

柴达木盆地石油地质条件、资源潜力及勘探方向

陈琰, 雷涛, 张国卿, 袁莉, 王铎, 吴志雄, 陈景华, 杨乾霞

中国石油青海油田分公司

摘要 通过对柴达木盆地石油地质条件的分析,总结建立了富烃凹陷古构造藏、源外古隆起-古斜坡成藏、源上晚期构造藏以及富烃凹陷周缘斜坡致密油-岩性成藏等4类石油成藏模式,优选类比法和成因法客观评价了盆地不同区带、不同区块、不同层系的常规油及致密油资源,得出常规油地质资源量为 $29.59 \times 10^8 \text{ t}$,致密油资源量为 $8.58 \times 10^8 \text{ t}$ 。结合盆地石油勘探现状,理清了剩余常规石油地质资源及其分布,明确柴西地区为剩余常规石油地质资源最丰富、资源丰度最大的地区。指出盆缘古隆起及斜坡区、盆内凹陷-斜坡区、盆内大型晚期构造带是近期重点勘探领域;狮子沟—大乌斯构造带、油泉子—开特米里克构造带、阿尔金山前西段是常规石油有利勘探目标,柴西南区的跃东—扎哈泉—乌南和红柳泉—跃进一带,以及柴西北区的小梁山—南翼山等地区是致密油勘探现实有利区。

关键词 地质条件;成藏模式;资源潜力;勘探方向;石油;柴达木盆地

中图分类号: TE155

文献标识码: A

0 前言

柴达木盆地是中国西部唯一以新生界为主的大型含油气盆地^[1],与中国其他含油气盆地相比,高原持续性隆升背景和成盆多期性改造背景使之具有复杂的地理环境和独特的石油地质条件。

自1954年开始油气勘探以来,柴达木盆地经历了勘探起步、整体认识、外甩勘探、勘探发展等4个阶段^[2],实现了从构造到岩性、常规到非常规、浅层到深层的3大跨越。近年来,随着油气地质认识的提高,柴达木盆地油气勘探取得一系列新的重大突破与重要进展,相继在昆北、英东、东坪、扎哈泉、牛东、马北、平台和九龙山等地区获得了勘探重大突破和发现^[1]。盆地已发现的各类、各级油气资源的数量和分布已经发生了很大的变化,部分地区(如昆北、英雄岭、东坪—牛东、扎哈泉、马北)发现的油气储量已接近或超过第三次资评的资源量,历次油气资源评价结果已不能适应当前的勘探状况,迫切需要对柴达木盆地进行新一轮油气资源评价研究,搞清各类、

各级油气资源的数量与分布。本文立足柴达木盆地烃源岩和储层条件,总结建立常规油与致密油的成藏模式,预测石油资源潜力及分布规律,指明有利勘探方向和领域,为柴达木盆地石油勘探战略方向、规划部署及井位论证研究提供了科学依据。

1 柴达木盆地石油地质条件

柴达木盆地是青藏高原上面积最大的盆地,也是中国西部唯一发现新生界生成油气的大型盆地^[3],与我国其他含油气盆地相比,具有复杂的地理环境和独特的石油地质特征。

柴达木盆地划分为西部坳陷、北缘块断带、三湖坳陷3个一级构造单元(图1)。西部坳陷位于柴达木盆地西部,基底埋藏相对较深,由南(昆仑山前)向北东(盆地内部)逐渐加大,最深处在—里坪地区,大于17000 m。褶皱发育是该坳陷区最主要的构造变形特征,且构造线多以北西—南东向为主。多个背斜近于平行排列,每个背斜带内部又构成右列雁行式排列,主要分布在坳陷中部地区。西部坳陷区地层以古

收稿日期: 2019-03-28; 改回日期: 2019-06-26

本文受中国石油集团重大专项“中国石油第四次油气资源评价”之课题“柴达木盆地第四次油气资源评价”(编号: 2013E-0502-09)资助

第一作者: 陈琰, 博士, 教授级高工, 从事石油天然气地质综合研究及油气勘探管理工作。通信地址: 736202 甘肃省敦煌市七里镇青海油田公司勘探开发研究院; E-mail: licqh@petrochina.com.cn

通信作者: 雷涛, 工程师, 主要从事油气地质研究。通信地址: 736202 甘肃省敦煌市七里镇青海油田公司勘探开发研究院; E-mail: leitaoqh@petrochina.com.cn

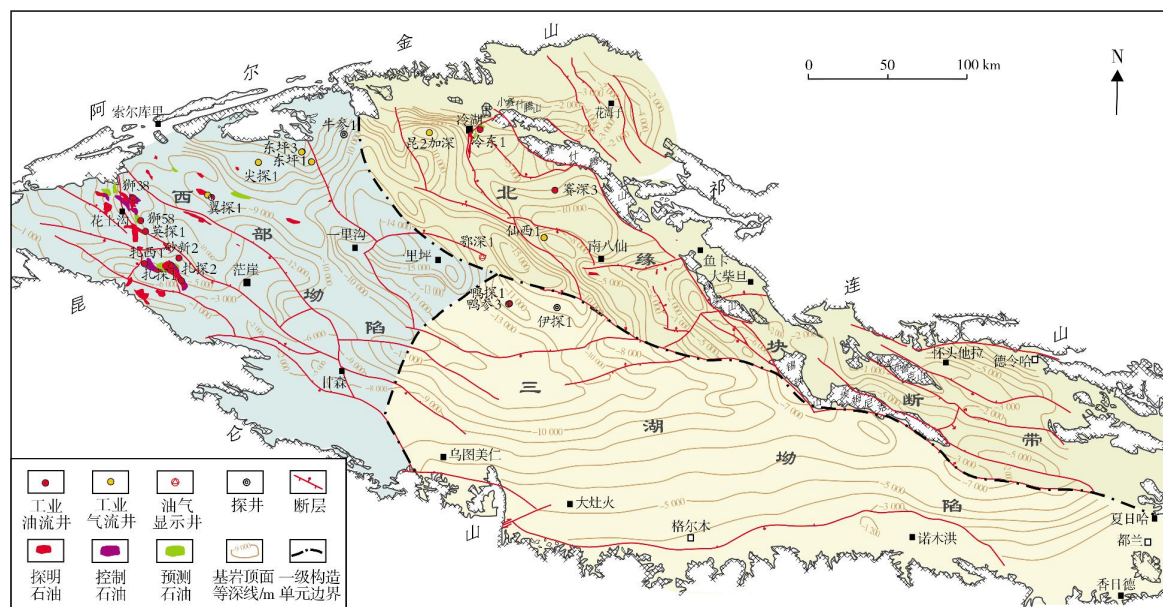


图1 柴达木盆地石油勘探分布特征

近系—新近系为主,第四系保存较少,目前发现的油源岩、盖层均为古近系—新近系,储层也以古近系—新近系为主,近年发现的基岩风化壳是山前隆起区的有利储层。

北缘块断带位于柴达木盆地北部,基底埋藏相对较浅,由北东(祁连山前)向南(盆地内部)逐渐加深。逆冲断层发育是北缘块断带主要的构造变形特征,多数断层为北西—南东走向的北东倾逆断层,是由祁连山向盆地挤压俯冲作用而形成。本区褶皱强烈,背斜成带分布,组成了反“S”形和弧形背斜带。北缘块断带地层以中生界侏罗系、白垩系和新生界为主,中生界向西南方向减薄,新生界向北东方向减薄,反映了中、新生代构造活动的差异性。烃源岩主要发育在中、下侏罗统,储层主要发育在古近系—新近系、侏罗系、基岩风化壳等。

