新近纪以来中国构造演化特征与天然气田的分布格局

王庭斌

(中国石化 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘 要:中国地处三大板块间的三角地带,是世界上新近纪以来构造运动活跃地区之一,与油气成藏及保存条件相关的主要特征是:(1)在西部,古老造山带的重新活跃,在其前缘形成前陆盆地及逆冲构造,新近纪以来的急剧沉降、快速沉积,促进了深部源岩有机质的演化进程,也为生物气藏的形成创造了有利的地质条件;(2)多期次的构造-热事件及高热流值促进了有机质的快速演化、成藏,以及异常高压及泥拱等特殊构造的形成;(3)多期次构造运动为油气的快速运聚、幕式充注成藏提供了优质输导系统,为超晚期快速成藏提供了储聚场所;(4)大断裂、岩浆及深部热流体的活动,不仅促进有机成因油气藏的形成,也是无机成因气的主要释放和聚集时期。新近纪以来构造演化特征在西部影响最广泛,也最深刻,形成的前陆盆地是中国重要天然气聚集区之一,是这些盆地本部气藏最终形成、定型时期,并在造山带内形成了近百个小型断陷盆地,形成了新的油气勘探领域。在中部,是四川盆地所有气田最终的形成、定型时期;在鄂尔多斯盆地促进了靖边至乌审旗地区天然气进一步富集。在东部,渤海海域形成一批大中型油气田,促进了其他盆地(坳陷)不同成因气藏的形成;在近海海域,既促进了有机成因气藏快速形成,也促进了无机成因非烃气藏以及无机与有机成因天然气的混源,形成了独具特色的成藏模式。以气田主要形成、定型的关键时期为主总结中国天然气的成藏历程,新近纪以来中国特定的地质环境,以及天然气极易运聚、散失的特点,大多数气田最终形成、定型于新近纪—第四纪,表明了新近纪以来中国的构造演化历史对天然气田(藏)的分布格局有重要意义。

关键词:中国;新近纪以来;构造演化特征;天然气;分布格局

中图分类号:P618.13 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2321(2004)04-0403-14

1 新近纪以来的构造演化背景

新近纪以来是全球地壳形变与造山运动发展演化重要的地质阶段[1],中国地处三大板块间的三角地带,由于印度板块与欧亚板块的碰撞和随后沿西瓦利克带的陆内俯冲和西太平洋的菲律宾海板块北北西向俯冲[2,3],喜马拉雅山脉快速形成,青藏高原迅速隆升,致使周边老造山带重新活跃,一些断裂系重新活动以及多次强烈的构造运动和构造-热事件波及了中国大陆的各构造单元[3~6]。中国是世界上新近纪以来构造运动最活跃地区之一,这些构造运动对中国自然地理、环境、自然灾害有深刻影响,也对许多矿藏的形成有重要影响。过去,因为较多地看到了它们对我国油气矿藏破坏作用的一面[7,8],并认为"新近纪以来"在地质历史长河中的时间很短,对油气藏形成及分布格局作用比较局限,故研究甚少。

2 与油气藏形成有关的构造演化特征

近年来在渤海湾盆地渤中坳陷新近系发现了一批大中型油田,在塔里木盆地库车前陆盆地发现了一批大中型气田,对其进行综合分析发现这些油气田都形成于新近纪以来的构造运动,石油地质学家开始认识到新近纪以来构造演化对油气藏形成与分布格局具有重要意义。

收稿日期:2004-03-20;**修订日期**:2004-07-02

基金项目:国家"十五"科技攻关课题"我国油气工业上游发展战略研究"(2001BA605A-1)

作者简介:王庭斌(1936—),男,教授级高工,长期从事天然气地质研究。E-mail:wangtingbin@pepris.com

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

新近纪以来的构造演化特征表现在许多方面,其中与油气成藏及保存条件相关的主要特征是:(1)古老造山带的重新活跃,在其前缘形成一系列前陆盆地及逆冲构造,形成了新的油气勘探领域;(2)新近纪以来的急剧沉降、快速沉积促进了深部源岩有机质的演化进程,也为一些盆地生物气藏的形成创造了有利的地质条件;(3)多期次的构造-热事件及高热流值既促进了有机质的快速演化和异常高压的形成,使其快速进入生气高峰,也促进了一些盆地深部泥拱等特殊构造的形成和独具特色的天然气成藏机制;(4)多期次构造运动为油气的快速运聚、幕式充注成藏提供了优良输导系统,形成的多种类型圈闭为超晚期快速成藏提供了储聚场所;(5)一些大断裂及岩浆的进一步活动,促进了深部热流体的运动和无机成因气体释放和聚集,使中国天然气普遍具有多种成因天然气混源和晚期、超晚期成藏为主的特征[9]。

中国有近200个纯气田和近200个油气田,分布在多个不同类型的盆地。由于盆地所处大地构造位置的不同,盆地基底结构的差异,以及天然气在地质环境中呈气态存在,天然气聚集成藏和被破坏的速度比石油快得多[10],新近纪以来的构造演化在中国主要含气(油)盆地中对天然气成藏与保存的作用也各具特色。以气藏形成、定型关键时期与新近纪以来构造演化关系为主线,中国天然气的成藏历程可归为:超晚期(第四纪)生烃成藏型;晚期(古近纪—新近纪)生烃成藏型;早期(中生代为主)生烃聚集、晚期超晚期(新近纪—第四纪)定型成藏型;早期(中生代为主)生烃成藏型四类[11](图1)。

超晚期(第四纪)生烃成藏型的气藏从主生气高峰至气藏形成都与这些盆地(坳陷)第四纪的构造运动及其演化历史密切相关。它除了柴达木盆地三湖区的生物气以外,有海域的莺琼盆地以及西部塔里木盆地的库车、塔西南坳陷的气田;晚期(古近纪—新近纪,以新近纪为主)生烃成藏型气藏的生烃-成藏过程虽从古近纪开始,但许多气藏最后形成、定型于新近纪,都与新近纪的构造运动及演化历史密切相关。例如东海西湖凹陷、准噶尔盆地南缘的气田;早期(中生代为主)生烃聚集、晚期超晚期(新近纪—第四纪)定型成藏型的气藏,虽然主生烃期较早(中

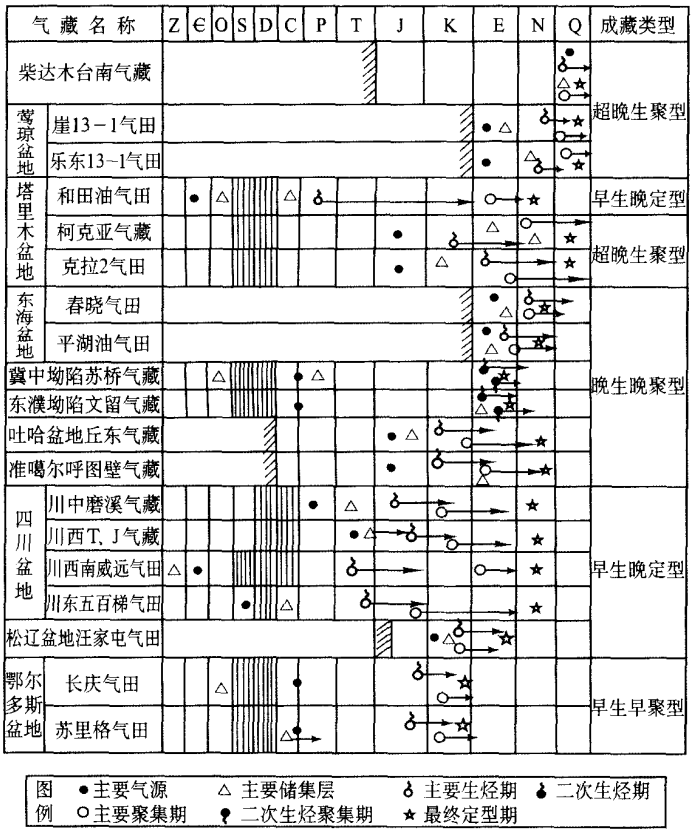


图1 中国天然气成藏类型

Fig. 1 Reservoiring types of natural gas in China

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生代) ,但气藏最终定型也与这些盆地(坳陷) 新近纪以来的构造运动及演化历史密切相关。如四川盆地、塔里木盆地及松辽盆地的部分气田;早期(中生代为主) 生烃成藏型气藏,虽然主要生烃成藏过程是在中生代,但也受制于新近纪以来的构造演化历史,如鄂尔多斯盆地古生界气藏。因此,新近纪以来中国构造运动及发展演化历史对于气藏形成及分布有不可忽视的重要作用。由于所处大地构造位置的不同,在各含气区对气田(藏) 形成及分布的影响各具特色。

