

文章编号: 1001-6112(2010)01-0010-05

川西龙门山油气保存条件探讨

罗啸泉, 李书兵, 何秀彬, 李志奎

(中国石油化工股份有限公司 西南油气分公司 勘探开发研究院, 成都 610081)

摘要:在对国内外推覆带油气研究现状调研的基础上,从构造形变、盖层及油水与油气保存关系等方面,对龙门山逆冲推覆带油气保存进行深入研究,总结油气成藏主控因素。在区带评价的基础上,指出江油—都江堰断裂以东保存条件好,有利于油气成藏。建立了龙门山逆冲推覆带构造形变保存模式,以及适应本区特征的评价技术方法和指标。据此预测石板滩背斜、鸭子河背斜为龙门山前有利勘探目标。

关键词: 油气保存条件; 勘探评价; 逆冲推覆带; 龙门山; 四川盆地西部

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

HYDROCARBON PRESERVATION CONDITIONS IN LONGMEN MOUNTAIN, WEST SICHUAN BASIN

Luo Xiaquan, Li Shubing, He Xiubin, Li Zhikui

(Research Institute of Petroleum Exploration and Production,
Southwest Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Based on researches of hydrocarbon in thrust nappe belt at home and abroad, from aspects such as tectonic deformation, cover, and relationship between hydrocarbon and preservation, studies of oil-and-gas preservation have been carried out in the Longmen Mountain thrust nappe belt. Main controlling factors of accumulation have been summarized. On the basis of zone evaluation, it has been pointed out that, the east to the Jiangyou—Dujiangyan fracture is favorable for hydrocarbon preservation and accumulation. Tectonic deformation preservation model of the Longmen Mountain thrust nappe belt has been set up. Evaluation methods and index adapted to the study area have been concluded. The Shanbantian and Yazihe anticlines have been predicted as favorable exploration targets.

Key words: hydrocarbon preservation conditions; exploration and evaluation; thrust nappe belt; Longmen Mountain; West Sichuan Basin

龙门山逆冲推覆带及其前渊的川西坳陷前陆盆地在古生代一直处于上扬子克拉通台地背景,到中生代伴随着龙门山的逆冲推覆,才逐渐演变为逆冲推覆带和前陆盆地 2 个构造单元^[1-3]。龙门山冲断带—川西前陆盆地致密碎屑岩含气领域是四川盆地重要的天然气产地,在龙门山冲断带前缘发现了中坝、大邑、邛西、平落坝气田以及鸭子河、金马、高家场、莲花山等含油气构造,而江油—都江堰断裂带以西的构造复杂地区勘探程度很低。广泛分布的油气显示证实龙门山逆冲推覆带有丰富的油气聚集,但同时也证实油气破坏或渗漏具有普遍性^[4]。龙门山地区具有良好的烃源条件^[5]以及油气储集条件,那么控制油气成藏的重要因素就是油

