汤良杰^{1,2,3)},郭彤楼⁴⁾,余一欣^{1,2,3)},金文正^{1,2,3)},李儒峰^{1,2,3)},周雁⁵⁾

1) 油气资源与探测国家重点实验室,北京,102249

2) 石油天然气成藏机理教育部重点实验室,北京,102249

3) 中国石油大学盆地与油藏研究中心,北京,102249

4) 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司,昆明,650200

5) 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院,北京,100083

内容提要:以中、下三叠统嘉陵江组(T₁*i*)和雷口坡组(T₂*l*)含膏盐碳酸盐岩层系为界,可以将川东北地区划分 为3个构造-层序组合,盐下构造-层序组合由震旦系一下三叠统飞仙关组组成,属于一套海相碳酸盐岩层系为主的 沉积;盐层构造-层序组合由下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组组成,属于一套含厚层膏盐的海相碳酸盐岩层 系;盐上构造-层序组合由上三叠统须家河组和侏罗系、白垩系组成,属于一套陆相碎屑岩沉积。川东北地区发育了 一套独特的构造变形样式,主要有基底卷入叠瓦冲断强变形带、基底卷入与盐层滑脱叠合变形带、隐伏盐相关构造 滑脱变形带、双重构造、堆垛式三角带构造和背冲断块构造等。由于该区盐岩层厚度相对较薄,盐岩层系总体作为 一个大型滑脱层系,控制川东北地区的构造变形。川东北地区主要构造变形机制包括区域挤压缩短作用、盐岩层 塑性流动和滑脱作用、构造隆升和剥蚀作用、重力滑动和重力扩展作用等。川东北地区与三叠系盐岩层系有关的 构造变形控制该区油气圈闭样式,有利于油气聚集和保存。

关键词:盐相关构造;前陆褶皱-冲断带;碳酸盐岩层系;变形机理;四川盆地东北部

盐岩层系作为含油气盆地中一类特殊的沉积 岩,以其特有的高塑性流动和极低的孔渗性与油气 聚集密切相关,盐岩层系可以作为优质盖层控制油 气藏保存条件,同时盐岩层系的塑性流动变形可以 形成大量形态迥异的圈闭构造(Rowan,1995;周江 羽等,1999)。国际上在墨西哥湾、波斯湾、北海、非 洲大陆边缘和滨里海盆地等盐构造研究中取得许多 新进展(Alsop et al., 1996; McBride et al., 1998; Davison et al., 2000; Volozh et al., 2003; Gemmer et al., 2004),主要表现在以下几个方面 (Jackson, 1995;戈红星等,1996):盐构造地质建模 和三维可视化;盐构造物理和数值模拟实验;盐构造 平衡剖面和构造复原;盐构造形成机制;盐构造对油 气聚集的控制作用。

我国在渤海湾、江汉、塔里木、四川等盆地广泛 发育多期盐岩层系和多种类型的盐构造,已经在伸 展环境下的渤海湾盆地开展过盐构造研究(齐兴宇 等,1992;侯艳平等,2004;于建国等,2005),近年来 在挤压环境下的塔里木盆地开展了盐相关构造研究 并取得初步进展(Tang et al., 2004a, 2004b;张朝 军等,1998;汤良杰等,2003;邬光辉等,2004;Chen et al., 2004)。在中国南方,江汉盆地盐构造已进 行过探讨(王跃飞等,2002;杨长清,2004),四川盆地 盐构造和中国海相碳酸盐岩层系油气保存条件研究 也已引起关注(金之钧等,2006a,2006b;雷雪等, 2005)。近年来,四川盆地东北部天然气勘探取得了 巨大成就,发现了一批富气构造带,2003年发现的 普光三叠系气田,已探明天然气储量 2510 亿 m³,展 示了该区巨大的天然气勘探潜力(马永生等,2005a, 2005b;蔡立国等,2005)。勘探成果证明,四川盆地 东北部天然气聚集与盐岩层系及盐相关构造密切相 关,盐岩层系作为区域滑脱层控制盐相关构造变形

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40672143, 40472107, 40172076)、国家"973"计划项目(编号 2005CB422107, G1999043305)、石 油天然气成藏机理教育部重点实验室开发基金项目(编号 2003-01)、中石化科技发展部项目(编号 P05073)和中石化南方分公司项目(编 号 2003-04 科技)联合资助的成果。

收稿日期:2007-04-30;改回日期:2007-06-15;责任编辑:周健。

作者简介:汤良杰,男,1957年生。博士,构造地质学专业。现为中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心教授,博士生导师,主要从事盆 地构造分析和石油地质研究。通讯地址:102249,北京市昌平区,中国石油大学盆地与油藏研究中心;Email: tanglj@cup.edu.cn。

