

文章编号: 1000-0550(2003)01-0142-06

中国油气储层地质研究面临的挑战和发展方向

罗 平 裘怿楠 贾爱林 王雪松

(中国石油勘探开发研究院油气储层重点实验室 北京 100083)

摘 要 论述了我国采取“稳定东部,发展西部”的油气战略后,油气地质所面临的形势,以及油气工业的发展对储层地质提出四个领域的挑战:深部储层、挤压盆地储层、低渗透储层和碳酸盐岩储层;这些都是石油勘探开发中久攻不克的难题。根据我国陆上东西部油气区的勘探开发实际和近年的储层研究实践,文章系统多视角地分析了这四个难题,并提出了相应客观的研究思路和研究方向。

关键词 储层地质 深部储层 碳酸盐岩储层 低渗透储层

第一作者简介 罗平 男 1956年出生 高级工程师 储层地质

中图分类号 P618.130.2.1 **文献标识码** A

1 前言

50多年来,我国石油工业取得了辉煌成就,勘探开发了丰富的油气资源。随着油气勘探开发事业的发展,尤其储层地质研究涉及广泛的领域,包括不同盆地类型、不同沉积类型、不同沉积体系类型和不同油气藏类型。从大型拗陷盆地、裂谷盆地至大陆边缘盆地和前陆盆地,从淡水、微咸水、半咸水湖盆至含盐湖盆和湖泊与沼泽交替沉积盆地,从陆相至海相,从东部至西部,油气储层地质研究为油气勘探开发做出了重要贡献。

进入 21 世纪,我国油气勘探开发的难度大大增加,石油储量的品质下降,每年油气探明储量水平难以满足国民经济快速增长对油气的大幅度需求。八五和九五期间在“稳定东部,发展西部”的油气战略方针指导下,油气勘探不断有重要发现,而十多年的勘探生产实际表明,我们面临的油气地质条件较上个世纪更加复杂,需要不断更新石油地质的观念和发展新的储层地质理论和勘探开发技术,以提高勘探开发效益,增加油气储量和产量,保障我国的能源安全。具体说,在东部老油区,目前还是我国的石油主要产地,但是石油产量逐年递减,发现的常规油气藏规模越来越小,每年探明储量不断减少,勘探领域走向难度更大的深层油气藏和隐蔽油气藏。中部地区的鄂尔多斯和四川盆地,是中生界大型平缓的陆相盆地,河流砂体发育,储层物性变化大,非均质性强,有大面积的低渗透油气储层,储层描述和预测难度大。西部新区是发现潜在油气资源

的地区,也是大型油气田发现的地区,但是地质条件复杂,如前陆盆地,储层受挤压强烈改造^[1]。四川、塔里木和南方的大片海相碳酸盐岩地区的大油气藏仍有待发现。由此可见,摆在储层地质研究的主要难题是深层储层、低渗透储层、挤压盆地储层和海相碳酸盐岩储层。

在东部渤海湾油区,在传统理论认为的孔隙死亡线之下的深部地层,发现了异常孔隙带的存在,是一个潜在的勘探领域。这些非常规的深部孔隙发育带,受什么因素控制,它的成因机理和分布规律如何,值得深入研究。中油股份公司所辖地区低渗透储层中拥有大量的未动用储量(如四川、吉林、长庆等油田),如何在低渗透地区中预测高渗透集带,提高生产效益,是摆在储层地质研究面前的重大挑战之一。西部挤压性盆地是目前勘探成果最多的领域,但储层受到强烈改造,有利孔隙发育带已不能用东部的的方法加以预测。碳酸盐岩储层的研究已有几十年的历史,但其非均质性是一个有待突破的方向,我国的三大克拉通盆地都广布着下古生界碳酸盐岩地层,尤其是塔里木和四川盆地,寒武系是重要的生油岩,油气资源丰富,具有重要的勘探前景,但目前找到的储量还不多。因此,对碳酸盐岩油气藏的勘探储层基础地质研究显得十分重要。储层地质研究的突破,可能使这些储层成为新的勘探开发领域,加快我国油气资源的战略接替。

