

钟灵,贺锋,赵兴齐,等.柴达木盆地东部德令哈凹陷新近系沉积特征及沉积相模式[J].世界核地质科学,2025,42(1):13-28. doi:10.3969/j.issn.1672-0636.2025.01.002

ZHONG Ling, HE Feng, ZHAO Xingqi, et al. The sedimentary characteristics and facies model of the Neogene in the Delingha depression, eastern Qaidam basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2025, 42 (1): 13-28 (in Chinese).

## 柴达木盆地东部德令哈凹陷新近系沉积特征及沉积相模式

钟灵,贺锋,赵兴齐,李西得,蔡煜琦,田明明,王杰

- 1 铀资源探采与核遥感全国重点实验室,北京 100029
- 2 核工业北京地质研究院,北京 100029
- 3 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室,北京 100029

**摘要** 柴达木盆地东部德令哈凹陷是砂岩型铀矿勘探的潜在领域之一,以新近系狮子沟组和上油砂山组为主要研究对象,深入研究沉积相特征与演化,对于铀矿勘探具有一定的指导意义。通过野外露头、钻井岩心、测井分析对岩相组合和沉积建造开展详细观察,识别出区内主要发育冲积扇-辫状河三角洲-湖泊沉积相类型,其中辫状河三角洲平原分支河道和辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积具有一定规模和较好的连通性,为铀矿富集提供有利沉积环境。新的认识有助于了解柴东地区狮子沟组和上油砂山组砂体的时空展布,为下一步找矿勘探提供重要依据。

**关键词** 柴达木盆地;沉积相;沉积特征;新近系;砂岩型铀矿

中图分类号 P619.14 文献标志码 A 文章编号 1672-0636 (2025) 01-0013-16

## The sedimentary characteristics and facies model of the Neogene in the Delingha depression, eastern Qaidam basin

ZHONG Ling, HE Feng, ZHAO Xingqi, LI Xide, CAI Yuqi, TIAN Mingming, WANG Jie

- 1 National Key Laboratory of Uranium Resources Exploration-Mining and Nuclear Remote Sensing, Beijing 100029, China
- 2 Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China
- 3 CNNC key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology, Beijing 100029, China

**Abstract:** Delingha depression in the eastern Qaidam basin is believed a potential area for sandstone type

**基金项目:** 柴达木盆地砂岩型铀矿资源高效预测技术及应用研究(编号:地H2301-1)、柴达木盆地中部断隆带铀成矿环境调查与远景评价(编号:202419-5)

**收稿日期:** 2024-12-03 **改回日期:** 2024-12-26

**第一作者:** 钟灵,女,1995年生,工程师,博士,主要从事砂岩型铀矿地质研究和找矿工作。E-mail: zhongling0991@163.com  
**通信作者:** 贺锋,男,1984年生,正高级工程师,博士,主要从事砂岩型铀矿地质研究和找矿工作。E-mail: hefeng9818@126.com

Supported by high-efficiency prediction technology and application of sandstone uranium resources in Qaidam basin (No. 地 H2301-1) and metallogenic environment investigation and prospective for uranium deposit in the central fault uplift zone of the Qaidam basin (No. 202419-5).

**Received date:** 2024-12-03 **revised date:** 2024-12-26

**First author:** ZHONG Ling, female, born in 1995, engineer, PhD, focusing on geological research and prospecting of sandstone type uranium deposits. Email: zhongling0991@163.com

**Corresponding author:** HE Feng, male, born in 1984, senior engineer, PhD, focusing on geological research and prospecting of sandstone type uranium deposits. E-mail: hefeng9818@126.com

uranium deposit in the target stata of the Neogene Shizigou formation and the Shangyoushashan formation. The in-depth investigation on the sedimentary facies characteristics and evolution of strata will provide valuable guidance for uranium exploration. Detailed observations of lithofacies assemblages and sedimentary formation in field outcrops, drilling cores, and well logging analyses have identified that the alluvial fan-braided river delta-lake are the dominant sedimentary facies type in the study area. Among these, the distributary channels in the braided river delta plain and subaqueous distributary channels in the braided river delta front are well-developed with significant scale and good connectivity, providing a favorable sedimentary environment for uranium enrichment. This new understanding has contributed to the knowledge of the spatial and temporal distribution of sand bodies in the Shizigou formation and the Shangyoushashan formations in the eastern Qaidam basin, and provided key information in guiding the future prospecting and exploration.

**Keywords:** Qaidam basin; sedimentary facies; sedimentary characteristics; Neogene; sandstone-type uranium deposit

柴达木盆地是青藏高原最大的中、新生代沉积盆地,蕴藏着丰富的石油、天然气、煤、钾盐以及铀矿等多种能源矿产<sup>[1-7]</sup>。前人对柴达木盆地区域构造演化<sup>[1, 8-10]</sup>、沉积特征<sup>[11-13]</sup>和铀成矿条件<sup>[14, 15]</sup>等相关领域已经开展大量研究工作。近年来,在中国核工业倡导的新类型、新层位、新区段“三新”铀矿找矿工作思路的背景下<sup>[16]</sup>,柴达木盆地北缘冷湖、西北缘七个泉、跃进等地区取得一定的找矿成果<sup>[11-14]</sup>。研究表明柴达木盆地北缘冷湖地区古近系下干柴沟组主要发育辫状河三角洲前缘沉积体系<sup>[17]</sup>;柴达木盆地西缘芒崖碱水泉附近新近系地层发育扇三角洲沉积体系,铀矿化位于扇三角洲平原分流通河道砂体<sup>[18]</sup>;柴达木盆地西北部英雄岭构造带新生代发育冲积扇、扇三角洲平原、扇三角洲前缘、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘、滨浅湖和半深湖沉积体系<sup>[19]</sup>。然而,前人开展的大量研究工作主要位于柴达木盆地西缘、北缘、西北缘<sup>[20-24]</sup>,相比之下柴达木盆地东部的沉积特征以及沉积相等基础地质研究具有明显不足。

因此,笔者通过岩心描述、沉积相和测井相等分析,结合区域沉积背景,旨在对柴达木盆地研究工作相对薄弱的东部德令哈凹陷新近系狮子沟组和上油砂山组开展详细的沉积学研究,探讨研究区新生代沉积相空间展布特征,从而建立沉积相模式,并探讨沉积体系与铀成矿的关系,以期柴达木盆地铀矿勘探工作奠定地质基础。

## 1 地质概况

柴达木盆地位于中国青海省西北部,北部以祁连山冲断带为界,南部以东昆仑造山带为界,西部以阿尔金断裂带为界,盆地东西长约 800 km,南北宽约 300 km,盆地整体面积约 240 000 km<sup>2</sup>,盆地整体呈西窄东宽的菱形高原山间盆地<sup>[2, 25]</sup>。柴达木盆地处于青藏高原东北部,属于古亚洲构造域和特提斯构造域的结合部位,位于冈底斯板块、扬子板块、哈萨克斯坦板块、印度板块以及西伯利亚板块之间,属于塔里木-中朝板块的一部分<sup>[26]</sup>。盆地根据深大断裂可以划分为柴北缘拗陷、西部拗陷和三湖拗陷 3 个一级构造单元以及 12 个二级构造单元<sup>[27-29]</sup>,其中柴北缘拗陷自东向西包括德令哈凹陷、马海大红沟凸起、鱼卡大柴旦凹陷和赛昆凹陷;西部拗陷包括一里坪凹陷、大风山凸起、芒崖凹陷、尕斯凹陷和昆北断阶;三湖拗陷包含三湖北斜坡、三湖中央凹陷和三湖南斜坡(图 1a)。研究区位于柴北缘拗陷二级构造单元德令哈凹陷,位于宗务隆山和埃姆尼克山之间,根据断裂以及局部构造圈闭自北向南依次划分次级构造单元为德令哈凹陷、欧龙布鲁克山隆起、欧南凹陷、埃姆尼克山隆起以及霍布逊凹陷,形成沿 NW—NWW 向展布“三凹夹两隆”的构造格局。

