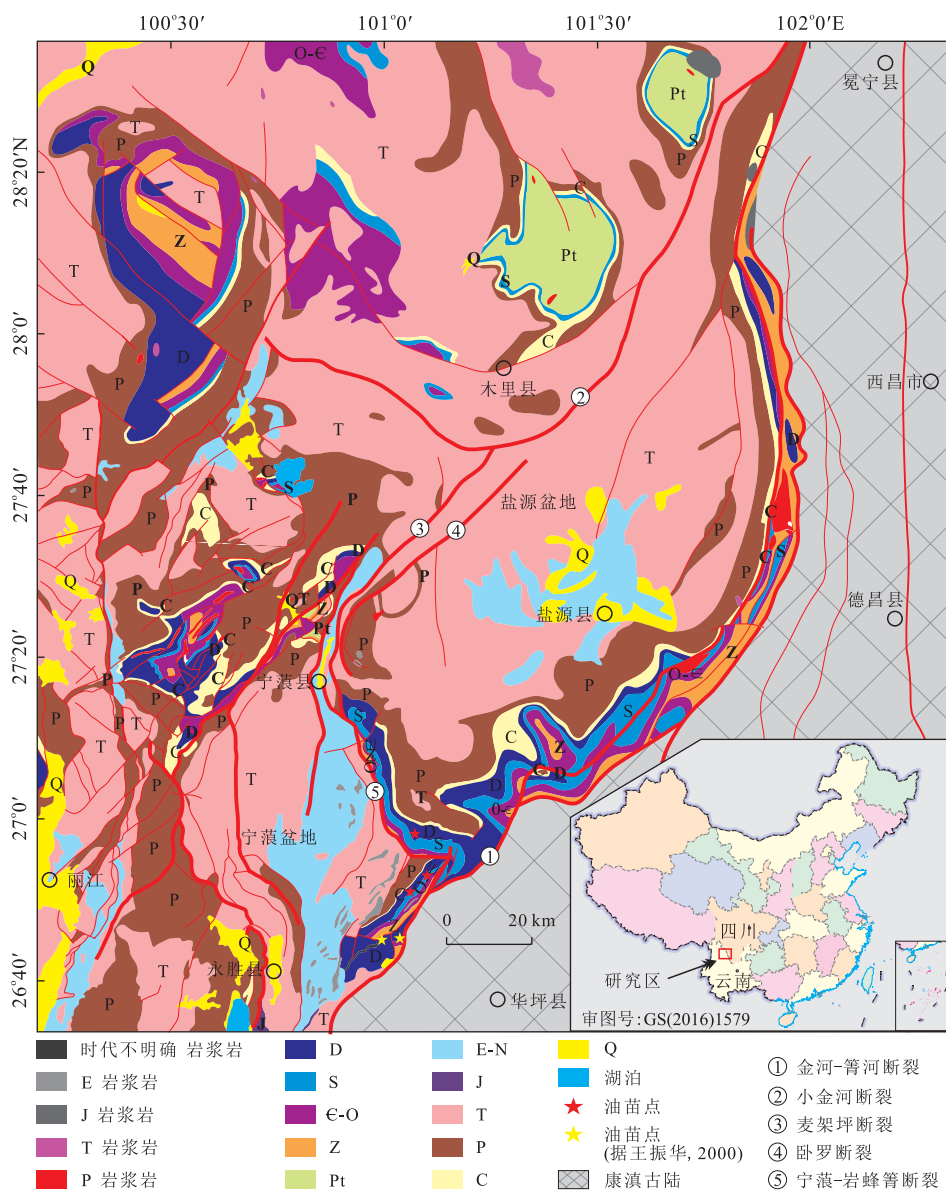


图 3 盐源盆地及邻区构造、地层、岩浆及油气苗分布

Fig.3 The structure, strata, magma and oil & gas show distribution in Yanyuan Basin and its adjacent areas

留系及下泥盆统,也即缺失下志留统龙马溪组及下泥盆统坡脚组烃源岩.因此,笔者推测研究区油苗点上的油源不可能来自于该断裂以南.盐源盆地南端伴随该断裂形成一系列小的背斜,但背斜多被次级断层复杂化(图 3),且古生代地层多在该区域出露.四川省地质矿产研究所(1987)认为该断裂为自元古代以来长期活动的壳断裂带,经历了长期的发展过程,力学性质也发生了多次转变.但是,从断裂两侧地层发育特征、出露特征及接触关系分析来看,该断裂显著控制了奥陶系、志留系、下泥盆统、石炭系以及新生代地层的平面展布,而断裂两侧均有下寒武统地层分布.因此,笔者推测该断裂带可能于寒武纪

末形成,并控制了奥陶系、志留系及下泥盆统沉积,之后处于相对平静期,最后应当是在中一晚始新世之交的喜马拉雅期新生代造山运动中再次活化定型,并控制了古近系与新近系的沉积展布.

