

巴彦浩特盆地东缘中奥陶统混合型深水重力流沉积层序及其旋回^①

朱如凯

(北京大学地质系, 100871)

孟祥化 葛 铭

(北京中国地质大学地质系, 100083)

提 要 作者在巴彦浩特盆地东缘中奥陶统樱桃沟组中识别出一套巨厚的混合型深水重力流沉积岩, 包括碳酸盐滑塌角砾岩、递变细砾岩、砂质砾岩、经典浊积岩、灰绿色泥页岩等岩相类型。作者认为碳酸盐滑塌角砾岩是近源海底断裂陡崖下形成的碎屑裙的产物, 而陆源碎屑—浊积岩是基岩古风化壳剥蚀而形成的一系列碎屑流—浊流沉积物。对其纵向序列进行分析后作者认为, 该套岩层总体上相当于一个Ⅱ级旋回, 代表拗拉槽强烈沉陷阶段的产物, 为次一级的地壳升降旋回, 主要受古构造因素控制, 而每一陆源与内源沉积物混合体则相当于一个Ⅲ级旋回, 代表一个低级次的海平面升降旋回。

关键词 樱桃沟组 重力流沉积 旋回

引 言

巴彦浩特盆地是中国石油天然气总公司制定的“八五”重点油气勘探区。为此, 长庆石油开发院与中国地质大学共同组织了盆地东缘地质调查研究这一课题, 本文则是该研究课题的部分成果。

巴彦浩特盆地东缘主要是指贺兰山地区, 区内中奥陶统樱桃沟组出露了一套由砂、页岩、(角)砾岩组成的巨厚沉积岩层。作者在野外实测剖面的基础上, 综合分析了古生物、地层、岩性等有关资料, 确证这是一套形成于深水—半深水环境的由陆源与内源物混合交替形成的重力流沉积岩层, 代表了早古生代贺兰山拗拉槽在强烈沉陷期的盆地充填沉积类型。对该沉积物的详细研究, 有助于盆地内勘探地层的对比及对沉积古地理、古构造研究的进行, 在理论和实际上均具有重要意义。

1 地质背景

^① 参加野外工作的还有: 长庆石油研究院蔡友贤、雷广才; 长庆石油学校邵安红; 中国地质大学武志国、刘学峰、贾振华等。

研究区在大地构造位置上属于贺兰山构造带,该带大体呈北北东向展布,宽数十至数百公里,包括贺兰—桌子山区、西侧的与阿拉善地块接壤地带以及东侧的鄂尔多斯西缘掩冲带。其南端与北祁连地槽褶皱带高角度相交,向北楔形插入阿拉善地块与华北地台之间,两侧为大断裂或断裂带所控制(图1)。该构造带经历了复杂的构造和沉积演化史,从中元古代至古生代形成了一具有多旋回或多阶段演化历史的拗拉槽(Aulacogen)。中元古代为其初始形成阶段,晚元古代区内发生一次明显的隆起,至震旦纪又复沉降,并继承了前期的构造格架,从此进入了早古生代的重要演化阶段。综合研究有关区域资料,可以发现早古生代贺兰拗拉槽的充填演化显示出明显的阶段性和非对称性,中奥陶统为其强烈沉陷阶段。本文重点研究该沉陷阶段充填沉积物的沉积特征。

2 樱桃沟组

本组由郑昭昌等人于1975年立名(郑昭昌等,1980),分布于贺兰山西麓的樱桃沟、胡基台、方家台等地。该组与上覆中石炭统羊虎沟组呈平行不整合关系,与下伏中梁子组为连续沉积,岩相及厚度变化显著。在野外工作中作者等人在多层灰绿色厚层泥页岩中发现了大量的笔石化石,该组中也曾报道有数量众多的牙形石、放射虫化石。根据分析认为此牙形石组合是一个混杂的牙形石动物群,而放射虫、笔石源于沉积物基质中,为原地生物(郑昭昌,1991)。

