

文章编号: 0253-2697(2013)05-0809-11 DOI: 10.7623/syxb201305001

从典型实例感悟油气勘探

杜金虎¹ 胡素云² 张义杰² 张珂¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司 北京 100007; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

摘要: 2005年以来,面对勘探程度不断提高、勘探难度不断加大的现实,中国石油天然气股份有限公司大力实施资源战略,油气勘探获得了一批重大突破与发现,呈现油气并举、新老区比翼齐飞、储量单体规模大等特点,迎来了新的储量增长高峰期,连续6年探明石油地质储量超 7×10^8 t,连续6年探明天然气地质储量超 4000×10^8 m³,成为中国油气勘探史上成果最丰、探明储量最多、储量高峰期持续时间最长的时期之一。通过典型勘探实例总结分析,提出了5点感悟和体会:油气藏在勘探家的脑子里是找油的哲学基础;大油气区理论是推动油气勘探持续发展的重要指导;解放思想、重新认识是成熟探区勘探突破发现的必由之路;勇于探索是实现新区勘探突破的关键;攻克瓶颈技术是实现战略突破的重要保障。

关键词: 勘探实例;脑中有藏;创新认识;瓶颈技术;勇于探索

中图分类号: TE122.14

文献标识码: A

Implications from typical petroleum exploration cases

DU Jinhu¹ HU Suyun² ZHANG Yijie² ZHANG Ke¹

(1. PetroChina Company Limited, Beijing 100007, China;

2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: Since 2005 PetroChina has faced with incessantly higher exploration extent and more exploration difficulties, however, with vigorous implementation of the resource strategy, it has achieved a series of significant breakthrough and discoveries in oil-gas exploration, which are characterized by "simultaneous exploration of oil-gas resources", "emphasis on both new and old areas" and "large reserves in a single reservoir". With the proven oil and gas in geological reserves exceeding 7×10^8 t and 4000×10^8 m³, respectively, for seven or six consecutive years, PetroChina is embracing a new round of the reserves growth peak, one of the best periods during which China has the most exploration achievements, largest proven reserves and longest reserves peak. Based on the analysis of typical exploration examples in China, we summarized 5 aspects of understanding on and inspiration from the past exploration practice, i.e. the basic philosophy of oil exploration is "to have oil-gas reservoirs always in the mind", the theoretical knowledge of giant oil-gas provinces is important guidance for continuously pushing petroleum exploration forward, to liberate our minds and restudy the highly-explored areas are the inevitable course to achieve an exploration breakthrough in these areas, exploring without fear is the key for an exploration breakthrough in new areas, and to make a breakthrough in bottleneck technologies largely guarantees strategic advances in petroleum exploration.

Key words: exploration case; reservoirs in mind; innovation; bottleneck technology; exploring without fear

经过几代石油人半个多世纪艰辛勘探,中国陆上先后发现了克拉玛依、大庆、渤海湾、长庆、塔里木等一批大型油气田富集区,形成了多个储量增长高峰期,奠定了中国石油工业从无到有、从弱到强的资源基础。2005年以来,中国石油天然气股份有限公司大力实施资源战略,全方位加强油气勘探工作,本着“发现大油气田、构建大油气区”的发展战略和“认识创新优选领域、技术创新攻克瓶颈、思路创新整体部署、科学探索战略突破、整体勘探快速增储”的工作原则,油气勘探获得了20项战略性突破发现,形成了鄂尔多斯盆地姬塬和华庆、塔里木盆地塔北及库车深层、四川盆地寒武

系—震旦系等15个($5 \sim 10 \times 10^8$ t)级油当量规模储量区,连续6年探明石油地质储量超 7×10^8 t,连续6年探明天然气地质储量超 4000×10^8 m³,油气储量当量连续6年超过 10×10^8 t,成为中国油气勘探史上成果最丰富、获得储量最多、储量增长高峰期持续时间最长的时期之一^[1-2]。

历经半个多世纪发展,在勘探程度不断提高、勘探难度不断加大的情况下,油气勘探为什么还能获得如此众多的突破和发现?为什么发现的储量单体规模不是越来越小,而是越来越大?为什么油气发现与储量增长会呈现油气并举、新老区比翼齐飞的良好局面?

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科技项目“中国陆上大油气区成藏理论与勘探技术攻关”(113002KJ0035)资助。

第一作者及通信作者:杜金虎,男,1959年3月生,1983年毕业于成都地质学院石油地质专业,现为中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司教授级高级工程师,主要从事石油地质勘探方面的研究和管理工作。Email:dujinhu@petrochina.com.cn

为什么储量增长高峰期的延续时间会如此之长? 归根到底,关键取决于近年探索碳酸盐岩、火山岩、深层、岩性等新领域获得了一系列战略性突破和发现,在持续的突破发现中创造了一个又一个经典的勘探战例。这些战例尽管来自于不同的盆地、不同的探区、不同的领域,但共同的特点:都是国家“十一五”计划期间(2006—2013年)中国石油亿吨级或千亿立方米级的战略发现,都是凝聚了几代勘探人的心血和汗水,都是勘探家们集体智慧的结晶,都是中国石油勘探史上的经典之作,更是一本充满辩证思维的勘探找油哲学的生动教材。

总结分析典型战例,回顾突破发现历程,探究找油哲学思想,构建高效勘探模式,把握勘探发现规律,希望能为未来油气勘探突破发现与规模增储提供有益的启示与借鉴。

1 油气藏在勘探家脑子里是找油的哲学基础

美国石油地质学家 Wallace E·Pratt 的至理名言“石油在地质家的脑子里”^[3]被誉为找油哲学,其文中列举了大量例证,批判了思维保守的大地质家和僵化的大石油公司,赞誉了那些头脑中“没有太多框框”的小公司,甚至是“单干户”,在“大油公司”认为没有油的地方发现了大油气田。文章言辞虽然尖刻,甚至有些偏颇,但阐述的找油精神、找油思想值得借鉴与深思。勘探家找油需要借鉴的是找油思想与精神状态,需要深思的是用什么观念和什么方式找油。从实践与认识的关系而言,“石油在地质家的脑子里”是千真万确的真理。一个优秀的勘探家,脑中要有油。脑中有油才能处于良性精神状态,才能激化找油热情;脑中无油就不可能找到油气。脑中有油才有找油思路与构想,才有找油模式,才有方向和目标。近年来勘探取得的一系列重大突破发现,都是勘探家基于油气宏观分布认识,不断解放思想,不断构建找油模式的结果,是油气藏在勘探家脑子里的有力佐证。

1.1 “天生油盆必成藏”

盆地不在大小,而在于贫富。通常“油盆”是指能够形成工业(或商业)性油藏的含油盆地。一个盆地在具备基本成藏条件前提下,决定盆地贫与富的关键在于烃源条件。中国陆上发育一类生烃强度很高的盆地(凹陷),人们称之为富油气盆地(凹陷),是勘探找油的重点。勘探实践表明,含油气盆地,特别是富油气盆地,油气分布具有广泛性,油气藏类型具有“互补”特征。构造分异好的盆地或区带利于形成构造油气藏,构造分异差的盆地或区带则利于岩性-地层油气藏的

