

文章编号: 1000-0550(2013)03-0396-08

太原西山七里沟剖面本溪组铁质鲕粒成因探讨

李朋威¹ 周川闽¹ 金廷福² 王果谦²

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083; 2. 成都理工大学地球科学学院 成都 610059)

摘要 著名的“山西式”铁矿几乎分布于整个华北地区,其成因曾是一个古老的地质问题。本文在前人研究的基础上,通过野外露头观察,并结合镜下鉴定与能谱分析对太原西山七里沟剖面本溪组铁质层中铁质鲕粒结构及其特征进行了详细研究。研究表明,大部分铁质鲕粒具有放射结构,并能隐约看到同心圈层,同时,在鲕粒内部及其周围发现了大量的似蓝细菌丝状体,以及铁质凝块和球粒,具有明显的微生物成因特征。因此,认为铁质鲕粒的形成与微生物密切相关,微生物参与了铁矿的形成。

关键词 “山西式”铁矿 鲕粒 微生物成因

第一作者简介 李朋威 男 1983年出生 博士研究生 沉积与储层 E-mail: lpwei@126.com

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

0 引言

在华北地区,中奥陶统石灰岩顶部侵蚀面上广泛分布一层赤红色的(夹有杏黄色)以赤铁矿(亦有褐铁矿)为主的铁矿层,即我们常说的“山西式”铁矿^[1]。在露头中,多呈团块状或鸡窝产出,又名“窝子矿”,亦有结核状和豆状、鲕粒产出,含铝土(泥)质很高。山西式铁矿的成因曾是一个古老的地质问题,在20世纪50年代就引起地质学界激烈的争论。传统认为山西式铁矿与G层铝土矿为风化残余的产物,但后来,更多的学者认为山西式铁矿并非单一成因型的矿床。大体上可分为二种综合性成因:一种是浅海沉积一次生氧化成因的结核状或似层状褐铁—赤铁矿床,主要产于中石炭统本溪组底部浅海相铝土岩中;一种是风化残余—淋积成因的窝状、不规则漏斗状的赤铁—褐铁矿床,主要产于奥陶系灰岩的风化裂隙、洼地及喀斯特溶洞中^[2-3]。另外,沉积环境、成矿物质来源以及其时代归属也曾为地质学家们关注的焦点^[4-9]。

太原西山本溪组铁质层中普遍发育鲕粒赤铁矿,针对其结构及其成因则鲜有报道。本文通过野外露头地质研究、镜下观察与能谱分析对鲕粒赤铁矿的结构及其特征进行了详细研究,发现鲕粒的形成与微生物活动密切相关,因此,认为山西式铁矿的成因并非简单的沉积或风化残留而成,微生物在铁矿的形成过

程也起到了重要作用。

1 地质背景

华北地台是中国大陆最古老的部分,在冀东地区,可见3 800 Ma的太古代地层。1 800 Ma前,华北地区固结成为一个统一的古克拉通地块,始称华北地台,随后大面积沉积了中上元古界、古生界海相地层。从晚古生代至中生代早期,华北地台隆升,逐渐成为内陆盆地,太原西山成为该时期华北地台沉积的核心区域。一般认为,华北地台演化史中一个显著的特征是早奥陶世至中石炭世初存在着巨大的沉积间断^[10],直至中石炭世开始接受本溪组沉积,海水由东北向西南入侵,经太子河流域向西南方向侵入。由于海水的进退频繁,沉积了一套海陆相地层^[4]。山西式铁矿为覆盖在奥陶系风化壳之上第一套沉积物或残积物。

山西式铁矿几乎分布于整个华北地区,产于中石炭统本溪组铁铝岩的下段。本溪期,太原西山处于华北地台低洼区(图1),其沉积厚度在横向上变化很不稳定,最厚可达45 m,局部地区可以很薄,甚至没有沉积,严格受控于其下伏风化壳的古地貌特征。本溪组与下伏奥陶系呈平行不整合接触,并在奥陶系顶部可见一个凹凸不平古岩溶风化面(图2A),溶蚀孔洞多被本溪组铁质沉积物充填。本溪组大体划分为两个岩石组合段:下段以仅含铁铝质岩类为特征,称铁

①中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院项目《微生物碳酸盐岩与塔里木盆地深部储层的形成研究》(101001cqob52139)和中国石油天然气股份有限公司项目“塔里木盆地碳酸盐岩野外露头储层地质建模研究”(2008D-070602-02)联合资助
收稿日期:2012-06-25; 收修改稿日期:2012-08-27

