

龙门山造山带与川西前陆盆地的盆山耦合关系 对油气成藏的控制作用

周 康¹, 王 强², 乔永亮³

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司 研究院, 陕西 西安 710075; 2. 中国石油天然气集团公司吐哈油田分公司 温米采油厂, 新疆 哈密 838202; 3. 陕西延长石油(集团)有限责任公司 油气勘探公司, 陕西 延安 717200)

摘要: 综合地球化学、野外剖面和钻测井等资料, 运用岩石学和地层对比、盆地模拟等方法, 剖析了龙门山造山带和川西前陆盆地的盆山耦合关系, 探讨了这种盆山耦合关系对油气成藏的控制作用, 最后给出了勘探建议及有利区带预测。结果表明: 龙门山造山带和川西前陆盆地在沉积和构造方面表现出良好的盆山耦合关系, 具体表现在沉降与隆升的对应、物源与沉积的对应以及构造多幕性和沉积旋回性的对应等特征上; 沉积耦合关系控制着烃源岩的沉积厚度及热演化程度, 并影响着储层的垂向和横向分布, 而构造耦合关系则对造山带和前陆盆地的断层发育以及油气运移和成藏所需圈闭具有决定性作用; 盆山耦合呈多期性, 具有沉积、沉降中心以及沉积相展布不断迁移和多期叠加的特征; 形成了川西前陆盆地深、中、浅层的三维立体幕式演化成藏模式。有利区带预测表明: 梓潼拗陷南端是深盆气的有利聚集区; 浅层气主要分布在古隆起发育的盆地中、南段; 深层气则多分布于盆地北部及中部地层尖灭带。

关键词: 盆山耦合; 龙门山造山带; 川西前陆盆地; 幕式演化; 油气成藏; 成藏模式; 有利区带预测

中图分类号: TE122; P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2011)04-0378-06

Control of the Basin-range Coupling Relationship Between Longmen Mountain Orogenic Belt and Western Sichuan Foreland Basin to Hydrocarbon Accumulation

ZHOU Kang¹, WANG Qiang², QIAO Yong-liang³

(1. *Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Company Limited, Xi'an 710075, Shaanxi, China;*
2. *Wenmi Oil Production Plant, Tuha Oilfield Company, China National Petroleum Corporation, Hami 838202,*
Xinjiang, China; 3. *The Oil and Gas Exploitation Company, Shaanxi Yanchang Petroleum (Group)*
Company Limited, Yan'an 717200, Shaanxi, China)

Abstract: According to the geochemistry, field section and well logging, the basin-range coupling relationship between Longmen Mountain orogenic belt and Western Sichuan foreland basin was explained, control of the coupling relationship to hydrocarbon accumulation was discussed, and some suggestion were put forward to exploration and predication of favorable area by means of petrology, stratigraphic correlation and basin modeling. The results showed that the basin-range coupling relationship, which included the correspondence of falling and uplift, that of provenance and sediment and that of tectonic multi-screen and sedimentary cycle, was good in terms of sediment and structure; the sedimentary coupling relationship controlled the sediment thickness and thermal evolution, and influenced the vertical and lateral distributions of reservoirs, but the tectonic coupling relationship had decisive effect on the development of faults in orogenic belt and foreland basin, and the traps for oil/gas migration and accumulation; the basin-range coupling was multi-phase, and the center of sediment and falling and the spread sedimentary facies were continuous migration and multi-overlay; there were three-dimensional screen evolution accumulation models in deep, middle and superficial layers in Western Sichuan foreland basin. The predication of favorable area showed that the southern part of Zitong Depression was the favourable region of deep basin gas;

收稿日期: 2011-01-26

作者简介: 周 康(1982-), 男, 四川乐山人, 助理工程师, 工学硕士, 从事油气勘探研究。E-mail: kapok0806@yahoo.com.cn

superficial layer gas distributed in the middle and southern parts of the basin developed by palaeohigh; deep layer gas mainly distributed in the pinchout zone of the northern and middle strata of the basin.

