

·综述与进展·

川西北松潘—阿坝地区油气勘探进展与初步评价

马永生, 陈跃昆, 苏树桢, 杨云龙, 黄庆球

MA Yong-sheng, CHEN Yue-kun, SU Shu-an, YANG Yun-long, HUANG Qing-qiu

中国石化股份有限公司南方勘探开发分公司, 云南 昆明 650200

Southern Exploration & Development Company, SINOPEC, Kunming 650200, Yunnan, China

摘要: 位于青藏高原东北部松潘—甘孜构造带中央部位的松潘—阿坝地区是目前中国石化公司油气勘探与探索的全新领域。2002年以来中国石化南方勘探开发分公司对该区进行了系统的石油地质、重、磁、电、震、遥感、化探等综合勘探与评价研究,发现了相对稳定的若尔盖隐伏地块、多个局部构造显示和化探异常区域,认为该区可能存在下古生界生烃、上古生界储集、三叠系封盖的油气地质条件,评价优选出了若尔盖坳陷的中部凸起及其向北侧凹陷带过渡的斜坡地带为近期油气勘探的有利地区并实施了红参1井的钻探。各项勘探成果资料表明该区应该具有油气勘探前景,但三叠系巨厚且经历了多期形变改造,油气勘探的难度较大,加强随钻跟踪分析、深化油气地质研究并开展物探技术攻关是近期工作的重点。

关键词: 川西北; 松潘—阿坝地区; 油气勘探; 红参1井; 综合评价

中图分类号: P618.13; P62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-2552(2006)09~10-1045-05

Ma Y S, Chen Y K, Su S A, Yang Y L, Huang Q Q. Progress in petroleum exploration in the Songpan-Aba area, northwestern Sichuan, China, and preliminary evaluation. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(9-10):1045-1049

Abstract: The Songpan-Aba area located in the central part of the Songpan-Garzê tectonic belt on the northeastern Qinghai-Tibet Plateau is now a frontier area of petroleum exploration for Sinopec. Since 2002, based on systematic petroleum geological investigations, gravity survey, aeromagnetic and electromagnetic survey, seismic telemetric survey and remote sensing and geochemical prospecting, the relatively stable Zoigê buried block, manifestations of several localized structures and geochemical anomaly zones have been found. The authors consider that there might exist favorable petroleum geological conditions in this area, i.e. Lower Paleozoic source rocks, Upper Paleozoic reservoir rocks and Triassic seals. The central rise in the Zoigê depression and the slope zone where the rise passes northward to a subbasin are the favorable area for recent petroleum exploration, where the Hongcan-1 well was drilled. Various data of exploration indicate that this area should have petroleum prospects. However, it is difficult to carry out petroleum exploration because the Triassic is very thick and has undergone polyphase deformation. Therefore, more efforts should be devoted to follow-up analysis-while-drilling and intensive petroleum geological research, and geophysical prospecting should be increased in the near future.

Key words: Songpan-Aba area, northwestern Sichuan; petroleum exploration; Hongcan-1 well; comprehensive evaluation

松潘—阿坝地区位于中国青藏高原东北部川西北的松潘、阿坝、若尔盖地区,地处特提斯构造域东段,是被秦岭—祁连加里东造山带、三江地区印支造山带、龙门山陆内造山带所围限的三角形地区(松潘—甘孜构造带)的中央部位,面积约 $12.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1)。

该区的地质情况十分复杂,关于油气资源前景存在不同的认识。多数地质学者与专家认为该区是松潘—甘孜褶皱系^[1]、巴颜喀拉地体^[2]、松潘—甘孜造山带^[3]、松潘—甘孜—可可西里地体^[4]等。

