

天然气地质学

## 柴达木盆地油气地质特征与有利勘探领域

袁剑英, 陈启林, 陈迎宾, 阎存凤

(中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**柴达木盆地是我国七大含油气盆地之一, 具有较丰富的油气资源, 勘探潜力与难度并存。该盆地经历了晚古生代、中生代和新生代 3 个成盆旋回, 中生代断拗复合盆地形成了柴达木盆地北缘侏罗系油气系统, 新生代大型走滑挤压盆地形成了柴达木盆地西部第三系油气系统和三湖第四系天然气系统, 燕山和喜山 2 期强烈构造运动使柴北缘侏罗系油气系统高度复杂化, 新生代单旋回古气候演化与多期构造运动使湖盆演化、烃源岩和沉积储层发育特征、成藏条件与油气分布规律变得十分特殊和复杂。认为应围绕柴西第三系富油凹陷和三湖第四系富气凹陷, 加强石油和天然气勘探, 同时加大柴北缘东段德令哈新区风险勘探力度, 为实现战略突破创造条件。

**关键词:**柴达木盆地; 油气地质特征; 勘探领域

**中图分类号:** TE122

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2006)05-0640-05

柴达木盆地是我国七大含油气盆地之一。经过半个世纪的勘探, 建成了我国第一个高原油气工业基地, 为推动我国西部少数民族地区经济发展和社会稳定做出了重要贡献。中新世以来, 在印度板块多期构造运动和多旋回古气候演化的控制下, 柴达木盆地经历了 2 期成盆和 2 期改造, 在构造特征、沉积充填、生烃条件、储层特征和成藏规律等方面变得十分特殊和复杂, 勘探面临许多复杂的地质问题和技术难题。科学认识该盆地油气地质规律的特殊性, 准确把握油气资源潜力、有利勘探领域和勘探方向, 是油气勘探取得重大突破的前提。

### 1 勘探现状

#### 1.1 勘探成果与勘探潜力

经过 50 年的勘探, 在柴达木盆地已经发现了柴西第三系、柴北缘侏罗系和三湖地区第四系 3 个油气系统, 其中柴西地区发现了 13 个油气藏, 探明石油 3.02 亿 t; 柴北缘发现了 7 个油气藏, 探明石油 0.26 亿 t; 三湖地区发现了 5 个气藏, 探明天然气 2 770.98 亿 m<sup>3</sup>。

全国第三次油气资源评价表明, 柴达木盆地拥有石油资源量 12.91 亿 t, 探明率 22%; 天然气资源

量 16 006 亿 m<sup>3</sup>, 探明率 15%<sup>[1]</sup>。勘探成果与资源评价结果表明, 该盆地具有较丰富的油气资源, 具有形成大油田和大气田的潜力, 但尚未掌握大油气田形成的地质规律。

#### 1.2 勘探程度与勘探成效

盆地总体勘探程度较低, 勘探程度不均衡。柴西地区英雄岭、阿尔金山前带、柴北缘山前带和德令哈拗陷、柴南甘森泉和格尔木凹陷, 地震勘探程度整体较低。钻探程度除柴西南区、冷湖油田外, 整体较低, 探井少、井深较浅。

1995 年以来, 富油气凹陷扩展勘探效果较好, 柴西富油气凹陷新增探明石油储量 8 891 万 t, 三湖富气凹陷新增天然气探明储量 1 428 亿 m<sup>3</sup>。三维地震工作量投入与新增探明石油储量同步增长。但外围甩开勘探成效不理想, 柴西地区英雄岭构造带、阿尔金山前带、南祁连山前带、柴北缘侏罗系等有利勘探领域由于地表和地下构造复杂, 地震勘探效果不理想, 制约了地质认识和勘探突破。

#### 1.3 勘探经验与启示

柴达木盆地勘探史上有 2 个重要里程碑。第一个是 20 世纪 70 年代, 从地表新构造勘探转向地下古构造勘探, 发现了尕斯库勒大油田和柴西南富油

收稿日期: 2006-08-21; 修回日期: 2006-08-27.

