

断陷盆地缓坡带构造主控型下切谷发育过程 及沉积充填模式:以南堡凹陷古近系为例^{*}

王鹏宇^{1,2} 鲜本忠^{1,2} 田荣恒^{1,2} 赵吉圆^{1,2} 赵琳^{1,2}

1 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

2 油气资源与工程全国重点实验室, 中国石油大学(北京), 北京 102249

摘 要 下切谷作为层序地层学研究的重要单元, 其与湖/海底扇共同构成蕴含丰富油气资源的深水沉积体系。当前, 对基准面响应型下切谷的发育及充填过程研究深入, 但对断层活动直接控制的构造主控型下切谷的发育机制和充填规律研究薄弱。基于渤海湾盆地南堡凹陷缓坡带古近系的三维地震与测井资料, 开展了层序地层划分、断层演化及下切谷形态、规模及其沉积充填规律研究。结果表明: 研究区沙三段一亚段至东二段时期共发育 16 条断控下切谷, 可划分为孤立型(I型)、弱连续型(II型)和连续型(III型)3类, 分别对应断层孤立生长、软连接和硬连接3个阶段。不同类型的下切谷在平面形态、剖面形态、沉降中心配置及充填方式上存在显著差异: 孤立型下切谷规模小、连续性差, 以分散充填为主; 弱连续型下切谷表现为谷体汇聚但沉降中心尚未统一, 发育明显的多期充填与近远端分异; 连续型下切谷贯通性强, 形成较稳定的沉积输运通道, 表现为远端优势沉积或近端集中卸载2类模式。研究认为, 南堡凹陷下切谷并非单纯的基准面变化响应型下切谷, 而是受基准面影响断层差异生长及连接直接控制的构造主控型下切谷。其形成机制可概括为: 基准面下降提供下切条件, 幕式构造活动调节发育强度, 局部断层连接过程主导谷体几何形态、沉降中心配置及充填模式。该研究为断陷湖盆斜坡带下切谷成因分析及有利砂体预测提供了新的思路。

关键词 下切谷 基准面变化 断层活动 断陷盆地 南堡凹陷

第一作者简介 王鹏宇, 男, 1995 年生, 博士研究生, 从事沉积学与储层地质学研究。E-mail: wpycup2021@163.com。

通讯作者简介 鲜本忠, 男, 1973 年生, 博士, 教授、博士生导师, 长期从事沉积学与储层地质学教学与研究工作。E-mail: xianbzh@cup.edu.cn。

中图分类号: P548; P512.2 文献标志码: A

Tectonically controlled incised-valley development and infilling patterns on rift-basin gentle slope: an example from the Paleogene in Nanpu sag

WANG Pengyu^{1,2} XIAN Benzhong^{1,2} TIAN Rongheng^{1,2} ZHAO Jiyuan^{1,2} ZHAO Lin^{1,2}

1 College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

2 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

^{*} 国家自然科学基金项目(编号: 42172109)、国家科技重大专项(编号: 2025ZD1400801)和中国石油大学(北京)科研基金(编号: 2462026XKBH008, 2462025XKBH010)联合资助。[Co-funded by the National Natural Science Foundation of China (No. 42172109), the National Science and Technology Major Project (No. 2025ZD1400801) and the Science Foundation of China University of Petroleum (Beijing) (Nos. 2462026XKBH008, 2462025XKBH010)]

收稿日期: 2026-01-18 改回日期: 2026-04-27

Abstract Incised valleys are key elements in sequence stratigraphic studies. Together with lake-floor or submarine fans, they constitute deep-water depositional systems that commonly host abundant hydrocarbon resources. Currently, the development and filling of base-level-responsive incised valleys are well understood, whereas those of tectonically controlled incised valleys remain poorly studied. Based on 3D seismic and well-log data from the Paleogene strata on the gentle-slope belt of the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, this study investigates sequence stratigraphic framework, fault evolution, and the morphology, scale, and depositional filling patterns of incised valleys. The results show that a total of sixteen fault-controlled incised valleys developed in the study area during the Es_3^1 to Ed_2 intervals. These valleys can be classified into three types—isolated (Type I), weakly connected (Type II), and connected (Type III)—which correspond respectively to three stages of fault evolution: isolated growth, soft linkage, and hard linkage. Significant differences are observed among these valley types in planform geometry, cross-sectional morphology, distribution of subsidence centers, and filling style. Type I valleys are small in scale and poorly continuous, characterized mainly by dispersed infilling. Type II valleys exhibit converging geometries, but their subsidence centers have not yet been unified, resulting in pronounced multiphase filling and clear proximal-distal differentiation. Type III valleys are highly continuous and form relatively stable sediment transport pathways, showing two end-member depositional patterns: distal-dominated deposition and proximal concentrated unloading. The study suggests that the incised valleys in the Nanpu Sag are not simply base-level-responsive valleys, but rather tectonically controlled incised valleys directly governed by differential fault growth and linkage. Their formation mechanism can be summarized as follows: base-level fall provides the conditions for incision, episodic tectonic activity regulates the intensity of valley development, and local fault linkage primarily control valley geometry, subsidence center configuration, and filling patterns. This study provides new insights into the genetic analysis of incised valleys and the prediction of favorable sand bodies in the slope zone of a fault-depressed lacustrine basin.

Key words incised valley, base-level change, fault activity, rift basin, Nanpu sag

About the first author WANG Pengyu, born in 1995, Ph.D. candidate in sedimentology and reservoir geology. E-mail: wpycup2021@163.com.

About the corresponding author XIAN Benzong, born in 1973, Ph. D., professor, doctoral supervisor, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology teaching and research. E-mail: xianbzh@cup.edu.cn.

0 引言

下切谷是指河流在相对海平面或湖平面下降背景下,通过下切侵蚀形成的、由陆向海(或湖)盆延伸的负向地貌单元(van Wagoner *et al.*, 1990)。由于其底界面通常对应重要侵蚀界面或层序界面,下切谷长期以来被视为层序地层划分、古地貌恢复及沉积体系分析的重要标志(张桂甲和李从先, 1995; 李从先和张桂甲, 1996)。同时,作为连接陆源区与盆地沉积区的关键物质搬运通道,下切谷对砂体输送、沉积充填、储集层分布及圈闭配置具有重要控制作用,因此在沉积学研究与

油气勘探中具有重要意义(林春明等, 2022)。前人关于下切谷的研究,主要围绕成因机制、形态特征及内部充填等方面展开。总体而言,现有认识多建立在“基准面变化—沉积响应”框架之上,即相对海/湖平面下降增强河流侵蚀能力并形成谷地,之后随基准面回升发生河流、河口湾或浅湖环境下的阶段性回填(Zaitlin *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 2020)。在此基础上,学者们进一步指出,下切谷充填样式受沉积物供给速率、可容纳空间变化及水动力条件共同控制:当可容纳空间变化量(A)与沉积物供给(S)的比值较低时,多形成富砂、进

积—加积型充填；反之，则易形成富泥、退积或封闭型充填（鲜本忠等，2001；张霞等，2013；罗铃钡等，2017；秦磊等，2021）。此外，下切谷平面与剖面形态也被认为与侵蚀强度沿程衰减密切相关，常表现为由盆缘向盆内逐渐展宽、由 V 型向 U 型甚至复合谷型过渡（曹华等，2013；金杰华等，2022）。

这些研究旨在重点刻画以基准面响应为主导的下切谷侵蚀—充填过程，但对于局部构造对下切谷几何形态、发育位置及演化阶段的约束作用研究不足。尤其在陆相断陷湖盆中，前人虽已认识到构造活动及坡折带发育对层序结构和沉积体系具有重要影响（Liu *et al.*, 2017, 2022；Tian *et al.*, 2025），但相关研究多停留于盆地尺度的构造—沉积响应，对局部尺度断层生长、分段与连接过程如何重塑地貌格局、调整水系路径并控制下切谷发育，讨论仍不充分。近年来研究表明，湖平面频繁波动往往只会引发局部、短时的侵蚀，而持续性、加速性的深切作用通常与构造活动背景密切相关（Wang *et al.*, 2022；Tian *et al.*, 2023；Zhong and Picotti, 2025）。这意味着，在断陷湖盆中，一部分下切谷的形成与演化可能并非主要受沉积供给和基准面波动控制，而是更直接地受局部断层活动，尤其是断层生长与连接所驱动的地貌重组控制。基于上述认识，本研究以南堡凹陷古近系缓坡带为研究对象，旨在揭示缓坡带断层分段、扩展及连接过程对下切谷发育位置、侵蚀强度、展布形态及内部充填差异的控制作用。由此，从“断层连接—地貌重组—侵蚀加剧—谷地充填响应”这一连续动力学过程出发，有助于突破传统以下切谷充填样式为核心的分析范式，建立断陷湖盆下切谷形成机制的新认识。

1 区域地质概况

渤海湾盆地位于中国北部东海岸，面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是一个中生代至新生代发育的湖相裂陷盆地（Allen *et al.*, 1997）。其西、东、北、南分别以太行隆起、辽东隆起、燕山褶皱带和鲁西隆起为界，内部发育北东、北北东、北西 3 组控盆断层，并划分出包括辽河—辽东、渤中、济阳、黄骅、冀中及临清—东濮拗陷在内的 6 个一级构造单元（Dong *et al.*, 2010a）。