三湖坳陷位于柴达木盆地东南部,以基底稳定、盖层变形弱为主要构造特征,褶皱和断层均较少,背斜构造集中分布在北部,背斜形态宽缓,主要发育于喜马拉雅晚期。地层以第四系和新近系为主,新近系西厚东薄;第四系沉积中心和沉降中心均在三湖附近,最大厚度超过3000m。目前发现的气藏主要位于第四系,烃源岩发育在第四系和新近系上部。

1.1 烃源岩条件

勘探证实,柴达木盆地自下而上发育侏罗系淡

水湖泊—沼泽相烃源岩、古近系—新近系咸化湖相烃源岩和第四系生物气源岩等3套特点各异的陆相烃源岩^[4-5](图2),平面上分别分布于柴北缘、柴西及柴东三湖坳陷3个地区,其中前两套为生油岩。此外,柴东德令哈断陷存在一套潜在的石炭系烃源岩,具备一定生油气潜力^[6]。

柴西地区以英雄岭一带为界划分为柴西南区和柴西北区,发育古近系下干柴沟组上段(E_3^2)和新近系上干柴沟组(N_1)2套主力咸化湖相烃源岩,岩性以泥岩、泥灰岩为主(表1)。当有机碳含量(TOC) $\geq 0.6\%$ 时,这2套烃源岩均可作为优质烃源岩^[1]。生烃模拟显示:当 R_o 达到1.0%时,这类烃源岩的液态烃产率达到最大,2套烃源岩分别为350mg/g、330mg/g。古近系烃源岩有机质类型偏腐泥型,主要为I—II₁型,而新近系烃源岩有机质类型偏腐殖型,主要属II₂—III型,这表明古近系烃源岩的生油能力要强于新近系。柴西这2套烃源岩热演化程度整体不高, R_o 大多小于1.0%,其中,仅柴西南区狮子沟构造和柴西北区南翼山构造古近系烃源岩成熟度较高,可达0.9%~1.0%。因此,柴西地区整体以生油为主。但受湖盆迁移、热演化程度及源岩母质类型的影响,油气又具有明显的分区性:柴西南区深层、浅层均以油为主;而柴西北区浅层以油为主,深层则以气为主。

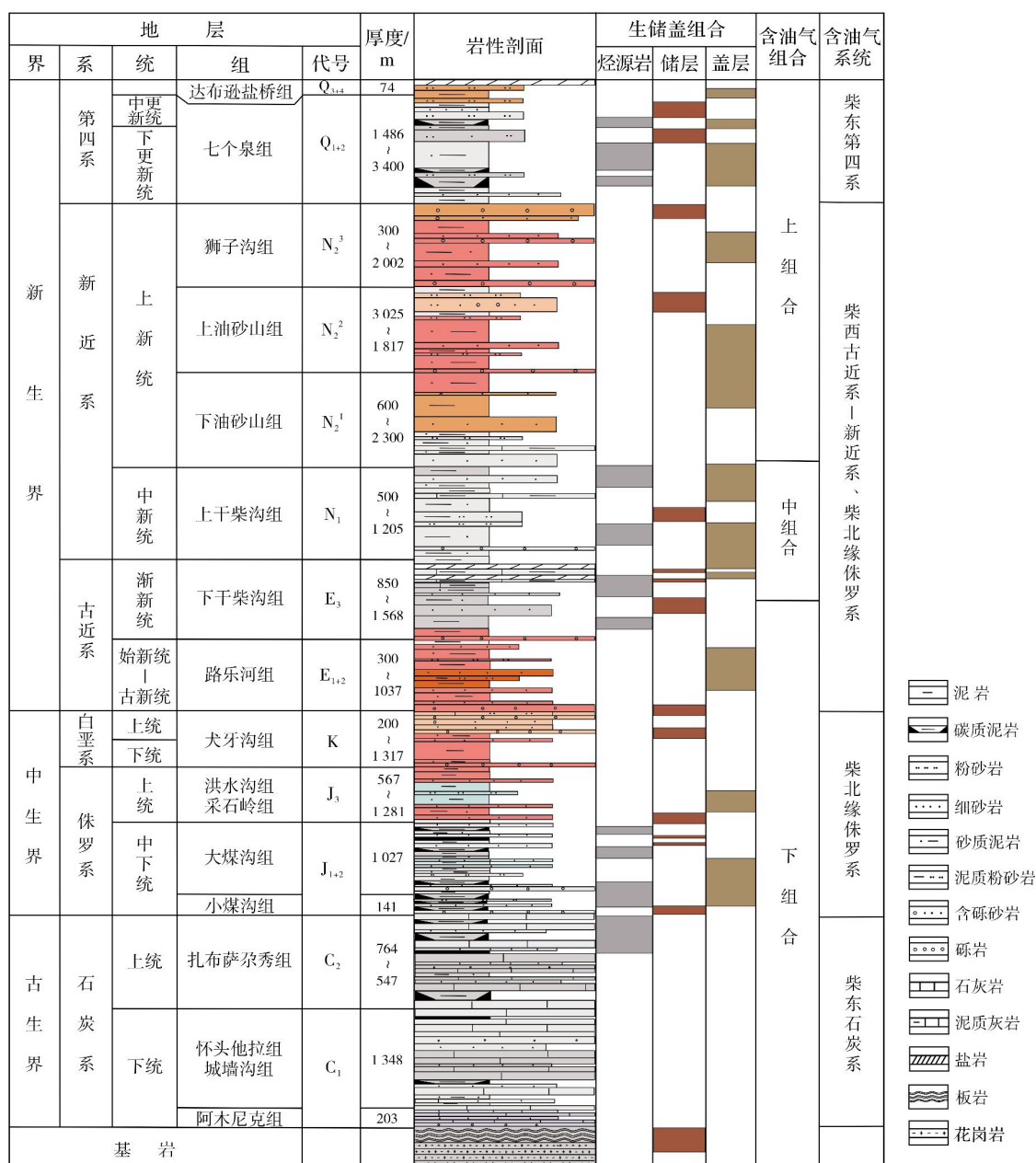


图 2 柴达木盆地地层综合柱状图

本次研究进一步落实了柴西地区烃源岩的分布范围。相较于第三次资评,柴西地区古近系E₃主力烃源岩分布面积由原来的0.5×10⁴ km²增加为1.3×10⁴ km² (图3),这进一步夯实了形成规模常规油藏和致密油藏的烃源基础。

