

# 基于成藏体系理论的碳酸盐岩 含油气区带评价方法

——以塔里木盆地寒武系为例

周波, 李慧莉, 云金表, 徐忠美, 冯帆

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**以成藏体系理论为基础,参考前人区带评价参数标准,针对塔里木盆地碳酸盐岩层系,分别从烃源体、圈闭体、输导体和体系的有效保存性出发,建立了碳酸盐岩地质评价参数标准体系。该区纵向上以一套具有类似地质背景的圈闭体为核心,和其相关联的烃源体和输导体共同组成一个完整的成藏体系。在参数体系中,提出了输电体的 3 个评价参数:输导层类型、供烃方式和运移距离的评价标准。利用统计学方法,考虑运移距离和成藏几率的关系,指出油气运移距离评价参数分为小于 10 km、10~50 km、50~100 km 和大于 100 km。针对塔里木盆地寒武系膏盐岩下碳酸盐岩地层,采用同时考虑油气聚集单元和盆地构造单元的双要素子体系划分方法,以及考虑地质参数的不确定性开展评价。塔北隆起东侧盖层覆盖区和塔中隆起北侧为 1 类地区;顺托果勒低隆区、塔西南地区、塔中隆起南侧、巴楚隆起北侧、塔北隆起西侧为 2 类地区。

**关键词:**油气运移;油气评价;区带评价;成藏体系;碳酸盐岩;寒武系;塔里木盆地

中图分类号:TE122.35

文献标识码:A

## Petroleum accumulation system evaluation of carbonate oil and gas: a case study of Cambrian in Tarim Basin

ZHOU Bo, LI Huili, YUN Jinbiao, XU Zhongmei, FENG Fan

(Petroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

**Abstract:** An evaluation of carbonate oil and gas was carried out based on the petroleum accumulation system theory of a superimposed basin. Considering the evaluation parameters of previous achievements, the hydrocarbon resource, plays, pathway systems and the preservation of the petroleum system were analyzed for carbonate beds in the Tarim Basin. A new evaluation standard was prepared. In this standard, the plays which go through the same tectonic evolution process, and the hydrocarbon resource and pathway system, which provide hydrocarbon for the play, comprise one petroleum accumulation system. In the evaluation of pathways, three parameters, type of migration pathway, hydrocarbon supply mode, and migration distance are chosen. The statistics of migration distance and reservoir numbers showed that migration distance can be divided into four sections, <10 km, 10-50 km, 50-100 km, >100 km. Oil and gas accumulation units and basin structural units were both used to divide the oil and gas area, and the uncertainty of geological parameters was also taken into account. The evaluation of the carbonate oil and gas in the Tarim Basin was carried out. The east of the Tabei uplift and the north of the Tazhong uplift belong to class 1, while the Shuntuoguole low uplift, Southwest Depression, south of Tazhong uplift, north of Bachu uplift, west of Tabei uplift belong to class 2.

**Key words:** hydrocarbon migration; hydrocarbon evaluation; evaluation of oil and gas area; petroleum accumulation system; carbonate; Cambrian; Tarim Basin

盆地内含油气区带优选可以为油气勘探规划的制定提供科学依据,目前区带的评价一般是从油气发现概率和资源价值 2 个角度开展双要素评价<sup>[1-2]</sup>。如果不考虑资源价值,仅以区带成藏条件

为目标的区带地质评价方法,则是以油气发现概率来表征区带优劣。含油气地质概率分析方法是盆地目前勘探状态下所获的地质资料为基础,开展区带含油气性地质分析、计算得到区带含油气的概

率。此方法的规则信度模型是根据评价区油气聚集带的控制因素及影响控制因素下的若干基本地质事件而建立起来的<sup>[3]</sup>。传统意义上的油气区带多与盆地二级构造区带相似,即具有相同地质结构和相似成因的含油气地质单元。相当于含油气系统中的“Play”(McCROSSAN, 1972),是指一组具有相同或相似源岩、储层和圈闭条件的勘探目标和(或)油气藏。因此,传统意义上的区带边界基本上以二级构造单元边界为界,纵向上则以一套相似勘探目标为界。

