

文章编号: 0253-9985(2003)04-0322-05

川西坳陷油气资源现状及勘探潜力*

杨克明^{1,2}

(1. 成都理工大学能源学院, 四川成都 610059; 2. 中国石化西南分公司, 四川成都 610081)

摘要: 川西坳陷经历了十分复杂的演化历史, 一方面形成了丰富的油气资源, 另一方面也导致了油气在空间的分布不够集中, 这些特点决定了川西坳陷的勘探工作具有长期性和艰巨性。川西坳陷成藏动力学系统研究表明: 虽然该区油气规模运移聚集发生在储层致密化之前, 但圈闭的形成定型时期较晚, 因此, 具多源、多期成藏的复合含油气系统特征决定了该领域立体成群的气藏分布格局。根据川西坳陷资源特点和着眼大目标、立足大发现的勘探方针, 近中期勘探工作的重点是: 主攻深层, 扩大中深层, 拓展外围浅层。

关键词: 川西坳陷; 油气资源; 复合成藏动力系统; 勘探目标

作者简介: 杨克明, 男, 47岁, 教授级高级工程师(博士生), 构造地质与石油地质

中图分类号: TE122.11

文献标识码: A

随着中国对天然气能源需求的不断增加及常规天然气储量的日益减少, 非常规天然气作为重要的后备资源受到高度重视^[1,2]。目前, 已相继发现了鄂尔多斯、四川盆地西部、松辽盆地南部和东濮坳陷深层等数个致密碎屑岩气区, 初步显示出广阔的勘探开发前景^[3]。

川西坳陷致密碎屑岩领域资源丰富, 勘探潜力十分巨大, 是四川盆地近中期最重要的能源接替基地。

1 现状及特点

三次资源评价结果表明, 川西坳陷资源具有如下一些特点**。

(1) 烃源岩发育, 生烃量大。川西坳陷发育数套良好的烃源岩, 其主力烃源岩以暗色泥页岩为主, 其次为煤层或煤线, 总生烃量达 $364.9 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。在各层位的生烃量中, 尤以上三叠统须家河组三段(T_3x^3) 和小塘子组、马鞍塘组(T_3t, T_3m) 最大, 约占总生烃量的60%(图1)。

(2) 资源量丰富, 探明程度低。川西坳陷总资源量为 $14\,099 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中西南分公司探区资源量为 $10\,905 \times 10^8 \text{m}^3$, 占总资源量的77%。至2002年底已累计探明 $966.43 \times 10^8 \text{m}^3$, 资源探明程度仅为8.9%。通过预测, 川西坳陷(西南分公司探区) 剩余可探明天然气资源有 $3\,272 \times 10^8 \sim 5\,453 \times 10^8 \text{m}^3$, 表

明川西坳陷还处在储量发现高峰的早期。

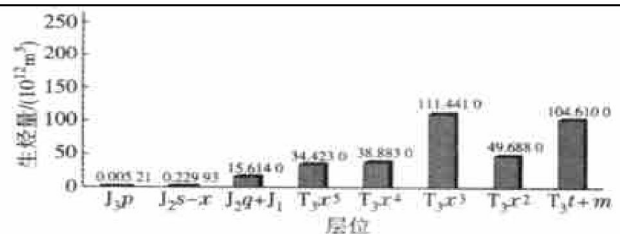


图1 川西坳陷各层位生烃量对比图

Fig. 1 Comparison of volume of hydrocarbons generated in various source rocks in western Sichuan depression

(3) 正向隆起带资源丰度高, 是天然气运聚的指向区。研究表明, 川西坳陷中段资源量分布不均衡, 尤以孝泉-合兴场、彭州-大邑两个正向构造带资源丰度最高, 分别达到 $2.17 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 和 $1.63 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ (图2), 表明上述两个区带依然是近中期发现大中型气田的重点目标。

