

竹材复原与数字建模：古代艨艟战船的形制再现与传统船艺实践

李家强, 黎成伟, 义康乐, 刘正, 李钰婷, 寿海, 周宇豪, 胡煜玮, 林政辉, 张大朋*

广东海洋大学船舶与海运学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年4月13日; 录用日期: 2026年5月7日; 发布日期: 2026年5月14日

摘要

艨艟是中国古代水军的重要突击战船, 有狭长的船体与独特的防护设计, 是融合了卓越军事工程智慧的较为成熟的战船设计。只是现在对艨艟的研究虽然很多, 但是也只是集中于军事战术推演和文献文字解读, 而缺少对实体复原的实操验证, 不仅如此, 竹艨艟制作工艺还存在“文献碎片化、传承断路化”的问题。我们采取文献收集阅读、Rhino 7软件三维构建、使用竹材复原跟进制作的跨学科手段, 依托《释名·释船》《三国志》等文献对艨艟的描述, Rhino 7三维建模软件制作出艨艟精确的参数化模型, 并且制作完成从龙骨搭设到场景布置实体物件的竹材复原。我们还还原艨艟从“竹选、累构、造船、护造”的施工工序的“沉船戎具”的传统水流道工艺, 以补足艨艟形制问题研究的空白, 也提供复原的普通造船手工过程, 为传承古船留下历史踪迹, 同时为现代轻型船的设计的“生态板”提供科技价值参考。

关键词

艨艟, 竹材复原, 参数化模型, 传承古船

Bamboo Reconstruction and Digital Modeling: Recreating the Form of Ancient Mengchong Warships and Practicing Traditional Shipbuilding Craftsmanship

Jiaqiang Li, Chengwei Li, Kangle Yi, Zheng Liu, Yuting Li, Hai Shou, Yuhao Zhou, Yuwei Hu, Zhenghui Lin, Dapeng Zhang*

Ship and Maritime College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: April 13, 2026; accepted: May 7, 2026; published: May 14, 2026

*通讯作者。

文章引用: 李家强, 黎成伟, 义康乐, 刘正, 李钰婷, 寿海, 周宇豪, 胡煜玮, 林政辉, 张大朋. 竹材复原与数字建模: 古代艨艟战船的形制再现与传统船艺实践[J]. 交叉科学快报, 2026, 10(3): 651-662. DOI: 10.12677/isl.2026.103078

Abstract

Mengchong was a vital assault warship in ancient Chinese navies. Characterized by its narrow, elongated hull and unique protective design, it represented a sophisticated vessel that embodied exceptional wisdom in military engineering. However, despite the abundance of existing research on the Mengchong, such studies have been largely confined to military tactical deduction and textual interpretation of historical documents, lacking practical verification through physical restoration. Moreover, the craftsmanship of bamboo Mengchong construction is plagued by the problems of “fragmented documentation and broken inheritance”. To address these gaps, we adopted an interdisciplinary approach combining historical document collection and analysis, digital modeling with Rhino 7 software, and use bamboo reconstruction to prepare and process. Based on the descriptions of Mengchong recorded in ancient texts such as *Shiming·Ship Explanation* and *Records of the Three Kingdoms*, we created a precise parametric model of the Mengchong using Rhino 7 3D modeling software, and completed a full physical restoration of the vessel—from keel laying to scene arrangement—using bamboo materials. We also reconstructed the traditional “sunken warship armament” water-flow channel craft, restoring the complete construction sequence of the Mengchong: bamboo selection, layered assembly, shipbuilding, and maintenance. This effort fills the research blank regarding the structural specifications of the Mengchong, preserves the traditional manual shipbuilding process for heritage ancient ships, and provides scientific and technological reference value for the “ecological panels” used in the design of modern lightweight ships.

