

doi:10.3799/dqkx.2017.131

# 大港探区上古生界沉积特征与控制因素

侯中帅<sup>1</sup>,陈世悦<sup>1\*</sup>,鄢继华<sup>1</sup>,付立新<sup>2</sup>,李宏军<sup>2</sup>,冯建园<sup>2</sup>

1.中国石油大学地球科学与技术学院,山东青岛 266580

2.中国石油大港油田公司勘探开发研究院,天津 300280

**摘要:**大港探区上古生界近期取得一系列勘探突破,展现出良好的勘探前景,已成为重要的储量接替领域。但其勘探程度较低,对于沉积相类型与沉积演化认识上的欠缺制约着该层系勘探的深入和井位的部署。以沉积学理论为指导,在岩心、薄片、测井和录井等资料研究的基础上,明确了区内上古生界各组发育的沉积相类型与沉积演化过程,分析了沉积相发育的控制因素。研究表明,区内本溪组发育障壁海岸相和碳酸盐台地相,太原组发育障壁海岸相、碳酸盐台地相和湿地相,山西组发育浅水三角洲相,下石盒子组和上石盒子组发育河流相。本溪组至上石盒子组的沉积相类型反映了晚古生代海侵作用的肇始、发展、衰退的过程。构造作用、海平面变化和古气候共同控制着沉积相类型的发育。

**关键词:**上古生界;沉积相;沉积演化;控制因素;大港探区;石油地质。

中图分类号:P618

文章编号:1000-2383(2017)11-2055-14

收稿日期:2017-05-15

## Sedimentary Characteristics and Control Factors of Upper Palaeozoic in Dagang Exploration Area

Hou Zhongshuai<sup>1</sup>, Chen Shiyue<sup>1\*</sup>, Yan Jihua<sup>1</sup>, Fu Lixin<sup>2</sup>, Li Hongjun<sup>2</sup>, Feng Jianyuan<sup>2</sup>

1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Petro China Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China

**Abstract:** Dagang exploration area has become an important replacement reservoir field thanks to recent breakthroughs in its Upper Paleozoic showing good exploration prospects. However, its exploration degree stays low because further exploration of series of strata and well deployment is restricted due to our lack of understanding of the types of sedimentary facies and sedimentary evolution. Based on sedimentology theories, study of cores, slices, well log and logging, types of sedimentary facies and evolution process of every formation in Dagang exploration area of Upper Paleozoic are determined, and the controlling factors of sedimentary facies development are analyzed in this paper. Results show that Benxi Formation in Dagang are develops barrier coast facies and carbonate platform facies, Taiyuan Formation develops barrier coast facies, carbonate platform facies and wet land facies, Shanxi Formation develops shallow delta facies, and lower Shihezi and upper Shihezi Formation develops fluvial facies. The type of sedimentary facies from Benxi formation to the upper Shihezi Formation reflects the start, development and decline process of transgression in late Paleozoic. Tectonism, sea level changing and paleoclimate all control the development of sedimentary facies types.

**Key words:** upper paleozoic; sedimentary facies; sedimentary evolution; control factors; Dagang exploration area; petroleum geology.

大港探区中浅层新生界已进入精细勘探阶段,而对于上古生界等深部层系的勘探一直处于探索阶段,研究和认识程度较低;“八·五”期间的研究认为大港

探区本溪组—太原组发育海陆过渡相,山西组具有三角洲沉积的特征,下石盒子组和上石盒子组发育河流相(于志海等,1997);“十二·五”期间研究认为大港

基金项目:国家油气重大专项(No.2016ZX05006-007)。

作者简介:侯中帅(1990—),男,博士研究生,从事沉积学及层序地层学方面研究。ORCID: 0000-0003-2887-3420. E-mail: houzs1990@163.com

\* 通讯作者:陈世悦,E-mail: chenshiyue@vip.sina.com

引用格式:侯中帅,陈世悦,鄢继华,等,2017.大港探区上古生界沉积特征与控制因素.地球科学,42(11): 2055-2068.

探区本溪组发育台地相和潟湖相,太原组发育潮坪相、潟湖相和沼泽相,山西组发育三角洲相,下石盒子组和上石盒子组均发育曲流河相(刘为,2015);人们总体研究程度较浅,对于区内沉积特征的认识较为局限。“十二·五”期间,大港油田在上古生界陆续获得油气勘探的重大发现,相继在王官屯潜山和北大港潜山上古生界碎屑岩储层中获工业油流,上古生界已成为大港油田“增储上产”重要的储量接替领域。随着勘探工作的深入,人们发现本区上古生界发育多种成因类型的砂体,关于区内上古生界沉积相类型与沉积演化的研究工作有待深入与细化。本文通过大量岩心、测录井和渤海湾盆地周缘典型剖面研究的基础上,主要从沉积相类型、沉积体系展布、沉积演化过程及控制因素等几方面对大港探区上古生界进行深入研究,确定了沉积相类型,圈定了各时期不同沉积相的发育范围,明确了沉积演化过程与控制因素,以期对本区上古生界油气勘探具有一定的指导意义。综合研究认为,大港探区本溪组发育潟湖相和碳酸盐台地相,太原组发育障壁海岸相、碳酸盐台地相和湿地相,山西

组发育三角洲相,下石盒子组发育曲流河和辫状河,上石盒子组发育阵发性河流。

## 1 地质概况

大港探区位于华北板块渤海湾盆地的中心地带,横跨沧县隆起、黄骅坳陷和埕宁隆起共3个一级构造单元,勘探面积近 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ (付立新等,2016)(图1),其中以黄骅坳陷为主要的含油气构造单元。受中晚奥陶世华北板块区域抬升作用的影响,区内普遍缺失上奥陶统、志留系、泥盆系和下石炭统,形成了长达138 Ma的沉积间断(马永生和田海芹,2006)。晚石炭世,华北板块主体再度下沉,区内于加里东期—海西早期侵蚀、夷平基底面上沉积了晚古生代海陆交互相含煤地层和陆相碎屑岩地层,其自下而上可分为本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组。本溪组底部为褐铁矿和铝土矿,向上变为泥岩夹灰岩,顶部有时可见一层薄煤;太原组岩性为泥岩和砂岩夹煤层和灰岩,山西

