

南海西南部万安盆地 构造样式特征、成因及找油意义

张光学 白志琳

(广州海洋地质调查局第二海洋地质调查大队, 广州 510760)

万安盆地的地震构造样式主要表现为基底卷入式的潜山构造、张性断块构造, 盖层内的挤压背斜构造、骨牌式断裂构造、反转构造、掀断层及勺形构造, 其中潜山构造、挤压背斜构造和骨牌式断裂构造是最为有利的油气聚集部位, 而张性断块构造、反转构造、掀断层及勺形构造亦是有利的油气富集部位。万安盆地形成演化过程中早期的礼乐运动(T_g)造就了现今盆地构造格局的最初雏型; 稍后发生的西卫运动(T_5)使早期的陆缘张裂断陷范围进一步扩大, 转化为渐新-中中新统的断拗沉积; 而最终万安运动(T_3)则导致盆内地层强烈挤压、隆升剥蚀, 产生构造反转、断块及褶皱, 这是盆内圈闭构造最发育的时期。伴随万安盆地主要的构造运动的发生, 盆内形成了基底构造层(T_g 或 T_5 以下)、主体构造层(T_3 - T_5)和表层构造层(T_3 以上)等 3 个构造层, 各构造层内均发育有不同的构造样式, 其中主体构造层内构造圈闭最发育, 构造样式最丰富。综合分析认为礼乐运动和西卫运动奠定了盆地沉积格架, 而万安运动则对盆内圈闭构造的形成贡献最大。

关键词 构造运动 构造样式 万安盆地

第一作者简介 张光学 男 33 岁 工程师 石油地质

万安盆地位于印支地块的东南部, 其东北部与万安盆地、昆仑隆起区相邻, 西部与昆仑盆地相接, 西南部与纳土纳隆起区相连, 东部以西雅隆起区为界。盆地主体为北北东走向, 呈不规则扁豆形, 新生代沉积厚度一般为 2000~9000m, 最厚达 12500m。以南部隆起为界, 盆地中北部沉积厚度大, 南部厚度减薄。近年来, 随着对南海西南部新生代沉积盆地油气勘查步伐的加快, 众多专家学者对万安盆地主要构造运动时限、性质及影响范围等进行了大量的有益探索。取得了许多新的认识和重要进展(姚伯初, 1994; 吴进民, 1996)。本文试图在前人研究成果的基础上, 结合盆地编图成果, 详细阐述万安盆地主要构造运动的特征产物——构造样式的特征及其油气富集规律, 并进一步探讨盆地的新生代构造运动, 从时空上解释两者的成生关系。

1 盆内典型地震构造样式分析

构造样式是指同一应力作用所产生的构造总和, 不同应力场产生不同的构造样式(王燮培, 1990; Harding et al 1983; Lowell, 1985)。万安盆地经历了不同性质的构造运动及演化阶段, 发育有基底构造层(T_g 反射界面以下)、主体构造层(T_g - T_3)、表层构造层(T_3 反射界面以上)共 3 套构造层(因 T_g - T_5 层厚度薄, 分布局限, 极少发育, 且构造样式少,

对讨论构造样式意义不大, 故不单独划出作为一个构造层), 每套构造层内形成了独特的构造样式, 空间上不同构造样式相互叠置。在早期总体拉张背景下, 基底构造层内发育了潜山构造、张性断块等构造样式; 中期局部在扭张、扭压作用下, 基底构造层内产生了挤压背斜构造、反向正断的骨牌式构造、似花状构造、反转构造、掀断层及勺形构造; 晚期以垂向沉降为主, 表层构造层内无明显的典型构造样式。

1.1 基底卷入型的张性构造样式

万安盆地在早期引张应力作用下, 地壳和岩石圈产生伸展、减薄作用, 形成了许多张性正断层(包括同沉积的生长断层、后生断层), 两者结合成盆地中广泛发育的基底卷入型的张性构造样式。主要表现为潜山构造和张性断块构造。