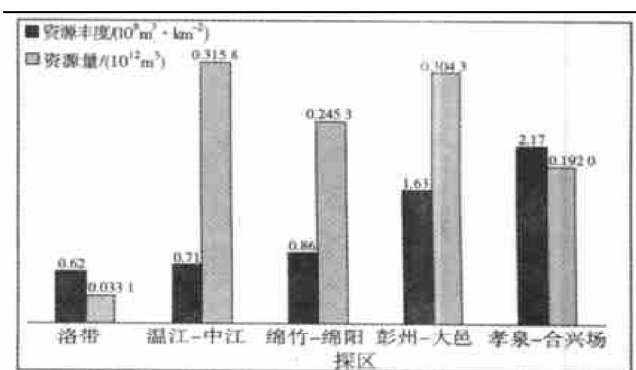


图2 川西坳陷中段区带天然气资源丰度分布图

Fig. 2 Distribution of abundance of gas resources in the middle part in western Sichuan depression

* “十五”国家重点科技攻关课题(2001BA605A-05)部分成果

** 杨克明, 李书兵, 唐立章, 等. 四川探区油气资源评价, 2002

收稿日期: 2003-09-20

(4) 资源纵向分布层位多, 深层资源潜力大。川西坳陷中段天然气资源量在纵向上分布范围广。已有的勘探实践表明, 在 200~5 000 m 的地层中均有天然气分布。小于 3 500 m 的地层中天然气资源 $3\,797 \times 10^8 \sim 5\,033 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占总资源量的 41%。大于 3 500 m 地层中天然气资源 $5\,422 \times 10^8 \sim 7\,558 \times 10^8 \text{ m}^3$, 约占总资源量的 59%, 表明川西坳陷深层具有十分巨大的勘探前景。

一般情况, 世界主要含油气盆地是在勘探早、中期达到油气田发现和储量增长高峰后, 随着勘探的深入, 发现和储量增长呈持续下降趋势。但是, 川西坳陷经历了十分复杂的演化历史, 表现为盆地类型多, 构造样式多, 烃源岩和储集层系多, 叠加改造次数多, 运移聚集期次多。一方面形成了丰富的油气资源, 另一方面也导致了油气在空间的分布不够集中。川西坳陷勘探实践表明, 随着理论和方法技术的创新, 往往伴随着气田(藏)的持续发现和储量的快速增长, 阶段性十分明显。川西坳陷复杂的地质条件, 决定了这个领域的勘探工作具有长期性和艰巨性^[4]。丰富的资源和良好的成藏条件表明, 随着工作的不断深入, 川西坳陷的勘探高潮将不断迭起*。

2 成藏动力系统特征

2.1 可能存在晚期成藏的资源条件

三次资评再次证实川西坳陷的主力烃源岩为上三叠统小塘子组、马鞍塘组(T_{3t} , T_{3m})和须家河组三段(T_{3x^3})。上三叠统小塘子组、马鞍塘组源岩生烃高峰在须家河组三段至蓬莱镇组($T_{3x} - J_{3p}$)沉积时期, 上三叠统须家河组三段源岩生烃高峰在沙溪庙组至白垩系($J_{2s} - K$)沉积时期, 其生气量均大于 90%(图 3), 表明川西坳陷主力源岩的生烃高峰在燕山中晚期已基本结束。

上述主力烃源岩生烃高峰的结论是没有考虑川西坳陷发育异常高压的情况下得出的。国内外高温高压热模拟实验均证明超压对有机质的热演化和油气生成具有明显的抑制作用, 抑制作用的结果将延长排烃时间和加深门限深度。因此, 川西坳陷烃源岩的热演化有进一步研究的必要。若如此, 川西坳陷在喜马拉雅运动早中期, 烃源岩的

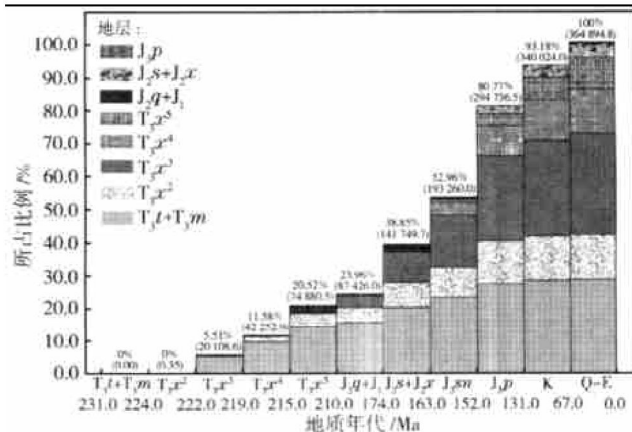


图3 川西坳陷烃源岩累计生气量图

Fig. 3 Cumulative volume of gas-generated of hydrocarbon source rocks in western Sichuan depression

