

山西黎城中元古界长城系常州沟组 岩石学特征和沉积环境

王玺童^{1,2}, 王怀厂³, 官玉龙^{1,2}, 刘文香³, 罗顺社^{1,4}, 吕奇奇^{1,2}, 张严¹

1 长江大学地球科学学院; 2 油气资源与探测国家重点实验室;
3 中国石油长庆油田勘探开发研究院; 4 非常规油气湖北省协同创新中心

摘要 根据野外露头剖面观察与实测、镜下薄片观察、粒度分析、X-衍射分析等资料,对山西黎城中元古界长城系常州沟组岩石学特征与沉积环境进行了系统的分析。研究认为:①黎城常州沟组以石英砂岩和长石石英砂岩为主,夹少量泥页岩或砂质泥岩,其成分成熟度与结构成熟度均较高,为碎屑岩潮坪沉积。②常州沟组按岩性及其组合特征可分为3段:常一段岩性主要为细粒石英砂岩,为潮下带沉积;常二段岩性主要为石英砂岩、长石石英砂岩,为潮上带—潮间沙坪沉积;常三段岩性主要为细粒石英砂岩,夹少量长石石英砂岩,为潮下带—潮间混合坪沉积。③常州沟组整体水动力表现为强—弱—强—弱的变化过程。建立了障壁型海岸相碎屑岩潮坪沉积模式。

关键词 岩石学特征; 沉积相; 常州沟组; 长城系; 黎城; 山西

中图分类号: TE121.3 **文献标识码**: A

0 前言

随着能源供需矛盾的日益突出及勘探技术的发展,古老地层逐渐成为油气勘探的新方向^[1-2]。中—新元古界作为全球范围内的一个重要沉积层序引起了国际地质学者的广泛关注^[3]。近几十年来的研究发现,在华北克拉通的燕山地区中—新元古界发育有大量的原生液体油苗和固体沥青,而且发育多套优质烃源岩及生储盖组合,油气勘探潜力巨大^[4-6]。

长城系常州沟组作为中元古界最早的一个地层单元,其研究难度和不确定性都非常大。地质学家对不同区域的常州沟组做了大量的研究,发现不同地区常州沟组沉积相各不相同。其中,燕山地区的常州沟组是中元古界最底部不整合于太古宙片麻岩之上的一套碎屑岩组合,属于近岸潮汐沙滩沉积^[7];而北京十三陵地区的常州沟组属于滨浅海碎屑岩沉积^[8]。由于太行山地区的山西黎城位于常州沟组分布的边缘区,地层出露程度均不如其他地区,地层岩性、构造特征较复杂,导致对其真实的沉积相认识不清。

在前人研究的基础上,本文通过对野外地质剖面的观察与实测,并结合室内薄片鉴定、粒度分析及X-衍射分析等资料,对山西黎城中元古界长城系常州沟组沉积环境进行详细的讨论和分析,以期对研究区中—新元古代沉积古地理的恢复提供依据。

1 地质背景

华北克拉通在1.90~1.85 Ga期间完成了最终的克拉通化(吕梁运动),之后在结晶基底之上沉积了中—新元古界^[9]。中元古界自下而上划分为长城系(包含大河组、赵家庄组、常州沟组、串岭沟组、团山子组及大红峪组)、蓟县系(包含高于庄组、杨庄组、雾迷山组、洪水庄组及铁岭组)和待建系(下马岭组),其中长城系在华北克拉通的分布最为广泛^[8-13]。常州沟组为长城系下部地层,主要由石英岩状砂岩组成,广泛分布于河北北部和辽宁西部,厚度变化较大,以蓟县为中心向西厚度逐渐减薄,并缺失部分层位,向东北方向则变厚^[12]。山西省东南边缘的太行山一带零星分布有中元古界露头,经

收稿日期: 2019-12-20; 改回日期: 2020-11-30

本文受国家科技重大专项所属于课题“华北中新元古界沉积特征及生储盖组合研究”(编号: 2016ZX05004-001-004)和油气资源与探测国家重点实验室开放课题“华北克拉通中—新元古代典型拗拉槽沉积充填序列及差异演化”(编号: PRP/open-1804)联合资助

第一作者: 王玺童, 硕士研究生, 主要从事储层沉积学方面的研究。通信地址: 430100 湖北省武汉市蔡甸区大学路1号长江大学; E-mail: 2847796119@qq.com

通信作者: 罗顺社, 教授, 博士生导师, 主要从事储层沉积学方面的教学及研究工作。通信地址: 430100 湖北省武汉市蔡甸区大学路1号长江大学; E-mail: 1010047454@qq.com

过多的区域地质调查,认为太行山地区中元古界可以与燕山地区长城系和蓟县系进行良好的对比,可直接沿用燕山地区的地层划分方案,其中常州沟组分布最广^[13]。太行山地区的常州沟组可以与渾池—确山地区汝阳群的北大尖组进行对比^[14-16]。

研究区位于NNE—SSW向的太行山隆起的中南段(图1),处于由中元古代—古生代地层构成的宽缓背斜的轴部和西翼^[17]。太行山隆起是我国华北地区重要的构造地貌单元,东缘和南缘构成了我国构造地貌的第2级阶梯带,同时也是一条岩石圈尺度的构造变异带^[18-19]、地壳和岩石圈厚度的陡变带以及现今的地震活动带^[20-21]。

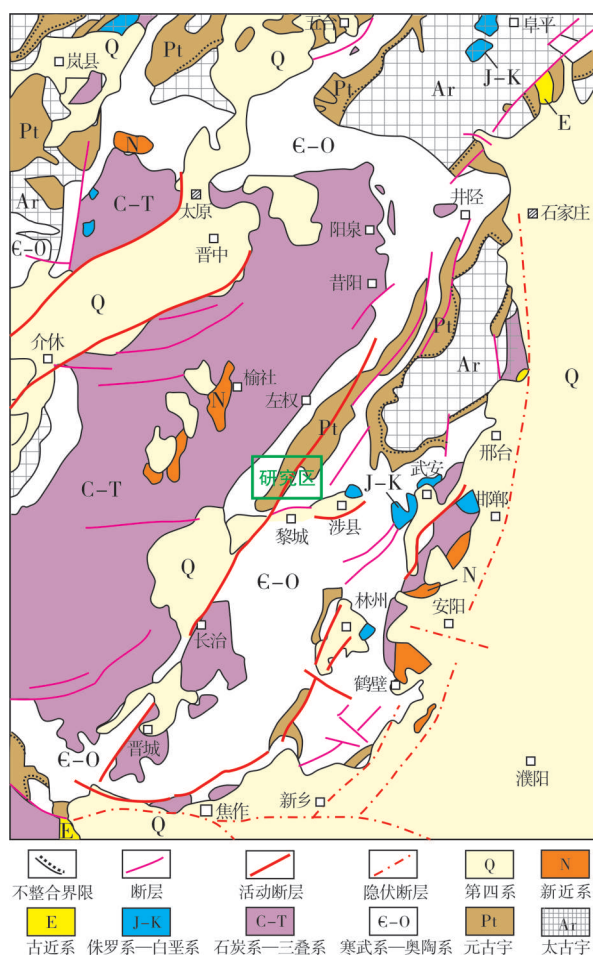


图1 研究区区域地质图(据文献[22]修改)