形成。储层物性好的地区,油气可能在构造高点富集;而在储层物性较差且非均质性强的地区,则可能形成“油气藏群”^[4],塔里木盆地的塔中、塔北地区碳酸盐岩即为这种类型。更有甚者,在常规储层不发育地区,致密砂岩和碳酸盐岩或含砂、含钙、含硅的页岩也可以形成规模的致密油气藏。总之,只要是油盆就能成藏,油藏类型丰富多彩,没有构造油藏就可能有岩性油藏,没有常规油气藏就可能有非常规油气藏(图1)。21世纪已经进入以烃源岩为中心的常规和非常规油气并重勘探时代^[5],美国近年来致密油气产量的快速增长以及中国致密油气勘探的快速发展都证实了这一点。因此油气勘探,贵在“坚持”,坚持多层次、多类型立体、整体勘探;贵在“创新”,不断创新找油思路、不断构建找油模式、不断寻找新的目标。要根据勘探出现的新情况,及时调整找油思路;既不能轻言放弃,更不能一意孤行;要在坚持中求变,在变化中坚持,坚持的是信念,变化的是思路。坚持和变化是勘探家必须认真把握的找油哲学问题。

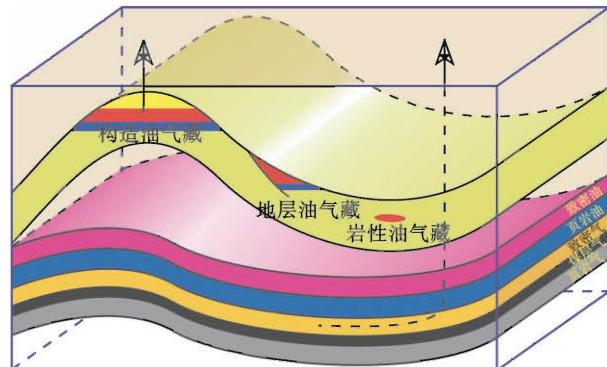


图 1 含油气盆地(凹陷)油气分布模式

Fig. 1 Hydrocarbon distribution pattern in a petroliferous basin(depression)

1.2 油气藏在勘探家的脑子里

一个优秀的勘探家除了必须具备扎实的油气地质专业基础外,还必须具备开阔的视野与清晰的思路,必须具备善于捕捉勘探过程中出现的各种信息以及综合分析与判断能力,必须具备综合运用勘探技术与方法解决勘探生产实际问题的能力。勘探家脑中要有油气藏的概念。只有既有油又有藏的概念,才知道在什么地方,做什么工作,用什么技术,找什么类型的油气藏。脑中有油或许可以在探索中有意外发现,脑中无油则肯定找不到油气;但脑中全是油也不行,这样就会盲目乐观,漫无边际,甚至对油气藏的分布“视而不见”,因抓不住蛛丝马迹而错失发现良机。近几年二连盆地巴音都兰凹陷、北部湾盆地福山凹陷流沙港组一段的突破,都是“油气藏在勘探家脑子里”的有力例证。

二连盆地巴音都兰凹陷是一个典型的富油气凹陷,成藏条件优越,但后期构造反转作用强,构造与沉积储层不匹配。勘探工作始于20世纪70年代,按照构造油藏的思路钻井几十口,历经曲折,几上几下,但久攻不克。2001年,通过重新认识凹陷油气地质特征,确定了隐蔽油气藏的勘探思路,锁定了巴2号构造作为突破口。研究发现,位于同一构造高部位的巴2井阿尔善组为致密砾岩稠油层,试油获低产,而位于低部位(洼槽中)的巴9井储层物性良好,油气显示活跃,试油获高产

水并见油花。分析认为巴2井和巴9井分属不同的沉积体系,据此构建了巴9井上倾尖灭岩性油藏的油藏模式(图2)。在地震资料重新处理基础上,层序地层研究建立等时地层格架,构造与沉积综合研究确定有利目标,巴9井砂体较高部位部署钻探的巴19井获高产工业油流,一举发现了宝力格油田。目前,巴音都兰凹陷储量规模已超亿吨,年产量仍然保持在 25×10^4 t。该凹陷隐蔽油藏勘探的突破,为华北油田开辟了一个找油新领域,也有利推动了中国石油隐蔽油气藏勘探工作。

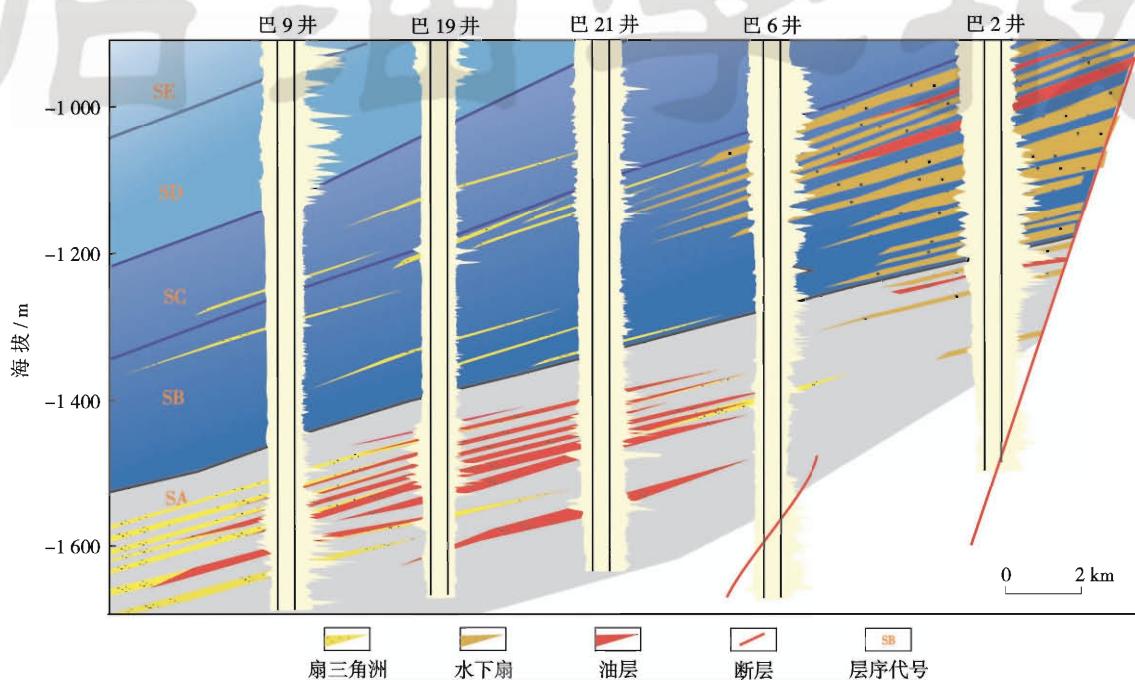


图2 巴音都兰凹陷巴9井上倾尖灭岩性油藏成藏模式

Fig. 2 Up-pouring thinning out hydrocarbon accumulation model of Well Ba-9 in Bayindulan depression

北部湾盆地福山凹陷流沙港组一段(简称流一段)的勘探突破是另一个勘探家“脑子有藏”的典型实例。20世纪90年代花1井于始渐统流沙港组三段(简称流三段)获得工业油流后,按照构造油藏勘探思路,以流三段为主要目的层陆续发现了花场、白莲、美台等油藏,建成了花场凝析气田。长期的勘探开发过程中,上构造层流一段一直作为“过路层”,从多井见油气显示到花2井因误射孔意外获工业油流,人们开始认识到流一段的重要性,但由于仍按构造控藏的找油模式开展勘探,进展不大,仅发现两个小型油气藏。2010年在地震资料重新处理、解释的基础上,通过老井复查、沉积相及成藏组合分析,构建了流一段岩性油气藏形成模式,花场—永安构造翼部部署钻探的花117x等探井相继获高产油气流,实现了福山凹陷岩性油气藏勘探突破。随后进一步于花场—永安构造的鞍部、花场构造的北翼和东翼均获得了重要发现。目前已经形

成了 3000×10^4 t 储量规模,奠定了福山凹陷增储上产的资源基础。

大量勘探实践证明,勘探家脑中要有油气藏的概念。脑中无油就会失去信心,成为悲观主义者;脑中全是油是盲目乐观主义者,就会盲目勘探。只有脑中有油(藏),这样的勘探家才是富有智慧的勘探家,才会实现以最少的投入,实现最佳的勘探效果。

