

文章编号:0253-9985(2010)06-0753-10

中国中西部碎屑岩领域油气富集主控因素与勘探方向

郑和荣,尹伟,胡宗全,伍新和,王传刚,陈新军,李松

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:在油气藏解剖的基础上,根据油气来源将中国中西部碎屑岩层系油气藏类型分为内源型、外源型和混源型,其中内源型又细分为内源自源型油气藏和内源它源型油气藏,外源型细分为外源次生气藏和外源原生油气藏。内源自源型油气藏具有烃源岩与储集层在纵、横向上就近配置的特点,易于形成大面积岩性油气藏或富集高产的构造油气藏,其油气富集主控因素为强生烃灶、凹中隆起和有利相带,是碎屑岩层系中寻找大中型油气田的首选领域;内源它源型油气藏既需要碎屑岩层系内部存在烃源岩,又需要通过纵、横向运移至上部碎屑岩层系中聚集成藏,其油气富集主控因素为强生烃灶、输导体系和(古)构造,是寻找富集高产构造油气藏的重要领域;外源型油气藏需要与下伏海相层系强生烃灶或者大型海相层系油气藏(田)在横向上邻近,还需要断层、不整合或疏导层构成的运移网络,其油气富集主控因素为输导体系有效性和下伏油藏规模,是寻找中小型次生气藏(田)群和较大型地层油气藏的重要领域。

关键词:碎屑岩;生烃灶;岩性油气藏;油气富集;中国中西部

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Main controlling factors for hydrocarbon accumulation and potential exploration targets in clastic sequences in western-central China

Zheng Herong, Yin Wei, Hu Zongquan, Wu Xinhe, Wang Chuangang,
Chen Xinjun and Li Song

(1. SINOPEC Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Clastic oil pools in western-central China may be classified into three main types in accordance with their oil/gas origins, namely the internal-sourced (hydrocarbons being sourced inside the clastic sequences, the external-sourced (hydrocarbons being sourced outside the clastic sequences) and the mixed type (hydrocarbons being sourced both inside and outside the clastic sequences). The internal-sourced pools can be subdivided into self-sourced (with source rocks occurring within the reservoir interval) and non-self-sourced (with source rocks occurring outside the reservoir intervals), while the external-sourced types can be subdivided into secondary and primary pools. The self-sourced pools in the internal-sourced category feature in both vertical and lateral adjacency of source rocks to reservoirs, which is favorable for the formation of large lithological reservoirs or highly productive structural reservoirs. The major controlling factors for hydrocarbon accumulation in this type of pools are quality hydrocarbon kitchens, uplifts within a depression and favorable facies zones. They are the primary targets for discovering medium to large reservoirs. The formation of non-self-sourced reservoirs requires not only the existence of source rocks within the clastic sequences, but also the vertical/lateral carrier systems for hydrocarbon migration into the upper clastic reservoirs. Their main controlling factors include quality hydrocarbon kitchens, carrier systems and palaeo-structures/structures. They are potential exploration targets for discovering highly productive structural reservoirs. The formation of external-sourced pools require both vertical adjacency to underlying quality kitchens or lateral adjacency to large marine reservoirs (fields) and migration networks consisting of faults, unconformities or carrier beds. Their main controlling factors are efficiency of carrier systems and scales

收稿日期:2010-11-02。

第一作者简介:郑和荣(1962—),男,博士、教授级高级工程师,油气地质综合研究。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05002)。

of underlying oil/gas reservoirs. They are important targets for discovering small to medium secondary oil/gas reservoir clusters and larger stratigraphic reservoirs.

Key words: elastic rock, hydrocarbon kitchen, lithologic reservoir, hydrocarbon accumulation, western-central China

中国中西部碎屑岩领域包括四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地四个大型叠合含油气盆地的碎屑岩层系,具体而言,是指四川盆地三叠系须家河组及其以上、鄂尔多斯盆地石炭系及其以上、塔里木盆地志留系及其以上和准噶尔盆地石炭系及其以上层系。

中石化在中国中西部四大盆地碎屑岩领域共拥有石油资源量 37.68×10^8 t,天然气资源量 97.33×10^8 t 油当量,总资源量达到 135×10^8 t 油当量,该领域的资源基础良好。石油资源量主要分布于准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地和塔里木盆地,天然气资源量主要分布于四川盆地、鄂尔多斯和塔里木盆地,准噶尔盆地也有一定的天然气资源基础。截止到 2009 年底,中石化在中西部四大盆地碎屑岩领域共获得石油探明储量 1.55×10^8 t,天然气探明储量 8.77×10^8 t 油当量,而油、气资源探明率仅为 4% 和 9%。由此可见,中国中西部碎屑岩领域具有丰富的油气资源,均已获得勘探突破和规模发现,是近、中期快速增储的现实领域,具有很大的勘探潜力。

1 中国中西部碎屑岩层系油气藏“源控”分类

根据油气来源将中国中西部碎屑岩层系油气成藏分为内源、外源和混源三大类(图 1),其中内源型油气藏是指碎屑岩层系的油气来源于碎屑岩层系烃源岩,外源型油气藏是指碎屑岩层系油气来源

