

突出油气勘探特色,注重内涵发展,建设国家重点学科

查明¹, 庞雄奇², 杨少春¹, 朱筱敏², 林承焰¹, 柳广弟²

(1. 中国石油大学地球科学与技术学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249)

摘要: 本文论述了中国石油大学“矿产普查与勘探”国家重点学科建设基本情况、研究方向、科研特色及发展态势,着重论述学科近10年来基于科技创新取得的建设成效。实践证明,中国石油大学“矿产普查与勘探”学科突出油气勘探特色,注重内涵发展,建设成效显著,发展态势良好,在油气地质与勘探领域取得了创新性成果,构筑起了承担国家重大科学任务的学科平台,形成了勇于攻关的科研团队,培养出高水平的人才,提高了国际学术影响力;已经成为中国油气地质理论与勘探技术方面科技创新、人才培养和学术交流的重要基地。

关键词: 国家重点学科; 油气勘探; 盆地动力学; 油气资源评价; 沉积矿床; 油藏描述

中图分类号: TE 122.1

文献标志码: A

Highlighting characteristics of petroleum exploration, valuing inherent development, and enhancing construction of the national key discipline

ZHA Ming¹, PANG Xiong-qi², YANG Shao-chun¹, ZHU Xiao-min², LIN Cheng-yan¹, LIU Guang-di²

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. College of Geosciences in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: This paper introduces the construction of national key discipline in China University of Petroleum in the past ten years on the basic subjects, directions, characteristics and development trend of researches, especially the performances and progresses based on technological innovation. Practices have proved that, the discipline of “mineral prospecting and exploration” in China University of Petroleum has made innovative achievements in the fields of petroleum geology and exploration; i. e., building up the platform that can undertake the national key scientific missions, forming scientific research teams dedicated to solve geological problems, training high level experienced researchers, and improving the university academic influence internationally thanks to the prominent characteristics on petroleum exploration and the development centering on the inherence. It has become an important base of technological innovation, researcher training and academic exchanges in China's petroleum geological theory and exploration techniques.

Key words: national key discipline; petroleum exploration; basin dynamics; petroleum resources evaluation; sedimentary deposit; reservoir description

中国石油大学“矿产普查与勘探”学科(以下简称本学科)源于1953年建立的北京石油学院石油地质与勘探专业,同年在苏联专家的指导下培养研究生,1978年石油地质专业开始恢复招收研究生,1981年建立石油地质与勘探硕士学科点,1986年建

立煤田、油气地质与勘探博士学科点,2002年“矿产普查与勘探”学科被批准为国家重点学科。经过60年数代人的建设,特别是经过“九五”、“十五”、“十一五”和“211”工程建设,本学科已经形成了完善的、具有石油特色和优势的学科体系,形成了一支实

收稿日期:2013-05-11

基金项目:国家“211工程”三期重点学科建设项目

作者简介:查明(1958-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事油气资源评价、油气运聚、成藏机理与勘探评价研究和教学工作。E-mail: mzha@upc.edu.cn。

力雄厚、梯队合理、学术水平高的学术团队,拥有完善和先进的教学科研基础设施,人才培养质量显著提高,科研创新实力显著增强,社会服务能力明显提升,在科学研究和人才培养等方面取得了一批重大成果和显著成绩。经过长期建设,本学科在沉积盆地动力学与盆地构造、油气形成与分布、油气资源评价、沉积地质与沉积矿产预测等方面形成了油气特色鲜明的研究方向和学科优势,在国内外赢得了良好的学术声誉。近10年来(2003—2013年),本学科突出油气勘探特色,注重内涵发展和科技创新,努力建设一流国家重点学科,在科学研究、平台建设、人才培养等方面取得了显著建设成效,为国家经济社会发展做出了应有的贡献。

