

文章编号:1672-9854(2009)-01-0071-06

海相、陆相油气及其成因概述

石兰亭^{1,2}, 郑荣才¹, 张景廉², 卫平生², 马龙²

(1 成都理工大学“油气藏地质与开发工程”国家重点实验室)

(2 中国石油勘探开发研究院西北分院)



石兰亭

摘要 国外油气主要在海相地层中发现,而中国油气主要在陆相地层中找到,根本原因在于地层形成顺序两者相反,前者浅层以海相为主,后者浅层则以陆相为主,大量油气是通过壳深断裂从深部垂直向上运移所形成,储集于浅部的首先被勘探开发。中国海相油气勘探中面临三大问题:(1)海相碳酸盐岩的有机碳含量均很低,难以形成大规模的烃源岩;(2)无法解决碳酸盐岩中的油气运移问题;(3)一些海相地层油气田的油气来源存在争议。共可归纳出三种油气生成模式,即壳源有机质、壳—幔相互作用以及费-托合成。目前人们过于执着于壳源有机质生成,而对费-托合成模式还没有足够认识和重视,这种思维定势阻碍了油气勘探在理论和实践上的进一步发展。大量油气是在地幔深部通过费-托合成或在地壳深部通过壳—幔相互作用形成,并沿深大断裂向上运移,除了浅部有大量聚集,在地壳深部的花岗岩、火山岩、变质岩等基岩中,在我国深部的海相地层和国外深部的陆相地层中同样可以大量聚集。

关键词 陆相地层;海相地层;油气分布;油气成因

中图分类号:TE112.111 **文献标识码**:A

石兰亭 1963年生,高级工程师,在读博士。1986年毕业于江汉石油学院测井专业,长期从事油气藏描述和储层预测研究工作。通讯地址:730020 甘肃省兰州市城关区雁儿湾路535号 中国石油勘探开发研究院西北分院科技文献中心;电话:(0931)8686135

20世纪初,中东、北美、欧洲及前苏联的油气大多是在海相地层中发现的,因此,那些地方的石油地质学家们几乎无一例外地认为只有海相沉积地层才能生成油气,这便是所谓的海相地层生油论^[1]。其中有一些石油地质学家(如富勒、克拉普等)还来中国作过石油地质调查,当看到中国大陆地表地层大多为陆相地层时,便认为“中国自石炭纪以后的地层主要是陆相成因,绝大部分地层缺少能够生成大量石油的富含有机质的页岩”^[2],并在后来的出版物中把中国与日本、澳大利亚、土耳其等列为石油远景最差的国家^[1]。这种观点一度影响了中国石油地质学界,几乎阻碍了中国石油工业的正常发展。可幸的是中国石油地质学家没有被海相生油论所禁锢。潘钟祥、谢家荣、翁文灏、孙健初等对“非海相不能生油”的理论提出了质疑。最早提出“陆相生油”的是潘钟祥,而后黄汲清、翁文波、李春昱、陈贲、尹赞勋、阮维周、王尚文、高振西等学者先

后都论述了石油同陆相沉积的关系^[1]。

解放后,我们在松辽平原、华北平原进行了大规模的油气勘探,终于在陆相地层中发现了大庆油田、大港油田、华北油田、辽河油田、胜利油田、中原油田等油田,用勘探实践确立了陆相地层生油论,这是中国石油人对世界石油地质学理论的重大贡献。

本文讨论了陆相油气、海相油气的分布,并论述了它们可能的成因联系。考虑到陆相油气在中国讨论颇多,本文侧重于讨论海相油气。

1 什么是海相油气

对于什么是海相油气这个看似十分简单的问题,人们有着截然不同的见解。

据李德生等的统计^[3-5],中国已发现了一大批海相油气田,它们分布于塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、渤海湾盆地等(表1)。

收稿日期:2008-07-01;改回日期:2008-11-28

表 1 中国海相沉积油气田(据文献[3~5]编制)