柴北缘侏罗系发育中、下侏罗统2套淡水湖泊—沼泽相烃源岩,岩性为油页岩、暗色泥岩、碳质泥岩和煤等(表1)。生排模拟实验表明,柴北缘中侏罗统烃

源岩有机质以Ⅰ—Ⅱ型为主,液态烃产率高,以生油为主;而下侏罗统烃源岩有机质主要为Ⅱ—Ⅲ型,在R_o>2.3%时生气潜力更大,总体以生气为主。从现今热演化程度看,中侏罗统烃源岩R_o总体小于1.0%,仍处在生油阶段。与第三次资评相比,本次研究落实的柴北缘中侏罗统烃源岩分布面积由原来的0.38×10⁴ km²增至1.19×10⁴ km²,最大厚度由400 m增加为1 000 m(图4),因此石油勘探潜力的烃源条件得到了进一步落实。

表 1 柴达木盆地烃源岩特征统计表

地区	沉积相	层位	岩 性	有机质丰度		有机质类型	R ₀ /%
				TOC/%	Pg/(mg·g ⁻¹)		
柴 西	咸化湖相	E ₃ ²	泥岩、泥灰岩	0.40~2.56		I—II ₁	0.9~1.0
		N ₁	泥岩、泥灰岩	0.40~2.62		II ₂ —III	0.5~1.0
柴北缘	淡水湖泊—沼泽相	J ₁	暗色泥岩	0.75~6.10		II—III	0.5~3.5
			碳质泥岩		10.00~66.59		
			煤		100.0~174.5		
		J ₂	暗色泥岩	3.00~5.70		I—II	<1.0
			碳质泥岩		10.00~76.53		
			煤		100~174		
柴 东	海陆交互相	C	泥岩、灰质泥岩、碳质泥岩	1.19~2.10		II ₂ —III	0.8~1.5

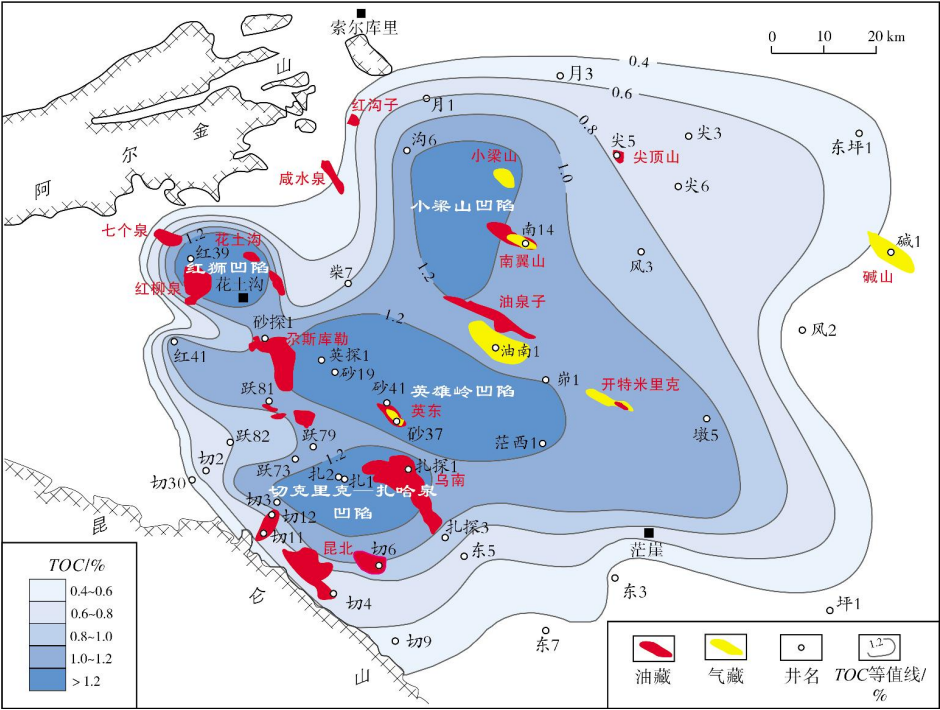


图 3 柴西地区古近系 E₃ 烃源岩分布图

柴东德令哈断陷石炭系烃源岩属海陆交互相沉积,岩性主要包括泥岩、灰质泥岩和碳质泥岩。近年钻探及实验分析表明:其有机质丰度高,TOC 介于 1.19%~2.10%之间;有机质类型为 II₂—III 型,以 III 型为主,更有利于生气;R₀ 介于 0.8%~1.5%之间,处于成熟—高成熟热演化阶段。

1.2 储层条件

柴达木盆地发育碎屑岩、碳酸盐岩和基岩风化壳等 3 大类储层(图5),其中以碎屑岩储层为主,分

布层位包括新生界、中生界、古生界及前古生界。针对不同岩性建立了柴达木盆地储层评价标准(表2)。

统计分析表明柴达木盆地的 I 类、II 类、III 类碎屑岩储层主要受沉积相控制,储层物性平面上总体变化较大,表现为“盆缘好、盆中差,柴北缘优于柴西”的特征。

碳酸盐岩储层主要分布于柴西地区古近系—新近系(E₃—N₂)^[7]。研究发现碳酸盐岩储层在准同生期交代、岩溶改造和强应力作用下,具有晶间孔、溶蚀孔洞、网状裂缝组成的“孔-洞-缝”三元共控的特

