

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

中国前陆盆地油气富集规律

宋岩^{1,2)}, 赵孟军¹⁾, 柳少波¹⁾, 洪峰¹⁾, 秦胜飞¹⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2) 长江大学, 湖北荆州, 434023

内容提要:天然气的富集是中国前陆盆地的特点,煤系烃源岩发育是天然气富集的主要原因;中西部前陆盆地具有多期成藏的特征,构造多期叠合、古构造发育、多套烃源岩多期演化是油气多期成藏的主控因素;前陆盆地发育三套储盖组合和原源、它源两大套成藏体系,控制着油气纵向分布;前陆盆地不同构造带地质特征控制着油气区域分布规律,逆冲带、前缘隆起带油气藏主要分布于下部成藏体系,坳陷带油气藏主要分布于上部成藏体系;在逆冲山前带油藏被破坏形成油苗、沥青或残余油藏,在坳陷内的逆冲带和坳陷带主要聚集了成熟度相对较高的天然气,在斜坡带和前缘隆起带既聚集了早期形成的油(气)藏,又聚集了晚期成熟度相对较高的天然气。

关键词:中国;前陆盆地;油气;富集规律;主控因素

1 中国前陆盆地基本概况

1.1 中国前陆盆地地质特征

Dickinson(1976)等学者所指的前陆盆地为:发育在收缩造山带与相邻克拉通之间,平行于造山带呈狭长带状展布的不对称冲断挠曲盆地。经典前陆盆地有以下几个特点:靠近盆地的褶皱—冲断带的构造负荷和沉积载荷促使盆地弯曲沉降;盆地横剖面明显不对称;盆地靠近造山带一侧,在其演化过程中遭受变形作用,克拉通一侧与地台层序逐渐合并。

我国中西部一些造山带周缘的压性盆地,总体具前陆盆地的结构、变形和沉积特征,其形成亦与大陆岩石圈的挤压挠曲作用有关。但在该造山成盆作用发生地区,并不存在同期的碰撞或俯冲作用,因而缺乏同期岩浆弧或蛇绿混杂岩带。这类盆地的发育时限一般在碰撞造山期之后间隔较长时间,其形成的构造背景是特提斯洋的消减及非洲-阿拉伯-印度板块与欧亚板块的碰撞造山作用在欧亚大陆腹地产生了远距离效应,引起古老褶皱山系复活,大幅度隆升冲断,构造负荷导致前渊挠曲沉降、快速隆升、风化剥蚀及河流搬运的相互作用在山前地区堆积巨厚沉积物。

贾承造等(2000)、雷振宇(2001)等已对中西部前陆盆地的特征进行了总结。总体看,与典型前陆盆

地相比,我国中西部前陆盆地(尤其西部前陆盆地)构造和沉积演化有其特殊性。从前陆盆地基底构造和盆地结构来看,典型前陆盆地结构较为简单,一般叠置于被动大陆边缘或弧后盆地之上(前者如扎格罗斯、乌拉尔和磨拉石盆地,后者如落基山、马哥达雷纳和南美南部诸盆地等)(Price, 1981; Sengor, 1990),但也有个别盆地叠置于中生代或古生代褶皱基底之上,如苏门答腊盆地、卡拉库姆盆地和阿基坦盆地等。中国西部的陆内前陆盆地基底结构十分复杂,具有多阶段演化、多成因类型特点,部分前陆盆地叠加于不同类型的复合盆地之上,盆地基底分别有古生代克拉通边缘(如川西等)、古生代褶皱基底(如柴达木盆地北缘)等。

中西部前陆盆地与典型前陆盆地在演化特征和构造背景等方面也有一定差异,特别是前陆盆地之前的地质历史漫长、盆地类型复杂多样,表现出多个发育阶段,不同构造类型的盆地叠合特征。一般而言,石炭纪以前均为构造性质各异的海相盆地;二叠纪为海相盆地向陆相盆地转换过渡时期;三叠纪以后基本为陆相盆地(仅有塔里木盆地西南缘晚白垩世—古近纪有短暂的海侵);侏罗纪—白垩纪为断陷—坳陷盆地(西部);第三纪以后逐渐转为陆内前陆盆地(西部)。此外,某些前陆盆地发育两期前陆盆地的叠加,如准噶尔南缘发育二叠纪及新生代两期前陆

注:本文为国家“十五”科技攻关项目(编号2001BA605A06、2004BA616A04)和中国石油天然气股份有限公司重点项目资助成果。

收稿日期:2005-05-12;改回日期:2005-11-15;责任编辑:郝梓国。

作者简介:宋岩,女,1957年生,1982年毕业于华东石油学院勘探系石油地质专业,2002年获中国科学院博士学位。现任中国石油勘探开发研究院实验研究中心副主任,教授级高级工程师,博士生导师。主要从事天然气地质和油气成藏科研工作。通讯地址:100083,北京学院路910信箱石油研究中心。

