

文章编号: 1009-3850(2008)04-0036-08

贺兰拗拉谷北段奥陶系等深流沉积研究

海军

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 笔者采用野外观察和室内分析相结合的研究方法, 分析了贺兰拗拉谷北段桌子山剖面奥陶纪地层的沉积相特征及沉积环境的垂向变化和横向迁移规律。以桌子山剖面奥陶系沉积相研究为基础, 采用 Fischer 图解法, 求取了其可容空间的变化曲线。在此基础上, 结合沉积相模式, 识别出了典型的碳酸盐等深流沉积, 建立了贺兰拗拉谷北段奥陶系层序地层学模式, 为拗拉谷的存在提供了有力的证据。各层序的水进体系域, 应列为该区油气勘探的重要目标层段。

关键词: 桌子山剖面; Fischer 图解; 等深流沉积; 沉积相; 层序

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

Heezen^[1] 等人在对北大西洋陆隆水动力条件和沉积物进行观察和研究之后, 首先提出了等深流这一术语。等深流是由于地球旋转而形成的温盐环流, 它平行海底等深线作稳定低速流动, 主要出现在陆隆区。随着深海调查技术的进步和完善, 特别是深海钻探计划和大洋钻探计划的实施, 不仅证实了深海等深流活动和等深流沉积的存在, 而且还发现了大量由等深流沉积组成的巨大沉积体, 其中最典型的就是等深岩丘。Faugere 和 Stow(1993) 编辑出版的有关等深流和底流沉积的专辑中比较详细地介绍了这一时期所取得的主要成果^[2~6]。高振中等著的《深水牵引流沉积》一书对等深流及其沉积作用作了系统的论述^[7]。我国等深流沉积研究始于二十世纪 80 年代初期, 段太忠等(1990-1993) 对湖南桃园九溪下奥陶统碳酸盐等深岩丘的研究^[8], 高振中等(1995) 对鄂尔多斯台地西缘甘肃平凉中奥陶统等深岩丘的研究^[9] 均取得了重要成果。其中, 等深岩丘的发现是该领域最为重要、最具特色的突出成果。等深岩丘的识别标志很难被发现, 很多专家学者根据古水流方向和粒度分析等特征对其做出断

定^[10~16]。等深流沉积是古地理、古构造、古气候、古水流等的综合反映。综合各种信息才能对其识别和研究。参照野外的样品化学分析数据, 得出深水等深岩的生烃能力较好, 故对等深岩的研究具有潜在的矿产意义。

1 大地构造位置

贺兰拗拉谷北侧为兴蒙海槽, 西侧为北祁连海槽, 南侧为南秦岭海槽, 东侧为鄂尔多斯碳酸盐台地(图 1)。剖面位于乌海市海南区, 是贺兰拗拉谷北段奥陶系层序地层研究的典型剖面。笔者实测了岗德尔山老石旦东山、岗德尔山南缘哈图沟、公乌素青年农场等奥陶系综合剖面。

2 沉积特征与沉积相

2.1 沉积特征与沉积相

采用野外观察和室内薄片分析相结合的方法, 研究奥陶系地层的岩石学和古生物学特征, 得出沉积环境的垂向变化规律。垂向沉积环境的变化是横向沉积环境迁移的结果, 横向沉积环境的迁移是层

收稿日期: 2008-06-16 改回日期: 2008-08-21

作者简介: 丁海军(1978—), 男, 博士生, 主要从事沉积盆地研究。E-mail: dhjshh@yahoo.cn

资助项目: 科技部国家重点基础研究(001CB711002), 国家自然科学基金(40172043, 40572073), 中国地质调查局项目(200313000055)

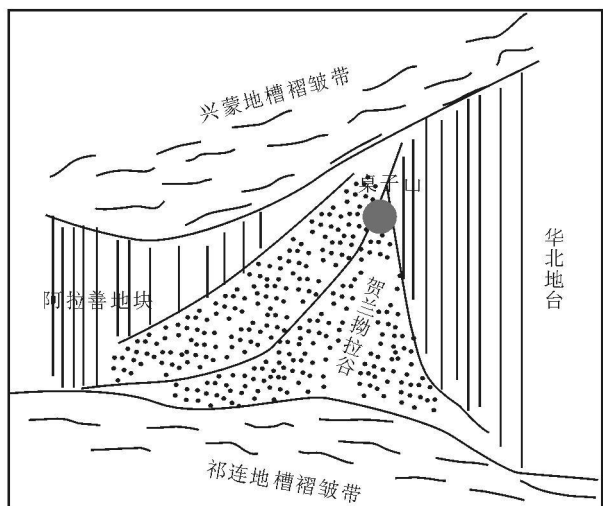


图1 桌子山剖面位置 1:200 000

Fig 1 Location of the Zhuozishan section (scale 1:200 000)