气保存条件。因此,龙门山逆冲推覆带油气保存研究对于龙门山前的圈闭评价具有重要意义。

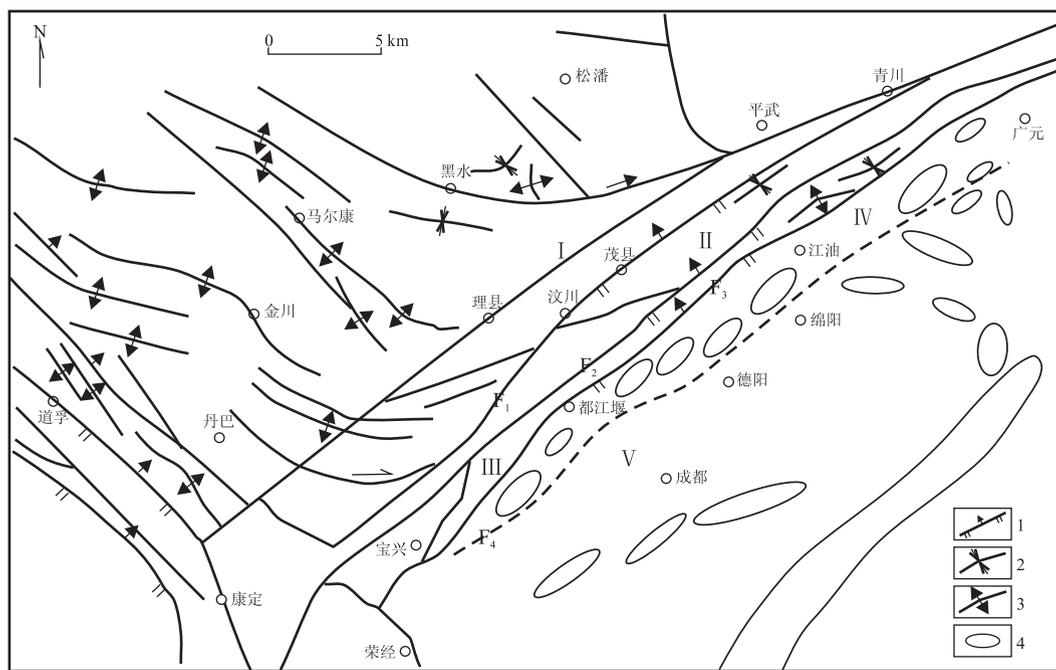
1 区域构造特征

龙门山推覆构造带位于青藏高原东缘、松潘—甘孜褶皱带与扬子板块结合部位,北起广元、南抵宝兴,呈北东—南西走向,长约 500 km,北西界为茂汶断裂,南东界为江油—都江堰断裂,宽约 30~60 km。依次由茂汶断裂、北川—映秀断裂、江油—都江堰断裂 3 条大致平行的冲断带构成。这 3 条主干逆冲断裂均走向北东,断层面倾向北西,在剖面上呈叠瓦状排列(图 1)^[1]。龙门山推覆构造带既是青藏高原的东界,又构成四川盆地的西

收稿日期: 2009-03-05; 修订日期: 2009-12-21。

作者简介: 罗啸泉(1963—),男,教授级高级工程师,主要从事油气地质研究工作。E-mail: luoxiaoquan@163.com。

基金项目: 中国石化科技开发项目(P07023)。

图1 川西龙门山构造分带^[1]

1. 断裂; 2. 地表背斜; 3. 地表向斜; 4. 局部构造;
 F₁. 茂县—汶川断裂; F₂. 北川—映秀断裂; F₃. 江油—都江堰断裂; F₄. 彭县断裂;
 I. 松潘—甘孜褶皱带; II. 龙门山叠瓦冲断带; III. 龙门山逆冲推覆带; IV. 山前断褶带; V. 川西坳陷

Fig. 1 Tectonic division of Longmen Mountain, West Sichuan Basin

界。逆冲推覆带及其前渊的川西坳陷前陆盆地在古生代一直处于上扬子克拉通台地背景,自晚三叠世诺利克期以来经历了多次逆冲推覆作用叠加,地史演变复杂,具有典型的推覆构造特征^[6-7]。

龙门山构造变形始于印支期,经历了燕山期和喜山期多次递进变形,在时期上具有由北向南、由西向东逐渐变晚的特征;在强度上具有西侧强、东侧弱的特征。北川—映秀断裂带以西地区构造变形强,断层通天,油气保存条件差^[8]。

2 龙门山盖层特征

2.1 盖层分布特征

勘探表明,龙门山冲断带主要存在4套生储盖组合,即:雷口坡组—嘉陵江组组合;马鞍塘组、小塘子组—须二段—须三段组合;须三段—须四段—须五段组合;须五段—侏罗系组合。在地层对比的基础上,分组、段编制了泥岩和膏岩厚度图。

受龙门山前区域性大断层江油—都江堰断层控制,侏罗系主要分布在断层下盘,在侏罗系沉积时期,位于川西坳陷西侧的龙门山系已经形成,成为物源区。因此在龙门山前缘的安县—鸭子河—金马—街子一线,侏罗系砂砾岩发育,粒度变粗,泥质岩不发育。蓬莱镇组为莲花口组相区,在安县发