Fig. 1 Regional geological map of the study area (cited from reference [22], modified)

研究区在长城纪时位于燕辽裂陷槽西南端太行湾北部^[23]。中元古代早期,除东北方向外,太行湾周边均为古陆环绕,不同地区可接受冲积作用、洪积作用带来的陆源碎屑。随着伸展构造运动的

进行,燕辽裂陷槽逐渐形成,北部元古亚洲洋的海水沿燕辽裂陷槽从东北向西南侵入,太行湾逐渐演变为陆表海—滨浅海环境,水体变清、变浅,开始接受海相沉积^[23]。

2 野外露头地层特征

本次研究主要的实测剖面为山西黎城县西井镇背坡村一大井盘公路旁的露头(图1),坐标为:东经113°23′、北纬36°46′,实测总厚度为879.37 m。该剖面地层出露较好,自下而上发育中元古界长城系赵家庄组、常州沟组和串岭沟组,地层连续性极好;常州沟组与下伏赵家庄组、上覆串岭沟组均呈整合接触。按照岩性及其组合特征,以及陡峭—较陡—陡峭的地貌变化,将常州沟组自下而上分为3段(图2)。

常州沟组一段(简称常一段)为1—12层,厚153.1 m。岩性主要为白色中至厚层中—细粒石英砂岩,夹少量含长石石英砂岩,局部含有铁质,发育浪成波痕(图3a)、大型交错层理(图3b, 3c)等沉积构造,与下伏赵家庄组、上覆常二段均呈整合接触。

常二段为13—33层,厚413.0 m。岩性主要为灰白色、黄褐色、浅红色、紫红色中—薄层中—粗粒石英砂岩、长石石英砂岩,夹薄层含长石石英砂岩,中部夹红色薄层泥页岩或砂质泥岩(图3d),局部含有铁质,偶见砾石;厚度大小及颗粒粗细不同的岩层形成递变互层或韵律层,发育楔状、羽状、槽状交错层理(图3e, 3f)及平行层理、波痕(图3g)、纺锤状生物成因构造(MISS构造,图3h),偶见泥砾(图3i);与上覆常三段(寺垆段)呈整合接触。

常三段为34—63层,厚226.1 m。岩性主要为灰白色中层状细粒石英砂岩,夹少量长石石英砂岩、海绿石石英砂岩或赤铁矿砂岩,发育羽状交错层理(图3j)、MISS构造(图3k)及脉状、波状(图3l)、透镜状层理和波痕等;上覆地层为串岭沟组灰绿色、黑色页岩,呈整合接触。

3 岩石学特征

本次研究的64块样品均取自黎城县西井镇背坡村一大井盘公路旁剖面的常州沟组,通过镜下薄片观察(64块)、粒度分析(11块)、黏土矿物和常见非黏土矿物X射线衍射分析(20块),对黎城常州沟组砂岩的组分特征与结构特征进行了系统的研究。

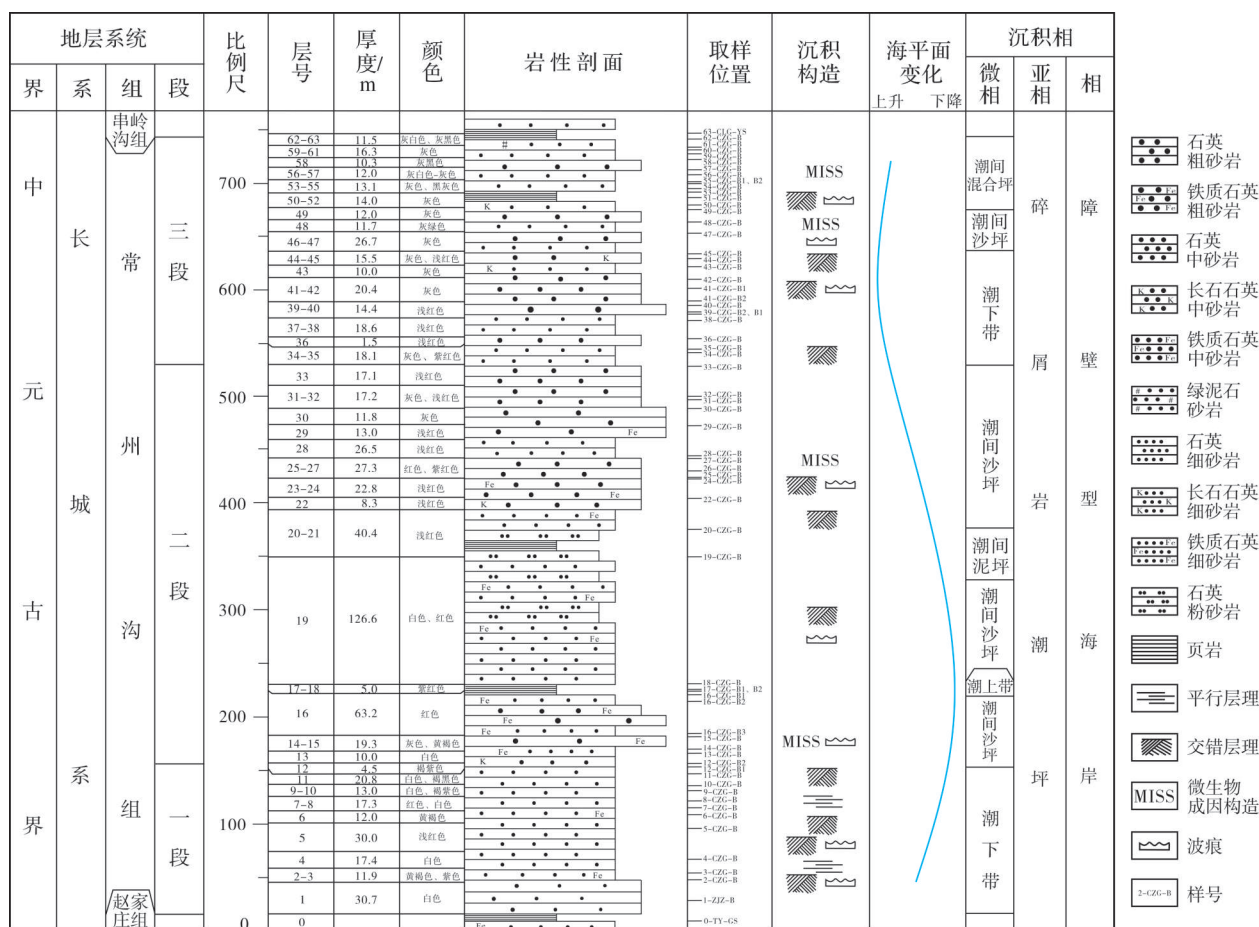


图2 山西黎城常州沟组沉积综合柱状图

Fig. 2 Sedimentary comprehensive column of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

