

文章编号: 1000-0550(2006)02-0210-07

华北陆块东南缘凤台组岩相古地理分析^①

曹高社¹ 张善文² 隋风贵² 杨晓勇³ 刘德良³

(1. 河南理工大学资源与环境学院 河南焦作 454000 2. 胜利石油管理局地质科学研究所 山东东营 257001;

3. 中国科学技术大学地球与空间科学学院 合肥 230026)

摘要 对华北陆块南缘凤台组的沉积相和沉积微相研究表明, 凤台组具有海底扇的沉积模式。根据凤台组的沉积分布特征, 其总体为海底扇的水道沉积。这一水道类似于陡倾大陆边缘的海底峡谷, 其产生可能与断裂作用有关。

关键词 沉积相 沉积微相 古地理 凤台组 华北陆块

第一作者简介 曹高社 男 1965 年出生 博士 教授 石油地质

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

1 引言

华北陆块东南缘淮南八公山地区和霍邱四十里长山地区分布的凤台组(凤台砾岩), 沉积于下震旦统(叠层石)白云岩之上, 呈裂离不整合接触^[1], 而又为含有相当于早寒武世筇竹寺期 *Hsuaopsis* 和 *Obolopsis* 等化石的地层不整合覆盖, 无疑, 凤台组沉积于震旦纪与寒武纪转折时期。所以, 凤台组岩相古地理的分析对于确定这一转折时期的沉积构造环境具有重要的意义。

徐嘉炜^[2] 最早认为, 凤台砾岩为干旱气候下快速堆积的山麓相; 郑文武等^[3] 认为, 凤台砾岩的成因虽然与“碎屑流沉积有关, 但也与来源于南侧的冰川活动有一定的联系”, 主要依据是所发现的“冰川擦痕”、“刻痕和压坑”、“冰溜面”等特征。

任润生^[4] 和汪贵翔等^[5] 认为, 凤台组为冰碛层, 主要由冰碛砾岩、含砾冰碛纹泥层及含砾粉砂质页岩三种岩性组成。也发现了郑文武等^[3] 所描述的冰川活动特征, 进而推测, 这些岩层是覆于华北地台腹地大冰盖边缘的冰川沉积物。

杨清和^[6] 对凤台砾岩的冰川成因进行了全面的否定, 认为, 砾岩中砾石成分单一, 主要为下伏地层的砾石; 所见到的“冰川擦痕”也多为易溶蚀的碳酸岩角砾, 而现代断层岩和山麓河流沉积由于搬运撞击等因素也可形成相似的现象; 凤台砾岩多为碳酸盐岩胶结, 与寒冷气候环境显然不相协调; 对于“落石相”, 解释为海岸陡岸崩塌的影响。

乔秀夫等^[7] 通过对淮南和淮北地区震旦系地层统一分析后认为, 凤台组为在斜坡地带形成的碳酸盐岩碎屑流沉积, 与当时的强地震事件有关。

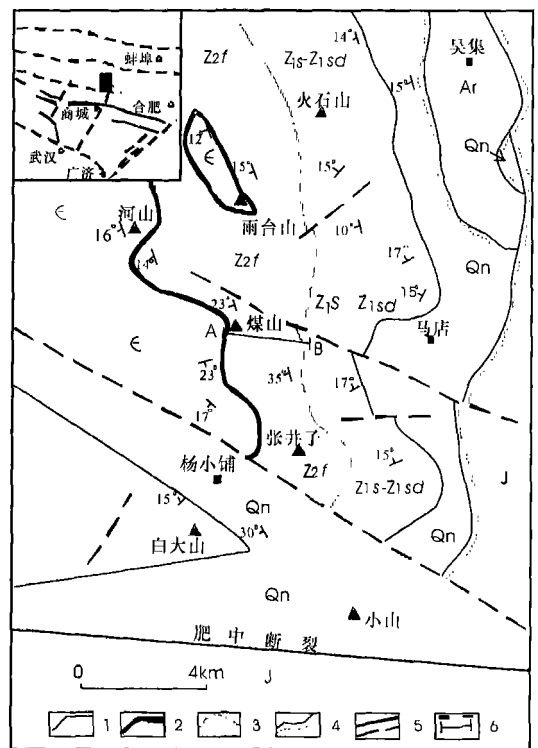


图 1 霍丘四十里长山马店地区基岩地质图
1 地层界线; 2 雨台山组位置; 3. 裂离不整合界线; 4. 角度不整合界线; 5. 断裂; 6. 图 5 位置; Ar 太古宇片麻岩; Qn 青白口系页岩、泥灰岩; Z_{1s}-Z_{1sd} 下震旦统四十里长山组—四顶山组石英砂岩、页岩、白云岩; Z_{2f} 上震旦统凤台组砾岩、含砾岩屑杂砂岩; ∈. 寒武系未分; J 侏罗系砂岩

