

渤海湾盆地基岩地质图及其所包含的构造运动信息

漆家福^{1,2}, 杨 桥^{1,2}, 陆克政², 周建勋^{1,2}, 王子煜²

(1. 石油大学 石油天然气成藏机理教育部重点实验室,北京 102249; 2. 石油大学 资源与信息学院,北京 102249)

摘 要:利用油气勘探资料编制的渤海湾盆地基岩地质图,分析了基岩露头分布及其反映的中、新生代构造运动特征。基岩地质图显示渤海湾盆地基底岩层受印支运动和燕山运动影响发育有一系列近 EW 向、NNE—NE 向的褶皱和逆断层等挤压构造变形。基岩露头展布表明渤海湾盆地西部、北部在侏罗纪之前的剥蚀作用明显强于东部和南部地区。基岩地层形成的区域褶皱轴向及各亚构造层之间的不整合面接触关系反映出在下一中三叠统沉积之后至下一中侏罗统沉积之前的某个“关键时刻”渤海湾地区发生了一次重要的构造变革,导致早期的近 EW 向构造被 NNE—NE 向构造替代。而从区域应力体制来看,下一中侏罗统沉积之后渤海湾地区的区域构造环境发生了重要变化,从中生代早期的挤压构造环境变为以裂陷作用为主的构造演化时期。

关键词:基岩地质图; 构造变革; 印支运动; 燕山运动; 渤海湾盆地

中图分类号:P542 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2004)03-0299-09

“八五”、“九五”期间中国石油天然气集团公司科技司组织石油大学(北京)构造地质研究室、石油物探局地质研究院以及渤海湾地区各油田有关研究人员一起,利用油田钻井和地震勘探资料编制了 1:50 万渤海湾新生代盆地基岩地质图^①。近几年来,作者又陆续收集了有关油田的最新勘探资料,对上述图件进行了修编。本文扼要介绍《渤海湾盆地新生界下伏基岩地质图》和《渤海湾盆地侏罗—白垩系下伏基岩地质图》,并通过分析这些基础图件简要讨论其包含的构造运动信息。

1 基岩地质图中的地下露头分布

揭去盆地充填的新生代地层而编制成的《渤海湾盆地新生界下伏基岩地质图》(图 1)中,地下基岩露头包括华北地区发育的各个地质时代的地层。根

据区域角度不整合接触关系,自老至新大体可以分为(1)古元古界和太古宇、(2)古—中元古界、(3)寒武—奥陶系、(4)石炭—二叠系(部分地区包括下一中三叠统)、(5)侏罗—白垩系等 5 个构造层系。其中,侏罗—白垩系还至少可以划分出下一中侏罗统(含煤或泥炭地层)、上侏罗统—下白垩统(火山碎屑岩地层)和上白垩统(冲积相碎屑岩地层)3 个亚构造层,它们分别与不同时期的老地层呈角度不整合接触。

图 1 中阴影部分为渤海湾盆地古近系分布范围。可以看出,大部分古近纪断陷中的地下基岩露头为侏罗—白垩系,而隆起、部分凸起上的基岩相对较老,新近系可以直接覆盖在古生界或更老的地层之上。也有例外的情形,如冀中拗陷内部古近系之下广泛分布古—中元古界和寒武—奥陶系,拗陷东部斜坡及东侧的沧县隆起上则分布有大量石炭—二叠系。地下基岩露头分布的这种宏观趋势受到新生代盆地构造的控制或影响,同时也包含有前古近纪、特别是中生代时期构造运动的信息。其中,侏罗—白垩系的分布状况则主要是反映燕山运动以来的构造变形。

进一步揭去盆地覆盖的侏罗—白垩系编制成的

收稿日期:2004-03-31;修订日期:2004-05-31

基金项目:国家“973”项目“中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测”第 3 课题(G1999043303);国家自然科学基金资助项目(40372072)

作者简介:漆家福(1957—),男,教授,博士生导师,构造地质学专业,主要从事盆地构造分析和油气构造解析的教学和研究工作。

① 这里的事前数据指地壳层覆盖的盆地基底岩层。



图1 渤海湾盆地新生界下伏基岩地质图

Fig. 1 Geologic map of sub-outcrop of uncovered Tertiary

1—上白垩统; 2—上侏罗统—下白垩统, 未分; 3—右为上侏罗统, 左为下白垩统; 4—下—中侏罗统, 未分; 5—下—中三叠统, 未分; 6—石炭系—二叠系, 未分; 7—寒武系—奥陶系, 未分; 8—左为寒武系, 右为奥陶系; 9—震旦系; 10—中—新元古界, 未分; 11—中元古界; 12—古元古界; 13—太古宇; 14—左为元古宙花岗岩, 右为侏罗—白垩纪花岗岩; 15—正断层, 短柱一侧表示断层上盘; 16—逆断层, 锯齿一侧表示断层上盘; 17—走滑断层, 箭头表示新生代时期可能的走滑位移方向; 18—主要基底断层; ①—太行山前断层, 冀中古近纪断陷的主边界断层, ②—沧东断层, 黄骅古近纪断陷的主边界断层, ③—兰聊断层, 东濮、临清古近纪断陷东部边缘的主边界断层, ④—埕东南断层, 济阳冀中拗陷古近纪断陷的主边界断层, ⑤—沈阳—潍坊断裂带, 昌潍、渤中、辽东湾和下辽河等古近纪断层的主边界断层大致沿该断裂带分布, 但是明显受到该断裂带后期活动的改造; 19—地层界线, 虚线的置信度更低一些; 20—古近系分布区域