盆地基底是由元古界变质-结晶基底和古生界褶皱基底构成的双层式结构,沉积盖层主要为中、新生代巨厚的陆相碎屑沉积<sup>[27, 31]</sup>。研

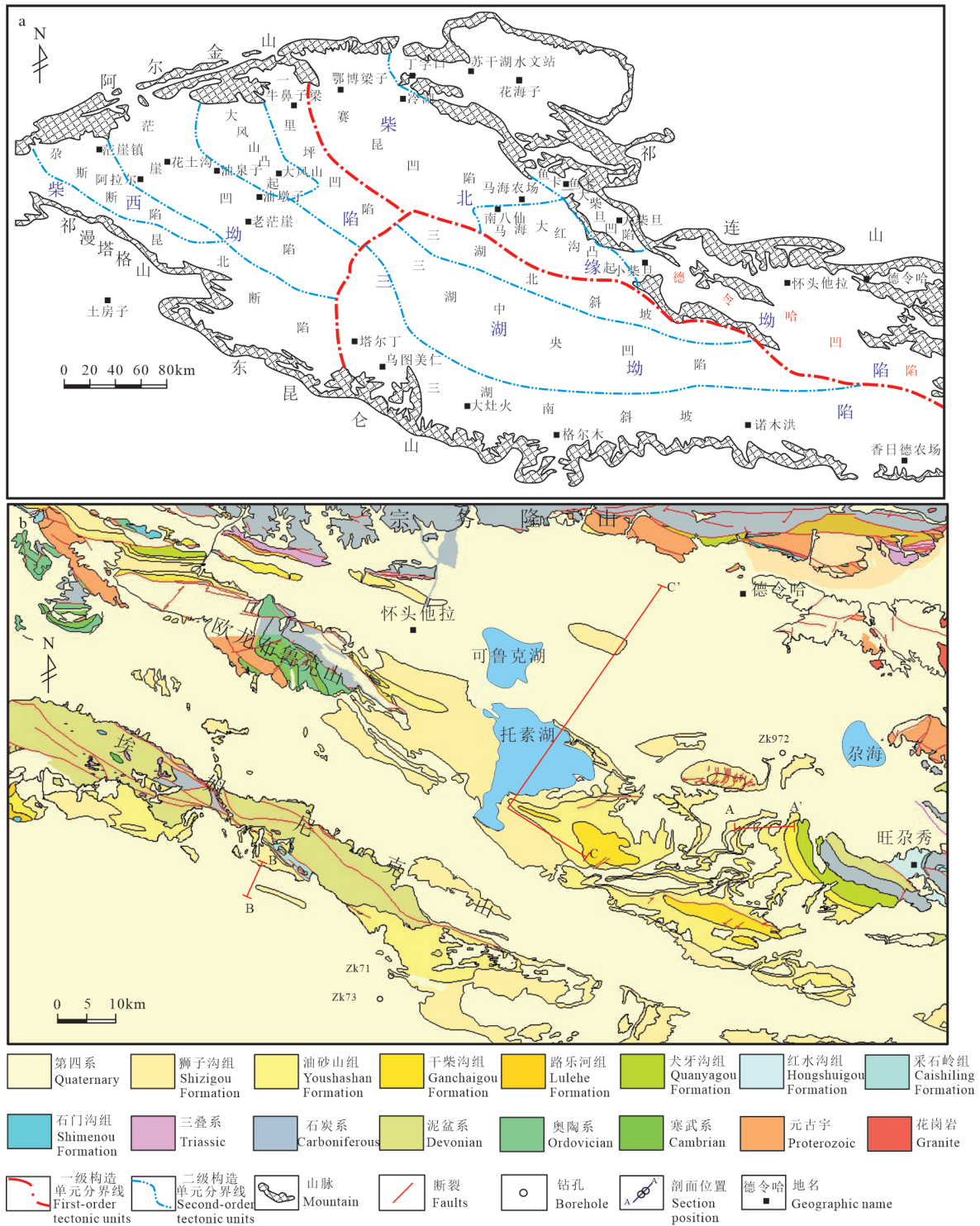


图 1 柴达木盆地构造单元分区图(a)<sup>[30]</sup>; 德令哈地区地质简图(b)

Fig. 1 Division of structural unit in Qaidam basin (a)<sup>[30]</sup>; the study area in Delingha area (b)

究区基底为古元古代、中新元古代、古生代变质岩系和部分古生代岩浆岩系<sup>[32, 33]</sup>。柴达木盆地整体新生代地层分布广泛(图 1b), 依据岩性地层自上而下发育有第四系七个泉组(Q<sub>1-2q</sub>), 新近系狮子沟组(N<sub>2s</sub>)、上油砂山组(N<sub>2y2</sub>)、下油砂山组(N<sub>2y1</sub>)和上干柴沟组

(N<sub>1g</sub>), 古近系下干柴沟组(E<sub>3g</sub>)及路乐河组(E<sub>1-2l</sub>)等<sup>[8]</sup>。柴东地区沉积盖层主要包含第四系七个泉组(Q<sub>1-2q</sub>)、新近系狮子沟组(N<sub>2s</sub>)、上油砂山组(N<sub>2y2</sub>)以及下油砂山组(N<sub>2y1</sub>)。

研究区新近系主要含矿地层为上油砂山组(N<sub>2y2</sub>)和狮子沟组(N<sub>2s</sub>), 其中上油砂山组

(N<sub>2</sub>y<sub>2</sub>) 主要为一套黄色、灰绿色含砾粗砂岩、粗砂岩与粉砂岩、泥岩互层,该组厚度介于 354~1 787 m 之间,与下伏层位呈平行不整合接触,局部呈微角度不整合(图 2);狮子沟组

(N<sub>2</sub>s) 为一套干旱古气候条件下形成的红色、黄色、灰绿色和灰色含砾粗砂岩、粗砂岩、中砂岩、粉砂质泥岩和泥岩,该组厚度介于 372~2 002 m 之间。

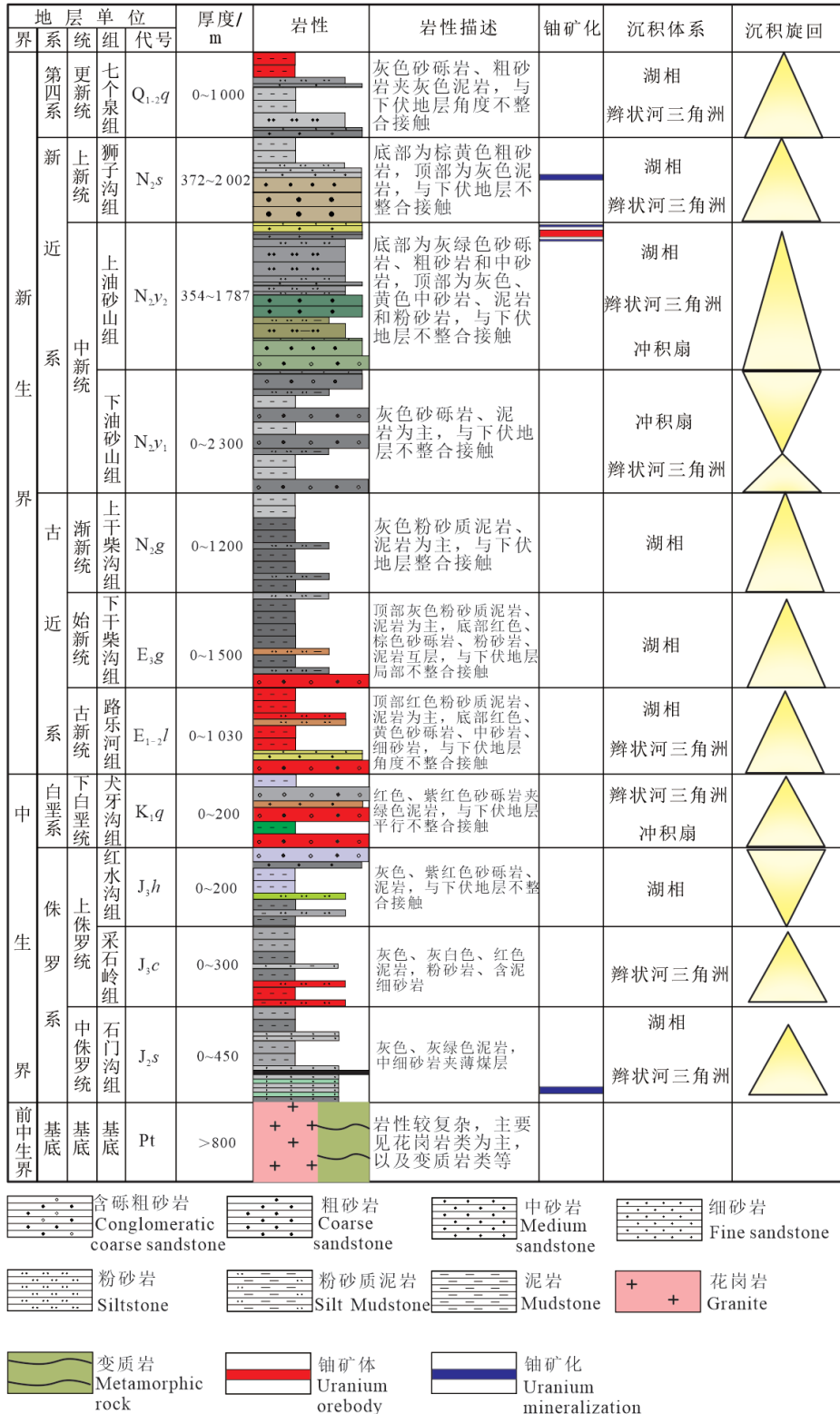


图 2 研究区综合地层柱状图

Fig. 2 Comprehensive strata column in the study area

## 2 岩相及岩相组合特征

岩相可以反映一定沉积环境中形成的岩石或岩石组合,岩相组合在垂向上反映不同微相的沉积环境<sup>[34]</sup>。笔者通过对野外岩心的观察,沿用学者 Miall 提出的分类方法<sup>[35]</sup>结合柴达木盆地东部上油砂山组和狮子沟组沉积特征将岩相划分出以下几种类型:1)槽状交错层理砾岩相(Gt)岩性主要为中、细粒的砂砾岩,砂质含量较多,发育槽状交错层理,整体上呈正粒序排列,纹层与层系界面斜交,常见于冲积扇、辫状河三角洲平原分支河道,反映河道冲刷、下切及充填沉积;2)板状交错层理砾岩相(Gp)岩性主要为细粒砂砾岩、含细砾粗砂岩,砾石次圆状-圆状,发育板状交错层理,整体上呈多期下粗上细的正粒序沉积特征,常见于顺流加积形成的辫状河三角洲前缘水下分流河道或河口坝沉积体系;3)块状层理砂岩相(Sm)岩性主要为粗-细砂岩,见少量细砾岩,分选差-中等,常见于较高能的分流河道中、下部沉积环境,如辫状河三角洲平原分支河道和辫状河三角洲平原分支河道间沉积环境等;4)槽状层理砂岩相(St)岩性主要为粗-细砂岩,分选较好,发育槽状交错层理,纹层与层系界面斜交,是高能水流条件下河道下切并且快速充填的产物,通常反映水流方向的变化,常见于研究区辫状河三角洲平原分支河道或辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积环境;5)板状交错层理砂岩相(Sp)岩性主要为中、细砂岩,发育板状交错层理,是较高能水体条件下河道发生侧向迁移、加积的产物,常见于河口坝或远沙坝沉积环境;6)平行层理粉砂岩相(Sh)岩性主要为细砂岩和粉砂岩,发育平行层理,反映水动力较强的分流河道沉积环境,常见于辫状河三角洲平原分支河道等沉积环境;7)块状层理泥岩相(M)岩性主要为泥岩、粉砂质泥岩和粉砂岩,夹炭屑、植物碎屑,呈块状或者层状,见水平层理,表现为低能静水条件下的悬浮细粒沉积环境,常见于研究区辫状河三角洲平原分支河道间、辫状河三角洲前缘水下分流河道间和滨浅湖沉积环境。