Fig 1 Geologic map of the basement rocks in Madian area of Shishilichangshan Huoqi

① 国家自然科学基金(批准号: 40172072)和国家重点基础研究(2001CB209133)联合资助。
收稿日期: 2005-02-28 收修改稿日期: 2005-07-10

凤台组的沉积成因分歧较大, 争论的焦点是“与冰川沉积有关的沉积构造”。然而, 沉积环境的物质表现——沉积相缺乏系统的研究, 显然, 对其沉积环境的研究是不全面的, 本文在对四十里长山区域填图基础上(图 1), 对凤台组的岩相古地理进行分析。

2 沉积相

2.1 含磷结核粉砂质泥岩相

分布于凤台组底部, 岩性为灰黑色粉砂质泥岩、

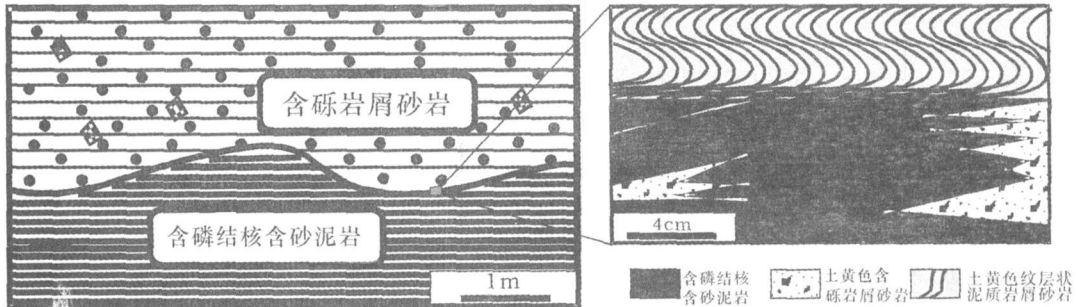


图 2 具粒序层理的含砾岩屑杂砂岩相与含磷结核粉砂质泥岩相的接触关系, 霍邱马店煤山

Fig 2 Contact relation of pebbly lithic graywacke with graded bedding and phosphorus concretion-bearing siltstone in Meishan and Huoqi

2.3 块状砾岩相

是凤台组的主体岩相, 岩性为砾岩, 呈块状构造(图 3-2), 砾石成分单一, 主要为下伏下震旦统四顶山组叠层石白云岩。以次滚圆状和次棱角状为主, 砾径大小不一(3.5m ~ <5mm), 肉眼可辨砾石达 50% 以上, 排列不具定向性, 砾径频率与砾径呈负相关关系, 具类似泥石流沉积特征^[10]。胶结物为不具层理的泥砂质和岩屑, 呈基底式胶结。研究表明^[11], 具有基底式支撑的砾岩主要有两类: (1) 基质是有层理的砂, 表明水的搬运能力较低, 砂和砾石同时沉积; (2) 基质无层理通常由泥砂质构成, 说明是从整体流(mass flow)产生的沉积, 在存在冲积作用的背景下就是泥石流。在该岩相中, 还可见到泥岩团块, 泥岩有一定的变形构造。也可见到聚集成团块的砾岩, 团块周围可见由泥沙质组成的褶曲现象(图 3-3), 具有显著的水流改造特征。

2.4 层状、弱层状砾岩相

在凤台组中广泛存在。其层位在块状砾岩之下或在块状砾岩之间, 与块状砾岩层常呈过渡关系。有时也可出现在具粒序层理的砂岩之上。层状、弱层状砾岩的成分与块状砾岩基本相同, 二者之间的差异, 主要表现在结构构造上, 具有如下特征:

细—粉岩屑杂砂岩, 含有磷结核(P_2O_5 含量为 25%) 和黄铁矿晶体, 该岩相在部分地段缺失。沉积磷灰石是世界大陆架区最常见的新生矿物之一^[8], 该岩石相形成于海相还原环境, 但海水可能不深。