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技信息部“柴达木盆地石油地质基础与新技术研究”项目(编号: 040501-13)资助。

作者简介: 袁剑英(1965-), 男, 甘肃平凉人, 高级工程师, 理学博士, 从事油气勘探科研和管理工作的 E-mail: yuan-jy@petrochina.com.cn.

气区。第二个是90年代,从以油为主转向油气并举,探明了三湖大气田,跻身全国四大气区<sup>[2]</sup>。

勘探实践表明,柴达木盆地是一个大型复杂含油气盆地,潜力与难度并存,故勘探需要坚定信心,坚持探索,才能逐步掌握盆地油气地质规律,找到适合盆地石油地质条件和勘探条件特殊性的配套勘探理论和技术,才能取得勘探的重大突破。

## 2 油气基本地质特征

### 2.1 盆地构造特征与演化

柴达木盆地是青藏高原北部发育的大型山间盆

地。盆地西部以阿尔金山走滑断裂为界,盆地北部为南祁连山走滑冲断带,盆地南部为东昆仑山走滑冲断带。盆地具有元古界和下古生界中浅变质结晶基底。地块结构破碎、岩相复杂、深大断裂发育。北西向断裂控制着盆内构造的定向性,北东向断裂控制着盆内构造的分区性和盆缘结构的分段性。盆缘边界断裂为多组复合、多期活动的复式断裂带,构造活动差异性较强。盆内构造在北西向断裂和北东向断裂的控制下,具有南北分带、东西分段的特点<sup>[2]</sup>,可划分出7个一级构造单元,20个二级构造单元(图1)。