生烃量可能仍具有一定规模。依此推论, 川西坳陷可能存在晚期成藏的资源条件^[5]。

2.2 规模运移聚集发生在储层致密化之前

川西坳陷的成岩环境已促使绝大部分储层呈致密化状态, 但就储层有效性而言, 其物性下限为孔隙度 7%, 渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。川西坳陷侏罗系沙溪庙组和蓬莱镇组储层满足物性下限条件, 仍属有效储层范畴。深层上三叠统须家河组发育数套厚度大的砂岩储层, 虽然这些砂岩均不同程度残存一定数量的孔隙空间, 但就储集性而言, 已不满足储层有效性的要求。因此, 天然气规模运移聚集发生在储层致密化之前还是之后就成为了须家河组是否能规模成藏的关键因素。如何认识须家河组的成藏特征, 新 851 井提供了重要的启示。

2000 年 11 月发现新 851 井天然气流, 于 2002 年 3 月封井, 生产 16 个月, 累计生产天然气 $2.414 \times 10^8 \text{ m}^3$, 日产量约 $50 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。新 851 井在生产过程中, 压力和产量十分稳定(图 4)。该井的生产情况揭示出两个问题: (1) 新 851 井须家河组二段(T_{3x^2})属裂缝-孔隙型储层, 但就孔隙度而言, 裂隙提供的孔隙数量毕竟有限, 新 851 井压力和产量长期稳定的现象, 表明储层的基质孔隙作了重要的贡献, 由此可以推论, 新场须家河组二段(T_{3x^2})储层致密化可能发生在油气规模运移聚集之后; (2) 新 851 井须家河组二段(T_{3x^2})储层尚残存一定数量的孔隙空间, 但基质渗透性已经很差, 这样的条件下必须叠加一个裂缝参与的渗滤系统才能形成有效的储层*。实验分析表明, 主要存在两种不同尺度的裂缝, 一种是能显著提高渗透

