

doi: 10.12029/gc20210122

徐绪东, 李凤杰, 闫大伟, 李春森. 2021. 龙门山区北川甘溪剖面泥盆系养马坝组铁质鲕粒成因及其古环境讨论[J]. 中国地质, 48(1): 322-331.
Xu Xudong, Li Fengjie, Yan Dawei, Li Chunsen. 2021. Genesis and paleoenvironment of the iron ooids from the Ganxi prolife of the Devonian Yangmaba Formation in Beichuan County, Longmenshan Area[J]. Geology in China, 48(1): 322-331(in Chinese with English abstract).

龙门山区北川甘溪剖面泥盆系养马坝组铁质鲕粒成因及其古环境讨论

徐绪东¹, 李凤杰^{2,3}, 闫大伟¹, 李春森¹

(1. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059;
3. 油气藏地质及开发国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059)

摘要: 龙门山区中泥盆统养马坝组底部发育丰富的铁质鲕粒。为分析该铁质鲕粒成因, 本文以甘溪石沟里剖面精细实测为基础, 通过详细的薄片和扫描电镜等分析, 对铁质鲕粒的特征进行了研究, 分析结果表明: 龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组鲕粒类型多样, 鲕粒核心包括石英碎屑颗粒、海百合碎片、黑色赤铁矿和方解石等 4 种类型, 鲕粒圈层可分为明暗相间圈层、颜色均匀圈层和绿泥石圈层等 3 种类型。根据鲕粒核心和外部圈层的组合, 可将甘溪泥盆系养马坝组的铁质鲕粒划分为粉砂质鲕粒、铁化鲕粒和绿泥石薄皮鲕粒等 3 种类型。龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组铁质鲕粒对古环境具有重要的指示意义, 粉砂质鲕粒形成于开放近岸浅海氧化环境, 而铁化鲕粒和绿泥石薄皮鲕粒则指示浅海滨岸中相对封闭的泻湖与残积鲕粒滩环境。

关键词: 铁质鲕粒; 古环境分析; 养马坝组; 泥盆系; 地质调查工程; 龙门山区

中图分类号: P534.44; P588.242 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)01-0322-10

Genesis and paleoenvironment of the iron ooids from the Ganxi prolife of the Devonian Yangmaba Formation in Beichuan County, Longmenshan Area

XU Xudong¹, LI Fengjie^{2,3}, YAN Dawei¹, LI Chunsen¹

(1. Energy collage, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, CDUT, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: There exist abundant iron ooids at the bottom of the Middle Devonian Yangmaba Formation in the Longmenshan area. In order to analyze the genesis of the iron ooids, their characteristics were studied by means of thin section and scanning electron

收稿日期: 2018-11-01; 改回日期: 2019-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目“龙门山地区泥盆纪土桥子组高频韵律旋回成因及古气候意义研究”(41172100)、国家级大学生创新创业训练计划项目“四川龙门山泥盆纪养马坝组铁质鲕粒成因及其古环境意义”(201710616141)和成都理工大学沉积地质学创新团队基金(KYTD201703)联合资助。

作者简介: 徐绪东, 男, 1997 年生, 沉积学专业; E-mail: xuxudong949981291@163.com。

通讯作者: 李凤杰, 男, 1972 年生, 教授, 从事沉积学教学与研究工作; E-mail: lifengjie72@163.com。

microscope based on the detailed measurement of the Shiligou Profile in Ganxi village. The analysis results show that there are various types of ooids in Middle Devonian Yangmaba Formation of Longmenshan area. The ooidal cores include four types: quartz clastic particles, crinoid fragments, black hematite and calcite. The outer laminas of ooids can be divided into three types: alternate dark and bright one, uniform-colored one and chlorite-fragmented one. The iron ooids of Middle Devonian Yangmaba Formation in the Longmenshan area have an important significance to the ancient environment. The silty ooids were formed in the open environment nearshore shallow water under oxidation condition, and iron ones and chlorite ones with thin layers were deposited in the relatively closed lagoon and residual ooids beach of shallow seashore.

Key words: iron ooids, genesis; paleoenvironment; Yangmaba Formation; Devonian; geological survey engineering; Longmenshan area

About the first author: XU Xudong, male, born in 1997, bachelor's degree, engages in the study and research of sedimentology; E-mail: xuxudong949981291@163.com.

About the corresponding author: LI Fengjie, male, born in 1972, professor, engages in the teaching and research of sedimentology, E-mail: lifengjie72@163.com

Fund support: Supported by National natural science foundation of China(No.41172100), National undergraduate innovation and entrepreneurship training program(No.201710616141) and Sedimentary geology innovation team fund of Chengdu University of Technology (No.KYTD201703)

1 引言

中国的鲕状赤铁矿主要分布在前寒武纪、奥陶纪、泥盆纪及侏罗纪(朱世兴,1980;侯奎等,1983;胡宁等,1998),泥盆纪“宁乡式”铁矿的主要成分就是鲕粒赤铁矿,主要形成于中、晚泥盆世(廖士范等,1993;赵一鸣等,2000;周家云等,2009)。鲕状赤铁矿的形成与泥盆纪古地理环境密切相关,在湿热环境下较封闭或半封闭的古海盆、古海湾或潮坪中的浅海—滨海相沉积组合是有利的成矿古地理条件(赵一鸣等,2000;周家云等,2009)。龙门山区泥盆系鲕粒赤铁矿位于川中成矿区(赵一鸣等,2000),但是该区铁质鲕粒的研究仅限于石炭纪鲕粒赤铁矿成因的讨论(张扬等,2009;武向峰等,2010)。而针对中泥盆统养马坝组铁质鲕粒,侯鸿飞等(1988)和郑荣才等(2016)曾报道过龙门山北川甘溪剖面中泥盆统养马坝组夹有鲕状赤铁矿层,但未做详细描述。鲕状赤铁矿的形成与泥盆纪该区古地理环境密切相关,沉积环境主要为被动大陆边缘浅海环境,其中陆内凹陷盆地及封闭的浅水潟湖环境对成矿最为有利,有利的岩性组合为碎屑岩(周家云等,2009)。不同于其他鲕粒赤铁矿主要赋存于碎屑岩,龙门山北川甘溪剖面中泥盆统养马坝组铁质鲕粒赋存在生物屑灰岩中,表明其沉积于水动力较强的环境中,因而有别于陆内凹陷盆地及封