盆 地	油气田	层 位	岩 性	探明地质储量		
				原油($\times 10^4\text{t}$)	天然气($\times 10^8\text{m}^3$)	凝析油($\times 10^4\text{t}$)
塔里木	塔中 4 油田	C,D		3725	—	—
	塔河油田	O		55000	—	—
	哈德 4 油田	C		3068	—	—
	和田河气田	C,O		—	616	—
鄂尔多斯	长庆气田	O,P	白云岩	—	5417	—
	苏里格气田	P		—	3200	—
四 川	威远气田	Z	白云岩	—	408	—
	卧龙河气田	T,P,C	白云岩	—	380	—
	五百梯气田	T,P,C	白云岩	—	587	—
	沙坪坝气田	C	白云岩	—	397	—
	普光气田	T,P	白云岩	—	3560	—
渤海湾	任丘油田	Z	白云岩	40000	—	—
	雁翎油田	Z	白云岩	1695	—	—
	义和庄油田	T,P,O		1764	—	—
	千米桥油气田	O		—	358	1000

而据田在艺院士,中国海相油气田没找到几个,仅塔北隆起的油是海相的,除此以外都是陆相的。他认为中国 99%的油气是陆相的^[6]。根据油源对比,渤海湾盆地储集于震旦系、奥陶系地层的原油大多源于古近系,即所谓“新生古储”;即使是三大克拉通盆地的油气,经油气源对比,表明均源于碎屑岩地层(主要是煤系地层),而不是源于海相碳酸盐岩^[7],从而否定了中国海相地层的油气与海相碳酸盐岩有亲缘关系的说法。

近年来,在海相地层中发现了塔河大油田,普光大气田。塔河大油田仅奥陶系储层探明石油地质储量就达 $5.875 \times 10^8\text{t}$,天然气 $183.98 \times 10^8\text{m}^3$;普光气田的天然气储量已增加至 $3\,560.875 \times 10^8\text{m}^3$,而且还有不断扩大的趋势。这是中国石化集团公司油气勘探的重大突破^[3]。但是,在进行我国海相油气勘探中,仍有一些基础性地质问题尚未解决^[8~9]。

2 海相油气勘探中的主要问题

2.1 海相碳酸盐岩作为烃源岩的有机碳指标

中国海相碳酸盐岩的有机碳含量均很低,碳酸盐岩能否作为烃源岩颇让中国有机地球化学家费尽心思。曾把有机碳指标定在 0.2%,后来把它改为 0.1%,更后来把有机碳指标定在 0.05%^[10];1999 年,

在杭州召开了“海相碳酸盐岩与油气国际研讨会”,会上把碳酸盐岩烃源岩有机碳下限确定为 0.5%,并认为,碳酸盐岩不是所有相都可作为烃源岩,只有一些相带才能成为烃源岩^[7]。这样,把一大批碳酸盐岩均排斥在烃源岩之外。

按照这个标准,中国一些盆地的海相碳酸盐岩均不能被认为是烃源岩。表 2 是宋岩等^[11]对中国主要盆地碳酸盐岩沉积环境和有机碳含量的统计。

2.2 碳酸盐岩与油气运移

李明诚在 1987 年出版的《石油与天然气运移》一书中仅对碎屑岩作了论述,没有提到碳酸盐岩中的油气运移^[12],可见其研究之薄弱及难度之大!他在该书第二版中讨论了碳酸盐岩中油气运移问题^[13]。由于碳酸盐岩的胶结作用、重结晶作用常常发生在沉积有机质生烃之前,而成岩作用过程中也不可能或很少有机机械压实作用^[13],致使即令有生烃作用发生,也只能滞留于碳酸盐岩中。人们常见到的沥青灰岩可能就是这种情况。总之,碳酸盐岩化学成岩作用总是与有机质生烃作用不能达到匹配。至于石灰岩中也常见到裂隙、裂缝面上的一些沥青,这是没有排出的证据,而不是残留的产物。更何况,由于碳酸盐岩有机质丰度低,泥质含量低,即使有烃类生成,其量也是很低的,更不足以形成什么异常压力。

表 2 中国主要盆地碳酸盐岩沉积环境和有机碳含量表^[11]