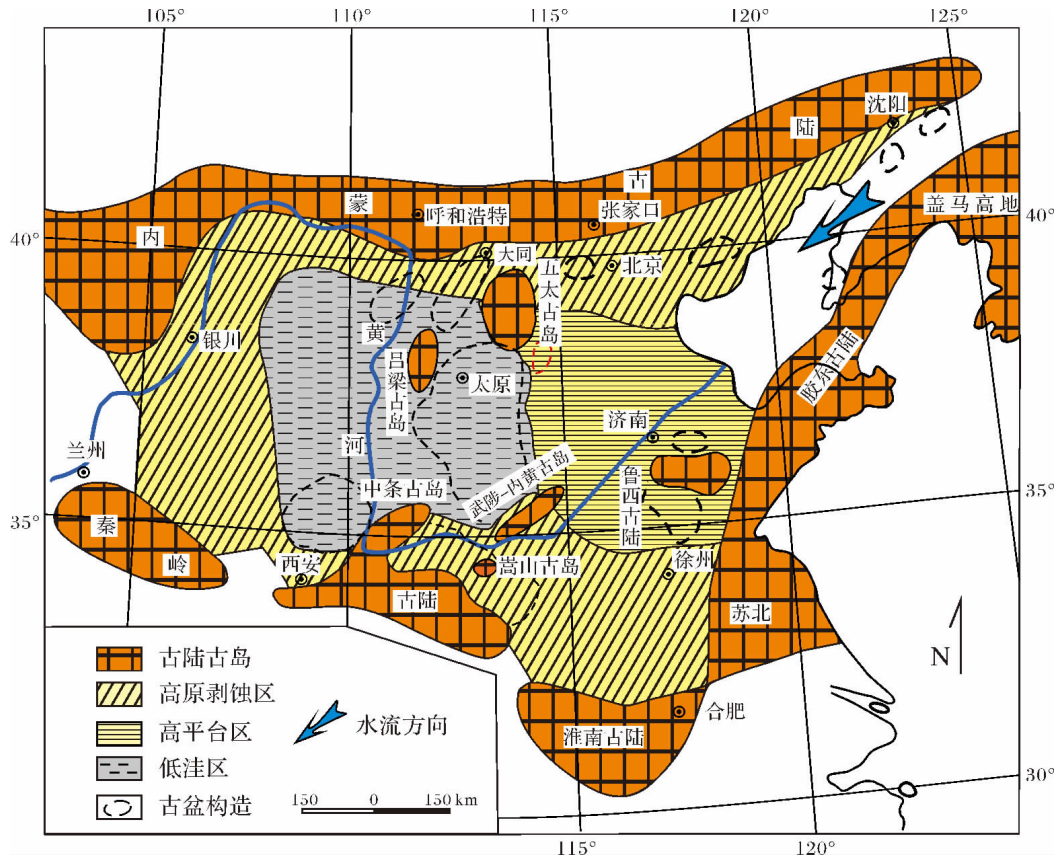


图1 华北地台奥陶系侵蚀面古地貌(据甘德清,1984)

Fig. 1 The palaeogeomorphology of the Ordovician erosion surface on the North China platform(after Gan Deqing ,1984)

表1 太原西山石炭系与临区地层对比

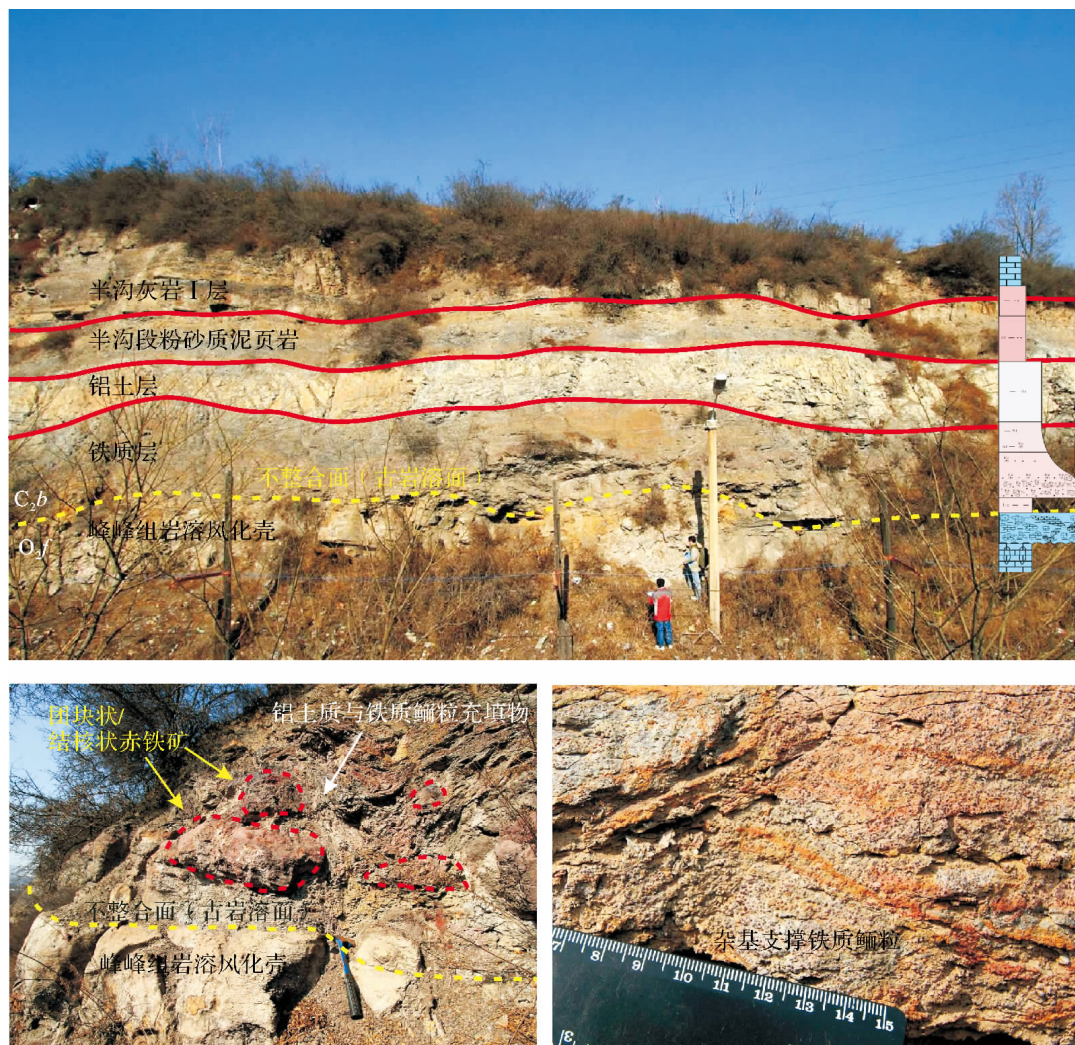
Table 1 Comparisons of the Carboniferous in Taiyuan Xishan with adjacent areas