根据岩心的精确描述与沉积成因分析,研

究区主要发育6种典型的垂向序列类型,详细描述如下:

1) 岩相组合 a(Gt+St+Sm+Sh)主要为槽状交错层理砾岩相(Gt)、槽状层理砂岩相(St)、块状层理砂岩相(Sm)和平行层理粉砂岩相(Sh)组合,一般对应辫状河三角洲平原分支河道沉积,岩性以粗砂岩、含砾粗砂岩为主,偶夹粉砂岩,垂向上呈明显的正粒序沉积特征(图3a),视电阻率曲线上表现为低幅度的齿状。

2) 岩相组合 b(Sm+Sh+M)主要为块状层理砂岩相(Sm)、平行层理粉砂岩相(Sh)和块状层理泥岩相(M)组合,对应辫状河三角洲平原分支河道间沉积环境,岩性以中、细砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩为主(图3b),视电阻率曲线呈较为平直的光滑微齿状。

3) 岩相组合 c(St+Sh)主要为槽状层理砂岩相(St)和平行层理粉砂岩相(Sh)组合,对应辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积体系,岩性以粗砂岩、中砂岩以及粉砂岩为主,砂岩的分选性和成层性较好,垂向上表现为明显的正粒序沉积特征(图3c),视电阻率曲线上表现为高幅度的微齿状箱型或钟型,箱型曲线反映水动力条件较强,快速沉积阶段,钟型测井曲线则反映河道侧向运移的正韵律。

4) 岩相组合 d(Sh+M)平行层理粉砂岩相(Sh)和块状层理泥岩相(M)组合,对应辫状河三角洲前缘水下分流间湾沉积,岩性主要以粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩细粒沉积为主(图3d),砂岩的分选性较好,视电阻率曲线上表现为低幅度的微齿状。

5) 岩相组合 e(M+Sh+Sp+Gp)主要为块状层理泥岩相(M)、平行层理粉砂岩相(Sh)、板状交错层理砂岩相(Sp)和板状交错层理砾岩相(Gp),对应河口坝或远沙坝沉积,岩性主要以泥岩、粉砂岩和砂岩的逆粒序沉积为主,部分岩相组合顶部具有细砾岩沉积(图3e)。该套岩相组合与下伏辫状河三角洲前缘沉积物整合接触,砂岩分选性较好,视电阻率曲线上表现为低幅度的漏斗状。

6) 岩相组合 f(M+Sm)主要为块状层理泥岩相(M)和块状层理砂岩相(Sm)组合(图3f),表现为滨浅湖沉积体系,岩性主要以泥岩、粉

砂质泥岩为主,夹薄层粉砂岩,视电阻率曲线上表现为中低幅度不规则齿状。

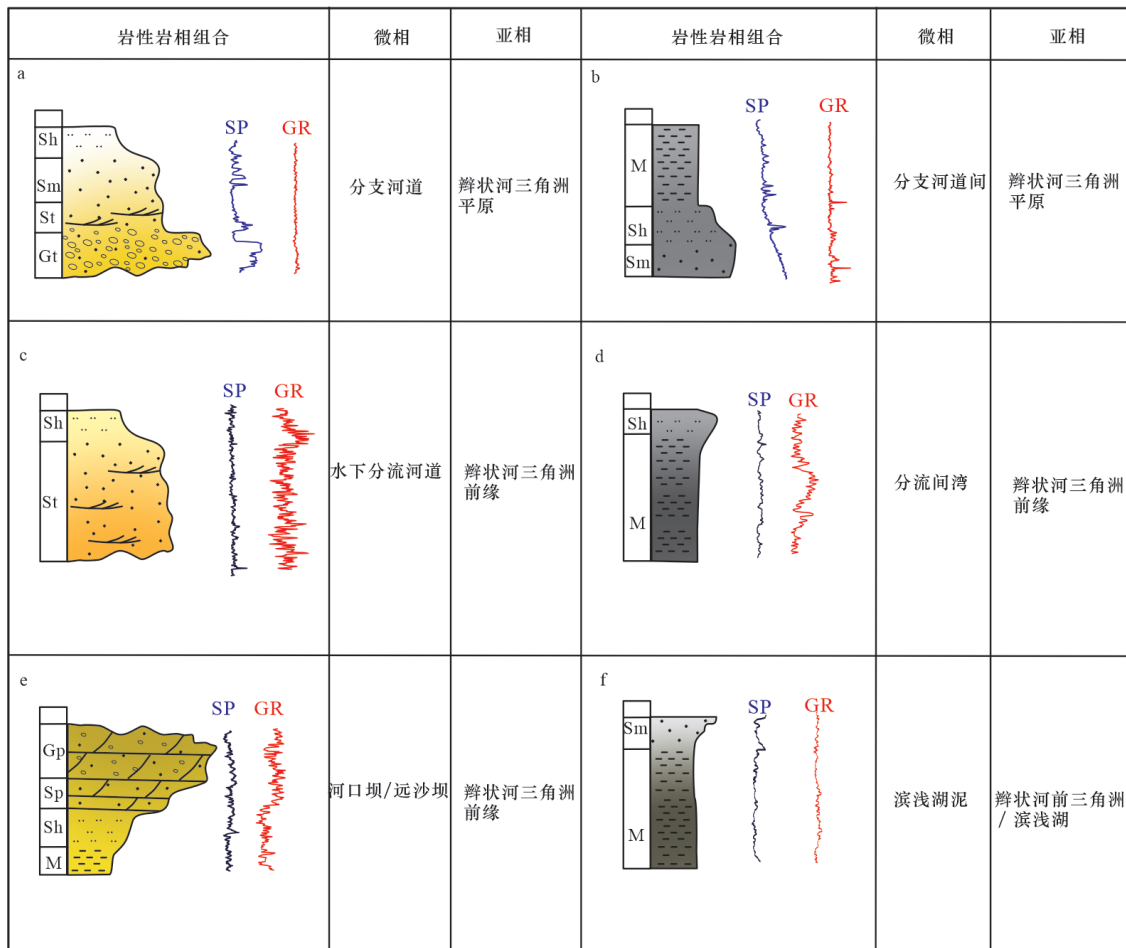


图 3 研究区油砂山组和狮子沟组典型岩相组合沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of lithofacies association of Youshashan formation and Shizigou formation in study area

### 3 沉积特征及展布

通过识别和划分上述岩相及岩相组合,结合区域沉积背景对研究区多口井的岩心观察和钻井资料分析,选取平面上分布均匀、层位较全的埃姆尼克山隆起南部(埃南地区)、埃姆尼克山隆起东部(埃东地区)、德科地区以及旺尔秀地区具有代表性的单井和连井剖面(平面位置见图 1b),开展详细的综合地层对比分析。

#### 3.1 单井相特征

ZK73 单井位于埃东地区的一个铀矿化异常取心井,钻井总深度约 800 m,主要发育上油砂山组和狮子沟组地层,其中上油砂山组整体岩性为以黄色为主的粉砂质泥岩、泥岩与薄层的中砂岩和细砂岩互层,主要发育辫状河三角洲平原的分支河道间沉积微相,沉积晚期见分

支河道微相,并且砂体在分支河道间与分支河道相变位置表现出铀异常特征(图 4);狮子沟组下段为一套黄色、灰绿色泥岩夹粉砂质泥岩和细砂岩,发育辫状河三角洲平原的分支河道间沉积微相,上段岩性为灰绿色、灰色中砂岩、粉砂岩夹泥岩,分选性较好,磨圆度相对较高,见水平层理,发育辫状河三角洲前缘亚相,包含水下分流河道、水下分流间湾以及河口坝三种沉积微相。

ZK972 单井位于研究区东部德科地区,在狮子沟组中可见铀矿化,岩性主要为灰色、黄色和灰绿色为主的砂砾岩、粗砂岩与灰绿色泥岩,铀矿化砂体中常见钙质胶结和植物碎屑(图 5)。该单井识别出 2 个三级层序,其中包含 7 个四级层序,垂向上整体表现为下粗上细的正旋回沉积组合,主要发育辫状河三角洲平原亚相,其中