地 区	层 位	沉积环境	有机碳含量(%)
四川盆地	T ₁₊₂	浅水台地	0.12(1168)*
	P ₂	海陆过渡 (生物灰岩)	0.48(309)
	P ₁	较深水台地	0.41(1101)
	Z	浅水台地	0.14(1156)
鄂尔多斯 盆地中东部	O ₁	浅水台地	0.18(548) (剔除风化壳样品)
	C	浅水台地	0.14(88)
	Pt	浅水台地	0.09(13)
华北地区	O	浅水台地	0.23(130)
	C	浅水台地	0.11(52)
	Pt	浅水台地、海槽	0.20(380)
塔里木盆地	P	浅水台地	0.38(33)
	C	浅水台地	0.22(280)
		台缘斜坡	0.62
	O	浅水台地	0.14(575)
	C	台缘斜坡	0.42~0.93
	Z ₂	台地边缘、潟湖	0.64(102)
		深水盆地	1.2~3.5

* 括号内数字为样品数。

李明诚还总结了两个令人困惑不解的主要问题:第一,从现代沉积来看许多碳酸盐岩沉积物是在强氧化环境中沉积,虽然这种环境有机质比较丰富,但水动力的破坏、生物的扰动、地下水的循环,使有机质难以进一步保存并形成烃源岩;第二,碳酸盐沉积物的早期胶结作用,表明在成岩过程中不可能或很少有机机械压实作用,这一点与碎屑岩(或粘土岩)有根本的不同,烃类流体如何从源岩中排出就成为问题^[13]。

Ferguson 承认,“碳酸盐的排驱机理是一个不易解决的问题,正如大多数复杂的问题那样,并无简单唯一的答案,可能有多种机理在起作用。看来这个问题大多与碳酸盐岩的压缩性、胶结作用的形式与时间及生油时代有关系。”他还说,“未解决的主要问题是原油运移的时代及排驱机理”^[14]。实际上, Ferguson 还是不明白或不知道碳酸盐岩的排驱机理。

田在艺院士曾指出:“油气运移机制的研究至今仍是石油地质学中难度最大的课题”。张厚福^[15-16]也认为:“多年来,油气运移一直是石油地质学科领域中研究最薄弱的环节。”黄第藩在为《油气运移研究》一书所写的序中也承认:“在油气排驱和运移问题基本解决之前,石油有机成因和油气成藏理论体系,仍然是不完善的”^[17]。最近,傅家谟等在回顾有机地球化

学进展时也承认:“烃类运移的研究,特别是石油在生油岩中初次运移的机理及运移排烃效率的研究是当前石油成因理论中关键而又较为落后的一环”^[18]。

吕修祥等则更为直率:“油气运移机制是石油地质工作无法回避的问题,也是石油地质学中难度最大的课题,而这也恰是石油地质学研究中最为薄弱的环节;因而油气藏的形成机理及模式也就受到约束,而这又恰恰是石油地质的核心问题”^[19]。

笔者以为,似乎应该这样来理解,只要油气生成机理没有弄清楚,那么油气运移便会始终困扰着石油地质学家,油气运移问题解决不了,则油气成藏问题便如“纸上谈兵”。

按有机生烃理论,在一个上万乃至十几万平方千米的沉积盆地内,分散有机质在低温的影响下,其生成的一点一滴石油可以摆脱岩石颗粒的束缚而沿一定的通道,以不同的方向和速度向似乎预先约定的同一地点集中运移,再沿水平方向运移数百乃至上千千米并在一个似乎也是预先设计好的圈闭中储集而成藏。这种“分散生油,定向运移,集中储存”的模式显然是人们臆造的^[20],特别是它无法解释有几亿吨乃至几十亿吨储量的大型、超大型油田,如任丘油田、大庆油田!

2.3 海相油气的来源之争

在有机地球化学界,对海相地层的油气来源一直有不同的观点。如塔里木盆地古生界的油气源于寒武系、下奥陶统还是中—上奥陶统之争;鄂尔多斯盆地长庆气田的天然气源于奥陶系还是石炭系—二叠系煤系地层之争;四川盆地威远气田的天然气源于寒武系还是震旦系之争;等等。争论双方(或各方)均有地球化学证据,如生物标记化合物、碳同位素组成等。

在我国东部,松辽盆地大庆油田白垩系“自生自储”,渤海湾盆地诸油田古近系“自生自储”油源对比合情合理,可为什么一到西部叠合盆地,油源对比的一些地球化学指标就不那么灵验了呢?

