

文章编号: 0254-5357(2007)05-0404-05

海绵动物骨针研究简介

王晓红^{1,2}, 王毅民^{1*}, 滕云业³, 张学华³

(1. 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 2. 北京大学环境学院, 北京 100871;
3. 广州海洋地质调查局实验室, 广东 广州 510760)

摘要: 海绵动物骨针是海绵动物骨骼的主要组成, 是由生物矿化产生的。在地学研究中它是一种可用作地层对比的古生物化石。近年科学家发现了海绵骨针的光纤特性, 特别是指出了这些特性可能引导人类开发新的光纤制造方法, 从而引发了对其微结构、特性、生长机制与调控的生物学、生矿物学和仿生学的研究热潮。文章简介了海绵动物骨针的早期研究、光纤特性的发现及国内外研究概况。

关键词: 海绵动物骨针; 生物矿化; 微构造; 光纤; 仿生学

中图分类号: Q959.12 **文献标识码:** A

An Brief Introduction on Sponge Spicule Study

WANG Xiao-hong^{1,2}, WANG Yi-min^{1*}, TENT Yun-ye³, ZHANG Xue-hua³

(1. National Research Center for Geanalysis, Beijing 100037, China;
2. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;
3. Laboratory of Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: Sponge spicules, which set up the skeleton of sponge organism and support the whole soft body, are the typical materials from biomineralization. In geosciences, just like the other paleo-biological fossils, sponge spicules are very useful for the study on biological evolution and stratigraphy comparison. In recent years, the similar performances with artificial fiber, which are produced at very high temperatures in high vacuums using caustic chemicals, were found in sponge spicules, which grow under ambient temperature and pressure. It means that people can produce optical fibers and electronic materials at a low temperature using a biotechnological, catalytic route and will bring a complete renovation for the production of these materials. So a research upsurge for sponge spicules on micro-structure, characteristics, growth mechanism and mediation are quickly arising. In this paper, the early study, the discovery of optical fiber performances and the research progress on sponge spicules are introduced.

Key words: sponge spicule; biomineralization; micro-structure; optical fiber; bionics

在地学研究中, 海绵骨针首先是作为一种古生物化石成为地层划分、对比的依据, 也是一种环境标志物。其后的研究表明, 骨针在海绵动物体内的形成过程是一种典型的生物矿化现象, 这又成为新的交叉学科——生物矿物学的重要研究对象。20世纪80~90年代人们发现了海绵骨针的导光作用和

光纤特征, 引发了对其微结构、特性、生长机制与调控的生物学、生矿物学和仿生学的广泛研究。近10年来仅在《Nature》、《Science》上发表的相关论文就已有8篇。2003年9月我国科技界媒体报道了美国贝尔实验室的科学家在当年8月的《Nature》上的撰文, 该论文指出海绵骨针的优良光导特性可对人类

收稿日期: 2006-10-08; 修订日期: 2007-04-03

基金项目: 国家自然科学基金面上项目——青年科学基金项目资助(50402023)

作者简介: 王晓红(1969-), 女, 山西沁县人, 研究员, 分析化学和海洋地球化学专业。

通讯作者: 王毅民(1941-), 男, 河北南宫人, 研究员, 从事地质材料分析技术研究。E-mail: wym7852@yahoo.com.cn。

改进光纤制造工艺提供有益启示^[1-2]，这才引起我国科技界对这一研究方向的关注。我国科学家在前寒武纪海绵化石研究、现代海绵骨针光学特性的发现和细胞培养与特性研究方面都作了有益工作^[3]。

1 海绵骨针的早期研究

海绵动物是地球上最古老、最简单的动物，它代表了现存动物进化历史最长的门类，成为研究动物在新元古代演化水平的最好证据，被称为“活化石”^[4]。海绵动物繁衍最茂盛的时代是寒武纪，经数亿年的演化，通常认为现今的海绵动物主要有：寻常海绵 (*Demospongiae*)、六放海绵 (*Hexactinellida*) 和钙质海绵 (*Calcarea*) 动物三个纲。海绵动物又是为数不多的营固着生活的水生动物，其腔体由硅质或钙质的纤维状物——“骨针”(Spicule) 及其构架支撑，骨针的形态、性质及结构是海绵动物分类的基础^[5-6]。

