

文章编号:1672-6561(2012)02-0024-07

## 陕南镇巴筇竹寺期的海绵骨针化石

郑亚娟, 李 勇, 郭俊锋

(长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**在陕南镇巴下寒武统西蒿坪段和水井沱组下段的碳酸盐地层中含有大量保存完好、类型多样的海绵骨针化石。基于形态描述法,对海绵骨针化石进行了详细的形态描述及产地与层位判断。结果表明:根据与其共生的小壳化石和三叶虫等生物地层学资料,发现这些海绵骨针化石属于筇竹寺期;该区海绵骨针类型不仅包含有形态规则的二轴四射骨针、三轴六射骨针、三轴五射骨针,而且还有形态不规则的四轴四射骨针、五轴五射骨针、尖头星状骨针、二歧分叉式骨针等;其中的四轴四射骨针、五轴五射骨针、五刺尖头星状骨针、二歧分叉二射式骨针为本次发现的新类型,极大地丰富了海绵骨针的类型。陕南镇巴筇竹寺期海绵骨针化石的数量以及分异度快速增加,充分说明海绵动物在陕南地区寒武纪早期开始大量繁盛并且迅速演化。

**关键词:**海绵骨针;下寒武统;筇竹寺期;西蒿坪段;水井沱组;陕西

**中图分类号:**Q959.12 **文献标志码:**A

## Sponge Spicule Fossils of Qiongzhusian Age in Zhenba County of Southern Shaanxi Province

ZHENG Ya-juan, LI Yong, GUO Jun-feng

(School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Sponge spicule fossils are abundant and diverse from carbonatite strata in Xihaoping Member and the lower Shuijingtuo Formation of Lower Cambrian at Zhenba County of southern Shaanxi Province. Based on morphology method, the sponge spicule fossils were described in detail, and the habitat and location of stratum were shown. The results showed that the sponge spicule fossils were in Qiongzhusian Age according to the biostratigraphy data including small shelly fossil and trilobite which were symbiotic with the sponge spicule fossils; there were tetractines, hexactines and triaxon pentactines which were regular, and there were tetraron tetractines, pentaxon pentactines, oxaster and dichostauractines which were irregular; the tetraron tetractines, pentaxon pentactines, oxaster pentaxon and dichobixactines were the new types. Quantity and disparity of Sponge spicule fossils increased fast during Qiongzhusian Age at Zhenba County of southern Shaanxi Province, so that sponges began to propagate and evolve rapidly during Early Cambrian.

**Key words:** sponge spicule; Lower Cambrian; Qiongzhusian Age; Xihaoping Member; Shuijingtuo Formation; Shaanxi Province

## 0 引 言

海绵动物又称为多孔类,是固着生活的滤食性

动物,是最原始的多细胞动物,无消化腔和神经系统。海绵动物在前寒武纪就已经出现,在漫长的演化历史中,其体型结构变化较小,与其他多细胞动物

收稿日期:2012-03-14

基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20100205110003);国家自然科学基金项目(40902007);

中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2010JC074, CHD2011TD005)

作者简介:郑亚娟(1976-),女,陕西凤翔人,理学博士研究生, E-mail: yajuanzheng@126.com。

没有直接演化关系,是动物界中一个独立分支,被称为侧生动物亚界。现代海绵动物的研究发现,海绵骨针是海绵动物的造骨细胞所分泌的内骨骼,对海绵体起支撑作用,属于海绵动物体的一部分,骨针在海绵体中可攀结成架状,以保持海绵体的形态,从而保证海绵动物的生长与发育<sup>[1]</sup>;前人研究认为海绵骨针具有捕食功能<sup>[2]</sup>、固着作用<sup>[3]</sup>、防御功能<sup>[4-5]</sup>。近年来,随着海绵动物的骨针被发现具有良好的导光作用和光纤特性,引发学者对其微结构等的广泛研究<sup>[6-10]</sup>。