盆地,塔里木盆地西南缘发育多期前陆盆地的叠加,包括周缘前陆盆地、弧后前陆盆地和陆内前陆盆地。

在沉积特征及演化上,典型前陆盆地发育深海复理石-海相磨拉石-陆相磨拉石沉积系列。中国中西部中、新生代前陆盆地,除塔里木西南缘前陆盆地外,几乎均由陆相沉积组成,缺乏前陆盆地海相沉积序列,大多数新生代前陆盆地直接叠加于中生代陆相断(坳)陷盆地之上,西部新生代前陆盆地还发育巨厚的陆相磨拉石沉积。

在盆地规模上,由于中国陆内前陆盆地的基底——克拉通(或陆块)规模较小,褶皱带稳定性较差,因而中西部前陆盆地规模一般较国外典型前陆盆地小,但沉积速率和沉积厚度较大,沉积速率一般大于110 m/Ma,最高可达1118 m/Ma(塔西南 N₂-Q)。

1.2 前陆盆地油气特征

尽管构造沉积特征与 Dickinson 等定义的前陆盆地有所不同,但其形成机制与典型前陆盆地有着一定的相似性(宋岩等,2002)。这些前陆盆地具备以下相似的油气地质特征:①沿造山带前缘呈不对称箕状展布;②以中、新生代沉积充填为主;③主力烃源岩为煤系,生气强度高;④具有多套含气组合,且以下生上储组合为主;⑤断层是沟通下部气源与上部储层的通道;⑥普遍发育异常高压。以上地质特征决定了我国中西部前陆盆地具有优越的天然气藏形

成条件。

1.2.1 天然气的富集是中国前陆盆地的特点

从油气潜在资源量和探明储量分析,中国前陆盆地既富气也富油,但与国外相比,中国前陆盆地气/油比明显高于国外典型前陆盆地,天然气的富集是中国前陆盆地的特点。国外典型前陆盆地如西加拿大、扎格罗斯、美国落基山等前陆盆地均为含油盆地,探明储量气/油比一般小于0.1,即使含气量相对较高的扎格罗斯盆地探明储量气/油比也小于0.8。从中国主要前陆盆地油气资源量和探明储量气/油比来看,除准西北缘、酒西和吐哈台北前陆盆地为含油盆地外,其他前陆盆地均含有一定量的天然气,特别是川西、库车、塔西南前陆盆地为富气盆地,气/油大于5。平均而言,前陆盆地潜在资源量气/油比为1.06,探明储量气/油比为0.39。

1.2.2 前陆盆地富气的主控因素

煤系气源岩发育是中国前陆盆地富气的主要原因。中国前陆盆地主要发育有三类烃源岩:①以腐殖型为特征的煤系烃源岩;②以腐泥型为主的湖相泥质烃源岩;③以腐泥型为特征的海相烃源岩(图1)。其中,以煤系烃源岩最为发育,中国中西部前陆盆地发育有三大套煤系,即石炭系—二叠系、上三叠统和侏罗系。其中侏罗系煤系分布最广,为湖沼相沉积,厚度一般在1500~2000 m 左右(戴金星等,1997),

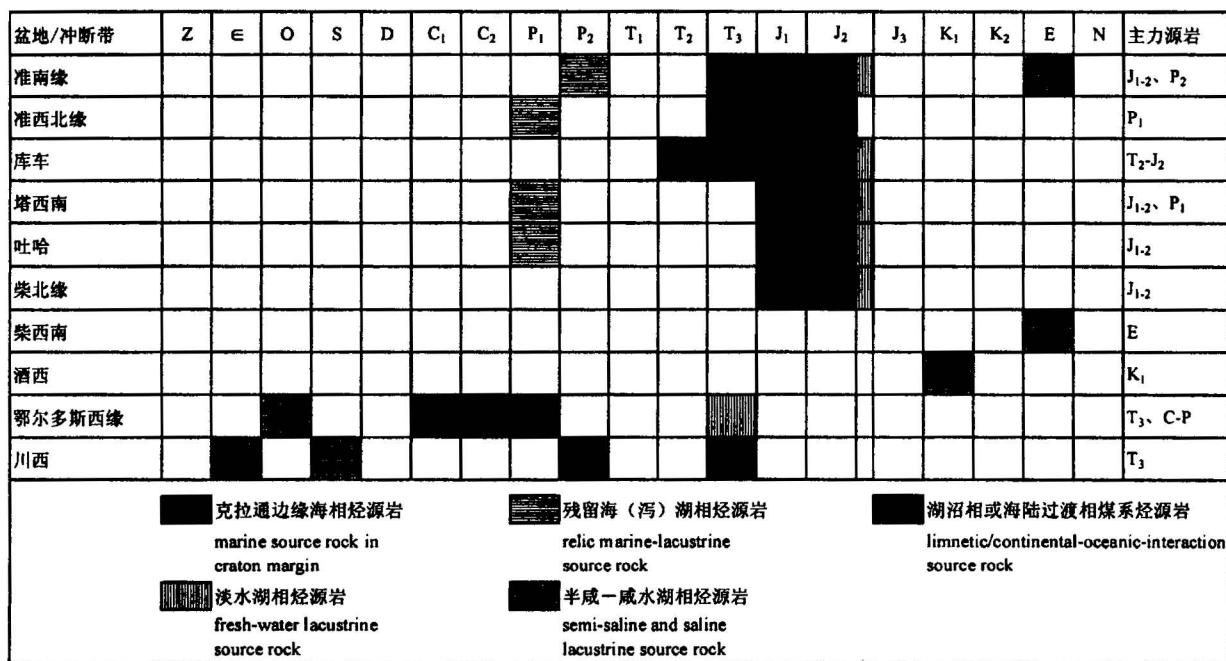


图1 中国前陆盆地烃源岩类型及层系分布

Fig. 1 Types and distribution of hydrocarbon source rocks in foreland basins of China