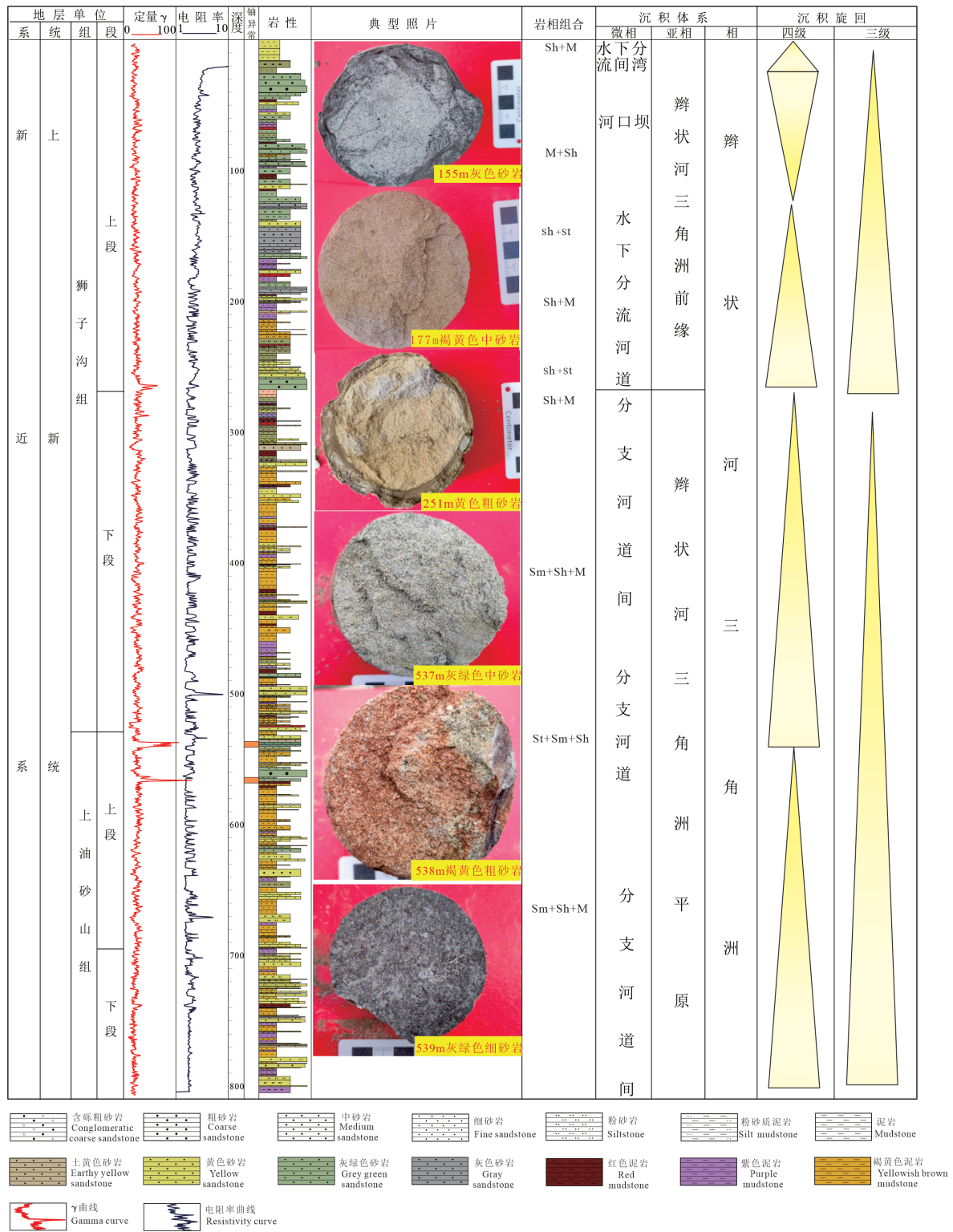


图 4 ZK73 综合岩性岩相柱状图

Fig. 4 Comprehensive lithological column of ZK73

包含分流河道和分流河道间两种沉积微相。铀矿化主要位于狮子沟组黄色砂体与灰色砂体的接触带上,部分灰色砂体可能经历了油气还原褪色改造作用,表明狮子沟组沉积地层沉积背景为辫状河三角洲平原分流河道沉积。

### 3.2 连井沉积相对比

在单井相分析的基础上笔者开展了连井剖面分析,研究区 ZK82 井、ZK81 井、ZK83 井 A-A' 连井剖面分布在研究区东部旺尕秀地区,呈近 EW 向展布,地层具有“西厚东薄”的特点,

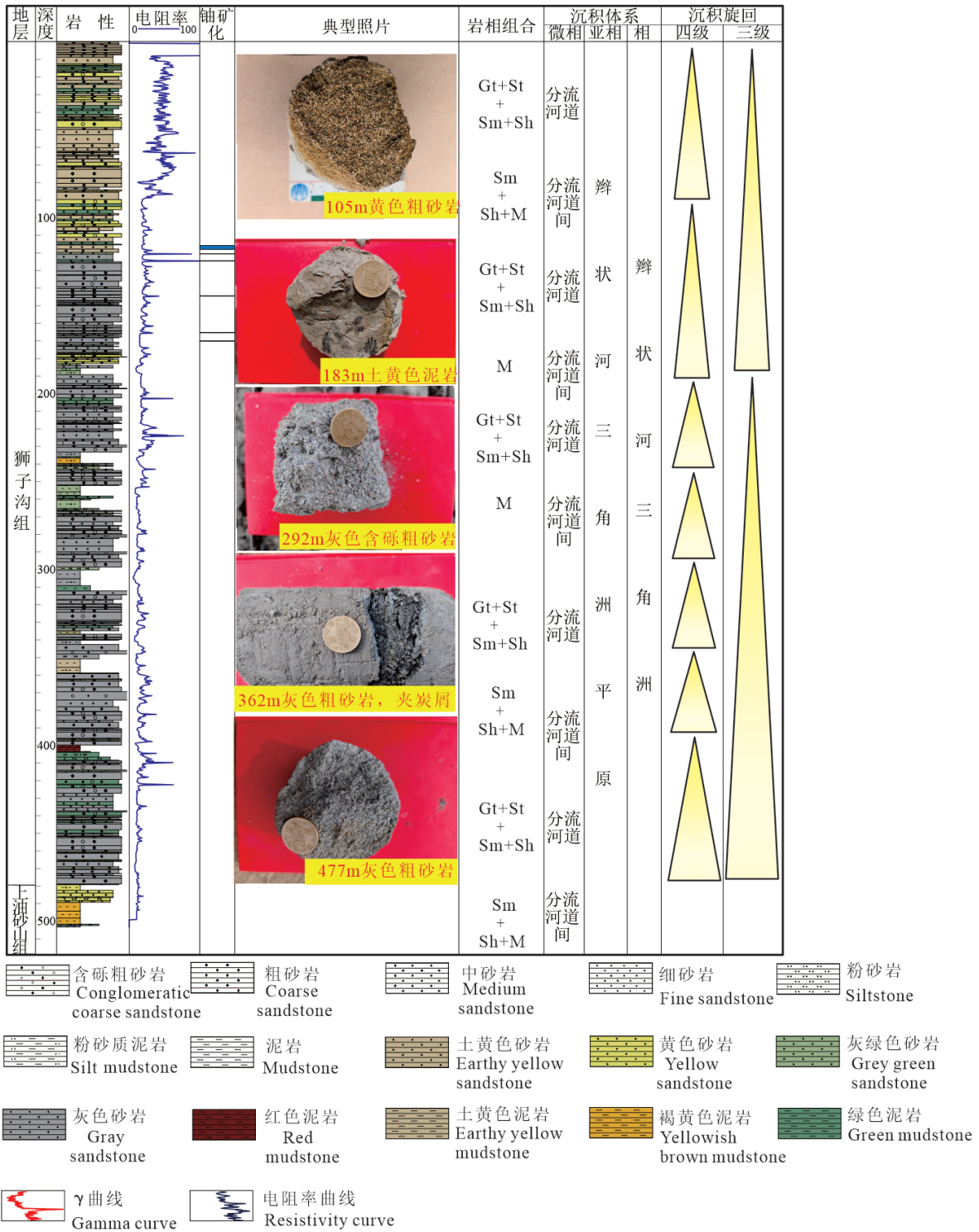


图 5 ZK972 综合岩性岩相柱状图  
Fig. 5 Comprehensive lithological column of ZK972

并且在西部 ZK82 井处沉积厚度可达到最深 500 m 左右, ZK83 井沉积厚度较薄, 沉积厚度约 200 m (图 6)。

在近 EW 向 A-A' 剖面中, 上油砂山组下段沉积时期整体发育辫状河三角洲前缘沉积环境, 上油砂山组上段早期沉积一套厚度约 10 m

的深灰色泥岩, 以滨浅湖沉积环境为主, 表明上油砂山组下段至上油砂山组上段早期沉积阶段, 砂体沉积环境由辫状河三角洲前缘向滨浅湖转变, 旺尕秀地区水体环境由浅到深转变, 湖面范围增大。上油砂山组上段中晚期沉积环境由滨浅湖亚相转变为辫状河三角洲前

缘亚相, 识别出辫状河三角洲前缘水下分流河道、水下分流间湾沉积微相。上油砂山组上段砂体整体沉积粒度由细变粗, 表明研究区水动力条件逐渐变强, 辫状河三角洲前缘水下分流河道与分流间湾在垂向上交替沉积。砂体横

向上也具有较好的连通性, 工业铀矿段、铀矿化和铀异常见于上油砂山组辫状河三角洲前缘水下分流河道沉积环境, 含矿砂体可能经历了后期的构造抬升作用, 上覆狮子沟组地层被剥蚀殆尽。

