

# 神秘的微型隧道——贵州瓮安震旦系陡山沱组 磷酸盐化化石上的黄铁矿拖曳痕

刘鹏举 尹崇玉

中国地质科学院地质研究所,北京,100037

**内容提要:**贵州瓮安磷矿陡山沱组磷质岩中含有丰富的磷酸盐化球状化石,化石常为一些微型隧道所贯穿,这些微型隧道有生物成因和非生物成因解释。通过详细观察,发现隧道的末端常见一个黄铁矿颗粒,其大小与隧道宽度一致;隧道内壁发育有平行的纵纹,在化石壳面上发育的隧道底部常见呈棱角状的突起,在隧道转折处多呈尖凸的棱角状。这些隧道的成因应与黄铁矿关系密切,隧道为有机质降解产生的气体形成了足以使黄铁矿颗粒前导面胶磷矿溶解的压力、并驱使黄铁矿颗粒移动所形成的拖曳痕。

**关键词:**微型隧道;遗迹化石;黄铁矿颗粒;拖曳痕;贵州瓮安;陡山沱组

中国贵州瓮安震旦系陡山沱组以其保存精美的、对早期后生动物起源和演化研究具有重要意义的磷酸盐化生物群(Zhang et al., 1998; Xiao et al., 1998; Li et al., 1998; Yin et al., 2001; Chen et al., 2004)而闻名于世。而在许多化石表面及内部常常见的一些微型隧道,长期以来也一直吸引着一些学者的关注,对于这些微型隧道的成因也存在生物成因的解释(东野等,1984;陈均远,2004)和非生物成因的解释(Xiao et al., 1999)。本文通过对磷酸盐化球状化石上发育的微型隧道的详细观察,对其成因进行探讨。

## 1 研究简史

1984年,东野等观察到在贵州福泉磷矿陡山沱组磷酸盐壳粒(即磷酸盐化球状化石,笔者注)及其胶结物中发育的微型隧道,将其解释为一种微体遗迹化石,命名为 *Microptychoites fuquanensis* Dong(东野等,1984)。1999年,Xiao 等根据在一些隧道末端见有黄铁矿颗粒等,认为这些隧道是有机质降解过程中所释放的气体推动黄铁矿晶体所形成的(Xiao et al., 1999)。2004年,陈均远在对这些微型隧道详细观察后指出,黄铁矿晶体的棱边一次仅能在隧道上至多刻画出8条线,而隧道壁发育有多达上百条纵脊,而且这些隧道常相互穿插,非生物成因无法解释。同时根据发育在同一生物结构内的隧道具有

大小不同的直径,直径小的隧道被直径大的隧道所贯穿,认为隧道是生物成因的,生物早期生长阶段所形成的隧道直径较小,为后期生长阶段较粗的隧道所贯穿。并认为线虫最可能是这些隧道的造主(陈均远,2004)。

## 2 微型隧道的特征

### 2.1 样品处理过程

将样品破碎成小块放入容器中,加入低浓度(5%~10%)醋酸进行分离处理,当发现容器底部有析出的残渣时换酸,换酸时要保留约20%的旧酸作为添加新酸时的缓冲,以保护底部砂质残留物中的化石。含化石的残留物经在室温下自然干燥后,即可在双目实体显微镜下进手工挑选,挑选时重点选择微型隧道清晰、黄铁矿晶形(已褐铁矿化,但仍保留黄铁矿晶形)完好的标本,随后在扫描电子显微镜(SEM)下进行详细观察研究。

### 2.2 微型隧道特征

在一些磷酸盐化球状化石及多细胞藻类化石上常发育有一些微型隧道,隧道为后期成岩作用的碳酸盐岩所充填。分离出的立体标本中,隧道在化石内部呈中空的管状构造,在化石的表面呈沟渠状,沟渠的底部直或呈棱角状的凸凹不平(图版 I-3)。隧道边界清晰,大小不等,小的直径仅2μm,最大直径大于球状化石的半径,可达400μm,但大多数隧道直径

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40272015)中国地质科学院开放实验室项目(编号 KL05-4)及中国地质调查局项目(编号 1212010511607)的成果。