不同形态、大小的骨针可共存于同一海绵体中,当海绵动物死亡后,其骨针组成的骨架很少可以完整地保存为化石,绝大多数是以零散状态保存为单个的单根骨针化石,虽然这些单根骨针不能反映海绵体的原有形态,但是它们的形态、成分及结构是海绵动物化石分类的基础。中国寒武世早期的地层中产有大量骨针化石,但大多以零星孤立的骨针保存,主要分布在泥岩、页岩、粉砂岩、灰岩、白云岩和磷块岩中。钱逸对中国梅树村阶的海绵骨针化石进行了报道<sup>[11]</sup>;李勇等报道了陕南地区筇竹寺阶地层中的骨针化石<sup>[12-14]</sup>;胡杰等报道了皖南地区寒武世早期的海绵骨针化石,并对其细微结构进行了研究<sup>[15]</sup>;杨瑞东等研究了贵州地区下寒武统的海绵骨针化石,认为海绵动物在寒武世初期已开始了迅速的演化和分异<sup>[16-17]</sup>。虽然很多学者对不同地区海绵骨针做了大量研究,获得了不同形态的骨针类型,但仍有发现新类型的空间。笔者在系统归纳、总结前人对海绵骨针研究的基础上,对发现的新类型做重点描述。这不仅丰富了整个海绵骨针化石的内容,而且提高了对海绵动物面貌的认识。

1 地质背景

陕南镇巴地区位于扬子地台北缘,属于秦岭造山带与扬子地台北缘结合部的大巴山弧形褶皱带。该区寒武系分布广、露头好、化石丰富,尤其以镇巴小洋坝剖面最为理想。该地区组段划分一般沿用湖北三峡剖面地层系统,由下而上分为水井沱组、石牌组、天河板组和石龙洞组。

小洋坝剖面位于镇巴县东南约 10 km 的小洋乡火烧店附近(图 1),沿公路地层出露完好。该剖面自下而上出露的地层有:上震旦统陡山沱组和灯影组;下寒武统灯影组西蒿坪段、水井沱组、石牌组及天河板组等(图 2)。灯影组顶部为一套细晶、微晶白云岩,厚度大于 40 m;西蒿坪段为一套由黄绿

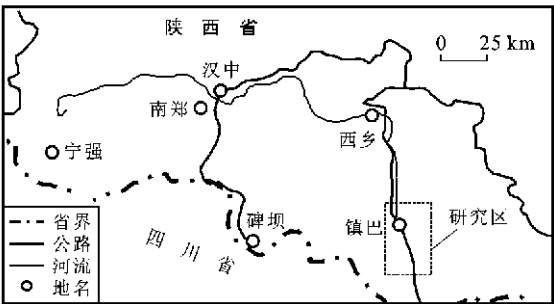


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical Map Showing the Location of Study Area