及天然气圈闭的形成和演化,盐岩层系本身为天然 气聚集提供了优越的盖层条件(马永生等,2005a, 2005b;蔡立国等,2005),同时盐岩层系在深层高温 高压下的塑性流动易造成缩颈、卡钻等工程事故,为 钻探工作带来很大难度(杨晋斌等,2004),深入探讨 该区三叠系盐相关构造变形机理,有助于深化该区 构造变形和天然气成藏的总体认识。

四川盆地下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡 组广泛发育盐(膏)岩层系,钻井资料揭示四川盆地 东北部嘉陵江组盐岩层系厚达 400 m 以上,雷口坡 组盐岩层系厚达 100 m 以上,在这些盐岩和膏岩底 辟作用及区域挤压作用共同影响下,可以形成坡坪 式逆冲断层和断层相关褶皱(雷雪等,2005)。前人 对四川盆地东北部的构造属性和构造特征已作过不 少研究工作,从前陆盆地分析和构造变形的角度,对 构造变形样式和构造演化特征进行了分析(孙树林, 1994;魏显贵等,1997;乐光禹,1998;黄继钧,2000; 刘顺等,2005),探讨了构造特征与油气成藏和油气 远景的关系(何建坤等,1997;高长林等,2003;曾云 贤等,2005),特别是认识到三叠系雷口坡组和嘉陵 江组盐岩层系对该区构造变形、油气成藏机理和保 存条件起到至关重要的控制作用(马永生等,2005a, 2005b;蔡立国等,2005)。但总体来看,对该区盐相 关构造样式及其变形机理还有待深入探讨。本文试 图通过四川盆地东北部野外地质调查、地震剖面解 释和综合分析,针对四川盆地东北部盐岩层系较老 (三叠系)、盐层厚度较薄、流动聚集不明显、变形层 系涉及中、深层海相碳酸盐岩和浅层碎屑岩的特点, 对该区盐相关构造样式及其变形机理作一初步探 讨,以深化该区构造变形的认识。

1 构造-层序组合划分及主要特征

四川盆地东北部地理上包括通江、南江、巴中和 宣汉、达县等地区,大地构造位置位于上扬子板块北



1—Basement outcrop; 2—anticline; 3—plunging anticline; 4—thrust fault; 5—division boundary line; 6—location of section; I—Guanyuan-Wancan structural belt; II—Nanjiang-Tongjiang structural belt; II—Xuanhan-Daxian structural belt; IV—Yingshan structural belt

		8			6	,	
地层系统			构造-层序	地层厚度	主帰時巨	主要构造运动	层 序
界	系	统(组)	组合	(m)	工作加加		性质
中生界	白垩系	下统	盐上构造 -层序组合 盐层构造 -层序组合	> 1000		燕山早期运动 一 一 印支晩期运动 印支中期运动	陆相碎屑
	侏罗系			> 4000			岩层系
	三叠系	须家河组		310~380			
		雷口坡组		489~810	-		
		嘉陵江组		860~1440			
		飞仙关组		480~650			
古生界	二叠系			400~1000		—— 东吴运动 —	-
	石炭系			0~40			海相碳酸
	泥盆系		盐下构造 -层序组合	> 1000		加里东晚期-海 西早期运动	盐岩层系
	志留系			> 1000			
	奥陶系			> 600			
	寒武系			1020~1230			
元古宇	震旦系		基底构造 -层序组合	200~1500		亚点运动	
	南华系					— 音丁 运 动 —	

表 1 川东北地区构造-层序组合略表

Table 1 Sketch table showing the tectono-stratigraphic sequence assemblage of the northeastern Sichuan basin

部、秦岭造山带南侧,与其北部近东西走向的米仓山 褶皱-冲断带、东北部 NW-SE 走向的大巴山弧形褶 皱-冲断带一起,构成了一幅复杂的构造图像(图 1)。川东北地区地层发育较齐全,以中、下三叠统嘉 陵江组(T₁*j*)和雷口坡组(T₂*l*)含膏盐碳酸盐岩层系 为界,可以将川东北地区划分为3个构造-层序组合 (表1):

