

文章编号:0253-2697(2000)02-0001-08

迈向新世纪的中国石油地质学

李德生

(石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

摘要:我国石油和天然气勘探开发的进展不断提出石油地质的新问题。通过实践和认识,丰富了石油地质学的理论。迈向新世纪的中国石油地质学将在以下五个方面继续作出努力:(1)陆相生油理论;(2)源控论与复式油气聚集(区)带的理论;(3)我国海相沉积岩含油气系统的研究;(4)古潜山油气藏的理论;(5)数字地球与石油地质学。

关键词:陆相生油;含油气系统;数字地球;石油地质学

中图分类号:TE1 **文献标识码:**A

1 前言

石油地质学是一门应用科学,是随着油、气田的勘探、开发实践活动,而逐步总结上升为理论的。中国石油地质学的发展经历了艰苦的探索与努力。我们遵循的原则是理论来源于实践,理论为实践服务的。

我们走过的道路是从西部延长油矿,玉门油矿到东部大庆油田和吉林油田、二连盆地。渤海湾盆地——胜利、大港、辽河、华北、中原、冀东油田和渤海海域,东南沿海大陆架、中部四川和鄂尔多斯油气区,到西部柴达木、准噶尔、吐哈、塔里木等油区和青藏高原等地区,都布满了中国石油勘探队伍的足迹。

我国油气勘探开发不断提出石油地质的新问题,通过认识和解决这些问题,丰富了我国石油地质学的理论。

2 陆相生油理论

中国含油气盆地具有比较复杂的地质演化史。

中晚元古代和古生代主要分布海相沉积岩。中国克拉通自晚二叠世海水从华北退出和中三叠世海水从华南退出之后,在中、新生代期间,湖相沉积广泛发育,因此中国有丰富的陆相油源。中国中、新生代陆相盆地,具有规模大、时间长、类型多、沉积厚和有机质丰富的特点^[1]。

1. 早在20世纪30年代和40年代,老一辈的中国地质家对此都有不同程度的认识。最早在国际学术界提出陆相生油理论的是潘钟祥教授于1941年在美国公开发表的论文“中国陕北和四川白垩系石油的非海相成因问题”^[2]。他认为:“由于世界上几乎所有石油都是来自海相地层,大多数地质学家认为所有的石油必然是海相成因的。他们一般不相信石油可以从淡水沉积物中形成。他们一般认为,即使石油形成于淡水沉积物,也不会有工业价值。在中国陕西省北部发现的石油无疑是非海相成因的。此外,从四川白垩纪地层得到的石油可能来自自流井石灰岩,一般认为它也是淡水成因的。”

50年代,在准噶尔盆地、柴达木盆地和四川盆地的中生界陆相湖盆沉积内相继发现油田。60年代松辽盆地白垩系大庆油田的发现和开发。70年代渤海湾盆地第三系,胜利油田、大港油田、辽河油田、华北油田和中原油田的发现和开发,不仅证实了陆相可以生油的理论,而且揭示了陆相生储盖组合可以形成大油田和特大型油

作者简介:李德生,男,石油地质学家,1922年生。1945年毕业于中央大学地质系。长期致力于石油勘探开发和地质研究工作。现任中国石油天然气集团公司石油勘探开发科学研究院教授级高级工程师,博士生导师,中国科学院院士。通讯处:北京910信箱。

田的实践经验^[3]。石油勘探领域不断得到拓展;北到内蒙古二连,南到广西百色,东到近海大陆架,西到新疆,发现并开发了数百个陆相油气田。目前我国石油产量的 90%,天然气产量的 50%均产自陆相油气田。

我国石油地质学家和石油地球化学家从上述大量勘探实践中获得的第一性资料,不断研究并论述我国陆相生油岩的特点、环境、运移和转化条件等。早在 1961~1963 年中科院兰州地质所黄第藩等出色地完成了“青海湖石油成因综合考察”,以陆相生油为主题,全面考察了青海湖的水化学、水动力、水生生物、沉积物、氧化还原环境、早期成岩作用、地质微生物作用等并发现了有机质早期向石油方向转化的现象,为陆相生油提供了一个“将今论古”的典型实例^[4]。与美国 1938 年 P. D. Trask 从墨西哥湾海相沉积物中取样获得有机质转化和定量数据资料,从而奠定了海相生油理论基础的研究,两者有异曲同工之妙。

2. 进入 70 年代,我国陆相生油理论又进一步发展成煤成烃的科学研究。中国煤系地层发育,有早石炭世、石炭一二叠纪,晚二叠世,早三叠世,晚三叠世,早一中侏罗世,晚侏罗世和第三纪等 8 个聚煤期。大型含煤盆地众多,煤炭储量和产量均位居世界前列。我国天然气地质学家和地球化学家认为:煤系地层腐殖型有机母质在其转化过程中,Ⅲ₁型干酪根可转化成煤成油,Ⅲ₂型干酪根可转化成煤成气。煤成烃可以聚集在煤系地层内,亦可运移聚集到其上部或下部的储集层内,在此理论指导下,戴金星等(1977)首先开始煤成气研究,把煤成气的开发研究列为“六五”重点科技攻关项目。通过气体地球化学多因子综合论证了四川上三叠统中坝气田、中原文留沙四段气藏、冀中苏桥石炭一二叠系气藏、莺歌海崖 13-1 大气田和东海平湖气田都是煤成气型气藏。并对煤成气藏的类型,煤成气藏形成机理和地质条件进行了剖析^[5]。1989 年发现了鄂尔多斯盆地中部大气田,研究者认为该气田储集在下奥陶统马家沟灰岩风化壳内,但与不整合面以上的石炭系煤系烃源岩的气源有关。并进而触发了对石炭一二叠系原生天然气藏的勘探,和对长期困扰煤炭工业高瓦斯矿内,煤层气勘探开发利用进行工业性的探索。