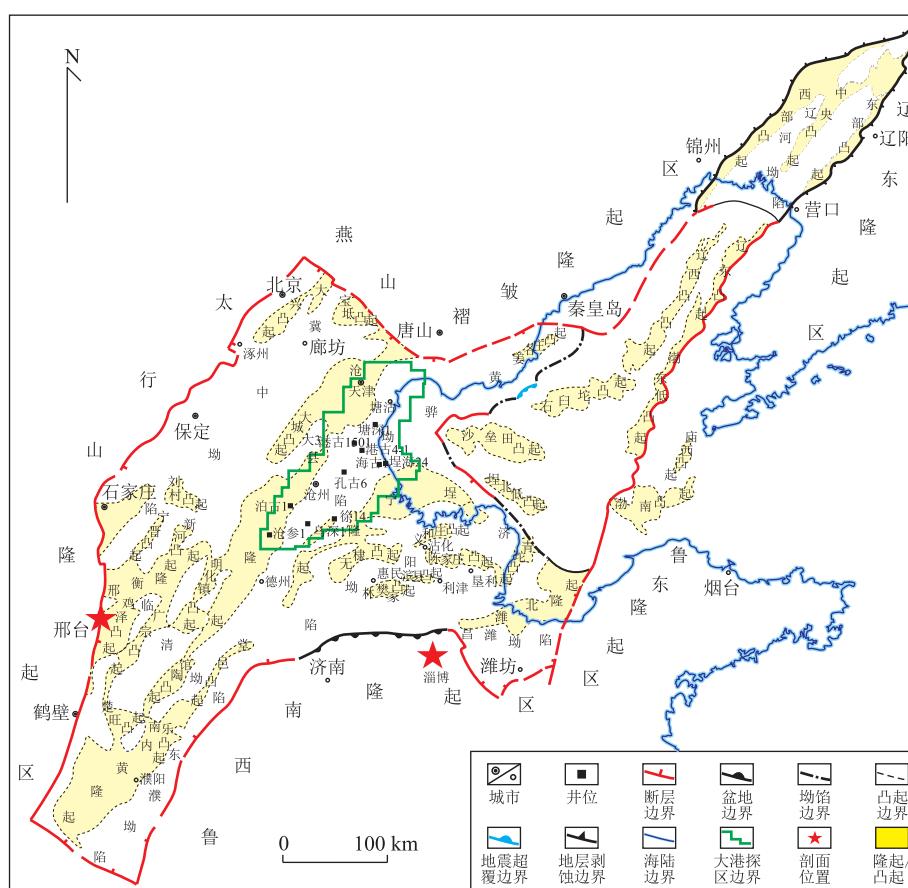


图 1 大港探区区域位置

Fig.1 The position of Dagang exploration area

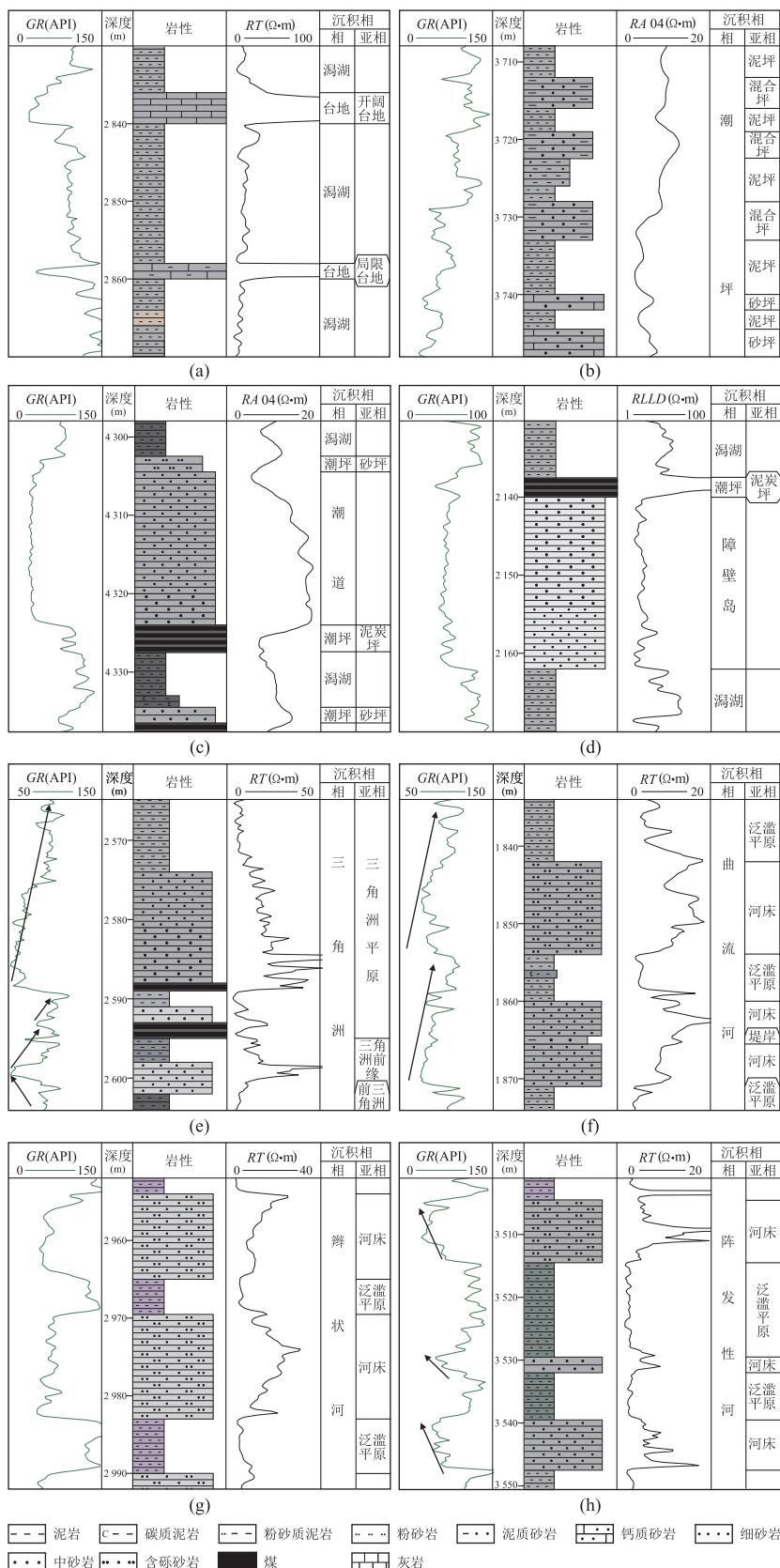


图 2 大港探区上古生界典型沉积相类型

Fig.2 Typical Upper Palaeozoic sedimentary facies in Dagang exploration area

a. 台地与潟湖相, Z1501 井, 本溪组; b. 潮坪相, KG4 井, 太原组; c. 潮道相, HG1 井, 太原组; d. 障壁岛相, CH1 井, 太原组; e. 三角洲相, GG16101 井, 山西组; f. 曲流河相, KG1601 井, 下石盒子组; g. 辨状河相, ZH3X1 井, 下石盒子组; h. 阵发性河相, GG1601 井, 上石盒子组

组岩性为砂泥岩互层夹煤层,下石盒子组岩性以砂泥岩互层为主,底部可见煤线;上石盒子组岩性为砂泥岩互层,受后期构造剥蚀作用的影响,区内上古生界厚度具有南厚北薄的特征,北大港以北地区剥蚀强烈,仅残留石炭系底部或全部缺失,南区和埕海以及张巨河以东地区地层保存相对完整,厚度最大可达 1 200 m。邢台沙巴沟剖面和淄博博山剖面为渤海湾盆地周缘上古生界的典型剖面,地层结构和沉积特征与大港探区具有较强的可比性,通过对其研究以丰富和完善对于大港探区上古生界沉积特征的认识。

## 2 沉积相类型

### 2.1 本溪组

晚石炭世本溪组,大港探区主要发育障壁海岸相和碳酸盐台地相沉积,其中障壁海岸相中主要发育潟湖相。

**2.1.1 潟湖** 本溪组沉积期发育的潟湖为受基岩风化古地形的遮挡作用而形成的古地形潟湖,岩性以灰色、深灰色和灰黑色泥岩和碳质泥岩为主,夹有少量的细砂岩和粉砂岩,可见呈透镜状或团块状的菱铁矿与黄铁矿结核,测井响应具有高伽马、低电阻的特征,形态呈高频的锯齿状(图 2a)。

**2.1.2 碳酸盐台地** 广义的碳酸盐台地包括镶边陆棚台地、缓坡台地、陆表海台地、孤立台地和淹没台地(Tucker and Wright, 2015),华北板块东部在本溪组—太原组沉积期广泛发育陆表海台地(陈世悦等,2000),在大港探区内可细分为开阔台地和局限台地,其中开阔台地相灰岩厚度较大,一般在 2.5 m 以上,岩性主要为深灰色生物碎屑灰岩,其中富含有孔虫和棘皮类动物化石,局限台地相灰岩厚度较小,一般在 2 m 以下,岩性主要为泥晶灰岩,其中可见少量的动物化石,测井响应具有低伽马、高电阻的特征,形态呈高幅的指状(图 2a)。

### 2.2 太原组

大港探区太原组主要发育障壁海岸相、碳酸盐台地和湿地相,其中障壁海岸相中主要发育潮坪相、潮道相、潟湖相和障壁岛相,碳酸盐台地主要发育有开阔台地相和局限台地相,湿地相中主要发育泥炭湿地相、潜育湿地相和碎屑湿地河相。

**2.2.1 障壁海岸相** (1)潮坪相。砂坪、混合坪和泥坪相均有发育,三者在垂向上常紧密共生,此外还发育有泥炭坪相。砂坪发育在平均低潮线之下,岩性以

灰白色、灰色中细砂岩为主,含少量玻屑凝灰岩,成分成熟度和结构成熟度均较高,砂岩颗粒分选中等至好,呈次棱角状一次圆状,发育脉状层理、楔状层理和冲洗层理(图 3a),其中脉状层理中泥质夹层厚度在 0.3~1.0 cm,砂体在垂向上正韵律和反韵律结构均有发育。混合坪发育在平均高潮线和平均低潮线之间,岩性为呈不等厚互层的中细砂岩、泥质粉砂岩与泥岩,各岩性单层厚度不超过 1 cm,发育有波状层理(图 3b),可见生物钻孔,砂岩颗粒分选中等,呈次棱角状一次圆状。泥坪发育在平均高潮线之上,岩性为灰色、棕灰色泥岩夹细砂岩或泥质粉砂岩透镜体,整体发育透镜状层理(图 3c),泥岩中可见水平层理,粉砂岩中可见生物扰动构造。通过对 GG16102 井 5 块泥坪相泥岩进行微量元素分析后发现其 Sr/Ba 在 2.77~3.41,平均为 2.99。在水进沉积序列中,潮坪相自然伽马和电阻曲线主要表现为齿化漏斗形;在水退沉积序列中,主要表现为齿化钟形(图 2b)。在潮间带和潮上带缺乏陆源碎屑供给时,在适宜条件下会发育类似于现代的红树林的成煤植物(桑树勋等,1997),该环境称为泥炭坪。泥炭坪相的煤层受海水影响较大,具有较高的全硫含量,岩心上可见黄铁矿化的植物根系。

(2)潮道相。潮道砂体岩性以灰色中粗砂岩为主,成分成熟度和结构成熟度均较高,可见有板状、槽状交错层理,常发育在潟湖和潮坪相之上,与下伏地层呈冲刷接触。潮道相砂体底部常发育有泥砾(图 3d),垂向上正粒序特征明显,底部岩性以中粗砂岩为主,基本不含泥质夹层,向上逐渐变为中砂岩,泥质夹层含量增多(图 3e),剖面上砂体呈透镜状(图 3f)。自然伽马和电阻曲线表现为微齿钟形(图 2c)。

(3)潟湖相。潟湖主要形成于受障壁岛遮蔽的受限海湾中,岩性以灰色、灰黑色泥岩和碳质泥岩为主(图 3g),夹有少量的粉砂质泥岩和泥质粉砂岩,偶见生物碎屑(图 3h),常含有菱铁矿结核和黄铁矿结核。通过对 GG16102 井 5 块潟湖相泥岩微量元素分析后发现其 Sr/Ba 在 4.08~7.27,平均为 5.30。潟湖相泥岩在垂向上常表现为向上颜色逐渐变浅,顶部发育一层煤层,为一次潟湖淤浅序列。多期潟湖在垂相上叠置发育造成潟湖相泥岩与煤层呈互层状产出。

(4)障壁岛相。障壁岛相岩性以石英中细砂岩为主,分选好,颗粒呈次圆状—圆状,硅质胶结,成分成熟度和结构成熟度明显高于障壁海岸相中的其余相类型中的砂岩,重矿物含量较高,发育有楔状层理、