区内广泛覆盖着三叠系海相砂泥岩地层,在其东部及北

收稿日期:2006-01-13;修订日期:2006-08-08

科技项目:国家油气专项《松潘—阿坝地区油气资源战略调查及评价》课题(XQ-2004-04)成果。

作者简介:马永生(1961-),男,博士,教授级高级工程师,从事海相油气勘探研究。E-mail:yongshma@sohu.com

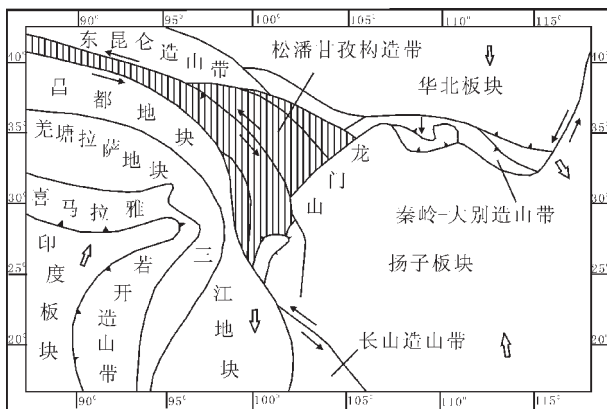


图1 松潘—阿坝及邻区大地构造简图

Fig.1 Tectonic sketch map of the Songpan-Aba area and its adjacent areas

部周缘出露古生界海相碎屑岩及碳酸盐岩。近年来国内学者和专家认为该区具有与扬子地块相似的地质结构或基底特征,应是一具有油气远景、亟待开发而又具有一定勘探风险的新领域^[5-6]。

目前中国石化公司在区内登记了若尔盖坳陷和洮河坳陷的油气勘查权,共计14个登记区块,面积 $6.131 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。在国土资源部《全国油气资源战略调查与评价》项目的统一领导下,中国石化南方勘探开发分公司正对该区进行探索性的油气勘探与研究。

1 油气勘探基本情况

1.1 初步调查阶段(2002年以前)

1959年,原四川省地质局四川石油普查大队曾在该区作过2条石油地质路线概查;1974年,原地矿部第二普查勘探大队在阿坝地区进行了石油地质路线踏勘;1990年,原地矿部无锡实验地质研究所蔡立国等^[9]在该区开展了沉积、构造及油气远景的初步研究与评价;1991—1992年,原地矿部石油海洋地质局又对该区开展了石油地质基本条件的研究,但实质性的油气勘探一直未开展。

1.2 区域勘探阶段(2002年—现今)

中国石化南方勘探开发分公司先后开展了石油地质调查、油气综合勘探、综合评价研究、参数井钻探等探索性工作,特别是国土资源部2004年确立松潘—阿坝地区为全国油气资源战略调查与评价的新区之后,该区的油气勘探进入了一个新时期。

在石油地质调查方面,对玛曲—尕海、迭部白依沟、迭部当多沟、松潘张家沟和窑沟、理县等地区开展了寒武系至三叠系地层及含油气综合基干剖面实测与观察,开展了松潘—阿坝地区地层划分对比、区域构造演化与构造样式、烃源岩及油气资源潜力、古生界储层评价、成岩演化与保存条件5项专题研究,共计实测地层累计厚度 $2.3 \times 10^4 \text{ m}$ 、路线观测及剖

面观察3000 m、采集各类样品近18000件。

在油气综合勘探技术与应用方面,先后开展了化探概查($2 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 测网,10118个测点,19240 km^2)、MT测量($30 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ 测网,13条测线,3971 km,1991个测点)、重磁大剖面($30 \text{ km} \times 2 \text{ km}$,13条测线,3930 km,2013~2031个测点)、重磁力调查($2 \text{ km} \times 1 \text{ km}$,86条测线,20106个测点, $3.8 \times 10^4 \text{ km}^2$)、遥感解译(1:50万)、二维地震大剖面(3条,530 km)、地震层析成像、深部地震大剖面(1条,254 km)、重磁电综合处理与解释等综合勘探,取得了许多成果和资料。近期,又完成了过红参1井的EMAP电法测量(“十字”测线,103 km,518个测点),正在实施过井二维地震采集攻关(50 km),并对已有地震资料进行重新处理,开展重、磁、电、震联合反演和综合解释。

在综合评价研究方面,在全面综合区域地质、石油地质、地球物理、地球化学等资料的基础上,完成了松潘—阿坝地区油气勘探前景、有利区带评价及规划部署研究,经过多次论证完成了参数井的设计,正在开展随钻跟踪与评价、勘探部署与规划、松潘—阿坝地区的构造分析、油气地球化学场形成机理、油气地质条件、变质作用等多项专题研究与综合评价。

在参数井的钻探方面,经过多个单位参与多次论证,选择了若尔盖坳陷中部凸起嘎尔玛二号构造异常高部位,在若尔盖县唐克乡五道班附近海拔3507 m的公路旁,部署并实施了松潘—阿坝地区的第一口石油参数井——红参1井(设计井深6000 m)。该井的目的是深化松潘—阿坝地区基础地质及石油地质研究,探索若尔盖地区地腹三叠系与上古生界的地层层序、生储盖组合及含油气情况,取得地质、地球物理、地球化学、钻井与测试等参数和数据。该井于2004年8月3日在上三叠统侏罗组下部开孔,至2005年11月上旬,钻至井深3700 m处的上三叠统杂谷脑组下部地层。钻井过程中,系统开展了录井、测井、取心、随钻跟踪与测试分析,取得了丰富的地质资料和初步的认识。

