

文章编号: 1671-1505(2024)04-0796-20 DOI: 10.7605/gdtxb.2024.04.070

# 乍得 Doseo 盆地东部坳陷下白垩统 Kedeni 组 层序地层格架与沉积体系分布\*

陈宏逵<sup>1</sup> 朱筱敏<sup>1</sup> 肖坤叶<sup>2</sup> 杜业波<sup>2</sup>  
袁志云<sup>2</sup> 张新顺<sup>2</sup> 王晓雪<sup>3</sup>

1 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

2 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

3 中国石油东方地球物理公司塔里木物探研究院, 新疆库尔勒 841000

**摘要** 中非裂谷系 Doseo 盆地 Kedeni 组油气勘探获重大突破, 但对该主力层系层序地层和沉积充填方面的认识仍不明确, 成为制约下一步油气勘探的关键。以 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组为研究对象, 运用层序地层学及沉积学理论, 结合岩心、测录井和地震资料, 明确了 Kedeni 组层序地层格架及沉积体系展布。研究表明: Kedeni 组可识别出 3 个层序界面, 划分为 2 个三级层序 (SQ I、SQ II), 对应于 2 个“湖进—湖退”旋回。Kedeni 组沉积物主要来自 4 个方向, 并发育 6 种沉积相类型, 沉积相展布具有东西分异、垂向继承发育的特征。正常三角洲分布于东南部缓坡带及中央低凸带, 辫状河三角洲主要分布于东北部长轴方向和南部陡坡带, 扇三角洲和近岸水下扇发育于北部陡坡带边界断层下降盘, 湖底扇主要分布于西部凹陷深湖区。纵向上, SQ I 层序的骨架砂体规模整体大于 SQ II 层序, 且在每个三级层序内部, 低位域和湖侵域组成的下部单元中三角洲—水下扇砂体更为发育。Kedeni 组层序与沉积演化主要受到主干断层的构造活动、“南多北少”的物源供给、“半干旱—湿润”气候的转变等因素控制。在层序—沉积模式指导下, 认为北部陡坡带小规模扇三角洲前缘—近岸水下扇砂体、南部及东北部大范围正常三角洲前缘、辫状河三角洲前缘砂体及西部凹陷深湖区湖底扇砂体可作为区内有利储集层的勘探目标。

**关键词** 乍得 Doseo 盆地 Kedeni 组 层序地层 沉积特征 沉积模式

**第一作者简介** 陈宏逵, 男, 1994 年生, 中国石油大学(北京)地球科学学院博士生, 主要从事沉积地质学研究。E-mail: chenhk\_cupb@163.com。

**通讯作者简介** 朱筱敏, 男, 1960 年生, 中国石油大学(北京)地球科学学院教授、博士生导师, 主要从事沉积地质学和层序地层学等教学科研工作。E-mail: xmzhu@cup.edu.cn。

中图分类号: P531 文献标志码: A

## Sequence stratigraphic framework and sedimentary system of the Lower Cretaceous Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin, Chad

CHEN Hongkui<sup>1</sup> ZHU Xiaomin<sup>1</sup> XIAO Kunye<sup>2</sup> DU Yebo<sup>2</sup>  
YUAN Zhiyun<sup>2</sup> ZHANG Xinshun<sup>2</sup> WANG Xiaoxue<sup>3</sup>

\* 国家自然科学基金项目(编号: 42272110)资助。[Financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 42272110)]

收稿日期: 2023-10-23 改回日期: 2024-03-08

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

2 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083, China

3 Tarim Institute of Geophysical Exploration of Bureau of Geophysical Prospecting Inc, CNPC, Xinjiang Korla 841000, China

**Abstract** A significant breakthrough has been made in hydrocarbon exploration in the Kedeni Formation of the Doseo Basin in the Central African Rift System. However, the stratigraphy and sedimentary infill of this dominant formation are still unclear, which has become a key constraint for the next step of hydrocarbon exploration. In this study, the Kedeni Formation in the Eastern Depression of Doseo Basin is taken as the research object. Based on the theory of seismic stratigraphy and sedimentology, combined with the core, logging and seismic data, the sequence stratigraphic framework and sedimentary system distribution of Kedeni Formation are clarified. The research results demonstrate that the Kedeni Formation exhibits three identifiable sequence interfaces, dividing into two third-order sequences (SQ I and SQ II), in response to two ‘transgressive-regressive’ cycles. The sediments of Kedeni Formation mainly came from four directions, and six types of sedimentary facies were developed. Distribution of sedimentary facies was characterized by east-west differentiation and features of vertical inheritance. Normal delta were distributed in the southeastern gentle slope zone and the central low uplift zone, whereas the braided river delta were primarily distributed in the long axis direction of the northeast and the southern steep slope zone. The fan delta and the nearshore subaqueous fan developed in the downthrown side of the boundary fault in the northern steep slope zone. The sublacustrine fan were mainly distributed in the deep lake area of the western sag. Vertically, the framework sandstone scale of the SQ I was larger than that of the SQ II, and in each third-order sequence, the delta-subaqueous fan was more developed in the lower unit composed of a lowstand system tract and a transgressive system tract. The sequence and sedimentary evolution of the Kedeni Formation were primarily controlled by factors such as the structural activity of major faults, differential sediment supply from the south to the north, and shifts in climate from semi-arid to humid conditions. Under the guidance of sequence-sedimentary model, it is considered that the small-scale fan delta front-nearshore subaqueous fan sandstone in the northern steep-slope zone, the large-scale normal delta front and braided river delta front sandstone in the south and northeast, and the sublacustrine fan sandstone in the deep lake area of the western sag can be regarded as favorable exploration targets within the region.

**Key words** Chad Doseo Basin, Kedeni Formation, sequence stratigraphy, sedimentary characteristics, sedimentary model

**About the first author** CHEN Hongkui, born in 1994, is a Ph.D. candidate of College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing). He is mainly engaged in research on sedimentology. E-mail: chenhk\_cupb@163.com.

**About the corresponding author** ZHU Xiaomin, born in 1960, is a professor and doctoral supervisor of College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing). He is mainly engaged in teaching and researches on sedimentary geology and sequence stratigraphy. E-mail: xmzhu@cup.edu.cn.

多年的勘探实践表明非洲大陆拥有丰富的油气资源。中非剪切带位于非洲大陆中部，是一条长达 4000 km 的东西向岩石圈转换带，沿该剪切带发育一系列近东西向和北西向的中新生代裂谷盆地，称

为“中非裂谷盆地群”(Genik, 1993; Guiraud *et al.*, 2005; 张光亚等, 2018, 2020; 窦立荣等, 2022)。国内外石油公司已经在 Muglad、Melut 和 Bongor 等伸展型被动裂谷盆地中发现了大量的油气

资源,前人针对上述盆地也进行了大量地质研究(童晓光等,2004;窦立荣等,2006,2011;张光亚等,2019)。Doseo 盆地作为新的油气勘探接替区,不同于伸展型裂谷盆地,经历了长期走滑和长期反转,勘探程度低,油气发现少。但近年来,Doseo 盆地东部拗陷的规模勘探在下白垩统 Kedeni 组取得突破,开启了 Doseo 盆地的石油地质研究工作(窦立荣等,2022)。

Doseo 盆地构造特征及成盆机制已得到大量讨论,从早期有学者提出的走滑拉分成盆模式(Genik,1993;张艺琼等,2015;吕彩丽和赵阳,2018;孔令武等,2019),到近期更多学者认为 Doseo 盆地为走滑、反转改造型陆内早夭被动裂谷盆地(Fairhead,2020;Zhang *et al.*,2021,2023;高华华等,2023;何文渊等,2023;周小蓉等,2023)。目前还鲜有针对 Doseo 盆地的层序地层学研究,刘为付(2016)在有限的地震及钻井资料基础上将 Doseo 盆地整个白垩系划分为 5 个三级层序。其他的层序地层划分研究集中在与 Doseo 盆地相邻的中非裂谷系盆地中(Wu *et al.*,2015;Yassin *et al.*,2018),但由于 Doseo 盆地独特复杂的构造背景以及各盆地地层年代的不确定性,划分方案难以在 Doseo 盆地进行对比和应用。中非裂谷盆地在基底之上发育陆源碎屑沉积(Genik,1993;Patterson *et al.*,2012),对于 Doseo 盆地的沉积学研究目前也处于起步阶段,有学者认为盆地南北构造带均发育三角洲沉积(刘为付,2016;窦立荣等,2022),也有学者认为盆地北部发育水下扇,考虑水深因素可识别出南部浅水三角洲和东北部深水三角洲(陈全红等,2021)。随着勘探工作的深入,目前针对 Doseo 盆地东部拗陷大尺度的层序地层划分以及沉积相展布认识,已难以支撑 Kedeni 组生产需求,亟需进行更为精细的层序划分和沉积相研究,新的地震和钻井等资料为深化 Kedeni 组层序—沉积研究提供了有利条件。

在前人研究基础上,搭建了下白垩统 Kedeni 组层序地层格架,分析了沉积相类型和平面展布特征,最终建立了沉积演化模式,研究成果有望丰富完善 Doseo 盆地低勘探程度区石油地质基础理论并为油气高效勘探提供沉积地质依据。

## 1 区域背景

Doseo 盆地是位于非洲乍得境内的走滑裂谷盆地,西侧为 Doba 盆地,东侧为 Salamat 盆地,3 个盆地被中非剪切带所分隔,共同组成“南乍得盆地”(图 1-a)。Doseo 盆地南北宽 60~80 km,东西长约 450 km,总面积约 50 000 km<sup>2</sup>,是平面上呈 NEE-SWW 向展布的菱形盆地,可划分为东部拗陷和西部拗陷(张艺琼等,2015;窦立荣等,2022)。其中东部拗陷划分为东部凹陷和西部凹陷 2 个二级构造单元,东部凹陷自北向南依次为北部陡坡、中央低凸起、东南部缓坡 3 个三级正向构造和 Kibea 洼陷、Kedeni 洼陷、南部洼陷 3 个三级负向构造,西部拗陷南北两侧均为陡坡带,中部为洼陷(图 1-b)(高华华等,2023)。

Doseo 盆地为受走滑、反转作用改造的陆内被动裂谷盆地,其形成演化受控于非洲和周缘板块构造运动,经历了断陷、断拗过渡、拗陷和消亡 4 个构造阶段。早白垩世巴雷姆期发生近南北向伸展,至阿普特期右旋张扭走滑断裂体系开始发育,晚白垩世圣通期和白垩纪末,发生 2 期反转(高华华等,2023)。Kedeni 组沉积时期,研究区主要发育 5 条主干断裂(F1-F5),这些断裂受控于构造应力场转变,是在基底伸展断裂基础上发育的右旋张扭走滑断裂。盆地基底之上依次充填白垩系、古近系、新近系,其中下白垩统是盆地主要勘探目的层。下白垩统自下而上划分为 Mangara 群、Kedeni 组、Doba 组和 Koumra 组,发育 2 个完整的湖进—湖退旋回。在详细的孢粉地层分析和地层对比的基础上,Kedeni 组和 Doba 组孢粉地层年龄被确定为中阿普特期到早阿尔布期(Dou *et al.*,2023)。钻井揭示 Kedeni 组发育中厚层泥岩夹厚层砂岩,总体为湖进期退积式三角洲—湖泊相沉积(Zhang *et al.*,2021,2023;窦立荣等,2022;高华华等,2023;周小蓉等,2023)(图 1-c)。

## 2 层序地层格架

依据地震反射特征、地层叠置样式以及沉积旋回等在研究区 Kedeni 组识别出 3 个层序界面,将 Kedeni 组划分为 2 个三级层序 SQ I 和 SQ II,在三级层序内部依据准层序叠置样式识别出低位体系域(LST)、湖侵体系域(TST)和高位体系