于海相碳酸盐岩层系烃源岩或海相碳酸盐岩油气藏,混源油气藏是指碎屑岩层系油气来源于碎屑岩层系烃源岩和海相碳酸盐岩层系油藏(烃源岩)的混源。

“源控”分类旨在将中国中西部四大盆地碎屑岩层系整体做为一个研究单元,明确不同类型油气藏富集主控因素及富集规律,有利于中西部碎屑岩层系的整体评价和勘探方向的优选。

1.1 内源型油气藏

内源型油气藏大类可细分为自源型和它源型两类油气藏,内源自源型油气藏是指烃类来源于碎屑岩层系中主力含油层系内或上、下邻近层系烃源岩,其最大特征是油气就近成藏;内源它源型油气藏是指烃类来源于主力含油层系之外的其他碎屑岩层系烃源岩,其最大特征是油气必须经过输导体系(断裂、不整合和砂体)运移才能聚集成藏。

1.1.1 内源自源型油气藏

已发现的该类油气藏主要分布在四川盆地川西坳陷的须家河组、鄂尔多斯盆地北部的上古生界、鄂尔多斯盆地南部三叠系延长组(表 1)。以川西坳陷须家河组气藏为例,主力烃源岩为须家河组须一段、须三段和须五段,主要储集层为须二段和须四段,储集层与烃源层交互分布,呈“三明治”结构。该类油气藏具有烃源岩与储集层在纵向上就近配置的特点,易于形成大面积岩性油气藏或富集高产的构造油气藏,是碎屑岩层系中寻找大中型油气田的首选领域。

1.1.2 内源它源型油气藏

已发现的该类油气藏主要分布在准噶尔盆地中生界、西缘车排子新生界、川西坳陷侏罗系、鄂尔多斯盆地南部侏罗系和天山南地区中、新生界(表 1)。以准噶尔盆地中部侏罗系油气藏为例,油气主要来源于二叠系烃源岩,必须经过油源断裂垂向运移至三工河组和西山窑组中聚集成藏。该类油气藏是寻找富集高产的构造油气藏的重要

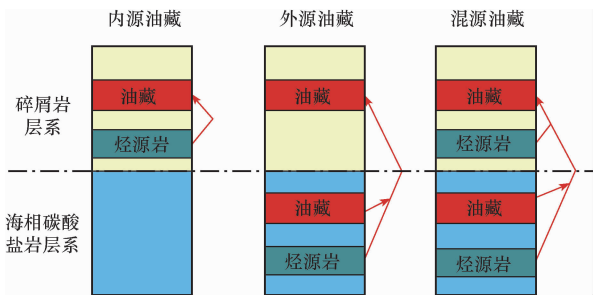


图 1 中国中西部四大盆地碎屑岩层系油气藏源控分类示意图

Fig. 1 Sketch map showing the classification of clastic oil/gas reservoirs in the four major basins in western-central China

表 1 中国中西部四大盆地碎屑岩层系源控油气藏分类方案

Table 1 Classification of clastic oil/gas reservoirs in the four major basins in western-central China			
油藏类型	油藏亚型	典型油气田(藏)	油气来源
内源型油气藏	自源型油气藏	鄂南三叠系油田	三叠系延长组长 7 段暗色泥岩
		鄂北上古生界气田	上古生界山西组煤系地层
		川西须家河组气田	须二段、须三段与须四段烃源岩
	它源型油气藏	准中 1、3 区块中生界油藏	中、下二叠统为主,局部为下侏罗统
		鄂南侏罗系油田	三叠系延长组长 7 段暗色泥岩
		川西侏罗系气田(藏)	须四段与须五段源岩,局部存在自源贡献
		准西春光油田	四棵树凹陷下侏罗统煤系地层
		天山南中、新生界油田	库车坳陷下侏罗统煤系烃源岩
外源型油气藏	次生型油气藏	塔河石炭-白垩系油田	来源于下伏的塔河海相大油田或寒武系-中下奥陶统海相烃源岩
	原生型油气藏	塔河志留-泥盆系油田(藏)	寒武系-中下奥陶统海相烃源岩
	陆相为主油气藏	川东北通南巴三叠系气藏	主要来源于须家河组,局部有下伏海相贡献
混源型油气藏	海相为主油气藏	巴什托气田、亚松迪气田	主要来源于下伏海相烃源,局部有石炭-二叠系陆相烃源的贡献

领域,盆地周缘或前陆盆地前隆区是该类油气藏发育的主要地区。

1.2 外源型油气藏

已发现的该类油气藏主要分布在塔河和塔中地区碎屑岩层系中。以塔河地区三叠系油气藏为例,油气主要来源于下伏海相碳酸盐岩油藏或海相碳酸盐岩成熟烃源岩,必须经过大型通源断裂和区域不整合运移至三叠系聚集成藏。该类油气藏既需要与下伏海相生烃灶或海相层系油气藏在横向上邻近,还需要断层、不整合或疏导层构成的运移网络,是寻找中小型次生油气藏(田)群和较大型地层油气藏的重要领域,海相层系大型古隆起及其周缘是寻找该类油气藏的主要地区。

1.3 混源型油气藏

已发现的该类油气藏主要有川东北通南巴地区三叠系气藏、巴楚-麦盖提地区石炭-二叠系气田。混源型油气藏大类根据其主力烃源是来源于海相烃源系统还是陆相烃源系统,又可分为以陆相为主型和以海相为主两种亚类型(表 1),以陆相烃源为主力烃源岩,局部有海相烃源的贡献,如川东北须家河组马路背气藏;以海相烃源为主力烃源,局部有陆相烃源的贡献,如塔中巴-麦地区巴什托气田与亚松迪气田。