Key words: basin-range coupling; Longmen Mountain orogenic belt; Western Sichuan foreland basin; screen evolution; hydrocarbon accumulation; accumulation model; predication of favorable area

0 引言

20 世纪 90 年代,学者将盆山有机地合为一体并置于大地构造之中进行研究,由此开始了盆山关系的探讨。沉积盆地和造山带系统在空间和物质均相互依存,盆缘山脉构造作用控制着盆地沉积,而盆地沉积又记录着山脉隆升,两者之间具有良好的耦合关系^[1-2]。龙门山造山带具有复杂的构造变形样式,与其伴生的川西前陆盆地是扬子地块与其西侧特提斯构造及羌塘地块之间的碰撞增生作用所致^[3]。近年来,对于龙门山冲断带和川西前陆盆地的研究有了迅速发展,尤其是构造演化以及构造特征方面。根据其构造特征可将其划分为 5 个构造带:①松潘—甘孜构造带;②韧性变形带;③基底卷入冲断带;④前缘褶皱冲断带;⑤前陆拗陷带(图 1)。这些研究使该地区油气勘探取得了很大进展,但是诸如构造发育特征、油气分布和运移规律以及油气成藏期次和模式等仍需进一步研究。基于此,笔者分析总结了龙门山造山带与川西前陆盆地耦合关系对油气的控制作用,并提出勘探建议和有利区块预测。

利区块预测。

1 龙门山造山带与川西前陆盆地的耦合关系

中生代以来,龙门山造山带的构造活动与四川盆地的演化和秦岭造山带的活动密切相关。龙门山冲断带活动强烈,表现出推覆构造的特征,四川盆地表现为龙门山冲断带的(类)前陆盆地。刘树根等将这种耦合关系的动力学模式称为 C(陆内)型俯冲^[4]。龙门山造山带与川西前陆盆地耦合关系的根源在于地球内部构造变化,具体表现在构造和沉积的相互耦合上。

1.1 龙门山造山带与川西前陆盆地的构造耦合

1.1.1 山脉隆升与盆地沉降

山脉隆升与盆地沉降是盆山系统之间最为重要的构造耦合关系。随着板块的碰撞,造山带褶皱回返,与造山带相伴生的盆地由于地壳均衡调整产生挠曲沉降。刘树根等通过龙门山造山带和川西前陆盆地岩石样品的裂变径迹和镜质体反射率(R_o)测定以及计算机模拟得出了其盆山系统隆升沉降关系(图 2)^[4]。图 2 表明,60 Ma 之前造山带持续隆升,川西前陆盆地则以沉降为主,隆升与沉降呈明显的

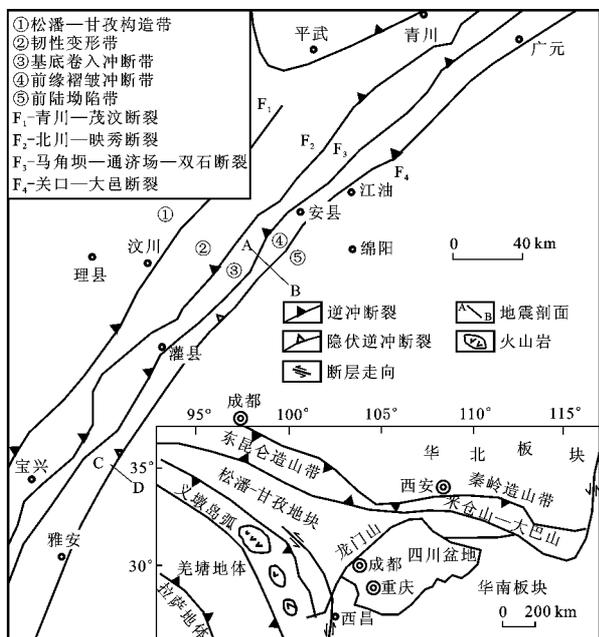
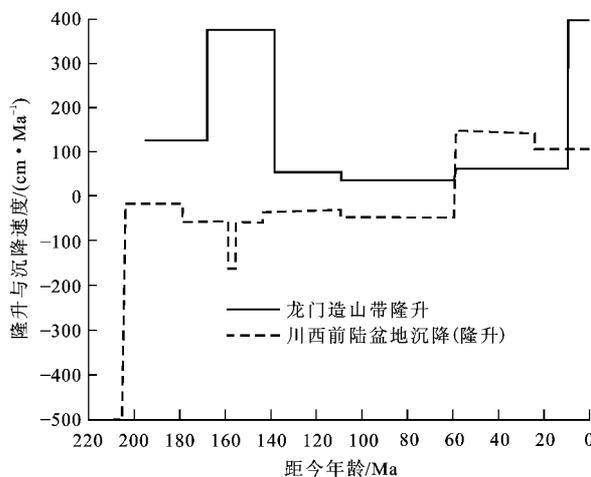