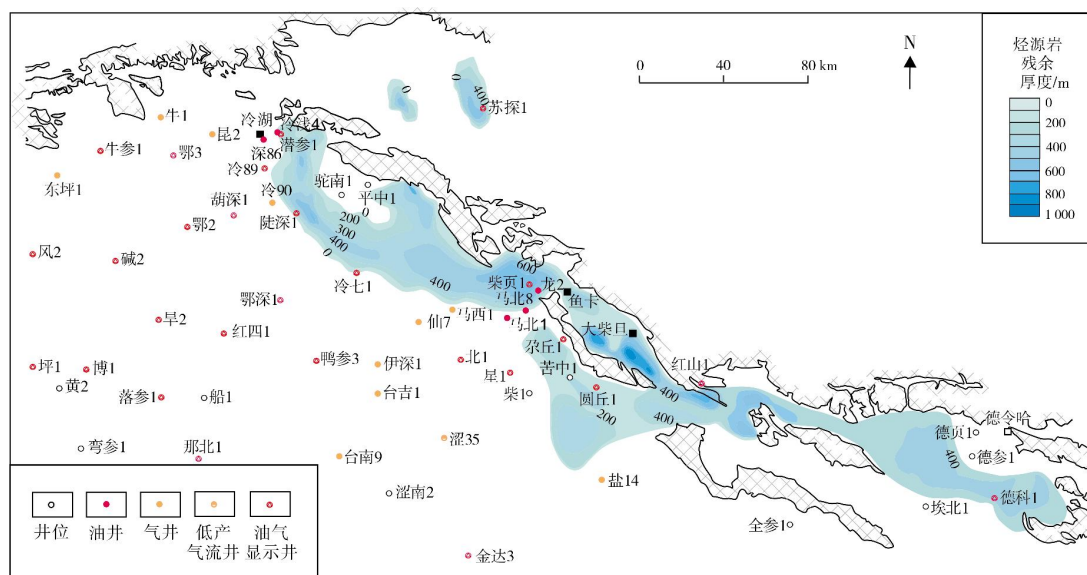


图4 柴北缘地区中侏罗统烃源岩残余厚度图

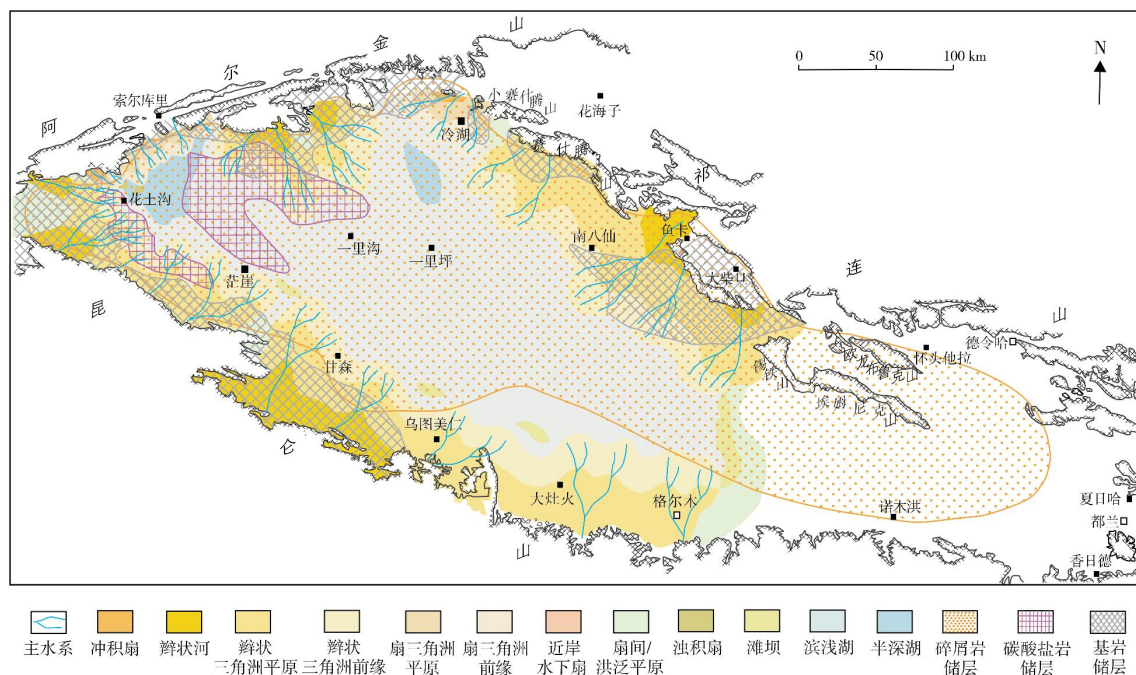


图5 柴达木盆地沉积体系及储层类型分布图

征;储层物性存在较大的差异,总体表现为藻灰(云)岩最优,颗粒灰岩其次,泥晶灰岩最差。现今柴西已发现的碳酸盐岩油藏的储层多为Ⅲ类和Ⅳ类。

基岩风化壳储层主要分布于柴达木盆地的盆缘山前带及古隆起区,岩性主要以花岗岩、片麻岩及花岗片麻岩为主。基岩在纵向上可划分古土壤层、残积层、半风化层和未风化层等4段结构^[8],其中储层主

要位于残积层和半风化层,厚度可超过300 m。基岩经历破碎作用、溶蚀作用、充填作用、蚀变作用等成岩后生变化,造就了其发育裂缝和基质孔(溶蚀缝和溶蚀孔)双重介质的储层^[9],这对油气藏的形成、演化、保存和破坏起着决定作用。目前仅在柴西昆北地区发现规模基岩油藏,储层岩性主要为花岗岩,还有少量变质岩,储层的储集空间类型包括基岩顶风化

表 2 柴达木盆地储层分类评价表

储层 岩石类型	岩 性	储集空间类型	物 性		分类评价
			孔隙度 ϕ /%	渗透率 $K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	
碎屑岩	中—粗砂岩	原生孔	$\phi \geq 15$	$K \geq 50$	I 类
	中—粗砂岩	原生孔、次生孔	$10 \leq \phi < 15$	$10 \leq K < 50$	II 类
	粉—中砂岩	次生孔	$5 \leq \phi < 10$	$1 \leq K < 10$	III 类
	粉—细砂岩	次生孔	$\phi < 5$	$K < 1$	IV 类
碳酸盐岩	藻灰岩、颗粒灰岩、介壳灰岩、泥晶灰岩、灰质白云岩	生物骨架孔、溶孔、铸膜孔、晶间孔	$\phi \geq 12$	$K \geq 5$	I 类
	颗粒灰岩、介壳灰岩、泥晶灰岩、灰质白云岩	溶孔、晶间孔	$6 \leq \phi < 12$	$0.1 \leq K < 5$	II 类
	泥灰岩、泥晶灰岩、灰质白云岩	溶孔、晶间孔	$3 \leq \phi < 6$	$0.05 \leq K < 0.1$	III 类
	泥晶灰岩、泥灰岩、灰质白云岩	晶间孔	$\phi < 3$	$K < 0.05$	IV 类
基岩	片麻岩、花岗片麻岩、花岗岩	裂缝、溶蚀孔	$\phi \geq 6$	$K \geq 1$	I 类
	花岗岩、花岗片麻岩、片岩	裂缝、溶蚀孔	$4 \leq \phi < 6$	$0.1 \leq K < 1$	II 类
	片麻岩、片岩、板岩	裂缝、溶蚀孔、晶间孔	$2 \leq \phi < 4$	$0.05 \leq K < 0.1$	III 类
	花岗岩、片麻岩、板岩、片岩	裂缝、溶蚀孔、晶间孔	$\phi < 2$	$K < 0.05$	IV 类

壳的粒间孔、基岩内的基质孔和裂缝,属 II 类储层。

2 常规石油及致密油成藏模式

柴达木盆地油气藏分布与古构造关系密切^[10-11],在综合研究构造演化、生烃史、沉积储层等地质特征的基础上,总结建立了4大类石油成藏模式:富烃凹陷古构造成藏模式、源外古隆起-古斜坡成藏模式、源上晚期构造成藏模式及富烃凹陷周缘斜坡源内致密油-岩性油藏成藏模式。其中,源外古隆起-古斜坡成藏模式、源上晚期构造成藏模式及富烃凹陷周缘斜坡源内致密油-岩性油藏成藏模式为第三次资评以来新发现的石油成藏模式。