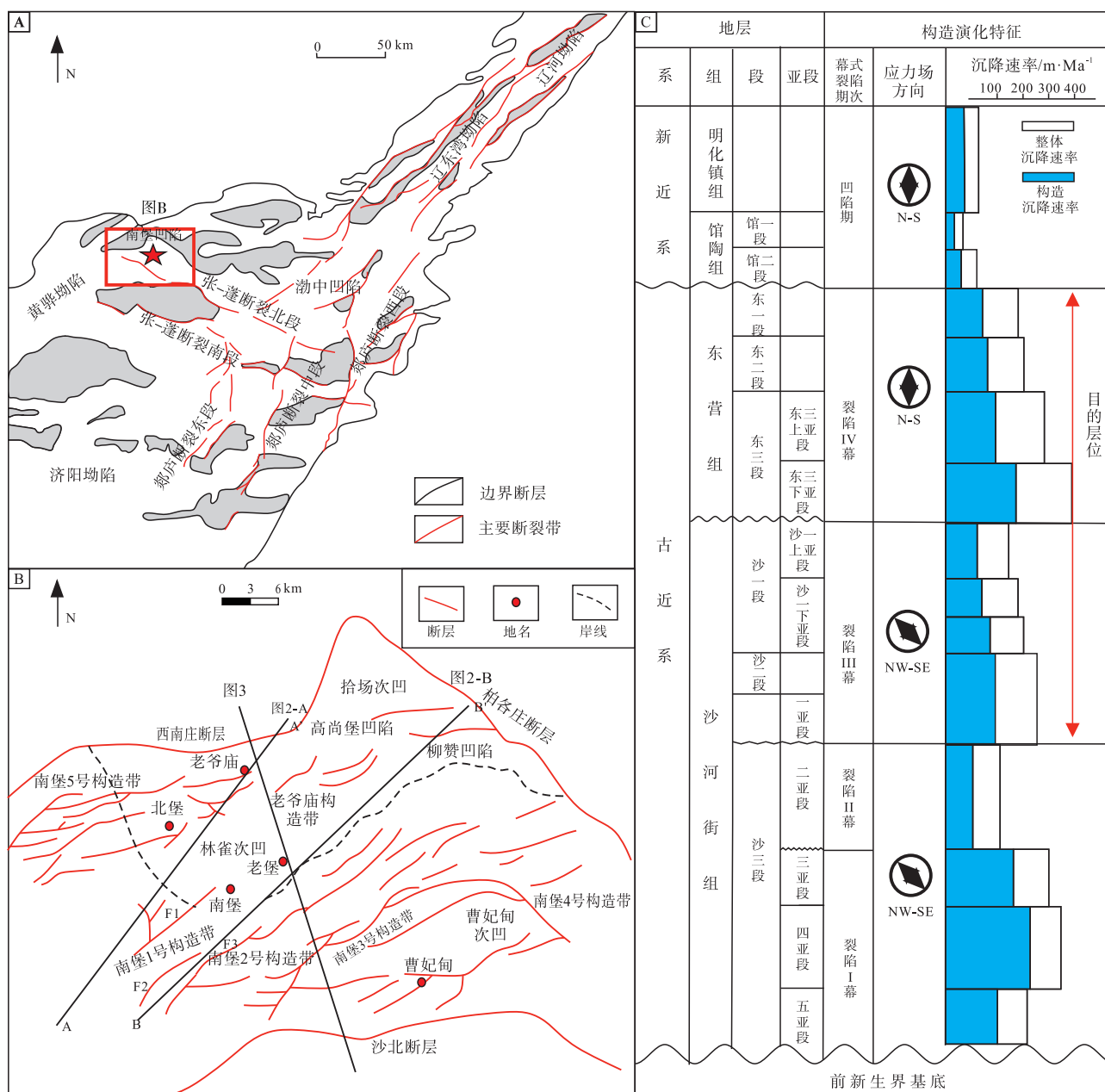
南堡凹陷是渤海湾盆地黄骅拗陷内的次级箕状构造单元，属晚侏罗世—新生代裂陷湖盆，北断南超，主要发育北东东、北西西、近东西向 3 组断层，其中柏各庄、西南庄和高柳断层为主要边界断层（童亨茂等，2013）。该凹陷可进一步划分为 8 个次级正向构造带和 4 个次级盆地（图 1）。其演化经历了同生裂陷期（45.5—23.8 Ma）和后裂陷沉降期（23.8 Ma 至今）。同生裂陷期包含 4 期裂陷幕（早燕山期、晚燕山期、早古近纪和晚古近纪），中生代断层为古近系断裂奠定基础；古近系裂陷表现为 4 幕构造活动，强度呈现“强—弱—强—弱”变化，前人将其归因于地幔隆升动力过程（Dong *et al.*, 2010b）。

新生代地层自下而上为沙河街组（Es）、东营组（Ed）、馆陶组（Ng）和明化镇组（Nm），沙河街组可进一步划分为 3 段：沙三段、沙二段、沙一段。沙三段可进一步划分为 Es_3^{4+5} 、 Es_3^3 、 Es_3^2 、 Es_3^1 4 个亚段，沙一段可以进一步划分为 Es_1^4 、 Es_1^1 2 个亚段。东营组可划分为 3 段： Ed_1 、 Ed_2 、 Ed_3 ，东三段可划分为 Ed_3^4 、 Ed_3^1 2 个亚段。沉积充填以碎屑岩为主，古近系主要为湖相沉积（含河流相、冲积扇），新近系以河流相为主（鲜本忠等，2013）。

2 数据及方法

研究中所用的三维地震数据体和测井数据均来自中国石油冀东油田分公司。其中，三维地震数据体覆盖面积为 300 km^2 ，研究同时包含了 18 口钻井的测井数据。但由于钻井位置受限，下切谷体系内部缺乏相应的钻井资料，测井数据主要用于层序地层划分中的井—震标定。下切谷内的充填特征则主要通过地震反射特征和地震振幅属性进行标定。

本研究通过 Geoscope 和 SMT 地震解释软件进行了断层解释、层序地层解释及下切谷形态刻画与追踪等工作。本次基于不同的地震反射终止特征对研究区的二级、三级层序地层进行了解释追踪，采用 8×8 线/道网格间距（ $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ ）的解释网格对主要的层序地层边界进行综合解释，并结合测井响应特征进行井—震标定，以实现全区层序地层的闭合解释。在此基础上，采用了断距—深度交汇图（T-z 图）、断距走向交汇图（T-x



A—渤海湾盆地构造单元与地理位置图；B—南堡凹陷构造单元划分；C—南堡凹陷地层系统及构造活动特征

图 1 渤海湾盆地南堡凹陷区域地质概况（整体沉降速率及构造沉降速率修改自 Zhao *et al.*, 2019）Fig. 1 Regional geological setting of Nanpu sag, Bohai Bay Basin (The overall subsidence rate and tectonic subsidence rate modified from Zhao *et al.*, 2019)

图)、断层生长指数等指标对断层发育样式、断层活动性以及生长与连接过程进行研究 (Jackson and Rotevatn, 2013; Jackson *et al.*, 2017)。最后, 通过地震反射特征对下切谷进行了识别和追踪, 并通过古地貌恢复的方法对下切谷的平面形态进行了刻画, 以满足下切谷发育规模及其控制因素等相关研究的需求。

3 结果

3.1 多级层序界面识别标志及层序地层格架的建立

层序地层格架以关键成因地层界面 (如层序界面、最大湖泛面等) 为基础, 在年代地层框架内建立等时对比体系, 其内部单元记录了可容纳空

间与沉积物供给之间的动态平衡,是分析沉积体系时空展布与演化的重要依据。基准面旋回可按旋回周期划分为不同级次(Vail, 1987; 郑荣才等, 2001)。本次研究综合地震反射终止特征(削截、顶超、上超、下超)、岩性组合突变及测井曲线(GR、SP、RLLD)形态特征,系统识别了南堡凹陷古近系的二级和三级层序界面及最大湖泛面(图2)。

基于上述界面,建立了南堡凹陷目的层的层序地层格架,共划分出3个二级层序(SSQ1对应沙三段二亚段、SSQ2对应沙三段一亚段至沙一段、SSQ3对应东营组)及9个三级层序(SQ1-SQ9)(图3)。该区地层整体呈南薄北厚的箕状断陷结构:下部三级层序(SQ1-SQ4)具有明显南薄北厚特征,构造高部位遭受剥蚀;上部三级层序(SQ5-SQ9)地层发育完整、厚度相对均一。这种厚度分布格局反映了幕式构造活动与沉降中心迁移的耦合关系。三级层序内部基准面旋回结构可分为对称型与非对称型2类。本研究以此等时地层格架为基础,后续将开展下切谷充填体系的几何形态与规模分析。

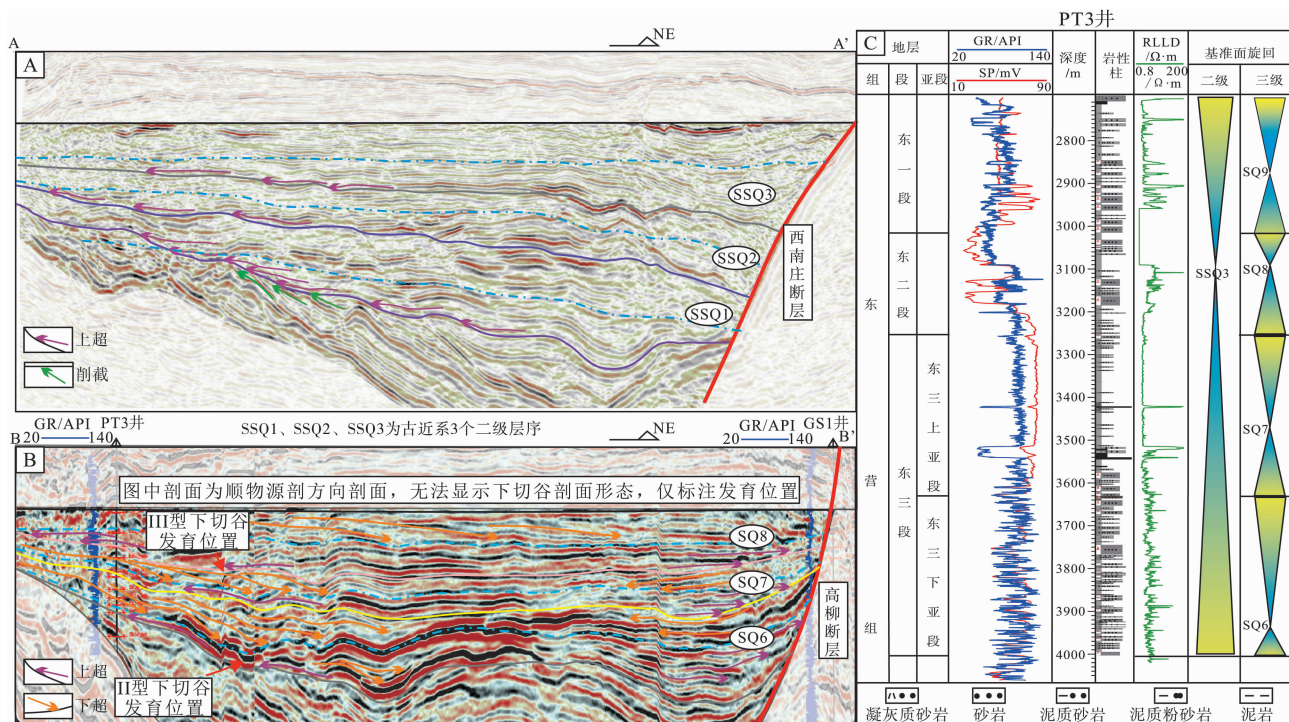
3.2 断层发育及活动性特征

3.2.1 断层形态特征及演化过程

研究区下切谷体系主要受南侧发育的断层F1、F2及F3控制。基于走向—断距图解,系统刻画了上述断层的形态特征与生长演化过程(图4)。本次研究主要针对控制下切谷体系的主干断裂活动,未涉及伴生次级断层。3条主干断层均呈北东向延伸,其中F1和F3长度约为16 km, F2较短,约10 km(图4-A, 4-C, 4-E)。自 Es_3^1 沉积期形成以来,断层整体走向基本保持稳定。