1 科技创新突显学科特色及优势

近10年来,本学科坚持“突出特色,内涵发展,发挥优势,立足创新”的总体思路,针对油气资源与探测不同领域的重大前沿科学问题和关键技术难题,开展科技攻关,共完成了国家“973”项目(课题)、国家“863”课题、国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目(课题)、国家重大油气专项课题等国家项目(课题)60多项。同时还承担了大量的与中国石油工业发展密切相关的基础研究和应用基础研究项目;在沉积盆地动力学与盆地构造、油气形成与分布、油气资源评价、沉积地质与沉积矿产预测等4个稳定的研究方向取得显示度很高的创新性成果。

1.1 叠合盆地油气成藏机制与分布规律研究实现理论突破

本学科成功实施了中国油气勘探领域第一个“973”项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”,与中石化合作开展了四川盆地碳酸盐岩油气成藏机制研究,通过对塔里木盆地和四川盆地的系统研究和大量模拟实验,取得了理论和应用突破^[14]:①首次基于大规模实验和数值模拟理论分析,建立了叠合盆地碳酸盐岩油、气源岩分级评价方法和指标体系;②建立了中国叠合盆地海相烃源岩的4种分布预测模式,为海相碳酸盐岩层系烃源岩预测提供了理论基础;③阐明了叠合盆地深埋条件下优质碳酸盐岩储层形成的“三元控储”机制;④构建了多元供烃、构造控聚、相态转换、早期深埋、晚期调整的成藏模式,为塔里木盆地的油气勘探和四川盆地普光大气田的发现做出了重要贡献。

基于以上创新性研究发表SCI收录论文30余

篇,相关成果已成功应用于多个盆地的油气勘探,取得了重大社会和经济效益;“海相深层碳酸盐岩天然气成藏机理、勘探技术与普光大气田的发现”获2006年度国家科技进步一等奖。由于本“973”项目的成功实施,2006和2012年本学科作为第一承担单位和项目首席科学家单位又成功申请了第二个和第三个国家“973”项目“中国西部典型叠合盆地油气成藏机制与分布规律”和“中国西部叠合盆地深部油气复合成藏机制与富集规律”。

1.2 大、中型油气田成藏定量模式研究攻克石油地质研究难题

本学科在省部级和国家自然科学基金资助下,采用典型油气藏解剖、成藏要素精细刻画、主控因素定量统计、成藏过程物理模拟和数值模拟相结合方法,攻克了石油地质研究难题^[5-10]:①阐明了油气通过优势通道运移的动力学机制和控制因素,建立了基于烃源灶、流体输导格架和能量场三位一体综合分析的油气运移路径预测模型;②发现并证明了油气非稳态成藏过程,揭示了非稳态流体流动和油气成藏的动力学类型、驱动机制和地质——地球化学识别标志;③成功开展了深盆地成藏过程的模拟实验,阐明了深盆气的成藏机制,建立了动力学预测模型。

基于以上创新性研究发表论文97篇,其中SCI收录20余篇,EI收录30余篇。研究成果分别获2003年中国高等学校十大科技进展和2004年国家科技进步二等奖。

1.3 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成机制与勘探形成理论和方法体系

本学科在国家“十五”攻关项目、国家自然科学基金项目及中石油、中石化攻关等项目的资助下,围绕隐蔽油气藏成藏机制、资源评价及预测技术展开了系统研究,取得了创新性成果^[11-16]:①对陆相湖盆的演化特点进行了系统分析,在可容空间及基准面的变化、准层序的边界识别、测井成因层序分析及层序地层学在风成环境、河流冲积环境、隐蔽油气藏的预测等方面有新的突破;②建立了陆相断陷盆地不同区带的油气成藏模式,为剩余油气资源预测提供了理论依据;③提出了隐蔽圈闭形成发育和分布规律的主控因素及其基本地质模式,指出构造演化史和沉积体系转换是控制隐蔽圈闭形成和发育的决定性因素;④揭示了岩性油藏三元复合成因机制,并建立了砂岩透镜体油气充满度和含油气饱和度与主控因素定量关系模式,为钻探目标优选提供了理