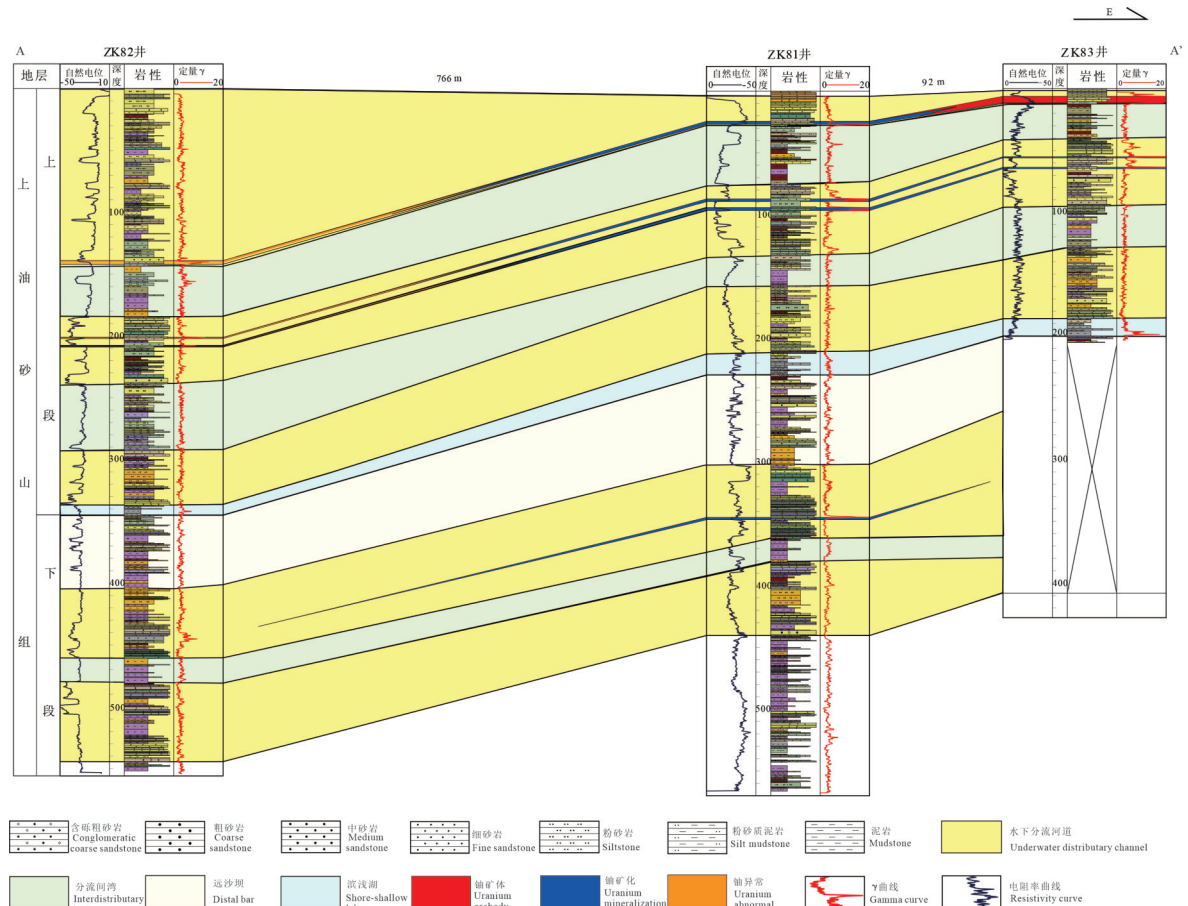


图 6 研究区东西向沉积相对比剖面图(东侧 A-A', 剖面位置见图 1b)

Fig. 6 East-west sedimentary contrast profile in study area (east side A-A', see Fig.1b for position of profile line)

研究区 ZK93 井、ZK92 井和 ZK94 井 B-B' 连井剖面分布在研究区南部埃南地区, 呈 NE-SW 向展布(图 7)。上油砂山组地层厚度在 300 m 左右, 狮子沟组地层厚度约 200 m 左右, 该剖面揭示砂体整体发育河控三角洲沉积体系的辫状河三角洲平原分支河道和分支河道间沉积环境。

上油砂山组沉积时期, B-B' 连井剖面一带主要发育分支河道沉积微相, 以粗砂岩、中砂岩为主, 偶夹薄层粉砂岩、泥岩、泥质粉砂岩的分支河道间沉积, 砂体具有较好的连通性, 整体呈下粗上细的正粒序沉积特征。狮子沟组沉积时期, ZK92 井主要发育辫状河三角洲平原

分支河道间沉积微相, 岩性以紫红色、红色泥岩和粉砂岩为主, 无明显韵律, 夹黄色粗砂岩和中砂岩为主的分支河道沉积微相, ZK93 井主要以黄色粗砂岩为主, 发育辫状河三角洲平原分支河道微相, 河道砂体厚度较大可达 280 m 左右。垂向上, 该剖面河道砂体的沉积厚度由北向南逐渐增大, 表明上油砂山组和狮子沟组砂体水动力条件逐渐增强; 横向上, 砂体沉积特征表明北部 ZK94 井在上油砂山组沉积后可能经历后期构造抬升作用, 上覆狮子沟组地层被剥蚀, 仅保留 ZK92 井和 ZK93 井狮子沟组地层, 并且由北向南水动力条件增强。

为了进一步揭示柴达木盆地东部地区沉

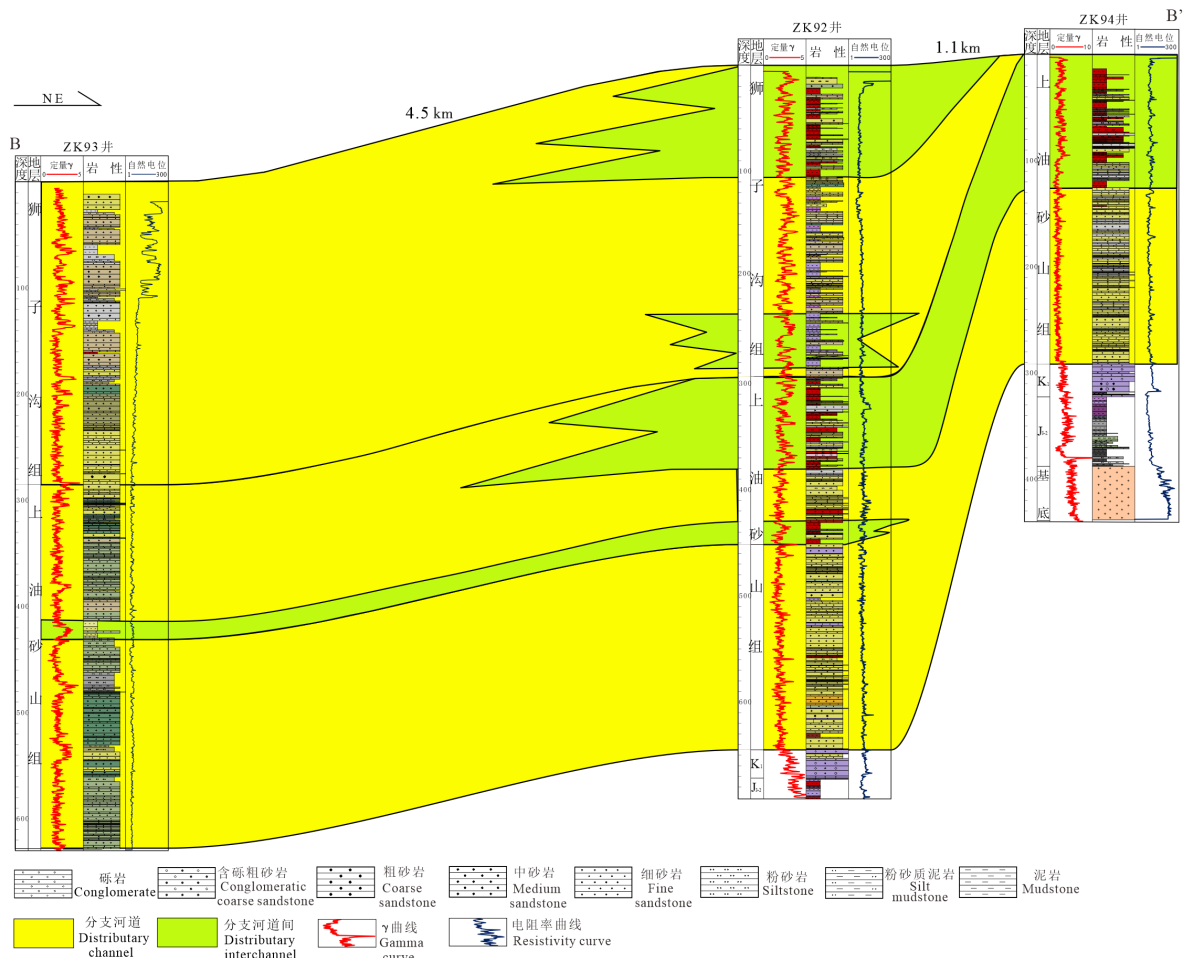


图7 研究区SN向沉积相对比剖面图(南侧 B-B', 剖面位置见图 1b)

Fig.7 South-north sedimentary contrast profile in study area (south side B-B', see Fig.1b for position of profile line)

积体系的横向展布规律,选取一条呈 NE-SW 向展布的 ZKQD-2 井、ZKQD-1 井和 ZKQY-1 井的 C-C' 连井剖面(图 8)。该剖面反映上油砂山组时期,由北向南发育冲积扇-辫状河三角洲-滨浅湖沉积体系,ZKQY-1 井主要发育冲积扇沉积体系,岩性以厚层砾岩为主,夹薄层含砾粗砂岩、粉砂岩和泥岩;ZKQD-1 井发育辫状河三角洲平原亚相,其中包含分支河道与分支河道间沉积微相,分支河道砂体的岩性主要以粗砂岩为主,分支河道间砂体较薄,以泥岩、粉砂质泥岩为主;ZKQD-2 井位于该剖面最南端,沉积深灰色、灰绿色泥岩和粉砂质泥岩,发育滨浅湖沉积体系。狮子沟组时期 ZKQD-2 井以辫状河三角洲前缘沉积环境为主,岩性主要为灰绿色的泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩和细砂岩。该剖面表明在上油砂山组时期砂体横向展布上自北向南发育冲积扇-辫状河三角洲-滨浅湖沉积环境,辫状河三角洲沉积体系发育,物