2.2 具粒序层理的含砾岩屑杂砂岩相

位于含磷结核粉砂质泥岩相上部, 接触界面见有强烈的冲刷现象(图 2)。岩性为含砾岩屑杂砂岩, 发育不完整的鲍马模式 AE 层(图 3-1), 是一种具有高速水流沉积特征的鲍马模式^[9]。

(1) 岩层具弱层状或具有较明显的层状构造, 尤其远处眺望或岩层风化后, 某些块状砾岩也显示出层状构造(图 3-4)。

(2) 岩层中砾石长轴方向性明显, 大部分或部分与层理面平行(图 3-5)。说明, 其沉积时受水动力作用的影响。

(3) 在该岩层中夹有多层厚度不一的含砂泥岩, 在交界处, 较大粒度的砾石“飘浮”在砾岩层的顶部(图 3-6), 具有类似泥石流沉积的性质。

该岩相在层状、弱层状碎屑岩相中也常出现小透镜状、团块状角砾岩, 一般长几十厘米, 宽十几至数十厘米, 岩石无分选, 无层理构造, 反映浊积水道在平面上的迅速迁移, 也具有“泥石流”沉积的典型特征^[12]。

2.5 透镜状含砾岩屑杂砂岩、砂砾岩相

发育于弱层状、层状碎屑岩中, 呈透镜体产出, 透镜体最长达 20m, 厚 1m, 有些透镜体保持了上平下凸的特点, 为原水槽横断面的形态。岩石具有典型的砂状结构, 基底式胶结, 有的具有很好的递变层理(砾岩—砂砾和细砾岩—中砾岩—含砾砂岩), 但沿走向不稳定。砾石以次滚圆、次棱角为主, 少量为棱角状, 以上特征表明, 该岩相为在小型水槽中沉积而成。