早在 19 世纪中叶就有海绵动物及其骨针的论文，在其后的长时间内研究目标主要是其形态、结构、分类、生长及演化^[7-9]，参与这些研究的主要是生物学家和地质古生物学家；20 世纪 80 年代后的一个重要研究方向是海绵活性物质及其药物提取^[10]；20 世纪 90 年代后发现了海绵骨针的良好光学特性之后，才引起科学家对骨针纳米结构、光学特性及生长机制与调控和仿生学等广泛的研究兴趣^[11]。

2 骨针光纤特性的发现及相关研究

2.1 国内的发现及初步研究

我国在 1986 年的一次海洋调查中，从南海获取了一束十分引人注目的海绵动物大骨针：无色、透明，稍扭曲，似一束蓬松的马尾，更像一束光纤；该骨针束有 20 多根，每根长约 90 cm，从底端（断裂状）到顶端直径约 0.3 ~ 0.5 mm（图 1）。其后对该“光纤”物样品进行了多项室内测试研究，这包括用常规的光学显微镜观察了其精美的多层同心圆结构（图 2）、用 X 射线衍射和电子探针分析确定其主要成分为无定型 SiO₂；在北京玻璃研究院观测了其光学性能；在 20 世纪 90 年代初还用上海和 Lund 大学（瑞典）的扫描核探针（SNM）检测了其痕量元素的微区分布。这是我国对海绵骨针结构与性能进行的初次探索研究。

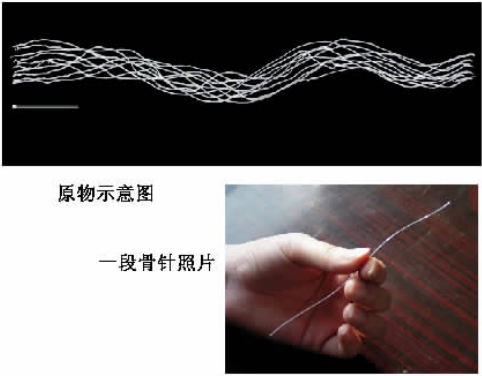


图 1 采自南海的六放海绵大骨针
Fig. 1 Big-spicules of *Hexactinellida* from South China Sea

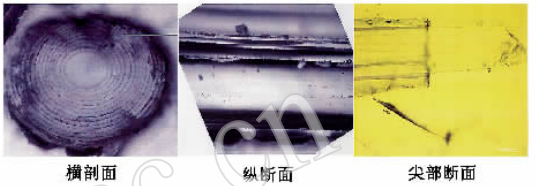


图 2 南海海绵骨针的微结构
Fig. 2 Micro-structures of the sponge spicule from South China Sea

2.2 国外的发现及相关研究

早在 1994 年意大利科学家从丝状绿藻与海绵骨针紧密共生这一现象就推断光能可能通过硅质骨针到达海绵动物体内供绿藻生长（图 3）。随后他们用取自南极罗斯海海绵动物的长骨针（10 余厘米）作了一系列的光传导试验，试验结果使他们确信，在这样罕见环境条件下生长的硅藻是借助于硅质骨针所传导的光能，从而认为南极的这种长硅质骨针具有光纤作用^[12-13]（图 4）。从其后与此有关的文献量的迅速增加可知，海绵骨针这一特性的发现已引起生物和材料科学界的关注。

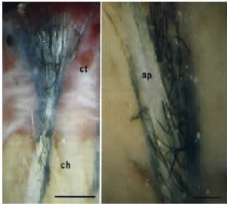


图 3 丝状绿藻与海绵骨针共生^[12]
Fig. 3 Symbiosis of green algal filaments and sponge spicules^[12]

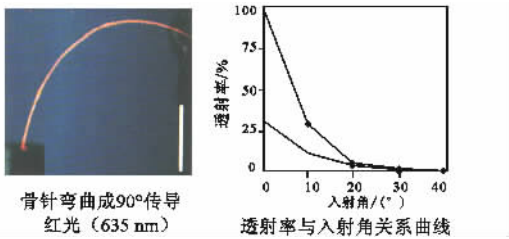


图 4 南极海绵骨针的光导特性实验^[13]

Fig. 4 Test on optical-fibre properties of the sponge spicules from South Pole^[13]

美国贝尔实验室的科学家凭借他们的职业敏感性,在研究了海绵骨针的微结构与光导特性后,于 2003 年撰文进一步指出海绵骨针的优良特性将为人改进光纤制造工艺和改善光纤性能提供有益启示^[3]。这一论文的发表标志着海绵骨针仿生研究的兴起。近两年相关文献的成倍增长表明这一研究领域的活跃。