闭的浅水潟湖环境。由此可见,有必要对该区铁质鲕粒进行沉积环境的详细分析,探讨其成因机制的研究。该研究不但对铁质鲕粒成因机制研究具有重要意义,而且进一步丰富中国南方宁乡式铁矿形成机理,因此具有重要的理论和实践意义。

龙门山区北川桂溪—沙窝子泥盆系国际标准剖面(简称甘溪剖面)是国际泥盆系标准剖面之一,也是中国泥盆系重要的典型剖面之一(侯鸿飞等,1988)。该剖面地层发育全、出露良好,下统由平驿铺组、白柳坪组、甘溪组、谢家湾组和二台子组组成,中泥盆统则由养马坝组、金宝石组、观雾山组组成(侯鸿飞等,1988;刘文均等,1996)。北川甘溪剖面赋存铁质鲕粒的养马坝组位于石沟里村(图1),是由碎屑岩和碳酸盐岩组成的混合沉积(李祥辉等,1997),其底部为薄层状或透镜状浅灰色生物屑灰岩和土黄色含粉砂质泥岩,铁质鲕粒赋存于生物屑灰岩中(图2)。

为了研究该套铁质鲕粒的成因,本文对龙门山区甘溪石沟里养马坝组含铁质鲕粒层段(第1和2层)进行详细野外剖面的观察与实测,将该层段进一步划分为35个小层,实测结果见图3。研究中,以野外观察为基础,将系统采集的样品进行偏光显微镜和扫描电镜测试,分析铁质鲕粒的结构、成分及其他相关特征,探讨养马坝组铁质鲕状的成因,并以此恢复当时的古环境。

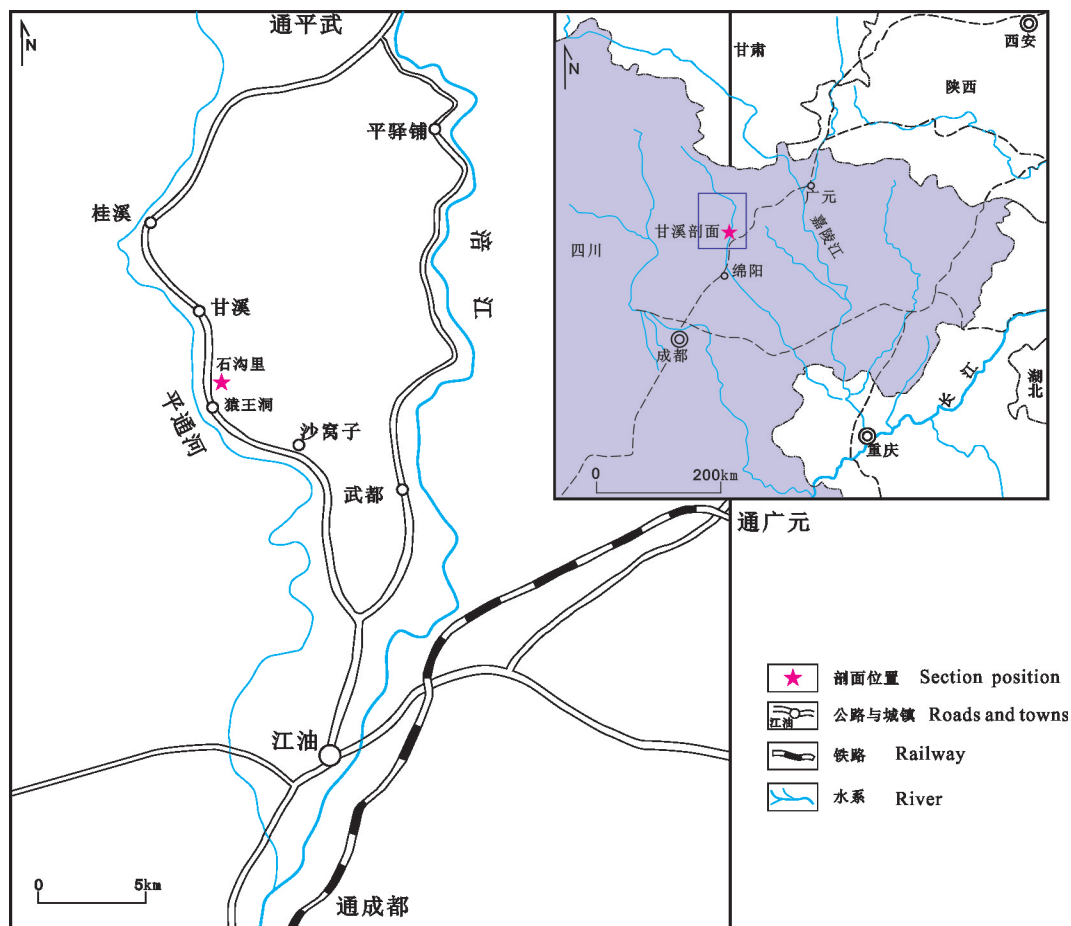


图1 石沟里养马坝组剖面位置图

Fig.1 Location of the Ganxi profile from the Yangmaba Formation in Shigouli

2 铁质鲕粒的组构特征

2.1 鲕粒形态特征

龙门山区石沟里剖面铁质鲕粒以棕褐色为主,其形态主要为球粒或椭近球形(图4a),镜下主要呈圆形、近圆形(图4b、c)或椭圆形(图4d),个别呈不规则状,大小分布不均。鲕粒约占整个岩石的30%~50%,生物碎屑约占20%,生物碎屑中以海百合碎片为主(图4e、f),其次有腕足和双壳碎片。填隙物占岩石的30%左右,主要为亮晶胶结物(图4c),少量为铁质胶结(图4f),灰泥杂基相对较少(图4d),有时填隙物间充填石英颗粒(图4d)。

2.2 显微结构

镜下鲕粒大小不一,最大直径3.2 mm,主要分布在0.3~1.0 mm。颗粒间多呈分散状,彼此相互不接触(图4a、b)。鲕粒核心和纹层相差较大,而且鲕

粒的成分也差别很大。

2.2.1 内部核心

鲕粒的核心是鲕粒生长的基础,其大小和形状对鲕粒的外形具有较大的影响,可形成不同的鲕粒类型。龙门山区石沟里剖面养马坝组铁质鲕粒的核心主要有4种类型:

(1)石英碎屑核心:石英颗粒可为单晶(图4c)、也可为多晶(图4d),核心粒径较小,圈层厚度大,常常形成正常鲕粒;(2)海百合碎片核心:是最常见的鲕粒核心类型,核心的形状多变,与海百合的形状有关,多形成薄皮鲕粒,纹层很薄(图4e、f),海百合体腔孔中可能充填黑色赤铁矿和石英碎屑(图4f);(3)黑色赤铁矿核心:形状多变、大小不一,外面包裹纹层相对较薄,常形成薄皮鲕(图4g),这类核心相对较少;(4)方解石质核心:鲕粒核心不明显,成分为方解石质,与纹层的成分相似,纹层呈明暗相



图2 龙门山区石沟里养马坝组沉积综合柱状图(据侯鸿飞等, 1988;郑荣才等, 2016等文献修编)

Fig.2 Stratigraphic column of the Yangmaba Formation in the Shigouli profile, Longmenshan area, Sichuan Basin (modified from Hou et al., 1988; Zheng et al., 2016)

间状(图4h),这类核心主要见于正常鲕粒中。

2.2.2 外围圈层

鲕粒圈层围绕核心呈同心圈状,未见放射状,圈层整体厚度变化较大,正常鲕圈层厚度大,同心纹层数量多,薄皮鲕圈层厚度相对较薄,纹层数量少。根据圈层的成分,可以分为3种类型:

(1)具明暗相间圈层:由浅色方解石质和黑褐色赤铁矿质相间的纹层组成,由于铁质含量的不同,镜下观察颜色也存在差异,铁质含量低时,鲕粒

呈浅灰色(图4h),当铁质含量高时,鲕粒呈褐黑色(图4i),这是由于铁质胶体溶液浓度不同所致。(2)圈层颜色一致,呈黑褐色或黑色,整个圈层颜色基本一致,分辨不出见明暗相间现象(图4j)。圈层完全被黑褐色赤铁矿侵染,部分圈层被沉积期后阶段充填的亮晶方解石,显示纹层状(图4j),部分海百合碎片的孔隙也被黑褐色赤铁矿侵染,呈黑褐色或黑色(图4k)。(3)绿泥石圈层:圈层中具有较高的绿泥石而呈灰绿色,圈层内纹层不明显,而且圈层内外

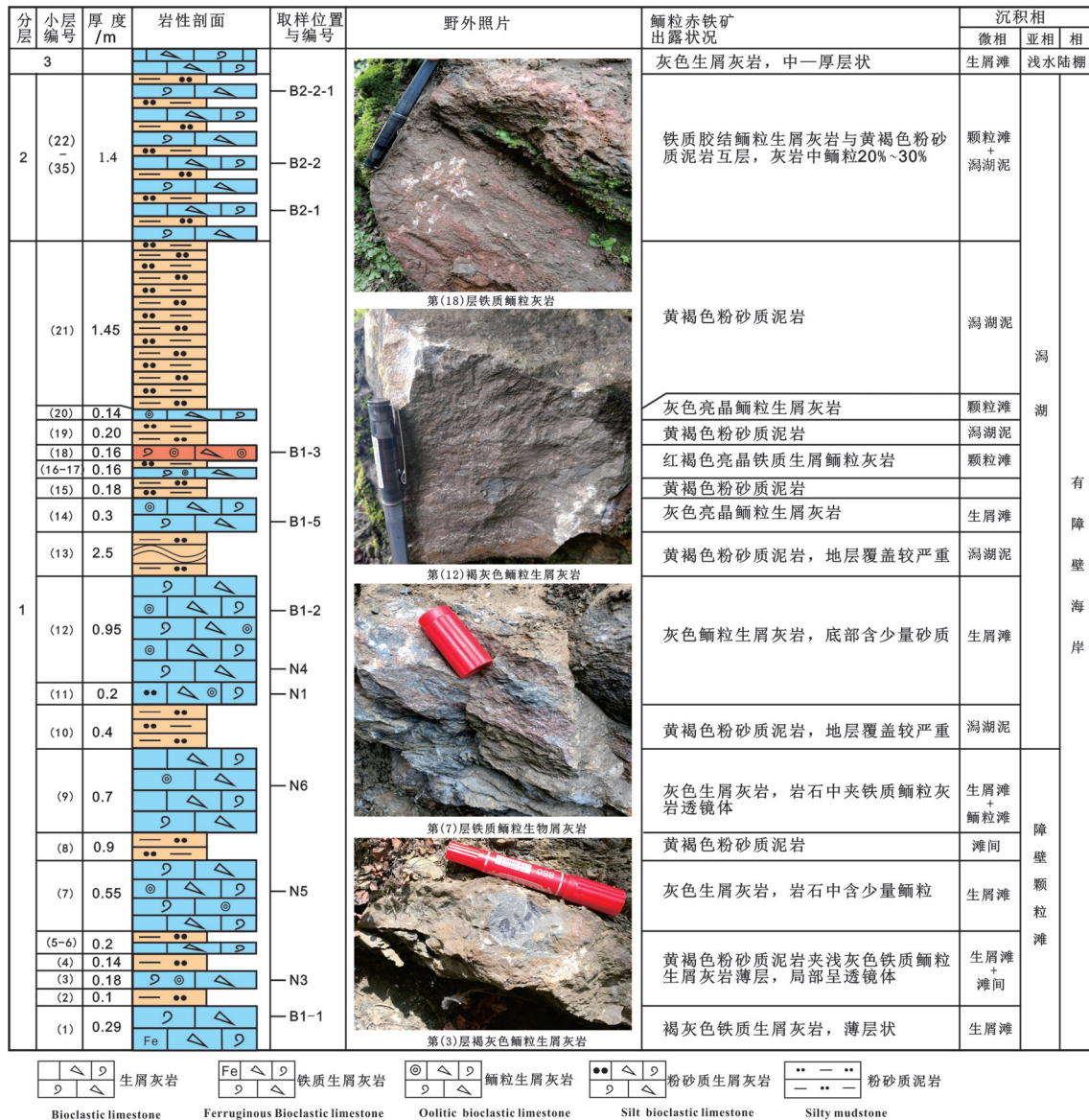


图3 龙门山区石沟里养马坝组铁质鲕粒富集层综合柱状图

Fig.3 Column of iron ooids-enriched layer within the Yangmaba Formation of the Shigouli profile, Longmenshan area