MAGOON 1992年提出了含油气系统的概念,指出一套烃源及其相关的油气成藏过程即一个含油气系统<sup>[4-10]</sup>。利用该理论,以烃源岩为核心,前人也开展了区带评价<sup>[11-16]</sup>,该评价方法中,区带的边界一般以油气聚集单元为界,凡是和该烃源相关的储盖组合都在评价范围。然而我国西部叠合盆地海相深层含油气区往往是叠合结构,勘探目标为多个地质要素复合体,一套勘探目标,往往存在不同层系的供烃来源,这种地质目标,用含油气系统已经无法评价<sup>[17-18]</sup>。同时,由于生产部门通常以圈闭作为主要对象,采用运聚单元作为区带边界往往和构造单元不统一,使得该理论在评价中难以推广。

在传统的含油气概率评价方法中,体系评价参数基本上是以生储盖成藏要素的静态参数赋值开展评价。评价中有2个重要要素没有考虑:第一,在传统评价方法中,很少考虑油气运移距离对评价的作用,世界油气勘探实践表明,在烃源岩范围之外,油气成藏的概率仍然非常大<sup>[19]</sup>,甚至在烃源岩之外300 km的地方,仍然有大油气田发现<sup>[20]</sup>;第二,没有考虑生储盖要素在地质历史中的稳定性。前人针对复杂海相深层含油气区,提出了油气成藏体系的地质研究方法<sup>[11]</sup>,成藏体系是针对多旋回叠合盆地油气富集规律和评价的一种方法,它从烃源体、输导体、圈闭体3个地质单元的评价出发,以油气运移过程为主线,动态考虑成藏过程中3个地质体的变化。该理论以圈闭体为核心的思路,与生产单位以圈闭为目标的思路吻合,同时考虑烃源体,把勘探目标和油气生成过程有机地结合起来。成藏体系理论中考虑油气输导体的作用和生储盖要素的稳定性,恰好可以补充前人区带评价方法的不足。

本文以成藏体系理论为基础,以传统的区带评价要素为参考,提出针对成藏体系的区带评价方法,旨在解决我国西部叠合盆地区带评价问题。

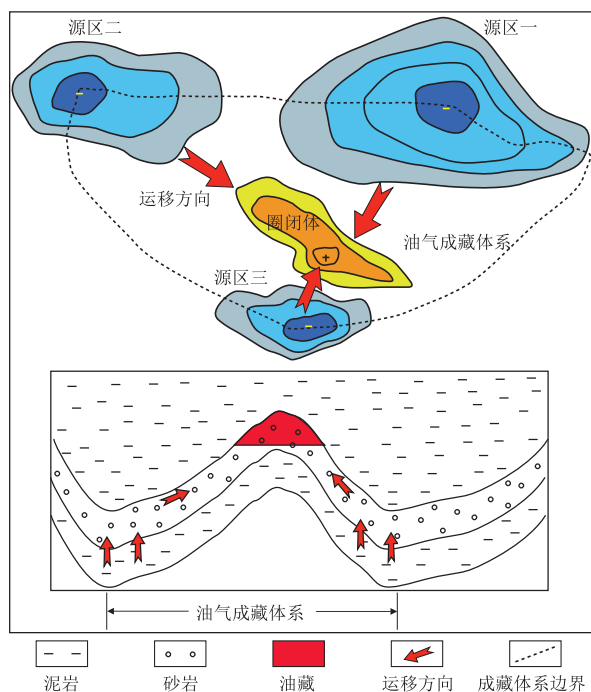


图1 成藏体系结构示意图

Fig.1 Structure of a petroleum accumulation system

## 1 成藏体系理论

油气成藏体系是地表以下含油气的自然系统(图1),它包括了形成油气藏的一切必要元素以及这些要素之间的有效配置。成藏要素包括烃源体、输导体和圈闭体,要素之间的有效配置,能够产生任何单一元素所不具备的功能——形成油气藏。油气成藏体系概念具有以下内涵:(1)“元素—结构—功能”,体现了系统论思想与石油地质研究的紧密结合,也是油气成藏体系研究的主要内容;(2)3大成藏要素中,烃源是物质基础,圈闭是勘探目标,输导是纽带,强调了二者之间相互关联、相互制约的“系统性”综合方法;(3)结构研究采用“源位匹配”的思路,不同结构的油气成藏体系其研究的内容、重点和思路均有差异,核心是判断烃源体和圈闭体的匹配关系;(4)功能(形成油气藏)是油气成藏体系研究的核心,是烃源、输导、圈闭三者相互作用的结果,并随时间在空间发生变化。

## 2 基于成藏体系理论的区带评价方法

### 2.1 地质评价参数建立

针对海相碳酸盐岩地层,以碎屑岩区带地质风险评价方法为基础,建立了一套比较成熟的参数评价体系与取值标准,主要是针对烃源岩、储层、盖层和圈闭4个地质体,考虑了海相碳酸盐岩的特征进行评价(表1)。在这种评价标准中,一套生储盖组