序发生和发展的具体表现(图2)。

2.2 沉积相模式

桌子山奥陶系是碳酸盐岩和陆源碎屑岩混合沉积(图3)。

1. 三道坎组

灰紫色中厚层状石英砂岩与白云岩、白云质灰岩、生屑粒泥灰岩互层,广盐性的介形类和瓣鳃类化石丰富,砂岩具交错层理,是典型的局限台地相。

2 桌子山组

中厚层灰岩、藻粘结灰岩,富含蓝绿藻丝状群体、管状体,见红藻屑、腕足、海绵骨针等生物化石,属于台地边缘生物礁或生物滩相。贺兰山一带变为暗色含燧石条带或结核的砾屑灰岩、白云岩、微晶灰岩、泥灰岩,分析为盆地边缘相。

3 克里摩里组

暗色薄层状泥灰岩,其间夹有黑色页岩水平纹理发育,含浮游有孔虫、笔石、三叶虫、小腕足屑,属于广海陆棚相。

4 乌拉力克组

黑色笔石页岩夹数套具鲍马序列特征的重力流沉积体,重力流块体中的颗粒成分是桌子山组和克里摩里组岩性,为典型的盆地相。

5 拉什仲组

粉砂岩浊积岩与页岩的不等厚互层,镜下见海绿石和鲕绿泥石,是盆地边缘相。

6 公乌素组

该组环境与拉什仲组中上部相近,为盆地边缘相沉积。岩性为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩和薄板灰

岩互层,中部见不完整鲍马序列叠置,其中见大量海绿石矿物。

7. 蛇山组

与公乌素组相比,环境更靠近海岸,但还是属于浅陆架环境。下部是含海绿石的石英砂岩,中部为粉砂岩与页岩夹薄层生物屑灰岩,上部是含大量生物碎片的砾屑灰岩。属于盆地边缘相至台地边缘浅滩相。

2.3 等深流的识别

等深流沉积粒度很细,以粉砂、泥质为主,砂、砾很少,且单层厚度一般不超过5m。其主要原因为等深流流速慢,仅为20cm/s。但是,随着流速的增加,可以沉积较粗粒的等深岩,其单层厚大于0.5m,有的达1.5m。近年来的深海调查发现,在北大西洋东部的加底斯湾,靠近直布罗陀海峡的上部大陆坡地区,底流速度达180~250cm/s,向北西方向等深流流速逐步减为75~40cm/s(Nelson等,1993)^[19]。这种高流速的等深流沉积了砂质等深岩和细砾质等深岩。等深流是平行海底等深线流动的,因此,等深岩中一般具有平行于斜坡走向的流向标志,小型沙纹层理中的细层倾向一般是与斜坡走向平行的。等深流流动强度呈周期性变化,等深岩一般具有独特的等深岩层序,垂向上呈细粗细的逆正递变。等深岩与浊积岩、半深海及深海原地沉积各自有着明显的特征(表1)。

克里摩里组岩性为暗色薄层灰岩、泥灰岩,夹生物屑灰岩、黑色页岩、瘤状灰岩及隧石条带,水平纹理发育,含浮游有孔虫、笔石、三叶虫、小腕足屑及海绵骨针,这些生物化石组合特征表明研究区当时应为深水沉积环境。克里摩里组沉积晚期,水体加深,黑色笔石页岩横向分布稳定到乌拉力克组沉积初期,因海平面下降,形成水下滑塌碎屑流沉积,随后海平面快速上升,并发生几次振荡性海平面升降。乌拉力克组沉积面貌总体上以黑色页岩为主,夹砾屑灰岩、低密度钙屑浊积岩和薄板状灰岩。