主要分布在塔里木、准噶尔、柴达木、吐哈等前陆盆地(吴因业,1995;冉启贵,1994;张韬,1995),这些盆地属于特提斯构造带的一部分(贾承造等,2001),其沉积构造演化及天然气形成条件与特提斯构造带西部的费尔干、卡拉库姆等盆地具有可比性。石炭系一二叠系和上三叠统煤系分别分布于中国中部地区的鄂尔多斯盆地西缘和四川盆地西缘前陆盆地,均属于海陆交互沉积。煤系发育的前陆盆地烃源岩分布范围广,几乎遍及前陆盆地的主体坳陷和斜坡,生气强度明显高于其他类型盆地,前陆盆地内生气强度普遍大于 $30 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$,在庫车、塔西南、淮南、川西等前陆盆地生气强度可高达 $100 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 以上。根据对中国储量大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气田统计表明,生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 的烃源岩有利于形成较大规模的天然气聚集(宋岩等,1998),可见,煤系发育的前陆盆地具有充足的气源条件,这也是中国前陆盆地与国外前陆盆地石油地质特征不同的关键问题之一。

2 中国中西部前陆盆地天然气成藏特征

2.1 中西部前陆盆地具有多期成藏的特征

2.1.1 川西前陆盆地成藏的特征

印支期的油气聚集主要发生在川西古隆起背景上发育的圈闭中。在南段主要发生在安县运动时(三叠纪须三期末),这里的油气主要由凹陷深处运移而来,该期油气遭受破坏,从而使上三叠统须二段储层沥青具有明显的生物降解;三叠纪末主要聚集了源自须一段、须三段的凝析油气,该期的包裹体温度为 95°C 。在北段中三叠统雷口坡组烃源岩及其早期烃源岩处于成熟阶段,生成的腐泥型原油聚集成藏,此时须一段的包裹体温度为 $60 \sim 90^\circ\text{C}$,由于晚印支运动地层遭到剥蚀,从而使油藏遭到严重的生物降解。

燕山早期,在川西的南段主要聚集了源自须一段、须三段高一过成熟的产物,该期包裹体温度为 $100 \sim 130^\circ\text{C}$,该期产物在离逆冲带较远的松华—白马庙地区既有保存也有破坏,在逆冲带中的平落坝地区则破坏殆尽;此时在侏罗系蓬莱镇组聚集了源自须五段的低一成熟阶段的产物,由于蓬莱镇组直接盖层埋藏浅,发生生物降解,储层沥青中具有明显的生物降解现象。在北段须一、须三段烃源岩处于成熟阶段,此时须一段的包裹体均一温度分布在 $100 \sim 130^\circ\text{C}$,由于须家河组烃源岩以腐殖型烃源岩为主,所以生成的产物以凝析油气为主。

燕山晚期,在南段的蓬莱镇组聚集了源自须五段的高成熟阶段湿气。在北段须家河组烃源岩主要处于高一过成熟阶段,以生成高成熟度的湿气为主,须一段的包裹体主要分布在 $150 \sim 180^\circ\text{C}$ 。

喜马拉雅期构造运动对早期形成的气藏具有调整、改造作用。

2.1.2 柴北缘前陆成藏的特征

中生代末期燕山运动在马海凸起的南八仙地区形成了侏罗系圈闭,后遭到剥蚀,构造高点缺失侏罗系,但周围侏罗系圈闭已形成;中侏罗世末,冷湖构造带抬升剥蚀,此时未形成独立的构造圈闭,烃源岩尚未成熟。

在新近纪沉积晚期,昆特依-伊北次凹陷的下侏罗统烃源岩处于低一成熟阶段, $E_{1+2}-E_3$ 圈闭进一步加强,形成早期的油气聚集,如冷湖三号、四号、五号油田和鱼卡油田,并在南八仙也有早期原油聚集。由于抬升作用或上覆盖层成岩作用较弱,早期聚集的原油遭受不同程度的降解,如南八仙 E_3 凝析油气储层中有早期原油降解的痕迹,冷湖三号存在生物降解稠油。

随着新近纪沉积地层的增加,侏罗系烃源岩进入了高一过成熟阶段,大量断层发育,使得侧向运移的油气沿断层垂向运移到有效的储层中,并和早期聚集的油气发生混合作用,多以凝析油气性质存在;喜马拉雅末期的强烈构造运动使得油气沿断层垂向运移到新近系中,形成次生油气藏。

