

文章编号: 1000-0747(2012)05-0513-11

中国油气产区战略接替形势与展望

张抗

(中国石化股份有限公司勘探开发研究院)

摘要: 石油工业的持续发展依靠生产的战术接替和战略接替, 战略接替中新区新领域开拓具有更重要更长远的影响。中国石油经历了第1、第2次的战略展开, 已有油区整体上进入相对稳产的壮年期, 迫切需要开展新一轮的战略接替以保持中国石油的长期稳产、增产。新区新领域必须具备烃源和油气保存条件, 经过一系列工作, 新区新领域开拓的目标已初步显现: ①北方的上古生界, 特别是中、新生界覆盖下的石炭-二叠系; ②西藏高原的羌塘地块和新生代裂谷系, 前者古生界特别是中生界海相地层发育, 后者油气赋存条件较简单, 易获得突破; ③南海和东海新生界之下广泛发育的海相中生界; ④非常规油气, 目前应特别注意致密油气、煤层气、页岩气、页岩油及油页岩等。表 3 参 58

关键词: 战略接替; 新区新领域; 石炭-二叠系; 西藏高原; 海相中生界; 非常规油气

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Strategic replacement situation and outlook of China oil-gas production area

Zhang Kang

(Sinopec Research Institute of Petroleum Exploration and Production, Beijing 100083, China)

Abstract: Sustainable development of petroleum industry depends on tactic and strategic replacement of production, in which the exploitation of new oil and gas production areas has a profound and lasting significance. After first and second strategic development, the existing oil and gas areas in China have been in a relatively stable and mature stage of their life cycles, there is an urgent need to start a new strategic replacement of oil and gas to guarantee stable and increasing production for China in the long term. Through production and research sponsored by government in the beginning of the 21 century, the targets of new oil and gas areas have been initially identified. They include: (1) the Upper Paleozoic of north China, especially the Carboniferous and Permian underlying the Mesozoic and Cenozoic; (2) Qiangtang block which features in Paleozoic and Mesozoic marine strata, and Cenozoic rift system which has simple petroleum accumulation conditions in Tibetan plateau; (3) Mesozoic marine strata covered by the Cenozoic in the south sea and east sea of China; (4) unconventional hydrocarbons, especially tight oil and gas, shale gas, shale oil and coalbed gas.

Key words: strategic replacement; new oil and gas area; Carboniferous and Permian; Tibetan plateau; marine Mesozoic; unconventional hydrocarbon

1 产区接替在石油工业持续发展中地位

1.1 油气生产的战术战略接替

与其他地下资源采掘业类似, 单个油田、油区都要经历其生产的发展、兴盛、衰竭历程, 可称之为油田(区)的生命周期。从石油地质角度而言, 油田是指一个或多个油藏平面上基本相联、空间上相互叠置的含油区域, 油区往往指已发现油田或已有油田投入开发的一个较大的含油盆地或一群成因相似的中、小含油盆地群。大国(如俄罗斯、美国、中国)往往具有若干个地质特点和含油性不同的油区^[1-3]。显然, 单个油田的生命历程较简单, 而油区的生命历程就相当复杂、漫长, 对于具有客观兴衰过程的众多油田(区), 石油工业欲求得可持续发展就需要在两方面作出努

力, 即生产的战术(性)接替和战略(性)接替^[4]。

对于已投入开发的老油田, 生产的战术接替首先是提高其储量的动用率和采收率。此外, 油田储量的探明也是个逐渐发展的过程: 初期往往仅发现和探明主力产层、主力油藏, 尔后照此思路不断发现新的可采油层、油藏, 甚至在周围不断发现新的同类油田。老油田(区)生产的持续发展, 可主要依靠已有勘探开发思路的深化和发展, 其影响也主要限于老油区内, 因而称为战术(性)接替。

单个油区有较强生命力(较高产量)的时间不过10余年、数十年。显然, 要取得更长期的持续发展必然要开拓新产区、新领域。不同油区、领域间的地质特点往往差别非常大, 其勘探开发思路和所依托的技术路线、工艺水平也往往要有重大改变、创新。此外,

不同油区间的地缘油气关系不同,新油区的投产往往会对国家甚至国际经济、政治格局产生重大影响。从这一角度出发,笔者把新油气产区、新领域的开拓归为战略(性)接替。

1.2 中国现阶段的战略接替

石油工业开始起步时,技术水平较低,只能开发石油特别富集、经济效益特高的油田(区)——聚集于良好背斜型储集层圈闭中的油藏。但在背斜型(圈闭)油藏之外还有多种类型油藏,在勘探初期,由于其难以用一般地质、物探技术方法发现而被称为“隐蔽型”油藏(圈闭)。更深入的研究发现,在各类局限性分布的圈闭型油藏之外,还有大面积分布的连续型油气藏^[5]。这些隐蔽型油气藏(田)、连续型油气藏(田)都可归为新类型。

在油气开发上,以20世纪70—80年代的技术水平能够开采且有经济效益的油气赋存被称为常规油气,当时达不到该要求的多种油气赋存(如油砂、油页岩、煤层气、致密油气、页岩油气)泛称为非常规油气,它们常被归为新领域^[3,5]。就地下赋存量而言,非背斜油气比背斜型油气、非常规油气比常规油气储量要大得多,甚至大一个数量级。

对于经历了漫长复杂地质演化过程的叠合盆地,可以有若干个处于不同构造层、彼此差别很大的含油气系统,而最初往往仅发现并开发浅层、中部或最富集、最易开发的含油气层系,随着勘探发展,需要向更深部(如塔里木腹地奥陶系以下^[6])和/或更浅部(如渤海湾盆地中部的新近系^[7]、柴达木盆地东部第四系生物气^[8])的新层系甚至新的含油气系统开拓。

从圈闭型到连续型油气、从常规到非常规油气、从易勘探开发的老层系到更深(浅)的新层系,特别是尚未发现油气田的新区开拓,其勘探开发的实现都要求理论的重大创新、技术的巨大进步和经济门槛值的相应降低。显然,新领域、新类型、新层系的开拓在地质研究程度高、勘探开发程度高和基础设施、生活设施健全的老区更容易得以实现,因此,目前应主要在老油区进行,新区开拓时应首先寻找易突破的背斜型圈闭。当然,具有丰富经验的勘探家也会注意对其中新类型、新领域的研究并相机取得突破性发现。

限于篇幅,本文以新产区的开拓为主体讨论战略接替,拟在概略分析目前产区形势基础上提出新区开拓的4大指向。

2 中国石油产区战略接替回顾

2.1 中国石油的第1次战略展开

2.1.1 东部石油工业基地的建成

新中国建立之初,石油勘探开发的主要力量集中在已有油苗、油田发现的西北地区,即以玉门油田为中心的中小盆地群、延长油矿所在的鄂尔多斯盆地周边和独山子油田所在的准噶尔盆地边缘。同时10余支石油普查队伍对包括松辽盆地、渤海湾盆地在内的全国众多盆地开展了侦察性工作。在对后两者有轮廓性认识和其可能含油的推断指导下,在20世纪50年代后期实施了石油勘探开发的战略东移,首战松辽盆地。进而在60年代中期实现了对渤海湾盆地大部分坳陷的突破,于70年代初在南襄、江汉、苏北3个盆地发现了油田^[9-10]。立足于上述盆地的勘探开发,建成了中国东部石油工业基地,实现了中国石油勘探开发的第1次战略展开。至1975年,东部油区产量达 $7\,192\times 10^4\text{ t}$,占全国的94.0%(见表1)。