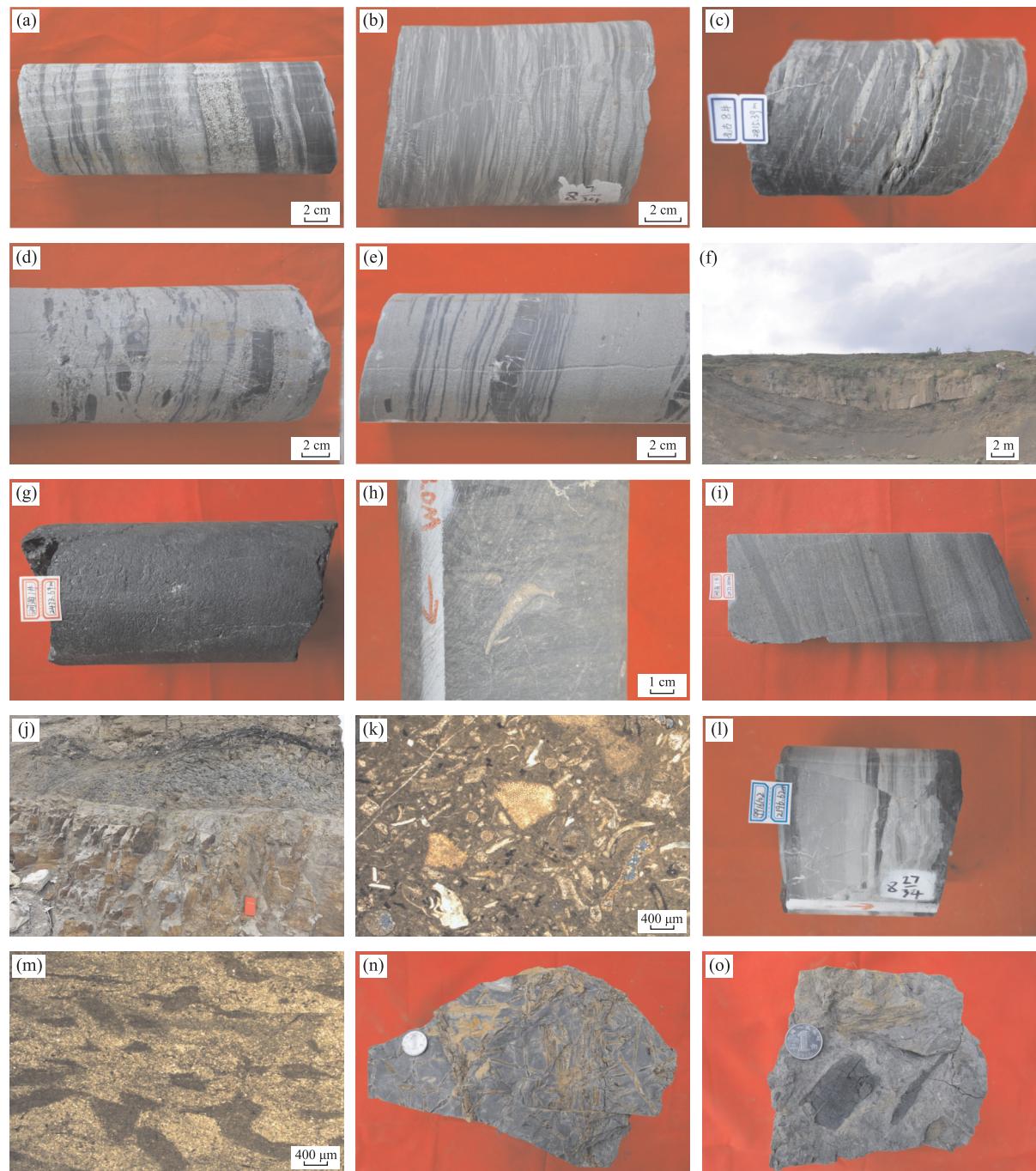


图 3 大港探区与周缘露头太原组岩性、沉积构造及露头特征

Fig.3 The lithology, sedimentary structure and outcropping characteristics of the Taiyuan Formation in Dagang exploration area and peripheral outcrop

a.脉状层理,砂坪,GG16102 井,2 186.04 m;b.波状层理,混合坪,GG16102 井,2 191.63 m;c.透镜状层理,泥坪,KG8 井,2 815.39 m;d.砂岩底部泥砾,潮道,GG16102 井,2 193.53 m;e.砂岩中泥质夹层,潮道,GG16102 井,2 193.33 m;f.砂岩透镜体,潮道,淄博博山剖面;g.碳质泥岩,潟湖,JH1 井,2 473.69 m;h.泥岩中动物化石,潟湖,GG16102 井,2 184.9 m;i.楔状层理,障壁岛,JH1 井,2 777.40 m;j.障壁岛相砂岩与岛后泥坪、泥炭坪,淄博博山剖面;k.生物碎屑灰岩,开阔台地,X7 井,1 281.50 m;l.泥晶灰岩,局限台地,GG16102 井,2 196.62 m;m.碳酸盐岩中生物钻孔,局限台地,GG16102 井,2 206.65 m;n.泥岩中含大量植物残体化石,潜育湿地,淄博博山剖面;o.砂岩中含大量煤屑,碎屑湿地河,淄博博山剖面

脉状层理(图 3i).垂相上常具有反序结构,下部岩性较细,以细砂岩为主,泥质夹层较多,向上粒度逐渐变为中砂岩,基本不含泥质夹层,反应了一期障壁岛

发育过程中从岛前缘到岛主体的演化过程.自然伽马和电阻曲线总体呈微齿箱形,其中下部齿化程度较强,向上齿化程度逐渐减弱(图 2d).障壁岛后常

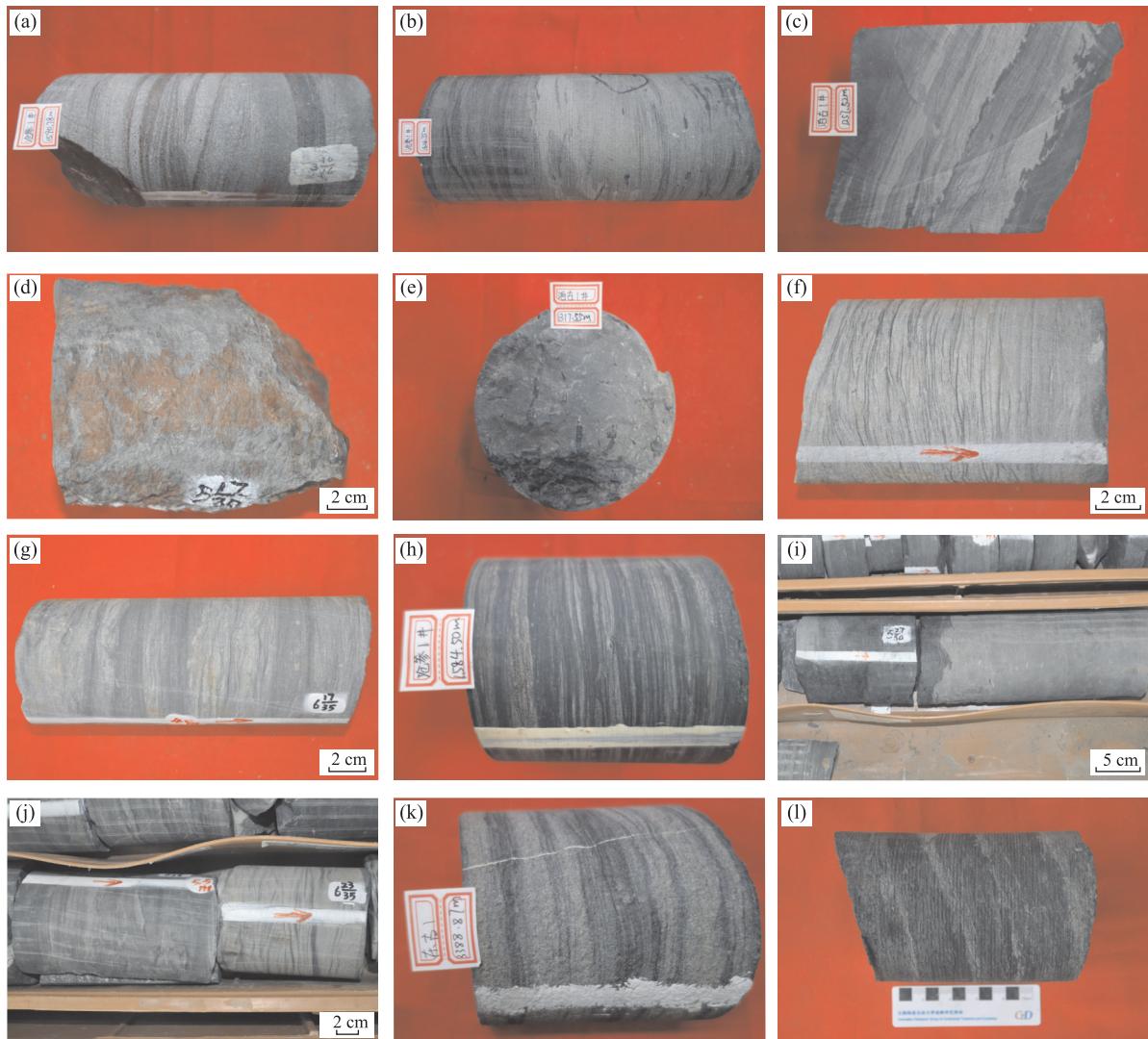


图 4 大港探区山西组岩性与沉积构造

Fig.4 The lithology and sedimentary structure of Shanxi Formation in Dagang exploration area

a.砂纹交错层理,分流河道,CC1井,1 590.78 m;b.砂岩底部含泥砾,分流河道,CC1井,1 626.75 m;c.砂岩底部冲刷面,分流河道,BG1井,1 257.52 m;d.灰色泥岩中夹红色斑块,分流河道间,GG16102井,1 971.19 m;e.泥岩中含植物炭屑,分流河道间,BG1井,1 317.55 m;f.小型砂纹交错层理,分流河道,GG16102井,1 981.30 m;g.泥质细砂岩发育波纹层理,分流河道,GG16102井,1 978.63 m;h.砂泥岩薄互层,天然堤,CC1井,1 584.50 m;i.绿灰色泥岩与深灰色泥岩突变接触,二者之间发育水进冲刷面,分流河道间,GG16102,1 974.05 m;j.细砂岩与泥质细砂岩呈突变接触,分流河道,GG16102,1 980.16 m;k.细砂岩中泥质薄夹层发育,水下分流河道,GD1井,3 388.87 m;l.泥岩中夹薄层粉砂岩,分流间湾,X14井,2 790.22 m