一些石油地质学家注意到中国海相油气地质的主要问题,并提出了一些对策^[9,21-23]。金之钧等在谈到中国石化集团公司发现的塔河大油田、普光大气田时指出,这两个油气田的油气源认识不清,油气成藏期认识不一,主力成藏期不清,并认为这制约了油气勘探的进一步拓展^[22]。

随着四川盆地普光气田的发现,中国海相碳酸盐岩层系的油气格外引人注目。《地质学报》2007年第8期,《科学通报》2007年增刊等均以专辑形式较系统地刊登了关于海相碳酸盐岩油气方面的论文,但在一些根本性问题上仍未获得一致的认识,如碳酸盐岩作为烃源岩的评价,碳酸盐岩油气的运移,油气源对比等。

3 国内外海相、陆相地层油气分布的差异

国外油气主要储集于海相地层,而中国油气则主要储集于陆相地层,为什么会有这样的差异?难道这油气也具有“中国特色”?

考察中国地质发展史表明,中—新元古代和古生代,中国绝大部分为海相沉积。中国克拉通在中三叠世,海水从华南退出,晚三叠世,海水从华北退出。随着海西褶皱带的形成,海水全部退出中朝古陆,中国陆地面积大幅增加。自印支运动以来,海水进一步退出中国大陆,除台湾、西藏、华北南部、新疆和东北的局部地区外,中国绝大部分地区变成陆地。因此,自三叠纪以来,中国主要发育的是中—新生代陆相沉积,并形成了所谓的“叠合盆地”。

但是,中东、俄罗斯、美国、欧洲等却与中国地质发育史恰好相反,先是陆相沉积,后为海相沉积。

作为油气勘探的顺序,当然是先浅后深,先易后难,这就造成了国外多为海相地层油气而中国油气则多储集于陆相地层。

现在中国开始重视深部的海相地层,而国外却开始重视深部的陆相油气,这正是客观规律的一种反映。1995年10月,美国石油地质学家协会(AAPG)在我国胜利油田召开了“中国、东南亚湖相盆地油气勘探国际学术讨论会”,十几家外国石油公司和研究单位都派专家前来参加,说明他们也重视陆相找油了^[3]。俄罗斯特拉菲穆克院士还号召俄罗斯地质学家向中国地质学家学习如何在陆相地层找油。

随着油气勘探的不断深入,勘探目的层也不断加深,从第三系到白垩系、侏罗系,又进入二叠系、石炭系,直到志留系、奥陶系、寒武系,塔里木盆地便是一个极好的案例。在塔里木盆地,几乎所有层系均有油气成藏。志留系海相砂岩中储集有 $917 \times 10^8 \text{ t}$ 的固体沥青,这些巨量的沥青是如何生成的,颇费有机地球化学家心思。盆地寒武系、奥陶系的全部有机质也生成不了这么巨量的沥青!

塔里木盆地油气藏分布有两个重要特征,一是油气田或油气井无一例外地出现在断裂附近,二是这些断层断开的最高层位也是油气藏出现的最高层位^[24]。

张之一最近指出:“石油有纵向分布特征,从上部油藏一直到下部基岩有一系列油藏,表明石油是由下而上垂直运移的,而这些均是通过深断裂来实现的”^[25]。

薛超也谈到,深大断裂不仅是地球能量和地幔物质的通道,也是深部烃类向地壳运移的唯一通道^[26]。深入认识深大断裂与大油气田的相互关系,对未来的油气勘探将有现实指导意义。

在克拉玛依油田从事油气勘探50年的石油地质学家林隆栋最近深刻指出:“克—乌油区的油气是沿超壳深大断裂、逆掩断裂带及其裂隙系统向上运移到储层的,玛湖断裂与达尔布特断裂之间是整个油气富集带,西北缘火山岩油气藏勘探证实了这个勘探新思路”^[27]。

上述勘探实践表明,盆地油气可能均源于深部而通过断裂系统垂直向上运移。那么,深部油气究竟又源于何处呢?