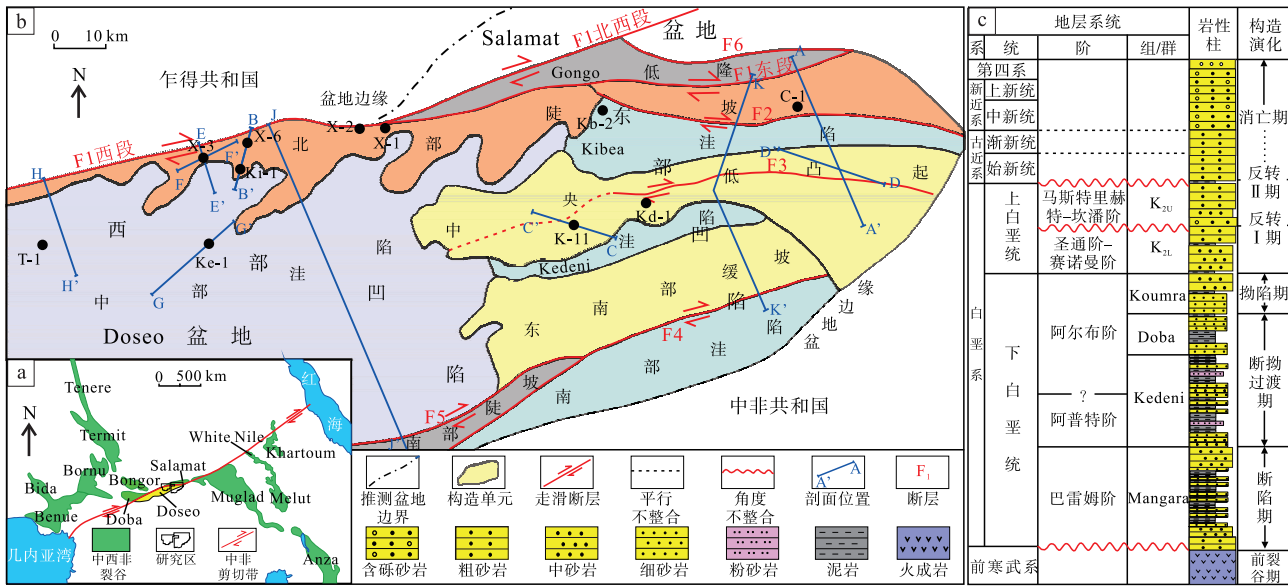


图 1 Doseo 盆地构造位置(a)、东部拗陷构造单元划分(b)与地层特征(c)

(据窦立荣等, 2022; 高华华等, 2023; 有修改)

Fig. 1 Tectonic location of the Doseo Basin (a), division of tectonic units in Eastern Depression (b) and stratigraphic characteristics (c) (modified from Dou et al., 2022; Gao et al., 2023)

域 (HST)(图 2)。

### 2.1 地震层序界面

层序界面在地震上常表现为强反射特征, 界面上下同相轴可见上超、下超、削截和顶超等地震反射终止关系, 同时地震反射的振幅、频率和连续性等属性也存在较大差异。过东部凹陷的南北向区域地震剖面 A-A' 显示, 北部凸起之上缺失 Kedeni 组沉积, Kedeni 组地层厚度由北向南逐渐减薄, 在中央低凸带和东南部缓坡带与下伏地层呈不整合接触(图 3-a)。依据地震反射终止关系和地震相特征差异, 识别出 3 个三级层序界面 (SB1、SB2 和 SB3)。SB1 为 SQ I 层序底界, 为 Kedeni 组与 Mangara 群地层分界线, 是区域性的不整合面, 也是盆地开始从断陷向拗陷转化的构造转换界面(高华华等, 2023), Kedeni 组上超于该界面之上, 界面之下可见削截反射。界面上下表现为不同的地震波组特征, 界面之上地震同相轴为中—高振幅、中连续性, 界面之下振幅及连续性都明显减弱。SB2 为 SQ I 层序顶界, 为 Kedeni 组内部的高连续、强反射同相轴, 全区可对比性较强, 界面之上多见上超反射。以 SB2 为界, Kedeni 组上部地层主要响应于中频率、高振幅、中—高连续性地震反射,

下部地层主要响应于中频率、中—高振幅、中连续性地震反射。SB3 为 SQ II 层序顶界面, 为 Kedeni 组与 Doba 组地层界线, 是一组强地震反射波组的顶界, 上覆 Doba 组上超于界面之上, 界面上下地震反射特征差异明显, 上覆 Doba 组表现为高频率、中—低振幅、中连续性特征, Kedeni 组则频率降低、振幅明显增强(图 3-b, 3-c, 3-d)。

### 2.2 钻井层序界面特征及体系域划分

层序界面在测录井资料上常表现为岩性的突变、测井曲线值的大幅变化或曲线垂向叠置样式的转化。研究区内多井对比表明, SB1 界面为岩相组合突变面。界面之下 (Mangara 群顶部) 为厚层砂岩夹薄层泥岩, 地层砂地比高 (可大于 80%), GR 曲线以箱型为特征; 界面之上岩性组合变为中厚层细砂岩与泥岩的互层, 砂地比降低 (30%~60%), GR 曲线以齿化箱型和齿化钟型为特征。SB2 界面为旋回转换界面, 对应 Kedeni 组上部砂层组底部, 界面之下为向上砂岩逐渐增多的下降半旋回, 界面之上为砂岩逐渐减少的上升半旋回。SB3 界面为 Doba 组与 Kedeni 组界线, 界面上下岩相组合存在差异, 界线之上 Doba 组为中薄层细砂岩、粉砂岩与泥岩频繁互层的特

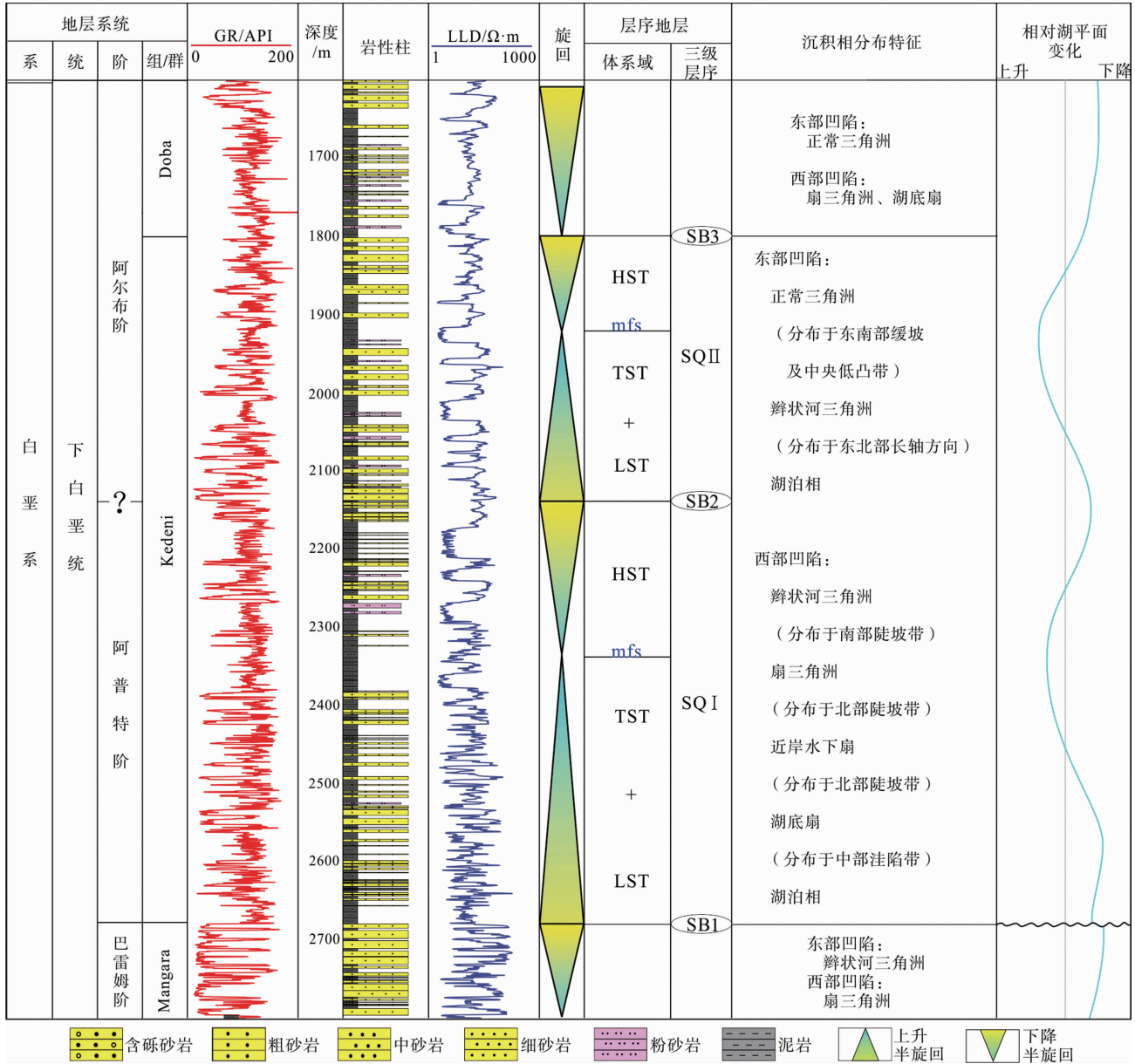


图 2 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组层序地层划分综合图

Fig. 2 Comprehensive histogram of sequence stratigraphic division of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

征，界面之下 Kedeni 组为中厚层细砂岩夹中厚层泥岩特征(图 4)。

鉴于研究区二维地震资料品质，初始湖泛面在地震资料上识别较为困难，而最大湖泛面在地震上表现为一个强振幅、高连续的反射界面，界面之上为下超接触关系，在钻井上对应于较稳定的湖相泥岩发育段(图 3; 图 4)，故本文以最大湖泛面为界，将低位体系域和湖侵体系域合并为一个单元，高位体系域作为另一单元，研究三级层序内沉积体系特征。

### 3 沉积相类型

作为典型的陆内走滑裂谷，Doseo 盆地陆相沉积类型多样。基于岩心、钻测井及地震资料，认为 Kedeni 组主要发育正常三角洲、辫状河三角洲、扇三角洲、近岸水下扇、湖底扇及湖泊等沉积相类型。

#### 3.1 正常三角洲

正常三角洲一般指远离物源区、发育于盆地地形较缓部位的三角洲(朱筱敏, 2020)。Kedeni 组沉积时期，研究区中央低凸带及东南部缓坡带地形

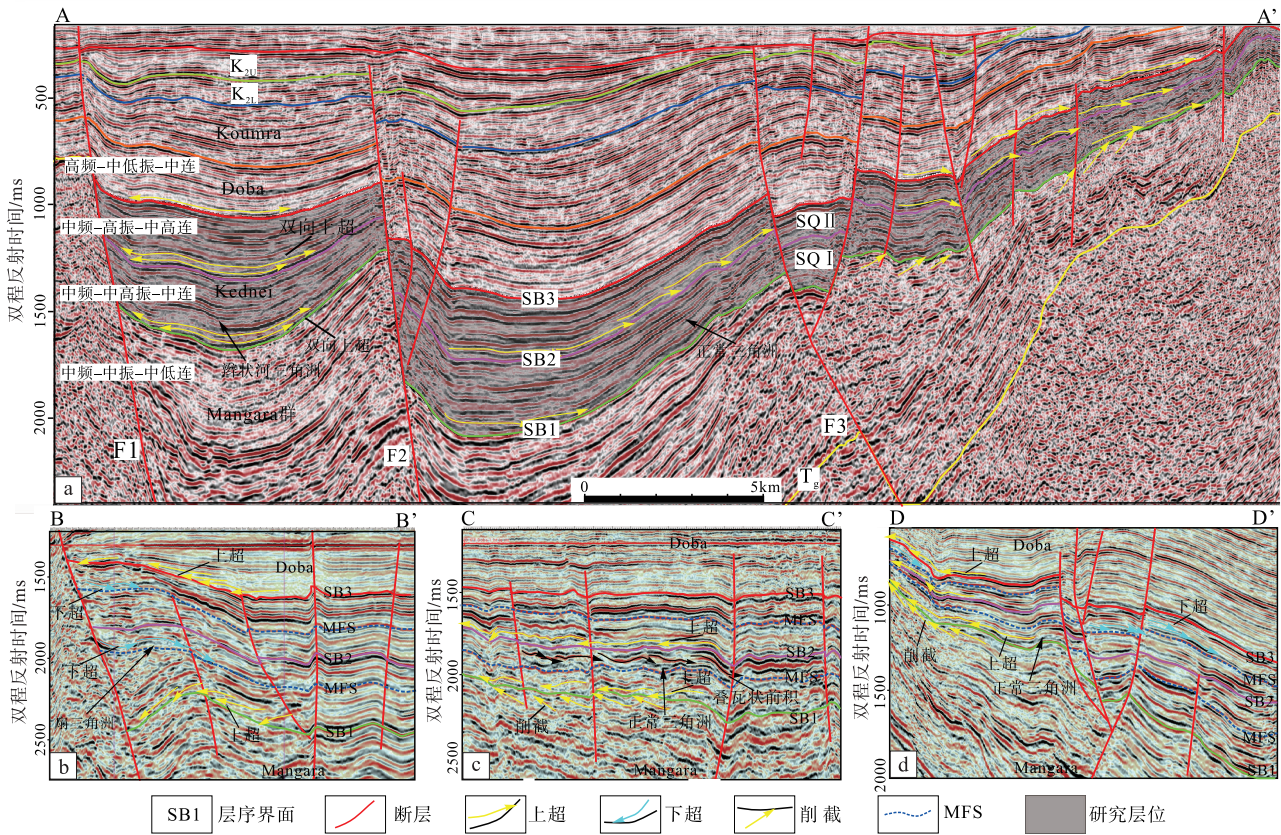


图 3 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组层序界面地震特征 (剖面位置见图 1)

Fig. 3 Seismic characteristics of sequence interface of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin (sections position shown in Fig. 1)