Keywords

Mengchong, Bamboo Reconstruction, Parameterized Model, Heritage Ancient Ship

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是世界上其中一个最早将竹子应用于造船的国家，《竹书纪年》中就记载了“有竹船浮于江”这句话就可以证明：在夏商时期已经出现竹船，并且融入到先民的生产与生活中[1]。而滕艚，又是极具军事特色的竹制船舶，在军事领域上，滕艚以“外狭而长、攻防一体”的优势而被广泛用于执行各种水上突击任务，由于竹子有质轻坚韧、取材便捷的天然优势，并且长江中下游及珠江流域竹子资源丰富，而且水域复杂、水流湍急，使滕艚的灵活性得到有效发挥，再加上人们可以轻而易举地取材，结合战场环境、水文条件以及合理的战略部署，成功取得赤壁之战、采石矶之战等经典水战的胜利。而且它“以生竹为盖、左右为窗”的构造特征也在《三国志》等文献中留下了鲜明印记。在民生领域上，滕艚还衍化出了各种改良形态用于民用运输和渔业生产，成为了见证南方水域文明发展的重要载体。

而如今，人们对滕艚的研究多集中于军事战术推演和文献文字解读，而缺少对竹制工艺的技术细节的挖掘；再加上竹子腐蚀和年代久远，导致滕艚实物留存极少，仅湖北鄂州、江西南昌等地出土了少量的竹制船构件，竹制滕艚的工艺体系面临岌岌可危的困境。不过幸运的是，随着非物质文化遗产保护工作的深入推进，在浙江丽水、福建南平、四川宜宾等地区纷纷涌现出民间复原的实践作品，为本研究提供了宝贵的实践基础。

为了解决这些问题，本研究的目的是：通过传统的造船技术还原出滕艚的真实历史模型。本研究可

分为三步：先收集文献考据、然后建模并进行仿真，最后使用竹材进行实物复原。首先，收集并参考《释名·释船》《武经总要》等文献[2]，其次，通过 Rhino 7 软件还原出具体模型并进行仿真处理，以验证结构的合理性，然后通过传统的工艺完成对滕艚的复原。本研究的目的不仅在填补古代竹制战船工艺可视化研究的空白，而且试图提炼出竹材在船舶建造中“以柔克刚”的技术智慧，为传统造船技艺的传承提供实践案例，同时为现代船舶设计的轻量化、生态化提供历史借鉴与思路启发[3]。

2. 滕艚的前期资料收集

2.1. 滕艚的定义和名称来源

滕艚，又被叫做滕冲或者蒙冲，是一种中国古代主要被用于执行突击和近战任务的重要突击战船，拥有狭长的船体与独特的防护设计的特点，是融合了卓越军事工程智慧的较为成熟的战船设计。这个名字来源于东汉时期的刘熙所著的《释名·释船》，书中明确记载的“外狭而长曰滕艚，以冲突敌船也。”这句话，就可看出滕艚的结构特点。不仅如此，元代著名学者胡三省在其研究中也同样点明了“滕艚即滕艚，战舰也。”这些文献进一步不仅确认了滕艚作为战舰的身份，并且奠定了其在古代水战中的重要地位。由此可见，滕艚不仅在结构的设计上独具匠心，而且在实战方面也作用非凡[4]。

2.2. 滕艚的结构特点

滕艚是中国古代水军的关键突击舰艇，拥有较强的水上防护和作战能力，在当时被人称为“水上移动堡垒”。它的整体结构不仅完美符合了它的战术思想：“攻防一体、速捷突击”，而且可分为三大系统：防护系统、攻击系统和动力系统，接下来我将一一介绍。

首先，在防护系统上，滕艚船体外侧被覆盖上湿润的生牛皮。虽然这个设计听起来十分离谱，但是这种设计有两种优势：第一，防火。因为湿润的牛皮富含油脂与水分，不易燃烧，并且材料相对获取便利，当浸湿后覆盖在船体上时，能够构成一道有效阻隔敌方火箭、抵御火攻的高效防火屏障，为士兵争取宝贵的灭火时间；第二，防箭矢。因为牛皮具有韧性，能通过形变吸收弓箭箭矢的动能，让箭矢扎不进去，起到抵挡箭矢的作用，为舱内人员提供全方位的被动防护。而且历史上的滕艚可能结构更复杂，根据史料推测，滕艚的防护结构可能是这样的：在外面覆盖多层牛皮，中间混合湿泥和沙土，并形成覆盖船舱的封闭或半封闭舱室，仅留下孔洞用于必要的攻击与观察，类似于鸡蛋壳上开了个洞。这一设计不仅增加了防御力，又提升了撞击能力，成为滕艚被当时的人称为“水上移动堡垒”的原因[5]。