系	统	组	统一名	代号	太原西山	河北峰峰	山东淄博	河南禹县
			名称					
石炭纪	上统	晋祠组	下煤组	C ₁	8 [#] (丈五)煤 9 [#] (八尺)煤	大青煤 8 [#] 9 [#]	煤线	庚23
			吴家峪灰岩	L ₀	吴家峪灰岩L ₀	下架灰岩	四灰	
			晋祠砂岩	K ₁	晋祠砂岩K ₁		中砂岩	
	中统	本溪组	半沟灰岩	L _b	半沟灰岩		上、徐、草灰岩	
			铁铝岩	T ₁	铁铝岩	铁铝岩	铁铝岩	铝土岩
奥陶系		峰峰组	石灰岩		石灰岩	石灰岩	石灰岩	

铝岩段,厚度约1~10 m;上段以碎屑岩、泥质岩、煤、碳酸盐岩互层产出,岩性旋回发育、韵律清晰,称半沟段,二者均系刘鸿允等(1956)创名于太原西山^[11]。本溪组与上石炭统晋祠组呈整合接触(表1)。

在太原西山,山西式铁矿多以棕褐色鸡窝状或团块状、似层状铁矿(赤铁矿、褐铁矿)或夹于灰白、灰绿、紫红色等杂色铝质岩(铝土岩、黏土岩)中呈不稳定的窝状、似层状产出(图2A, B)。铁质鲕粒常常作

为层状或团块状铁矿充填物的一种颗粒类型产出,杂基支撑,杂基多为铝土质或黏土(图2B, C);向上则常过渡为灰、灰绿色铝土岩(矿),其厚度及成分变化较大,成层性较好,顶部随黏土矿物含量增高,常形成黏土岩类(图2A)。半沟段厚约20~25 cm,以灰、灰黑色泥质岩类为主,与碎屑岩、灰岩、煤层成互层状,一般夹灰岩3~4层,常构成砂岩—泥岩—灰岩—泥岩为主要类型的岩性旋回。