3.1.2 小金河断裂 西段大致走向为北西 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,东段大致走向为北东 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,为一向南突出的弧形构造(王夫运等,2008)(图 3),断面倾角为 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$,由北向南逆冲(李勇等,2001),大致构成新生代盐源盆地北边界.该断裂两侧出露地层基本上均为三叠系(图 3).李勇等(2001)认为盐源盆地为晚第三纪构造逸出盆地,且其逸出时间为晚中新世—上新世(李勇等,2001).武梅千(2017)研究认为,小金河断裂至少有

6期活动,分别为印支末期、燕山早期、燕山中期、燕山—喜马拉雅期、早更新世以及中更新世。

3.1.3 宁蒗—小金河断裂 该断裂属于丽江—小金河断裂的北段,主要由两条大致平行的北东向断层构成,分别为麦架坪断层和卧罗断层(图3),走向均为 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,断面朝南东倾斜,两断层两侧在地表多与三叠系相接触,其南西段地层接触关系稍复杂(图3)。从断裂切过的地层与构造特征来看,该断裂形成时间应不早于三叠纪末,即最早形成时间不早于燕山期。但从区域构造背景来看,其形成机制更可能与钟康惠等(2004)所提出的“盐源—丽江构造带是新生代陆内造山带”一致,即为喜马拉雅期产物。

3.1.4 宁蒗—岩蜂箐断裂 断面呈北东倾的逆冲断裂,为宁蒗盆地与盐源盆地的分界断裂,断裂北东侧出露有震旦系及古生代地层,而南西侧主要出露有三叠系和新生代地层(图3)。该断裂南段的破碎带最宽约为200 m,且在岩蜂箐可见20~50 cm厚的断层泥。该断裂断距由南东向北西加大,据最大时间跨度的地层对接关系,即震旦系与古近系对接,表明其垂直断也距应当不小于5.5 km。李勇等(2001)认为该断裂属于金河—箐河断裂的一部分,因此,其最后构造活动定型也应当是中—晚始新世之交的喜马拉雅期新生代造山运动。

3.2 断裂与油苗分布关系

王振华(2000)及笔者野外地质调查发现,盐源盆地边缘有油苗存在,且基本上属于轻质油苗。这些油苗中,除李子河剖面出露于下志留统龙马溪组灰黑色含炭质硅质页岩外,其余出露点几乎均为中泥盆统微粉晶白云岩。油苗点主要分布在盐源盆地南端及宁蒗盆地东南端的交接区域,其展布规律主要受金河—箐河断裂及宁蒗—岩蜂箐断裂控制,且主要沿两条断裂带的交汇区展布(图3),表明金河—箐河断裂及宁蒗—岩蜂箐断裂均沟通了早期轻质油藏。

3.3 断裂活动与油气关系

前文分析表明,盐源盆地的边界围限断裂在喜马拉雅期都有活动。而盐源盆地内的下志留统龙马溪组与下泥盆统坡脚组两套重要烃源岩在喜马拉雅期之前均已过生油和生气高峰。因此,这些边界断裂及其伴生的次级断裂在喜马拉雅期的作用主要是破坏早期的常规油气藏,并对油气的空间配置进行再次调整,但对于自生自储的原位页岩气的保存而言,则主要起破坏作用。但是,从区域构造与地质特征分析,盐源盆地内部北东向与北西向两组褶皱中仍然可能存在保存相对较完好的常规油气构造圈闭,并

且可能富含气和轻质油。

4 岩浆活动与油气关系

4.1 岩浆活动期次

四川地震局(1986)研究表明,盐源盆地及邻区在地质历史上具多期岩浆活动,主要期次包括晋宁期、加里东—海西早期、海西晚期、印支期及燕山期。考虑到地质历史上的每一期岩浆活动不会影响到晚于其活动期后沉积地层中的油气生成及运聚,因此,本文仅讨论下志留统龙马溪组沉积之后的岩浆活动,即加里东晚期及之后的岩浆活动。