盆地发育上古生界、中生界和新生界3套构造

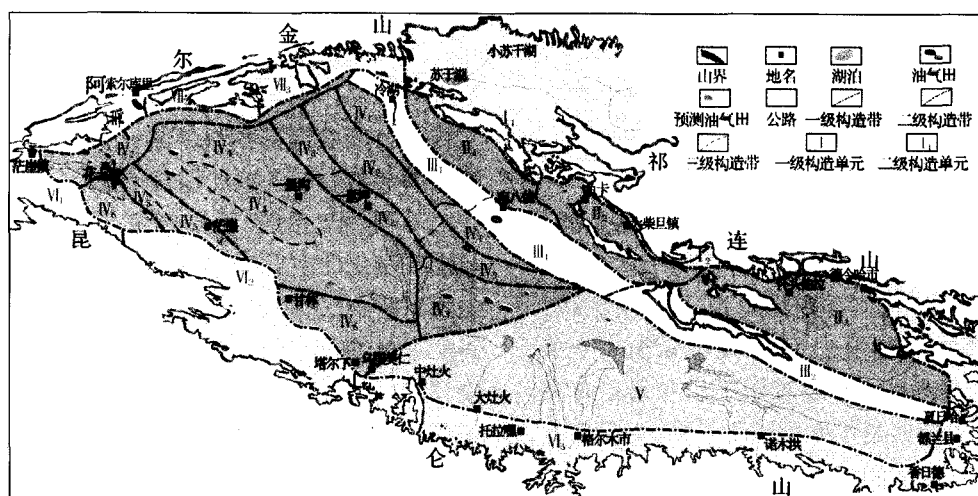


图1 柴达木盆地构造单元划分

I 南祁连冲断带; I<sub>1</sub> 赛什腾山逆冲带; I<sub>2</sub> 柴达木—库勒雷克逆冲带; II 柴北缘坳陷带; II<sub>1</sub> 赛什腾坳陷带; II<sub>2</sub> 鱼卡坳陷; II<sub>3</sub> 德令哈坳陷; II<sub>4</sub> 冷湖—马海—埃姆尼克隆起带; II<sub>5</sub> 冷湖—马海背斜带; II<sub>6</sub> 埃姆尼克隆起带; IV 柴中坳陷; IV<sub>1</sub> 昆特依—依北坳陷带; IV<sub>2</sub> 鄂博梁—依克雅乌汝走滑背斜带; IV<sub>3</sub> 一里坪—三湖坳陷带; IV<sub>4</sub> 大风山低隆起带; IV<sub>5</sub> 英雄岭坳陷带; IV<sub>6</sub> 杂斯断陷带; IV<sub>7</sub> 柴西断陷带; V 柴东南斜坡带; VI 昆北断阶带; VI<sub>1</sub> 阿拉尔斜坡带; VI<sub>2</sub> 东柴山斜坡带; VI<sub>3</sub> 格尔木—诺木洪斜坡; VII 阿尔金山前构造带; VII<sub>1</sub> 小红山—金鸿山褶皱带; VII<sub>2</sub> 月牙山—红三旱1号褶皱带; VII<sub>3</sub> 牛鼻子梁—盐土墩褶皱带

层,经历了古生代、中生代和新生代3个成盆旋回。晚古生代经历了石炭系陆表海盆地的演化阶段,形成了柴东残留海相石炭系盆地;中生代经历了早侏罗世断陷和中侏罗世—早白垩世挤压坳陷的发育阶段,形成了J<sub>1</sub>、J<sub>2</sub>2个并列的沉降中心。

中、新生代以来经历了燕山、喜山2期强烈的构造运动。燕山构造运动西强东弱,柴北缘西段侏罗系强烈变形剥蚀,形成了残留下侏罗统坳陷;东部活动较弱,中、新生代连续沉降沉积。新生代为大型走滑挤压盆地<sup>[3-5]</sup>,第三纪沉降中心在盆地西部,发育多个沉降中心,晚第三纪以来沉降中心向东迁移,第四纪在三湖地区形成统一的大型沉降中心。晚第三纪—第四纪以来,由于印度板块强烈俯冲和阿尔金山断裂带大规模左行走滑,盆地经历了强烈的构造变形,盆缘区以走滑冲断为主,盆内区以压扭变形为主,厚

皮构造十分发育,形成了多隆多坳的现今构造格局。

### 2.2 生烃条件与资源潜力

盆地发育侏罗系、第三系、第四系3套现实烃源岩和石炭系1套潜在烃源岩,形成了3个已知油气系统和1个预测油气系统。

目前勘探已证实的第三系烃源岩主要发育在柴西地区,为盐湖相烃源岩。有机质丰度低,转化率高,生烃潜力较大,形成了柴西富油气凹陷<sup>[4]</sup>。盆地南缘发育第三系凹陷,古气候、沉降背景与柴西相似,推测有可能形成另一个生油凹陷。

侏罗系主要分布在柴北缘地区,发育中、下侏罗统2套烃源岩。下侏罗统烃源岩主要分布在柴北缘西段,中侏罗统烃源岩分布在山前和柴北缘东部<sup>[5]</sup>。柴北缘东段中侏罗统大煤沟组烃源岩发现了有油藻之称的“葡萄藻”,生油量比西段下侏罗统烃源岩高

出近 1 倍。

第四系烃源岩主要分布在三湖地区,有效生气凹陷 14 060 km<sup>2</sup>,气源岩丰度较低,但生气速率高,生气总量大,第四系生气量 123.1 万亿 m<sup>3</sup>,上第三系 92 万亿 m<sup>3</sup>。

石炭系主要分布在盆地东部,发育海相、海陆交互相烃源岩,有机质丰度较高,成熟度适中,是一套潜在的烃源岩。

### 2.3 沉积特征与储集条件

中生代盆地主要分布在祁连山和阿尔金山前。早中侏罗世,盆地经历了陆相潮湿断陷和坳陷的发育阶段,在盆缘陡坡区发育了水下扇和扇三角洲沉积,在缓坡带发育了辫状河及河流三角洲沉积体系;晚侏罗世经历了炎热干旱一半干旱山前坳陷发育阶段,发育季节性河流三角洲、扇三角洲、冲积扇沉积体系<sup>[3]</sup>。