3 海绵骨针研究的现状

当前海绵骨针研究正处在十分活跃的时期,所涉及的领域亦相当广泛,也吸引了多学科领域科学家的参与,这包括生物学(生物物理学、生物化学、分子生物学)、地学(地质古生物学、地球化学、生物地球化学)、化学和材料科学。这一研究方向需要多学科的交叉和融合,生物矿化(Biomineralization)或生物矿物学和现代生物技术是其最基本的理论与技术方法。近 20 年间,从不同学科角度论述生物矿化的专著已有 16 部。目前,美国、德国、意大利和西班牙等国都有一些研究小组在从事海绵骨针的结构、生物矿化以及仿生学等方面的研究工作,并取得重要成果。

结构和组成是特性及仿生研究的最基础资料。美国贝尔实验室利用扫描电子显微镜(SEM)对六放海绵偕老同穴(*Euplectella*)的整个骨骼结构进行了系统研究,不仅发现了骨针是由一层层同心圆状的硅薄层及一有机质中心丝构成的复杂结构,还进一步研究证明了这些硅薄层是由硅纳米颗粒围绕中心丝通过分级(七级)机制自组装而成的^[14-15](图 5)。研究已知海绵骨针的主体成分是无定型 SiO₂,而中心丝(芯)的主要成分是硅蛋白(Silicatein),但对其中的痕量无机组分了解得还很少,而这些可能对调控骨针的生长有重要作用。

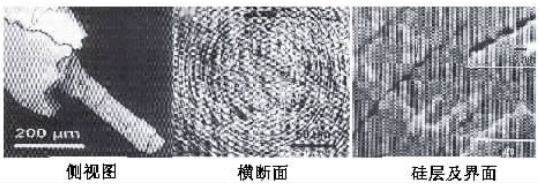


图 5 海绵骨针的 SEM 微结构^[1,17,15]

Fig. 5 Micro-structure of sponge spicules by SEM^[1,17,15]

骨针的光学及其他物理、机械特性也是人们特别感兴趣的研究课题。自人们发现了骨针的导光特性后,美国贝尔实验室和德国的科学家^[3,16-17]系统地研究了六放海绵阿氏偕老同穴(*Euplectella aspergillum*)骨针的光学性能及其结构之间的关系,发现骨针不同位置(根部、中间和顶端)的折射率虽有变化,但都有一个高折射率核心(图 6),从而认为利用这一特点可制成单模或多模光纤。

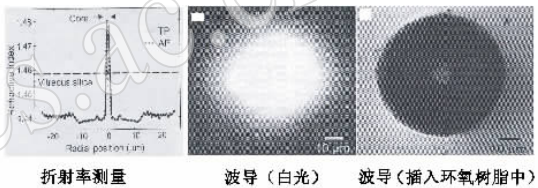


图 6 海绵骨针光导特性^[16]

Fig. 6 Light-guide characteristics of sponge spicules^[16]

生长机制和生物矿化过程一直是海绵骨针研究中最活跃的领域。在短短 20 多年间经历了从细胞生物学到分子生物学及基因多角度来深入研究骨针的生长、沉积过程及调控机制。业已证明骨针的生长主要是由轴丝硅蛋白(基因)控制的,因此轴蛋白丝的组成和结构以及生长调控的研究越来越受到人们关注。美国加州大学课题组^[18]研究了硅蛋白催化合成 SiO₂ 的分子机制,认为在合成纳米结构 SiO₂ 时,硅蛋白既是水解和聚合反应的催化剂,又充当分子模板。Garrone 等^[19]的研究认为胶原质是一种细胞外基体蛋白质,具有三维螺旋结构,可形成小纤维,由此生成的微纤维作为黏合剂对骨针构架的形成起了重要作用。Krasko 等^[20]发现 Fe³⁺ 可以诱导海绵细胞团的繁殖和刺激骨针的生长,表明了痕量元素对骨针生长具有调控作用。

中国科学院海洋研究所对我国海域海绵进行了系统研究,指出了我国海域海绵的分布及分类^[21]中国科学院大连化学物理研究所则对海绵

生物活性物质及天然药物开展了研究^[22],近年来该研究小组与德国美茵兹大学合作,正在开展硅生物技术离体培养合成纳米生物硅(骨针)的研究工作,并取得了可喜进展^[23]。