海西晚期岩浆活动:主要为基性岩浆喷发和浅层侵入。基性喷发岩主要为盐源盆地及邻区所分布的二叠纪玄武岩,四川地震局(1986)研究认为同期的浅层侵入岩为盐源盆地及邻区均有分布的辉长岩、辉绿辉长岩、橄榄岩、闪辉橄榄岩和橄闪辉石岩。研究区内,该期岩浆活动在志留系、泥盆系均有顺层与穿层侵入。

印支期岩浆活动:主要为酸性和碱性岩浆的侵入活动,在研究区的跑马坪乡补底拉打村有出露,呈顺层状侵入奥陶系,含大量黑云母(图4)。

燕山期岩浆活动:主要为酸性岩浆的侵入活动,并主要发育于晚白垩世(钟康惠等,2004)。房建军(2004)研究认为,该期岩浆活动在盐源盆地南侧邻近的楚雄盆地中表现为中期和晚期两期煌斑岩侵入。

喜山期岩浆活动:主要发育于古新世—中渐新世,其时间跨度为62~28.7 Ma,该期岩浆活动应当是与盐源盆地及邻区陆内造山相伴生(钟康惠等,2004),而且该期侵入岩在大槽子、金姑村等露头剖面上以英安斑岩呈穿层状侵入龙马溪组中(图5),其锆石年龄为 26.34 ± 0.33 Ma,属于渐新世岩浆岩。

总体来看,以上4期岩浆活动除了海西期的晚二叠世峨眉山玄武岩为大面积喷发且厚度巨大以外,其余3期岩浆活动在研究区内主要为侵入形式。

4.2 岩浆活动与油气关系

从盐源盆地地层埋藏演化史及岩浆活动的匹配关系(图2)可以看出,海西晚期岩浆活动(相当于晚二叠世峨眉山玄武岩及同期的侵入岩)时,龙马溪组烃源岩正处于生油高峰,且开始大量生气,而下泥盆统烃源岩也正处于生排油高峰及生排气初期,即该期岩浆活动与龙马溪组、坡脚组烃源岩生、排烃高峰大致同步。因此,海西晚期的晚二叠世岩浆活动一方面会加速催熟龙马溪组与坡脚组烃源岩生油气;另



图 4 奥陶系印支期顺层侵入岩(补底拉剖面)

Fig.4 The Indosinian interbedded intrusive rocks along Ordovician, Budilada Section



图 5 志留系龙马溪组喜山期穿层侵入岩(大槽子剖面)

Fig. 5 The Himalayan intrusion rock that impaled Silurian Longmaxi Formation, Dacaozi Section

一方面,与该期岩浆活动伴生的断层或裂隙会成为油气运移到圈闭中或者直接逸散的通道,也就是说,该期岩浆活动强烈影响了龙马溪组与坡脚组油气的初次聚集成藏。虽然该期岩浆活动形成的岩浆岩也可形成储层(金之钧等,2018),但因为该类型储层的形成时间与龙马溪组及坡脚组生排烃高峰大致相当,且其形成时尚无上覆盖层,故龙马溪组及坡脚组生排烃高峰时所形成的油气难以在该期岩浆岩储层中规模成藏。

印支期及之后的燕山期与喜山期岩浆活动时,龙马溪组与下泥盆统烃源岩均已过了生排气高峰。因此,这 3 期岩浆活动一方面会导致先期的原油裂解成气;另一方面,伴生的断层与裂隙会破坏先期的油气藏,通过多次运移,重新将油气调整到新的合适的圈闭中,或者是导致油气沿断裂逸散。

对于上二叠统黑泥哨组烃源岩而言,印支期岩浆活动只是起催熟作用,而燕山期与喜山期岩浆活动晚于其生油气高峰,故对该套烃源岩先期所形成的油气藏起破坏或调整作用。总体而言,以上 4 期岩浆活动对盐源盆地中的油气生成与运移既有有利作用,也有不利的作用。有利作用在于可催熟烃源岩,

加快其热演化程度,加速其生成油气,并提供潜在的运移通道;笔者推测其不利作用在于岩浆刺穿及伴生的断裂会破坏先期的常规有利圈闭或油气藏。从烃源岩的热演化及岩浆活动时间的匹配关系来看,以上 4 期岩浆活动在刺穿烃源岩的部位对于自生自储的原位页岩气的保存均起到破坏作用。但从川盐地 1 井的钻探成果来看,在远离岩浆底辟部位,烃源岩中的页岩气仍可以保存较好。