2 主要成果与认识

2.1 地层层序

系统建立了松潘—阿坝地区北部玛曲—尕海、降扎—白依沟地区寒武系—泥盆系和东部石炭系—二叠系地层含油性基干剖面,将寒武系—中三叠统划分为31个组、群,并建立了相应的生物组合、带,明确了周缘造山带寒武系—三叠系累计总厚度(大于13800 m),其中下古生界厚度大于5400 m,上古生界厚度大于5600 m,三叠系厚度大于2800 m。

2.2 生储盖组合

明确了周边地区普遍具有下古生界泥质岩及硅质岩生烃、上古生界碳酸盐岩储集、三叠系砂泥岩封盖的纵向生储盖组合特征,推测松潘—阿坝地区地腹应有类似的油气地质条件。从周边基干剖面分析,中、上寒武统牙相组、希格组、拉尔玛组和下志留统塔尔组、下地组的泥质岩与硅质岩是2套主要烃源层(表1),其厚度达1280 m,有机碳含量1.2%~4.1%,有机质类型主要为I—II型,现已进入高成熟—过成熟阶

表1 松潘—阿坝地区主要烃源岩的特征

Table 1 Main characteristics of main source rocks in the Songpan—Aba area

层位	岩类	厚度/m	有机碳/%	类型	R _o /%
S ₁	泥质岩	500	3.2~3.7	I—II ₁	2.0~3.9
Є ₂₊₃	泥质岩 硅质岩	780	1.2~4.1	I—II ₁	1.7~3.5

段。上古生界—下三叠统发育白云岩储层、颗粒灰岩储层、砂岩储层、岩溶型储层及裂缝性储层或孔隙—裂隙型储层,但总体经受了较强的成岩作用,因此裂缝对储层物性的改善极为重要。而在松潘—阿坝地区广泛分布的三叠系岩石的成岩演化程度总体较高且厚度巨大,以唐克—红原—若尔盖一带成岩演化阶段相对较低,油气封盖条件相对较好。

2.3 盆地结构

重、磁、电法勘探初步揭示了地腹地质结构与构造,反映松潘—阿坝地区存在浅、中、深三大构造层,认为存在一个相对稳定的地块(若尔盖地块)。地腹深层的高电阻、高密度、低磁性块体(图2)可能是古生界海相碳酸盐岩的反映,推测地腹三叠系厚3~6 km、上古生界5~6.5 km、下古生界5~8 km。

地震层析成像研究也表明松潘—阿坝地区是川西高原内部一个相对独立的地壳单元,若尔盖拗陷地壳上部显示低速异常,深度约10 km;中部波速略有波动,下部波速变化平缓,平均速度较低;上地幔顶部波速较高,壳幔边界比较清晰。

深部地震勘探资料表明,松潘—阿坝地区具有弱反射的上地壳和强反射的下地壳,莫霍面南浅北深,49.5~54 km,地壳向北下插到西秦岭造山带下地壳底部。

2.4 局部构造显示

地震勘探实践在中浅层不易取得好的资料,在深部可获得较好的反射层,揭示中浅层构造形变强烈,深层相对稳定,具有多个较大规模的隆起。MT初步解释成果发现了红原、嘎尔玛等10余个局部构造显示,初步分析认为嘎尔玛和红原2个局部构造显示较为有利。

2.5 化探异常

油气化探概查初步圈定了瓦切—色地、唐克西南、曼日玛、辖曼乡、大水—墨溪乡、若尔盖6个综合化探异常带。经过对原有化探资料进行特高值处理、克里格分析和土壤介质、地表景观校正的再处理,采用土壤酸解烃C₁、C₂、C₃和土壤热释烃C₁、C₂、C₃共6个指标进行综合模式识别,圈定出了若尔盖县北西环形区域、若尔盖县城至嘎尔玛之间半环或似半环形区域、北部边界、采日玛以北4个综合油气地球化学异常区,其中以若尔盖县城北西区域、红参1井所在的若尔盖—嘎