发育岛后泥坪和泥炭坪(图 2d、图 3j),多期障壁岛在垂向上叠置表现为障壁岛砂岩与泥岩互层夹薄煤层。

**2.2.2 碳酸盐台地相** 太原组仍发育有陆表海碳酸盐台地,包括开阔台地相和局限台地相,开阔台地相灰岩厚度位于 2.0~3.5 m,岩性以生物碎屑灰岩和含生物碎屑灰岩为主(图 3k),可见有孔虫、棘皮和腕足类动物化石。局限台地相碳酸盐岩厚度一般小于 1.8 m,岩性以灰白色泥晶灰岩和灰色泥质白云岩为主,富含泥质夹层(图 3l),可见生物

钻孔(图 3m)。

**2.2.3 湿地相** 传统研究认为煤层形成于活动碎屑沉积体系的附属环境中,煤层与下伏地层之间为连续沉积,二者同属于一种沉积相。对现代沉积和古代成煤沉积模式的研究表明,大面积稳定分布的厚煤层发育在不同的沉积体系之上,二者之间存在明显的沉积间断,说明其形成环境与下伏沉积体系之间没有必然联系,煤层形成于独立的沉积体系中(MaCabe, 1984)。大港探区太原组中下部稳定发育 1~3 层煤,单层厚度一般超过 1.5 m,总厚度在 5 m

左右,区域上可与 8 号煤和 9 号煤对比,其下伏地层的沉积环境多样,包括潟湖、潮坪和台地相,故认为其形成于湿地相。湿地相以泥炭湿地相为主体,泥炭湿地处于永久性覆水环境,但水体深度不大,一般在 2 m 以下(金振奎等,2011),水体清澈且运动缓慢,陆源碎屑物质极少注入,植物发育,死亡后就地堆积在水体底部,水体底部呈弱氧化至还原环境(丁修建等,2016),植物残体凝胶化作用强烈,沉积物主要为凝胶化的泥炭,经后期埋藏作用后成煤。潜育湿地相中地表长期过湿或有薄层积水,枯水期干涸,陆源碎屑输入较多,以粘土矿物为主,难以形成泥炭堆积(竺可桢,1981),但其中夹杂较多的植物残体,沉积物为夹杂大量植物残体的泥岩(图 3n)。碎屑湿地河为发育在湿地背景下的河流,河流两岸植被发育,河道迁移受限,水体运动缓慢,沉积物以粉细砂岩为主,其中夹有较多煤屑(图 3o)。

### 2.3 山西组

山西组沉积期,大港探区主要发育陆表海背景下的浅水三角洲,主要发育三角洲平原、三角洲前缘和前三角洲 3 种亚相。测井曲线形态在底部表现为齿化漏斗形,向上变为多个齿化钟形在垂向上叠置(图 2e)。

**2.3.1 三角洲平原亚相** 陆表海基底平缓,水位变化较快,海平面在低位和高位之间频繁变动,故将三角洲平原分为三角洲上平原和三角洲下平原。三角洲上平原位于平均高水位线之上,长期处于水上位置(李一赫等,2016),三角洲下平原位于平均高水位和平均低水位之间,高水位期淹没,低水位期暴露(李一赫等,2016)。

(1) 三角洲上平原。三角洲上平原包括分流河道天然堤和分流河道间。分流河道岩性以中细砂岩为主,泥质含量低,发育中型砂纹交错层理(图 4a),底部常见泥砾(图 4b),发育冲刷面(图 4c),向上粒度逐渐变细,过渡为以粉砂岩、泥质粉砂岩为主的天然堤微相,其中可见波状层理和爬升层理。分流河道间岩性以泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩为主,颜色以灰色和灰色背景下夹暗红色、灰黄色斑块的杂色为主(图 4d),植物炭屑发育(图 4e),可见铁质结核,局部积水地区可以形成小型湖泊,其中发育有动物化石,植被发育的地区可以形成泥炭沼泽,发育有煤层。

(2) 三角洲下平原。三角洲下平原包括分流河道天然堤和分流河道间。分流河道在低水位期岩性以细砂岩为主,发育小型砂纹交错层理(图 4f),在高

水位期岩性以泥质细砂岩为主,发育小型波纹层理(图 4g)。天然堤发育细砂岩、粉砂岩与泥岩呈薄互层,发育波状层理(图 4h)。分流河道间在低水位期发育绿灰色泥岩,在高水位期发育深灰色泥岩(图 4i)。由于陆表海水位常呈阶跃式变化,故高水位期与低水位期沉积物之间常呈突变接触,岩心上可见高水位期发育的泥质细砂岩和深灰色泥岩,与低水位期发育的细砂岩和绿灰色泥岩之间呈突变接触,二者之间发育有水进冲刷面(图 4i、图 4j)。

**2.3.2 三角洲前缘** 三角洲前缘发育在平均低水位与平均低水位期的正常浪基面之间(陈诚等,2016),主要由水下分流河道和分流间湾组成,由于陆表海背景下可容纳空间低,河道改道频繁,造成河口坝不发育。水下分流河道岩性以细砂岩为主,受潮流、波浪作用的改造作用后常发生席状砂化,砂岩中发育小型波状层理,泥质夹层发育(图 4k),可见生物钻孔,单层砂岩厚度较薄,一般不超过 5 m,分流间湾岩性以灰色、灰黑色泥岩为主,夹有薄层的砂质条带(图 4l)。

**2.3.3 前三角洲** 前三角洲发育在平均低水位期的正常浪基面之下,岩性以深灰色、灰黑色泥岩为主。

### 2.4 下石盒子组

下石盒子组沉积期,大港探区发育河流相沉积,其中下段主要发育曲流河,上段主要发育辫状河。

**2.4.1 曲流河** 曲流河相中主要发育河床、堤岸和泛滥平原亚相,其中河床亚相中主要发育边滩,堤岸亚相中主要发育天然堤。边滩相岩性以灰色中砂岩、细砂岩为主,分成熟度和结构成熟度中等,垂向上粒序特征明显,底部为中砂岩,含泥砾(图 5a),向上逐渐变为细砂岩,发育板状交错层理、平行层理(图 5b),单层砂岩厚度一般在 3.5~8.0 m。天然堤主要发育细砂岩与泥岩薄互层(图 5c),发育小型波状层理和爬升层理,泥岩中可见水平纹层,偶见泥裂。泛滥平原相中主要发育灰色、杂色泥岩(图 5d),其中灰色泥岩中可见植物炭屑和动物化石(图 5e、图 5f),偶见薄层的粉砂岩透镜体。测井曲线形态表现为多个齿化钟形在垂向上叠置(图 2f)。

**2.4.2 辫状河** 辫状河相中主要发育河床、天然堤和泛滥平原亚相,河床亚相包括心滩和河道微相,底部发育冲刷面,之上常见透镜状的滞留沉积砾岩,砾石成分复杂(图 5g)。心滩为河床亚相的主体,岩性以粗砂岩为主,发育块状层理(图 5h),垂向上粒度变化不明显,偶见平水期的落淤层,河道相砂岩以中