表1 1975—1984年东部和西北石油产区产量变化对比^[9-11]

地区	1975年		1984年		期间年 增长率/%
	产量/ 10^4 t	比例/%	产量/ 10^4 t	比例/%	
东部	7 192	94.0	10 729	93.9	4.54
西北	402	5.3	568	5.0	4.29

2.1.2 “文革”导致的新区开拓停滞

20世纪60年代后期开始的“文革”对石油工业产生了较大影响,1978年全国石油产量达 $1\times 10^8\text{ t}$,尔后出现徘徊甚至下降^[11]。但1975—1984年全国石油产量的年增长率(4.32%)已明显低于上个10a(21.15%)。特别是石油工业收入几乎全部用于支撑陷于深重危机的国民经济,10多年间仅能在老油区勘探开发使之增储上产,没有能力进行新油区的开拓。海上勘探开发的局面也没能打开,仅在渤海有少量油田生产,但1984年仅产 $3.3\times 10^4\text{ t}$,为1979年的19.2%。

2.2 中国石油的第2次战略展开

2.2.1 第2次战略展开的战略构想

1979年在南海珠江口盆地获高产工业油流,突破了南海北部新油区后,继之在东海发现了一批油气田。1982年新成立的中国海洋石油总公司开始了海上对外合作油气勘探开发和自营勘探,相继在渤海和南海发现并开发了一批油气田。1984年塔里木盆地北部源于上元古界—下古生界海相碳酸盐岩的沙参2井获高产工业油流,迎来了塔里木盆地和西北地区勘探开发新局面。于是,稳定东部、发展西北、开拓海上的战略

构想（被形象地称为“一轴两翼”）成为全国石油勘探开发的指导思想。世界上一批大气田（特别是煤型气田）的成功开发也给了中国启示，使之改变了重油轻气的作法，油气并举成为新的战略方针，连续实施了 4 个五年计划的全国性天然气联合攻关和相应的勘探开发。自此，在 20 世纪 80 年代后 5 年开始实施了第 2 次战略展开^[9,11]，提出了以“四新”（新领域、新类型、新地区、新深度）为目标的新一轮石油普查，并逐步形成了西北和海域两个主攻方向。

2.2.2 东部油区

东部老油区的深化勘探，包括老油田的扩边和新油藏（田）发现，不仅使其储量获大幅甚至数倍的增长，而且区域也向含油性较差的小坳陷和中小盆地扩展。如依托华北油田、中原油田等油田实现了对二连盆地的开拓，又如在松辽盆地不仅实现了由盆地中部中白垩统松花江群坳陷型层系向西南隆起和东南隆起下白垩统断陷型层系的发展，而且向盆地外围发展取得了伊兰—伊通断陷和海拉尔盆地的突破。特别要指出的是，随着勘探程度的提高，东部各盆地新探明油田（藏）非背斜圈闭所占比例逐渐增大，到 21 世纪初已位居主要地位。这些措施使东部老油区累计探明（地质）储量由 1985 年的 100.62×10^8 t 增至 2010 年的 197.25×10^8 t（年均增长率达 2.73%），并使剩余可采储量的补充系数接近于 1。东部老油区努力上产提高采收率，不仅普遍实施了以精细注水为主体的二次采油，而且大批量地投入三次、四次采油，使经过 40~50 a 开发的陆相油田得以实现基本稳产。东部老油区 2010 年累计探明储量和产量分别占全国的 62.83% 和 52.38%，仍居于主体地位（见表 2）。

表 2 2010 年中国各主要产区石油天然气产量及所占比例^[9-11]

地区	石油		天然气	
	产量/ 10^4 t	比例/%	产量/ 10^8 m ³	比例/%
东部	10 098	52.38	80.80	8.58
海上	4 179	21.68	97.75	10.37
西北/西部	4 995	25.91	306.57	32.53
中部*			457.13	48.52

*鄂尔多斯盆地与四川盆地归入中部区

需要指出的是，尽管东部油区挖潜取得了巨大成就，但从 1988 年产量达到峰值的 $12\ 688 \times 10^4$ t 后就呈总体缓慢下降趋势，2010 年产量仅为峰值的 79.6%。从油区的生命周期上看，目前已处于稳产阶段后期。笔者早在 20 世纪末就已指出了这种趋势^[3]，之后的开发实践印证了这一认识。

2.2.3 西北油区

应该说，在 20 世纪 80 年代后期曾对塔里木盆地的勘探开发作出了过分乐观的估计，设想依托这个中国最大的盆地实现对东部的接替^[12]，但勘探实践发现并不能实现这一目标。随后将勘探开发扩大到整个西北地区，不但使过去已发现一批油田的准噶尔等盆地储产量大幅增长，而且在三塘湖、焉耆等盆地也发现了油田。这使西北油区在 1985—2010 年间石油产量年增长率达 8.72%，2010 年产量占全国的 25.91%，即大致占全国的 1/4。西北油区的增产弥补了东部油区的减产且“略有盈余”，这是全国石油产量相对稳定的基础之一。西北油区勘探开发中鄂尔多斯盆地的进展最为突出，1985—2010 年间储量、产量年均增长率分别达 9.67% 和 11.01%，期末占全国的比重分别为 10.52% 和 11.38%。需要特别说明的是，鄂尔多斯盆地的石油属非背斜类型的岩性油藏，而且大部分储集层是致密、超致密岩层。准噶尔盆地腹地的油田圈闭幅度和面积均较小，主要控制因素亦为岩性。塔里木盆地最大的油田——塔河油田的主产层也为非背斜的碳酸盐岩岩溶缝洞网络型储集层^[13]。上述事实说明，在西北油区对东部老油区的战略接替中，新区、新类型、新领域的开拓起着重要作用。在勘探程度不高的地区，新类型油气田甚至可属于非常规的新领域油气田占相当大的比例，这正是其勘探开发难度增大的重要原因之一。西北油区 20 余年勘探开发取得重大成就，同时还应注意到以下几点：①产量的年均增长率高于储量年均增长率，这是油区发展达到“壮年期”的特征之一^[4]；②近几年的储量特别是产量增速减缓，2005—2010 年间储、产量年均增长率分别为 7.10% 和 6.94%，明显低于 1985—2005 年间的年均增长率；③某些主力油田已开始快速递减，如曾分别作为中国石油天然气集团有限公司在塔里木和准噶尔腹地最大油田的塔中 4 油田和彩南油田，在 2003 年时产量分别达 104.9×10^4 t 和 95.9×10^4 t，但到 2010 年分别降至 27.7×10^4 t 和 16.6×10^4 t。以上这些现象说明，西北油区在中长期维持增产、稳产的前景不容乐观。

2.2.4 海上油区

近 20 余年来，海上中外合资开发，特别是自营勘探开发取得巨大进展。1985—2010 年间海上石油储、产量年均增长率分别达 18.12% 和 27.46%，期末占全国的比重分别为 8.60% 和 21.68%（见表 2）。海上石油的开发在维持全国石油产量稳定并使之略有增长中起到了重要作用。在中国近岸海域除黄海外均实现了油气

生产,产量主要集中在中国海洋石油总公司的天津(渤海)、深圳(南海东部,占有珠江口盆地主体)、湛江(南海西部)3个分公司,东海产油量较小。按主要产区剩余可采储量、产量变化情况可将其分为两个时期:①1997年前,该时期海上石油储产量的增加集中在南海东部主要由中外合资开发的油田,1997年产量占全国海上产量的79.9%,但其后该区主力油田产量迅速下降,到2003年仅为1997年产量的66.9%。此后以自营方式大力开发被外方认为没有经济价值的边际性油

