

裂陷盆地重力流沉积对基准面变化的响应 ——以乌里雅斯太南洼腾一下亚段为例

陈亮^{1,2} 季汉成^{1,2} 张靓^{1,2} 李晨^{1,2} 时聪³ 于斌⁴

(1.油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;2.中国石油大学(北京)地球科学学院 北京 102249;
3.中石油华北油田分公司勘探开发研究院 河北任丘 062552;4.中国海洋石油总公司研究总院 北京 100027)

摘要 在重力流沉积区,沉积物粒度旋回难以反映基准面的变化情况,但重力流流态与类型对地形变化具有良好的响应关系。利用上述关系对重力流沉积区基准面变化的研究方法进行了探讨。研究区相对古地貌恢复结果表明,乌里雅斯太南洼腾一下亚段沉积时期控坡断层的活动性在各层序内存在明显差异,由于这种差异性导致凹陷在地形上经历了由缓至陡的变化过程,相应地,可容纳空间经历了缓慢增长、加速增长两个时期。钻井取芯、三维地震反演等资料显示,在地形与可容纳空间的变化过程中,重力流类型也随之发生变化,沉积物沉积位置亦发生迁移。因此推断重力流流态特征与沉积位置对地形以及可容纳空间变化存在一定的响应关系:断裂活动性强,可容纳空间增长速率高,地形陡,以浊流或砂质碎屑流沉积为主,沉积物主要沉积在断坡下方;断裂活动性弱,可容纳空间增长速率低,地形缓,以强黏结性碎屑流沉积为主,沉积物沉积范围广。综上认为利用重力流流态特征与类型转换可以判断地形变化趋势,进而推断基准面的变化情况。

关键字 基准面变化 重力流沉积 重力流流态转化 乌里雅斯太南洼

第一作者简介 陈亮 男 1987年出生 博士研究生 层序地层学与储层地质学 E-mail:406033764@qq.com

通讯作者 季汉成 教授 E-mail: georabbit1987@hotmail.com

中图分类号 P512.2 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

高分辨率层序地层学自诞生以来,由于其基本原理和分析技术的广泛适用性、可行性、高精度和可预测性,对盆地分析起着重要作用^[1]。高分辨率层序地层学的研究主要是围绕着基准面变化进行的,通过对沉积物基准面这一假想面的周期性变化进行考察,从而进行层序地层学研究^[1-2]。而基准面升降受控于可容纳空间与沉积物补给比值(A/S),这样就摆脱了海平面或是湖平面升降对层序地层的控制作用^[3-8]。

调研发现,前人研究主要侧重于探讨裂谷盆地中,牵引流沉积对基准面变化的响应^[9-17],如何在水下重力流沉积区识别基准面的变化尚待探讨。邓宏文与 Cross 在 2001 年全国沉积学大会上提出通过反映重力流流动的流态学特征与能量变化的沉积构造序列,分析重力流沉积作用对盆地地形特征的响应,推断地形梯度和能量变化导致的可容纳空间变化,从

而识别基准面旋回^[18]。实际上,即便由小规模同沉积断裂产生的地形变化对重力流流态学特征也有着很大程度的影响^[19]。因此,本文以重力流沉积发育的乌里雅斯太南洼腾一下亚段为例,在建立高精度层序地层格架的基础上,探讨基准面变化过程中重力流沉积的响应。

1 区域地质背景

二连盆地是在内蒙—大兴安岭古生代褶皱带基础上发育起来的中生代陆相沉积盆地^[20],具有构造变形弱、多旋回演化、多沉积类型的特点。乌里雅斯太凹陷地处盆地东北缘,是单断箕状凹陷^[21],其构造运动完全受区域构造应力的影响,中生代主要表现为北西—南东向张应力作用下的块断升降运动。该凹陷经历了三个主要的构造时期:断陷前期、断陷期以及拗陷期,形成了阿尔善组与腾格尔组、腾格尔组与赛汉塔拉组的两大区域不整合界面^[22]。

乌里雅斯太凹陷发育南、中、北三个次洼(图1),

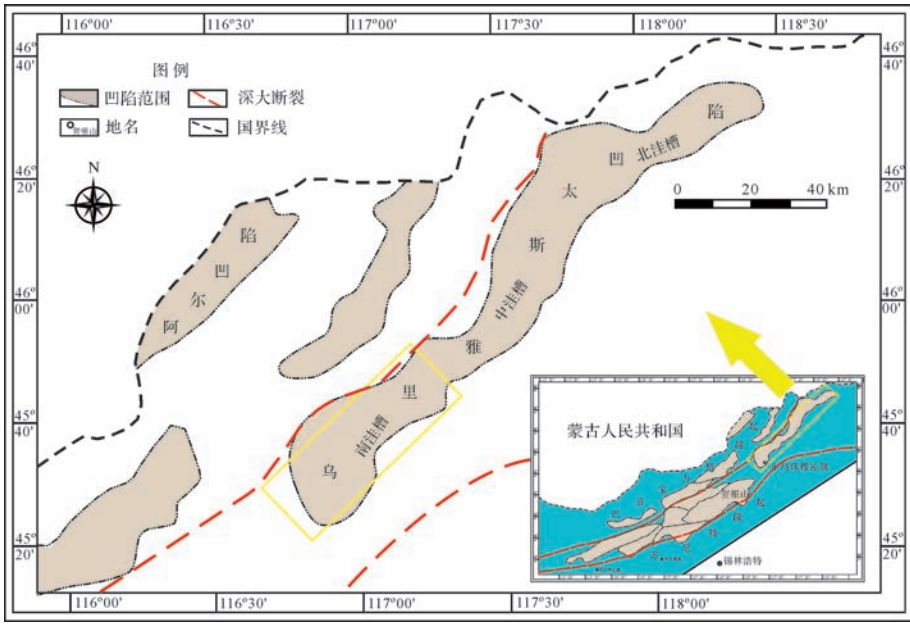


图1 研究区位置图

Fig.1 Location map of the study area

该地区下白垩统巴彦花群自上而下主要发育了阿尔善组、腾格尔组以及赛汉塔拉组三套地层。腾格尔组腾一段沉积时期,该地区主要为湖底扇沉积,重力流极其发育,碎屑流以及浊流均有发育,而牵引流沉积较少^[23-25]。