本组主要岩性为青灰色(风化后呈灰绿色)砂、页岩,有少量的硅质细砾岩、砂质砾岩及含砾砂岩,间夹数层(约13层)厚度不等的碳酸盐滑塌角砾岩层(表1)。砂岩中发育典型的鲍玛层序及各种滑塌变形构造,如槽模、沟模、重荷模、包卷层理、漂移层理等。室内研究证实碳酸盐岩碎屑来源于先前的浅水台地碳酸盐

岩地层,且发现碳酸盐角砾岩块具有明显多期次胶结和多期滚动再充填作用的特点,这是海平面低水位期的沉积特征。这些事实说明,本区樱桃沟组地层是一套过渡型的处于边缘斜坡带的混合型深水重力流沉积,为一套典型的复理石沉积建造。

3 重力流沉积的岩相描述

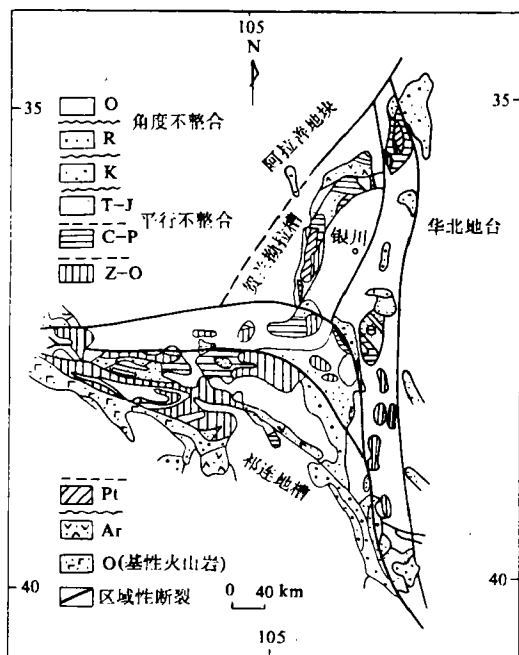


图1 贺兰拗拉槽及相邻地区的地质略图

Fig. 1 The geological sketched, map of Helan Aulacogen and its adjacent areas

贺兰拗拉槽与北祁连地槽褶皱带以高角度相交,并呈楔形插入阿拉善地块与华北地台区之间

重力流是一种在重力直接作用下以块体搬运方式运移的非牛顿流体,以具有高的内部粘结力和快速堆积为特征,可以出现于多种环境中。按沉积机制可以把重力流区分为泥石流、颗粒流、液体化流及浊流等四种类型(Middleton, G. V., and Hampton, M. A., 1976),但由于沉积物组成和沉积地貌的差异以及沉积过程的复杂性,重力流实际上包括了一系列复杂的岩相类型和组合。

表 1 樱桃沟组碳酸盐岩层厚度统计

Table 1 The statistical thickness of carbonate rocks in ringsogou formations

层号	F-121	F-132	F-137	F-129	F-158	F-163	F-189	F-204	F-211	F-226	F-236	F-252	F-258
厚度(m)	8.55	0.32	11.71	5.94	0.5	0.6	0.85	0.96	0.65	0.35	1.60	6.60	0.3
组合	AB	C	AB	ABC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	C

注:A. 大小混杂的巨角砾岩 B. 浑圆状、次棱角状细砾岩 C. 发育平行层理或包卷层理的砂质碳酸盐岩

本研究区重力流沉积主要包括内源与陆源重力流沉积二个单元:

3.1 内源重力流沉积单元

内源沉积是作为陆源碎屑沉积的对应概念提出来的,其物质来源是由海洋盆地水体直接提供的沉淀物质(孟祥化、葛铭,1991)。在本区它主要是指碳酸盐滑塌角砾岩体,实质上为一种再沉积碳酸盐碎屑物。