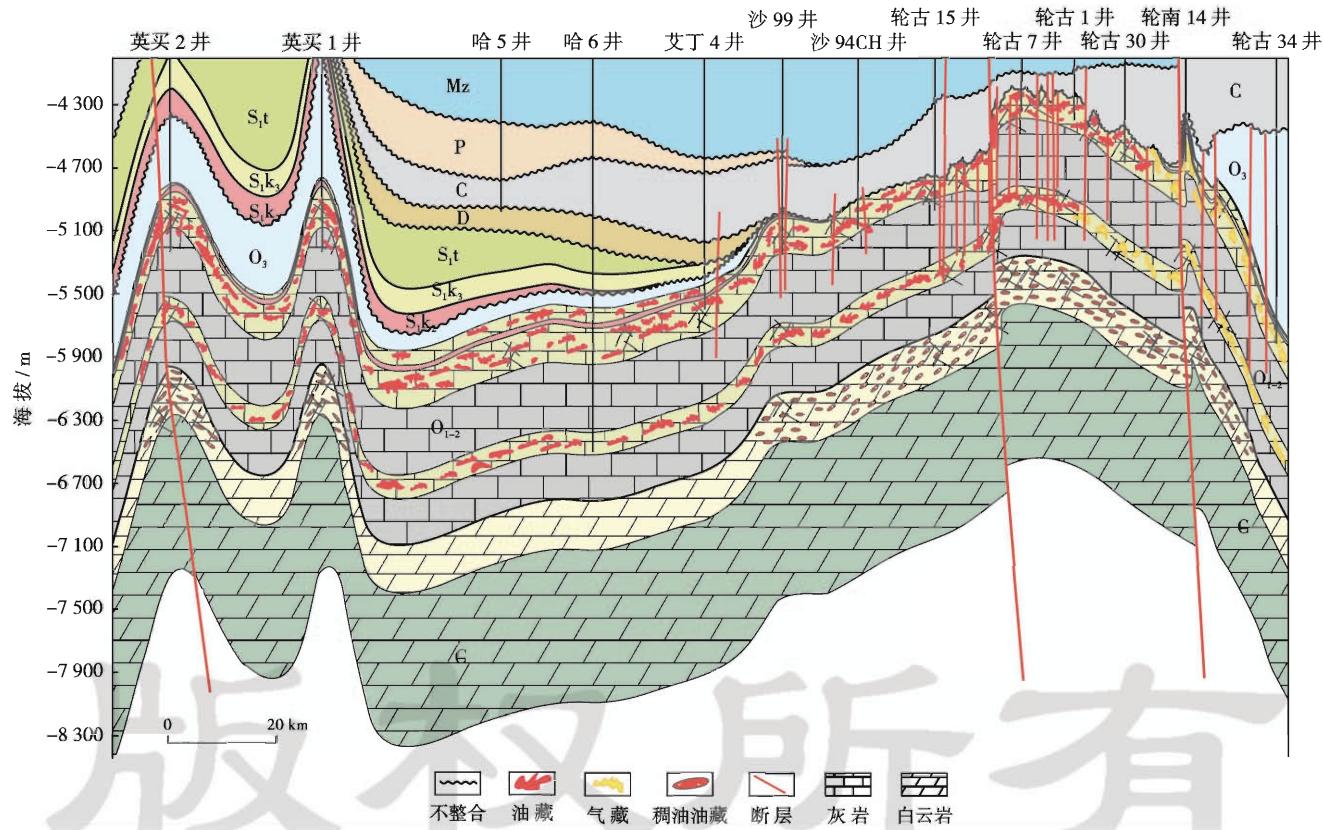
2 大油气区理论认识是推动油气勘探持续发展的重要指导

广义上的理论是来源于实践、并被实践证明了的系统化的知识体系,是指人们对自然、社会现象,按照已有的知识、认识、经验、法则以及经过验证的假说,经由一般化与演绎推理的方法,进行合乎逻辑的推论性总结。石油地质理论是人们在实践、认识、再实践、再认识的勘探过程中,对油气的生成、油气藏的形成、油

气分布与富集的规律性总结提炼和升华而形成的正确的知识体系。

实践是认识的源泉,理论是认识的升华。一般而言,认识可以分为感性认识和理性认识,感性认识是对事物表观现象的认识,理性认识是对事物内在本质和规律性的认识。从实践到理论,经历了由感性认识上升到理性认识的过程。感性认识阶段积累的认识与实践资料,通过科学思维、去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的分析研究,总结升华为对地下内在规律的认识,即油气地质理论。因此,认识往往是一定阶段的产物,具有局限性和阶段性;理论是认识的高度综合与升华,具有普遍性、规律性和指导性。中国石油经过几代石油科技工作者的艰辛探索,逐步形成了以陆相生油、复式油气聚集带、煤系成油等为代表的油气地质理论^[6-7],为中国石油工业的发展提供了重要的理论指导^[8-13]。

近年来,随着油气勘探工作的不断深入与发展,中国大陆上无论是碎屑岩,还是碳酸盐岩或是其他岩类,出现了一系列新情况、新变化。从塔里木盆地塔北和塔中地区碳酸盐岩油气勘探看到,岩溶储层(沉积型礁滩体^[8]、改造型白云岩^[9]或灰岩)表现为似层状分布的特点(图 3);油气分布表现为无统一的油气水界面,同一地段油气分布海拔高差可超 2000 m,形成的油气藏呈集群式大面积分布^[14]。鄂尔多斯盆地碎屑岩勘探也是如此,油气大面积叠加连片分布,无统一、明显的油气水界面。根据勘探形势新变化,勘探家对油气分布逐步形成了似层状、大面积等感性认识^[15]。基于宏观感性认识,在认识、实践、再认识、再实践的勘探过程中,经过多年的艰辛研究与总结,提出并形成了大油气区地质勘探理论^[4]。



注:S₁k₂、S₁k₃—下志留统柯坪塔格组二段、三段;S₁t—下志留统塔塔埃尔塔格组。

图 3 塔里木盆地塔北隆起及斜坡区油气藏剖面

Fig. 3 Reservoir profile of Tabei uplift and its slope areas in Tarim Basin

大油气区是指在同一大型构造背景上,由相似成藏条件决定、以某一种类型油气藏为主、由多个油气藏(田)群或带组成、纵向上相互叠加、横向复合连片的大型油气聚集区。中国油气勘探经历了从构造到岩性,从常规向非常规的跨越,大油气区类型和组成复

杂。近年来,中国石油发现或重点关注的大油气区呈现出一些新的特点,不同类型大油气区地质特征、形成与分布有一定差异。总体而言,大油气区勘探理论内涵包括:三项基本条件、五项地质特征、两类基本类型、“三个整体”的勘探思路、“五步法”的勘探程序和两个

“一体化”的评价方法。

所谓“三项基本条件”,即大型构造背景、良好供烃条件、广泛分布的均质或非均质储集层3大地质要素的有机配置是形成大油气区的关键。所谓“五项地质特征”:①大油气区主要发育于陆相坳陷盆地、陆相前陆盆地、海相克拉通盆地及陆相断陷盆地洼槽—斜坡区;②具有类似的成藏条件,包括类似的区域构造背景、类似的储集条件、类似的生储盖组合及运聚方式等;③以某一种类型油气藏为主,由集群式分布的多个油气藏(田)群构成;④油气分布纵向上多层系叠置,横向上复合连片;⑤油气分布面积大,储量规模相当大。所谓“两类基本类型”,即根据油气资源类型可以将大油气区划分为常规油气和非常规油气2大类10个亚类。所谓“三个整体”的勘探思路,即坚持“整体研究、整体勘探、整体控制”的勘探思路,这是实现大油气区快速发现、科学与高效勘探的重要前提。所谓“五步法”的勘探程序,即勘探过程坚持“识别评价、科学探索(包括重点预探)、整体部署、技术攻关、整体控制”的勘探程序。