我国煤成油的研究开始于 80 年代中后期,傅家谟(1987),黄第藩(1990)等开展了煤成油母质的某些地球化学特征研究。在新疆吐鲁番盆地的勘探工作发现由中、下侏罗统煤系地层形成的煤成油藏——鄯善油田、丘陵油田。在准噶尔盆地发现同类型的彩南油田和石西油田。我国油气地球化学家,煤岩学家开展了大量煤成油地化特征、煤成烃演化机理、煤成油的运移聚集和煤成油田分布规律的多方面研究,取得了可喜的成果。以我国北方和西北地区的侏罗系煤系地层为对象,正在开展相当规模的煤成油勘探工作。

3. 自法国 Tissot, B. P. 和德国 Welte, D. H. (1978)“石油的形成和分布”一书问世以来,干酪根热降解成烃理论,一直为全世界的石油地质家和油气地球化学家所遵循。油气资源评价亦以烃类生成的时-温门限($R_o=0.6\% \sim 1.3\%$)为准则。我国学者从 80 年代初开始研究干酪根早期降解生烃说,并在我国油田中发现有未成熟和低成熟石油的存在。史继扬等(1982),黄第藩等(1987),王铁冠(1995)等论证我国某些陆相湖盆由于物源近距离搬运和快速堆积造成有机质的局部富集。某些生烃活化能低的特定有机母质,可以低温早熟生成油气。在中、新生代陆相油源凹陷的浅盆部位和一些较新地层的油田内均发现存在一些低熟原油,其镜质体反射率值为 0.3%~0.6%,拓展了我国陆相生油的研究领域^[4],也为勘探家提供了新的思路和机遇。

4. 在陆相生油理论方面尚有许多研究领域未开展深入的研究工作,如第四纪生物气的形成、演化和运移规律。我国柴达木盆地有厚达 3000~4000m 的陆相第四系湖泊沉积,其中生成和积聚了大量天然气。经钻探证实有涩北一号、二号,台南,盐湖,驼峰山等 5 个气田,已探明地质储量达 1442 亿 m³。对于这样的新盆地、新层系、新气藏我们尚未开展深入的研究工作。在河流相的第四纪沉积内,如长江三角洲,钱塘江三角洲等,第四系浅层内亦发现有生物成因的天然气藏。对洞庭湖、鄱阳湖、太湖等淡水湖泊有必要像咸水湖青海湖那样进行系统的科学研究。

第十四届世界石油大会估计非常规油气资源中油页岩资源全世界含油量为 42000~44000 亿桶,超过了加拿大沥青砂和委内瑞拉超重油的含油量。我国有丰富的油页岩矿,全国油页岩的含油资源量尚无可信的数据,但我国是页岩油工业开发较早的国家之一。辽宁抚顺和广东茂名第三系油页岩矿已有数十年开采和炼油的实践经验。油页岩与煤共生,无疑是陆相成因。油页岩在下一个世纪可能将成为新能源矿产之一。我国石油地质家和地球化学家应开展资源调查和资源评价。对其形成条件和生烃潜力开展系统的实验研究工作。

天然气水合物是由水和轻烃分子(甲烷、乙烷等)在低温高压条件下形成的冰状物体。据介绍,1m³的天然气水合物,在常温常压下可释放出164m³的甲烷(CH₄)和0.8m³的淡水。是未来的一种新型能源。天然气水合物可以赋存于深海海底,亦可存在于高原或极地的冻土带内,后者很有可能是陆相成因,对天然气水合物形成的地质条件,烃的来源和其稳定存在的物理化学特征,有效识别技术是油气地球化学研究的一个新领域。

3 源控论与复式油气聚集(区)带的理论

1. 早在60年代大庆油田发现之后,对松辽盆地古龙坳陷和三肇坳陷油气分布规律的研究萌生了“源控论”的思想,即大油田经常位于生油坳陷的油源充沛部位。到70年代在渤海湾盆地的油气勘探实践,“源控论”的找油思想已深入在该地区工作的石油地质家脑海中。这个大型第三纪断陷盆地由于多期的剧烈的断块活动,形成大陆边缘裂谷式拉张型或张扭性多凸多凹的构造格局。整个渤海湾盆地(三分之二为陆地,三分之一被海水覆盖)被断层和基底凸起分割成济阳、黄骅、下辽河、冀中、临清和渤中等六大坳陷和50多个老第三系箕状凹陷或地堑凹陷。我国石油地质、地球物理和地球化学家较早地重视各凹陷第三系生油条件的研究,选择生油条件好,资源潜力大的凹陷首先进行勘探,获得了较高的成功率,进而又认识到每个生油凹陷都是一个独立的油气聚集区。胜利油田石油地质工作者在实践的基础上提出了“油气田环绕生油凹陷呈多环式展布”的模式^[6]。他们将源岩、储集岩、圈闭形式,运移—聚集途径和时间等匹配关系联系起来,在我国发表的大量石油地质文献和教科书中,都强调“生、储、盖、圈、保、运、聚”等油气藏形成的匹配因素,推动了全国各油区的勘探进程。