克里摩里组等深岩是以单层厚为8~15m的灰色纯净的细砂粉屑泥晶灰岩的夹层形式出现于黑色纹层状含泥含碳的泥晶灰岩或灰质泥岩中。单层厚最大者不超过20m。这种夹层的顶、底界线清晰。进一步的显微镜薄片观察表明,每个单层内由两种岩性交替组成:细粉屑泥晶灰岩和细砂粉屑泥晶灰岩。它们的厚在3~20m之间,相互间以突变的、平坦的或侵蚀的界面相接触。在每个层中,均广泛发育微型的侵蚀面和垂向上具有粒度递变的

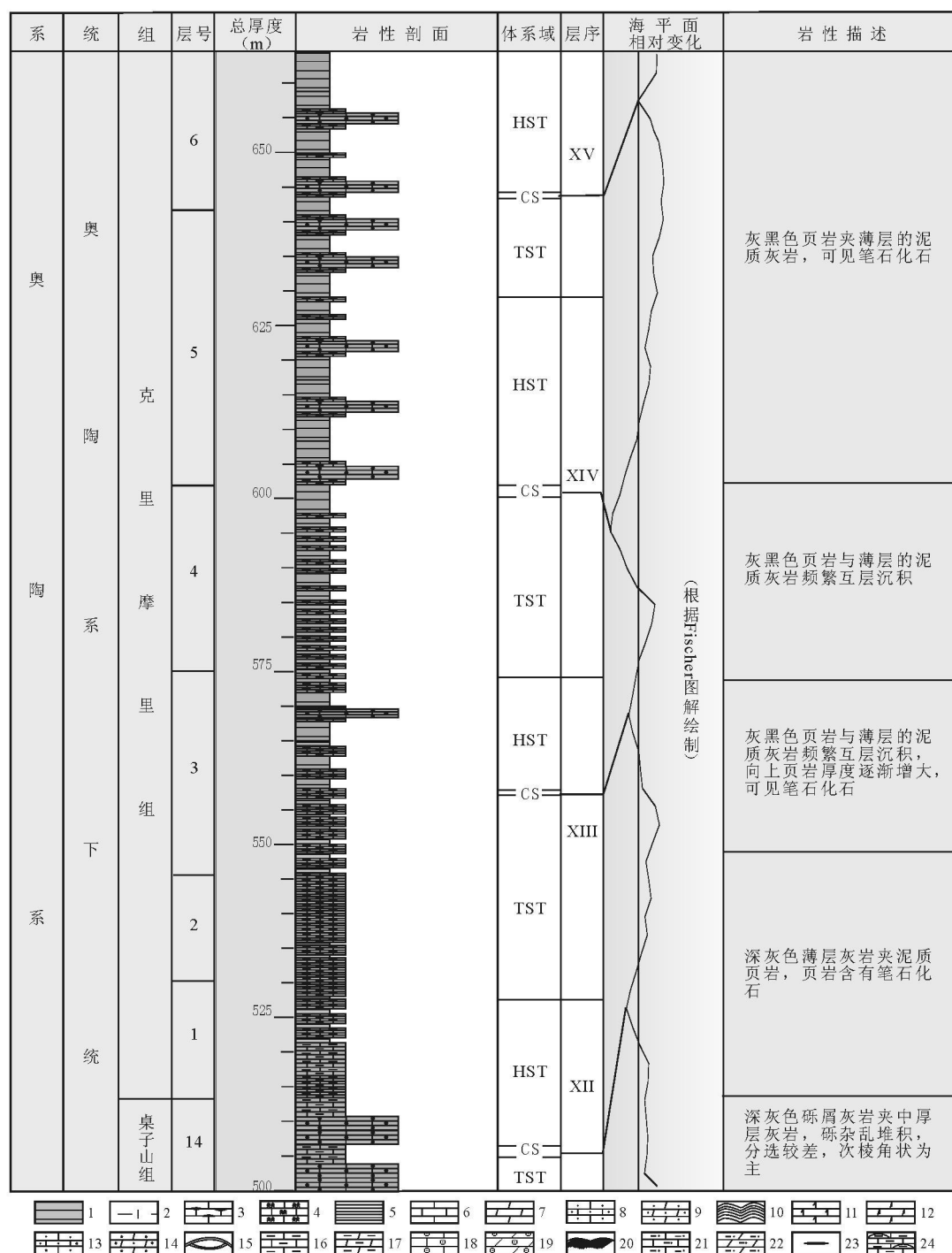


图 2 贺兰拗拉谷桌子山剖面奥陶系克里摩里组柱状图

1 泥页岩; 2 钙质泥岩; 3 瘤状灰岩; 4 叠层石灰岩; 5 水平层理; 6 灰岩; 7 白云岩; 8 砂屑灰岩; 9 砂屑白云岩; 10 波状层理; 11 白云质灰岩; 12 灰质白云岩; 13 砾屑灰岩; 14 砾屑白云岩; 15 丘状层理; 16 泥灰岩; 17 泥质白云岩; 18 鲕状灰岩; 19 鲕状白云岩; 20 波痕; 21 粉屑灰岩; 22 粉屑白云岩; 23 燧石团块或条带; 24 泥质条带灰岩

Fig. 2 Column through the Ordovician Kelinoli Formation in the Zhuozishan section, Helan aulacogen.

1= argillutite 2= calcareous mudstone 3= nodular limestone 4= stromatolitic limestone 5= horizontal bedding 6= limestone
7= dolostone 8= calcarenite 9= dolarenite 10= wavy bedding 11= dolomitic limestone 12= linedolostone 13= calcinidite