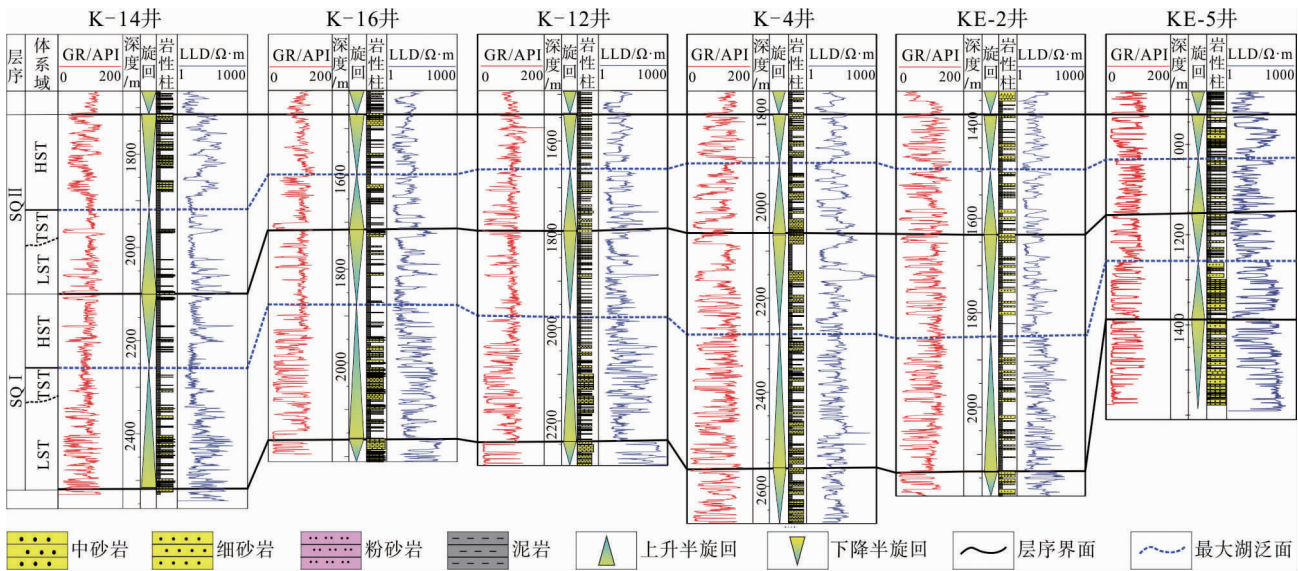


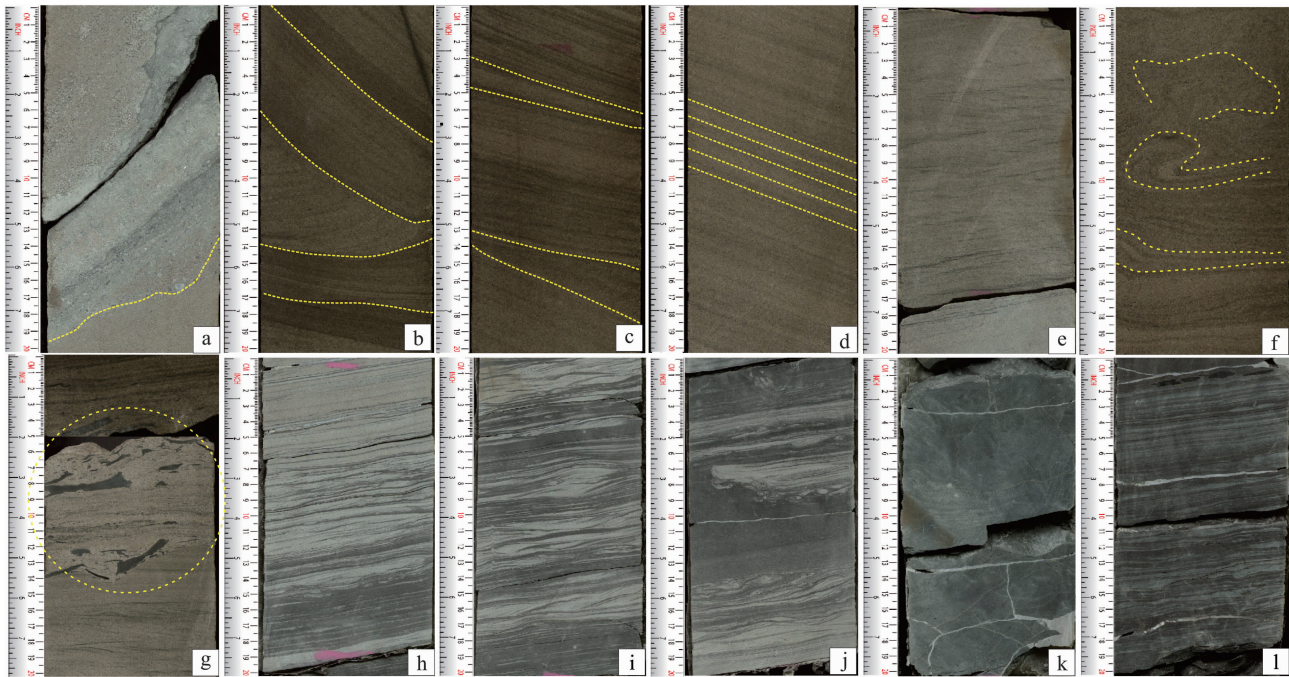
图 4 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组层序界面钻井特征及多井对比

Fig. 4 Drilling characteristics of sequence interface and multi-well correlation of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

较为平缓,为发育此类三角洲提供了有利条件。取心井 K-E101 井岩性粒度较细,以细砂岩、粉砂岩与暗色泥岩互层为特征,可识别出多期冲刷面,上部为含砾粗砂岩,下部为细砂岩(图 5-a),发育多种牵引流成因沉积构造,如槽状交错层理、楔状交错层理、平行层理、波状层理等(图 5-b, 5-c, 5-d, 5-e),并可见层内变形构造(图 5-f)。在 1865.7 m 处可见泥岩撕裂屑,呈近顺层状分布(图 5-g)。向深水方向亦可见过渡型层理发育,如脉状层理、透镜状层理等,局部发生滑塌变形(图 5-h, 5-i, 5-j)。在第 2、3 次取心中泥岩较为发育,为暗色质纯泥岩,以水平层理和块状层理为主(图 5-k),纹层发育(图 5-l)。取心段砂岩与暗色泥岩突变接触,反映水下沉积环境,垂向上整体表现为由多个小型下粗上细正韵律叠置而成的复合正韵律,单砂层厚度 1~3 m,垂向叠置可大于 10 m,形成于正常三角洲前缘环境,并可识别出水下分流河道、支流间湾、河口坝及席状砂等沉积微相。岩心深度校正后,取心段对应典型的测井相特征,水下分流河道以箱型或齿化箱型为特征,河口坝为漏

斗型,支流间湾为典型的泥岩基线段(图 6-a, 6-b)。

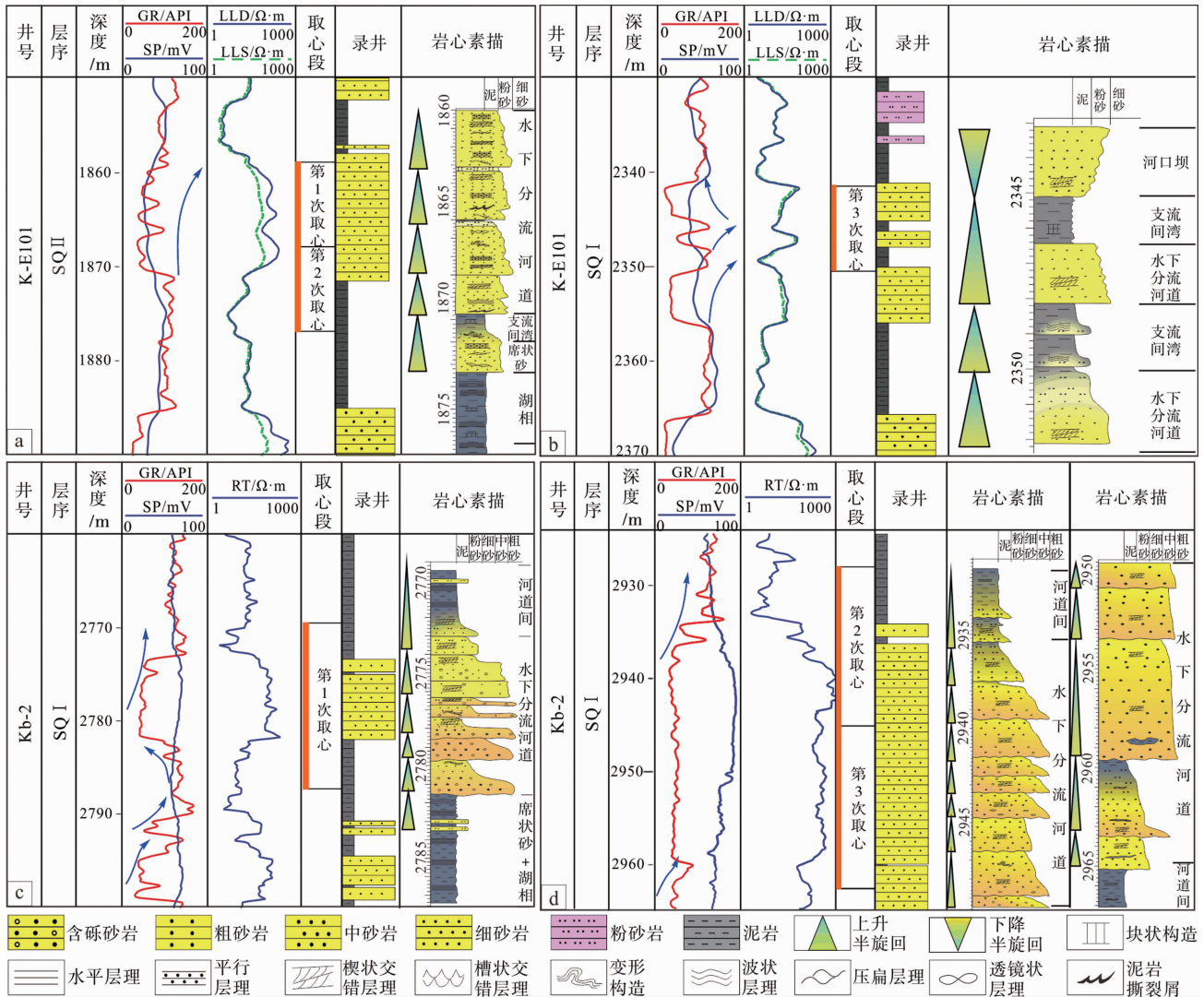
中央低凸带及东南部缓坡带发育的三角洲具有浅水三角洲特征,地震剖面显示,缺少特征的三角洲顶积层、前积层和底积层三层结构,主要响应叠瓦状前积地震相和隐性前积地震相,由湖盆边缘向湖盆中心呈发散状展布(图 3)。三角洲前缘可进一步划分出内前缘和外前缘,内前缘位于洪水面与枯水面之间,外前缘位于枯水面和正常浪基面之间。由于水动力条件的不同,内前缘和外前缘在钻井上可进行区分,中央低凸带各钻井显示,内前缘以河流作用为主导,主要由水下分流河道和分流间湾微相组成,水下分流河道砂体较连续,垂向上表现为较厚层的河道砂体与暗色泥岩互层。而外前缘受到河流与波浪的共同作用,主要包括了水下分流河道、分流间湾、河口坝和席状砂等微相,水下分流河道规模变小,连续性变差,受波浪作用改造而席状化,在垂向上表现为薄层河道砂体和席状砂与暗色泥岩互层。不同的微相组合导致单井砂地比的不同,研究区 Kedeni 组内前缘段砂地比通常大于 0.3,



a—冲刷面,细砂岩之上为含砾粗砂岩,2343.5 m; b—大型槽状交错层理细砂岩,1861.2 m; c—楔状交错层理细砂岩 1861.7 m; d—平行层理细砂岩,1860.2 m; e—波状层理细砂岩,1863.2 m; f—变形构造细砂岩,1866.9 m; g—含泥岩撕裂屑粉细砂岩,1865.7 m; h—脉状层理粉细砂岩,1872.57 m; i—透镜状层理粉细砂岩,1872.97 m; j—透镜状层理粉细砂岩,可见小型滑塌变形构造,1871.97 m; k—块状层理暗色泥岩,2345.3 m; l—纹层发育的暗色泥岩,2348.5 m

图 5 Doseo 盆地东部坳陷 K-E101 井 Kedeni 组正常三角洲典型岩心特征

Fig. 5 Typical core characteristics of normal delta in the Kedeni Formation of Well K-E101 in Eastern Depression of Doseo Basin



a—K-E101 井第 1、2 次取心；b—K-E101 井第 3 次取心；c—Kb-2 井第 1 次取心；d—Kb-2 井第 2、3 次取心

图 6 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组取心段岩心垂向序列及测井相特征

Fig. 6 Vertical sequence and logging facies characteristics of core in the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