2 深部储层

我国东部老油区,勘探程度虽然较高,然而待探石油可采储量仍占 38%,其中松辽、渤海湾两盆地约占

32%。老油田附近的新断块、盆地内的重力流砂体、斜坡带的岩性和构造-岩性圈闭、滩海地区、中生界深部以及古生界都是有潜力的领域。由于老油区具有研究程度高、风险小、地处经济发达区和地面设施可以利用等多种有利因素,因而可以取得远高于西部地区的经济效益。从世界范围来看,石油可采储量增长了约 150 亿 t,其中一半来自老油区,如美国自 1950 年以来增长的可采储量中老区占 86%,这充分说明老油区的潜力不可忽视。但国内外的经验也都表明,要在老油区取得突破,必须要有新理论指导,新思维及新技术的支持。

深部异常孔隙带的存在是大家公认的事实,但其中孔隙的成因、保存机理以及异常孔隙带的预测仍是困扰勘探的突出难题。难题主要在表现在两个方面,即基于水-岩反应的古流体恢复技术和盆地成岩定量化研究。

2.1 盆地古流体的恢复技术

盆地流体类型及其驱动机制研究是近些年地学方面研究的热点之一,流体的流动机制可分为重力驱动(大气水下降流)、压实驱动和密度驱动(包括温度差引起的热对流和流体浓度差引起的流动)。流体的温度梯度、压力梯度和密度梯度的差别,引起流体的不同流动方式。流体与岩石之间在长期地质历史时期中的反应,出现压实、胶结和溶解等物理化学以及生物化学等反应,从而导致不同时期产生不同的溶解和胶结作用等成岩事件,它们对物性的变化都有直接影响。恢复盆地古流体是解释深部异常孔隙发育机理的关键,也是对深部异常孔隙进行预测的基础。

2.2 成岩定量化及成岩圈闭厘定技术

以往的成岩作用研究只能进行温度-深度-时间的一维剖面研究,目前油气储层重点实验室正将建立考虑复杂成岩过程的二维剖面模型并向建立三维定量模型方向迈进。成岩作用的定量化研究处于起步阶段,发展方向是将成岩作用中的物理化学过程软件化,不断将新发现的成岩研究成果融于定量化的软件中,提高储层预测的科学性和可操作性。

3 挤压盆地储层

据 2002 年统计数据,在中国陆上进行勘探的地区共有待探明石油可采资源约 42×10^8 t,天然气可采资源约 6.8×10^{12} m³。其中,西部地区潜力最大,待探油气可采资源分别占 59% 和 48%,是发展我国油气工业的战略后备区。但是由于西部地区油气地质条件复杂,对大型多旋回叠加、历经多期构造运动改造的复合性盆地的油气地质规律尚未完全认识,加上目的层埋藏

深,在很大程度上影响勘探取得更大的突破;中部地区天然气资源丰富,待探天然气可采资源约占总可采资源量的 40%,具备加快发展的基础。但勘探目标和勘探接替领域的准备相对滞后,影响了储量的快速增长,这其中储层地质条件复杂是一个重要因素。

中国陆上东部中生代主要是伸展型盆地;在长期的油气勘探开发实践中,已建立起一套评价储层的技术、方法和理论。例如,在渤海湾盆地已建立起一套成岩阶段的划分方案,并形成中国石油的行业标准,能较准确地评价钻遇储层所达到的成岩阶段和评价其储层质量优劣^[2]。其理论基础是,东部盆地是一种“热”盆,地温梯度在 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以上,以热体制为主导的成岩演化已被详细地解剖。然而,在中西部地区,盆地性质为“冷”盆,一是由于新生代地温梯度的下降,目前梯度为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下,其二是上第三纪以来的快速埋深。再者,喜山运动以来盆地受到极大挤压,这种侧向的挤压作用和山前带地层的重复叠置,使储层的性质难以用东部的预测模式来指导。因此,更加需要储层地质研究与盆地构造史、埋藏史的研究成果相结合,才能有效地预测储层。

