

万安盆地油气地质特征及其资源潜力新认识

张厚和¹, 赫栓柱¹, 刘鹏¹, 廖宗宝¹, 徐庆梅¹, 朱筱敏², 徐耀辉³

(1. 中海油研究总院, 北京 100028; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 武汉 430100)

摘要: 利用最新掌握的地震及分析化验资料, 系统分析了万安盆地地质条件、油气分布特征及富集规律, 获得了对其油气地质特征和资源潜力的新认识。万安盆地总体上经历了断拗期和拗陷期 2 大构造演化阶段, 发育近岸湖沼、扇三角洲、滨海三角洲、滨海—浅海、半深海相沉积, 物源自西向东; 主力烃源岩为渐新统、下中新统的泥岩、页岩、煤及含煤泥岩, 分布于中部拗陷和北部拗陷; 储层主要有三类, 分别为渐新统到上新统砂岩、中—上中新统碳酸盐岩、前古近系基岩; 盖层为上新统一第四系和上渐新统一下中新统 2 套区域性地层; 发育西部油气带、中部油气带和南部气带 3 大有利油气聚集区。万安盆地油气资源潜力巨大, 盆地地质资源量分别为石油 29.38×10^8 t, 天然气 $34\ 897 \times 10^8$ m³。

关键词: 构造演化; 沉积特征; 油气地质条件; 油气富集规律; 万安盆地

中图分类号: TE122

文献标识码: A

New understanding of oil and gas geological characteristics and resource potential in Wan'an Basin

Zhang Houhe¹, He Shuanzhu¹, Liu Peng¹, Liao Zongbao¹, Xu Qingmei¹, Zhu Xiaomin², Xu Yaohui³

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum and Prospecting,

China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Key Laboratory of Oil and Gas Resources

and Exploration Technology of Ministry of Education, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China)

Abstract: The geological conditions, hydrocarbon distribution and enrichment regularity in the Wan'an Basin were systematically analyzed based on the latest seismic and test data. Some new understanding of oil and gas geological characteristics and resource potential were obtained. The Wan'an Basin experienced two tectonic evolution stages: fault depression phase and depression phase. Inshore limnetic, shore delta, fan delta, coastal-shallow sea, and bathyal facies deposited. Sediments are from west to east. The major source rocks are mudstone, shale, coal and coal-bearing mudstone in the Oligocene and Miocene, which mainly distributed in the central and northern depressions. There are three kinds of reservoirs, respectively the sandstones of Oligocene to Pliocene, the carbonate rocks of Middle to Upper Miocene, and the bed rocks of pre-Tertiary. There are two sets of regional cap rocks, the Pliocene-Quaternary and the Upper Oligocene-Lower Miocene. There are three favorable oil-and-gas regions, the west, the central and the southern zones. Oil and gas potential of the Wan'an Basin is tremendous, and the geology resources of oil and gas are 29.38×10^8 t and $34\ 897 \times 10^8$ m³, respectively.

Key words: tectonic evolution; sedimentary characteristics; oil and gas geological condition; enrichment regularity; Wan'an Basin

万安盆地位于我国南海西南部陆架—陆坡上, 是我国在南海中南部海域勘探与研究程度最高的盆地。从 1970 年代开始, 我国就已经开展了万安盆地区域地质和油气地质综合研究。越南和印度尼西亚从 1970 年代中期以来, 分别和多家国际石油公司合作在万安盆地从事油气勘探活动, 目前已累计

发现油气田 30 个, 地质储量分别为石油 2.76×10^8 t、天然气 $3\ 573 \times 10^8$ m³。其中, 有 16 个油气田位于我国传统疆域内, 累计地质储量分别为石油 1.88×10^8 t、天然气 $2\ 753 \times 10^8$ m³。因此, 系统分析万安盆地油气地质条件和成藏规律是开展万安盆地油气资源评价的基础, 对于深化认识其油气资源潜力具有

收稿日期: 2017-07-07; 修订日期: 2017-09-20。

作者简介: 张厚和 (1967—), 男, 教授级高工, 从事油气勘探规划、资源评价与储量评价研究。E-mail: zhanghouhe@cnooc.com.cn。

通信作者: 刘鹏 (1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事油气勘探规划、资源评价研究。E-mail: liupeng38@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX05025-005) 和全国油气资源动态评价 (2013, 2015) 资助。

重要意义。依托“十一五”、“十二五”国家科技重大专项和 2013 年全国油气资源动态评价项目,在广泛调研国内外相关研究成果的基础上,利用地震资料最新重处理和解释成果,结合最新收集整理的 5 700 样次分析化验资料,系统分析了盆地构造演化、沉积充填、油气地质条件、油气分布特征及富集规律,获得了对其油气地质特征和资源潜力的新认识。

1 地质概况

万安盆地位于南海西南部,为万安断裂西侧的一个扭张盆地^[1]。盆地近南北向,中间宽,两头

窄,形似梭形或纺锤状,最宽约 280 km,长约 600 km,面积约 $7.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中我国传统疆域内面积约 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$;主体水深小于 500 m,最大水深约 1 800~2 000 m。