田,使产量有所回升,即便如此,该区的产量回升仅使其2006年产量达到1997年的81.9%,到2010年其产量再下降至1997年的64.3%。②1997年后,中国海上石油储、产量的增长集中在渤海地区,主要得益于渤中坳陷特别是以蓬莱19-3油田为代表的油田群的成功勘探开发,也得益于一批边际油田、稠油油田的开发。1997—2010年期间渤海石油产量以年均22.23%的增长率特高速增长,期末占海上总产量的69.6%,成为海上的主力产区(见表3)。

表3 中国海上3个主要产区石油剩余可采储量和产量变化^[9-11]

地区	1990年		1997年		2010年		1990—2010年增长率/%		1997—2010年增长率/%	
	产量/10 ⁴ t	储量/10 ⁴ t	产量/10 ⁴ t	储量/10 ⁴ t	产量/10 ⁴ t	储量/10 ⁴ t	产量	储量	产量	储量
天津	86.5	3 288.4	210.1	11 036.3	2 858.2	28 446.4	19.11	11.39	22.23	7.56
深圳	13.9	7 294.2	1 297.3	2 210.4	835.3	6 774.3	22.73	-0.37	-3.33	9.00
湛江	26.2		117.0	1 463.7	460.2	3 513.6	15.41		11.10	6.97
总计	126.6	10 582.6	1 624.4	14 710.4	4 153.7	38 734.3	19.07	6.70	7.49	7.73

注:表内未计东海产储量

分析海上石油储、产量的变化可得出如下启示:

①海上石油产量上升速度比陆上同类油田明显偏高,也比陆上同区储量增速高,这符合海上开发的特殊要求,但产量越过峰值后下降速度亦快,几乎没有稳产期,致使其生命周期比陆上同类油田短^[4]。此外,中国海上油田与邻近陆上油田性质基本一致,烃源岩和储集层多为陆相,按海上开发的经济标准可采储量偏小,再加上大型油田(地质储量大于 1×10^8 t)多为稠油,采收率、可采储量偏低^[14]。②深圳石油分公司1997年的储产比已降至1.7,这是其后产量快速下降的根本原因,尽管此后采取了开发边际油田、提高采收率、探明一批小油田以增储等措施,产量仍大幅降低,2010年的储产比仅为8.1。种种特点表明,深圳分公司所处的珠江口盆地古近系油田已经处于稳产阶段后期,在实施新开发措施后虽可使产量有小幅、短期回升,但石油产量下降的总体趋势难以逆转。③湛江石油分公司所辖地区以富气为特征,油田偏小。在实施边际性油田强化开发措施后其石油产量也有所增长,1997—2010年间年均增长率甚至可达11.1%,但其增产仍不能弥补同期深圳分公司的减产。需要注意的是,其在2010年的储产比已降至7.6,维持其长期增长的势头有很大难度。④深圳石油分公司产量已下降,如果湛江石油分公司产量也开始递减,则渤海的增产必须在弥补上两区减产值后才能对全国增产做贡献。考虑到2010年海上总体储产比仅9.51、渤海也已降至9.95,如无重大石油发现、无明显增加采收率的技术实施,海上石油的稳产形势不容乐观。

2.2.5 天然气

实施油气并举的方针使天然气产区扩大、产量大幅增长。2010年天然气产量为1984年的7.69倍。以1 000 m³气折合1 t油计算,1984年气与油的当量比为10.8%,2010年提高到49.2%。从地区上看,中部地区天然气产量占全国总产量的48.5%,其中四川盆地占全国总产量的23.6%,为区域供给的均衡,特别是改善南方能源短缺局面作出了一定贡献。

3 中国石油新产区战略接替展望

3.1 第3次战略展开的提出

第2次战略展开的新产区接替使中国石油剩余可采储量和产量在1990—2010年的20 a间分别保持了0.38%和1.68%的年增长率,实现了较长期的稳产。分析表明,即使从仅维持2020—2040年间石油相对稳产(2×10^8 t左右)角度出发,也必须立即开始着手新区开拓工作。在地质研究基础薄弱和/或自然条件艰苦、基础设施缺乏的新区,从开始打第1批参数井到第1批油田的投产最少需5~10 a的时间,而实现有战略意义的规模产量还需要有扩大储量规模、开发建产能、配套管输设施和相应的下游建设以及交通和城镇建设,这还要一段时间^[1,4]。

可供开拓的新区、新领域必须具备以下2个基本石油地质条件:①存在一套或几套有较大生烃潜力、未经区域变质的地层并经历了生烃过程(如已有较多油气苗和/或油气显示);②这套地层必须埋于地下一定深度并为近期的钻井能力可探及,有较大的可供勘探

面积，即有一定的油气保存条件^[15]。笔者总结了比较现实的可供新一轮（第 3 次）战略展开的 4 个新区、新领域开拓方向

3.2 中国北方的上古生界

按地理位置划分，中国昆仑—秦岭以北称北方，包括东北、华北和西北地区。本文作新区新领域勘探讨论时，所指北方地区不包括作为老油区的华北断块区主体和塔里木断块等在上古生界已获油气田发现的较大稳定地质体，但包括柴达木断块、阿拉善断块、准噶尔断块^[16]和松辽、二连盆地及周缘的上古生界新领域，实际上其主体是曾被称为加里东和海西期天山—兴蒙褶皱带^[17]的相对活动区。以往的地质研究中，考虑到该区的相对活动性，认为松辽盆地及周围地区上古生界为盆地“变质基底”而不属找油对象；在内蒙古和柴达木东北缘虽亦见到未变质的上古生界，但认为是局部现象且未被大面积深埋保存而难有前景；对于准噶尔盆地及周缘，过去仅把上石炭统及以上地层作为盆地盖层且认为真正对油气有贡献的仅是二叠系^[18]。但近年来对上述地区上古生界构造研究得到许多新认识，在其东部、北部和三塘湖盆地发现了上古生界油气田，对整个北方的石炭-二叠系勘探有重大启示，故将其纳入此次新区开拓的范畴。21 世纪初从东北区到西北区的系统研究从根本上改变了以往认识，肯定了其上古生界可作为新区勘探领域的以下两个基本条件^[19]。

首先，烃源条件。初步研究表明，在晚古生代各相对稳定的地块上，构造开合旋回的拉张活动在晚泥盆世晚期（法门期）已有明确表现^[20]，使上泥盆统—下石炭统与上泥盆统下部（弗拉斯阶）及更老地层呈不整合接触^[21]；而该开合旋回的强烈挤压和隆升则可能发生在早三叠世后，可见上二叠统林西组与下三叠统老龙头组呈整合接触，该旋回可分为 3 个亚旋回（或发展阶段）：初期为裂谷内局部发育的上泥盆统—下石炭统，中期为广泛超覆的中石炭统—中二叠统并构成本区上古生界的主体，晚期是分布局限的上二叠统—下三叠统，3 期地层中均有生烃岩系，尤以中期海相为主体的大套暗色泥质岩和晚期巨厚的湖相泥岩（如林西组）最优^[22-24]。准噶尔东缘的勘探实践表明，在裂谷间相对隆起区地表剖面上见到的石炭系可能很薄（仅数十米）且烃源岩发育不好而曾不被重视，但在盆地内部裂谷中心其厚度迅速增大，如彩 16 井揭示仅下石炭统即厚逾 623 m，其中烃源岩厚 241 m；彩深 1 井上石炭统厚 3 060 m，其中烃源岩厚 520 m^[19]，大量