3.1 砂岩组分特征

通过对64个镜下薄片的观察,按照砂岩中石英(Q)、长石(F)、岩屑(R)的相对百分含量进行分类,常州沟组砂岩类型主要为石英砂岩,少量为长石石英砂岩、含长石石英砂岩(图4a),其中长石含量较高的样品主要来自常二段、常三段。

对20个样品的全岩X-衍射分析结果表明:常州沟组砂岩矿物成分以石英为主,含量为76.9%~99.2%,平均值为89.4%;黏土含量为0.8%~9.3%,平均为3.4%;部分样品中含有钾长石,含量为0~17.5%;此外还有个别样品中含有少量菱铁矿、黄铁矿、钙芒硝等矿物。纵向上由下往上石英含量略微变小,黏土含量先变少再变多又变少,长石含量逐渐增多(图4b)。

3.1.1 碎屑组分

常州沟组砂岩碎屑组分以石英为主(图5a, 5b),大部分样品碎屑组分中石英含量在90%以上,

石英颗粒主要为单晶,见波状消光,次生加大强烈。长石在常二段、常三段的样品中出现(图5c),含量为0~15%,个别样品中含量可达25%左右。整体上岩屑含量较少,占0~5%,且几乎全部为硅质岩屑。另外,个别层位中可见少量的铁质结核(图5d)及海绿石(图5e)。

3.1.2 填隙物

常州沟组砂岩粒间填隙物主要为胶结物,约占5%~20%,杂基含量极低,普遍不到1%。胶结物主要有硅质(图5a)、泥铁质(图5f, 5g),在常二段的个别样品中可见方解石、白云石胶结。硅质胶结为常州沟组砂岩中主要的胶结形式,主要表现为石英的次生加大边,以及多期加大边的现象。另外,泥铁质胶结多见于常二段中部以及常三段上部,表现为在石英颗粒边缘形成一圈泥铁质膜,局部可见泥铁质斑状分布,部分的泥质重结晶为伊利石(图5h)。