目前中西部的勘探主要在山前的 13 个前陆盆地展开;除库车前陆盆地发现了超大型天然气田外,在酒西、淮南、塔西南、柴北、吐哈等挤压背景下的盆地或坳陷都不同程度地发现了油气田或油气显示。它们的储层性质表现出明显的复杂性,如在库车坳陷东段的东、西两端的侏罗系储层性质差异很大,东端储层孔隙度可达 20%±,而西端在 10% 以下^[3-5];研究表明这种差异是由于储层的埋藏史和受构造的挤压史不同所造成的。其二,酒西盆地的青西凹陷的下白垩统储层,是一套致密的湖相纹层状碳酸盐质泥岩;一般情况不具备有效储集层的条件;但在祁连山隆升的强烈构造活动改造下,各种级次的微裂缝和宏观裂缝大量发育,改善了储渗条件,形成了上亿吨地质储量的大油田;也是在生油凹陷中心以生油岩为储层的第一个大型油田。以上事例表明,挤压性盆地中的储层受到的改造,比东部更加强烈,因素更复杂,科学问题更具挑战性。根据这几年的工作实践,应该在这几个方面开展研究。

3.1 储层古应力史研究

了解储层经受的应力期和强度,与区域地质相结合,圈定盆地不同部位储层的应力史并描述其强度特征;确定构造应力减少储层孔隙度的程度,甚至给出定量的结果,将有益于指导勘探。

3.2 储层古埋藏史研究

结合构造地质的成果,更加细致地了解储层的埋藏历史;西部挤压盆地经历了多次抬升、下降,具有复

杂的叠合盆地性质;仔细厘定储层的近地表暴露、天水淋滤历史和古流体的改造,对预测储层的好坏十分重要。其次,早期的快速埋藏和晚期快速埋藏对储层的改造效果可能很不一样,这是一个值得探讨的研究领域。

3.3 储层改造的有利因素分析

三个重要的储层改造因素值得探讨:(1)快速埋藏的巨厚上覆载荷形成的异常地层压力,对储层物性的保存机理问题。(2)构造挤压变形产生的裂缝问题,对不同岩石其裂缝发育规律大相径庭,差别大,需要对不同岩石类型与应力相互作用做系统的机理研究。(3)构造活动带,天水下渗至盆地内部引起储层的溶蚀作用问题。这些应是挤压盆地中储层发育的有利条件,但这些条件难以事先预测,只有在充分研究典型地区后,建立起预测模式,才能对挤压性盆地的储层作出有效的储层预测。

4 低渗透储层

中国含油气盆地多数为陆相沉积,很大部分属于低渗透储层。岩性致密,物性差,孔渗低,孔隙结构复杂。据统计,低渗透储层油气藏约占储层的 45% 以上,已成为制约我国石油工业发展的主要地质因素之一。以中油股份公司为例,至 1998 年,低渗透油气藏探明地质储量 43×10^8 t,已开发动用 20.2×10^8 t,全国陆地发现并探明的低渗透储层油田共 285 个,地质储量广泛分布于全国勘探开发的 21 个油区,其中地质储量一亿吨以上的有 11 个油区。1998 年砂岩低渗透油田产油量为 1.3×10^7 t,占集团公司原油总产量的 12.4%,至 2002 年,低渗油田的原油产量已超过 2.0×10^7 t,为中油股份产量的六分之一左右,占有重要地位。随着勘探的深入,“十五”期间将有更多的低渗透储量投入开发。低渗透油田是“十五”及 2015 年原油生产的重要领域之一。

为总结和交换经验和成果,于 1985 1987 1989 1993 年等多次召开了全国性低渗透油气藏学术研讨会,并创办了《低渗透油气藏》杂志。为了在低渗透储层中预测有利的相带,即“甜点”,应当从三个方面开展研究。