A. 本溪组地层分层; B. 铁质层中团块状、蜂窝状赤铁矿; C. 杂基支撑的铁质鲕粒岩

图2 太原西山七里沟本溪组露头照片

Fig. 2 Outcrops of the Benxi Formation at the Qiligou section, Taiyuan Xishan

2 鲕粒岩的成分与显微结构

2.1 鲕粒形态特征

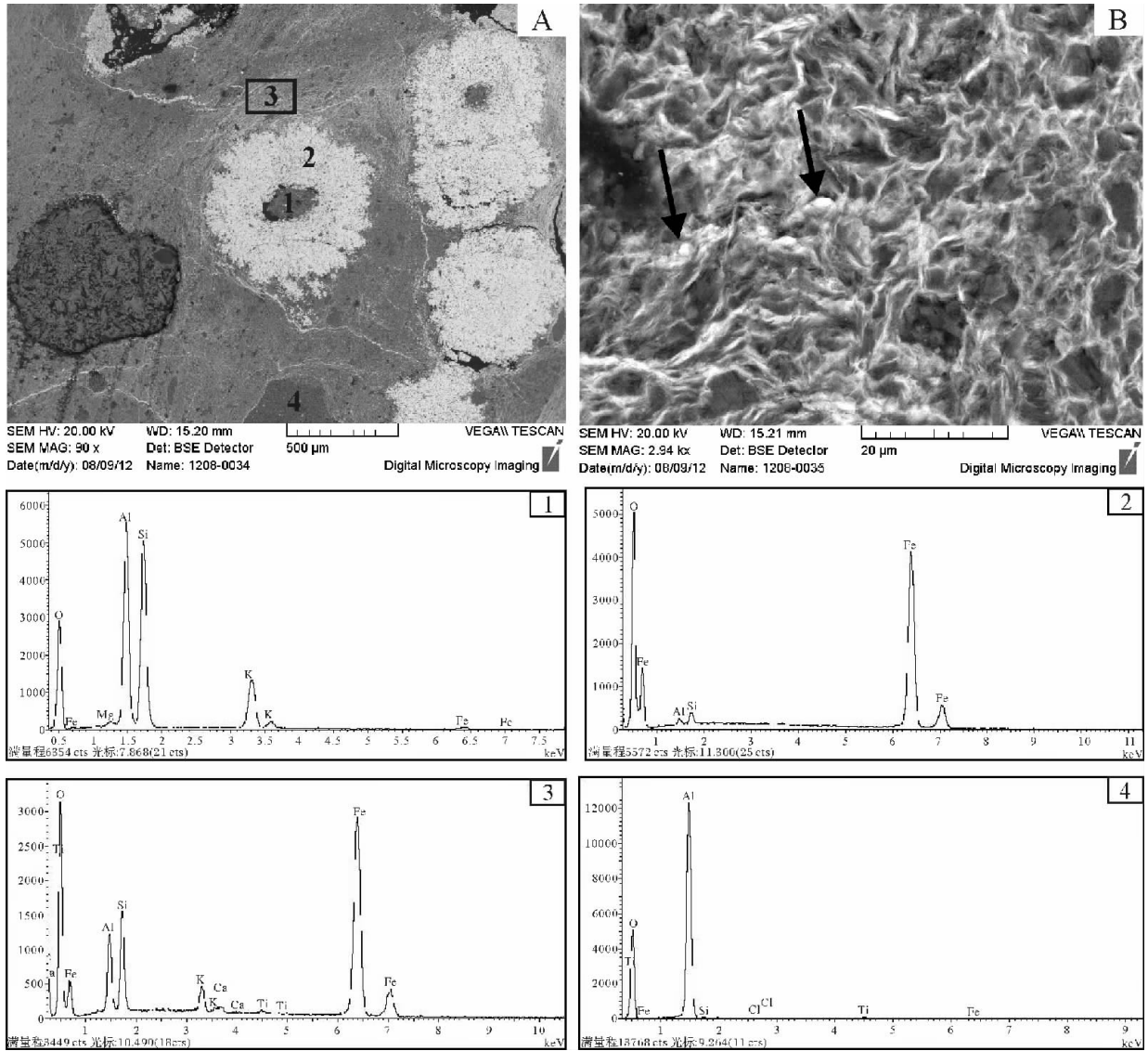
在太原西山七里沟剖面,铁质鲕粒主要发育于铁质层的下部,向上铁质鲕粒明显减少。在露头表面,铁质鲕粒以棕褐色为主,少部分呈黑褐色。其形态主要为球粒或近球形,镜下主要呈圆形、近圆形、菱形或椭圆形,个别呈不规则状,边缘可见棱角(图4)。大小较均一,主要分布在0.5~1 mm范围内,个别为大于2 mm的豆粒(巨鲕)。杂基支撑,呈悬浮状分散分布在灰白色的铝土质(或黏土)中。就其构成来说,鲕粒约占整个鲕粒岩的45%左右,除铁质鲕粒外,还可见到少量的其他颗粒,如铝土矿屑、生屑等,约占整个岩石的3%左右。

2.2 成分分析

经扫描电镜与能谱分析发现(图3),铁质鲕粒岩主要由赤铁矿、伊利石、铝土矿屑等组成。其中,赤铁矿主要构成铁质鲕粒的包壳,反射光下呈金黄色泥晶立方体。鲕粒岩的基质及其部分鲕粒核心主要由伊利石等黏土矿物组成,可见,鲕粒岩的基质与鲕粒核心具有一定的同源性。另外,部分鲕粒核心可见铁质凝块或球粒(图4C)。铁质鲕粒周围的基质多因富含铁质而呈红色或暗红色,其分布与似蓝细菌丝状体密切相关,多分布在丝状体表面及其周围(图4B, E, F)。

2.3 显微结构特征

鲕粒形成于核心,定型于圈层,鲕粒的类型及其结构能够反映出它在生长阶段的各种特征。通过镜



A. 铁质鲕粒及能谱分析点位; B. A 中方框放大。基质内可见网络状的丝状体, 并可见似球形蓝细菌(箭头)
 1. A 中点 1 能谱图, 伊利石; 2. A 中点 2 能谱图, 赤铁矿; 3. A 中点 3 能谱图, 含铁黏土矿物; 4. A 中点 4 能谱图, 铝土矿