所谓“两个一体化”,即坚持“勘探开发一体化、上产增储一体化”的评价思路与方法,勘探、开发紧密结合,上产增储相互促进,以保障大油气区规模增储、有效动用与快速上产,最大限度提高勘探开发整体效益。

近年来,中国石油以形成的大油气区勘探理论为指导,按照常规和非常规两类油气资源类型,评价预测了22个有利区带供勘探选择(表1)。通过勘探实施,获得了诸如塔里木盆地库车坳陷深层、塔北斜坡碳酸盐岩,四川盆地川中震旦系—寒武系碳酸盐岩、须家河组大面积致密气,以及准噶尔盆地石炭系火山岩等20项战略性突破,整体勘探形成了鄂尔多斯盆地中生界、松辽盆地中浅层、塔里木盆地台盆区碳酸盐岩、海拉尔—塔木察格盆地(简称海—塔盆地)等15个($5\sim10$) $\times10^8$ t级大油气区。同时致密油勘探形成了鄂尔多斯盆地延长组7段(简称长7段)^[16]、松辽盆地扶杨油层、准噶尔盆地二叠系3个现实勘探区,油气勘探呈现常规和非常规油气并重的良好局面,实现了快速勘探、规模增储工作目标。

表1 中国陆上近期典型大油气区类型与综合评价

Table 1 Recent typical large hydrocarbon province type and comprehensive evaluation in China land

大油气区类型		成藏条件			评价结果
大类	亚类	成藏背景	烃源条件	储集空间	
常规 油气	碎屑岩构造型	前陆盆地深层构造	网状供烃	孔隙度大于12%	塔里木盆地库车坳陷深层
	碎屑岩岩性地层	平缓斜坡	面状排烃	孔隙度大于10%	松辽、鄂尔多斯、海—塔盆地岩性等
	碳酸盐岩	斜坡岩溶	古隆起斜坡	网状供烃	川中震旦系、塔里木盆地奥陶系
	地层岩性	台缘礁滩	台缘带	孔隙度3%~8%	四川盆地龙岗、塔里木盆地塔中台缘礁滩体
	火山岩地层	隆起或斜坡	侧向供烃	孔隙度5%~15%	准噶尔、三塘湖盆地石炭系火山岩
非常规 油气	致密气	构造	正向构造	网状供烃	塔里木盆地库车坳陷深层
	岩性	斜坡—凹陷			鄂尔多斯盆地上古生界、四川盆地须家河组
	致密油	斜坡—凹陷	近源聚集	孔径60~900nm	准噶尔盆地二叠系、鄂尔多斯盆地长7段等
	煤层气	斜坡	源、储一体	孔径2~200nm	鄂尔多斯盆地东缘等
	页岩气	斜坡—凹陷		孔径5~200nm	四川盆地南部志留系等

四川盆地川中须家河组大气区的整体发现与推进即为以大油气区成藏理论认识为指导获得成功的典型案例。国家“十五”计划(2001—2005年)以前,四川盆地须家河组基于构造控藏认识,仅探明天然气地质储量 350×10^8 m³。2005年广安2井获得工业气流,根据与鄂尔多斯盆地古生界成藏条件的对比研究,认为川中须家河组与鄂尔多斯盆地古生界成藏条件类似,具备形成万亿立方米大气区的地质条件。2006年进行风险井组部署,部署风险探井6口,控制面积 1.5×10^4 km²。通过风险井组钻探,3口井获得成功,初步展示出大气区的雏形。随后,按照整体勘探、整体部署的工作思路,部署二维地震 2.4×10^4 km、三维地震1172km²,并在强化基础地质、地震资料处理解释、储层预测等研究工作基础上,部署探井168口,先后发现并探明了以须家河组二段、四段、六段(简称须二段、须四

段、须六段)为主要产气层的广安、合川、潼南、安岳等千亿立方米大气田。进一步的整体评价,将大川中地区地震测网加密到 2×2 km,近 3×10^4 km²范围规模甩开勘探,评价勘探营山、龙岗、蓬莱等地区,都取得重要新发现。同时,在须家河组一段、三段、五段(简称须一段、须三段、须五段)也陆续获得新的突破(图4)。截至2011年,川中须家河组累积探明天然气地质储量 5938.4×10^8 m³,探明率16%,三级储量 10728×10^8 m³,万亿立方米大气区基本形成。

海拉尔—塔木察格盆地也是以大油气区勘探理论认识为指导获得成功的又一典型战例。依据陆相断陷湖盆洼槽—斜坡区是岩性或构造-岩性大油气区发育有利部位的认识,2007年提出并确定了突出中央坳陷带、突出岩性地层、突出塔木察格的部署原则和1个坳陷带、4个凹陷、16个区带、50个重点目标的部署方

案,按照整体研究、整体部署工作思路,仅用 3 年时间就快速探明了 4.4×10^8 t 石油地质储量。其中,南贝尔凹陷在仅有 3 口工业油流井的情况下,整体部署三维地震 3 000 km²。通过整体、立体勘探探明了储量规模 1.5×10^8 t 的大油田。预计该凹陷整体储量规模将达到 $(2.0 \sim 2.5) \times 10^8$ t,创造了中国石油立体、整体、快速、高效勘探的典型战例。

理论认识来源于实践,反过来又指导实践。基于

勘探实践总结形成的大油气区勘探理论,是集油气成藏与富集、勘探思路与勘探程序、勘探方法与勘探技术于一体的地质勘探理论体系,发展了源控论、复式油气富集带等勘探理论,深化了石油地质理论认识,拓展了勘探视野,有效指导了中国石油近期油气勘探实践,推动油气勘探实现了“由局部圈闭或区带向大油气区、由中浅层向深层—超深层、由常规油气向非常规油气”发展,对未来油气勘探发展具有重要的指导意义。