尔玛区域较为重要,多项油气地球化学指标均有一定程度的反映。

2.6 构造演化与形变改造

燕山—喜马拉雅期形变改造强烈,构造变形受龙门山、西秦岭和三江构造带的联合控制,侏罗纪至白垩纪又经历了造山后的伸展作用,新生代晚期受青藏高原北东缘挤压活动的影响,进一步遭受形变改造。现今浅层以挤压缩短变形构造样式为主,NW、NE、SN向断裂发育,NW、NE向紧密褶皱、复式褶皱普遍,多见层间滑脱和逆冲变形(图3)。

2.7 区带划分与评价

综合地球物理资料及石油地质分析,松潘—阿坝地区(12.8×10⁴km²)的构造单元划分为中秦岭隆起、洮河拗陷、白龙江隆起、若尔盖拗陷、摩天岭隆起、龙门山隆起、康滇隆起7个二级构造单元。若尔盖拗陷(3.68×10⁴km²)又细划分为北部凹陷、中部凸起、南部凹陷、东部斜坡4个三级构造单元(表2)。

经过初步的评价与优选,目前认为若尔盖拗陷和洮河拗陷是油气勘探的有利地区。若尔盖拗陷的中部凸起(约1.6×10⁴km²)及其向北侧凹陷带过渡的斜坡带,由于航磁解释基底的刚性程度相对较高、重力及电法资料显示重力高并存在高电阻层、地表及地腹发育近东西向构造及其形迹、地质分析应为古构造发育带、邻近早古生代白龙江裂陷槽等生烃凹陷,是油气运聚较有利的部位,因此是近期应该重点勘探的区带。

3 红参1井三叠系初步评价

3.1 钻遇地层

红参1井自2004年8月3日开钻至2005年11月上旬,钻至3700 m井深处的上三叠统杂谷脑组下部地层,由于岩石致密和地层形变强烈,尚未钻遇中三叠统扎尔山组上部的砂泥岩夹薄层状灰岩地层。从所钻探的上三叠统侏侏组(T_{3zh})、杂谷

表2 若尔盖拗陷构造区划与评价

Table 2 tectonic divisions and evaluation in the Zoigê depression

二级构造单元	三级构造单元	面积/km ²	初步评价
若尔盖拗陷	北部凹陷	7400	烃源条件较好、埋藏较深
	中部凸起	15900	保存条件较好、目的层较浅
	南部凹陷	6400	构造改造相对较强
	东部斜坡	7100	岩浆活动、走滑断裂影响

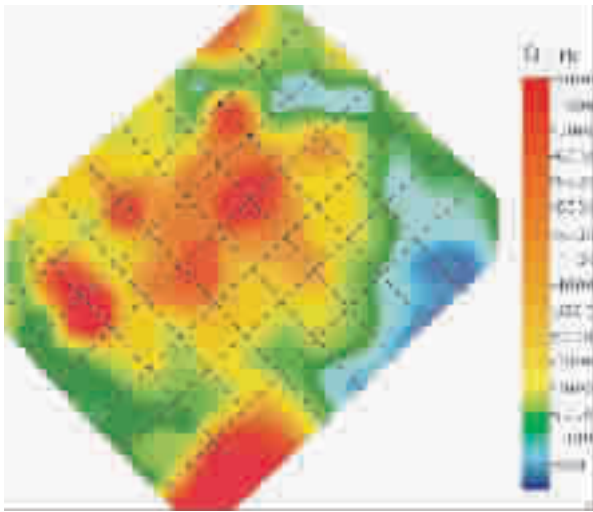


图2 松潘—阿坝地区-7.5km视电阻率切片图
Fig.2 Section of apparent resistivity in the Songpan-Aba area(-7.5 km)

脑组(T_{2z})2套地层来看,岩石组合均为灰色细砂岩与深灰色泥岩不同比例互层。侏倭组以深灰色泥岩、钙质泥岩为主,夹灰色细砂岩或不等粒砂岩,泥岩中一般夹有条带状或极薄层的粉砂岩或细砂岩。杂谷脑组主要是一套灰色细砂岩为主夹深灰色薄层状泥岩的组合。其岩性、组合特征及厚度与区域

上同组段地层相似。钻井取心及地层倾角测井资料揭示,井下地层构造形变强烈,部分层段产状变化较大、地层陡倾且层间滑动普遍。

3.2 岩石特征

砂岩岩石类型主要为中—细粒、不等粒长石砂岩、岩屑杂砂岩、长石石英砂岩、次长石岩屑砂岩和岩屑砂岩,砂岩的矿物成熟度和结构成熟度一般较低。泥岩主要为深灰色泥岩、钙质泥岩,泥岩中的微古化石稀少,发现的孢粉数量不多、类型单调,但存在 *Dictyophyllidites*, *Clathroidites*, *Chasmatosporites magnolioides*, *Alisporites australis* 等一些中国南方上三叠统地层中出现的属种。侏倭组、杂谷脑组的重矿物类型、含量及组合存在差异,反映可能存在物源转换面,2套地层具有不同的母质来源。