2.1.3 淮南前陆盆地成藏的特征

三叠纪末,二叠系烃源岩进入生油高峰阶段,由于受海西期基岩断凸影响,在第一排构造带上覆三叠系形成了低幅度构造圈闭,从而形成源自二叠系的油气聚集。该期油气运移以长距离侧向运移为主。以齐古油田的三叠系油藏为代表。

白垩纪末,侏罗系烃源岩进入成熟阶段,生成的油气主要由凹陷中心向西南边缘隆起部位侧向运移。此时第一排构造带经过强烈的推覆已初见雏形,从而形成侏罗系油藏。在前陆坳陷中有构造背景的地方也有源自侏罗系、二叠系混源油气的聚集。在二叠系古隆起背景的马桥凸起的侏罗系储层中此时聚集了主要源自二叠系的油气。

N_2 末,由于巨厚的新近系沉积,侏罗系大部分处于高一过成熟阶段,开始进入大量生成煤成气阶段。由于南北向的挤压应力,使淮南燕山期古构造及古断裂得以改造并最终定型,形成现今的三排构造带和马桥凸起及白家海凸起圈闭。此时一方面聚集

源自侏罗系的天然气,另一方面由于断裂的作用使得下覆的侏罗系原生油藏破坏或向上调整,从而在喜马拉雅期圈闭中成藏,如呼图壁气田。

从上述可知,我国中西部前陆盆地具有多期聚集、晚期成藏的特征,并通过中西部前陆盆地成藏期次的对比,认为我国前陆盆地具有最主要的两大成藏期(图2):一是燕山晚期,主要是被动陆缘或中部前陆盆地三叠系烃源岩的油气聚集期;二是喜马拉雅晚期,受新构造运动影响,主要是西部陆内前陆盆地的中、新生界烃源岩的油气成藏和中部周缘前陆盆地的油气调整期。同时通过对前陆盆地不同构造带结构的演变,提出前陆盆地形成期油气成藏具有多阶段性和递进性,靠近造山带成藏早,远离造山带向克拉通方向成藏晚。

2.2 多期成藏的主控因素

研究表明,前陆盆地构造多期叠合、古构造发育、多套烃源岩多期演化是油气多期成藏的主控因素,中西部前陆盆地中生界煤系烃源岩发育和较强

的喜马拉雅晚期构造运动是晚期天然气聚集成藏的根本原因。

2.2.1 多套烃源岩多期演化是多期成藏的物质基础

中西部前陆盆地发育多套烃源岩,不同的烃源岩在埋藏过程中所处的演化阶段不同,从而在前陆盆地发育时造成前陆盆地具有多期成藏的特征。并且由于前陆盆地沉积的特殊性,造成即使是同一套烃源岩也具有生烃的多期性和成藏的多期性特点。我国中西部前陆盆地发育多套烃源岩,如鄂尔多斯西缘主要发育三套烃源岩,下古生界碳酸盐岩和泥质烃源岩、上古生界煤系烃源岩和上三叠统湖相烃源岩;川西前陆拗陷具有与鄂尔多斯西缘较为相似的源岩发育过程,除了发育巨厚的上三叠统烃源岩外,还发育中、下寒武统、下志留统和石炭系一二叠系烃源岩;塔西南前陆盆地在被动陆缘阶段发育下石炭统、下二叠统烃源岩的基础上,在前陆拗陷阶段发育中、下侏罗统烃源岩;库车前陆盆地发育中、上

地层		塔西南	库车	准噶尔	吐哈	酒泉	柴达木	四川	鄂尔多斯
新生界	第四系 Q	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	拗陷	断陷
	新近系 N								
	古近系 E								
中生界	白垩系 K ₂	拗陷断陷	拗陷	拗陷	拗陷断陷	拗陷断陷	拗陷断陷	前陆盆地	前陆盆地
	K ₁								
	侏罗系 J ₃								
	J ₂	弧后前陆	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	前陆盆地	
	J ₁								
	三叠系 T ₃								
T ₂									
T ₁									
古生界	二叠系 P ₂	被动陆缘	被动陆缘	裂谷	裂谷	基底演化阶段	基底演化阶段	克拉通边缘	克拉通边缘
	P ₁								
	石炭系 C ₂								
	C ₁								
	泥盆系 D	被动陆缘	被动陆缘	裂谷	裂谷				
	志留系 S								
	奥陶系 O ₃								
	O ₂								
O ₁									
寒武系 Є									
元古界 震旦系 Z	裂谷								

图2 中西部前陆盆地主要成藏期示意图

Fig. 2 Schematic illustration of main forming stages of reservoirs in the foreland basins located in the central-western China

三叠统和中、下侏罗统两套烃源岩;准西北发育上二叠统烃源岩和上三叠统、中、下侏罗统烃源岩;吐哈盆地主要发育中、下侏罗统烃源岩和尚待落实的二叠系和石炭系烃源岩;柴达木盆地则主要发育中、下侏罗统烃源岩。