5 结论

(1)盐源盆地的边界断裂及其伴生的次级断裂在喜马拉雅期均有活动,且其活动作用主要是破坏早期的油气藏,并对油气的空间配置进行再次调整;但对自生自储的原位页岩气保存条件而言,则主要起破坏作用。

(2)盐源盆地内部北东向与北西向两组褶皱中仍然可能残留保存相对较完好的圈闭,并且在高的热演化背景下可能富含气和轻质油。

(3)盐源盆地及邻区所发育的海西期、印支期、燕山期及喜山期等 4 期岩浆活动对盐源盆地中油气生成与运移的有利作用在于催熟烃源岩,加速其生成油气,并提供潜在的运移通道;不利作用在于其伴生的断裂会破坏有利圈闭或先期油气藏,且在刺穿烃源岩的部位,对自生自储的原位页岩气保存均起破坏作用。

致谢:感谢审稿专家及编辑对本文的细心审阅并提出宝贵意见!

References

- Fang, J. J., 2004. Comprehensive Study of Tectonic Changes and Late Reformation of Chuxiong Basin (Dissertation). Northwest University, Xi'an (in Chinese with English abstract).
- Feng, Q., Tang, X. Y., 1997. Magma Activity's Influence on Conditions Forming Oil and Gas Pools. *Geological Science & Technology Information*, 16(4): 59–65 (in Chinese with English abstract).
- Guo, T. L., 2016. Discovery and Characteristics of the Fuling Shale Gas Field and Its Enlightenment and Thinking. *Earth Science Frontiers*, 23(1): 29–43 (in Chinese with English abstract).
- Guo, X. S., Hu, D. F., Wei, Z. H., et al., 2016. Discovery and Exploration of Fuling Shale Gas Field. *China Petroleum Exploration*, 21(3): 24–37 (in Chinese with English abstract).
- He, D. F., Ma, Y. S., Yang, M. H., 2004. Concept and Appraisal