2.1 富烃凹陷古构造石油成藏模式

在优质烃源岩分布区发育的早期构造,有利于持续捕获并聚集油气,从而形成高丰度油气田,这种模式的成藏条件极为优越,其成藏的关键因素是具备有效烃源岩,以及早于生排烃期形成的早期古构造圈闭。这种模式以在早期形成的跃进一号古构造上发现的尕斯库勒油田为典型代表。

2.2 源外古隆起-古斜坡石油成藏模式

柴达木盆地的盆缘山前区整体具有长期持续发育的古隆起、古斜坡背景,这里自身不发育烃源岩,但若邻近生烃凹陷,往往是油气运聚的有利指向区。油气可沿深大断裂纵向运移至古隆起、古斜坡区,然

后沿不整合面及有利砂体横向运移,易于在构造、岩性圈闭中聚集成藏(图6)。在这一新的成藏理论指导下,首次在盆缘区发现昆北亿吨级油田,使得盆缘区的勘探地位及资源价值得到了极大提升。

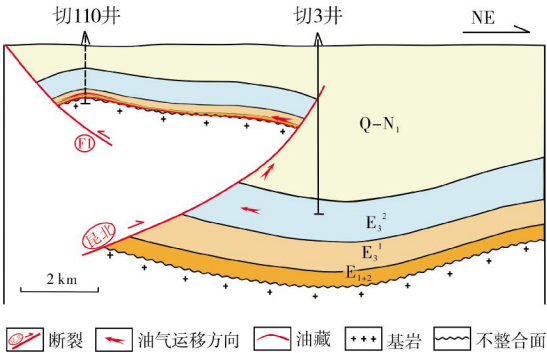


图6 柴达木盆地昆北断阶带源外古隆起-古斜坡石油成藏模式图(据参考文献[1])

2.3 源上晚期构造石油成藏模式

喜马拉雅运动之前,深层古构造捕获石油形成原生油藏(图7a);晚喜马拉雅运动与相关断裂及伴生构造对早期原生油藏进行改造和调整,沟通油源的断裂多次活动,从而提供油气纵向运移的通道,形成了浅层晚期次生油藏(图7b, 7c)。深层往往发育早期就开始形成的背斜、断背斜、断块等构造,它们定型于 N_2^1 ,形成时间相对较早;中浅层受喜马拉雅运动晚期强烈逆冲推覆构造作用影响,形成滑脱逆

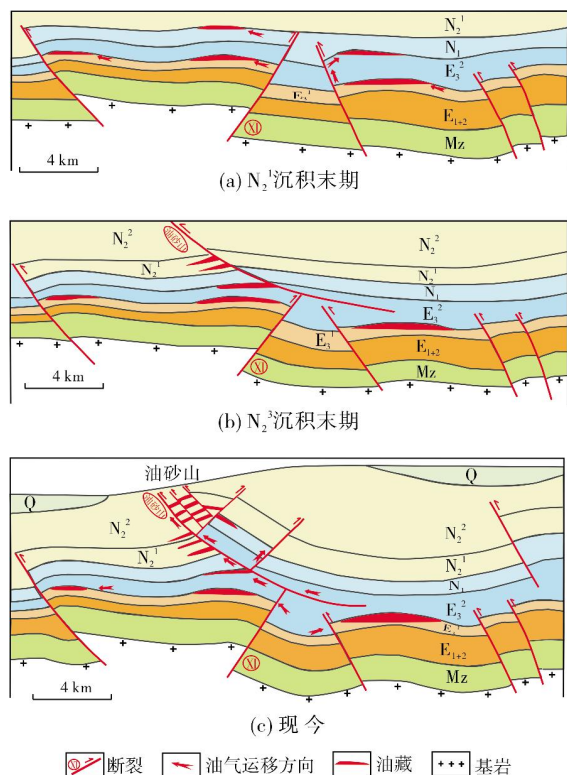


图7 柴达木盆地英雄岭地区源上晚期构造石油成藏演化模式图(据参考文献[1]修改)

冲断裂,滑脱面往往位于古近系渐新统下干柴沟组上段中,受构造作用控制,在滑脱断裂的上盘形成了背斜、断背斜(图7c)。这些构造隆起较晚,一般都形成于 N_2^2 之后^[1]。这一成藏模式指导了柴西英雄岭构造带的勘探突破(图7),推动发现了英东中浅层高丰度亿吨级油田^[12],并首次总结了“深部持续生烃,断层接力输导,多期复式聚集”的成藏特点^[1],这大大提升了盆内大型晚期构造带的勘探地位。

2.4 富烃凹陷周缘斜坡源内致密油-岩性油藏成藏模式

近几年的研究发现,生烃凹陷中发育多期的滨浅湖滩坝、浊积砂体和碳酸盐岩储层,它们夹持或包裹于多套优质烃源岩中,在源岩生烃形成的压力差作用下,具有近源优先连续充注的成藏条件,这有利于形成不受构造控制的大面积连片分布的油气藏,其中在储层物性条件相对较好的层段或区域容易形成岩性油气藏,在致密储层中则形成致密油油藏^[1]。在这一成藏理论的指导下,在柴西南扎哈泉斜坡的致密油及岩性油藏勘探获得了突破,发现了扎哈泉亿吨级油田(图8),这展示出柴达木盆地致密油良好的勘探前景。

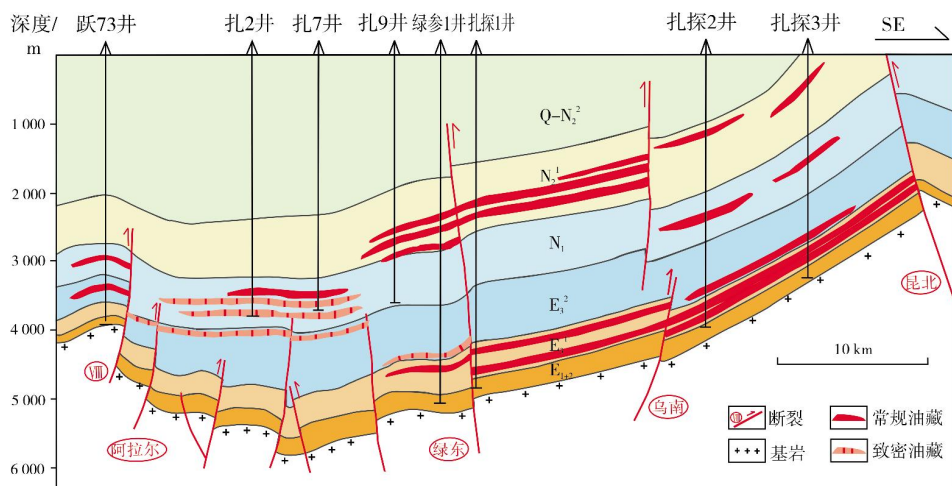


图8 柴达木盆地扎哈泉斜坡源内致密油-岩性油藏成藏模式图

3 常规石油及致密油资源潜力评价

本次常规石油资源评价采用成因法和类比法^[13],并对这2种方法评价的结果综合考虑,确定最终的资源量;致密油资源评价采用小面元容积法和资源丰度类比法^[14-15],并通过特尔菲法综合评价得出最终