该沉积岩体层位稳定,呈带状延伸(图版 I-1),与共生的沉积物呈明显的接触关系。各层厚度变化较大(表 1),但单层内无大的厚度变化。岩层内砾石大小悬殊,粒径从 2~3mm 至 1m 均有分布,排列杂乱,分选差,粗砾石常分布于厚角砾岩层中,如巨大的漂砾“漂浮”在由砂、泥、灰质砂屑、细砾混合物组成的基质中(图版 I-2)。

单一岩层总体上具粒度向上变细的趋势,自下而上可以分为三个组成部分:A. 大小混杂的巨角砾岩;B. 浑圆状、次棱角状细砾岩(3~10mm);C. 发育平行层理或包卷层理的砂质碳酸盐岩。从表 1 可以看出,少数发育 A、B、(C)组合,而大部分为 B、C 组合,其主要原因是发生滑塌的边界位置在不断的迁移变化之中,而剖面位置没变,从而造成这种不一致的岩石组合类型。C 部分多发育有平行层理或包卷层理。岩层的粒序性及包卷层理的存在说明了碎屑流具有紊流的性质(P. Eberli, 1987)。

在现代碳酸盐岩陆架边缘或斜坡上广泛发育有滑塌—浊积扇裙(Cook H. E. and Enosp, 1985)。本区碳酸盐滑塌角砾岩具有以下几类特征,可以用近源海底断裂陡崖下坡形成的滑塌碳酸盐角砾岩块体碎屑裙沉积来解释,并且可与现代陡边缘斜坡(悬崖或断崖等)边缘发育的碳酸盐岩扇裙对比。这些特征为:

- 1) 与块体沉积物伴生的是半远洋细粒沉积物(泥页岩、杂基砂岩等);
- 2) 碎屑流具滑塌—泥石流的特征;
- 3) 沉积层分布范围广(延伸达 2~3km),且分布稳定;
- 4) 沉积层是比较一致的,角砾岩层并无合并现象;

5) 规模较小的角砾岩层在野外可以看到很明显的平整底面(图版 I-3),并不切入下伏层中。

因此,可以推断其形成过程是:中奥陶世时期,贺兰山拗拉槽正处于活动的鼎盛时期,盆

地拉伸强度较大。在拉张的构造背景中,空间被反向断层和逆牵引构造所补偿,两者沿断层容易产生槽状构造(Gills,1984)。从已有的区域资料分析,此时贺兰山拗拉槽正为一不对称的断陷槽,边缘断层连续活动触发了块体突变流,块体以碎屑席的形式流进邻近盆地,分布似席状,断崖作为其线状物源。随着少量陆源碎屑的补给供应,可以逐渐过渡为含陆源碎屑的碳酸盐岩沉积。

