

泉州湾宋代海船保存现状的调查研究

费利华

提 要: 作为国内乃至亚洲大型海洋出水木质文物保护的先例, 泉州湾宋代海船自出土至今已保存近40年, 经过多年来综合性地保护修复, 其保存现状值得关注。本文通过对古船保存环境、船体构件保存状况、船体病害、材质状况的调查分析, 综合评估船体保存现状, 分析影响古船稳定保存的主要因素, 从而为后续的保护工作奠定基础。

关键词: 宋代海船 保存现状 船体病害 材质状况 调查研究

An Investigation of the State of Conservation of the Song Dynasty Shipwreck in Quanzhou Bay FeiLihua

Abstract: As the precedent of the protection for large marine wooden relics in China and Asia, the Song Dynasty Shipwreck in Quanzhou Bay has been preserved for 40 years since its discovery in 1974. After years of integrated protection and restoration, the status quo of the shipwreck should be studied. In this paper, a comprehensive investigation and analysis on the status of the ship, including its preservation environment, the condition of the planks, diseases in the hull and so on are carried out. The results are very important to summarize and evaluate the previous conservation work, to find existing problems, and to lay the foundation for subsequent protection works.

Keywords: Song Dynasty Shipwreck, State of Conservation, Disease in the Hull, Wooden Material Situation, Investigation and Research

中图分类号: K878.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-9677 (2014) 02-0074-06

一、前 言

1974年出土于泉州湾后渚港的宋代海船, 是国内发掘的第一艘体量大、年代较早的远洋贸易木帆船, 至今已达40年。作为国内乃至亚洲大型海洋出水木质文物保护的先例, 泉州宋船采取先安装复原再缓慢自然阴干脱水的特有保护方式, 成功地保存了船体, 但未脱盐、复原安装时使用了大量铁钉等又给古船的稳定保存带来了极大的隐患。经过多年开放式展陈及综合性的物理化学保护修复后, 其保存现状值得关注。全面了解古船保存现状不仅有助于对前期的保护工作进行总结评估, 同时可以发现存在的问题, 为后续保护工作打下基础, 基于此目的, 我们对宋船的保存环境状况、船体主要构件的保存状况、船体病害、船木的材质状况等进行了综合调查与分析, 本文即是对这些工作内容的总结。

二、调查内容与结果

1. 古船保存环境概况

由于体型庞大以及各方面条件的限制, 自1978年以来, 该船一直都在相对开放的环境中展示。对于有机质文物来说, 环境对保存具有很大的影响。根据《泉州宋代古船保存环境的调查与分析》的研究成果^①, 受区域环境气候及古船保存位置周边环境状况的影响, 古船保存环境中的温湿度值一年中大部分时间偏高 ($TH \geq 20^{\circ}C$; $RH \geq 60\%$, 其中温度变化相对较为平稳 (日均波动幅度 $<1^{\circ}C$), 但相对湿度的波动不仅频繁, 且大多波动幅度大 ($>5\%$)。光照水平中主要受光面的照度大部分时段符合要求 ($\leq 100LUX$), 但紫外辐射照度大多偏高 ($\geq 0.75 uw/cm^2$), 紫外线相对含量远远超标 ($\geq 20 uw/lm$), 且存在着太阳光直射到船体的现象。室内空气中的 SO_2 、 NO_2 及可吸入颗粒物日均浓度均符合相关规范与标准, 虽然空气中的颗粒物实际浓度并不高, 但颗粒物具有累积沉降作用, 在一定的时间内仍然使船的表面沉积覆盖大量的尘粒, 不仅造成表面污



图一 泉州湾宋代海船

染，更由于颗粒物的吸附作用，空气中的污染性气体及其他有害化学物质通过颗粒物吸附转化再作用于船材的表面，特别是在多种环境因素综合影响下，可造成船木表面材质的劣化。综合调查分析显示：温湿度偏高，相对湿度不稳定、紫外辐射偏高以及颗粒物污染是泉州宋船保存环境存在的主要问题，不符合“稳定、洁净”的预防性保护的基本要求，不利于船体的长期稳定保存。

2. 船体主要构件的保存状况

海船出土时甲板以上构件均已无存，船体残存部分长 24.20m，残宽 9.15m，由 12 道隔舱壁将船隔成 13 舱，保存下来的主要构件有：龙骨、船壳板、隔舱壁、肋骨、舵座、桅座等（图一）。