1.1.1 潜山构造

盆地内以发育 NE 向断层为主, 将基底切割成若干个断块, 这些基底断块在盆地伸展、走滑和沉降过程中发生掀斜翘倾。在盆内北部隆起西段, 地震剖面上显示出基底发生块断旋转, 向中部拗陷的一侧呈阶梯状下掉, 造成基底面的深度和倾斜度不同, 该基岩断块形成早, 对盖层构造的形成有较大影响, 后期发育的沉积盖层披覆在断块边缘上, 盖层构造高点与基岩断块断棱对应, 甚至盆内盖层构造与基岩构造叠合, 表明盖层构造对基岩具有继承性。断层下降盘地层明显增厚, 上升盘一侧向上收敛, 具明显的

生长性质构成半地堑构造, 堑内地层与基岩面近似平行, 说明断扭作用与沉积作用同时发生或稍后发生。该组断层在部分地段成为盆内二级构造单元拗陷与隆起之间的分界。基岩断块的存在为基岩油藏的形成提供了有利条件。

1.1.2 张性断块构造

NE 向和 NW 向断裂将拗陷基底和盖层切割成许多断块。四周被断裂所围限, 中央部分向下掉的断块往往是拗陷内比较深的部分, 如中部拗陷最深部位就是这种类型。被断裂所围限向上隆起的地块则构成盆内低隆起带, 而被断裂所围限地块有的边上升, 有的边下降, 则形成掀斜断块。

1.2 盖层内的扭性构造样式及反转构造

万安盆地盖层内(主要为主体构造层)构造样式发育, 这些构造样式大多表现出扭性特征, 是在扭应力或剪切应力场作用下产生的变形, 表现为多种构造样式, 主要有挤压背斜构造、骨牌式断裂构造、掀断层及勺形构造、反转构造。

1.2.1 挤压背斜构造

主要发育在盆地中部拗陷的次级构造带上, 形成于中中新世。T₅ 界面以下地层褶皱变形, 剖面上轴面近于直立, 呈 NE 走向, 长 16km, 宽 8km, 两翼对称, 顶薄翼厚, 上陡下缓, T₃ 反射界面同相轴在顶部呈现剥蚀现象, 中深层地层与浅层地层变形基本同步, 背斜走向与盆地东缘断裂斜交, 翼部往往被 NNE 向的基底卷入型正断层切割, 与该组断层一起构成张性断块构造或断鼻构造, 距中部拗陷油源区近, 对油气聚集有利, 是研究油气富集的重要圈闭类型。

1.2.2 骨牌式断裂构造

该构造样式在万安盆地多与挤压背斜构造伴生, 在上述挤压背斜的西侧发育, 下降盘背向拗陷中心呈阶梯状下降, 形成反向正断的叠瓦状, 断层走向为 NNE 向, 倾向 SE-SEE 向, 断距 400 ~ 2900m 不等, 长约 16 ~ 45km, 平面上雁行排列, 该组断层在部分地段成为盆内三级构造单元之间的分界。

总之, 上述挤压背斜构造和骨牌式断裂构造这两种构造样式在盆地中东部伴生发育, 组成似花状构造, 说明该区可能受到盆地东缘伸展走滑派生的次级具压性或压扭性基底断裂的影响。

1.2.3 掀断层及勺形构造

发育于北部隆起中段, 断层 NE 走向, 延伸长, 由深到浅断距逐渐变小, 同一条断层在不同地段, 上升盘的上升幅度不等, 这样就在断层的某区段形成

掀转点, 导致断层在不同部位的走向和倾向发生变化, 但整体走向保持一致, 断层两侧地层的地震反射特征存在显著差别, 而且下降盘厚度明显增大, 地层强烈弯曲, 沿断层附近形成狭窄的向斜构造, 形似勺子, 反映该断层可能经历了走滑运动, 并通过走滑将不同地区的地层移到现今位置。

1.2.4 反转构造

构造反转是指变形作用的反转, 属于构造叠加的一种类型。万安盆地南部的反转构造十分明显。如图 1 所示, 控制凹陷发育的边界断层, 断面倾角上大下小, 呈“犁式”, 在断层下降盘紧临断层一侧的地层, 发生了逆牵引现象, 在浅层转为逆断层。下降盘地层厚度明显大于上升盘, 地层在 T₃¹ 反射界面褶皱最强烈, 呈上凸状, 其下的 T₄、T₅ 反射界面则呈下凹形, 两者形成明显镜象关系的构造现象, 反映为早期沉降, 发生正断, 晚期上隆, 转为逆断的两次构造叠加作用的结果。