理论上讲,该类油气藏既有海相烃源又有陆

相烃源,但目前发现的该类油气藏普遍具有烃源条件不突出的特点。此类油气藏一般需要良好的圈闭条件,是寻找中小型构造油气藏的重要领域,大型古隆起之上与深大断裂相邻的高幅度构造圈闭是主要勘探目标区。

2 中国中西部碎屑岩层系典型油气藏解剖与动态成藏模式

2.1 内源自源型油气藏——以川西新场须家河组为例

2.1.1 油气藏基本特征

新场气田位于川西坳陷中段孝泉-丰谷北东东向的大型隆起带西段,该隆起带位于彭州-德阳向斜和梓潼向斜之间,是从晚三叠世以来经历了多期构造运动的复合大型隆起带。主要产层须家河组属于典型的低孔低渗储层。油源对比结果表明,川西地区须二段天然气来源于须一与二段烃源岩。纵向上多层系成藏,与须家河组优质烃源岩(须一段、须三段与须五段)就近配置的须二气藏和须四气藏是内源自源型气藏的典型代表。

2.1.2 油气动态成藏模式及主控因素

构造演化史分析结果表明,孝泉-丰谷北东东向的大型隆起带形成于燕山期,喜马拉雅期继承

发育^[1~3]。生烃史热模拟结果表明,须一段(小塘子组)和须三段烃源岩在中侏罗世末期开始生烃,晚侏罗世晚期生烃速度最大,晚白垩世至今达到生烃高峰期;须五段烃源岩在晚侏罗世末期开始生烃,古近纪中期(约 45 Ma)达到生烃高峰期^[4~5]。

须二段储层致密化进程可划分为 3 个阶段^[6]:①晚三叠世末期-中侏罗世末期,储层孔渗性变差,但大部分储层孔隙度大于 10%;②从晚侏罗世开始,储层孔隙更加趋于致密,但孔隙度仍然大于 7%,仍可以满足天然气运移聚集的储集条件;③晚侏罗世末期后储层孔隙度变差,不利于天然气运移。

结合构造演化史、生烃史与储层致密史,恢复了须二段气藏成藏过程,即:①三叠纪末,须一段烃源岩开始生烃,储层物性好,天然气就近充注,形成小规模气藏;②中侏罗世末期到早白垩世(燕山中期),须家河组烃源岩大规模生排烃,储层孔隙度仍大于 7%,仍可以满足天然气运移聚集的储集条件,此时圈闭幅度大,天然气大规模充注,为气藏的主要成藏期;③晚白垩世末期至第四纪(喜马拉雅期),四川盆地整体隆升,地层遭到大量剥蚀,同时产生大量的断裂和裂缝系统,既改善了储集空间又导致了系统内的压力急剧降低,造成构造高部位的压力降低,致使早期聚集在古隆起、古斜坡上油气向构造高部位的低势区发生二次运移,最终调整聚集成藏。

油气成藏过程分析表明,控制川西须家河组成藏的主要地质因素有:优质烃源岩是天然气成藏的先决条件;燕山期适时古隆起是早期天然气成藏与富集的关键因素;晚期发育的裂缝网络系统控制天然气的局部富集。

2.2 外源型油气藏——以塔河地区三叠系油藏为例

2.2.1 油气藏基本特征

三叠系油藏主要分布于塔河地区东部,圈闭类型以低幅度构造圈闭和构造-岩性复合圈闭为主,储层为一套高孔、渗储层,三叠系上、中、下三个油组均具有独立的油、水或气、水界面^[7]。

平面上,油气主要分布在盐边构造带和南部盐上构造带^[8]。塔河主体盐边含油气构造带主

要是受北东向雁列断裂带及南部石炭系盐体大规模塑性流动的控制,在挤压应力背景下形成的北东延伸的大型低幅度背斜圈闭群,在大圈闭群的基础上又形成多个独立的低幅度构造圈闭、岩性圈闭以及复合圈闭;塔河南部盐体发育区三叠系油气藏群与一个盐上大型北北东向(或北东向)地堑式或阶梯状地堑式正断裂系统有关。油气沿着其中沟通古生界海相层系油气藏与三叠系储层的正断层作垂向运移,在靠近断裂的一系列低幅度牵引背斜和断块圈闭中聚集成藏,从而形成目前盐上的一系列低幅度牵引背斜油气藏和断块。此外,塔河南部盐上三叠系还发育数量较多的延伸短、断距小的北东向断层,控制了区内多数低幅度构造圈闭油藏、复合型圈闭油藏的形成。

2.2.2 油气动态成藏模式及主控因素

塔河地区三叠系油气藏 3 个油组成藏期基本一致,都为喜马拉雅晚期的 0~11 Ma^[9]。

三叠系油气藏既存在由下伏奥陶系风化壳油藏调整而成的次生油藏,又存在后期直接来自满加尔和草湖坳陷轻质油-凝析油气的充注^[10]。这两种油气基本上是沿着盐边断裂带由下而上运移,并就近在盐边和盐上的构造圈闭和构造-岩性复合圈闭中进行充注,其中阿克库勒断裂可能是一条重要的主干通道。