4 海相、陆相油气成因

根据笔者十余年来研究的成果,油气生成模式可归纳为下列几种。

(1)油气可由壳源有机质生成。Pb同位素证据表明,贵州东部与汞矿共存的沥青便是有机成因^[28]。

(2)油气可由壳—幔相互作用生成,由地幔流体对沉积有机质的加热、催化作用而生成。如辽河断陷古近系的油气^[29-31]。

(3)油气还可通过费-托合成反应而生成,如克拉玛依油田的原油,塔里木盆地志留系砂岩的沥青^[32-33]。

上述后两种模式形成的深部油气是通过断裂体系向上运移到合适的层位而聚集成藏,但也可能由于断层开启到地表而使大量油气散失。这一模式解释了为什么在中国以陆相油气藏为主,而国外则以海相油气藏为主,同时也指明了勘探方向,即在中国油气勘探要向深层拓展,即向海相地层或基底、花岗岩、火山岩拓展。近几年,四川盆地普光生物礁气田、松辽盆地庆深火山岩气田的发现便是典型的成功勘探实例。国外的油气勘探向深部陆相地层发展也将是必然趋势。

杜乐天认为,“所谓‘海相生油’,实质是大陆边缘裂谷生油,所谓‘陆相生油’,实质是大陆内部裂谷生油,其实深部因素都是软流层上隆和烃碱流体上

涌。盐(还有碱、膏、硝)—油—气—金属矿床四者多处紧密共生,乃是地球内部 HACONS 或烃碱流体最雄辩的证明”^[34]。杜乐天等^[35-36]进一步阐述了油气矿床与金属矿床都是热液矿床,在成因上没有截然的区别,而且油气中也有大量金属成分,这些均与地幔流体碱交代作用有关,结晶基底中油气藏的不断发现,表明油气主要是自下而上迁移的。

张之一也指出:“石油勘探需要从生油岩概念的桎梏中解放出来,才能使油气勘探工作高速发展”^[37]。

5 油气成因理论的科学进展

在石油工业开始,人们认定油气是由海相地层有机质生成的,并发展、奠定了海相油气成因论。

20 世纪 50 年代末,中国在松辽盆地大平原上找到了震惊世界的陆相大油田——大庆油田,并因此奠定了中国陆相油气成因理论。需要指出的是,如前所述,1941 年潘钟祥在 AAPG 上便指出,陆相可以生油,但是能否形成大油田,则尚没有哪个石油地质学家指出过。应该说,1959 年大庆油田的发现带有某种偶然性,如果说大庆油田是在陆相生油理论指导下发现的,则缺乏事实根据。但是大庆油田的发现是中国地质学家、地球物理学家共同努力的成果。

石宝珩曾指出:“我国陆相生油理论研究从 60 年代后期到 70 年代中期没有多大进展”^[1]。只是 70 年代中期开始大量引进先进的仪器设备,才使陆相生油理论研究进入了全面发展的新时期,为地质和地球化学家们所接受,并用于指导石油勘探^[1]。

在 21 世纪的今天,笔者倡导油气的无机成因理论,不仅仅是我们发现了石油、沥青无机成因的 Pb、Sr、Nd 同位素证据和微量金属元素的证据,发现了原油中 C—Si 键有机化合物的无机成因证据^[29-33],而且还在于根据原油的无机成因理论,笔者很好地解释了中国大陆大中型油气田分布规律,并能指导未来的油气勘探^[38]。作为无机油气论者,笔者并没有全盘否定有机论,只是希望勘探家在进入油气勘探决策时,开拓思路,多一种选择。

在油气有机成因论“一统天下”的今天,石油地质学家太笃信有机论了。古生物学及地层学家殷鸿福院士指出:“中国人思维趋同,趋中庸,表现为对权威的崇拜,甚至明知其有错,也要‘为尊者讳’,人云亦云,对离经叛道的小人物,往往嗤之以鼻,而对失势者则‘墙倒众人推’。在国际学术新潮中,西方往往

领先,而我们则跟着走,思维定势恐怕是原因之一。所以必须注意改变思维的定势化或直线化”^[39]。他认为没有不变的理论体系,一个学科体系统治百年而不变,绝不是什么好现象,它意味着该学科的僵化,但同时也必然孕育着变革的萌芽。蓄之既久,发之也速。当一个理论占统治地位时,人们的思想在趋同时,最好“趋异”一下,要看到当时主流理论的弱点,预做准备,未雨绸缪,超前思维^[39]。