地表和井下样品表明该区不乏较好—好的烃源岩并存在优质烃源岩，其有机质成熟度多数偏高，且以成熟—过成熟为主。岩石学研究表明，动力变质和热力变质仅是局部现象，本区的上古生界并不存在区域变质现象。某些因受习惯认识影响而肉眼初步定为板岩者，经黏土矿物伊利石结晶度等的研究证明也仅达到高成岩阶段，如松辽盆地上古生界 47 个泥岩样品中 66% 样品的伊利石结晶度值大于 0.42^[25-26]。与之相应，各地多发现油苗和油气显示，不仅有含烃包裹体、沥青等，而且直接见到了能证明产自上古生界的油气。

第二，油气保存条件。相当大部分的石炭-二叠系得以保存下来并埋藏于地下适当深度，其中烃类可以成藏。与建国初期的新区开拓不同，本区不仅有一定的基础地质研究，而且盆地内外均有区域性地震剖面资料，并有少量钻达上古生界的钻井。近年来新区开拓工作中又部署了少量以取得更深部地层资料为目的的控制性地震测线，可为中—新生界覆盖区上古生界顶面埋深提供较精确的约束性数据。以此为基础，新区开拓工作中部署的电法、重力、磁力综合物探解释就可以得到框架性的上古生界顶、底面埋深和上古生界残留厚度图。研究工作表明：本区相当部分的中—新生界之下都有残留厚度平均 2~5 km 的上古生界保存，与某些出露的隆起断裂带上见到的上古生界强烈变形不同，地震资料显示埋藏的上古生界存在倾角不大、可追溯性较好的稳定反射层，这就构成了可作为油气勘探对象的地质体^[27]。在这些深埋的上古生界中发现了油气，如额济纳旗西北部钻于 20 世纪末的额 1 井，在中生界底部见多层油气显示，试油获 2.58 m³/d 的轻质油，继而在古生界风化壳见厚约 30 m 的气层。分析不同层中的天然气，发现其组分和同位素组成有明显差别，中生界天然气干燥系数为 0.80~0.87，平均 0.84， $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 -50.87‰~-48.19‰、平均 -49.53‰，与其他井中见到的中生界天然气相同，为典型的低成熟热解气。但古生界风化壳内的天然气干燥系数为 0.91~0.92， $\delta^{13}\text{C}_1$ 为 -30.91‰~-21.56‰（平均为 -26.24‰），具高成熟热解气特点，显示出两类天然气来源不同。该井附近后来钻的祥探 8 井石炭系顶面下 67 m 见 12 m 厚油层，射孔产油 0.41 m³/d，压裂后产油 1.74 m³/d。分析表明该井原油地球化学特征与附近石炭系干泉组泥岩相同，甾烷具 C_{27} 优势并检测出 Ts、Tm、重排藿烷、伽马蜡烷等，而该区天 2 井白垩系原油甾烷具 C_{29} 优势且未检测出 Ts、Tm、重排藿烷、伽马蜡烷等^[28]。此外，柴达木盆地中生界、新生界原油中常见上古生界原油

混入,松辽盆地井下原油亦有此类混源现象,有的井中来自上古生界的原油比例高达 85%。准噶尔西部早已发现石炭-二叠系自生自储和源于石炭-二叠系、储于中生界的若干油气,2005 年以来,在石炭-二叠系新认识基础上对其东北部至三塘湖、吐哈盆地展开勘探,新发现一批气田和油气田^[29-30],其中仅克拉美丽油气田至 2010 年已探明黑油 156×10^4 t,凝析油 880×10^4 t,气层气 $1\ 053\times 10^8$ m³、溶解气 1.24×10^8 m³,三塘湖牛东油田探明稀油 $5\ 025\times 10^4$ t。大量事实表明,本文所指的北方新区上古生界内部及其风化壳^[31]有形成自生自储油气藏和在上覆层系中形成次生油气藏的可能,应予以重视^[32]。

3.3 西藏高原的两大含油气领域

3.3.1 以海相中生界为主体的断块

西藏高原发育 3 个为地壳缝合带分割的断块:羌塘、拉萨和喜马拉雅^[33]。众所周知,断块是相对稳定的地质体,沉积层发育且变形变质甚弱,是重要的含油气领域。但 3 个断块依次越往南油气保存条件越差,表现为在多次挤压叠加作用下产生了变形变质、后期大幅度隆升使目的层剥蚀、暴露或接近地表,油气保存条件向南逐渐变差,使喜马拉雅断块、拉萨断块(特别是其南部岗底斯岩浆岩带)油气丧失殆尽,因而勘探目标集中在羌塘地块,特别是其主体区北羌塘。

近年来羌塘区的地质研究取得了相当大进展,明确了该区沉积盖层至少起自奥陶系并建立了地层层序,明确了上、下古生界间,古生界与下三叠统间,上三叠统中上部的那底岗日组与上三叠统下部肖茶卡组间存在着区域性不整合^[34],发现了下白垩统海相油页岩及伴生的石膏层^[35]。进而系统绘制出重点目标层系上三叠统一下白垩统的古地理略图,分析了其生储盖组合。地球物理勘探的进展突出表现在某些实验性剖面上,取得了中生界中上部沉积层的有效反射,认为双程时间 4~6 s 的反射波可能为盆地基底反射、2~4 s 的反射波可能是中生界(或上三叠统)的底界反射,但其间(古生界)仍无法取得有效反射界面。在中生界少量品质较好的地震资料上取得了 12 个反射波组,但却无法确定其地质层位且在断层发育的情况下难以进行追踪对比。如果不能在面积上取得有效的地震勘探成果并认识其主要界面的地质特征,以中生界为对象的盆地石油地质概-普查就难以深入。

3.3.2 以陆相为主体的新生代裂谷系

在羌塘、拉萨和喜马拉雅 3 个断块北侧发育 3 条地壳缝合带,分别为可可西里—金沙江缝合带、班公

湖—怒江缝合带、雅鲁藏布江缝合带^[36]。地壳缝合带的开-合时间向南依次变新,可可西里—金沙江缝合带大约是在晚古生代初—早三叠世,多数学者认为班公湖—怒江缝合带及雅鲁藏布江缝合带是在晚三叠世—始新世初且在三叠纪—晚侏罗世经历了先东后西的剪刀式开合。新生代 3 大缝合带都经历了新的拉张,形成了裂谷系,发育了含有大套生储盖层系的古近系(如班公湖—怒江带的古新统一始新统牛堡组、渐新统丁青湖组),其后裂谷开始萎缩隆起。新近纪末和第四纪的喜马拉雅造山运动使区域处于挤压隆升状态。构造运动最强烈的高原南缘形成了世界屋脊并伴随直到新生界的强烈变形变质,继而形成雅鲁藏布江—印度河水系的强烈剥蚀下切和影响深度相当大的地下水氧化带,致使喜马拉雅裂谷系的新生界基本失去了油气保存条件。可可西里—金沙江、班公湖—怒江两条裂谷两侧可有逆冲推覆断裂带发育但其内部变形却很微弱^[37],有良好的油气保存条件,这在研究程度较高的班公湖—怒江裂谷系表现尤为明显。