中, 临清拗陷、黄骅拗陷南部、冀中拗陷与沧县隆起结合部位在侏罗—白垩系之下有中—下三叠统出露, 冀中拗陷中西部、辽河拗陷西部等区域侏罗—白垩系直接覆盖在《渤海湾盆地侏罗—白垩系下伏基岩地质图》万勇数据—中元古界之上; 渤中拗陷和下

辽河—辽东湾拗陷东部、昌潍拗陷的大部分区域(即郯庐断裂带在海域的延伸部分及以东地区), 侏罗—白垩系直接覆盖在太古宇—古元古界或中—新元古界之上; 黄骅拗陷中部、渤中拗陷中部、埕宁隆起及济阳拗陷东北地区侏罗—白垩系可以直接覆盖在寒

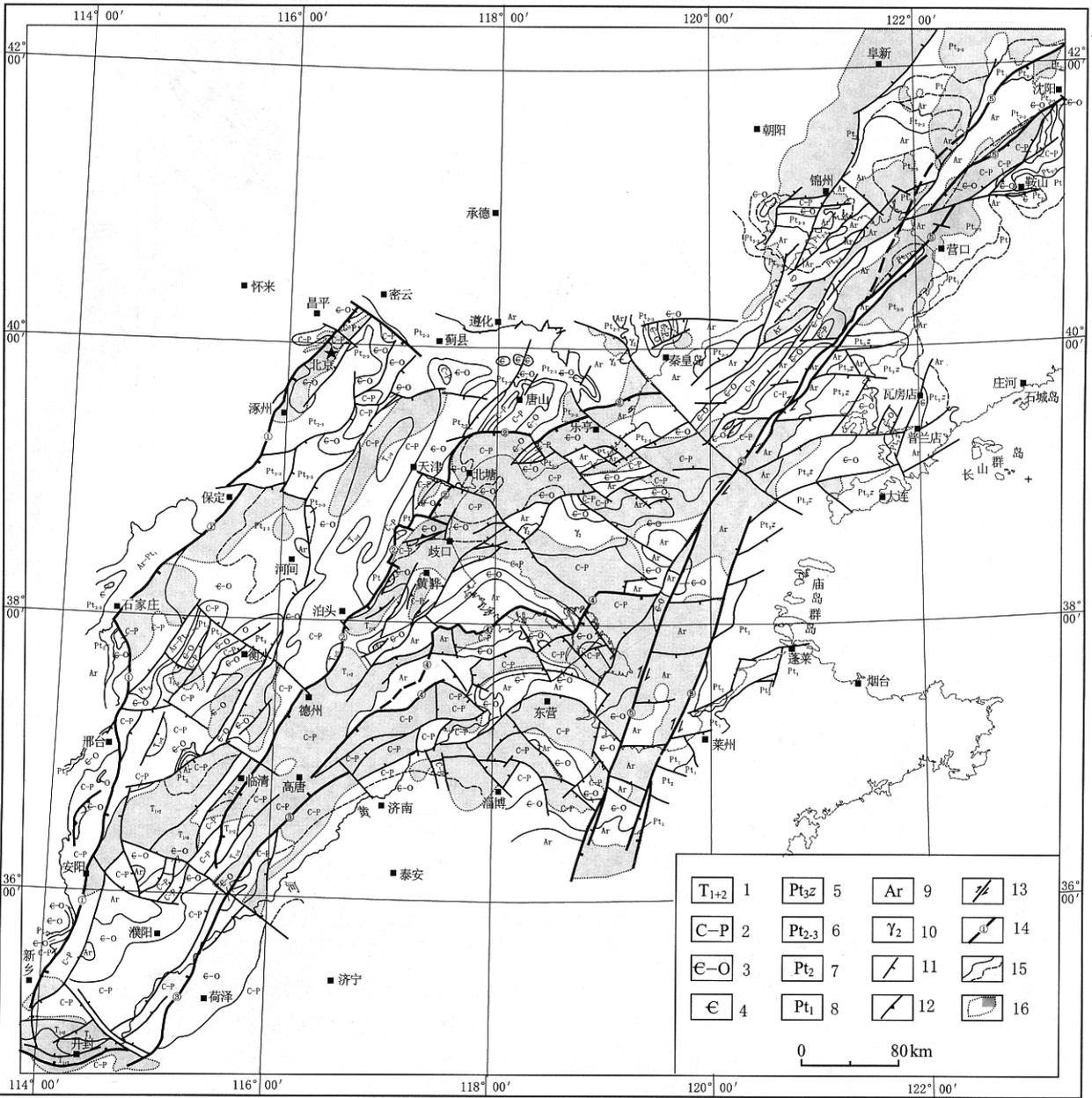


图2 渤海湾盆地侏罗系—白垩系下伏基岩地质图

Fig.2 Geologic map of sub-outcrop of uncovered Jurassic—Cretaceous
1~15 分别与图1中的5~19相同;16—侏罗—白垩系分布区域