3.2.2 断层活动性特征

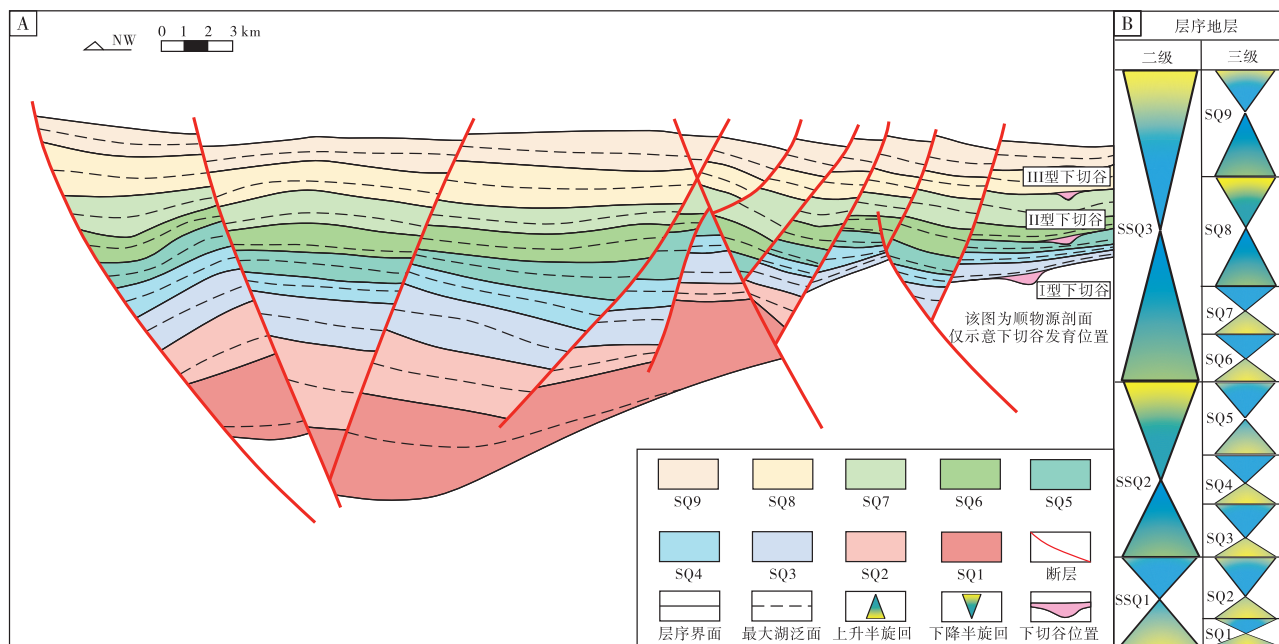
根据生长指数与走向—断距特征,分析了3条主干断层在东三段至东二段沉积期的活动性(图4)。结果表明:(1) F1与F3具有分段生长特征,而F2为单一连续段;F1与F3在 Ed_2 沉积期贯通。断层垂直断距自浅部向深部逐渐增大(图4-B至4-D)。(2) 该时期断层生长指数均大于1,表明古近纪断层持续活跃。其中, Es_3^1 和 Ed_3^1 沉积期活动较强, Ed_2 沉积期活动较弱,这与南堡凹陷的幕式构造活动特征一致(Dong *et al.*, 2010a, 2010b; 童亨茂等, 2013)。同时,新生代南堡凹



A—二级层序界面地震反射特征; B—三级层序界面地震反射特征; C—不同级次层序界面测井响应特征。SQ6、SQ7、SQ8 为东营组 3 个二级层序

图 2 南堡凹陷层序地层格架和层序界面特征

Fig. 2 Characteristics of sequence boundaries within sequence stratigraphic framework of Nanpu sag



A—南堡凹陷北西—南东向层序地层格架；B—二级、三级层序地层划分方案。地层代号含义见“区域地质概况”1节

图 3 南堡凹陷层序地层格架及划分方案

Fig. 3 Sequence stratigraphic framework and division scheme of Nanpu sag

陷先后经历始新世 NW-SE 向伸展与渐新世近 N-S 向伸展 2 期应力场叠加作用 (Qi and Yang, 2010; 童亨茂等, 2018), 使得断层走向由优势活动方向逐渐转变为非优势方向, 亦是其活动性持续减弱的重要原因。

3.3 南堡凹陷下切谷特征

3.3.1 下切谷空间分布特征

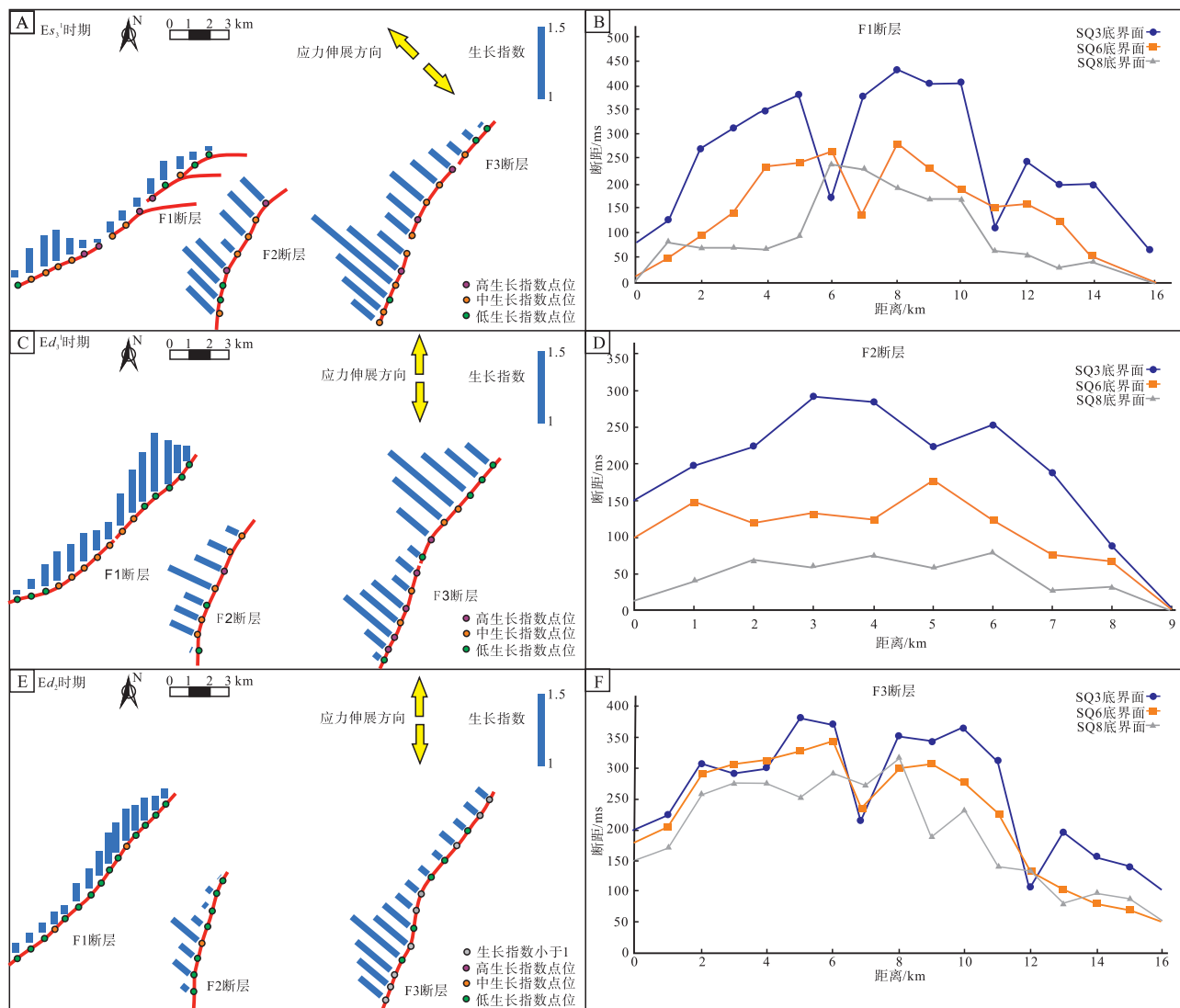
基于层序地层结构与各层系地层厚度特征, 在东三段至东二段沉积期共识别出 16 条位于断层上盘的下切谷。依据其规模与形态, 这些下切谷可分为 3 类: (1) 类型 I: 孤立型下切谷; (2) 类型 II: 弱连续型下切谷; (3) 类型 III: 连续型下切谷。各类下切谷特征差异明显: 孤立型下切谷多呈圆形、椭圆形或纺锤形, 具单一沉降中心, 轴向长度一般小于 5 km (图 5-B), 主要发育于 Es_3^1 时期; 弱连续型下切谷常呈哑铃状或串珠状, 具多个沉降中心, 局部头尾相连, 轴向长度 10 ~ 15 km (图 5-D), 主要发育于 Ed_3^1 时期; 连续型下切谷发育于 Ed_2 时期, 形态上多呈非对称柳叶状, 沉降中心呈条带状, 可具单个或多个沉降中心, 轴向长度大于 10 km (图 5-F), 其连接性更好, 沉降中心数量更少。

3.3.2 不同类型下切谷体系内形态及沉积特征

1) I 型下切谷——孤立下切谷

结合层间切片 RMS 振幅属性与地震剖面解释, 进一步明确了下切谷的形态和沉积特征。I 型下切谷在剖面上多呈 V 型或 U 型, 宽深比较小, 向两端逐渐抬升变浅 (图 5-B; 图 6)。其侧缘或中部常表现为高 RMS 振幅特征 (图 6-A)。

受钻井资料所限, 本研究主要依据地震属性识别下切谷内沉积特征。不同下切谷的 RMS 振幅属性高低各异, 指示了物源供给条件的差异 (图 6-A)。根据与物源距离的远近将 I 型下切谷划分为 I-1 型下切谷和 I-2 型下切谷。I-1 型下切谷底部地震反射呈中-低连续性、低频、高振幅, 指示砂岩含量较高; 顶部则为中-高连续性、低振幅, 反映泥岩含量增加, 整体表现为一期或多期向上变细的沉积旋回。底部见侵蚀界面, 代表一次或多次顺物源方向的输送事件 (图 6-D)。部分剖面可见侧向加积的高振幅或杂乱反射, 底界面亦具侵蚀特征, 指示垂向物源输入 (图 6-B, 6-C)。I-1 型下切谷内具有物源供给, 所以侵蚀能力较强。I-2 型下切谷内部整体表现为低振幅、高连续性反射, 反映物源供给贫乏、泥质含量高的沉积环境, 底部无侵蚀界面 (图 6-E, 6-F)。



A—Es₃¹ 时期断层平面形态及活动性特征；B—F1 断层走向—位移特征；C—Ed₃¹ 时期断层平面形态及活动性特征；

D—F2 断层走向—位移特征；E—Ed₂¹ 时期断层平面形态及活动性特征；F—F3 断层走向—位移特征

图 4 南堡凹陷控制下切谷主干断层分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of master faults controlling incised valleys in Nanpu sag