3 对气田(藏) 形成、分布的影响

3.1 西部含气区

3.1.1 形成新的含气领域

新近纪以来青藏地区强烈的地壳隆升和增厚,带动了外围不同时期形成的山系重新复活[4,5,12],在这些山系的前缘(盆岭之间) 形成的前陆盆地[13,14],沉积了巨厚的新近纪—第四纪磨拉斯建造[4,15],促进了深部中生界源岩的成熟;伴随着山系的隆升,向前陆盆地产生了强烈的挤压,形成了一系列冲断背斜及多次不整合间断,为前陆盆地油气的储存、运聚、成藏提供了有利的地质条件,形成多种构造圈闭和晚期、超晚期成藏的油气田[16,17]。库车坳陷、塔西南坳陷是伴随着新近纪以来天山、昆仑山造山带重新活动所形成的前陆盆地[18],中生代—古近纪沉降速率分别为 10～30 m/ Ma 和 5～20 m/ Ma,新近纪开始了快速沉降,N_1 的沉降速率为 100 m/ Ma,N_2—Q 的沉降速率更高达 1 000 m/ Ma[15](图 2),它促进了深部侏罗系源岩有机质的快速演化,生成大量的油气,并迅速地运移至上覆地层的有利圈闭中聚集成藏。由于生烃与聚集过程都十分迅速,保存持续的时间极短,目前仍处于聚集量大于散失量的成藏青壮年期,所形成的气田储量都较大。在库车前陆盆地中现已发现了一批大中型气田,其中克拉 2 气田为我国目前最大的气田,气田的丰度高达 59 $\times 10^8$ m^3/ km^2[18,19];在塔西南及准南前陆盆地也分别发现了柯克亚、呼图壁大中型气田,西部前陆盆地成为我国重要的新的含气领域。西部前陆盆地不仅有极好的天然气前景,还有一定的找油前景。库车前陆盆地西部却勒构造却 1 井,于古近系巴什基齐克组日产油 76 m^3。

库车前陆盆地的喜马拉雅运动主要有三期:渐新世末、上新世末和早更新世末。其构造变形强度依次由弱变强,于早更新世末达到高峰,是区内构造的主要形成与定型时期。与成藏期相关资料表明区内气田均形成于 6～1 Ma[19],上新世末至早更新世末是区内油气藏形成与异常高压形成的主要时期[20](图 3);塔西南前陆盆地柯克亚凝析气田由于构造形成于新近纪晚期—第四纪早期,定型于第四纪中晚期(中更新世—全新世)[21],表明了我国西部前陆盆地中油气藏的形成都与新近纪以来前陆盆地的形成、发展演化历史密切相关。

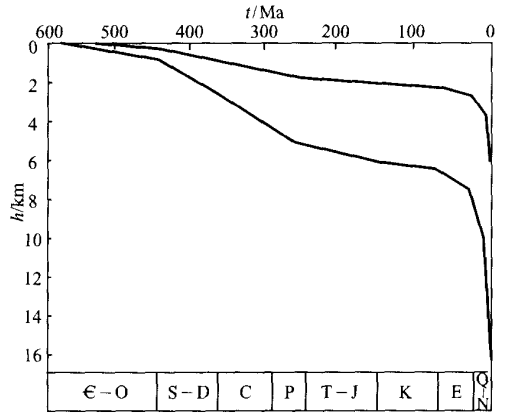


图 2 塔西南前陆盆地沉降速率曲线

Fig. 2 Subsidence rate of foreland basin in southwestern Tarim basin

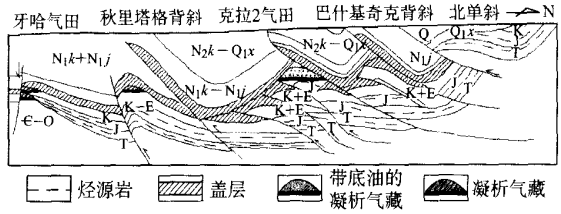


图 3 库车前陆盆地气藏剖面示意图[19]

Fig. 3 Schematic cross section of gas pools in Kuqa foreland basin

在河西走廊诸盆地(酒西、酒东、民乐等) 也由于青藏高原的大幅度隆升,带动了老造山带的重新活动,在其前缘形成了前陆盆地,堆集了新近纪—第四纪的粗碎屑和磨拉石沉积建造。由于老造山带的重新活动,形成了与冲断带有关的大型构造圈闭,近年来在酒西盆地祁连山山前冲断带发现的窟窿山大油田探明储量可望达到亿吨级。窟窿山逆冲距离 > 10 km,在冲断带的前缘,下白垩统内发育了一系列叠瓦状逆断层,使盆地内下白垩统中沟组(K_1z) 及其以上地层抬升,与沿中沟组顶部石膏层产生的反冲断层构成三角带,成为石油聚集的有利场所(图 4)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

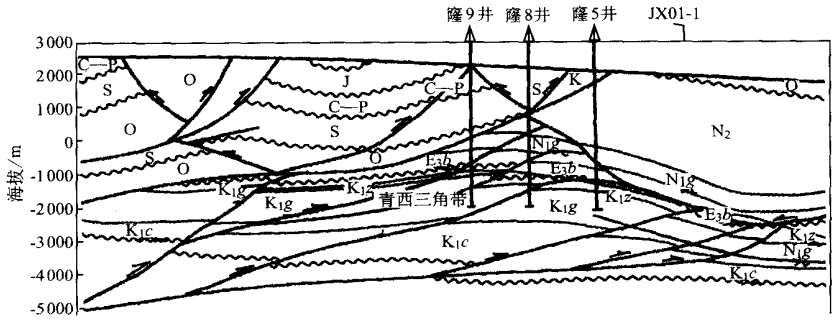


图4 酒西坳陷窟窿山逆冲构造带地质剖面

Fig. 4 Geologic cross-section of Kulongshan thrust structural belt in Jiuxi depression

窟窿山油田的发现不仅揭开了在我国西部前陆盆地逆冲断裂带中找油的序幕,也进一步深化了新近纪以来的构造运动及其发展演化历史与西部油气藏形成的密切关系。

大量的实际资料表明,西部气区诸盆地的快速沉降和前陆的发展历史是与青藏高原的快速上升完全同步,互呈明显的对应关系[15]。因此,青藏高原的发展演化历史对于进一步研究我国西部前陆盆地油气的成藏与分布有重要意义。

3.1.2 盆地本部气藏的主要形成与定型时期

柴达木、塔里木、准噶尔、吐哈盆地本部油气藏的形成也部分地受制于新近纪以来的构造运动。柴达木盆地三湖坳陷生物气藏群完全是第四纪构造运动的产物已无需论述。塔里木盆地是一个经历了多期构造演化、改造的复合型克拉通盆地,除了北部的库车及南部塔西南前陆盆地外,盆地本部以雅克拉、和田河气田为代表的一批以下古生界为源岩的气田都经历了早期(中、古生代)油藏与晚期(古近纪以来)转变为气藏的成藏演化过程,并最终形成定型于新近纪以来的构造运动[22]。和田河气田是塔里木盆地以古生界为气源的大型气田,早古生代烃源岩在晚加里东期—早海西期进入主生油阶段,于二叠纪末期开始进入高—过成熟的热演化阶段。但是由于圈闭构造最终形成、定型于新近纪中新世末期强烈左旋的挤压作用,气田形成的时间很晚,属超晚期(新近纪以后)形成的大型气田。周兴熙等对塔里木盆地以下古生界为源岩,储集于不同地层、不同构造单元凝析气藏的研究也证实了这些凝析气藏均最终形成、定型于新近纪,甚至第四纪[23](表1)。

3.1.3 造山带内形成一批小型含气(油)盆地

喜马拉雅运动还在西部造山带内部或缝合线附近形成了一系列古近纪—第四纪的小型盆地,这些盆地发育的时间很短,并受到了一定程度的剥蚀,不具有油气大量生成演化和聚集的地质条件,但其中的少数盆地获得了工业油气流。如天山造山带内的焉耆盆地,由于新近纪以来天山造山带的重新活动形成了山间断陷盆地,新近纪地层巨厚,促进了深部侏罗纪煤系源岩的成熟,并为油气的运聚提供了有利的圈闭与输导系统,现已发现4个含油气区块,形成了宝浪、本布图油田,获探明石油地质储量 > 4×10^7 t(图5);位于三江褶皱系中段的景谷盆地,是发育在强烈隆升带中的新近纪微型断陷盆地,盆地残留面积仅88 km^2,但新近纪陆相含煤沉积的厚度高达2 400 m。中新统三号沟组主要源岩累计最大厚度为1 016 m,泥岩中的有机碳(平均)1.8%,总烃含量高达2.8×10^{-2},具有一定的油气前景,已发现的大牛圈油田,虽然含油面积仅1.84 km^2,但油层最大厚度达十余米,已探明含油面积0.3 km^2,探明地质储量达41×10^4 t,储量丰度为137×10^4 t/ km^2。据地化资料为未熟—低熟油气[24];位于西藏班公湖—怒江缝合线附近的伦坡拉盆地也在古近系中获得