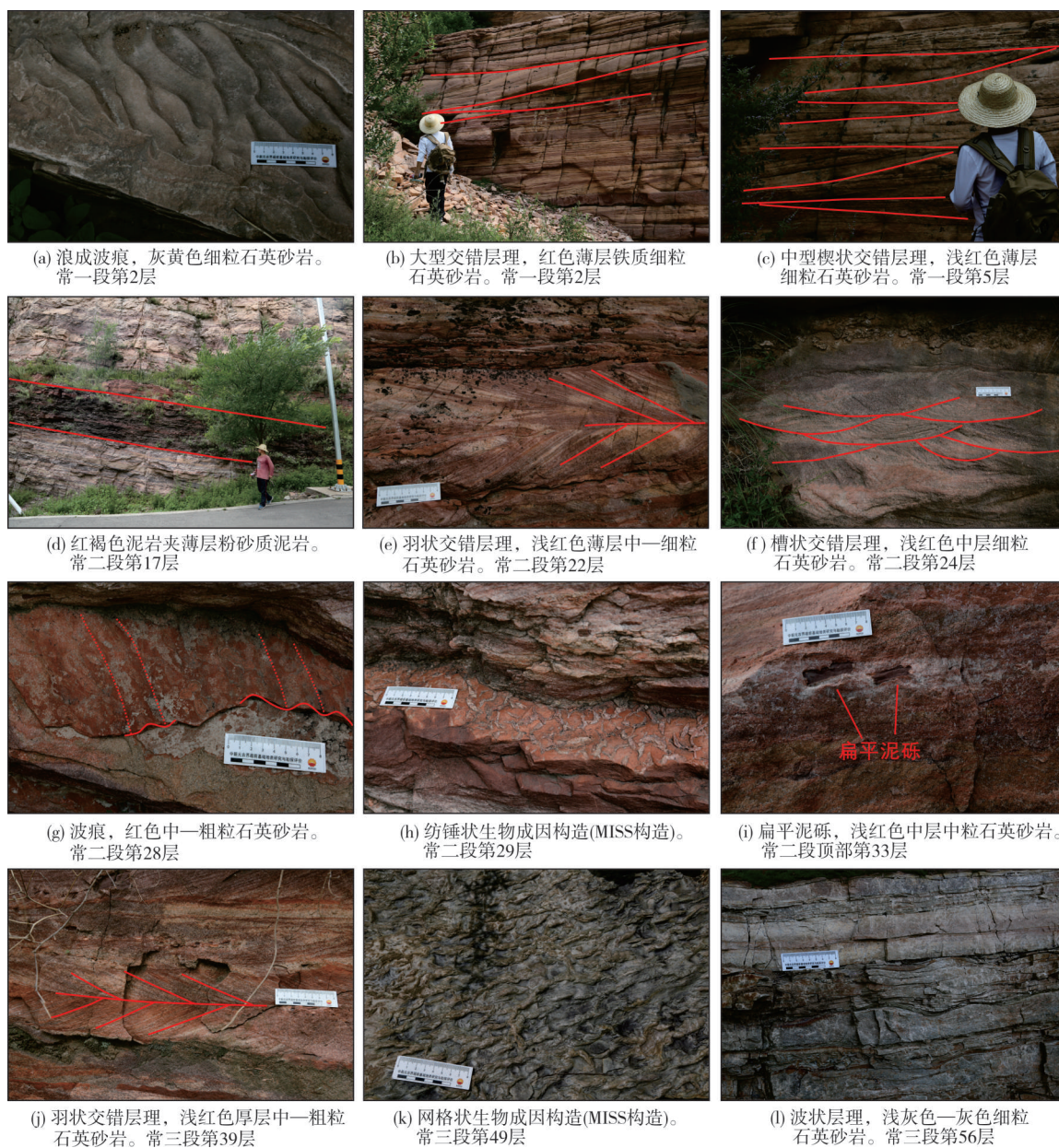


图3 山西黎城常州沟组沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

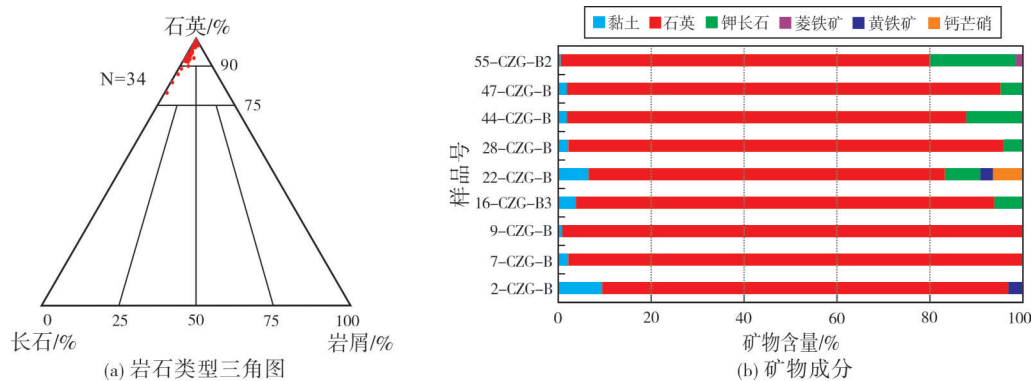


图4 山西黎城常州沟组砂岩岩石类型三角图及矿物成分图

Fig. 4 Triangular diagram of sandstone rock types and mineral compositions of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

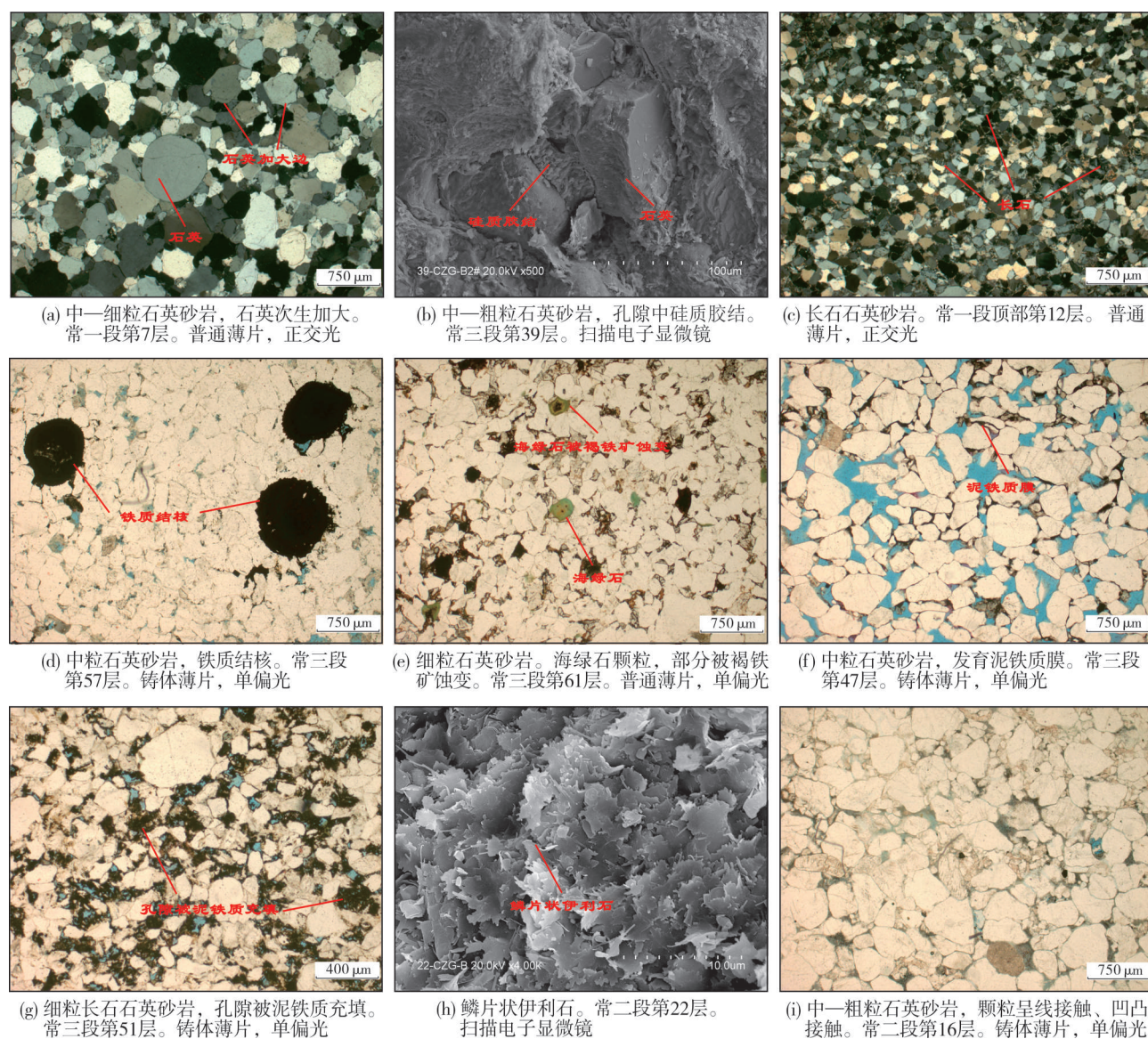


图5 山西黎城常州沟组砂岩显微照片

Fig. 5 Photomicrographs of sandstone of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

3.2 砂岩结构特征

根据本次所测得的 11 个样品的粒度分析数据, 山西黎城常州沟组中粒径 1~2 mm 的巨砂含量很低, 仅占总量的 0.48%; 粒径 0.5~1 mm 的粗砂占总量的 10.71%; 粒径 0.25~0.5 mm 的中砂含量较高, 占总量的 31.31%; 粒径 0.1~0.25 mm 的细砂含量最高, 占总量的 39.60%; 粗粉砂、细粉砂及黏土级别的组分含量较少, 分别占总量的 6.87%、8.87% 和 2.17%。可见常州沟组砂岩粒度主要集中在中砂、细砂(图 6a)。

由岩石组分分析(图 4a)可知, 常州沟组砂岩类型主要为石英砂岩, 砂岩中石英颗粒主要为单晶, 成分成熟度整体较高, 这表明石英颗粒经过长距离搬运和改造。薄片观察及粒度分析显示, 砂岩分选以中等为主: 其中分选好的占 20.59%, 分选中等的占 52.94%, 分选差的占 26.47%(图 6b)。如图 5i 碎屑颗粒之间呈线接触、凹凸接触, 局部见有缝合线接触, 支撑类型主要为颗粒支撑, 杂基含量极低, 整体小于 5%; 碎屑颗粒磨圆好—极好, 基本为次圆状—圆状, 部分碎屑颗粒呈现为滚圆状, 结构成熟度高。