三叠系油气成藏过程:①印支-燕山期,受构造挤压作用和巴楚组膏盐塑性变形,形成了三叠系的盐边低幅度构造圈闭、盐上断背斜圈闭和构造-岩性复合圈闭;②燕山晚期,受构造运动的影响,下伏海相碳酸盐油气藏中的早期重质油气和新生的轻质油气,沿着盐边断裂垂向运移至 T₃⁰ 不整合面和三叠系各层段的砂体中局部成藏;③喜马拉雅晚期,构造挤压作用使上古生界-中生界产状反转,由南倾变为北倾,三叠系中原有盐边构造圈闭、盐上断背斜圈闭和构造-岩性复合圈闭失效,新的盐边低幅度构造圈闭、盐上断背斜圈闭和构造-岩性复合圈闭等形成,导致三叠系中原有油气藏的油气沿上倾方向进行横向调整、运移,同时与通过同样路径来自海相碳酸盐岩烃源岩新生高-过成熟油气一起,在新圈闭中充注成藏,形成现今三叠系盐边低背斜型、盐上断背斜型和构造-岩性油气藏,喜马拉雅晚期

是三叠系油气藏的主要成藏期。

油气成藏过程分析结果表明,控制塔河三叠系油气成藏的主要地质因素有:沟通下伏海相碳酸盐岩油藏的断裂、区域不整合、三叠系断裂及高导性砂岩储层控制着油气成藏与富集;喜马拉雅期构造反转控制着油气的调整运移及二次成藏。

2.3 混源型油气藏——以川东北通南巴区块马路背气藏为例

2.3.1 油气藏基本特征

通南巴区块马路背构造带位于川东北通南巴构造带,属于四川盆地米仓山-大巴山前陆构造带,总体呈北北西向展布,主要形成于海西期至燕山期,发育有川涪82断鼻、马1断鼻和马2断背斜

3个高点,断层和裂缝发育,但背斜圈闭不完整,隆起幅度不大。上三叠统须家河组构成自生自储的生储盖组合,须三段、须五段为很好的烃源岩,须二段、须四段为储层发育主要层段。目的层以须家河组为主,马1、马2井在须四段测试获工业气流,马101井在须一段测试获高产工业气流。

精细气-源对比结果表明,马路背构造须家河组储层中的天然气主要来源于须家河组烃源岩,部分可能有海相烃源岩的贡献。

2.3.2 油气动态成藏模式及主控因素

在油气源对比基础上,综合圈闭构造演化、断层发育史、储层致密史及生烃史,恢复了川东北地区马路背气藏油气成藏过程,建立了动态成藏模式(图2)。

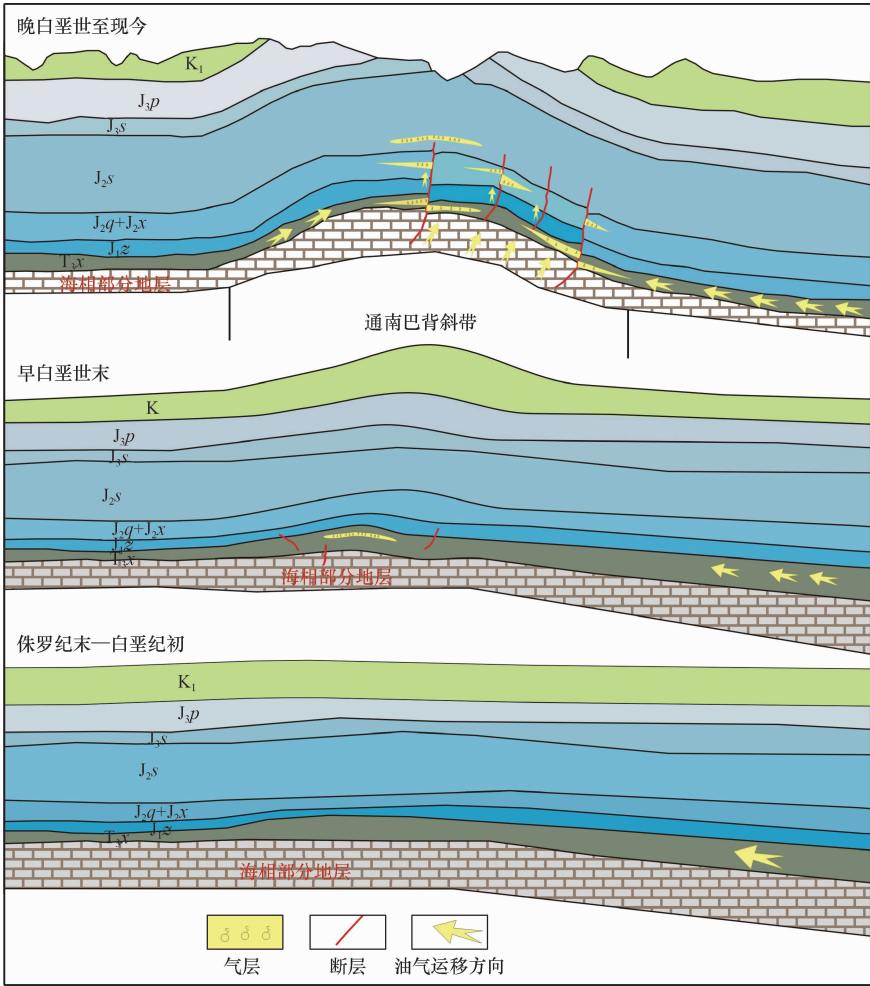


图2 川东北地区通南巴构造带马路背气藏动态成藏模式

Fig. 2 Dynamic accumulation pattern for Malubei gas pool in the Tongnanba structural belt, northeastern Sichuan province