而外前缘段砂地比一般在 0.1~0.3 之间(图 7)。

### 3.2 辫状河三角洲

辫状河三角洲是由辫状河流进入海湖形成的相对粗粒三角洲(朱筱敏, 2020)。取心井 Kb-2 井位于研究区东北部, 岩性粒度较粗, 以砾岩、含砾砂岩与暗色泥岩为主, 发育冲刷面, 冲刷面之上为河道滞留沉积砾岩, 砾石为富成分且分选磨圆中等, 具有定向排列特征(图 8-a, 8-b)。含砾粗砂岩、中砂岩中广泛发育楔状交错层理, 砂岩与泥岩间可形成“砂冲泥”式冲刷面(图 8-c, 8-d), 砂岩内可见顺层分布的扁平泥砾及变形构造(图 8-e, 8-f)。另外还可见波状层理粉砂岩及水平层理泥岩

发育(图 8-g, 8-h)。取心段形成于辫状河三角洲前缘环境, 以水下分流河道微相砂岩为主, 同时也可识别出席状砂及河道间微相。三次取心垂向上均表现为小型正韵律的叠加, 单砂层厚度 1~5 m, 垂向叠置可大于 20 m。测井曲线以箱型为主要特征(图 6-c, 6-d)。西部凹陷南部 M-1 井为辫状河三角洲平原沉积, 以辫状河道和泛滥平原微相为主, 表现为厚层砂岩与泥岩互层, 向东过渡为辫状河三角洲前缘沉积。研究区东北部 C-1 井为辫状河三角洲前缘沉积, 以断层 F2 为界, 向西过渡为正常三角洲沉积(图 7-b)。研究区辫状河三角洲的地震反射特征与正常三角洲相似, 主要为隐性前积充

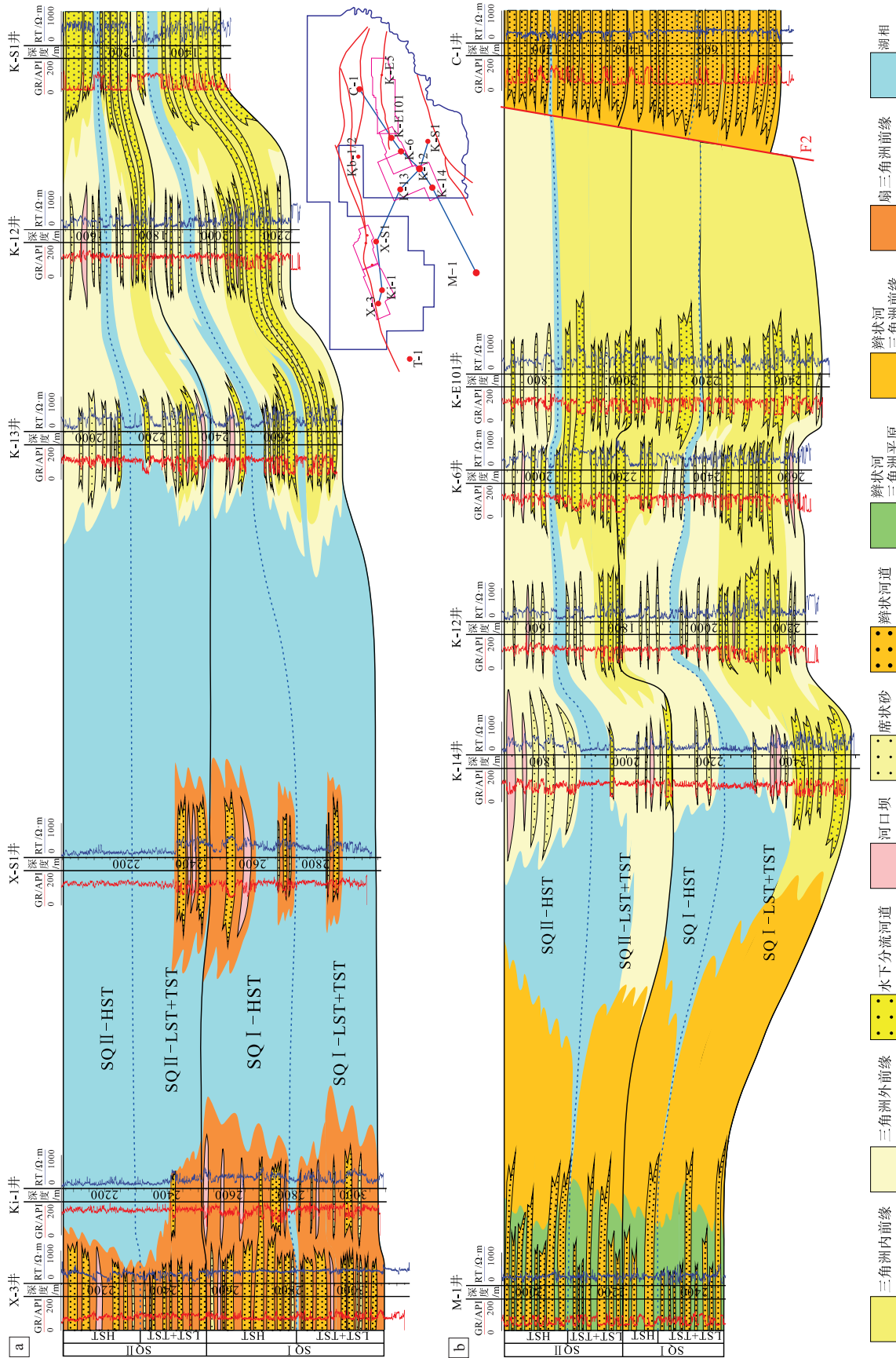
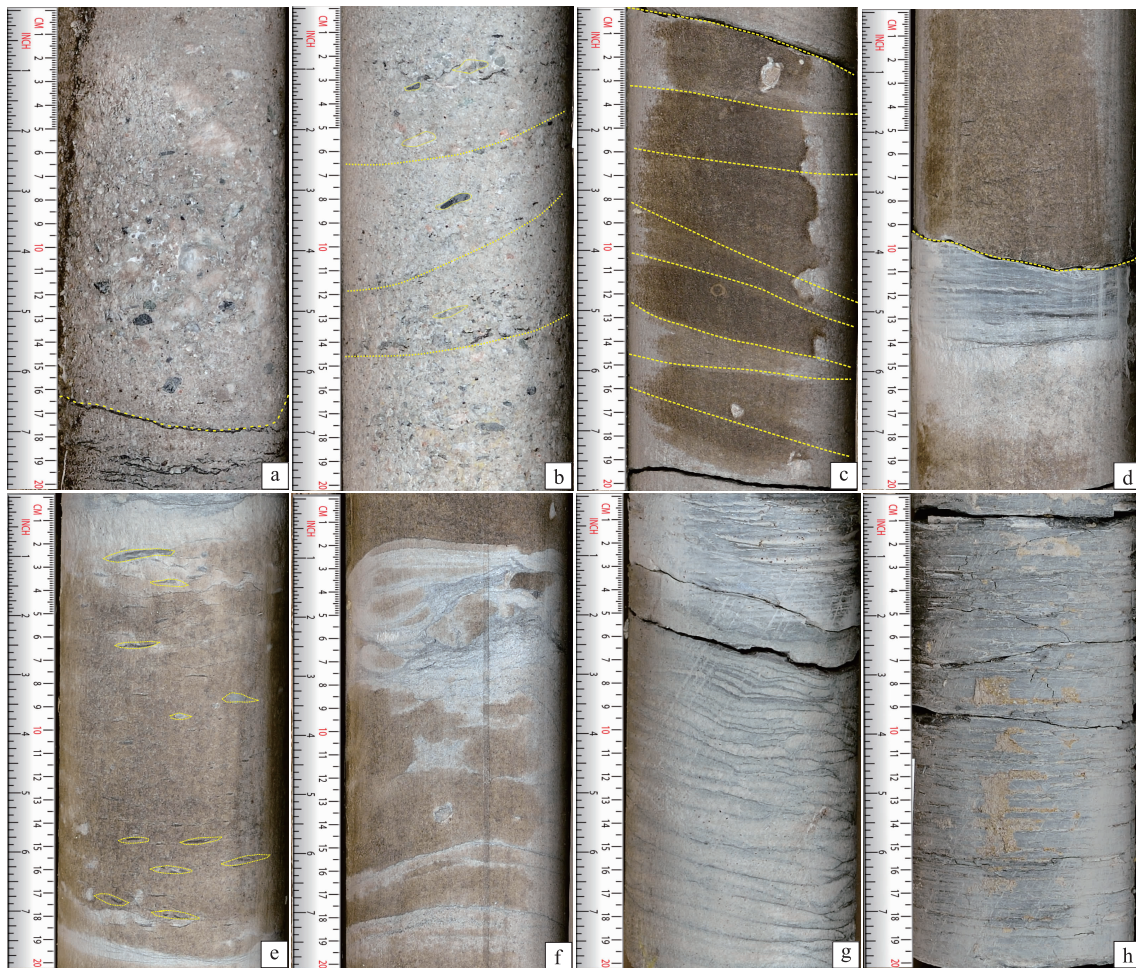


图 7 Dooseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组连井沉积相剖面(a—南北向剖面;b—东西向剖面)  
 Fig. 7 Sedimentary facies sections of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Dosco Basin



a—富成分砾岩，“砂冲砂”界面，2779.5 m；b—楔状交错层理砾岩，砾石定向排列，2781.3 m；c—楔状交错层理粗砂岩，2776.9 m；d—“砂冲泥”界面，2934.1 m；e—中—粗砂岩中的顺层扁平泥砾，2934.5 m；f—变形构造中砂岩，2948.0 m；g—波状层理粉砂岩，2781.9 m；h—水平层理暗色泥岩，2785.5 m

图 8 Doseo 盆地东部坳陷 Kb-2 井 Kedeni 组辫状河三角洲典型岩心特征

Fig. 8 Typical core characteristics of braided river delta in the Kedeni Formation of Well Kb-2 in Eastern Depression of Doseo Basin

填相及发散充填相，中等振幅，中等连续性，无三层前积反射结构，在南北向剖面上具有双向上超特征(图 3-a)。

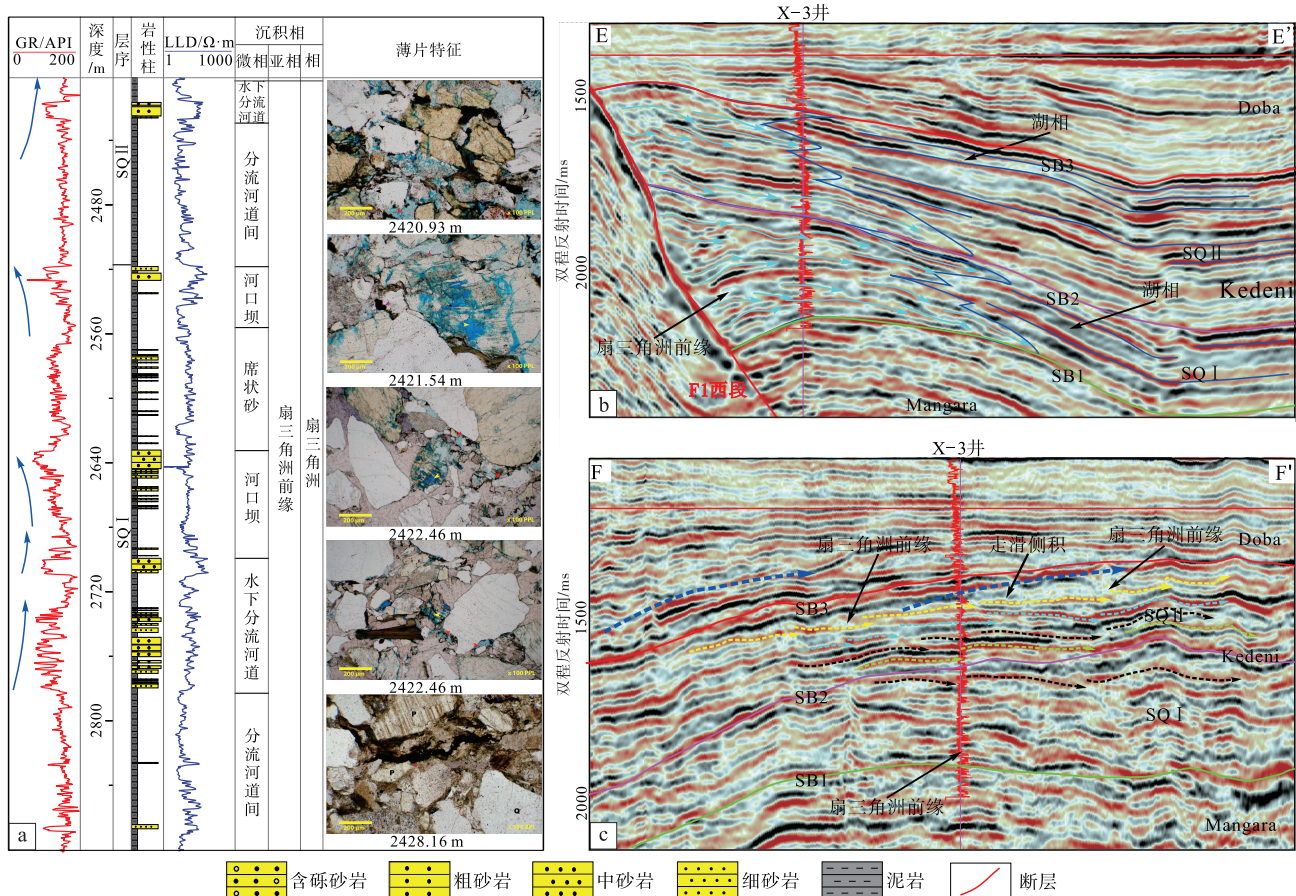
### 3.3 扇三角洲

在地形高差较大，紧邻高山的盆地边缘常发育扇三角洲(朱筱敏，2020)。Ki-1 井靠近北部陡坡带，以发育扇三角洲前缘亚相为特征，测井曲线表现为正反复合韵律，可识别出水下分流河道、水下分流河道间、河口沙坝和席状砂等微相，由于受波浪改造测井曲线齿化特征明显。薄片显示岩性为长石砂岩，成分和结构成熟度均较低，颗粒粒度细—粗粒，长石含量较高，并可见火山岩及泥岩岩屑，颗粒分选磨圆较差，为次棱角—次圆状，显示了快