论指导;⑤形成了陆相断陷盆地老区油气挖潜勘探的理论体系和方法系列。

基于以上创新性研究在《Journal of Petroleum Science and Engineering》、《中国科学》等著名科技期刊上发表论文80余篇,其中SCI、EI、ISTP三大检索系统收录36篇次;在济阳拗陷中成功预测了最有利勘探方向3个、最有利勘探区带14个和最有利勘探目标35个。相关研究成果获2004年国家科技进步一等奖和2005年国家科技进步二等奖。

1.4 形成系统的油气资源评价方法

中国油气资源评价方法与国外有比较大的差距,长期以来不能与国际接轨。本学科与相关单位合作在油气资源评价方法、油气资源评价系统和海外油气勘探战略选区等领域开展了深入研究,取得了创新性研究成果^[17-18]:①建立了包括成因法、类比法和统计法在内的油气资源评价方法体系,实现了中国油气资源评价方法的整体更新;②构建了国家级油气资源评价数据库,开发集成了相关评价方法软件,形成了一体化的油气资源评价系统;③系统开展了亚洲主要含油气盆地的油气资源评价,提出了不同类型原型盆地控制烃源岩发育,多旋回叠合盆地控制油气成藏过程和保存条件的认识^[19],指出了中国开拓海外的重点勘探战略目标区带。

相关创新性研究成果“油气资源评价新技术与油气勘探效果”获2005年国家科技进步二等奖,“亚洲石油地质特征与战略选区”获2006年国家科技进步二等奖。

1.5 提出复杂地质条件下油气资源富集理论与分布预测新方法

本学科在“973”项目、国家重大油气专项等项目的支持下,通过对十几个重要含油气盆地与探区的研究,取得了重要创新性成果^[20-22]:①创建了凹槽区油气富集机制与模式,揭示了凹槽区油气成藏的主控因素;②建立了断裂控藏机制与模式,将渤海海域油气成藏模式归结为远源凸起大面积侧向汇聚等三类,预测了渤海海域三个勘探区带并已获得油气发现;③建立了叠合盆地油气输导体系的类型和结构模式,提出了不整合、断裂带输导能效定量评价模型,有效地指导了准噶尔盆地勘探目标的选择;④阐明了天然气高效成藏的机制与控制因素,提出了天然气高效成藏的定量评价方法及新指标;⑤提出了临界成藏新理论观点,解决了资源评价中有效源岩判别、主要成藏时间厘定、油气分布预测等地质难题。

以上创新性成果在中国东部、西部地区应用确定出15个新的资源领域、360个新的有利区带和500个新的有利目标,探井成功率平均较原有方法提高20%。相关成果获得国家科技进步二等奖4项,教育部科技进步一等奖2项,其他省部级科技进步一等奖3项,出版专著10余部,发表论文400多篇。

1.6 复杂油气藏精细表征及剩余油分布预测新进展

以国家重大油气专项课题为依托,针对中国特高含水、(特)低渗透、特(超)稠油、复杂断块、构造-岩性复合等复杂油气藏开采面临的强非均质性、地质模型不确定性及剩余油形成与分布高度复杂性等重大开发地质理论与关键性技术难题开展研究,取得重要创新性成果^[23-26]:①创立了基于陆相地震沉积学、非均质综合指数、储层构型解剖的新一代复杂油气藏非均质表征方法和技术,使储层构型表征精度高于微相级;②创新复杂断块区油藏成因理论,建立了“因油气藏而异”的地质建模方法,形成了基于流动单元及储层构型的复杂油藏地质建模及动态模型实时跟踪技术;③建立了不同构造变形场的致密储层裂缝发育模式和非均质岩层的岩石破裂模型,形成了地质、测井和地震相结合的单井裂缝定量评价、井间裂缝定量预测和开发地质评价技术,在川西、中原裂缝性致密气藏、长庆低渗透油藏开发中取得了很好成效。