武—奥陶系及更老的地层之上;其他大部分区域的侏罗—白垩系之下广泛出露石炭—二叠系和寒武—奥陶系。图2中的露头分布表明,渤海湾盆地西部、北部在侏罗纪之前的剥蚀作用明显强于东部和南部地区。冀中拗陷中部等地古近系覆盖的由中—上元古界构成的潜山顶部的基岩地层的剥蚀实际上是在晚三叠世至古近系沉积之前多次隆升剥蚀的结果。

2 基岩地层的构造变形

沉积地层的构造变形是该地层形成时期及形成以后的地质构造运动的综合反映。基岩地质图只是揭去了上覆盆地盖层,真实地展示地下基岩露头的分布,并没有消除后期构造运动造成的基岩构造变形。因此,基岩地质图反映的基岩地层的构造变形,实际上是这些地层发育过程中及其后来的多期构造变形的叠加结果。

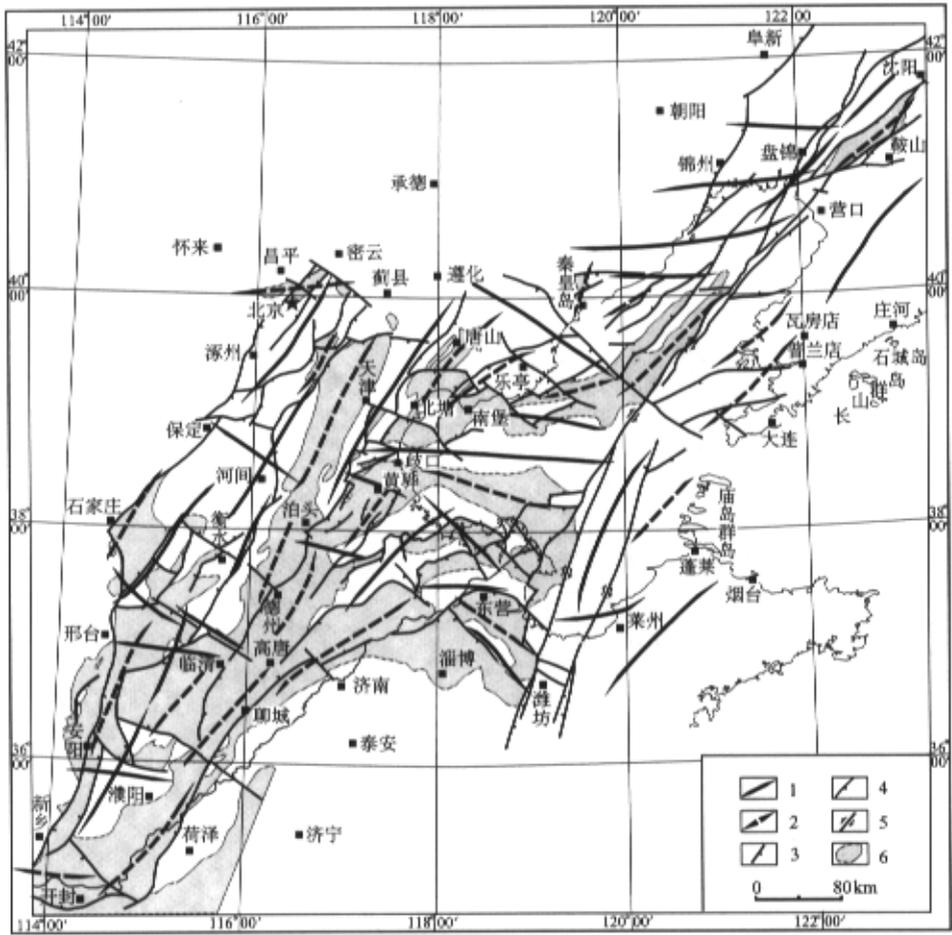


图3 渤海湾盆地基岩地层构造纲要图

Fig. 3 Regional structural outline in sub-outcrop map of uncovered Tertiary

- 1—前侏罗系基岩构成的背斜的轴线; 2—前侏罗系基岩构成的向斜的轴线; 3—基岩卷入变形的正断层;
- 4—基岩卷入变形的逆断层; 5—基岩卷入变形的走滑断层; 6—石炭系—二叠系分布区域

2.1 褶皱构造

根据基岩露头分布和区域地震剖面资料,可以解释出不同方向的区域褶皱构造(图3)。其中轴向为近EW向(包括NWW向和NEE向)和NE—NNE向的两组褶皱构造比较清楚。近EW向褶皱宽缓、短轴或轴迹波状起伏,受到NNE—NE向褶皱的叠加改造;NNE—NE向褶皱的轴迹延伸较长,基岩露头分布反映出的褶皱形态更加清晰,但是区域性褶皱多数属于平缓褶皱范畴,局部褶皱可能会达到开阔褶皱或中常褶皱的紧闭程度。