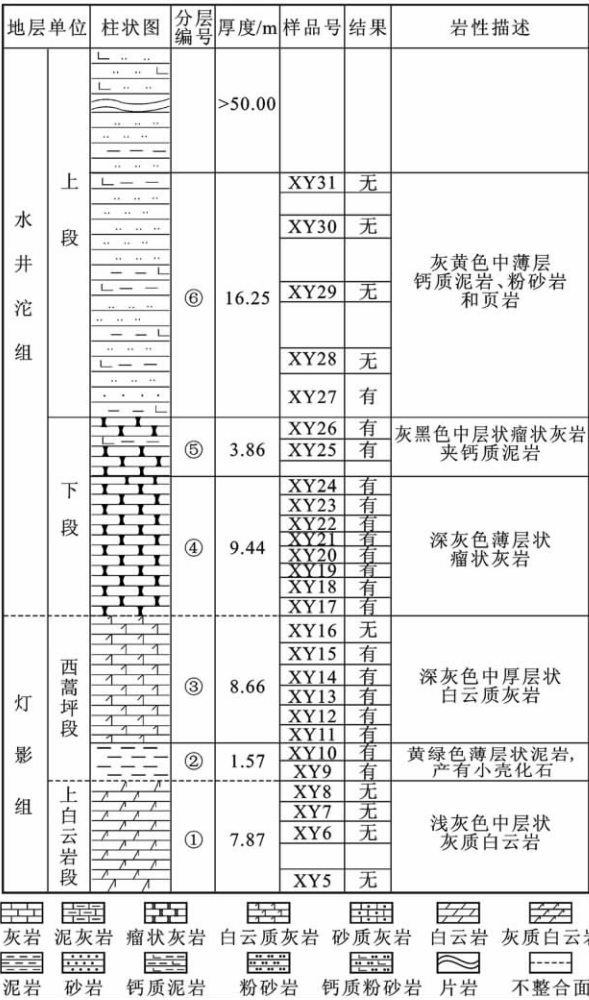


图 2 镇巴小洋坝剖面柱状图

Fig. 2 Histogram of Xiaoyangba Profile in Zhenba County  
色泥岩和灰色厚层状含粉砂白云质灰岩组成的 9 m 厚地层,富含小壳化石,与下覆灯影组白云岩之间有一凹凸不平的界面,存在明显的沉积间断,为平行不整合接触;顶部见有一层厚约 2 cm 的黄褐色含铁泥质风化壳,与上覆水井沱组之间呈平行不整合接触。

水井沱组分为上、下两段:下段厚约 30 m,由深灰及灰黑色薄层粉砂岩、泥岩和瘤状灰岩组成,富含大量小壳动物化石;上段厚约 85 m,主要为细砂岩和粉砂岩,化石相对贫乏。

## 2 材料与方法

本研究采集的微体化石标本均产自陕南镇巴小洋乡小洋坝剖面,对富含小壳化石的西蒿坪段和水井沱组的下段系统采样,所取样品采用化学浸泡法进行处理,即将岩石样品碎至直径为 5~10 cm 的颗粒,置于体积分数为 7%~10% 的冰醋酸中浸解处理,每隔 1 d 换 1 次冰醋酸,经 20 d 左右反应完毕,对样品处理中的不溶残渣清洗、干燥,获得处理碎样,在双目显微镜下对碎样进行人工挑选,共获得上千枚海绵骨针化石及与其共生的小壳化石,然后对挑选的骨针体进行电镜观察并扫描成像(图 3~5)。

## 3 海绵骨针化石描述

为了方便对所发现的海绵骨针化石进行报道、描述和交流,笔者采用形态描述法,对比较简单、规则的海绵骨针化石以“轴”来描述骨针数,以“射”来描述骨针端的方向;对形态复杂、不规则的骨针化石,用“射针”来描述骨针数和尖端方向。基于此,骨针可分为 6 类:单轴针(monaxons)、二轴针(biaxons)、三轴针(triaxons)、四轴针(tetragon 或 quadraxons)、多射针(polyactinals)、网状形骨针(desma)。用此方法命名描述的海绵骨针化石仅涉及骨针的形态类型,不涉及海绵动物的属和种。

### 3.1 二轴针

描述:发现的二轴针主要为二轴四射骨针,又称为十字骨针,而且数目较多,占处理骨针总数的 67%,由 2 个轴相交而成,4 条射针有粗有细,有的射针表面具有刺状纹饰,有的射针表面光滑无饰。根据相交类型,可细分为正十字形骨针和斜十字形骨针。正十字形骨针是 2 条射针垂直相交,呈“+”形[图 3(c)、(n)、(o)、(v)];斜十字形骨针是 2 条射针斜交,呈“×”形[图 3(e)、(g)、(p)~(r)、(t)、(u)]。大多十字形骨针的 4 条射针基本位于同一平面,但也有射针出现略微弯曲,使整个骨针不位于同一平面内。