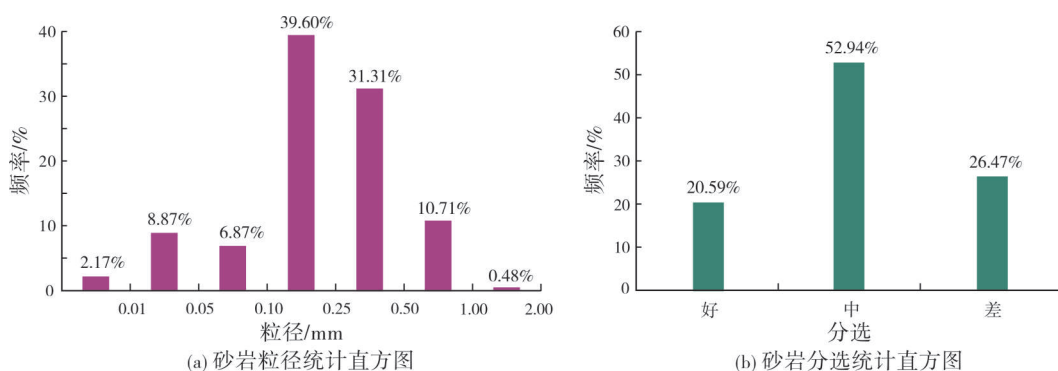


图6 山西黎城常州沟组砂岩粒径分布及分选柱状图

Fig. 6 Percentage histograms of grain size and sorting of sandstone of Changzhou Formation in Licheng, Shanxi

4 沉积相分析

应用野外露头剖面观察与实测、镜下薄片观察、粒度分析、X-衍射分析等资料,在对岩性标志、结构标志、沉积构造标志等沉积相标志进行系统分析的基础上,确定常州沟组的沉积相、亚相和微相类型,进而对研究区沉积相演化进行详细的探讨^[22-26],并建立了山西黎城中元古界长城系常州沟组沉积模式。

4.1 沉积相标志

4.1.1 岩性标志

(1) 颜色

颜色是沉积岩最主要也是最直接的宏观特征之一,它与自身的岩性属性和形成环境以及后期的改造作用密切相关。研究区常二段可见红褐色、棕红色砂质泥岩、泥岩(图3d),为岩石中含铁氧化物或者氢氧化物(如赤铁矿、褐铁矿等)染色的结果,代表着氧化或者强氧化的水上暴露环境。此外,连续沉积于常州沟组之上的串岭沟组下部,见有深灰色、灰黑色泥岩(图7a),代表了串岭沟组沉积期处于还原或强还原的环境,水体流通较局限。

(2) 岩性

不同岩石类型及其组合反映着不同的沉积环境,是进行沉积相研究最基本的标志。研究区常州沟组岩性以石英砂岩为主,夹少量长石石英砂岩、含长石石英砂岩,常二段、常三段长石含量较常一段丰富,常三段泥质含量较多。镜下观察发现:常州沟组砂岩的矿物成分比较单一,碎屑颗粒分选为一般—好,磨圆呈次圆状—滚圆状,显示出较高的成分成熟度。这表明常州沟期海平面较为动荡,沉积物可能受到波浪反复淘洗后,导致长石等不稳定

矿物分解而石英含量占主导;常二段、常三段沉积期的波浪作用较常一段的稍弱。常三段顶部发现有海绿石(图5e),证明了其海相沉积的背景;在常一段砂质沉积中,见有由强潮流作用形成的大型沙坝(图7b),证明常一段可能处于障壁后的低能环境;在常二段顶部发育有泥砾(图3i),并通过对其上部串岭沟组底部沙坝的详细研究,识别出障壁坝存在(图7c),这也佐证了常州沟组应属于障壁型海岸相。

4.1.2 沉积构造

沉积构造是沉积物中最常见的宏观特征之一,原生沉积构造可以用来确定沉积物的搬运方式、沉积速率、沉积方式及水动力条件。研究区常州沟组野外剖面的沉积构造丰富,主要发育层理构造、层面构造、生物成因构造等3类沉积构造。

层理构造在研究区常州沟组比较常见,主要发育平行层理、交错层理和脉状、波状、透镜状层理等。平行层理主要发育在常一段,代表了一种急流或者高能的水体环境;交错层理以大型、中型居多,在常一段、常二段、常三段均有发育,可进一步识别出楔状交错层理(图3c)、槽状交错层理(图3f)、羽状交错层理(图3e,3j),表明水体整体能量较强,特别是羽状交错层理代表了反向水流的存在,是潮坪沉积的重要标志之一,代表了潮间、潮下环境;脉状、波状(图3l)、透镜状层理在常三段上部比较常见,它们是由于水动力强弱交替、沙泥间歇沉积而产生,是潮汐沉积中的一种典型的标志,代表了潮间环境。