4.1 河流的砂体展布沉积过程研究

中国中部的中生界盆地都是大型的陆相盆地,如四川盆地和鄂尔多斯盆地的晚三叠世和侏罗纪,既有干旱条件下又有潮湿气候下的河流沉积体系,鄂尔多斯石炭-二叠系也是由海相盆地向陆相盆地转化的过渡盆地。这些时代的地层中发现了大量的大型低渗透油田和天然气田,其主要沉积体系是河流,而对这类大型盆地中的河流沉积体系的沉积过程和模式的研究,

理论总结不够,对勘探开发指导作用弱。因此,需要进一步细致划分出各类不同的河型,总结出多类,而不仅是曲流和辫状两类型式,建立起我国自己的冲积沉积体系理论。其核心是从沉积过程研究入手,理论模拟、实地考察、实验模拟相结合,形成预测砂体的地质模型,指导勘探开发的深入发展。这将是储层地质研究的重要方向之一。

4.2 成岩作用与沉积微相相互作用对储层质量的影响

低渗透储层的微相类型和岩相类型与储层演化密切相关。如在鄂尔多斯盆地石炭-二叠系的天然气储层中,同一沉积体系的不同微相砂体的储集性能差别大,较纯的次石英砂岩与含火山灰杂基高的岩屑砂岩相比,两者在物性上有很大差别,前者为好储层,后者为差储层;其成岩演化特征亦不相同。可以说,岩性微相控制了储层的演化,寻找这种有利的储集相带关键是在沉积微相研究的基础上,勾画出有利的岩性微相和储层的成岩相。

其次,低渗透储层研究中,裂缝性储层表征、建模和预测愈来愈受到重视,神经网络方法及地震、测井综合识别方法,在油田的实际应用中取得了很好的效果。国内外在裂缝的地质研究方面都比较成熟,但如何将静态的裂缝描述与区域裂缝的关系,以及与油田开采的动态演化相结合,描述裂缝的四维演化将是一个值得探索的研究方向。

4.3 微孔隙定量化技术

对于微孔隙,通常指孔隙直径小于 $10 \mu\text{m}$ 的孔隙,更精确地说是连通喉道小于 $1 \mu\text{m}$ 的孔隙。微孔隙结构主要指胶结物中的晶间孔、微溶孔和自生粘土矿物颗粒集合体之间的孔喉及晶间孔。对微孔隙结构的研究,要求对其放大几千到几万倍,这就需要利用扫描电子显微镜或激光共聚焦显微镜及其图像分析系统,可定量分析孔隙含量,孔隙尺寸、喉道大小、孔面积、孔周长、孔喉直径比及相应的各种参数,如分选系数、比表面积、锐度、歪度等。低渗透储层中微孔隙占了相当大的比重,有的占总孔隙的 50% 以上,对它的成因,分布型式和对油气水的分布控制尚处于朦胧状态。微孔隙定量分析方法可为低渗透储层的研究提供准确可靠的定量物性数据,结合其它分析手段,可以更加定量地评价这类储层,为开发提供模型。

5 海相碳酸盐岩储层

制约碳酸盐岩勘探的瓶颈之一是强烈的“储层非均质性”。虽然在鄂尔多斯、四川和塔里木几个克拉通盆地陆续发现了大型的油气田,如塔河-轮南油田、陕

中气田、川东石炭—三叠系气田群,但是油气资源量异常丰富的下古生界碳酸盐岩,所获储量与其资源量不相匹配,大的发现不多。尤其是油气资源量最丰富的寒武系,几乎是油气发现的空白。

油田对非均质严重的碳酸盐岩储层地质研究,从勘探到开发都有强烈的需求,对于非层状碳酸盐岩储集体的定量描述和白云质类储层的厘定与预测从概念到模型都不十分明晰,制约了勘探方向的选择及开发方案的设计。通过详细的调研分析,主要应在三方面进行研究。