产地与层位:陕南镇巴小洋坝西蒿坪段及水井沱组下段。

### 3.2 三轴针

描述:从样品中处理的三轴针约占骨针总数的

18%,有三轴五射(pentactines)和三轴六射(hexactines)2 种形态。三轴五射骨针由 1 个单射轴和 2 个双射轴垂直或近垂直相交而成,所发现的三轴五射骨针绝大部分为正三轴五射,即各射枝之间的夹角均为  $90^\circ$ [图 3(a)、(b)、(d)、(f)];另发现 1 枚三轴五射骨针的 1 个射针加长,其余射枝长度基本相等,各射枝之间两两垂直,加长射针向末端增粗,并且发生弯曲[图 3(w)]。三轴六射骨针由 3 个双射轴垂直或近垂直相交而成,三轴六射骨针可细分为 3 种类型:第 1 种是大型正三轴六射骨针,各射针两两垂直相交,侧射针较长,末端加粗,主射针长度相对较短[图 4(o)、(s)、(t)];第 2 种是各射针较为粗壮,长短基本相同,粗细统一,有的射针末梢加粗,各射针之间两两垂直,有的在纵轴主射针上可明显见到轴丝[图 4(n)、(q)、(x)];第 3 种是骨针的主轴射针垂直于侧射针,而各侧射针之间不是两两垂直,呈斜交状,此类骨针也称斜三轴六射骨针[图 4(r)]。

产地与层位:陕南镇巴小洋坝下寒武统西蒿坪段、水井沱组下段。

### 3.3 四轴针

描述:四轴针数量较少,主要为四轴四射骨针,仅占骨针总数的 1%,由 4 条单射针相交而成,其中 3 条射针在同一个平面,两两约以  $120^\circ$  相交,称为水平射针,第 4 条射针垂直于水平射针,称为中央射轴。四轴四射骨针可分为 2 类:一类水平射针较为纤细,稍有弯曲,并向末梢逐渐尖灭,中央射轴较粗,为空心[图 4(u)];另一类是各个射针形态基本相同,针体较为粗壮,且基部和末梢粗细一致,并可见轴丝[图 3(m)]。

产地与层位:陕南镇巴小洋坝下寒武统水井沱组下段。

### 3.4 多射针

描述:发现的多射针主要为五轴五射骨针,数量不多,约占骨针总数的 2%。五轴五射骨针可细分为 2 个类型:一类是骨针体,由 1 个中央射轴和 4 个侧射轴构成,侧射轴从中央射轴的基部向外斜伸,形成五轴五射形[图 4(w)];另一类由 5 条单射针相交而成,而且均不在同一平面内,射针较粗且稍有弯曲,并逐渐向末梢尖灭;骨针体为白色硅质[图 4(v)],此类骨针和李勇等在 1993 年所描述的五轴五射骨针形态有所不同<sup>[12]</sup>,因此笔者将其视为五轴五射骨针的一个新类型。