图 1 龙门山造山带构造略图
Fig.1 Structural Chart of Longmen Mountain Orogenic Belt



注:速度大于 0 为隆升速度;速度小于 0 为沉降速度。

图 2 龙门山造山带隆升与川西前陆盆地隆升(沉降)的耦合关系
Fig.2 Coupling Relationship Between the Uplift of Longmen Mountain Orogenic Belt and the Uplift or Falling of Western Sichuan Foreland Basin

镜像关系;60 Ma 以来,川西前陆盆地开始隆升。10 Ma 以来,龙门山造山带再次强烈隆升,以龙门山逆冲推覆构造带隆升最快,隆升速率最低为 0.5~0.6 mm/a。

1.1.2 盆山系统多幕旋回性与几何配置

盆山系统的几何配置关系是盆山耦合关系的研究基础,该配置关系指现今的盆山格局,也指不同构造阶段盆山格局的恢复。根据龙门山冲断带微构造以及地球化学测试分析,表明龙门山造山带于印支期开始构造变形,经过燕山期的断层发育期以及喜马拉雅早中期的推覆构造期^[5]。具体特征如下:①印支期:羌塘地块与塔里木板块碰撞,古特提斯洋盆闭合和秦祁构造带向南的挤压力所合成的北西—南东向挤压力导致松潘—甘孜陆块以东的龙门山反转及逆冲推覆,并在其前缘形成周缘前陆盆地^[6];②燕山期:龙门山造山带和川西前陆盆地持续隆升和沉降,形成多期拗隆结构;③喜山期:推覆构造活动强烈,产生一系列推覆体及北西向断裂,形成新的前隆地带(即龙泉山隆起带),因多期挤压而裂缝发育。总体演化模式以前展式为主,二者边界由西向东逐渐由汶川—茂汶断裂转移到广元—关口—大邑隐伏断裂,具有多期次和继承性的特点。多幕构造旋回特征造就了龙门山冲断带与川西前陆盆地的分段性特征,地域上传统分为北、中、南 3 段。其中,变形较强的为南段,较弱的则为北段,中段介于二者之间。

1.2 龙门山造山带与川西前陆盆地沉积耦合关系

1.2.1 前陆沉积与物源分析

挠曲沉降的川西前陆盆地沉积厚度达几千米,并具有西厚东薄的典型前陆盆地沉积特征。沉积物作为盆地和造山带之间的纽带,多数来自于隆升造山带的剥蚀。林良彪等从砂岩组分特征分析得出,自安县运动以来,龙门山逆冲推覆体逆冲褶皱成山,从此为研究区提供了大量的沉积物质,且龙门山北、中、南 3 段的岩屑组分特征各异^[7]。李勇等研究表明,龙门山前陆盆地自中三叠世以来的地层可识别 6 个构造层序,发育的砾岩楔状体是龙门山造山带多次逆冲推覆运动的响应;早中侏罗世前陆盆地的近山沉积在晚侏罗世后卷入推覆体,成为盆地新的物源^[8]。

1.2.2 多幕构造活动与沉积迁移

构造活动的多幕性使前陆盆地的沉降中心和古隆起呈不断迁移之势。自晚三叠世,川西前陆盆地发育于龙门山山前,沉降中心位于中北部;印

支末的安县运动使沉降中心由北向南迁移,形成成都拗陷;侏罗纪早期的沉积没有表现出显著的挠曲沉降,指示了一个构造相对平静的阶段;中侏罗世早期前渊凹陷迁移至米仓山山前,形成梓潼拗陷,并形成一宽缓隆起带,称为绵竹—盐亭隆起带。中侏罗世晚期的沉降中心又迁移到大巴山山前,构成大巴山前渊凹陷;在晚侏罗世—早白垩世时期,沉降中心再次回到米仓山山前,绵竹—盐亭隆起带也逐渐向南迁移,形成邛崃—新津隆起带;白垩纪末—古近纪的前渊凹陷跃迁至雅安—名山区^[9]。