笔者以测井资料为基础,通过小波分析,结合三维地震资料将腾一下亚段划分为四个中期旋回,建立了高分辨率层序地层格架。如图2所示,自下而上为

MSC1、MSC2、MSC3 以及 MSC4 四个中期旋回。

2 古地形变化与基准面变化

研究区东部缓坡带发育三组顺盆地走向的三级断裂,使凹陷缓坡带呈现三级坡折的构造面貌,自西向东为下坡折、中坡折、上坡折(图3)^[26]。

在以往的研究中,并未对这三组断裂在腾一下亚段时期的活动性变化情况进行分析。前人研究认为

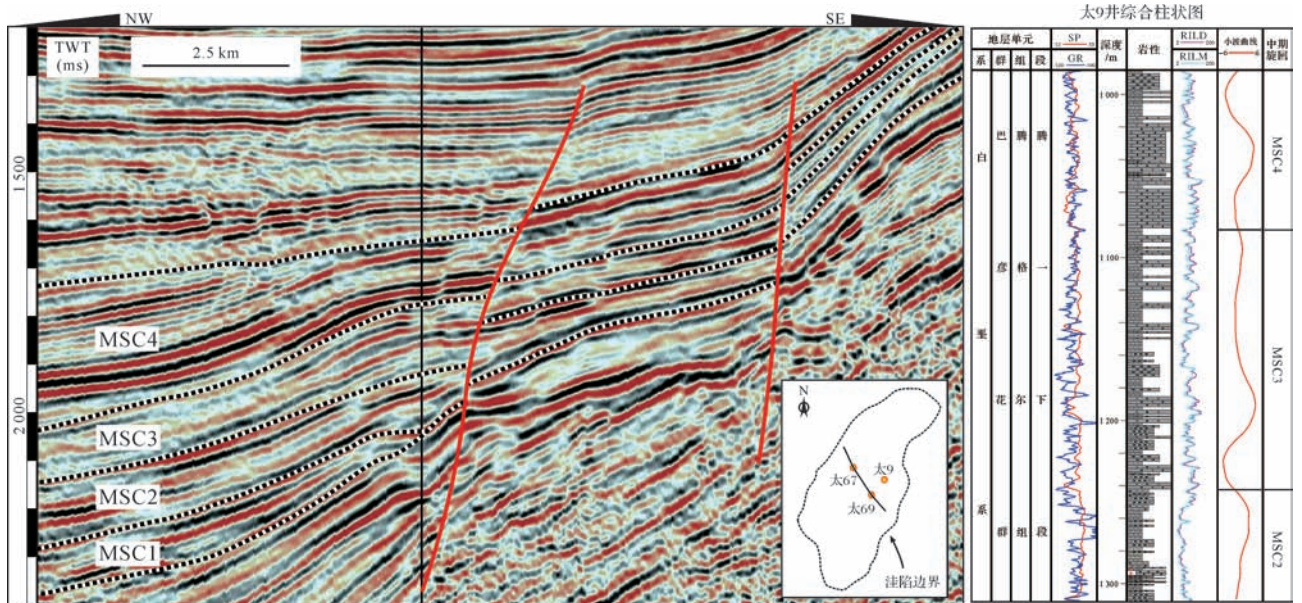


图2 乌里雅斯太南洼层序地层格架

Fig.2 Sequence stratigraphic framework of South Wuliyasitai Sag

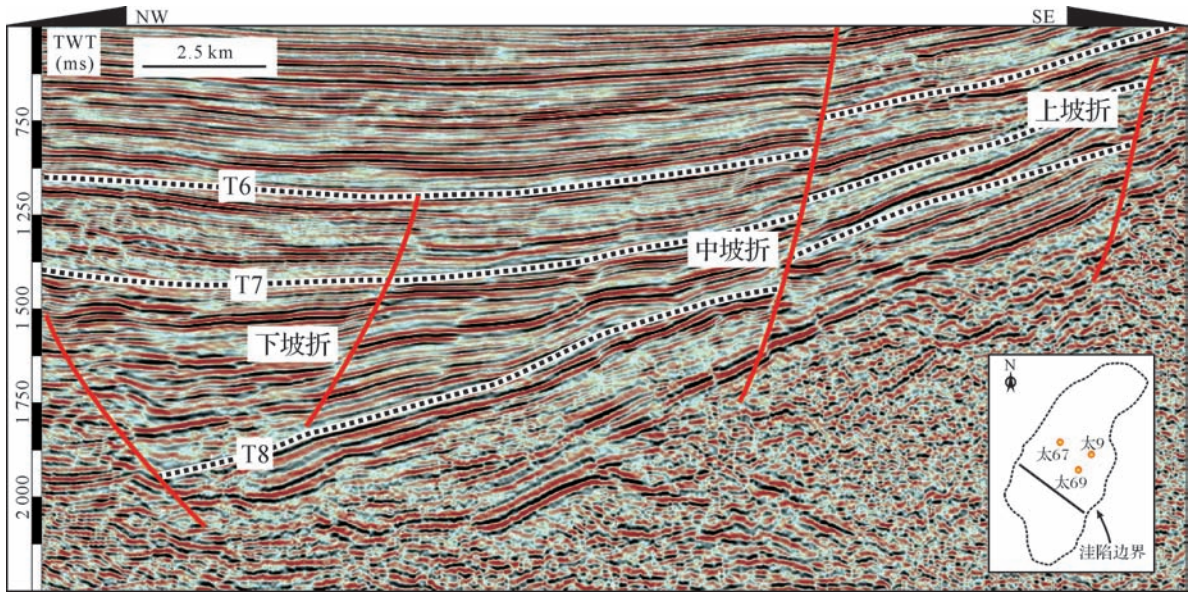


图3 乌里雅斯太南洼东缓坡坡折特征 (据王有智等改, 2009)

Fig.3 Slope-break characteristics of South Wuliyasitai Sag(modified after Wang et al., 2009)

腾一段时期整体为湖侵过程,存在欠补偿情况,但腾一下亚段时期,为湖平面初始上升期,沉积趋势仍然表现为进积特征^[26],基本上不存在欠补偿问题,且研究仅需要恢复地形的相对变化情况,所以利用回剥法对 MSC1+MSC2 与 MSC3+MSC4 沉积时期进行相对古地貌恢复。各时期古地貌恢复结果表明:MSC1 至 MSC2 时期,尚不发育三级坡折的地貌形态,且地形