14= dolonidite 15= hummocky bedding 16= mat 17= muddy dolostone 18= oolitic limestone 19= oolitic dolostone
20= ripple mark 21= calcisiltite 22= dolosiltite 23= chert nodule or band 24= argillaceous banded limestone

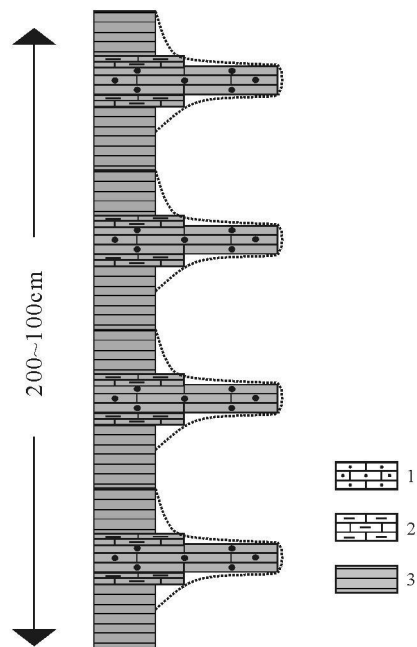


图 4 桌子山灰岩等深岩垂向细粗层序
1. 砾屑灰岩; 2. 泥灰岩; 3. 泥页岩
Fig 4 Vertical fine-coarse fine sequence of the limestone
conourities in the Zhuzi Shan section
1= calcirudite 2= marl 3= argillite

联系。在低海平面时期, 大量粗碎屑物质可直接从大陆坡注入深海盆地, 形成各类砂、砾级重力流沉积。由于顺坡向下的流动占主导地位, 此时等深流活动常被掩盖; 若形成一些等深流沉积也不易保存。随着海平面上升, 物源区逐渐远离沉积盆地, 粗碎屑物质注入减少。重力流活动减弱, 等深流得以发育, 可改造由浊流搬运来的砂级及砂级以下粒级的沉积物, 形成大量等深流沉积。故等深流沉积可作为海侵体系域较特征的沉积类型。

根据海平面的变化情况, 可将克里摩里组等深岩的发育分为 3 个阶段:

(1) 萌生阶段

早奥陶世晚期至中奥陶世早期, 本区原地深水沉积和重力流沉积相当发育。克里摩里组下部已开始发育一些特征明显的等深岩, 到克里摩里组中部, 等深岩数量明显增多, 灰泥等深岩大量产出。因此, 克里摩里组等深岩萌生于克里摩里组下部沉积时期。

(2) 成型阶段

克里摩里组中部和上部是等深岩的主体。特别是上部, 单层厚达 0.2m 并可与泥岩相互叠置成厚 1m 的连续分布段, 中间无细粒夹层。因此, 克里摩里组中、上部沉积时期应为其等深岩的主要形成时期。