5.1 古生界碳酸盐岩的礁滩沉积体系

已知的四川长兴统的白云岩化生物礁、下三叠统飞仙关组的鲕粒滩,具有一定层状分布属性,是良好的天然气储层。但是不同时代的碳酸盐台地的礁滩分布很不一样;如塔里木盆地巴楚地区中奥陶统一间房组的 Calathium 点礁复合滩体,其礁体个体小,以 5~15 m 为多;但与颗粒滩一起构成了复合礁滩储集体,有一定规模;因此需要对礁滩复合体进行系统的露头,井下岩芯研究,建立起符合实际的储层模型,指导勘探。

5.2 白云岩类型、形成与分布和有利储集体预测

白云石化可以将不具备储层条件的泥晶灰岩转化成多孔的白云岩,成为一种良好的孔隙性储集层。国际上有五种白云石化模式:回流模式、海水模式、混合水模式、埋藏模式和热液模式;此外,尚有生物成矿模式。目前对白云岩储层的研究,针对不同的地质环境,结合上述模式,描述工区的白云岩成因机理,需要大量的地质信息和分析实验。需要将岩石学、矿物学、同位素地球化学、元素地球化学、矿物发光学、包裹体研究与岩石地层学、沉积学、构造地质学研究相结合,总结出工区的白云化机理,指导勘探开发。我国在研究白云岩储层上的经验还不够丰富,实验手段不强,不能满足目前油田的需求;对储层地质研究是一个需要极大加强的研究方向^[6-8]。

5.3 隐蔽潜山预测与深部岩溶对储层的改造

近年来,鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地及塔里木盆地等深埋藏碳酸盐岩中的油气勘探相继取得了重大突破,在埋藏深度大于 2 000~3 000 m 的碳酸盐岩中发现了高产古岩溶储集层。由于储集空间主要为岩溶孔洞、裂缝等,非均质性明显,空间分布规律复杂,加之碳酸盐岩储层经历了漫长的岩溶作用过程(既有地质历史时期近地表环境下的古岩溶作用,又经历了长期逐渐被埋藏过程中深岩溶作用的叠加与改造),造成油气储集规律十分复杂,给勘探开发带来了一定难度。

渤海湾盆地是中国典型的叠合盆地之一,以下古

生界碳酸盐岩地层为主形成的古潜山是渤海湾盆地重要的油气藏类型。近年来,随着勘探的不断深入和对油气资源需求的扩大,渤海湾盆地碳酸盐岩古潜山的勘探重点已经由以表生期为主形成的高、中部构造部位潜山逐渐向以埋藏期为主形成的中、低构造部位潜山和潜山内幕转移,勘探目的层深度越来越大,如千米桥、乌马营、信安镇、码头潜山等均在埋藏深度大于 4 000 m 的碳酸盐岩中发现了高产岩溶储集层。由于储集空间主要为岩溶孔洞、裂缝等,表生岩溶形成的孔缝洞要么不发育,要么遭受了后期深部岩溶的强烈改造,因此潜山碳酸盐岩储层的非均质性极强,空间分布规律极其复杂。储集层除了产出凝析油(气)外,还有产出多种类型的非烃气体,包括 CO₂、N₂、H₂S 等。千米桥古潜山的油气勘探和开发也面临着碳酸盐岩储层严重非均质性的问题,该问题一直困扰着油田现场有关科研人员。