平坦,坡度小,仅研究区中部存在相对地形低洼区,说明该时期内断裂活动性弱或不活动;MSC3 至 MSC4 时期具备三级坡折的地貌形态,坡度变陡,自南向北发育有三个地形低洼区,说明断裂于 MSC3 时期开始活动且活动性逐渐加强,最终形成三级坡折的地貌形态(图4)。

综合上述分析认为,随着断裂活动性的变化,古

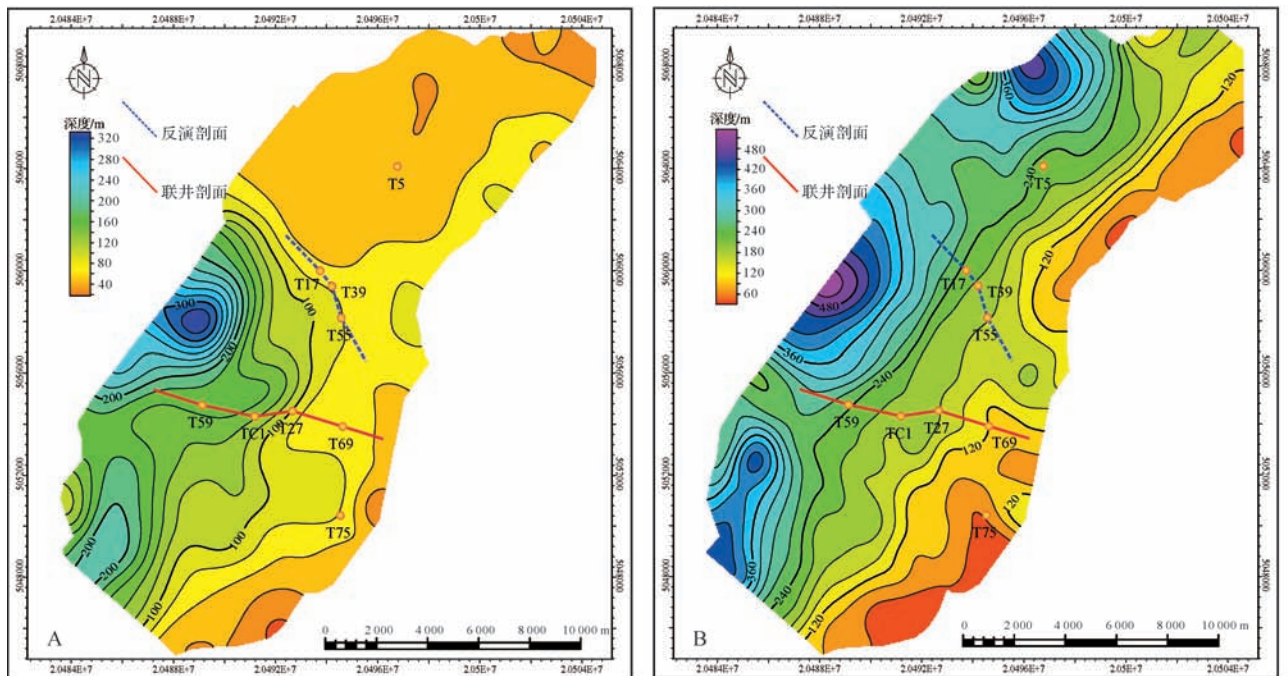


图4 不同时期相对古地貌图

A.MSC1+2 时期相对古地貌图 B.MSC3+4 时期相对古地貌图

Fig.4 Relative palaeogeomorphic maps of different periods

地貌发生变化,基准面与可容纳空间的增长速率也相应的发生着变化:MSC1至MSC2时期可容纳空间增长速率低,表现为基准面缓慢上升;MSC3至MSC4时期可容纳空间增长速率逐渐增大,基准面加速上升。

3 沉积物重力流对地貌的响应

如图5所示,在海洋沉积环境,超高密度流向浊流转化的过程中,沉积物重力流的密度与流动速度都会随着搬运距离的增加而发生变化,而这一过程的演化程度受控于地形的坡度、流体厚度、流体流动速度、边界条件以及水深等因素^[27-29]。其中坡度越大越容易触发重力流形成,在重力流流动过程中,流体流动速度很大程度上受地形坡度的影响,地形坡度越大流体流动速度越快;利用已有资料,难以对单次重力流沉积厚度进行考察,所以本文并未讨论流体厚度对重力流沉积的影响,且假设每次重力流沉积的厚度基本相当。

在裂谷盆地中,同沉积断层间歇性活动会造成可容纳空间的间歇性增长^[30],与此同时由同沉积断层所控制的地形坡度也会发生变化,而地形坡度的不断增大促进了重力流在水下的演化过程,同时也使重力

流沉积物沉积位置发生迁移。

3.1 重力流沉积类型纵向变化

MSC1与MSC2时期全区广泛发育一套厚层泥岩,MSC3时期主要为碎屑流沉积,表现出高泥质含量、层流性质明显的特征,至MSC4时期,发育浊流与砂质碎屑流沉积,其泥质含量与密度较碎屑流低。这表明随着控坡断裂活动性增强,古地貌发生变化,地形坡度变陡,这不但为沉积物重力流发育提供了触发机制,也导致了重力流沉积类型的变化,即流态转换。

太17井位于凹陷中部,处在坡折下方的缓坡带(图4),对地形变化响应明显,其重力流沉积物易于保存。在岩芯上,碎屑流沉积表现为富泥的砂砾岩,浊流与砂质碎屑流沉积表现为低泥质含量、颗粒支撑的砂砾岩,在录井过程中均作为砂砾岩处理,并且砂砾岩对测井的响应并不敏感,所以这两类沉积在录井岩性以及测井曲线上都不存在明显差异。该井在MSC4与MSC3层序内均有取芯且较连续,故利用该井岩芯资料,说明重力流沉积类型的变化。