源大规模由山前向盆内推进。垂向上,剖面北部狮子沟组地层被剥蚀,而南部残留的狮子沟组地层表明盆地中部处于辫状河三角洲前缘沉积体系,水动力条件整体较弱。

#### 4 沉积体系与铀矿化关系的探讨

铀矿体的富集和分布与沉积体系密切相关,赋矿砂体必须具备良好的渗透性、连通性和成层性,常多发育于辫状河三角洲、河流和冲积扇等沉积体系<sup>[16,36]</sup>。上油砂山组沉积时期,砂体埋深厚度介于 200~2 000 m 之间,研究区东部旺尕秀地区与南部埃南地区见工业铀矿孔和多个矿化、异常孔分布,主要发育辫状河三角洲前缘沉积体系(图 9a),砂体发育较好,物源主要来自北部宗务隆山东部的巴音山。该时期河流水动力作用较强,以粗砂岩和中砂岩沉积为主,多期河道充填序列叠加,富含铀酰络离子和富氧的流体流经辫状河三角

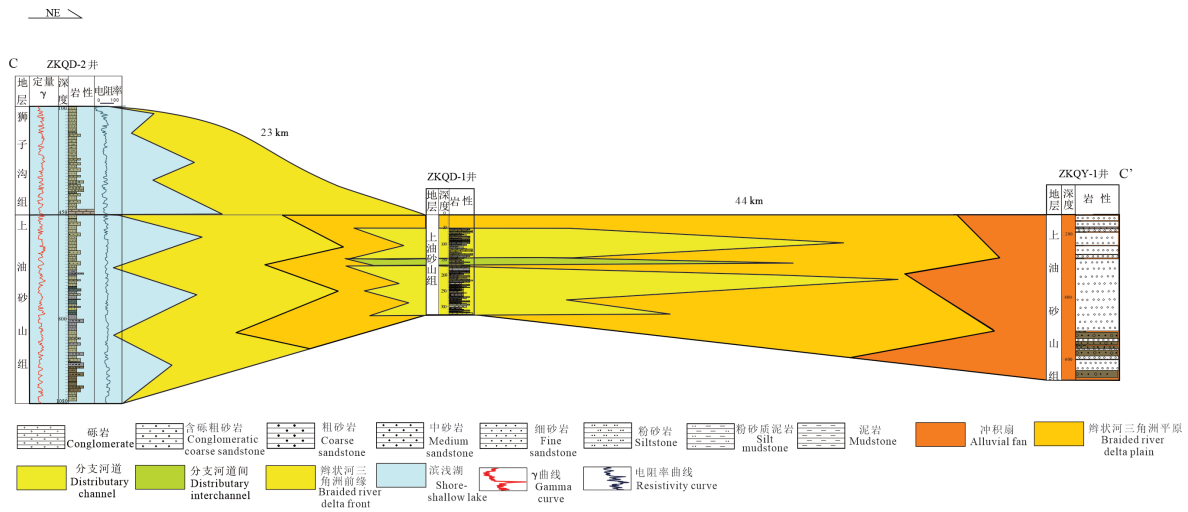


图 8 研究区南北向沉积相对比剖面图(剖面 C-C', 剖面位置见图 1b)

Fig. 8 South-north sedimentary contrast profile in study area (section C-C', see Fig.1b for position of profile line)

洲沉积相交变部位时可能由于砂体流速减慢,增加了含铀含氧的流体与炭屑、有机质等还原性介质砂体的接触时间,导致流体中的铀元素易于还原吸附,从而形成铀的富集和沉淀作用。

狮子沟组沉积时期,盆地沉积中心辫状河三角洲前缘和滨浅湖沉积体系规模逐渐扩大,沉积中心的砂体粒度逐渐由粗转细,逐渐转变为湖侵体系域。在埃东地区辫状河三角洲平原沉积砂体中可见铀异常,东部的德科地区辫状河三角洲平原沉积砂体中可见铀矿化(图 9b)。该时期研究区基底构造发生反转<sup>[37-38]</sup>,部分地区狮子沟组地层被抬升或剥蚀,狮子沟组地层埋深厚度减薄,一般介于 200~1 200 m 之间,构造抬升导致保留下来的狮子沟组和上油砂山组地层暴露地表形成稳定的构造斜坡带,形成有利的“构造天窗”部位,为蚀源区的富铀富氧流体沿着斜坡带发生还原和富集成矿提供有利空间。

值得注意的是,上油砂山组时期铀矿体主要受辫状河三角洲前缘亚相制约,水下分流河道由粗砂岩和中砂岩组成,粒度较粗有利于流体的渗流,而水下分流间湾沉积物的粒度较细,主要以泥岩和粉砂质泥岩为主,孔隙度低,所以在两种微相岩性过渡带(图 10),水动力条件不稳定可能导致含铀含氧的流体流速减慢,流体流速降低可能更有利于铀的迁移和沉淀。此外,上油砂山组时期滨浅湖沉积提供泥质隔

水层,为铀成矿作用提供充足的还原介质。相比之下,研究区冲积扇与湖泊沉积体系可能不利于砂岩型铀成矿作用,这与盆地周缘构造多期次抬升剥蚀、砂体规模发育小以及沉积厚度较薄等因素有关。

此外,盆地经历多期次的构造演化、盆地沉降以及沉积中心的迁移与青藏高原东北侧向生长密切相关<sup>[33]</sup>。柴达木盆地目前发现的铀矿化点通常与油气田相邻<sup>[18]</sup>,流体烃类上移沿着断裂、裂隙促使铀进一步沉淀聚集<sup>[37-38]</sup>,推测铀矿化可能与油气相关的烃类和还原性介质密切相关。

综合上述研究,建立了研究区河流作用为主的冲积扇-辫状河三角洲-湖泊沉积体系,笔者认为柴达木盆地东部德令哈凹陷上油砂山组和狮子沟组的砂体整体发育稳定,砂体规模适中,具有较好的连通性,其中辫状河三角洲前缘水下分流河道是目前研究区最有利的沉积体系,辫状河三角洲平原分支河道次之。空间分布上,上油砂山组时期研究区东部旺尕秀地区和南部埃南地区具有较大的铀成矿潜力,该时期辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体是重要的找矿方向,工业铀矿体和铀矿化常常发育在河道充填砂体中;狮子沟组时期研究区东部德科地区和南部埃东地区是铀成矿潜力的有利地带,该时期辫状河三角洲平原分流河道和辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体是目前较为有利的勘探区域。

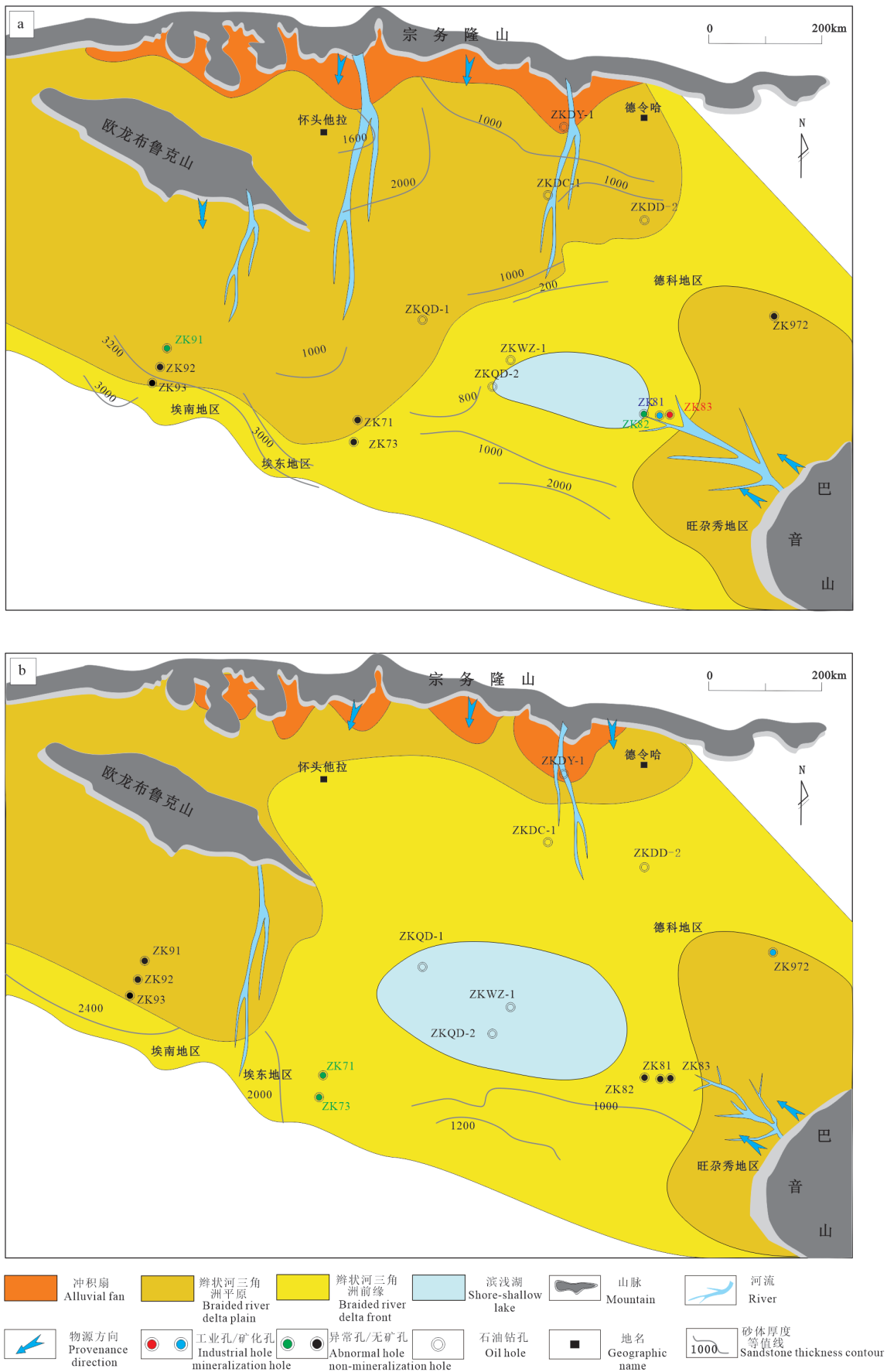


图 9 研究区上油砂山组 (a) 和狮子沟组 (b) 沉积相图

Fig. 9 The sedimentary facies map of the Shangyoushanshan formation (a) and Shizigou formation (b) in study area