结果。

3.1 常规石油资源评价

3.1.1 常规石油成因法资源评价

根据烃源岩揭示程度、石油运聚规律及勘探研究现状,分别采用盆地模拟法评价了柴西古近系—

新近系和柴北缘中—下侏罗统常规石油资源;采用氯仿沥青“A”法评价了柴东德令哈地区石炭系常规石油资源。

根据烃源岩分布特征、有效烃源岩流体势、生烃凹陷分隔槽原理及油气成藏组合特征,将柴西古近系—新近系含油气系统划分为红狮、扎哈泉、英雄岭和柴西北等4个油气运聚单元,通过盆地模拟法分别计算这4个油气运聚单元的生油量,再求和得出柴西地区古近系—新近系的总生油量为 $599.98 \times 10^8 \text{t}$ 。依据前人研究成果及经验值,石油运聚系数取值为4.5%,技术可采系数综合取值为18.6%,最终估算得出柴西地区古近系—新近系常规石油地质资源量为 $27.00 \times 10^8 \text{t}$,可采资源量为 $5.02 \times 10^8 \text{t}$ (表3)。

柴北缘中—下侏罗统含油气系统划分为 J_1 和 J_2 2个油气运聚单元,通过盆地模拟法分别计算这2个

油气运聚单元的生油量,再求和得出柴北缘中—下侏罗统的总生油量为 $400.70 \times 10^8 \text{t}$ 。 J_1 运聚单元石油运聚系数取值为1.2%, J_2 运聚单元石油运聚系数取值为1.3%,技术可采系数综合取值为20.3%,最终估算出柴北缘中—下侏罗统石油地质资源量为 $4.82 \times 10^8 \text{t}$,可采资源量为 $0.98 \times 10^8 \text{t}$ (表3)。

柴达木盆地石炭系主要分布于柴东德令哈断陷,由于勘探程度很低,资料尚不充分,本次采用成因法中的氯仿沥青“A”法对石炭系的常规石油资源进行了估算。计算的德令哈地区石炭系烃源岩的生油量为 $29.81 \times 10^8 \text{t}$,石油运聚系数参考冷湖及其他凹陷参数,综合取值为3.75%,可采系数参考盆地已发现油藏的采收率取值为15.0%,最终估算得出柴东德令哈断陷石炭系的石油地质资源量为 $1.10 \times 10^8 \text{t}$,可采资源量为 $0.17 \times 10^8 \text{t}$ (表3)。

表3 柴达木盆地常规石油成因法资源量计算结果

地区	运聚单元	供烃层系	生油量/ 10^8t	运聚系数/%	可采系数/%	地质资源量/ 10^8t	可采资源量/ 10^8t
柴西	扎哈泉	$N_2^1-E_3^1$	100.89	4.5	18.6	27.00	5.02
	红狮	$N_2^1-E_3^1$	98.45				
	英雄岭	$N_2^1-E_3^1$	239.12				
	柴西北	$N_2^1-E_3^1$	161.52				
	小计		599.98	4.5	18.6	27.00	5.02
柴北缘	J_1	J_1	385.33	1.2	20.3	4.62	0.94
	J_2	J_2	15.37	1.3	20.3	0.20	0.04
	小计		400.70	1.2	20.3	4.82	0.98
柴东	德令哈C	C	29.81	3.75	15.0	1.10	0.17
	小计		29.81	3.75	15.0	1.10	0.17

3.1.2 常规石油类比法资源评价

柴达木盆地已发现的常规石油资源主要分布于柴西和柴北缘地区,其中柴西地区勘探程度最高,发现油藏多,含油层系为基岩、古近系、新近系。柴北缘勘探程度相对较低,仅在祁连山前及盆地腹部晚期构造带的局部发现油藏,含油层系为基岩、侏罗系、古近系、新近系。因此,根据石油发现程度及类比法适用性要求,采用资源丰度类比法,分别对柴西基岩、古近系、新近系和柴北缘基岩、侏罗系、古近系、新近系开展常规石油资源评价。

柴西地区共划分6个常规石油评价区带(表4),新建立了昆北基岩—古近系、英东新近系、小梁山—南翼山新近系3个常规石油刻度区。通过分别类比估算得出柴西常规石油地质资源量为 $24.38 \times 10^8 \text{t}$,可采资源量为 $4.54 \times 10^8 \text{t}$ 。

柴北缘共划分3个油气评价区带(表4)。位于赛什腾山前的马北隆起带已探明马北古近系油气田,勘探程度高,因此新建立了马北古近系石油刻度区。侏罗系和新近系资源通过第三次资评建立的冷湖—南八仙构造带刻度区进行类比。通过类比估算得出柴北缘石油地质资源量为 $4.11 \times 10^8 \text{t}$,可采资源量为 $0.84 \times 10^8 \text{t}$ (表4)。

3.1.3 常规石油资源综合评价

从表5看出,柴西和柴北缘地区采用成因法与类比法评价的资源量结果较为相近,表明评价结果比较可靠。类比法是国际上油气资源评价的主流方法,其结果相对更客观、更可靠,故最终采用了类比法的评价结果,将柴东德令哈地区石炭系成因法评价的资源量一并计入,最终计算出柴达木盆地常规石油地质资源总量为 $29.59 \times 10^8 \text{t}$ (表5),可采资源量为 $5.54 \times 10^8 \text{t}$ 。

表 4 柴达木盆地常规石油区带类比法资源评价结果

地区	区带名称	区块名称	评价层系	面积/ km ²	资源丰度/ (10 ⁴ t·km ⁻²)	地质资源量/ 10 ⁸ t	可采资源量/ 10 ⁸ t
柴西	狮子沟—大乌斯		N、E	4 514	17.99	8.12	1.47
	七个泉—砂西		N、E	1 275	12.85	1.64	0.32
	跃进—乌南	跃进	N、E	1 978	17.99	3.56	0.64
		扎哈泉—乌南					
	昆北	切克里克	N、E、基岩	3 494	9.18	3.20	0.64
		东柴山					
	阿尔金山前西段		N、E	1 468	11.34	1.66	0.32
	柴西北	尖顶山—大风山	N、E	6 590	9.40	6.20	1.15
		小梁山—南翼山					
		油泉子—开特米里克					
小计				19 319	12.62	24.38	4.54
柴北缘	冷湖—南八仙		N、E、J	3 968	4.76	1.89	0.39
	赛什腾山前		E、J、基岩	3 896	2.59	1.01	0.20
	鱼卡—红山	鱼卡断陷	E、J、基岩	899	6.03	0.54	0.11
		大柴旦—红山		1 543	4.31	0.67	0.13
	小计				30 260	1.36	4.11