2 万安盆地新生代构造运动特征

根据地震资料, 万安盆地存在 3 个重要的区域性不整合面, 即地震剖面上为 T_g、T₅ 和 T₃ 面(图 2), 对应万安盆地新生代 3 次重要的构造运动。

2.1 礼乐运动

发生在早、晚白垩世时期, 相当于南海北部的神弧运动, 是早期的一次重要构造运动, 以新生界与前第三系之间的不整合为代表。

礼乐运动影响范围大, 使前第三纪地层遭受强烈的削蚀和褶皱, 以及大量的中酸性火成岩的侵入和喷发, 万安盆地内由花岗岩、火山岩及变质岩构成的基底即为该时期的产物, 地震剖面上为空白或杂乱反射。

2.2 西卫运动

发生于始新世中晚期, 这次构造运动使万安盆地大范围发生强烈沉陷(或断陷), 为后续的沉积提供了广阔的空间, 此后接受大规模海侵沉积, 发育了巨厚的渐新世-中新世(E₃-N₁)海相地层, 最大沉积厚度超过万米。构成盆地的主体构造层。该套地层以浅海相沉积为主, 上部碳酸岩发育(且南部较北部发育), 为盆地的断拗沉积阶段。并伴生有大量断裂活动, 北部隆起基本成型并继续上隆。

西卫运动在盆地的北部和南部表现不同, 在盆地中北部, 此期运动以引张为主, 使早期的断陷进一步拉张扩大, 盆地转入断拗沉积; 而在盆地南部, 此

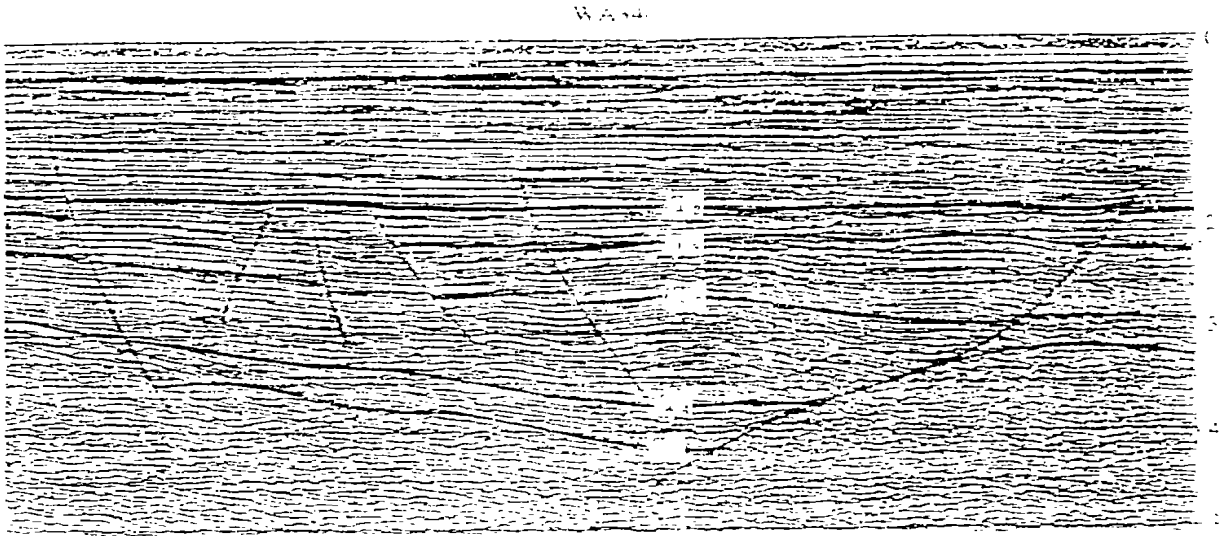


图 1 万安盆地南部地震剖面
(示反转构造形态)