层面构造主要为波痕(图3a,3g),在常一段、常二段均有分布,代表了一种动荡的水体环境。

生物成因构造主要为大量分布的MISS构造^[27],即微生物成因构造,是微生物席或者微生物膜与其他物理作用营力共同作用的结果,是一种广义的生物遗

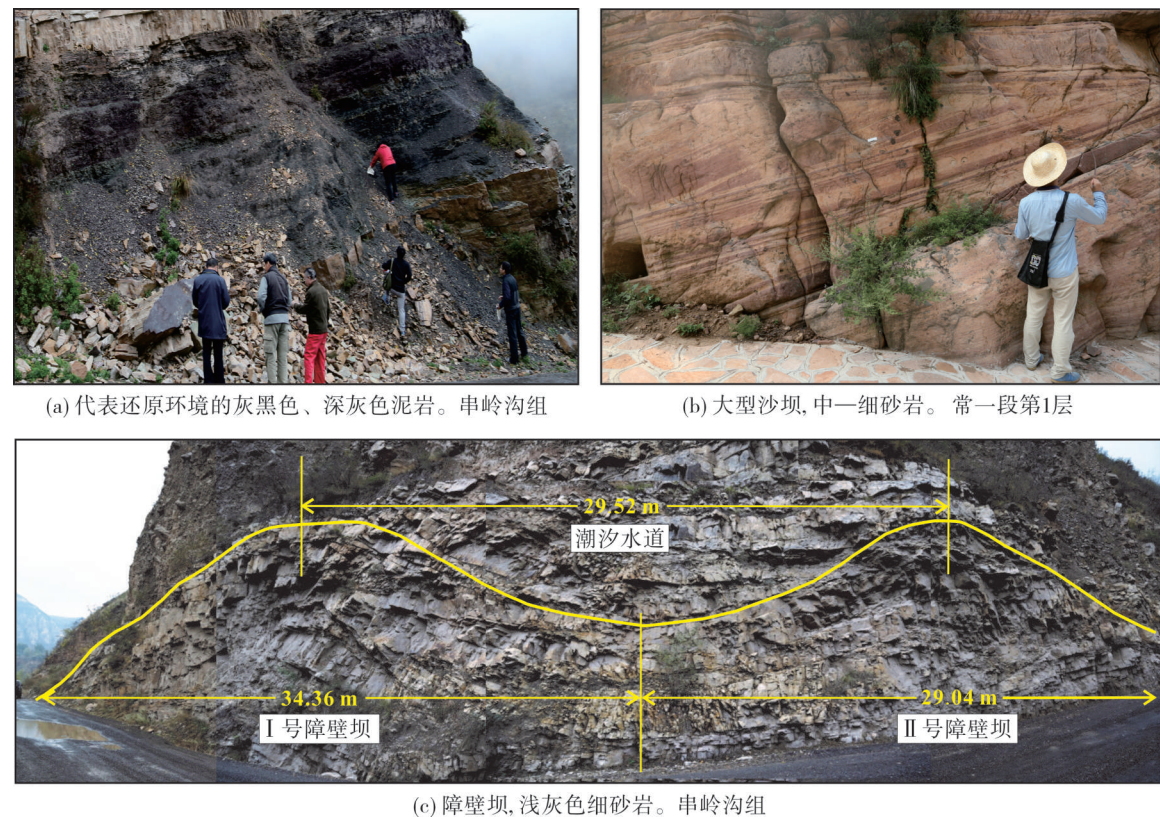


图7 山西黎城障壁型海岸相岩性特征照片

Fig. 7 Field photos showing the lithologic characteristics of barrier coastal facies in Licheng, Shanxi

迹化石,代表了间歇性暴露的潮间环境(图3h,3k)。

4.1.3 结构标志

粒度分析是判别沉积环境和水动力的良好标志,并得到了广泛的应用^[28-29]。根据测得的粒度数据,进行了福克和沃克粒度参数计算,得出常州沟

组砂岩11个样品的平均粒径(Φ 值)为1.28~4.14(表1),以中、细粒为主;标准偏差(σ)为1.06~2.13,分选系数为1.36~2.25,分选一般;偏度(S_k)为0.41~0.67,正偏态,表现出粗粒组分稍占优势;峰度(K_G)为1.12~2.07,较为尖锐。这些参数具有较强的指向性,体现了较强的水动力条件。

表1 山西黎城常州沟组粒度参数及环境判别表

Table 1 Granularity parameters and environmental discrimination of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

序号	样品号	平均粒径(Φ 值) (M_z)	标准偏差 (σ)	偏度 (S_k)	峰度 (K_G)	萨胡公式 ^[30] 沉积环境判别结果	
						第一公式 (风成沙丘与滨海)判别	第二公式 (海滩与浅海)判别
1	SB-0-B	2.11	1.49	0.45	1.41	滨海	浅海
2	SB-1-B	1.64	1.12	0.49	1.91	滨海	浅海
3	SB-2-B	1.28	1.06	0.41	1.39	滨海	浅海
4	SB-3-B	3.13	1.70	0.59	1.63	滨海	浅海
5	SB-4-B	3.28	1.89	0.52	1.18	滨海	浅海
6	SB-5-B	2.78	1.52	0.51	1.35	滨海	浅海
7	SB-6-B	3.37	1.65	0.57	1.63	滨海	浅海
8	7-CZG-B	3.19	1.89	0.42	1.14	滨海	浅海
9	22-CZG-B	3.61	2.13	0.44	1.12	滨海	浅海
10	39-CZG-B2	4.14	2.09	0.47	1.18	滨海	浅海
11	47-CZG-B	2.63	1.83	0.67	2.07	滨海	浅海

以上分析认为研究区属于海岸相沉积,因此首先根据萨胡(Sahu)沉积环境判别函数的第一公式与第二公式^[30]对山西黎城地区的沉积相进行判别(表1):由第一公式(风成沙丘与滨海的判别函数)计算的结果均判别为滨海,由第二公式(海滩与浅海的判别函数)计算的结果均判别为浅海。然后综合野外剖面及室内薄片资料分析,进一步明确研究区为发育潮道的障壁型海岸相潮坪沉积。

常州沟组粒度累积曲线主要为二段式或三段式(图8),反映跳跃总体和悬浮总体2个粒度总体,跳跃组分含量较多,悬浮组分含量较少,滚动总体比较少见。跳跃总体一般为一段或者两段,斜率均较陡,说明其分选性好,符合潮坪砂岩的沉积特征^[31]。但与现代潮坪沉积相比跳跃组分总体粒度偏粗,冲刷-回流界面位于粒度(Φ 值)1对应的位置,可能与沉积物埋藏成岩过程中的经历有关。

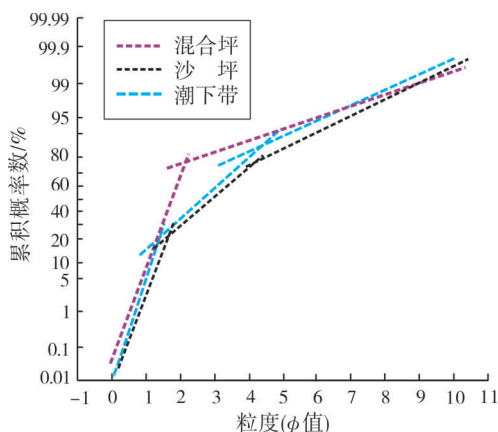


图8 山西黎城常州沟组粒度概率累积曲线
Fig. 8 Granularity probability cumulative curve of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

4.2 沉积相类型及特征

综合以上研究认为山西黎城中元古界长城系常州沟组主要发育障壁型海岸相碎屑岩潮坪亚相,进一步可细分为潮上带、潮间泥坪、潮间混合坪、潮间沙坪与潮下带等5种沉积微相,各沉积微相的特征及分布层位见表2、图8。

4.2.1 潮下带

潮下带主要分布在常一段和常三段下部,沉积期海平面处于较低的位置,碎屑物质受到海水的淘洗,颗粒以中—细粒石英为主,碎屑物比较纯净,分选和磨圆都比较好,成分成熟度和结构成熟度较