回顾可可西里—金沙江、班公湖—怒江两条裂谷系油气发现史发现,它们都是基于很少量路线地质资料就获得了重要的地层和油气发现(包括油苗),确定了多个“含油气盆地”。伦坡拉盆地、尼玛盆地^[38]、中仓(洞错)盆地^[39-40]、阿翁错盆地等小盆地皆如此。班公湖—怒江裂谷系西段一系列发现及其南段中国云南至缅甸小盆地研究^[41]和油气发现,进一步验证了笔者提出的裂谷系上中小型盆地“长藤结瓜”的远景设想^[42]。可可西里—金沙江裂谷系发育一系列新生代断陷盆地的事实早已被确认,但最初发现的露头皆为红色粗碎屑岩。最新地质工作中新发现古新统一始新统风火山群、渐新统雅西措组存在暗色泥岩、泥灰岩,其中有中等—较好的烃源岩,雅西措组还发现了油页岩。重力、磁力勘探工作发现存在若干相间的次级隆起和坳陷,坳陷新生界最厚可达 4.8 km。近年来,柴达木盆地及邻区研究认为其周缘山脉(特别是东昆仑)隆升甚晚,柴达木南缘古近系若干组未见边缘相,近山缘仍可能存在生烃岩系并可能有工业油气^[43]。由此得出启示:在沉积环境类似的古新统准平原上发育的可可西里—金沙江裂谷系也应有较好的生烃条件,有必要对其加强基础地质研究。

通过对比西藏高原两大含油气领域发现:二者都有良好的油气勘探远景,需要进一步研究。应首先加强班公湖—怒江裂谷系西段的地质调查和包括电法、地震在内的综合物探,部署预探井(参数井)以求获

得突破性发现。同时持续进行对北羌塘和班公湖—怒江裂谷系东段、可可西里—金沙江裂谷系的研究，对北羌塘应加强对三叠系和古生界的认识。

3.4 以海相为主体的海上中生界油区

3.4.1 问题提出

截至 20 世纪末中国仅在渤海、东海、南海北部等大陆架的新生界实现了油气开发，不仅黄海未能突破，其他海域的深水区和前新生界也未获油气。新一轮的海上开拓就此入手。目前，研究发现南黄海中央隆起存在与相邻下扬子区陆上相似的中—古生界并肯定了其含油气远景^[44]，同时也提出应关注北部拗陷巨厚的中生界^[45]。南海北部大陆坡上的勘探已取得丰硕成果，不仅在深水—超深水区新圈出并初步评价了若干新的新生界盆地，而且在水深 1 500 m 左右的荔湾 3-1 地区实现了天然气开发重大突破^[45]。渤海、黄海已有丰富的地震、钻井资料显示，其中生界含油气性与相邻陆上类似^[46-53]，考虑到海上油气开发的高经济边际值，因而在陆上有重大进展后再向海上的该领域发展。综上，今后开拓海域新领域的重点为东海、南海的中生界。

3.4.2 东海、南海中生界发育规模

各海域在针对新生界的勘探中已取得了丰富资料，钻井和地震资料所确定的新生界底面非常准确。在其约束下利用最新的重力、磁力、水深等资料进行综合地球物理解释，所得到的中生界分布及其埋深、厚度可信度较高，反演推测的沉积层内火成岩分布也有一定参考价值。从目前工区所及的南海北部中段、东段（包括双峰南盆地全部、珠江口、台西南和台湾海峡的大部）到东海陆架盆地南部均有连片分布的中生界，其厚度约为 2~5 km。

3.4.3 中生界构造发育特点

中生界残余厚度等值线在南海北部主要呈北东东走向，在台湾海峡和东海南部呈北北东走向，与新生界构造线方向基本平行。与之相应，厚度增大区与减薄区亦呈条带状相间分布。从粤闽地区看，粤东粤北上三叠统良口群是一套发育在区域性平行不整合面上的浅海相含磷铁碳酸盐岩-碎屑岩建造，但其岩性、厚度变化很大，可由沉积中心的数百至上千米减薄为超覆区的数百、数十米。这种岩相厚度的急剧变化和沉积超覆现象在粤东下侏罗统下部的蓝塘群与邻区的金鸡组间也有发现^[54]，印支半岛和北加里曼丹也多有出现，而这些地区在南海未形成新生界洋壳前应是南海北部的邻区^[55]。这种急剧的变化说明其构造环境不是稳定的拗陷而是发育在构造旋回早期的隆坳相间的裂

谷。值得注意的是，在沉积区的边缘（如陆上的闽浙赣区）各套地层均以陆相为主，海相层系少且不典型，在分布上受断裂控制呈“指状”向北伸出，这也正是古构造上的裂谷的表现。

纵向上，晚三叠世—晚白垩世中期本区经历了一个完整的构造开合旋回，以中侏罗世末期为界可进一步分为两个亚旋回。构造旋回和亚旋回都经历了广覆沉积、晚期沉积盆地萎缩至隆起剥蚀阶段，但不同地区各阶段间的起止时间有所差异，每个拉张期沉降中心位置、沉积等厚线的方向以及挤压期隆起区分布和剥蚀程度都可能有一定变化，形成了复杂的构造发育历程。地区构造性质越稳定，旋回中期的拗陷沉积面积越广，厚度越大，横向变化越小，这些特点在南海和东海的渔山组，特别是福州组及相应地层表现最为典型。以目前的工作程度，对经历了剥蚀和深埋的中生代原型盆地隆坳分布、断陷和拗陷沉积的时空展布作明确分析很困难，这也是今后的研究方向。依靠粗略的地震资料可以在海上中生界内划分几大套反射层组，也可大致追踪划分出相应的地震层序，但在钻井很少且其本身地层划分仍有争议的情况下确定这些层序的时代并与陆上作准确对比非常困难。

需要特别说明的是，本区开合旋回结束于晚白垩世中期，上白垩统在性质上与上覆层系更相似而与下伏层系差别较大。中国许多地区以古近系为主体的地层后来底部多发现了白垩纪化石，南海北部相邻陆上的南雄群及相应地层即为典型。这种构造旋回起止时间与从生物演化角度划分的时代分界不完全吻合^[56]，本文前面讨论的北方晚古生代开合旋回延至早三叠世也是一例。

3.4.4 中生界古地理演化轮廓

中生代本区处于中特提斯洋与古太平洋交接处，南海北部受前者影响大，古构造线以北东东向为主；台湾海峡和东海受后者影响大，古构造线以北北东向为主^[55]，因而呈现出东南侧为深海或洋、西北侧为陆、中间（即现今东海陆架和南海北部陆架、陆坡）为宽阔的大陆边缘区的总体分布格局。中生代海侵的次数、海相层系的厚度及占总厚的比例总体由东南向西北方向减少（小）。这种格局与新生代古地理乃至现代地貌有相近之处，但总体上海侵波及范围比现代、更比新生代为大。

纵向上从研究较多且与东海、南海较密切的粤闽地区看有 3 次影响较大的海侵：第 1 次为晚三叠世，在其中晚期（相当于粤东的小水组和闽南的文宾山组沉积期）广东省中东部基本为广海区，以北北东向指

状北伸的龙岩海湾为主,使浅海-滨海相地层北达闽中;第2次为早侏罗世早期,虽然仅从浙闽陆上看波及范围相对晚三叠世变化不太大,但粤东蓝塘群中下部数度出现次深海相,结合其他特征认为这次海侵(特别是在东海)可能有更大影响。早白垩世沉积范围在陆上有萎缩之势,但从区域看仍有一次明显的海侵,即第3次海侵。台西中段的北港隆起井下见有化石(Neocomian世,或可能为Gallic世中期)证据的海相层系(云林组)。南海LF34-1-1井白垩系底部有近200 m厚的硅质岩夹细碧岩、灰黑色纹层状泥岩及泥质粉砂岩。不少学者将这套半深海—深海非补偿性沉积归为下白垩统—上侏罗统(笔者认为更可能为下白垩统)。东海盆地南部的FZ13-2-1井揭示上白垩统闽江组存在“受海侵影响的”潮坪相和湖泊相。浙江陆上象山“石浦灰岩”的礁相地层亦被认为可能是早白垩世海侵的产物^[47]。从初步资料看,受古太平洋影响,与南海出现白垩纪海退不同,东海可能出现主要来自东侧的海侵。