表1 塔里木盆地气藏(古生代源岩)形成期

Table 1 Comprehensive chart of formation periods of gas reservoirs (with Paleozoic source rocks) in Tarim basin

气藏	层位	成藏时埋深/m	成藏时温度/℃	成藏时期
塔中1	O	3 500	100.5	上新世
塔中6	C_3	3 460	99.6	上新世
塔中402	C_3	3 590	102.5	第四纪初
沙15	K_1	4 320	114.0	上新世
轮南22	C	4 500	103.5	上新世
轮南59	C_3	4 504	103.5	上新世
轮南58	T_2	4 014	92.3	上新世
解放100	T_2	4 105	101.4	上新世
轮南101	T_1	4 531	113.2	上新世

注:据周兴熙资料[23]修改。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

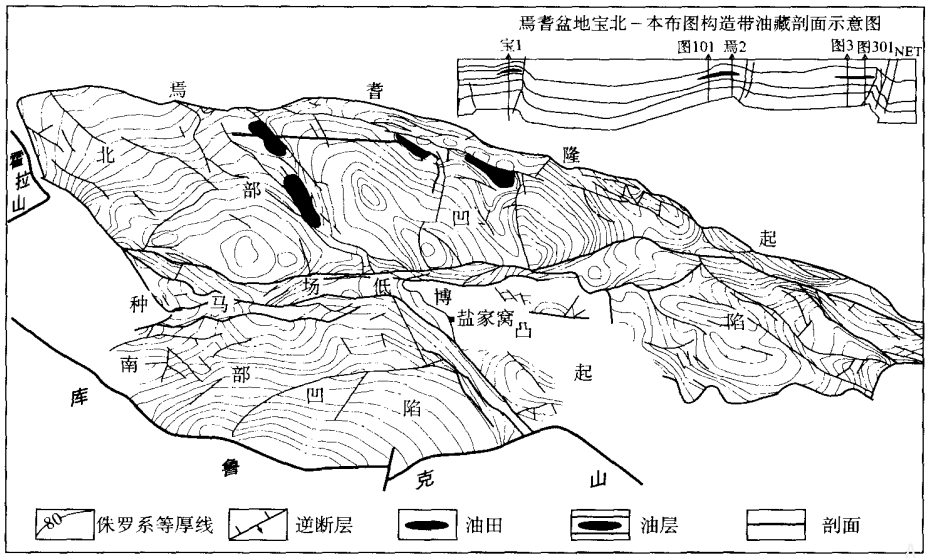


图 5 焉耆盆地油气藏分布综合图

Fig. 5 Distribution of oil and gas reservoirs in Yanqi basin

表 2 四川盆地泸州古隆起区构造嘉陵江组一段含气情况表

Table 2 Gas reservoirs in the 1st member of Jialingjiang Fm in Luzhou paleohigh area , Sichuan basin

气田名称	构造闭合度/ m	汽水界面海拔/ m	气藏高度/ m	气藏充满程度/ %	古隆起部位	剖面方向
阳高寺	440	- 1 100	460	100	核部	N→S
付家庙	320	- 1 100	220	70	翼部	N→S
庙高寺	145		> 145	100	翼部	N→S
高木顶	440	- 55	50	11	边部	N→S
官渡塘			0	0	边部	N→S
合江南高点	260	- 1 850	100	38	翼部	W→S
塘河	1 100	- 900	75	7	边部	W→S
石龙峡	1 450		200 ±	12	边部	W→S
东溪	700	翼部	60	8	边部	W→S

了低产量的工业油流。目前这类含油气盆地在中国油气储量上所占的份额很小,但在中国西部造山带中还有近百个与焉耆、景谷、伦坡拉有相似地质特征的盆地,也有可能形成有工业价值的油气,并对研究青藏高原发展演化与我国中西部油气地质特征有特殊的意义。

3.2 中部含气区

3.2.1 四川盆地气田最终定型的关键时期

四川盆地的气藏都经历了两期以上的聚集成藏历程[25,26]:第一期是以不同时期形成的古隆起、古背斜为中心,在古隆起区及其周缘形成古油气藏,如川南的泸州古油气藏(主要形成于晚侏罗世—白垩纪)、川东的开江古油气藏(主要形成于晚三叠世—侏罗纪)。这些古油气藏含油气面积大,总量也大,但聚集丰度不高,并未形成具有工业价值的油气藏;第二期是在新近纪以后的构造运动,在四川盆地形成了数百个不同类型的构造圈闭以后,天然气才进一步聚集到各类构造圈闭之中,形成具有工业价值的气藏[27]。在原泸州古气藏区及其周缘、原开江古油气藏区及其周缘形成了数十个以各类背斜为主要圈闭的气田,形成了川南气区和川东气区。虽然这些气区现今探明的天然气储量明显少于原有古油气藏,但每一个气田的储量丰度明显增大,并普遍形成高产,形成具有工业价值的气藏,其中少数气藏的储量超过 500 $\times 10^8 m^3$,成为大型气田。在川南气区还可以看到气藏的充满度从古隆起顶部至翼部明显减小(表 2),表明了虽然四川盆地气田的成藏历程较长,但成藏的关键时刻是新近纪以来各类背斜形成

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

之后,四川盆地数以百计的各类气藏均最终形成、定型于新近纪以来的构造运动[28]。

由于四川盆地紧邻青藏高原,青藏高原的一切构造活动对四川盆地必将产生显著影响。据李勇等的资料(图6),在第四纪,受喜马拉雅山脉形成和青藏高原快速隆升侧向挤压的影响,龙门山再次向四川盆地发生快速逆冲挤压作用,不仅形成了成都第四纪类前陆盆地,川西地区也伴随有明显的构造形变,更新世以下地层发生强烈变形[29],中、下更新统之间呈明显的角度不整合,龙门山逆冲挤压作用强烈,彭灌杂岩体上升至地表遭受剥蚀。受这次构造事件的影响,川西坳陷近南北向和北北东向构造开始形成;在中更新世末发生的新构造运动,龙门山进一步逆冲,并在龙门山前山带形成了众多滑覆构造——彭灌飞来峰群,有的直接覆盖在第四系砾岩层之上[30],盆地内早期形成的构造在此期形变中得到进一步的加强。因此,很有可能在四川盆地(至少是川西地区)构造最终定型的时间要晚至第四纪早、中更新世,四川盆地气田最终定型的时间可能推迟至第四纪更新世。表明了新近纪以来的构造运动对于四川盆地气藏形成与定型的影响更为深刻。

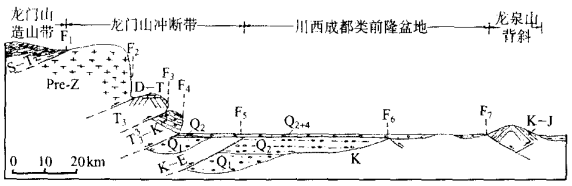


图6 龙门山冲断带—成都类前陆盆地—龙泉山地质剖面示意图
(据李勇资料修改)

Fig. 6 Schematic geological cross-section from Longmenshan thrust belt through Chengdu para-foreland basin to Longquanshan

3.2.2 促进鄂尔多斯盆地靖边—乌审旗气田区的形成

鄂尔多斯盆地虽然是我国最典型的克拉通型盆地[15],但新近纪以来的构造运动也很活跃:(1)围绕盆地周边形成了银川、呼和浩特—包头、太原、大同等一系列不同方向拉张-走滑的强烈断陷,新近纪—第四纪沉积巨厚(图7)[31];(2)据麒参1井、天深1井等沉降抬升史研究,盆地本部是在新近纪以来才发生快速抬升、剥蚀(图8)及明显区域性西倾[32],加剧了天然气自西向东区域性运移,促进了天然气向中部(也有的学者称为西部)隆起区聚集,为在靖边至乌审旗地区形成大中型气田群创造有利条件[33,34];(3)在中部吴堡—绥德—靖边—中宁一线的东西向断裂至今仍在活动,在盆地中随处可见由此产生的雁行状X共轭节理,表明了新近纪以来的构造作用引发了先期断裂系统的重新活动,改善了低渗透和特低渗储层的储集性能,油气沿着这些重新开启的通道进一步运移聚集,在裂缝发育带附近形成高产。因此,新近纪以来,鄂尔多斯盆地也并不平静,它不仅影响了盆地的山川、地貌,也是天然气进一步运移聚集成藏的动力。

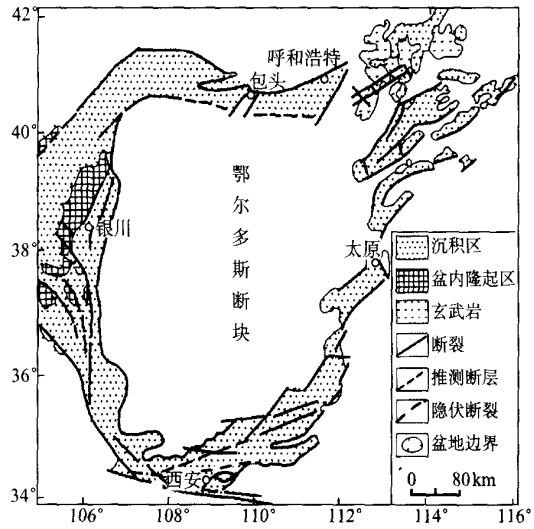


图7 鄂尔多斯盆地周缘新近纪以来的断陷盆地[31]