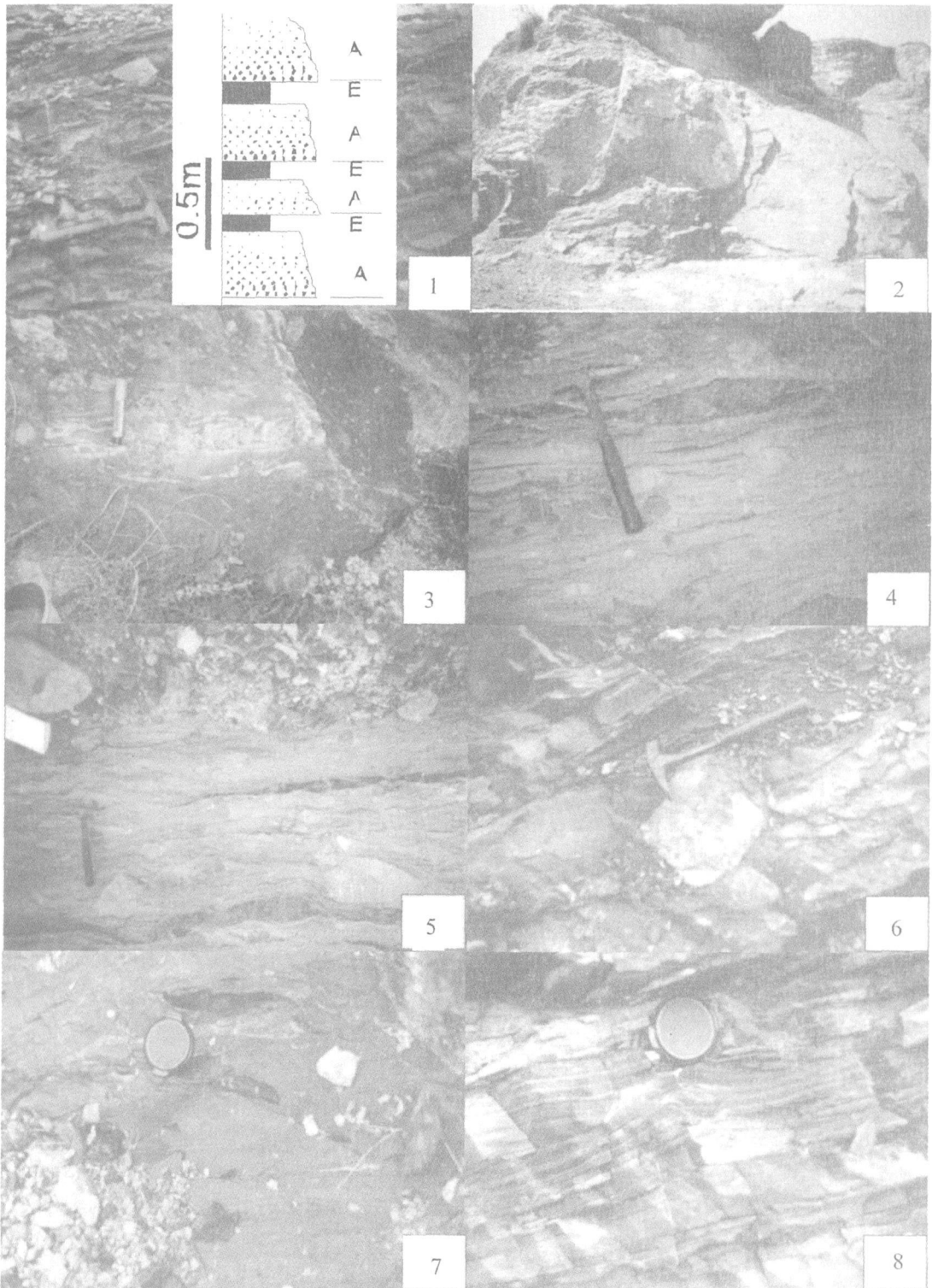


图 3 凤台组沉积岩相

1 具粒序层理的含砂砾岩相 发育 AE 鲍马模式, 霍邱马店煤山; 2 块状砾岩相, 砾石粒度变化较大, 但成分主要为下伏四顶山组白云岩, 霍邱马店煤山; 3 块状砾岩中的砾岩团块, 与周围界线截然, 交界处的泥岩具有变形现象, 霍邱马店煤山; 4 层状、弱层状砾岩相, 砾岩具有明显的层状构造, 霍邱马店王八盖山; 5 层状、弱层状砾岩相中砾石长轴方向性明显, 大部分与层理面平行, 霍邱马店煤山; 6 层状、弱层状砾岩相中砾岩层与含泥岩夹层的接触关系, 显示粒度较大的砾石位于砾岩层的顶部, 霍邱马店王八盖; 7 层状含砾岩屑杂砂岩相, 含砾砂岩中泥质砾石的复杂褶曲现象, 霍邱马店王八盖山; 8 岩屑杂砂岩相, 岩屑杂砂岩中的粒序层理, 霍邱马店王八盖山

Fig 3 Lithofacies of Fengtai Group

2.6 层状含砾岩屑杂砂岩和岩屑杂砂岩相

这两种岩相沿走向可互为相变。砾石成分主要为白云岩, 其形状多为滚圆状、扁平状和次棱角状, 基质以岩屑和泥质为主。其次有少量的内碎屑泥岩, 具有复杂的褶曲现象(图 3-7)。岩屑杂砂岩中具有清晰的水平递变层理(图 3-8)。这些特征表明, 该岩相与碎屑流的沉积有关。

2.7 韵律纹层岩屑杂砂岩相

常与层状含砂砾岩和岩屑杂砂岩相共生在一起。岩石呈灰黑色, 由粉砂和粘土组成的韵律层纹理发育, 纹理可由不同颜色或不同粒度或不同成分的物质构成, 具低密度碎屑流沉积特征^[13]。表明与上述沉积岩相相比, 泥石流在流动过程中, 其形态和流动参数(流速、密度、粘度等)都可以发生变化, 甚至互相转变^[14, 15]。

3 沉积微相

3.1 含黄铁矿砾岩和岩屑杂砂岩微相

凤台组地层含有较多的黄铁矿颗粒, 颗粒形态呈莓球状、自形粒状、成群存在的鱼子状、块状、结核状等。这些黄铁矿不呈脉状或切割层理及其它组分, 在岩层节理、裂隙中也未见发育, 而这些黄铁矿常和亮晶方解石共生在一起(图 4-1), 在砾岩中, 见黄铁矿晶体生长在砾石边部, 穿插于胶结物中(图 4-2), 上述特征表明, 这些黄铁矿为自生成因的黄铁矿, 且多形成于成岩阶段中。凤台组广泛的黄铁矿存在与当时的还原环境有关。