均不同程度的含铁质,该圈层常常是薄皮鲕粒主要圈层类型(图4e、f.1)。

3 铁质鲕粒分类

鲕粒的分类由来已久,自 Sorby 在 1879 年将鲕粒分为具同心状、具放射状结构的鲕粒和重结晶鲕粒 3 种,这一分类方法被沿用至今(Sorby, 1894)。鲕粒的分类多样,概括起来可有:原生沉积的真鲕、薄皮鲕、复鲕、假鲕和偏心鲕;同生变形期的变形鲕;成岩后生作用形成的变晶鲕、破碎鲕、负鲕等。本文根据鲕粒成分的不同,可将北川石沟里剖面养

马坝组铁质鲕粒分为以下 3 种类型,便于分析讨论各种鲕粒原因。

(1)粉砂质鲕粒:该类鲕粒最主要特征是鲕粒与粉砂质碎屑混合,碎屑可以是鲕粒的核心(图4c、d),也可分散在基质中(图4d),含量在10%左右。鲕粒为正常鲕,有时不显核心,属方解石质的。铁质在圈层中含量较高,镜下呈红褐色,在基质中也较多,应该属碳酸盐岩和陆源碎屑岩混积作用的产物。

(2)铁化鲕粒:在显微镜下呈黑色或黑褐色圆形或椭球形。铁质含量较低的纹层,纹层依稀可见(图4h),铁质含量高的部位,鲕粒漆黑、纹层不能分

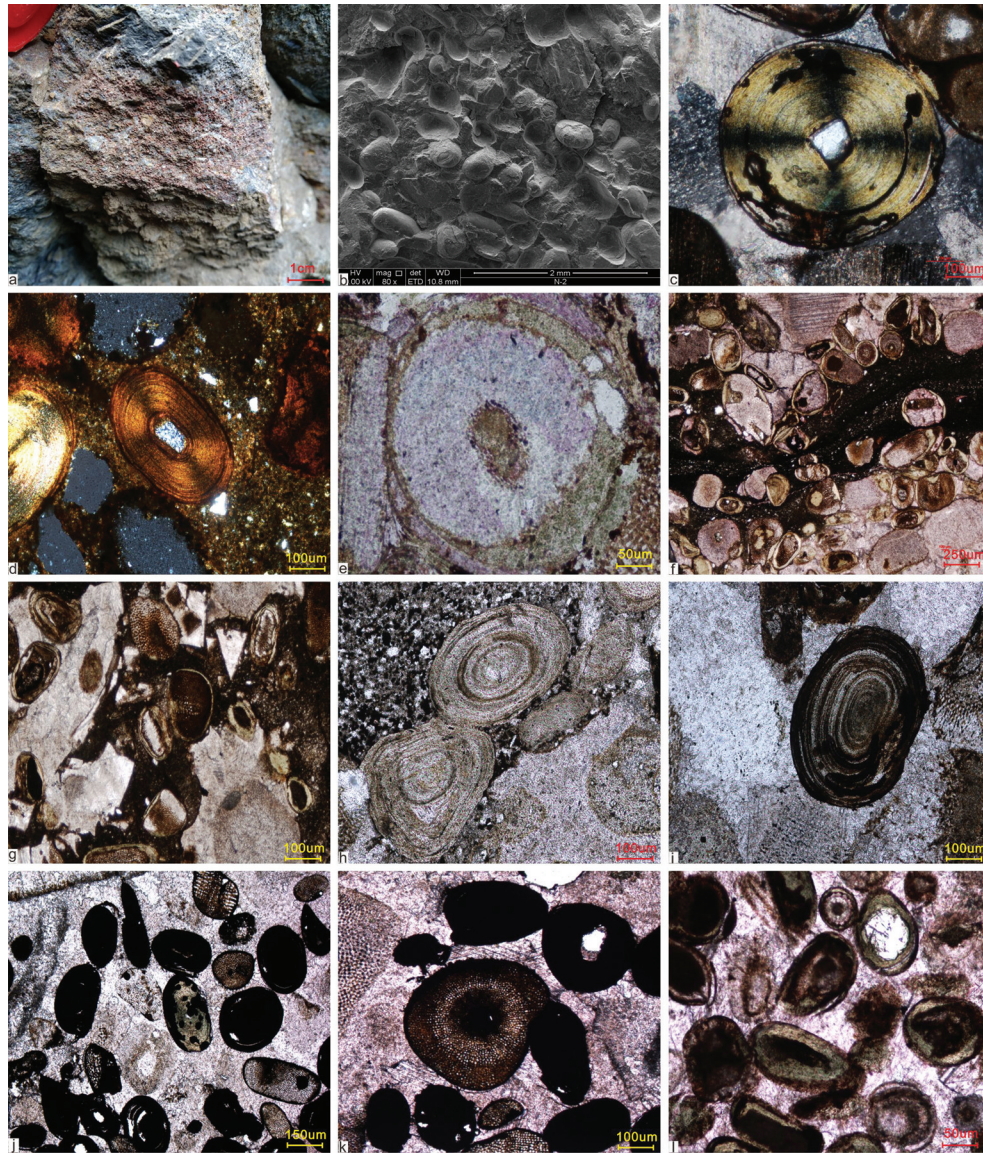


图4 龙门山区石沟里养马坝组铁质鲕粒岩石特征照片

a—铁质鲕粒灰岩,野外宏观照片,可见红色鲕粒赤铁矿呈透镜状分布于生屑灰岩,第7层;b—鲕粒生屑灰岩,鲕粒呈球状、椭球状,SEM,N-2;c—鲕粒生屑灰岩,真鲕,核心为单晶石英颗粒,少量铁质,沿鲕粒纹层分布,N-2;圆形鲕粒,N-1;鲕粒形态,SEM,N-2;d—粉砂质鲕粒生屑灰岩,真鲕,核心为多晶石英颗粒,基质中分布石英颗粒,正交偏光下鲕粒呈十字消光,N-1;e—鲕粒生屑灰岩,海百合核心,绿泥石纹层,薄皮鲕,B1-2;f—生屑鲕粒灰岩,鲕粒核心为海百合碎片,薄皮鲕,纹层成分绿泥石质,基质为黑褐色赤铁矿,N-4;g—生屑鲕粒灰岩,鲕粒核心为海百合碎片和赤铁矿,薄皮鲕,纹层成分绿泥石质,基质为黑褐色赤铁矿,N-4;h—生屑鲕粒灰岩,真鲕,鲕粒核心不明显,B1-3;i—生屑鲕粒灰岩,铁质含量丰富,沿鲕粒纹层分布,B1-3;j—生屑鲕粒灰岩,铁质鲕粒,海百合内充填铁质,B1-3;k—生屑鲕粒灰岩,铁质鲕粒,海百合内充填铁质,B1-3;l—生屑鲕粒灰岩,鲕粒核心为海百合碎片和赤铁矿,薄皮鲕,纹层成分绿泥石质,基质为黑褐色赤铁矿,B2-2-1