综上，近源 I 型下切谷侵蚀能力强，宽深比低，砂泥比值高；远源 I 型下切谷侵蚀能力弱，宽深比高，砂泥比值低。

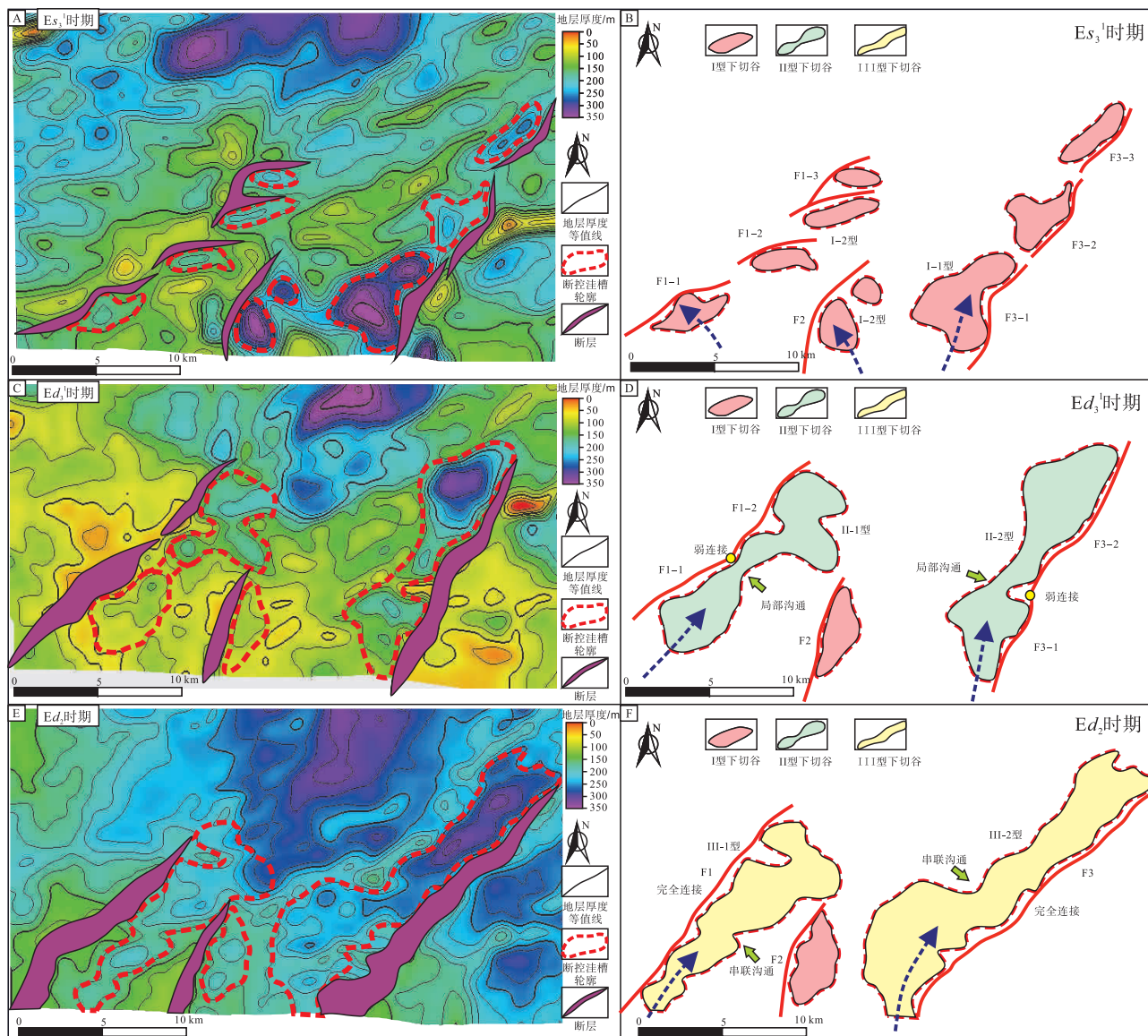
2) II 型下切谷——弱连续型下切谷

II 型下切谷发育于 Ed₃¹ 沉积期，主要呈柳叶状和串珠状 2 种形态。RMS 振幅属性显示其振幅分布不均，整体表现为两端高、中部低的特征（图 7-A）。剖面上两端宽深比较小，中部宽而浅，形态以 U 型为主，少见 V 型（图 5-D；图 7）。2 类下切谷的沉积特征差异明显。

II-1 型：近物源端底部表现为低连续性、中-

高振幅反射，侵蚀界面清晰，指示砂岩含量较高（图 7-B）。远端反射特征类似，但侧向反射呈杂乱反射，可能为沉积物在重力作用下发生侧向滑塌所致（图 7-C）。

II-2 型：近端可见多期侵蚀界面，界面之上为低连续性、高振幅反射，顶部转为中-高连续性、低振幅反射，反映多期向上变细的沉积旋回（图 7-D）；中部仅见单一侵蚀界面，底部砂岩含量较高（图 7-E）；远端底部呈中-高连续性、低振幅特征，顶部呈中-低连续性、高振幅反射，其间发育侵蚀界面，表现为底泥顶砂的沉积结构



A—Es₃¹ 时期地层厚度图及下切谷范围; B—I 型下切谷平面特征; C—Ed₃¹ 时期地层厚度图及下切谷范围; D—II 型下切谷平面特征;
E—Ed₂¹ 时期地层厚度图及下切谷范围; F—III 型下切谷平面特征

图 5 南堡凹陷古近系各时期地貌特征及下切谷平面特征

Fig. 5 Palaeogeomorphic characteristics and planform features of incised valleys in the Paleogene of Nanpu sag

(图 7-F)。

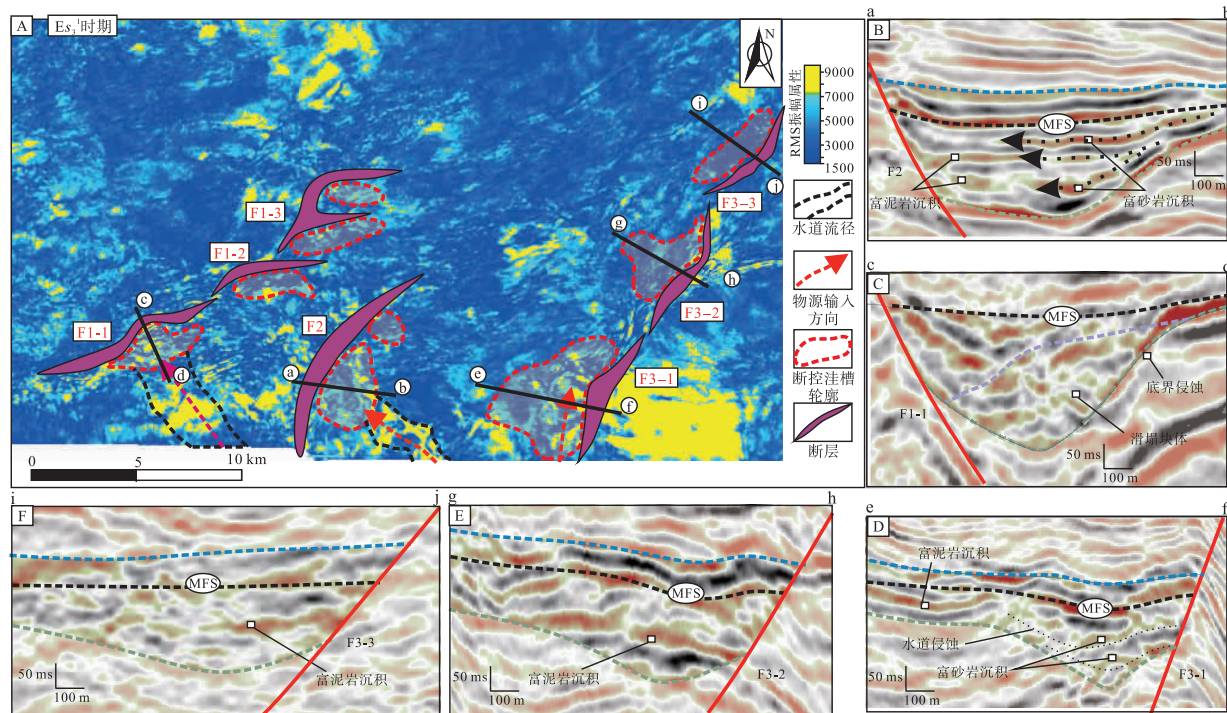
综上, II 型下切谷具有中等侵蚀强度、低宽深比及砂-泥空间分异的特点。其中柳叶状下切谷为单期充填, 而串珠状下切谷经历多期充填, 且远端缺失第 1 期物源输入。

3) III 型下切谷——连续型下切谷

III 型下切谷形成于 Ed₂ 沉积期, 相较于 II 型宽深比较大, 形态上呈柳叶状, 其高振幅区分布范围与延伸长度均大于其他类型下切谷 (图 5-F; 图 8)。依据平面形态差异, 可进一步划分为近端

窄远端宽型 (III-1 型) 与近端宽远端窄型 (III-2 型) 2 类, 二者振幅属性空间分布迥异: 前者远端发育大规模高振幅区, 后者高振幅区则主要集中于近端 (图 8)。根据形态差异, 对 2 类 III 型下切谷的沉积特征分述如下。

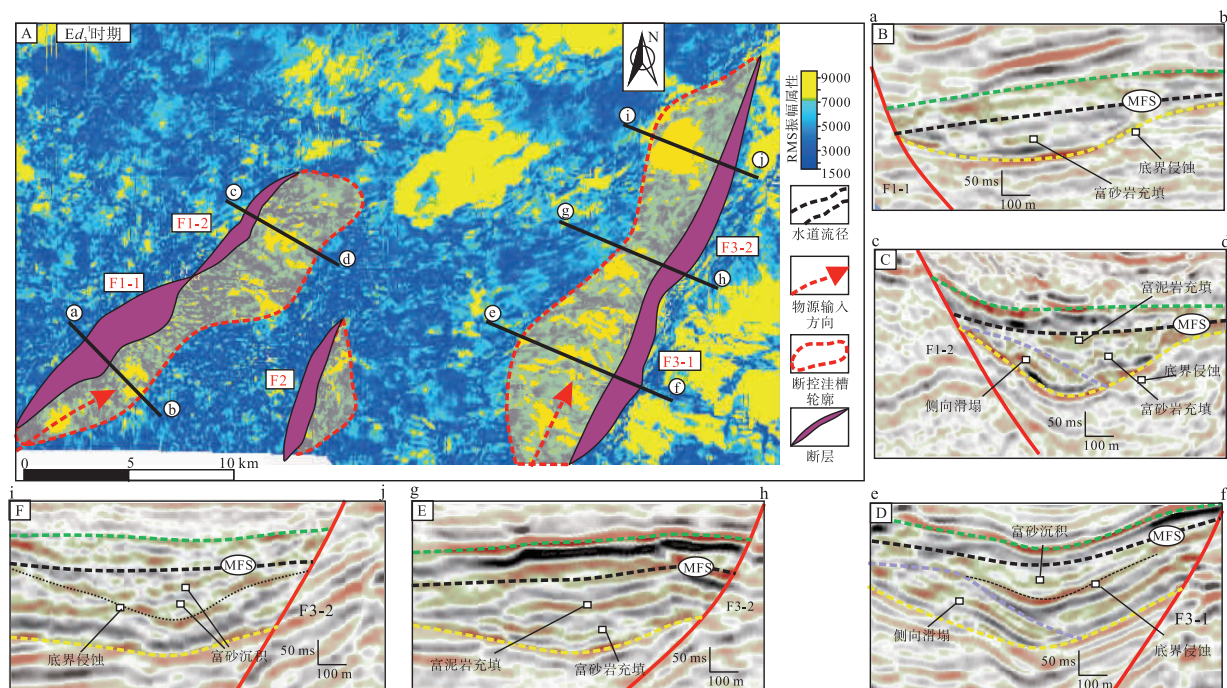
III-1 型: 近端剖面呈 V 型, 底部具侵蚀界面, 表现为中-低连续性、高振幅反射, 指示砂岩含量较高; 顶部发育多期中-高连续性、低振幅反射, 反映泥岩占比增大 (图 8-B)。远端剖面呈 U 型, 整体以中-低连续性、高振幅反射为主, 表明砂岩