其次，在攻击系统上，由于滕艚船体狭长，而且用于突进，再加上时代限制，其体积肯定不像楼船、福船一样大，所以不能携带体积较大的武器，所以，矛、弩是最好的选择。为了适应武器使用，舰船舷侧配备上了“弩窗”与“矛穴”，构成了其攻击体系的核心。弩窗呈现为内宽外窄的非对称形态，既保障弓箭手射击所需的视野广度与弹道覆盖范围的同时，又将射手的暴露面积压缩至最小，从而实现对士兵的物理防护；矛穴的功能则为了接舷战场景下长柄兵器(如长矛)能够外向延伸而设计，以达成白刃格斗或攀爬防御的战术需求[6]，让士兵可以用矛从穴中往外刺出。这种精细化设计的战术效能，还能体现在全向防护舱室内的操作自主性上，能够隐蔽接敌，突然打击，让滕艚在冲锋航迹中维持持续火力输出，达成机动性能、防护能力与攻击效率的动态协同。

最后，在机动系统上，滕艚采用纯桨动力推进，配合上狭长的流线型船体的优势，能够轻易摆脱滕艚对风力的依赖，再加上没有船帆，使它拥有了较高的战术自由度与灵活性，尤其是在执行快速突击、包抄穿插等任务。而“棹孔”的运用又起到锦上添花的作用，桨手于密闭舱内划桨，船桨从孔穿出划船，不仅保护了桨手的安全，彻底避免了因战斗减员对动力系统的威胁，保证了动力输出的持续与稳定，还可以隔音，赋予其奇袭能力[7]。

所以综上所述，艨艟通过生牛皮装甲、弩窗加矛穴、桨动力狭长船体这三大系统的完美结合，集卓越的防护力、隐蔽的攻击性和高超的机动性于一身，让艨艟成为古代水战中一款专用于突击与奇袭的精锐武器，充分反映了古代中国在军事工程领域的智慧与创造力，见图 1。



Figure 1. Mengchong model exhibition
图 1. 艨艟模型展示

2.3. 艨艟在战争中的应用及其历史记载

艨艟在战场上的战术应用：从东汉至三国，艨艟都被水军当作是核心载具，是整个水战的作战体系的关键。据赤壁之战(公元 208 年)的战史记录显示，东吴军事统帅周瑜对艨艟的战体系有深刻的理解，他通过在船内设置易燃物，然后利用火攻将艨艟和曹操庞大军队造成毁灭性打击，奠定了三国的格局，这显证了艨艟在冷兵器时代水战的重要地位。且根据部分历史研究者的深度考辨，汉代艨艟的战术重心在于船首结构的撞击动能释放，通过船体结构的物理性破坏达成战术目标[8]。在唐代时期，唐代的造船工艺技术取得进一步飞跃，这体现在艨艟的水密结构的革新与使用生牛皮覆盖船体的防火层。而且，唐代兵学典籍《太白阴经》的作者李荃也在书中指向艨艟的先锋属性：由于艨艟的轻捷性与航速的优势性，使其成为侦察与突袭行动首选。在南宋时期，艨艟的建造范式与设计逻辑经历了迭代性优化，利用了多桨驱动的动力架构，实现机动性上突破。比如在采石矶之战中，南宋将领虞允文凭借改良型艨艟的战术运用，利用其高超的机动性能与战斗输出，完成了对金军攻势反击，阻挡了金军的攻势。这再次论证了，艨艟在古代水战体系中的核心地位。