(1) 龙骨

龙骨由两段松木连接而成，全长 17.65m，形态完整。东侧面保存基本完好，表面的裂缝曾用桐油灰等材料进行填补修复，并进行过表面加固封护处理，用手叩击，多处可听到明显的空鼓音。西侧面保存状况相对较差，北段开裂严重，裂缝均已用桐油灰填补，南段局部表面片状起翘、脱落缺损。

(2) 船壳板

为多层板结构，船体底部是两层板结构，舷侧板是三层板结构。除了龙骨两侧船底板使用松木外，基本使用杉木。外层船壳板表面开裂现象普遍存在，主要为纵向裂隙，大部分的裂隙宽度在 1~5mm

之间，少数裂缝宽度达到 20~40mm，少部分船板存在纵横裂。在两块船板的纵向端部接口处，往往存在端裂变形，船板的上下边缘部位大多存在横向断裂后起翘变形。船头大部已残缺，残余的船头两侧及接近甲板的船板糟朽严重，可以看到明显的海洋生物侵蚀痕迹。内层船板中船尾舵座两侧保存状况相对较差，其余大部分保存良好。船板中还留存较多数量的铁钉，这些铁钉对船板的腐蚀作用仍然在持续中，可看到明显的锈蚀圈。船舱底部龙骨两侧的船板系松木结构，横向开裂严重，局部已断裂而脱落，多处已糟朽粉化。

从总体来看，船头与船尾以及接近甲板部位的木质保存状况较差，船体中间部位的船板大部分保存较好。主要存在裂隙、糟朽、变色、残缺、变形、动物损害等病害，疑似存在微生物病害。

(3) 隔舱壁

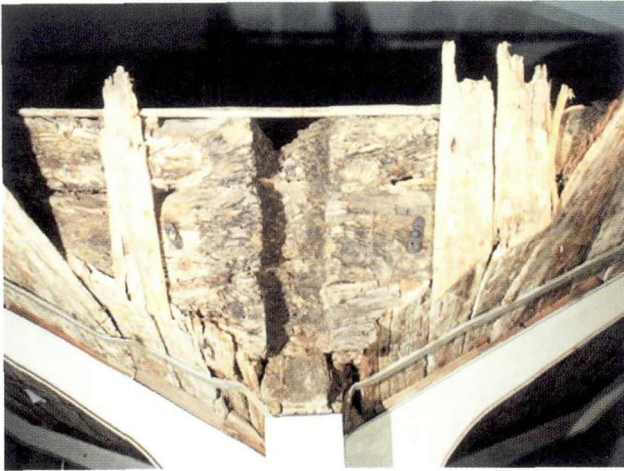
船舱分隔为 13 舱，每道隔舱壁由若干层板构成，但大都不完整；隔舱壁用材主要为杉木和樟木，少量用松木，不同材质的保存状况不同。每道隔舱壁都残留铁钉。所有樟木隔舱壁均曾用松香、石蜡等渗透处理过，色深，质地硬。各舱壁的情况见表一。

(4) 肋骨

肋骨在隔舱壁与船壳板的连接处，主要起加固隔舱壁的作用。肋骨以樟木为材，出土时大部分肋

表一 隔舱壁及肋骨保存情况统计表

编号	用材种类	保存板数	保存状况	肋骨保存状况
1	樟木	4	严重开裂变形扭曲、残缺；色黑，质硬。	北侧、基本完整保留
2	杉木，底部樟木	4	木质尚好，局部破损糟朽，多处铁钉锈蚀腐蚀、变色。	北侧、新补。
3	杉木，底部樟木	3	材质尚可，表面多小裂隙，边缘变形起翘。	北侧、新补
4	杉木，底部樟木	5	木质保存状况良好。	北侧、新补。
5	杉木，底部樟木	4	材质大部分尚可，中有一方形缺口，上层局部糟朽。	北侧、新补。
6	松木，底部樟木	4	底部严重糟朽、残缺，可看到完全裸露的锈蚀铁钩钉。上部多横向开裂，色黑，质地糟朽。	北侧东段部分保留
7	杉木，底部樟木	4	材质尚好，局部锈蚀污染严重。底部樟木，已严重糟朽。	南侧存留一小段，其余为新补。
8	杉木，底部樟木	6	材质尚好，顶层色浅、糟朽、质软。	南侧肋骨保留，中一段为新补。
9	杉木，底部樟木	5	材质尚可，局部遭铁钉锈蚀、糟朽。	南侧、新补。
10	杉木，底部樟木	6	中层材质尚可，顶层杉木严重糟朽、缺损，曾遭海生物侵蚀。	南侧东段保留，西段为新补。
11	杉木，底部樟木	5	材质尚好，顶层北侧局部糟朽、缺损。	南侧、新补。
12	顶层杉木，其余樟木	4	顶层杉木，材质尚可。下部樟木，色黑，严重开裂，局部残缺。	南侧、新补。