A— Es_3^1 时期 RMS 振幅属性平面分布图（红色虚线圈定了下切谷范围）；B、C、D、E、F—为下切谷剖面特征（剖面位置见图 6-A）

图 6 南堡凹陷缓坡带 Es_3^1 时期 RMS 振幅属性平面分布特征及下切谷剖面特征

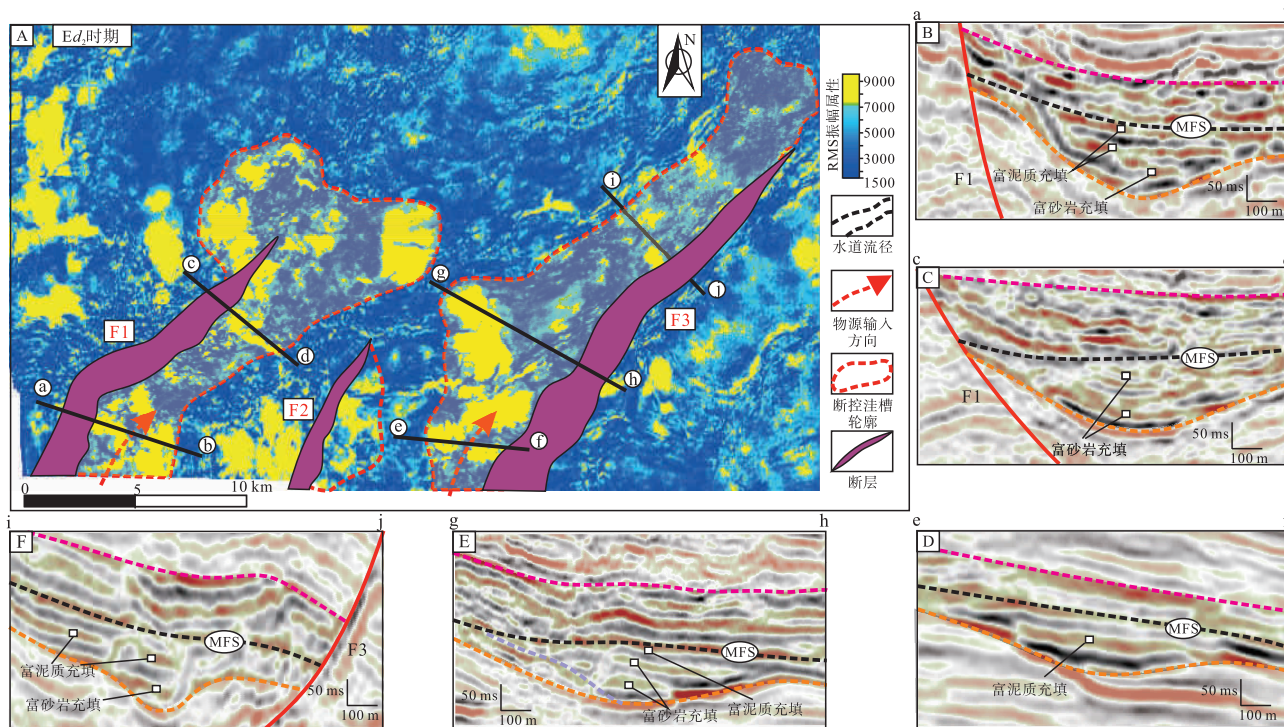
Fig. 6 Planar distribution characteristics of RMS amplitude attributes and cross-sectional characteristics of incised valleys during the Es_3^1 period in gentle slope belt, Nanpu sag



A— Ed_3^1 时期 RMS 振幅属性平面分布图（红色虚线圈定了下切谷范围）；B、C、D、E、F—为下切谷剖面特征（剖面位置见图 7-A）

图 7 南堡凹陷缓坡带 Ed_3^1 时期 RMS 振幅属性平面分布特征及下切谷剖面特征

Fig. 7 Planar distribution characteristics of RMS amplitude attributes and cross-sectional characteristics of incised valleys during the Ed_3^1 period in the gentle slope belt, Nanpu sag



A— Ed_2 时期 RMS 振幅属性平面分布 (红色虚线圈定了下切谷范围); B、C、D、E、F—下切谷剖面特征 (剖面位置见图 8-A)

图 8 南堡凹陷缓坡带 Ed_2 时期 RMS 振幅属性平面分布特征及下切谷剖面特征

Fig. 8 Planar distribution characteristics of RMS amplitude attributes and cross-sectional characteristics of incised valleys during the Ed_2 period in gentle slope belt, Nanpu sag

含量较高(图 8-C)。上述砂-泥分异特征显示,近端以侵蚀-过路作用为主,远端则为优势沉积区。

Ⅲ-2 型:近端呈 V 型,底部侵蚀界面清晰,内部为高连续性、低振幅反射,以泥岩沉积为主(图 8-D)。中段呈 U 型,规模较大,反射特征为中-低连续性、高振幅,边缘见楔形反射结构,指示沉积期存在侧向滑塌(图 8-E)。远端为 V 型,底部砂岩含量较高,顶部泥岩发育(图 8-F)。该类型整体表现为近端侵蚀-过路、中段主体沉积、远端可能为沉积物二次搬运,侵蚀能力较强。

4 讨论

4.1 构造主控型下切谷演化过程

下切谷通常形成于基准面下降阶段,并在后续基准面回升过程中接受充填,但在断陷湖盆中,其几何形态与空间组合并不完全由基准面变化决定(Zhong and Picotti, 2025)。尤其在断层密集发育的斜坡带,断层的传播、生长与连接不仅控制局部坡折位置和地貌起伏,而且直接影响侵蚀水流的汇

聚路径、谷体贯通方式以及沉降中心的时空配置(Went, 2020; Liu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2022; Tian *et al.*, 2023)。因此,本研究识别出的 3 类不同时期下切谷,本质上反映的是局部断层系统由孤立分段向软连接、再向硬连接演化过程中,对侵蚀地貌的逐级改造(图 5)。这种受断层活动及连接过程直接控制的下切谷,可定义为构造主控型下切谷。

4.1.1 阶段 I: 孤立下切谷阶段

Es_3^1 时期,区域构造活动整体较弱,断层处于孤立生长阶段,断层活动具有分散性且累积位移有限,仅在断层上盘或断层控制带内形成相对封闭的小型负地形。受此控制,下切谷多表现为沿断层走向展布的椭圆形或纺锤形孤立谷体(类型 I)。该类谷体延伸距离短、空间连续性差、宽深比较小,通常仅发育单一沉降中心(表 1; 图 9)。若个别谷体恰与近源物源系统连通,则在持续物源供给与侵蚀性水流叠加作用下,谷底侵蚀能力增强,可演化为初始下切谷,并表现出较低的宽深比(表 1)。综上,阶段 I 的成因本质可概括为“断层孤立活动控

表 1 南堡凹陷南部缓坡带构造主控型下切谷类型及发育特征

Table 1 Types and developmental characteristics of tectonically controlled incised valleys in southern slope belt of Nanpu sag

类型	小类	平面形态	规模	地貌特征	连接性	侵蚀能力	成因	剖面形态	发育时期	例子
I 型	I-1 型	椭圆形、纺锤状	长度小于 5 km, 宽度 1 ~ 2 km, 深度 100 ~ 150 ms	厚度自中心向两端逐渐减薄, 单一沉降中心	无连接	强	形成于孤立断层生长阶段	V 型为主	Es ₃ ¹	图 6-B、6-C、6-D
	I-2 型	椭圆形、纺锤状	长度小于 5 km, 宽度 1 ~ 2 km, 深度 100 ~ 150 ms	厚度自中心向两端逐渐减薄, 单一沉降中心	无连接	弱	形成于孤立断层生长阶段	U 形为主	Es ₃ ¹	图 6-E、6-F
II 型	II-1 型	柳叶状	长度 10 ~ 15 km, 宽度 1 ~ 5 km, 深度 150 ~ 200 ms	近端厚度较薄, 远端厚度较厚, 多个沉降中心	弱连接	近端较强, 远端弱	形成于断层初始连接阶段	V 型、U 型	Ed ₃ ¹	图 7-B、7-C
	II-2 型	串珠状	长度 10 ~ 15 km, 宽度 1 ~ 5 km, 深度 150 ~ 200 ms	厚度先增厚后减薄, 多个沉降中心	弱连接	具有强—弱—强—弱的变化特征	形成于断层初始连接阶段	V 型、U 型	Ed ₃ ¹	图 7-D、7-E、7-F
III 型	III-1 型	柳叶状, 近端窄, 远端宽	长度大于 10 km, 宽度 1 ~ 5 km, 深度小于 100 ms	地层近端薄, 远端厚, 单个沉降中心	完全连接	近端强, 远端弱	形成于断层完全连接阶段	V 型、U 型	Ed ₂	图 8-B、8-C
	III-2 型	柳叶状, 近端宽, 远端窄	长度大于 10 km, 宽度 1 ~ 5 km, 深度小于 100 ms	地层近端厚, 远端薄, 单个沉降中心或多个沉降中心	完全连接	具有强—弱—强—弱变化	形成于断层完全连接阶段	V 型、U 型	Ed ₂	图 8-D、8-E、8-F

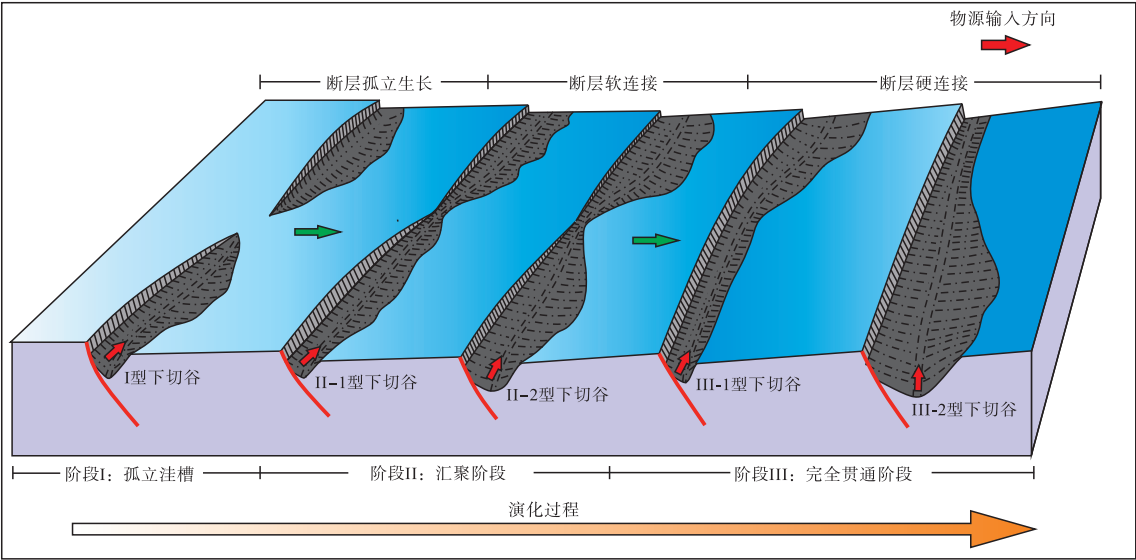


图 9 缓坡带构造主控型下切谷演化模式

Fig. 9 Evolution model of tectonically controlled incised valleys in gentle slope belt