(3) 衰退阶段

根据区域地层对比, 结合区域上中奥陶世末期本区裂谷有闭合趋势的古地理特点, 推测等深流沉积的衰退期应为中奥陶世末期至晚奥陶世早期。

桌子山剖面各岩性地层单位的沉积环境以乌拉力克组盆地相分界, 其上为缓坡陆源碎屑沉积体系; 其下为碳酸盐岩台地沉积体系。从三道坎组到乌拉力克组沉积时期是大规模海侵过程。乌拉力克组之后到奥陶纪结束是大规模海退过程。奥陶纪是一个完整的海平面上升-下降旋回, 最大水深在乌拉力克组的黑色笔石页岩段。

2.5 克里摩里组等深岩的古水流方向和物源

对现代等深流沉积的研究表明, 其物质来源通常包括以下几种: ①由海底火山喷发所形成的火山灰; ②由浊流带来的陆棚碎屑物; ③冰川溶化的碎屑物; ④生物屑及生物成因的硅质; ⑤海底沉积物的重新悬浮。在桌子山地区剖面中, 见有大量的浊流沉积, 类似于等深岩, 但粒度较粗, 具明显的正递变及鲍马层序。因此, 可推断出桌子山地区的等深岩的物质来自于浊流沉积, 是浊流远端或末梢的细粒物

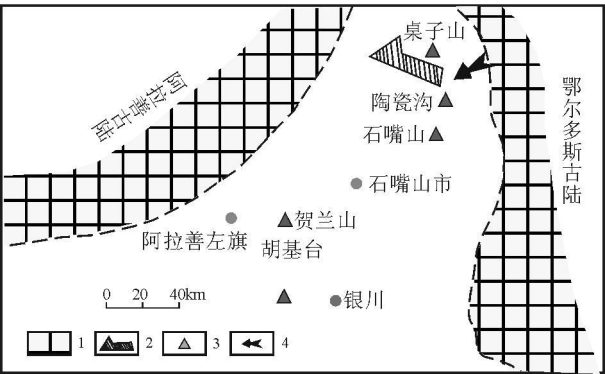


图 5 贺兰拗拉谷奥陶系等深岩古流向(玫瑰花图)与重力流流向对比图
1 古陆; 2 古流向; 3 剖面; 4 重力流流向
Fig 5 Correlation of palaeocurrent direction and gravity
flow direction for the Ordovician conourities in the Heilong
au lacogen
1= ancient land 2= palaeocurrent direction 3= studied
section 4= gravity flow direction

等深岩。这种层序反映等深流活动由弱至强再变弱的周期性变化, 如同鲍马层序一样。

2.4 克里摩里组等深岩

等深流沉积的发育特征与海平面变化具有内在

质受等深流体的搬运、改造和沉积的结果。

通过对桌子山地区每条剖面等深岩中沙纹层理细层倾向,以及少数砾屑灰岩中叠瓦状构造的实际测量,并经吴氏网校正,获得沙纹层玫瑰花图(图5)。从图可见,等深流古流向为北西方向,而桌子山一带的重力流方向为南西方向,古流向反映了物源区及等深岩体的展布方向。

根据野外露头资料和等厚图,做出了奥陶系克里摩里组岩相古地理图(图6)。从图中可以看出,克里摩里组时期,桌子山主要为含泥灰岩相沉积。根据图5图6的古流向图可以得出:等深流具有双向流动性。