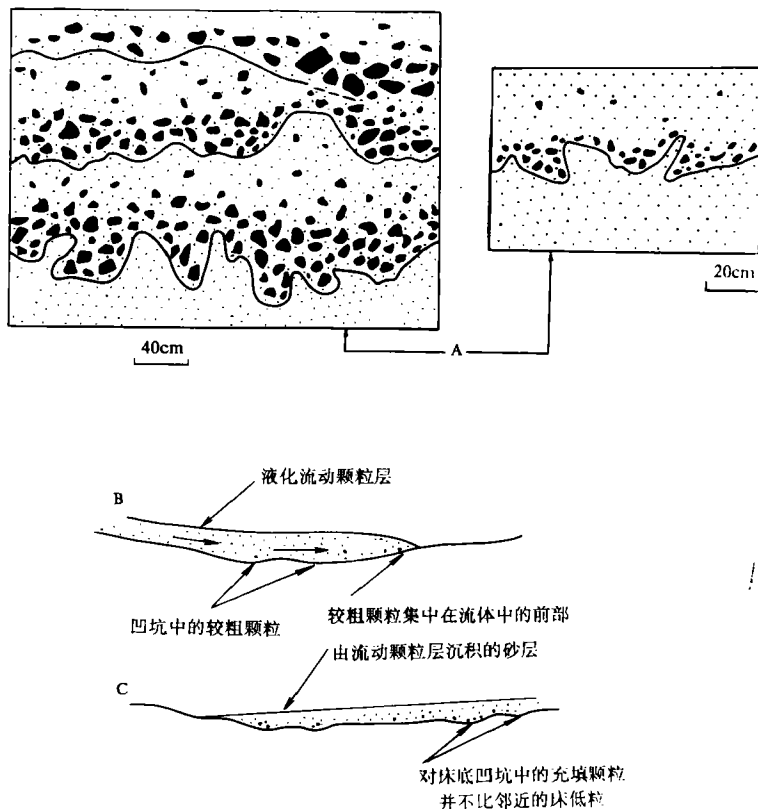


图2 重力流沉积过程图(参考 Kuenen and Menard, 1957)

A. 递变层底部图 B. 粗颗粒超越细颗粒,在流体底部集中 C. 粗颗粒停止运动,细颗粒沉积于其上

Fig. 2 Depositional proce of gravity curent (after kuenen and Menard's diagram, 1957)

3.2 陆源重力流沉积单元

主要指由基岩风化剥蚀的碎屑产物形成一系列碎屑流沉积,包括以下三个组成部分:

3.2.1 块状的、多层叠置的递变细砾岩、砂质砾岩及砾质砂岩

它常由此类多层岩层互相切割合并而成。单层厚 0.3~1.2m,具不规则的侵蚀底面(图版 1-4)。砾石粒径为 2~4mm,大者可达 10mm,含量为 20~50%,棱角特征明显,并以特有的灰白色而与灰绿色基质相区别。其主要成分为燧石,有少量的泥质岩、粉砂岩、碳酸盐岩屑,杂基支撑,分选性差。基质成分为粉砂、泥及细砂。层内一般具粒度递变现象,从底部向上分别为细砾岩—砂质砾岩—砾质砂岩—含砾砂岩—砂岩,粒径也随之变细。有时一个单层内即可包含有多层(3~5层)这样的递变性小旋回(厚 5~11cm)。

在一些含砾砂岩内部常可见到砾石呈漂浮状分布于砂岩顶部,与陆地冲积扇上泥石流在下游转化为泥沙流的沉积类型相似。Taira(1979)曾指出鲍玛序列的A段很可能是泥石流或泥沙流成因。

多层叠置的砾质砂岩可能是近源的多次浊积事件反复冲刷而形成的。递变的细砾岩、砂质砾岩可以解释为是浊积水道内沉积物,对于其沉积机理,Kuenen and Menard(1957)提出了很具体的模式。作者认为本区递变层具有相似的沉积特征和形成机理(图2)。在流体搬运过程中,颗粒按水力学粒径排列,较粗部分比细粒部分运动更快,位置更靠前而向流体的鼻部运动,这相当于反的单向粒度递变,粗颗粒先停止运动,随后细颗粒越过粗颗粒向前流动,形成两向递变,沿层内向上变细,沿流动方向层内向下变细。

3.2.2 经典浊积岩

由中粗粒、中细粒杂基砂岩、粉砂岩、泥页岩组成了典型的鲍玛序列浊积岩。杂基砂岩厚30~50cm,为鲍玛序列中a、b段的主要岩石类型。颗粒中,石英含量50~60%,岩屑含量8~15%,长石含量1%,基质为13~35%。岩屑以燧石为主,部分为脉石英、碳酸盐岩及泥质岩。长石主要为具网格双晶的微斜长石和发育聚片双晶的斜长石。基质主要为泥、粉砂。颗粒分选性差。磨圆成棱角状,结构和成分成熟度均较低(图版I-5)。对本区浊积岩层序的分析表明,其主要的层序类型为Tabcd、Tabc、Tad、Tbcde、Tcde、Tae(图3,图版I-6)。根据层序组合特点,可以分为近源浊积岩和远源浊积岩。近源浊积岩层序一般以a段开始,底部常发育底模构造,多为中粗粒结构,代表距物源区较近的沉积类型,水动力条件相对较强。远源浊积岩一般以b或c段开始,多为中细粒结构,代表距物源区较远的沉积类型,水动力条件较弱。由近源浊积岩至远源浊积岩代表了浊流衰减方向。