近EW向褶皱中,以中—古元古界、太古宇或寒武—奥陶系为核部的背斜隆起表现得相对完整。有些NWW—近EW向背斜隆起顶部被侏罗—白垩系覆盖,如黄骅坳陷中部的小站—北大港—沙垒田隆起带的顶部均是侏罗—白垩系直接覆盖在寒武—奥陶系或古元古界之上,相邻的南北两侧则出

露石炭—二叠系,其南侧的埕北凹陷中由石炭—二叠系及更老地层构造的向斜其上覆盖的侏罗—白垩系也发生了相应的褶皱变形。也有一些近EW向基岩隆起顶部缺失侏罗—白垩系,如定州—河间隆起、鹤壁—濮阳隆起、泊头—埕宁隆起等顶部的中—新元古界或太古宇可以直接被古近系覆盖。

NNE—NE向褶皱中,以石炭—二叠系(甚至是下—中三叠统)为核部的区域性向斜带表现得更加清楚(图4)。除沧县隆起等古近纪隆起区上的石炭—二叠系是被新近系或古近系覆盖外,大部分区域的石炭—二叠系地下露头是被侏罗—白垩系覆盖的,侏罗—白垩系与发生褶皱的石炭—二叠系或下—中三叠统呈角度不整合接触,并且部分地区也有中—下侏罗统(如果存在)卷入褶皱变形中。

2.2 断裂构造

图1、图2、图3展示了渤海湾盆地切割基岩地

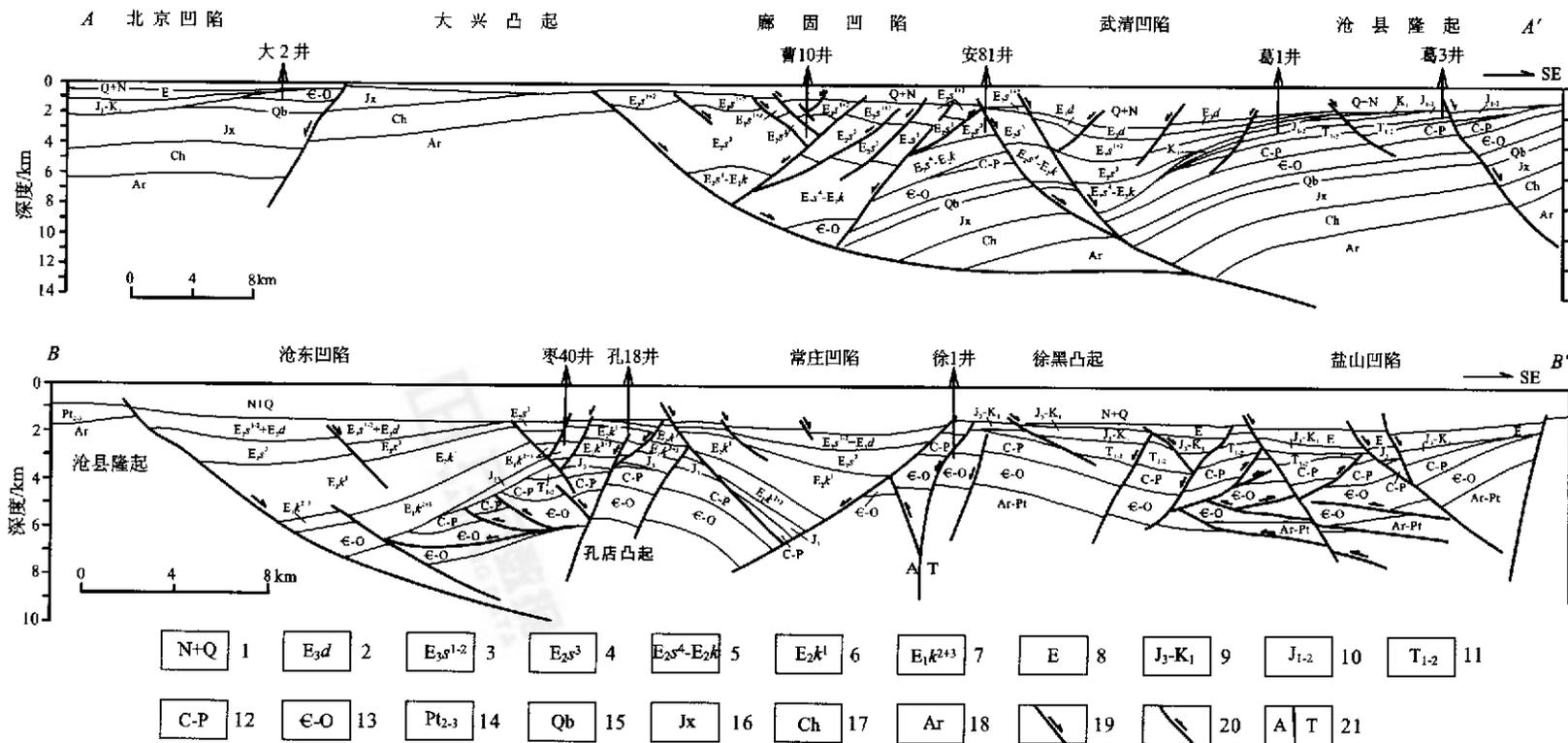


图4 渤海湾盆地剖面图(部分)