速沉积的特征(图 9-a)。北部陡坡带扇三角洲纵向厚度大、横向相变快，由临近盆地边缘的扇三角洲相迅速变化为湖泊相，纵向上 SQ I 层序扇体规模明显大于 SQ II 层序(图 7-a)。扇三角洲在顺物源地震剖面上显示为楔状前积相，内部可见斜交前积反射结构，中—强振幅，连续性中等，向前方地震连续性变好(图 9-b)。在垂直于物源地震剖面上，扇三角洲前缘表现为宽缓丘形，连续性中等，可见晚期地震同相轴叠覆于早期之上并向东迁移，认为该特征响应于同沉积边界断裂右旋走滑活动的影响(图 9-c)。

### 3.4 湖底扇/近岸水下扇

除了以牵引流沉积作用为主的三角洲沉积外，



a—Ki-1 井扇三角洲测井及薄片特征；b—过 X-3 井顺物源剖面特征；c—过 X-3 井垂物源剖面特征

图 9 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组扇三角洲井震特征（剖面位置见图 1）

Fig. 9 Well-seismic characteristics of fan delta of the Kedeni Formation in eastern depression of Doseo Basin (sections position shown in Fig. 1)

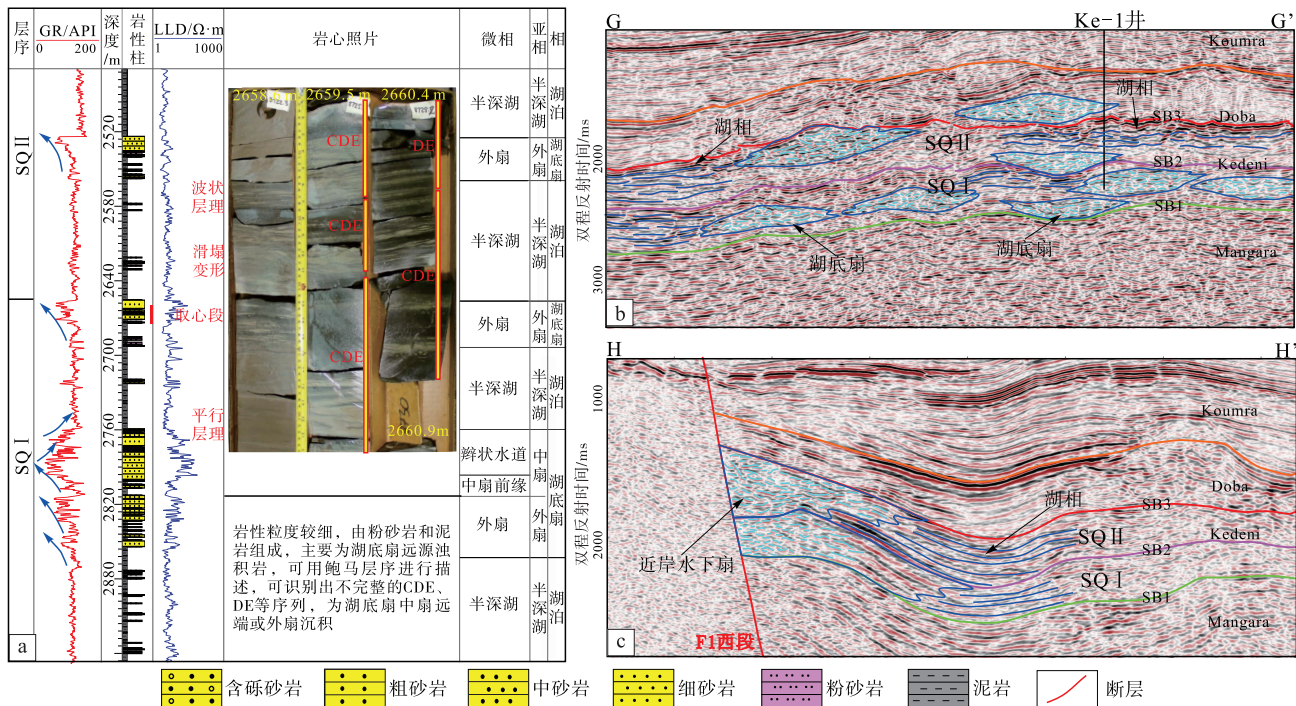
研究区还发育以重力流沉积作用为主的沉积体，根据沉积位置可划分为湖盆中央深水湖底扇和靠近陡坡的近岸水下扇。Ke-1 井位于研究区西部凹陷深水湖底扇远源浊积岩为特征，岩性粒度较细，由粉砂岩和泥岩组成，发育平行层理、波状层理、包卷层理和滑塌变形层理等沉积构造，可用鲍马序列描述，主要为不完整的 CDE 和 DE 序列，形成于湖底扇中扇远端或外扇。Ke-1 井湖底扇垂向上表现为正反复合韵律特征，自下而上沉积物粒度由细变粗再变细。2760 ~ 2940 m 井段可见半深湖—外扇—中扇的过渡，外扇与中扇前缘表现为反韵律特征，在中扇上部则发育多个向上沉积物粒度变细、砂层厚度变小的间断正韵律，为中扇辫状水道迁移作用形成，中扇上部缺少内扇沉积，与半深湖亚相呈突变接触(图 10-a)。过 Ke-1 井二维地震剖面显示，湖底扇呈透镜

状，内部中—弱振幅，连续性差，并可见杂乱充填(图 10-b)。

Doseo 盆地发育的近岸水下扇主要沿盆地北部陡坡带边界断层下降盘分布，在地震剖面上显示楔状外形，内部反射呈小角度发散或杂乱结构，向前过渡为湖相平行—亚平行地震反射(图 10-c)，在研究区之外的 A-2 井水下扇取心中，可识别出泥岩撕裂块、碎屑脉、包卷层理及火焰构造等，岩性为混杂堆积的含砾中—细砂岩(陈全红等，2021)。

### 3.5 湖泊相

Kedeni 组湖泊相沉积分布较为广泛，与三角洲、水下扇等骨架砂体频繁互层，岩性为暗黑色水平层理或块状层理泥岩，泥岩色暗质纯，反映水深、低能环境，局部厚度可超过 1000 m(图 7)。



a—Ke-1 井湖底扇测井特征与岩心描述；b—湖底扇地震反射特征；c—近岸水下扇地震反射特征  
图 10 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组湖底扇与近岸水下扇井震特征（剖面位置见图 1）

Fig. 10 Well-seismic characteristics of sublacustrine fan and nearshore subaqueous fan of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin (sections position shown in Fig. 1)

湖相沉积在地震上主要表现为中—高振幅、中—高频率、高连续性席状相(图 9；图 10)。

### 4 沉积相展布及模式

在确定研究区沉积相类型基础上，利用地震资料对物源方向进行分析，总结了 Kedeni 组发育的典型地震相，分析各地震相的平面展布，最终通过井震标定，结合区域构造背景，将地震相转化为沉积相，明确沉积相平面分布特征，探讨其演化模式。

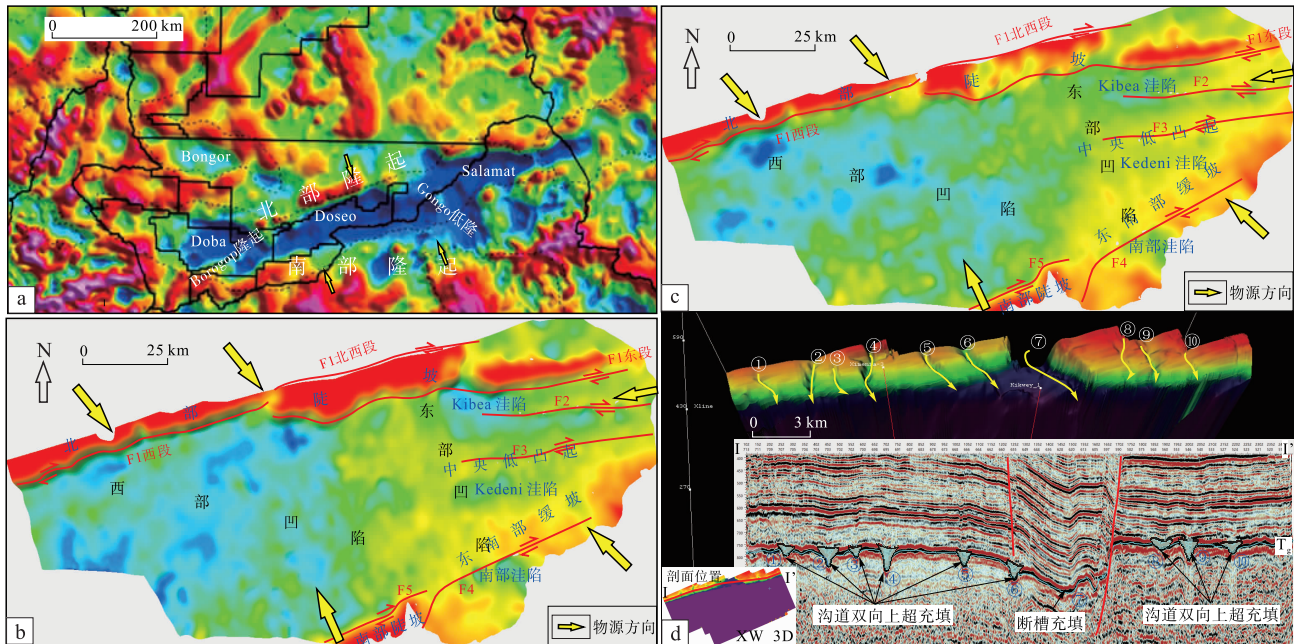
#### 4.1 物源方向分析

物源分析是沉积盆地研究的重要内容之一，目前物源恢复方法主要包括沉积学、地球化学及地球物理等分析方法（林孝先，2011；徐杰和姜在兴，2019；杨棵等，2022）。结合区域地质背景，利用地球物理方法对物源进行定性分析。

布格重力异常值可反映研究区现今的基底地貌，对物源区位置做出大致判断（林孝先，2011）。南乍得盆地现今布格重力异常图表明，

Doba、Doseo、Salamat 盆地及 Bongor 盆地均为负重力异常（图 11-a 中蓝绿色），Doseo 盆地南北两侧为正重力异常（图 11-a 中红黄色），所以盆地的北部、南部都可提供沉积物源(图 11-a)。利用残余厚度法恢复的 Kedeni 组沉积时期古地貌表明，西部凹陷为南北双断特征，为研究区主体沉降中心，来自北部和南部陡坡的碎屑物源可发生大量沉积。东部凹陷总体为北断南超箕状特征，断陷期隆洼相间构造格局已不明显，SQ I 时期，沉降中心主要位于 Kibea 洼陷和残余的 Kedeni 洼陷、南部洼陷。SQ II 时期，残余 Kedeni 洼陷消失，沉降中心主要位于 Kibea 洼陷。东南部缓坡带和中央低凸带区域形成大面积的斜坡带，成为来自东南部碎屑沉积物的主要卸载场所。东北部沿断层形成断槽，成为盆地长轴方向沉积物搬运通道(图 11-b, 11-c)。