万安盆地为早期拉张、后期受走滑断裂影响的走滑拉张盆地,形成了“五坳五隆”的构造格局,即划分为北部坳陷、北部隆起、中部坳陷、西部坳陷、西北断阶带、西南斜坡、中部隆起、南部坳陷、东部隆起和东部坳陷共 10 个一级构造单元^[2](图 1)。构造单元基本呈坳隆相间,区域走向为 NNE-SSW。中部坳陷面积最大,新生代最大沉积厚度达 12 500 m,是本区的主要沉降中心。

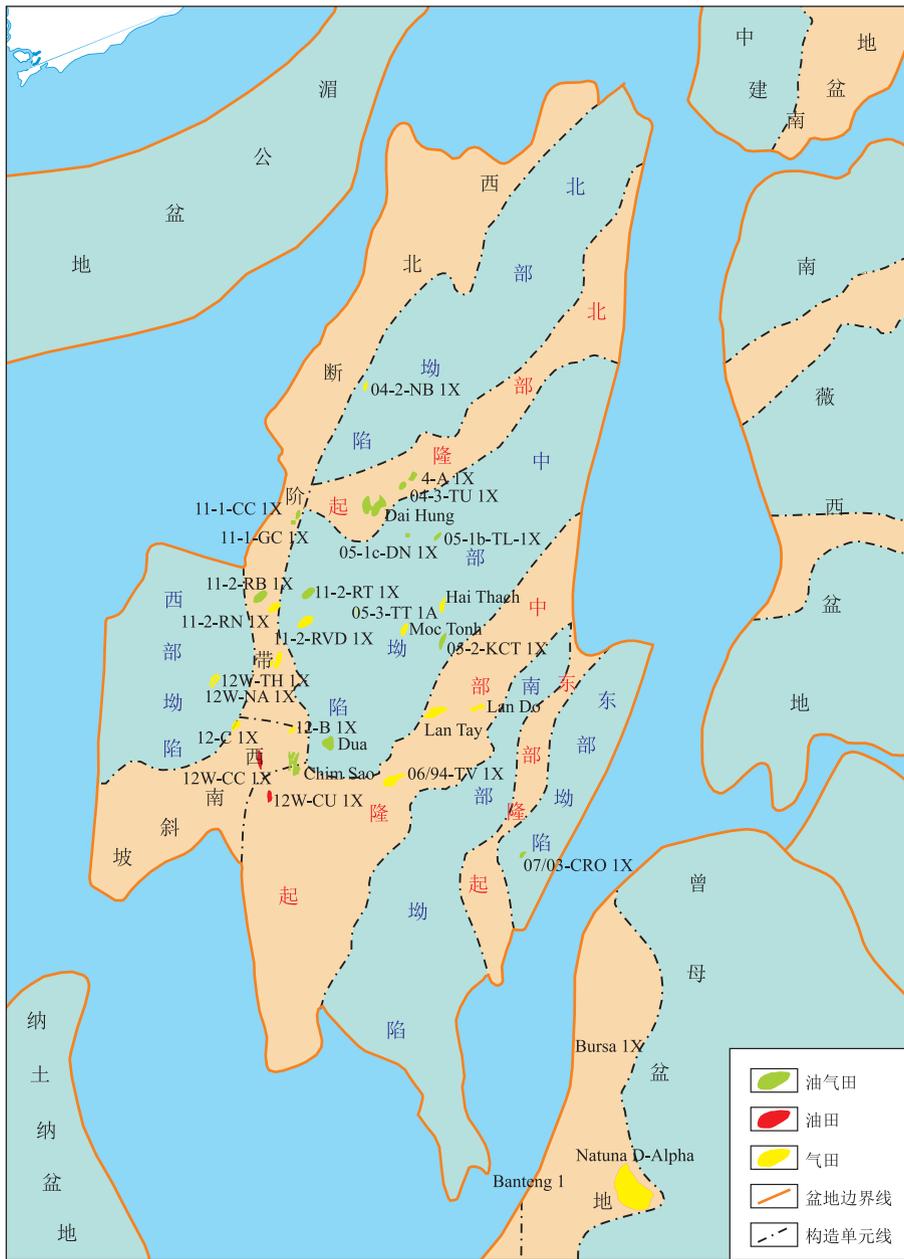


图 1 万安盆地构造区划

Fig.1 Tectonic zones of the Wan'an Basin

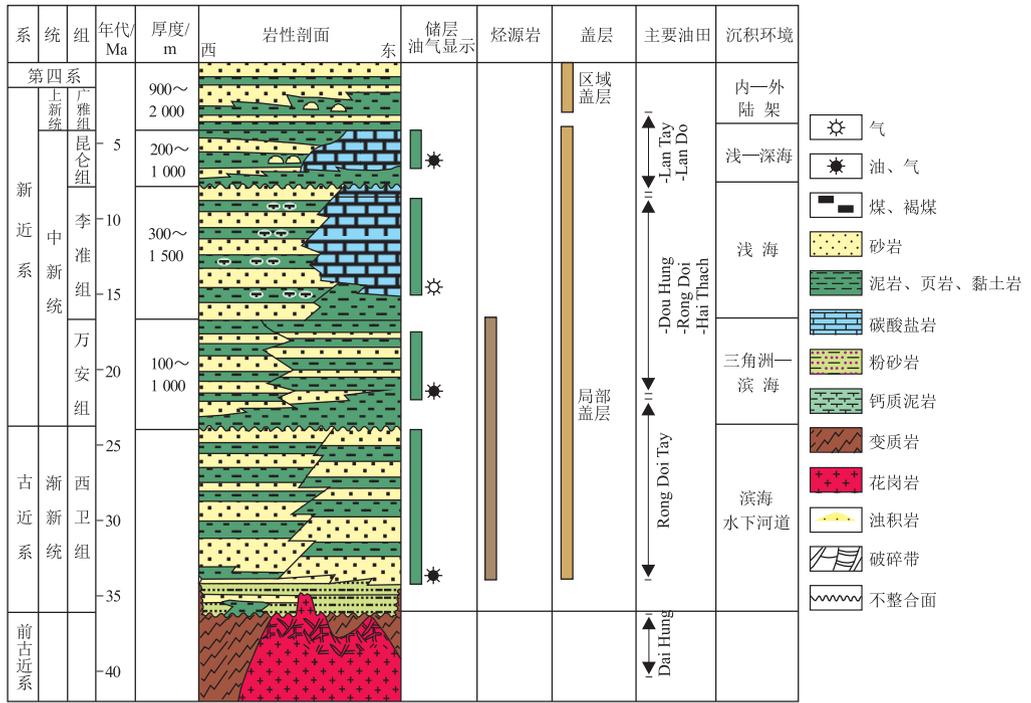


图2 万安盆地地层综合柱状图

Fig.2 Synthetical stratum histogram of the Wan'an Basin

万安盆地形成于晚始新世—渐新世,基底为中生代晚期岩浆岩、火山岩和前始新世变质岩、沉积岩^[3]。沉积盖层为一套巨厚的上始新世—第四系地层,由下而上由西卫群、万安组、李准组、昆仑组、广雅组和第四系等组成(图2)。

2 构造演化特征

万安盆地整体上经历了断拗期(渐新世—中中新世)和拗陷期(晚中新世—第四纪)2大构造演化阶段^[3]。

2.1 断拗期(渐新世—中中新世)

万安盆地在渐新世—中中新世的断拗期阶段又可进一步分为伸展断拗期和走滑改造期2个次级演化阶段。