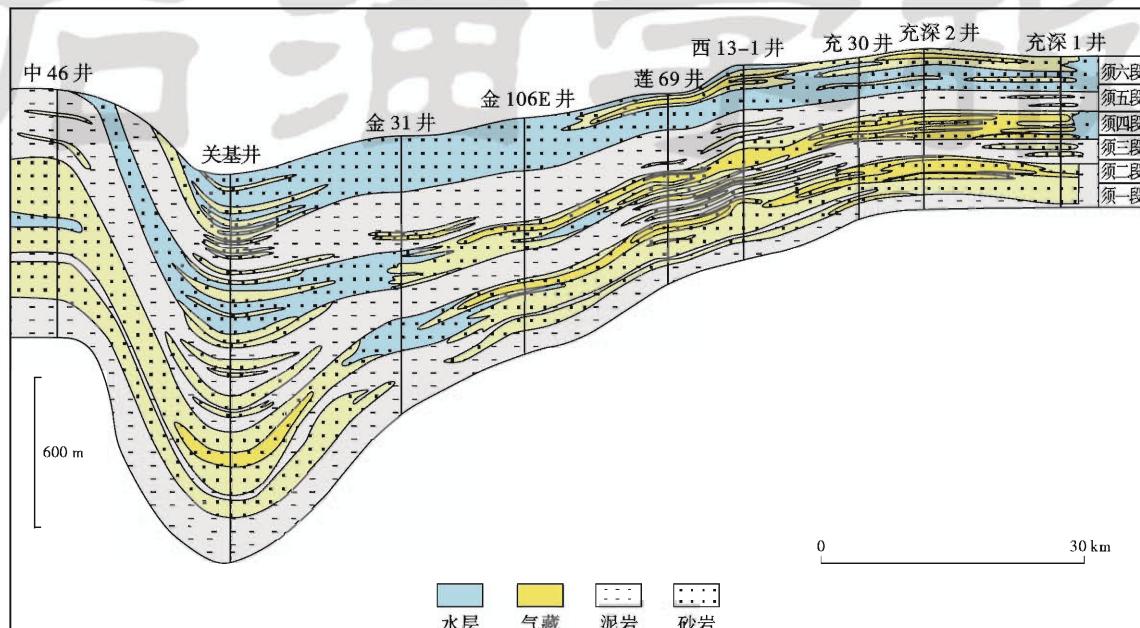


图 4 四川盆地须家河组气藏剖面

Fig. 4 Gas reservoir profile of Xujiache Formation in Sichuan Basin

3 解放思想、重新认识是成熟探区勘探突破发现的必由之路

所谓成熟探区,是指已有规模探明储量并实现工业性开发的富油气凹陷或区带。成熟探区一般勘探历史较长,具有勘探程度高、认识程度高、资源探明率高的“三高”特点,因而勘探发现新储量,特别是规模储量的难度较大。但成熟探区都是传统评价最有利成藏区,也是勘探重点区,要在成熟探区寻找新突破、新发现,必须坚持:①解放思想,坚定成熟探区突破发现的信心,敢于否定过去、敢于挑战自我、敢于超越前人;②转变思路,创新思维模式,寻找新层系、新类型、新领域,实现尚未认知资源向储量、产量的转化;③“重新认识”的工作方法,成熟探区尽管具有“三高”特点,但仍有资料、认识与技术盲区,坚持重新认识、反复认识,就能构建新的成藏模式,发现新的勘探目标,寻找新的突破口;④突破瓶颈技术,解决制约勘探发展的关键技术难题,是实现成熟探区勘

探突破的重要途径。近年来,中国石油立足成熟探区,大胆构建油藏模式,通过认识创新、技术创新,成熟探区油气勘探取得了令人瞩目的重要成果^[17-21],为增储上产作出了重要贡献。

辽河探区兴隆台深潜山勘探是一个成熟探区坚持解放思想、创新成藏认识最终获得突破的典型案例。兴隆台潜山地处辽河油田西部凹陷中部,潜山勘探长达 41 年之久,历经了“三上两下”的艰辛探索历程。20 世纪 70 年代,基于潜山风化壳含油认识,开始了兴隆台潜山勘探,兴 213 井于 2 195 m 钻遇中生界,获油 110 t/d、天然气 80×10^4 m³/d;此后的兴 229 井于太古界见到良好油气显示,拉开了潜山找油的序幕。这一阶段完钻探井 26 口,通过钻探认为潜山具有双层结构、岩性十分复杂、油气富集程度差等特点,为此,1978 年将兴隆台地区勘探重点转移到上覆古近系,发现了亿吨级规模大油气田,潜山勘探处于停滞状态。1995 年以后,辽河油田面临资源接替不足的困境,勘探家再次将勘探目标聚焦到潜山深层,受大民屯和西部凹陷

低潜山勘探成功经验的启发,2000—2005年积极转变找油思路,大胆构建低位内幕潜山成藏模式,按照从“潜山风化壳找油”转变为“潜山内幕找油”的勘探思路,重上兴隆台,相继实施了陈古1、马古1、兴古7、马古3等一批探井。2003年马古1井钻遇太古界,获得了令人鼓舞的试油效果。勘探家经过进一步研究,逐步获得了两方面重要认识:一是太古界只要存在油气疏导体系,就可以成藏;二是潜山低部位4 000 m以下获工业油流,兴隆台潜山具有整体含油的特点,只要裂缝发育就可以富集高产^[22]。按照此新认识,确定了“多钻揭地层,评

价潜山深层含油气情况”的部署原则,2005年部署的兴古7井于潜山内幕试油3层均获高产工业油气流,揭开了亿吨级潜山油藏的神秘面纱(图5)。2008年,针对兴隆台潜山中国石油一次性部署探井12口、评价井24口,获得了“南(马古)、中(兴古)、北(陈古)”3个局部潜山全面成功的良好局面。国家“十二五”计划期间(2011—2015年)原油产量保持在 130×10^4 t/a以上,“十三五”计划期间(2016—2020年)也将保持在 100×10^4 t/a以上。目前,潜山内幕已经成为辽河油田及渤海湾盆地未来勘探增储的重要接替领域之一。

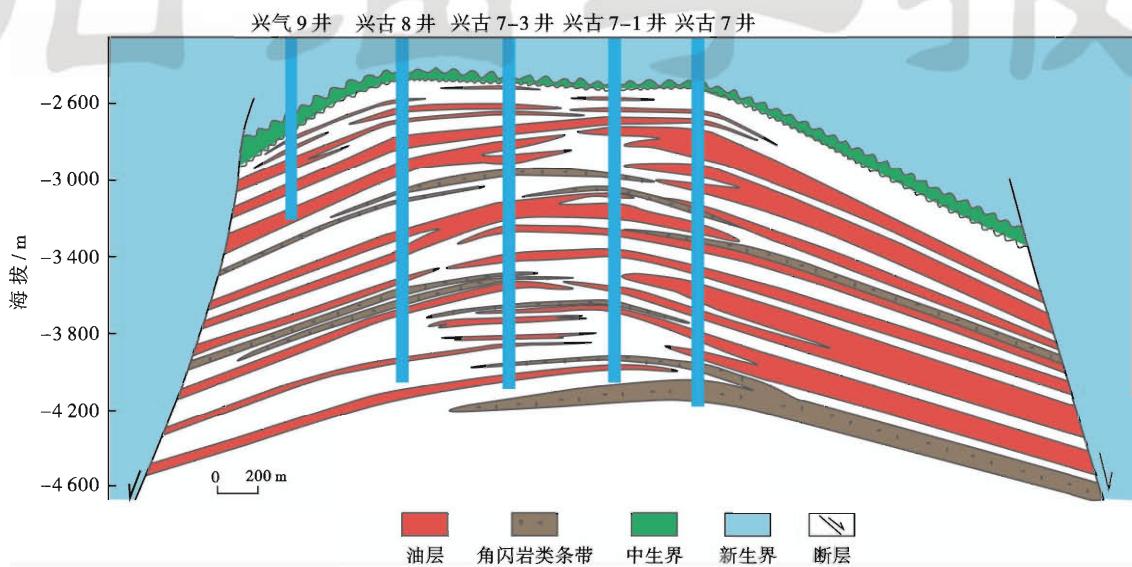


Fig. 5 Reservoir profile of Xinglongtai buried-hill belt in Liaohe oilfield

成熟探区通过解放思想、重新认识获得突破发现的还有鄂尔多斯盆地大面积岩性油气藏、准噶尔盆地石炭系火山岩等。鄂尔多斯盆地从1907年延长油矿开始,已有上百年勘探历史。长期以来,受储层致密认识影响,石油产量一直徘徊在 $(100 \sim 140) \times 10^4$ t/a。20世纪90年代以来,长庆人提出了“三个重新认识”找油思想,打开了在盆地寻找大油气田的思路。2011年发现了储量规模超 4×10^8 t级的西峰油田,之后又先后发现了姬塬、陇东、华庆等储量超 10×10^8 t级的规模储量区,形成超千万吨的原油生产能力。天然气勘探通过重新构建致密砂岩大气区的成藏模式,坚持勘探开发、上产增储一体化,目前仅苏里格气区的储量规模已经超过 4×10^{12} m³。准噶尔盆地石炭系天然气勘探始于20世纪90年代,由于火山岩储层“岩-电”关系复杂及气藏类型不清,勘探一直未有规模储量发现^[23]。2005年底借鉴东部火山岩勘探成功经验,通过老井复查和综合分析,建立了火山岩“岩-电”关系图版,构建了构造、岩性-地层两种成藏模式,仅用3年时