表 1 海相油气区带评价参数体系与取值标准

Table 1 Evaluation parameters of marine beds and their data standard

区带要素	地质参数		分值			
	名称	权系数	1~0.75	0.75~0.5	0.5~0.25	0.25~0
烃源岩	TOC/%	0.4	>3.0		2.0~1.0	1.0~0.4
	$R_o$ /%	0.3	>2.0	2.0~1.0	1.0~0.5	<0.5
	生烃高峰时间	0.3	第三纪	白垩纪	三叠纪	古生代
	生烃强度/( $10^8$ t·km <sup>-2</sup> )	0.1	>1 000	1 000~500	500~200	<200
盖层	盖层岩性	0.2	膏盐岩、泥膏岩	厚层泥岩	泥岩	砂质泥岩
	直接盖层厚度/m	0.1	>200	200~100	100~20	<20
	断裂破坏程度	0.1	无破坏	破坏轻微	破坏中等	破坏强烈
	优势孔隙	0.1	<50	100~50	350~100	>350
	突破压力/MPa	0.2	<150	150~100	100~50	>50
	源盖匹配	0.3	好	中	差	不匹配
储层	孔隙度/%	0.3	>12	10~6	6~2	<2
	储集类型	0.15	风化壳岩型	礁滩孔隙型	孔隙—裂缝	裂缝型
	裂缝发育程度	0.1	发育	较发育	一般	不发育
	储层厚度/m	0.1	>100	100~70	70~20	<20
	储层岩性	0.1	白云岩、礁滩相灰岩	介壳灰岩、粒屑灰岩	粉晶灰岩	泥晶灰岩
	沉积相	0.2	台地边缘	台地相	盆地相	
圈闭	古地貌特征	0.2	高	中	低	极低
	构造位置	0.2	古隆起	斜坡	枢纽	
	类型	0.3	构造不整合	构造	生物礁	构造—岩性
	生储盖配置	0.5	自生自储	下生上储	上生下储	异地生储

合正好组成一套评价参数体系,能够较好地开展地质风险评价。但评价方法并没有指出评价单元怎么划分,多套烃源岩存在时如何考虑参数的赋值。并且,当区带位置处于烃源体水平投影之外时,区带中烃源的参数是否有效则很难评价。因此,有必要利用成藏体系这种动态多源成藏理论,针对碳酸盐岩,从圈闭体出发,考虑输导体和烃源体的作用,形成一套评价参数体系和取值标准。

按照成藏体系的理论,把体系分为烃源体、输导体、圈闭体,同时为了考虑 3 个地质体在地质演化历史中的稳定性,设置有效保存与配置参数,总体用 4 个参数开展评价。4 个参数的评价参考海相碳酸盐岩油气区带评价参数体系与取值标准(表 1)。在新的参数体系设置中,烃源体参数不变,圈闭体参数以原来的储层评价参数为主,结合圈闭参数。圈闭体是指一个区带内部具有相同构造沉积背景的圈闭,而不是单个圈闭特征。输导体是新建立的评价参数,输导体要素包含 3 个评价参数:输导层、供烃方式和运移距离。输导层是指油气从烃源到圈闭体的通道特征;供烃方式是指油气运移路径特征,用发散流和汇聚流进行评价;运移距离就是指烃源体边界距离圈闭体的距离。有效保存与配置是用来评价整个成藏体系的稳定性,因此,延续前人评价体系中的盖层评价参数,主要考

虑区域盖层特征,同时考虑整个体系所处的构造位置,按照前人叠合盆地稳定性的评价,分为古隆起、斜坡、枢纽带和盆内 4 个评价标准<sup>[21]</sup>。最终按照上述参数,形成了基于成藏体系的评价参数体系与取值标准(表 2)。