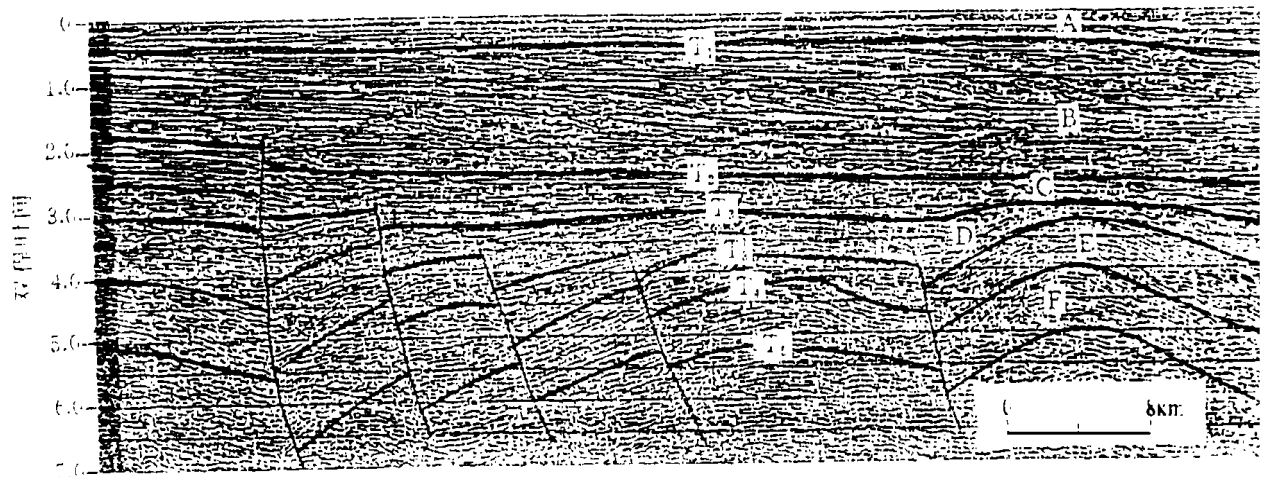


图 2 南沙海域万安盆地地震反射剖面及其解释结果

期运动则以隆升作用为主,使早期沉积较薄的地层(或礼乐运动造成南部抬升,根本就没有沉积这套地层)遭受强烈剥蚀,导致渐新统直接覆盖在前新生代之上。

总之,以 T_5 为界的上覆地层为广盆的断拗型沉积,之下为窄盆内断陷型沉积。且两者呈明显的角度不整合或平行不整合。因此该界面是盆地早期的又一个重要的区域性构造不整合面,反映该时期是盆地发育过程中的两个不同发育阶段的重要转型期。

2.3 万安运动

万安运动发生于早中新世末,结束于晚中新世初,是盆地演化的重要转折时期,表现在盆地主体部位的前晚中新世地层受到强烈的削蚀、错断和不同

程度的变形。以其为界的上、下两套地层呈明显角度不整合接触,其上为一套近水平、变形微弱、无断层错动(或错动小)的反射层组,在陆架区为席状,在陆坡区为一套具大型前积结构的反射波组;其下为一套受到不同程度变形、断层错断明显、倾角较大的反射层组,反映其为地震反射层内部最强烈的区域不整合面。

万安运动分万安运动幕、万安运动幕,分别发生在早中新世末至中中新世初(T_5)、中中新世末至晚中新世初(T_3)。万安运动幕是盆地演化的重要转折期。随后,南海海底扩张结束,万安盆地发生大规模的区域沉降(热沉降),致使 T_3 界面之上沉积了一套具明显上超现象及具大型前积结构的沉积

层,即表层构造层。

综上所述,相比而言, T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 等4个界面有一个共同特点,即界面附近上下地层呈平行关系。因此,这些反射界面可能是在构造活动相对较弱的背景下,由于海平面下降而形成的局部不整合面(侵蚀不整合面)-沉积间断面,属于水动型引起的小规模构造活动所致。

3 地震构造样式与构造运动的成生关系

前面对主要反射波组特征、区域角度不整合面特征、构造样式等进行了“实物”性分析,从局部对构造活动进行了具体解释。但真正要了解它们之间的关系,还得从宏观上结合板块理论来解决其地球动力学成因。通过对盆地内发育的不同构造样式的空间展布特征的描述,认识到难以用单一的构造应力场来解释各期发生的构造现象,随着时间的变迁,断裂活动性质及伴生构造类型发生了明显的变化,盆地经历了几个不同的演化阶段(Wu et al, 1996)。总的来说,中生代末至第三纪早期盆地处于热隆张裂阶段,地幔上涌使岩石圈隆起,地壳伸展变薄;晚始新世至中中新世末,伸展作用导致进一步断陷并经中晚中新世的走滑作用改造。反映构造应力场由伸展引起的拉张到走滑导致的扭动再到区域沉降的转变过程。