在伸展断拗期(渐新世—早中新世),万安盆地主要受控于南海北西向扩张。伸展构造变形作用导致盆地发育大量的北东向伸展性断裂(图3),从而奠定了盆地北东向隆拗相间的构造格局^[4]。伸展作用北东强、南西弱,在盆地北部发育了大规模的铲式正断层,控制了北部拗陷和中部拗陷的发育;在盆地中南部伸展作用减弱,形成双断式地堑结构;在盆地南部,伸展作用进一步减弱,发育了一系列西倾正断层,控制了半地堑结构;到盆地最南端整体沉降,伸展作用微弱,地层厚度基本上不受断层的影响。

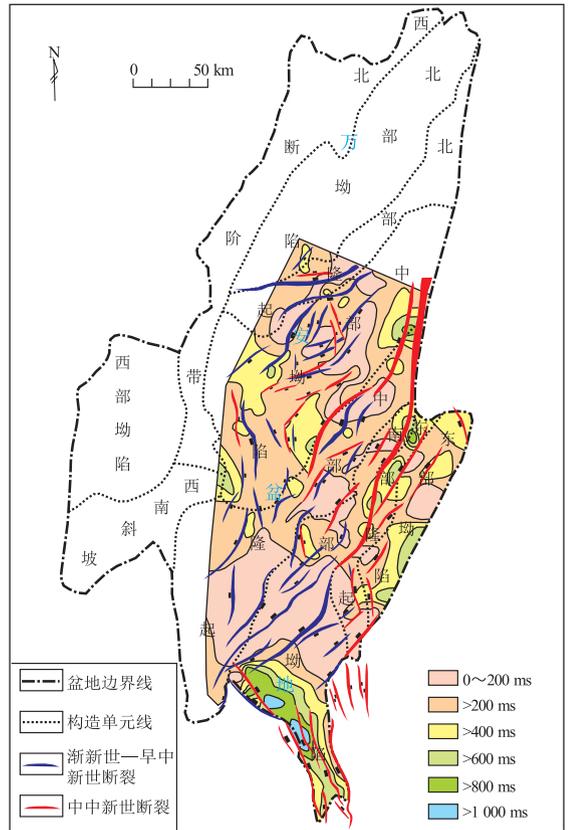


图3 万安盆地时间等厚图及同期主要断裂分布

Fig.3 Time isopach and major fracture distribution of the Wan'an Basin

在走滑改造期(中中新世),盆地受东南部区域碰撞挤压事件的影响,在东部形成左旋走滑构造

作用,使盆地发育了北西向张扭构造与北东向压扭构造。前者形成的拉分沉降作用非常强烈,从而使得中中新统沉积了较厚的地层,最大厚度在 1 000 m 以上。该构造变形主要发育在盆地的最南部,并形成了一个向东南突出的北西向狭长条带(图 3)。北西向张扭构造在盆地大部分地区多表现为切割、改造早期构造和地层;而北东向压扭构造则导致了大量的受断层控制的“正形负花”式反转背斜构造,背斜顶部常被削截,形成角度不整合。在坳陷内部,反转背斜形成了“坳中隆”结构;而当这种压扭构造与早期隆起(地垒)重叠时,会促使隆起进一步强化隆升。从平面上,这些压扭构造形成的反转背斜呈北东向条带展布,且主要分布于盆地的中东部。