3.2 具针状环边结构的岩屑杂砂岩微相

在第一岩性段中, 见到方解石呈针状环边构造包围在黄铁矿颗粒边部, 纤状胶结物呈栅状增生, 向外伸入孔隙空间内(图 4-3), 具有早期胶结物 A 的特点, 是海相成岩作用的典型标志^[11]。说明沉积物是被海水饱和的, 不可能是淡水成岩作用形成的。并且也可以判定黄铁矿是在成岩早期就已形成, 这和黄铁矿经常与亮晶方解石共生在一起的特征相似。此外, 常可见到亮晶方解石或纤状方解石被边部泥晶方解石包围(图 4-3), 进一步说明了早期成岩作用的特点。

3.3 角砾岩微相

在凤台组中普遍存在角砾岩微相(图 4-4), 角砾成分主要为白云岩, 基质主要为岩屑和泥质杂基。见有含量较多的具有纹层状的泥岩存在, 这些泥岩可以

呈角砾存在, 也可以对白云岩角砾呈包裹状态(图 4-5), 或呈楔入状嵌入于泥岩中。泥岩角砾常见褶曲状形态(图 4-6), 以及没有破碎的泥质岩薄层。明显说明, 泥岩是在未完全固结情况下就受到较强水流作用的破碎而形成的。

3.4 具逆粒序层理的岩屑杂砂岩微相

在凤台组中经常可以见到逆粒序层理(图 4-7), 碎屑颗粒多为白云岩岩屑, 底部粒度为 $5 \sim 20 \mu\text{m}$, 顶部粒度为 $5 \sim 100 \mu\text{m}$ 。该种层理类型被解释为形成于较高密度的碎屑流沉积^[11]。逆粒序层理中, 颗粒为泥质支撑, 与宏观条件下见到的呈不饱和状态的砾石相似, 共同说明了, 颗粒的搬运为悬浮状搬运^[11], 粒级概率累计曲线(CM 图上, 恰处于 $C < 1000$ $15 < M < 100$ 区间)亦反映出砾石主要以悬浮形式搬运^[3], 即在粘稠的半固态或者半流动状态的介质中被短距离搬运, 并快速堆积。此外, 在逆粒序层理旋回的交界处, 较粗的粒序层可以突然变化到泥质岩层, 在泥质岩层中见有灰岩的小角砾(图 4-8), 可能说明当时的总体沉积环境中沉积碎屑物来源主要为碎屑流所携带。除此之外, 沉积物供应是不充分的。

4 古地理

沉积岩相分析表明, 凤台组具有海底扇的沉积模式^[9]。填图表明, 凤台组的分布受四顶山组叠层白云岩组成的近南北向隆起的控制(图 5), 沉积厚度有规律地从隆起向远离隆起方向增厚。说明, 凤台组分布于四顶山组组成的凹地之中。这一凹地不可能是由褶皱作用形成的向斜构造, 因为局部所见槽地两侧下伏地层产状未见任何变化, 且四顶山组表面见有丰富的冲刷擦痕。所以, 有理由认为, 凤台组总体为海底扇的水道沉积。水道成因可能是一系列水流事件逐渐剥蚀所至^[16]。

沉积微相分析表明, 凤台组具有大陆边缘的微相组合特征^[11]。具逆粒序层理的岩屑杂砂岩微相常见于陡倾类型的大陆边缘^[17], 该类型的大陆边缘相对于缓倾的大陆边缘广泛发育海底峡谷、各种形态的海底地貌和较低的沉积物供给。

所以, 这一水道相似于陡倾大陆边缘的海底峡谷。根据对凤台组与下伏四顶山组的接触关系的研究, 两者之间为裂离不整合^[1], 四顶山组与凤台组沉积相的突变是由断裂作用造成的。所以, 这一大陆边缘的产生可能与断裂作用有关。