(1)盐下构造-层序组合:由震旦系一下三叠统 飞仙关组组成,属于一套海相碳酸盐岩层系为主的 沉积,简述如下:①震旦系:主要分布于米仓山、大巴 山一带,厚200~1500 m,在褶皱-冲断带内呈环带 状或条带状产出,为一套碳质页岩、硅质岩、灰岩、白 云岩和砂岩。②寒武系一奥陶系:川东北地区广泛 发育,其中寒武系厚 1020~1230 m,奥陶系厚 1400 m以上。岩性以灰岩、白云质灰岩和白云岩为主夹 砂岩和页岩,中、上奥陶统发育盆地相黑色薄层硅质 岩、硅质页岩和黑灰色碳质页岩、页岩,是该区重要 的区域性滑脱层系之一。③志留系一泥盆系:厚达 2000 m 以上,下志留统龙马溪组和罗惹坪组为一套 灰色、灰绿色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、页岩夹石英 砂岩和灰岩。中志留统韩家店组为灰绿色页岩、砂 质页岩夹多层角砾状生屑灰岩。缺失上志留统。泥 盆系为灰白色厚层砂岩、粉砂岩、泥页岩和灰色灰 岩、白云岩夹泥灰岩。其中志留系是该区重要的区 域性滑脱层系和烃源层。④石炭系:加里东晚期运 动和海西早期运动使川东北大部地区缺失泥盆系和 石炭系,仅在宣汉、达县地区发育较薄的石炭系,残 厚 0~40 m,主要岩性为灰色灰岩和白云岩,孔渗性 能较好,是重要的储集层之一。⑤二叠系:厚约 400 ~1000 m,是一套海相碳酸盐岩为主的沉积,发育 生物碎屑灰岩、礁滩灰岩、泥灰岩、硅质泥岩、黑色钙 质页岩、灰黑色薄层硅质岩、铝土岩、碳质页岩夹煤 层和煤线,为该重要的烃源岩层系之一。⑥下三叠 统飞仙关组:厚 480~650 m,为一套深灰色灰岩、鲕 粒灰岩、鲕粒白云岩、白云质灰岩和紫红色泥岩等, 是川东北地区最重要的储集层段之一。

(2)盐层构造-层序组合:由下三叠统嘉陵江组 和中三叠统雷口坡组组成,总厚约1340~2250 m, 其中下三叠统嘉陵江组以潮坪相碳酸盐岩和盐(膏) 岩沉积为特征,岩性主要为白云岩、灰岩、鲕粒灰岩、 生物灰岩、石盐和石膏层;中三叠统雷口坡组为局限 台地-咸化海环境下的沉积,表现一套白云岩、灰岩、 膏(盐)岩。这是一套含厚层膏盐的海相碳酸盐岩层 系,构成该区最重要的滑脱层系和油气藏盖层。

(3)盐上构造-层序组合:由上三叠统须家河组 和侏罗系、白垩系组成,属于一套陆相碎屑岩沉积, 简述如下:①上三叠统须家河组:厚度 310~380 m, 为一套陆相含煤碎屑岩建造,平行不整合于中三叠 统雷口坡组之上,为砾岩、含砾石英砂岩、岩屑砂岩、 灰黑色页岩夹煤层和菱铁矿。②侏罗系:厚度达 4000 m 以上,为一套典型的内陆湖相沉积,为砾岩、 石英砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩、泥页岩互层夹多层介 壳灰岩、薄煤层及煤线。③白垩系:厚度大于 1000 m,主要发育下白垩统,为陆相红色粗碎屑磨拉石建 造,岩性主要为块状砾岩、含砾砂岩夹粉砂岩和粉砂 质泥岩。

2 构造变形样式

受米仓山和大巴山逆冲推覆和挤压作用的控制,川东北地区构造变形以挤压样式为特征,主要发育基底卷入叠瓦冲断强变形带、基底卷入与盐层滑脱叠合变形带、隐伏盐相关构造滑脱变形带、双重构造、堆垛式三角带构造和背冲断块构造等。在这些构造变形当中,中、下三叠统膏(盐)岩层系往往作为滑脱层,成为逆冲推覆或滑脱变形的载体,或者成为盐上断层往下、盐下断层往上滑脱消失的软弱层。

2.1 基底卷入叠瓦冲断强变形带

属于大巴山叠瓦冲断推覆构造的主体,构造变 形强烈,发育一系列大型逆冲断裂带,如城口、徐家 坝和万源断裂带等,这些断裂带走向总体呈 NW-SE 向,并呈向 SW 方向凸出的弧形展布,断裂带规模巨 大,延伸长数百千米,逆冲推覆距离达数千米至数十 千米,产生巨大的挤压缩短。该变形带具有以下主 要特征(图 2):①断夹片或推覆体总体有从 NE 往 SW 方向变新的趋势,但受逆冲断层带控制的单个 断夹片或推覆体,其地层时代则由 SW 往 NE 方向 逐渐变新;②与逆冲断裂带伴生的是一系列紧闭-倒 转褶皱,这些背斜、向斜和叠瓦冲断带一起,形成典 型的褶皱冲断带,褶皱轴面主要倾向 NE 方向;③该 叠瓦冲断强变形带出露的地层以震旦系、寒武系、奥 陶系和志留系为主,局部有二叠系一下三叠统卷入, 总体变形地层时代较老,其中震旦系出露变形变质 的火山碎屑岩系,属于卷入的基底岩系。