Fig.4 Photos of rocks with iron ooids from the Shigouli profile in the Yangma Formation, Longmenshan area

a— Ferric oolitic limestone. In the field macroscopic photos, it can be seen that red oolitic hematite is distributed lenticular in bioclastic limestone, the 7th layer; b—Bioclastic oolitic limestone, globular and ellipsoidal oolitic, SEM, N-2; c—Bioclastic oolitic limestone, true oolite, core is single crystal quartz grain, a small amount of iron distributed along oolitic striatum, N-2; Round oolite, N-1; Oolite morphology, SEM, N-2; d—Silt-bioclastic oolitic limestone, true oolite, core is polycrystalline quartz grain, quartz grain distribution in the matrix, cross extinction under orthogonal polarization, N-1; e— o Bioclastic oolitic limestone, core of crinoids, chloritic stromatolite, thin-skinned oolite, b1-2; f—Bioclastic oolitic limestone, oolitic core is fragments of crinoids, thin-skinned oolitic, striatum composition is chloritic, matrix is black brown hematite, n-4; g— Bioclastic oolitic limestone, oolitic core is crinoids fragments and hematite, thin crust oolitic, striatum composition is chloritic, matrix is black brown hematite, N-4; h— Bioclastic oolitic limestone, true oolite, oolitic core is not obvious, B1-3; i—Bioclastic oolitic limestone, rich in iron, distributed along oolitic striatum, B1-3; j— Bioclastic oolitic limestone, ferric oolitic, ferric fill in crinoids, B1-3; k—Bioclastic oolitic limestone, ferruginous oolitic, ferric fill in crinoids, B1-3; l— Bioclastic oolitic limestone, oolitic core consists of crinoids fragments and hematite, thin-skinned oolitic, striatum composition is chloritic, matrix is black brown hematite, B2-2-1

辨(图4i)。鲕粒可能完全被铁化,基本上全部呈黑色,纹层不可见(图4j,k)。铁化鲕粒也可能发生方解石的次生交代,通常沿纹层方向分布(图4j),粒间充填物为灰泥杂基、亮晶方解石和铁质胶结物,不含陆源碎屑物质。

(3)绿泥石薄皮鲕粒:该类型的鲕粒以海百合碎片为核心,核心较大、形状多样,鲕粒圈层较薄,纹层绿泥石质(图4e,f,l)。粒间充填物以亮晶方解石为主,少量铁质胶结。

粉砂质鲕粒和铁化鲕粒的铁质交代大多都发生在同生期,铁质交代原圈层,构成铁质纹层,铁质交代较均匀;而薄皮鲕的铁质交代是成岩期的产物,主要集中在鲕粒的边部,不均匀分布。

4 讨 论

鲕粒赤铁矿作为铁矿石的重要类型,一直以来深受国内外学者的重视,对地质历史时期铁质鲕粒的成因和古地理环境也有不同的认识(朱世兴,1980; Gygi,1981; 侯奎等,1983; Young,1989; Greensmith,1989; Houten,1992; 廖士范等,1993; 胡宁等,1998; Franceschelli,2000; 赵一鸣等,2000; 周家云等,2009; Rahiminejad et al.,2018)。虽然有人认为铁质可以通过上升洋流,将还原的大洋深处的铁质携带至浅水区(戴永定等,2003),但是一般认为,铁质鲕粒中的铁来源于大陆风化(Gygi,1981; Young,1989; Greensmith,1989; Houten,1992; Franceschelli,2000; Rahiminejad et al.,2018)。大陆风化的铁质汇入海水中,需要一定的pH值和Eh值环境,Fe浓度在海水中达到其饱和度,才能沉淀形成铁矿石(张扬等,2009)。

4.1 铁质鲕粒成因

龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组底界面为平行不整合界面(李祥辉等,1998),表现为海湾或潟湖页岩超覆于下伏礁灰岩之上,发生相序结构转换,为混积滨(海)岸相沉积(李祥辉等,1998; 荆锡贵等,2018)。铁质鲕粒沉积于由碳酸盐岩和碎屑岩组成的混合滨岸相,粉砂质鲕粒是混合作用的产物。从区域上来看,养马坝组底部也发育大面积的鲕状赤铁矿,为中泥盆统的风化暴露事件(胡宁等,1998; 赵一鸣等,2000; 周家云等,2009)。大陆风化作用不但形成陆源碎屑,同时提供大量的铁质,为

铁质鲕粒的形成提供丰富的陆源碎屑核心和铁质成分。粉砂质鲕粒中石英颗粒不但可以形成鲕粒的核心,而且可赋存于填隙物中。该类型的鲕粒属于正常鲕粒,核心和圈层的能谱分析,铁质矿物为赤铁矿(Fe_2O_3)(图5a),表明其形成于水体动荡的氧化环境中。伴随着水体的动荡,鲕粒围绕着石英颗粒核心或其他核心不断生长形成纹层,在同心纹层形成过程中,氧化环境中的氧化铁参入纹层的形成中,逐渐成为鲕粒纹层的主要成分。