## 2.2 输导体地质评价参数建立

输导体评价时,输导层特征和供烃方式比较容易接受,但是运移距离到底怎么评价才能反映客观地质规律尚无定论。运移距离简单地用前人<sup>[22]</sup>提出的聚集有效性和距离成反比的推理也缺乏依据。在没有物理学理论做依据的前提下,本文认为用地质统计学的方法进行评价比较客观。前人已经对油气运移距离和成藏概率的关系进行过统计<sup>[19,23]</sup>,本文以研究者对全世界碳酸盐岩油气藏运移距离和油气田个数的关系来定性评价运移距离参数<sup>[19]</sup>。按照前人研究成果,油气运移距离可以分为 4 个段(图 2),当运移距离小于 10 km,油气成藏概率非常大;当运移距离介于 10~50 km,成藏概率大幅下降;当运移距离介于 50~100 km,成藏概率比较小;当运移距离大于 100 km,形成油气藏的概率则非常小。本文采用 4 分法来定性评价运移距离对油气成藏概率的影响。按照 4 个定性评价取值方法,当烃源岩距离运移距离小于 10 km,取值 1~0.75;当运移距离介于 10~50 km,取值

表 2 基于成藏体系的评价参数体系与取值标准

Table 2 Evaluation parameters of marine beds and their data standard based on petroleum accumulation system

区带要素	地质参数		分值			
	名称	权系数	1~0.75	0.75~0.5	0.5~0.25	0.25~0
烃源体	TOC/%	0.4	>3.0	3.0~2.0	2.0~1.0	1.0~0.4
	$R_o$ /%	0.3	>2.0	2.0~1.0	1.0~0.5	<0.5
	生烃高峰时间	0.3	第三纪	白垩纪	三叠纪	古生代
	生烃强度/( $10^8 t \cdot km^{-2}$ )	0.01	>1 000	1 000~500	500~200	<200
输导体	输导层	0.4	断裂+不整合	断裂	不整合	储层
	供烃方式	0.3	汇聚流	平行流	发散流	单线流
	运移距离/km	0.3	<10	10~50	50~100	>100
圈闭体	类型	0.1	背斜	断背斜	地层	岩性
	孔隙度/%	0.2	>12	10~6	6~2	<2
	渗透率/ $10^{-3} \mu m^2$	0.2	>600	600~100	100~10	<10
	裂缝发育程度	0.2	发育	较发育	一般	不发育
	储层厚度/m	0.1	>100	100~70	70~20	<20
	储层岩性	0.1	白云岩、礁滩相灰岩	介壳灰岩、粒屑灰岩	粉晶灰岩	泥晶灰岩
	沉积相	0.1	台地边缘	台地相	盆地相	
有效保存与配置	构造位置	0.1	古隆起	斜坡	枢纽	盆内
	盖层岩性	0.2	膏盐岩、泥膏岩	厚层泥岩	泥岩	砂质泥岩
	直接盖层厚度/m	0.2	>200	200~100	100~20	<20
	断裂破坏程度	0.1	无破坏	破坏轻微	破坏中等	破坏强烈
	突破压力/MPa	0.2	<150	150~100	100~50	>50
源盖匹配	0.2	好	中	差	不匹配	

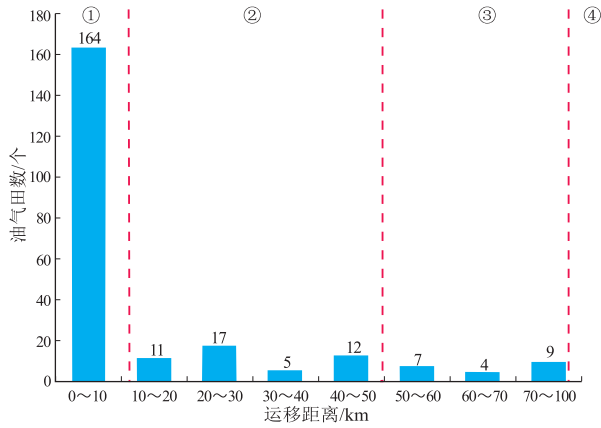


图 2 油气运移距离与成藏几率统计关系

Fig.2 Relationship between migration distance and oil reservoir numbers

0.75~0.5;当运移距离介于 50~100 km,取值 0.5~0.25;当运移距离大于 100 km,取值 0.25~0。

### 3 塔里木盆地寒武系成藏体系区带评价

#### 3.1 体系的划分原则

区带地质风险评价方法中,除了地质参数的赋值,区带的划分也是区带能否科学评价的重要依据。在含油气系统、复合含油气系统等理论中,体系划分都以烃源为核心,以一个油气聚集单元为一

个区带,这种以烃源为核心的划分方法从源控论的角度来讲更科学。但实际勘探工作中,勘探工作的目标均以具有类似特征的圈闭体为主要对象,这就需要我们z把圈闭体作为核心关注对象,因此,成藏体系的划分应以圈闭体为主要对象。