2.2 基底卷入与盐层滑脱叠合变形带

夹持在大巴山基底卷入叠瓦冲断强变形带和盆 内隐伏盐相关构造滑脱变形带之间,其主要变形特 征如下(图 2):①深层有基底卷入,浅层发育盐岩层 系滑脱,构成深、浅层构造叠合变形带;②深层变形 地层的时代为震旦纪一早古生代地层,浅层出露的 变形地层主要为下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口 坡组含盐层系,以及其上的陆相上三叠统须家河组、 侏罗系和白垩系;③深层构造以断层相关褶皱和背 冲断块构造(pop-up structure)为主,浅层则主要发 育与含盐层系塑性流动有关的褶皱和断裂构造,深、 浅层构造具有明显的不协调特征;④与基底卷入叠 瓦冲断强变形带相比,变形强度明显变弱,褶皱变得 相对宽缓,狭窄紧闭的背斜和宽缓的向斜相间排列, 形成典型的"隔档式构造";⑤由于下三叠统嘉陵江 组和中三叠统雷口坡组含盐层系的流动变形,形成 大量不协调褶皱,含盐层系局部聚集增厚现象明显; ⑥下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组含盐层系 作为主滑脱层,常使得浅层断裂往下终止于该滑脱 层,部分深层断裂往上也终止于该滑脱层。

2.3 隐伏盐相关构造滑脱变形带

如图 2 所示,往盆地内部,构造变形强度更为减 弱,基本上没有基底卷入,主要表现为与下三叠统嘉



图 2 示与嘉陵江组(T₁))和雷口坡组(T₂l)盐岩层系相关的构造变形特征(剖面位置见图 1A—A')

Fig. 2 Cross-section showing structural deformation related to the salt sequence of the Jialinjiang

 $(T_1 j)$ and Liekoupou $(T_2 l)$ Formation, see Fig. 1 for the location of line A-A'

Z-震旦系;Z--(-震旦系-寒武系;-(-寒武系;O-S-奥陶系-志留系;P-T-二叠系-三叠系;P-T₁f-二叠系-下三叠统飞仙关组; T₁j-T₂l-下三叠统嘉陵江组一中三叠统雷口坡组;T₃-J₁-上三叠统一下侏罗统;J₂-K-中侏罗统一白垩系

 $Z-Sinian; Z- \leftarrow -Sinian-Cambrian; \leftarrow -Cambrian; O-S-Ordovician-Silurian; P-T-Permian-Triassic; P-T_1 f-Permian-Feixianguan Formation of the Lower Triassic; T_1 j-T_2 l-Jialinjiang Formation of the Lower Triassic-Leikoupou Formation of the Mid-Triassic; T_3-J_1-Upper Triassic-Lower Jurassic; J_2-K-Mid-Jurassic-Cretaceous$





陵江组和中三叠统雷口坡组含盐层系流动和局部增 厚有关的构造变形,形成一些断层相关褶皱和背冲 断块构造,这些构造隐伏于地下深层,断层和褶皱的 规模相对较小。

2.4 双重构造

在大巴山与四川盆地的耦合部位,发育受滑脱 层控制的双重构造,如图3所示,构成双重构造的底 部冲断层在冲断前缘断坡进入侏罗系,在中、下三叠 统含膏盐层系部位形成断坪,往深层呈断坡切穿二 叠系、志留系和奥陶系,再往下可能呈断坪进入寒武 系和基底滑脱层中,并往造山带方向抬升。顶部冲 断层在上部断坪部位合并到中、下三叠统含膏盐层 系中,呈断坡切穿二叠系后,可能以断坪进入志留系 滑脱层中。构成双重构造的断夹片主体为下古生 界、二叠系和下三叠统飞仙关组。

2.5 堆垛式三角带构造

米仓山山前带和盆地内的构造变形也与下三叠 统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组含盐层系的发育密 切相关,如图4所示,在米仓山和四川盆地的耦合部 位,受中、下三叠统膏盐岩滑脱层反冲作用的控制,



图 4 米仓山山前带与中、下三叠统膏盐层相关的构造变形(据刘珠,2007,修改;剖面位置见图 1C--C')