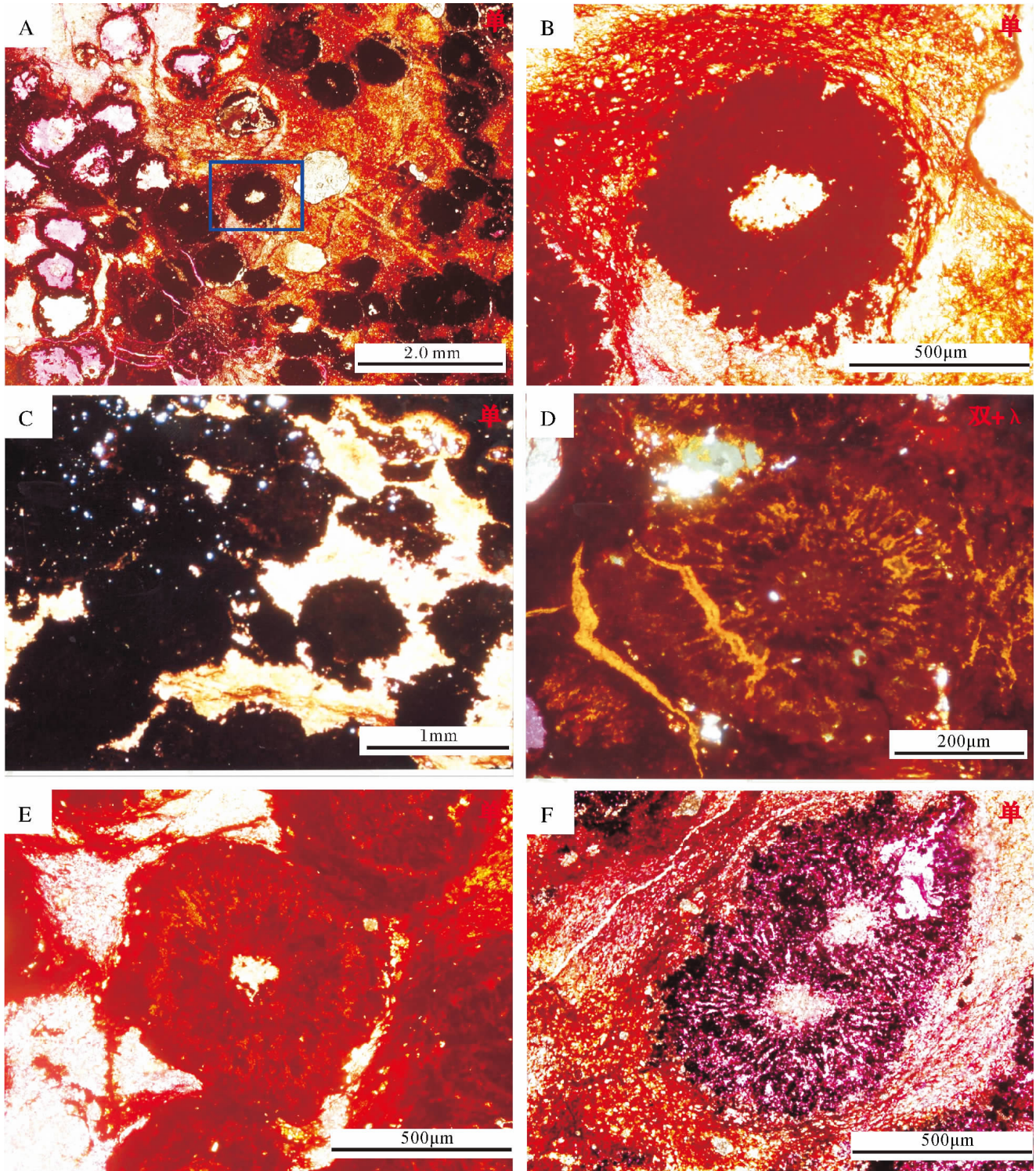
图 3 铁质鲕粒岩 SEM 显微照片及其能谱分析图

Fig. 3 Ferriferous oolite SEM micrographs and the resulting energy spectrum

下观察发现, 太原西山七里沟剖面本溪组铁质层内的鲕粒以放射鲕为主, 并能看到模糊的同心圈层(图 4)。少量的鲕粒因其结构模糊而无法鉴定其鲕粒类型。另外, 个别鲕粒因为发生了强烈的溶蚀作用而形成了鲕粒铸模孔(图 4A)。

铁质鲕粒的核心在镜下主要呈圆形、近圆形或椭圆形。其大小一般分布为 0.01 ~ 0.02 mm 范围内。经扫描电镜与能谱分析, 鲕粒的核心成分主要为伊利石, 即鲕粒的核心主要由黏土矿物组成。另外, 个别鲕粒的核心模糊, 核心部位可见铁质凝块或球粒(图 4C)。鲕粒包壳主要由放射状排列的泥晶赤铁矿组

成, 经溶蚀后其放射结构更加明显, 并因相对富集的铁质凝块而显现隐约的同心圈层结构, 一般具有 2 ~ 3 层同心圈层(图 4D, E, F)。一部分鲕粒包壳结构较为模糊, 高倍镜下可以看到包壳是由铁质凝块或球粒构成, 并能看到模糊的同心圈层(图 4B), 另外, 鲕粒边缘多呈锯齿状或毛边状, 具有垂向核心生长的特征。同时在大部分铁质鲕粒内部或边缘, 均可看到似蓝细菌丝状体, 边缘部分多呈包覆状包裹鲕粒, 并且可以明显看到基质内的铁质(红色或暗红色)大多富集在丝状体附近, 可能与丝状蓝细菌粘液有关(图 4B, E, F)。