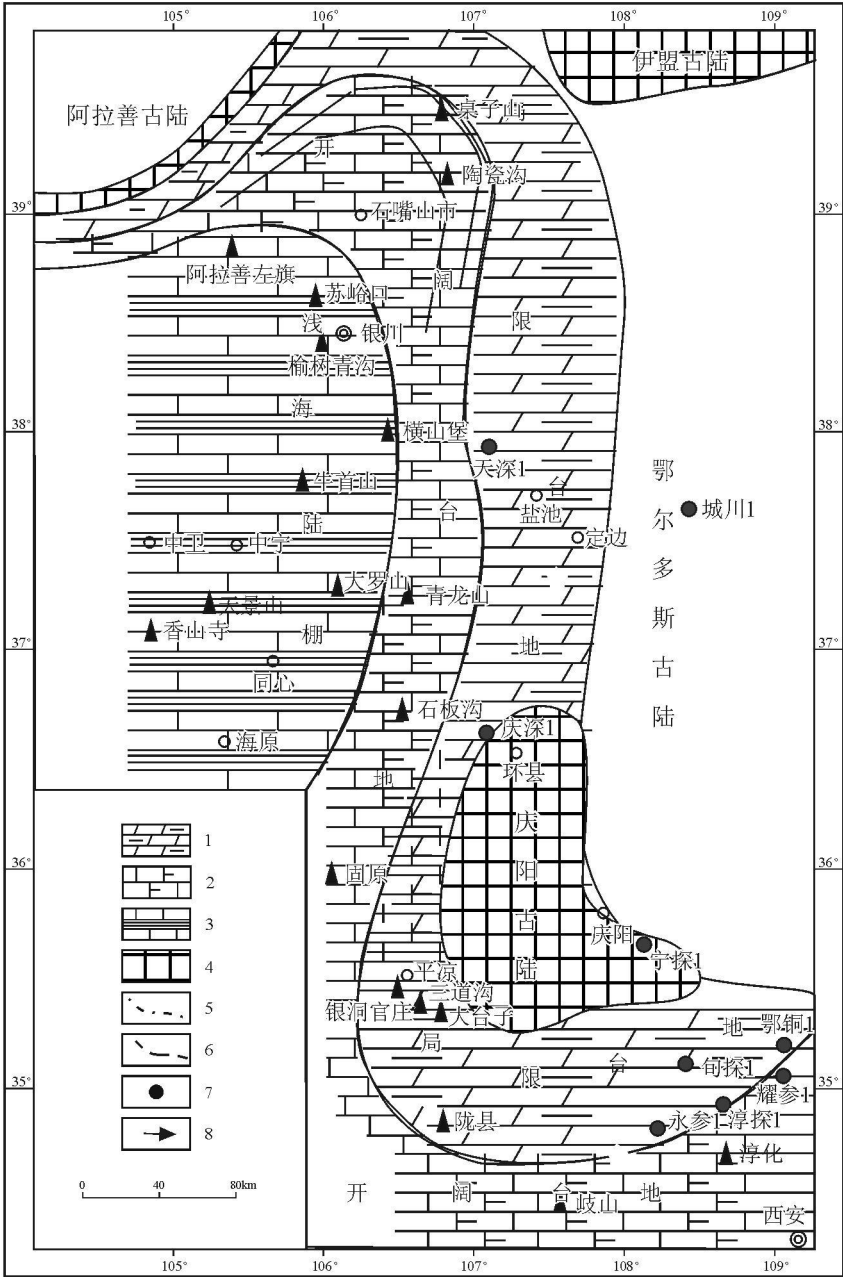


图 6 贺兰拗拉谷桌子山剖面奥陶系克里摩里组岩相古地理

1 泥质白云岩组; 2 含泥灰岩组; 3 灰岩-页岩组; 4 古陆; 5 相边界线; 6 拗拉谷界线; 7. 钻井; 8 古水流方向

Fig 6 Sedimentary facies and paleogeography of the Ordovician Kelimoli Formation in the Zhuozishan section, Helan aulacogen
1= muddy dolostone formation complex 2= muddy limestone formation complex 3= limestone shale formation complex 4= ancient land 5= facies boundary 6= aulacogen boundary 7= borehole 8= paleocurrent direction

2 6 等深岩的 Fischer图解

Fischer图解是 Fischer在研究奥地利三叠纪潮坪相灰岩剖面时首先提出来的,一般适用于沉积时没有长时间的水深变化(即发育补偿性沉积作用的地区)。

在绘制 Fischer图解时,纵坐标为平均厚度累积偏移,横坐标为旋回数。将旋回层序单元的厚度减去所有旋回层序单元的平均厚度后可得到该旋回层序单元的净加积量,以该旋回层序单元前面所有旋回层序单元净加积量累积值为纵坐标的起点,画在以旋回数为横坐标的图解上。图解中各旋回顶点坐标连线即为以旋回数为函数的平均厚度累积偏移曲线(图 7),它代表了沉积物形成时的实际可容空间。绘制 Fischer图解时应考虑两个问题:其一, Fischer图解法要求地层剖面以旋回层序单元为基本单位,据 Sadle等人证明,在旋回数大于 50个的地层剖面上,即使不同的人所划旋回数有些差异,但图解的基本特征不会有太大变化;其二, Fischer图解法要求旋回层序单元厚度应为沉积时的厚度,以便真实地反映出沉积物实际可容空间变化,故对砂泥岩剖面应进行必要的压实校正。