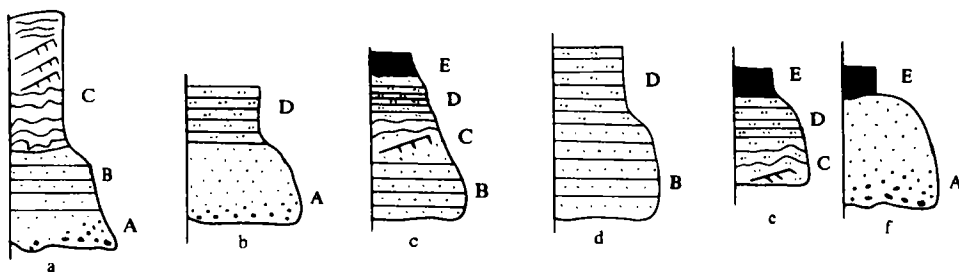


图3 本区发育的浊积岩序列

Fig. 3 The well-developed turbidite sequences in study area

野外观察表明,该层序下部a段厚6~15cm,多为中粗粒钙质石英砂岩或含砾砂岩,块状或显示粒度递变性,发育重荷模、沟模等;b段厚10~25cm,发育典型的平行层理,主要由颗粒的定向和粒度变化所显示,当作为层序底时,显示出明显的席状冲刷底面;c段厚3~11cm,发育典型的包卷层理和漂移层理及小型交错层理;d、e段一般难以划分,岩层较薄,粒度也较细,为浊流末端或停滞期沉积物。整个鲍玛层序厚为8~85cm。

3.2.3 泥页岩

灰绿色,薄层,厚度较大,可达30~40m,间夹有薄层(4~6cm)细砂岩。泥页岩在整个剖

面沉积物中占相对较高的比例,从几个岩段的统计资料来看,泥页岩/浊积岩比为 2.5 : 1。其中发现有笔石、放射虫等深水型化石。此类型沉积主要包括下伏粗粒层浊流稀释尾部中沉积的沉积物和在浊流沉积之前或之后由远洋一半远洋浮游生物作用及化学凝聚作用形成的沉积物,是浊流衰减期或停滞期的产物。

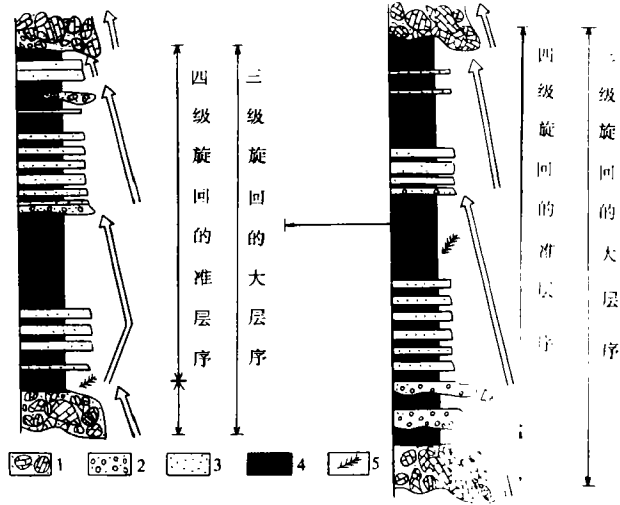


图4 樱桃沟组重力流垂向沉积层序

1. 碳酸盐角砾岩 2. 细砾岩
3. 中细砂岩 4. 泥页岩 5. 笔石

Fig. 4 The vertical section of gravity current depositions in Yingtaogou formations