2. 80年代中期(1985年)在辽河油田举行的东部地区勘探工作会议上,我国地球科学工作者又进一步发展了“复式油气聚集(区)带的理论”。认为在同一油源区内虽有多期发育的断裂系统切割了油气成矿(区)带的完整性,并形成了复杂的油、气、水系统。但由不同储油层系和不同圈闭类型的油气藏可以形成叠合连片的复式油气聚集(区)带的赋存形态。从而建立起在一个箕状凹陷油源区内有特定位置的中央背斜型、低潜山型、高凸起型、同生断层滚动背斜型,斜坡型和凹槽砂体型等六大类复式油气聚集(区)带^[7]。由此灵活运用滚动勘探开发的作法,使渤海湾盆地建成我国又一个重要的石油产区。

3. 1974年美国石油地质学家W. G. Dow,首先提出了石油系统的概念,以后经Perrodon, Meissner, Ulmishek, Magoon等学者逐步发展,1994年美国AAPG在60号专集出版了由L. B. Magoon和W. G. Dow主编的“含油气系统——从烃源岩到圈闭”一书^[8]。Petroleum System这一新概念总结了70年代以来石油地质学、勘探地球物理学和有机地球化学的新方法、新成果,试图找出一条由盆地模拟到趋势带到勘探目标区的较精确的油气定量化的评价和预测方法^[8]。用加强区域性综合研究来降低投资的风险性。这一理论的效果,目前尚未充分显示出来。其研究方法是将石油地质中影响油气藏形成的诸多因素加以综合,包括一系列含油气系统事件,诸如:①烃源岩;②储集层;③盖层;④上覆岩层;⑤圈闭;⑥生成—运移—聚集;⑦保存;⑧关键时间。这些事件并不是孤立存在,而是相互联系,相互匹配,最后油气藏(田)赋存在地下某一特定的深度和部位,等待勘探家运用各种有效的技术手段发现它们^[9]。

4. 中国在陆相含油气盆地内油气勘探的理论和实践说明,“源控论”和“复式油气聚集(区)带”的理论来源于勘探实践,运用其认识论和方法论指导全国陆相含油气盆地的勘探部署,针对每个油区的特点开展勘探工作,取得了持续的发展,勘探成功率保持在较高的水平上,并不断有新的油气发现^[7]。今后应继续加深对此理论的认识,并进行新的探索和实践。近年来,对生油凹陷进一步筛选出“富生烃凹陷”作为寻找陆相大油气田的首选目标区。在从烃源区到圈闭之间,油气运移道路上,又发现了“构造脊”对油气运移和聚集的重要性。在油气藏形成时间上又强调了圈闭形成或“时间和油气运移时间”的匹配关系,并强调了晚期成藏的重要性。针对中国多旋回叠合盆地的特点,提出了复合含油气系统类型。这些新概念的形和探索,必将不断提高我国石油地质学科的水平,拓展陆相含油气盆地找油、找气的领域。

4 我国海相沉积岩含油气系统的研究

含油气系统的概念应用在海相地层其内涵和外延有其自身特定含义。国外对海相地层的油气勘探实践丰富了这项理论的内容。在 L. B. Magoon 和 W. G. Dow 著作的实例研究中,西半球 12 个实例和东半球 6 个实例中仅有一例为陆相成因——美国犹他州犹因塔盆地绿河含油气系统。其余 17 个实例均为海相成因。

中国克拉通包括中朝、扬子、塔里木三个地台区,其上均有海相古生界的烃源岩。四川盆地、鄂尔多斯盆地和塔里木盆地的油气勘探实践是对我国广泛分布的古生界海相沉积岩油气勘探的重要突破。

1. 四川盆地位于扬子克拉通中部,其主要天然气产层为三叠系、二叠系、石炭系和震旦系碳酸盐岩海相沉积,是我国开采天然气的主要盆地,目前已探明含气面积 930km²,天然气地质储量 5545 亿 m³,原始可采储量 3823 亿 m³(1998 年底)。早期的勘探家和天然气地质家将研究的重点放在碳酸盐岩储层的非均质性研究上,所谓“气老虎”的命中率上,以提高勘探成效,避免“枪毙油气层”和“干井”的出现。1988 年包茨等所著“天然气地质学”一书出版,初步总结了四川盆地天然气形成和分布的规律性,以后由于勘探川东高陡背斜带石炭系气藏的迫切性,研究重点又放在川东石炭系储层分布和高陡构造上,下圈闭位移和钻探目标区的正确定位上^[10,11]。