艨艟的历史记载：艨艟首次被记载在《后汉书·祢衡传》这一历史文献中，据《后汉书·祢衡传》记载，黄祖于“艨艟船上大会宾客”。这一信息不仅揭示了艨艟在古代社会语境中的应用场景，同时还映射了当时的社会风貌与人物关系网络。而另一部核心史籍《三国志》则记载了黄盖所实施的、以艨艟为工具的战略举措的目的是封锁黄祖的退路。则从另一个角度确证了艨艟在军事领域的实际价值。这些不同的历史记载，共同构成了一份为我们开展艨艟的认知活动与系统性研究的不可替代的宝贵资料[9]。

3. 艨艟的 Rhino7 的参数化模型制作以及仿真

3.1. 艨艟的 Rhino7 的参数化模型制作

首先，使用曲线指令绘制船舶的龙骨。然后，使用双轨扫掠指令生成船底的曲面并拉伸到合适，接着通过 mirror 指令进行对称处理，最后使用组合指令完成船底的构建。然后使用平面指令绘制甲板，再用方框指令在甲板上生成一个长方形，并将其拉伸成长方体，具体见图 2 所示。

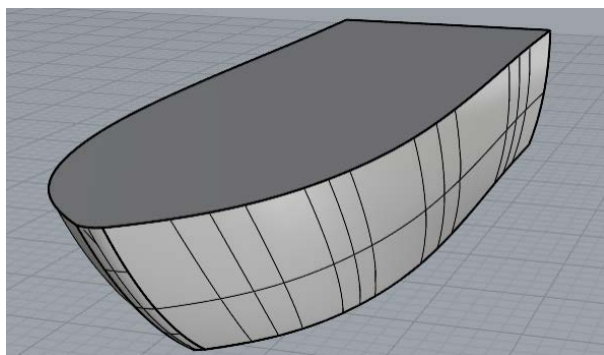


Figure 2. Initial Mengchong model

图 2. 艨艟的初步模型

最后，使用相同的方法，使用隐藏指令先将甲板及上层建筑隐藏，开始设计船舶的内部结构。然后利用切割指令和修剪指令对龙骨进行粗处理，对船舱进行分层设计，并在船舷处开设窗口，加上船桨，并将船桨隐藏，具体见图 3 所示。

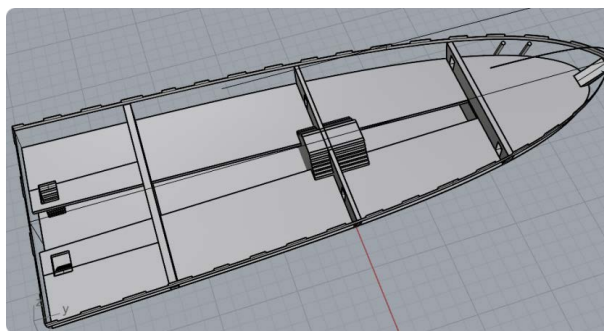


Figure 3. The internal structure of the Mengchong

图 3. 艨艟的内部结构



Figure 4. The deck connection of the Mengchong

图 4. 艨艟的甲板连接

在完成了船舶内部结构建模工作后，接下来设计甲板与内部结构的连接。首先，在甲板开一个通道，在甲板表面绘制一个框形。接着，通过挤出指令，将框形转化为挤出物件 1，形成了一个楼梯开口。然后，

使用直线工具, 绘制出楼梯定义楼梯的形状和走向的轮廓。绘制完成后, 使用相同方法弄出挤出物件 2 作为实际的楼梯结构。随后, 将楼梯结构与甲板的开口连接。再使用挤出物件 2 对挤出物件 1 进行切割, 以确保楼梯能和甲板组成整体。完成后, 使用相同方法对甲板进行切割, 形成一个与楼梯相对应的开口。最后, 使用修剪指令来清除不属于最终的楼梯结构的多余的部分。建议使用修剪指令, 如此一来, 就得到一个干净、精确的楼梯模型, 见图 4 所示。

完成好模型后, 将模型按照适当比例缩放以确保它们能够适配到船体上, 接着, 添加上围墙、栏杆等关键部件, 突出整体视觉效果, 让船体更具有规整性与威严性, 最后, 解除甲板的隐藏设置, 再将所有部件整合在一起, 构建出完整的上层建筑。这样一来, 整个船模的构建完成了, 具体见图 5。