塔里木盆地古生界在纵向上存在多套成藏组合,按照成藏体系的理论,一套圈闭体及与其相关的烃源体和输导体,和一套区域盖层组成一个成藏体系。按照这个原则,盆地内古生界成藏体系可以划分寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系和二叠系成藏体系(图 3)。本文以寒武系成藏体系为研究对象开展评价,其中寒武系中、上统的圈闭体,和下伏的玉尔吐斯组烃源体,以及连接烃源体和圈闭体的输导体,在阿瓦塔格组和伍松格尔组 2 套膏盐岩区域盖层覆盖下组成寒武系成藏体系。

#### 3.2 子体系(区带)划分

进一步,在一个成藏体系内,把体系划分为不同的子体系,以子体系对应一个区带,这样,一个区带内的地质参数有关联性,地质风险概率的评价才更科学。由于成藏体系以圈闭体为核心,考虑圈闭体和烃源岩的组合关系,不能仅仅考虑烃源体流体单元特征,而是以圈闭为核心,同时考虑二级构造单元和烃源流动单元(图 4)2 个要素,采取双要素划分方法。具体划分时,没有二级构造单元边界

界	系	统	地质体类型	成藏体系					
古 生 界	二叠系		烃源体+圈闭体						
	石炭系		烃源体+圈闭体						
	泥盆系		圈闭体						
	志留系	上统		圈闭体					
		中统		圈闭体					
		下统		圈闭体					
	奥陶系	上统		圈闭体					
		中下统		烃源体+圈闭体					
	寒武系	上统		圈闭体					
		中统		圈闭体	寒武系成藏体系				
下统			烃源体		奥陶系成藏体系				
					志留系成藏体系				
						泥盆系成藏体系			
							石炭系成藏体系		
								二叠系成藏体系	

图 3 塔里木盆地古生界纵向成藏体系划分

Fig.3 Vertical division of Paleozoic petroleum accumulation system, Tarim Basin

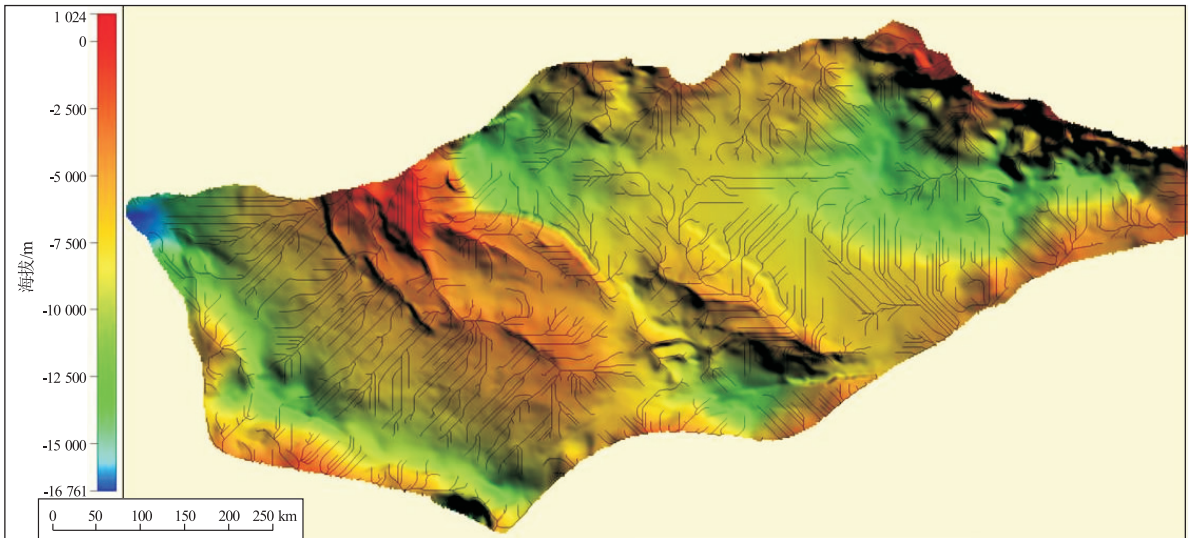


图 4 塔里木盆地寒武系顶面现今流势

Fig.4 Fluid potential of Cambrian top, Tarim Basin

时,以流体运聚单元为边界(图 4),遇到二级构造单元,优先以二级构造单元边界为子体系边界。

### 3.3 子体系评价参数确定

按照上述子体系划分方法,在盆地内开展烃源体、输导体、圈闭体和盖层参数评价。下寒武统发育玉尔吐斯组烃源体、主力储盖组合为肖尔布拉克组白云岩和阿瓦塔格组膏泥岩,分别对应烃源体和圈闭体,其和二者之间的运移通道,组成一个成藏体系的一级组合,即肖尔布拉克组成藏体系。