制下的局部侵蚀萌生阶段”，谷体规模与形态首先受控于单条断层的活动强度，而非区域性的统一侵蚀底面。其中，近源型下切谷显示出更强的侵蚀特

征，可能与该时期基准面下降幅度较大及持续的侵蚀性水流条件有关（张霞等，2013；罗铃钞等，2017；Wang *et al.*, 2022）。

4.1.2 阶段Ⅱ：下切谷汇聚阶段

进入阶段Ⅱ后，构造活动的增强促进了局部断层面位移增大和侧向扩展，相邻孤立断层之间开始发生应力与位移传递，局部断层进入软连接状态。相应地，原先彼此分隔的下切谷开始沿连接带汇聚，并在持续侵蚀作用下形成更长尺度的复合型谷体（图 9）。然而，由于该阶段断层尚未形成完全统一的位移传递体系，连接两侧断层活动性仍存在明显差异，因此谷体虽然开始贯通，但沉降中心并未完全合并，表现为多沉降中心共存的特征（图 5；图 9）。基于连接带两端断层活动性的差异，阶段Ⅱ形成的汇聚型下切谷可进一步划分为Ⅱ-1 型与Ⅱ-2 型：前者形成于强—弱活动断层之间，整体表现为近端宽深比较大、远端逐渐减小（表 1）；后者形成于强—强活动断层之间，两端切割较强、中部相对变宽，显示出更明显的双端控制特征（表 1；图 9）。换言之，阶段Ⅱ的关键不在于“谷体是否延长”，而在于断层软连接导致谷体开始由“单断层控制”向“断层组合控制”转变。

4.1.3 阶段Ⅲ：下切谷贯通阶段

阶段Ⅲ为断层硬连接阶段。此时原先分段活动的断层通过连接带实现统一传递，谷体也由汇聚进一步发展为完全贯通（图 9）。随着断层系统成熟度提高，谷体连续性显著增强，Ⅱ-2 型所反映的中段不稳定汇聚格局趋于消失，而Ⅱ-1 型中部宽深比减小，局部强活动部位的谷宽和谷深进一步增大。该阶段形成的Ⅲ-1 型与Ⅲ-2 型下切谷，本质上反映的是硬连接后断层沿走向差异活动仍然存在：前者表现为近端较窄、远端增宽，后者则相反。值得注意的是，尽管断层硬连接通常促使局部沉降中心合并，但在断控下切谷内部仍可保留多个沉降中心，说明谷内侵蚀和沉积并非简单受构造几何单一控制，还与沿程水动力差异及坡折带诱发的局部侵蚀增强有关（Andresen *et al.*, 2008; Kilhams *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2022）。总体而言，构造主控型下切谷的形成演化并不是单纯的谷体扩大过程，而是局部断层由孤立、软连接到硬连接过程中，侵蚀地貌逐步组织化和系统化的结果（Wang *et al.*, 2022; Tian *et al.*, 2023）。

4.2 构造主控型下切谷沉积充填过程

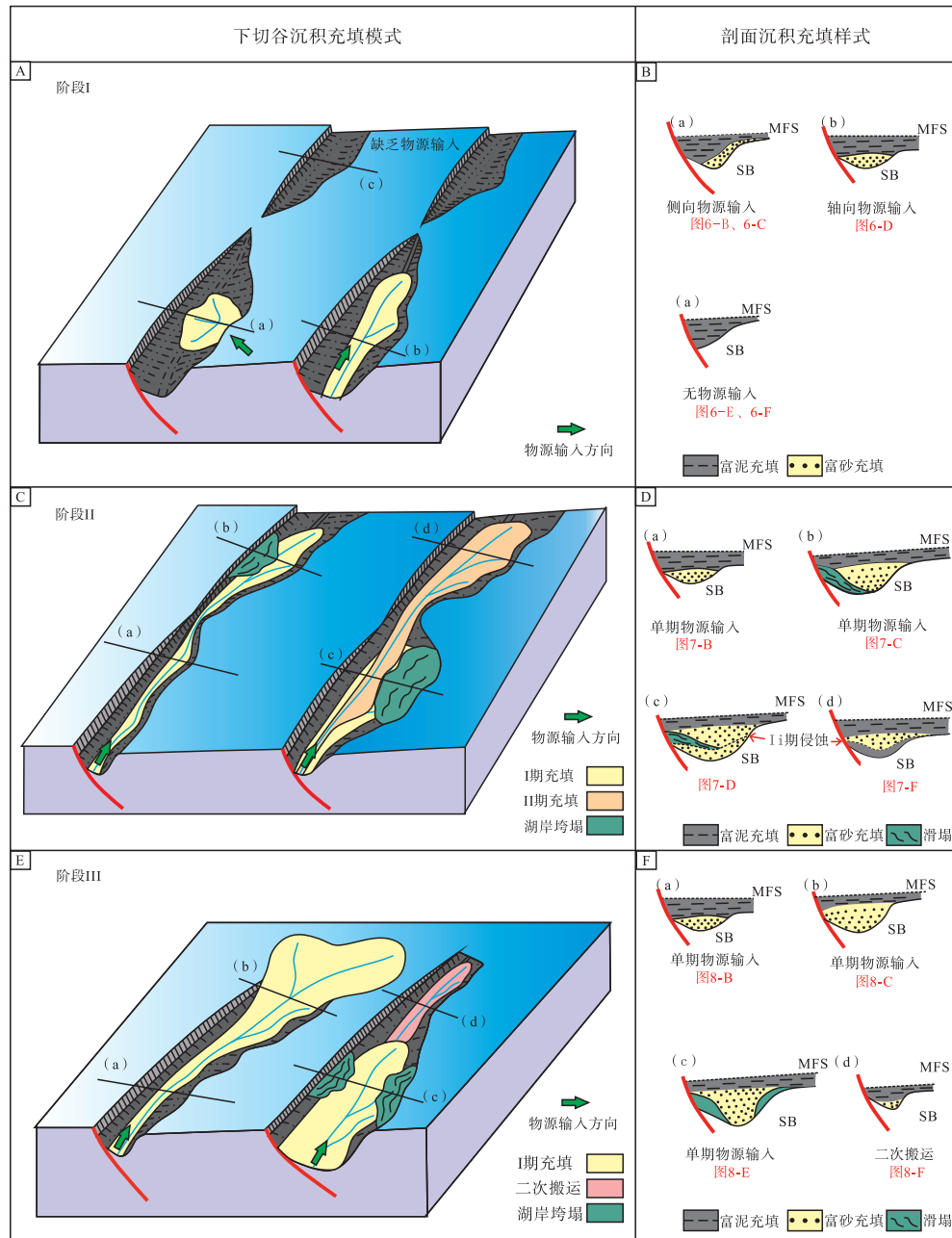
与传统基准面变化响应型下切谷主要强调基准

面回升速率控制谷内回填（罗铃钊等，2017; Wang *et al.*, 2020）不同，断陷湖盆中的构造主控型下切谷，其充填过程同时受到局部地貌重塑、可容纳空间分配及沉积输运通道演变的影响。换言之，基准面变化决定了“何时发生切割和回填”，而断层连接演化则更直接地决定了“沉积物向哪里输运、在哪里卸载以及形成何种垂向充填序列”（Tian *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2025）。因此，谷内沉积充填并非独立于构造演化之外，而是构造主控型下切谷形成过程的连续响应（图 6 至图 10）。

阶段Ⅰ对应断层孤立生长背景下的早期充填。由于各谷体相互分隔、沉降中心独立，沉积充填表现出明显的“分散化”特征。与物源连通的谷体可接收陆源粗碎屑输入，并形成受输入方向控制的富砂沉积：侧向供源时，砂体主要沿谷侧堆积并表现为侧向加积；轴向供源时，则更易形成沿谷轴输送的水道—湖底扇体系（Wang *et al.*, 2022; Tian *et al.*, 2023）。受限于此时断层活动整体较弱、谷体规模较小，富砂沉积一般集中于谷底，向上逐渐过渡为富泥充填。相比之下，远端无物源直接补给的孤立谷体则以富泥质充填为主，显示出明显的低能、局限性环境特征。

阶段Ⅱ随断层软连接而进入汇聚充填阶段。此时谷体开始沿连接带连通，但由于连接体系尚未成熟，不同部位的可容纳空间和坡度条件存在显著差异，因此Ⅱ-1 型与Ⅱ-2 型下切谷表现出 2 种不同的充填路径。Ⅱ-1 型谷体在平面上近端狭窄、可容纳空间小，以侵蚀过路及小规模水道充填为主；远端宽阔、可容纳空间大，集中卸载形成水道—扇体复合沉积。同时，在强断层活动部位可能出现沉积物的滑塌（图 10-C）。Ⅱ-2 型谷体则受两侧强活动断层的影响，在近远两端均可形成大量可容纳空间。在充填阶段，早期沉积物优先在近端卸载并充填；随着近端逐步被充填，后期沉积物才越过汇聚部位向远端迁移，从而形成 2 期叠置式充填（图 10-C）。其近端剖面常表现为多期富砂叠置及侵蚀界面发育，而远端剖面则呈现由底部富泥、中部突变为富砂、再向上过渡为富泥的组合（图 10-D）。由此可见，阶段Ⅱ的充填差异，实质上反映的是软连接背景下沿谷的可容纳空间分配不均和输送路径重组的结果。

阶段Ⅲ对应断层硬连接后的贯通输运阶段。



A—阶段 I 构造主控型下切谷内沉积充填特征；B—阶段 I 关键剖面沉积充填样式；C—阶段 II 构造主控型下切谷内沉积充填特征；

D—阶段 II 关键剖面沉积充填样式；E—阶段 III 构造主控型下切谷内沉积充填特征；F—阶段 III 关键剖面沉积充填样式

图 10 缓坡带构造主控型下切谷内湖底扇发育模式

Fig. 10 Tectonically controlled incised-valley sublacustrine fan development model in gentle slope belt

随着谷体沿走向实现连续贯通，沉积物得以在更长距离内定向输运，充填体系由早期分散卸载逐渐转变为“近端水道—远端扇体”或“近端集中卸载—远端细粒再搬运”的 2 类模式。Ⅲ-1 型谷体因远端持续展宽，可形成典型的水道—湖底扇沉积体系，沉积物可越过断层末端并在远端形成较大规模扇体 (Liu *et al.*, 2025; Tian *et al.*, 2026)。近端和