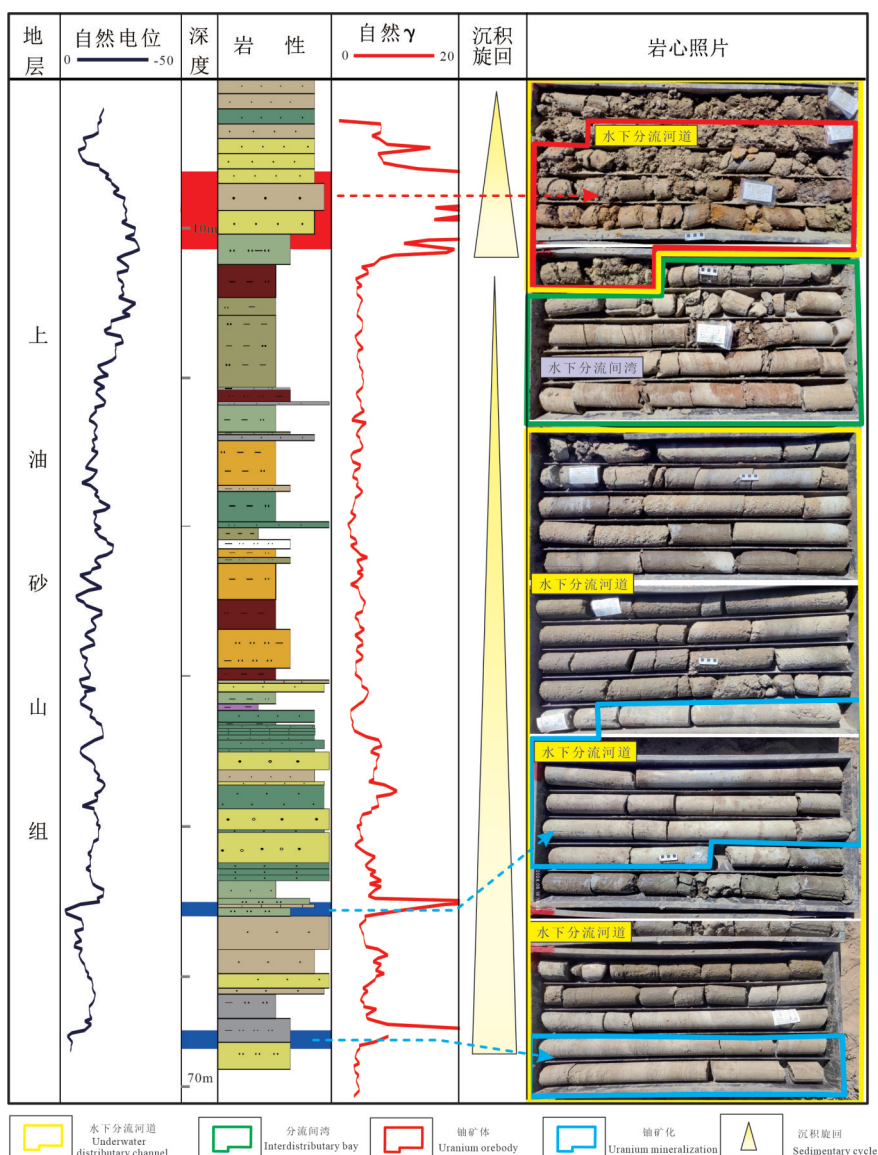


图 10 研究区钻孔 ZK83 铀矿化沉积特征

Fig. 10 The uranium mineralization sedimentary characteristics showed in the Drill ZK83 in study area

### 5 结 论

通过对柴达木盆地东部德令哈凹陷新近系上油砂山组和狮子沟组进行单井相识别与连井剖面分析,为盆地沉积相特征展布提供有利地质依据,主要认识如下:

1)柴达木盆地东部德令哈凹陷新近系上油砂山组和狮子沟组发育冲积扇-辫状河三角洲-湖泊沉积体系,主要以辫状河三角洲沉积体系为主,其中辫状河三角洲河道砂体是研究区最有利的砂岩型铀成矿地质体,并且控制着工业铀矿化的空间展布。

2)上油砂山组是柴达木盆地东部德令哈

凹陷最有利的找矿目的层位,其中在旺尕秀地区辫状河三角洲前缘水下分流河道是铀富集和成矿的有利区域,并且在埃南地区辫状河三角洲平原分支河道的厚大砂体中也具有一定的成矿潜力。

3)狮子沟组沉积时期,柴达木盆地东部德令哈凹陷埃东地区的辫状河三角洲前缘水下分流河道和德科地区的辫状河三角洲平原分支河道砂体发育规模较好,具备较好的沉积环境,是寻找潜水氧化和层间氧化的有利区域。

致谢:对审稿专家和编辑老师的辛勤付出表示诚挚的感谢。

## 参考文献

- 1 李相博,袁剑英,陈启林,等.柴达木盆地新生代成盆动力学模式[J].石油学报,2006,27(3):6-10.  
LI Xiangbo, YUAN Jianying, CHEN Qilin, et al. Patterns of Cenozoic sedimentary basin forming dynamics in Qaidam basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(3): 6-10(in Chinese).
- 2 付锁堂,马达德,陈琰,等.柴达木盆地油气勘探新进展[J].石油学报,2016,37(增刊1):1-10.  
FU Suotang, MA Dade, CHEN Yan, et al. New advance of petroleum and gas exploration in Qaidam basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2016, 37(Sup.1): 1-10 (in Chinese).
- 3 付锁堂.柴达木盆地天然气勘探领域[J].中国石油勘探,2014,19(7):1.  
FU Suotang. Natural gas exploration in Qaidam basin [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(7): 1(in Chinese).
- 4 王丹,吴柏林,寸小妮,等.柴达木盆地多种能源矿产同盆共存及其地质意义[J].地球科学与环境学报,2015(3):55-67.  
WANG Dan, WU Bailin, CUN Xiaoni, et al. Coexistence of multiple energy minerals in Qaidam basin and its geological significance[J]. Journal of Earth Sciences & Environment, 2015(3): 55-67(in Chinese).
- 5 ZHAO Yanjun, WANG Nan, SHEN Lijian, et al. Contribution of deep material sources to shallow potash formation of the Quaternary Mahai Salt Lake in the Qaidam basin: Evidence from isotopes and trace elements[J]. Ore Geology Reviews, 2024, 140: 106166.
- 6 Abudukeyumu A, Song Hao, Chi Guoxiang, et al. Quaternary uranium mineralization in the Qaidam basin, northern Tibetan Plateau: Insights from petrographic and C-O isotopic evidences [J]. Ore Geology Reviews, 2022, 140: 104628.
- 7 潘彤,张金明,李红璞,等.柴达木盆地盐类矿产成矿单元划分[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(5):1446-1460.  
PAN Tong, ZHANG Jinming, LI Hongpu, et al. Division of salt minerals metallogenic units in Qaidam basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(5): 1446-1460(in Chinese).
- 8 FENG Cheng, JOLIVET M, GUO Zhaojie, et al. Cenozoic evolution of the Qaidam basin and implications for the growth of the northern Tibetan plateau: A review[J]. Earth-Science Reviews, 2021, 220: 103730.
- 9 WANG Yadong, ZHENG Jianjing, ZHANG Weilin, et al. Cenozoic uplift of the Tibetan Plateau: Evidence from the tectonicsedimentary evolution of the western Qaidam basin[J]. Geoscience Frontiers, 2012, 3(2): 175-187.
- 10 汤良杰,金之钧,张明利,等.柴达木盆地构造古地理分析[J].地学前缘(中国地质大学,北京),2000,7(4):421-429.  
TANG Liangjie, JIN Zhijun, ZHANG Mingli, et al. An analysis on tectono-paleogeography of the Qaidam basin, NW China[J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 2000, 7(4): 421-429(in Chinese).
- 11 张超,司庆红,俞初安,等.柴西北缘花土沟地区新近系狮子沟组沉积特征与砂岩型铀矿关系分析[J].中国地质,2023,50(5):1327-1342.  
ZHANG Chao, SI Qinghong, YU Reng'an, et al. Analysis of the relationship between sedimentary characteristics and uranium deposits from the Neogene Shizigou formation in Huatugou area, northwest Qaidam basin[J]. Geology in China, 2023, 50(5): 1327-1342(in Chinese).
- 12 冯怀伟,许淑梅,王大华,等.柴达木盆地东段中、新生代沉积迁移规律及原型盆地性质研究[J].沉积学报,2022,40(3):667-678.  
FENG Huaiwei, XU Shumei, WANG Dahua, et al. Study of the process of sedimentary migration, and Mesozoic and Cenozoic prototype basins, eastern segment of Qaidam basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2022, 40(3): 667-678(in Chinese).
- 13 陈吉,史基安,龙国徽,等.柴北缘古近系—新近系沉积相特征及沉积模式[J].沉积与特提斯地质,2013,33(3):16-26.  
CHEN Ji, SHI Ji'an, LONG Guohui, et al. Sedimentary facies and models for the Palaeogene-Neogene deposits on the northern margin of the Qaidam basin, Qinghai[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2013, 33(3): 16-26(in Chinese).
- 14 赵兴齐,崔守凯,蔡亚,等.柴达木盆地北缘马海地区砂岩型铀成矿条件及找矿方向[J].地球学报,2021,42(5):593-604.  
ZHAO Xingqi, CUI Shoukai, CAI Ya, et al. Metallogenic conditions and prospecting targeting of Sandstone-type uranium mineralization in Mahai area, northern Qaidam basin[J]. Acta Geoscientia Sinica,