2.2.2 多期构造复合是多期成藏的重要因素

前陆盆地多期构造复合有以下两个方面的涵义:首先是前陆盆地前古构造、前陆盆地期构造的复合以及前陆盆地后期构造运动的改造,这里的构造可以是区域上的油气聚集指向区的古隆起,也可以是挤压环境下形成的局部圈闭构造,也可以是拉张环境下形成的断垒;第二个方面是指前陆盆地形成期造山带随着时间演化而向前陆坳陷方向推移,从而形成了从造山带向盆地的由老到新的构造。由于前者往往与一个大的构造幕相对应,而后者只是同一构造幕中不同时间的产物,因此可将前者构造演化称之为多期性,后者的构造演化称之为多阶段性,对应的油气成藏则称油气多期聚集和多阶段成藏。

古隆起对油气分布的控制作用已广泛受到重视。在以往的研究中,人们往往侧重于海相克拉通盆地的古隆起研究,如塔里木盆地的塔中、塔北和巴楚隆起,四川盆地乐山龙女寺古隆起、泸州开江古隆起等,由于我国中西部前陆盆地,尤其是西部新生代的再生前陆盆地形成较晚,早期古隆起对油气分布的控制作用往往被忽略。近年来,前陆盆地中古隆起对油气的控制作用已逐渐被认识。

3 我国中西部前陆盆地油气藏纵向分布特点

3.1 沉积演化控制三大套储盖组合,上部储盖组合是油气成藏的重要组合

根据沉积演化和沉积组合特征的相似性,中西部前陆盆地大致发育三大套储盖组合即下部生储盖组合、中部生储盖组合和上部储盖组合。

下部生储盖组合,主要是前前陆盆地克拉通边缘沉积阶段(古生代一早、中三叠世)形成的生储盖组合。该储盖组合,川西和鄂尔多斯盆地西缘前陆盆地冲断带或上隆区有油气聚集。川西前陆主要发育一套二叠系台地相碳酸盐岩和海陆交互相煤系烃源岩生,中、下三叠统碳酸盐岩储,上三叠统煤系盖的生储盖组合,为下生上储型,如在前缘斜坡带的磨溪气田可见该组合的气藏;鄂尔多斯盆地西缘发育一套下古生界马家沟组海相碳酸盐岩生、储,石炭系一二叠系泥岩盖的生储盖组合,为自生自储型,如刘家

庄、胜利井气藏。中部生储盖组合,主要发育于早期前陆盆地或坳陷盆地陆相沉积阶段(三叠纪—侏罗纪),该组合煤系烃源岩发育,生储盖层互相叠置,以自生自储组合为主要特点。川西主要发育于上三叠统,如中坝上三叠统须二段气藏、平落坝上三叠统香三、四段气藏、磨溪雷口坡组气藏。鄂尔多斯西缘发育于上三叠统、下侏罗统,如南部马家滩油田、马坊油田。我国西北部主要发育于三叠系—侏罗系,淮南发育一套中、下侏罗统煤系为烃源岩,其间的砂岩为储层,侏罗系八道湾组为盖层的组合,如齐古油气田侏罗系油藏;柴北缘发育一套以中、下侏罗统煤系为烃源岩,中、下侏罗统为储盖层的组合,如冷湖三号、冷湖四号侏罗系油藏。上部储盖组合,主要发育于新生代陆内前陆盆地沉积阶段(白垩纪系—新生代),该组合是前陆盆地储层和区域盖层发育有利组合,主要油气源来自中部组合烃源岩。我国中部的川西主要发育于侏罗系,烃源是上三叠统煤系,储层是侏罗系宽浅湖相砂岩,储层上覆的侏罗系泥岩为盖层,如南部白马庙、平落坝、新场侏罗系气藏;我国西北部主要发育于白垩—新近系,淮南呼图壁紫泥泉子组气藏、吐谷鲁古近系油藏、独山子沙湾组油藏;柴北缘南八仙古近系油气藏;塔里木库车前陆克拉2白垩系气藏、迪那2新近系气藏、塔西南柯克亚新近系气藏等都分布于该组合。

通过对这三大套组合的匹配分析,可以发现,上部储盖组合虽然空间的匹配上欠佳,缺少相邻的油气源,只有发育沟通气源的断裂才能达到最理想的效果,但总体来说这套储盖组合生烃期、储层成岩阶段和盖层有效封盖等因素达到最好,在时间匹配上最佳,是时效最佳匹配组合类型,实践也证明了该套组合的高效性,目前在中西部前陆盆地发现的油气藏从规模和数量上都优于中、下部生储盖组合。

3.2 两大套区域性盖层决定前陆盆地发育原生和(远源)它生两套成藏体系

我国中西部前陆盆地至少发育两套比较重要的区域性盖层,一套基本上是湖沼相阶段形成的煤系中的泥岩,另一套是干旱条件下氧化宽浅湖相或边缘海相泥岩或膏岩。前者对煤系中的自生自储原油气藏构成封盖,而后者则对于由断层沟通下伏烃源或原生气藏所形成的油气藏起到极好的封盖作用,从而形成煤系自生自储原生和中、新生代下生上储(远源)它生两套成藏体系(图3)。