间就探明了准噶尔盆地第一个储量规模超千亿立方米的克拉美丽大气田。

上述勘探实例表明,成熟探区尽管是最早发现油气、勘探程度最高的地区,但仍有勘探潜力。勘探永远是一个实践、认识、再实践、再认识、否定之否定的过程,实现成熟探区勘探持续发展的关键在于树立信心,要在不断否定中创新思路、重新认识地下地质目标、重新认识技术力求突破。认识创新是成熟探区实现突破发现的必由之路。

4 勇于探索是实现新区勘探突破发现的关键

新区是指尚未经过规模勘探或久攻不克、未有规模油气发现的盆地、凹陷或区带,其特点是勘探程度低、认识程度低、资源发现率低。新区勘探面临的主要问题是成藏主控因素、主要成藏组合、勘探目标类型认识不清。因此,新区勘探必须把握4个关键点:①用找油的哲学思想指导勘探,坚持解放思想,坚定地下有油

的信念,敢于突破已有框框,敢于否定“可能无油气”的传统认识;②加强成藏条件研究,圈定生烃中心、供烃范围,优选可能的成藏组合,构建各种可能的成藏模式,落实有利勘探目标;③以宏观油气分布认识为指导,以“源灶”为中心,围绕源灶开展目标评价,大胆探索,寻找发现突破口;④勘探实践要有敏锐的观察力,不放过任何蛛丝马迹,及时调整勘探思路,明确勘探方向,确定新的勘探突破口。

四川盆地川中大型古隆起寒武系—奥陶系就是坚持探索,最终获得重大突破的典型案例。川中古隆起是一个形成于志留纪末并延续至二叠纪前的巨型古隆起,面积达 $6.25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该区勘探始于 20 世纪 40 年代,自 1964 年加深钻探威基井于震旦系灯影组喜获高产工业气流,发现威远气田后,以震旦系为目的层,按照构造控藏思路,立足盆地周边大型地面构造开展钻探,接连受挫。20 世纪 70—80 年代,通过钻井、地质普查和区域地震勘探,发现了 NE 向倾没的乐山—龙女寺大型继承性古隆起,1976 年古隆起东部钻探的女基井于灯影组测试获产量 $1.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的气流,初步认识到古隆起对震旦系油气富集可能有控制作用。随后选择乐山—龙女寺隆起南缘的自流井等 4 个地面构造实施钻探,结果全部失利,古隆起勘探受挫。20 世纪 80 年代后期对川中地区进行地震勘探,进一步证实大型古隆起的存在。“八五”(1991—1995 年)、“九五”(1996—2000 年)期间,进一步的研究揭示古隆起形成于加里东期,定型于喜马拉雅期。20 世纪 90 年代中期,研究提出古隆起发育印支期古圈闭,以寻找构造气藏为目标,资阳地区部署探井 7 口,其中获工业气井 3 口,勘探难以拓展,再次失利。但勘探家通过进一步勘探逐步认识到古圈闭气藏在后期的构造演化过程中随古圈闭的消亡而解体,具有很强的隐蔽性和复杂性。“八五”、“九五”的两轮国家科技攻关,提出了古隆起顶部及上斜坡带是油气聚集的有利地区的新认识,对古隆起东部的高石梯—磨溪构造部署了高科 1 井、安平 1 井等,虽发现含气层,但因多种原因仅获低产;古隆起西南翼部署的周公 1 井和盘 1 井出水,古隆起勘探三战未果。

2006 年以来的研究,提出了古隆起东部构造相对稳定,发育寒武系、震旦系 2 套烃源岩、2 套储集层和 3 类复合圈闭,具备形成大气田的基础和条件的新认识。2007—2009 年先后部署磨深 1 井、宝龙 1 井 2 口风险探井,磨深 1 井因浅层发现工业气层提前完钻,宝龙 1 井因储层变差落空。历经多轮次探索,勘探家逐步认识到震旦系岩溶储层非均质性强、寒武系滩相储层横向变化大,寻找有利储层是实现勘探突破的关键。为优选突破口,2010 年中国石油组织东方地球物理公司、川庆钻探

公司与中国石油勘探开发研究院 3 家单位分别对古隆起东部的高石梯和磨溪 2 个目标开展了地震资料处理解释平行攻关,寻找有利储层发育区。通过攻关,地震资料品质有了质的变化,岩溶储层得以清晰反映。据此,再次部署的风险探井高石 1 井获高产气流。历经半个多世纪矢志不移的探索,终于发现了以震旦系—寒武系为主要目的层的安岳气田(图 6),实现了古隆起寻找大气田的梦想。目前该区已完钻探井 8 口,均于震旦系、寒武系发现厚气层,已有 5 口井获高产工业气流,其中 4 口井产量突破百万立方米,两套层系控制的含气面积均超过 1000 km^2 ,整装规模大气田初见端倪。这类勇于探索,实现新区勘探突破的实例,还有塔里木盆地塔东地区的古城 6 井、塔西南坳陷的柯东 1 井等。

实践证明,油气勘探是不可预见因素多、探索性强、风险和机遇并存的一项事业,不冒风险就永远不会有突破及大场面。因此,看准方向与目标,就要义无反顾、百折不挠地坚持探索。新区的探索过程也是一个认识创新和完善技术的过程。每一口探井都有成功的可能,都是深化认识、逼近突破发现的重要成果^[24]。暂时的失利并不可怕,关键是要在失利中总结教训,要有所启发、有所醒悟。失败是成功之母,这也是“探井没有空井”的哲理所在。

5 攻克瓶颈技术是实现战略突破的重要保障

勘探技术是揭示地下地质现象、了解含油气性、深化地质认识的重要手段,更是获得油气勘探突破发现的重要保障。地震勘探技术的发展为不断发现新的领域和目标、测井技术的进步为识别复杂油气层提供了有效的技术手段,钻井技术的创新使深层等复杂领域成为现实的勘探目标,试油改造技术的发展与完善极大地提高了勘探开发整体效益。技术是实现勘探突破的手段和保障,同时也是双刃剑。如果技术不适用、应用不到位,都有可能成为勘探发现的克星,使突破擦肩而过、失之交臂。由于地面、地下地质条件的差异性,不同地区、不同勘探对象面临不同的技术瓶颈。从近期勘探实践看,地震勘探和钻井技术是前陆深层突破的瓶颈技术,致密油气勘探的瓶颈技术是水平井体积压裂等等。勘探只有针对技术瓶颈持续攻关,突破瓶颈、攻克难题,才会不断取得新的发现。

库车前陆盆地克深地区天然气勘探是攻克地震瓶颈技术,实现战略突破的典型范例。库车坳陷天然气成藏条件得天独厚,但“山地”、“砾岩”、“膏盐”以及高温高压,致使钻井事故多,成为勘探突破的瓶颈技术。1998 年克拉 2 大气田的发现,促进了“西气东输”工程

的启动。克拉2气田发现后,勘探家普遍认为库车坳陷只要有构造,钻探就可以获得发现,只是大小的问题。勘探家激情高涨,信心满满,但实际的勘探形势急转直下,接连受挫:①1998—2000年针对克拉苏构造带先后钻探了吐北1、吐北2、巴什2、库北1等4个圈闭,与克拉2处于同一排构造带,同样的勘探目的层,钻探结果大失所望,全军覆没;②依南2井在侏罗系阿合组取得突破后,1998—1999年在依南断鼻上钻探的依南5井和依南4井均未得手,甩开钻探的克深4、克孜1、以西1、吐孜1等4个构造在侏罗系同样无功而返;③坳陷周缘展开勘探虽有却勒1井、乌参1井等发现,但评价