育了1 000余米厚的冲积扇砾岩。向南至鸭子河—大邑地区,在蓬莱镇组中下部泥岩增多。向东至彭县断层下盘(如马井),泥岩明显发育,表现为泥包砂。在山前遂宁组泥岩纵向展布与蓬莱镇组相似,向东则过渡为湖泊相沉积,以泥岩为主,成为区域性盖层。沙溪庙组沉积范围最大,湖盆边界更靠西,在关口断层上盘磁丰场地区,沙溪庙组超覆在须家河组五段之上。在龙门山前,沙溪庙组为砂泥岩互层,发育6~10余层20~60 m厚的泥岩。千佛崖组和白田坝组在北段安县地区泥质岩不发育,在龙门山中南段鸭子河—大邑地区泥岩较多,发育3~5层10~25 m厚的泥岩。川西坳陷上三叠统自下而上表现为一个完整的由海相—海陆过渡相—陆相的正常推覆层序^[9],上三叠统厚度总体上呈西厚东薄的楔形,自四川盆地东部的100 m左右向川西地区加厚至最大厚度3 750 m。从须二段沉积开始,上三叠统沉积总体上逐步变成了以河流—湖沼相为主的陆相碎屑岩沉积环境。受沉积环境控制,须二段和须四段以大套砂岩为主,其间常夹有页岩和薄层煤层,而须三段和须五段则是由以泥页岩为主的砂、泥岩互层所组成,其间夹有更多的煤层、煤线和碳质页岩,暗色泥页岩总厚度500~1 200 m,是陆相碎屑岩领域的主要烃源岩。泥岩盖层主要发育于须三段和须五段,是川西坳陷

深层的区域性盖层。江油—都江堰断裂在晚三叠世构造运动中活动较强烈,以鸭子河地区为例,隆丰 1 井和川鸭 92 井须五段厚度分别为 629.5 m 与 630.5 m,与之毗邻的关口断裂上盘被剥蚀殆尽,或须五段仅剩一二百米。上三叠统泥质岩既是烃源岩,又是封盖层。

马鞍塘组盖层岩主要为海湾相泥岩以及部分生物灰岩和泥灰岩。小塘子组以滨、浅海环境沉积为主,泥岩发育,都是良好的盖层岩。马鞍塘组—小塘子组烃源岩在川西拗陷北段安县—江油厚度最大,达 395 m(川 36 井);其次为都江堰以南一大邑灌口镇附近,厚度达 300~350 m。由这 2 个烃源岩沉积中心分别往南、往北,泥质岩厚度减薄^[2]。

早三叠世,随着康滇古陆的急剧上升,形成了飞仙关期西高东低的地势,以及东深西浅的海域。沉积物自西向东依次由陆源碎屑岩渐变成海相碳酸盐岩。飞一、飞三时,主要沉积泥质灰岩、灰岩,鲕粒灰岩也较发育,局部可形成鲕粒滩。飞二、飞四时,以紫红色泥质岩沉积为主,含少量砂质。都江堰一大邑为砂泥坪相带,以紫红、灰绿色泥岩为主,为良好的盖层。

嘉陵江期继承了飞仙关期末的古地理面貌,仍然为西高东低的地势和西浅东深的海域特点。沉积物展布受康滇古陆和龙门山岛链影响,为半开阔海灰云斜坡相带。嘉一、嘉二时,龙门山地区沉积为紫灰色粉砂岩、粉砂质泥岩夹薄层灰岩。嘉二、嘉四时,遭受大规模海侵,发育碳酸盐岩沉积。晚期海退,沉积白云岩和石膏。

龙门山雷口坡组为局限台地潮坪相沉积,以白云岩夹硬石膏岩为主。其中以雷四段、雷二段硬石膏发育。龙深 1 井雷四段硬石膏厚 106 m,嘉陵江组上部硬石膏厚 110 m。这种膏盐层具有双重作用,一是充当逆冲断层之间的滑脱面,二是充当构造圈闭的高效封盖层。

2.2 盖层岩评价

突破压力测试结果表明,在川西龙门山推覆带前,泥岩盖层的平均突破压力最大为 11.67 MPa,其次是砂岩和灰岩,平均突破压力分别为 9.0、8.5 MPa。膏盐岩样取自位于龙门山推覆带上的龙深 1 井,突破压力为 14.0 MPa(图 2)。嘉四段硬石膏岩孔隙度小于 1%,渗透率小于 $1 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$,反映本区膏盐岩具有很好的封盖作用。

盖层岩扩散系数直方图(图 3)与突破压力图相似,膏盐岩平均扩散系数最小,为 $8.43 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$,其次是泥质岩,为 $3.4 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$,粉砂质泥岩也较