近年来,通过进一步研究<sup>[24-26]</sup>,已经明确,塔里木寒武系主力烃源岩发育于玉尔吐斯组沉积期,相当于纽芬兰世最大海泛面沉积发育期,烃源岩在北部拗陷普遍发育。下寒武统发育典型的肖尔布拉克组地层,整体为薄层状深灰色细晶白云岩组成

的巨厚层。在肖尔布拉克组沉积时期,塔里木盆地已经呈现出典型的东盆西台的沉积特征,在盆地西部以局限台地相沉积为主,东部则为盆地相沉积,优质储层主要发育在塔北隆起、阿瓦提拗陷、顺托果勒低隆与塔中隆起东部。寒武系发育 2 套膏岩层系,即阿瓦塔格组和伍松格组,其中阿瓦塔格组沉积厚度较大,全盆阿瓦塔格期原始沉积厚度相较于下部沙依里克期变化幅度很大,总体厚度在 125~625 m;厚度最大区域分布于顺托果勒西部北部地区、塔中地区及沙雅隆起地区,塔东及塔西南部地区厚度较薄,为 125~325 m。

根据盆地烃源体、圈闭体和油气输导特征,将地质参数按照成藏体系评价参数体系(表 2)进行赋值,利用地质风险概率方法<sup>[1-2]</sup>,对寒武系成藏

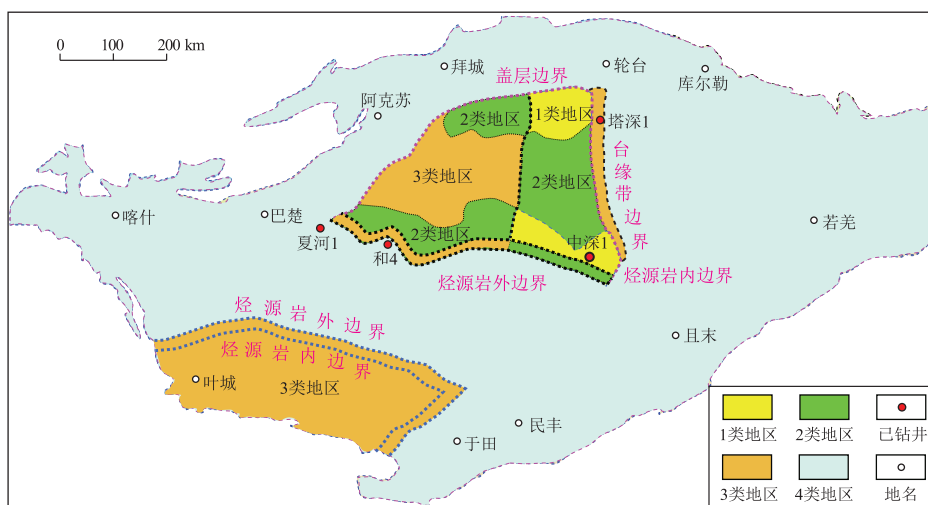


图 5 塔里木盆地寒武系区带评价

Fig.5 Evaluation of a carbonate play in the Cambrian in Tarim Basin

体系内部的子体系风险概率进行综合评价。在烃源岩评价时,以预测烃源岩范围为其内边界,烃源岩以外 50 km 线作为外边界。进一步,除了考虑地质风险概率,还要考虑地质要素的确定性。塔里木盆地烃源岩分析表明,在满加尔凹陷及邻区范围内,烃源岩有井和地震约束,烃源岩存在的确定性比较高,故将本区划分为烃源岩确定区;而在阿瓦提凹陷及邻区,寒武系玉尔吐斯组烃源岩分布的预测基本以沉积相推测为主,因此,在该范围之内的烃源岩确定性较低,按照地质要素确定性分析方法,本文给确定性赋值 0.8,相当于在原来地质风险概率基础上再乘以 0.8。将确定性要素进行赋值计算,塔里木盆地寒武系区带划分出 4 类评价区(图 5)。