Fig. 4 The sections across Bohai Bay basin (partial)

据油田地震和钻井资料解释, A—A'剖面位于冀中拗陷北部, B—B'剖面位于黄骅拗陷南部, 剖面位置见图1。图例: 1—新近系和第四系; 2—渐新统东营组; 3—渐新统沙河街组一、二段; 4—始新统沙河街组三段; 5—始新统沙河街组四段和孔店组; 6—始新统孔店组一段; 7—古新统孔店组二、三段; 8—古近系; 9—上侏罗统和下白垩统(未分); 10—侏罗系下、中统(未分); 11—三叠系下、中统; 12—石炭—二叠系; 13—寒武—奥陶系; 14—中、新元古宇; 15—青白口系; 16—蓟县系; 17—长城系; 18—太古宇; 19—正断层; 20—逆断层; 21—右旋走滑断层

性质和不同尺度的断层。从断层性质上看, 正断层占绝对优势。图中表示的大部分正断层控制了古近系的分布, 并多数属于古近纪时期的同生正断层。但是这些正断层中有相当部分是在侏罗—白垩系沉积期间就存在的, 至少对晚侏罗—早白垩世盆地的发育有一定的影响。

渤海湾盆地中部、东部(如黄骅拗陷、济阳拗陷和辽河拗陷等)侏罗—白垩系下伏基岩地层中还发育有一些逆冲断层。这些逆冲断层主要发育在寒武—奥陶系和石炭—二叠系中, 向上也可以切入下—中侏罗统甚至上侏罗—下白垩统构造层^[1~3]。黄骅拗陷内部的逆断层走向以 NNE—NE 向为主^[1], 济阳拗陷内部的逆断层走向以 NW 向为主^[2], 辽河拗陷东部边缘发育 NE 向和近 EW 向两组逆断层。这些断层的逆冲位移一般都较小, 多为铲式逆断层形态, 在古生界内部滑脱, 也有一些明显属于基底卷入的逆冲断层, 向深部并入区域性基底断层中。这些逆冲断层的走向多与基底地层显出的区域褶皱轴走向一致或者区域性深断裂走向一致, 它们是中生代褶皱作用引起的局部逆冲作用, 或是深断裂走滑活动诱发的局部逆冲作用。随着盆地潜山油气藏勘探的发展, 一定还会揭露出更多的逆断层, 但是发现区域规模的、逆冲位移量超过数公里的推覆构造的可能性不大。

众所周知的郯庐断裂带从渤海湾盆地东部边缘穿过, 在基岩地质图上表现明显的线性断裂带, 并成为基岩地层分布、构造线展布的重要区域边界。前人对郯庐断裂带的中、新生代的性质和演化过程有大量的研究。在基底地质图中, 渤海湾盆地东部边缘的郯庐断裂带主要表现为基底凸起带, 从断裂带内部和边缘发育的横向、斜向正断层与主断裂带的交截关系分析应该有一定规模的右旋走滑位移, 这可能只是郯庐断裂带晚期的构造运动的表现。

3 渤海湾盆地中、新生代构造运动

华北地区在古生代时期属于稳定地台发育阶段, 现今的渤海湾盆地内寒武—奥陶系和石炭—二叠系的原始地层厚度和沉积相带虽然可能存在差异, 但是在中生代之前基本上应该是呈毯状覆盖整个区域^[4~5]。基岩地质图反映的新生代盆地基底构造变形实际上是中、新生代时期各期次构造变形的
万方数据

综合反映。例如, 盆地内部中—新元古界或太古宇基岩露头构成的隆起, 如果被侏罗—白垩系覆盖则该隆起应该主要是印支运动或早燕山运动期间形成的隆起; 如果被古近系覆盖则该隆起既可以是印支运动、也可以是燕山运动形成的隆起; 如果被新近系覆盖则该隆起既可以是印支运动、燕山运动形成的隆起, 也可以是古近纪裂陷作用形成的隆起。同理, 渤海湾盆地内的侏罗—白垩纪沉积盆地, 它们既是在中生代构造运动形成的区域地壳变形基础上形成的, 同时又受同期和后期区域地壳运动的影响而发生构造变形。

3.1 构造变形序列

基岩地质图及区域性地震剖面显示(图 4), 卷入近 EW 向和 NNE—NE 向褶皱的最新地层是下—中三叠统和石炭—二叠系, 中—下侏罗统与下伏发生褶皱的基岩地层呈角度不整合接触, 并主要分布在 NNE—NE 向斜向的核部, 且发生了轻微的褶皱变形。逆冲断层也主要发育在石炭—二叠系及更老的地层中, 部分逆冲断层在中—下侏罗统沉积期间至上侏罗统—下白垩统沉积之前还有继承性活动, 逆冲断层直接切割至中—下侏罗统内部或其逆冲位移对中—下侏罗统的变形有明显的影响。在渤海湾盆地内部的上侏罗统、白垩系并没有发生区域性挤压褶皱构造变形, 但是上侏罗统—下白垩统包含大量的中、基性火山岩, 岩相及其厚度的横向变化快, 分布范围受 NNE—NE 向和近 EW 向或 EW 向正断层控制, 显示裂陷盆地构造变形的基本特点。上白垩统分布局限, 以冲积相沉积为主。这些信息表明, 盆地基底基岩地层的区域挤压褶皱和逆断层是在晚三叠世至侏罗—白垩系沉积之前形成的。在中—下侏罗统沉积期间及上侏罗统—下白垩统沉积之前, 部分褶皱(主要是 NNE—NE 向褶皱)和逆断层又发生继承性活动。切割基岩地层的大量正断层和走滑断层则主要是在上侏罗统—下白垩统沉积期间发育的, 在古近系沉积时期又有继承性活动。