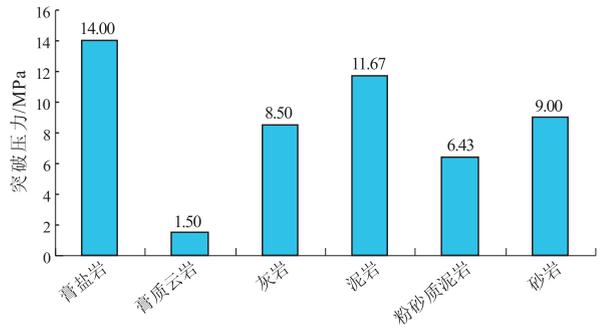


图 2 盖层岩突破压力直方图

Fig. 2 Histogram of breakthrough pressure of cap rocks

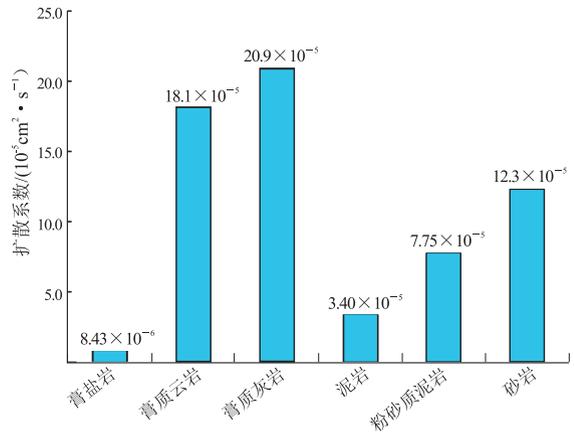


图 3 盖层岩扩散系数直方图

Fig. 3 Histogram of diffusion coefficient of cap rocks

低,为 $7.75 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ 。从盖层岩的实验结果看,最好的盖层岩是膏盐岩,其次是泥质岩,粉砂质泥岩也较好,与盖层品质规律相符合^[10]。

根据盖层岩实验分析结果,选取突破压力、扩散系数、孔隙度、渗透率等参数,并结合本区成岩演化进程,把龙门山盖层岩分成 4 类(表 1)。I 类盖层封闭性最好,一般渗透率小于 $1 \times 10^{-7} \mu\text{m}^2$,突破压力大于 12 MPa,扩散系数小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$,孔喉中值半径小于 10 nm,优势孔径为 0.5~2.0 μm ;岩石类型是雷口坡组、嘉陵江组膏盐岩以及须家河组、小塘子组、飞仙关组泥岩。II—III 类盖层封闭性较好—中等,一般渗透率在 $(1 \sim 100) \times 10^{-7} \mu\text{m}^2$,突破压力大于 5 MPa,扩散系数为 $(1 \sim 100) \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$,孔喉中值半径为 10~30 nm,优势孔径为 2.0~10.0 μm ;岩石类型主要是沙溪庙组、遂宁组及蓬莱镇组泥岩。IV 类盖层封闭性较差,一般渗透率小于 $1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$,突破压力小于 5 MPa,扩散系数大于 $1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$,孔喉中值半径大于 30 nm;岩石类型主要是遂宁组、蓬莱镇组粉砂质泥岩,以及致密细粉砂岩。

表 1 川西龙门山盖层分类评价

Table 1 Classification of cap rocks in Longmen Mountain, West Sichuan Basin

分类	孔隙度/%	渗透率/ μm ²	突破压力/ MPa	中值半径/ nm	优势孔径/ μm	扩散系数/ (cm ² ·s ⁻¹)	岩石类型	封闭效果
I	<1.5	1×10 ⁻⁷	>12	<10	0.5~2.0	<1×10 ⁻⁷	膏盐岩、须一、须三段泥岩	好
II	1.5~2.0	1×10 ⁻⁶	10~12	10~20	2~5	(1~10)×10 ⁻⁷	须五段、遂宁组、沙溪庙组泥岩	较好
III	2~3	1×10 ⁻⁵	5~10	20~30	5~10	(1~10)×10 ⁻⁶	蓬莱镇组泥岩	中等
IV	>3	1×10 ⁻⁴	<5	>30	10~30	>1×10 ⁻⁵	粉砂质泥岩,致密细粉砂岩	差

3 油气保存条件评价

3.1 评价指标

通过对构造形变、盖层以及油、水等地化参数与油气保存关系 3 方面的研究,选择与油气保存关系密切的构造样式、褶皱系数、分数维、盖层分布、地层水型和矿化度等,建立了龙门山油气保存评价指标(表 2)。