新生代进入大型走滑挤压坳陷盆地发育阶段。早第三纪为炎热干旱气候下的闭塞盐湖—咸化湖,盆地北部山前带主要发育山麓洪积相、辫状河沉积,盆地南部发育季节性河流三角洲、扇三角洲和盐湖相沉积,阿尔金山前带主要发育水下扇和扇三角洲沉积;晚第三纪—第四纪气候进一步干旱,主要发育季节性河流、扇三角洲相沉积。

在沉积体系和构造活动的控制下,盆地发育砂岩、藻灰岩、裂缝 3 类储层。柴西南区第三系发育砂岩和藻灰岩储层,河流三角洲砂岩储层物性好;藻灰岩层系多,物性较好,单层厚度薄。柴北缘东段中侏

罗统大煤沟组发育石英砂岩储层,成份成熟度高,原生孔隙发育,储层物性较好。白垩系发育河流相沉积,砂岩厚度大,分布广,储层物性较好。柴东石炭系发育生物礁灰岩,可形成良好储集相带<sup>[3]</sup>。

### 2.4 成藏控制因素与油气分布

勘探研究表明,控制柴达木盆地油气宏观分布和局部富集的主要因素是富油气凹陷、河流三角洲和扇三角洲相带、控油断裂带和同沉积构造<sup>[3]</sup>。

柴西、柴北缘和三湖地区 3 个生烃凹陷控制着油气的宏观分布;柴西南区的阿拉尔、柴北缘地区的南八仙 2 个下第三系河流三角洲沉积体系控制着有利储集相带的分布;柴西阿拉尔断裂、XI 号断裂带和柴北缘地区的陵间断裂带控制着多层系成藏;柴西南区早喜山期同沉积构造带、柴北缘地区燕山期古构造控制着局部油气富集;晚喜山构造运动控制着晚期成藏和油气藏的保存条件。

不同油气系统、不同成藏区带(图 2)成藏因素与成藏演化的差异性是导致油气分布规律复杂性的主要原因。在柴西南区,近源早喜山期同沉积构造和斜坡区的圈闭、油源、储盖组合配置条件好,油藏规模较大、富集程度较高。在柴西北区,下第三系砂岩储层不发育,以裂缝性储层为主,厚皮构造形成晚,聚油期短,圈闭和油源、储盖组合配置不利,构造被断层扭裂破坏,油气藏规模小,丰度较低。在柴北缘西段,已发现的深层油气藏是经历喜山构造运动改造调整后的残留油气藏,浅层为次生油气藏,大型原生油气藏尚未发现。三湖凹陷具有满凹生气、局部富