煤系中的区域性盖层:中西部前陆盆地煤系区域性盖层基本上都发育于上三叠统一侏罗系中,我国

地层	准噶尔盆地南缘	吐哈盆地	塔里木库车	塔西南	柴达木盆地北缘	鄂尔多斯盆地西缘	四川盆地西部	沉积演化阶段
Q								新生代陆内 前陆盆地沉积
N ₂			大宛齐油藏		上油砂山组			
N ₁	塔西河组 独山子油田		吉迪克组 迪那气田	西河浦组 柯克亚气田	南八仙气田 冷湖四、五号油田			
E ₃	安集海河组		苏维依组 库姆格列木组	柯克亚气田	下于集沟组			
E ₁₊₂	呼图壁气田		英买7气田	阿尔塔什组	南八仙气田 马海气田 冷湖四号油田			
K ₂		雁木西油田 神泉油田 连木沁油田	克拉2气田 大宛齐气藏 牙哈气田					中生代拗陷 盆地沉积
K ₁		胜北3号油田					新场气田 白马庙气田	
J ₃		齐古组 七克台组	齐古组 恰克马克组				遂宁组	
J ₂	齐古油气藏	胜金口油田 鄯善油田 丘陵油田 丘东油田	克孜勒努里组 阳霞组	杨叶组			新场气田 白马庙气田 平落坝气田	
J ₁	三工河组 齐古油气藏		依南2气藏			马坊油田 樊家川油田 马家滩油田	须家河组 中坝、新场气田 平落坝气田	
T ₃		小泉沟群			冷湖三号油田			早期前陆盆地 沉积
T ₂		吐玉克油田 伊拉湖油田					中坝气田	
T ₁								
P ₂₊₃						上石盒子组		前前陆盆地 (克拉通)
P ₁	气田 油田 区域盖层 Gas field Oil field Regional cap rock			普司格组 巴什托普油田		刘家庄气藏 胜利井气藏		

图3 中西部主要前陆盆地区域盖层与油气藏

Fig. 3 Regional cap rocks and oil and gas pools in main foreland basins of the central-and western China

西北部重点前陆盆地分布层位均在侏罗系,鄂尔多斯西缘和川西前陆主要发育于上古生界和上三叠统,鄂尔多斯西缘安定组为红色湖相泥岩,也是一套分布稳定的区域盖层。如川西前陆盆地上三叠统区域性盖层100~400m不等,具低孔低渗,高突破压力值,孔隙度一般在0.5%~3.5%,渗透率普遍小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,实测泥岩突破压力在10.3~12.5 MPa,磨溪、平落坝上三叠统气藏分布于其下。淮南下侏罗统三工河组泥岩累厚94.34~442.7 m,在南缘泥岩普遍在200 m以上,泥质岩孔隙度一般为1.32%~7.87%,渗透率为 $(0.00172 \sim 0.1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力14~25 MPa,其封闭能力也较好,齐古油气藏也位于其下。塔里木库车阳霞组和克孜勒努里组区域盖层一般200~500 m,对依南2气藏形成封盖。

氧化宽浅湖相或边缘海相泥岩或膏岩区域盖层:这套盖层是在干旱气候条件下氧化宽浅湖相或边缘海相泥岩或膏岩,分布于上侏罗统及以上地层中。岩性主要为红色泥岩和膏盐岩,其中膏盐岩具有

极好的封盖性,如塔里木库车古近系库姆格列木组、苏维依组膏泥岩盖层,一般100~1000m,多在500m,最厚可达3000m,石膏泥岩突破压力可高达202.6MPa,构成了库车西部克拉2大气田、大宛齐气藏、牙哈油气田等的盖层;新近系吉迪克组膏泥岩盖层在库车东部厚可达1500m,膏泥岩的突破压力也可达19MPa,是迪那2气田区域性盖层。泥质岩盖层也有较好的封盖性,如淮南古近系安集海河组泥岩厚普遍大于200m,单井泥岩累厚可超过1000m,突破压力可达14.4MPa(西参2井),呼图壁气藏位于该盖层之下。

4 中国中西部前陆盆地区域分布规律

前陆盆地垂直于造山带方向由造山带向盆地往往可以分为楔顶带、前渊带、前隆带和隆后带,或者有的研究者分为前陆冲断带、前陆拗陷、前陆斜坡、前陆隆起和隆后拗陷(刘和甫等,1994;何登发等,1996)。构造带特征控制了前陆盆地油气藏区域分布规律。

4.1 不同构造带油气藏的类型不同

前陆冲断带主要发育背斜、断背斜、断块和盐拱背斜油气藏。前陆冲断带背斜构造是前陆冲断带常见的圈闭类型,也是主要的油气藏类型。受挤压作用而成,背斜的分布一般平行于逆冲带成带状分布。形态上背斜两翼一般不对称,造山带一侧平缓,而向坳陷一侧比较陡,有的甚至为平卧褶皱。较为典型的背斜气藏如川西的中坝背斜气藏、平落坝油气藏,塔西南的柯克亚背斜油气藏等。