图二 尾舵



图三 中桅座

骨保存下来了，但木质大多已腐朽。部分肋骨已严重糟朽粉化而无法保存，后用现代旧船木修补替换。现存原有肋骨不多，具体情况见表一。

(5) 尾舵

残存的舵座由三块大樟木上下叠加构成，中间保留舵孔，舵孔边缘糟朽严重。表面收缩开裂变形，曾用松香、石蜡等渗透处理，色深。底部樟木块已出现松动。（图二）

(6) 桅座

遗存下来的有头桅座与中桅座，分别保存在第一舱与第六舱。整块樟木制成，形态完整。表面严重收缩开裂、起翘、扭曲变形，但内部材质较好，质地硬。曾用松香、石蜡等渗透处理。（图三）

与出土时相比较，除了部分肋骨因严重腐朽酥粉无法保存外，船体各

构件基本保存下来。船体主要使用杉木、松木和樟木三种木材，不同构件使用不同的木材，其保存状况也大不相同。作为主要用材的杉木构件大多数保存良好，但表面开裂现象较为普遍；船头两侧及接近甲板的部位的舷侧板遭海洋生物损害严重，大面积糟朽并伴有残缺；受铁钉腐蚀损害，造成船木局部糟朽及变色，虽表面大部分铁钉已拔除，并用竹钉更换，但船舱内层板及隔舱壁仍留存相当数量的铁钉，是船体主要的危害与不稳定因素；局部疑似存在微生物损害。松木构件整体存在严重的横向开裂甚至断裂，部分已糟朽粉化；其中龙骨虽然进行过表面处理与修补，但仍然出现空鼓、开裂起翘等症状。所有樟木构件表面均收缩开裂、扭曲变形，但质地坚硬，内部材质尚好。早期均使用松香、石蜡等树脂进行过渗透处理，颜色发黑。

3. 船体病害的调查与分析

(1) 病害分类

根据对船体的调查，船体存在的病害种类有裂隙、糟朽、断裂、变形、残缺、变色，动物损害等病害，疑似存在微生物损害，不同材质的构件病害症状不同，统计结果见表二。

(2) 病害分析

船体病害是船体在不同保存阶段由于各种原因逐渐形成，病害形成原因不同，其对船木造成的损害情况亦不同，我们将不同病害对船木造成的损害分成三类：

物理损害：是指主要由应力作用导致船木产生裂、起翘、扭曲变形等损害，严重的甚至造成断裂剥落。物理损害在整个船体普遍存在。脱水干燥过程中的干燥应力以及脱水后的残余应力是导致船木物理形变损害的主要因素。另外，船木中所含盐分结晶或析出过程中亦可产生破坏性应力。

表二 不同材质构件的病害统计表

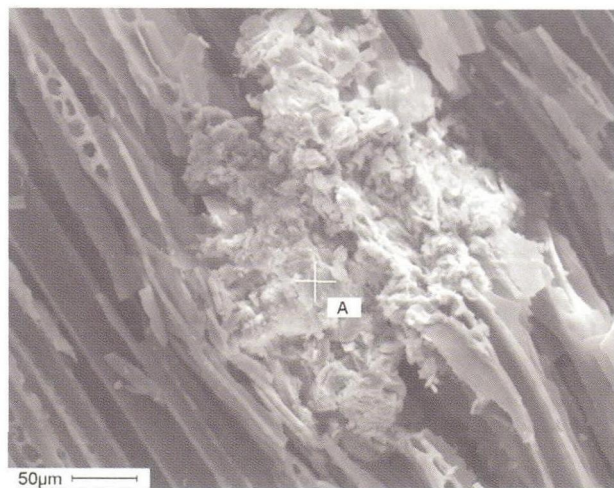
船木种类	使用构件	病害种类	主要病害
杉木	大部分船壳板及隔舱壁	裂隙、糟朽、变色、残缺、断裂、变形、动物损害、微生物损害（疑似）	裂隙、糟朽
松木	龙骨、船舱内底板、少量隔舱壁	糟朽、裂隙、断裂、残缺、起翘变形	糟朽、裂隙、断裂
樟木	第1、12道隔舱壁及所有隔舱底部、肋骨、舵座、桅座	裂隙、扭曲变形、糟朽、翘曲	裂隙、扭曲变形