- 2021, 42(5):593-604(in Chinese).
- 15 苗培森, 李建国, 汤超, 等. 中国北方中生代盆地深部砂岩铀矿成矿条件与找矿方向[J]. 地质通报, 2017, 36(10):1830-1840.  
MIAO Peisen, LI Jianguo, TANG Chao, et al. Metallogenic condition and prospecting orientation for deep sandstone-hosted uranium deposits in Mesozoic-Cenozoic basins of North China[J]. Geological Bulletin of China, 2017, 36(10): 1830-1840(in Chinese).
- 16 秦明宽, 李子颖, 蔡煜琦, 等. 对加强我国铀资源勘查“三新”突破的战略性思考[J]. 世界核地质科学, 2022, 39(3):383-393.  
QIN Mingkuan, LI Ziyang, CAI Yuqi, et al. Strategic thinking on strengthening *Three New* breakthroughs for the uranium exploration in China[J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(3):383-393(in Chinese).
- 17 潘世乐, 蒋赞, 朱文军, 等. 柴达木盆地北缘冷湖七号地区下干柴沟组上段沉积成岩特征[J]. 天然气地球科学, 2021, 32(3):393-404.  
PAN Shile, JIANG Yun, ZHU Wenjun, et al. Sedimentary-diagenetic characteristics of the upper section of the Lower Ganchaigou formation in Lenghu No.7 region, north Qaidam basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2021, 32(3):393-404(in Chinese).
- 18 陈擎, 王继斌, 陈斌. 柴达木盆地古-新近系砂岩型铀矿找矿新发现及其找矿意义[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2020, 43(4):346-354.  
CHEN Qing, WANG Jibin, CHEN Bin, et al. New discovery and significance of Paleo-Neogene sandstone uranium ore prospecting in Qaidam basin[J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2020, 43(4): 346-354(in Chinese).
- 19 龙国徽, 王艳清, 朱超, 等. 柴达木盆地英雄岭构造带油气成藏条件与有利勘探区带[J]. 岩性油气藏, 33(1):145-160.  
LONG Guohui, WANG Yanqing, ZHU Chao, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and favorable exploration plays in Yingxiongling structural belt, Qaidam basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2021, 33(1): 145-160(in Chinese).
- 20 施源, 刘卫红, 邱隆伟, 等. 柴达木盆地七个泉背斜狮子沟组与七个泉组构造-沉积演化及对砂岩型铀矿成矿的启示[J]. 古地理学报, 2024, 26(3): 700-713.  
SHI Yuan, LIU Weihong, QIU Longwei, et al. Tectonic-sedimentary evolution of the Shizigou and Qigequan formations in Qigequan anticline in Qaidam basin: Implications for the mineralization of sandstone-type uranium deposits[J]. Journal of Palaeogeography, 2024, 26(3):700-713(in Chinese).
- 21 路耀祖. 柴达木盆地冷湖地区古近-新近系可地浸砂岩型铀矿成矿前景[J]. 四川地质学报, 27(2): 104-106.  
LU Yaozu. Ore potentiality of in-site leaching sandstone-type uranium deposit in the Lower and Upper Tertiary in Lenghu, Qaidam [J]. 27(2):104-106 (in Chinese).
- 22 刘文进, 党洪量, 黄广楠, 等. 柴达木盆地北缘团鱼山地区砂岩型铀矿成矿条件与找矿方向[J]. 西北地质, 2019, 52(4):232-240.  
LIU Wenjin, DANG Hongliang, HUANG Guangnan, et al. Metallogenic conditions and prospecting target of sand type uranium deposits in the Tuanyushan area of northern Qaidam basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(4):232-240(in Chinese).
- 23 杜善青, 张玉龙. 柴达木盆地西北缘砂岩铀矿成矿条件分析与典型铀矿化特征[J]. 甘肃地质, 22(3): 53-57.  
DU Shanqing, ZHANG Yulong. On sandstone type uranium mineralization in the northwest margin of Qaidam basin [J]. Gansu Geology, 2013, 22(3):53-57(in Chinese).
- 24 廉康, 赵兴齐, 王继斌, 等. 柴达木盆地北缘鱼卡地区砂岩型铀成矿条件及成矿潜力分析[J]. 2020, 36(3):145-155.  
LIAN Kang, ZHAO Xingqi, WANG Jibin, et al. Condition and potential of sandstone-type uranium metallization in Yuqia area, northern Qaidam basin [J]. Uranium Geology, 2020, 36(3): 145-155 (in Chinese).
- 25 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报 2002, 21(11): 701-707.  
PAN Guitang, LI Xingzhen, WANG Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11): 701-707(in Chinese).
- 李三忠, 赵淑娟, 李玺瑶, 等. 东亚原特提斯洋(I): 南北边界和俯冲极性[J]. 岩石学报, 2016, 32(9):2609-2627.  
LI Sanzhong, ZHAO Shujuan, LI XiYao, et al. Proto-tethys ocean in East Asia (I): Northern and southern border faults and subduction polarity [J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(9): 2609-2627(in Chinese).

- 27 付锁堂, 张道伟, 薛建勤, 等. 柴达木盆地致密油形成的地质条件及勘探潜力分析[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 672-682.  
FU Suotang, ZHANG Daowei, XUE Jianqin, et al. Exploration potential and geological conditions of tight oil in the Qaidam basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4): 672-682 (in Chinese).
- 28 戴俊生, 叶兴树, 汤良杰, 等. 柴达木盆地构造分区及其油气远景[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 291-296.  
DAI Junsheng, YE Xingshu, TANG Liangjie, et al. Tectonic units and oil-gas potential of the Qaidam basin [J]. Chinese Journal of Geology, 2003, 38(3): 291-296 (in Chinese).
- 29 李国欣, 朱如凯, 张永庶, 等. 柴达木盆地英雄岭页岩油地质特征、评价标准及发现意义[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(1): 18-31.  
LI Guoxin, ZHU Rukai, ZHANG Yongshu, et al. Geological characteristics, evaluation criteria and discovery significance of Paleogene Yingxiangling shale oil in Qaidam basin, NW China [J]. Petroleum Exploration & Development, 2022, 49(1): 18-31 (in Chinese).
- 30 李国欣. 柴达木盆地英雄岭页岩油富集机制与可动用性研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2023: 30.  
LI Guoxin. Accumulation pattern and producibility of Yingxiangling shale oil, Qaidam basin [D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2023: 30.
- 31 吕宝凤, 杨永强, 李丽. 柴达木盆地断裂体系划分及其成盆动力学意义[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 143-151.  
LYU Baofeng, YANG Yongqiang, LI Li. Dividing of fault system and its implication for formation dynamics in Qaidam basin [J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4): 143-151 (in Chinese).
- 32 李宗星, 彭博, 马寅生, 等. 柴达木盆地石炭系油气调查最新进展[J]. 中国地质调查, 2019, 6(4): 79-87.  
LI Zongxing, PENG Bo, MA Yinsheng, et al. Progress of Carboniferous oil and gas survey in Qaidam basin [J]. Geological Survey of China, 2019, 6(4): 79-87 (in Chinese).
- 33 杜忠明, 樊龙刚, 武国利, 等. 柴达木盆地东部新生代盆地结构与演化[J]. 地球物理学报, 2016, 59(12): 4560-4569.  
DU Zhongming, FAN Longgang, WU Gouli, et al. Cenozoic architecture and structural development of the eastern Qaidam basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(12): 4560-4569 (in Chinese).
- 34 侯明才, 李凤杰, 陈安清, 等. 岩相古地理基础和工作方法: 第2版[M]. 北京: 地质出版社, 2023: 1-2.  
HOU Mingcai, LI Fengjie, CHEN Anqing, et al. Lithofacies palaeogeography: Principles and approaches ( II ) [M]. Beijing: Geology Press, 2023: 1-2 (in Chinese).
- 35 D M A. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: Anatomy of the Kayenta formation (Lower Jurassic), southwest Colorado [J]. Sedimentary Geology, 1988, 55(3/4): 233-262.
- 36 聂逢君, 严兆彬, 夏菲, 等. 砂岩型铀矿的“双阶段双模式”成矿作用[J]. 地球学报, 2021, 42(6): 823-848.  
NIE Fengjun, YAN Zhaobin, XIA Fei, et al. Two-stage and two-mode uranium mineralization for sandstone-type uranium deposits [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2021, 42(6): 823-848 (in Chinese).
- 37 李子颖, 刘武生, 李伟涛, 等. 内蒙古二连盆地哈达图砂岩铀矿渗出铀成矿作用[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1009-1047.  
LI Ziyi, LIU Wusheng, LI Weitao, et al. Exudative metallogeny of the Hadatu sandstone-type uranium deposit in the Erlian basin, Inner Mongolia [J]. Geology in China, 2022, 49(4): 1009-1047 (in Chinese).
- 38 封志兵, 聂逢君, 严兆彬, 等. 松辽盆地西部斜坡构造-流体演化特征与铀聚集[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2014, 37(1): 13-20.  
FENG Zhibing, NIE Fengjun, YAN Zhaobin, et al. Structure and fluid evolution of the western slope of Songliao basin and its relation to sandstone type uranium mineralization [J]. Journal of East China University of Technology (Natural Science), 2014, 37(1): 13-20 (in Chinese).