如图6所示,MSC3时期,岩芯主要表现为泥质含量高的碎屑流沉积,砾石多定向排列,层流特征明显(图7A);MSC4时期,岩芯多表现为砂质碎屑流以

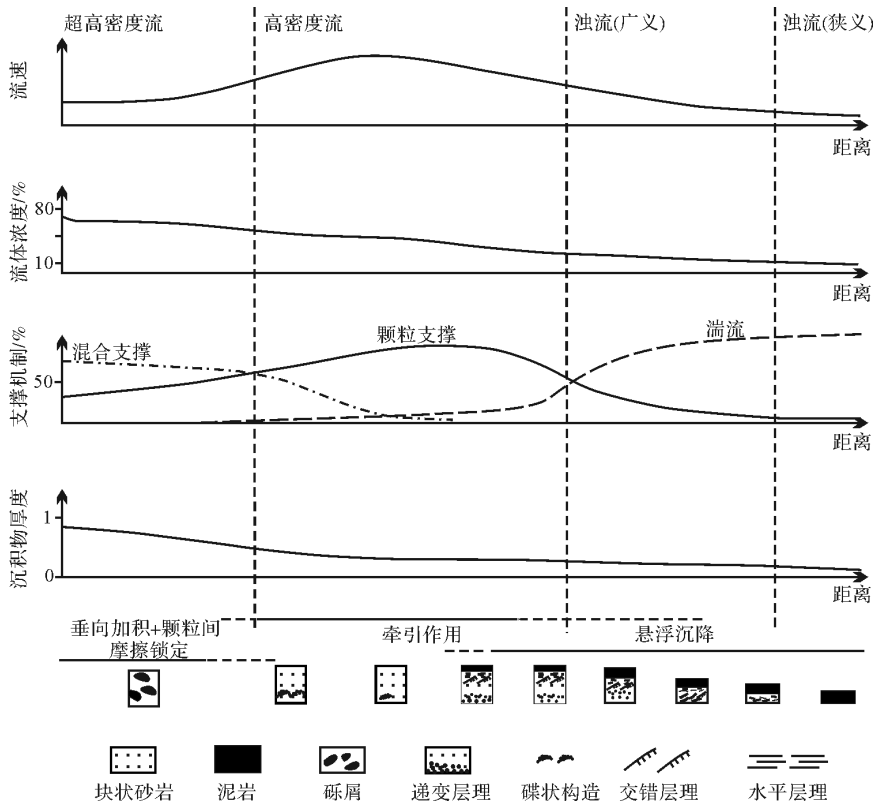


图5 超高密度流到浊流转换过程中流体性质的变化 (据 Thierry Mulder 与 Jan Alexander 修改,2001)

Fig.5 Diagram to illustrate changes during transformation of sediment flows from hyperconcentrated density flow to concentrated density flow