收稿日期:2005-05-26;改回日期:2005-10-11;责任编辑:章雨旭。

作者简介:刘鹏举,男,1964年生,副教授,长期从事古生物学及地层学科研及教学工作。Email: pengju@ sina. com。

为 $20\sim80\mu\text{m}$ ;所观察到的最大长度超过 $1000\mu\text{m}$ ;隧道壁上发育有清晰的纵纹,纵纹粗或细密,彼此平行,未见交叉分布。隧道呈直线状、螺旋状及不规则弯曲分布(图版 I -2)。这种不规则弯曲的隧道在薄片中也清晰可见(图版 II -1,2)。有时,隧道可见有突然的急转弯现象,在转弯处形成尖凸的棱角(图版 I -8)。在单一化石上分布的隧道常常有直径不等的几组(图版 I -1,10),但也有一些化石上所发育的大量隧道直径相等(图版 I -2);隧道可相互穿插。在隧道的末端常见黄铁矿颗粒(图版 I -4~11),呈单晶体或几个晶体聚合在一起,颗粒的大小与隧道的直径相当。在一些标本上,黄铁矿颗粒与化石接触处显示出因挤压而使化石产生破损现象(图版 I -7)。在双目实体显微镜下观察,黄铁矿多已变为褐铁矿,呈暗红色及褐色,但仍保留有黄铁矿晶形。另外,部分隧道、甚至整个化石因黄铁矿风化而染成浅红黄色至红褐色。通过在 JSM-5610LV 电子显微镜下对已褐铁矿化的黄铁矿颗粒进行能谱分析,结果表明其主要成分为 O 和 Fe(详见表1)。

### 3 微型隧道成因探讨

近年来,有关前寒武纪遗迹化石的报道很多,其中一些比较可靠的遗迹化石产出层位的地质时代远大于 0.8 Ga (Chakrabarti, 1990; Seilacher et al., 1998; 刘鹏举, 2003)。而据分子生物学的研究证据推测,动物的最早分化应该发生在距今 1.0 Ga 左右 (Wray et al., 1996),故在古老的前寒武纪地层中发现后生动物的遗迹化石是完全可能的。

产于震旦系陡山沱组的庙河生物群中也含有遗迹化石分子(丁连芳等, 1996);笔者在峡东三斗坪剖面陡山沱组碳质页岩中也采到 2 种类型遗迹化石。贵州瓮安陡山沱组上段磷质岩中含有比较可信的动物胚胎化石(Xiao et al., 1998; 陈均远, 2004)、古老的

两侧对称后生动物化石(Chen et al., 2004)等;而且瓮安陡山沱组磷酸盐化化石上的微型隧道,其形态与一些遗迹化石极为相似,因此,将其解释为生物成因似乎是合适的。

然而,上述微型隧道的特征中,存在有许多生物成因所解释不了的现象。主要体现在以下几个方面:①众多的标本上均可见黄铁矿颗粒,且在隧道上的黄铁矿颗粒仅出现在隧道的末端,并且其大小又与隧道直径相当(图版 I -4~11),说明在隧道末端所见的黄铁矿颗粒绝非是一种偶然现象,应与隧道的形成有某种密切关系;②黄铁矿与化石接触处(黄铁矿颗粒的前导面),化石具有挤压破缺迹象(图版 I -7),显示出黄铁矿在隧道上作了移动;③隧道所发育的纵纹彼此平行,绝不交叉,且与黄铁矿的移动具有很好的吻合(图版 I -4~11);④在一些化石表面上发育的隧道底部,常见呈棱角状的凸凹不平现象(图版 I -3),在隧道的转弯处也形成尖凸的棱角(图版 I -8),这种棱角状的构造特点用生物成因显然是解释不通的;⑤有些化石上分布的大量隧道直径相等(图版 I -2),有的标本上仅发育有 2~3 组直径相差悬殊的隧道(图版 I -1,10),显然用生物不同生长阶段所形成的隧道直径大小不等来解释是不合适的。以上几个方面的特征明显反映出这种微型隧道是非生物成因的,其形成与黄铁矿颗粒关系密切。

在生物成因的解释中,所依据的主要特征也完全可以用非生物成因来解释。由于黄铁矿晶体的晶面上常发育有微细的条纹,且许多黄铁矿颗粒并非是单个晶体构成的,而是由多个晶体聚合在一起形成的;因此,当黄铁矿颗粒移动时,自然会形成密集的、平行分布的纵脊,而并非仅能形成 8 条纵脊。在单一化石标本上,由于有大小不同的黄铁矿颗粒,当这些颗粒因被气体推动而移动时,自然会形成直径大小不同的隧道;且由于黄铁矿颗粒移动的随机性,所形成的隧道即可形态多样、也可相互穿插。

上述讨论表明,这些微型隧道显然是非生物成因的,是由于黄铁矿颗粒的移动所形成的。但问题是,黄铁矿颗粒是如何移动的。

早在 1963 年, Tyler 等就观察到北美安大略地区(Ontario)冈福林特组(Gunflint Formation)燧石中相似的构造(Tyler et al., 1963)。Knoll 等将其成因解释为由于沉积物中有机物的降解所形成的气体,产生了足以使黄铁矿颗粒前导面硅质成分溶解的压力,并驱使黄铁矿颗粒移动所形成(Knoll et al.,