T₃x. 须家河组; J₁z. 自流井组; J₂q + J₂x. 千佛崖组 + 下沙溪庙组; J₂s. 上沙溪庙组; J₃s. 遂宁组; J₃p. 蓬莱镇组

侏罗纪末—白垩纪初期,受燕山中幕构造运动的影响,通南巴鼻状背斜初具雏形,须家河组烃源岩进入生烃高峰,此时,由于储层孔隙更加趋于致密,但仍可以满足天然气运移聚集的储集条件,加之裂缝不发育,须三、须五段烃源岩生成的天然气就近充注到须二、须四储层中聚集成藏,须家河组气藏初始形成。

早白垩世末期,受燕山晚幕构造运动的影响,四川盆地被强烈挤压而全面褶皱上隆,通南巴构造带基本形成并定型,南、北两翼产生走向断层;同时,随着背斜褶皱形成而产生的区域裂缝、构造缝,使天然气沿孔隙和裂缝发生大规模的运移向高部位富集并成藏,形成须家河组气藏,该期为气藏形成的关键时期。

晚白垩世以来,受喜马拉雅构造运动的影响,通南巴构造带褶皱幅度加大并最后定型,同时受后期北西向构造的叠加干扰,发育了一系列的北西向的断裂和高点,使其构造更加复杂化,并且裂缝进一步发育,下伏海相烃源天然气

沿断层向上运移到须家河组。构造幅度的增加,使天然气进一步向高部位富集;由于构造被复杂化,早期形成的气藏被调整改造;同时,裂缝的发育有利于裂缝型气藏的形成,更有利于提高储层的渗透条件。该期为气藏调整改造,并最终定型。

控制川东北地区碎屑岩层系天然气藏形成的主要因素有:良好的输导条件是混源型气藏形成的重要条件;储层是控制气藏分布的最主要因素;有效的保存条件是气藏晚期调整定位的关键。

中国中西部四大盆地碎屑岩层系典型油气藏的动态解剖结果表明,内源油气藏油气成藏期次主要受控于烃源岩生排烃,外源油气藏成藏期次主要受控于沟通油源断裂的活动。晚期成藏是中西部碎屑岩层系油气成藏最显著的特征,燕山中晚期是内源自源油气藏关键成藏期,喜马拉雅晚期是外源型油气藏关键成藏期和内源型油气藏调整定型期(图3)。



图3 中国中西部四大盆地碎屑岩层系典型油气藏主要成藏期次与构造运动的关系

Fig.3 Relationship between the main accumulation stages of typical clastic oil/gas reservoirs and tectonic movements in the four major basins in western-central China

3 中国中西部碎屑岩层系油气富集主控因素及勘探方向

3.1 内源型油气藏富集主控因素

内源型油气藏油气富集的最主要控制因素是强生烃灶,其次是古隆起和有利相带,凹中隆起和强生烃灶内的有利相带是油气富集最有利地区。

1) 强生烃灶是油气富集的先决条件,控制油气的分布层位和富集地区。

川西坳陷上三叠统是一套含煤碎屑岩系,其中马鞍塘组、小塘子组、须家河组三段和五段为主要烃源岩,此外在以储集岩为主的须家河组二、四段中夹部分泥页岩也是高效烃源岩。总体上,上三叠统烃源岩厚度大、展布广,有机质丰度高、品质较好,为须家河组天然气藏的形成提供了充足的气源条件^[11]。目前,川西坳陷中段已发现的大气田均分布在生烃强度大于 $40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的区域之内(图4)。

鄂尔多斯盆地上古生界烃源岩也为一套煤系

烃源岩,主要由煤层、暗色泥岩和含泥的生物灰岩组层,发育层位主要有山西组、太原组和本溪组,分布具有东西部厚、中间薄而稳定的特点^[12]。中部和东部生烃中心区的生气强度一般为 $20 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,东部生气强度更高,达 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。生气强度对气田形成和分布具有明显的控制作用,目前已发现的大型气田均分布在生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的区域之内。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组发育半深湖-深湖相烃源岩,属较好-好的生油岩,生油中心位于吴旗-华池地区,最大生油强度 $600 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$ 以上,油源十分充足^[13]。盆地内中生界烃源岩生烃中心区控制了油田的分布。位于生烃中心区东北侧发现了靖安、安塞、延长等大油田;在西南方向发现了马岭、西峰、姬塬等大中型油田。