早白垩世末,由于地幔热隆升,南海西部陆壳伸展造成引张作用,形成NW-SE向拉张应力场,南海西北陆缘地区及万安盆地区构造活动以大陆伸展(混合剪切)为主,紧邻万安盆地东北部的万安北盆地南部发育典型的伸展构造样式辅以佐证,该构造样式是一个由大型铲状正断层与反向正断层以锐角相交的帚状伸展构造,断面呈铲状,上陡下缓逐渐变平,插入中(或深)地壳中,说明上地壳引张伸展。由此可见,该时期南海西部地壳以伸展作用为主。由于引张作用于地壳或岩石圈,盆地所处部位的陆壳减薄,引起深部物质迁移,处于陆坡与陆架转折部位的盆东缘断裂向地壳中、深层伸展,表现为明显的地壳滑脱,导致盆地基底隆升张裂,在地表形成了广泛分布的切割盆地基底的NE向张性正断层,形成半地堑、地垒,构成盆地基底的火山岩类、花岗闪长岩类即为该时期地壳活动的产物,在盆内相应形成断阶带或潜山构造、张性断块等基底的构造样式。奠定了

该盆地的雏型。

晚始新世时,沿WN方向侵入的太平洋或菲律宾海板块与SN向的欧亚板块相互作用,南海西南部地区发生以张性为主的西卫运动,此期运动波及万安盆地区,导致万安盆地基底在伸展的同时(可能渐新世末伸展作用停止),大规模的拉张沉降;早中新世,地壳内沿早期伸展的主断裂(即现今盆东缘断裂)开始发生由走滑运动派生的左旋扭张作用,中中新世期间,扭动性质发生改变,此时以扭压作用为主,至中中新世末,万安运动结束对盆地的扭性改造,在盆缘、盆内形成了相应的扭性构造形迹。主要表现在以下几个方面:

(1)从区域上看:盆内局部构造带多表现为断-皱型构造样式,两者相互伴生。各局部构造带彼此斜接,呈NE向展布,继承性发育。这种构造格局于中中新世定型,与盆东缘断裂后期的走滑改造有一定的关系。另外,万安盆地盆东缘走滑断裂西侧的北段厚度较南段大,差别较显著,反映盆地北部以扭张作用为主,南部呈扭压特征。