表 1 褐铁矿化后的黄铁矿颗粒化学成分  
Table 1 Chemical elements of pyrite after limonitization

样 品 位 置	O	Mg	Al	Si	P	Ca	V	Mn	Fe	Zn			
											(%,按物质的量计算,即以 mol 为单位计算)		
1号	1	51.19		0.58	1.66	0.35	0.44		45.35	0.42			
	2	49.49	1.11	1.22	2.23	0.54	0.94	0.25	44.24				
	3	52.86		0.53	1.39		0.61		44.61				
	4	47.64	0.97	1.45	2.23	0.94	1.45	0.25	0.32	44.74			
2号	1	54.80			0.98	2.14	0.43	0.67		40.54	0.45		
	2	60.37		0.77	1.28	2.32	0.46	0.51	0.20	34.09			
	3	52.80	1.03		1.05	2.07	0.58	1.10		41.37			
	4	54.99			1.01	2.30		0.69		41.01			

1974)。张忠英也在岩石薄片中观察到产于三峡地区震旦系陡山沱组下磷矿层胶磷矿中的这种微型隧道,在一些隧道的末端也见有一个黄铁矿颗粒,并据Knoll等的理论(Knoll et al., 1974),将其解释为黄铁矿的拖曳构造(张忠英,1983)。这一理论同样也可以解释陡山沱组磷酸盐化化石上微型隧道的形成。即:有机质的降解产生的H<sub>2</sub>S与溶液中铁反应形成黄铁矿,一些黄铁矿颗粒镶嵌在化石上;在成岩过程中,有机质的进一步降解产生的气体压力使黄铁矿前导面的胶磷矿溶解,并驱使黄铁矿移动,其结果产生了直径与黄铁矿颗粒大小相等的隧道——黄铁矿的拖曳痕。由于黄铁矿颗粒大小不同及移动方向的随机性,所形成微型隧道可具有不同的直径及或直、或曲、或螺旋状的形态特征;黄铁矿颗粒在移动过程中,其棱角及表面的条纹在化石上刻划出平行的纵纹;也正是黄铁矿颗粒移动的随机性,在化石表面发育的隧道底部及在隧道转弯处会观察到一些尖凸的棱角状构造现象。

综上所述,贵州瓮安陡山沱组磷酸盐化化石上所发育的微型隧道是非生物成因的,这些隧道是在成岩过程中有机质降解产生的气体形成了足以使黄铁矿颗粒前导面胶磷矿溶解的压力、并驱使黄铁矿颗粒移动所形成的拖曳痕。由于这种拖曳痕(特别是末端的黄铁矿颗粒脱落后)与某些遗迹化石外形上的相似性,很容易导致将其解释为生物成因的遗迹化石。目前已在燧石及磷质岩中发现黄铁矿的拖曳痕,相信在其它富含黄铁矿颗粒的岩层中也会出现类似的构造,今后工作过程中应予以特别注意。

**致谢:**磷块岩的化石分离处理及扫描电子显微镜照片均由地质科学院地质研究所周惠工程师完成,能谱分析及背反射电子显微镜照片由中国地质科学院地质研究所陈方远工程师完成,在此致以衷心的感谢。

## 参 考 文 献 / References

- 陈均远. 2004. 动物世界的黎明. 南京:江苏科学技术出版社,1~366.
- 丁连芳,李勇,胡夏嵩,肖娅萍,苏春乾,黄建成. 1996. 震旦纪庙河生物群. 北京:地质出版社,1~221.
- 东野,姬奇子,王素丝. 1984. 我国西南地区震旦系陡山沱组微体遗迹化石的发现. 地质科学,3:346~347.
- 刘鹏举. 2003. 燕山地区中元古代常州沟组潜穴化石. 地质论评,49(5):522~524.
- 张忠英. 1983. 峡东震旦系具拖曳构造的黄铁矿. 科学通报,28(20):1253~1255.
- Chakrabarti A. 1990. Traces and dubiotraces; examples from the so-called Late Proterozoic siliciclastic rocks of the Vindhyan Supergroup around Maihar, India. *Precambrian Research*, 47: 141~153.
- Chen J Y, Bottjer D J, Gao F, Ruffins S, Oliveri P, Dornbos S Q, Li J W, Davidson E H. 2004. Small Bilaterian Fossil from 40~50 Million Years before the Cambrian. *Science*, 305: 218~222.
- Dong Ye, Ji Qizi, Wang Suhong. 1984. The discovery of microscopic trace fossils in the Sinian Doushantuo Formation in southwest China. *Scientia Geologica Sinica(in Chinese)*, 1984, 346~347.
- Knoll A H, Barghoorn E S. 1974. Ambient pyrite in Precambrian chert: New evidence and a theory. *Proceedings of National Academy of Science, USA*, 71: 2329~2331.
- Li C W, Chen J Y, Hua T. 1998. Precambrian sponges with cellular structures. *Science*, 279, 879~882.
- Liu Pengju. 2003. The Burrow fossils in Changzhougou Formation of Mesoproterozoic in Yanshan Area. *Geological Review*, 49(5):522~524 (in Chinese with English abstract).
- Seilacher A, Bose P K, Pluger F. 1998. Triploblastic animals more than 1 billion years ago: Trace fossil evidence from India. *Science*, 282: 80~83.
- Tyler S A, Barghoorn E S. 1963. Ambient pyrite grains in Precambrian cherts. *American Journal of Science*, 261: 424~432.
- Wray G A, Levinton J S, Shapiro L H. 1996. Molecular clocks confirm palaeontological estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95: 606~611.
- Xiao S H, Knoll A H. 1999. Fossil preservation in the Neoproterozoic Doushantuo phosphorite Lagerstätte, south China. *Lethaia*, 32: 219~240.
- Xiao S H, Zhang Y, Knoll A H. 1998. Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. *Nature*, 391: 553~558.
- Yin C Y, Yue Z, Gao L Z. 2001. Discovery of phosphatized gastrula fossils from the Doushantuo Formation, Weng'an, Guizhou Province, China. *Chinese Science Bulletin*, 46(20): 1713~1716.
- Zhang Y, Yin L, Xiao S, Knoll A H. 1998. Permineralized fossils from the Terminal Proterozoic Doushantuo Formation, South China. *Palaeontological Society Memoir*, 50: 1~52.
- Zhang Zhongying. 1983. Appended pyrite in the Sinian of South China. *Chinese Science Bulletin*, 28(20): 1253~1255 (in Chinese).