远端剖面均表现为下部富砂、上部富泥的序列，但远端富砂充填规模明显更大 (图 10-E, 10-F)。Ⅲ-2 型谷体则由于近端较宽、远端受限，沉积物主要在近端集中卸载，并伴随局部滑塌；远端则以二次搬运形成的深水水道和低密度浊流沉积为主 (Liu *et al.*, 2025)。整体表现为底部小规模富砂、顶部厚层富泥 (图 10-E, 10-F)。与阶段 I、II

相比，阶段Ⅲ最突出的变化在于：谷体贯通使沉积输运体系更具连续性，但沿程地貌差异仍可造成显著的近端—远端分异。

4.3 构造主控型下切谷规模与演化过程的控制因素

传统下切谷研究多强调基准面下降幅度对谷体切割深度和发育规模的控制作用（Yingling and Heller, 1992；Allen and Posamentier, 1993），但在断陷湖盆中，仅以基准面变化解释谷体形态和充填分异是不充分的。本研究对 Es_3^1 、 Ed_3 和 Ed_2 等 3 个时期下切谷长度、宽度和深度等参数的统计结果表明，不同期次谷体规模的变化并不与单一基准面下降幅度呈简单对应关系，而是受区域构造活动强度、局部断层活动性及断层连接成熟度的共同影响（图 11）。因此，构造主控型下切谷的控制机制更适宜概括为“背景约束—阶段调节—局部主控”的三级关系。

首先，基准面下降是构造主控型下切谷形成的

必要前提（Wang *et al.*, 2020；林春明等，2022）。它为侵蚀切割提供了区域性时间窗口以及短暂、局部的下切脉冲，并形成了几何形态相对均匀的下切谷（Zhong and Picotti, 2025）。但仅凭基准面下降无法充分解释谷体为何沿特定断层带展布、为何出现不同的汇聚与贯通模式，也不能解释同一时期不同谷体之间长度、宽深比和沉降中心数目的显著差异。换言之，基准面下降主要控制“是否发生下切”以及总体侵蚀势能的强弱，而不是决定谷体几何分异的直接因素。

其次，幕式构造活动控制了不同期次下切谷发育的阶段性强弱。区域构造活动增强时，断层活动加剧、断距增长加快、坡折带梯度增加，从而使基准面下降所诱发的侵蚀更容易被局部地貌放大；反之，在构造活动较弱时期，即便存在基准面下降，下切谷的切割能力和保存规模也可能受到限制。因此，幕式构造活动并不直接决定某一类谷体的形态，而是通过调节断层活动强度和可容纳空间增长速率，控制下切谷在不同时期的发育强度和响应

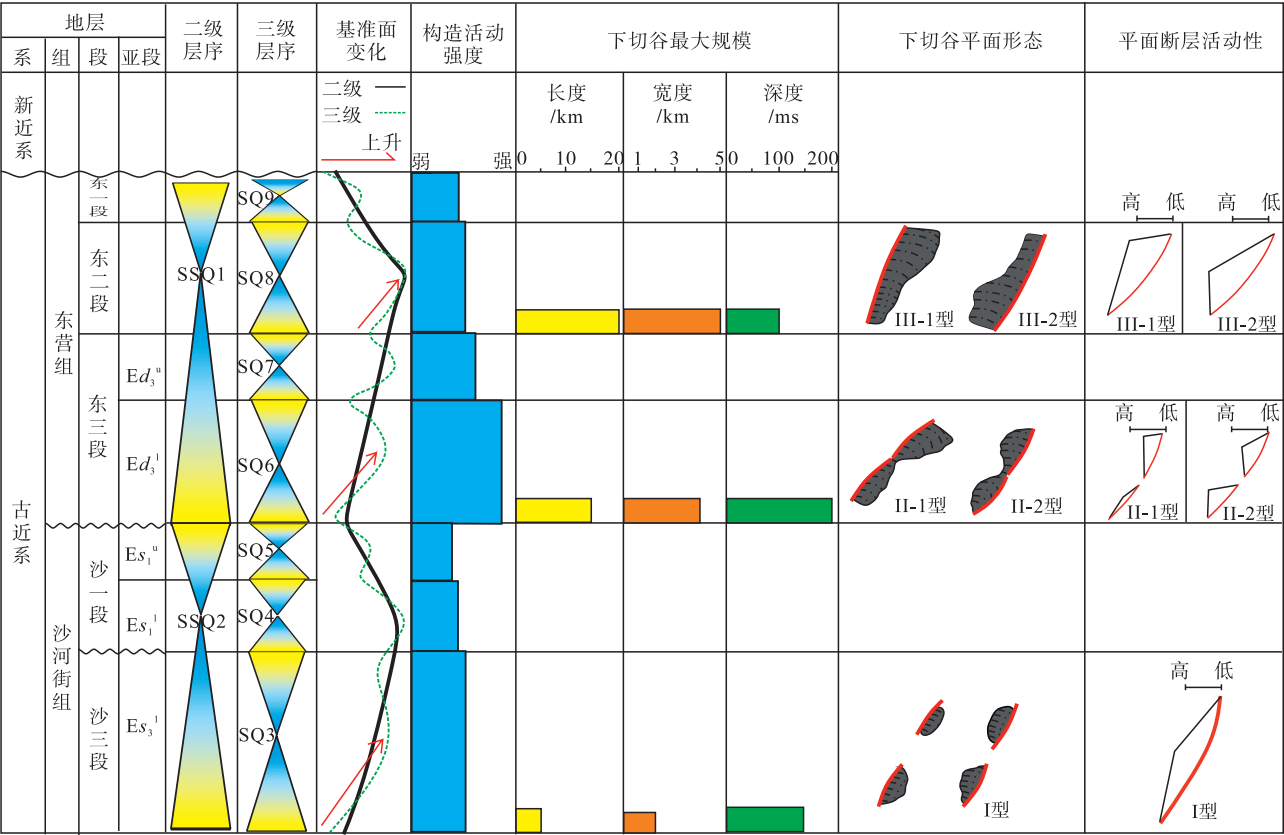


图 11 南堡凹陷缓坡带各时期基准面变化、构造活动及下切谷发育特征
Fig. 11 Characteristics of base-level changes, tectonic activity, and incised valley development across different periods in gentle slope of Nanpu sag

幅度。

真正决定构造主控型下切谷几何形态、演化阶段及沉积充填分异的,仍然是局部断层差异生长及连接。统计结果显示,下切谷深度主要受构造活动强度与基准面下降幅度共同控制,反映的是谷体对基底的侵蚀能力;而长度和宽度则更多受局部断层活动性及断层系统连接成熟度控制。具体而言:构造活动越强、基准面下降幅度越大,谷体切割越深;断层系统成熟度越高,谷体越容易沿走向延伸并由孤立转为贯通;局部断层活动越强烈,其对应部位往往也是谷体最宽、沉降中心最发育的区域。由此可见,构造主控型下切谷的侵蚀能力受区域背景因素约束,而其平面形态、汇聚—贯通方式及充填样式,则主要受局部断层连接过程直接控制。

综上,本研究认为构造主控型下切谷的形成与演化可概括为:基准面下降提供下切窗口,幕式构造活动调节发育节律,而局部断层的传播、差异活动及连接演化决定谷体几何形态、沉积中心配置和充填模式。其中,前两者属于区域背景条件,后者则是下切谷类型转换及沉积响应差异的直接主控因素。这一认识既解释了不同期次下切谷之间的规模差异,也说明在断陷湖盆中,仅采用传统基准面响应型下切谷模型难以完整揭示其形成机制和充填规律。

5 结论

1) 渤海湾盆地南堡凹陷南部缓坡带在 E_{s3}^1 、 Ed_3 和 Ed_2 时期共发育 16 条下切谷,依据平面形态、延伸规模和沉积中心配置,可划分为孤立型(I-1型、I-2型)、弱连续型(II-1、II-2型)和连续型(III-1、III-2型)3类,反映出明显的断控差异特征。

2) 3类下切谷分别对应断层孤立生长、软连接和硬连接3个演化阶段,其演化过程表现为由局部孤立侵蚀向谷体汇聚连通、再向整体贯通整合的发展序列,本质上是断层连接演化驱动下侵蚀地貌逐步组织化的结果。

3) 不同类型下切谷的沉积充填特征差异显著。孤立型下切谷以分散式充填为主;弱连续型下切谷发育多期充填和明显的近远端分异;连续型下切谷形成较稳定的沉积输运通道,表现为远端优势沉积或近端集中卸载2类充填模式。谷内充填是对

断层连接演化和局部地貌重塑的持续响应。

4) 构造主控型下切谷的控制机制可概括为“背景约束—阶段调节—局部主控”三级关系:基准面下降提供下切窗口,幕式构造活动控制发育节律,局部断层差异活动及连接成熟度则决定谷体几何形态、沉降中心配置和充填方式,是下切谷类型转换及沉积分异的直接主控因素。

参考文献 (References)

- 曹华,龚晶晶,温玉焕,王红,李亮,汤大可. 2013. 南堡凹陷高尚堡地区东营组下切谷特征及意义. 石油地球物理勘探,48(6): 851-852,960-965,1016. [Cao H, Gong J J, Wen Y H, Wang H, Li L, Tang D K. 2013. Characteristics and significance of Dongying Formation incised valley in Gaoshangpu area, Nanpu Sag. Oil Geophysical Prospecting, 48(6): 851-852, 960-965, 1016]
- 金杰华,王永诗,操应长,韩宏伟,陈林,王艳忠. 2022. 准噶尔盆地车排子地区侏罗系下切谷充填特征及地质意义. 断块油气田, 29(6): 807-815. [Jin J H, Wang Y S, Cao Y C, Han H W, Chen L, Wang Y Z. 2022. Infilling characteristics of the Jurassic incised valley and its geological significance in the Chepaizi area of the Junggar Basin. Fault-Block Oil & Gas Field, 29(6): 807-815]
- 李从先,张桂甲. 1996. 下切古河谷高分辨率层序地层学研究的进展. 地球科学进展, 11(2): 216-220. [Li C X, Zhang G J. 1996. Progress on high resolution sequence stratigraphy in incised paleovalley. Advances in Earth Sciences, 11(2): 216-220]
- 林春明,张霞,黄舒雅. 2022. 晚第四纪下切河谷体系研究综述. 地质论评, 68(2): 627-647. [Lin C M, Zhang X, Huang S Y. 2022. Review of Late Quaternary incised valley system. Geological Review, 68(2): 627-647]
- 罗铃钊,纪友亮,王皓. 2017. 北海盆地维京地堑新近纪下切谷发育主控因素及其内部充填特征. 古地理论, 19(4): 635-647. [Luo L C, Ji Y L, Wang H. 2017. Controlling factors of incised valley development in the Neogene and its characteristics of internal filling in Viking Graben, North Sea Basin. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 19(4): 635-647]
- 秦磊,李小刚,邱子瑶,李志军,徐少华,李仪汶,陈岑,汪佳蓓,文思奇. 2021. 准噶尔盆地车排子凸起东缘下切谷特征及其形成机制. 现代地质, 35(3): 832-840. [Qin L, Li X G, Qiu Z Y, Li Z J, Xu S H, Li Y W, Chen C, Wang J B, Wen S Q. 2021. Characteristics and formation mechanism of incised valley on the eastern margin of Chepaizi Uplift, Junggar Basin. Geoscience, 35(3): 832-840]
- 童亨茂,赵宝银,曹哲,刘国玺,顿小妹,赵丹. 2013. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统成因的构造解析. 地质学报, 87(11): 1647-1661. [Tong H M, Zhao B Y, Cao Z, Liu G X, Dun X M, Zhao D. 2013. Structural analysis of faulting system origin in the Nanpu sag, Bohai Bay Basin. Acta Geologica Sinica, 87(11): 1647-1661]
- 童亨茂,范彩伟,孟令箭,赵宝银,范晋煜. 2018. 中国东—南部裂陷盆地断裂系统复杂性的表现形式及成因机制: 以南堡凹陷和涠