由于陆上出露的局限性和海上地震剖面间距过大、钻井稀少等原因,中生界的研究受到影响。近年的研究中以地球化学方法辅助鉴别海陆相地层取得了一些新认识。将海侵的认证与层序地层学方法相结合将会对石油地质研究作出更多贡献。需指出的是,从生烃角度而言不仅海相层系较好,许多湖相,特别是近海的深湖相亦可对生烃作出巨大贡献,亚洲东缘诸新生界盆地油气的研究充分证明了这点。

3.4.5 中生代强烈的岩浆活动

陆区地质和海域磁力及地震研究说明本区中生界有强烈的岩浆活动,平面上主要分布于浙闽隆起,次为东海陆架盆地西部和珠江口盆地潮汕拗陷一带。从火成岩形成时间看岩浆活动以晚侏罗世—早白垩世最强,且有从内陆向海域地层变新之势;从表现形式看侵入岩和火山岩都相当发育,后者常与沉积岩呈相变并有大量沉积-火山碎屑岩;从性质上看晚三叠世—早侏罗世以“双峰式”为主,而晚侏罗世—早白垩世以酸性为主,多认为前者反映板内拉张的大陆裂谷活动,后者则多与东侧存在燕山期地壳拼合洋壳俯冲相联系。无论是侵入岩还是火山岩的强烈活动都对油气产生相当的影响,给重、磁,特别是地震解释带来干扰。

综上所述,已经进行的工作可以表明:在南海北部大陆架—大陆坡、东海陆架盆地(至少是其南部、可能包括北部)新生界下大面积分布厚数千米的中生界,其中有远比陆上同期地层发育的海相、湖泊-沼泽相地层,已有的有机地球化学数据和油气显示说明其

有相当的生烃潜力,是一个值得大力开拓的新领域。目前应以大力加强海上地震工作为重点,在不断试验以取得深部有效信息的基础上继续加密地震测网,相机部署控制中生界的参数井。

3.5 非常规油气评价

应该说在第2次石油战略展开中,中国已在不同程度上开拓了非常规油气工作。20世纪80年代后期已钻成第1批煤层气井,并试采获工业煤层气流。其后在不同地质地区开展了类似工作,特别是在沁水盆地南部进行开发并铺设了专用管线。这些工作取得了经验,也暴露出妨碍其发展的多方面因素。值得讨论的是致密油气,确切的称谓应是致密储集层油气,储集层可包括碎屑岩、碳酸盐岩,甚至页岩、火山岩等,但实际工作中却仅指砂岩并简称为致密油(气)。国外(如美国)通常将致密油(气)归为非常规油(气),但在中国并不强调其非常规性,而是将其列入到探明储量平衡表^[57]。从这个角度而言,中国早已开始从事非常规油气开发。致密油气与煤层气、页岩气、页岩油开发都是从低孔、低渗层中采出油气,在技术上有若干相似之处,如都强调水平井的实施、压裂(包括分段压裂)改造,这些技术在中国已获普遍应用。因可以说中国在这类非常规油气开发技术上已有相当基础。从商业开发角度看,除致密油气外,近中期中国应特别注意非常规油气中的煤层气、页岩气、页岩油和可规模开采并综合利用的油页岩^[58]等。

非常规油气的开拓应首先在老油区进行,在中国这恰与经济较发达区大致吻合,其不仅有较好的基础设施而且有较好的市场条件。对于经济门槛较高的各类非常规油气的发展起步,这个前提相当重要。鉴于常规与非常规油气常常共生、伴生于同一地区的客观事实,对于新区开拓,在目前阶段其含油气远景评价不能仅限于常规油气还应包括非常规油气,特别是已可以投入开发的非常规油气资源。在一套含油气系统内,赋存于生烃层系内者为页岩气、页岩油、煤层气,而从中运移出去并聚集于好储集层(特别是同时有好圈闭时)便是常规油气。不同类型油气在三维空间上不仅可出现共生,也可存在伴生关系,美国沃斯堡盆地Barnett页岩最为典型。在煤系中煤层和暗色页岩、致密或非致密的砂岩灰岩可紧密共生,不同类型油气的综合评价、综合勘探开发更是必然^[58]。

4 结语

与以往工作相比,中国石油第3次战略展开有以

下几个特点：①开拓的对象中，海相生烃和赋存者占相当大比例；②目的层时代较老，中生界和上古生界居更重要地位，它们作为有效的勘探对象多深埋于中、新生界覆盖之下，因而成岩程度较高、岩性致密；③探索对象处于较活动的大地构造背景中，多为较小的断块，有研究认为至少其前身是相对活动的“褶皱带”，与之相应，岩浆活动的影响多比老油区大；④油气生成后经历过复杂的演化成藏过程，其中不乏破坏因素，油气保存条件在评价中居很重要的地位；⑤由于经历的古地温较高和/或现今埋深较大，其烃类热演化程度较高，致使天然气可能比油更重要；⑥与上述特点相应，在工作中要求有理论研究的新认识和更高的技术手段，要求工作中更紧密的产、学、研结合。