上述三种岩类互相组合就构成了本区特征的陆源重力流沉积层序,包括有向上变薄变细的层序及不规则的复合型层序(图4),但未发现典型的向上变粗变厚的浊积扇向前推进的沉积层序,也少见具明显水道化特征的沉积物,这些说明本区在当时并没有发育成典型的浊积扇,这可能与当时该区特有的构造格架有关,也可以从浊积岩与其它再沉积碎屑物的比例及分布上得到反映。本区沉积物的形成是通过垂向加积和地形的埋藏而形成的。向上变薄变细的层序可以认为是沉积物供应减少的结果。Surlyk (1978)曾描述过类似的硅质碎屑岩层序,这二者是可以进行类比的。实际上,剖面中以不规则的复合型层序为主。

4 沉积模式

沉积模式是在综合了沉积相单元的组合特征,并与现代沉积环境进行类比的基础上建立起来的。沉积物的供给、沉积物的组合及分布、古生物特征等是其主要控制因素。同时,盆地的形态和构造演化也是决定沉积模式的重要因素。通过综合分析研究区的沉积物特征,可以总结出本区中奥陶世碳酸盐重力流与陆源重力流沉积混合作用的模式(图5),该模式的建立对于本研究区今后更详细的区域性工作将具有指导意义。

5 旋回讨论

旋回即相序的多次重复。旋回的发育一般受控于海平面变化、构造升降、沉积物供应及气候条件等因素。孟祥化等(1989)从沉积建造方面对沉积旋回级次的划分及其产生原因进行了分析和总结。本区的旋回讨论是基于对实测剖面的纵向序列分析而进行的。

中奥陶世贺兰山拗拉槽边缘同生断裂活动规律明显,节奏清楚,相应形成了同样具有明显旋回性的沉积物。正如前面所讨论的,内源滑塌堆积物形成于海平面低水位期,而陆源断裂碎屑重力流沉积物形成于高水位期,高水位期与低水位期沉积物的组合就构成了一个旋

回。据实测剖面逐层详细统计,旋回节次达 12 次以上。经推算认为这种层序代表一个三级旋回中由低水位期至高水位期的 13 个四级旋回层序,也代表一个低级次的 13 次海平面上升和回落。但总的变化趋势是盆地沉降和海平面加深过程的复合。

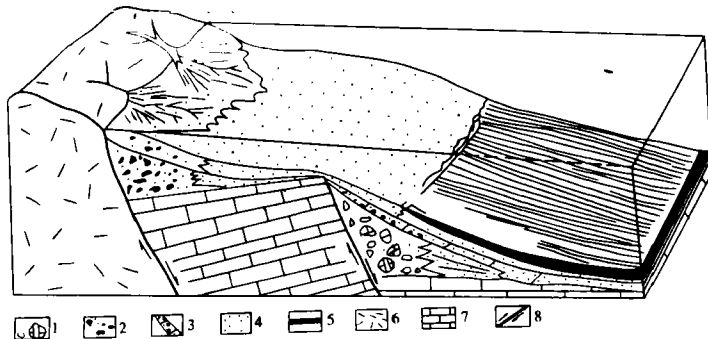


图 5 中奥陶统碳酸盐重力流—陆源重力流沉积混合交替沉积模式

1. 碳酸盐滑塌角砾岩相 2. 陆源碎屑扇角砾岩相 3. 碳酸盐陆源碎屑再混合型重力流浊积岩 4. 陆源浊积岩
5. 深水泥质页岩相,含浮游笔石化石 6. 前震旦纪古陆(基岩) 7. 震旦纪—寒武—奥陶世碳酸盐岩 8. 同生张断层

Fig. 5 The mixed sedimentary pattern of carbonate gravity current and terrigenous gravity flow