根据卷入构造变形的地层的年代, 并分析区域构造的形成和演化过程, 大致可以将渤海湾盆地中、新生代时期的主要构造变形事件归纳于表 1 所示的构造变形序列。

3.2 中生代构造运动与构造变革

中生代是中国东部构造演化的重要时期, 发生了一系列重要的区域大地构造事件。任纪舜等^[6]在

表 1 渤海湾盆地基岩地层构造变形事件

Table 1 Structural deformation series in Bohai Bay Basin province

变形序列	代表性构造变形	应力体制	发生时间
D7	郟庐断裂带等 NNE 向右旋走滑断层或断裂带	NE/SW 右旋剪切	渐新世—中新世
D6	古近系充填的断陷盆地、基性火山岩, NE—NNE 向正断层与 NW 向伸展变换断层	NWW—SEE 向引张	始新世—渐新世
D5	区域性隆升, 上白垩统下伏不整合面, 古近系下伏不整合面	热隆升	晚白垩世—古新世
D4	上侏罗—下白垩统充填的断陷盆地、中基性火山岩等, NE—NNE 向正断层与 NW 向伸展变换断层	NW—SE 向引张	晚侏罗世—早白垩世
D3	下—中侏罗统发育及卷入的 NE—NNE 向褶皱和逆断层等, 上侏罗—下白垩统下伏不整合面	NWW 向挤压	早、中侏罗世
D2	下—中三叠统及下伏地层发育的 NNE—NE 向褶皱和逆断层等, 下—中侏罗统下伏不整合面	NWW 向挤压	晚三叠世末—早侏罗世初
D1	下—中三叠统及下伏地层发育的近 EW 向褶皱、NW 向褶皱和逆断层等, 上三叠统下伏不整合面	近 SN 向挤压	中三叠世末—晚三叠世

新编的中国大地构造图及其说明书中将三叠纪时期的印支运动分为早、晚 2 期褶皱造山作用, 将燕山运动分为早、中、晚 3 期褶皱造山作用, 而且每一期又包含 1、2 个褶皱幕。这些褶皱作用在燕山地区形成了三叠系内部和侏罗—白垩系内部的多个角度不整合面和强烈的挤压构造变形^[7,8]。渤海湾盆地处于克拉通内部, 基岩地层的褶皱强度相对较低, 但是也明显表现出受到印支运动、燕山运动等褶皱作用的影响。

渤海湾盆地下一中三叠统沉积后曾经历了近 SN 向挤压而形成宽缓的近 EW 向区域性褶皱, 并发生了区域性隆升, 普遍缺失上三叠统沉积^[9]。这应该是早印支期褶皱作用在渤海湾盆地的表现。在下一中侏罗统沉积之前, 渤海湾盆地基底的前侏罗系基岩地层还发生了 NNE—NE 向褶皱作用, 这应该属于晚印支运动在渤海湾盆地的表现。下一中侏罗统的褶皱变形及逆断层位移可能属于燕山运动早期褶皱作用的在渤海湾盆地的表现, 而相当于中、晚期燕山运动的褶皱作用实际上在渤海湾地区的表现并不明显, 上侏罗—下白垩统与上白垩统之间的角度不整合面则可能代表燕山运动引起的区域性隆升。渤海湾盆地基岩地质图反映的构造变形样式、变形强度等方面都表现出东西有别, 近 EW 向褶皱的变形程度表现为西强东弱, NNE—NE 向褶皱变形则为东强西弱。导致这种区域构造变形的差异可能与从三叠纪开始的古秦岭洋自东向西关闭和苏北陆块向 NW 方向推挤有关。在侏罗纪时期, 郟庐断裂带等 NNE 向深断裂发生左旋走滑活动, 导致渤海湾盆地东部地区形成与深断裂带斜交的局部挤压应力场叠加的 NE—E 向的区域挤压应力场之上, 使