在四川盆地海相多含油气系统中,层系的概念一直是引导勘探家的中心议题。从 19 世纪中期起,勘探目的层主要是中、下三叠统的雷口坡组和嘉陵江组碳酸盐岩气藏。到 20 世纪 50 年代,开发二叠系长兴组、茅口组和栖霞组碳酸盐岩。60 年代钻开威远震旦系灯影组白云岩气藏。70 年代开发川东中石炭统马平组白云质角砾岩气藏。90 年代又发现下三叠统飞仙关组鲕滩灰岩气藏。今后待发现的层系尚有川西、川北的石炭—泥盆系碳酸盐岩和白云岩。川南、川东的志留系碳酸盐岩和川中的奥陶系,寒武系碳酸盐岩。

对海相多含油气系统的研究,原型盆地的恢复是一项基础性研究工作,现有四川盆地的范围仅仅是印支期以来陆相四川盆地的范围。应在活动论的基础上,逐层恢复其地史原貌。对海相烃源岩来讲,沉降中心并不是沉积中心,沉积中心亦并不是生烃中心,这是与陆相拗陷截然不同的沉积条件。对海相烃源岩的研究重点应放在黑色岩系的研究上,不要放在大段生烃指标很低的碳酸盐岩剖面上。对黑色岩系形成的古海洋学,古地理学、古生物学和古气象学应作认真的调查、实验、分析研究。对碳酸盐岩沉积相带的划分,生物礁相带的分布,岩性岩相与生物残骸对储层结构的影响。对碳酸盐岩裂缝和溶洞系统的分布应在大量第一性资料基础上,利用大容量高速度的计算机技术向定量建立地质模型的研究工作迈进。

2. 鄂尔多斯(陕甘宁)盆地位于中朝克拉通西部,自 1989 年以来,对海相古生界下奥陶统马家沟白云岩的钻探发现大面积地层型气田,目前中部气田已探明的含气面积达 5056km²,探明天然气地质储量达 3097 亿 m³,原始可采储量 1702 亿 m³(1998 年底)。自 1907 年延长油田自上三叠纪延长统陆相沉积层出油以来,经过 80 多年的艰苦探索,终于在深部海相下奥陶统古风化壳内发现大面积气田,目前勘探工作正向四周扩展;在气田东边 100km 的佳县子洲地区,气田北边 80km 的乌审旗地区和西边 60km 的苏里格庙地区都钻遇了气层,大气田范围尚在扩展中。在奥陶系与上覆中石炭统地层之间为一不整合面,对烃源岩的解释有两种不同的认识:其一认为拗陷内中、上奥陶统为海相页岩及泥灰岩源岩,沿不整合面运移到下奥陶统风化壳内聚集成藏;其二认为是上覆的中石炭统海陆过渡相煤系地层为烃源岩,向下运移到下奥陶统风化壳的聚集成藏^[12]。亦有持二元论观点者,即两种烃源岩均参与成藏^[13]。

在构造研究方面,认为如此大面积的气藏主要为一西倾(倾角<1°)斜坡构造。其上倾部位由下奥陶统马家沟灰岩相变为石膏、岩盐层形成封堵。由于古侵蚀面的溶蚀作用,形成许多潜台和潜沟。潜台古风化壳内储气。潜沟内充填中石炭统铝土质页岩,储层缺乏。对鄂尔多斯(陕甘宁)盆地古生界含油气系统从烃源岩到圈闭的八个事件因素尚待全面的进行分析研究。

3. 塔里木盆地已在塔北、塔中和玛扎塔克的古生界奥陶系和石炭系的海相沉积内产出油气。根据资源评价,塔里木盆地是海相古生界油气勘探的重要领域。但由于盆地面积大,沙漠覆盖面积广,勘探程度尚低。

(1) 1984 年地矿部所钻沙参 2 井喷出高产油气流,揭开了塔北古隆起区古生界找油找气的序幕。根据塔指

所作的奥陶系顶面地震等高线圈闭(-4750m),轮南大型潜山面积 2450km²,幅度 715m(西北石油局称为阿克库勒隆起区),其上发育有轮南和桑塔木二个断垒带及塔河构造区,将成为下世纪初轮南大型潜山古生界含油气系统极具潜力的开发区。

(2) 塔克拉玛干沙漠腹地的塔中 1 号构造带展布面积达 6070km²,由 30 多个次一级的背斜圈闭组成。1989 年塔中 1 号井在奥陶系发现高产油气流,1992 年塔中 4 井在石炭系钻探获得高产油流,找到了塔中 4 高产油田,已探明 8000 万 t 地质储量。该油田于 1994 年沙漠公路修通后投入开发。其后向西甩开钻探,又先后发现塔中 10、塔中 16、塔中 24、塔中 44、塔 45 等石炭系或奥陶系油气田群,证实巨型塔中隆起,奥陶系原生气藏和石炭系次生气藏沿中央断垒带及塔中 1 号大断裂分布^[14]。塔中 1 号断裂带奥陶系有可能沿断层破碎带大面积含油气,有利勘探面积达 1800km²。亦为塔中构造带古生界含油气系统主要勘探目标区。