高,发育波痕(图3a)和板状、楔状(图3b,3c)、羽状(图3j)交错层理及平行层理、泥砾(图3i)等沉积构造。其砂岩粒度概率曲线主要为三段式(图8),跳跃组分多为两个次总体,含量较高,悬浮组分含量较少。

表2 山西黎城常州沟组沉积相类型及特征

Table 2 Types and characteristics of sedimentary facies of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

沉积相	沉积亚相	沉积微相	沉积构造	分布层位
障壁型海岸相	碎屑岩潮坪	潮上带	细小的平行纹层、波状纹层	常二段中部
		潮间泥坪	水平纹层、波状纹层等	常二段、常三段上部
		潮间混合坪	脉状、波状、透镜状层理, MISS构造,波痕等	
		潮间沙坪	楔状交错层理,羽状交错层理,平行层理,波痕等	
		潮下带	大型楔状、板状交错层理,平行层理,波痕,泥砾,羽状交错层理等	常一段、常三段下部

4.2.2 潮间带

潮间带主要分布在常二段和常三段上部,沉积物具有泥沙混合的特点,可进一步细分为沙坪、混合坪、泥坪。沙坪沉积物出现羽状(图3e)、楔状交错层理和平行层理、波痕(图3g)等沉积构造;混合坪沉积物发育脉状、波状(图3l)、透镜状层理和MISS构造(图3h,3k)、波痕等;泥坪以粉砂岩、泥岩沉积为主,发育水平纹层、波状纹层等。此外,潮间带还发育槽状交错层理(图3f),可能是其中发育有潮道所致,其砂岩粒度概率曲线主要呈现为二段式或三段式(图8),以跳跃组分为主,跳跃组分为一段或者两段,悬浮组分次之。

4.2.3 潮上带

研究区潮上带分布较少,仅在常二段中部少量发育,主要由泥岩或粉砂质泥岩组成,泥岩颜色多呈紫红色、棕红色等氧化色(图3d),发育细小的平行纹层、波状纹层。

4.3 沉积模式

通过对岩石学特征和沉积环境的分析,并结合前人的研究,认为研究区常州沟组构造运动稳定、古地貌平缓,沉积物分布主要受物源及水深变化的影响,主要发育障壁型海岸相碎屑岩潮坪沉

积,研究区内潮汐作用显著,沉积物被海水改造明显。常一段沉积期水体较深、能量高,发育以砂质为主的潮下带,并在水下形成沙坝。至常二段沉积早期,水体逐渐变浅,发育潮间带沙坪及暴露在水上的以红褐色泥岩沉积为主的潮上带;随后,常

二段沉积中晚期海水动荡,水体总体呈加深趋势,主要发育潮间带(泥坪、沙坪)沉积。到了常三段沉积期,水体再次变浅,向上发育潮下带—潮间混合坪沉积。研究区障壁型海岸相碎屑岩潮坪沉积模式如图9所示。

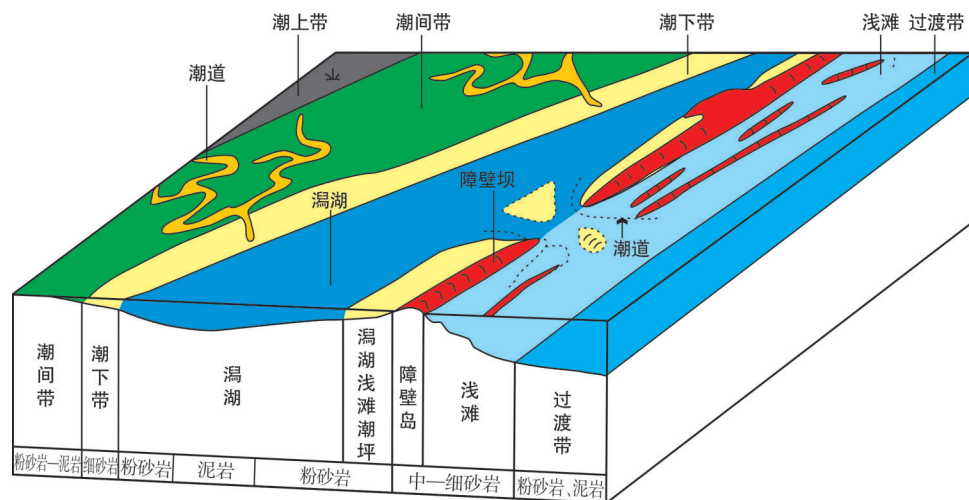


图9 山西黎城常州沟组障壁型海岸沉积模式

Fig. 9 Barrier coastal depositional model of Changzhougou Formation in Licheng, Shanxi

5 结论

(1)山西黎城中元古界长城系常州沟组以石英砂岩和长石石英砂岩为主,夹少量泥页岩或砂质泥岩,其成分成熟度与结构成熟度均较高。粒度主要以中砂、细砂为主,概率累积曲线具有二段式、三段式,反映以跳跃组分、悬浮组分为主,跳跃组分斜率大,表明分选较好。碎屑颗粒磨圆好—极好,基本为次圆状—圆状,部分呈现为滚圆状;碎屑物质主要为石英,胶结类型以硅质、泥质胶结为主,颗粒支撑,接触类型主要为线接触、凹凸接触,杂基含量极低,结构成熟度高。

(2)根据岩性及组合特征认为常州沟组沉积环境主要为障壁型海岸相碎屑岩潮坪。常一段岩性主要为细粒石英砂岩,为潮下带沉积;常二段岩性主要为石英砂岩、长石石英砂岩,为潮上带—潮间沙坪沉积;常三段岩性主要为细粒石英砂岩,夹少量长石石英砂岩,为潮下带—潮间混合坪沉积。常州沟组沉积过程中水动力条件变化为强—弱—强—弱的过程,海平面变化表现为上升—下降—上升的特征。建立了障壁型海岸相碎屑岩潮坪沉积模式。