在此沉积过程期间,沉积相展布也随之不断迁移并叠置成型。叠置之后成连续裙状沉积,主要发育扇三角洲、辫状河三角洲和河流相^[10]。

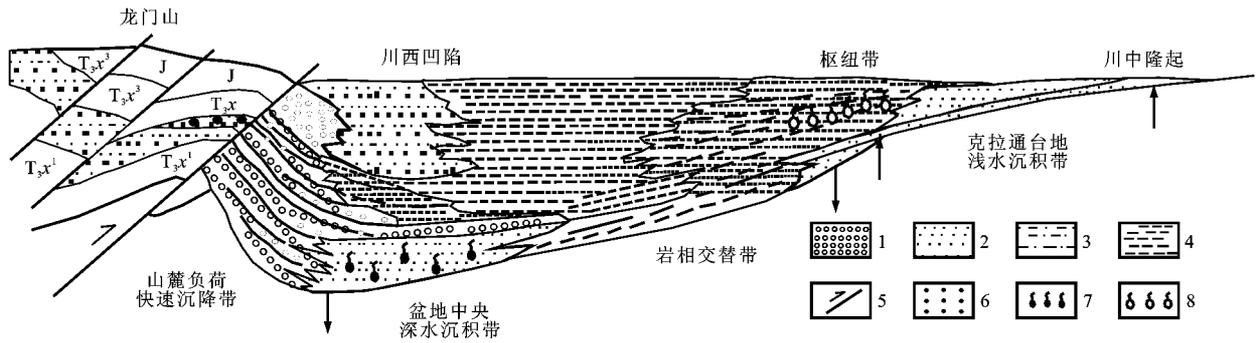
2 龙门山造山带与川西前陆盆地的耦合关系对油气的控制作用

川西天然气勘探始于 20 世纪 40 年代,其后陆续发现中坝、大兴西、平落坝、白马庙和新场等多个气田,获各级天然气储量共计(6 000~14 000)×10⁸ m³。但由于川西前陆盆地具有演化的多旋回性、非典型性以及褶皱逆冲构造变形的复杂性,加之山地地震,钻井技术尚未跟进,使得其资源探明率很低。盆山耦合关系对油气的控制作用分析可为上述问题提供有效的基础理论。

2.1 盆山构造耦合关系对油气的控制作用

2.1.1 构造耦合对成藏圈闭的控制

龙门山造山带的隆升和川西前陆盆地的不平衡沉积,使得其构造变形及地形分异,前陆盆地呈不对称结构,形成了 3 类成藏区带,同时也造就了多类成藏圈闭^[11]。3 类成藏区带其圈闭分别为:①褶皱—冲断带,以构造圈闭为主;②深拗陷,形成地层—岩性圈闭;③前隆带,以构造—岩性圈闭为主(图 3)。长期以来,川西前陆盆地的勘探工作都在以寻找构造圈闭为主,但成功率不高,仅发现中坝、平落坝、八角场、白马庙等中型气田以及龙女寺、邛西、大兴西、潼南等小气田。而地层—岩性圈闭块主要位于构造低部位、地层尖灭及相变处,较隐蔽,不易被发现,勘探难度大。川西前陆盆地储层基本为三角洲砂体和浊积砂体为主,且最有利于油气聚集的古隆起及隆起与拗陷之间的斜坡砂体尖灭严重,不整合面发育,多以透镜状产出。由此可见,岩性、地层圈闭为形成大中型地层气田又提供了一个广阔的油气富集场所,今后应加强对



注:1—浅水粗碎屑岩;2—中浅水细碎屑岩;3—中深水砂页岩;4—深水页岩;5—冲断带;6—构造油气藏;7—深盆地;8—构造-地层圈闭;T_{3x}—上三叠统须家河组;据文献[11]。

图 3 川西前陆盆地成藏区带图

Fig. 3 Chart of Accumulation Region in Western Sichuan Foreland Basin

此类圈闭的勘探。构造-岩性复合圈闭是川西前陆盆地的主要圈闭,主要位于隆起带内。

2.1.2 构造耦合影响断层、裂缝分布进而控制油气分布

龙门山造山带与川西前陆盆地系统主要经历了印支、燕山和喜山三期构造运动。其中,喜山运动期推覆构造活动强烈,产生了一系列推覆体及北西向断裂,尤其在川西南地区最为发育。一部分通天断层使油气散失殆尽,前期气藏被整体破坏,如龙深 1 井所钻遇的大园构造一系列通天推覆断层片;另一部分未通天断层,特别是只断至上部区域性盖层下的断层,沟通了下伏烃源岩及已形成的气藏,因而有利于形成气藏。目前,由于沟通上三叠统与侏罗系之间的气源断层的存在,所以川西前陆盆地已发现不少侏罗系次生气藏。