与外海沟通不畅的浅水环境中,往往能形成较高浓度的铁质(张扬等,2009)。在该环境下,海水较稳定,有机物不断分解出二氧化碳,从而形成半还原弱碱性条件,易于菱铁矿的形成。另外,在该环境中,铁质也可逐渐凝聚,形成无核心、无环带的团粒,由于表面张力,形成与鲕粒相似的圆形、椭圆形(刘宝珺等,1990)。龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组的铁化鲕粒纹层难辨,呈黑色团粒状,部分纹层鲕粒在扫描电镜下纹层明显,能谱分析主要铁质为菱铁矿(FeCO_3)(图5b),这些铁化鲕粒正是水动力条件很弱的泻湖环境中的产物。类似的情况在鄂西地区宁乡式铁矿里同样出现,鄂西地区90%以上的铁质鲕粒并没有核心,大部分核心为“凝絮状”黏土物质、绿泥石或者褐铁矿(惠博,2014)。

通常认为,大陆上母岩遭受风化后,铁一般以 Fe^{3+} 形式存在,以 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的胶体溶液或真溶液状态与一定数量的有机络合物或悬浮物的形式被搬运。在还原环境中,高价铁还原成为低价铁,低价铁与淤泥水中已溶解了的硅铝酸结合或交代细粒硅铝酸沉积物,形成了鲕绿泥石(Gygi,1981)。鲕绿泥石常形成于水温为25~30℃的温暖环境(Gygi,1981),鲕绿泥石与同样产于暖水环境的棘皮类化石的出现反映养马坝组形成于温暖湿热的气候条件下。由此可见,龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组的绿泥石鲕应形成于相对封闭或者半封闭的浅海区域,铁质胶体与陆源碎屑即硅质的结合形成了鲕绿泥石。另外,绿泥石鲕多以薄皮鲕的形式出现,纹层不发育,这些特征也反映了绿泥石鲕粒形成于水动力条件相对较弱的环境,不利于长期动荡的水动力条件形成。事实上,泥盆纪是地质历史时期重要的温室时期,早泥盆世 ρCO_2 浓度高达 2000×10^{-6} (Simon et al.,2007),海水的温度介于30~35℃

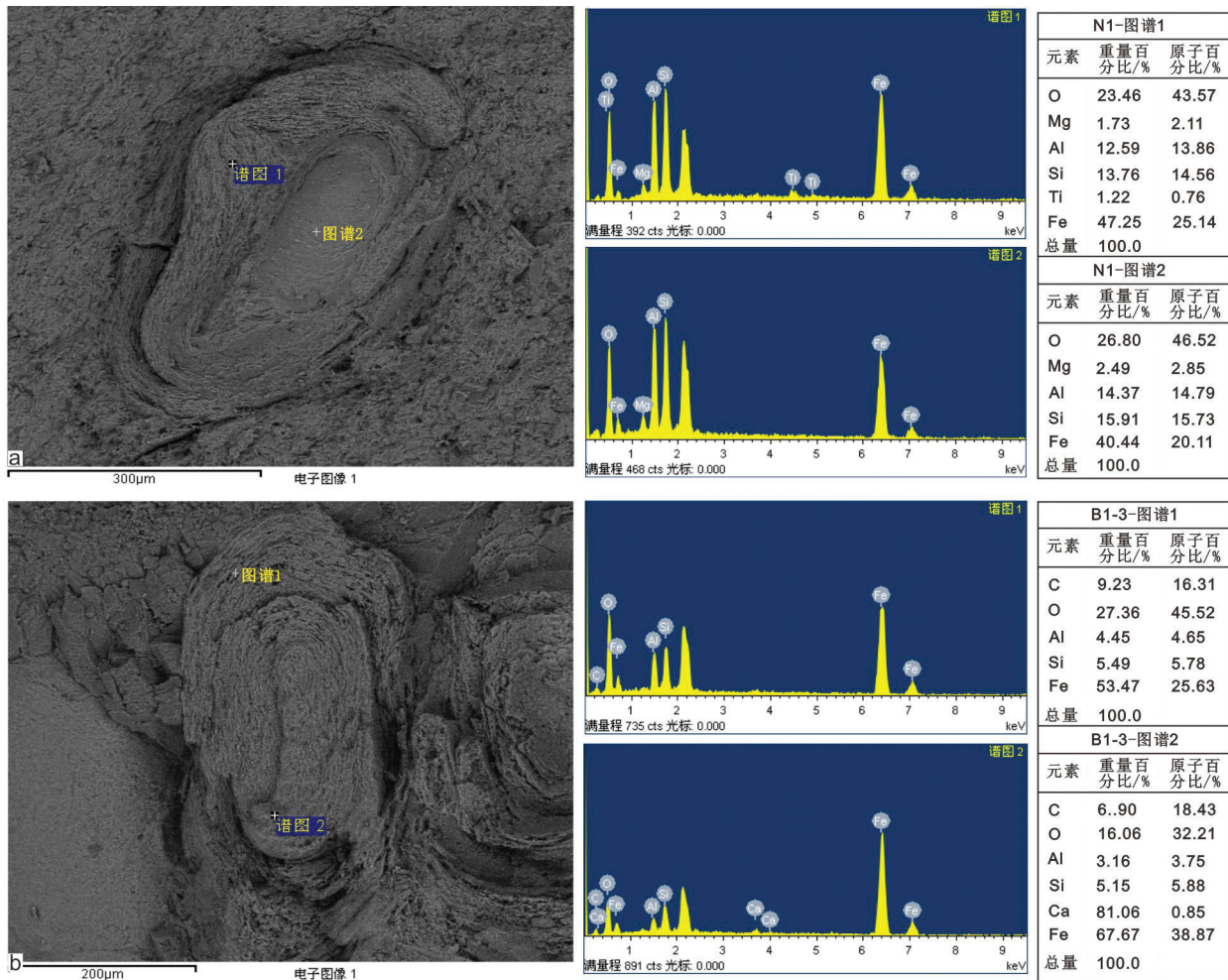


图5 龙门山区石沟里养马坝组铁质鲕粒能谱分析

a—鲕粒能谱分析位置图,在鲕粒核心和外部圈层中铁的赋存形式是Fe₂O₃(赤铁矿),N-1;b—鲕粒能谱分析位置图,在鲕粒核心和外部圈层中铁的赋存形式是FeCO₃(菱铁矿),B1-3

Fig.5 Energy spectrum analysis of iron ooids from the Shigouli profile of the Yangma Formation, Longmenshan area

a—Energy spectrum analysis location diagram, in the oolite core and the outer ring, the occurrence of iron is Fe₂O₃ (hematite), N-1; b—Energy spectrum analysis location diagram, the occurrence form of iron in the oolite core and outer ring is FeCO₃ (siderite), B1-3