地震剖面中的多种地震反射结构，如前积反射结构、沟道侵蚀和充填结构的识别，对物源研究和古水系恢复也具有重要意义（林孝先，2011）。在 Ximenia\_W 三维地震勘测区范围内，基底之上可



a—南乍得盆地布格重力异常图；b—Doseo 盆地东部坳陷 SQ I 时期古地貌；c—Doseo 盆地东部坳陷 SQ II 时期古地貌；  
d—Ximenia 北部陡坡带基底沟谷地震特征

图 11 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组物源方向分析

Fig. 11 Provenance direction analysis of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

识别出沉积物输送沟道和槽道，从过三维勘测区北部的任意测线上可以看出，存在 10 个充填地震相，其中⑦为正断裂形成的槽道，其余为基底古沟谷，沟谷规模较小，一般最大宽度为 0.5~1.5 km，这些沉积物输送渠道贯通了北部 Ximenia 陡坡带由北向南延伸的源汇体系(图 11-d)。同时，北部陡坡带三维区显示由北向南的楔状斜交前积反射(图 3-b)，中央低凸带三维区发育叠瓦状前积发散反射(图 3-c)，东北部可见双向上超充填反射(图 3-a)，这些地震反射结构均印证了古地貌所反映的物源方向。盆内岩石碎屑组分特征也表明，北部陡坡带岩性主要为近源快速沉积的长石砂岩，与北部撒哈拉元古界具有亲缘性，而 Kibea 洼陷岩性则主要为石英砂岩，反映了较长距离搬运的特征，已受到南部物源影响(陈全红等，2021)。

综合对布格重力异常、古地貌、地震前积反射结构的分析，认为研究区主要存在 4 个物源方向，即北部陡坡带方向、南部陡坡带方向、东南部缓坡带方向和东北部沿盆地长轴方向。

#### 4.2 沉积相展布特征

研究区 Kedeni 组可识别出叠瓦状前积相、隐性

前积相、楔状前积相、丘状相、透镜状相、楔状杂乱相、波状相和席状相等地震相类型，各地震相类型在不同体系域垂向上继承性发育(图 12)。楔状前积相、丘状相主要分布于北部陡坡带及南部陡坡带，代表靠近陡坡区的冲积扇和扇三角洲沉积。楔状杂乱相位于北部陡坡带西部，是靠近边界断层的近岸水下扇的地震响应。乱岗/波状相位于盆地边缘，代表三角洲平原沉积。叠瓦状前积相、隐性前积相主要位于东南部缓坡和中央低凸带，代表了正常三角洲前缘沉积，叠瓦状前积相反映三角洲内前缘，隐性前积相反映三角洲外前缘。发散充填相主要位于南部陡坡带和东北部区域，反映了辫状河三角洲前缘沉积。透镜状相主要分布于临近北部陡坡带的西部凹陷，代表了距离物源区相对较远的湖底扇沉积。席状相大面积展布，代表了该时期广泛发育的湖泊相沉积(图 13-a, 13-b, 13-c, 13-d)。

SQ I -LST+TST 沉积时期，研究区水体较浅并缓慢上升，同时物源供给相对充足，以三角洲—水下扇体系大面积展布为特征。北部扇三角洲可向前推进 5~10 km，单个扇三角洲朵体面积一般小于 50 km<sup>2</sup>，在 X-1、X-2 井区，扇三角洲面积最大，约为 60~80 km<sup>2</sup>。水下扇发育于西部 T-1 井区附

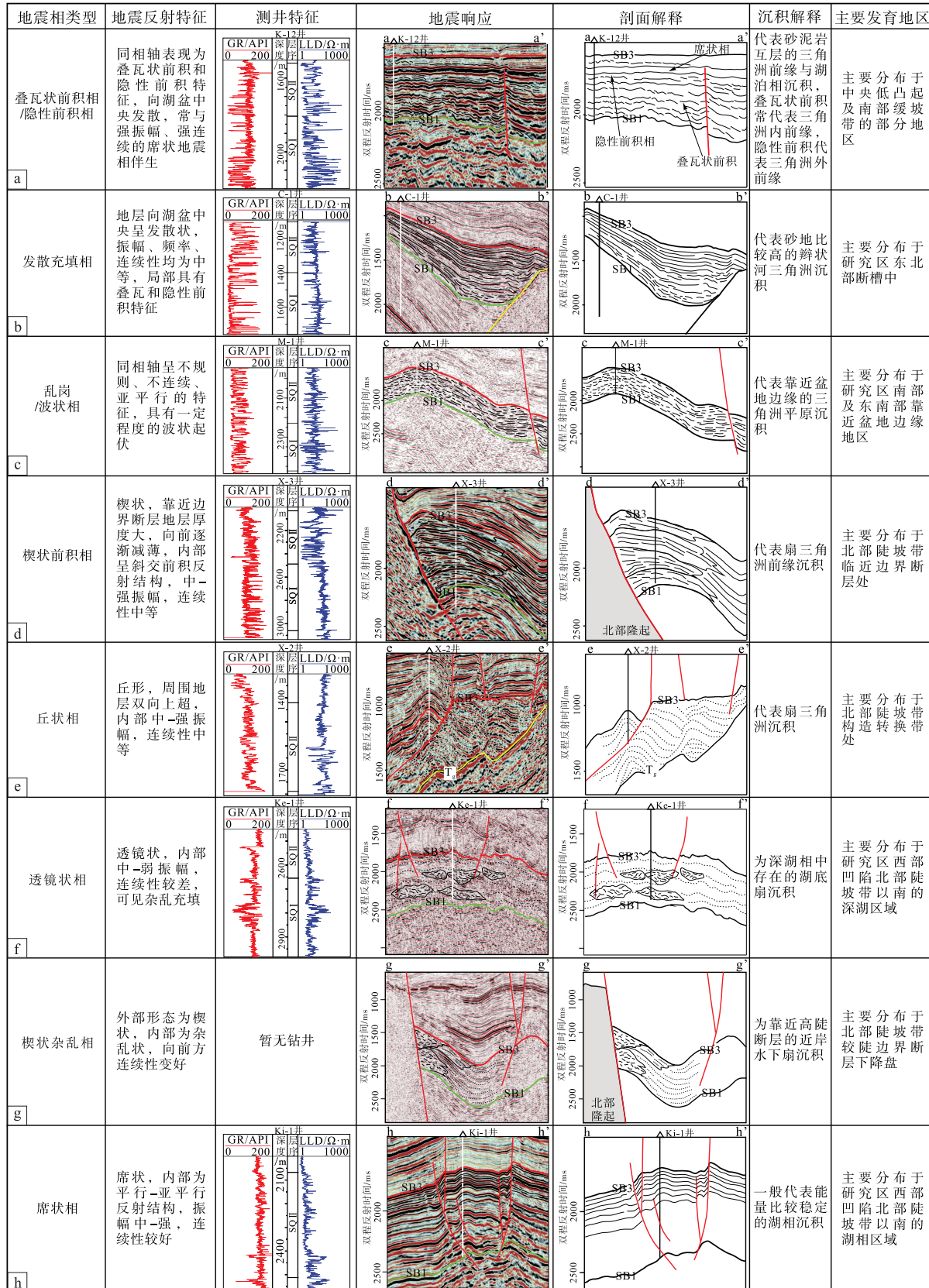


图 12 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组地震相图版 (剖面位置见图 13)

Fig. 12 Seismic facies chart of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin (section position shown in Fig. 13)

近。南部陡坡带发育冲积扇—河流平原—辫状河三角洲沉积体系，可推进至西部凹陷 S-1 井区。东南部缓坡带及中央低凸起发育正常三角洲，三角洲前缘延伸超过 60 km，形成大面积的三角洲前缘砂体，以内前缘水下分流河道砂体为主。内前缘前方为外前缘，水下分流河道砂体席状化，以席状砂和断续的水下分流河道沉积为主。研究区东北部盆地长轴方向发育辫状河三角洲，沿 F1 东段和 F2 断裂呈带状展布，可延伸约 70 km 至 Kb-2 井区。在

西部凹陷发育湖底扇沉积，物源来自南北陡坡带（图 7；图 13-e）。

SQ I -HST 沉积时期，研究区水体总体已处于高水位并缓慢下降，高位域三角洲—水下扇体系规模较小。表现为北部陡坡带不同扇体之间，被湖相泥岩分隔。东南部缓坡带及中央低凸起带三角洲前缘整体更靠近于盆地边缘，内前缘以分流河道为主的区域被外前缘所分隔。东北部长轴方向和南部的辫状河三角洲体系范围也较小（图 7；图 13-f）。

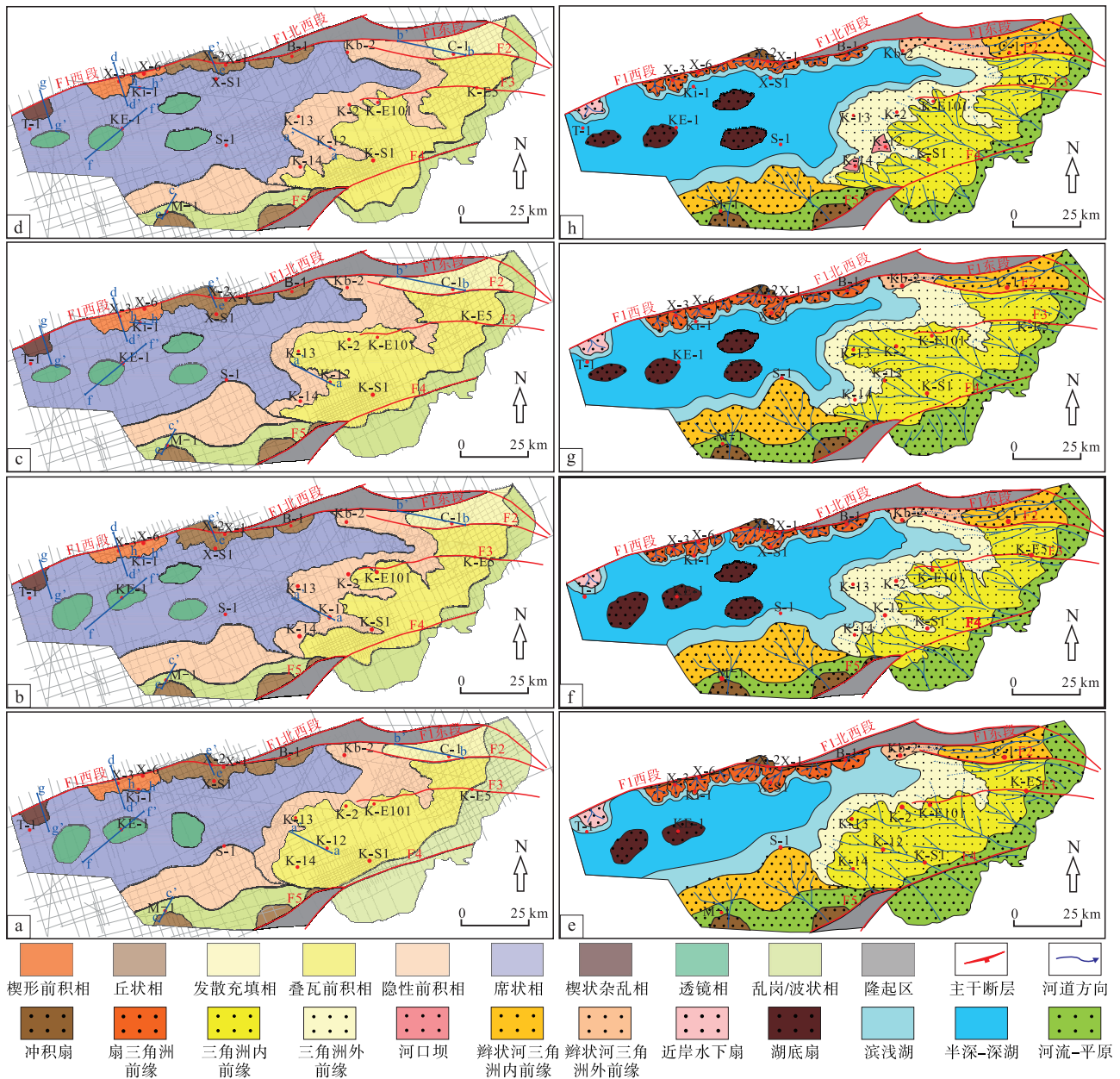


图 13 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组地震相与沉积相平面展布

Fig. 13 Plane distribution of seismic facies and sedimentary facies of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

SQII 沉积时期基本继承了 SQI 时期的沉积格局，在 SQII-LST+TST 时期，研究区水体再次上升，形成了 SQII 下部规模较大的三角洲—水下扇骨架砂体，SQII-HST 沉积时期，整体处于高水位时期，物源供给相对较少，北部陡坡带部分钻井（Ki-1 井、X-S1 井）整段均为湖相沉积，而中央低凸带大量钻井为三角洲外前缘亚相，反映的高位域三角洲—水下扇规模较小（图 7；图 13-g, 13-h）。