2.2 拗陷期(晚中新世—第四纪)

中中新世之后,万安盆地及周边区域整体进入相对稳定的区域拗陷期^[4]。盆地经历了晚中新世的缓慢沉降和上新世以来的快速沉降,但整体构造相对稳定,以陆架—陆坡沉积环境为主。

3 沉积特征

3.1 前断拗期沉积充填特征

根据地震相解释,认为渐新世之前的前断拗期

(古新世—始新世)该区发育 2 套向上变细的陆相充填(图 4)。沉降速度由快转慢,早期盆地内为粗碎屑磨拉石沉积,进而演变为冲积扇、扇三角洲以及湖相沉积,扇三角洲物源由西往东。沉积沉降中心均位于盆地的北部,地层呈现出北部厚、南部薄的特点。

3.2 断拗期沉积充填特征

断拗期经历了渐新世、早中新世和中中新世 3 期不同的沉积充填(图 4)。

渐新世时期,盆地处于三面环山的封闭环境中,西北部、西部和南部均可为其提供物源,其中尤以西北部和西部物源最为重要。沉积中心主要位于中部坳陷和南部坳陷,沉积物以近源快速堆积为主,分选—磨圆较差,在盆地西部和西北部发育扇三角洲沉积体。早期发育厚层的湖相泥岩,晚渐新世发育滨浅海相泥岩。

早中新世时期,虽然印支半岛逐渐抬升,同时万安盆地持续沉降,但由于涪公盆地和昆嵩隆起的阻挡,万安盆地内部沉积体系尚保持一定的独立性,沉积面貌更多地继承了渐新世特征;西部和西北部由早期近源、粗粒的扇三角洲转变为远源、细粒的三角洲,由于断拗作用依然较为强烈,西南部发育扇三角洲粗粒沉积物。另一方面,海平面持续

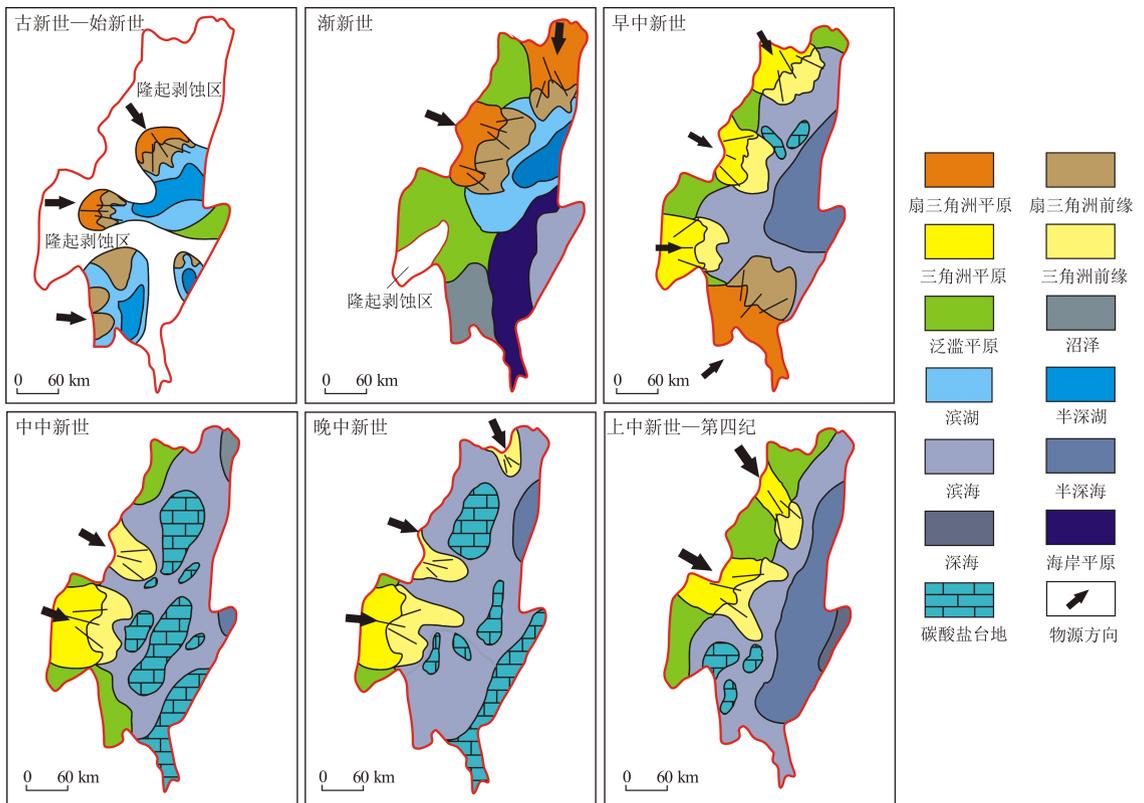


图 4 万安盆地沉积相分布

Fig.4 Sedimentary facies distribution of the Wan'an Basin

上升,盆地内部海侵范围进一步扩大,在中部拗陷和南部拗陷沉积了滨浅海相深灰色泥岩。

中中新世早期,海平面再次快速上升,海水从东向西侵入,北部隆起、中部隆起和南部隆起均被海水淹没,形成水下高地,易于碳酸盐岩台地和生物礁的形成与生长。另一方面,虽然海侵造成了西部和西北部三角洲的不断退积,但同期来自古渭公河的碎屑物质部分越过昆嵩隆起,为万安盆地提供了远源、细粒但稳定的物源供给,在盆地的西部发育了三角洲相沉积。