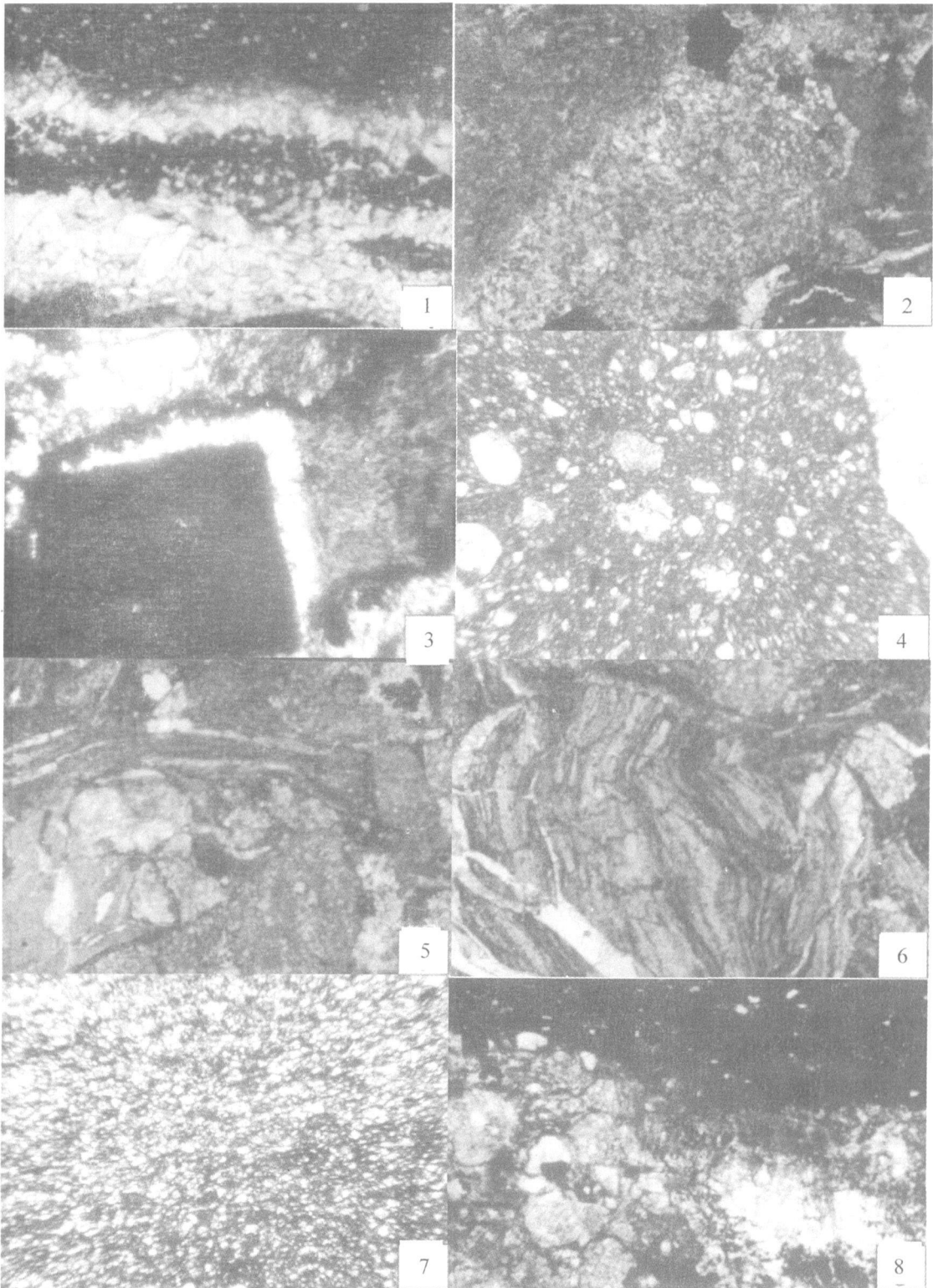


图 4 凤台组沉积微相

1 鱼子状黄铁矿与亮晶方解石共生在一起, 2001Y-16 16×(+); 2 黄铁矿晶体生长在砾石边部, 穿插于胶结物中, 2001Y-2 4×(+); 3 具针状环边结构的岩屑杂砂岩微相, 2001Y-4 20×(-); 4 角砾岩微相, 2001Y-2 4×(+); 5. 泥岩包裹白云岩角砾, 2001Y-2 4×(+); 6 泥岩角砾的褶曲现象, 2001Y-2 4×(+); 7 具逆粒序层理的岩屑杂砂岩微相, 2001Y-16 4×(+); 8 较粗的粒序层突变到泥质岩层泥岩夹层中存在零星的岩屑, 2001Y-16 6.3×(+)