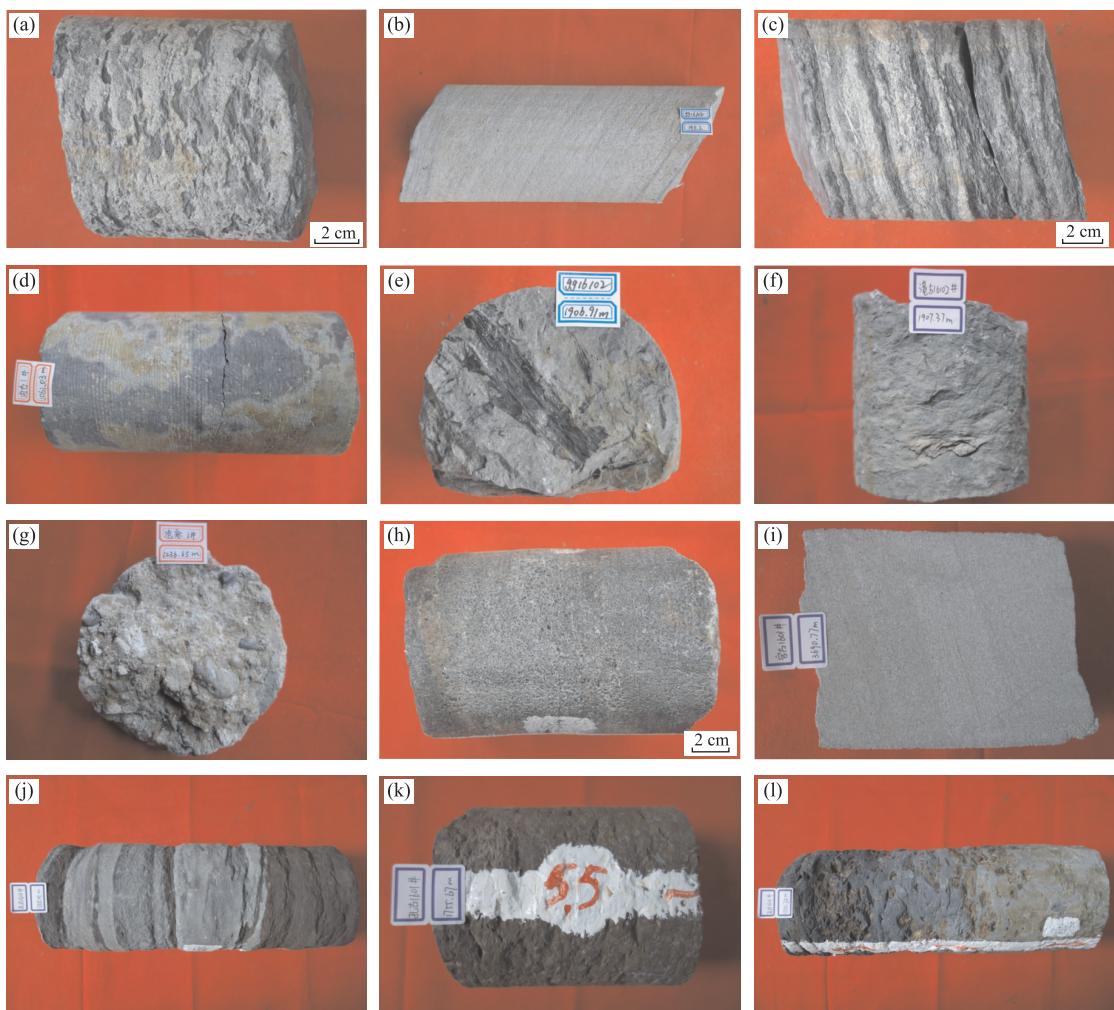


图 5 大港探区下石盒子组岩性与沉积构造

Fig.5 The lithology and sedimentary structure of lower Shihezi Formation in Dagang exploration area

a.砂岩中含泥砾,边滩,GG16102井,1 923.39 m;b.板状交错层理,边滩,GG16102井,1 911.2 m;c.砂泥岩薄互层,天然堤,GG16102井,1 923.20 m;d.杂色泥岩,泛滥平原,BG1井,1 061.03 m;e.泥岩中夹炭屑,泛滥平原,GG16102井,1 906.91 m;f.泥岩中夹动物化石,泛滥平原,GG16102井,1 907.37 m;g.砾岩,滞留沉积,CC1井,1 236.65 m;h.块状砂岩,心滩,WS1井,4 857.70 m;i.板状交错层理,河道,GG1601井,3 690.77 m;j.粉砂岩与棕红色泥岩互层,天然堤,KG1601井,1 755.01 m;k.棕红色泥岩,泛滥平原,KG1601井,1 755.67 m;l.杂色泥岩夹铁质结核,泛滥平原,KG1601井,1 755.75 m

砂岩为主,发育板状交错层理和槽状交错层理(图 5i),垂向上粒度变化明显,呈下粗上细的正序结构。天然堤相发育灰色粉砂岩、细砂岩与棕红色泥岩互层(图 5j),辫状河中该微相发育程度较曲流河中弱,但其中砂岩与泥岩的单层厚度较曲流河中厚。泛滥平原相中岩性主要为灰色、棕红色泥岩和杂色泥岩(图 5k),可见古土壤潜育化作用形成的铁质结核(图 5l)。河床亚相的自然伽马曲线表现为齿化箱形,泛滥平原的自然伽马曲线表现为高幅齿化(图 2g)。

## 2.5 上石盒子组

上石盒子组沉积期,大港探区发育阵发性河流沉积,主要发育河床和泛滥平原亚相,堤岸亚相相

对不发育。

阵发性河流仅在阵发性降水期发育,其河道相对局限,砂岩发育较为孤立(Wright and Marriott, 1993)。虽然阵发性降水造成的洪泛流携带的物质丰富,但是其为间歇性沉积,故单砂体厚度均不大,一般小于 6 m,大部分在 2.5~5.0 m。阵发性河流沉积中河道相砂岩与泛滥平原相泥岩之间呈突变接触,二者之间缺乏天然堤沉积,野外剖面发现一期河道砂岩具有由下到上粒度逐渐变粗、单层厚度逐渐变厚的特征(图 6),反映了一次阵发性的洪泛事件中从涨水期到洪峰期的沉积过程,而落水期时,漫滩水流在泛滥平原落淤后回归河道,水体清澈,沉积作用

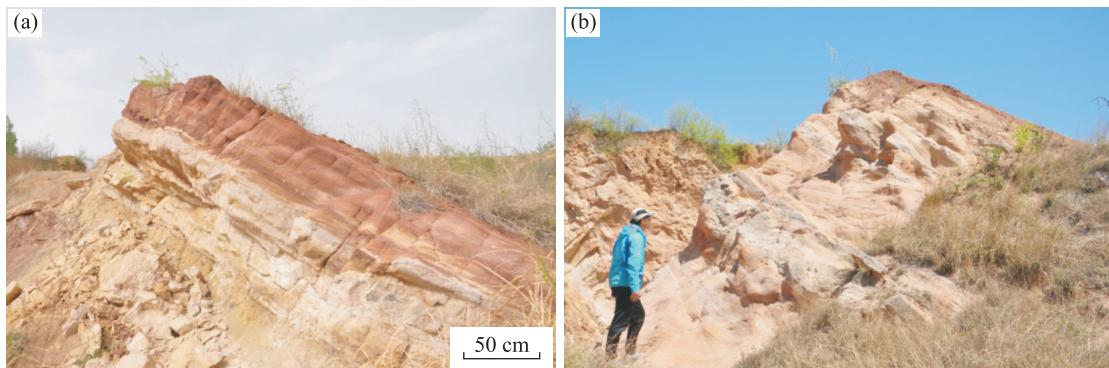


图 6 邢台沙巴沟剖面上石盒子组河床沉积

Fig.6 Upper Shihezi Formation channel fill deposit of in Shabagou profile in Xingtai

a. 砂体垂向呈反序结构,邢台沙巴沟剖面;b.多期反序砂体叠置,邢台沙巴沟剖面

不发育(史宗伟,2010),故一次阵发性河流的河床只发育有涨水期与洪峰期的沉积,自然伽马值总体由下到上逐渐减小,曲线形态具有齿化漏斗形的特征(图 2h).泛滥平原相中主要发育杏黄色、紫红色、杂色泥岩。

### 3 沉积相展布及演化

#### 3.1 沉积演化

本溪组沉积期,受风化古地形的影响,区内主要发育古地形障壁作用形成的潟湖,海侵作用时期,发育有台地相碳酸盐岩(图 7,图 8).太原组沉积期,区内继承性发育障壁海岸相和碳酸盐岩台地相的基础上,并且在盆地格局转换期发育了湿地相(图 7,图 8).障壁海岸相为太原组的主体相类型,包括潮坪相、潟湖相、潮道相和障壁岛相,其中以潮坪相为主体,可细分为泥坪、混合坪、砂坪和泥炭坪.山西组沉积期,海水逐渐退出本区,发育陆表海背景下的三角洲相(图 7,图 8).下石盒子组沉积期,海水退出本区,发育近海内陆坳陷背景下的河流相沉积,其中下段发育曲流河相,上段发育辫状河相(图 7,图 8).上石盒子组沉积期,气候越发干旱,区内发育受季节性降水控制的阵发性河流(图 7,图 8).

#### 3.2 沉积展布

晚石炭世本溪组沉积期,海水自东北方向侵入探区内(张鹏飞等,2001),区内广泛发育古地形潟湖沉积.在歧口凹陷、孔店凸起和东光凸起地区发育有台地沉积,其中东北部的歧口凹陷处发育开阔台地,向西南方向的孔店凸起和东光凸起地区发育局限台地(图 9a).太原组沉积期,受本溪组填平补齐作用与物源供应能力增强的影响,区内广泛发育潮坪相沉

积,在泊头潜山、王官屯潜山—徐黑凸起、庄古 1 潜山地区发育潟湖沉积,在东光潜山—乌马营潜山、扣村潜山—北大港潜山和赵东潜山等地区发育障壁岛沉积,由于太原组沉积期海侵作用主要来自东南方向(李增学等,2010),受海侵方向影响障壁岛主要呈北东向展布(图 9b).山西组沉积期,海水大面积南退,在泊头潜山—王官屯潜山地区、北大港潜山—新港地区发育三角洲平原沉积,在赵东潜山、涧海 1 井地区发育前三角洲沉积,二者之间发育有较为广阔的三角洲前缘沉积(图 9c).下石盒子组沉积期,海水完全退出本区,从而发育了一套河流相沉积,其中泊头潜山—东光潜山、孔店凸起—王官屯潜山—徐黑凸起、赵东潜山—庄古 1 潜山—埕海潜山—扣村潜山地区发育河床沉积,受北部物源区影响,河道主要呈南北向展布(陈世悦等,2000),河道间发育泛滥平原(图 9d).上石盒子组沉积期,气候愈发干旱(Boucot 等,2009),受阵发性降水作用的影响,区内发育有阵发性的河流沉积,在孔店凸起—徐黑凸起—东光潜山、埕海潜山—赵东潜山地区发育河床沉积,其余地区主要发育泛滥平原沉积(图 10).