东西部的区域应力场格局有所差异。

构造作用过程包括渐进式发展和在相对短的时间内完成的“革命性”构造事件两个方面。有继承性特征的几个构造事件将区域构造演化划分为若干构造幕, 而那些彻底改变区域构造格局的一些重大构造事件将区域构造演化划分为若干阶段。后者也可以称为构造变革。分析区域褶皱轴向反映的区域主应力方向, 渤海湾盆地所在区域的构造变革应该是在下一中三叠统沉积之后至下一中侏罗统沉积之前的某个“关键时刻”, NNE—NE 向构造替代近 EW 向构造成为渤海湾盆地的主体构造方向。从区域应力体制来看, 真正的构造变革又似乎应该是发生在下一中侏罗统沉积之后, 因为渤海湾地区的早—中侏罗世盆地实际上是在继承晚三叠世末期的区域应力场格局基础上发育的, 晚侏罗世—早白垩世才开始在渤海湾及周边发生广泛的裂陷形成裂陷盆地。前者意味着任纪舜等(1997)定义的早、晚印支运动在渤海湾地区存在构造变革, 后者意味着任纪舜等(1997)定义的早、中燕山运动之间在渤海湾地区也存在构造变革, 而早燕山运动实质上是晚印支运动的渐进发展。这可能表明地台内部的构造变形与地台边缘构造变形有一定呼应关系, 但是所谓的印支、燕山运动的时间性在不同区域表现出差异性。或许也说明所谓的构造变革在时空分布上并不是统一的。

本文引用的渤海湾盆地基岩地质图是在 2000 年完成的 1:100 万的同名图件基础上简编的。除本文作者外, 参加编图工作和提供油田勘探原始资料的还有原物探局地质研究院的刘前志高工、大港油田的赵学平和王光奇高工、辽河油田的廖兴明高工、胜利油田的杜公仪和宗国洪高工等, 中

国海洋石油公司研究中心渤海研究院的罗毓辉高工就渤海海域部分的基岩构造特征与作者进行了广泛的讨论。上述个人及其有关石油单位为渤海湾盆地基岩地质图的编制及本文的撰写作出了贡献,在此一并表示感谢。

References[参考文献]:

- [1] QI Jiafu, YANG Chiyin. Thrust structure developed in Pre-Tertiary basement in south area of Huanghua Basin[J]. *Earth Science*, 2003, 28(1): 54-60(in Chinese). [漆家福, 杨池银. 黄骅盆地南部前第三系基底中的逆冲断层[J]. *地球科学*, 2003, 28(1): 54-60.]
- [2] ZONG Guohong, SHI Yangshen, WANG Binghai, et al. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang basin[J]. *Geological Review*, 1998, 44(3): 289-293 (in Chinese). [宗国洪, 施央申, 王秉海, 等. 济阳盆地中生代构造特征与油气[J]. *地质评论*, 1998, 44(3): 289-293.]
- [3] WU Zhiping, LI Wei, REN Yongjun, et al. Basin evolution in the Mesozoic and superposition of Cenozoic basin in the area of Jiyang depression[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2003, 77(2): 280-285 (in Chinese). [吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. *地质学报*, 2003, 77(2): 280-285.]
- [4] DUAN Jiye, LIU Pengju, XIA Dexin. The preliminary research on tectonic pattern and tectonic evolution of Mesoproterozoic-Paleozoic in North China Plate[J]. *Geoscience*, 2002, 16(4): 331-338 (in Chinese). [段吉业, 刘鹏举, 夏德馨. 浅析华北板块中元古代—古生代构造格局及其演化[J]. *现代*

- 地质*, 2002, 16(4): 331-338.]
- [5] MENG Xianghua, GE Ming. Research on cyclic sequence, events and formational evolution of the Sino-Korea plate[J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(3): 31-46 (in Chinese). [孟祥化, 葛铭. 中朝板块旋回层序、事件和形成演化的探索[J]. *地学前缘*, 2002, 9(3): 31-46.]
- [6] REN Jishun, WANG Zhuoxun, CHEN Bengwei, et al. *A View of Geotectonics of China from Global Tectonics—A Brief Explanation for the Geotectonic Map of China and Its Neighbouring Regions* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 1-36(in Chinese). [任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 1-36.]
- [7] HE Zhengjun, LI Jinyi, NIU Baogui, et al. A late Jurassic intense thrusting-uplifting event in the Yanshan-Yinshan area, North China, and its sedimentary response[J]. *Geological Review*, 1998, 44(4): 407-416(in Chinese). [和政军, 李锦轶, 牛宝贵, 等. 燕山—阴山地区晚侏罗世强烈推覆—隆升事件及沉积响应[J]. *地质论评*, 1998, 44(4): 407-416.]
- [8] YANG Geng, CHAI Yucheng, WU Zhengwen. Thin-skinned thrust nappe structures in Western Liaoning in the eastern sector of the Yanshan Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75(3): 322-332(in Chinese). [杨庚, 柴育成, 吴正文. 燕山造山带东段—辽西地区薄皮逆冲推覆构造[J]. *地质学报*, 2001, 75(3): 322-332.]
- [9] QI Jiafu, YU Fusheng, LU Kezheng, et al. Conspectus on Mesozoic basins in Bohai Bay province[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003(Suppl): 199-206 (in Chinese). [漆家福, 于福生, 陆克政, 等. 渤海湾地区的中生代盆地概论[J]. *地学前缘*, 2003(特刊): 199-206.]