3.3 拗陷期沉积充填特征

拗陷期沉积经历了晚中新世和上新世—第四纪2期沉积充填(图4)。

晚中新世时期,盆地物源主要来源于印支半岛上的古渭公河,也有部分可能来自局部隆起或者渭南河。盆地断陷特征不再明显,沉积砂岩大多细粒、分选—磨圆较好。同时在远离物源区的北部拗陷、北部隆起、中部隆起、东部隆起以及东部拗陷,发育了良好的碳酸盐岩台地和生物礁^[5]。

上新世—第四纪时期,沉积面貌继承性发育。受古渭公河的影响,在盆地西北部发育了三角洲沉积体。在盆地东部发育一套浅海—半深海沉积物,近南北向分布,越往东水体越深。该时期碳酸盐岩台地和生物礁相对不发育。

4 油气地质条件

4.1 烃源岩特征

万安盆地的烃源岩主要分布于中部拗陷和北部拗陷,主力烃源岩发育于渐新统、下中新统^[6],次要烃源岩发育于中中新统。

渐新统和下中新统烃源岩有机质丰度较高,TOC分别为1.51%和0.62%, S_1+S_2 分别为5.63 mg/g和1.68 mg/g,为中—好烃源岩,II—III型有机质,处于成熟阶段;中中新统TOC为0.43%, S_1+S_2 平均20.36 mg/g,为差—中等烃源岩,II—III型有机质,处于低熟阶段(图5)。平面上,中、北部拗陷为盆地的主要生烃区,生烃潜力大。

下中新统—渐新统烃源岩 R_o 主要分布在0.5%~1.0%,大部分处于成熟阶段(图6)。渐新统烃源岩在中中新世开始生油,随后达到生油高峰;下中新统烃源岩则在晚中新世达到生油高峰,现今以产高熟原油和伴生气为主;中中新统烃源岩现今以产低熟原油和生物气为主。中东部地层厚度、埋深均比西部大,有机质热演化程度高,自南西—北东逐渐升高。中新统及其下部烃源岩在中中新世

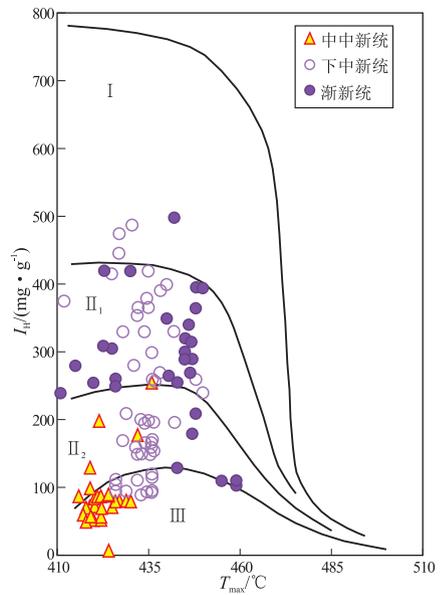


图5 万安盆地烃源岩 T_{max} 与 I_H 划分有机质类型
Fig.5 Organic matter types classified by T_{max} and I_H of source rocks of the Wan'an Basin

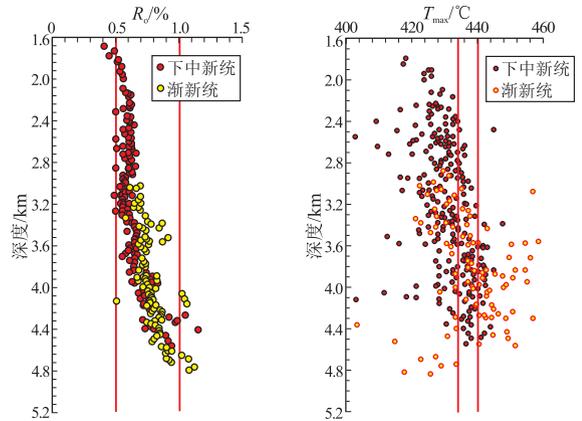


图6 万安盆地 R_o 与 T_{max} 随深度变化
Fig.6 Variation of R_o and T_{max} with depth of the Wan'an Basin

期间开始排出液态烃。

4.2 储层特征

万安盆地发育3类储集岩:渐新统到上新统砂岩、中—上中新统碳酸盐岩和前古近系基岩^[7-9](图2)。

4.2.1 砂岩储层

主要分布于渐新统和中中新统中,在盆地西部上新统也有一定分布,该类储层是万安盆地的主要储集体,具有分布广、不同层段物性差异大的特点。砂岩储层已获得高产油气流,例如:Dua-1井渐新统砂岩储层日产量为原油305.5 t,天然气 $49.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

渐新统砂岩储层的形成环境主要是滨海、海湾和浅海,沉积相类型以三角洲平原和前缘砂体、盆地扇和滨浅海砂体为主。岩性多为石英砂岩,孔隙

度在 18%~25%之间。

中新统砂岩储层纵向上存在一定的差异。下中新统主要属滨海、浅海、浅大陆架沉积,岩性主要为石英砂岩和夹杂粉砂质或碳质杂砂岩。中中新统属浅海大陆架沉积。上中新统形成于浅海环境,沉积相类型为三角洲前缘和浅海相,岩性以石英砂岩为主,一般分选较好,分布稳定;孔隙度为 13%~30%之间,渗透率为 $(15\sim 130)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