上述研究成果为改善复杂油气藏开发效果、提高采收率提供了理论指导和最为广泛的技术支持。相关成果获得国家科技进步二等奖1项、省部级科技进步一等奖3项;授权和申请专利各2项;发表论文80余篇,其中被SCI、EI收录40篇;出版专著6部。

1.7 创立沉积盆地热演化与运移通道预测示踪新方法

围绕沉积盆地形成演化过程中的热动力学与油气成藏史重建等科学问题,在多项国家自然科学基金、国家“973”和教育部重大项目等的资助下开展了系统深入的应用基础研究和国际合作,建立了沉积盆地热演化和油气运移示踪新方法^[27-28]。取得重要创新性成果:①创建了适用于海相盆地热历史恢复的有效古温标方法,建立了多种古温标耦合和同步反演恢复沉积盆地热历史的方法,解决了叠合盆地生烃史分析和烃源灶预测的关键难题;②系统、定量恢复了塔里木盆地和渤海海域的热历史和主要

供烃灶演化与分布特征;③发现并论证二苯并噻吩是石油充注成藏过程的有效分子示踪标志,揭示了油气充注的方向和途径;④完善了精确厘定油气成藏期次与时间的方法系列,厘定了塔河油田油气成藏充注时间。

上述创新性成果解决了烃源岩受热生烃——烃源岩灶——运移优势通道及其示踪等成藏过程研究的一系列方法问题,为四川盆地东北部的天然气勘探、塔河油田向南拓展、塔河油田南部石炭系的勘探突破提供了科学依据。

相关研究成果获国家自然科学基金二等奖1项,在《AAPG Bulletin》、《Marine and Petroleum Geology》、《Organic Geochemistry》等国内外著名刊物上发表论文,被SCI收录20篇,EI收录12篇。

综上所述,本学科注重内涵发展和科技创新,取得了显著成效,突显了油气勘探特色和学科优势。从2003年到2013年,本学科共获得国家科技进步一等奖2项,国家科技进步二等奖9项,国家自然科学基金二等奖1项,省部级科技进步奖和自然科学一等奖25项、二等奖30项;共发表三大检索学术论文761篇,其中SCI收录论文241篇、EI收录论文491篇、ISTP收录论文29篇,出版学术专著57部。

2 科技创新促进团队和平台建设

2.1 学术团队结构趋于合理

通过高层次人才引进与校内培养相结合的方式,积极吸引和培养高层次人才,充实学术队伍。经过多年的建设,本学科形成了一支年龄、职称、学历、学缘结构合理的高水平学术团队,拥有一批学术造诣深、具有一定国际影响力、国内知名度高的学术带头人。在教师队伍中,86%具有博士学位,有教授60人,其中中国科学院院士1人(另聘任院士4人),俄罗斯自然科学院院士1人,长江学者计划特聘教授1人,国家杰出青年基金获得者2人,“973”首席科学家1人,国家百千万人才工程第一、二层次人选4人,国家级教学名师2人,教育部新世纪优秀人才8人,教育部高校青年教师奖1人,李四光地质科学奖2人,山东省、北京市教学名师奖获得者5人。

值得一提的是,“油气地质与勘探”研究团队紧紧围绕中国复杂油气藏勘探中的关键问题开展科研攻关,先后在油气储层地质与预测、油气藏形成与分布、油气资源探测方法与技术、油气藏描述等方面取得了一系列研究成果,部分研究领域取得了重大突

破,形成了研究特色和优势。该团队2008年入选首批山东省优秀创新团队,并被山东省人民政府记集体一等功。

2.2 平台建设卓有成效

本学科非常重视平台建设,近10年来,先后建成“油藏地质”山东省重点实验室、“石油天然气成藏机理”教育部重点实验室和“油气资源与探测”国家重点实验室,构筑起了承担国家重大科学任务的学科平台,对中国石油行业的科技进步起到了重要的支撑作用。