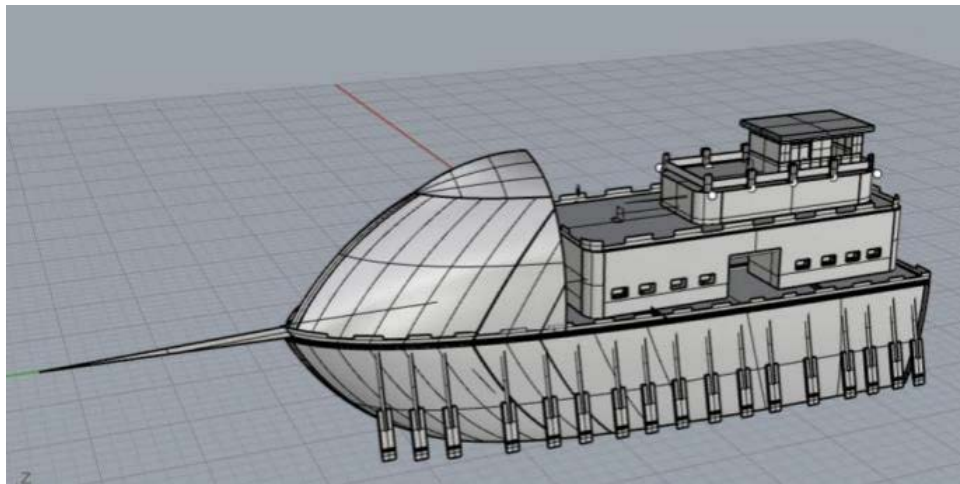


Figure 5. The Mengchong model

图 5. 滕艘模型

在完成滕艘的建模后, 接下来是对滕艘模型的仿真。

3.2. 模型的 ANSYS 仿真

在完成对流体仿真参数的校准之后, 将模型导入 Fluent 软件环境以启动滕艘静水航行工况的流体仿真。本次模型的材料参数是楠竹与青皮竹这两种竹材。首先, 要完成的是竹材物理特性数据的采集工作, 例如毛竹纤维轴向弹性模量的取值被设定为 15 GPa, 该数值处于相关学术研究给出 10 GPa~20 GPa 合理区间范围之内[10], 青皮竹的轴向弹性模量则参考同类竹材力学性能研究, 取值为 12 GPa, 同样符合天然竹材的力学性能分布特征。之后, 在“几何结构”界面中完成符合真实物理尺寸的三维板材模型的构建操作再将模型进行网格化处理。

在“模型”阶段的进入之后, 执行网格的划分, 根据 3D 网格质量公式, 见公式 1-1, 设计网格的数量规模与质量参数, 作为仿真输出的直接决定因子, 其质量系数的数值趋近于 1 时表征最优状态, 趋近于 0 时则指示最差状态。为保证仿真结果的可信性, 网格质量必须维持在 0.1 的阈值之上。完成网格后, 接下来的重点是对仿真残差收敛曲线以及阻力迭代变化曲线分析。

3D 网格质量公式:

$$\text{Quality} = C \left[\frac{\text{volume}}{\sqrt{\sum(\text{Edge length})^2}^3} \right] \quad (\text{公式 1-1})$$