Fig. 7 Faulted basins formed since Neogene on the periphery of Ordos basin

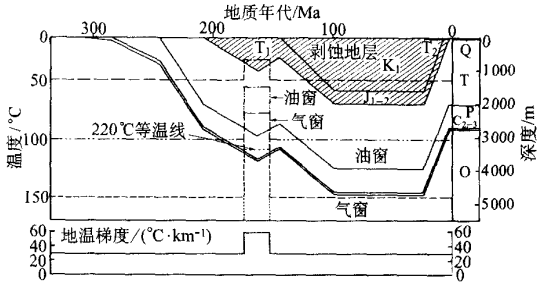


图8 麒参1井沉降抬升史与地热史[27]

Fig. 8 Subsiding, uplifting and geothermal history in Qican 1 well

表明新近纪以来鄂尔多斯盆地才快速抬升,白垩系—侏罗系受到剥蚀

3.3 东部含气区

3.3.1 渤海海域大型油气田群形成

由于太平洋板块的向西俯冲,我国东部油区新近纪以来的构造运动也十分活跃,形式更为多样[35]。华北—渤海湾—下辽晚中生代—古近纪的多期裂谷系在新近纪—第四纪转为裂谷以后的热沉

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

降阶段,形成了以渤中凹陷为主体的统一的坳陷型湖盆,它沉积厚度巨大,沉降速率高达 0.267 mm/a (图 9),在渤海海域形成了以古近系东营组-沙河街组一段、沙河街组三段两套主力烃源岩。其中东营组-沙河街组一段烃源岩主要发育在渤海海域,至今仍处于生烃高峰时期,为渤海海域提供了较渤海湾盆地陆上部分更为丰富的烃源。新近纪末期以东西向伸展、南北向挤压的构造运动,在新近纪明化镇组及馆陶组形成了众多的背斜圈闭及断裂系统,构成了以南北向为主的垂向油气输导系统网及储聚场所,第四纪以来转为以东西向挤压为主的构造应力场,使区内以南北向为主的油气输导系统处于封闭状态,为渤海海域新近系成为重要的含油气层系提供了有利的地质条件[36,37]。在渤海海域发现的 QHD32-6、NB35-2、PL19-3、CFD11-1、CFD12-1 等储量超亿吨级大油气田都以明化镇组、馆陶组为主要储层,形成于新近纪末期—第四纪初的渤海运动。明化镇组、馆陶组探明的油气储量为渤海海域探明储量的 94 %[36]。总结这些大型油气田成藏最主要的因素是,渤海海域新近纪以来的构造运动十分活跃:(1)它形成了新近纪—第四纪的大型坳陷,较渤海湾盆地陆上部分增加了一套高效的烃源岩;(2)有效烃源岩的厚度近 1 000 m,它广布于海域的各主要凹陷,为区内提供了更为丰富的烃源;(3)渤海海域在新近纪—第四纪是大面积湖相沉积,是周边陆区汇水盆地的中心,砂泥岩大套间互,在明化镇组、馆陶组中形成多套优质的储盖组合:(4)新近纪末期强烈的渤海运动形成了众多不同类型的圈闭;(5)新近纪以来的构造活动为深部烃源向上运移创造了有利的输导网络系统。上述优越的地质条件,使渤海海域成为我国东部地区油气勘探新的热点,为我国东部老油区进一步唤发青春提供了可靠的资源保证。

3.3.2 其他盆地不同成因气藏的形成

(1)在渤海湾盆地陆上部分的济阳、辽河及冀中坳陷,新近纪以来构造运动对气藏形成的影响虽不如渤海海域显著,但也有一定的控制作用:晚期产生的断裂促进了深部烃源的向上运移,明化镇组及上覆地层中广泛分布的区域泥岩盖层阻止了油气的大量散失,促进了这些坳陷在明化镇组—第四系浅层

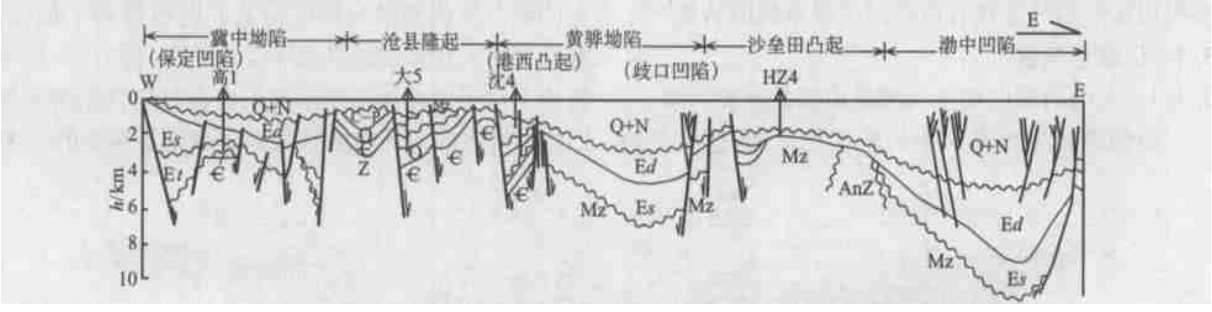


图 9 渤海湾盆地区域剖面图[36]

Fig. 9 Regional cross section of Bohai Bay basin

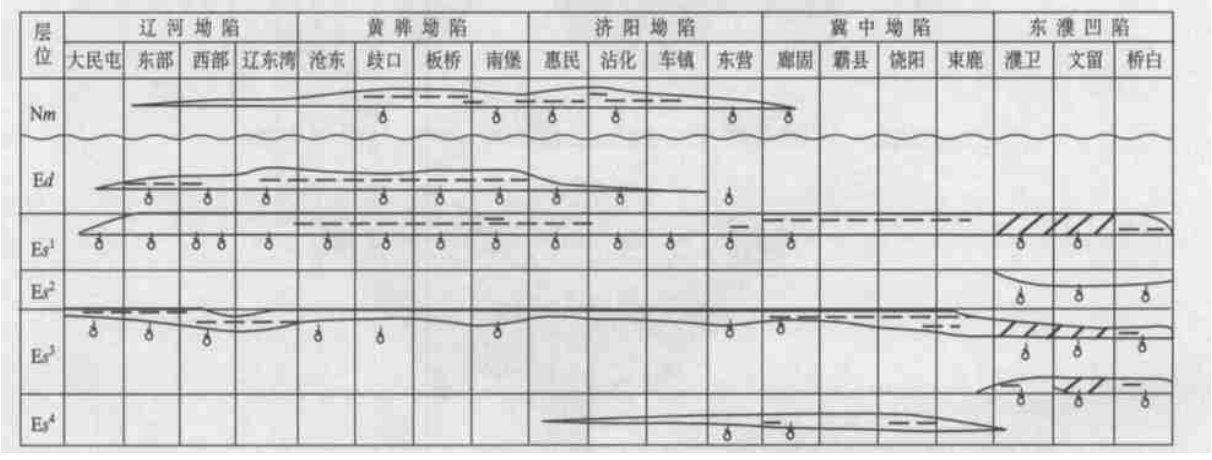


图 10 渤海湾盆地陆上坳陷天然气纵向分布图[38]

Fig. 10 Vertical distribution of natural gas in depressions, onshore part of Bohai basin

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

次生油气藏的形成(图 10)[38],新近系—第四系气层气储量占渤海湾盆地陆上部分天然气总储量的 8.7%。

(2)在苏北盆地盐亭凹陷新近系—第四系厚达 2 500～3 000 m,促进了古生代源岩的二次生烃,形成了朱家墩气田[39]。

(3)在松辽盆地,喜马拉雅期的构造运动也较活跃,各构造幕在松辽盆地均有表现。特别是上新世以来,由于太平洋板块向日本岛弧下俯冲,东北地区的东部开始进入新的大陆裂谷发展时期,在松辽盆地东部隆起加剧,盆地西部形成了南北向展布的条带状沉积,在挤压背景下发育了多期次断裂活动及反转构造,促进了多期次及多方位的油气运移,在西斜坡促进了以生物降解作用为主形成的阿拉新、红岗气藏;在盆地中央隆起区,促使天然气从油藏中脱溶,形成次生气藏、气顶,如二站气田、英台、喇嘛甸、葡萄花气藏[27];在盆地东部及东南隆起区由于深部断裂的重新活动,促进了区内非烃 CO_2 气藏(万金塔 CO_2 气田)的形成以及在三肇凹陷比较广泛存在的无机成因烷烃气混入高成熟煤成气藏的现象,一些气田中烃类气体具有负碳同位素系列的特征[40]。