针对上述渤海湾盆地碳酸盐岩古潜山勘探过程中出现的诸多问题,有必要开展下古生界碳酸盐岩古潜山储集层的深部岩溶机理研究。深部岩溶为不受地表侵蚀基准面控制环境条件下的深埋藏岩溶作用。实际上,盆地内部碳酸盐岩储层的发育特征与盆地周边露头相应层位存在巨大的差异,这主要是因为盆地内部的碳酸盐岩地层大多经受了埋藏阶段,尤其是渤海湾盆地的下古生界,发生水—岩反应的物质非常丰富和复杂,包括有机质热演化过程中产生的酸性水和酸性气体、岩浆活动、碎屑岩压实或成岩作用等因素产生的热水、盆地深部来源的酸性气体、含硫酸盐的碳酸盐岩地层通过微生物或热化学还原作用产生的硫化氢气体等等。此外,渤海湾盆地中,新生代地层中发育有大量的火山岩和次火山岩,岩浆成因的热对流势必然对碳酸盐岩地层的储集空间产生巨大的影响。因此必须从构造演化、沉积后地下流体活动及与岩石发生反应等多方面研究,从而认识深部岩溶的发生过程,掌握其形成机理,预测有利岩溶区带^[9-14]。

6 储层地质研究技术

储层表征与建模技术是针对我国主要老油田的实际开发状况而开展的工作。众所周知,油田开发到一定的阶段将会面临两个方面的主要问题,一方面,油田的含水率越来越高,另一方面,大量的可动剩余油却滞留于地下。造成这一现象的主要原因是我们对所开发的地质体的储层非均质性的认识总有一定的不确定性。而油田的钻井密度又不能无限地加密,这样迫切需要发展一套精细的储层表征与建模技术,在非常精细的尺度上认识储层不同级别的非均质特征,为油田地下

的实际应用作好准备。

针对上述情况,储层表征与建模技术主要在以下几个方面开展研究^[15-21]。

6.1 厚砂层叠置形式和层内夹层建模

在自然界的砂体沉积中,很多厚砂体是一些次一级的小砂体通过侧向和垂向不同的堆叠方式衔接起来的,油田地下的实际情况也是这样,通过露头 and 油田地下的实际深入解剖,了解砂体的叠置形式对流体流动的影响,可以在很大程度上掌握厚油层内部的剩余油分布状况和形式,并建立储层夹层的建模技术,为老油田的挖潜提供技术支持。

6.2 地质、测井、油藏综合建模技术

老油田生产到一定的程度,单纯依靠某一项技术已经很难解决问题,同时测井、地质和油藏的相互结合也给我们进行综合建模提供了技术可能,在该研究内容中,主要依靠地质提供的沉积环境和砂体的连续性与连通性的资料,测井所提供的砂体、物性和流体解释结果,油藏所提供的生产动态资料并结合地震所提供的井间砂体的可能变化情况,集成最大的信息建立精细的储层地质模型。

6.3 随机建模技术与方法

在具有相当数量的开发井的油田,在开发中后期和钻井密度较小的油田开发初期,同样都面临由钻井所揭示的地质信息预测井间储层展布特征和规律的问题。通过该研究技术和方法的深入研究,建立不同随机预测方法对不同的开发阶段和不同的储层类型进行可靠预测,指导实际开发部署。

6.4 沉积相精细研究技术

在油田勘探开发的不同阶段,对沉积相的正确认识都是非常重要的,特别是在油田开发后期,控制剩余油分布的往往是沉积微相的特征和展布规律,只有精细地对储层沉积相进行研究,才能指导油田的实际生产。另一方面,经过多年的研究,各油田都在进行沉积相的精细研究,但研究标准和方法有一定的差别,通过研究,建立标准、规范的沉积相研究方法,满足油田的需要。

6.5 沉积体系的物理模拟与数值模拟技术

通过野外和油田地下的精细解剖,在所能识别的范围内已经全面研究了扇三角洲和辫状河的各种地质规律,但对其沉积成因研究是反演推理的,为了进一步从成因上确证获得的地质知识的可用性,通过沉积物理模拟和数值模拟的正演可以验证、修正和充实露头获得的知识,这是很关键的,目前我国已具备条件进一步开展深入研究^[22,23]。