自2007年“油气资源与探测”实验室被批准进入国家重点实验室建设行列以来,先后投资近5000万元引进或研制了碳酸盐胶结物碳氧稳定同位素分析系统、有机元素分析仪、二维质谱仪、现代沉积测试系统、地壳深部结构观测系统等多套大型仪器设备,已形成了三大系列的分析测试和数据处理能力:①自主研制了一系列大型模拟系统;②具备较强的海量数据处理能力和复杂过程数值模拟能力;③较强的高精度分析测试能力,有效提升了实验室测试水平。形成了具有国际先进水平的油气资源与探测实验平台,促进了学科建设深度发展。2010年,“油气资源与探测”国家重点实验室顺利通过了国家科技部组织的评估和验收,目前实验室仪器设备总值超过1亿元,实验室面积达到5150 m²,其中本学科相关实验室面积达到4320 m²,成为本学科最重要的科技创新平台。

3 科技创新提升人才培养和国际合作质量

3.1 人才培养质量显著提高

本学科特别重视人才创新意识培养,加强人才培养能力建设和人才培养的国际化,开办全英文国际研究生班。经过近10年的建设,本学科人才培养水平显著提高,构筑起“矿产普查与勘探”学科从本科生到博士研究生不同层次的人才培养体系,编著各类教材12部,其中包括“十五”、“十一五”国家级规划教材5部,建成国家级精品课程4门,网络教育国家级精品课程1门,省部级精品课程12门,2人获国家级教学名师奖,5人获省部级教学名师奖。资源勘查工程专业核心课程教学团队和地质工程专业教学团队入选国家级教学团队;先后获得国家级优秀教学成果奖(2项)、山东省优秀教材一等奖、全国石油高校优秀教材奖等奖励。在学生培养目标、培养体系、课程建设、实验室建设、教材建设、实践与

创新能力培养等方面形成了特色和品牌,取得了显著成效,并被社会广泛认同,学生就业率在90%以上。

近10年来,共授予博士学位437人,授予硕士学位1755人。与10年前相比人才培养能力大幅度提高,研究生发表学术论文的数量和水平明显提升,2人获全国优秀博士学位论文提名奖。

3.2 国际交流与合作呈现良好态势

近10年来,本学科全面加强了国内外学术交流与合作,成功主办了“第五届油气成藏机理与油气资源评价国际学术研讨会”、“国际非常规油气勘探开发大会”、“油气勘探理论与技术发展国际研讨会”、“中国油气勘探六大领域进展、经验及技术研讨会”等大型学术会议。

根据学校的国际化战略,本学科在教师出国进修和参加国际学术会议与国际合作研究、聘请外籍专家来校讲课或举行讲座、与国外大学联合培养研究生、开办全英文国际研究生班等方面进行了广泛的国际合作。近10年来本学科与美国、德国、英国、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、挪威等国家的大学和研究机构建立了稳定的合作关系,取得了显著成效。例如与美国地质调查局丹佛联邦中心开展了油气资源评价方法和非常规油气成藏机制的合作研究,达成了多项合作研究协议,相关成果已在资源评价领域的重要国际期刊发表,在完善和改进油气可采资源量评价参数等方面发挥了重要作用。

据不完全统计,近10年来本学科人员参加国内重大、重要学术会议300多人次,先后有40余人次到上述国外大学和研究机构进行学术交流、进修、科研合作等,有40多位外国专家教授来校讲学和科研合作,加强了国际联系,提高了本学科知名度和影响力。