塔北隆起东侧盖层覆盖区和塔中隆起北侧为 1 类地区;顺托果勒低隆区、塔西南地区、塔中隆起南侧、巴楚隆起北侧、塔北隆起西侧为 2 类地区;而阿瓦提凹陷区、巴楚隆起 50 km 烃源岩内边界外部地区、塔西南凹陷 50 km 烃源岩外边界地区为 3 类地区;其他地区为 4 类地区。但不排除 4 类地区经过勘探后发现新类型有效储盖组合的可能性。

## 4 结论

(1)成藏体系理论方法从烃源体、圈闭体、输导体 3 大地质要素出发,能够以输导体动态沟通烃源体和圈闭体 2 大要素,同时又能够考虑多源存在,能够适应在塔里木盆地这种多期叠合盆地内开展评价。

(2)以成藏体系理论方法为基础,以体系的 3 大要素和体系本身有效保存性出发,建立了成藏体系理论下的地质评价参数标准,并指出,在纵向上,

以一套具有类似地质背景的圈闭体为核心,和其相关联的烃源体和输导体,共同组成一个完整的成藏体系;提出了输电体的 3 个评价参数,即输导层、供烃方式、运移距离的评价标准。指出了区带评价过程中烃源岩范围之外的油气成藏概率评价参数,并提出了同时考虑油气聚集单元和盆地二级构造单元的双要素子体系划分方法。

(3)利用基于成藏体系理论的含油气区带评价方法和地质评价参数标准体系,对塔里木盆地寒武系开展了区带评价。评价过程中,既考虑了地质风险参数,同时又考虑了地质参数的不确定性评价。评价结果表明,塔北隆起东侧盖层覆盖区和塔中隆起北侧为 1 类地区;顺托果勒低隆区、塔西南地区、塔中隆起南侧、巴楚隆起北侧、塔北隆起西侧为 2 类地区;阿瓦提凹陷区、巴楚隆起 50 km 烃源岩内边界外部地区、塔西南凹陷 50 km 烃源岩外边界地区为 3 类地区。

## 参考文献:

- [1] 闫相宾,刘超英,蔡利学.含油气区带评价方法探讨[J].石油与天然气地质,2010,31(6):857-864.  
YAN Xiangbin,LIU Chaoying,CAI Lixue.A discussion on methods of play assessment[J].Oil & Gas Geology,2010,31(6):857-864.
- [2] 刘超英,闫相宾,高山林,等.油气预探区带评价优选方法及其应用[J].石油与天然气地质,2015,36(2):314-318.  
LIU Chaoying,YAN Xiangbin,GAO Shanlin,et al.Play evaluation methods and their application in preliminary exploration[J].Oil & Gas Geology,2015,36(2):314-318.
- [3] 阳安成,李德茂,赵儒.区带含油气地质概率分析[J].天然气地球化学,1999,10(5):23-27.  
YANG Ancheng,LI Demao,ZHAO Ru.Geological probability analysis on oil and gas zone[J].Natural Gas Geoscience,1999,