Fig 4 Sedimentary microfacies of Fengtai Group

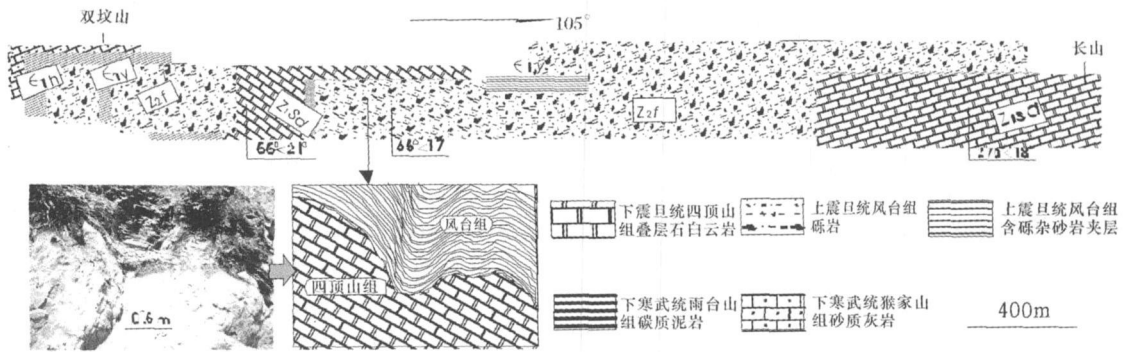


图 5 四十里长山地区风台组双坟山—长山剖面图

上图: 区域上, 风台组分布于四顶山组组成的凹地之中; 下图: 在局部, 风台组与四顶山组接触处, 风台组的分布受控于四顶山组组成的凹槽中, 且四顶山组表面见有丰富的冲刷擦痕

Fig 5 Geologic cross section of Fengtai Group from Shuangfenshan to Changshan in Sishilichangshan area

Nelson 等^[18]在研究俄罗斯晚第四纪由活动断层控制的 Lake Baikal 裂谷盆地发现, 陡倾断层所控制的主要是有限的粗粒沉积物的供应和较发育的小型三角洲扇。

风台组砾岩也与西班牙北部 Lunada Soba 地区白垩系 Albion 期台地边缘斜坡的砾岩特征相似^[19], 该区砾岩的形成被认为是由于构造脉动触发基底断层活动的结果, 断裂控制的陡峻的台地边缘和不稳定重力因素也是产生该类砾岩的必要条件。Szczepan 等^[20]在分析南极大陆 Seymour 岛陆架谷时也认为, 断层作用是控制槽地沉积物的主要因素。所以, 风台组是由于大规模的裂离作用引起的在边缘断层的下降盘所产生的水道沉积。

研究工作得到了杨清和高级工程师、郑文武教授、关保德高级工程师的热情帮助和指导, 谨致谢意。

参考文献 (References)

- 曹高社, 张善文, 柳忠泉, 等. 华北陆块南缘下震旦统顶部裂离不整合的发现及其地质意义. 沉积学报, 2004 22(4): 621~627 [Cao Gaoshe Zhang Shanwen Liu Zhongquan et al. Discovery of breakup unconformity at the top of lower Sinian in the south margin of North China Block and its geological implication. Acta Sedimentologica Sinica 2004 22(4): 621~627]
- 徐嘉炜. 华北南部寒武系下限问题. 地质论评, 1958 18(1): 41~56 [Xu Jiawei. Low limit of Cambrian in the southern part of North China. Geological Review 1958 18(1): 41~56]
- 郑文武, 斗守初. 论皖北风台组和罗圈组的冰川沉积特征及其对比问题. 合肥工业大学学报, 1980 2 48~74 [Zheng Wenwu Dou Shouchu. Study on the glacial deposit feature and its correlation of Fengtai Formation in North Anhui. Transaction of Hefei Industry College 1980 2 48~74]
- 任润生. 试论“风台组”成因及时代——兼论淮南、霍邱地区寒武系底界. 天津地质矿产研究所所刊, 1982 5 27~39 [Reng Runsheng. Study on the origin and era of “Fengtai conglomerate”: research of the bottom of Cambrian in Huainan and Huoqiu regions. Journal of Tianjing Geological and Mineral Research Institute 1982 5 27~39]
- 汪贵翔, 等主编. 苏皖北部上寒武系研究. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1984 [Wang Guixiang et al., eds. Study on the Upper Precambrian System in Northern Jiangsu and Anhui. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1984]
- 杨清和, 张有礼, 郑文武, 等. 苏皖北部震旦亚界的划分和对比. 见: 中国震旦亚界, 天津: 天津科学技术出版社, 1980. 231~265 [Yang Qinghe Zhang Youli Zheng Wenwu et al. Subdivision and correlation of Sinian Suberathem in Northern Jiangsu and Anhui. In: Research on Precambrian Geology—Sinian Suberathem in China. Tianjin: Science and Technology Press, 1980. 231~265]
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报, 1994 68(10): 16~34 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi et al. Seismic sequence and vibratory liquefaction of carbonate rock. Acta Geologica Sinica 1994 68(10): 16~34]
- 裴蒂庄著, 李汉瑜, 徐怀大, 胡伯良, 等, 译. 沉积岩. 北京: 石油工业出版社, 1975 [Petipin ed. Translated by Li Hanyu, Xu Huaida and Hu Boliang et al. Sedimentary Petrology. Beijing: Petroleum Industry Press, 1975]
- Walker 主编. 地质部情报研究所译. 沉积相模式. 1979 [Walker. Translated by the Information Research Institute of Geology Ministry. Patterns of Sedimentary Facies 1982]
- Dowdeswell J Hanbrey M, Wu Ruiqiang. A comparison of clast fabric and shape in Precambrian tillites and modern tills. Journal of Sedimentary Petrology 1985 55: 691~704
- Erk 著, 曾允孚, 李汉瑜, 等, 译. 石灰岩微相分析. 北京: 地质出版社, 1989 [Erk Flugel ed. Translated by Ceng Yunfu et al. Microfacies Analysis of Limestone. Beijing: Geological Publishing House, 1989. 1~235]
- 王良忱, 张金亮. 沉积环境和沉积相. 北京: 石油工业出版社,