Geologic map of sub-outcrop and its implied information of tectogenesis in Bohai Bay basin province

QI Jia-fu^{1,2}, YANG Qiao^{1,2}, LU Ke-zheng², ZHOU Jian-xun^{1,2}, WANG Zi-yu²

(1. Key Lab for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, Beijing 102249, China;

2. Petroleum University, Beijing 102249, China)

Abstract: This paper presents two geologic maps of sub-outcrop based on uncovered Tertiary and Jurassic—Cretaceous respectively in Bohai Bay basin province, and analyses the information of tectogenesis implied by the maps. The geological maps of sub-outcrop showed that the basement of Bohai Bay Cenozoic basin was deformed by two sets of folds and thrusts trending EW and NNE-NE. The angular unconformities within Mesozoic—Cenozoic mark that regional folds and thrust faults were developed before the Early Jurassic and after the Middle Triassic. The late folds trending NNE-NE, are more closed and obvious, superposed on the opened folds trending approximately east to west. The change of regional fold

trending implies that there was an important revolution in the age from late of Middle Triassic to early of Early Jurassic. The maps also show that there was differential erosion in Bohai Bay basin during the Mesozoic. The East and north parts suffered stronger erosion than the west and south parts of the basin during the Late Triassic, but were stronger for the west and north parts during Jurassic—Cretaceous. The regional fold axes indicate that the direction of regional compression was changed from S-N to NW-SE before the Early Jurassic and after the Middle Triassic. Regional deformation figures out that tectonic regime was changed from contractional tectonics to extensional tectonics between the Middle and the Late Jurassic. Most of quasi-sedimentary basement involved normal faults were developed during the Late Jurassic—Cretaceous. Most of regional faults in Paleogene rifting basin were the successors of extensional faults during the Late Jurassic—Cretaceous.

Key words: geologic map of sub-outcrop; tectonic revolution; Mesozoic; Bohai Bay basin

阿尔泰造山带南缘金矿流体及其动力学分析

木合塔尔·扎日¹, 张旺生², 依码木·塔依尔¹, 木合塔尔·买买提¹

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

根据阿尔泰造山带南缘阿克提什坎、库马苏、塔斯比格、多拉纳萨依、阿克希克等十多个金矿区流体包裹体研究, 含金石英脉中流体包裹体为液相、气相及多相包裹体。一般为 $5\sim 8\ \mu\text{m}$, 形态呈不规则状、椭圆形和滴水状等。主成矿阶段温度变化范围在 $200\sim 330\ \text{C}$ 。包裹体气相成分以 CO 、 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 为主, CO 含量大于 H_2O 。根据包裹体气相成分, 岩金矿分为两类, 一为 CO_2 大于 CO , 集中于弧后盆地, 而其余矿床均为 CO 大于 CO_2 。包裹体 Cl^-/F^- 比值为 1.20, 显示 Cl 在成矿物质的搬运过程中起重要的作用。包裹体液相成分中有大量的 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} , 反映了成矿流体在环流过程中淋滤出围岩中 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 及 SO_4^{2-} 等, 这三者占液相成分总量的 60% 以上, HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 甚至占阴离子成分的 90% 以上。成矿溶液可分为 K^+-Na^+ 型、 $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ 型、 $\text{Cl}^- -\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ 型和 $\text{Cl}^- -\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$ 型。成矿流体离子组合的差异虽然受区域地层的影响, 但主要受区域构造位置的制约。如阿克提什坎、多拉纳萨依和阿克希克等矿区的样品基本上反映了大陆板块成矿流体中离子成分的一般特征, 而铁热克、马热勒铁、阿克塔斯和萨尔布拉克等矿区的样品则体现了海沟和岛弧区成矿流

体中离子成分的一般特征。但是, 位于海沟区的塔斯特金矿样品点却与大陆板块内成矿流体的包裹体成分组合相近, 这可能与北天山—准噶尔洋壳板块与西伯利亚陆壳板块碰撞、拼合成统一的欧亚大陆板块之后而侵入的花岗岩有关。另外从海沟到陆内断陷盆地, 地质流体包裹体成分呈有规律的变化, 这种变化规律与矿床产出的地质环境及围岩性质有关。从海沟到陆内断陷盆地, 变化趋势为: K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 呈上升趋势, 水 (H_2O) 呈明显下降趋势, 而其他元素均有波动性。从海沟到陆内成矿流体成矿时的 pH 值主要在中偏碱性 (6.3~6.9) 范围内波动。利用包裹体成分计算得到成矿流体 Eh 值为 $-0.73(\text{V})$, 属中偏碱性的较稳定的还原环境。成矿溶液矿化度为 $12.34\sim 553\ \text{g/t}$, 表明成矿溶液中含有大量的成矿物质; 还原参数为 $0.12\sim 17.02$, 为强还原的成矿环境。成矿流体的氧逸度值 ($\lg f(\text{O}_2)$) 为 $-38.38\sim -59.83$, 平均为 -48.79 , 属低氧还原环境。成矿流体的硫逸度从成矿早阶段到晚阶段逐步降低, 石英-氧化物阶段的硫逸度比较高, 分别为 $10^{-0.60}\sim 10^{-0.70}$ 和 $10^{-11.0}\sim 10^{-14.0}$, 到石英-硫化物阶段, 由于硫大量地析出, 硫逸度大幅度下降, 分别降到 $10^{15.5}\sim 10^{16.0}$ 和 $10^{12.5}\sim 10^{17.0}$ 。硫