- 10(5):23-27.
- [4] LEVORSEN A I. The obscure and subtle trap[J]. AAPG Bulletin, 1966, 50(10):2058-2067.
- [5] MAGOON L B, DOW W G. The petroleum system: from source to trap[M]. Tulsa: AAPG, 1994.
- [6] PERRODON A. Petroleum systems: models and applications[J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(2):319-325.
- [7] PAN C H. Non-marine origin of petroleum in North Shensi, and the Cretaceous of Szechuan, China: geological notes[J]. AAPG Bulletin, 1941, 25(11):2058-2068.
- [8] MCCROSSAN R G, BALL N L, SNOWDON L R. An evaluation of surface geochemical prospecting for petroleum, Olds-Caroline area, Alberta[R]. Geological Survey of Canada, Olds, Caroline: Canada Department of Energy, Mines and Resources, 1972.
- [9] DOW W G. Application of oil-correlation and source-rock data to exploration in Williston Basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(7):1253-1262.
- [10] WHITE D A. Geologic risking guide for prospects and plays[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(12):2048-2061.
- [11] 金之钧, 张一伟, 王捷, 等. 油气成藏机理与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003:1-338.  
JIN Zhijun, ZHANG Yiwei, WANG Jie, et al. Hydrocarbon accumulation mechanisms and oil/gas distribution[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003:1-338.
- [12] 金之钧. 中国海相碳酸盐岩层系油气形成与富集规律[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(7):910-926.  
JIN Zhijun. Formation and accumulation of oil and gas in marine carbonate sequences in Chinese sedimentary basins[J]. Science China Earth Sciences, 2012, 55(3):368-385.
- [13] 庞雄奇, 金之钧, 姜振学, 等. 叠合盆地油气资源评价问题及其研究意义[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1):9-13.  
PANG Xiongqi, JIN Zhijun, JIANG Zhenxue, et al. Evaluation of hydrocarbon resources of superimposed basin and its significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1):9-13.
- [14] 庞雄奇, 朱伟林, 吕修祥, 等. 渤海湾盆地东部油气门限控藏研究与有利成藏区预测评价[J]. 石油学报, 2015, 36(S2):1-18.  
PANG Xiongqi, ZHU Weilin, LV Xiuxiang, et al. A study on hydrocarbon thresholds controlling reservoir accumulation and predictive evaluation of favorable accumulation areas in eastern Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(S2):1-18.
- [15] 武明辉, 金晓辉, 徐旭辉, 等. 油气区块勘探程度划分方法研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2015, 30(4):18-22.  
WU Minghui, JIN Xiaohui, XU Xuhui, et al. Research of division method for exploration degree of oil and gas blocks[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2015, 30(4):18-22.
- [16] 周总瑛, 唐跃刚. 油气资源评价中风险分析方法探讨[J]. 长江大学学报(社会科学版), 2004, 27(1):108-111.  
ZHOU Zongying, TANG Yuegang. A discussion on method of risk analysis for oil and gas resources evaluation[J]. Yangtze University (Social Sciences), 2004, 27(1):108-111.
- [17] 赵文智, 何登发. 中国复合含油气系统的概念及其意义[J]. 勘探家, 2000, 5(3):1-11.  
ZHAO Wenzhi, HE Dengfa. Concept and its significance of composite petroleum systems in China[J]. Petroleum Explorationist, 2000, 5(3):1-11.
- [18] 张庆春, 赵文智. 论含油气系统的复杂性及其研究方法: 兼论含油气系统综合模拟的科学思维和发展方向[J]. 石油学报, 2003, 24(6):1-6.  
ZHANG Qingchun, ZHAO Wenzhi. Discussion on the complexity of petroleum system and its study methodology[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6):1-6.
- [19] 周波, 金之钧, 云金表, 等. 碳酸盐岩油气二次运移距离与成藏[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(4):457-463.  
ZHOU Bo, JIN Zhijun, YUN Jinbiao, et al. Secondary oil migration distance and hydrocarbon accumulation in carbonate rocks[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(4):457-463.
- [20] 朱光有, 杨海军, 张斌, 等. 油气超长运移距离[J]. 岩石学报, 2013, 29(9):3192-3212.  
ZHU Guangyou, YANG Haijun, ZHANG Bin, et al. Ultra-long distance migration of hydrocarbon[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9):3192-3212.
- [21] 金之钧, 云金表, 周波. 塔里木斜坡带类型、特征及其与油气聚集的关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2):127-135.  
JIN Zhijun, YUN Jinbiao, ZHOU Bo. Types and characteristics of slope zones in Tarim Basin and their relationship with oil accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2):127-135.
- [22] ENGLAND W A, MACKENZIE A S, MANN D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface[J]. Journal of the Geological Society, 1987, 144(2):327-347.
- [23] 胡朝元. “源控论”适用范围量化分析[J]. 天然气工业, 2005, 25(10):1-3.  
HU Chaoyuan. Research on the appliance extent of “Source Control Theory” by semi quantitative statistics characteristics of oil and gas migration distance[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(10):1-3.
- [24] 云金表, 金之钧, 解国军. 塔里木盆地地下古生界主力烃源岩分布[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6):827-838.  
YUN Jinbiao, JIN Zhijun, XIE Guojun. Distribution of major hydrocarbon source rocks in the Lower Palaeozoic, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6):827-838.
- [25] 李斌, 彭军, 杨素举, 等. 塔里木盆地巴楚地区寒武系肖尔布拉克组储层特征及成因模式[J]. 石油实验地质, 2017, 39(6):797-804.  
LI Bin, PENG Jun, YANG Sujun, et al. Genetic model and characteristics of the Cambrian Shorebulake reservoir in Bachu area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2017, 39(6):797-804.
- [26] 陈强路, 储呈林, 胡广, 等. 塔里木盆地柯坪地区寒武系玉尔吐斯组沉积环境分析[J]. 石油实验地质, 2017, 39(3):311-317.  
CHEN Qianglu, CHU Chenglin, HU Guang, et al. Sedimentary characteristics and depositional environment of Yuertusi Formation in Keping area, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2017, 39(3):311-317.