致谢：在本文写作过程中得到了查全衡、龚再升、李思田、高瑞琪等教授的帮助，谨在此表示诚挚的谢意。

参考文献：

- [1] 张抗, 董立, 温友建. 俄罗斯-前苏联石油产区的战略接替及其启示[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 148-158.
Zhang Kang, Dong Li, Wen Youjian. Strategic replacement of oil producing area in Russia-former Soviet Union and its enlightenment[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 148-158.
- [2] 胡文海, 陈冬晴. 美国油气田分布规律和勘探经验[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
Hu Wenhai, Chen Dongqing. The disperse pattern of oil-gas fields and exploration experience in US[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995.
- [3] 张抗, 周总瑛, 周庆凡. 中国石油天然气发展战略[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
Zhang Kang, Zhou Zongying, Zhou Qingfan. Petroleum development strategy in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [4] 张抗. 油气田的生命周期和战术战略接替[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
Zhang Kang. Life period of oil-gas fields and its tactics and strategy replacement[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [5] 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, 2011: 26-49.
Zou Caineng, Tao Shizhen, Hou Lianhua, et al. Geology of unconventional oil and gas[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011: 26-49.
- [6] 赵宗举, 罗家洪, 张运波, 等. 塔里木盆地寒武纪层序岩相古地理[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 937-948.
Zhao Zongju, Luo Jiahong, Zhang Yunbo, et al. Lithofacies paleogeography of Cambrian sequences in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 937-948.
- [7] 田美荣. 东营凹陷浅层油气成藏条件[M]. 北京: 地质出版社, 2011.
Tian Meirong. The formational conditions of shallow stratigraphic gas in Dongying depression[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [8] 周嘉红, 周瑞年, 管志强. 柴达木盆地东部第四系气源岩地化特征与生物气前景[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 30-36.
Zhou Zhuhong, Zhou Ruinian, Guan Zhiqiang. Geochemical properties of source materials and biogas prospects of the Quaternary gas in east of Qaidam Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(2): 30-36.
- [9] 吕华. 中国石油天然气的勘查与发现[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
Lü Hua. Prospecting and discovery of oil and gas in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [10] 《当代中国丛书》编辑委员会. 当代中国的石油工业[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1988: 1-65.
Editorial Committee of Modern China Series. Petroleum industry in modern China[M]. Beijing: Society Science Press, 1988: 1-65.
- [11] 邱中建, 龚再升. 中国油气勘探: 第一卷[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 50-109.
Qiu Zhongjian, Gong Zaisheng. Petroleum exploration in China: Vol. 1[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999: 50-109.
- [12] 张抗. 塔里木: 我国油气的战略接替区[J]. 地质科技管理, 1990(6): 19-21.
Zhang Kang. Tarim Basin: The area of oil-gas strategy replacement in China[J]. Management Geological Science and Technology, 1990(6): 19-21.
- [13] 张抗. 塔河油田性质和塔里木碳酸盐岩油气勘探方向[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 1-6.
Zhang Kang. The characteristics of Tahe oilfield and oil-gas exploration direction in the carbonates of Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 1-6.
- [14] 张抗. 我国海上油气勘探战略问题的探讨[J]. 中国海上油气: 地质, 1990, 4(2): 43-48.
Zhang Kang. Approaching to strategic problem of China offshore oil and gas exploration[J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1990, 4(2): 43-48.
- [15] 乔德武, 任收麦, 邱海峻, 等. 中国油气资源勘探现状与战略选区[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 187-196.
Qiao Dewu, Ren Shoumai, Qiu Haijun, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area, in China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 187-196.
- [16] 张文佑, 钱祥麟, 张抗, 等. 中国及邻区海陆大地构造[M]. 北京: 科技出版社, 1986: 57-330.
Zhang Wenyu, Qian Xianglin, Zhang Kang, et al. Marine and continental geotectonics of China and its environs[M]. Beijing: Science Press, 1986: 57-330.
- [17] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian. Subdivision of tectonic in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1-28.
- [18] 唐晓川, 卢苗安, 付志方, 等. 新疆二叠纪泛准噶尔超级湖盆之商榷[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1115-1116.
Tang Xiaochuan, Lu Miaoan, Fu Zhifang, et al. Permian Pan-Junggar megalack basin in Xinjiang, China: A discussion[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9/10): 1115-1116.
- [19] 张抗. 中国大北方上古生界油气勘探新领域[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 803-810.
Zhang Kang. New domain of Upper Paleozoic hydrocarbon

- exploration in "Large North" of China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 803-810.
- [20] 张抗. 断块开合大地构造说[C]//北京大学地质系. 北京大学国际地质科学学术研讨会论文集. 北京: 地震出版社, 1998: 66-74.
Zhang Kang. A theory of fault-block and opening-closing tectonics[C]//Geology Department of Peking University. Collected works of international symposium on geology. Beijing: Seismology Press, 1998: 66-74.
- [21] 和政军, 许志琴, 杨经绥, 等. 柴达木盆地北缘小赛什腾山晚古生代放射虫的发现及意义[J]. 地质通报, 2002, 21(3): 156-157.
He Zhengjun, Xu Zhiqin, Yang Jingsui, et al. Discovery and significance of the Paleozoic radiolaria in the Xiao Saishiteng Mountains on the north margin of Qaidam Basin[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(3): 156-157.
- [22] 甘贵元, 尹成明, 潘洪峰, 等. 柴达木盆地古生界油苗的发现及地质意义[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(6): 693-695.
Gan Guiyuan, Yin Chengming, Pan Hongfeng, et al. Discovery and its geological significance of oil seepage of Palaeozoic in Qaidam Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(6): 693-695.
- [23] 卢进才, 陈高潮, 魏仙样, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系—二叠系沉积建造与生烃条件[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 811-826.
Lu Jincai, Chen Gaochao, Wei Xianyang, et al. Carboniferous-Permian sedimentary formation and hydrocarbon generation conditions in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 811-826.
- [24] 王成文, 马志红, 孙跃武, 等. 晚古生代海相地层: 东北地区油气勘探的一个新层系[J]. 世界地质, 2008, 27(2): 113-118.
Wang Chengwen, Ma Zhihong, Sun Yuewu, et al. Late Paleozoic marine strata: A new layer for oil-gas exploration in Northeast China[J]. Global Geology, 2008, 27(2): 113-118.
- [25] 韩伟, 姜亭, 李玉宏, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠系烃源岩热演化与油气的关系[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 911-916.
Han Wei, Jiang Ting, Li Yuhong, et al. The relationship between the thermal evolution of Permian source rocks and oil and gas in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 911-916.
- [26] 周建波, 张兴洲, 马志红, 等. 中国东北地区构造格局和盆地演化[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 530-538.
Zhou Jianbo, Zhang Xingzhou, Ma Zhihong, et al. Tectonic framework and basin evolution in Northeastern China[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 530-538.
- [27] 崔永谦, 刘喜恒, 孙朝辉, 等. 内蒙古二连盆地深层地球物理特征和上古生界的地质结构[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 235-242.
Cui Yongqian, Liu Xiheng, Sun Zhaohui, et al. The deep physical geographic characteristics and Neopaleozoic geological structural of Erlan Basin, Inner Mongolia, China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 235-242.
- [28] 魏建设, 卢进才, 陈高潮, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠系埋汉哈达组烃源岩生物标志化合物的特征及意义[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 904-910.
Wei Jianshe, Lu Jincai, Chen Gaochao, et al. Biomarker characteristics of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejina Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, and their significance[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(6): 904-910.
- [29] 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布与含油气系统[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(4): 397-408.
He Dengfa, Chen Xinfu, Kuang Jun, et al. Distribution of Carboniferous source rocks and petroleum systems in the Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(4): 397-408.
- [30] 达江, 胡咏, 赵孟军, 等. 准噶尔盆地克拉美丽气田油气源岩特征及成藏分析[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 187-192.
Da Jiang, Hu Yong, Zhao Mengjun, et al. Features of source rock and hydrocarbon pooling in the Kelameili gasfield, the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 187-192.
- [31] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766.
Wang Jinghong, Jin Jiuqiang, Zhu Rukai, et al. Characters and distribution patterns of effective reservoirs in the Carboniferous volcanic weathering crust in northern Xinjiang[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 757-766.
- [32] 任收麦, 乔德武, 张兴洲, 等. 松辽盆地及外围上古生界油气资源战略选区研究进展[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 197-204.
Ren Shoumai, Qiao Dewu, Zhang Xingzhou, et al. The present situation of oil & gas resources exploration and strategic selection of potential area, in the Upper Paleozoic of Songliao Basin and surrounding area, NE China[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(2/3): 197-204.
- [33] 王剑, 丁俊, 王成善, 等. 青藏高原油气资源选区调查与评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, et al. Investigation and appraise on oil & gas resources selection of potential area in Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [34] 付修根, 王剑, 汪正江, 等. 藏北羌塘盆地上三叠统那底岗日组与下伏地层沉积间断的确立及意义[J]. 地质评论, 2007, 53(3): 329-336.
Fu Xiugen, Wang Jian, Wang Zhengjiang, et al. Identification of sedimentary gap between the Late Triassic Nadi Kangri Formation and its underlying strata in the Qiangtang Basin, Northern Xizang (Tibet) and its geological significance[J]. Geological Review, 2007, 53(3): 329-336.
- [35] 王剑, 付修根, 杜安道, 等. 羌塘盆地胜利河相油页岩地球化学特征及 Re-Os 定年[J]. 海相油气地质, 2007, 12(3): 21-24.
Wang Jian, Fu Xiugen, Du Andao, et al. Organic geochemistry and Re-Os dating of marine oil shale in Shenglihe area, Northern Tibet, China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2007, 12(3): 21-24.
- [36] 李亚林, 黄继军, 王成善. 羌塘盆地构造改造强度划分与油气远景区分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(4): 11-16.
Li Yalin, Huang Jijun, Wang Chengshan. Division of the tectonically reworked areas and delineation of the favourable areas for hydrocarbon accumulation in the Qiangtang Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25(4): 11-16.
- [37] 吴珍汉, 叶培盛, 胡道功, 等. 青藏高原羌塘盆地南部古近纪逆冲下推覆构造系统[J]. 地质通报, 2011, 30(7): 1009-1016.
Wu Zhenhan, Ye Peisheng, Hu Daogong, et al. Paleogene thrust system in southern Qiangtang Basin, central Tibetan Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(7): 1009-1016.
- [38] 蒋忠惕, 张家强, 王德杰. 西藏尼玛地区油气显示的发现及其意义[J]. 地质通报, 2006, 25(9/10): 1189-1193.