6 结束语

综上所述,石油储集于海相地层还是陆相地层,这与地质发展史中海水退出大陆的事件早晚有关;油气大多是沿超壳大断裂由深部垂直向上运移的,由于沉积地层储集性质优越,油气优先储集于沉积地层中;根据勘探的先易后难、先浅后深原则,油气更多地在浅层先被发现;油气不仅可储集于浅部的海相、陆相地层,也可储集于深部的花岗岩、火山岩、变质岩等基岩中。中国的石油地质学家没有因为陆相地层有大油气田而排斥海相成因论,倒是海相、陆相的成因争论给中国石油事业带来了辉煌。

今天,笔者提倡油气无机成因论,但并不反对和摒弃油气有机成因论,只是强调在油气勘探中增加一种思维方式,从而增加找到油气的可能性。在笔者看来,重视这种可能性是极其重要的,否则可能会贻误发现大油气田的时机。

参考文献

- [1] 石宝珩.我国陆相生油理论的历史、现状和问题[M]//杨万里,石宝珩,高瑞祺.中国含油气盆地烃源岩评价.北京:石油工业出版社,1989:21-43.
- [2] Fuller M L, Clapp F G. Oil prospects in northern China[J]. AAPG Bull, 1926,10:1073-1080.
- [3] 金顺爱.中国海相油气地质勘探与研究——访李德生院士[J].海相油气地质,2005,10(2):1-8.
- [4] 金顺爱.塔里木盆地古生界海相油气勘探——访康玉柱院士[J].海相油气地质,2007,12(3):1-4.
- [5] 李国玉.海相沉积岩是中国石油工业未来的希望[J].海相油气地质,2007,10(1):5-12.
- [6] 张跃平.中国海相油气地质工作如何展开——田在艺院士访谈[J].海相油气地质,2005,10(1):1-4.
- [7] 戴金星.在'99 海相碳酸盐岩与油气国际研讨会上的闭幕词[J].海相油气地质,2000,5(1-2):3-4.
- [8] 马永生.中国海相碳酸盐岩油气资源、勘探重大科技问题及对策[J].海相油气地质,2000,5(1-2):15.
- [9] 李晋超,马永生,张大江,等.中国海相油气勘探若干重大科学问题[J].石油勘探与开发,1998,25(5):1-2.
- [10] 夏新宇,陶士振,戴金星.中国海相碳酸盐岩油气田的现状和若干特征[J].海相油气地质,2000,5(1-2):6-11.