3.4 近海含气区

3.4.1 东海西湖凹陷油气聚集成藏的重要时期

中国海域发育有众多的新生代盆地,这些盆地处于不同的构造部位,盆地类型及热机制与区域构造应力场比较复杂,但油气藏的形成明显地受制于新近纪以来的构造活动是其共同特点[41]。中国近海海域新近纪以来构造运动主要表现为:中新世末、上新世与第四纪之间有明显的构造运动,上新世以来急剧沉降和快速沉积、晚期断裂极其发育、天然地震活跃、形成了多种不同类型的构造圈闭,为我国近海海域油气富集提供了较有利的地质条件。在近海海域最有油气前景的是东海陆架盆地西湖凹陷、南海的珠江口盆地及莺琼盆地。

由于菲律宾海板块向西北的挤压作用,西湖凹陷新生代经历了三个演化阶段、两次构造反转及多期次的构造运动[41]。在多期次构造运动中以龙井运动影响最广,龙井运动主要存在于西湖凹陷,从中新世早期开始活动,一直延续至中新世末期,发生于中新世与上新世间的龙井末期运动是龙井运动的主幕,以挤压褶皱作用为主,这期运动使西湖凹陷的局部构造定型,在西湖凹陷中部形成了北北东向的大型背斜——浙东长垣,由玉泉、龙井、西冷、苏堤四个构造带呈雁行状排列组成的背斜带长约 400 km。在凹陷东西两侧原有压性构造此时也得到了加强,并产生了一些新的挤压背斜,如平湖、初阳、云亭等构造。由于龙井运动所形成的各类挤压背斜遍及全凹陷,从而成为区内的油气聚集成藏最重要的一次

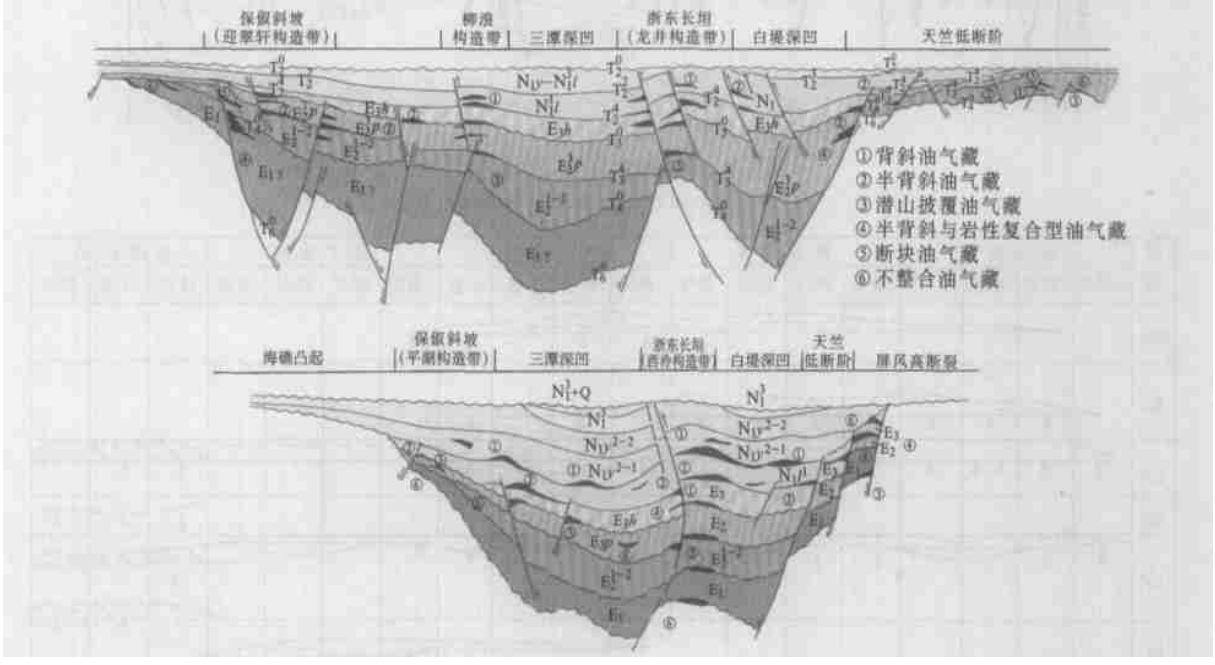


图 11 东海陆架盆地西湖凹陷油气藏及潜在油气藏分布模式图

Fig. 11 Distribution pattern of oil/gas reservoirs and potential oil/gas reservoirs in Xihu sag, East China Sea shelf basin

①背斜油气藏;②半背斜油气藏;③潜山披覆油气藏;④半背斜与岩性油气藏;⑤断块油气藏;⑥不整合油气藏

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

构造运动(图 11) ,西湖凹陷大多数局部构造内油气都是在中新世晚期至上新世才开始了大规模的油气聚集过程,并延续至今,有的构造现今仍未结束油气聚集过程。

3.4.2 形成独具特色的莺琼含气盆地

莺琼盆地位于特提斯构造域与滨太平洋构造域交汇特殊的大地构造位置,是我国含油气盆地新生代以来热构造作用及地压作用最活跃的盆地,有较高的热流值(平均值为 83 mW/ m^2) 地温梯度普遍 > 40 ℃/ km ,局部可达 60 ℃/ km ,明显地高于全球平均热流值。加之上新世—第四纪的急剧沉降和快速沉积,仅在最近 2 Ma ,源岩的温度就剧增了 80～130 ℃[15] ,有机质演化很快地从低成熟阶段进入高成熟阶段(图 12) ,地层压力也急骤增高达 1.8 MPa 以上,为区内崖 13-1、东方 1-1 等大型气田提供了丰富的气源,这些气田现今仍处于主聚气阶段[10] ,成为中国比较典型的超晚期(第四纪) 多期幕式快速充注成藏的实例。自新近纪以来的快速沉降及强烈的构造热事件及深部岩石圈断裂的活动,也促进了区内不同阶段形成的烃气、氮气和二氧化碳气混存[42] ,形成了莺歌海盆地天然气组成的复杂性和运聚的多期性,高温高压的热流体作用,在中央坳陷区形成了一系列近南北向的泥拱构造,在其上方形成了以垂向裂隙为主的纵横交错的裂缝带(图 13) ,促进了深部烃类向浅部运聚,因此异常高的地层流体压力和高的地温梯度以及多成因气源相混成为莺琼盆地天然气最显著特征[43] ,莺琼盆地成为超晚期快速充注成藏及超高温、超高压,独具特色的含气盆地。

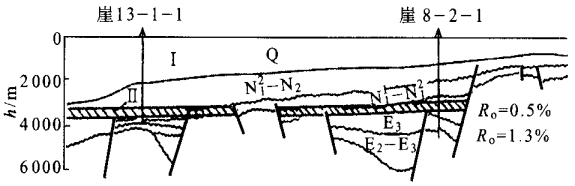


图 12 琼东南盆地有机质演化阶段剖面图[15]

Fig. 12 Cross section showing evolutional stages of organic matters in Qiongdongnan basin

3.4.3 大断裂重新活动促进油气运聚和无机成因气释放、聚集

在东部及近海的一些含油气盆地,由于一些大断裂的重新活动,不仅促进了油气的运聚,也在这些盆地中形成了一批具有工业价值无机成因的 CO_2 气藏[45] 。其中影响最明显的是郯城—庐江断裂[46] ,

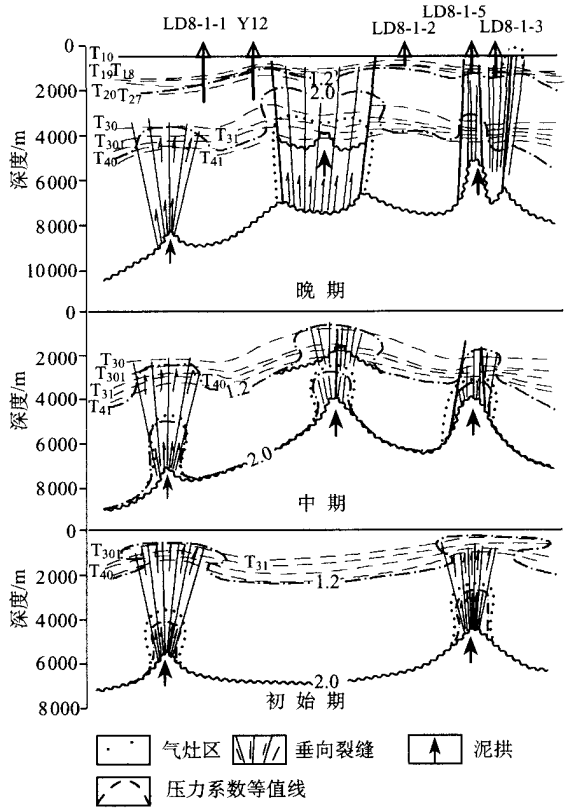


图 13 莺歌海盆地热流体泥拱构造油气成藏模式[44]