A. 杂基支撑的铁质鲕粒, 右侧可见鲕粒铸模孔; B. A 中蓝色方框内铁质鲕粒放大, 隐约能看到鲕粒包壳的同心圈层, 由泥晶铁质凝块或球粒组成, 鲕粒周围可见藻丝体缠绕; C. 杂基支撑的铁质鲕粒, 鲕粒核心与包壳内可见铁质凝块; D. 放射鲕, 隐约可见同心圈层及藻丝状体; E. 具有放射结构的菱型鲕, 鲕粒内部及其周围可见丝状体及铁质凝块; F. 具有放射结构的复鲕, 内部及其边缘可见铁质凝块, 周围被丝状体包裹

图4 太原西山本溪组铁质鲕粒偏光显微照片

Fig. 4 Micrographs of the ferrous oolites from the Benxi Formation at the Qiligou section, Taiyuan Xishan

3 鲕粒成因分析

“鲕粒”(oolith)一词最早由 Kalkowsky(1908)提出^[12]。自然界常见的鲕粒一般有三种类型:同心鲕(同心圈层结构)、放射鲕(放射状结构)和结晶鲕(晶粒结构)^[13]。不同类型鲕粒往往与其沉积环境有关^[14~16]。其中,放射鲕往往形成于静水的或低能环境之中,代表局限或半封闭的沉积环境^[17]。根据前人的研究,山西式铁矿形成于潟湖环境。局限的潟湖环境能够为放射鲕的形成提供了一个低能的环境条件。

鲕粒成因一直是一个谜一样的沉积学难题^[18]。尽管目前多数学者支持机械或化学成因说,但是自 Sorby 在 1879 年对鲕粒形成的物理过程描述^[13],到 Tucker 和 Wright 认为“将鲕粒完全归为物理成因似乎为时过早”^[19],再到 Brehm 等 2003、2006 年在实验室培养出微生物成因鲕粒,并提出了鲕粒微生物成因的假说^[20、21],同时,现代巴哈马鲕粒中发现了有机质纹层的存在^[14],这些研究表明并非所有的鲕粒的形成完全是一个机械的或化学沉积过程。

20 世纪 80 年代以来,许多国内外学者对铁质鲕粒的形成做了深入研究,但对其成因和沉积环境存在不同的认识^[22]。一般认为,铁质鲕粒中的铁存在两个物源:大陆风化^[23、24],或者通过上升流来源于还原的大洋深处^[25]。同时对铁质鲕粒的成因有不同的认识和见解^[26]。通过对宣龙铁矿铁质鲕粒的研究,我国学者针对其成因,也提出了不同的看法,有的认为它是与菌藻类活动有关的特殊叠层石—核形石^[27];有的则认为是具有粘性的菌藻铁泥逐层粘结而成^[28]。同时,铁矿石中发现了菌藻类(蓝细菌)化石,但这些研究均表明微生物参与了铁矿的形成^[25、29]。

微生物化石及其遗迹构造往往成为铁质鲕粒生物成因的最直接证据。根据前面的分析,在太原西山七里沟剖面本溪组铁质层中发现了许多与铁质鲕粒形成相关的微生物活动证据:(1)在铁质鲕粒内及其周围发现了大量的蓝细菌丝状体。同时,基质内赤铁矿的分布与蓝细菌遗迹密切相关;(2)扫描电镜下可见与丝状体共生的似球形蓝细菌(图 3B);(3)大多数铁质鲕粒包壳由泥晶赤铁矿凝块或球粒组成。凝块和球粒是构成微生物岩最基本的一种的结构组分,其形成与微生物的种群和生活习性有关;(4)部分鲕粒的锯齿状或丛状边缘可能与微生物的生长习性有关。以上这些微生物化石或遗迹的发现均表明,微生物参与了铁质鲕粒的形成。同时,铁矿层中波状

叠层石和褐藻类的发现也印证了微生物活动的存在^[29]

微生物成矿作用并不新鲜,尤其在前寒武纪,微生物成为微生物岩最主要的建造者^[30]。微生物新陈代谢作用能够改变其生存微环境的水介质条件,从而导致矿物的沉积。自然界存在大量的底栖微生物,这种微生物往往附着在一定的介质生存,其光合作用,不仅能吸收微环境中 CO₂ 的含量、提高了 pH 值,同时呼出的 O₂ 也会提高环境的氧化程度,这些对泥晶赤铁矿在鲕粒核心上淀积非常有利^[31]。同时,在潟湖环境内,富含铁的水溶液为铁质鲕粒的形成提供了充足的物质来源,在微生物的诱导沉积作用下,泥晶赤铁矿在一定低质(核心)逐渐沉积,并最终形成了具有放射状结构的铁质鲕粒。其中,鲕粒的放射状结构可能也与微生物的生长习性有关。

4 结论

太原西山七里沟剖面本溪组铁质层中铁质鲕粒以放射鲕为主,其放射结构因溶蚀作用而更加明显,并能看到模糊的同心圈层。鲕粒的核心主要由伊利石等黏土矿物组成,其包壳往往由放射状排列的泥晶赤铁矿构成。杂基支撑,基质亦主要为伊利石等黏土矿物。

在大多铁质鲕粒内部及其周围均能看到蓝细菌丝状体、铁质凝块或球粒,具有明显的微生物成因特征。因此,认为铁质鲕粒的形成与微生物活动密切相关,山西式铁矿的成因并非简单的沉积或风化残留而成,微生物参与了铁矿的形成。