4 科技创新明确学科研究热点及发展态势

近年来,世界各发达国家非常重视开拓新的油气勘探领域^[29],从简单盆地和地理条件好的地区向复杂盆地和地理条件恶劣的地区发展,从浅层向深层发展。勘探目标从构造圈闭向复杂隐蔽的地层圈闭、岩性圈闭、深盆圈闭等发展。勘探地区从单一的陆上浅层,发展到沙漠、极地、深层、滩海和广阔的大陆架海域以及深海海域等。剩余油挖潜由常规油藏向特高含水、低渗透、裂缝性、稠油等复杂油藏类型拓展。已有的油气地质与勘探理论和技术不能解决

中国复杂油气勘探新问题,急需新理论和新技术支撑。复杂条件油气成藏理论、探测技术和开发中后期剩余油分布规律,既是制约油气勘探开发效率的最重要因素,也是国际研究的前沿课题和热点。

针对中国沉积盆地多期叠加与改造、油气成藏条件复杂以及开发难度大的特点,本学科研究领域呈现出如下发展态势:①从盆地动力学背景分析油气藏形成条件;②隐蔽油气藏的成藏机制和分布模式成为研究热点;③中国南方海相碳酸盐岩成为油气勘探可能取得重大突破的新领域;④油气藏的调改造和保存机制成为制约复杂叠合盆地油气勘探的重大难题;⑤从储层流体流动单元、储层构型及四维动态模型等方面揭示剩余油形成机制与分布模型日益重要。

当今世界石油工业面临着前所未有的发展机遇与挑战,复杂地层岩性与深层油气藏、叠合盆地及海洋深水领域(>2.0 km)的油气勘探等成为中国未来主要的油气勘探和储量增长的主要领域。同时,致密油、致密气、煤层气、页岩气、页岩油、天然气水合物等将成为中国能源研究与勘探的重要领域^[29]。作为一个应用基础研究学科,中国石油大学“矿产普查与勘探”国家重点学科以油气地质与勘探研究为核心和特色,学科的发展与石油工业的发展密切相关,适应石油工业发展的需求、解决勘探实践中遇到的各种难题成为本学科的总体发展趋势与目标。

“十二五”至“十三五”期间,本学科将在“叠合盆地油气藏形成、改造和再富集机制”、“复杂油气藏描述和剩余油分布预测技术”等方向研究的基础上,将“非常规油气资源”列为重要攻关方向,着力开展非常规油气资源形成与分布的研究,重点开展致密砂岩气、页岩油气、煤层气等非常规油气资源的形成、成藏与分布评价等方面的科学研究。

5 结束语

中国石油大学“矿产普查与勘探”国家重点学科突出油气勘探特色,注重内涵发展,建设成效显著,发展态势良好。近10年来在油气地质与勘探领域取得了创新性成果,构筑起了承担国家重大科学任务的学科平台,形成了善于攻关的科研团队,培养出高水平的人才,提高了国际学术影响力;已经成为中国油气地质理论与勘探技术方面科技创新、人才培养与学术交流的重要基地。

致谢 本文是对中国石油大学“矿产普查与勘探”国家重点学科近10年(2003—2013年)建设的

总结。感谢为本学科建设作出贡献的学科负责人、项目负责人和学科团队人员。

参考文献:

- [1] 庞雄奇,罗群,姜振学,等. 叠合盆地断裂上、下盘油气差异聚集效应及成因机理[J]. 地质科学, 2003, 38(3):297-306.
PANG Xiong-qi, LUO Qun, JIANG Zhen-xue, et al. Accumulating diversity and its mechanism between hanging and lower walls of fault in superimposed basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3):297-306.
- [2] 吴孔友,查明. 多期叠合盆地成藏动力学及控制作用:以准噶尔盆地为例[M]. 东营:中国石油大学出版社, 2010:1-188.
- [3] HAO Fang, GUO Tonglou, DU Chunguo, et al. Accumulation mechanisms and evolution history of the Giant Puguang Gas Field, Sichuan Basin, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2009, 83(1):136-145.
- [4] LIU Luo-fu, ZHAO Yan-de, HUO Hong. Petroleum migration direction of the Silurian paleo-pools in the Tarim Basin, Northwest China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2008, 82:174-183.
- [5] 庞雄奇,金之钧,姜振学,等. 油气成藏定量模式[M]//金之钧,张一伟. 油气成藏机理研究系列丛书(卷八). 北京:石油工业出版社, 2003:1-263.
- [6] 查明,吴孔友,曲江秀,等. 断陷盆地油气输导体系与成藏作用[M]. 东营:中国石油大学出版社, 2008:1-232.
- [7] ZENG Jian-hui, JIN Zhi-jun. Experimental investigation of episodic oil migration along fault systems[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2003(78/79):493-498.
- [8] 查明,陈中红. 山东东营凹陷前古近系水化学场、水动力场与油气成藏[J]. 现代地质, 2008, 22(4):567-575.
ZHA Ming, CHEN Zhong-hong. Formation water chemical and hydrodynamic fields and their relations to the hydrocarbon accumulation in the pre-Tertiary of Dongying depression, Shandong[J]. Geoscience, 2008, 22(4):567-575.
- [9] 陈中红,查明,断陷湖盆烃源岩排烃机理与模型[M]. 东营:中国石油大学出版社, 2011:1-213.
- [10] 金强,朱光有,王娟. 咸化湖盆优质烃源岩的形成与分布[J]. 中国石油大学学报:自然科学版, 2008, 32(4):19-23.
JIN Qiang, ZHU Guang-you, WANG Juan. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine environments[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008, 32(4):19-23.
- [11] 李丕龙,庞雄奇,等. 陆相断陷盆地隐蔽油气藏形成——以济阳拗陷为例[M]. 北京:石油工业出版社, 2004:1-426.
- [12] 李丕龙,庞雄奇. 隐蔽油气藏形成机理与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2004:1-517.
- [13] HAO Fang, ZOU Huayao, LI Xiaoguang, et al. Migration and occurrence of high wax oils in the Damintun depression, Northeast, China; implication for primary controls of petroleum migration pathways in heterogeneous carrier beds[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009, 67(3/4):105-115.
- [14] 朱筱敏,王英国,钟大康,等. 济阳拗陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2):197-204.
ZHU Xiao-min, WANG Ying-guo, ZHONG Da-kang, et al. Pore types and secondary pore evolution of Paleogene reservoir in the Jiyang sag[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2):197-204.
- [15] 陈中红,查明. 断陷湖盆超压分布特征及其与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2008, 29(4):509-515.
CHEN Zhong-hong, ZHA Ming. Distribution characteristics of overpressure and its controlling to hydrocarbon accumulation in terrigenous faulted basin[J]. Acta Petroleum Sinica, 2008, 29(4):509-515.
- [16] 操应长,姜在兴. 断陷湖盆层序界面的成因类型及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2004, 28(4):1-6.
CAO Ying-chang, JIANG Zai-xing. Relationship between hydrocarbon reservoir and genetic types of sequence boundary in rift lacustrine basin[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004, 28(4):1-6.
- [17] LIU Guang-di, SUN Ming-liang. The effectiveness assessment of gas accumulation processes in Kuqa depression, Tarim Basin, Northwest China [J]. Science in China (Ser D), 2008, 51:117-125.
- [18] 柳广弟,高先志. 油气运聚单元分析:油气勘探评价的有效途径[J]. 地质科学, 2003, 38(3):307-314.
LIU Guang-di, GAO Xian-zhi. Analysis of petroleum migration and accumulation unit: an effective approach to assessment for petroleum exploration [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3):307-314.