2) 邻近强生烃灶的适时古隆起或古斜坡控制着油气富集区带。

燕山期适时的古隆起是川西坳陷上三叠统天然气成藏的关键。川西坳陷上三叠统储层目前已经普遍致密化,川西坳陷天然气的大规模富集必

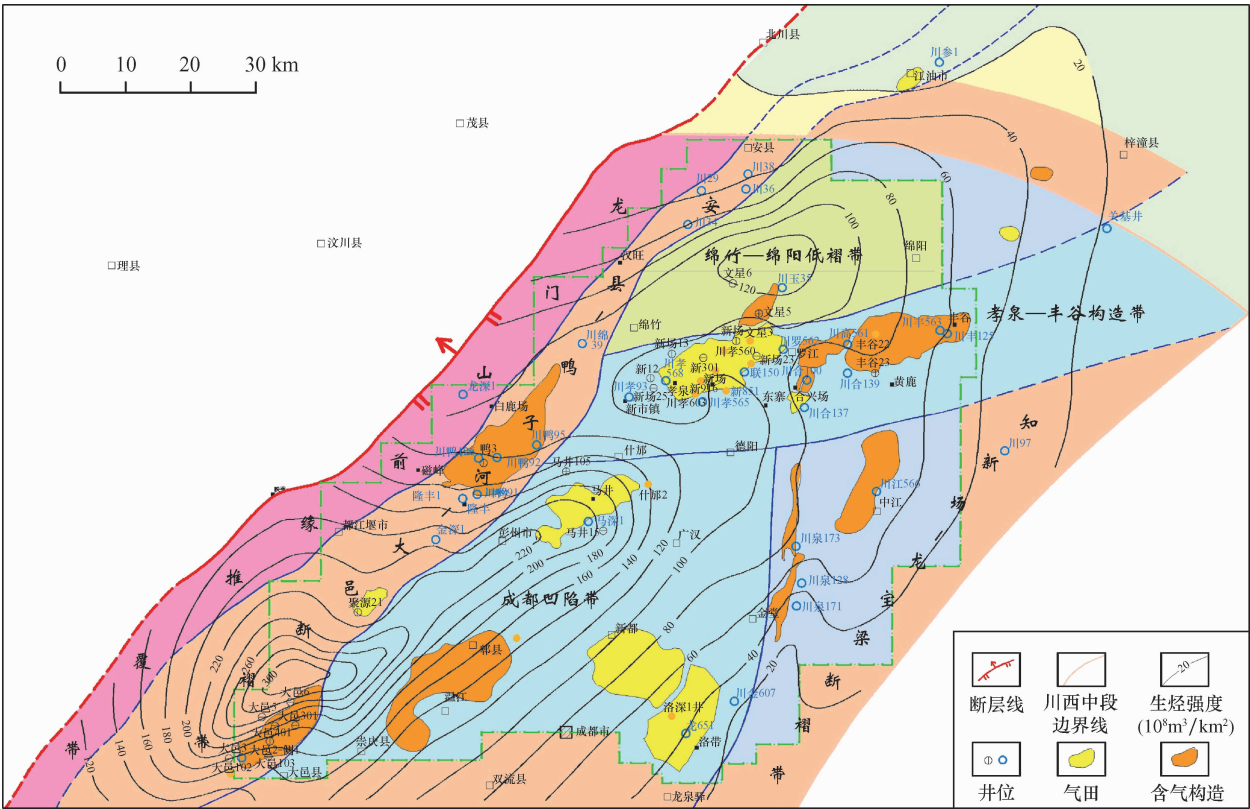


图4 川西坳陷须家河组生烃强度与气田分布

Fig. 4 Hydrocarbon-generation intensity of the Xujiahe Formation in the western Sichuan Depression with gas fields and gas-bearing structures overlapped

定发生在储层整体致密化之前,即晚白垩世以前(或喜马拉雅期以前)。

川西坳陷上三叠统须家河组燕山期发育三隆两凹的古构造格局,自北而南的排列是中坝-九龙山隆起带、新场-丰谷隆起带和邛崃-新津隆起带。与生烃期配置条件好,且与生烃凹陷邻近的新场-丰谷隆起带是早期天然气成藏与富集的有利地区(图2)。

鄂尔多斯盆地北部大型古隆起背景控制着上古生界天然气的运移、聚集。盆地北部的伊盟隆起形成于晚古生代早期,古隆起西高东低,构造轴线北北东向。侏罗纪时已具雏形,早白垩世东部强烈抬升,形成现今构造面貌,长期低流体势区是上古生界天然气运移指向区。

3) 有利储集相带或“甜点”控制油气的局部富集。

川西坳陷须家河组目前已发现的大气田主要分布在大型河流三角洲前缘。川西上三叠统须家河组中储层广泛发育,须家河组二、四段在坳陷主体部位的沉积厚度一般约500~800 m,各段沉积最大厚度可达1 000~1 100 m,砂地比平均为84.38%。须二段和须四段是以砂岩为主的区域性分布的储集层,它们不仅是天然气运移的输导层,而且为天然气成藏提供了优良的储集条件。致密背景下须家河组裂缝发育区或相对优质储层发育区(甜点)是天然气富集区。

鄂尔多斯盆地北部上古生界发育大型河流三角洲相,三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道砂体储层物性好,控制了天然气的富集^[14~18]。现已发现的苏里格、乌审旗、榆林、神木-子洲和大牛地气田均与呈长条状近南北向平行分布的三角洲平原分流河道及三角洲前缘水下分流河道砂体基本一致。

鄂尔多斯盆地三叠系延长组三角洲主砂体与长7深湖相烃源岩的交叉配置,控制着油气成藏和富集^[13]。截止至目前,在陕北北东向和陇东南向三角洲前缘砂体中发现的油气占盆地中生界探明储量的70%;近年发现的镇-涇油田就位于陇东西南向三角洲前缘砂体上,与西峰油田为同一个三角洲前缘砂体。

3.2 外源型油气藏富集主控因素

以塔河三叠系为代表的外源油气藏,其油气

富集主要受控于沟通下伏海相碳酸盐岩油气藏或海相成熟烃源岩的输导体系,位于输导体系上的圈闭群是油气富集最有利地区。

1) 以通源断裂为主的立体输导网络控制油气成藏与富集。

三叠系油气成藏受控于连通下伏油藏与三叠系储层的断裂及不整合面、高输导性砂岩储层^[7],断裂对油气成藏具有垂向调整作用。目前发现的油气藏几乎均与断裂有关,在平面上油气藏多沿断裂呈串分布,在纵向上断裂断到的层位均有油气聚集。