3.3 构造—沉积环境

岩心及薄片鉴定见有密度流作用形成的韵律层、粒序层、负荷构造,且岩石的矿物成熟度和结构成熟度较低,应为斜坡—盆地环境下的浊流沉积。砂岩的碎屑颗粒矿物成分及化学组分均反映了岩石形成的构造环境主要为大陆岛弧—活动大陆边缘环境(图4)。从岩心中尚观察到同沉积—成岩期的构造形变现象,说明钻遇的上三叠统是活动构造背景下的快速沉积体。

3.4 成岩作用

岩石的成岩作用主要有压实、压溶、胶结、交代、重结晶5种作用,其中压实和钙质交代作用较强烈,尚未发现明显的

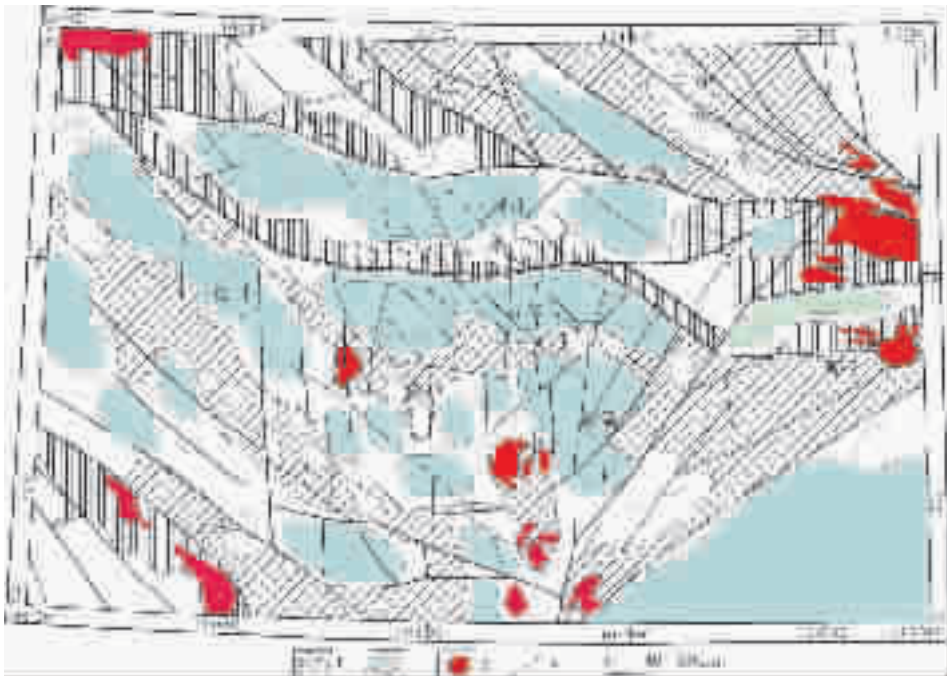


图3 松潘—阿坝地区区域构造推断解释图

Fig.3 Interpretative map of regional structure in the Songpan-Aba area

1—基岩隆起;2—基岩拗陷;3—火成岩;4—断裂

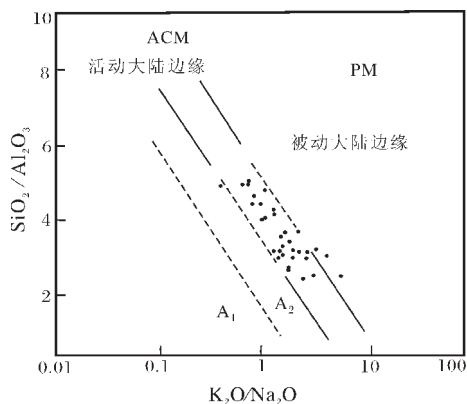


图4 红参1井三叠系砂岩构造背景判别

Fig.4 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ diagram of Triassic sandstone in well Hongcan-1