产地与层位:陕南镇巴小洋坝下寒武统水井沱组下段。

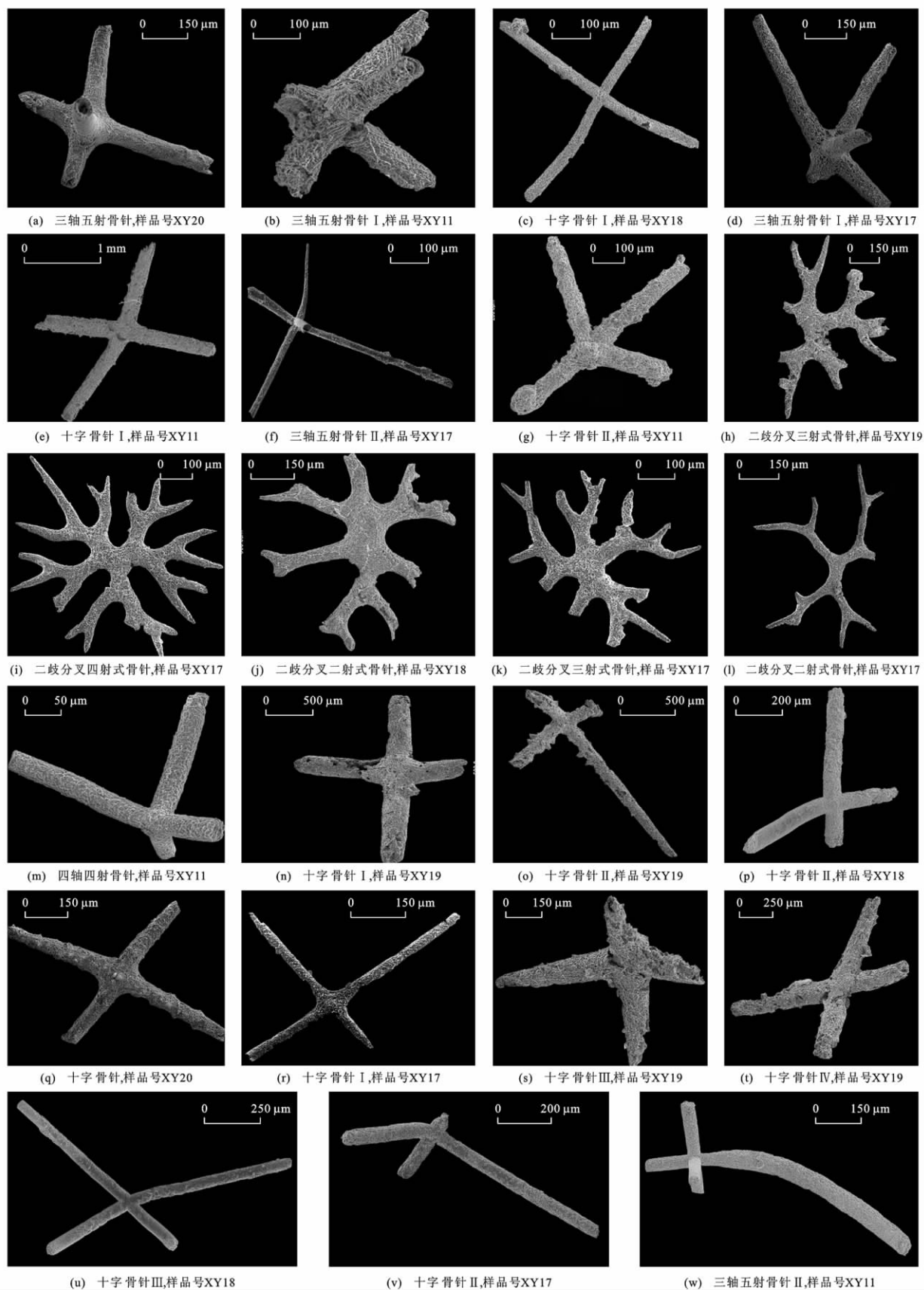


图 3 海绵骨针电镜扫描照片(图版 I)

Fig. 3 SEM Photographs of Sponge Spicules(Plate I)