- 西南凹陷为例. 地质学报, 92(9): 1753–1765. [Tong H M, Fan C W, Meng L J, Zhao B Y, Fan J Y. 2018. Manifestation and origin mechanism of the fault system complexity in rift basins in eastern-Southern China: case study of the Nanbu and Weixinan sags. *Acta Geologica Sinica*, 92(9): 1753–1765]
- 鲜本忠, 姜在兴, 操应长, 涂阳发. 2001. 泌阳凹陷东南部下切谷的发现及其意义. 石油与天然气地质, 22(4): 304–308, 318. [Xian B Z, Jiang Z X, Cao Y C, Tu Y F. 2001. Discovery of incised valley in southeast of Biyang depression and its significance. *Oil & Gas Geology*, 22(4): 304–308, 318]
- 鲜本忠, 万锦峰, 董艳蕾, 马乾, 张建国. 2013. 湖相深水块状砂岩特征、成因及发育模式: 以南堡凹陷东营组为例. 岩石学报, 29(9): 3287–3299. [Xian B Z, Wan J F, Dong Y L, Ma Q, Zhang J G. 2013. Sedimentary characteristics, origin and model of lacustrine deep-water massive sandstone: An example from Dongying Formation in Nanpu depression. *Acta Petrologica Sinica*, 29(9): 3287–3299]
- 张桂甲, 李从先. 1995. 钱塘江下切河谷充填及其层序地层学特征. 海洋地质与第四纪地质, 15(4): 57–68. [Zhang G J, Li C X. 1995. The infilling of the incised Qiantang river paleovalley and its sequence stratigraphic characteristics. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 15(4): 57–68]
- 张霞, 林春明, 高抒, Robert W. Dalrymple, 曲长伟, 殷勇, 李艳丽, 周健. 2013. 钱塘江下切河谷充填物沉积序列和分布模式. 古地理学报, 15(6): 839–852. [Zhang X, Lin C M, Gao S, Dalrymple R W, Qu C W, Yin Y, Li Y L, Zhou J. 2013. Sedimentary sequence and distribution pattern of filling in Qiantang River incised valley. *Journal of Palaeogeography (Chinese Edition)*, 15(6): 839–852]
- 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 2001. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. 沉积学报, 19(2): 249–255. [Zheng R C, Peng J, Wu C R. 2001. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implication. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2): 249–255]
- Allen G P, Posamentier H W. 1993. Sequence stratigraphy and facies model of an incised valley fill: the Gironde estuary, France. *Sedimentary Petrology*, 63(3): 378–391.
- Allen M B, MacDonald D I M, Xun Z, Vincent S J, Brouet-Menzies C. 1997. Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northern China. *Marine and Petroleum Geology*, 14: 951–972.
- Andresen K J, Huuse M, Clausen O R. 2008. Morphology and distribution of Oligocene and Miocene pockmarks in the Danish North Sea-implications for bottom current activity and fluid migration. *Basin Research*, 20: 445–466.
- Dong Y X, Xiao L, Zhou H M, Du J X, Zhang N, Xiang H, Wang C Z, Zhao Z X, Huang H X. 2010a. Volcanism of the Nanpu Sag in the Bohai Bay Basin, Eastern China: geochemistry, petrogenesis, and implications for tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39: 173–191.
- Dong Y, Xiao L, Zhou H, Wang C, Zheng J, Zhang N, Xia W, Ma Q, Du J, Zhao Z, Huang H. 2010b. The Tertiary evolution of the prolific Nanpu Sag of Bohai Bay Basin, China: constraints from volcanic records and tectono-stratigraphic sequences. *Geological Society of America Bulletin*, 122: 609–626.
- Jackson C A L, Rotevatn A. 2013. 3D seismic analysis of the structure and evolution of a salt-influenced normal fault zone: a test of competing fault growth models. *Journal of Structural Geology*, 54: 215–234.
- Jackson C A, Bell R E, Rotevatn A, Tvedt A B M. 2017. Techniques to determine the kinematics of synsedimentary normal faults and implications for fault growth models. *Geological Society, London, Special Publications*, 439(1): 187–217.
- Kilham B, McArthur A, Huuse M, Ita E, Hartley A. 2011. Enigmatic large-scale furrows of Miocene to Pliocene age from the central North Sea: current-scoured pockmarks? *Geo-Marine Letters*, 31: 437–449.
- Liu J P, Xian B Z, Wang J H, Ji Y L, Lu Z Y, Liu S J. 2017. Sedimentary architecture of a sub-lacustrine debris fan: Eocene Dongying Depression, Bohai Bay Basin, East China. *Sedimentary Geology*, 362: 66–82.
- Liu J P, Xian B Z, Tan X F, Zhang L, Su M, Wu Q R, Wang Z, Chen P, He Y X, Zhang S H, Li J, Gao Y, Yu Q H. 2022. Depositional process and dispersal pattern of a faulted margin hyperpycnal system: the Eocene Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 135: 105405.
- Liu J P, Xian B Z, Tan X F, Wang Z, Wang J H, Luo L, Chen P, He Y X, Tian R H, Wu Q R, Wang J, Li J, Chen L, Peng W Y, Zhou Y M, Jiang Q F. 2025. Sub-lacustrine debrite system: facies architecture and sediment distribution pattern. *Petroleum Science*, 22: 110–129.
- Qi J F, Yang Q. 2010. Cenozoic structural deformation and dynamic processes of the Bohai Bay basin province, China. *Marine and Petroleum Geology*, 27: 757–771.
- Tian R H, Xian B Z, Wu Q R, Shu Q L, Liu J P, Zhang W M, Wang Z, Li Q, Rahman N U, Gao Y K, Wang J W. 2023. Turbidite system controlled by fault interaction and linkage on a slope belt of rift basin: Zhanhua depression, Bohai Bay Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 155: 106377.
- Tian R H, Xian B Z, Chen P, Zhao L, Rahman N U, Umar M U, Wu Q R, Li Q, Zhang W M, Liu J P, Chen S R. 2025. Rift marginal coarse-grained sediment gravity flow deposits in the Eocene Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China: balancing tectonic and climatic controls. *Petroleum Science*, 22: 3168–3188.
- Tian R H, Xian B Z, Wu Q R, Chen P, Rahman N U, Zhao L, Wang P Y, Zhang W M. 2026. Control of deep-water sedimentation on rift margin by non-coaxial fault linkage system: a case study from the steep slope of the Dongying Depression, Bohai Bay Basin, China. *Journal of Palaeogeography*, 15(2): 100318.
- Vail P R. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. In: Bally A W (ed). *Atlas of Seismic Stratigraphy*. AAPG Studies in Geology, 27: 10–11.

- van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, Rahmanian V D. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration Series, 7(4): 1-55.
- Wang R, Colombero L, Mountney N P. 2020. Quantitative analysis of the stratigraphic architecture of incised-valley fills: a global comparison of Quaternary systems. Earth-Science Reviews, 200: 102988.
- Wang Z, Xian B Z, Liu J Y, Khan M, Fan C W, Li H, Wang J H, Zhang X M, Liu J P, Chen P, Wu Q R, Zhang W M. 2022. Initiation and evolution of fault-controlled slope-parallel submarine channels: Miocene eastern slope of Yinggehai Basin, South China Sea. Basin Research, 35(2): 592-619.
- Went D J. 2020. Fluvial shoal water deltas: pre-vegetation sedimentation through the fluvial-marine transition, Lower Cambrian, English Channel region. Sedimentology, 67: 330-363.
- Yingling V L, Heller P L. 1992. Timing and record of foreland sedimentation during the initiation of the Sevier orogenic belt in central Utah. Basin Research, 4(4): 279-290.
- Zaitlin B A, Dalrymple R W, Boyd R. 1994. The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change. Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences. SEPM Special Publication, 84(51): 45-60.
- Zhao R, Chen S, Wang H, Gan H J, Wang G H, Ma Q. 2019. Intense faulting and downwarping of Nanpu Sag in the Bohai Bay Basin, eastern China: response to the Cenozoic Stagnant Pacific Slab. Marine and Petroleum Geology, 109: 819-838.
- Zhong Y Z, Picotti V. 2025. Accelerated tectonic activity, rather than paleolake regression, drives increased Pleistocene River incision along the Jinshan gorge in the middle Yellow River. Tectonics, 44: e2024TC008501.

(责任编辑 李新坡)

《古地理学报》2027 年

“细粒沉积岩：沉积过程、储集层特征与油气勘探实践”专辑征稿

细粒沉积岩是海陆盆地重要沉积记录，也是页岩油气、致密油气等非常规油气的核心勘探目标。当前细粒物质搬运沉降机理、储层强非均质性评价、沉积成岩理论服务勘探开发等方面仍存在关键科学瓶颈。为汇聚最新成果，完善细粒沉积学理论，助力中国非常规油气高效勘探开发，本刊组织本专辑，征集相关原创研究论文及综述。

征稿方向（包括但不限于）：

1. 细粒沉积岩源-汇系统、搬运机制与沉积动力学；
2. 细粒沉积岩物质组成、物源分析与古环境重建；
3. 细粒沉积岩层序地层、岩相与沉积体系展布；
4. 细粒沉积岩孔隙结构、力学性质与储集层评价；
5. 细粒沉积岩成岩演化与流体-岩石相互作用；
6. 细粒沉积岩国内外勘探实例及新技术新方法。

稿件要求：未公开发表原创成果，主题突出，具备创新的学术或应用价值，格式遵照本刊投稿须知。

投稿及时间：登录《古地理学报》官网（<http://www.gdlib.cn/>）在线投稿，“专题专辑信息”选项选定本专辑。截稿日期 2027 年 4 月 30 日，择优录用后计划于 2027 年第 5 期集中出版。

联系人：李攀、赵建华、张建国、杨田、陈旋

邮 箱：lipanccc@126.com；zhaojh@upc.edu.cn；zhjianguo@cugb.edu.cn；yangtian19@cdut.edu.cn；
cx168@petroChina.com.cn

《古地理学报》编辑部

2026-09-09