Fig. 4 Structural deformation associated to the salt sequence of the Mid-Lower Triassic in the Micanshan mountain

and adjacent basin(modified from Liu, 2007; see Fig. 1 for the location of line C–C')

$$Nh-Z-$$
南华系-震旦系; $(-O-$ 寒武-奥陶系; $S-P_1$ -志留系-下二叠统; P_2-T_1 -上二叠统-下三叠统;

T3一上三叠统;J1一下侏罗统;J2-3一中一上侏罗统;K一白垩系

 $Nh-Z-Nanhuan-Sinian; \ (-O-Cambrian-Ordovician; \ S-P_1-Silurian-Lower \ Permian; \ S-P_1-Silurian; \ S-P_1-Silurian-Lower \ Permian; \ S-P_$

P2-T1-Upper Permian-Lower Triassic; T3-Upper Triassic; J1-Lower Jurassic; J2-3-Mid-Upper Jurassic; K-Cretaceous

形成叠瓦状堆垛式三角带构造,主体由震旦系一下 古生界、二叠系和中、下三叠统组成,其底部逆冲断 层由前震旦系基底岩系切穿整个古生界,往上进入 并消失在中、下三叠统膏盐岩滑脱层中,顶部逆冲断 层上冲到地表。其间夹持的一系列逆冲断层和断夹 片均被受膏盐岩滑脱层控制的反冲断层所截。

2.6 背冲断块构造

川东北地区广泛发育的另一类与中、下三叠统 含膏盐层系变形相关的构造样式是背冲断块构造或 突窿构造(pop-up structure),如图 5 所示,这种背 冲断块构造受相向倾斜的逆冲断裂控制,往往其中 一条断裂为主断裂,规模较大,另一条断裂为派生断 裂,规模相对较小,二者夹持一个隆升较高的断块或 断褶构造,常形成有利的油气圈闭构造。控制背冲 断块构造发育的逆冲断层,可以是顶部进入并消失 在中、下三叠统含膏盐层系中,形成以古生界海相碳 酸盐岩为主体的背冲断块构造(图 5);也可以是逆 冲断层的底部合并到中、下三叠统含膏盐层系中,形 成以中生界陆相碎屑岩为主体的背冲断块构造(如 图 2 隐伏盐相关构造滑脱变形带);还可以形成深层 海相层系背冲断块和浅层陆相层系背冲断块相叠置 的构造(如图 4 通南巴构造带)。

3 川东北地区构造变形的控制机理

川东北地区构造变形受多重因素控制,主要有 挤压缩短作用、盐岩层塑性流动和滑脱作用、构造隆 升、剥蚀、重力滑动和重力扩展作用。

3.1 挤压缩短作用

川东北地区经受了多期构造活动和多方向挤压 作用,主要与秦岭中段南缘大巴山和米仓山形成演 化密切相关。在前中三叠世漫长的地史阶段,秦岭 洋及其间的微陆块经历了多次伸展裂陷、洋盆扩张、 俯冲消减、碰撞造山的过程,于中三叠世末期印支中 期运动洋盆闭合,形成陆内造山带(张国伟等,1996, 2001;刘殊,2007),并在其后的燕山期、特别是喜马 拉雅期发生强烈挤压褶皱、逆冲推覆、构造隆升和走 滑旋转作用,导致大巴山和米仓山不均匀向盆地内 部挤压冲断。尽管燕山期和喜马拉雅期大巴山和米 仓山由于逆冲推覆作用产生巨大的缩短量,估算缩 短率可能达到 50%以上;但在盆地内部缩短量要小 得多,缩短率一般小于 15%(汤良杰等,2004)⁰,表 明从造山带往盆地,构造变形的强度显著变弱。

3.2 盐岩层塑性流动和滑脱作用

川东北地区构造变形的另一因素是与下三叠统 嘉陵江组和中三叠统雷口坡组含膏盐层系的发育密



图 5 示米仓山山前带古生界背冲断块构造(据吴世祥,2006,略改;剖面位置见图 1D—D') Fig. 5 Cross-section showing pop-up occurred in the front of Micanshan mountain

(modified from Wu, 2006; see Fig. 1 for the location of line D-D')