1987年至20世纪90年代初作者研究小组开展了海绵骨针微结构、化学组成及光学特性的研究工作;贝尔实验室在《Nature》发表了相似研究成果之后,在国家自然科学基金的支持下,作者研究小组与清华大学合作正继续开展这一研究工作,但无论是研究深度还是广度,我国与国外的研究工作差距还很大。因此,为尽快了解国外已有成果,充分利用我国的物种资源和已有技术,发挥自身优势,以迅速提升国内的研究水平,2006年国家地质实验测试中心邀请了德国美茵兹大学 Müller 教授来访与交流,建立了良好的合作关系,同时也加强了与国内相关研究小组的合作,大大提升了国内海绵骨针研究的起点,加速了研究进程^[24]。

4 结语

近代科学技术的进步,使人类能以越来越大的规模和营造力改造地球,索取资源,促进了社会的快速发展,同时也破坏了人类共同生活的地球生态环境,严重影响着人类社会的可持续发展。改变当今人类的生产和生活方式,发展“环境友好”产业和循环经济,建设节约型和谐社会,走社会经济可持续发展之路已是当今的世界潮流。

通讯在人类社会经济发展和生活中的作用是显而易见的,而当今信息传输的主要载体是光纤。然而,当今超自然条件(高温、高能耗和超洁净环境要求等)的光纤制造工艺和生产模式有悖于当今新的社会发展方式和环境观念。海洋生物在完全自然的环境条件下,能将自然界普遍存在的硅和氧建造出比人造光纤材料更精美、具有更好性能的多种生物硅材料,这就为人类在环境友好条件下制备高性能电子和光学材料指出了新的仿生科学理念与技术途径。仿生材料、生物技术和“环境友好”制造业是未来技术发展的新方向。

为促进我国仿生科学的快速发展,以“仿生学的科学意义与前沿”为主题的第220次香山科学会议(2003年)提出了我国发展仿生科技的研究方向和优先领域^[25]。生物经亿万年生存演化造就了与自然和生存环境和谐共存、选择发展的各种优异性状和功能品质,成为人类社会发

展的库。近年来我国在生物矿化及仿生学研究虽已有不少可喜成果^[26],但与国外相比还是相当薄弱,20世纪90年代以来国内外在海绵骨针研究方面表现出的强烈反差应引起人们和相关部门的关注。

致谢 感谢中国地质科学院地质研究所王崇友、王金星,中国地质科学院矿产资源研究所陈克樵、张汉卿、周剑雄,中国科学院上海原子核研究所朱节清,北京玻璃研究院在20世纪80年代末南海骨针探索研究中所给予的大力支持。

5 参考文献

- [1] 罗夏. 深海“天然光纤”更胜一筹[N]. 科学时报, 2003-09-18[2006-10-08].
- [2] Sundar V C, Yablon A D, Grazul J L, et al. Fibre-optical Features of a Glass Sponge [J]. *Nature*, 2003, 424(21): 899-900.
- [3] Li C W, Chen J Y, Hua T E. Precambrian Sponges with Cellular Structures [J]. *Science*, 1998, 279(5352): 879-882.
- [4] Müller Werner E G, 王晓红, 曾令森, 等. 海绵动物的演化意义及其生物硅的仿生应用[J]. 科学通报, 2007, 52(12): 1372-1381.
- [5] 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.
- [6] Perry C C. Silica Formation in Sponges, in *Biom mineralization* [M]. ed by Dove P M. Washington: The Mineralogical Society of America, 2003: 291-304.
- [7] Lieberkuhn N. Beitrage zur Anatomie der Spongien [J]. *Archiv fur Anatomie und Physiologie*, 1859: 376-403.
- [8] DeLage Y. Embryogenie des eponge [J]. *Archives de Zoologie Experimentale*, 1892, 10: 345-498.
- [9] Rigby J K, Stearn C W. Sponges and Spongiomorphs [J]. *Studies in Geology*, 1983(7): 220.
- [10] 薛松, 赵权宇, 张卫, 等. 中国海绵天然产物的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2003, 15(4): 359-363, 368.
- [11] 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): 37-42.
- [12] Gaino E, Sarà M. Siliceous Spicules of *Tethya Seychellensis* (Porifera) Support the Growth of a Green Alga: A Possible Light Conducting System [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 108: 147-151.
- [13] Cattaneo-Vietti R, Bavestrello G, Cerrano C, et al. Optical Fibres in an Antarctic Sponge [J]. *Nature*, 1996, 383: 397-398.
- [14] Sarikaya M, Fong H, Sunderland N, et al. Biomimetic Model of a Sponge-Spicular Optical Fiber-mechanical