Fig. 13 Reservoiring model of hydrocarbon in hot fluid-mud diapiric structures in Yinggehai basin

郯庐断裂是自中生代以来长期活动的巨型断裂,但在不同地质时期活动的特征不同,对油气运聚的作用不同。在新近纪以拉张作用为主,在渤海海域,断裂贯穿了三个富烃凹陷(黄河口、渤中、辽中) ,其派生的一些小断层沟通了深部断层,构成油气良好的输导网;进入第四纪,郯庐断裂转为以挤压作用为主,对油气又起了一定的封闭作用,避免了油气的大量散失,促进了渤海海域大型油气藏的形成[36] 。

在东部油区的东带及近海海域的松辽、黄骅、济阳、苏北、三水盆地(坳陷) 以及东海陆架盆地瓯江凹陷都有无机成因的二氧化碳气田,气源均来自地幔和岩浆脱气及碳酸盐岩热分解、热变质作用。在这些盆地或坳陷,天然气中的氦含量远高于壳源氦的表征值,属壳-幔二元混合型氦[47] 。此外,在东海西湖凹陷天外天构造 1 井、松辽盆地三肇凹陷、黄骅坳陷港 151 井 $\delta^{13}C_1$ —$\delta^{13}C_4$ 明显倒转(表 3) [41] ,属于无机成因的烷烃气。在对黄骅、南海大陆架边缘盆地以及苏南地区 CO_2 气成因的研究表明其成因与类型比较复杂,在同一个地区有壳源无机成因、有机成因、壳幔混合成因以及火山幔源等多种成因类型

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3 松辽盆地三肇凹陷一些气田(藏)碳同位素系列及其成因[40]

Table 3 Series of carbon isotopes and their origins in some gas fields(or reservoirs) in Sanzhao sag, Songliao basin

气田(藏)名称	井号	层位	碳同位素(PDB)/ %					烷烃气成因类型
			$\delta^{13}C_1$	$\delta^{13}C_2$	$\delta^{13}C_3$	$\delta^{13}C_4$	$\delta^{13}C_4$	
昌都	芳深 1	K_1d^3	- 18.63	- 23.22			- 18.63	壳源无机成因
	芳深 2		- 18.80	- 19.90	- 34.10			
汪家屯	升 501	K_1q^3	- 27.26	- 27.69	- 28.90			无机
	升 58-1	K_1q^4	- 29.80	- 25.78	- 21.55	- 19.91		煤成气
	升 46	K_1q^4	- 27.88	- 24.33	- 24.01	- 27.34		
	升 61	K_1q^{3-4}	- 28.69	- 24.80	- 27.08	- 27.42	- 15.17	无机成因与有机煤成气混合
肇州	肇深 1	基岩	- 25.59	- 31.39	- 28.74	- 31.81	- 18.00	

的无机气[48],在渤海湾、苏北、三水等盆地还有部分天然气中可能混有 0.1 %～6 %的幔源甲烷,说明了这些盆地中烃类天然气的成因也比较复杂。这些无机成因气藏及幔源氦异常均形成于新近纪—第四纪,与展布在中国东部的古近纪(北西西向)至新近纪—第四纪(北北东向)含幔源包体的碱性玄武岩喷溢为主的构造岩浆岩带,与区内大断裂在新近纪以来的重新活动关系密切[40]。表明了在中国东部及近海区受制于西太平洋敛聚型板块的俯冲,新近纪以来一些大断裂的进一步活动既促进了有机成因油气的成藏,也是无机成因气的主要释放和聚集时期,形成了具工业价值的非烃气藏,也进一步促进了有机与无机多种不同成因天然气的混合。

4 结语

全球现今呈现的构造面貌虽然是数十亿年漫长地质时期中多次构造运动的结果,但早期构造运动形成的产物都受到了后期构造运动的改造、歪曲和破坏,只有新近纪以来的地壳形变与构造发展演化特征保存得比较完整[49]。上述表明,新近纪以来构造运动对中国各主要含气盆地天然气藏的形成与保存都有重要影响,其影响虽有促进成藏与破坏散失两个截然不同的作用,但以现有气藏的成藏关键时期与构造演化关系为主对中国天然气成藏历程的总结,中国大多数气田都形成、定型于古近纪—新近纪,甚至是第四纪,晚期(古近纪—新近纪)、超晚期(第四纪)成藏定型是中国天然气成藏最重要的特征之一[50],表明了中国大陆新近纪以来的构造演化特征对天然气分布格局的重要作用。

在研究与文稿形成中,得到任纪舜院士、万天丰教授、吴正文教授的多次指教,特此致谢。

References[参考文献]:

[1] Compilation committee of geology for Chinese cyclopedia. *Chinese Cyclopedia: Geology*[M]. Beijing: Chinese Cyclopedia Publishing House, 1998. 169, 544, 567, 632, 648(in Chinese). [中国大百科全书地质学编辑委员会. 中国大百科全书:地质学[M]. 北京:中国大百科全书出版社, 1998. 169, 544, 567, 632, 648.]

[2] HUANG Jiqing. The main characteristics of the geologic structure of China: Preliminary conclusions[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1960, 40(1): 1-37(in Chinese). [黄汲清. 中国地质构造基本特征的初步总结[J]. 地质学报, 1960, 40(1): 1-37.]

[3] REN Jishun, JIANG Chunfa, ZHANG Zhengkun, et al. *Tectonics and Its Evolution of China*[M]. Beijing: Science Press, 1980. 110-127(in Chinese). [任纪舜,姜春发,张正坤,等. 中国大地构造作用及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 110-127.]

[4] HUANG Jiqing, CHEN Bingwei. Formation of molasse in Tethys-Himalayas structural domain in Pliocene to Quaternary and its relation with Indian plate[A]. *Geologic Academic Collected Papers for International Geologic Exchange, Volume One*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980. 1-14(in Chinese). [黄汲清,陈炳蔚. 特提斯—喜马拉雅构造域上新世—第四纪磨拉石的形成及其与印度板块活动的关系[A]. 国际地质交流地质学术论文集(1)[M]. 北京:地质出版社, 1980. 1-14.]

[5] WAN Tianfeng, ZHU Hong. Tectonics and environment change of Mesor-Cenozoic in China continent and its adjacent areas[J]. *Geoscience*, 2002, 16(2): 107-120(in Chinese). [万天丰,朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁[J]. 现代地质, 2002, 16(2): 107-120.]

[6] WU Zhenhan, WU Zhonghai, JIANG Wan, et al. *Evolution Process and Mechanism of Neozoic Land Feature in China Block and Its Adjacent Region*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 30-

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

35 , 150-160 (in Chinese) . [吴珍汉 ,吴中海 ,江万 ,等. 中国大陆及邻区新生代地貌演化过程与机理[M]. 北京: 地质出版社 , 2001. 30-35 , 150-160.]

[7] NIU Jiayu , WANG Hongjun , LU Weihua. Geologic characteristics of heavy oil and asphalt resources in China [A]. Chinese Academy of Engineering , Pacific Rim Energy and Mineral Resources Council , and Chinese Petroleum Society. *Chinese & International Petroleum Exploration Prospective in 21st Century* [C]. Beijing: China Petro-Chemical Press , 2003. 48- 51 (in Chinese) . [牛嘉玉 ,王红军 ,鲁卫华. 中国重油和沥青砂资源地质特征[A]. 中国工程院 , 环太平洋能源与矿产资源理事会 ,中国石油学会. 21 世纪中国暨国际油气勘探展望[C]. 北京: 中国石化出版社 , 2003. 48- 51.]

[8] ZENG Jianhui , ZUO Shengjie. Influence of Himalayan Movement on hydrocarbon formation in Turpan-Hami [J]. *Oil & Gas Geology* , 2001 ,22 (4) : 382- 384 (in Chinese) . [曾溅辉 ,左胜杰. 喜马拉雅运动对吐哈盆地油气藏的影响[J]. 石油与天然气地质 , 2001 , 22 (4) : 382-384.]

[9] WANG Tingbin. Differences in reservoring conditions of oil and natural gas and reservoring models of gas fields in China [J]. *Natural Gas Geoscience* , 2003 ,14 (2) : 79-86 (in Chinese) . [王庭斌. 天然气与石油成藏条件差异及中国气田成藏模式[J]. 天然气地球科学 , 2003 , 14 (2) : 79-86.]

[10] HAO Shisheng , CHEN Zhangming. *Formation and Preservation of Natural Gas* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press , 1995. 44-59 (in Chinese) . [郝石生 ,陈章明. 天然气藏的形成和保存[M]. 北京: 石油工业出版社 , 1995. 44-59.]

[11] WANG Tingbin . Reservoring characteristics analysis of gasfields in China [J]. *Oil & Gas Geology* , 2003 , 24 (2) : 103-110 (in Chinese) . [王庭斌. 中国气田的成藏特征分析[J]. 石油与天然气地质 , 2003 , 24 (2) : 103-110.]