Nh—南华系;Z一(一震旦一寒武系;O—P₁—奧陶系—下二叠统;P₂—T₁*f*—上二叠统—下三叠统飞仙关组;T₁*j*—下三叠统嘉陵江组; T₂*l*—中三叠统雷口坡组;T₃*x*¹⁻²—上三叠统须家河组 1~2 段;T₃*x*³⁻⁴—上三叠统须家河组 3~4 段;J₁—下侏罗统;K—白垩系 Nh—Nanhuan; Z—(—Sinian—Cambrian; O—P₁—Ordovician—Lower Permian; P₂—T₁*f*—Upper Permian—Feixianguan Formation of the Lower Triassic; T₁*j*—Jialinjiang Formation of the Lower Triassic; T₂*l*—Leikoupou Formation of the Mid-Triassic; T₃*x*¹⁻²—1~2 Segment of Xujiahe Formation of the Upper Triassic; T₃*x*³⁻⁴—3~4 Segment of Xujiahe Formation of the Upper Triassic; J₁—Lower Iurassic; K—Cretaceous 切相关。钻井资料揭示,川东北地区嘉陵江组 (T₁*j*)和雷口坡组(T₂*l*)地层总厚可达 2000 m 以 上,为一套巨厚的白云岩、灰岩、泥灰岩、页岩和膏盐 岩和膏泥岩沉积,其中膏盐岩层可达数十至 100 余 层,膏盐岩单层厚度一般数十米,最大可达 412 m (双石1井),总厚可达近 600 m,约占该套地层总厚 度的 30%左右,在川东北地区有着广泛的分布(图 6)。由于盐岩层系的存在,大大降低了这套地层的 强度,使之成为川东北地区最主要的一套滑脱层系, 控制着该区的构造变形。



图 6 川东北地区中、下三叠统盐岩层系分布略图 (据金之钧等,2006a,修改,等值线单位:m) Fig. 6 Sketch map showing the distribution of salt and gypsum layer in the northeastern Sichuan basin (modified from Jin et al., 2006a, isopachyte unit; m)

3.3 构造隆升、剥蚀作用、重力滑动和重力扩展作 用

川东北地区白垩纪以来,受燕山晚期运动和喜 马拉雅运动多期挤压作用影响(张国伟等,1996, 2001;刘殊,2007),开始发生构造隆升和强烈剥蚀, 构造隆升的幅度可达 5000 m 以上,地层剥蚀量也 达 2000 m 以上(汤良杰等,2004)[•],使得大巴山、米 仓山出露前震旦系基底岩系以及震旦系、古生界和 三叠系,形成基底卷入式构造,同时盆地内缺失上白 垩统和新生界,导致盐上地层厚度减薄,盐岩层受上 覆地层的影响减小。同时,大巴山、米仓山的快速隆 升也导致沿盐岩滑脱层从造山带往盆地方向的重力 滑动作用和重力扩展作用。

4 结论和讨论

(1)四川盆地东北部地层发育较完整,以中、下 三叠统嘉陵江组(T₁*j*)和雷口坡组(T₂*l*)含膏盐碳酸 盐岩层系为界,可以将川东北地区划分为3个构造-层序组合,其中盐下构造-层序组合由震旦系一下三 叠统飞仙关组组成,属于一套海相碳酸盐岩层系为 主的沉积;盐层构造-层序组合由下三叠统嘉陵江组 和中三叠统雷口坡组组成,属于一套含厚层膏盐的 海相碳酸盐岩层系;盐上构造-层序组合由上三叠统 须家河组和侏罗系、白垩系组成,属于一套陆相碎屑 岩沉积。

(2)四川盆地东北部前陆褶皱-冲断带发育了一 套独特的构造变形样式,主要有基底卷入叠瓦冲断 强变形带、基底卷入与盐层滑脱叠合变形带、隐伏盐 相关构造滑脱变形带、双重构造、堆垛式三角带构造 和背冲断块构造等。由于该区盐岩层厚度相对较 薄,与正常沉积岩呈频繁互层,盐体流动较弱,未形 成大规模盐聚集和典型的盐体变形构造(如盐枕、盐 推覆、盐焊接、盐蘑菇等)。盐岩层系总体作为一个 大型滑脱层系,控制川东北地区的构造变形。总体 来看,从造山带往盆地方向,构造变形强度减弱。

(3)川东北地区构造变形受多重因素控制,具有 多期叠合变形的特征,其主要变形机制包括区域挤 压缩短作用、盐岩层塑性流动和滑脱作用、构造隆升 和剥蚀作用、重力滑动和重力扩展作用等。川东北 地区与三叠系盐岩层系有关的构造变形控制该区油 气圈闭样式,成为最主要的油气勘探对象,同时这套 盐岩层系构成该区最重要的滑脱层和油气藏盖层, 对于油气保存起着至关重要的作用。

致谢:本文撰写过程中得到了马宗晋院士、贾承 造院士、王铁冠院士、张一伟教授、金之钧教授、贝丰 教授、马永生教授、李思田教授、刘和甫教授和王清 晨教授的指导和鼓励,陈梅涛、李建明等参加了川东 北地区及米仓山、大巴山野外地质考察并对川东北 有关构造变形和盐构造问题进行了有益的讨论,一 并致以深切谢意。

注 释

 ● 汤良杰,等.2004. 秦岭中段前陆冲断带波动过程分析及其对油 气形成与分布的控制作用.中石化南方分公司科研项目研究成 果报告.