4.2.2 碳酸盐岩储层

主要分布于中—中新统和上中新统中,沉积环境为浅海,岩性为台地灰岩和礁灰岩,在盆地的东部区域较发育。孔隙度介于 20%~38%,局部区域因受虫孔结构和溶蚀作用影响,孔隙度较高。

4.2.3 基岩储层

主要由前古近系花岗岩、花岗闪长岩和变质岩的风化裂隙层构成,顶界埋深 3 000~10 000 m。风化层厚 50~100 m,发育裂隙、洞穴及孔隙,孔隙度 17.5%;裂隙层最大厚度可达 1 000 m,平均 500 m,基质孔隙度为 5%^[10]。该类储层目前已有油气发现,如大熊油田。从地质构造演化史来看,北部隆起和中部隆起可能是基岩储层发育的主要地区。

总体而言,盆地储层物性最好的是下一中新统砂岩,上中新统储层次之,渐新统储层较差。

4.3 盖层和保存条件

万安盆地存在局部盖层和区域盖层 2 类盖层。

局部盖层包括渐新统和中中新统黏土岩、粉砂、碳质页岩和钙质黏土岩,厚度为几米至几十米,主要分布在地堑和半地堑,特别是在盆地东部区域,该类盖层分布频繁,它们形成于海湾和浅海环境中。黏土岩矿物成分中,高岭石占 60%~70%、伊利石占 30%~40%,反映了中等—好封盖性。

区域性盖层是下上新统一第四系和渐新统顶部—下中新统底部的 2 套细粒沉积物。上新世—第四纪期间,万安盆地发育了一套富含泥质的浅海—外浅海相碎屑岩,其海进体系域和高水位体系域中的密集段泥岩特别发育,沉积厚度在几十米到上百米,并广泛分布在盆地内,形成万安盆地良好的区域性盖层^[10-11]。在渐新统顶部—下中新统底部以泥岩和页岩为主的细粒碎屑沉积岩,亦是一套良好的区域盖层,它往往与油气聚集和超高压带相关^[12]。

盆地断裂活动对盖层的封盖性能影响极大。在万安盆地仅少数断层穿越上中新统(T_2^0 界面),但终止于上新统之下,并且在其上沉积了一套厚度较大的细粒碎屑沉积岩,因此万安盆地局部构造圈

闭通常具有良好的油气保存条件。

4.4 生储盖组合

万安盆地在新生代地质历史演化过程中,形成了 4 套良好的生储盖组合(图 2)。

第一套组合:烃源岩为渐新统的泥岩、页岩和含煤泥岩,储集层为前古近系的基岩,盖层为渐新统内部的细碎屑沉积。该套组合为新生古储式成藏组合。

第二套组合:烃源岩为渐新统的泥岩、页岩和含煤泥岩,储集层为渐新统内部的砂岩,盖层为渐新统内部三角洲间湾相和海相泥岩。该套组合是渐新统内部烃源岩和砂岩储层交互沉积形成的自生自储式成藏组合。

第三套组合:烃源岩为渐新统的泥岩、页岩和含煤泥岩以及下中新统浅海页岩、煤和含煤泥岩,储集层为中中新统砂岩。盖层有 2 类:一类为上新统和第四系的泥岩,该盖层分布稳定,封堵能力强,为区域性盖层;另一类为中中新统内部与砂岩交互沉积的细碎屑岩,该套盖层分布范围相对较小,封盖能力差,为局部盖层。这套组合属古生新储或自生自储式成藏组合。

第四套组合:烃源岩与第三套组合的烃源岩一样,为渐新统和下中新统 2 套烃源岩;储层为中中新统碳酸盐岩/生物礁;盖层为上新统和第四系的泥岩。该套组合为古生新储或侧生侧储式成藏组合。

根据万安盆地演化特点和地层发育特征,第一套和第二套储盖组合发育范围较广,全盆地都有可能发育,但主要发育区可能在北部坳陷、北部隆起、中部坳陷和中部隆起;第三套成藏组合主要发育于盆地西部;第四套成藏组合主要发育于中部坳陷及其以南和以东的地区。

5 油气分布富集特征与资源潜力

5.1 圈闭类型与分布

万安盆地以西卫、南沙 2 大构造运动为界,形成了第三系基底构造层、渐新统一中中新统构造层和上中新统构造层,三大构造层发育了不同类型的圈闭。

5.1.1 渐新世—中中新世圈闭

该构造层断层发育,一些背斜构造多被断层复杂化,在圈闭类型上多表现为断鼻、半背斜、断块等圈闭类型,完整的穹窿、背斜圈闭也有发育,但相对较少。同时在盆地东部发育碳酸盐岩的陆台和生物礁。储集岩性在盆地的西部以砂岩为主,在盆地的东部发育砂岩和碳酸盐岩 2 类储层;储集空间主