由于构造耦合所产生的多期挤压特别是喜山期的强烈挤压作用,一旦挤压应力得以释放将形成大量裂缝。裂缝对储层物性的影响主要表现在对储集空间的调整和渗滤通道的形成上。裂缝性质和裂缝发育程度是气井高产的控制因素。龙门山前缘构造带推覆挤压应力集中释放带,上三叠统褶皱、断裂发育,为裂缝高度发育的有利区带;龙泉山断裂下盘前缘洛带一带,应力释放充分,裂缝发育。

2.2 盆山沉积耦合关系对油气的控制作用

2.2.1 沉积耦合对烃源岩的影响

沉积耦合过程使得沉积、沉降中心迁移。这不仅造成龙门山冲断带和川西前陆盆地系统烃源岩地区分布不均,同时也造成不同地区烃源岩生排烃时期的差异。在此过程中先后形成的成都凹陷、梓潼拗陷和大巴山前缘凹陷等生烃中心的烃源岩主要为须家河组泥页岩并夹有少量煤层。其中须家河组一

段为浅海陆棚—深水缓坡相黑色页岩,沉积厚度为 150~350 m,有机碳质量分数为 1.9%~6.78%。须家河组三段和须家河组五段为滨浅湖—较深湖相的煤系地层,沉积厚度 400~600 m 并夹有 10~15 m 厚的煤层,有机碳质量分数为 0.5%~14.62%。烃源岩属典型的腐殖型气源岩,其生烃高峰期早白垩世—新近纪,生烃量大,生气中心的生气量大于 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。不断迁移变化的沉降中心使川西前陆盆地西北部凹陷烃源岩厚度大,生气量大;同时造成南段生烃较北段早,如南段平落坝等气田烃源岩 R_o 已达 2.2%,进入了过成熟阶段;而北区烃源岩成熟度偏低,但 R_o 也大于 1%。

2.2.2 沉积耦合对沉积相展布和储层分布的控制

龙门山造山带和川西前陆盆地具有多幕旋回性与多期沉积迁移。多期沉积相叠加造就了多套储盖组合的形成,共沉积了须家河组二段、四段及沙溪庙组、蓬莱镇组等多套储层,主要以三角洲砂体和浊积砂体为主。同时,多期沉积相的叠加也使得储层具有强烈的非均质性,储层多为透镜状分布。而储层直接控制着油气分布,如同为磨溪构造的高点部位,有的井如磨 72 井、磨 75 井、磨 76 井获得高产,而有的井如磨 1 井、磨 15 井仅产微量气,甚至为干井,这是因为其不在有利储层上。因此,沉积耦合的多期性,直接造就了沉积相展布的不断迁移,也促成了纵向上多套储层的相互叠加和横向上储层强烈的非均质性,造成北部储层较南部厚,并随时间推移,储层往南有逐渐变厚的趋势。

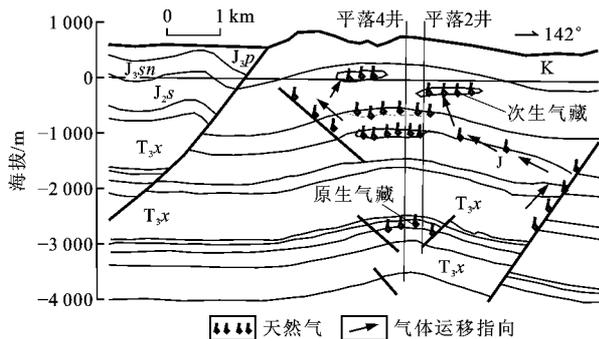
2.2.3 沉积耦合控制古隆起分布进而影响油气迁移和后期调整

随着沉积、沉降中心的不断迁移,古隆起的分布也随之不断变化。因此,沉积耦合直接控制着古隆

起的分布,先后形成了绵竹隆起、新津隆起等。古隆起上的圈闭是油气聚集的有利指向区,坳陷区烃源岩所生成的油气首先向隆起带运移。同时,油气运移期古隆起储集层还没有完全致密,有利于油气在隆起带聚集成藏。如梓潼地区气田、孝泉—新场构造带区气田。另外,古隆起形成的气藏也成为后期喜马拉雅运动对该区的气藏调整及形成新的浅层次生气藏提供源泉。如新场、邛西侏罗系沙溪庙组气藏。沉积耦合直接控制着古隆起的发育,对油气运移富集及后期调整具有重要意义。