[12] CUI Junwen. Tectonic evolution of the Himalayan collision belt [J]. *Acta Geologica Sinica* , 1997 ,17 (2) : 105-112 (in Chinese) . [崔军文. 喜马拉雅碰撞带的构造演化[J]. 地质学报 , 1997 , 71 (2) : 105-112.]

[13] YANG Minghui , LIU Chiyang. Characters of quasi-foreland basins in Western-Central China and their oil and gas potential [J]. *Oil & Gas Geology* , 2000 , 21 (1) : 46-49 (in Chinese) . [杨明慧 ,刘池洋. 中国中西部前陆盆地特征及含油气性[J]. 石油与天然气地质 , 2000 , 21 (1) : 46-49.]

[14] LIU Hefu. Classification of foreland basins and fold thrust style [J]. *Earth Science Frontiers* , 1995 , 2 (3) :113-124 (in Chinese) . [刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J]. 地学前缘 , 1995 , 2 (3) : 113-124.]

[15] FENG Fukai , WANG Tingbin , ZHANG Shiya , et al. *Natural Gas Geology of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House , 1995. 1-51 (in Chinese) . [冯福凯 ,王庭斌 ,张士亚 ,等. 中国天然气地质[M]. 北京: 地质出版社 , 1995. 1-51.]

[16] TIAN Zuoji , SONG Jianguo. Coupled relation of Neozoic Kuqa foreland basin and Southern Tianshan orogenic belt and petroleum exploration prospective [A]. Petroleum Geology Committee , Chinese Petroleum Society. *Latest Research Advancement in Petroliferous Basins* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press , 2002. 37-53 (in Chinese) . [田作基 ,宋建国. 库车新生代前陆盆地与南天山造山带的耦合关系及油气勘探方向[A]. 中国石油学会石油地质专业委员会. 油气盆地研究新进展[M]. 北京: 石油工业出版社 , 2002. 37-53.]

[17] LIU Zhihong , LU Huafu , JIA Chengzao , et al . Structures and hydrocarbon accumulation in Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. *Oil & Gas Geology* , 2001 , 22 (4) : 297-303 (in Chinese) . [刘志宏 , 卢华复 ,贾承造 ,等. 库车再生前陆盆地的构造与油气[J]. 石油与天然气地质 , 2001 , 22 (4) : 297-303.]

[18] ZHAO Jingzhou. *Reservoiring Theory of Natural Gas in Foreland Basins and Its Application* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press , 2003. 11-15 , 85-88 (in Chinese) . [赵靖舟. 前陆盆地天然气成藏理论及应用[M]. 北京: 石油工业出版社 , 2003. 11-15 , 85-88.]

[19] ZHAO Jingzhou , DAI Jinxing. Timing and filling history of natural gas reservoirs in Kuqa foreland thrust belts , Tarim basin [J]. *Acta Petrolei Sinica* , 2002 , 23 (2) : 6-10 (in Chinese) . [赵靖舟 , 戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报 , 2002 , 23 (2) : 6-10.]

[20] ZHOU Xingxi . The Mesozoic - Cenozoic fluid pressure structure and reservoir-forming mechanism in the Tarim basin [J]. *Earth Science Frontiers* , 2001 , 8 (4) : 351-361 (in Chinese) . [周兴熙. 塔里木盆地库车油气系统中、新生界的流体压力结构和油气成藏机制[J]. 地学前缘 ,2001 , 8 (4) :351-361.]

[21] JIN Zhijun , LÜ Xiuxiang. Hydrocarbon resources and exploration strategy of foreland basins in southwest Tarim basin [J]. *Oil & Gas Geology* , 2000 , 21 (2) :110-113 (in Chinese) . [金之钧 ,吕修祥. 塔西南前陆盆地油气资源与勘探对策[J]. 石油与天然气地质 , 2000 , 21 (2) :110-113.]

[22] GU Jiayu , ZHOU Xingxi , LIU Wenlin , et al. *Lunnan Buried Hill Karst in Tarim Basin and Distribution of Oil and Gas* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press , 2001. 198-221 (in Chinese) . [顾家裕 ,周兴熙 ,刘雯林 ,等. 塔里木盆地轮南潜山岩溶及油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社 , 2001. 198-221.]

[23] ZHOU Xingxi. *Formation Conditions and Distribution of Natural Gas in Tarim Basin* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press , 1998. 17-21 (in Chinese) . [周兴熙. 塔里木盆地天然气的形成条件

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

及分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1998. 17-21.]

[24] WANG Darui, ZHANG Kang. *Petroliferous Characteristics of Cenozoic Basins in Yunnan Area*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 31-50(in Chinese). [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. 31-50.]

[25] DAI Jinxing, SONG Yan, ZHANG Houfu. *Accumulation Area of Natural Gas in China*[M]. Beijing: Science Press, 1997. 91-107(in Chinese). [戴金星,宋岩,张厚福. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社,1997. 91-107.]

[26] LI Xiaoqing, WANG Zecheng, ZHANG Shengwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan basin and their control action on natural gases[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(4): 347-351(in Chinese). [李晓清,汪泽成,张升为,等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2001,22(4):347-351.]

[27] DAI Jinxing, WANG Tingbin, SONG Yan, et al. *Formation Conditions and Distribution of Large Gas Fields in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1-55, 156-159 (in Chinese). [戴金星,王庭斌,宋岩,等. 中国大中型气田形成条件与分布规律[M]. 北京:地质出版社,1997. 1-55,156-159.]

[28] GUO Zhengwu, DENG Kangling, HAN Yonghui, et al. *Formation and Evolution of Sichuan Basin*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 120-135(in Chinese). [郭正吾,邓康龄,韩永辉,等. 四川盆地形成与演化[M]. 北京:地质出版社,1996. 120-135.]

[29] WU Shixiang, WANG Zecheng, ZHANG Lin, et al. Exploration strategy for the foreland basin in Western Sichuan[J]. *Oil & Gas Geology*, 2001, 22(3): 210-216(in Chinese). [吴世祥,汪泽成,张林,等. 川西前陆盆地勘探思路分析[J]. 石油与天然气地质,2001,22(3):210-216.]

[30] LIU Shugen, LUO Zhili, DAI Suyun, et al. Uplifting of thrust belt in Longmenshan Mountain and subsidence of Western Sichuan foreland basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1995, 69(3): 205-213(in Chinese). [刘树根,罗志立,戴苏云,等. 龙门山冲断带的隆升和川西前陆盆地的沉降[J]. 地质学报,1995,69(3):205-213.]

[31] Active Rift System in the Vicinity of Ordos Basin Project Team of National Earthquake Bureau. *Active Rift System in the Vicinity of Ordos Basin*[M]. Beijing: Seismological Publishing House, 1988. 11-16 (in Chinese). [国家地震局"鄂尔多斯周缘活动断裂系"课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京:地震出版社,1988. 11-16.]

[32] DI Lingjun, ZHANG Dongyang, WANG Hongke. Primary discussion on Himalayan tectonic movement and petroleum[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2003, 24(2): 34-37(in Chinese). [邸领军,张东阳,王宏科. 鄂尔多斯盆地喜山期构造运动与油气藏[J]. 石油学报,2003,24(2):34-37.]

[33] ZHAO Mengwei. Timing of hydrocarbon generation and migration direction as well as exploration direction in the Ordos basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1996, 18(4): 341-347(in Chinese). [赵孟为. 鄂尔多斯盆地油气形成与运移时间和运移方向的确定与勘探方向[J]. 石油实验地质,1996,18(4):341-347.]

[34] LI Liang, YUAN Zhixiang, HUI Kuanyang, et al. Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in North Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(3): 268-271(in Chinese). [李良,袁志祥,惠宽洋,等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律[J]. 石油与天然气地质,2000,21(3):268-271.]

[35] REN Jishun, NIU Baogui, HE Zhengjun, et al. Tectonic framework and dynamic evolution in Eastern China[A]. CAO Yougong. *Formation and Rifting of Supercontinent in the Global Structural Belt. Collected Papers (Volume Six) of the 30th International Geologic Conference*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1-12 (in Chinese). [任纪舜,牛宝贵,和政军,等. 中国东部的构造格局和动力演化[A]. 曹佑功. 全球构造带超大陆的形成与裂解. 第30届国际地质大会论文集(第6卷)[M]. 北京:地质出版社,1997. 1-12.]

[36] GONG Zaisheng, WANG Guochun. Neotectonism and late hydrocarbon accumulation in Bohai Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(2): 1-7(in Chinese). [龚再升,王国纯. 渤海新构造运动控制晚期成藏[J]. 石油学报,2001,22(2):1-7.]

[37] HOU Guiting, QIAN Xianglin, CAI Dongsheng. Space-time relationship between tectonics and sedimentation of Meso-Cenozoic Bohai basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(3): 201-206(in Chinese). [侯贵廷,钱祥麟,蔡东升. 渤海中、新生代盆地构造活动与沉积作用的时空关系[J]. 石油与天然气地质,2000,21(3):201-206.]