## 图 版 说 明

### 图 版 I

所有标本均采自贵州瓮安磷矿震旦系陡山沱组,标本保存在中国地质科学院地质研究所。图版I所有照片均为扫描电子显微镜照片,比例尺均为50μm。图版II中,图1~2为光学显微镜下照片,3~4为背反射电子显微镜照片。

1. 示磷酸盐化球状化石上发育的2组直径相差悬殊的黄铁矿拖曳痕。
2. 示磷酸盐化球状化石上仅发育的1组直径相等的黄铁矿拖曳痕。
3. 示磷酸盐化球状化石表面发育的黄铁矿拖曳痕底部的棱角状突起。
- 4~11. 示黄铁矿拖曳痕末端的黄铁矿颗粒,拖曳痕上有清晰而密集的平行纵脊。7. 与黄铁矿颗粒前导面相接触处,球状化石已被挤压破碎;8, 9. 拖曳痕转折处呈尖凸的棱角状;10. 示在一个化石

标本上发育的3组直径相差悬殊的黄铁矿拖曳痕。

## 图 版 II

1,2. 示磷酸盐化球状化石内部的黄铁矿拖曳痕。2b 为2a 的局部放大;1的比例尺为100 $\mu\text{m}$ ;2a、2b 比例尺分别为200 $\mu\text{m}$ 和80 $\mu\text{m}$ 。

3,4. 示磷酸盐化球状化石上发育的黄铁矿拖曳痕。3b、3c 为3a 的放大,比例尺分别为100 $\mu\text{m}$ 、50 $\mu\text{m}$  和60 $\mu\text{m}$ ;3c 示能谱分析采点位置。4b、4c 为4a 放大,比例尺分别为100 $\mu\text{m}$ 、50 $\mu\text{m}$  和100 $\mu\text{m}$ ;4c 示能谱分析采点位置。

## Enigmatic Microtunnels——The Drag Marks of Pyrites on the Phosphatized Spheroidal Fossils from Sinian Doushantuo Formation at Weng'an, Guizhou Province

LIU Pengju, YIN Chongyu

*Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

### Abstract

Abundant phosphatized spheroidal fossils were preserved in Doushantuo Formation at Weng'an phosphorite, Guizhou Province, southwest China. Some fossils were impenetrated by microtunnels. The microtunnels were interpreted as biologic causation by some one or non-biologic causation by some one else. On detailedly observing, it can be shown that some microtunnels are terminated with a pyrite grain. The size of pyrite grain is same as the diameter of microtunnel. The side walls of microtunnels are marked by parallel longitudinal striae. Some pointed protuberances can be seen on the bottom of the tunnels on the surface of fossils, the turning points of tunnels are often pointed. These microtunnels are related to pyrites, they are drag marks of pyrite grains. It proposed that degradation of organic matter in sediments may have generated gas pressure sufficient to initiate dissolution of phosphorite on the leading edge of pyrite granis, then the pyrite grains moved through dissolving phosphorite at their leading edge.

**Key words:** Weng'an, Guizhou Province; Doushantuo Formation, Sinian System; microtunnel; trace fossil; pyrites grain; drag mark