(3) 昆仑山叶城前陆盆地已发现第三系柯克亚油气田,继续勘探中、新生界含油气系统将会取得新的勘探成果,其上白垩统和老第三系新特提斯湾海相沉积是深部的勘探目标。

(4) 天山库车前陆盆地,1958 年已发现侏罗系依希克里克油田。1998 年依南 2 井发现依南侏罗系—三叠系气田,接着克拉 2、3 井发现克拉苏构造带白垩系、下第三系气田。1990~1993 年在前陆盆地前缘与塔北隆起过渡带的轮台断隆区西起英买 7 号,中经牙哈、羊塔克、群巴克、玉东,东至堤尔根长 240km,宽 50km 地区,在 2 排 9 个断裂构造带上发现了陆相的第三系—白垩系凝析油气富集带和下伏的寒武—奥陶系潜山油气藏。南北两类不同的含油气系统在轮台断隆上横向复合,纵向叠置。使库车前陆盆地在下世纪将成为塔里木盆地天然气和凝析油的主要产区。

(5) 巴楚隆起是海相下古生界为主的含油气系统。1995~1997 年在巴楚隆起南部边缘的海米罗斯构造上钻山 1 井,在玛扎塔克构造带,所钻玛 4、玛 5、玛 401、玛 2、玛 3 在奥陶系和石炭系灰岩均获高产气流,从而发现并探明了和田河气田。巴楚隆起下寒武统有厚达千米的膏盐岩,其下的震旦系白云岩层将成为该含油气系统下一步的钻探目标。

(6) 麦盖提斜坡区,位于叶城前陆盆地和巴楚隆起之间。广大斜坡带面积达 48800km²,为海相石炭系—下二叠统含油气系统,已在斜坡的上倾方向发现并探明巴什托普(曲苦恰克)油田。何登发(1996)曾著文强调在此斜坡带开展油气勘探的意义。

塔里木盆地由于面积大,沙漠覆盖广,地理条件困难,上覆盖层厚,油气埋藏深。地下又遇到多个复式的含油气系统相互叠加,交错分异,各具地质特点,必须根据每个含油气系统的本身规律精心研究,锲而不舍,保持清醒的头脑,稳扎稳打。活跃新思维,运用新技术,预期将与四川盆地和鄂尔多斯盆地的海相油气勘探获得交相辉映的成果^[15]。

4. 大别山—秦岭以南,红河断裂以东一直到东南沿海,为我国上震旦统至中三叠统海相沉积分布区,面积达 200 万 km²。自 1954 年起,进行了广泛而时断时续的石油地质普查工作。这个地区除了在上覆的陆相第三系盆地内发现了江苏油田,江汉油田和百色油田外,在下伏的巨厚海相沉积中尚未获得突破。在震旦系含油气系统(下寒武统烃源岩),奥陶系—中上寒武统含油气系统(志留系和下寒武统烃源岩),泥盆系—石炭系含油气系统(其本身的黑色岩系为烃源岩),二叠系—中下三叠纪含油气系统(下二叠统黑色岩系和上二叠统煤系为烃源岩)内存在着白云岩、生物礁和鲕状灰岩等多种类型储集层。地面的油气苗显示达数百处。本区已进行了大量的石油地质普查工作。关键是地震勘探技术未过关,深部构造和断裂系统没有掌握清楚。应在国外海相地层含油气系统研究的方法和思路下进行古、今构造的研究、在活动论基础上将各地质时期古海陆分布的岩相带的研究、生物礁的研究、地震地层学的研究、生油条件和油气苗的研究、水文地质条件、保存条件的研究、火成岩活动和变质条件研究等结合起来。在石油地质学中除了重视实践的思想外,也考虑一点 Pratt 华莱士(1952)所说的加点“想象力”或“洞察力”^[16]。

5. 青藏高原位于特提斯构造带内,海拔平均在 4000m 以上,地面条件艰苦,社会依托差,石油地质调查与研究起步晚。1960 年以后,西藏地质局石油队、原地矿部石油局、新星石油公司等先后在伦坡拉盆地共钻浅井 66 口,其中 60 口井在第三系陆相地层内见到油气显示。1999 年 7~8 月,在伦浅 3 井、1 井采用蒸汽吞吐热采

工艺获得工业油流。自1993年中国石油天然气总公司青藏项目经理部先后开展了全区重力、磁力、电法、化探、地震和遥感、路线地质调查等,将青藏高原划分出中生代海相残留型盆地10个,总面积409760km²,陆相盆地17个,总面积112600km²,初步发现中生界(三叠系、侏罗系、白垩系)以海相烃源岩为主,储层以白云岩、生物礁、颗粒滩为主,盖层发育普遍较好,但构造条件比较复杂,从现有资料分析,羌塘盆地和措勤盆地勘探前景较好,到21世纪应继续进行科学研究和勘探目标评价工作,争取钻几口科学探井。

我国对海相沉积岩含油气系统的研究开展较晚。而我国海相地层的构造背景又比较复杂,应在实践的基础上,下世纪通过扎实的工作,逐步建立和形成我国海相含油气系统的理论。

5 古潜山油气藏的理论

中国板块经历了比较复杂的构造运动和地质演化历史。各种不整合面显示出基底抬升部位经历了强烈的风化和古喀斯特作用。上覆生油层中生成的油气可以通过不整合面或油源断层运移到古老的基岩储集层中形成“古潜山油气藏”^[17]。