3.2 区带油气保存条件评价

3.2.1 油气保存有利区

位于江油—都江堰断裂与彭县断裂之间北东向的条带,即安县—鸭子河—大邑断褶带,为油气保存有利区。该带构造形变适中,构造样式主要为断弯褶皱和断展褶皱,侏罗系和须五段盖层完整,有利于油气成藏。所以,勘探的主要目的是须家河组四段、二段及雷口坡组。

3.2.2 油气保存较有利区

位于江油—都江堰断裂带与北川—映秀断裂带之间,地表主要出露须三段。中三叠统海相层发育有很厚的膏盐岩层,形成良好的封盖。并且在膏岩层—主滑脱面以下的地层形变强度明显弱于冲断系统,只发育一些规模较小的断层。在推覆体下盘可能存在保存条件较好的部位,具有一定勘探前景(表 3)。

3.2.3 油气保存不利区

位于北川—映秀断裂带与江油—都江堰断裂带之间,地表出露须三段。构造形变强,须三段保存不全,并发育一系列叠瓦状逆冲断层及裂缝,封盖保存条件差。龙深 1 井钻井过程中共出现 28 次井漏,主要集中在冲断系统中,占 24 次,最多漏失泥浆 939.7 m³。该带须家河组油气保存不利。

北川—映秀断裂带以西的区域为不利区。构造形变强烈,汶川大地震沿映秀—北川的主破裂面长达 300 km,深 20 km,沿主断裂面的最大位移为 10~13 m。该区须家河组缺失,保存条件极差,油

表 2 川西龙门山推覆带油气保存条件评价指标

Table 2 Evaluation index of petroleum preservation conditions in Longmen Mountain thrust nappe belt, West Sichuan Basin

项目	评价指标		
	保存条件好	保存条件较好	保存条件差
构造形变	断弯、断展褶皱,褶皱系数<0.15,分数维<1.0	双重构造、断背斜,褶皱系数0.15~0.20,分数维1.0~1.3	三角带、冲断构造,褶皱系数>0.2,分数维>1.3
盖层	出露 K—J,须三、须五盖层,侏罗系存在	须三盖层,地表局部沥青	海相地层,地表普遍有沥青
水文地质	CaCl ₂ 水型,矿化度>50 g/L	NaHCO ₃ , Na ₂ SO ₄ 水型,矿化度 10~50 g/L	NaHCO ₃ 水型,矿化度<10 g/L

表 3 川西龙门山区带油气保存条件评价

Table 3 Evaluation of petroleum preservation condition in Longmen Mountain, West Sichuan Basin

层位	区带评价		
	江油—都江堰断裂以东	江油—都江堰断裂至北川—映秀断裂之间	北川—映秀断裂以西
须四段	较好	差	缺失
须二段	好	较好	差
雷口坡组	好	较好	差
嘉陵江组及以下	好	好	较好

气成藏希望不大。

3.3 圈闭油气保存条件评价

中坝、大邑、邛西和平落坝油气田都位于山前断褶带内,圈闭类型主要为断层相关褶皱,圈闭直接盖层和侏罗系间接盖层发育,并且其与泄漏带之间存在向斜,油气保存条件好,勘探取得了好的效果。探区内,石板滩、聚源和金马构造从须四段至海相层保存条件都很好;鸭子河、白鹿场须四段保存条件较好,须二段—海相层保存条件好。安县地区须家河组保存条件差,雷口坡组保存条件较好,嘉陵江组及以下层位保存条件好。

3.3.1 石板滩背斜

石板滩背斜位于大邑构造的西北面,与大邑构造同属一个构造带。地表石板滩背斜轴向北东,出露最老层位为上侏罗统莲花口组,轴部较平缓、两翼略对称,北西翼地层倾角 $35^{\circ}\sim 56^{\circ}$,南东翼地层倾角 $22^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。三维地震勘探表明,石板滩背斜须四段—雷口坡组都有构造存在,圈闭面积 $40.3\sim 29.1\text{ km}^2$,闭合高度 $500\sim 525\text{ m}$,具有闭合面积大、闭合幅度高的特点。

油气保存条件好。圈闭类型为最有利的背斜圈闭,雷口坡组膏盐层盖层以及小塘子组、须三段、须五段、侏罗系泥岩盖层完整。

储层有利。须二段为三角洲相沉积,储集砂体发育;雷口坡组位于街子藻屑滩,地震剖面上为强振幅反射,推测藻屑白云岩发育。构造形变较强,预测裂缝较发育,可以形成具有层状的裂缝—孔隙性储层。构造为燕山期古构造,有利于油气聚集成藏。