(下转第14页)

- Shallow-water deltas and models[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5):933-944.
- [20] HORNE J C, FERM J C, CARUCCIO F T, et al. Depositional models in coal exploration and mine planning in appalachian region[J]. *AAPG Bulletin*, 1976, 62(12): 2379-2411.
- [21] POREBSKI S J, STEEL R J. Deltas and sea-level change [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, 76: 390-403.
- [22] GARCÍA-GARCÍA F, CORBI H, SORIA J M, et al. Architecture analysis of a river flood-dominated delta during an overall sea-level rise (early Pliocene, SE Spain)[J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 237(1/2): 102-113.
- [23] 朱如凯, 郭宏莉, 高志勇, 等. 塔里木盆地北部地区中、新生界层序地层、沉积体系与储层特征[M]. 北京:地质出版社, 2009.
- (编辑 徐会永)
-
- (上接第6页)
- [19] 白国平, 殷进垠. 中亚卡拉库姆盆地油气分布特征与成藏模式[J]. *古地理学报*, 2007, 9(3):293-301.
BAI Guo-ping, YIN Jin-yin. Distribution characteristics and accumulation model for oil and gas in Karakum Basin, Central Asia [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2007, 9(3):293-301.
- [20] 查明, 张一伟, 邱楠生, 等. 油气成藏条件及主要控制因素[M]. 北京:石油工业出版社, 2003:5.
- [21] PANG X Q, LI Y X, JIANG Z X. Key geological controls on migration and accumulation for hydrocarbons derived from mature source rocks in Qaidam Basin[J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2004, 41:79-95.
- [22] 查明, 陈中红, 朱筱敏. 准噶尔盆地陆梁地区油气成藏系统[J]. *新疆石油地质*, 2003, 24(2):97-99.
ZHA Ming, CHEN Zhong-hong, ZHU Xiao-min. Petroleum accumulation system of Luliang area in Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2003, 24(2):97-99.
- [23] 林承焰, 张宪国, 董春梅. 地震沉积学及其初步应用[J]. *石油学报*, 2007, 28(2):69-72.
LIN Cheng-yan, ZHANG Xian-guo, DONG Chun-mei. Concept of seismic sedimentology and its preliminary application[J]. *Acta Petroleum Sinica*, 2007, 28(2):69-72.
- [24] 吴胜和, 岳大力, 刘建民, 等. 地下古河道储层构型的层次建模研究[J]. *中国科学: D 辑(地球科学)*, 2008, 38(增刊 I):111-121.
- WU Sheng-he, YUE Da-li, LIU Jian-min, et al. Hierarchy modeling of subsurface palaeochannel reservoir architecture[J]. *Science in China (Ser D): Earth Sciences*, 2008, 38(sup I):111-121.
- [25] 严科, 杨少春, 任怀强. 储层宏观非均质性定量表征研究[J]. *石油学报*, 2008, 29(6):870-874, 879.
YAN Ke, YANG Shao-chun, REN Huai-qiang. Research on quantitative characterization of macroscopic heterogeneity of reservoir [J]. *Acta Petroleum Sinica*, 2008, 29(6):870-874, 879.
- [26] 林承焰, 余成林, 董春梅. 老油田剩余油分布——水下分流通道岔道口剩余油富集[J]. *石油学报*, 2011, 32(5):829-835.
LIN Cheng-yan, YU Cheng-lin, DONG Chun-mei. Remaining oils distribution in old oilfields: enrichment of remaining oils in underwater distributary channel crotches[J]. *Acta Petroleum Sinica*, 2011, 32(5):829-835.
- [27] NANSHENG Q, JIAN C, YINHUI Z, et al. Thermal evolution and Lower Paleozoic source rocks maturation in the Tarim Basin Northwest China[J]. *AAPG Bulletin*, 2012, 96(5):789-821.
- [28] QIU N S, KANG Y S, JIN Z J. Temperature and pressure field in the Tertiary succession of the Western Qaidam Basin, Northeast Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(5):493-507.
- [29] 邹才能, 陶士振, 侯连华, 等. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社, 2013:1-36.
- (编辑 徐会永)