2.3 盆山沉积耦合与构造耦合的共同作用

盆山耦合在生油能力、储集层、圈闭、油气运移和聚集等方面均具有控制或影响作用。在龙门山造山带和川西前陆盆地沉积耦合和构造耦合的共同作用下,控制着川西前陆盆地油气成藏的期次和成藏模式,使龙门山造山带和川西前陆体系油气藏具有多期成藏、晚期调整、发育多套油气藏的特征。其中,印支期的油气聚集主要发生在川西古隆起发育的圈闭中,具有早聚晚藏的特征;喜山期构造运动对早期形成的气藏具有调整、改造。龙门山造山带—川西前陆盆地系统整体抬升和剥蚀决定了裂缝系统的发育和上三叠统气藏的调整及侏罗系气藏的形成。刘树根等将该成藏模式称为爆发式成藏,具有“烟囱”效应^[12]。这里仅以川西前陆盆地南段平落坝气藏说明其多期成藏、晚期调整的特征(图4)。该气藏早期须家河组一段烃源岩就近进入古隆起圈闭的须家河组二段形成早期的须家河组二段气藏。此次气藏形成发生于燕山晚期储层超致密化之前,因此形成了良好的原生气藏。燕山期古隆起构造则聚集了大量须家河组一段、须家河组三段的成熟天



注: J_{2s}—中侏罗统沙溪庙组; J_{3sn}—上侏罗统遂宁组; J_{3p}—上侏罗统蓬莱镇组。

图 4 川西前陆盆地多期成藏模式

Fig. 4 Multi-phase Accumulation Model in Western Sichuan Foreland Basin

然气,并捕获须家河组五段生成的较成熟天然气。喜山期,连通至侏罗系地层的断层和发育其内的裂缝使下部须家河组二段及古隆起原生气藏运移至侏罗系圈闭形成气藏。在上述过程中,形成了须二气藏、侏罗系气藏等多套气藏。

因此,盆山耦合作用不仅控制着烃源岩和储层的发育情况和分布范围,而且造就了各式断层、裂缝及圈闭,从而影响着油气的生成情况、运移方式及最终的成藏模式。

3 勘探建议及有利区带预测

3.1 加大深坳陷深盆气藏的勘探

深盆气是致密砂岩气藏类型之一,由于其独特的成藏机制和气藏特征,对深盆气藏的勘探思路与对策均有别于常规气藏。川西上三叠统天然气的成藏属早常规—晚改造—复式成藏模式。储层超致密化,生烃强度大,埋深达 6 000 m,具有一定的勘探难度,但一旦钻遇深盆气藏可有效扩展川西前陆盆地的勘探领域。梓潼坳陷南端的中部及坳陷东斜坡下部和川西坳陷彭县向斜区,气水倒置,处于水压形成带、高压异常带,是深盆气勘探的有利区域。

3.2 深层领域

须家河组深层气藏为自生自储或近源自生邻储类型,具有广阔的找气前景,但构造、圈闭探明率尚低,因此勘探潜力十分巨大。除已发现的中坝、平落坝、大兴场、新场等气田外,以下 3 点更值得注意。

(1)继续加大孝泉—新场—丰谷场构造带的勘探。该构造带具有处于古隆起带区、生烃强度高、储层厚度大等特点。现已发现几个大的气田,新 851 井、丰 175 井等在须家河组二段、须家河组四段的突破,均显示其仍有巨大潜力。圈闭的落实及裂缝发育是其成藏的关键。推测其古隆起及其斜坡上部为有利区域。

(2)落实圈闭是大邑、莲花山、鸭子河等山前隐蔽带的勘探重点。广元—关口—大邑隐伏断裂往西至彭灌断裂之间为山前隐蔽带。断展褶皱发育且早期圈闭破坏较小,距离坳陷区不远,生烃强度大也易于捕获,裂缝发育、保存条件好是该带成藏的最主要原因。大邑 1 井、4 井及川鸭 92 井的油气成果颇丰,预示着该带具有成为大、中型气田的可能。但该带圈闭落实尚未清楚,应进一步加大圈闭探测。