干燥应力是木材脱水过程中由于木材的各向异性及含水率梯度引起的，是造成木材开裂翘曲和皱缩的主要原因^②。脱水速度过快易产生干燥应力，影响脱水速度的主要外部因素是环境介质的温湿度及空气流的循环速度，对于古木材来说，除了外部环境因素外，木材本身的降解程度也影响脱水的速度。泉州宋船采取了历时四年多的缓慢自然阴干脱水方式，在当时的条件下，环境参数及脱水速度难以严格控制，因此在脱水的过程中就已经产生应力应变，造成船木表面收缩开裂等变形的产生与发展，且保存状况不一的三种船木使用了同样的脱水速度与脱水时间，产生了不一样的结果，对于保存情况较好的杉木来说，产生的应力较小，形变程度较轻，但对于降解程度高于杉木的松木与樟木来说，四年的脱水时间还是快了点，导致其应力形变损害较大。

气干后的陈列展示阶段，吸着水的多少对木材的各项物理性质都有很大的影响。吸着水在解吸与吸湿过程中，木材发生干缩湿胀导致木材尺寸与体积的变化，因此，在气干后的保存过程中，木材尺寸的稳定性受保存环境，特别是受空气中相对湿度的变化影响很大。泉州宋船由于含有很高的氯化物盐类，船木的含水率变化频繁，幅度大。根据研究，古船木材平衡含水率变化幅度远远高于相应的现代木材^③，当木材含水率发生变化的时候，由于木材表面和内部，木材的各个方向吸脱水是不一致的，这种不均衡性导致产生木材内部应力差异，使船体木材开裂变形继续发展变化。如果船体保存环境得不到改善，船木的这种物理形变仍处在不稳定之中。

船木中的盐分亦可产生应力破坏作用。未脱盐的宋船船木中含有高达5%的来自海洋环境的可溶性盐分，在保存环境相对湿度极不稳定的情况下，反复结晶溶解过程中产生应力破坏。船木中含有的还原态硫在氧化生成氧化态硫化化合物的过程中体积膨胀，对木材纤维产生应力破坏^④。如在扫描电镜下可观察到杉木的径向剖面中沉积的硫酸钙对木材纤维造成的破坏（图四）。

另外，由于不同材质的木材构造特征差异，其形变损害症状也不同，杉木大多为表面纵向开



图四 杉木的径向剖面中夹杂的硫酸钙

裂，裂深与裂宽大部分比较小，但松木主要存在横向裂隙，裂隙宽且深，部分甚至已经断裂。樟木表现为表面开裂扭曲变形。

化学损害：木材纤维受化学介质影响与作用，导致木质材料的化学组成与分子结构发生变化，其物理性质与机械性能变坏。

海洋出水的木质文物普遍含有硫铁化合物，在大气环境中氧化生成的硫酸可造成船木酸化降解，瑞典的“瓦萨号”船就是一个典型的例子。那么泉州宋船是否也存在这种酸化作用？根据林科院木材所的对三种船木PH值的检测结果（见表三），三种船木中除了樟木PH值偏低外，杉木与松木的PH值均在正常值范围内，与“瓦萨号”船木PH值普遍小于3相比，泉州宋船船木没有严重的酸化现象，分析与泉州宋船沉埋环境有关。泉州宋船沉埋于后渚港近海岸的滩涂中，推测沉没时海水深度约为7.2m，船体上部沉积层是海潮与晋江、洛阳江的陆源碎屑物交互沉积的结果，泥层大多为蓝色与蓝灰色，泥层光谱分析证实存在菱铁矿（ FeCO_3 ），大多数泥层中未发现褐铁矿（ Fe_2O_3 ）的小团块及结核，综合分析判断其沉积层地球化学环境为弱氧化弱还原环境^⑤，不易产生大量还原态硫及硫铁化合物，因此泉州宋船整体上没有出现明显的因硫铁化合物氧化而酸化降解现象。