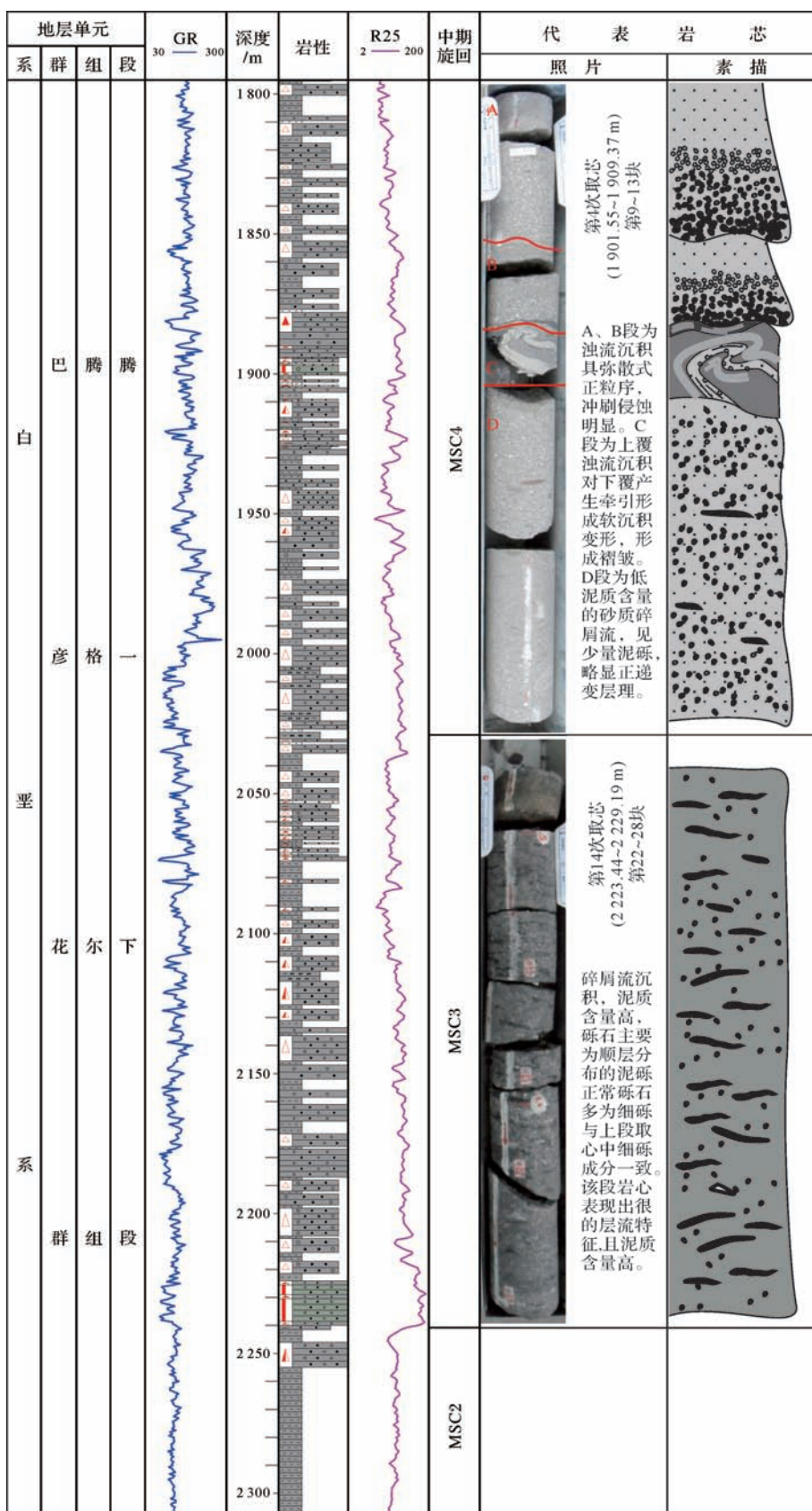


图6 太17井不同时期典型岩芯与沉积构造

Fig.6 Core feature of Well Tai-17

及浊流沉积,泥质含量低,沉积构造主要发育递变层理、冲刷侵蚀构造(图7B)。该井取芯进行统计结果显示,MSC3与MSC4段取芯长度分别为38.28m与63.72m,其中MSC4段中浊流含量占13%,砂质碎屑流含量为16%,碎屑流含量为12%,MSC3段中浊流含量占2%,砂质碎屑流含量为1%,碎屑流含量为12%(表1),砾石成分基本一致,多为花岗岩碎屑(图7)。重力流沉积过程中,流态转化是必然发生的,只是因为外界条件的差异会导致转化程度的不同,研究区在物源性质基本稳定的情况下,随着断裂活动性与地形坡度增大,流动速度增加,从而促进了这一转化过程,最终导致重力流沉积类型发生变化,其泥质含量减少,沉积物密度降低。

表1 太17井岩芯沉积类型统计表

Table 1 Statistics for depositional types of Well Tai-17

中期旋回	岩芯长度/m					
	浊流	砂质碎屑流	碎屑流	液化变形	泥岩	牵引流
MSC4	8.45	10.22	7.82	7.75	18.24	11.23
	13%	16%	12%	29%	12%	18%
MSC3	0.82	0.46	4.58	0.55	17.13	14.74
	2%	1%	12%	45%	1%	39%

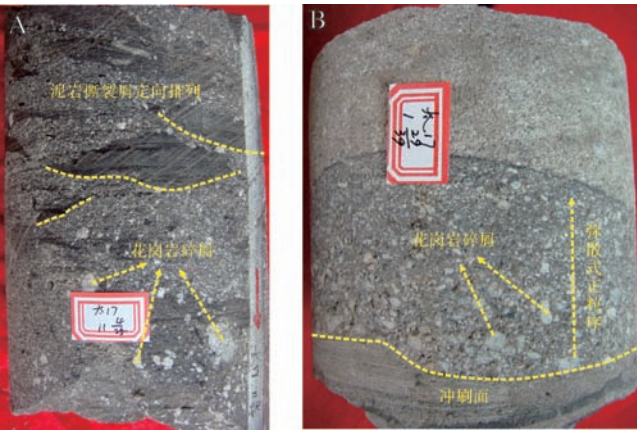


图7 碎屑流与浊流岩芯特征

A.太17,2 055.57 m;B.太17井,1 885.73 m

Fig.7 Core features of debris flow and turbidity current

3.2 重力流沉积位置变化

由于滑水机制的存在,碎屑流沉积物在水下的搬运距离可以非常远,但要有一定的坡度^[31-34],当坡度减小时,沉积物便会以整体沉降的方式沉积下来。图8为过太55井、太39井以及太17井的波阻抗反演剖面,剖面位置见图4,反演结果显示,在MSC3时期碎屑流沉积物分布在整个东部斜坡上,这说明断裂活

动初期的地形坡度相对小;MSC4时期为断裂活动最强时期,沉积物沉积位置向盆地方向迁移。根据沉积相的分布特征,结合岩芯标定,厘定了重力流沉积物的主要沉积位置,其变化趋势与剖面特征一致,均有向盆地方向迁移的特征(图9)。这说明随着断裂活动性加强与地形变陡,重力流沉积物沉积位置向盆地中心迁移,沉积物重力流不仅会因地形坡度增加造成其流态特征的变化,而且还会因地形变化使其沉积位置发生迁移。

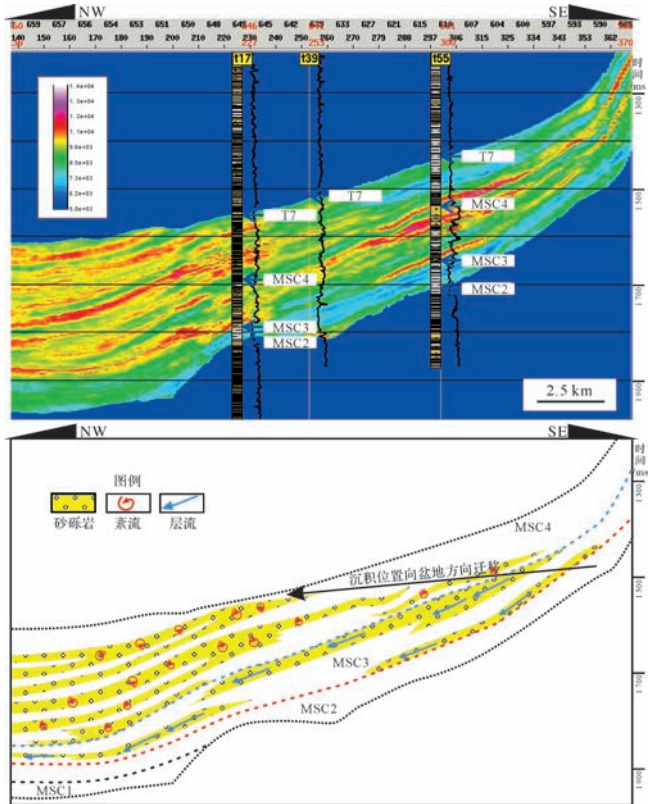


图8 太55—太17井波阻抗反演剖面

Fig.8 Wave impedance profile from Well Tai-55 to Well Tai-17

4 重力流沉积对基准面变化的响应

在高分辨率层序地层学理论体系中,基准面的变化是通过 dA/dS (可容纳空间增长速率与沉积物供给速率之比) 值来度量的。在裂谷盆地中,同沉积断裂控制着整个盆地可容纳空间的变化,断裂活动速率增大,可容纳空间增长速率增大,反之减小。在研究区内,控坡断裂的活动在影响古地貌的同时也导致可容纳空间的规律性变化,且重力流沉积类型与沉积位置也随之变化。如图10A所示,当断裂活动性弱或不活动时,古地貌表现为地形平缓,类似于MSC1、MSC2以及MSC3时期,重力流沉积类型以碎屑流为主,代