参考文献

蔡立国,饶丹,潘文蕾,等. 2005. 川东北地区普光气田成藏模式研

究. 石油实验地质, 27(5): 462~467.

- 何建坤, 卢华复, 张庆龙, 等. 1997. 四川盆地东北缘含气藏构造分 析. 石油学报, 18(3): 7~12.
- 侯艳平,孙向阳,任建业. 2004. 东濮凹陷盐滑脱变形构造及其在 油气勘探中的意义. 石油与天然气地质, 25(1):58~61.
- 黄继钧.2000.纵弯叠加褶皱地区岩石有限应变特征——以川东北 地区典型叠加褶皱为例.地质论评,46(2):178~185.
- 高长林,刘光祥,张玉箴,等. 2003. 东秦岭-大巴山逆冲推覆构造 与油气远景. 石油实验地质,25(增刊):523~531.
- 戈红星, Jackson M P A. 1996. 盐构造与油气圈闭及其综合利用. 南京大学学报(自然科学版), 32(4): 640~649.
- 金之钧,龙胜祥,周雁,等.2006a.中国南方膏盐岩分布特征.石 油与天然气地质,27(5):571~583.
- 金之钧,蔡立国. 2006b. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策. 石油与天然气地质, 27(6): 722~730.
- 乐光禹. 1998. 大巴山造山带及其前陆盆地的构造特征和构造演 化. 矿物岩石, 18(增刊): 8~15.
- 雷雪,李忠,翟中华,等. 2005. 川中地区中三叠统雷口坡组构造特 征及解释方法探讨. 石油物探,44(2):137~141.
- 刘顺,刘树根,李智武,等. 2005. 南大巴山断褶带西段中新生代构造应力场的节理研究. 成都理工大学学报,32(4):345~350.
- 刘殊. 2007. 前陆褶皱冲断带构造特征研究. 中国地震局地质研究 所博士学位论文, 1~113.
- 马永生,蔡勋育,李国雄. 2005a. 四川盆地普光大型气藏基本特征 及成藏富集规律. 地质学报,79(6):858~865.
- 马永生,傅强,郭彤楼,等.2005b. 川东北地区普光气田长兴一飞 仙关气藏成藏模式与成藏过程. 石油实验地质,27(5):455~ 461.
- 齐兴宇,黄先雄,秦建峰,等.1992.东濮凹陷盐岩与油气.石油学报,13(1):23~29.
- 孙树林. 1994. 米仓山及其南缘薄皮构造初步研究. 河海大学学报, 22(1):53~57.
- 汤良杰,贾承造,金之钧,等.2003. 塔里木盆地库车前陆褶皱带中 段盐相关构造特征与油气聚集.地质论评,49(5):501~506.
- 王跃飞,王兰生.2002. 江陵凹陷底辟构造形成机制研究. 地质灾 害与环境保护,13(2):51~54.
- 魏显贵,杜思清,刘援朝,等.1997.米仓山推覆构造的结构样式及 演化特征.矿物岩石,17(增刊):114~122.
- 邬光辉,王招明,刘玉魁,等. 2004. 塔里木盆地库车坳陷盐构造运 动学特征. 地质论评,50(5):476~483.
- 吴世祥. 2006. 四川盆地北部油气聚集与成藏特征研究. 中国石油 大学(北京)博士后研究工作报告, 1~146.
- 杨长清. 2004. 江陵凹陷盐构造及与油气聚集的关系. 断块油气田, 11(3):4~6.
- 杨晋斌,杨健. 2004. 川东北地区盐膏层钻井液技术. 石油钻探技 术, 32(3): 24~25.