* 翟光明. 21 世纪中国油气资源远景展望. 2002

** 王胜. 关于四川盆地油气勘探开发部署基本技术思路的建议. 1997

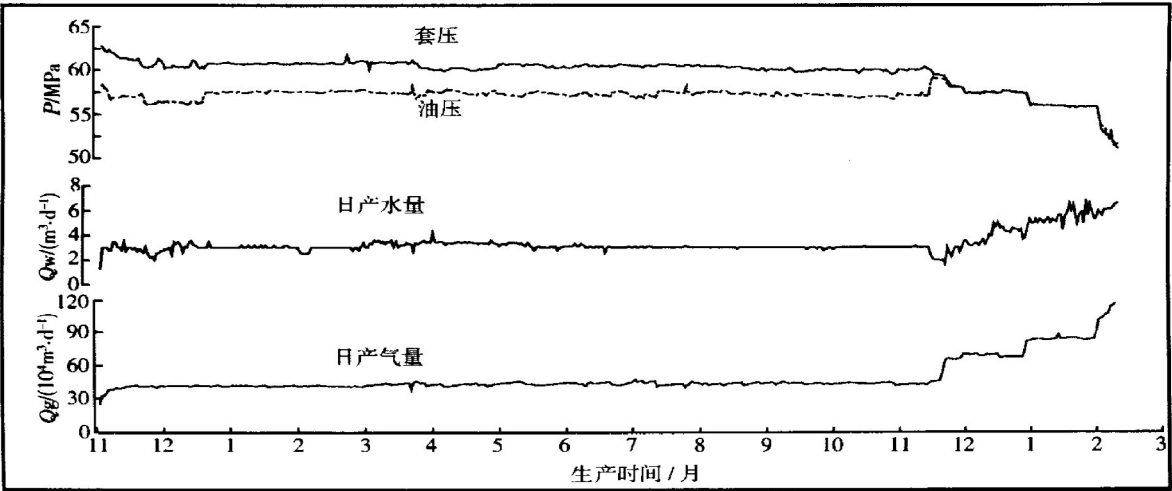


图 4 新 851 井(2000-11~ 2002-03) 采气曲线图

Fig. 4 Gas- produced curve of Xin 851 well from November 2000 to March 2002

率的显裂缝,另一种是能改善孔喉和开启残余孔隙的微裂缝,这两种尺度裂缝的共同作用,促使了新 851 井的高产稳产。

新 851 井的成藏特征主要基于一种定性的推论,如何实现对储层演化的定量和定时研究,最近有研究者作了很好的探索*,他们对须家河组二、四段(T_{3x}^2 , T_{3x}^4) 储层中不同胶结物的含量进行了定量统计,并通过成岩矿物中流体包裹体温度和同位素地质温度计的分析,分别确定了不同胶结物的形成时期,结合原生孔隙在压实作用和次生孔隙在成岩作用过程中的定量变化的研究,实现了须家河组储层致密化史的动态描述。

界定储层是否致密的关键参数是渗透率。由于地史时期渗透率的求取目前尚无有效的方法,考虑到常规储层孔隙度与渗透率之间具有很好的相关关系,因此可用地史时期孔隙度的变化来分析储层的致密化过程。

根据上述储层演化史的综合研究,可以求得须家河组二、四段(T_{3x}^2 , T_{3x}^4) 储层不同地史时期的孔隙度分布(表 1, 2)。须家河组二段(T_{3x}^2) 储层的致密化作用的时间下限,新场为早侏罗世末,孝泉为须家河组五段(T_{3x}^5) 沉积末期,根据储层的分类评价标准,须家河组四段(T_{3x}^4) 至今仍保留满足天然气规模运移聚集的储集条件。

2.3 关键是圈闭的形成时期

“近、早、保”是评价圈闭有效性的3个关键参

表 1 新场、孝泉须家河组二段储层孔隙演化史表

Table 1 Evolutional history of reservoir pores in the 2nd member of Xujiache Formation in Xinchang and Xiaoquan areas

地区	不同时期孔隙度 / %									
	T_{3x}^2	T_{3x}^3	T_{3x}^4	T_{3x}^5	J_1	J_2x	J_2s	J_3s	J_3p	K 现今
新场	26.1	17.6	11.7	9.0	8.4	7.2	5.3	4.2	4.2	4.2
孝泉	24	15.3	10.0	6.9	6.6	5.8	3.8	3.4	3.3	3.3

备注: 新场地区资料主要来自 X851 井, 孝泉来自 CX93 井

表 2 新场、孝泉须家河组四段储层孔隙演化史表

Table 2 Evolutional history of reservoir pores in the 4th member of Xujiache Formation in Xinchang and Xiaoquan areas

地区	不同时期孔隙度 / %								
	T_{3x}^4	T_{3x}^5	J_1	J_2x	J_2s	J_3s	J_3p	K	现今
新场	26.4	25.2	23.8	23.0	18.3	14.9	9.6	9.6	9.6
孝泉	24.5	22.4	21.7	21.0	14.2	12.5	7.7	7.7	7.7

备注: 新场地区资料主要来自 X853 井, 孝泉来自 CX93 井, CX94 井

数。已有资料表明,川西坳陷所有勘探目标均与烃源岩叠置,圈闭与烃源在空间的配量关系良好。川西坳陷构造与沉积演化史决定了圈闭具备良好的保存条件。因此,就川西坳陷圈闭有效性而言,“近”和“保”已不是问题,关键是圈闭的形成时期。所谓早期圈闭,就是圈闭的形成期早于烃源岩的生烃高峰期或与其同步。川西坳陷早期圈闭的研究有着相当大的难度,主要在于:(1) 新生代以来缺乏地层记录,不能根据地层接触关系和形变序次来确定圈闭的定型时期;(2) 晚三叠世以来,川西坳陷进入陆相沉积时期,沉积面貌复杂,地层厚度横向变化大,为应用地层厚度确定圈闭形成时