致谢 扫描电镜照相由中国石油勘探开发研究院实验中心魏宝和、朱德升完成,罗平教授和杨式升高工在论文写作方面给予了帮助与支持。

参考文献(References)

- 1 柏兴基.对“山西式”铁矿的几点新认识[J].地质评论,1959,19(5):203-206[Bai Xingji. New insights into the “Shanxi-type” iron mine[J]. Geological Review, 1959, 19(5): 203-206]
- 2 赵一阳.对华北山西式铁矿与 G 层铝土矿的成因及其时代的意见[J].地质评论,1958,18(4):306-309[Zhao Yiyang. The origin and ages of the “Shanxi-form” iron mine and G-layer bauxites[J]. Geological Review, 1958, 18(4):306-309]
- 3 郑超雯.山西省铁矿床的成因类型及其成矿作用的简单分析[J].地质评论,1959,19(8):352-358[Zheng Chaoxia. Simple analysis of the origin and mineralization of the iron deposits in Shanxi province[J]. Geological Review, 1959, 19(8):352-358]
- 4 李钟模.中朝准地台本溪组硫铁矿的分布规律及预测兼论铝土矿

- 的分布规律[J]. 化工地质, 1994, 16(1): 41-48 [Li Zhongmo. Pyrite and bauxite deposits associated with the Benxi Formation in Sino-Korean platform: distributions and forecasting[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 1994, 16(1): 41-48]
- 5 廖士范, 梁同荣, 章柏盛, 等. 中国铝土矿床[M]//中国矿床(上册). 北京: 地质出版社, 1986 [Liao Shifan, Liang Tongrong, Zhang Baisheng, *et al.* Bauxites in China[M]//*Mineral Deposits in China*. Beijing: Geological Publishing House, 1986]
- 6 张镇. 关于“山西式”铁矿的成因及焦作地区中石炭统地层的划分问题[J]. 地质评论, 1959: 19(8): 359-362 [Zhang Zhen. Origin of the “Shanxi-form” iron mine and division of the Carbonaceous in Jiaozuo [J]. *Geological Review*, 1959: 19(8): 359-362]
- 7 真允庆, 王振玉. 华北式(G层)铝土矿稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1991, 11(1): 49-56 [Zhen Yunqing, Wang Zhenyu[J]. *Geochemical characteristics of the Rare Earth Elements in North China Platform(G strata) alumina ores and their geological significance*[J]. *Journal of Guilin College of Geology*, 1991, 11(1): 49-56]
- 8 甘德清. 华北地台沉积型铝土矿成矿作用的分析[J]. 沉积学报, 1984. 2(2): 67-80 [Gan Deqing. Analysis of mineralization of sedimentary bauxites of North China platform [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1984, 2(2): 67-80]
- 9 王银喜, 李惠民, 顾连兴, 等. 山西铝土矿 Rb-Sr 同位素定年[J]. 地球学报, 2003, 24(6): 589-592 [Wang Yinxi, Li Huimin, Gu Lianxing, *et al.* Rb-Sr isotope dating of bauxite deposits in Shanxi province [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2003. 24(6): 589-592]
- 10 安太庠, 马文璞. 中朝地台的中奥陶统-下石炭统及其古地理和构造含意[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1993, 18(6): 777-791 [An Taixiang, Ma Wenpu. Middle Ordovician-Lower Carboniferous of Sino-Korean platform and its paleogeography and structural significance [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 1993, 18(6): 777-791]
- 11 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989 [Shanxi Bureau of Geology and Mineral Resources. *Regional Geology in Shanxi Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989]
- 12 Kalkowsky E. Oolith und stromatolith im norddeutschen Buntsandstein [J]. *Zeitschdff der Deuschen Geologischn Gesellschaft*, 1908, 60: 68-125
- 13 Sorby H C. On the structure and origin of limestone [J]. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 1879, 35: 56-95
- 14 Richter D. Calcareous ooids: A synopsis [C]//Peryt T M, ed. *Coated Grains*. Springer, Heidelberg, 1983: 71-99
- 15 Flügil L E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Applications [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2004
- 16 Strasser A. Ooids in Purbeck limestones (lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura [J]. *Sedimentology*, 1986, 33: 711-727
- 17 赵鹏运, 刘波, 秦善. 京津晋冀寒武系第三统鲕粒灰岩特征及其环境意义[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2011, 47(5): 825-830 [Zhao Pengyun, Liu Bo, Qin Shan. The third series of Cambrian oolitic limestones and their sedimentary environment in Beijing, Tianjin, Shanxi and Hebei province, North China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(5): 825-830]
- 18 梅冥相. 鲕粒成因研究的新进展[J]. 沉积学报, 2012, 29(1): 20-32 [Mei Mingxiang. Brief introduction on new advances of studies on the origin of ooids [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 29(1): 20-32]
- 19 Tucker M E, Wright V P. *Carbonate Sedimentology* [M]. Oxford: Blackwell Sciences, 1990
- 20 Brehm U, Krumbein W E, Palinska K A. Microbial spheres: a novel cyanobacterial-diatom symbiosis [J]. *Naturwiss*, 2003, 90: 136-140
- 21 Brehm U, Krumbein W E, Palinska K A. Biomicrospheres generate ooids in laboratory [J]. *Geomicrobiology Journal*, 2006, 23: 545-550
- 22 张扬, 郗文昆, 李益龙, 等. 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, 2009, 28(1): 51-57 [Zhang Yang, Xie Wenkun, Li Yilong, *et al.* Carboniferous oolitic hematite in Longmenshan area of Sichuan province and its paleoenvironmental significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2009, 28(1): 51-57]
- 23 Utescher T. A sedimentological study of Fe-oolite bearing carbonate rocks at the Lower-Middle Devonian boundary in the western Rhenish Schiefergebirge [J]. *Neues Jahrbuch fuer Geologie und Palaeontologie Monatshefte*, 1992, (5): 303-320
- 24 赵一鸣, 毕承思. 宁乡式沉积铁矿床的时空分布和演化[J]. 矿床地质, 2000, 19(4): 350-362 [Zhao Yiming, Bi Chengsi. Time-space distribution and evolution of the Ningxiang Type sedimentary iron deposits [J]. *Mineral Deposits*, 2000. 19(4): 350-362]
- 25 戴永定, 宋海明, 沈继英. 河北宣龙铁矿化石细菌[J]. 中国科学: D辑, 2003. 33(8): 751-759 [Dai Yongding, Song Haiming, Shen Jiyong. Fossil bacteria in Xuanlong iron deposits, Hebei [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 33(8): 751-759]
- 26 Kimberley M M. Origin of oolitic iron of formation [J]. *Sedimentary Petrology*, 1979, 49(1): 111-132
- 27 朱世兴. 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, 1970, 1(1): 70-80 [Zhu Shixing. Iron stromatolites in Xuanhua Longguan area of Hebei province and its significance [J]. *Journal of Chinese Academy of Geological Sciences*, 1970, 1(1): 70-80]
- 28 侯奎, 陈志明, 于杰. 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, 1983(3): 246-250 [Hou Qui, Chen Zhiming, Yu Jie. Ore fabric and effect of blue-algae on iron richment in Xuanlong iron mine, Hebei [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1983, (3): 246-250]
- 29 庄军. 华北地区铁铝层形成的地球化学环境[J]. 地质地球化学, 1987, (7): 62-63 [Zhuang Jun. The geochemical conditions in which the iron-aluminium layers formed in North China [J]. *Geological Geochemistry*, 1987, (7): 62-63]
- 30 Robert R. Microbial Carbonates: The geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms [J]. *Sedimentology*, 2000, 47 (Suppl. 1): 179-214
- 31 赵东旭. 宣龙铁矿铁质鲕粒的显微结构及成因[J]. 地质科学, 1994, 29(1): 71-76 [Zhao Dongxu. Microstructures of ferruginous oo-