笔者将研究区目的层段的剖面划分出 62个旋回小层序,并根据孔隙度与深度关系对各旋回小层序厚度进行压实校正,获得各小层序原始厚度。各小层序的原始厚度计算有一个基本假设,即沉积物在压实过程中,其固体颗粒不可压缩,也不与外界有物质交换。造成沉积物孔隙度和厚度减小的原因是孔隙中的流体不断被排出。

求取各旋回小层序原始厚度后,绘制 Fischer图解曲线(图 7)。从图中可以明显看出,克里摩里组自底至顶基本上可分为 4个完整且规模较大的实际可容空间旋回,是 4次显著的海平面升降旋回(即水进水退旋回)。结合其它地质资料,可将其定为 4个层序单元,其跨时均为 1Ma以上,相当于 Vai等人所定义的三级旋回层序单元。从图 7中还可以看出,研究区克里摩里组可进一步划分为 19个次级旋回,跨时 20×10^4 左右,介于米兰柯维奇天文旋回的偏心率周期 ($10 \times 10^4 \sim 40 \times 10^4$ 年)之间,与天文驱动的古气候变迁所引起的海平面高频振荡有关,相当于 Vai等人所定义的四级旋回层序单元小层序组。根据实际资料分析研究,在研究区的目的层段中,可识别出 19个小层序组,4个三级旋回层序单元,与 Fischer图解结果基本上吻合。这在一定程度上显示了 Fischer图解的客观性和实用性。

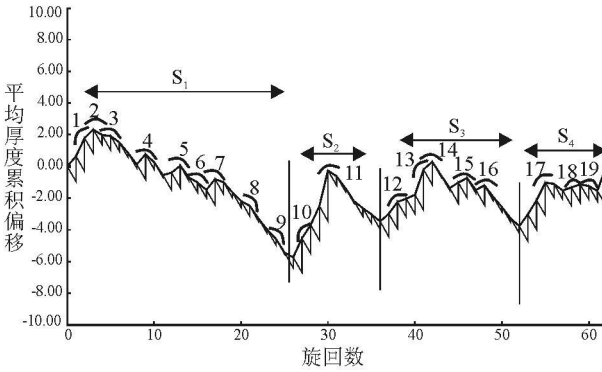


图 7 贺兰拗拉谷桌子山剖面奥陶系克里摩里组 Fischer图解
Fig 7 Fischer plots of accommodation space cycles in the Ordovician Kelinoli Formation in the Zhuozishan section, Heilongjiang

3 等深岩生油潜力评价

目前等深流沉积研究主要集中于现代深海沉积和野外露头研究。对深埋地下的古代深水等深流沉积发现较少,但已发现的几个实型表明它们与油气还是有密切的关系。如 Bein和 Weier研究以色列及其邻国白垩系塔勒梅亚费组的沉积特征时^[18],根据钻井和地震资料发现了一个巨大的由灰质碎屑沉积物堆积而成的棱柱形堆积体,长至少 150 km,宽约 20 km,厚度超过 3 km。研究表明,这就是一个典型的古代碳酸盐等深岩丘,是该区的油气储集层之一。应属较好生油岩。

国外富油气海相盆地油源岩的有机碳含量常大于 0.5%,甚至可达 5%以上,波斯湾盆地油层岩每吨岩石的生烃潜力可达 20 kg。我国海相地层(尤其是碳酸盐岩)中有机碳含量一般小于 0.20%,每吨岩石的生烃潜力不足 2 kg^[17]。

与油积岩相似,贺兰拗拉谷奥陶系等深岩结构成熟度和成分成熟度都很高,从野外样品的有机质丰度看,以盆地—盆地边缘相的暗色泥晶灰岩较好,贺兰拗拉谷奥陶系等深岩有机碳的平均值接近 0.60%,H/C原子比低,如果利用有机碳恢复方法对其进行有机碳含量恢复,这些生油岩有机质丰度可提高 1~3倍。

参考文献:

[1] HEEZEN B C, HOLLISTER C D, RUDDMAN W F et al. Shaping of the continental rise by deep geotrophic contour

- currents [J. Science 1966 152 502—508
- [2] FAUGERES J C STOW D A V Bottom-current controlled sedimentation: A synthesis of the contourite problem [J. Sedimentary Geology 1993 82 (1—4): 287—290.
- [3] STOW D A V Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova Scotian deep water margin [J. Sedimentology 1979 26 (3): 371—387.
- [4] STOW D A V PIPER D J W Deep-water fine-grained sediments: facies models [A]. Stow D A V Piper D J W Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies [C]. London: Geological Society London Special Publications 1984. 15: 611—645.
- [5] STOW D A V Deep sea processes of sediment transport and deposition [A]. Pye K Sediment Transport and Depositional Processes [Q. Oxford: Blackwell Scientific Publications 1994. 257—291.
- [6] FAUGERES J C MEZERAAS M L STOW D A V Contourite drift types and their distribution in the North and South Atlantic Ocean basins [J. Sedimentary Geology 1993 82 (1—4): 189—203.
- [7] 高振中, 何幼斌, 罗顺社, 等. 深水牵引流沉积: 内潮汐、内波和等深流沉积研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [8] 段太忠, 郭建华, 高振中, 等. 华南古大陆边缘湘北九溪下奥肉统碳酸盐等深岩丘 [J. 地质学报, 1990 64 (2): 131—143.
- [9] 高振中, 何幼斌, 李建明, 等. 我国发现内潮汐沉积 [J. 科学通报, 1997 42 (13): 1418—1421.
- [10] 张兴阳, 高振中, 姚雪根. 北大西洋洛克海槽东北部内波沉积—深水大型沉积物波成因的再解释 [J. 沉积学报, 1999 17 (3): 464—472.
- [11] GAO ZHENZHONG ERIKSSON K A Internal tide deposits in an Ordovician submarine channel: Previously unrecognized facies [J. Geology 1991 19 (7): 734—737.
- [12] 高振中, ERIKSSON K A 美国阿巴拉契亚山脉芬卡苏地区奥陶纪海底水道中的内潮汐沉积 [J. 沉积学报, 1993 11 (1): 12—22.
- [13] HOTCHKISS F S WUNSCH C Internal waves in Hudson Canyon with possible geological implications [J. Deep-Sea Research 1982 29 415—442.
- [14] STOKER M S et al A record of Late Cenozoic stratigraphy, sedimentation and climatic change from the Hebrides Slope, NE Atlantic Ocean [J. Journal of Geological Society London 1994 151 (2): 235—249.
- [15] GONTHIER E G FAUGERES J C STOW D A V Contourite facies of the Fano Drift, Gulf of Cadiz [A]. Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Facies [C]. Oxford: Blackwell Scientific Publications 1984. 275—290.
- [16] NELSON C H BARAZA J MALDONADO A Mediterranean undercurrent sandy contourites, Gulf of Cadiz, Spain [J. Sedimentary Geology 1993 82 (1—4): 103—131.
- [17] 夏新宇, 洪峰, 赵林, 等. 烃源岩生烃能力的恢复探讨—以鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐为例 [J. 石油与天然气地质, 1998 22 (4): 288—292.
- [18] BEN A WEILER Y The Cretaceous Taine Yafe Formation: A contour current shaped sedimentary prism of calcareous detritus at the continental margin of the Arabian Craton [J. Sedimentology 1976 23 (4): 511—532.

Ordovician contourites in northern Helan aulacogen, northern China

DING Haijun

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The approach to the Ordovician contourites is based on the field outcrops and laboratory analysis for the Zhuozishan section in northern Helan aulacogen, northern China, with emphasis upon the vertical changes and lateral migration of sedimentary facies and environments of the Ordovician strata in the Zhuozishan section. The curves for accommodation spaces are constructed in the light of Fischer plots. The recognition of representative carbonate contourites and presentation of the Ordovician sequence stratigraphic model have provided one useful approach to interpreting the existence of the Helan aulacogen. The transgressive systems tracts in individual sequences should be delineated as important targets for the hydrocarbon exploration in the study area.

Key words: Zhuozishan section; Fischer plots; contourite; sedimentary facies; sequence