要为粒间孔和溶蚀空洞。目前发现的大部分油气田分布于该构造层中,如 Rong Doi、Rong Doi Tay、Hai Thach 等油气田。

5.1.2 上中新世圈闭

该构造层由于基本处于盆地发育的区域沉降阶段,构造活动较弱,沉积环境为滨浅海。形成的圈闭为继承性发育的断鼻、半背斜、断块、背斜、披覆背斜等圈闭类型。储集层岩性和储集空间与渐新统一中新统构造层圈闭相似,已发现了 Lan Tay、Lan Do 等气田。

5.1.3 前古近世圈闭

以沉积基底所发育的风化裂隙潜山圈闭为主。储集岩岩性为花岗岩、花岗闪长岩和变质岩,储集空间为风化裂隙、溶洞以及构造裂缝。目前发现了大熊、04-3-TU 1X 和 11-1-GC 1X 等油气田。

5.2 油气藏类型与分布

万安盆地目前已发现了 30 个油气田。地层对比和圈闭类型分析表明,万安盆地发育了 4 种油气藏类型:一是断块、断背斜、断鼻、披覆背斜圈闭;二是褶皱背斜、挤压背斜圈闭;三是碳酸盐台地、古风化壳等地层—岩性圈闭;四是与地层—岩性圈闭成因有关的断块、背斜、礁隆、基岩等。

根据万安盆地油气藏的产层层位和油气藏类型统计分析表明,油藏(含伴生气)在盆地的各个层位都有发育,大熊油气田 DH—8X 井甚至在其花岗岩基岩的裂缝中也见到了油流;凝析气藏则主要位于盆地较老的地层之中;气藏则在盆地的较新地层与较老地层中均有发育^[13-14](图 7)。平面上,万安盆地已发现油气藏主要分布在西北断阶带、北部隆起、中部坳陷和中部隆起 4 个构造单元,西部坳陷、西南斜坡见少量油气藏或含油气构造,而北

部坳陷、南部坳陷、东部隆起和东部坳陷仅见零星油气显示,未见工业油气流。

5.3 油气富集规律

万安盆地发育三大有利油气聚集区,即西部油气带、中部油气带和南部气带。

西部油气带主要位于西北断阶带和中部坳陷西部,油气田数量多,储量规模大。目前已发现地质储量累计石油 2.46×10^8 t、天然气 $1\ 298.1 \times 10^8$ m³,同比占万安盆地总量的 81% 和 39%。以渐新统一中新统三角洲自生自储油气藏为主,如大熊油气田。

中部油气带主要位于中部坳陷内的坳中隆,气多油少。目前已发现地质储量累计石油 0.66×10^8 t、天然气 $1\ 265.9 \times 10^8$ m³,同比占盆地总量的 18% 和 37%。油气主要聚集于坳中隆上发育的圈闭中,以下生上储式油气藏为主,如海蓝宝石气田。

南部气带主要位于中部隆起,目前已发现地质储量累计石油 200×10^4 t、天然气 824.1×10^8 m³,同比占盆地总量的 1% 和 24%。圈闭为碳酸盐岩建隆,以下生上储式气藏为主,如西兰花气田和红兰花气田。

5.4 油气资源潜力

根据万安盆地勘探程度、最新收集的大量分析化验资料,以及近年来综合地质最新研究成果与认识,应用盆地模拟法、油气田规模序列法、规模概率分布法、勘探效率分析法、地质—统计模型综合法、面积丰度类比法等 6 种方法,分别计算了油气资源量,并采用对数正态概率法获得盆地资源评价结果。万安盆地地质资源量为石油 29.38×10^8 t、天然气 34.9×10^{11} m³,其中我国传统疆域内油 23.12×10^8 t、天然气 27.5×10^{11} m³;待发现地质资源量为石油 26.62×10^8 t、天然气 31.3×10^{11} m³,其中我国传统疆域内为石油 21.24×10^8 t、天然气 24.7×10^{11} m³。

从盆地构造单元来看,油气资源集中分布于中部坳陷、中部隆起、北部坳陷、南部坳陷;从深度来看,石油资源主要分布于中深层,天然气资源主要分布于中深层、浅层;从地理环境来看,油气资源主要位于浅水区。

6 结论

(1) 万安盆地总体上经历了断拗期和拗陷期 2 大构造演化阶段,先抬升后沉降,早期发育碳酸盐岩,晚期发育滨浅海、浅海—半深海相沉积,物源自西向东,以远源的河流为主。

(2) 万安盆地油气地质条件整体较好,发育了 4 套良好的生储盖组合。

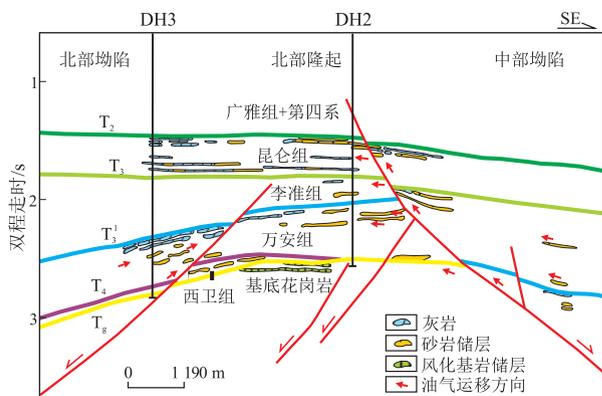


图 7 万安盆地大熊油田成藏模式
据参考文献[1]修改。

Fig.7 Accumulation model of Daxiong oil field, Wan'an Basin

(3) 万安盆地总体上发育西部油气带、中部油气带和南部气带 3 大有利的油气聚集区。西部油气带主要位于西北断阶带和中部坳陷西部, 目前已发现的油气田数量多, 储量规模大; 中部油气带主要位于中部坳陷内的坳中隆, 目前已发现储量气多油少; 南部气带主要位于中部隆起。