(2)从局部可见:剖面上因倾向变化形成“S”形断面,以及断层平移造成的地层厚度不对应,反映局部地段亦具有扭性特征。

(3)从构造演化史分析:早中新世末,地层就开始受到走滑派生的扭性作用的影响,下覆地层褶皱

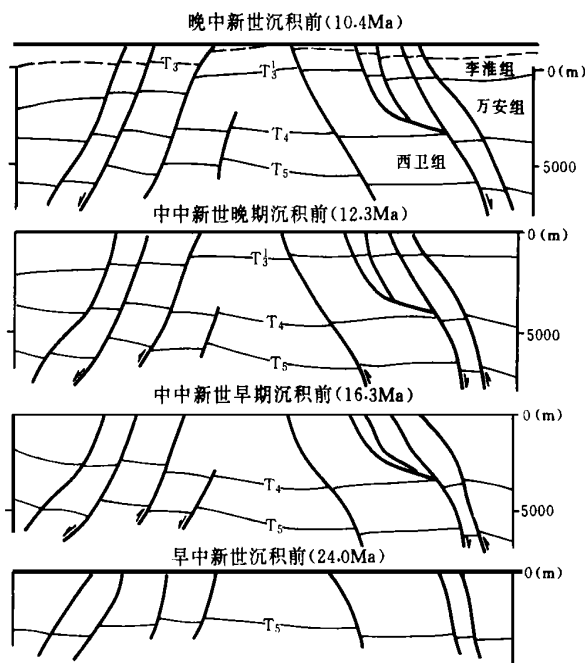


图3 南海海域万安盆地构造发育史剖面图

并出现逆断(图 3), 此时构造开始发生反转, 这种作用直至中中新世末, 使地层上隆剥蚀, 但在不同地区表现不同。

(4) 从反映断层活动的曲线看: 同一条断层的活动速率和累积断距在不同地段 T_3 时期的前后表现不同(图 4)。

总之, 持续较长的万安运动对盆内主体构造层的改造, 形成了丰富多彩的构造样式。如早期伸展作用产生的 NE 向断层继承性发育, NE 向断层均为高角度正断层, 这些正断层形成了反向正断的骨牌式构造样式, 它是盆东缘受到伸展作用的同时, 发生

走滑而引起的左旋压扭作用的结果。同时, 还伴生有挤压背斜、勺形构造、似花状构造和反转构造等一批反映走滑引起的具左旋压扭性质的构造样式。另外, 盆地南部发育少量 NW 向张性正断层, 使早期的半地堑继续加深扩大, 并形成了诸如断背斜、断块和断鼻等构造。该期是构造圈闭的主要形成期, 亦是盆地的主要发育时期, 此期为盆地的断坳及走滑改造阶段。