(Joachimski et al.,2009),虽然中泥盆世pCO₂浓度下降至900×10⁻⁶,但仍然处于高位。温室时期pCO₂浓度的升高是导致风暴频率和强度增加的主要原因(Simon et al.,2007)。在中下泥盆统是风暴频发的重要时期,北川甘溪剖面广泛发育风暴沉积(许安涛等,2018)。养马坝组早期风暴频发,是混合沉积发生的重要因素(李祥辉等,1997)。在相对封闭或者半封闭的浅海区域,只有风暴才能引起水体动荡,为鲕粒纹层的形成提供必要的条件。但是由于风暴持续时间较短,鲕粒发育所需要的动荡条件难以持续,不能形成多纹层的正常鲕粒。因此,在潟湖环境中,仅仅发育由绿泥石组成的薄皮鲕;另一

方面,在风暴作用的影响下,原先沉积的生物碎屑和各种鲕粒包括正常鲕、铁化鲕粒和绿泥石鲕均可能被风暴搬运并发生富集,形成生物碎屑和鲕粒混合的鲕粒生屑灰岩透镜体(李祥辉等,1997)。

4.2 铁质鲕粒形成环境

龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组铁质鲕粒指示为浅海滨岸中相对封闭的潟湖与残积鲕粒滩环境。由于鲕粒滩坝的围限,使得该区形成相对封闭的环境,而且与外海沟通不畅,风化作用带来的铁质被源源不断的注入到半封闭的环境中,逐渐形成具较高浓度的铁质。在滩坝内潟湖的一侧,具有相对较弱的水动力条件,在还原环境中形成以绿

泥石为纹层的薄皮鲕。在瀉湖环境中,水体相对安静、能量较低,铁质逐渐凝聚,易形成无核心、不显纹层的铁质鲕粒,这些不同类型的鲕粒富集,形成不同的类型的鲕粒滩。

然而在滩坝向海一侧的近岸浅海环境中不仅具有动荡的水动力条件,而且在氧气充足,二氧化碳相对贫乏,在此氧化环境中有利于灰泥正常鲕粒沉积,可能形成粉砂质鲕粒;但是在一个完全开放的滨浅海环境,其Fe浓度很难达到铁质鲕粒沉淀所必须的饱和度,因此不宜形成铁化鲕粒。

5 结 论

(1)龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组鲕粒类型多样,根据核心和圈层成分上的不同,识别出石英碎屑颗粒、海百合碎片、黑色赤铁矿和方解石质等4种类型的核心,鲕粒圈层明暗相间圈层、颜色一致圈层和绿泥石圈层3种类型。

(2)龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组发育3种类型的鲕粒:粉砂质鲕粒、铁化鲕粒和绿泥石薄皮鲕粒,类型多样。

(3)龙门山区北川甘溪泥盆系养马坝组铁质鲕粒应指示为浅海滨岸中相对封闭的瀉湖与残积鲕粒滩环境。

References

- Dai Yongding, Song Haiming, Shen Jiyang. 2003. Iron fossil bacterial from the Xuanlong area, Hebei Province[J]. Science in China (Series D), 33(8):751-759(in Chinese).
- Franceschelli M, uxeddu M, Carta M. 2000. Mineralogy and geochemistry of Late Ordovician phosphate-bearing oolitic ironstones from NW Sardinia, Italy[J]. Mineralogy & Petrology, 69 (3/4): 267-293.
- Greensmith J T. 1989. Ferruginous deposits[M]// Petrology of the Sedimentary Rocks. Springer Netherlands, 165-181.
- Gygi R A. 1981. Oolitic iron formations: marine or not marine[J]. Eclogae. Geol. Helv., 74: 233-254.
- Jing Xigui, Li Fengjie, Cheng Xiaoyu, Yang Xiaoqi, Zhang Hao, Shen Fan. 2018. Trace fossils of hybrid facies from Early-Middle Devonian strata in Longmenshan area, Sichuan Province[J]. Geology in China, 45(2): 377-391(in Chinese with English abstract).
- Joachimski M M, Breisig S, Buggisch W. 2009. Devonian climate and reef evolution: Insights from oxygen isotopes in apatite[J]. Earth and Planetary Science Letters, 284:599-609.
- Hou Hongfei, Wan Zhengquan, Xian, Siyuan. 1988. Devonian Stratigraphy, Paleontology and Sedimentary Facies of Longmenshan, Sichuan[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1-100 (in Chinese).
- Hou Kui, Chen Zhiming, Yu Hao. 1983. Ore fabric and effect of blue algae on iron richment in Xuanlong ironmine, Hebei[J]. Chinese Journal of Geology, (3): 246-250(in Chinese with English abstract).
- Houten, F B V. 1992. Review of Cenozoic ooidal ironstones[J]. Sediment. Geol., 78: 101-110.
- Hu Ning, Xu Anwu. 1998. Horizon, Lithofacies and genesis of the Ningxiang-tape iron deposit in western Hubei, China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 13(1): 40-47(in Chinese with English abstract).
- Hui Bo. 2014. The Sedimentary Characteristics and Genesis of the Ningxiang-type Iron Ore in the West of Hubei Province[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1-134(in Chinese with English abstract).
- Li Xianghui, Liu Wenjun, Zheng Rongcai. 1997. Hybrid facies and mechanism for the formation of the mixed Devonian carbonate-siliciclastic sediments in the Longmen Mountain area, Sichuan[J]. Facies Paleogeogr., 17 (3): 339-344(in Chinese with English abstract).
- Li Xianghui, Liu Wenjun, Zheng Rongcai. 1998. Frequency, amplitude, and pattern of sea-level changes in Devonian in Longmen mountains, western Yangtze[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 25(4): 495-502(in Chinese with English abstract).
- Liao Shifan, Wei Lianghong, Liu Chengde, Zhang Xueshou, Ran Chongyin, Shi Qingqin. 1993. Sedimentary environments and origin of the Devonian oolitic ironstones in China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 11(1): 93-102(in Chinese with English abstract).
- Liu Baojun, Yang Zhihua. 1990. Devonian sedimentary environments and basin evolution in Zhashui-Zhen'an district, East Qinling, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 8(4): 3-12(in Chinese with English abstract).
- Liu Wenjun, Chen Yuanren, Zheng Rongcai. 1996. Devonian sequence stratigraphy and relative sea-level changes in Longmenshan area, Sichuan[C]//Liu Wenjun, Chen Yuanren, Zhong Rongcai. Sequence Stratigraphy. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1-11(in Chinese with English abstract).
- Rahiminejad A H, Zand-Moghadam H. 2018. Synsedimentary formation of ooidal ironstone: an example from the Jurassic deposits of SE central Iran[J]. Ore Geology Reviews, 95: 238-257.
- Simon L, Goddérís Y, Buggisch W, Strauss H, Joachimski M M. 2007. Modeling the carbon and sulfur isotope compositions of marine sediments: Climate evolution during the Devonian[J]. Chemical Geology, 246:19-38.