前渊坳陷—斜坡带由于构造变形较弱,地层、岩性油气藏为主要发育的油气藏类型,但也存在低幅度的构造油气藏,在构造复杂的前陆盆地或受晚期冲断作用较强的前陆盆地前渊,除岩性圈闭外,构造油气藏及构造—岩性复合的油气藏也比较普遍,如川西前陆盆地白马庙气田、大兴西气田等。

前缘隆起是前陆盆地的重要组成部分,它是岩石圈受构造侵位产生挠曲变形的均衡补偿,整体表现为拱张背形,且往往伴随张性正断层的发育。由于中西部前陆盆地具有多期叠合的特点,对于早期前陆盆地形成的前缘隆起往往为后期构造所改造或叠加,使得早期形成的前缘隆起构造结构复杂化,从而导致其油气藏的类型也多样化,但仍以构造油气藏为主,也有与不整合有关的地层油气藏(周新源, 2002)。

4.2 不同构造带两大套成藏体系的平面分布不同

前陆冲断带由于推覆强烈,往往把下部地层推至浅部,前陆盆地发展阶段的边缘海相烃源岩也可被卷入,发育不同油气来源的油气藏为主要特点,在山前推覆褶皱强烈的地区,断层发育,但保存条件相对差些,主要发育中、下部组合的自生自储和下生上储原生油气藏体系,如川西龙门山北段出现海相地层气藏,中段见上三叠统自生自储气藏;柴北缘靠山前带中部组合见自生自储油藏;准南山前第一排构造也有中生代自生自储油气藏,在往盆地方向推覆褶皱较弱的地区,生储盖组合齐全,断层较发育,具有较好的保存条件,但下部组合埋藏深度大,成藏可能性较小,主要发育中、上部生储盖组合类型的油气藏,由于烃源断层的导通,不仅有自生自储型油气藏,而且有下生上储盖组合的次生油气藏,含有原生成藏体系和(远源)它生成藏体系。前陆坳陷带构造作用较弱,构造圈闭、断层不发育,沉积厚度大,主要以自生自储岩性或低缓构造油气藏,发育原生成藏体系为特点。前陆斜坡和前缘隆起带靠近克拉通方向,前陆层系变薄,构造变形弱,是前陆期生烃中心油气运移的指向区,油气以顺层侧向运移为主,也是原生成藏体系发育的地区。

4.3 平行于构造带油气具带(环)状分布特征

受到前陆盆地造山带挤压逆冲作用的影响,前

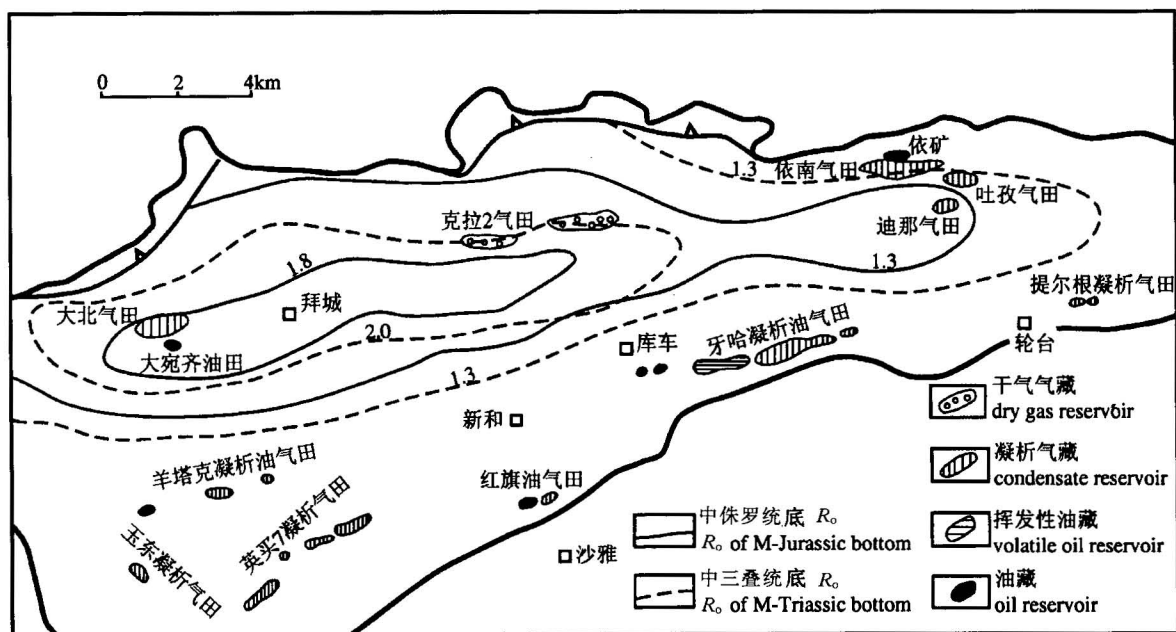


图 4 库车坳陷烃源岩成熟度及油气藏类型平面分布图

Fig. 4 Maturity of source rocks in Kuqa depression and distribution of reservoir types