- Principles of Hydrocarbon Preservation Unit, *Oil & Gas Geology*, 25(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- He, W. H., Tang, T. T., Yue, M. L., et al., 2014. Sedimentary and Tectonic Evolution of Nanhuan-Permian in South China. *Earth Science*, 39(8): 929—953. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.087>
- He, Y. X., Qian, Y. Z., 2000. The Silurian Devonian Boundary in Baizitian, Yanbian, Sichuan and Its Geological Implications. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(1): 98—112 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. L., Hu, Z. Q., Nie, H. K., et al., 2017a. Characterization of Shale Gas Enrichment in the Wufeng-Longmaxi Formation in the Sichuan Basin and Its Evaluation of Geological Construction-Transformation Evolution Sequence. *Natural Gas Geoscience*, 28(5): 724—733 (in Chinese with English abstract).
- He, Z. L., Li, S. J., Wo, Y. J., et al., 2017b. Major Factors Controlling Hydrocarbon Preservation Condition in the Marine Basins of China and Its Evaluation Ideas. *Acta Petrologica Sinica*, 33(4): 1221—1232 (in Chinese with English abstract).
- Hu, D. F., Zhang, H. R., Ni, K., et al., 2014. Main Controlling Factors for Gas Preservation Conditions of Marine Shales in Southeastern Margins of the Sichuan Basin. *Natural Gas Industry*, 34(6): 17—23 (in Chinese with English abstract).
- Hu, S. Q., Guo, W. P., 1995. Rhombohedral Structure Framework and Its Junction Structure Style in Ninglang Area of Yunnan. *Journal of Mineralogy & Petrology*, 15(4): 93—99 (in Chinese with English abstract).
- Jin, C. T., 1982. Summary of Strata in Southwest China. Department of Geology and Mineral Resources Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu (in Chinese).
- Jin, Z. J., Cai, X. Y., Liu, J. L., et al., 2018. The Recent Exploration Progress and Resource Development Strategy of China Petroleum and Chemical Corporation. *China Petroleum Exploration*, 23(1): 14—25 (in Chinese with English abstract).
- Li, M. C., Li, W., Cai, F., et al., 1997. Integrative Study of Preservation Conditions of Oil and Gas Pools. *Acta Petrolei Sinica*, 18(2): 41—48 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y., Hou, Z. J., Si, G. Y., et al., 2001. Sedimentary Characteristics and Tectonic Controls in Neogene Yanyuan Tectonic Escape Basin in Southeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Mineralogy & Petrology*, 21(3): 34—43 (in Chinese with English abstract).
- Liang, X., Wang, G. C., Zhang, J. H., et al., 2017. High-Efficiency Integrated Shale Gas Development Model of Zhaotong National Demonstration Zone and Its Practical Enlightenment. *China Petroleum Exploration*, 22(1): 29—37 (in Chinese with English abstract).
- Lou, Z. H., Shang, C. J., Yao, G. S., et al., 2011. Hydrocarbon Preservation Conditions in Marine Strata of the Guizhong Depression and Its Margin. *Acta Petrolei Sinica*, 32(3): 432—441 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Q., Sun, H. Z., 2000. Relationship between Faulting and the Preservation of Oil and Gas Accumulation. *Experimental Petroleum Geology*, 22(3): 225—231 (in Chinese with English abstract).
- Nie, H. K., Bao, S. J., Gao, B., et al., 2012. A Study of Shale Gas Preservation Conditions for the Lower Paleozoic in Sichuan Basin and Its Periphery. *Earth Science Frontiers*, 19(3): 280—294 (in Chinese with English abstract).
- Pan, R. F., Tang, X. L., Meng, J. H., et al., 2014. Shale Gas Preservation Conditions for the Upper Paleozoic in Guizhong Depression. *Oil & Gas Geology*, 35(4): 534—541 (in Chinese with English abstract).
- Sichuan Earthquake Administration, 1986. Study on Seismic Hazards in Panxi Area. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu (in Chinese).
- Sichuan Provincial Institute of Geology and Mineral Resources, 1987. The Triassic Strata and Sedimentary Facies in Yanyuan-Lijiang District. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Tang, R. L., 1987. The Relationship between the Tectonic Characteristics of the Muli-Yanyuan Nappe and the Metallogenic Relationship between Gold and Copper, Lead and Zinc. *Acta of Sichuan Geology*, 7(2): 5—11 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C. Y., Wang, P., Yang, G. H., et al., 2009. Restudy on the Silurian Conodont Biostratigraphy of the Baizitian Section in Yanbian County, Sichuan. *Journal of Stratigraphy*, 33(3): 302—317 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. Y., Duan, Y. H., Yang, Z. X., et al., 2008. Velocity Structure and Active Fault of Yanyuan-Mabian Seismic Zone: The Result of High-Resolution Seismic Refraction Experiment. *Science in China (Series D)*, 38(5): 611—621 (in Chinese).
- Wang, Z. H., 2000. An Analysis of Oil-Gas Exploration Perspective of Ninglang Basin. *Yunnan Geology*, 19(4): 443—448 (in Chinese with English abstract).
- Wu, M. Q., 2017. Tectonic Deformation and Evolution of Xiaojinhe Fault of Muli Area (Dissertation). Chengdu University of Technology, Chengdu (in Chinese with English abstract).
- Xie, J., 2017. Rapid Shale Gas Development Accelerated by

the Progress in Key Technologies; A Case Study of the Changning-Weiyuan National Shale Gas Demonstration Zone. *Natural Gas Industry*, 37(12): 1–10 (in Chinese with English abstract).

Yue, P. S., Shi, Q., Yue, L. Q., et al., 2017. The Latest Progress of Shale Gas Exploration and Development in China. *Natural Gas Exploration and Development*, 40(3): 38–44 (in Chinese with English abstract).

Zhong, K. H., Liu, Z. C., Shi, Y., et al., 2004. Yanyuan-Lijiang Tectonic Zone: A Cenozoic Intracontinental Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 36–43 (in Chinese with English abstract).

Zhu, M., Chen, H. L., Zhou, J., et al., 2016. Provenance of Early Triassic in Yanyuan Basin, Upper Yangtze and Its Implication for the Tectonic Evolution. *Earth Science*, 41(8): 1309–1321 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.106>

附中文参考文献

房建军, 2004. 楚雄盆地构造变动与后期改造综合研究 (硕士学位论文). 西安: 西北大学.

冯乔, 汤锡元, 1997. 岩浆活动对油气藏形成条件的影响. *地质科技情报*, 16(4): 59–65.

郭彤楼, 2016. 涪陵页岩气田发现的启示与思考. *地学前缘*, 23(1): 29–43.

郭旭升, 胡东风, 魏志红, 等, 2016. 涪陵页岩气田的发现与勘探认识. *中国石油勘探*, 21(3): 24–37.