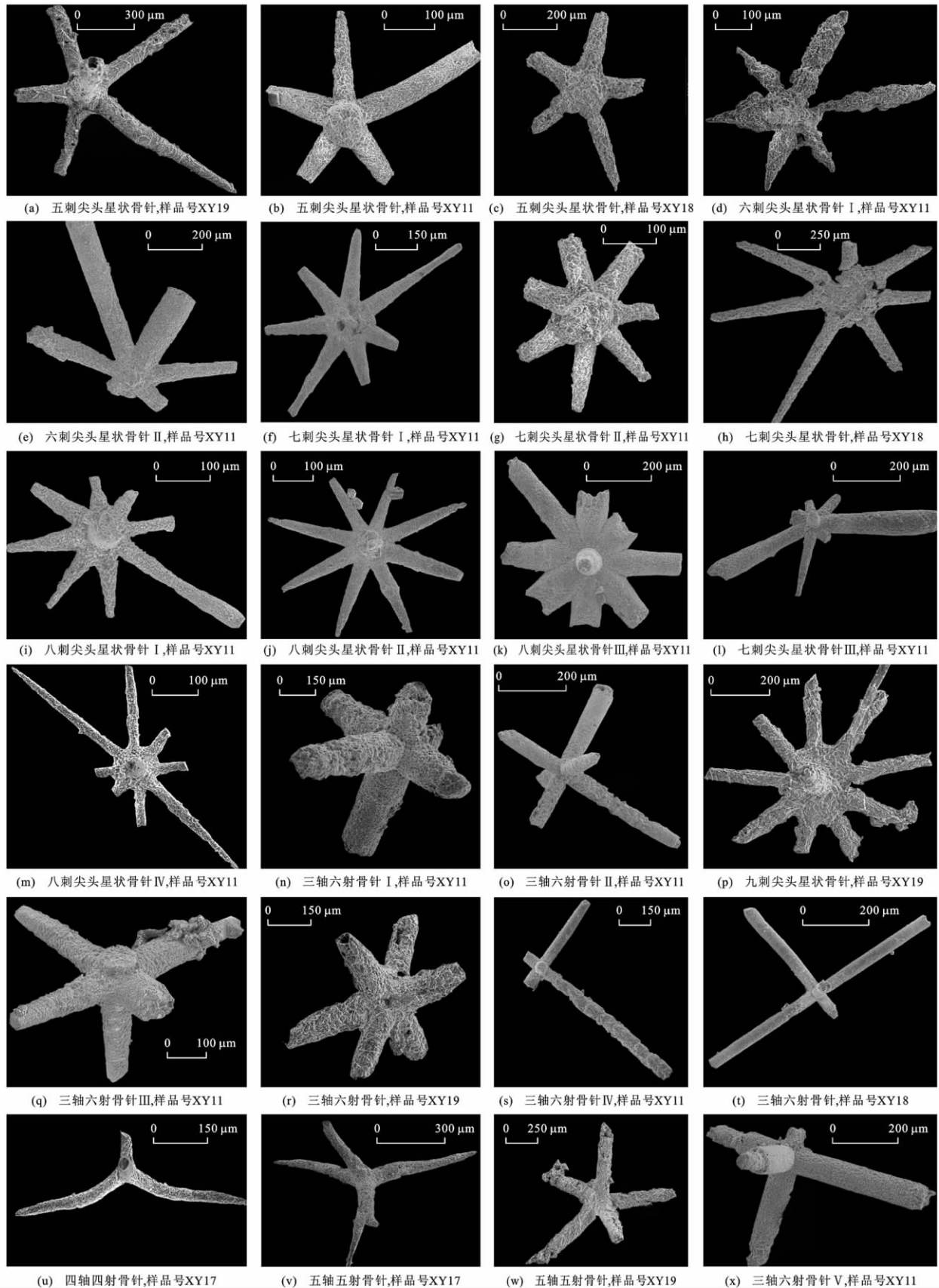
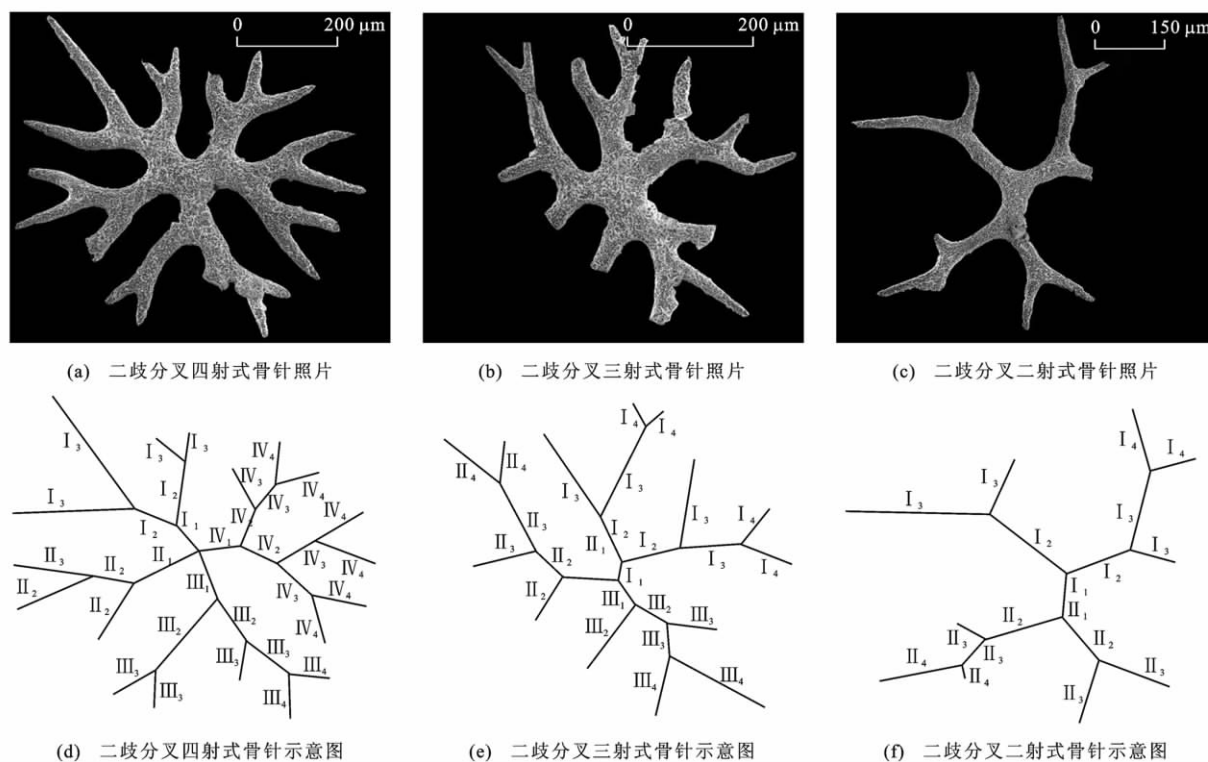