7 结论

尽管我国油气储量大幅度增长的时代已然过去,但中西部地区新区和东部老区的深层新区新领域,依然有大量的油气资源。这些资源的质量显得更加复杂,只有发展新的石油地质理论和勘探开发技术,才能采掘出来。这些资源大部分应分布在深部储层、低渗透储层、挤压盆地储层和碳酸盐岩储层之中;就上述科学问题而言,即是储层地质工作者面临的重要挑战,也是储层研究理论技术发展的大好机遇。

致谢: 本文得以完成与油气储层重点实验室学术委员会的专家支持和鼓励分不开,与重点实验室的各个分室的努力分不开,初稿完成后,学术委员会专家做了细致的修改,在此,作者表示深深的谢意。

参考文献 (References)

- 刘志宏, 卢华复, 李西建等. 库车前陆盆地的构造演化 [J]. 地质科学, 2000, 35(4): 482-492 [Liu Zhihong, Lu Huafu, Li Xijian et al. Tectonic evolution of Kuqa Foreland Basin [J]. Geological Sciences, 2000, 35(4): 482-492]
- 裘怿楠, 薛叔浩, 应凤祥. 中国陆相油气储集层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Qiu Yinan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. Continental hydrocarbon reservoirs of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 寿建峰. 碎屑岩储层控制因素及钻前定量地质预测 [J]. 海相油气地质, 1999, 1: 21-26 [Shou Jianfeng. Controlling factor and quantitatively geological prediction of clastic rock reservoirs [J]. Marine facies petroleum geology, 1999, 1: 21-26]
- 寿建峰, 斯春松等. 塔里木盆地库车坳陷下侏罗统砂岩储层性质的控制因素 [J]. 地质论评, 2001, 47(3): 47-52 [Shou Jianfeng, Si Chunsong, et al. Controlling factors of loer Jurassic sandstone reservoirs in Kuqa Depression Tarim Basin [J]. Geological Review, 2001, 47(3): 47-52]
- 寿建峰, 朱国华. 砂岩储层孔隙保存的定量预测 [J]. 地质科学, 1998, 32(2): 64-72 [Shou Jianfeng, Zhu Guohua. Quantificational prediction of pore conservation in sandstone reservoirs [J]. Geological Sciences, 1998, 32(2): 64-72]
- 金振奎, 冯增昭. 华北地台东部下古生界白云岩的类型及储集性 [J]. 沉积学报, 1993, (2): 9-18 [Jin Zhenqui, Feng Zengzhao. Dolomitite styles and reservoir characteristics of lower Paleozoic in east of North-China Platform [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, (2): 9-18]
- 郑和荣. 白云岩研究的若干进展 [J]. 地球科学进展, 1988, (3): 19-24 [Zheng Herong. Some advances of dolomitite research [J]. Process in Earth Sciences, 1988, (3): 19-24]
- 郑荣才, 刘文均, 李祥辉, 陈源仁, 王洪峰. 白云岩成因在层序地层研究中的应用 [J]. 矿物岩石, 1996, (1): 28-37 [Zheng Rongcai, Liu Wenjun, Li Xianghui, Chen Yuanren, Wang Hongfeng. Application of dolomitite origin in research of sequence stratigraphy [J]. Minerals and Rocks, 1996, (1): 28-37]