泉州宋船出土后在复原安装时使用了大量铁钉，铁钉在含盐船木中迅速腐蚀，产生的锈蚀产物在水分、氧气存在的条件下不断水解，产生新的锈

蚀物和酸，酸不仅促使铁的继续腐蚀，同时造成船木酸解腐朽，经检测遭铁钉腐蚀而腐朽的船木(杉木)的PH值在3.45左右，而正常古船杉木的PH值约为6.60(见表三)，可见船木的PH值明显降低了，同时水解产物体积膨胀产生应力破坏，最终造成木材的机械强度明显降低甚至崩解，且木材颜色被明显改变。这种腐蚀损害速度快，对木材是毁灭性的。目前留存在船体中的铁钉仍在腐蚀损害船木。

通过以上的研究分析可判断：泉州古船出土后的化学损害主要是船木局部因铁钉腐蚀造成的木材的酸化降解。另外，由于铁离子之间的化学势较低，易发生氧化还原反应，因此船木中的铁元素的存在状态并不稳定，其发生氧化还原反应时亦可促进有机质的降解。

生物损害：害虫或微生物造成的船木劣变。

泉州宋船是一艘远洋贸易商船，曾航行于我国南海与东南亚海域，受海洋生物侵蚀破坏较为明显。根据对古船船体附着生物的调查研究，泉州古船上附着的海洋生物主要有中华牡蛎，钻孔动物有马特海笋与各种船蛆^⑥，这几种海洋生物对船体外层壳板局部的破坏较为严重。牡蛎通过分泌一种生物胶附着于船板上，当牡蛎壳受外力作用离开船板的时候，往往连带被粘连的木材一起剥落，导致船板表面出现坑洼状残缺，主要分布在船头部位。海生钻孔动物则在木材中钻孔，木材内部结构被严重破坏，呈蜂窝状糟朽，在宋船严重糟朽的部位，均可以看到钻孔动物留下的痕迹。古船出土后未再遭受害虫破坏。

微生物对木材的破坏作用主要通过各种各样的酶将木材组分分解成简单的容易摄取的营养物质。分解木材的微生物种类很多，其中由真菌所引起的白腐、褐腐以及软腐对木材的破坏最为严重^⑦。根据船体局部病变症状，推测存在微生物损害的可能。东外侧船头底部的第1、2路板的表面性状明显不同于周边的船材，不仅颜色不同，且按压时质感松软，观察木材表面，可看到触之即落的绒毛状纤维，可见木材表面纤维已严重降解。用钢针刺探，糟朽深度约在1~5mm之间，在船体其他局部亦存在相似的症状。我们对疑似部位进行取样并委

托中国林科院进行微生物培养鉴定，结果并未发现存在木材腐朽菌，分析存在两种可能：一种是微生物腐朽发生在脱水阶段，后采取了防腐处理使病害得到控制，但木材表面已遭到损害；另一种可能是取样部位在船木表面，由于每年均对船体进行消毒防腐处理，所以表面腐朽菌已被杀灭，但不能排除内部存在腐朽菌的可能。从木腐菌繁殖的条件来看，即在有氧环境下，温度在10~30℃之间，木材含水率在20%~60%。而泉州宋船含有很高的盐分，在高温高湿季节，当环境相对湿度持续超过80%时，船木的含水率最高可达43%^⑧，可见，泉州宋船具备腐朽菌生长的环境与条件；因此不能排除船木滋生木材腐朽菌的可能性。

(3) 病害综合评估

根据以上对船体病害的调查分析，船体病害种类多且复杂，局部同时存在多种病害。应力作用导致的开裂、变形等各种物理性损害在现有的保存条件下仍不稳定；铁钉锈蚀导致的酸解损害是对船木破坏性最大的病害，并且目前仍然在继续损害着船木；船木没有存在普遍的因硫酸化合物氧化而造成的酸解现象。船体的动物损害在出土前已经形成，出土后未再发生。由于船木具备腐朽菌存在的条件，因此船体局部不能排除存在微生物损害的可能。

(4) 船木材质状况

杉木、松木、及樟木自古以来都是福建地区主要造船用材，根据《泉州湾宋代海船发掘简报》出土时杉木保存较好，樟木腐朽严重。1979年福建林学院陈承德曾对船体主要用材的杉木的材质状况进行了相关研究，其他两种船木的材质状况未见研究报道。