* 吕正祥. 孝泉- 新场地区须家河组气藏描述. 2003

期带来困难:(3)川西坳陷地震地质条件复杂,导致速度场和地震波组的横向变化大,应用地震资料来确定圈闭的形成时期,也具有很多不确定因素。因此对川西坳陷圈闭形成时期的研究,要着重加强3个方面的工作:(1)加强叠前深度偏移研究,为圈闭形成时期的确定,提供一个精确的地质模型;(2)从高新技术(裂变径迹技术、模拟技术、测年技术等)出发,直接进行隆起或圈闭的年龄测定;(3)要根据湖进体系域中的泥页岩分布面积广,横向变化小的特点,编制不同时期的等厚图,以此来确定圈闭的形成时期。

圈闭的形成时期是成藏的关键问题,只有查明了圈闭的形成时期,才能对圈闭的含油气性作出客观准确的评价。

2.4 复合含油气系统特征

含油气系统把类比应用从描述性的“外观相似”扩展为成因上的“作用相似”,把油气藏的形成过程纳入地质空间和时间范围内的动态系统,包含三方面的因素:(1)有利的运移排烃方式;(2)在圈闭形成过程中或形成后有足够数量的油气存在;(3)存在有效圈闭并有能力保存至今^[6]。

川西坳陷为多个不同类型的原型盆地在纵向上叠加形成的复合盆地,具复合含油气系统特征*: (1)8套烃源岩在平面上常重叠或交叉,具多源多灶的特征;(2)烃源岩具有多个生排烃阶段,从而形成多期运移聚集特征;(3)受控于盆地的叠加和变盆改造,常出现不同烃源岩之间的混源现象。

就一般盆地而言,含油气系统的关键时刻,往往就是圈闭形成期与油气生成期的匹配,在川西坳陷还要考虑砂岩的致密化史。根据研究,我们对川西坳陷成藏关键时刻有如下一些认识:(1)小塘子组和马鞍塘组(T_{3t} , T_{3m})烃源岩的生烃高峰期至晚侏罗世结束,而须家河组二段砂岩储层的致密化在须家河组沉积末期,因此须家河组二段成藏的关键时刻在印支晚期;(2)须家河组二段砂岩储层至今仍未完全致密化,考虑到上三叠统小塘子组、马鞍塘组(T_{3t} , T_{3m})和须家河组三段(T_{3x})烃源岩的生烃高峰期,须家河组四段成藏关键时刻在燕山期;(3)侏罗系砂岩至今仍保留了较

好储集性能,根据上三叠统小塘子组、马鞍塘组(T_{3t} , T_{3m})和须家河组三段(T_{3x})烃源岩的生烃高峰期,成藏的关键时刻在燕山中晚期和喜马拉雅早期,如果考虑侏罗系本身的生烃能力和由于高压抑制作用延长的排烃时间,川西坳陷侏罗系不仅具有早期(侏罗纪)成藏条件,也具有超晚期(新近纪第四纪)成藏条件,从而形成复合含油气系统。

对于复合含油气系统*,从“多套烃源岩”出发,根据油气运移路径,“顺藤摸瓜”,寻找一切油气可能聚集的部位,就能不断发现新的气藏或新的含气层位。

川西坳陷经历了多阶段成藏,除了形成自生自储或自生邻储式气藏外,还通过“微裂缝顶托扩散”和沿断层的“混相涌流”等运移机制,在中浅部有利的储集场所就位,最终形成了近源和远源两类气藏并存的有利局面。两类气藏的形成,尤其是远源气藏的形成,使得川西坳陷从浅层的白垩系至深层的须家河组(T_{3x})均发育有天然气藏,天然气藏在纵向上呈“串珠状”分布。加之由于存在早期的古隆起和古斜坡,天然气在平面是“毯状”或“带状”展布,构成了立体成群的天然气富集带。