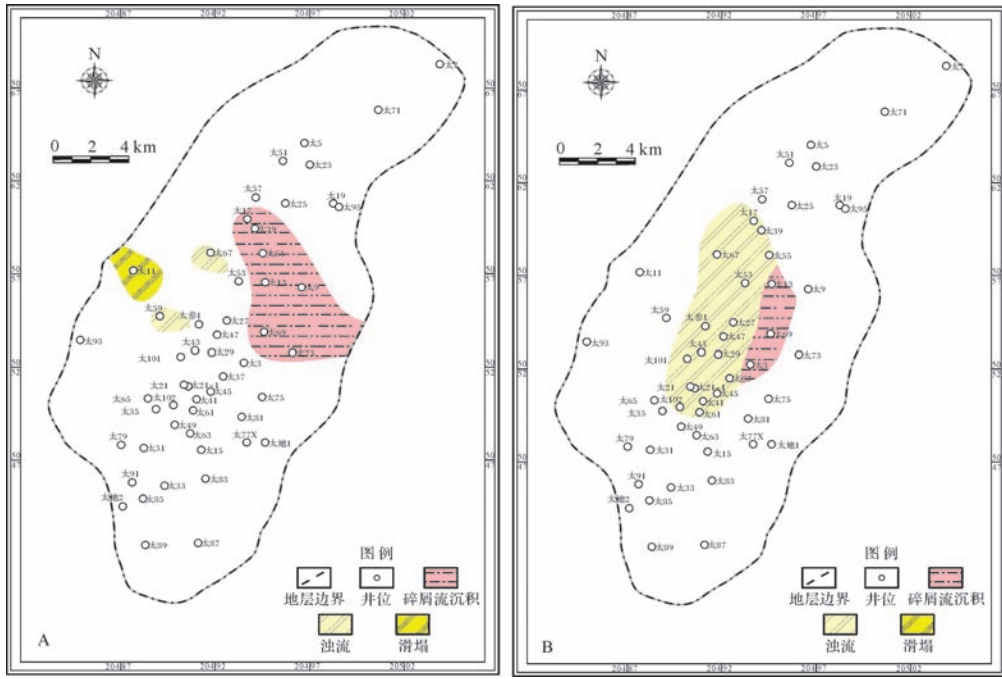


图9 重力流平面位置分布图

A. MSC3 时期; B. MSC4 时期

Fig.9 Plan view of gravity flow distribution

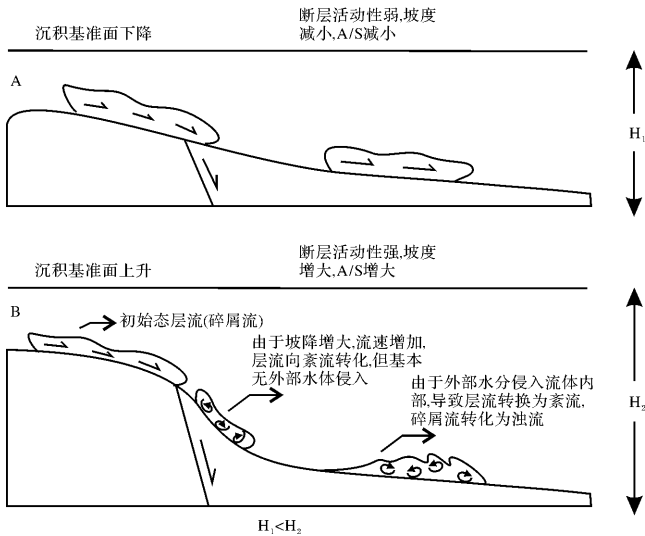


图10 dA/dS 分析示意图

Fig.10 Analysis diagram of dA/dS

表对低可容纳空间增长速率的响应,当断裂活动性强时(图10B),古地貌表现为地形陡,类似于MSC4时期,重力流沉积类型以浊流为主,代表对高可容纳空间增长速率的响应,表现为基准面加速上升。

以太69—太59井联井剖面为例(图11),MSC1至MSC2时期,物源供给以泥岩沉积为主,断裂活动性弱,为基准面缓慢上升期;MSC3时期,断裂开始活

动,在研究区形成一套碎屑流沉积,基准面开始加速上升;至MSC4时期断裂活动性最强,主要表现为由坡度增大引起的碎屑流沉积物向浊流转化,基准面快速上升。

5 结论

(1) 研究区腾一下亚段时期,东部缓坡带发育三组控坡断裂,其活动性在不同时期存在着差异性,通过对相对古地貌的恢复发现在MSC1至MSC2时期断裂基本不活动, MSC3时期断裂开始活动, MSC4时期断裂活动性最强,形成了三级坡折的地貌形态。

(2) 由于地形坡度不断增大,导致碎屑流在搬运过程中发生流态转换,密度降低,形成浊流,并且由于坡度的增大,沉积物沉积位置也向盆地方向迁移。

(3) 通过分析基准面升降与断裂活动性变化之间的关系,将基准面变化过程与重力流沉积类型、沉积物分配位置联系在一起,从而明确了重力流沉积对基准面升降的响应关系;基准面缓慢上升或下降期以碎屑流沉积为主,基准面上升期以浊流或砂质碎屑流沉积为主。当对古地貌与断裂活动性分析不足时,便可利用重力流沉积对基准面变化的响应关系来进行高分辨率层序地层的划分与对比。