纤维素、半纤维素和木质素是构成木材细胞壁的主要成分，其中，纤维素是构成细胞壁结构的骨架物质，半纤维素是基体物质，木质素是结壳物质。三大主要成分的相对含量是反映木材降解程度的最重要的指标之一。另外，木材的物理力学性质及基本密度也是能反映船木材质状况的重要因素，但受样品数量所限，我们仅对三种船木化学成分的相对含量委托中国林业科学院木材所进行分析检测，并与相应的现代木材进行对比，结果见表三。

表三 三种船木与现代木材的主要化学成分相对含量

指标 含量 (%) 编号	木质素	综纤维素	?-纤维素	半纤维素	PH值	产地
杉木(古船木)	34.2	53.08	35.73	17.35	4.26	
杉木(现代)	33.77	68.53	43.84	24.69		湖南省洪江
樟木(古船木)	22.33	44.8	27.61	17.19	2.8	
樟木(现代)	24.52	80.17	43	37.17		福建省顺昌县
松木(古船木)	50.67	23.55	14.81	8.71	6.6	
硬木松(现代)	27.96	79.21	42.46	36.75		广西宁明

由化学成分的检测结果可以看到, 与现代木材相比, 三种船木的综纤维素含量不同程度地降低了, 其占现代木材综纤维素含量的比例分别约为杉木 77%, 樟木 56%, 松木 30%, 纤维素降解率分别为 18%、36%、65%、半纤维素降解率分别为 30%、54%、76%, 半纤维素的降解率均高于纤维素。杉木与樟木的木质素含量变化不大, 但松木的木质素含量显著升高。通过对比分析可以看出: 古船杉木的主要化学成分含量接近于现代杉木, 保存最好; 樟木的降解程度高于杉木, 主要是表面降解, 内部材质较好; 而松木综纤维素降解程度很高, 其腐朽程度最高。三种船木化学成分的检测结果与船木的实际保存状况相符合, 也与三种船木的材性相符合: 杉木、樟木天然耐腐性好, 松木耐腐性相对较差。与陈成德 1979 年对杉木的研究结果(综纤维素含量 49.7%, 木质素 34.1%^⑨)对比, 杉木在近四十年保存过程中没有出现明显降解趋势。

三、保存状况综合评估

通过以上的综合调查分析, 我们对宋船的保存现状可作出初步的判断: 目前宋船船体结构及船木的材质基本稳定, 但船体存在裂隙、糟朽、断裂、变形、残缺、变色, 生物损害等多种类型的病害。由于保存环境不稳定以及船体饱含盐分等因素, 船

木仍处于不稳定的应力状态; 船体不存在普遍的因硫铁化合物氧化而酸化的问题, 但残留在船体中的铁钉仍在腐蚀船木, 是最主要的危害与不稳定因素; 船木中存在的铁的腐蚀产物也并不稳定, 在相变的过程中可促进船木的降解; 另外船体局部不排除存在微生物损害可能。

参考文献:

- ① 费利华. 泉州宋代古船保存环境的调查与分析 [C]. // 中国文物保护技术协会. 《中国文物保护技术协会第七次学术年会论文集》. 北京: 科学出版社, 2013.
- ② 李大纲. 国内外木材干燥应力研究现状与发展趋势 [J]. 建筑人造板. 2001, (2).
- ③ 李国清. 泉州湾宋代海船三种船体木材和泉州地区十四种现代木材的平衡含水量研究. [J]. 福建林学院学报. 1984, (1).
- ④ 沈大焜, 葛琴雅等. 海洋出水木质文物保护中的硫铁化合物问题 [J]. 文物保护与考古科学. 2013, (1).
- ⑤ 林禾杰. 泉州湾宋代海船沉没环境的研究 [M]. 《泉州湾宋代海船发掘与研究》, 海洋出版社, 1987.
- ⑥ 李复雪. 泉州湾宋代海船上贝类研究 [M]. 《泉州湾宋代海船发掘与研究》, 海洋出版社, 1987.
- ⑦ 李坚. 木材保护学 [M]. 北京. 科学出版社, 2006.
- ⑧ 李国清. 环境与文物. 泉州“历史与文化”学术讨论会论文 [M], 1983 年.
- ⑨ 陈承德. 泉州湾宋代海船船体木材的研究. 泉州湾宋代海船科学讨论会论文 [M], 1979 年.

作者简介:

费利华 (1971-), 女, 大学本科, 泉州海外交通史博物馆, 副研究馆员, 研究方向: 文物保护。

(责任编辑: 宋燕)