### 4 沉积相发育的控制因素

#### 4.1 构造作用

**4.1.1 构造作用形成的基底古地形特征控制着沉积相的发育** 中晚奥陶世,华北板块南北大陆边缘相继转化为主动大陆边缘,洋壳相对俯冲产生挤压导致华北板块全面隆升(王桂梁等,2007).晚石炭世,华北板块主体开始沉降,接受古亚洲洋海水向盆地内部侵漫,由于下古生界遭受风化剥蚀后具有凹隆相间的古地貌特征,不具备发育潮坪相的低缓古

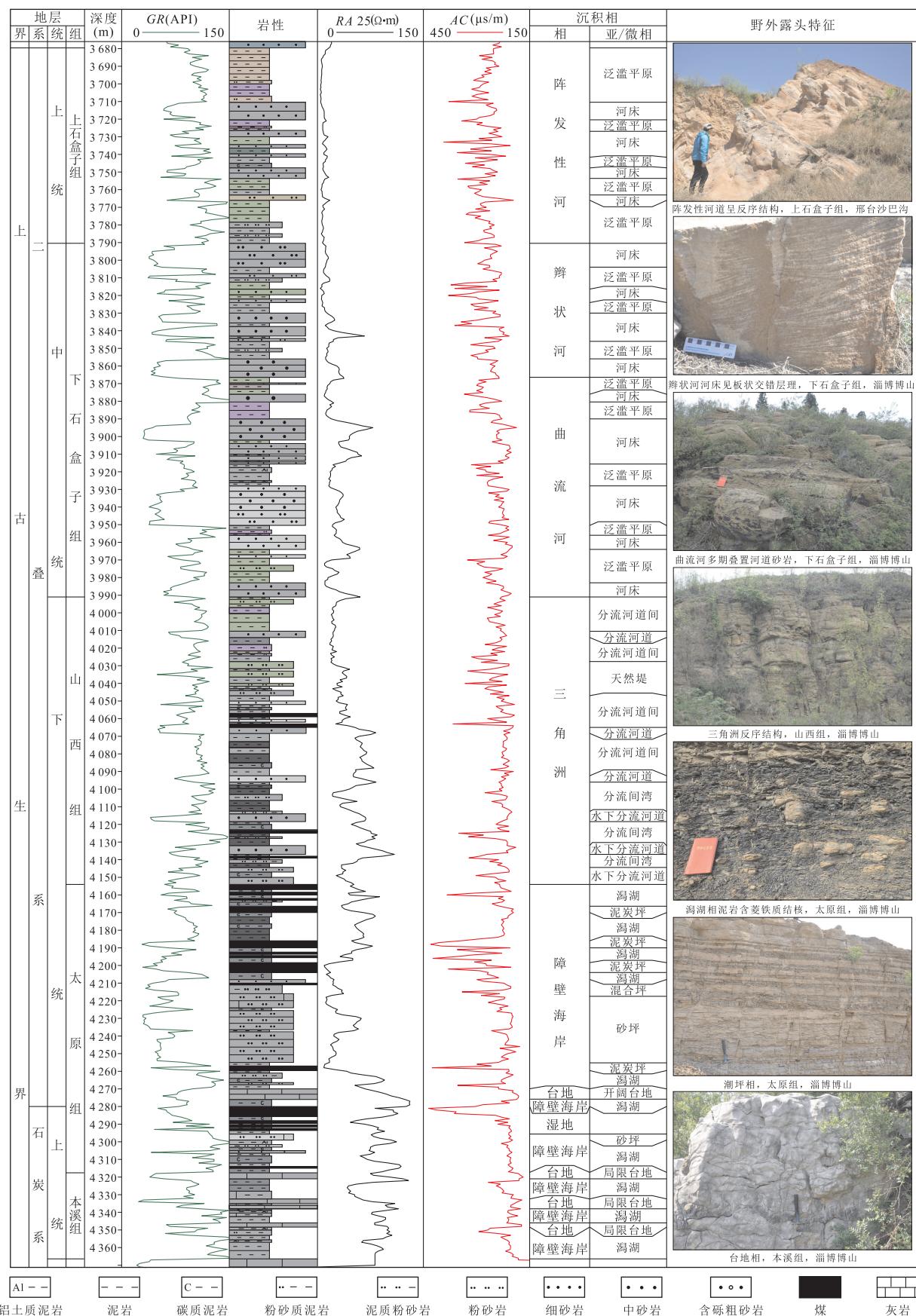


图 7 大港探区 WG1 井沉积综合柱状图

Fig.7 Upper Palaeozoic sedimentary composite column of WG1 well in Dagang exploration area

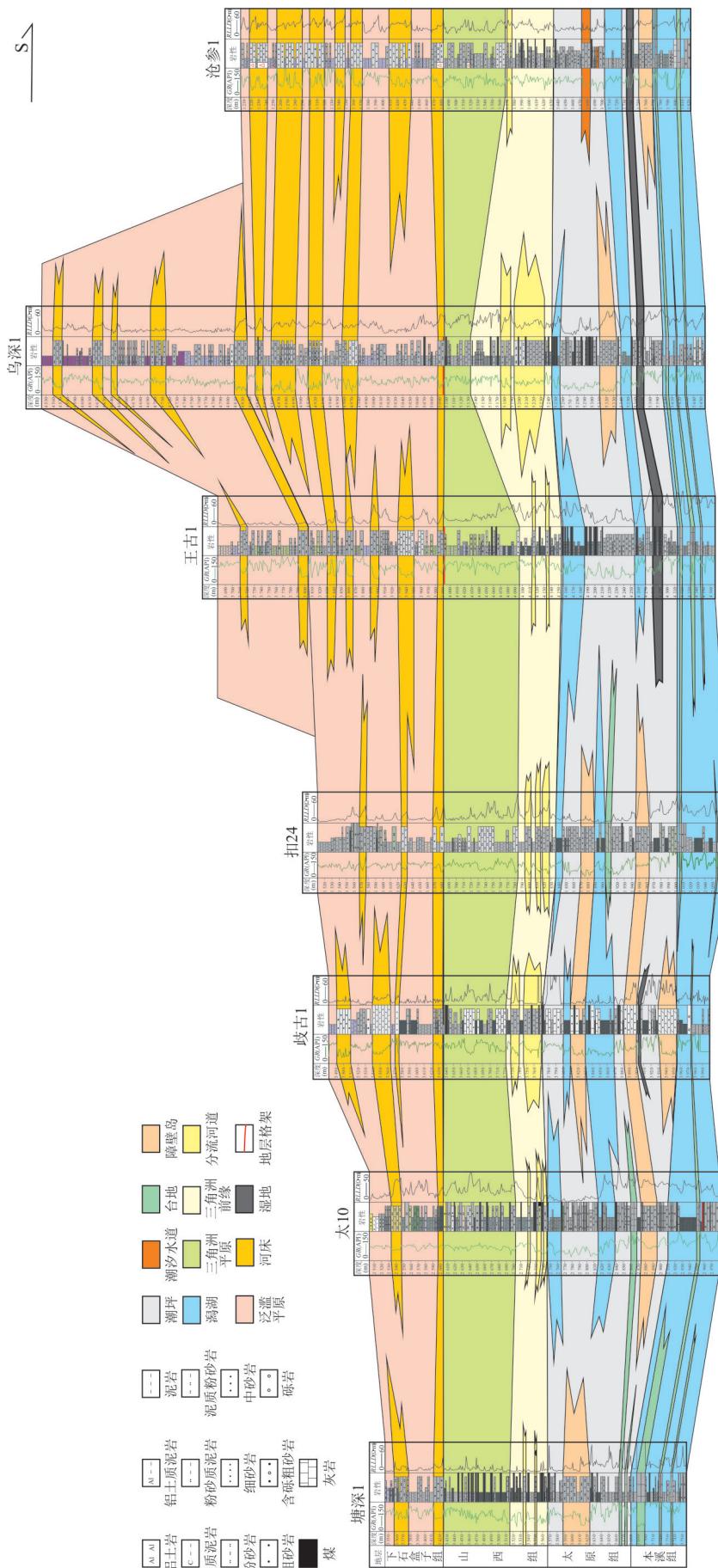


图 8 大港探区上古生界沉积演化连井剖面  
Fig. 8 The well-tie evolution of sedimentary system in Upper Palaeozoic, Dagang exploration area