陆坳陷沉积物厚度大,其次为前陆逆冲带和斜坡带,这种不同构造带上沉积物厚度的差异最终导致烃源岩成熟度也平行于造山带分布,沉降凹陷的烃源岩成熟度较高,而在逆冲带和斜坡带烃源岩成熟度较低,造成油气在平面上呈环带状分布,沉积凹陷以产气、凝析气为主,而逆冲带、斜坡带和前缘隆起油/气比增大。例如库车前陆盆地拜城凹陷中侏罗统烃源岩成熟度 R_o 可达1.8%,中三叠统黄山街组 R_o 可达2.0%以上,形成了一个高-过成熟的生气中心,在逆冲带及斜坡带烃源岩成熟度 R_o 多低于1.3%,以生油和凝析气为主。库车前陆盆地油气分布基本上与烃源岩成熟度的分布相吻合。围绕生气中心分布有克拉2气田、大北1气藏,天然气成熟度较高,为干气,与气源岩成熟度相匹配;由沉降凹陷向逆冲带和斜坡带,油气藏演变为凝析气藏、挥发性油藏和油藏,如依南2湿气藏、提尔根凝析气田、牙哈凝析气田、英买7凝析气田、羊塔克凝析气田和玉东2凝析气藏等。

参 考 文 献 / References

- 戴金星,宋岩,张厚福,等.1997.中国天然气的聚集区带.北京:科学出版社.
何登发,吕修祥,林永汉.1996.前陆盆地分析.北京:石油工业出版社.
贾承造,何登发,雷震宇,等.2000.前陆冲断带油气勘探.北京:石油

- 工业出版社.
贾承造,杨树锋,陈汉林,等.2001.特提斯构造北缘盆地群构造地质与天然气.北京:石油工业出版社.
雷振宇,何登发,张朝军.2001.中国中西部类前陆盆地与内型前陆盆地类比及其油气勘探前景.地球学报,22(2):169~174.
刘和甫,梁慧社,蔡立国.等.1994.天山两侧前陆冲断系构造样式与前陆盆地演化.地球科学,19(6):727~741.
宋岩,戴金星,李先奇.等.1998.中国大中型气田主要地球化学条件和地质特征.石油学报,19(1):1~5.
宋岩,夏新宇,秦胜飞.2002.中西部前陆盆地天然气勘探前景.矿物岩石地球化学通报,21(1):26~29.
吴因业.1995.吐哈盆地侏罗系含煤岩系沉积层序研究.石油勘探与开发,22(5):35~39.
冉启贵.1994.华北古生界煤岩成烃及二次成烃研究.石油勘探与开发,22(增刊):6~9.
张韬.1995.中国主要聚煤期沉积环境与聚煤规律.北京:地质出版社.
周新源.2002.前陆盆地油气分布规律.北京:石油工业出版社.
Dickinson W R. 1976. Plate tectonics and hydrocarbon accumulation, AAPG Educational Series.
Price R A. 1981. The Cordilleran foreland thrust and fold belt in the southern Canadian Rocky Mountains. In: McClay K R, Price N J, eds. Thrust and Nappe Tectonics. Geological Society of London Special Publication, 9: 427~448.
Sengor A M C. 1990. A new model for the late Paleozoic—Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. In: Robertson A H F, Searle M P, Ries A C, eds. The Geology and Tectonics of the Oman Region: The Geological Society of London Special Publication, 49: 797~831.

Oil and Gas Accumulation of Foreland Basins in China

SONG Yan^{1,2)}, ZHAO Mengjun¹⁾, LIU Shaobo¹⁾, HONG Feng¹⁾, QIN Shengfei¹⁾

1) Research Institute of Petroleum Exploration and Development of CNPC, Beijing, 100083

2) Yangtze University, Jingzhou, 434023

Abstract

Foreland basins in China are characterized by enrichment of natural gas due to the existence of coal measures strata source rock. Multi-stage reservoir forming and the accumulation of oil and gas represent the important features of the foreland basins in the middle and western parts of China. Its prevailing geological controls include their complex tectonic development involving superimposed basins, the development of paleo-tectonics and the formation of multiple hydrocarbon source rock/reservoir combinations. In foreland basins, There are three sets of combinations of reservoir and cap rocks and two pool forming systems in foreland basins including self-source and derived-source, which control the distribution of oil and gas in vertical direction. The different characteristics of structural belts in foreland basin play a controlling role in the distribution of oil and gas. Oil reservoirs in the thrust belts and forebulge are located in the lower reservoir forming system while oil reservoirs in the depression are distributed in the upper reservoir forming system. Oil reservoirs formed before are destroyed and become oil seepages, asphalt or residual oil reservoirs in the piedmont while relatively more matured gas is accumulated in the foreland thrust belt and in the depression. The slope zone and the forebulge belt are the accumulating areas for the early formed oil/gas and relatively matured gas which formed latter.

Key words: China; foreland basin; oil and gas reservoir; oil and gas enrichment; main controlling factors