- Jiang Zhongti, Zhang Jiaqiang, Wang Dejie. Discovery of oil-gas shows in the Nyima area, Tibet, China and its significance[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9/10): 1189-1193.
- [39] 刘玉法, 李亚林, 孙忠军. 西藏洞错地堑构造及其对油气的影响[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(1): 50-53.
- Liu Yufa, Li Yalin, Sun Zhongjun. The Dongcuo graben structures and effects on the oil and gas preservation in the Tuonamu region, Xizang[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(1): 50-53.
- [40] 王冠民. 西藏措勤盆地郎山组沉积特征及其石油地质条件[J]. 地球学报, 2001, 22(1): 38-42.
- Wang Guanmin. Depositional features and petroleum geological conditions of Langshan Formation in Cuoben Basin, Tibet[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(1): 38-42.
- [41] 王大锐, 张抗. 云南地区新生代盆地含油气性[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- Wang Darui, Zhang Kang. Oil and gas of Cenozoic Era basins in Yunnan area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [42] Zhang Kang. Petroleum prospect and exploration strategy[J]. China Oil and Gas, 2000, 2(2): 14-17.
- [43] 任收麦, 葛肖虹, 杨振宇, 等. ^{36}Cl 断代法应用于青藏高原末次快速隆升的构造事件研究[J]. 地质学报, 2006, 80(8): 1110-1117.
- Ren Shoumai, Ge Xiaohong, Yang Zhenyu, et al. Application of ^{36}Cl -dating to the last rapid uplift of the Tibet Plateau[J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(8): 1110-1117.
- [44] 张海启, 陈建文, 李刚, 等. 地震调查在崂山隆起的发现及其石油地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(3): 108-113.
- Zhang Haiqi, Chen Jianwen, Li Gang, et al. Discovery from seismic survey in Laoshan Uplift of the South Yellow Sea and the significance[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2009, 29(3): 108-113.
- [45] 曲希玉, 刘立, 陈建文, 等. 南黄海盆地北部坳陷白垩系沉积特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(4): 443-448.
- Qu Xiyu, Liu Li, Chen Jianwen, et al. Sedimentary characteristics for the Cretaceous strata in the northern depression of the South Yellow Sea Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(4): 443-448.
- [46] 蔡东升, 冯晓杰, 高乐, 等. 中国近海前第三纪残余盆地及其勘探潜力与方向[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 1-16.
- Cai Dongsheng, Feng Xiaojie, Gao Le, et al. Petroleum potential and exploration direction of Pre-Tertiary residual basin offshore[J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(1): 1-16.
- [47] 徐北煤. 我国东部海相白垩统的发现及其地质意义[J]. 东海海洋, 1991, 9(1): 38-43.
- Xu Beimei. The revelation of marine lower Cretaceous series in east area of China and its geological significance[J]. Donghai Marine Science, 1991, 9(1): 38-43.
- [48] 王国纯. 中国东部海域中生界地质特征及含油气前景[J]. 中国海上油气: 地质, 1994, 8(2): 91-98.
- Wang Guochun. Geological characteristics and hydrocarbon prospect of Mesozoic in sea area of Eastern China[J]. China Offshore Oil and Gas: Geology, 1994, 8(2): 91-98.
- [49] 蔡乾忠. “残留特提斯”的猜想: 从中国近海域发现海相中生界—古新统谈起[J]. 中国地质, 1998(4): 39-41.
- Cai Qianzhong. Conjecture on “relic Tethys”: Study from discovery adjacent marine waters Mesozoic-Palaeocene[J]. Chinese Geology, 1998(4): 39-41.
- [50] 姚伯初, 曾维军. 南海北部陆缘东部中生代沉积的地震反射特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(1): 81-90.
- Yao Bochu, Zeng Weijun. Seismic reflective characteristics of Mesozoic sediments on the eastern continental margin in the North of South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1995, 15(1): 81-90.
- [51] 刘光鼎, 宋海斌, 张福勤. 中国近海前新生界残留盆地初探[J]. 地球物理学进展, 1999, 14(3): 1-8.
- Liu Guangding, Song Haibin, Zhang Fuqin. A preliminary study of Chinese offshore Pre-Cenozoic residual basins[J]. Progress of Geophysics, 1999, 14(3): 1-8.
- [52] 夏戡原, 黄慈流. 南海中生代特提斯期沉积盆地的发现与找寻中生代含油气盆地的前景[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 227-238.
- Xia Kanyuan, Huang Ciliu. The discovery of Meso-Tethys sedimentary basins in the South China Sea and their oil and gas perspective[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 227-238.
- [53] 郝沪军, 汪瑞良, 张向涛. 珠江口盆地东部海相中生界识别及分布[J]. 中国海上油气, 2004, 16(2): 84-88.
- Hao Hujun, Wang Ruiliang, Zhang Xiangtao. Mesozoic marine sediment identification and distribution in the Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2004, 16(2): 84-88.
- [54] 汪啸风, 陈孝红. 中国各地质时代地层划分与对比[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Wang Xiaofeng, Chen Xiaohong. Stratigraphic division and correlation of each geologic period in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [55] 周蒂, 孙珍, 陈汉宗, 等. 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演化[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 204-218.
- Zhou Di, Sun Zhen, Chen Hanzong, et al. Mesozoic lithofacies, paleogeography, and tectonic evolution of the South China Sea and surrounding areas[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 204-218.
- [56] 张文佑, 张抗. 从构造运动谈地质年代代表的划分[J]. 地质科学, 1983, 18(4): 338-344.
- Zhang Wenyu, Zhang Kang. A discussion on the geological time scale in the light of tectonic movements[J]. Chinese Journal of Geology, 1983, 18(4): 338-344.
- [57] 张抗, 张文长. 中国天然气统计预测中的若干问题探讨[J]. 天然气工业, 2012, 32(1): 6-12.
- Zhang Kang, Zhang Wenchang. Issues in statistical work and forecast of natural gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(1): 6-12.
- [58] 张抗. 在页岩气发展中重视综合勘探开发[J]. 当代石油石化, 2010, 18(7): 6-8.
- Zhang Kang. Attaching great importance to integrated exploration and production in shale gas development[J]. Petroleum and Petrochemical Today, 2010, 18(7): 6-8.

作者简介: 张抗 (1940-), 男, 山东费县人, 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院教授级高级工程师, 主要从事石油地质、油气战略研究。地址: 北京市海淀区学院路 31 号, 中国石化石油勘探开发研究院, 邮政编码: 100083。E-mail: zhangkang.sky@sinopec.com

收稿日期: 2012-03-05 修回日期: 2012-07-28

(编辑 黄昌武)