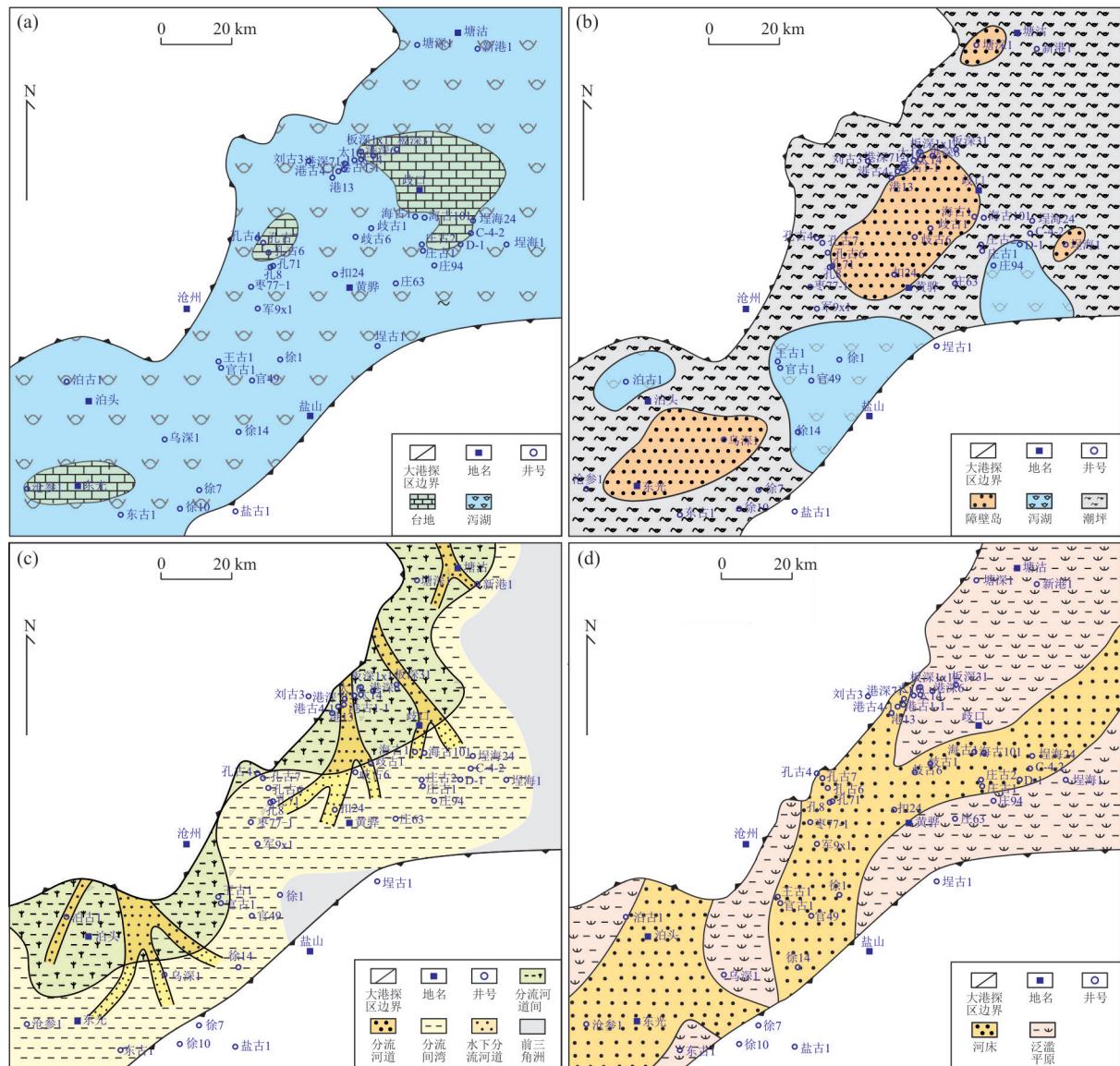


图 9 大港探区本溪组一下石盒子组沉积相

Fig.9 Sedimentary facies of Benxi-Lower Shihezi Formation

a.本溪组沉积相;b.太原组沉积相;c.山西组沉积相;d.下石盒子组沉积相

地形,故此时主要发育受古地形遮蔽而形成的潟湖相沉积。

**4.1.2 构造作用控制着物源供给能力影响沉积相的发育** 盆缘构造活动的稳定期,物源区处于准夷平状态,盆内古地形极为平缓,物源区陆源碎屑供应能力极弱,且向盆地内进积距离和横向规模均较小,造成先前盆地内广泛发育活动碎屑沉积体系大面积废弃,能够向盆内集中输送碎屑物质和溶解质的大型古冲沟消失,取而代之的是流速缓慢、水系分散的网状流,造成盆内大面积沼泽化,在之上发育了湿地相沉积。

#### 4.2 海平面变化

伴随着全球海平面的变化,华北石炭二叠纪发

育有多次海侵活动,由于华北地势低缓,海平面少许变化就能够引发海水的大范围进退,海平面上升过程中,伴随着陆源碎屑物质输入的减少,盆内发育碳酸盐台地。早二叠世,随着泛大陆的聚合,海平面下降(李江海等,2014),形成强制海退,造成太原组时期发育的潮坪—潟湖—障壁—台地复合沉积体系转化为山西组时期发育的三角洲相。

#### 4.3 古气候

晚古生代末期,规模巨大的泛大陆呈南北向分布,横跨南北两极。与此同时,特提斯洋主体位于古赤道地区,在劳亚大陆和冈瓦纳大陆之间,这种海陆分布格局加强了南北半球因热量和压力对比形成季节

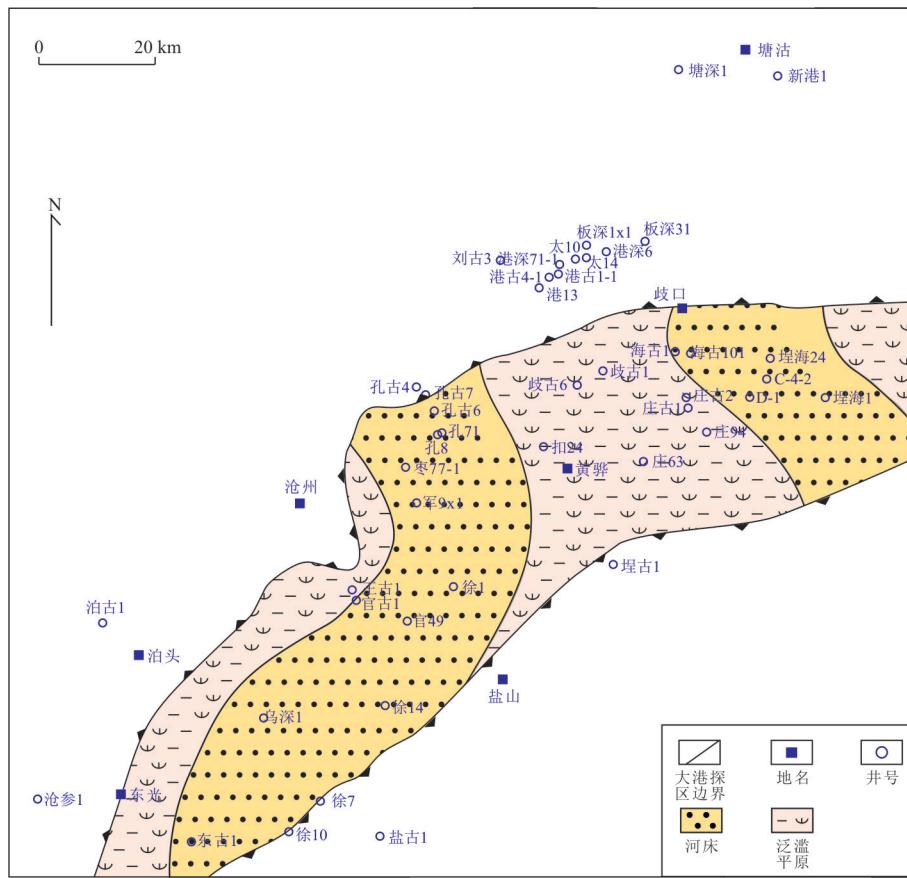


图 10 大港探区上石盒子组沉积相

Fig.10 Sedimentary facies of Shanxi Formation in Dagang exploration area

性交替循环,诱发了强烈的季风型气候(Parrish, 1993),造成全年和季节性干旱广泛分布,该假设已得到模拟实验的证实,这种气候类型称为“巨型季风气候”(Kutzbach and Gallimore, 1989).晚石炭世末期,“巨型季风气候”尚未发育,华北总体处于湿润气候环境,有利于植物的繁盛,沉积体系大面积废弃之后于之上发育湿地相,中二叠世下石盒子组沉积期,“巨型季风气候”处于初始阶段,气候转为较干旱,地下水潜水面低,不利于植物的发育,故沉积体系大面积废弃之后发育古氧化土,在区内称为“桃花泥岩”,在淄博地区称为“B层铝土矿”.中二叠世下石盒子组沉积期,区内仍发育有永久性河流,晚二叠世上石盒子组沉积期,泛大陆已经达到最大规模,巨型季风气候处于发展阶段,华北板块此时处于赤道附近的热带地区(李维波等,2015),处于极端炎热的环境(Crowley *et al.*, 1989; Kutzbach and Gallimore, 1989; 岳绍飞等, 2016),造成永久性河流干涸废弃,而强烈的季风气候造成降水作用具有明显的季节性和阵发性,造成盆内阵发性的河流作用.