- Sorby H C. 1894. On the structure and origin of limestones[J]. Geol Soc London, 35: 56–95.
- Wu Xiangfeng, Yi Haisheng, Hui Bo, Yang Wei, Du Qiuding. 2010. Genesis and sedimentary environments of the ferruginous ooids from the Majiaoba Formation in northern Longmen Mountains, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 30(1): 25–31(in Chinese with English abstract).
- Xu Antao, Li Fengjie, Liu Kui, Xiang Pengfei, Zhao Chenyuan, Hu Peng. 2018. The characteristics and sedimentary model of Storm deposits in the Lower Devonian strata of Beichuan[J]. Geology in China, 45(5): 1049–1062(in Chinese with English abstract).
- Young T P. 1989. Phanerozoic ironstones: an introduction and review[C]//Young T P, Taylor W E G(eds.). Phanerozoic Ironstones. Geol. Soc. London Spec. Publ., 46: ix–xxv.
- Zhang Yang, Xi Wenkun, Li Yilong, Zhang Xionghua. 2009. Carboniferous oolitic hematite in Longmenshan area of Sichuan Province and its paleoenvironmental significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 28(1):51–57(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yiming, Bi Chengsi. 2000. Time– space distribution and evolution of the Ningxiang type sedimentary iron deposits[J]. Mineral Deposits, 19(4): 350–362(in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Wang Changyong, Chang Hailiang. 2016. Guide to the Field Practice of the Devonian in Longmen Mountain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–262 (in Chinese).
- Zhou Jiayun, Zheng Rongcai, Zhang Yushu, Zhu Zhimin, Li Xiaoyu, Luo Liping, Zhou Mangeng. 2009. Constraints of South China Devonian Ningxiang palaeogeography on the temporal and spatial distribution of iron ore deposits and their characteristics[J]. Geological Science and Technology Information, 28(1): 93–98(in Chinese with English abstract).
- Zhu Shixing. 1980. Ferrous stromatolite and its significance in the Xuanlong area, Hebei province[J]. Bulletin of the Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences, 1(1): 70–88(in Chinese with English abstract).
- 荆锡贵,李凤杰,成晓雨,杨晓琪,张昊,沈凡. 2018. 四川龙门山地区早—中泥盆世混积相遗迹化石及其环境分析[J]. 中国地质, 45(2): 377–391.
- 侯鸿飞,万正权,鲜思远. 1988. 四川龙门山地区泥盆纪地层古生物及沉积相[M]. 北京:地质出版社, 1–100.
- 侯奎,陈志明,于浩. 1983. 宣龙铁矿矿石组构特征及蓝藻对铁的富集作用[J]. 地质科学, (3):246–250.
- 胡宁,徐安武. 1998. 鄂西宁乡式铁矿分布层位岩相特征与成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 13(1):40–47.
- 惠博. 2014. 鄂西宁乡式铁矿沉积特征及成因[D]. 成都理工大学, 1–134.
- 李祥辉,刘文均,郑荣才. 1997. 龙门山地区泥盆纪碳酸盐与硅质碎屑的混积相与混积机理[J]. 岩相古地理, 17(3):339–344.
- 李祥辉,刘文均,郑荣才. 1998. 龙门山地区泥盆纪海平面升降规程、频幅及对比[J]. 成都理工学院学报, 25(4):495–502.
- 廖士范,魏梁鸿,刘成德,张学寿,冉崇英,史清琴. 1993. 中国泥盆纪鲕铁石沉积环境、成因[J]. 沉积学报, 11(1):93–102.
- 刘宝珺,杨志华. 1990. 东秦岭柞水—镇安地区泥盆纪沉积环境和沉积盆地演化[J]. 沉积学报, 8(4):3–12.
- 刘文均,陈源仁,郑荣才. 1996. 龙门山地区泥盆纪层序地层划分、对比和海平面相对变化[C]//刘文均,陈源仁,郑荣才. 层序地层[C]. 成都:成都科技大学出版社, 1–11.
- 武向峰,伊海生,惠博,杨伟,杜秋定. 2010. 四川龙门山马角坝组铁质鲕粒成因及沉积环境[J]. 沉积与特提斯地质, 30(1):25–31.
- 许安涛,李凤杰,刘奎,向鹏飞,赵晨圆,胡鹏. 2018. 北川甘溪下泥盆统风暴岩沉积特征及其沉积模式[J]. 中国地质, 45(5):193–205.
- 张杨,郗文昆,李益龙,张雄华. 2009. 四川龙门山石炭纪鲕状赤铁矿及其古环境意义[J]. 岩石矿物学杂志, 28(1):51–57.
- 赵一鸣,毕承思. 2000. 宁乡式沉积铁矿床的时空分布和演化[J]. 矿床地质, 19(4):350–362.
- 郑荣才,文华国,王昌勇,常海亮. 2016. 龙门山泥盆系野外实习指南[M]. 北京:地质出版社, 1–262.
- 周家云,郑荣才,张裕书,朱志敏,李潇雨,罗丽萍,周满耿. 2009. 华南泥盆纪古地理环境对宁乡式铁矿床时空分布、矿石特征的制约[J]. 地质科技情报, 28(1):93–98.
- 朱世兴. 1980. 河北宣龙区的铁质叠层石及其意义[J]. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1(1):70–88.

附中文参考文献

戴永定,宋海明,沈继英. 2003. 河北宣龙铁化石细菌[J]. 中国科学(D辑), 33(8): 751–759.