勘探接连受挫,勘探工作陷入了前所未有的困境。为此,按盐上和盐下2套构造层研究库车坳陷天然气成藏条件,针对盐下构造层获得了4方面的重要认识:①古近系巨厚膏盐岩、白垩系巨厚砂岩储层稳定分布,为大规模油气聚集创造了条件;②基于1998年攻关地震剖面,发现盐下冲断构造成排成带展布,为大气田形成提供了良好的圈闭条件;③新近纪以来快速沉降,三叠系、侏罗系巨厚的煤系烃源岩快速深埋,晚期持续强充注,为喜马拉雅晚期形成的盐下圈闭大面积成藏提供了良好的烃源条件;④制约库车天然气勘探的关键是圈闭落实,山地地震勘探技术是制约勘探发展的重要瓶颈。

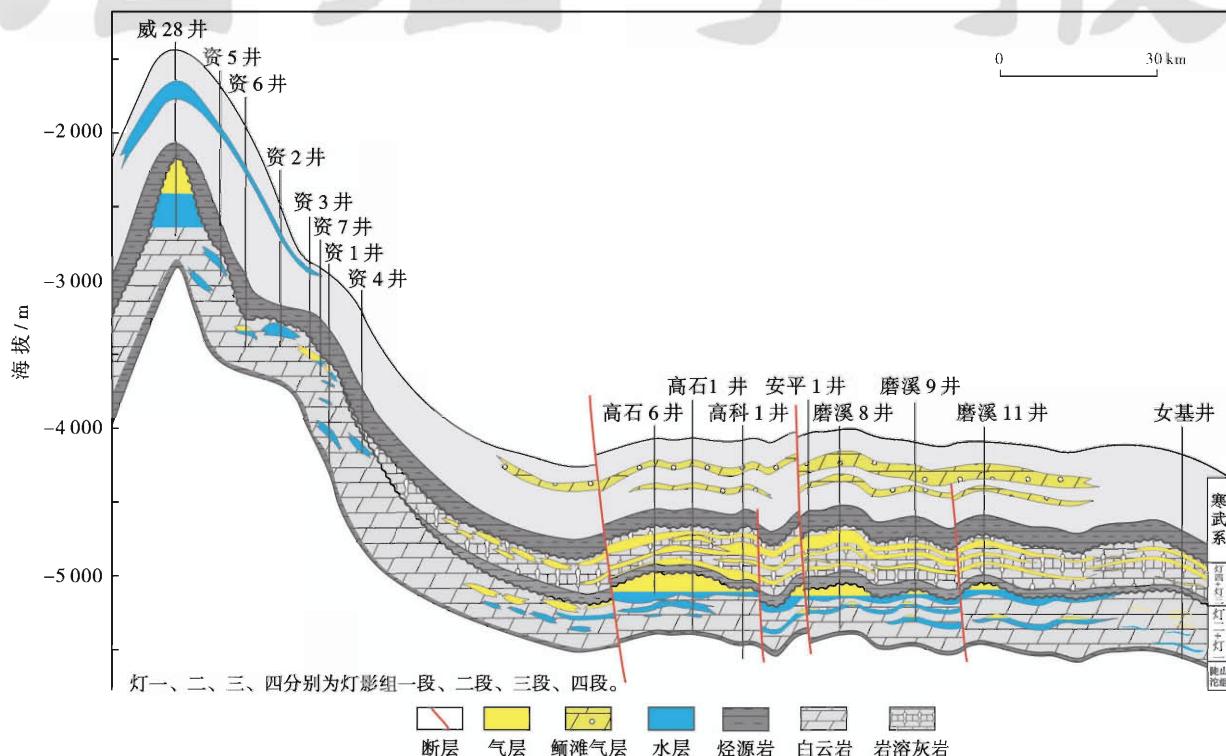


图6 四川盆地威远—资阳—磨溪—高石梯震旦系气藏剖面
Fig. 6 Gas reservoir profile of Weiyuan-Ziyang-Moxi-Gaositi Sinian in Sichuan Basin

2006年以来,中国石油组织东方地球物理公司、川庆钻探公司等多家单位开展地震采集、处理、解释一体化平行攻关,取得了3项关键技术突破:①通过4线6炮、大组合基距检波攻关,提高了覆盖次数(由112次提高到240次),提高了信噪比,压制了侧面、散射等干扰;②开展多信息、多方法、多轮次综合建模,多种偏移技术攻关,提高了成像精度;③综合解释建立了双滑脱多级冲断构造模型,揭示了四段五层的构造发育特征,发现并落实有利圈闭24个,圈闭总面积812 km²(图7)。

2007年先后部署两口风险探井克深2井和克深5井均获重大突破。随后整体部署三维地震,甩开预探,成果不断扩大,克深2气藏已初步探明天然气储量3 000×10⁸ m³。2012年克深8、博孜1、大北3等井再

次获得重要发现,克拉苏深层构造带万亿立方米大气区初见端倪。

牛东潜山也是攻克物探技术瓶颈,最终实现突破的又一经典实例。37年前的重力资料就有显示牛东潜山,但因地震资料品质差,早期完钻的3口井全部失利。近几年通过二次三维采集、强化深度偏移处理技术攻关,落实了潜山形态。2011年部署钻探的风险探井牛东1井,获得重大突破。

勘探实践证明,没有瓶颈技术的持续突破,就不会有接连不断的战略发现。随着勘探程度的不断提高,勘探对象更复杂,低、深、难逐渐成为勘探的主体,勘探难度不断加大,技术挑战越来越强,强化技术攻关、攻克瓶颈技术是勘探获得新突破的重要保障。

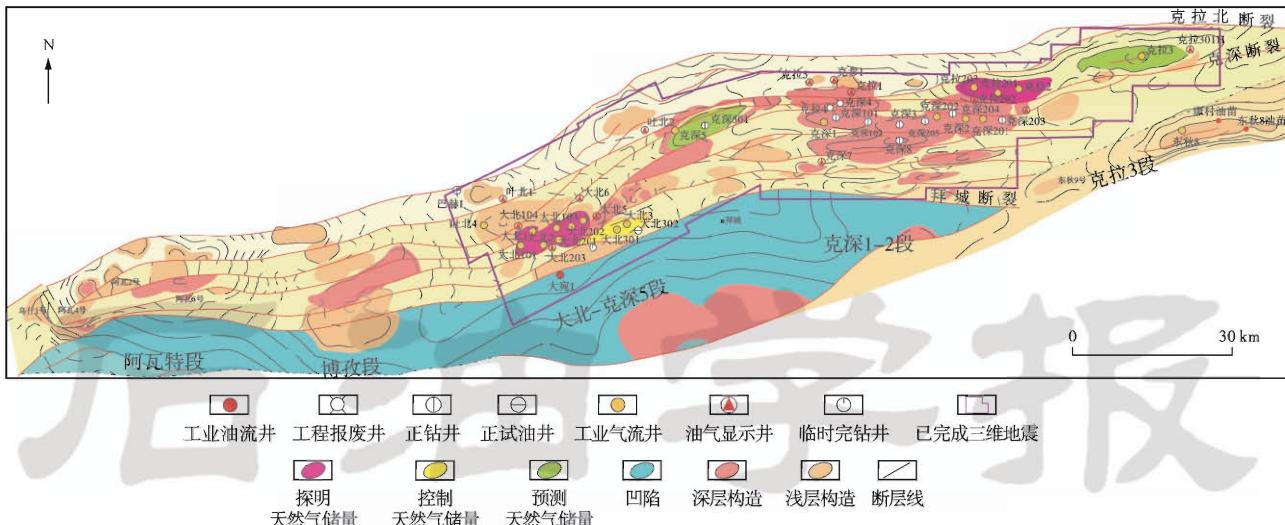


图 7 库车坳陷克拉苏构造带盐下深层构造

Fig. 7 Salt belt deep structure of Kuqa depression Kelasu structure

6 结语

油气勘探是一门实践性很强的科学,立足近期典型勘探实例的解剖分析,总结形成五点感悟:油气藏在勘探家的脑子里是勘探找油的哲学基础;大油气区勘探理论认识是推动油气勘探持续发展的重要指导;解放思想、重新认识是成熟探区勘探突破发现的必由之路;勇于探索是实现新区勘探突破的关键;攻克瓶颈技术是实现战略突破的重要保障。这些认识必将为中国未来油气勘探的持续发展提供重要的指导与借鉴。