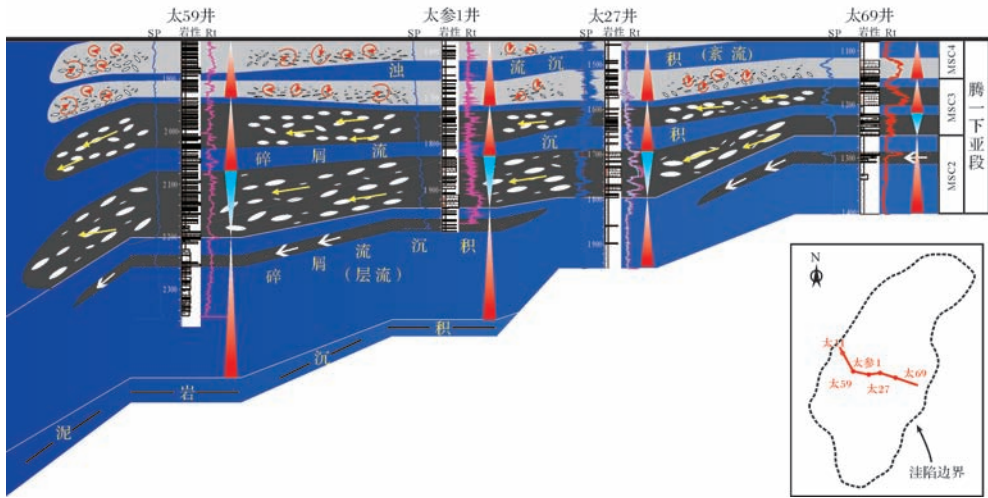


图 11 太 69—太 59 联井剖面

Fig.11 Correlation of cross section from Well Tai 69 to Well Tai 59

参考文献 (References)

- 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探析[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 471-480. [Deng Hongwen. Discussion on problems of applying high resolution sequence stratigraphy[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(5): 471-480.]
- Wood L J, Ethridge F G, Schumm S A. The effects of rate of base-level fluctuation on coastal-plain, shelf and slope depositional systems: an experimental approach[C]//Posamentier H W. Sequence Stratigraphy and Facies Associations. IAS Special Publication, 1993, 18: 43-53.
- Wheeler H E, Murray H H. Base-level control patterns in cyclothem sedimentation[J]. AAPG Bulletin, 1957, 41(9): 1985-2011.
- 黄彦庆, 张尚锋, 张昌民, 等. 高分辨率层序地层学中自旋回作用的探讨[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(2): 6-8. [Huang Yanqing, Zhang Shangfeng, Zhang Changmin, et al. Discussion of autogenetic cycle in high resolution sequence stratigraphy[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(2): 6-8.]
- Bourquin S, Rigollet C, Bourges P. High-resolution sequence stratigraphy of an alluvial fan delta environment: stratigraphic and geodynamic implications-An example from the Keuper Chaunoy Sandstones, Paris Basin[J]. Sedimentary Geology, 1998, 121(3/4): 207-237.
- Wheeler H E. Base level, lithosphere surface and time-stratigraphy[J]. Geological Society of America Bulletin, 1964, 75(7): 599-610.
- 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层学层序基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184. [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-184.]
- 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97. [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97.]
- 孙雨, 马世忠, 闫百泉, 等. 浅水湖盆河控三角洲短期基准面旋回结构样式与沉积演化: 以松辽盆地扶新隆起带南部扶余油层为例[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, 44(8): 3405-3414. [Sun Yu, Ma Shizhong, Yan Baiquan, et al. Sedimentary evolution and structure types of short-term base-level cycle sequences of shallow lacustrine fluvial-dominated delta: Example of Fuyu oil layer in southern Fuxin uplift of Songliao Basin[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, 44(8): 3405-3414.]
- 胡光义, 陈飞, 孙立春, 等. 高分辨率层序地层学在河流相油田开发中的应用[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 600-607. [Hu Guangyi, Chen Fei, Sun Lichun, et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy of fluvial facies in development of oilfield[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4): 600-607.]
- 梁宏伟, 吴胜和, 王军, 等. 基准面旋回对河口坝储集层微观非均质性影响——以胜坨油田三区沙二段 9 砂层组河口坝储集层为例[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(4): 436-442. [Liang Hongwei, Wu Shenghe, Wang Jun, et al. Effects of base-level cycle on mouth bar reservoir micro-heterogeneity: a case study of Es2-9 member of Shahejie Formation mouth bar reservoirs in Shengtuo oilfield[J]. Petroleum Exploration & Development, 2013, 40(4): 436-442.]
- 张广权. 鄂尔多斯盆地大牛地气田本溪组—太原组高分辨率层序地层学研究[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(5): 915-922. [Zhang Guangquan. Study on the high-resolution sequence stratigraphy of benxi Formation to Taiyuan Formation in Daniudi gasfield, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(5): 915-922.]
- 梁宏伟, 吴胜和, 穆龙新, 等. 基准面旋回对河流相储层物性差异及声波测井影响[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2013, 38(5): 1135-1142. [Liang Hongwei, Wu Shenghe, Mu Longxin, et al. Base level cyclic controls on the fluvial reservoir physical properties and sonic logging response[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2013, 38(5): 1135-1142.]
- 阮壮, 朱筱敏, 何宇航, 等. 大庆长垣北部葡萄花上部油层高分辨