### 4.3 沉积模式

综合上述研究认为，Kedeni 组沉积时期，Doseo 盆地东部坳陷处于近东西向走滑—拉分应力背景下，内部可细分为 2 个湖进—湖退旋回，对应 SQ I 和 SQ II 层序。西部凹陷为研究区主体沉降中心，层序地层厚度大，东部凹陷的沉降中心则主要位于东北部 Kibea 洼陷。2 个凹陷沉积体系平面展布存在差异，且在垂向上继承性发育，在层序低位和湖侵体系域时期，水体相对较浅且逐渐加深，同时沉积物供应充足，形成层序下部规模较大的三角洲—水下扇骨架砂体。西部凹陷紧邻北部陡坡带 F1 断裂发育扇三角洲及近岸水下扇沉积，南部陡坡带 F5 北倾断裂形成多级断阶，发育冲积扇—河流平原—辫状河三角洲沉积体系，在三角洲前端深湖区发育湖底扇（图 14-a）。东部凹陷在东南部缓坡带和中央低凸带发育正常三角洲沉积，三角洲前缘面积大，又可分为以水下分流河道发育为主的内前缘和以席状砂发育为主的外前缘，总体表现为“小平原、大前缘”的特征。东北部 Celtis 断阶则发育长轴方向辫状河三角洲沉积（图 14-b）。在层序晚期高位体系域沉积期，湖盆水体处于相对高水位并缓慢变浅，沉积物供给较少，形成的高位域三角洲—水下扇沉积体系规模较小，湖泊相沉积相对发育。SQ I 层序的骨架砂体规模整体大于 SQ II 层序，且 SQ II 层序内部的最大湖泛面对应了 Doseo 盆地在断拗转换—拗陷阶段的最大湖泛时期，此时湖泊相沉积分布最广（图 7；图 14）。

## 5 讨论

### 5.1 北部陡坡带沉积相类型

受限于取心资料的不足，目前对于北部陡坡带发育扇三角洲沉积还是近岸水下扇沉积仍存在争议

（刘为付，2016；陈全红等，2021），2 类沉积相在沉积位置及地震剖面上具有相似性，通过钻井和地震相的研究认为，这 2 类沉积相在北部陡坡带均有发育，近岸水下扇扇体包络面反射振幅较强，其反射外形呈楔状，扇三角洲在地震反射上则一般具有前积特征，常为斜交前积，垂物源方向丘状特征明显（图 12-d, 12-e, 12-g）。在靠近北部陡坡带构造转换带位置（F1 西段和 F1 东段交汇处），断层断面较平缓，物源供给相对充足，发育扇三角洲；在北部陡坡带西侧，断层断面较陡，物源供给较少，发育近岸水下扇（图 13）。

### 5.2 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组沉积体系展布的控制因素探讨

陆相盆地层序发育及沉积充填受构造运动、气候变化、沉积物供给和湖平面升降等因素共同控制（朱筱敏等，2023）。首先，在物源方面，研究区主要受北部撒哈拉克拉通及南部刚果克拉通两大物源体系的影响（陈全红等，2021；饶勇等，2023），其中来自南部陡坡带、东南部缓坡带及东北部长轴方向的物源均属于南部物源，且占据主导地位，形成的沉积体系规模较大，向湖盆中央推进距离远。其次，沉积体系类型和砂体展布受构造活动的控制，F1 为控盆主剪切断层，在其下降盘形成大量可容空间，基底古沟谷供砂（沟谷规模小），紧邻断层发育近源快速堆积、面积较小的扇三角洲和近岸水下扇扇体。在 F1 西段和 F1 东段之间的构造转换带处（X-1、X-2 井区），物源相对充足，形成的三角洲扇体面积最大。东北部 F1 东段和 F2 持续活动，形成近东西向断阶，断阶低部位容易捕获水系而使东部沉积物沿长轴进入盆地，沿断阶发育相对独立的辫状河三角洲及正常三角洲。古地貌图显示，F3 断层以南的区域（中央低凸带和东南部缓坡带）整体构成缓坡背景，形成无坡折型层序地层格架，河湖交互区域较为宽广，水下分流河道可沿缓坡推进至盆地腹地，且湖平面波动频繁导致大规模水体进退迁移，从而在多口钻井显示水下分流河道砂体与暗色泥岩互层的典型特征。F4 断层在断陷期控制了南部凹陷的形成，在 Kedeni 组沉积时期活动性弱，南部物源可穿越断层，为缓坡带供源。南部陡坡带 F5 北倾断层倾角相对较小，形成多级断阶带，控制了冲积扇—河流平原—辫状河三角洲沉积体系。最后，气候变化

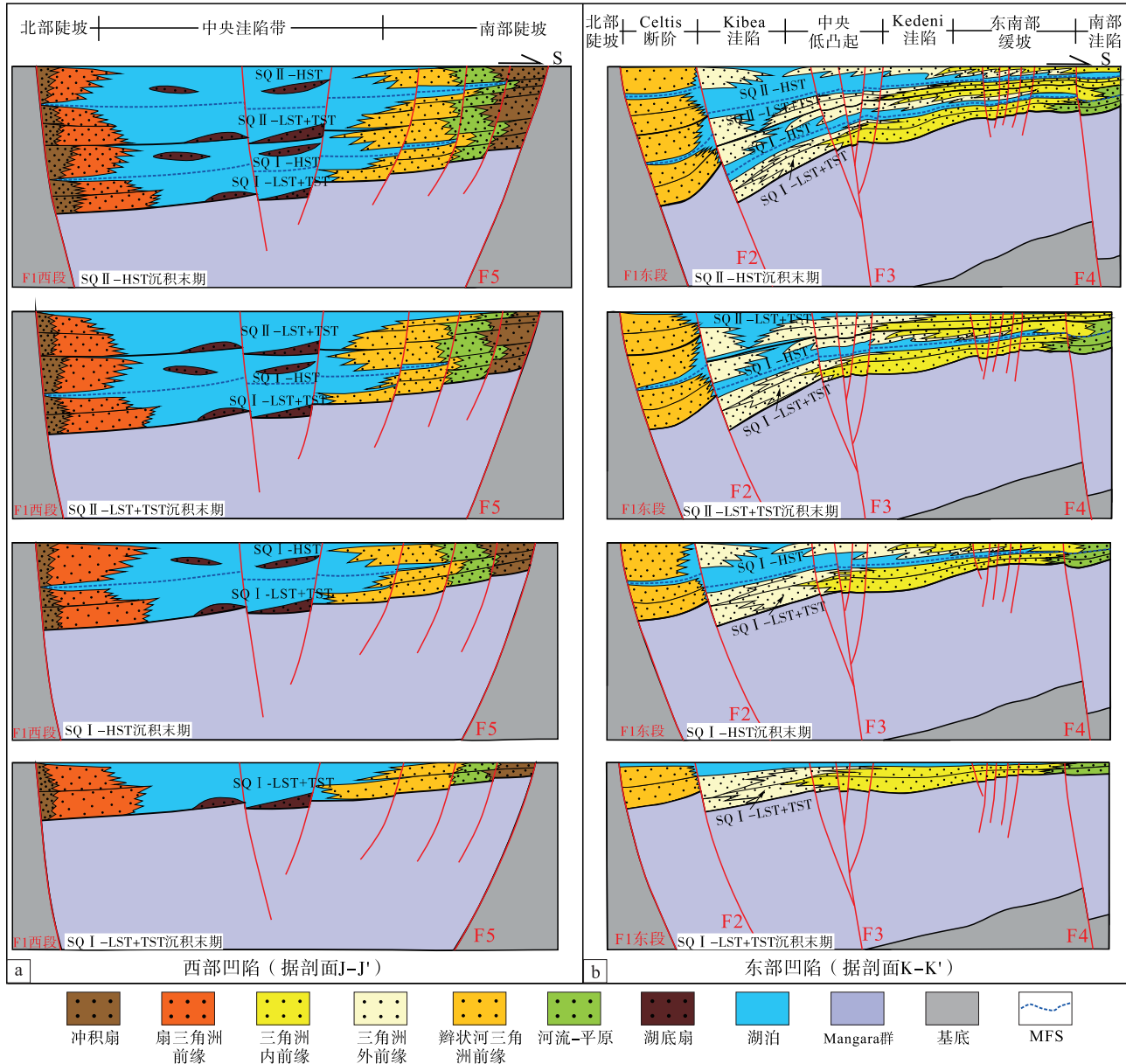


图 14 Doseo 盆地东部拗陷 Kedeni 组层序—沉积演化剖面

Fig. 14 Sequence-sedimentary evolution profile of the Kedeni Formation in Eastern Depression of Doseo Basin

也对层序发育和沉积体系展布产生影响，K-1，KE-101 这 2 口井的孢粉学研究表明，Doseo 盆地在晚阿普特期—早阿尔布期（大致对应于 SQ I 和 SQ II 分界面），气候变化明显，从相对干旱变为潮湿，这一变化受控于大西洋的打开，使得在晚阿普特期以来，南半球赤道区域形成了广泛稳定的湿润带（Dou *et al.*, 2023）。Kedeni 组内 2 次“湖进—湖退”的湖平面波动可能响应于该气候变化，控制了层序发育。同时前人研究表明，干旱条件下，易形成“大平原、小前缘”式浅水三角洲，湿润

条件下，易形成“小平原、大前缘”式浅水三角洲（朱筱敏等，2013）。Kedeni 组在湿润气候背景下，湖盆发生扩张，三角洲主体被湖盆水体淹没，从而易形成东南部缓坡带大面积展布的“小平原、大前缘”式正常浅水三角洲。

目前，Doseo 盆地还处于勘探早期阶段，在物源、构造及气候等方面，还有待开展更深入研究，如对于源—汇系统的定量研究、走滑伴生分支断裂对河道砂体的控制以及古环境变化的更精准判断等。

### 5.3 Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组有利储集层预测

北部陡坡带的近岸水下扇、扇三角洲前缘及缓坡带三角洲前缘砂体靠近烃源岩，成藏条件好，目前已发现多个油气藏，显示了良好的储集性能。位于研究区外围的 Maku 油气藏，主要储集层类型为近岸水下扇砂体，岩心分析孔隙度显示中高孔中渗储集层特征（饶勇等，2023）。北部陡坡（Ximenia 构造带）主要发育扇三角洲前缘砂体，垂向多期砂体叠置，砂体厚度可大于 40 m，储集层成分和结构成熟度较低，为中低孔中低渗储集层。东北部 Kibea 油藏以辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体为主要储集层，单砂体厚度为 2~20 m，岩心孔隙度显示为中低孔中渗储集层。东南部 Kapok 井区以正常三角洲前缘水下分流河道砂体为主要储集层，厚 3~10 m，多期河道砂体叠置厚度可超过 20 m，为中孔中高渗储集层。总体来看，沉积相控制了储集层厚度，扇三角洲前缘储集层厚度最大，正常三角洲前缘储集层厚度最小，而储集层质量则与之相反，正常三角洲前缘储集层质量最好，扇三角洲前缘储集层质量相对差。同时，位于西部凹陷的透镜状湖底扇位于深水沉积区，具有近源成藏优势，也是潜在的优质储集体。综上，北部陡坡带小规模扇三角洲前缘—近岸水下扇砂体、南部及东北部大范围正常三角洲前缘、辫状河三角洲前缘砂体及西部凹陷深湖区湖底扇砂体，可作为有利储集层的勘探目标。

## 6 结论

综合考虑 Doseo 盆地东部坳陷构造背景，对下白垩统 Kedeni 组进行层序划分，明确了沉积相类型及分布规律，形成以下主要结论和认识：

1) Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组可识别出 3 个层序界面，划分为 2 个三级层序（SQ I 和 SQ II），对应于 2 个“湖进—湖退”旋回。

2) Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组主要存在 4 个物源方向，沉积体系发育规模表明，来自南部刚果克拉通的南部陡坡带方向、东南部缓坡带方向和东北部盆地长轴方向物源为主，来自北部撒哈拉克拉通的北部陡坡带方向物源相对较少。

3) Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组主要发育 6

种沉积相类型，沉积相展布具有东西分异，垂向继承发育的特征，正常三角洲分布于东南部缓坡带及中央低凸带，辫状河三角洲主要分布于东北部长轴方向和南部陡坡带，扇三角洲和近岸水下扇发育于北部陡坡带边界断层下降盘，湖底扇主要分布于西部凹陷深湖区。纵向上，SQ I 层序的骨架砂体规模整体大于 SQ II 层序，且在每个三级层序内部，低位域和湖侵域组成的下部单元中三角洲—水下扇砂体更为发育。

4) Doseo 盆地东部坳陷 Kedeni 组层序与沉积演化主要受到主干断层的构造活动、“南多北少”的物源供给、“半干旱—湿润”气候的转变等因素控制。在层序—沉积模式指导下，认为北部陡坡带小规模扇三角洲—近岸水下扇砂体、南部及东北部大范围正常三角洲前缘、辫状河三角洲前缘砂体及西部凹陷深湖区湖底扇砂体，可作为区内有利储集层的勘探目标。