构造样式有利,形变适中,褶皱系数 0.09。石板滩构造样式与大邑背斜相似,都为断弯褶皱,背斜两翼发育对冲逆断层,断层断距不大,向上消失在下侏罗统。资源丰富,位于上三叠统生烃中心,主要勘探目的层是须家河组四段、二段和雷口坡组,资源量为 $696.75\times 10^8\text{ m}^3$ 。

3.3.2 鸭子河背斜

鸭子河构造是指夹持在关口断层与彭县断层之间的 2 个呈北东向的背斜,西侧背斜规模较小,背斜翼部被关口断层切割;东侧背斜规模较大,是构造主体。从构造形迹来看,可能存在早期的北东向燕山期古构造,被喜山期龙门山北东向构造改造,因此对油气富集有利。

烃源条件好,储集条件有利。位于四川盆地上三叠统生烃中心,生气高达 $200\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ 。须二、须四段为(扇)三角洲沉积,储层砂体发育。须二段孔隙度为 $4.33\%\sim 6.61\%$,渗透率小于 $0.1\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$ 。须四段储集砂体以辫状分支河道叠置为主,孔渗条件比须二段储层砂岩好,平均孔隙度为 8.32% ,平均渗透率为 $0.79\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$ 。鸭子河构造须二段砂岩储层径向渗透率比单向渗透率高约 2 个数量级,表明裂缝大大改善了储层渗透性。小塘子组为大型海相三角洲沉积。

须三段和须五段区域盖层及侏罗系局部盖层完整,但盖层与西面的关口断裂无向斜相隔,不过断层封堵能力研究表明,关口断裂在须家河组具有

封堵性,具备一定保存条件。多口钻井揭示,深层须家河组油气显示良好。川鸭 92 井在须二段获得工业产量,在小塘子组曾发生强烈井喷。本区进入须家河组开始起压,须四及其以下层段普遍超压;千佛崖组—须二段,地层水矿化度由 57.71 g/L 升至 112.5 g/L ,水型都是 CaCl_2 型,也反映深层保存条件较好。鸭子河构造落实。国内外多家石油公司利用该区三维地震资料,经叠前偏移处理,解释的鸭子河构造形态相似。

因此,石板滩背斜、鸭子河背斜是龙门山中段的有利勘探目标。

4 结论

龙门山构造变形始于印支期,经历了燕山期和喜山期多次递进变形。构造变形时期具有由北向南、由西向东逐渐变晚的特征;构造变形强度具有西侧强、东侧弱的特征。

利用盖层展布、构造样式、地层水、地化等,建立了龙门山油气保存评价指标。

在对龙门山冲断带油气成藏条件综合研究的基础上,指出江油—都江堰断裂下盘保存条件好,北川—映秀断裂至江油—都江堰断裂之间的海相层保存条件较好,有利于油气成藏。优选出的有利勘探目标是石板滩、鸭子河背斜。

参考文献:

- [1] 刘树根,罗志立,赵锡奎,等. 中国西部盆山系统的藕合关系及其动力学模式:以龙门山造山带—川西前陆盆地系统为例[J]. 地质学报,2003,77(2):177—186.
- [2] 刘树根,田小彬,李智武,等. 龙门山中段构造特征与汶川地震[J]. 成都理工大学学报,2008,35(4):387—397.
- [3] 蔡立国,刘和甫. 四川前陆褶皱—冲断带构造样式与特征[J]. 石油实验地质,1997,19(2):115—120.
- [4] 郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [5] 腾格尔,秦建中,付小东,等. 川西北地区海相油气成藏物质基础:优质烃源岩[J]. 石油实验地质,2008,30(5):478—482.
- [6] 杨克明,朱彤,何鲤. 龙门山逆冲推覆带构造特征及勘探潜力分析[J]. 石油实验地质,2003,25(6):685—694.
- [7] 陈竹新,贾东. 龙门山北段矿山梁构造解析及油气勘探[J]. 地学前缘,2005,12(4):445—450.
- [8] 贾承造. 中国中西部前陆冲断带构造特征与天然气富集规律[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):9—15.
- [9] 曾洪扬,陈洪德,林良彪,等. 川西前陆盆地晚三叠世构造层序岩相古地理特征[J]. 石油实验地质,2009,31(1):46—49,53.
- [10] 杜尚明,胡光灿,李景明,等. 天然气资源勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2004.