3 近中期勘探目标

川西坳陷蕴藏着丰富的天然气资源,但复杂的地质条件增加了勘探的难度,但只要加强综合研究,明确勘探目标,动用新观念和新方法,就一定能实现新突破。关于川西坳陷近中期勘探目标,依据深、中、浅3个层次,提出如下一些建议。

3.1 深层领域

勘探实践表明,须家河组(T_{3x})属自生自储或自生邻储式近源气藏,具有广阔的找气前景,是发现新的勘探目标和扩大储、产量规模的重要领域。

川西坳陷中段已落实须家河组(T_{3x})圈闭29个,圈闭资源量 $4\,938.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,探明率小于10%,因此勘探潜力十分巨大。

关于深层勘探的对策要着重考虑3方面的问题。一是要建立和运用风险勘探观念,力争实现战略突破;二是要通过多波勘探和加强方法技术研究,解决裂缝预测问题,更新深层长期以来“占高点、沿断层”的勘探定式;三是加强攻关,解决高温、高压、超致密储层的改造工艺技术问题。

* 赵文智,何登发.中国含油气系统的基本特征与勘探对策. 2002

关于近中期深层勘探部署,应着重考虑3个层次,一是要围绕新851井、丰1井和川丰175井在须家河组二、四段(T_{3x}^2, T_{3x}^4)的突破,加快孝泉-新场和丰谷须家河组(T_{3x})圈闭的评估勘探步伐,扩大油气成果,实现深层勘探的战略展开;二是要加强罗江、马井、高庙子、中江等构造须家河组(T_{3x})圈闭的预探,力争实现深层勘探的战略突破;三是要加强磁丰场、大邑、鸭子河、石泉场等构造的综合研究工作,为深层勘探作好战略准备。

3.2 中深层领域

要重新认识中江构造中深层的含气性。经三维地震资料处理,该区沙溪庙组(J_2s)发育3套主要砂体,其低频强振幅异常在平面上呈河道展布特征。除川泉181井钻遇B层异常并获低产工业气流外,其余各井均未钻遇地震异常,因此这些异常的地质属性以及与含气性的关系,值得深入研究。

要进一步加快孝泉、马井构造中深层的评价勘探步伐,不断扩大含气面积。

要进一步加强洛带-廖家场、金马-鸭子河构造中深层综合研究,力争实现新的突破。

3.3 浅层领域

根据孝泉构造气藏描述成果,上侏罗统蓬莱镇组二段气藏2、4气层(Jp_2^2, Jp_4^2)为具一定展布面积的分流河道,含气响应特征明显。目前已有数口井获工业气流,近期应加快评价的步伐。

近年在洛带、马井等中小型气田发现一批不受构造圈闭控制的岩性气藏,通过追踪,有望进一步扩大气田规模。如马井气田马蓬11井,上侏罗统蓬莱镇三段气藏(Jp_3^8)在构造圈闭闭合线之下约50 m,获得工业产能且没有水的显示,根据异常的展布趋势,气层主体位于工区之外,须进一步加强研究,明确气层展布范围,不断扩大含气面积。

龙36井在2000年实现了遂宁组的突破,在2001~2002年,先后针对遂宁组(J_3s)部署了探井10余口,均获工业气流,实现了洛带-廖家场勘探的重要突破。与该区蓬莱镇组(J_3p)和沙溪庙组(J_2s)储层展布与构造长轴一致不同,遂宁组(J_3s)

储层的展布与鼻状构造长轴展布方向垂直线斜交,形成了有效性很高的圈闭,这就是遂宁组储层物性较差,但单井产量和压力较高的原因。洛带-廖家场遂宁组气藏在纵向主要发育4套砂体,圈闭资源量约 $200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。关于该区近期的部署,一是要加强综合研究,查明气藏类型和地震含气响应特征;二是要加快立体勘探和甩开勘探的步伐。