图 4 海绵骨针电镜扫描照片(图版 II)

Fig. 4 SEM Photographs of Sponge Spicules(Plate II)



I、II、III、IV 分别表示各个水平方向延伸的射针,其下标 1、2、3、4 分别表示二歧分叉的级数

图5 二歧分叉式骨针电镜照片及其示意图

Fig. 5 SEM Photographs of Dichostauractines and Their Sketches

### 3.5 网状形骨针

**描述:**网状形骨针数量较多,约占骨针总数的12%。网状形骨针主要为尖头星状骨针类(Oxaster)和二歧分叉式骨针(Dichostauractines)。尖头星状骨针是由5~9个平面辐射排列的尖头针状水平射轴和1个中空圆柱状或球形中央射轴构成,中央射轴与水平射轴垂直[图4(a)~(m)、(p)]。依据水平射轴的数量,可将其分为五刺尖头星状骨针、六刺尖头星状骨针、七刺尖头星状骨针、八刺尖头星状骨针、九刺尖头星状骨针。针状水平射轴为6~9个的研究报道比较常见,而未见到有5个水平射轴的尖头星状骨针[图4(a)~(c)],此次的发现丰富了尖头星状骨针的类型。二歧分叉式骨针形体较小,通过中心点有2~4条射针,每个射针呈二歧分叉状向前延伸,到末端逐渐尖灭,各射针分叉次数不等,有3~4级分叉,各射针直或弯,整个骨针体均都在同一平面内(图5),射针的主要成分为二氧化硅。根据射针的数量,可将其分为二歧分叉二射式骨针、二歧分叉三射式骨针和二歧分叉四射式骨针。

**产地与层位:**陕南镇巴小洋坝下寒武统水井沱组下段。

## 4 结 语

(1)陕南镇巴地区筇竹寺期发现的大量海绵骨针化石不仅有形态规则的二轴四射骨针、三轴六射骨针、三轴五射骨针,还有形态不规则的四轴四射骨针、五轴五射骨针、尖头星状骨针、二歧分叉式骨针等。其中,四轴四射骨针、五轴五射骨针、五刺尖头星状骨针、二歧分叉二射式骨针为本次发现的新类型。

(2)陕南镇巴地区筇竹寺期海绵骨针化石的数量以及分异度快速增加,充分说明海绵动物在寒武纪早期开始大量繁盛并且演化迅速。

### 参考文献:

#### References:

- [1] NICKEL M, BULLINGER E, BEKMANN F. Functional Morphology of Tethya Species (Porifera) 2: Three-dimensional Morphometrics on Spicules and Skeleton Superstructures of T-minuta[J]. Zoomorphology, 2006, 125(4): 225-239.
- [2] VACELET J, BOURY-ESNAULT N, FIALA-MEDIONI A, et al. A Methanotrophic Carnivorous Sponge [J]. Nature, 1995, 377: 296.
- [3] 张 维. 海绵的分类、演化及其地质意义[J]. 古生物