参 考 文 献

- [1] 贾承造,赵政章,杜金虎,等.中国石油重点勘探领域:地质认识、核心技术、勘探成效及勘探方向[J].石油勘探与开发,2008,35(4):385-396.
Jia Chengzao, Zhao Zhengzhang, Du Jinhui, et al. PetroChina key exploration domains: Geological cognition, core technology, exploration effect and exploration direction[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 385-396.
- [2] 杜金虎,何海清,皮学军,等.中国石油风险勘探的战略发现与成功做法[J].中国石油勘探,2011,16(1):1-8.
Du Jinhui, He Haiqing, Pi Xuejun, et al. China's oil strategy discovery and successful practices of risk exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2011, 16(1): 1-8.
- [3] Pratt W E. Toward a philosophy of oil-finding[J]. AAPG Bulletin, 1952, 36(12): 2231-2236.
- [4] 赵政璋,杜金虎,邹才能,等.大油气区地质勘探理论及意义[J].石油勘探与开发,2011,38(5):513-522.
Zhao Zhengzhang, Du Jinhui, Zou Caineng, et al. Geological explo-
- ration theory for large oil and gas provinces and its significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(5): 513-522.
- [5] 邱中建,邓松涛.中国油气勘探的新思维[J].石油学报,2012,33(S1):1-5.
Qiu Zhongjian, Deng Songtao. New thinking of oil-gas exploration in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S1): 1-5.
- [6] 陈景达.渤海湾盆地的复式油气聚集带:以辽河西部、廊坊和东濮三个凹陷为例[J].石油大学学报,1988,18(3):1-10.
Chen Jingda. Multiple oil-gas accumulation zones in Bohai Bay Basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 1988, 18(3): 1-10.
- [7] 李德生.中国石油地质学的创新之路[J].石油与天然气地质,2007,28(1):1-11.
Li Desheng. Innovation of petroleum geology in China[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(1): 1-11.
- [8] 杜金虎.四川盆地二叠—三叠系礁滩天然气勘探[M].北京:石油工业出版社,2010.
Du Jinhui. Natural gas exploration of Permian-Triassic reef & oolite in Sichuan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [9] 杜金虎.塔里木盆地寒武—奥陶系碳酸盐岩油气勘探[M].北京:石油工业出版社,2010.
Du Jinhui. Oil and gas exploration of Cambrian-Ordovician carbonate in Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [10] 杜金虎.四川盆地须家河组碎屑岩性大气区天然气勘探[M].北京:石油工业出版社,2011.
Du Jinhui. Lithologic natural gas exploration in the clastic rocks of Xujiaghe Formation in Sichuan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.

- [11] 杜金虎.松辽盆地中生界火山岩天然气勘探[M].北京:石油工业出版社,2010.
- Du Jinhui. Natural gas exploration of Mesozoic volcanic rocks in Songliao Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [12] 杜金虎.新疆北部石炭系火山岩油气勘探[M].北京:石油工业出版社,2010.
- Du Jinhui. Volcanic hydrocarbon exploration of Carboniferous formation in northern Xinjiang[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.
- [13] 杜金虎,何海清,皮学军,等.中国石油近年勘探进展及未来勘探接替领域与重点区带[J].岩性油气藏,2011,23(1):1-16.
- Du Jinhui, He Haiqing, Pi Xuejun, et al. Petroleum exploration progress and future exploring succeeding areas of PetroChina [J]. Lithologic Reservoir, 2011,23(1):1-16.
- [14] 赵文智,汪泽成,胡素云,等.中国陆上三大盆地海相碳酸盐岩油气藏大型化成藏条件与特征[J].石油学报,2012,33(增刊2):1-10.
- Zhao Wenzhi, Wang Zecheng, Hu Suyun, et al. Large-scale hydrocarbon accumulation factors and characteristics of marine carbonate reservoirs in three large onshore cratonic basins in China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(S2):1-10.
- [15] 邹才能,陶士振,袁选俊,等.连续型油气藏形成条件与分布特征[J].石油学报,2009,30(3):324-331.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Yuan Xuanjun, et al. The formation conditions and distribution characteristics of continuous petroleum accumulations[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009,30(3):324-331.
- [16] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.
- Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(1):1-11.
- [17] 邱中建.我国油气勘探的经验和体会[J].勘探家:石油与天然气,2000,5(1):5-8.
- Qiu Zhongjian. The experience and understanding of China's oil and gas exploration[J]. Explorator:Oil and Gas, 2000,5(1):5-8.
- [18] 戴金星,何斌,孙永祥,等.中亚煤成气聚集域形成及其源岩:中亚煤成气聚集域研究之一[J].石油勘探与开发,1995,22(3):1-6.
- Dai Jinxing, He Bin, Sun Yongxiang, et al. Formation of the Central-Asia coal-formed gas accumulation domain and its source rocks:series study I on the Central-Asia coal-formed gas accumulation domain [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995,22(3):1-6.
- [19] 赵政璋,杜金虎.四川盆地须家河组碎屑岩岩性大气区天然气勘探[M].北京:石油工业出版社,2011.
- Zhao Zhengzhang, Du Jinhui. Large lithologic natural gas exploration in the clastic rock of Xujiahe Formation in Sichuan Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011.
- [20] 邹才能,陶士振,谷志东,等.中国低丰度大型岩性油气田形成条件和分布规律[J].地质学报,2006,80(11):1739-1751.
- Zou Caineng, Tao Shizhen, Gu Zhidong, et al. Formation conditions and distribution rules of large lithologic oil-gas fields with low abundance in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006,80(11): 1739-1751.
- [21] 翟光明,何文渊.从区域构造背景看我国油气勘探方向[J].中国石油勘探,2005,10(2):1-8.
- Zhai Guangming, He Wenyuan. Regional structural background and China's oil and gas exploration orientation [J]. China Petroleum Exploration, 2005,10(2):1-8.
- [22] 宋柏荣,胡英杰,边少之,等.辽河坳陷兴隆台潜山结晶基岩油气储层特征[J].石油学报,2011,32(1):77-82.
- Song Bairong, Hu Yingjie, Bian Shaozhi, et al. Reservoir characteristics of the crystal basement in the Xinglongtai buried-hill, Liaohe Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011,32(1):77-82.
- [23] 何登发,陈新发,况军,等.准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J].石油学报,2010,31(1):1-11.
- He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, et al. Characteristics and exploration potential of Carboniferous hydrocarbon plays in Junggar Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010,31(1):1-11.
- [24] 邹才能,赵文智,贾承造,等.中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布[J].石油勘探与开发,2008,35(3):257-271.
- Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Formation and distribution of volcanic hydrocarbon reservoirs in sedimentary basins of China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008,35(3):257-271.

(收稿日期 2013-03-22 改回日期 2013-06-13 责任编辑 熊英)