- 率层序地层划分[J]. 沉积学报, 2012, 30(2): 301-309. [Ruan Zhuang, Zhu Xiaomin, He Yuhang, et al. High-resolution sequence stratigraphy division of upper Putaohua reservoir, Northern Daqing placanticline[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(2): 301-309.]
- 15 杨有星, 金振奎, 王濮, 等. 黄骅坳陷港中地区沙二段高分辨率层序地层格架与沉积体系分布[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2012, 43(6): 2247-2258. [Yang Youxing, Jin Zhenkui, Wang Pu, et al. High-resolution sequence stratigraphy and depositional systems of the second member of Shahejie Formation in Gangzhong oilfield, Huanghua depression[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2012, 43(6): 2247-2258.]
- 16 李振华, 邱隆伟, 董春梅, 等. 沾化凹陷沾38断块东营组残余地层高分辨率层序地层研究[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(12): 1-6. [Li Zhenhua, Qiu Longwei, Dong Chunmei, et al. Study of high resolution sequence stratigraphy of Dongying formation in Block Zhan 38 of Zhanhua depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(12): 1-6.]
- 17 李增学, 张功成, 王东东, 等. 海城区古近系含煤地层基准面旋回识别与对比: 以琼东南盆地为例[J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1178-1185. [Li Zengxue, Zhang Gongcheng, Wang Dongdong, et al. Identification and correlation of base-level cycles of coal-bearing strata in Paleogene system of China seas; Taking the case of Qiongdongnan Basin as an example[J]. Geoscience, 2010, 24(6): 1178-1185.]
- 18 邓宏文, 王洪亮, 祝永军, 等. 重力流沉积基准面的识别方法及其在陆相盆地中应用[C]//2001年全国沉积学大会摘要论文集. 北京: 中国地质学会, 2001: 25. [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. Identification method and application in continental basin of base-level variation of gravity flow deposits[C]//Abstract book of national sedimentology conference. Beijing: Geological Society of China, 2001: 25.]
- 19 Pochat S, Van Den Driessche J. Impact of synsedimentary metre-scale normal fault scarps on sediment gravity flow dynamics: An example from the Grès d'Annot Formation, SE France[J]. Sedimentary Geology, 2007, 202(4): 796-820.
- 20 李晓燕. 乌里雅斯太凹陷低孔低渗储层测井评价方法研究[D]. 荆州: 长江大学, 2012. [Li Xiaoyan. Well logging evaluation of the low porosity and low permeability reservoir in Wuliyasitai sag[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2012.]
- 21 贾振甲. 乌里雅斯太低渗透油田产能分析[D]. 武汉: 中国地质大学, 2011. [Jia Zhenjia. The capacity analysis of Wuliyasitai low permeability oilfield[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2011.]
- 22 王元杰, 钱铮, 桂训庭, 等. 二连盆地乌里雅斯太凹陷南洼槽岩性油藏层序地层特征与勘探[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(3): 40-45. [Wang Yuanjie, Qian Zheng, Gui Xunting, et al. Sequence stratigraphic characteristics and exploration of lithologic oil reservoirs in southern sag of Wuliyasitai depression in Erlian Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2004, 9(3): 40-45.]
- 23 邓毅林, 王天琦, 曹正林, 等. 二连盆地乌里雅斯太凹陷下白垩统湖底扇沉积特征及成因分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5): 786-792. [Deng Yilin, Wang Tianqi, Cao Zhenglin, et al. Depositional characteristics and genesis of Lower Cretaceous sub lacustrine fan in Wuliyast sag, Erlian Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5): 786-792.]
- 24 冯兴雷, 马立祥, 谢丛娇, 等. 乌里雅斯太凹陷南洼槽下白垩统重力流沉积相模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(4): 28-35. [Feng Xinglei, Ma Lixiang, Xie Congjiao, et al. Sedimentary facies model for the Lower Cretaceous gravity flow deposits in the southern Sag of the Uliyasitai depression[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 28(4): 28-35.]
- 25 邓毅林, 曹正林, 裴明利, 等. 箕状断陷盆地坡折带与隐蔽油气藏勘探——以二连盆地乌里雅斯太断陷南洼为例[J]. 断块油气田, 2006, 13(2): 1-3. [Deng Yilin, Cao Zhenglin, Pei Mingli, et al. Slope-break zones in half-graben fault basin and exploration of subtle pools: a case study of the southern Sag of Wuliyasitai depression in Erlian Basin[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2006, 13(2): 1-3.]
- 26 王有智, 张卫海. 二连盆地乌里雅斯太凹陷南洼断裂调节构造——坡折带特征及其对储集层分布的控制[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 573-580. [Wang Youzhi, Zhang Weihai. Characteristics of fault accommodation structure-slope break zone and its control on reservoir distribution in southern subsag of Uliyasitai sag, Erlian Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(5): 573-580.]
- 27 Mulder T, Alexander J. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits[J]. Sedimentology, 2001, 48(2): 269-299.
- 28 Shanmugam G. 50 years of the turbidite paradigm (1950s-1990s): deep-water processes and facies models—a critical perspective[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(2): 285-342.
- 29 Fisher R V. Flow transformations in sediment gravity flows[J]. Geology, 1983, 11(5): 273-274.
- 30 Martins-Neto M A, Catuneanu O. Rift basin sequence stratigraphy [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(1): 247-253.
- 31 李林, 曲永强, 孟庆任, 等. 重力流沉积: 理论与野外识别[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 677-688. [Li Lin, Qu Yongqiang, Meng Qingren, et al. Gravity flow sedimentation: theoretical studies and field identification[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(4): 677-688.]
- 32 Gee M J R, Masson D G, Watts A B, et al. The Saharan debris flow: An insight into the mechanics of long runout submarine debris flows [J]. Sedimentology, 1999, 46(2): 317-335.
- 33 Mohrig D, Whipple K X, Hondzo M, et al. Hydroplaning of subaqueous debris flows[J]. Geological Society of America Bulletin, 1998, 110(3): 387-394.
- 34 Middleton G V, Southard J B. Mechanics of Sediment Movement[M]. Rhode Island: Eastern Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1984: 1-401.

Responses of Gravity Flow Deposits to Base-Level Variation in Rift Basin Using a case Study of Lower Teng1 Formation in South Wuliyasitai Sag

CHEN Liang^{1,2} JI HanCheng^{1,2} ZHANG Liang^{1,2} LI Chen^{1,2} SHI Cong³ YU Bin⁴

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China;

2. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Huabei Oilfield Branch Company, China National Petroleum Corp., Renqiu, Hebei 062552, China;

4. Research Institute, CNOOC Beijing 100027, China)

Abstract: In gravity depositional area although the sediment grain-size cycle cannot reflect the base-level changes, the flow condition characteristic and types of gravity flow have an apparent response to the landform. Based on this response, our study discusses how to investigate the base level variation in gravity depositional area. A difference in activity rate of the synsedimentary faults that made slope breaks of Teng 1 Formation, southern Wuliyast sag, is shown within different medium cycles through relative paleogeomorphic restoring and analysis of strata thickness. Because of the difference, the landform of the study area underwent a flat to steep process with the accommodation rate changing from slow to fast. Within the process, the flow condition characteristic and deposition location of gravity flow show a regular changes through core observation and 3-D seismic inversion; turbidity current developed and deposited on the bottom part of slope break, as well as weak cohesive debris, during the activity rate of the synsedimentary faults was fast, which led to a steep landform and high creation rate of accommodation; while in the case of low activity rate resulting in flat landform and low creation rate of accommodation, debris developed and deposited wildly on the flat slope. Consequently, our research suggests that the landform variation can be confirmed by the changes of flow regime and types of gravity deposition, then the scenario of base level variation can be investigated.

Key words: base-level variation; gravity flow deposition; gravity flow transformation; southern Wuliyasitai sag