- 于建国, 李三忠, 王金铎, 等. 2005. 东营凹陷盐底辟作用与中央隆 起带断裂构造成因. 地质科学, 40(1): 55~68.
- 张朝军,田在艺.1998. 塔里木盆地库车坳陷第三系盐构造与油气. 石油学报,19(1):6~10.
- 张国伟,孟庆任,于在平. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学 特征.中国科学(D辑),26(3): 193~200.
- 张国伟,张本红,袁学诚. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学.北京科 学出版社,17~721.
- 曾云贤,刘微,李西宁. 2005. 川东北地区飞仙关组构造演化与油 气成藏研究. 天然气工业, 25(增刊 A): 21~23.
- 周江羽,林忠民,周凌方,等.1999. 塔里木盆地北部石炭系盐体塑 性形变与油气圈闭.石油与天然气地质,20(3):216~219.
- Alsop G I, Blundell D J, Davison I. 1996. Salt Tectonics. Geological Society Special Publication No. 100, 1~310.
- Chen Shuping, Tang Liangjie, Jin Zhijun, et al. 2004. Thrust and fold tectonics and the role of evaporite in deformation in the western Kuqa foreland of Tarim basin, northwest China. Marine and Petroleum Geology, 21: 1027∼1042.
- Davison I, Alsop I, Birch P, et al. 2000. Geometry and late-stage structural evolution of Central Graben salt diapers, North Sea. Marine and Petroleum Geology, 17(4): 499~522.
- Gemmer L, Ings S J, Medvedev S, et al. 2004. Salt tectonics driven by differential sediment loading: Stability analysis and finite element experiments. Basin Research, 16(2): 199~218.
- Jackson M P A. 1995. Retrospective salt tectonics. In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S eds. Salt Tectonics, A Global Perspective. AAPG Memoir 65, 1~28.
- McBride B C, Rowan M G, Weimer P. 1998. The evolution of allochthonous salt systems, Western Green Canyon and Ewing Bank (offshore Louisiana), Northern Gulf of Mexico. AAPG Bulletin, 82 (5): 1013~1036.
- Rowan M G. 1995. Structural styles and evolution of allochthonous salt, Central Louisiana Outer Shelf and Upper Slope. In Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S eds. Salt Tectonics, A Global Perspective. AAPG Memoir 65, 199~228.
- Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. 2004a. Salt tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kuqa foreland fold belt, Tarim Basin, NW China. Journal of Petroleum Science and Engineering, 41(1-3): 97~108.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun, Jia Chengzao, et al. 2004b. A large-scale salt nappe complex in the leading edge of the Kuqa foreland foldthrust belt, Tarim basin, northwest China. Acta Geologica Sinica, 78(3): 691~700.
- Volozh Y, Talbot C, Ismail-Zadeh A. 2003. Salt structures and hydrocarbons in the Pricaspian basin. AAPG Bulletin, 87(2): 313~334.

Salt-Related Structures in the Foreland Fold-Thrust Belt of the Northeastern Sichuan Basin, South China

TANG Liangjie^{1,2,3)}, GUO Tonglou⁴⁾, YU Yixin^{1,2,3)}, JIN Wenzheng^{1,2,3)}, LI Rufeng^{1,2,3)}, ZHOU Yan⁵⁾

1) State Key Laboratory for Petroleum Resource and Prospecting, Changping, Beijing, 102249

2) Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation in China University of Petroleum, Ministry of Education, Changping, Beijing, 102249

3) Basin & Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Changping, Beijing, 102249

4) Southern Exploration and Development Division Company, SINOPEC, Kunming, Yunnan, 650200

5) Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing, 100083

Abstract

Three tectono-stratigraphic sequences can be divided in the northeaster Sichuan basin according to the Mid- and Lower-Triassic salty and gypsum beds. The sub-salt tectono-stratigraphic sequence, dominated by a marine-facies sedimentary carbonate sequence, is composed of the Sinian and Lower-Triassic Feixianguan Formation. Assemblage of the salt sequence and structure includes the Upper-Triassic Jialingjiang Formation and Mid-Triassic Leikoupou Formation and is characterized by saliniferous marine carbonate measures. The supra-salt sequence is composed of continental clastic rocks belonging to the Upper-Triassic Xujiahe Formation, Jurassic and Cretaceous. A series of specific structural styles, such as intense deformed belt of basement-revolved imbricated thrusts, superimposed deformed belt associated with the basement-revolved and salt detachment, buried salt-related detachment zone, duplex, triangle pile structure and pop-up, are developed in the northeastern Sichuan basin. Relatively thin salt beds in this area may act as a large-scale decollement zone which controls the structural deformation of northeastern Sichuan basin. The deformation mechanisms of northeastern Sichuan basin have a bearing upon the regional compression and shortening, plastic flow and detachment, tectonic upwelling and erosion, gravitational sliding and spreading. The tectonic deformation related to the Triassic in the northeastern Sichuan basin may control the pattern of oil/gas traps, which are favorable to the accumulation and reservation of hydrocarbon.

Key words: salt-related structure; foreland fold-thrust belt; carbonate measures; deformation mechanism; northeastern Sichuan basin