何登发, 马永生, 杨明虎, 2004. 油气保存单元的概念与评价原理. *石油与天然气地质*, 25(1): 1–8.

何卫红, 唐婷婷, 乐明亮, 等, 2014. 华南南华纪—二叠纪沉积大地构造演化. *地球科学*, 39(8): 929–953. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2014.087>

何原相, 钱咏臻, 2000. 四川盐边稗子田志留系与泥盆系的界线划分及地质意义. *沉积与特提斯地质*, 20(1): 98–112.

何治亮, 胡宗全, 聂海宽, 等, 2017a. 四川盆地五峰组—龙马溪组页岩气富集特征与“建造—改造”评价思路. *天然气地球科学*, 28(5): 724–733.

何治亮, 李双建, 沃玉进, 等, 2017b. 中国海相盆地油气保存条件主控因素与评价思路. *岩石学报*, 33(4): 1221–1232.

胡东风, 张汉荣, 倪楷, 等, 2014. 四川盆地东南缘海相页岩气保存条件及其主控因素. *天然气工业*, 34(6): 17–23.

胡受权, 郭文平, 1995. 云南宁蒗地区菱形构造格局及其联合构造型式. *矿物岩石*, 15(4): 93–99.

金淳泰, 1982. 西南地区地层总结. 成都: 地质部成都地质矿

产研究所.

金之钧, 蔡勋育, 刘金连, 等, 2018. 中国石油化工股份有限公司近期勘探进展与资源发展战略. *中国石油勘探*, 23(1): 14–25.

李明诚, 李伟, 蔡峰, 等, 1997. 油气成藏保存条件的综合研究. *石油学报*, 18(2): 41–48.

李勇, 侯中健, 司光影, 等, 2001. 青藏高原东南缘晚第三纪盐源构造逸出盆地的沉积特征与构造控制. *矿物岩石*, 21(3): 34–43.

梁兴, 王高成, 张介辉, 等, 2017. 昭通国家级示范区页岩气一体化高效开发模式及实践启示. *中国石油勘探*, 22(1): 29–37.

楼章华, 尚长健, 姚根顺, 等, 2011. 桂中坳陷及周缘海相地层油气保存条件. *石油学报*, 32(3): 432–441.

罗群, 孙宏智, 2000. 断裂活动与油气藏保存关系研究. *石油实验地质*, 22(3): 225–231.

聂海宽, 包书景, 高波, 等, 2012. 四川盆地及其周缘下古生界页岩气保存条件研究. *地学前缘*, 19(3): 280–294.

潘仁芳, 唐小玲, 孟江辉, 等, 2014. 桂中坳陷上古生界页岩气保存条件. *石油与天然气地质*, 35(4): 534–541.

四川地震局, 1986. 攀西地区地震危险性研究. 成都: 四川科技出版社.

四川省地质矿产研究所, 1987. 盐源—丽江地区三叠纪地层及沉积相. 北京: 地质出版社.

唐若龙, 1987. 木里—盐源推覆构造特征与金铜、铅锌的成矿关系. *四川地质学报*, 7(2): 5–11.

王成源, 王平, 杨光华, 等, 2009. 四川盐边稗子田志留系牙形刺生物地层的再研究. *地层学杂志*, 33(3): 302–317.

王夫运, 段永红, 杨卓欣, 等, 2008. 川西盐源—马边地震带上地壳速度结构和活动断裂研究—高分辨率地震折射实验结果. *中国科学(D辑)*, 38(5): 611–621.

王振华, 2000. 宁蒗盆地油气勘探远景分析. *云南地质*, 19(4): 443–448.

武梅千, 2017. 木里地区小金河断裂构造变形及演化 (硕士学位论文). 成都: 成都理工大学.

谢军, 2017. 关键技术进步促进页岩气产业快速发展—以长宁—威远国家级页岩气示范区为例. *天然气工业*, 37(12): 1–10.

岳鹏升, 石乔, 岳来群, 等, 2017. 中国页岩气近期勘探开发进展. *天然气勘探与开发*, 40(3): 38–44.

钟康惠, 刘肇昌, 施央, 等, 2004. 盐源—丽江构造带是新生代陆内造山带. *地质学报*, 78(1): 36–43.

朱民, 陈汉林, 周静, 等, 2016. 上扬子西南盐源盆地早三叠世物源体系及构造意义. *地球科学*, 41(8): 1309–1321. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.106>