1. 1928年,美国在中部地区发现了俄克拉荷马城大油田,在奥陶系砂岩和寒武—奥陶系白云岩内均获得高产油流,其烃源岩为上泥盆统乌德福特黑色页岩。莱复生(Levorsen,1954)解释属于不整合油藏^[18]。不整合面下的三套西倾储油层是受断层切割和顶部经受剥蚀的构造,被1800m厚的宾夕文尼亚系和二叠系覆盖。

1953年在委内瑞拉马拉开波盆地西北部的拉巴斯—马拉油田,在第三系和白垩系产层以下,钻探发现前白垩系花岗岩和变质岩中的高气油藏,烃源岩为白垩系的拉龙纳(La Luna)层。

1959年在利比亚的锡尔特盆地又发现由寒武—奥陶系石英砂岩组成的阿马尔倾斜断块—潜山油藏。1966年又发现由前寒武系花岗岩组成的奥季拉油田均为利比亚的高产油田。

1973年欧洲北海盆地北部维京地堑钻探侏罗系布仑特倾斜断块潜山油藏获得成功,20多年来共有30多个同类型油田投入开发,使英国和挪威均一跃而成为世界主要产油国。这些倾斜断块—潜山油藏分布在下白垩统底部不整合面以下,共有四列倾斜断块山,每个断块都是西倾的单面山,倾角约10°~20°,潜山的隆起幅度约600~300m,各断块东侧为正断层,落差300~2000m,储层为侏罗系砂岩,上二叠统碳酸盐岩,下二叠统砂岩和泥盆系老红砂岩。大多数欧洲的石油地质家均公认维京地堑内上侏罗统启莫里页岩是主要生油岩。

近年来越南在湄公盆地开发白虎油田、大熊油田和龙油田等,均为第三系下伏的花岗岩潜山油藏,并获得高产油气流。将成为新世纪我国在南沙群岛海域油气勘探开发主要圈闭类型之一。

2. 1975年,我国渤海湾盆地冀中拗陷发现任丘古潜山高产油田,储层为中元古界蓟县系雾迷山组白云岩。初期单井产油量在1000~3000t之间。潜山被分支断层切割成四个倾斜断块山,倾角北东10°~20°。山高最大870m。不整合面之上被2600~3000m厚的新生界地层覆盖,烃源岩为渐新一始新统沙河街组黑色泥岩。油田西侧为正断层,落差达1600m。任丘油田迅速投入开发以后,在渤海湾盆地各拗陷内又陆续发现了40多个中小型潜山油气藏。1983年在辽河拗陷发现的东胜堡—静安堡潜山油藏,储层为太古界花岗片麻岩和中元古界长城石英岩,高于庄白云岩。1999年在黄骅拗陷又发现千米桥潜山凝析油气藏,储层为奥陶系马家沟灰岩^[19]。

范泰雍等(1982年)总结了潜山油气藏形成的四个条件:

(1)圈闭条件 在拉张型盆地内,不同断块体一端翘升和另一端沉陷,其升降的幅度愈大,潜山的圈闭幅度亦愈大。

(2)油源条件 潜山油藏具有“新生古储”的成油史。其证据是在古生界和元古界储集层产出的原油内发现有第三纪的孢子花粉,原油性质高含蜡,低含硫,具有第三纪陆相成因特征。

(3)油气运移条件 油气向潜山圈闭内运移,主要靠上面的不整合面向下运移和一侧落差很大的油源断层。使生油岩体与潜山储集体直接接触的侧向运移。

(4)潜山的油气富集条件 要有储集能力强的块状高渗透多孔性储集体,一是碳酸盐岩由喀斯特作用形成的溶蚀性洞穴和孔道。二是由多期块断活动的发育的裂缝系统,形成连通性好,厚度大,高渗透的高产油气藏。

近年来,在我国西北地区准噶尔盆地亦发现克拉玛依逆掩推复体下,石炭系变质岩基岩油藏,油源来自二叠系。沙漠中的石西油田,亦发现石炭系基岩高产油藏,油源来自侏罗系。大庆油田在白垩系和侏罗系下伏的花岗岩基岩内已发现天然气。在胜利油田滩海区的胜海油田,亦发现较大规模的潜山油气藏,因此,在下个世纪在我国东部拉张型和西部挤压型盆地内继续寻找古潜山油气藏仍具有一定的潜力。

6 数字地球与石油地质学

“数字地球”是人类进入信息社会以来利用各种现代化的信息技术手段来整合地球科学的一项总体性的国家目标。江泽民主席 1998 年 6 月 1 日在接见中国科学院和中国工程院两院院士讲话时提到“数字地球”,他说:“前几年提出了‘信息高速公路’,随后又提出‘知识经济’,最近美国副总统戈尔又提出了‘数字地球’的概念,真是日新月异啊!”。“数字地球”将包含种类多样的信息,既有自然科学方面的,如地形、地貌、地质构造、矿藏分布、山脉河流、气候气象等;又有社会科学方面的,如历史沿革、风土人情、交通、文教、经济、金融、人口等。包括全球性的中、小比例尺的空间数据和大比例尺的空间数据。地球的各类多光谱、多时相、高分辨率的遥感卫星影像,航空影像,以及有关可持续发展、农业、资源、环境、灾害、人口、全球变化、城市建设、教育、军事等等的信息尽在其中。按照戈尔的说法,美国“数字地球”的初步实现设定在 2005 年,完全实现设定在 2020 年。我国在地球科学的信息化方面虽然已有一定的基础,但由于起步较晚,缺乏一个总体性的国家目标,必须实行“跨越式”的发展,才能抢占这一领域的制高点。