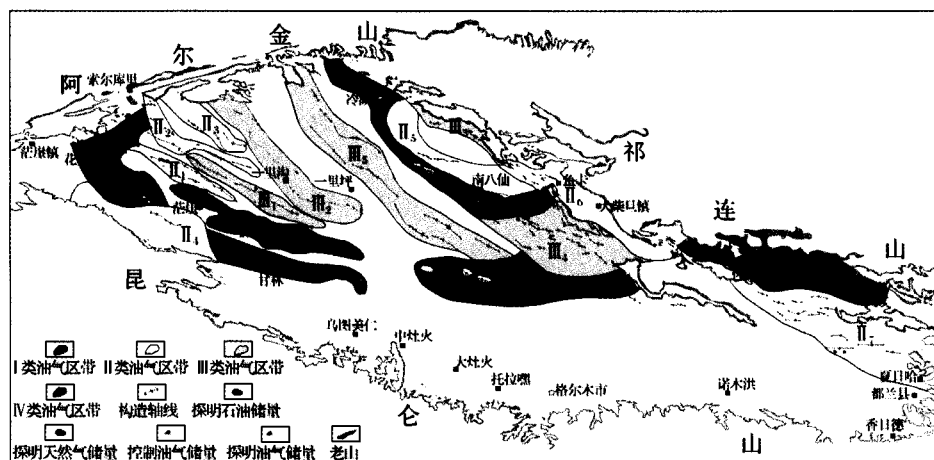


图 2 柴达木盆地油气有利预探区带划分与评价

I<sub>1</sub> 尕斯断陷第三系复式油气区带; I<sub>2</sub> 柴西阿尔金山前第三系复式油气区带; I<sub>3</sub> 油砂山油气区带; I<sub>4</sub> 冷湖 0—5 号反转构造带; I<sub>5</sub> 马海—南八仙侏罗系—第三系油气区带; I<sub>6</sub> 冷湖 6—7 号构造带; I<sub>7</sub> 三湖第四系天然气区带; II<sub>1</sub> 油泉子—油墩子油气区带; II<sub>2</sub> 南翼山—大风山油气区带; II<sub>3</sub> 尖顶山—黑梁子油气区带; II<sub>4</sub> 东柴山油气区带; II<sub>5</sub> 潜伏地区油气区带; II<sub>6</sub> 鱼卡—红山油气区带; II<sub>7</sub> 德令哈油气区带; II<sub>8</sub> 黄梁—碱石山油气区带; II<sub>9</sub> 东坪—红三旱三、四号油气区带; III<sub>1</sub> 赛什腾山前油气区带; III<sub>2</sub> 北极星—大红沟油气区带; III<sub>3</sub> 鄂博梁—伊克雅乌汝油气区带; IV<sub>1</sub> 茫崖—落雁山油气区带; IV<sub>2</sub> 湾梁—那北油气区带; IV<sub>3</sub> 宗务隆山前油气区带

集的特点,富气凹陷内新构造和有利地层岩性变化带是成藏的主控因素,气藏具有多层系含气,发育多个气水界面。

## 2.5 新构造控油作用与勘探启示

新构造运动对柴达木盆地油气成藏和分布具有决定性作用。在新构造活动较弱的地区,深层原生油气藏得到有效保存,油气藏规模较大,浅层次生油气藏也有一定规模。而在新构造活动较强烈的地区,深层原生油气藏往往遭受较强烈的改造和调整,规模和丰度一般较小,浅层油气藏也遭受破坏,形成地表油砂和油苗。在盆地西部和北缘,沿阿尔金走滑断裂带、盆缘造山带和盆内压扭走滑断裂带,新构造运动破坏了深层原生油气藏,形成了浅层次生油气藏和广泛分布的地表油苗和油砂,改造和调整了中深层的原生油气藏,降低了原生油气藏的规模和丰度,使区域油气分布格局复杂化。

对新构造运动与油气成藏规律研究表明,柴达木盆地油气勘探战略部署在注重“源控”、“相控”、“断控”、“圈控”的基础上,还要高度重视新构造运动的影响。在油气勘探战略选区与目标评价优选方面,尽量避开新构造破坏强烈的地区<sup>[2]</sup>。构造勘探应优先选择弱改造或继承性演化的构造带,地层岩性勘探应围绕新构造运动微弱的近源斜坡区。

柴达木盆地新构造运动具有很强的不平衡性。在盆缘山前带、盆内走滑断裂带附近活动非常强烈,但在盆内拗陷区和构造斜坡区新构造活动比较微弱甚至平静,复杂之中有相对简单的地区。柴西南断陷区、柴北缘山前拗陷区、盆地南部斜坡区新构造活动较弱,深层古构造晚期叠加构造变形也较弱,构造相对简单,有利于油气保存,均是今后寻找规模整装原生油气藏的有利方向。

## 3 有利勘探方向

今后柴达木盆地油气勘探应“立足柴西,扩展三湖,坚持北缘,突破新区”,围绕4个有利领域,加大投入,加强地震准备和综合研究。

柴西地区应围绕第三系富油气凹陷,加强岩性和深层构造勘探。天然气勘探应立足三湖富气凹陷,进一步扩展勘探领域。柴北缘西段应加强潜伏构造和山前带油气勘探,柴北缘东段应加快德令哈新区风险勘探(图2)。