**致谢** 感谢中国石油勘探开发研究院非洲研究所提供了论文研究所需的地质资料，感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见。

### 参考文献 (References)

- 陈全红, 赵红岩, 李全, 张科, 阳怀忠, 陈经覃, 李克永, 郭家铭, 饶勇. 2021. 乍得 Doseo 盆地白垩纪沉积充填演化及对油气成藏的控制作用. 沉积学报, 41(3): 919-931. [Chen Q H, Zhao H Y, Li Q, Zhang K, Yang H Z, Chen J T, Li K Y, Guo J M, Rao Y. 2021. Cretaceous sedimentary filling evolution and its control on hydrocarbon accumulation in Doseo Basin, Chad. Acta Sedimentologica Sinica, 41(3): 919-931]
- 窦立荣, 潘校华, 田作基, 肖坤叶, 张志伟. 2006. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布: 兼与中国东部裂谷盆地对比分析. 石油勘探与开发, 33(3): 255-261. [Dou L R, Pan X H, Tian Z J, Xiao K Y, Zhang Z W. 2006. Hydrocarbon formation and distribution of rift basins in Sudan; a comparative analysis of them with rift basins in East China. Petroleum Exploration and Development, 33(3): 255-261]
- 窦立荣, 肖坤叶, 胡勇, 宋红日, 程顶胜, 杜业波. 2011. 乍得 Bongor 盆地石油地质特征及成藏模式. 石油学报, 32(3): 379-386. [Dou L R, Xiao K Y, Hu Y, Song H R, Cheng D S, Du Y B. 2011. Petroleum geology and a model of hydrocarbon accumulations in the Bongor Basin, the Republic of Chad. Acta Petrolei Sinica, 32(3): 379-386]
- 窦立荣, 肖坤叶, 杜业波, 王利, 张新顺, 程顶胜, 胡瑛. 2022. 乍得 Doseo 走滑反转盆地油气成藏特征和勘探发现. 石油勘探与开发, 49(2): 215-223. [Dou L R, Xiao K Y, Du Y B, Wang L,

- Zhang X S, Cheng D S, Hu Y. 2022. Exploration discovery and hydrocarbon accumulation characteristics of the Doseo strike-slip and inverted basin, Chad. *Petroleum Exploration and Development*, 49(2): 215-223]
- 高华华, 杜业波, 王林, 高思敏, 胡杰, 白建峰, 马洪, 王玉华, 张新顺, 刘浩. 2023. 乍得 Doseo 盆地东部构造特征、成因机制与盆地演化. *石油勘探与开发*, 50(5): 1003-1015. [Gao H H, Du Y B, Wang L, Gao S M, Hu J, Bai J F, Ma H, Wang Y H, Zhang X S, Liu H. 2023. Tectonic features, genetic mechanisms and basin evolution of the eastern Doseo Basin, Chad. *Petroleum Exploration and Development*, 50(5): 1003-1015]
- 何文渊, 王利, 汪望泉, 肖坤叶, 杜业波, 吴亚东, 马明福, 潘春孚. 2023. 中非走滑裂谷盆地群石油地质特征与勘探方向. *中国石油勘探*, 28(3): 90-99. [He W Y, Wang L, Wang W Q, Xiao K Y, Du Y B, Wu Y D, Ma M F, Pan C F. 2023. Petroleum geological characteristics and exploration orientation in strike-slip rift basin group in central Africa. *China Petroleum Exploration*, 28(3): 90-99]
- 孔令武, 张树林, 韩文明, 赵红岩, 赵佳奇, 喻英梅. 2019. 走滑一拉分盆地构造特征及盆地成因模式探讨: 以中非多赛奥盆地为例. *高校地质学报*, 25(5): 722-729. [Kong L W, Zhang S L, Han W M, Zhao H Y, Zhao J Q, Yu Y M. 2019. Discussion on the structural features and formation mechanism of strike-slip pull-apart basin: a case study in the Doseo Basin, Central Africa. *Geological Journal of China Universities*, 25(5): 722-729]
- 林孝先. 2011. 陆源碎屑岩盆地综合物源分析. 成都理工大学硕士学位论文. [Lin X X. 2011. A synthetic thought of provenance analysis in the terrigenous clastic rock basin. Masteral dissertation of Chengdu University of Technology]
- 刘为付. 2016. 乍得 Doseo 盆地白垩系层序地层与沉积体系. *中南大学学报(自然科学版)*, 47(6): 1981-1989. [Liu W F. 2016. Cretaceous sequence stratigraphy and depositional system in Doseo Basin, Chad. *Journal of Central South University(Science and Technology)*, 47(6): 1981-1989]
- 吕彩丽, 赵阳. 2018. 中非裂谷盆地构造演化差异性与构造动力学机制. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 40(6): 23-34. [LV C L, Zhao Y. 2018. Differences in tectonic evolution and mechanisms of tectonic dynamics of rift basins in Central Africa. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 40(6): 23-34]
- 饶勇, 程涛, 杨松岭, 赵红岩, 李全, 陈全红. 2023. 中非 Doseo 盆地油气地质条件及成藏控制因素分析. *地质与勘探*, 59(5): 1117-1127. [Rao Y, Cheng T, Yang S L, Zhao H Y, Li Q, Chen Q H. 2023. Hydrocarbon accumulation characteristics and controlling factors of the Doseo Basin in Central Africa. *Geology and Exploration*, 59(5): 1117-1127]
- 童晓光, 窦立荣, 田作基, 潘校华, 朱向东. 2004. 苏丹穆格莱特盆地的地质模式和成藏模式. *石油学报*, 25(1): 19-24. [Tong X G, Dou L R, Tian Z J, Pan X H, Zhu X D. 2004. Geological mode and hydrocarbon accumulation mode in Muglad passive rift basin of Sudan. *Acta Petrolei Sinica*, 25(1): 19-24]
- 徐杰, 姜在兴. 2019. 碎屑岩物源研究进展与展望. *古地理论*, 21(3): 379-396. [Xu J, Jiang Z X. 2019. Provenance analysis of clastic rocks: current research status and prospect. *Journal of Palaeogeography(Chinese Edition)*, 21(3): 379-396]
- 杨棵, 朱筱敏, 杨怀宇, 朱世发, 董艳蕾, 金磊, 申婷婷, 叶蕾. 2022. 古物源体系多方法表征: 以渤海湾盆地沾化渤南洼陷沙四下亚段为例. *沉积学报*, 40(6): 1542-1560. [Yang K, Zhu X M, Yang H Y, Zhu S F, Dong Y L, Jin L, Shen T T, Ye L. 2022. Multi method characterization of a paleo-provenance system: a case study from the lower 4th member of the Shahejie Formation from the Bonan Sag in Zhanhua Depression, Bohai Bay Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 40(6): 1542-1560]
- 张光亚, 余朝华, 陈忠民, 张荻荻, 温志新, 黄彤飞, 王彦奇, 刘小兵, 马锋, 赵健. 2018. 非洲地区盆地演化与油气分布. *地学前缘*, 25(2): 1-14. [Zhang G Y, Yu Z H, Chen Z M, Zhan D Q, Wen Z X, Huang T F, Wang Y Q, Liu X B, Ma F, Zhao J. 2018. Tectonic evolution and hydrocarbon distribution in African basins. *Earth Science Frontiers*, 25(2): 1-14]
- 张光亚, 黄彤飞, 刘计国, 余朝华, 赵岩, 刘爱香, 客伟利, 王彦奇. 2019. 非洲 Muglad 多旋回陆内被动裂谷盆地演化及其控油气作用. *岩石学报*, 35(4): 1194-1212. [Zhang G Y, Huang T F, Liu J G, Yu Z H, Zhao Y, Liu A X, Ke W L, Wang Y Q. 2019. Multi-cycle evolution of the intracontinental passive rift basins and its controlling on accumulation of oil & gas: taking Muglad Basin in Africa as an example. *Acta Petrologica Sinica*, 35(4): 1194-1212]
- 张光亚, 余朝华, 黄彤飞, 程顶胜, 陈忠民, 陈曦, 刘红, 宋成鹏. 2020. 非洲地区裂谷盆地类型及油气成藏特征. *中国石油勘探*, 25(4): 43-51. [Zhang G Y, Yu Z H, Huang T F, Chen D S, Chen Z M, Chen X, Liu H, Sun C P. 2020. Types and hydrocarbon accumulation characteristics of rift basins in Africa. *China Petroleum Exploration*, 25(4): 43-51]
- 张艺琼, 何登发, 童晓光. 2015. 中非剪切带含油气盆地成因机制与构造类型. *石油学报*, 36(10): 1234-1247. [Zhang Y Q, He D F, Tong X G. 2015. Genetic mechanisms and tectonic types of petroliferous basins in the Central Africa Shear Zone. *Acta Petrolei Sinica*, 36(10): 1234-1247]
- 周小蓉, 陈石, 张新顺, 丁宝通, 宋兴国, 潘楚琦, 彭梓俊. 2023. 南乍得盆地 Doseo 坳陷背形负花状构造成因分析. *现代地质*, 37(5): 1146-1154. [Zhou X R, Chen S, Zhang X S, Ding B T, Song X G, Pan C Q, Peng Z J. 2023. Genetic mechanism analysis of antiformal negative flower structure in Doseo Depression, south Chad Basin. *Geoscience*, 37(5): 1146-1154]
- 朱筱敏, 赵东娜, 曾洪流, 孙玉, 朱如凯, 黄薇, 朱世发. 2013. 松辽盆地齐家地区青山口组浅水三角洲沉积特征及其地震沉积学响应. *沉积学报*, 31(5): 889-897. [Zhu X M, Zhao D N, Zeng H L, Sun Y, Zhu R K, Huang W, Zhu S F. 2013. Sedimentary characteristics and seismic sedimentologic responses of shallow-water delta of Qingshankou Formation in Qijia area, Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 31(5): 889-897]

- 朱筱敏. 2020. 沉积岩石学(第五版).北京:石油工业出版社,314-430. [Zhu X M. 2020. Sedimentary Petrology(5th ed). Beijing: Petroleum Industry Press,314-430]
- 朱筱敏,王华,朱红涛,邵龙义,纪友亮. 2023. 陆相层序地层学研究进展及发展关注. 石油学报, 44(8): 1382-1398. [Zhu X M, Wang H, Zhu H T, Shao L Y, Ji Y L. 2023. Research progress and development focuses of continental sequence stratigraphy. Acta Petrolei Sinica, 44(8): 1382-1398]
- Dou L R, Zhang X S, Xiao K Y, Xi D P, Du Y B, Wang L, Hu J, Hu Y, Zheng Q Y. 2023. Early Cretaceous (Aptian to Albian) vegetation and climate change in Central Africa: novel palynological evidence from the Doseo Basin. Geological Journal: 1-27.
- Fairhead J D. 2020. Chapter 20-Regional tectonics and basin formation: the role of potential field studies-an application to the Mesozoic West and Central African Rift System. In: Scarsellin, Adam J, Chiarella D, et al. (eds). Regional Geology and Tectonics Volume 1: Principles of Geologic Analysis(2<sup>nd</sup> ed). Amsterdam: Elsevier, 541-556.
- Genik G J. 1993. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic. AAPG Bulletin, 77(8): 1405-1434.
- Guiraud R, Bosworth W, Thierry J, Delplanque A. 2005. Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: an overview. Journal of African Earth Sciences, 43(1-3): 83-143.
- Patterson P E, Skelly R L, Jones C R. 2012. Climatic controls on depositional setting and alluvial architecture, Doba Basin, Chad. In Baganz O W, Bartov Y, Bohacs K, Nummedal D (eds). Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems. AAPG Memoir, 95: 265-298.
- Wu D, Zhu X M, Su Y D, Li Y T, Li Z, Zhou Y Y, Zhang M Y. 2015. Tectono-sequence stratigraphic analysis of the lower cretaceous Abu Gabra formation in the fula sub-basin, Muglad Basin, southern Sudan. Marine and Petroleum Geology, 67: 286-306.
- Yassin M A, Hariri M M, Abdullatif O M, Abdullatif O M, Makkawi M, Bertotti G, Kaminski M A. 2018. Sedimentologic and reservoir characteristics under a tectono-sequence stratigraphic framework: a case study from the Early Cretaceous, upper Abu Gabra sandstones, Sufyan Sub-basin, Muglad Basin, Sudan. Journal of African Earth Sciences, 142: 22-43.
- Zhang X S, Xiao K Y, Wang J C, Wang L, Du Y B, Hu J, Hu Y, Wang Y F. 2021. Organic geochemical characteristics of Lower Cretaceous source rocks and crude oils in Doseo Depression of central African rift system. Journal of African Earth Sciences, 175: 104118.
- Zhang X S, Dou L R, Nie Z Q, Xiao K Y, Wang L, Du Y B, Chen S, Wang L, Zhou X R. 2023. Role of two-stage strike slip faulting in the tectonic evolution of the Doseo depression in the central Africa rift system. Frontiers in Earth Science, 11: 1087217.

(责任编辑 郑秀娟; 英文审校 陈吉涛)