(4) 万安盆地油气资源潜力巨大, 盆地地质资源量分别为石油 29.38×10^8 t、天然气 34.9×10^{11} m³, 其中我国传统疆域内地质资源量分别为石油 23.12×10^8 t、天然气 27.5×10^{11} m³; 待发现资源量分别为石油 26.62×10^8 t、天然气 31.3×10^{11} m³, 其中我国传统疆域内待发现资源量分别为石油 21.24×10^8 t、天然气 24.7×10^{11} m³。

参考文献:

- [1] 金庆焕, 刘宝明. 南沙万安盆地油气分布特征[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 234-260.
Jin Qinghuan, Liu Baoming. Distributive characters of hydrocarbons in Wan'an Basin, southwest China Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1997, 19(3): 234-260.
- [2] 刘振湖. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 410-417.
Liu Zhenhu. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 410-417.
- [3] 张功成, 李友川, 刘世翔, 等. “源热共控”中国海油气田“近岸油、远岸气”有序分布[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(5): 1-22.
Zhang Gongcheng, Li Youchuan, Liu Shixiang, et al. “Co-control of source rock and heat” in orderly distribution of “near-shore oil and far-shore gas” in China's offshore and adjacent area[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(5): 1-22.
- [4] 赵志刚, 刘世翔, 谢晓军, 等. 万安盆地油气地质特征及油气成藏控制因素[C]. 第十七届中国科协年会: 分 9 南海深水油气勘探开发技术研讨会论文集. 广州: 中国科学技术协会, 2015.
Zhao Zhigang, Liu Shixiang, Xie Xiaojun, et al. Oil and gas geological characteristics and hydrocarbon accumulation control factors of Wan'an Basin[C]. The 17th Annual Meeting of the China Association of Science and Technology: The 9 Seminar on the Oil and Gas Exploration and Development in the South China Deep Sea. Guangzhou: The China Association of Science and Technology, 2015.
- [5] 贺清, 全志刚, 胡根成. 万安盆地沉积物充填演化及其对油气藏形成的作用[J]. 中国海上油气, 2005, 17(2): 80-83.
He Qing, Tong Zhigang, Hu Gencheng. Sediment filling and its effect on hydrocarbon accumulation in Wan'an basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17(2): 80-83.
- [6] 金庆焕, 刘振湖, 陈强. 万安盆地中部坳陷: 一个巨大的富生烃坳陷[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2004, 29(5): 525-530.
Jin Qinghuan, Liu Zhenhu, Chen Qiang. The central depression of the Wan'an Basin, South China Sea: A giant abundant hydrocarbon-generating depression[J]. Geoscience, 2004, 29(5): 525-530.
- [7] 刘振湖. 万安盆地油气成藏地质条件的初步研究[J]. 南海地质研究, 1995(7): 42-52.
Liu Zhenhu. Petroleum reservoiring condition of Wan'an Basin, South China Sea[J]. Geological Research of South China Sea, 1995(7): 42-52.
- [8] 刘振湖, 吴进民. 南海万安盆地油气地质特征[J]. 中国海上油气(地质), 1997, 11(3): 153-160.
Liu Zhenhu, Wu Jinmin. Petroleum geology of Wan'an Basin, South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1997, 11(3): 153-160.
- [9] 刘振湖. 南海万安盆地油气充载系统特征[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(5): 339-344.
Liu Zhenhu. Characteristics of petroleum charge system in Wan'an Basin, South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(5): 339-344.
- [10] 刘伯土, 陈长胜. 南沙海域万安盆地新生界含油气系统分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(2): 110-114.
Liu Boshi, Chen Changsheng. Analysis on the Cenozoic petroleum system in the Wan'an Basin, Nansha area[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(2): 110-114.
- [11] 夏斌. 南沙海域盆地构造演化与有利勘探区带研究[R]. 北京: 中海油研究总院, 2010.
Xia Bin. Tectonic evolution and favorable exploration zone research of Nansha Sea area[R]. Beijing: CNOOC Research Institute, 2010.
- [12] Tin N T, Ty N D, Hung L T. Nam Con Son Basin[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(7): 1166.
- [13] 刘宝明, 夏斌, 刘振湖, 等. 南海西南部海区油气富集成藏类型分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 322-326.
Liu Baoming, Xia Bin, Liu Zhenhu, et al. Analysis on the enrichment and accumulation types of hydrocarbon in the Southwestern Sea area of the South China Sea[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(4): 322-326.
- [14] 梁金强, 杨木壮, 张光学, 等. 南海万安盆地中部油气成藏特征[J]. 南海地质研究, 2003(1): 27-34.
Liang Jinqiang, Yang Muzhuang, Zhang Guangxue, et al. Characteristics of the oil and gas reservoir in the center of Wan'an Basin, South China Sea[J]. Georesearch of Ecological South China Sea, 2003(1): 27-34.

(编辑 徐文明)