### 3.1 柴西地区

柴西地区有利勘探面积17 670 km<sup>2</sup>,石油资源量9.53亿t,探明3.02亿t,剩余6.51亿t。富油气

凹陷规模较大,剩余资源较丰富,成藏条件较好,进一步扩展潜力较大。富油气凹陷内部及外围的构造斜坡区地层岩性带和深层构造带是未来油气勘探的重点领域。

#### 3.1.1 近源斜坡区地层岩性带

柴西南区沿阿拉尔断裂、XI号断裂、阿尔金断裂发育一批早喜山期同沉积构造带,这些构造带及其外围斜坡区紧邻富油气凹陷,河流三角洲相储层发育,地层岩性圈闭发育条件好,区带面积较大,目的层系较多,勘探潜力较大。近年来已在尕斯东南斜坡区、红柳泉、七个泉斜坡区岩性勘探中取得良好进展,展现了斜坡区岩性勘探的良好前景。建议围绕砂西—尕斯、红柳泉—七个泉、跃进二号—四号、乌南—绿草滩4个含油气构造斜坡区,进一步加强地层岩性勘探和断裂带精细勘探,整体部署高分辨率三维地震,重新采集处理,为岩性勘探和精细勘探做好准备。同时开展层序地层学工业化应用研究,查明第三系主力含油层系沉积体系和沉积微相特征,为岩性勘探指明方向。

#### 3.1.2 深层构造带

柴西阿尔金山前和狮子沟—油砂山深层构造发育,圈闭规模较大,储盖组合条件较好,地震攻关已初见成效。建议进一步加大攻关力度,加强深层构造勘探,围绕狮子沟—油砂山构造带,整体部署二维地震,落实深层构造,扩大勘探成果。

### 3.2 三湖地区

柴达木盆地生气条件好,满盆含气,资源丰富,勘探领域较广。今后应立足三湖,扩展生物气勘探领域,探索柴西和柴北缘热解气。

三湖凹陷及东南斜坡区第四纪构造活动微弱,构造幅度低,地层含气导致地震波速度异常,低幅度构造识别难度较大<sup>[7]</sup>,接替勘探目标准备不足。

建议在含气区及外围开展连片叠前深度偏移处理解释,整体评价含气区,发现和落实有利构造圈闭和地层岩性圈闭。同时开展多波多分量地震勘探试验,寻找适用有效的勘探新技术。此外,根据微生物气区域成藏特点,建议向东扩展找气新领域,同时在东台吉乃尔湖进行湖区地震勘探试验,探索风成砂岩性气藏新类型。

### 3.3 柴北缘西段

柴北缘西段勘探面积19 970 km<sup>2</sup>,石油资源量3.38亿t<sup>[1]</sup>,探明储量2 621万t。具有多生烃中心、多类型圈闭、多层系储层等有利条件,发育古凸起带、走滑背斜带、山前冲断构造带、潜伏构造带等勘

探领域。但柴北缘西段深层和山前带构造复杂、断裂发育,地震资料信噪比低,勘探目标落实程度低,油气预探风险大,此外由于中生界遭受强烈差异剥蚀,对残余侏罗系、有效生烃凹陷和有利储集相带发育特征认识不清,对原生油气藏发育规律认识不清,故有利勘探方向不够明确。

今后应围绕制约柴北缘油气勘探的重点问题,加强地震攻关和基础研究,查明残留侏罗系、有效生烃凹陷、有利储集相带、燕山期古构造的发育规律和分布特征。

在冷湖一南八仙含油气构造带应进一步加强地震准备和成藏规律研究,加大滚动勘探力度,探索近源古凸起和潜伏构造带;在潜西古凸起部署三维地震,与老三维连片处理解释,整体解剖冷湖含油气构造带及其外围凸起带,扩大储量规模;在马仙断裂下盘加密部署二维地震,与早期二、三维地震连片解释,发现和落实有利勘探目标,力争获得规模发现;在红山地区部署二维地震,加强中生界构造的准备和探索。