参考文献

- [1] 贾承造. 关于中国当前油气勘探的几个重要问题[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊1): 6-13.
- [2] 赵文智, 胡素云, 刘伟, 等. 再论中国陆上深层海相碳酸盐岩油气地质特征与勘探前景[J]. 天然气工业, 2014, 34(4): 1-9.
- [3] 赵澄林, 李儒峰, 周劲松. 华北中新元古界油气地质与沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 1-15.
- [4] 王铁冠. 燕山地区震旦亚界油苗的原生性及其石油地质意义[J]. 石油勘探与开发, 1980, 7(2): 34-52.
- [5] 刘岩, 钟宁宁, 田永晶, 等. 中国最老古油藏: 中元古界下马岭组沥青砂岩古油藏[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(4): 503-512.
- [6] 马奎, 王铜山, 胡素云, 等. 铀对古老烃源岩有机质生烃影响: 以华北花园地区下马岭组元古界烃源岩为例[J]. 东北石油大学学报, 2017, 41(2): 35-43.
- [7] 钟焱, 赵亮东, 陈留勤, 等. 对华北中元古代海侵初期“河流相”沉积的再认识: 以天津蓟县剖面为例[J]. 古地理学报, 2011, 13(1): 21-29.
- [8] 宋天锐. 北京十三陵地区中元古界长城系沉积相标志及沉积环境模式[J]. 古地理学报, 2007, 9(5): 461-472.
- [9] 赵太平, 邓小芹, 胡国辉, 等. 华北克拉通古/中元古界地槽和相关地质问题讨论[J]. 岩石学报, 2015, 31(6): 1495-1508.
- [10] 翟明国, 胡波, 彭澎, 等. 华北元古宙的多期伸展与裂谷事件[M]//孙枢, 王铁冠. 中国东部中—新元古界地质学与油气资源. 北京: 科学出版社, 2016: 245-286.
- [11] PIPER J D A. Palaeomagnetic evidence for a Proterozoic super-continent[J]. Philosophical transactions of the Royal So-

- ciety of London, 1976, 280: 469-490.
- [12] ERIKSSON P G, CATUNEANU O, NELSON D R, et al. Events in the Precambrian history of the Earth: challenges in discriminating their global significance[J]. Marine and petroleum geology, 2012, 33(1): 8-25.
- [13] 翟明国, 胡波, 彭澎, 等. 华北中—新元古代的岩浆作用与多期裂谷事件[J]. 地学前缘, 2014, 21(1): 100-119.
- [14] 陈晋镛, 武铁山. 全国地层多重划分对比研究(10) 华北区域地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-199.
- [15] 杜汝霖. 赵家庄组的建立及太行—五台山区滹沱群与长城系的关系[J]. 河北地质学院学报, 1984, 25(1): 23-29.
- [16] 苏文博. 华北及扬子克拉通中元古代年代地层格架厘定及相关问题探讨[J]. 地学前缘, 2016, 23(6): 156-185.
- [17] 郑元, 吕洪波, 章雨旭, 等. 山西黎城中元古代砂岩层面多种痕迹特征及成因初析[J]. 地质论评, 2009, 55(1): 1-9.
- [18] 陈国英, 宋仲和, 安昌强, 等. 华北地区三维地壳上地幔结构[J]. 地球物理学报, 1991, 34(2): 172-181.
- [19] 张培震. 中国大陆岩石圈最新构造变动与地震灾害[J]. 第四纪研究, 1999, 19(5): 404-413.
- [20] 江娃利, 聂宗笙. 太行山山前断裂带活动特征及地震危险性讨论[J]. 华北地震科学, 1984, 2(3): 21-27.
- [21] 徐杰, 高战武, 宋长青, 等. 太行山山前断裂带的构造特征[J]. 地震地质, 2000, 22(2): 111-122.
- [22] 龚明权. 新生代太行山南段隆升过程研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2010.
- [23] 王青春, 贺萍, 杜江民, 等. 太行山中南段长城系赵家庄组沉积特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 47-56.
- [24] 梅冥相, 高金汉. 岩石地层的相分析方法与原理[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 62-66.
- [25] 张严, 罗顺社, 吕奇奇, 等. 华北克拉通南缘中条山地区汝阳群沉积特征与层序地层分析[J]. 东北石油大学学报, 2018, 42(6): 22-31.
- [26] 王建新. 塔里木盆地志留系柯坪塔格组潮坪沉积特征分析[J]. 西北地质, 2018, 51(2): 69-74.
- [27] 郑伟, 邢智峰. 山西黎城中元古界常州沟组微生物成因构造(MISS)及其地质意义[J]. 现代地质, 2015, 29(4): 825-832.
- [28] 彭冰霞, 杜远生. 鄂东地区上泥盆统五通组砂岩沉积相及其古地理特征[J]. 古地理学报, 2002, 4(3): 26-32.
- [29] 邹姐姐, 张大权, 史基安, 等. 准噶尔盆地石南地区中侏罗统头屯河组沉积特征及演化[J]. 古地理学报, 2016, 18(6): 951-960.
- [30] SAHU B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments [J]. Journal of sedimentary petrology, 1964, 34(1): 73-83.
- [31] 李文厚. 华北地台南缘高山河群碎屑岩潮坪沉积[J]. 沉积学报, 1991, 9(3): 98-105.

编辑: 黄革萍

Petrological characteristics and sedimentary environment of Changzhougou Formation of the Mesoproterozoic Changcheng System in Licheng, Shanxi

WANG Xitong, WANG Huaichang, GUAN Yulong, LIU Wenxiang,
LUO Shunshe, LÜ Qiqi, ZHANG Yan

Abstract: Based on the field outcrop observation and measurement, thin section observation under microscope, grain size analysis and X-ray diffraction analysis, the petrological characteristics and sedimentary environment of Changzhougou Formation of the Mesoproterozoic Changcheng System in Licheng, Shanxi are systematically analyzed. The results show that: (1) The Changzhougou Formation in Licheng is mainly composed of quartz sandstone and feldspar quartz sandstone, with a small amount of shale or sandy mudstone. Its compositional maturity and structural maturity are high, and it is the deposition of clastic tidal flat. (2) Changzhougou Formation can be divided into three members according to lithology and combination characteristics: the first member is mainly composed of fine-grained quartz sandstone, which is deposited in subtidal zone; the second member is mainly composed of quartz sandstone and feldspathic quartz sandstone, which is deposited in supratidal zone-intertidal sand flat; the third member is mainly composed of fine-grained quartz sandstone with a small amount of feldspathic quartz sandstone, which is deposited in subtidal zone-intertidal mixed flat. (3) The overall hydrodynamic performance of Changzhougou Formation is a change process of strong-weak-strong-weak. A tidal flat sedimentary model of clastic rocks of barrier coastal facies is established.

Key words: petrological characteristics; sedimentary facies; Changzhougou Formation; Changcheng System; Licheng; Shanxi

WANG Xitong, First author: Master in progress at Yangtze University, engaged in research on sedimentology and reservoir geology. Add: Yangtze University, No. 1 Daxue Rd., Caidian District, Wuhan, Hubei 430100, China

LUO Shunshe, Corresponding author: Doctoral supervisor, mainly engaged in the teaching and research on reservoir sedimentology. Add: Yangtze University, No. 1 Daxue Rd., Caidian District, Wuhan, Hubei 430100, China