不整合面以及高输导性砂岩储层对油气成藏具有侧向调整作用。塔河地区经历了多期构造运动,形成了多个区域性不整合面,其中最重要的是海西早期和海西晚期运动,分别形成了石炭系底(T_0^0)与前中生界底(T_3^0)不整合面,这些区域性不整合面以及良好的三叠系储层构成的空间网络系统为油气的侧向调整、运移提供了良好通道。

塔河南盐上地区不具备断裂沟通下伏奥陶系油藏的条件,其油气主要以侧向运移为主。塔河南盐上地区油气成果以三叠系中油组最为丰富,主要是由于中油组在盐上地区发育湖底扇砂体,油气可以继续向南运移,在盐上地区遇到圈闭形成油气藏。目前,三叠系油气主要分布在北东向雁裂构造带上断裂+局部构造形成的复合型圈闭。

2) 构造上倾方向的低幅构造、岩性或地层圈闭控制着油气局部富集。

海西晚期至燕山晚期,塔河地区下古生界至中生界构造面貌一致,一直保持着北高南低的面貌、地层总体为南倾,来源于下伏油藏的油气顺着断裂运移上来以后,在三叠系储层中向北继续运移成藏;喜马拉雅期前,三叠系油气主要沿连通三叠系储层和其下伏海相油气藏的深大断裂运移至三叠系,由南往北沿 T_0^0 不整合面及砂体输导层运移至三叠系各圈闭中;喜马拉雅期后,随着构造面貌的反转,后期油气沿深大断裂运移至三叠系,由北往南沿砂体输导层运移至三叠系各圈闭中成藏,早期已形成的三叠系油气藏中油气向南、向东运移调整重新聚集成藏。

3.3 混源型油气藏富集主控因素

川东北地区通南巴构造带马路背气藏气源主

要来源于须家河组烃源岩,局部来源于下伏海相烃源;因此,其油气富集主要受控于川东北地区须家河组强生烃灶,其次是继承性发育的古隆起和裂缝发育程度。

1) 强生烃灶(生烃拗陷-次凹)控制着气藏的分布和规模。

须家河组烃源岩是川东北地区的主力烃源岩,累计厚度 90 ~ 220 m,岩性为暗色泥岩和煤。平面上,发育两个生烃次凹,即元坝-阆中生烃次凹、宣汉生烃次凹,烃源岩最大厚度达 220 m。尽管川东北地区须家河组烃源岩厚度、生气强度不如川西拗陷,但纵向生气密度较高,如通南坝地区可达 $5.6 \times 10^6 \sim 20 \times 10^6 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)$,仍具备形成大中型气田的资源基础。目前已发现的龙岗须四-须六气藏、马路背须二-须四气藏紧邻两个生烃次凹,而元坝须四气藏和九龙山须二气藏则位于元坝-阆中生烃次凹内或斜坡带。与之烃源条件类似的广安须家河组气藏及合川须家河组气藏均位于规模较小的生烃次凹周围,却获得了数以千亿方的规模储量,可见局部生烃拗陷或次凹控制着天然气的富集程度和气藏的规模与分布。

2) 继承性古隆起是油气运移聚集长期指向区。

四川盆地经历了多期次构造运动和变形,形成了多期的古构造,这些古构造对油气的早期运移和聚集有很重要的控制作用。通南巴构造为印支期继承性古隆起,构造主体形成于燕山中、晚期,定型于喜马拉雅晚期;川东北地区须家河组烃源岩的生烃高峰期有两个,分别为 179 Ma 和 163 Ma,即燕山早期;可见燕山期构造形成演化与主要烃源岩的生、排烃高峰具有良好的匹配关系,是天然气运聚指向区,有利于油气聚集成藏。

3) 裂缝发育区是天然气富集高产区。

川东北地区陆相砂岩储集层具有低孔低渗的特点,整体物性较差,因此裂缝发育程度往往成为了控制气井高产的关键因素。川东北地区高产井储层裂缝比较发育,低产井均处于构造相对低部位和远离主干断层的位置,裂缝密度较低。元坝东断裂带紧邻九龙山构造,对比分析表明,二者构造轴向、受力方式相似,均受局部构造和断层双重因素制约,适合于裂缝的发育,又保持了构造的完整性,因而有利于油气的富集和保存;另一方面,裂缝发育有利于储层渗储性能的改善。元坝 3 井位于断层裂缝发育带,裂缝控制了天然气的富集高产,须四段产气 $22.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

中国中西部碎屑岩层系已发现典型油气富集带解剖结果表明,内源型油气藏油气富集主控因素有:强生烃灶是油气富集的先决条件,控制油气的分布层位和富集地区;邻近强生烃灶的适时古隆起或古斜坡控制着油气富集区带;有利储集相带或“甜点”控制油气的局部富集。外源型油气藏油气富集主控因素有:以通源断裂为主的立体输导网络控制油气成藏与富集;构造上倾方向的低幅构造、岩性或地层圈闭控制着油气局部富集。混源型油气藏油气富集主控因素有:强生烃灶(生烃拗陷-次凹)控制着气藏的分布和规模;继承性古隆起是油气运移聚集长期指向区;裂缝发育区是天然气富集高产区(表 2)。