变质分异作用和特征明显的变质矿物。泥质岩石粘土矿物成分主要为伊利石和绿泥石,已到晚成岩C期,为过成熟阶段。2300 m井深以浅岩石的伊利石结晶度值主要集中在 $0.4\sim 1.0^\circ 2\theta$ 之间,整体显示与深度呈负相关性,伊利石的 b_0 值在 $9.23\times 10^{-8}\sim 9.25\times 10^{-8}\text{cm}$ 之间,表明岩石尚未变质,还处于成岩阶段。岩石石英方解石脉中的流体包裹体有4种类型,以富液气相和液相包裹体为主,其均一温度范围比较宽($110\sim 210^\circ\text{C}$),且存在 $110\sim 170^\circ\text{C}$ 和 $180\sim 210^\circ\text{C}$ 2个峰值区。

3.5 生储盖层特征

有机地球化学分析表明,上三叠统泥质岩有机质丰度低,氯仿沥青“A”含量小于0.01%,有机碳含量大多为0.2%,有机质类型为 II_2 - II_1 型,镜质体反射率(R_o)多达3.0%~5.0%,有机质成熟度已处于过成熟阶段,不具生烃条件。砂岩的孔隙类型以晶间孔、粒内孔为主,裂缝多被石英方解石充填,同时由于岩石致密高成岩,测井资料反映的物性、岩性与电性关系相关性很差。物性分析砂岩孔隙度多小于0.5%,渗透率很低,铸体薄片及压汞分析属于特低孔低渗储层,钻遇的气水显示多与裂隙或微裂缝有关。但三叠系泥质岩极为致密,岩石密度 $2.65\sim 2.75\text{g}/\text{cm}^3$,突破压力多在50 MPa以上,虽然成岩程度较高,由于厚度较大,仍有较好的封盖能力。

3.6 下伏地层预测

从岩性组合与地层厚度分析,红参1井杂谷脑组已钻地层的岩性组合与离井较近的若尔盖县阿西茸剖面相似,因此红参1井杂谷脑组的厚度应在1000 m左右,根据红参1井取心获得的地层倾角资料估算实钻地层厚度,认为目前井底(3700 m)已经接近杂谷脑组底界,同时钻遇地层的测井电性分层及变化规律与邻近的MT-10线TE+TM模式偏移成

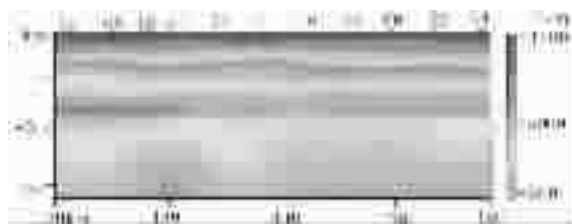


图5 MT-10线TE+TM模式偏移成像剖面

Fig.5 Migrating-imaging section along the MT-10 line (TE+TM model)

像剖面相吻合,MT解释在3900 m和6000 m附近存在电性界面(图5)。因此,3900 m左右可以钻穿上三叠统地层,乐观估计6000 m左右可能钻达地腹更高阻的地层,推测可能为中、古生界海相碳酸盐岩。

4 结束语

松潘—阿坝地区的油气勘探与基础研究取得了多方面的进展与成果,红参1井的钻探首次揭开了松潘—阿坝地区中浅层地层层序,初步取得了丰富的地层、构造、岩相、石油地质与地球物理等多方面的资料,为油气勘探和研究积累了有益的经验丰富的信息,也为中国其他复杂地区的油气勘探提供了借鉴。目前红参1井正在按原设计继续钻进。该探井取得的一系列第一手资料是该区深入评价研究的关键,跟踪分析红参1井实钻情况、加强油气地质研究和物探技术攻关是该区油气勘探研究目前应该关注的主要问题。

本文初稿完成于2005年底,2005年11月20日红参1井于3825 m钻至中三叠统扎尕山组,至2006年8月8日该井已钻至6000 m。

参考文献:

- [1]中国地质部地质科学院.中国大地构造图1:300万说明书[M].北京:地质出版社,1965.
- [2]崔作舟,等.青藏高原速度结构和深部构造[M].北京:地质出版社,1992.
- [3]许志琴,等.中国松潘—甘孜造山带的造山过程[M].北京:地质出版社,1992.
- [4]An Yin, Mark Harrison T.Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annu. Earth Planet. Sci., 2000, 28: 211-80.
- [5]蔡立国,郑冰,刘建荣,等.青藏高原东部石油地质基本特征[M].南京:南京大学出版社,1993.
- [6]蔡立国,等.松潘—阿坝地区盆地演化及油气远景[J].石油与天然气地质, 2005, 26(1): 92-98.