1. 中国石油地球科学工作者经过半个世纪来艰苦卓绝的努力,化费了大量人力物力用于获取油气勘探开发数据资料。到 1998 年底,全国累计钻各类油气井 16.8 万口(其中探井 3.6 万口),地震勘探线 289 万 km。共发现油田 509 个,气田 162 个。探明石油地质储量 197 亿 t(原始可采储量 57 亿 t),探明天然气地质储量 19453 亿 m³(原始可采储量 12085m³)。年产原油 1.6 亿 t(居世界第 5 位),年产天然气 223 亿 m³(居世界第 18 位)。各种实验室分析化验数据数亿块次。对如此海量的石油勘探开发信息资源,石油公司必须冲破过时的资料采集、查询、分析和合成的技术路线,将“数字地球”的新概念融入到石油地质科学中去^[20]。更快、更经济地发现新的油气可采储量和低成本的油气产量,才能在未来的市场竞争中造就创新意识较强的地球科学综合型技术队伍,使石油地质家尽量减少用于收集数据,处理数据和获取信息的工作时间,增加真正用于石油地质研究、实验研究和信息合成的时间,充分发挥整个组织的创新能力。

2. 在石油公司中必须强调多学科的共同工作,把石油地质师、地球物理师、地球化学师、油藏工程师、采油工程师、钻井工程师、经济师和管理人员置身于一个共同的三维可视化环境中。他们可以自由地交换相互的观点,可以通过共同的三维可视化软件合并的多学科资料,共同分析地质体和勘探开发目标区的空间关系。特别是在复杂地质和井眼轨迹的地区,通过把资料集成和与之相关的一套应用软件相结合,人们可以全面分析所有的相关资料,形成共同的认识和观点,从而更快地设计出更完整、更全面、更经济有效的勘探开发方案。

3. 资料数据共享是核心问题。随着我国石油工业进入新的世纪,特别是在加入 WTO 后,内部和外部的行业竞争日趋紧张。我国多个上游石油(集团)公司需要通过人大立法,实现一个根本性的资料数据共享的业务转变。通过一个国家级的资料信息中心共享设计井位所需的全部资料,包括钻井地质、地震、地化、钻井井眼轨迹,测井曲线和有关模拟模型的三维图像、虚拟现实技术,高性能计算机和高带宽通讯等先进技术,使得整个研究过程和生产过程都能实现人机联作的交流。

4. 专家系统在知识经济时代中的作用。随着国际互联网在全球的迅速普及,石油地质工作者已经不满足于对国内数据库的提取和使用,而是需要在国际互联网或跨企业互联网(如中国科学院系统、国土资源部系统和各高等院校等)上使用石油地质或勘探开发的有关数据。国内和国际的有关部门动用卫星科学技术,发展了以遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)等大量地球信息数据。如何在信息洪流中与智能存储相结合。需要地球科学工作者,信息技术科学家与石油系统相关领域科学工作者共同努力来实现。我国石油地质学既遵循世界石油地质学的普遍规律,又通过长期实践经验总结出来的特殊规律^[21]。必须充分发挥我国石

油地球科学专家的知识 and 智能作用。使年轻的专家少走弯路,不必从头摸索。从专家系统中汲取较快、较全面和可视化的信息,不断丰富自己的经验和提高地质认识,使迈向新世纪的中国石油地质学更多地依靠知识和信息技术,为我国石油工业的发展作出新的贡献。

参 考 文 献

- [1] 朱夏. 论中国含油气盆地构造[M]. 北京:石油工业出版社,1986.
- [2] Pan C H. Non-marine origin of petroleum in North Shensi and the Cretaceous of Szechuan,China[J]. AAPG Bull. 1941, Vol. 25, pp2058~2068.
- [3] 李德生. 中国石油地质学的理论与实践[J]. 地学前缘,1995,2(3-4):15~19.
- [4] 胡见义,黄第藩等著. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991.
- [5] 戴金星,裴锡右,戚厚发主编. 中国天然气地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1992.
- [6] 李德生. 渤海湾含油气盆地的地质构造特征[J]. 石油学报,1980,1(1):6~20.
- [7] 李德生. 渤海湾盆地复合油气田的开发前景[J]. 石油学报,1986,7(1):1~21.
- [8] Magoon L B and Dow W G. (eds); The Petroleum System-From Source to Trap[J]. AAPG Memoir 60 Tulsa, U. S. A. ,1994.
- [9] 何登发,赵文智,董晓光. 含油气系统之间的复合关系与复合含油气系统[N]. 石油消息报,1999年11月10日.
- [10] 包茨等. 天然气地质学[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [11] 胡光灿,谢兆祥等. 四川东部高陡构造石炭系气田[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [12] 杨俊杰. 陕甘宁盆地古生界天然气的发现[J]. 天然气工业,1996,16(5):1~5.
- [13] 夏日辉,马振芳等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质,1999,20(2):133~136.
- [14] 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义[J]. 石油与天然气地质. 1999,20(2):120~124.
- [15] 梁狄刚. 塔里木盆地九年油气勘探历程与回顾[J]. 勘探家,1998-1999,3(10):4(11-13).
- [16] Pratt Wallace E. Towards A Philosophy of Oil-finding[J]. AAPG Bull. 1952, Vol. 36, no. 12.
- [17] 李德生. 倾斜断块-潜山油气藏,拉张型断陷盆地内新的圈闭类型[J]. 石油与天然气地质,1985,6(4):386~394.
- [18] Levorsen A I. Geology of Petroleum[M]. W. H. Freeman and Company San Francisco, U. S. A. 1954.
- [19] 华北石油勘探开发设计研究院编著(范泰雍等执笔). 潜山油气藏[M]. 北京:石油工业出版社,1982.
- [20] 陈述彭主编. 地球系统科学[M]. (中国进展·世纪展望),北京:中国科技出版社,1998.
- [21] Xu Guanhua and Chen Yuntai (eds in chief); Towards Digital Earth-Proceedings of the International Symposium on Digital Earth[M]. Science Press, Beijing, China, 1999, Vol. 1, Vol. 1.