(3)加强川中地区地层尖灭带沉积相带研究。川中平缓褶皱带及斜坡带,储层物性较好,非均质性

强,是天然气的有利运移途径带,易于形成大型气田,但应探清该带沉积相的展布。

3.3 浅层领域

研究发现,侏罗系浅层气成藏的关键是:充足的气源;良好的保存条件,无通至地表的大断裂;一定规模的圈闭条件;前述各要素之间良好的配置关系;裂缝系统的发育程度高。笔者认为,浅层气多分布在前陆盆地中、南段,勘探的有利区带如下。

(1)燕山期古隆起构造带。该构造带具有近源捕气特征,若后期断裂适中,则能形成有效气藏。邛西—新津、孝泉—新场构造带即是如此,易于形成有效气藏。

(2)龙泉山构造带和洛带—新都构造带。此构造带具有断裂适中、裂缝发育、生烃条件好等特征,是浅层气藏聚集的良好场所。

(3)名山—百丈—大塘铺一带。该带接近物源区,易于捕获天然气,同时由于其位于龙门山断褶构造带与峨眉瓦山断褶构造山前带交汇处,受多方古应力作用,深部地层裂缝必然发育,是浅层气藏的又一聚集点。

(4)大兴西潜伏背斜—平落坝—灌口、白马庙构造带。该构造带隐伏断层多,大多断至侏罗系上统,圈闭形态完好,储层致密化但裂缝发育,因而能有效聚集浅层天然气。

以上区域由于其成藏机理、油气富集主控因素各不相同;因此,在油气勘探中应采取不同的勘探战略。龙门山前缘北段主要勘探其深层领域,而中、南段前缘的燕山古隆起区、孝泉—丰谷构造带、大兴鼻状隆起带、灌口—平落坝构造带等,应为中、浅层构造立体勘探区。

4 结语

(1)龙门山造山带与川西前陆盆地在构造和沉积方面均表现出良好的耦合关系,具体表现在沉降与隆升、物源与沉积、构造多幕性和沉积旋回性的相对应上。

(2)良好的沉积耦合关系控制着烃源岩的沉积厚度及热演化程度,并影响着储层的垂向和横向分

布,而构造耦合则对造山带和前陆盆地的断层发育、油气运移和成藏所需圈闭具有决定性作用。

(3)龙门山和川西前陆盆地的耦合关系还具有多期叠加性,其沉积、沉降中心和沉积相展布表现出不断迁移的特征。

(4)良好的耦合关系对川西前陆盆地的烃源岩、储层、成藏过程和时期均具有重要的控制作用,并形成川西前陆盆地气藏所独特的深、中、浅三维立体成藏模式。

(5)深盆地主要集中在梓潼拗陷南端,龙门山前缘北段主要勘探其深层领域,而中、南段前缘的燕山古隆起区、孝泉—丰谷构造带、大兴鼻状隆起带、灌口—平落坝构造带等,应为中、浅层构造立体勘探区。

参考文献:

- [1] 刘少峰,张国伟. 盆山关系研究的基本思路、内容和方法[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 101-111.
- [2] 李斌,宋岩,孟自芳,等. 中国中部前陆盆地盆山耦合关系分析[J]. 西南石油大学学报:自然科学版, 2009, 31(1): 23-28.
- [3] 金文正,汤良杰,杨克明,等. 川西龙门山褶皱冲断带分带性变形特征[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1072-1080.
- [4] 刘树根,罗志立,赵锡奎,等. 中国西部盆山系统的耦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.
- [5] 王金琪. 龙门山构造演化与山前带油气关系[J]. 地球学报, 1994(3/4): 167-179.
- [6] 贾承造,魏国齐,李本亮,等. 中国中西部两期前陆盆地的形成及其控气作用[J]. 石油学报, 2003, 24(2): 13-17.
- [7] 林良彪,陈洪德,侯明才. 须家河组砂岩组分特征与龙门山推覆体的形成演化[J]. 天然气工业, 2007, 27(4): 28-30.
- [8] 李勇,曾允孚. 龙门山逆冲推覆作用的地层标识[J]. 成都理工大学学报, 1995, 22(2): 1-10.
- [9] 陈竹新,贾东,魏国齐,等. 川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 472-481.
- [10] 顾家裕,张兴阳. 中国西部陆内前陆盆地沉积特征与层序格架[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 187-193.
- [11] 刘和甫,李晓清,刘立群,等. 盆山耦合与前陆盆地成藏区带分析[J]. 现代地质, 2004, 18(4): 389-403.
- [12] 刘树根,李国蓉,李巨初,等. 川西前陆盆地流体的跨层流动和天然气爆发式成藏[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 690-699.