中国中西部碎屑岩层系典型油气富带解剖结果表明,内源自源型油气藏是中国中西部碎屑岩领域油气成藏条件最优,最富集的勘探领域,是寻找大中型油气田首选领域,结合中石化区块,近期大中型油气田勘探方向主要为川西须家河组天然气、鄂北上古生界天然气、鄂南中生界石油和准中生界石油。

表 2 中国中西部碎屑岩“源控”分类油气藏富集主控因素

Table 2 Key controlling factors for hydrocarbon accumulation in different reservoir types of clastic sequences in western-central China

油气藏类型	油气藏亚类	典型油气富集带	油气富集主控因素
内源油气藏	自源型	川西须家河组天然气	强生烃灶、凹中隆和有利相带
		鄂北上古生界天然气	强生烃灶、有利相带
		鄂南三叠系石油	强生烃灶、有利相带
	它源型	准中生界石油	强生烃灶、输导体系和(古)隆起
外源油气藏	次生型	塔河上古生界-中生界石油	输导体系有效性和下伏油藏规模
混源油气藏	自源为主型	川东北须家河组气藏	强生烃灶、凹中继承性古隆起、裂缝发育程度

4 结论

- 1) 中国中西部碎屑岩层系油气藏可划分内源型、外源型和混源型油气藏三大类。
- 2) 内源油气藏成藏期次主要受控于烃源岩生排烃,外源油气藏成藏期次主要受控于沟通油源断裂的活动,晚期成藏是中西部碎屑岩层系油气成藏最显著的特征,燕山中、晚期是内源自源油气藏关键成藏期,喜马拉雅晚期是外源型油气藏关键成藏期和内源型油气藏调整定型期。
- 3) 内源自源型油气藏具有烃源岩与储集层在纵横向上就近配置的特点,易于形成大面积岩性油气藏或富集高产的构造油气藏,其油气富集主控因素为强生烃灶、凹中隆起和有利相带,是碎屑岩层系中寻找大中型油气田的首选领域。
- 4) 内源它源型油气藏既需要碎屑岩层系内部存在烃源岩,又需要通过纵横向运移至上部碎屑岩层系中聚集成藏,其油气富集主控因素为强生烃灶、输导体系和(古)构造,是寻找富集高产构造油气藏的重要领域。
- 5) 外源型油气藏既需要与下伏海相层系强生烃灶或者大型海相层系油气藏(田)在横向上邻近,还需要断层、不整合或疏导层构成的运移网络,其油气富集主控因素为输导体系有效性和下伏油藏规模,是寻找中小型次生油气藏(田)群和较大型地层油气藏的重要领域。
- 6) 混源型油气藏既有海相烃源又有陆相烃源,但目前发现的该类油气藏普遍具有烃源条件不突出的特点,其油气富集主控因素为强生烃灶、古隆起和裂缝发育程度,是寻找中小型构造油气藏的重要领域。

参 考 文 献

1 吴世祥,汪泽成,张林,等. 川西坳陷 T₃ 成藏主控因素与有利

勘探区带分析[J]. 中国矿业大学学报,2002,31(1):75~79

2 张贵生,张世华,王信. 合兴场气田须二段气藏成藏机理研究[J]. 天然气工业,1999,19(增刊):71~76

3 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统成藏年代学特征[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):208~213

4 杨克明,叶军,吕正祥. 川西坳陷上三叠统天然气分布及成藏特征[J]. 石油与天然气地质,2004,25(5):501~505

5 吴铭,李华昌. 川西坳陷孝泉-丰谷构造带须家河组气藏成藏机制研究[J]. 成都理工学院学报,2002,29(2):161~167

6 吕正祥. 川西孝泉构造上三叠统超致密储层演化特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(1):22~26

7 丁勇,邱芳强,高玄戎. 塔河油田三叠系油气藏特征及成藏规律[J]. 中国西部油气地质,2006,2(3):257~260

8 丁勇,王允诚,黄继文. 塔里木盆地塔河地区三叠系油气勘探现状与对策[J]. 石油实验地质,2008,30(6):552~573

9 吕海涛,陈红汉,唐大卿,等. 塔河地区三叠系油气充注幕次划分与成藏时期确定[J]. 石油与天然气地质,2009,30(3):300~309

10 翟晓先,云露. 塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾[J]. 石油与天然气地质,2008,29(5):565~573

11 苏永进,唐跃刚,张世华,等. 川西坳陷上三叠统天然气成藏主控因素及形成模式[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):107~113

12 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003

13 杨华,刘显阳,张才利,等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组低渗透岩性油藏主控因素及其分布规律[J]. 岩性油气藏,2007,19(3):1~6

14 袁志祥. 鄂北塔巴庙、杭锦旗地区古生界天然气勘探前景分析[J]. 天然气工业,2001,21(增刊):5~9

15 郝蜀民,惠宽洋,李良. 鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):762~768

16 李熙岳,张满郎,谢武仁. 鄂尔多斯盆地上古生界岩性气藏形成的主控因素与分布规律[J]. 石油学报,2009,30(2):168~175

17 赵林,夏新宇,戴金星,等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素[J]. 石油实验地质,2000,22(2):136~139

18 李良,袁志祥,惠宽洋,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律[J]. 石油与天然气地质,2000,21(3):268~271,282

(编辑 董立)