(本文收到日期 1999-12-09 编辑 张 怡)

《石油学报》获自然科学基础性、高科技学术期刊经费资助

根据中国科协学会部和国家自然科学基金委杂志部关于择优支持“自然科学基础性、高科技学术期刊经费资助”的通知精神,《石油学报》申报了这一项资助。申请这项资助的科技期刊有400多种。经过期刊的审读、专家指导委员会的指导意见和专家评审委员会评审,1999年12月27日公布了评审结果,《石油学报》榜上有名,获得资助经费3万元。这是连续第三年获得此项资助经费。

(本刊编辑部)

ACTA PETROLEI SINICA Vol. 21 No. 2 2000

ABSTRACTS

PETROLEUM EXPLORATION

THE PROGRESS IN THE PETROLEUM GEOLOGY OF CHINA TOWARDS NEW CENTURY ACTA 2000,21(2):1~8.

LI De-sheng (*Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

By 1998, crude oil production of China was 1.6×10^8 t/a, and China was the world's fifth-largest oil-producing nation. Natural gas production of China was 223×10^8 m³/a, and China was the world's eighteenth natural gas-producing nation.

Towards new century, the petroleum geology of China will progress in the following five ways: (1) in the new development of non-marine facies hydrocarbon accumulations; (2) in the study of source rocks origins and composite megastructural oil and gas (regions) belts theories; (3) the study on petroleum systems in marine facies hydrocarbon accumulations of China; (4) in research on buried-hill oil and gas traps of China and (5) digital earth as an important technologies carry out petroleum geology of China in the new century.

Key words: Non-marine origin of petroleum; petroleum systems; digital earth; petroleum geology

INSHORE OIL-GAS ACCUMULATION AND EXPLORATION IN BOHAI BAY BASIN ACTA 2000,21(2):9~13.

NIU Jia-yu et al. (*Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

After many years of exploratory practice in Bohai Bay Basin, breakthroughs both in practice and knowledge have been made in this inshore area (0-5m below water surface), in which the exploration level is still low. Relying on a fact that depo-center and subsidence center have migrated gradually from the basin edges toward the Bohai Bay center since the early Tertiary Paleocene, and combining with features of the known oil-gas bearing belts, the favorable position in petroleum geology and oil-gas bearing features of inshore area are discussed in this paper from a point of view of petroleum system. The inshore area is just located in the superimposed or stacked area between Es₄-Es₃ source rocks and Es₁-Ed source rocks. Meanwhile, it possesses the onshore Es₃ and Es₁ as well as the offshore Nm and Ng regional seal rocks. Hydrocarbon-supplying period of the two sets of source rocks in long (Ed-Q). Many oil-gas bearing horizons were formed in the inshore area. Finally, proposals for further research and exploration are offered aiming at the existed favorable exploratory targets in this area.

Key words: Bohai Bay Basin; inshore area; oil-gas accumulation; petroleum system; petroleum exploration

STRIKE-SLIP DEFORMATION DURING THE CENOZOIC AND ITS INFLUENCE ON HYDROCARBON ACCUMULATION IN THE BOHAI BAY BASIN ACTA 2000.21(2):14~20.

CHI Yin-liu et al. (*Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

The Bohai Bay Basin was developed in a dextral transtensional tectonic setting during the Cenozoic, therefore, strike-slip movement was one of major controlling factors on structural deformation, basin formation and hydrocarbon accumulation. Strike-slip activities along deep fractures created three zones of NNE trending, rightlateral, master wrench fault systems, two zones of NWW trending, left-lateral, master wrench fault systems, and a number of different kinds of strike-slip associated structures, such as echelon fractures and folds and rotary structures. The difference in the strike-slip displacement of faulted blocks was responsible for coexisting of extension rifting and compressive uplifting. This may be a major mechanism of that shifting of rifting and depocenter from the outer part of the basin to the central part occurred synchronously with uplifting and eroding of the outer part of the basin in the Paleogene, and one of important genetic mechanism of that the sags of the basin are strongly separated by the uplifts. Compression, folding and uplifting, induced by the strike-slip movement, controlled in different degree the formation