- Properties and Structure [J]. *Journal of Materials Research*, 2001, 16: 1420 - 1428.
- [15] 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.
- [16] Aizenberg J, Sunder V C, Yablon A D, et al. Biological Glass Fibers: Correlation between Optical and Structural Properties [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101 (10): 3358 - 3363.
- [17] Müller W E G, Schröder H C, Wiens M, et al. Traditional and Modern Biomedical Prospecting: Part II - The Benefits [J]. *Evidenced-based Complementary and Alternative Medicine*, 2004, 1 (2): 133 - 144.
- [18] Cha J N, Shimizu K, Zhou Y, et al. Silicatein Filaments and Subunits from a Marine Sponge Direct the Polymerization of Silica and Silicones in Vitro [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96: 361 - 365.
- [19] Garrone R. Collagene, spongine et squelette mineral chez l'éponge Haliclona rosea [J]. *Journal of Microscopy*, 1969, 8: 581 - 598.
- [20] Krasko A, Schröder H C, Batel R, et al. Iron Induces Proliferation and Morphogenesis in Primmorphs from the Marine Sponge Suberites Domuncula [J]. *DNA and Cell Biology*, 2002, 21 (1): 77 - 80.
- [21] 李锦和. 中国海域污着生物中的海绵 [J]. *海洋科学集刊*, 1986, 26: 73 - 116.
- [22] 张骁英, 赵权宇, 薛松, 等. 海绵生物活性物质及海绵细胞离体培养 [J]. *生物工程学报*, 2002, 18 (1): 10 - 15.
- [23] Qu Yi, Zhang Wei, Li Hua, et al. Cultivation of Marine Sponges [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2005, 23 (2): 194 - 198.
- [24] Wang Xiaohong, Li Jinhe, Qiao Li, et al. The Giant Spicules of the Deep Sea Hexactinellidan Sponges of the Genus Monorhaphis (Hexactinellida: Amphidiscosida: Monorhaphididae) [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53 (3): 557 - 569.
- [25] 杜家伟. 生命科学与仿生学 [J]. *生命科学*, 2004, 16 (5): 317 - 323.
- [26] 郭中满, 王荔军, 陈霞, 等. 生物矿化合成纳米针状 SiO₂ [J]. *高等学校化学学报*, 2000, 21 (6): 847 - 848.

欢迎订阅

欢迎投稿

欢迎刊登广告

《分析测试学报》

国内刊号: CN 44 - 1318/TH

国际刊名代码 CODEN: FCEXES

国际标准刊号: ISSN 1004 - 4957

邮发代号: 46 - 104

国外代号: BM 6013

广告经营许可证: 粤 010029

《分析测试学报》是由中国分析测试协会、中国广州分析测试中心共同主办的全国性学术刊物, 中文核心期刊。刊登电子显微学、质谱学、光谱学、色谱学、波谱学及电化学等方面的分析测试新理论、新方法、新技术的研究成果, 介绍新仪器装置及在医药、化工、商检、食品检验等方面实用性强的实验技术。适合科研院所、大专院校、医学、卫生以及厂矿企业分析测试工作和管理人员阅读。

本刊入选美国化学文摘千种表、俄罗斯《文摘杂志》、《日本科技文献速报》、英国皇家化学学会《分析文摘》(AA)、《质谱公报》(MBS)等。本刊为中文核心期刊, 中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、“中国科技期刊精品数据库”收录期刊、《中国科学引文数据库》来源期刊、《中国科技期刊数据库》来源期刊、《中国学术期刊(光盘版)》全文收录期刊、《中国期刊网》全文收录期刊等。

本刊自 2008 年起变更为月刊, 国内外公开发行人。大 16 开, 单价 12.00 元/册, 全年 144 元。请在全国各地邮局订阅。未在邮局订到者可直接向本编辑部补订。

补订办法: 请从邮局汇款至广州市先烈中路 100 号《分析测试学报》编辑部 (邮编: 510070)

电话: (020) 87684776 或 37656606 E-mail: fxcxb@china.com

写明订户单位、详细地址、收刊人姓名、邮编及补订份数(全年或某期)。