晚中新世到第四纪, 由于走滑运动于中中新世末停止, 该时期万安盆地发生区域性沉降, 表现为坳陷沉积。

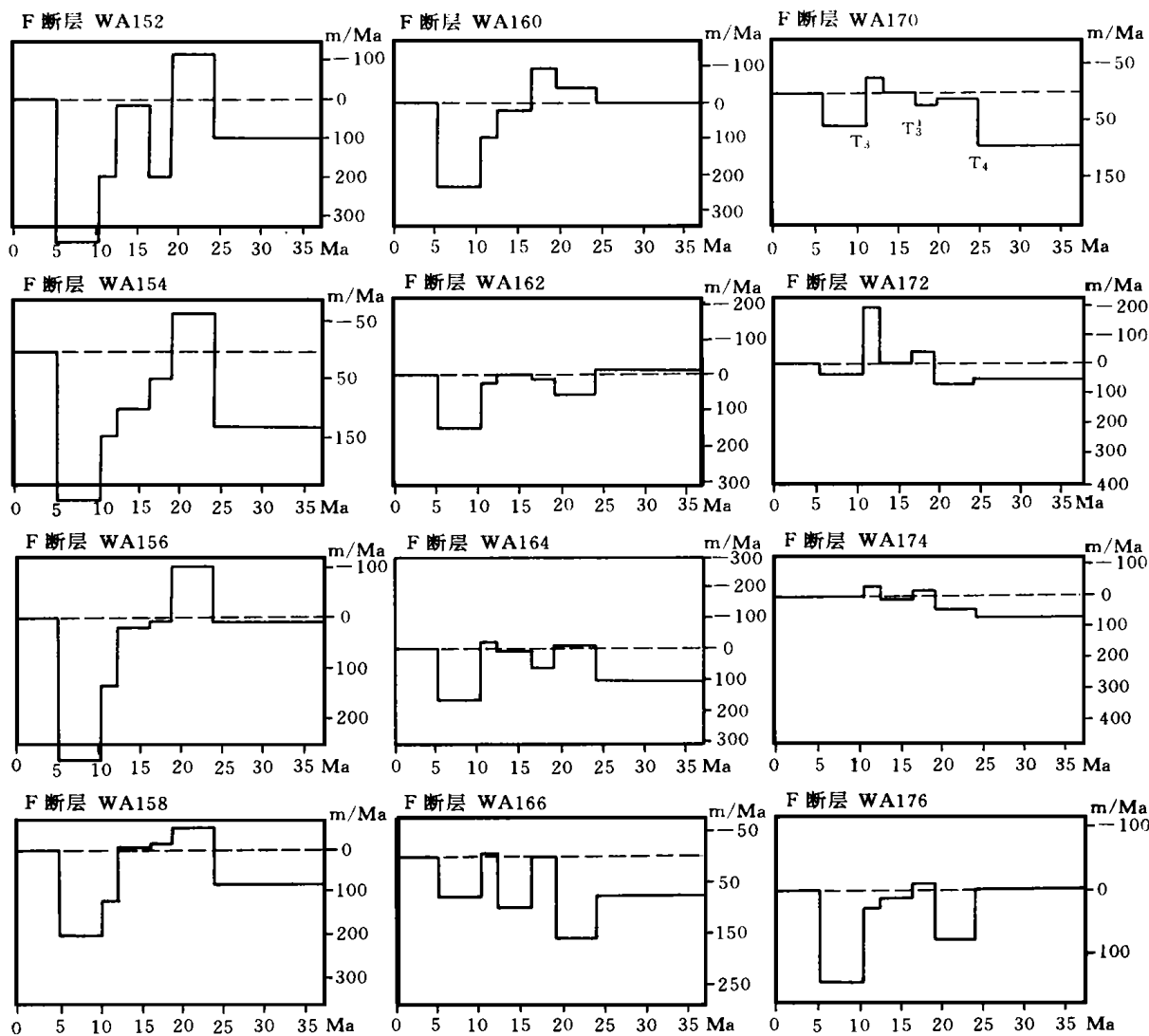


图 4 南沙海域万安盆地断层活动曲线图

4 构造样式与油气聚集

综上所述, 万安盆地构造样式丰富, 构造样式的研究对于盆地的区域应力场研究、盆地的演化、油气运移和聚集都具有十分重要的意义。

4.1 潜山构造

是指在前第三纪花岗岩基底隆起背景上产生和发展起来的古构造, 可在大断层上升盘的潜山古地貌及内幕形成油气藏。构造潜山的花岗岩经受风化淋滤作用时间较长, 溶蚀孔洞、构造裂缝及潜山风化壳较为发育, 潜山顶部风化淋滤体为储集层, 具备良好的储集条件(缝洞型储集体)。潜山虽紧邻深拗陷, 但潜山上覆无生油岩接触, 不具备生油岩包围潜山的条件, 构造圈闭下伏的前第三系潜山储集岩被泥岩覆盖, 其东侧断层落差又较大, 使下降盘生油岩与潜山有机会大面积侧向接触, 有利于油气以初次运移和二次运移方式直接进入潜山, 并沿潜山不整合面(或剥蚀面)、断层和储集层向圈闭顶部运移聚集。

目前, 经钻探证实在万安盆地潜山构造为一较有利的储油构造, 大熊油气田可为佐证。大熊古潜山油气藏的发现, 对于在盆地隆起区, 特别是在北部隆起带勘探古潜山油气藏具有启示意义。

4.2 断背斜构造

是指被断层切割复杂化的背斜圈闭条件下形成的构造。既表现出背斜和断块等普通油气圈闭构造的性质, 又具有似花状构造的独特性。由于扭断活动对油气的影响, 形成了有利于油气富集的构造样式, 致使生油层中分散的油气被强拧驱赶运移至花状构造的背形核部, 同时由于扭动断层的强烈剪切易形成裂缝, 储层较好。由于断层的封堵作用不同, 形成的高低不等、圈闭条件各异的断块, 不具有统一的油水界面, 不同断块的油气富集程度也不尽相同。在生油层的沉积过程中, 随着构造两侧地层的下降和构造主体的隆升, 导致背斜主体的储集层与两侧断层的下降盘的大套生油岩直接相连。当下降盘一侧生油岩在上覆层不断增厚并进入成油门限深度和温度后, 所生成的油气即在地层的压实和地下水的增热作用下产生营力, 并随之排出而开始初次运移。同时, 与之相接的构造主体内的储集层, 由于砂岩较泥岩具有较小的压实系数, 孔隙压力远低于下降盘的生油层, 因此油气即可向上作初次运移, 并通过断层向具有较大孔隙和最低压力的储集层内运移和富集。经钻探证实, 此类构造亦是该盆地内重要的油气

富集区。

4.3 反转构造

是油气勘探的有利构造, 其早期为凹陷, 有利于油气生成, 晚期由于构造反转形成的构造高部位直接覆盖在可能具有生油能力的深凹陷之上, 其间以断裂相通, 对油气聚集有利, 因而可成为油气近距离运移富集的最佳组合。

5 结语

通过对万安盆地内构造不整合面确认、构造运动特征及典型构造样式的分析, 归纳有如下几点认识:

(1) 万安盆地演化经历了3次重大变革事件, 是由礼乐、西卫和万安等3期改造运动所致, 在盆内形成了3个重要的区域性角度不整合面。

(2) 万安盆地3套构造层(基底构造层、主体构造层、表层构造层)内各自发育了独具特色的构造样式。基底构造层内发育了潜山构造、基底张性断块等构造样式; 主体构造内产生了挤压背斜构造、反向正断层的骨牌式构造、似花状构造和掀断层等构造样式。

(3) 认为基底构造层内的构造样式是盆地在早期地壳伸展张裂应力场背景下形成的; 主体构造层内的构造样式则与后来发生的万安运动(兼有走滑作用)有关; 而表层构造层内无明显的典型构造样式, 反映盆地在晚期以区域性沉降为主, 表现为拗陷沉积。

(4) 3套构造层内的构造样式分析, 揭示万安盆地发育经历了白垩纪至第三纪早期地壳伸展断陷, 始新世末至中中新世末的断拗及走滑改造和晚中新世至第四纪的区域性沉降等3个演化阶段。

(5) 分析认为万安盆地是一个属地壳伸展张裂形成的、且受到走滑作用改造的、具扭性的断拗复合型盆地。

(6) 盆地内潜山构造、挤压背斜构造和骨牌式断裂构造(似花状构造)对油气聚集最有利, 是研究油气富集的重要圈闭类型; 反转构造、张性断块构造亦有利于油气富集。

参 考 文 献

- 1 姚伯初. 南海南部地区的新生代构造演化. 南海地质研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994, (6): 1~15

- 2 王燮培等. 石油勘探分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- 3 Harding T P, Lowell J D. Structural styles, their plate-tectonic habitats, and hydrocarbon traps in petroleum provinces. *AAPG Bulletin*, 1983, 63(7): 1016 ~ 1085
- 4 Lowell J D. Structural styles in petroleum exploration. Tulsa: Oil and Gas Consultants International. Inc. 1985
- 5 Wu Jinmin et al. Formative mechanism and Cenozoic tectonic evolution of Wan'an basin, southwest south China Sea. collection of marine geology and geophysics. Qingdao Ocean University Press, Qingdao, China, 1996

(收稿日期: 1997 年 10 月 29 日)

THE CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL STYLES AND THEIR INFLUENCES ON OIL AND GAS ACCUMULATION OF THE WAN'AN BASIN IN THE SOUTHWESTERN SOUTH CHINA SEA

Zhang Guangxue Bai Zhilin

(*The Second Marine Geological Investigation Brigade of Guangzhou Marine Geological Survey, 510760*)

Abstract

The paper described the characteristics of main tectonic movements and structural styles in each structural layer in the Wan'an basin in detail. Three tectonic movements including the Cretaceous Lile movement, the Middle-Late Eocene Xiwei movement and the Late Miocene Wan'an movement occurred in the basin. The earlier Lile movement resulted in the basin's embryonic tectonics, the later Xiwei movement caused expansion of the continental margin fault depression, and the latest Wan'an movement lead to the former strata folded, block faulting, denuding and structural inversion. Most structural traps were formed in the latest movement. With occurring of main tectonic movement, there are three suites of tectonic layer in the basin, i. e. basement layer (under T₅ or T_g), principal layer (between T₃ and T₅) and superficial layer in which various characteristics structural styles have been developed. In terms of hydrocarbon accumulation, the principal layer is the habitat due to its wide development of structural traps.

(上接 222 页)

CHARACTERISTICS OF FAULTING-RELATED TRAP TYPES IN THE TARIM BASIN

Duan Tiejun Xu Hongjie Wu Hong Tang Huimin

(*Research Institute of Exploration, CN SPC, 434100*)

Abstract

Above 60% oil/gas traps whose formation mainly has close relationship to faulting are developed concentratedly within the fault zone of the Tarim Basin. Faulting of different systems controls the types of oil/gas traps. Thrust decollement mainly results in stacking imbricate, fault bending, fault spreading and fault sliding folds, back thrusting in back-thrusting blocks, back-thrusting anticlines and tractive traps, and strike-slip displacement in efflorescent and en echelon folds. They have become the important targets for the oil/gas exploration of the basin.