lite and their genetic characteristics in the Xuanlong iron deposit. Hebei province[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29(1): 71-76]

Origin of the Ferriferous Ooids in the Benxi Formation at the Qiligou Section, Taiyuan Xishan

LI Peng-wei¹ ZHOU Chuan-min¹ JIN Ting-fu² WANG Guo-qian²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083;

2. Faculty of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: The “Shangxi-type” iron deposits are well-known for their wide distribution on North China platform. The origins of the deposits including their mineralization processes and the mineral sources, together with their ages, were once concerned by many geologists. Although the geological problems seem clear, the microbial activity is documented to have influence on the formation of the iron deposits just as the Xuanlong iron deposits.

The iron deposits outcropped well in Taiyuan Xishan favors our study, and the ferriferous oolites developed in the iron layer of the Benxi Formation at the Qiligou section became our main study object. Through field observation, thin section examination and analysis of Energy spectrum, the composition and texture of the ferriferous oolites are studied in detail. The oolites are matrix-supported, with 45% of ooids and a few other grains (3%) such as bauxite debris and biotic fragments (shell etc.) floating in clay minerals. The ooids are well-sorted with the sizes mainly ranging from 0.5 mm to 1 mm in diameter. In the thin section, most of the ooids are round, and some rhombic and oval-shaped. The cortical layers of the ooids are mainly composed by micritic hematites, whereas the nuclei consist of micritic hematites or clay minerals, which indicate certain common origin between some nuclei and the matrix. Most of the ooids are characterized by radial structure with 2 or 3 obscure concentric layers, which indicate that the ooids probably formed in a relative stable condition, coinciding with the previous conclusion that the iron deposits formed in the restricted lagoon environment. Additionally, abundant intertwined cyanobacteria filaments are found to aggregate around and envelop most of the ooids and the distribution of ferriferous material (micritic hematites) in the matrix is closely related to these filaments. Spherical cyanobacteria which are interlaid in the intertwined filaments are also recognized under SEM. At the same time, ferriferous clots and pellets are identified in the cortical layers and even the nuclei of the ooids, and the notched margins of some ooids are probably related to microbial activity. All of these characteristics suggest that the microbial activity plays a significant role in the formation of the ferriferous ooids. The microbes are thus proposed to be involved in the formation of the iron deposits which formed in the relative stable lagoon environment.

Key words “Shanxi type” iron deposits; ooids; microbial origin