### 3.4 柴北缘东段

柴北缘东段有利勘探面积 18 350 km<sup>2</sup>,勘探程度很低,属于“三新”领域,预测石油资源量 3.93~5.93 亿 t。

最新研究表明:德令哈凹陷发育中侏罗统和石炭系 2 套烃源岩,生烃条件好;中生界发育河流三角洲相储层和继承性背斜构造圈闭,成藏条件有利;目

标区地震资料品质较好,目的层埋藏适中,勘探条件较好;地表有油气显示,钻井油气显示较丰富,是柴达木盆地实现战略突破最有潜力的地区,建议加快风险勘探。

## 4 认识与结论

柴达木盆地勘探潜力与困难并存,应进一步加强技术攻关和综合研究,优化和调整勘探领域和勘探方向,选准勘探突破口,推动勘探取得战略突破。柴西地区地层岩性带和深层、三湖地区、柴北缘东段德令哈新区是该盆地油气勘探战略突破和增储上产的重点领域,应加大风险钻探和参数井的钻探力度。

### 参考文献:

- [1] 贾承造,赵政璋,赵文智,等. 陆上主要含油气盆地油气资源与勘探潜力[J]. 石油学报,2005,26(增刊):1-6.
- [2] 贾承造. 21 世纪初中国石油地质理论问题与陆上油气勘探战略[M]. 北京:石油工业出版社,2005:355-370.
- [3] 袁剑英,陈迎宾,张正刚,等. 柴达木盆地石油地质特征与油气分布规律[J]. 天然气工业,2005,25(增刊 B):32-36.
- [4] 陈启林,阎存凤,陈迎宾,等. 柴北缘东区中下侏罗统油气地质特征[J]. 天然气工业,2005,25(增刊 B):37-41.
- [5] 李相博,袁剑英,陈启林,等. 柴达木盆地新生代成盆动力学模式[J]. 石油学报,2006,27(3):6-10.
- [6] 彭德华,苏爱国,朱扬明,等. 柴达木盆地西部第三系盐湖相烃源岩特征与成烃演化[J]. 石油学报,2005,26(增刊):1-6.
- [7] 惠荣耀,李本亮,丁安娜,等. 柴达木盆地三湖凹陷岩性气藏的勘探前景[J]. 天然气地球科学,2005,16(4):443-445.

## PETROLEUM GEOLOGICAL CHARACTER AND FAVORABLE EXPLORATION DOMAINS OF QAIDAM BASIN

YUAN Jian-ying, CHEN Qi-lin, CHEN Ying-bin, YAN Cun-feng

(Northwest Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Lanzhou, 730020, China)

**Abstract:** Qaidam basin, one of the seven largest oil-gas bearing basins of China, is abundance in petroleum reserve and exploration potential and difficulty are dual. The basin experienced three basin-forming cycles of Neopaleozoic, Mesozoic and Cenozoic Eras. Mesozoic fault and depression compounding basin composed the northern margin Jurassic petroleum system and the Cenozoic large-scale strike-slip and compressional basins composed the Tertiary petroleum system of the western Qaidam basin and Quaternary petroleum system of Sanhu. The intense tectogenesis of Yanshan and Xishan made the Jurassic petroleum system of the northern Qaidam more complex. The monocycle paleoclimate evolution in Cenozoic Era and multi-tectonic movement made the lake-basin evolution, hydrocarbon source-rock, reservoir development, accumulation condition and petroleum distribution are more exceptive in character and complex in feature. In the future, the exploration will focus on the petroleum exploration in the Tertiary fuel-rich depression of the western Qaidam and Quaternary depression of Sanhu, at the same time, the risk exploration of Delingha, east part of the northern Qaidam, should be pay more attention to for further strategy breakthrough.

**Key words:** Qaidam basin; Character of petroleum geology; Exploration domain.