- [11] 宋岩, 赵文智, 夏新宇, 等. 论我国天然气勘探方向的转移[J]. 天然气工业, 2000, 20(2): 3-7.
- [12] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京:石油工业出版社, 1987:165.
- [13] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 2版. 北京:石油工业出版社, 1994:1-250.
- [14] Ferguson J. 关于海相碳酸盐岩层序中原油生成与运移的综述[J]. 陈松乔, 译. 地质地球化学, 1990, 18(6):31-38.
- [15] 张厚福. 油气运移[M]. 东营:石油大学出版社, 1993.
- [16] 张厚福. 中国油气运移研究现状与今后的发展方向[M]//张一伟. 油气成藏机理及油气资源评价国际研讨会论文集. 北京:石油工业出版社, 1997:237-241.
- [17] 汪本善, 程克明, 马万怡. 油气运移研究——泌阳盆地剖析[M]. 北京:石油工业出版社, 1994:1-17.
- [18] 傅家谟, 盛国英. 有机地球化学[M]//中国科学院地球化学研究所. 高等地球化学. 北京:科学出版社, 1998:329-378.
- [19] 吕修祥, 吴元燕, 何登发, 等. 中国油气勘探面临的理论及研究方法问题[J]. 地质地球化学, 1996, 24(4):70-72.
- [20] 周俊. 同源说与石油成因[J]. 化石, 1997, (4):25-27.
- [21] 汤良杰, 吕修祥, 金之钧, 等. 中国海相碳酸盐岩层序油气地质特点、战略选区思考及需要解决的主要地质问题[J]. 地质通报, 2006, 25(9-10): 1032-1035.
- [22] 金之钧, 蔡立国. 中国海相油气勘探前景:主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6):722-730.
- [23] 金之钧, 蔡立国. 中国海相层序油气地质理论的继承与创新[J]. 地质学报, 2007, 81(8):1012-1024.
- [24] 王秋明, 张纪易. 塔里木盆地四十年油气勘探的回顾展望[M]//童晓光, 梁狄刚. 塔里木盆地油气勘探文集. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1992:1-16.
- [25] 张之一. 关于石油深部起源的若干问题[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(1):112-117.
- [26] 薛超, 薛玲. “两转一断”与地球烃[J]. 石油实验地质, 2006, 27(6):640-648.
- [27] 林隆栋. 新疆克拉玛依油田油气勘探新思路[J]. 中国油气勘探, 2007, 12(2): 76-81.
- [28] Zhu Bingquan, Zhang Jinglian, Tu Xianlin, et al. Pb, Sr and Nd isotopic features in organic matter from China and their implications for petroleum generation and migration. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, 65(15): 2555-2570.
- [29] 陈义贤, 朱炳泉, 张景廉. 辽河断陷原油生成环境与演化[M]. 北京:石油工业出版社, 1999:100.
- [30] 张景廉, 朱炳泉, 陈义贤, 等. 辽河断陷下第三系烃源岩有机质 Pb, Sr 同位素研究[J]. 科学通报, 1999, 44(11):1222-1225.
- [31] 张景廉, 朱炳泉, 陈义贤, 等. Pb, Sr, Nd 同位素与辽河油田油源对比[J]. 地学前缘, 2000, 7(2):345-352.
- [32] 张景廉, 朱炳泉, 张平中, 等. 克拉玛依乌尔禾沥青脉 Pb-Sr-Nd 同位素地球化学[J]. 中国科学:D 辑 地球科学, 1997, 27(4):325-330.
- [33] 张景廉, 朱炳泉, 张平中, 等. 塔里木盆地干酪根、沥青的 Pb-Sr-Nd 同位素体系及其成因演化[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 310-317.
- [34] 杜乐天. 烃流体地球化学原理[M]. 北京:科学出版社, 1996.
- [35] 杜乐天. 地球排气作用的重大意义及研究进展[J]. 地质评论, 2005 (12): 174-180.
- [36] 杜乐天, 欧光习. 盆地形成及成矿与地幔流体间的成因联系[J]. 地学前缘, 2007, 14(2):215-224.
- [37] 张之一. 更新勘探观念, 开拓深层油气新领域[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(2):193-196.
- [38] 张景廉. 论石油无机成因[M]. 北京:石油工业出版社, 2001: 305.
- [39] 院士思维编委会. 院士思维[M]. 合肥:安徽教育出版社, 1998.

编辑:吴厚松

A Discussion on Marine and Non-marine Origin of Petroleum

Shi Lanting, Zheng Rongcai, Zhang Jinglian, Wei Pingsheng, Ma Long

Abstract: Oil and gas abroad have been discovered mainly in the marine strata, but in China the oil and gas have been discovered mostly in the non-marine strata. The basic reason is the contrary sequence of the strata formation in China. As for the former, the shallow strata are mainly marine facies while for the latter the shallow strata are commonly non-marine facies. A huge amount of oil and gas could migrate up and accumulate into different reservoirs from the deep along great crust fractures. The shallow reservoirs were firstly discovered and explored certainly. Three problems are faced to petroleum exploration of marine origin strata in China: (1) Organic carbon content of marine carbonate rocks are too low to be large scales of hydrocarbon source rocks; (2) Some problems of hydrocarbon migration in carbonate rocks has not been well solved yet; (3) Origin of hydrocarbon in the marine reservoir rocks has not been clear. Three models of hydrocarbon generation can be reduced to: crust-sourced organic matter, interaction between the crust and the mantle and Fisher-Tropsch synthesis. If we only rely on the organic generation theory and reject the other models of petroleum generation, the theory and practice in petroleum exploration would be hindered. Most of hydrocarbons were formed by Fisher-Tropsch synthesis in the mantle and the mid-crust or by the interaction between the crust and the mantle so that these hydrocarbons can migrate into the shallow from the deeper strata along large fractures and besides accumulating in the shallow, the hydrocarbon can accumulate in the deeper granites, volcanic rocks and metamorphic rocks and also in deeper marine strata in China and in deeper non-marine strata abroad.

Key words: Marine facies; Non-marine facies; Origin of petroleum; Petroleum distribution

Shi Lanting; male, Senior Geologist, Doctor degree in progress at Chengdu University of Technology. Add: Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest (NWGI), 535 Yan'erwan Rd., Lanzhou, 730020 China