深拗陷中的浅层将不作为寻找大中型气田勘探目标的有利地区。川都416井单井气藏的发现曾使我们激动不已,它向人们展示了川西拗陷天然气的广泛分布和一种新的气藏类型的诞生。但是由于没有明确的、规模较大的隆起存在,不可能将分散的烃源汇聚起来,形成一定规模的气藏,往往以单井气藏的形式出现。由于含气丰度较低,即使经过压裂改造仍不能像新场、洛带气田那样显著提高单井产能。同时,沉积时长期处于拗陷,岩相条件较差,对规模储集天然气也不利。位于梓潼向斜的玉泉地区可能具有类似的地质特征,这就是造成数口钻井落空的重要原因。总结勘探道路上的经验,对深拗陷的勘探一定要持审慎的态度。

参 考 文 献

- 1 王庭斌. 中国天然气理论进展及勘探战略[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 1~7
- 2 戴金星, 夏新宇, 卫延召. 中国天然气资源及前景分析—兼论“西气东输”的储量保证[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 1~8
- 3 杨克明, 唐宇, 李书兵, 等. 川西拗陷低孔渗气藏成藏机理及勘探潜力[A]. 见: 李干生, 张永刚, 朱起煌, 主编. 21世纪中国油气勘探国际研讨会: 中国石化论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2002. 100~109
- 4 吴世祥, 汪泽成, 张林, 等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 210~216
- 5 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征及天然气控气作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347~351
- 6 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system from source to trap[M]. Tulsa: AAPG Memoir 60. 1994

(Please Turn to Page 331)

OVERPRESSURE AND ITS RELATION TO PETROLEUM ACCUMULATION IN SOUTHERN EDGE OF JUNGGAR BASIN

Zhao Guiping

(*Computational Geodynamics Laboratory, Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing*)

Abstract: Measured formation pressure, well-log and mud weight data show that there are overpressures in the southern edge of Junggar basin. Vertically, overpressure distribution is not directly related to the burial depth, it is mainly controlled by stratigraphic horizons, especially the lower Tertiary Anjihaihe Formation has the most evident control over the overpressures. Horizontally, overpressure occur in the 3 structural belts in southern edge of the basin, but there are differences in the east and in the west: in the eastern part overpressures occur in the Anjihaihe Formation only, while in the western part, they occur not only in the Anjihaihe Formation, but also in the Shawan and Ziniguanzi Formation. Analysing the relationship between the well test data and overpressures in the southern edge of Junggar basin, it can be found that the distribution of oil and gas reservoirs are closely related to the overpressures. Being affected by faulting, and due to the differences in mechanism of relationship between overpressures and preservation of oil and gas reservoirs, the distribution of overpressures and oil and gas reservoirs cannot be corresponding to one another. As a whole, however, oil and gas would be ready to be reservoirized in the normally pressured zone below the moderately abnormal pressured or overpressures zone, which would, therefore, be the favorable target of petroleum exploration; while the overpressured zone with relatively high formation pressure coefficient is unfavorable for oil/gas reservoirizing.

Key words: southern margin of Junggar basin; overpressure; oil/gas reservoirizing

(Continued from Page 326)

STATUS OF OIL & GAS RESOURCES AND PROSPECTING POTENTIAL IN WESTERN IN SICHUAN DEPRESSION

Yang Keming^{1,2}

(1. *College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan;*

2. *Southwest Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan*)

Abstract: The western Sichuan depression has experienced very complicated evolution. As a result, it is characterized by vertically stacking of various basin types, multiple styles of trap structure, multiple source and reservoir rocks, and multiple superimpositions and reconstructions. Although abundant petroleum resources have been generated, the special distribution of oil and gas is under-concentrated. Systematic study of dynamics of hydrocarbon reservoirizing indicates that there might have been late reservoirizing condition in this area, and major migration and accumulation of oil & gas might have occurred before the reservoirs to be tightened. Forming phase of trap is crucial to trap validity, and the features of composite petroleum system control the distribution pattern of gas reservoirs to be three-dimensionally in groups. According to the characteristics of hydrocarbon resources in western Sichuan depression and aiming at the large prospecting targets, main objects of near and medium term exploration plans should be focused on deep gas reservoirs, expanding exploration of moderate deep gas reservoirs and extending the periphery shallow gas reservoirs.

Key words: western Sichuan depression; oil & gas resources; dynamic system of hydrocarbon accumulation; prospecting target