6 盆地充填及其构造背景条件讨论

众多研究资料表明,中—晚元古代的地裂运动使华北地块破裂。鄂尔多斯地块西缘与阿拉善地块之间发生张裂,形成了秦祁贺三叉裂谷系,贺兰山拗拉槽为其夭折的分支,早古生代为拗拉槽发育的鼎盛时期。区域资料的综合研究表明,早古生代拗拉槽的充填演化具有明显的阶段性,可划分出四个大阶段:1. 早期近岸裂陷阶段,是在中元古代裂陷的基础上发育起来的,于震旦纪时发育陆源冰水沉积相,下寒武统发育滨浅海陆源碎屑岩和白云质碳酸盐岩相;2. 过渡阶段,从中寒武世至早奥陶世,主要以拗陷作用为主,发育滨浅海滩相鲕粒灰岩、风暴碳酸盐岩、半深海似瘤状碳酸盐岩及斜坡带的重力流沉积;3. 强烈沉陷阶段,主要为中奥陶统,以断裂作用为主,边缘断层发育,形成了巨厚的由含笔石泥页岩、碳酸盐岩滑塌角砾岩、陆源碎屑浊积岩组成的半深水—深水混合型重力流沉积;4. 抬升变浅和隆起阶段,随着盆地的不断充填变浅及华北地台的整体抬升而上升成陆,最后结束了早古生代的充填作用。从前面的讨论可以看出,每一演化阶段均有其特殊的盆地构造背景条件和盆地充填样式。

致谢:在论文野外收集资料过程中,长庆石油勘探研究院的领导和一些同志,中国地质大学的刘和甫等教师给予了很大的支持和帮助,论文完稿后承蒙任磊夫教授、马瑞志教师审阅,在此一并表示诚挚的谢意。!

参 考 文 献

- [1] 中国石油学会石油地质专业委员会编译,1986。国外浊积扇和扇三角洲研究,石油工业出版社。
- [2] 林杨松,杨起等,1991,贺兰拗拉槽早古生代深水重力流体系的沉积特征和充填样式。现代地质,5(3): 252~262。
- [3] 孟祥化,葛铭,1991,内源沉积研究,石油工业出版社。
- [4] 孟祥化,葛铭,1989,沉积建造格架分析,岩相古地理,(6)。
- [5] 郑昭昌,李玉珍,1991,贺兰山奥陶系研究的新进展,现代地质,5(2):119~137。
- [6] 张抗,1989,鄂尔多斯断块构造和资源,陕西科学技术出版社,西安。
- [7] Cook H. E. and Enes p(edit),1983, Deep—water carbonate environments, spec. pulls soc econ palent miner talsa.
- [8] Greger P. Eberli, 1987, Carbonate turbidite sequences deposited in the Jurassic Tethy Ocean (eastern ALPs Switzer Land) Sedimentology. Vol. 34, No. 2, p. 363~388.

Mixed Deep—Water Gravity Current Sedimentary
Sequences of Middle—Ordovician Series in
the East Margin of Bayanhaote Basin

Zhu Rukai

(Geology Department of Peking University, Beijing, 100871)