- 9 黄尚瑜, 宋焕荣. 油气储层的深岩溶作用 [J]. 中国岩溶, 1997, 16 (3): 84~ 89 [Huang Shangyu, Song Huanrong. Deep karstification of petroleum reservoirs [J]. *Carsologica Sinica*, 1997, 16 (3): 84~ 89]
- 10 兰光志, 江同文, 张廷山等. 碳酸盐岩古岩溶储层模式及其特征 [J]. 天然气工业, 1996, 11(6): 28~ 35 [Lan Guangzhi, Jiang Tongwen, Zhang Tingshan etc. Reservoir pattern and characteristics of carbonate paleo-karst [J]. *Natural Gas Industry*, 1996, 11 (6): 28~ 35]
- 11 李定龙. 古岩溶和古岩溶地球化学概念与研究展望 [J]. 高校地质学报, 1997, 5(2): 36~ 42 [Li Dinglong. Concept and study prospect of Paleo-karst and Paleo-karst geochemistry [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1997, 5(2): 36~ 42]
- 12 李定龙, 周治安, 王桂梁. 马家沟组灰岩(古)岩溶研究中若干问题 [J]. 地质科技情报, 1997, 16(1): 42~ 47 [Li Dinglong, Zhou Zhi'an, Wang Guiliang. Some problems in karst study of limestone in Formation Majiagu [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1997, 16(1): 42~ 47]
- 13 Edward G, Dave Waltham. Reservoir Implications of Modern Karst Topography [J]. *AAPG Bulletin*, 1999, 83(11): 1774~ 1794
- 14 Esteban M, Wilson J L. Introduction to Karst Systems and Paleokarst reservoirs [A]. In *Paleokarst Related Hydrocarbon Reservoirs* [C]. *Sepm Core Workshop*, 1993, (18): New Orleans, April 25
- 15 金德生. 关于流水动力地貌及其实验模拟问题 [J]. 地理学报, 1989, 44(2): 224~ 251 [Jin Desheng. Problems about dynamical relief under flowing water and its experimental simulation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(2): 224~ 251]
- 16 Aamodt G, Leith D, Ringas J E, *et al.* Geological Facies Models and Stochastic methods [R]. 1996. SAND/08/96, 73
- 17 Albert F, Modot V. Stochastic Models of Reservoir Heterogeneities Impact on Connectivity and Average Permeabilities [C]. SPE 24893, SPE Annual Technical Conference and Exhibition-1992, Washington D C. 355~ 370
- 18 Bryant J D, Flint S S. Quantitative Clastic Reservoir Geological Modeling: Problem Sand Perspective [M]. *Spec Publs Int Ass Sediment*, 1993, 15 315~ 323
- 19 Cheel R J, Middleton G V. Measurement of Small-Scale laminae in sand-sized sediments [J]. *Sedim Petrol*, 1986, 56 547~ 549
- 20 Dreyer T. Geometry and Facies of Large-scale Flow Units in Fluvial-dominated Fan-delta-front Sequences [M]. in *Ashton Advance in Reservoir Geology*, 1993. 135~ 179
- 21 Ehanks W F. Flow Unit Concept—integrated Approach to Reservoir Description for Engineering Projects [R]. *AAPG Ann Mtg*, 1987, Los Angeles (abs)
- 22 刘忠保, 曹耀华, 张春生, 赖志云. 定床变弯度曲流河边滩的水槽模拟实验 [J]. 江汉石油学院学报, 1994, 16(4): 114~ 121 [Liu Zhongbao, Cao Yaohua, Zhang Chunsheng, Lai Zhiyun. Flume experimental simulation of point bar in meandering river [J]. *Journal of Jinchang Petroleum Institute*, 1994, 16(4): 114~ 121]
- 23 Flint S S, *et al.* The Geological Modeling of Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues [A]. *Special Publication Number 15 of the International Association of Sedimentologists* [C]. Blackwell Scientific Publications, 1993

The Present Challenges of Chinese Petroleum Reservoir Geology and Research Direction

LUO Ping QIU Yi-nan JIA Ai-lin WANG Xue-song

(CNPC Key Lab for Oil and Gas Reservoirs, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083)

Abstract The paper discusses the present situation of petroleum exploration and development in China, and the challenges facing to the reservoir geologists. They are the deep sited reservoirs, low permeability reservoirs, carbonate reservoirs and foreland basin reservoirs, which have not been understood well for years. In this paper, based on the experiences from the recent study of reservoirs in mainland China petroleum provinces, the four types of reservoirs are analyzed for several aspects, and the corresponding research directions and methodologies are presented.

Key words reservoir geology, low permeability, deep sited reservoirs, carbonate reservoirs, foreland basin reservoir