5 结论

(1) 大港探区上古生界自下而上可分为本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组，本溪组至上石盒子组中识别出障壁海岸、碳酸盐台地、湿地、三角洲、曲流河、辫状河和阵发性河共7种沉积相类型。

(2)本溪组发育以潟湖为主的障壁海岸相和碳酸盐台地相,太原组发育由潮坪—潮道—潟湖—障壁岛组成的障壁海岸相和碳酸盐台地相,山西组主要发育陆表海背景下的浅水三角洲沉积,下石盒子组主要发育曲流河和辫状河相,上石盒子组发育阵发性河流。

(3) 大港探区本溪组至上石盒子组为一个海侵—海退的沉积过程, 海侵作用在本溪组开始, 太原组时期达到最大, 山西组至上石盒子组时期海水逐渐退去, 本区经历了从障壁海岸—台地复合沉积体系—过渡相—河流相演化过程, 沉积相的发育受构造、物源和古气候等因素的联合控制。

## References

- Boucot, A. J., Chen, X., Scotese, C. R., 2009. Phanerozoic Global Paleoclimate Reconstruction. Science Press, Beijing, 68–78 (in Chinese).
- Chen, C., Zhu, Y. X., Shi, J. H., et al., 2016. The Forming Process and Development Pattern of Shallow Water Delta in Fault Depression Lacustrine Basin: A Case Study of AG Formation in the Jake Area in Fula Sag, Muglad Basin, Sudan. *Acta Petrolei Sinica*, 37(12): 1508–1517 (in Chinese with English abstract).
- Chen, S. Y., Xu, F. Y., Liu, H. J., 2000. Late Paleozoic Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation in North China. Petroleum University Press, Dongying, 8–36 (in Chinese).
- Crowley, T. J., Hyde, W. T., Short, D. A., 1989. Seasonal Cycle Variations on the Supercontinent of Pangaea. *Geology*, (175): 457–460. doi: 10.1130/0091-7613(1989)017<0457:SCVOTS>2.3.CO;2
- Ding, X. J., Liu, G. D., Huang, Z. L., et al., 2011. Controlling Function of Organic Matter Supply and Preservation on Formation of Source Rocks. *Earth Science*, 41(5): 832–842 (in Chinese with English abstract).
- Fu, L. X., Lou, D., Li, H. J., et al., 2016. Control Effect of Indosian-Yanshan Movement on the Formation of Buried Hill in Dagang Exploration Area. *Acta Petrolei Sinica*, 37(Suppl. 2): 19–30 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. K., Su, K., Zhang, Y. S., et al., 2011. Depositional Characteristics and Petroleum Geological Significance of Wetland. *Journal of China University of Petroleum*, 35(3): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Kutzbach, J. E., Gallimore, R. G., 1989. Pangaean Climates: Megamonsoons of the Megacontinent. *Journal of Geophysical Research*, 94(D3): 3341–3357. doi: 10.1029/JD094iD03p03341
- Li, J. H., Wang, H. H., Li, W. B., et al., 2014. Discussion on Global Tectonics Evolution from Plate Reconstruction in Phanerozoic. *Acta Petrolei Sinica*, 35(2): 207–218 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. B., Li, J. H., Wang, H. H., et al., 2015. Characteristics of the Reconstruction of Permian Paleoplate and Litho Facies Paleogeography. *Geology in China*, 42(2): 685–694 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. H., Shang, Y., Zhang, S., et al., 2016. Sedimentary Characteristics and Models of the Composite Shallow Water Delta with the Multiple Sources. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 35(3): 1–9 (in Chinese with English abstract).
- Li, Z. X., Wei, J. C., Yu, J. F., et al., 2010. Study on the Mechanism of Transgression and Transgressive Coal Formation. Geological Press, Beijing, 185–191 (in Chinese).
- Liu, W., 2015. The Analysis of Sedimentary Facies of South Dagang Dilfield of the Upper Paleozoic in Huanghua Depression (Dissertation). Yangtze University, Wuhan (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., Tian, H. Q., 2006. Study on the Deep Sequence Paleogeography and Petroleum Geology in the Northern Part of North China Basin. Geological Press, Beijing, 15 (in Chinese).
- Macabe, P. J., 1984. Depositional Environments of Coal and Coal-Bearing Sequences. Special Publication of International Association of Sedimentologists, 7: 13–42.
- Parrish, J. T., 1993. Climate of the Supercontinent Pangea. *The Journal of Geology*, 101(2): 215–233.
- Sang, S. X., Liu, H. J., Shi, J., 1997. Comparative Sedimentology Researach on Coal-forming Environments. China University of Mining and Technology Press, Xuzhou, 13–35 (in Chinese).
- Shi, Z. W., 2010. Stability on the Lower Reaches of the Yellow River Main Channel of the Node. In: Li, Y. Y., ed., China Water Analysis Report. China Water Power Press, Beijing, 505–513 (in Chinese).
- Tucker, M. E., Wright, V. P., 2015. Carbonate Sedimentology. Petroleum Industry Press, Beijing, 25–61 (in Chinese).
- Wang, G. L., Ju, Y. W., Zheng, M. L., 2007. Energy Basins in Northern China. China University of Mining and Technology Press, Xuzhou, 227 (in Chinese).
- Wright, V. P., Marriott, S. B., 1993. The Sequence Stratigraphy of Fluvial Depositional Systems: The Role of Floodplain Sediment Storage. *Sedimentary Geology*, 86(3): 203–210. doi: 10.1016/0037-0738(93)90022-W
- Yu, Z. H., Yang, C. Y., Liao, Q. J., et al., 1997. Gas Geology in Huanghua Depression. Petroleum Industry Press, Beijing, 69–81 (in Chinese).
- Yue, S. F., Wang, H., Yan, D. T., et al., 2016. The Sedimentary Characteristics and Evolution Law of Trassic, Luoyi District. *Earth Science*, 41(10): 1683–1695 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, P. F., Shao, L. Y., Dai, S. F., 2001. Discussions on the Transgression Model of the Late Palaeozoic in the North China Platform. *Journal of Palaeogeography*, 3(1): 15–24 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, K. Z., 1981. China National Geographic Surface Water. Science Press, Beijing, 162–166 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- Boucot, A. J., 陈旭, Scotese, C. R., 2009. 显生宙全球古气候重建. 北京: 科学出版社, 68–78.

(下转 2104 页)

- 44—52.
- 尹太举,李宣玥,张昌民,等,2012.现代浅水湖盆三角洲沉积砂体形态特征——以洞庭湖和鄱阳湖为例.石油天然气学报,34(10): 1—7.
- 岳绍飞,王华,严德天,等,2016.洛伊地区三叠系沉积体系特征及演化规律.地球科学,41(10): 1683—1695.
- 张昌民,尹太举,朱永进,等,2010.浅水三角洲沉积模式.沉积学报,28(5): 933—944.
- 曾智伟,杨香华,朱红涛,等,2017.白云凹陷恩平组沉积晚期大型三角洲发育特征及其意义.地球科学,42(1): 78—92.
- 中国河流泥沙公报,2015.中华人民共和国水利部编.北京:中国水利水电出版社.
- 周书敏,薛鸿祥,唐文勇,等,2013.半潜式平台发电机排气系统烟气扩散数值仿真研究.航海工程,42(1):
- \* \* \* \* \*
- 132—136.
- 朱伟林,李建平,周心怀,等,2008.渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探.沉积学报,26(4): 575—582.
- 朱筱敏,刘媛,方庆,等,2012.大型坳陷湖盆浅水三角洲形成条件和沉积模式:以松辽盆地三肇凹陷扶余油层为例.地学前缘,19(1): 89—99.
- 朱筱敏,潘荣,赵东娜,等,2013.湖盆浅水三角洲形成发育与实例分析.中国石油大学学报(自然科学版),37(5): 7—14.
- 朱永进,尹太举,刘玲利,2011.浅水型三角洲沉积研究进展及问题讨论.石油天然气学报,33(3): 22—26.
- 邹才能,赵文智,张兴阳,等,2008.大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布.地质学报,82(6): 813—825.

(上接 2068 页)

- 陈诚,朱怡翔,石军辉,等,2016.断陷湖盆浅水三角洲的形成过程与发育模式——以苏丹 Muglad 盆地 Fula 凹陷 Jake 地区 AG 组为例.石油学报,37(12): 1508—1517.
- 陈世悦,徐凤银,刘焕杰,2000.华北晚古生代层序地层与聚煤规律.东营:石油大学出版社,8—36.
- 丁修建,柳广弟,黄志龙,等,2016.有机质供给和保存在烃源岩形成中的控制作用.地球科学,41(5): 832—842.
- 付立新,楼达,李宏军,等,2016.印支—燕山运动对大港探区古潜山形成的控制作用.石油学报,37(增刊 2): 19—30.
- 金振奎,苏奎,张永生,等,2011.湿地的沉积特征及石油地质意义.中国石油大学学报,35(3): 1—6.
- 李江海,王洪浩,李维波,等,2014.显生宙全球古板块再造及构造演化.石油学报,35(2): 207—218.
- 李维波,李江海,王洪浩,等,2015.二叠纪古板块再造与岩相古地理特征分析.中国地质,42(2): 685—694.
- 李一赫,尚尧,张顺,等,2016.多物源复合式浅水三角洲沉积特征与沉积模式.大庆石油地质与开发,35(3): 1—9.
- 李增学,魏久传,余继峰,等,2010.海侵事件与海侵成煤机制研究.北京:地质出版社,185—191.
- 刘为,2015.大港油田中南部上古生界沉积相分析(硕士学位论文).武汉:长江大学.
- 马永生,田海芹,2006.华北盆地北部深层层序古地理与油气地质综合研究.北京:地质出版社,15.
- 桑树勋,刘焕杰,施健,1997.成煤环境的比较沉积学研究.徐州:中国矿业大学出版社,13—35.
- 史宗伟,2010.黄河下游稳定主槽之节点整治.见:李原园编,中国水情分析研究报告文集.北京:中国水利水电出版社,505—513.
- Tucker, M.E., Wright, V.P., 2015. 碳酸盐岩沉积学.北京:石油工业出版社,25—61.
- 王桂梁,琚宜文,郑孟林,2007.中国北部能源盆地构造.徐州:中国矿业大学出版社,227.
- 于志海,杨池银,廖前进,等,1997.黄骅坳陷天然气地质.北京,石油工业出版社,69—81.
- 岳绍飞,王华,严德天,等,2016.洛伊地区三叠系沉积体系特征及演化规律.地球科学,41(10): 1683—1695.
- 张鹏飞,邵龙义,代世峰,2001.华北地台晚古生代海侵模式雏议.沉积学报,3(1): 15—24.
- 竺可桢,1981.中国国家地理地表水.北京:科学出版社,162—166.