表 5 柴达木盆地常规石油资源综合评价结果汇总表

地 区	类 比 法		成 因 法				资源量取值/ 10 ⁸ t
			盆地模拟法		氯仿沥青“A”法		
	评价层系	资源量/10 ⁸ t	评价层系	资源量/10 ⁸ t	评价层系	资源量/10 ⁸ t	
柴 西	基岩、E、N	24.38	E-N	27.00			24.38
柴北缘	基岩、J、E、N	4.11	J ₁₊₂	4.82			4.11
柴东德令哈					C	1.10	1.10
合 计							29.59

3.2 致密油资源评价

结合古近系、新近系烃源岩分布特征、储层沉积特征及埋深等综合分析,柴达木盆地近期具备勘探开发价值的非常规油气资源为柴西致密油。它可划分为 3 大类型,分别是柴西 N₁ 湖相碎屑岩致密油、柴西南 E₃ 碳酸盐岩致密油和柴西北 N₂ 碳酸盐岩致密油。

由于柴达木盆地致密油勘探尚处在初始阶段,勘探程度极低,以往未对其开展过资源评价。因此,本次选取了小面元容积法和类比法分别评价了以上 3 类致密油资源,通过特尔菲法综合评价得出柴达木盆地致密油资源量为 8.58×10⁸t,可采资源量为 0.697×10⁸t(表6)。

4 剩余石油资源分布与有利勘探目标

4.1 剩余石油资源分布

柴达木盆地常规石油资源总量为 29.59×10⁸t,

已探明石油地质储量 6.83×10⁸t,剩余常规石油地质资源量为 22.76×10⁸t,主要集中分布于柴西南区(剩余常规石油地质资源量达 17.96×10⁸t),特别是柴西南狮子沟—大乌斯、跃进—乌南和阿尔金山前西段等区带的剩余石油资源丰度相对较高(图9)。

柴西南区烃源岩母质类型更好、有机质丰度更高、热演化程度相对较低,古近系—新近系烃源岩以生油为主;而柴西北区古近系埋深较大,热演化程度相对较高,主要分布天然气资源;柴北缘中侏罗统虽也以生油为主,但受燕山晚期构造运动强烈改造及长期剥蚀作用的影响,现今主要分布于祁连山周缘,范围局限、厚度较小,石油资源赋存少。故柴西南区仍是石油资源富集区,这与柴达木盆地现今勘探实践相吻合。而盆地致密油资源勘探程度极低,大量剩余致密油资源尚未发现,研究认为此类资源也大多集中分布于柴西。

4.2 勘探方向与领域

对盆地剩余常规石油和致密油资源潜力分析,结

表 6 柴达木盆地致密油资源评价结果汇总表

评价单元	岩性	面积/ km ²	地质资源量/ 10 ⁸ t	可采资源量/ 10 ⁸ t	地质资源丰度/ (10 ⁴ t·km ⁻²)	可采资源丰度/ (10 ⁴ t·km ⁻²)	可采系数/ %
柴西南 E ₃ 碳酸盐岩	石灰岩	1 350	1.40	0.084	10.35	0.62	6
柴西 N ₁ 湖相碎屑岩	粉砂岩	1 800	3.29	0.264	18.29	1.47	8
柴西北 N ₂ 碳酸盐岩	石灰岩	4 900	3.89	0.350	7.93	0.71	9
合 计			8.58	0.697			

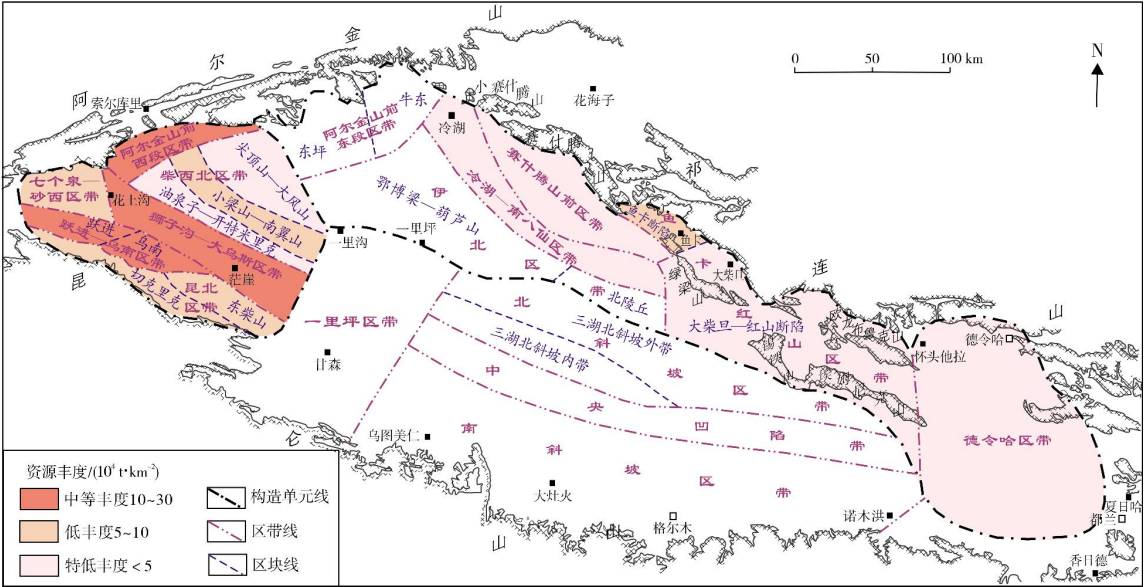


图 9 柴达木盆地资源评价单元及剩余常规石油资源丰度分布图

合勘探实践,认为柴西地区仍为勘探的重点区域。

4.2.1 盆内大型晚期构造带勘探领域

英东中、浅层源上晚期构造高丰度油气田的发现表明^[12],即使遭受晚期强烈隆升改造,但如果具备源-储-圈的有效匹配,也可形成高丰度油气田。柴西地区晚期构造发育,是有利的石油勘探目标。

狮子沟—大乌斯构造带为晚期构造运动反转隆起区,油源条件优越,储层条件好,具备上、中、下组合整体含油的优势。在西端的英西地区钻探获多口高产工业油气流井,现今剩余石油资源量仍有约5.4×10⁸t,该构造带是近期及中长期石油勘探的主战场。

柴西北区发育成排成带的大型晚期构造带,圈闭面积大,尤其是近期油泉子—开特米里克区带的钻探均见到工业油气流,且能持续保持稳产,反映了这些晚期构造带是今后油气勘探的有利接替区。

4.2.2 盆缘古隆起—斜坡勘探领域

柴西地区阿尔金山前西段紧邻柴西北生烃凹陷,整体勘探程度不高,剩余石油资源量约1.6×10⁸t,目前

仅在中、上组合局部有发现,其下组合有待深入探索。

4.2.3 盆内凹陷—斜坡带勘探领域

目前,柴西凹陷—斜坡区致密油-岩性油藏勘探刚刚起步,致密油已在扎哈泉斜坡取得良好勘探成效。总体来看,柴西古近系下干柴沟组上段和新近系上干柴沟组这 2 套优质烃源岩埋深由南至北逐渐增大,且成熟度随之增加,因此,致密油资源有利分布表现为从南至北层位逐步变浅。综合考虑认为:柴西 N₁ 碎屑岩致密油现实有利区分布于柴西南区跃东—扎哈泉—乌南一带;柴西南 E₃ 碳酸盐岩致密油现实有利区分布于红柳泉—跃进一带;柴西北 N₂ 碳酸盐岩致密油现实有利区分布于小梁山—南翼山一带。