- 学报, 1991, 30(6): 772-785.
- ZHANG Wei. Classification, Evolution and Geological Significance of Fossil Sponges[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1991, 30(6): 772-785.
- [4] HILL M S, LOPEZ N A, YOUNG K A. Anti-predator Defenses in Western North Atlantic Sponges with Evidence of Enhanced Defense Through Interactions Between Spicules and Chemicals[J]. Marine Ecology Progress Series, 2005, 291: 93-102.
- [5] MEHL D. Porifera and Chancelloriidae from the Middle Cambrian of the Georgina Basin, Australia[J]. Palaeontology, 1998, 41(6): 1153-1182.
- [6] SUNDAR V C, YABLON A D, GRAZUL J L, et al. Fibre-optical Features of a Glass Sponge[J]. Nature, 2003, 424: 899-900.
- [7] AIZENBERG J, WEAVER J C, THANAWALA M S, et al. Skeleton of *Euplectella* sp.: Structural Hierarchy from the Nanoscale to the Macroscale[J]. Science, 2005, 309: 275-278.
- [8] 王晓红, 王毅民, 滕云业, 等. 海绵动物骨针研究简介[J]. 岩矿测试, 2007, 26(5): 404-408.
- WANG Xiao-hong, WANG Yi-min, TENG Yun-ye, et al. A Brief Introduction on Sponge Spicule Study[J]. Rock and Mineral Analysis, 2007, 26(5): 404-408.
- [9] 王晓红, 王毅民. 海绵骨针特性及其仿生学研究[J]. 地球科学进展, 2006, 21(10): 1008-1013.
- WANG Xiao-hong, WANG Yi-min. An Introduction to the Study on Natural Characteristics of Sponge Spicules and Bionic Applications[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(10): 1008-1013.
- [10] MULLER W E G, WANG Xiao-hong, ZENG Lingsen, et al. Phylogenetic Position of Sponges in Early Metazoan Evolution and Bionic Applications of Siliceous Sponge Spicules[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(22): 3029-3040.
- [11] 钱逸. 中国小壳化石分类学和生物地层学[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- QIAN Yi. Taxonomy and Biostratigraphy of Small Shelly Fossils in China[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [12] 李勇, 秦洪宾, 丁莲芳. 扬子地台北缘早寒武世早期的海绵骨针化石[J]. 西安地质学院学报, 1993, 15(2): 31-39.
- LI Yong, QIN Hong-bin, DING Lian-fang. Early Sponge Spicules of the Early Cambrian Era from the North Margin of the Yangtze Platform[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1993, 15(2): 31-39.
- [13] ZHANG Xi-guang, PRATT B R. New and Extraordinary Early Cambrian Sponge Spicule Assemblage from China[J]. Geology, 1994, 22(1): 43-46.
- [14] 赵鑫, 李国祥. 陕西镇巴早寒武世海绵骨针化石[J]. 微体古生物学报, 2006, 23(3): 281-294.
- ZHAO Xin, LI Guo-xiang. Early Cambrian Sponge Spicule Fossils from Zhenba County, Southern Shaanxi Province[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2006, 23(3): 281-294.
- [15] 胡杰, 陈哲, 薛耀松, 等. 皖南早寒武世荷塘组海绵骨针化石[J]. 微体古生物学报, 2002, 19(1): 53-62.
- HU Jie, CHEN Zhe, XUE Yao-song, et al. Sponge Spicules in Early Cambrian Hetang Formation, Southern Anhui[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2002, 19(1): 53-62.
- [16] 杨瑞东, 钱逸, 张杰, 等. 贵州织金早寒武世戈仲伍组磷块岩中海绵骨针[J]. 自然科学进展, 2004, 14(8): 898-903.
- YANG Rui-dong, QIAN Yi, ZHANG Jie, et al. Early Cambrian Sponge Spicule Fossils from the Gezhongwu Formation of Zhijin County, Guizhou Province[J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(8): 898-903.
- [17] 杨兴莲, 赵元龙, 朱茂炎, 等. 贵州寒武系九门冲组和渣拉沟组中的海绵骨针化石[J]. 微体古生物学报, 2010, 27(3): 243-252.
- YANG Xing-lian, ZHAO Yuan-long, ZHU Mao-yan, et al. Sponge Spicule Fossils from the Jiumenchong and Zhilagou Formations (Cambrian) of Guizhou[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2010, 27(3): 243-252.