[38] LI Jingming: WEI Guoqi, ZENG Xianbin, et al. *Enrichment Zones of Middle and Large Gas Fields in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 184-189(in Chinese). [李景明,魏国齐,曾宪斌,等. 中国大中型气田富集区带[M]. 北京:地质出版社,2001. 184-189.]

[39] CHEN Anding, WANG Wenjun, YUE Kegong, et al. Gas source of Zhujiadun gas field, Yancheng basin and its discovery significance [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(6): 45-49 (in Chinese). [陈安定,王文军,岳克功,等. 苏北盆地盐城朱家墩气源及发现意义[J]. 石油勘探与开发,2001,28(6):45-49.]

[40] DAI Jinxing, SONG Yan, DAI Chunsen, et al. Inorganic-origin gas in East China and formation conditions of its gas reservoirs[M]. Bei-

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

jing: Petroleum Industry Press , 1995. 195- 207 (in Chinese).
[戴金星 ,宋 岩 ,戴春森 ,等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件[J]. 北京: 石油工业出版社 , 1995. 195- 207.]

[41] ZHANG Yuchang , QIN Deyu , WANG Rongfu , et al. *Prototype Analysis of Petroliferous Basins in China*[M]. Nanjing: Nanjing University Press , 1997. 39-42 , 115-157 (in Chinese). [张渝昌 , 秦德余 ,王荣福 ,等. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京: 南京大学出版社 , 1997. 39-42 ,115-157.]

[42] HAO Fang , ZOU Huafu , HUANG Baojia. Natural gas generation model and its response in accumulated fluids in the Yinggehai basin [J]. *Science in China , (Series* D) , 2002 , 32 (11) : 889-895 (in Chinese). [郝芳 ,邹华福 ,黄保家. 莺歌海盆地天然气生成模式及其成藏流体响应[J]. 中国科学 (D) , 2002 , 32 (11) : 889-895.]

[43] DU Xu , ZHENG Hongyin , JIAO Xiuqiong. Abnormal pressure and hydrocarbon accumulation [J]. *Earth Science Frontiers* , 1995 , 2 (4) : 137-148 (in Chinese). [杜栩 ,郑洪印 ,焦秀琼. 异常压力与油气分布[J]. 地学前缘 , 1995 , 2 (4) : 137-148.]

[44] WANG Zhenfeng , HU Daisheng. Prospecting for giant gas fields in the central mud diapir structure belt in Yinggehai basin[J]. *Natural Gas Industry* , 1999 , 19 (1) : 28-30 (in Chinese). [王振峰 , 胡代圣. 莺歌海盆地中央泥拱构造带大气田勘探方向[J]. 天然气工业 ,1999 ,19 (1) : 28-30.]

[45] TU Guangchi. The discussion on some CO_2 problems[J]. *Earth Science Frontiers* , 1996 , 3 (3) : 57-62 (in Chinese). [涂光炽. 关于 CO_2 若干问题的讨论[J]. 地学前缘 , 1996 , 3 (3) : 57-62.]

[46] WANG Xiaofeng , LI Zhongjian , CHEN Bolin , et al. *Tanlu Fault Belt*[M]. Beijing: Geological Publishing House , 2003. 269-321 (in Chinese). [王小凤 ,李中坚 ,陈柏林 ,等. 郯庐断裂带[M]. 北京: 地质出版社 , 2003. 269-321.]

[47] WANG Xianbin , LIU gang , CHEN Jianfa , et al. Fluid in the Earth [J]. *Earth Science Frontiers* , 1996 , 3 (3) : 105-118 (in Chinese). [王先彬 ,刘刚 ,陈践发 ,等. 地球内部流体研究的若干关键问题[J]. 地学前缘 , 1996 , 3 (3) : 105-118.]

[48] XU Duo , ZHOU Yaoqi , ZHU Yuenian , et al. $CO_2/{}^3He$ ratio of mantle-derived CO_2 gas pools and its formation mechanism in East China [J]. *Oil & Gas Geology* , 1999 , 20 (4) : 290-294 (in Chinese). [许多 ,周瑶琪 ,朱岳年 ,等. 中国东部幔源 CO_2 气藏的 $CO_2/{}^3He$ 比率及形成机制[J]. 石油与天然气地质 , 1999 , 20 (4) : 290-294.]

[49] LIU Guangxun. The trend in research of Neotectonics[J]. *Earth Science Frontiers* , 1995 , 2 (2) : 203-212 (in Chinese). [刘光勋. 新构造学研究趋势和展望[J]. 地学前缘 , 1995 , 2 (2) : 203-212.]

[50] WANG Tingbin. Tectonic movement since the Neogene —A significant factor of the formation of the gas reservoirs in China[J]. *Geological Review* , 2004 , 50 (1) : 33-42 (in Chinese). [王庭斌. 新近纪以来的构造运动是中国气藏形成的重要因素[J]. 地质论评 , 2004 , 50 (1) : 33-42.]

Characteristics of tectonic evolution in China since Neogene and the distribution pattern of natural gas

WANG Ting-bin

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

Abstract : China is located in a triangular zone surrounded by three major plates. It is one of the tectonic active areas since the Neogene in the world. The major characteristics related to reservoir and preservation of hydrocarbons are as follows. (1) In western China , the reactivation of paleo-orogenic belts resulted in the formation of Chinese style foreland basins and overthrust structures in their leading edges. The drastic subsidence and rapid sedimentation since the Neogene would not only accelerate the evolution process of organic matters in the deeply buried source rocks , but also create favorable geologic conditions for the formation of biogenic gas reservoirs. (2) Multiple tectono-thermal events and high heat-flow values have promoted the rapid evolution of organic matters and reservoir forming process , as well as the formation of abnormally high pressures and mud diapers and other specific structures. (3) Multistaged tectonic movements would be favorable to the rapid migration and episodic charging and storing of hydrocarbons ; they would al-

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

so provide the sites favorable for super-late and rapid reservoir formation. (4) Major faults , magmatism and activity of hot fluid at depths would not only promote the formation of organic-origin oil and gas reservoirs , but also accelerate the major expulsion and accumulation of inorganic-origin gas. The characteristics of tectonic evolution since the Neogene have the most extensive and profound effects in western China where the foreland basins have become one of our important gas accumulation province. It is also the final period of formation or finalized period of gas reservoirs in those basins. About one hundred small faulted basins within the orogenic belts become our new domain of oil and gas exploration. In central China , all the gas fields in Sichuan basin have been finally formed and finalized during this period ; and in Ordos basin , natural gas has been further enriched in Jingbian-Wushenqi area during this period. In eastern China , a series of large- and medium-sized oil and gas fields have been formed in Bohai sea area , and gas reservoirs of various origins have also been formed in other basins or depressions. In the offshore area , the Neogene tectonic movements have not only promoted the rapid formation of organic-origin gas reservoirs , but also accelerated the formation of inorganic-origin gas reservoirs , which constitute the reservoir model with unique characteristics. From our studies , we conclude that owing to the specific geological conditions in China since the Neogene and the characteristics of natural gas being very easy to migrate , accumulate and dissipate , the formation and finalization of most gas fields have been controlled by the history of tectonic evolution since the Neogene. The history of tectonic evolution would be of momentous significance to the distribution pattern of natural gas in China.

Key words : China ; since the Neogene ; characteristics of tectonic evolution ; natural gas ; distribution pattern

研 究 短 文 目 录

准噶尔盆地中部侏罗—白垩系岩芯特征及对油气勘探的意义 …… 陈永进 田世澄 刘宏合等 (344)
莺歌海盆地晚期构造的应力效应 …… 殷秀兰 李思田 杨计海等 (360)
山东滋镇洼陷沙四段有机地化特征及资源潜力 …… 陈永进 田世澄 胡春余等 (424)
新疆阿尔泰地区断裂构造的多重分形特征及其对热液成矿的控制 … 谭凯旋 谢焱石 王清良等 (443)
PIMA 在云南普朗斑岩铜矿矿物识别中的应用 …… 章 革 连长云 元春华 (460)
《循环日爆说》对第十大行星的认识 …… 职爱国 (479)
诘问白洋淀陨击假说 …… 宫进忠 (502)
柴达木盆地缘油气区沉积地层中的特态矿物 …… 甘贵元 (510)
“断代生物标记物”GC/ MS/ MS 分析及其地质意义 …… 韩 霞 田世澄 张大江等 (526)
等深流沉积特征刍议 …… 张志杰 (534)
天然大孔道结构磷酸盐矿物及其晶体化学特点 …… 杨赞中 廖立兵 (550)
人工神经网络技术实现斑岩矿体深度预测 …… 王功文 陈建平 (566)
地质全息现象 …… 王海侨 钟建华 温志峰等 (574)
青藏高原对大气温度的影响 …… 曲维政 刘应辰 刘玉国等 (599)
通用土壤流失方程的研究进展及其改进方法 …… 张照录 薛重生 (608)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net