Ge Ming Meng Xianghua

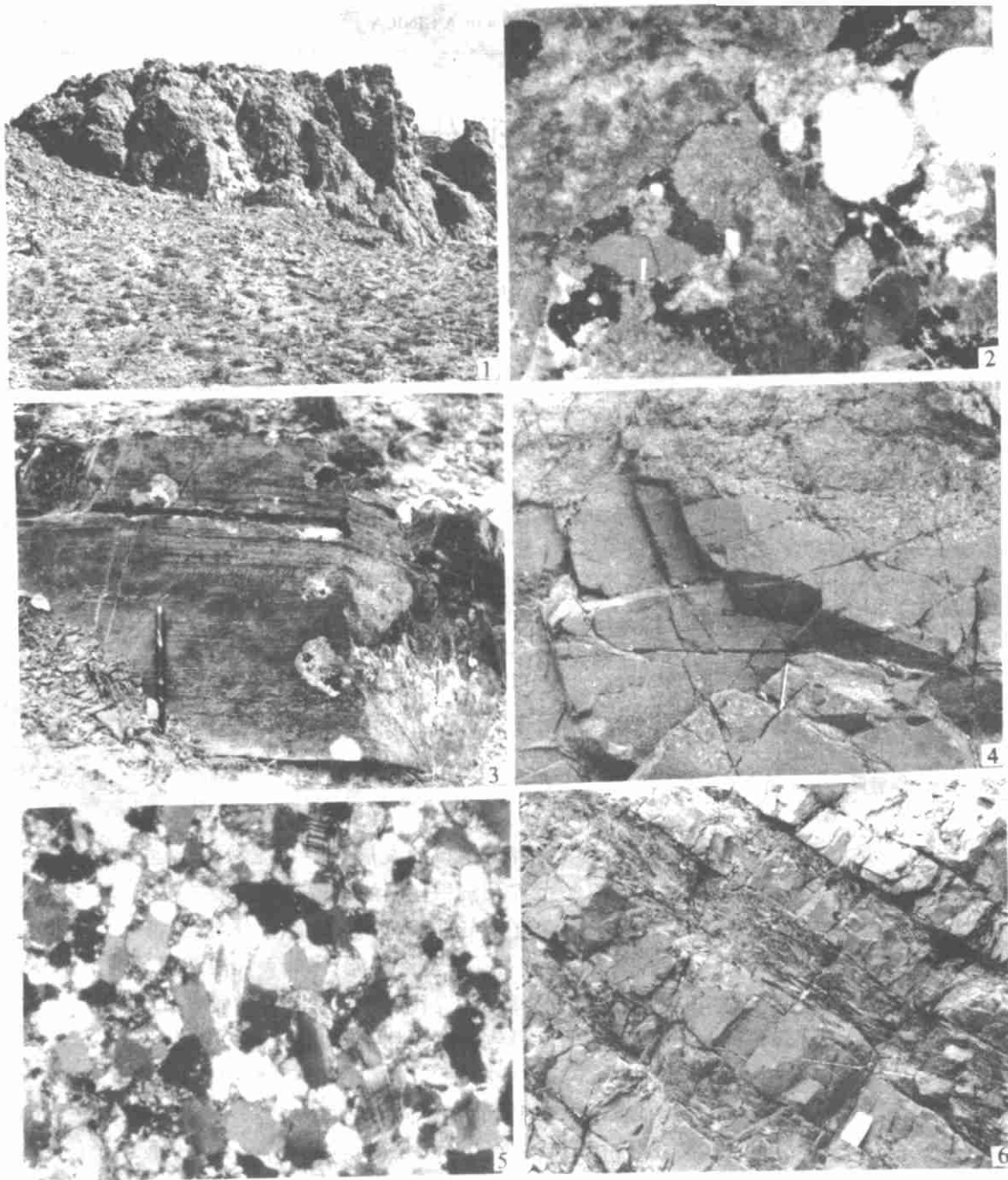
(China University of Geoscience, Beijing, 100083)

Abstract

The authors have identified a series of mixed thick deep—water gravity current sediments in Ying taogou Formation of middle—Ordovician in the east margin of Bayanhavte basin, It included carbonate slump breccias, graded fine conglomerates, sandy gravels, dassic turbidites, grey—green shales etc. Carbonate slump breccias were formed in clastic—skirt, which located under proximal sea—bottom near to fault steep cliff, and terrigenous turbidite were originated from paleo—weathered crust by turbidity current.

By studying the vertical sequence, the authors consider that this Formation are generally represented a I grade cycle, corresponding to a second crust rising—falling cycle, which formed during the period when aulacogen subsided deepestly and were mainly defined by paleostructure. And each complex of terrigenous sediment and infrobasinal sediment represented a II grade cycle, corresponding to a low—graded sea—level—charnging cycle.

Key words Yingtaogou formation Gravity current Cycle



1-1. 碳酸盐滑塌角砾岩,呈带状延伸,呼吉尔台(O_{2y}); 1-2. 碳酸盐滑塌角砾岩,含磨圆的石英碎屑,4×10倍,正交镜下; 1-3. 递变的碳酸盐细砾岩,具平底,呼吉尔台(O_{2y}); 1-4. 递变细砾岩,具冲刷底面,呼吉尔台(O_{2y}); 1-5. 中细粒杂砂岩,4×10倍,正交镜下; 1-6. 鲍玛序列发育的浊积岩