5 结 论

(1)柴达木盆地石油资源存在常规石油和致密油 2 种类型。已发现的油藏多集中于柴西地区且勘探程度最高,其次为柴北缘地区。柴达木盆地油气藏分布与古构造关系密切,主要包括 4 大类石油成藏模式,

分别为富烃凹陷古构造藏模式、源外古隆起—古斜坡成藏模式、源上晚期构造藏模式及富烃凹陷周缘斜坡源内致密油—岩性油藏成藏模式。

(2)柴西油气分布具有分区性:以英雄岭一带为界,柴西南区总体以油为主,柴西北区浅层以油为主,深层以气为主。柴北缘中侏罗统烃源岩有机质类型以Ⅰ—Ⅱ型为主,液态烃产率高,以生油为主;而下侏罗统烃源岩有机质类型主要为Ⅱ—Ⅲ型,在 $R_o > 2.3\%$ 时生气潜力更大,总体以生气为主。

(3)柴达木盆地常规石油地质资源量为 $29.59 \times 10^8 \text{ t}$,可采资源量为 $5.54 \times 10^8 \text{ t}$;致密油地质资源量为 $8.58 \times 10^8 \text{ t}$,可采资源量为 $0.697 \times 10^8 \text{ t}$ 。剩余常规石油资源最丰富及剩余常规石油资源丰度最大的地区为柴西南区,致密油资源也主要集中于柴西地区,因此柴西地区仍将为柴达木盆地石油勘探的重点区域。

(4)柴达木盆地盆缘古隆起及斜坡区、盆内凹陷—斜坡区、盆内大型晚期构造带的剩余油气资源丰富,是近期重点勘探领域;狮子沟—大乌斯构造带、油泉子—开特米里克构造带、阿尔金山前西段等是常规石油有利勘探目标,柴西南区跃东—扎哈泉—乌南一带、柴西南区红柳泉—跃进一带和柴西北区小梁山—南翼山一带等是致密油现实有利区。

参考文献

- [1] 付锁堂,马达德,陈琰,等.柴达木盆地油气勘探新进展[J].石油学报,2016,37(增刊1):1-10.
- [2] 付锁堂,袁剑英,汪立群,等.柴达木盆地油气地质成藏条件研究[M].北京:科学出版社,2014.
- [3] 郭召杰,付锁堂,程丰,等.走滑叠合盆地构造及其控油气作用:柴达木盆地研究新进展[C]//中国地球科学联合学术年会:专题53:环青藏高原盆地体系构造过程与油气聚集论文集,2014:2368-2369.
- [4] 袁剑英,付锁堂,曹正林,等.柴达木盆地高原复合油气系统多源生烃和复式成藏[J].岩性油气藏,2011,23(3):7-14.
- [5] 王明儒.柴达木盆地中生代三大含油气系统及勘探焦点[J].西安石油学院学报(自然科学版),2001,16(6):8-12.
- [6] 陈迎宾,胡焯,王彦青.柴达木盆地德令哈坳陷石炭系烃源岩评价[J].特种油气藏,2014,21(5):43-47.
- [7] 纪友亮,马达德,薛建勤,等.柴达木盆地西部新生界陆相湖盆碳酸盐岩沉积环境与沉积模式[J].古地理学报,2017,19(5):757-772.
- [8] 孙秀建,杨巍,白亚东,等.柴达木盆地基岩油气藏特征与有利区带研究[J].特种油气藏,2018,25(6):49-54.
- [9] 李建明,史玲玲,汪立群,等.柴西南地区昆北断阶带基岩油藏储层特征分析[J].岩性油气藏,2011,23(2):20-24.
- [10] 付锁堂,马达德,郭召杰,等.柴达木走滑叠合盆地及其控油气作用[J].石油勘探与开发,2015,42(6):712-722.
- [11] 付锁堂.柴达木盆地西部油气成藏主控因素与有利勘探方向[J].沉积学报,2010,28(2):373-379.
- [12] 李元奎,奎万仓,铁成文,等.柴达木盆地英东地区地质综合评价及勘探目标优选[J].地球学报,2012,33(1):57-64.
- [13] 郭秋麟,谢红兵,黄旭南,等.油气资源评价方法体系与应用[M].北京:石油工业出版社,2016.
- [14] 郭秋麟,陈宇生,刘成林,等.油气资源评价方法研究进展与新一代评价软件系统[J].石油学报,2015,36(10):1305-1314.
- [15] 吴晓智,王社教,郑民,等.常规与非常规油气资源评价技术规范体系建立及意义[J].天然气地球科学,2016,27(9):1640-1650.

编辑:黄革萍

The geological conditions, resource potential and exploration direction of oil in Qaidam Basin

CHEN Yan, LEI Tao, ZHANG Guoqing, YUAN Li, WANG Duo,
WU Zhixiong, CHEN Jinghua, YANG Qianxia

Abstract: Based on the analysis of petroleum geological conditions of Qaidam Basin, four patterns of oil accumulation in paleouplift around hydrocarbon-rich sag, in paleouplift-paleoslope outside source rocks, in late structure above source rocks and in tight reservoir or lithologic traps are setup. The analogy method and genesis method are used to objectively evaluate the oil resource of different zones, blocks and strata. The results show that the amounts of the conventional oil and tight oil resource are $29.59 \times 10^8 \text{ t}$ and $8.58 \times 10^8 \text{ t}$ respectively. Combining with the current situation of petroleum exploration in the basin, the remaining conventional oil resources and their distribution are clarified. The areas with the most abundant remaining oil resources are located in the western Qaidam Basin. It is pointed out that paleo-uplift of basin margin and slope area, sag-slope zone in basin and large-scale late structural zone in basin are the key exploration fields in the near future. It is also suggested that Shizigou-Dawusi structural zone, Youquanzi-Katmerik structural zone and western segment in front of Altun Mountain are favorable targets for conventional oil exploration, and Yuedong-Zahaquan-Wunan zone, Hongliuquan-Yuejin zone in southwestern Qaidam Basin and Xiaoliangshan-Nanyishan in northwestern Qaidam Basin are favorable targets for tight oil exploration.

Key words: geological conditions; accumulation patterns; resource potential; exploration direction; oil; Qaidam Basin
CHEN Yan, First author: PhD, Professor, engaged in petroleum geology and exploration management. Add: Research Institute of Petroleum Exploration and Development of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Qilizhen, Dunhuang, Gansu 736202, China

LEI Tao, Corresponding author: Engineer, engaged in petroleum geology research. Add: Research Institute of Petroleum Exploration and Development of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Qilizhen, Dunhuang, Gansu 736202, China