- 1996[Wang Liangchen Zhang Jinliang Depositional Environment and Sedimentary Facies Beijing Petroleum Industry Press 1996]
- 13 Lowe D R. Sediment gravity flow II. Depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 1982 52: 279~297
- 14 Middleton G V, Hampton M A. Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows. In Stanley D J and Swift D J B eds. *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. New York: John Wiley and Sons 1976
- 15 Karlsud K, Edgers. Some aspects of submarine slope stability. In Sarov S and Nkuwenhins JK eds. *Marine Slide Other Mass Movement*. London: Plenum 1981: 61~81
- 16 Clark J D, Pickering K T. Architectural elements and growth patterns of submarine channels: Applications to hydrocarbon exploration. *AAG Bulletin* 1996 80: 194~242
- 17 O'Grady D B, Syvitski J P M, Pratson L F *et al*. Categorizing the morphologic variability of siliciclastic passive continental margins. *Geology* 2000 28: 207~210
- 18 Nelson C H, Karabanov E B, Colman S M, *et al*. Tectonic and sediment supply control of deep rift lake turbidite systems, Lake Baikal, Russia. *Geology* 1999 27: 163~166
- 19 Garciamondejar J and Fernandez Mendiola P A. Sequence stratigraphy and systems tracts of mixed carbonate and siliciclastic platform basin setting: The Albian of Lunada and Soba, Northern Spain. *AAG Bulletin* 1993 77: 245~275
- 20 Szczepan J. Shelf valley compound fill produced by fault subsidence and eustatic sea level changes: Eocene La Meseta Formation, Seymour Island, Antarctica. *Geology* 2000 28(2): 147~150

Analysis on the Lithofacies and Paleogeography of Fengtai Group in the Southeast North China Block

CAO Gao-shen¹ ZHANG Shan-wen² SUI Feng-gui² YANG Xiao-yong³ LIU De-liang³

(1. School of Resources and Environment Henan University of Science and Technology Jiaozuo Henan 454000)

(2. Geological Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Dongying Shandong 257015)

(3. School of Earth and Space Sciences University of Science and Technology of China Hefei 230026)

Abstract Fengtai Formation sedimented at the transition phase of Sinian and Cambrian has important meanings to confirm the sedimentary and tectonic circumstances of this transition phase by analyzing the lithofacies and paleogeography of this Formation. The lithofacies of Fengtai Formation mainly consist of silty mudstone facies, contained phosphate concretions, blocky conglomerate facies, layered (coarsely layered) conglomerate facies, lens-shaped lithic greywacke facies, contained gravels and arenaceous conglomerate facies, layered lithic greywacke (contained gravels) facies, rhythmically laminated lithic greywacke facies, which assembly bears the sedimentary model of submarine fan. The microfacies of Fengtai Formation mainly consist of conglomerate and lithic greywacke microfacies, contained pyrites, lithic greywacke microfacies with needle-like ring edge structure, breccias microfacies, lithic greywacke microfacies with reverse grading, which assembly bears the features of continental margin. Based on the above and the feature of sedimentary distribution, Fengtai Formation collectively is channel deposition of submarine fan, which is similar to submarine canyon at high-angle continent edge, probably generated by fault movement.

Key words sedimentary facies, sedimentary microfacies, paleogeography, Fengtai Formation, North China Block