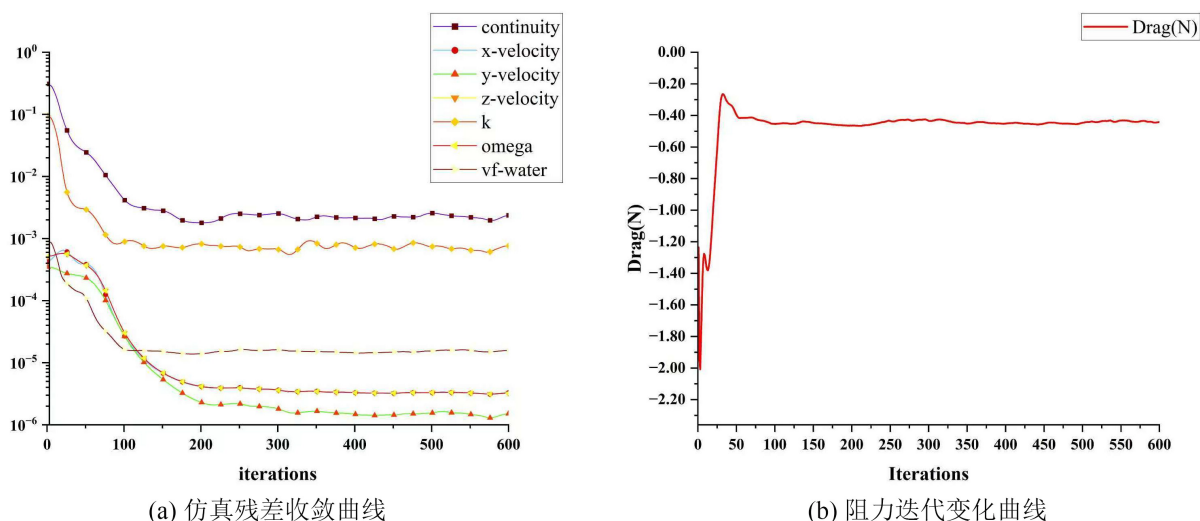


Figure 6. Numerical simulation results of the Mengchong warship
图 6. 滕艚战船数值仿真结果图

残差收敛曲线(Scaled Residuals)分析: 从图 6(a)中的曲线可以看出, 在收敛趋势方面, 所有的残差曲线均出现下降趋势, 可见仿真计算在向收敛方向推进, 而且数值解逐步稳定。在各方程收敛表现上, 连续性方程的残差下降幅度相对小, 最后只在 10^{-3} 附近波动, 符合船舶仿真的正常情况; 速度分量的残差持续下降到 10^{-5} 以下, 并且动量方程的收敛效果好, 让速度场的精密度较高; 在湍流方程的 k 残差最后在 10^{-3} 这里, ω 残差降到 10^{-4} , 可见, 湍流模型的模拟同样趋于稳定; 在多相流上, 水的体积分数残差降到 10^{-5} , 可见气液的界面数值的收敛效果好。

CFD 模拟的阻力迭代收敛曲线分析: 从图 6(b)中可以看出两个结果, 第一, 从阻力的迭代变化趋势不难看出, 在迭代初期(187~310 步左右), 阻力数值(负号代表力的方向, 幅值为阻力大小)先是快速上升, 然后在峰值附近波动, 说明流场还在动态调整, 船舶周围的绕流、兴波等流动特征尚未稳定。而在迭代后期(310 步之后), 阻力数值呈缓慢下降的趋势并存在小幅震荡, 说明整体趋势逐步收窄, 代表流场的稳态特征开始显现, 阻力计算结果向稳定值趋近, 而且, 曲线没有大幅发散或无规则剧烈震荡, 说明数值计算的稳定性良好, 没有出现计算崩溃的情况; 第二, 根据阻力数值特征, 发现阻力的幅值只在 0.4184 N 到 0.4685 N 之间, 由此可见, 滕艚的模型在航行期间受到的阻力较小, 符合小型船舶的仿真数据特征。

4. 滕艚的实物模型制作

4.1. 工具的选择和材料的加工

Table 1. Main tools and quantities
表 1. 主要工具及数量

工具名	数量	工具名	数量
竹子(楠竹、青皮竹)	若干	乳胶手套	若干
3D 打印机及打印料	1 套	502 胶水	5 瓶
破竹机	1 个	柴刀	1 把
美工刀	1 把	钳子	1 把

续表

桐油	1 瓶	水景膏及水景板	1 套
刷子	1 把	喷枪及配套气泵	1 只
各色模型漆及上色笔具	1 套	多功能角度线槽剪	1 把
微型铣刀	1 把	100 目、200 目、400 目砂纸	各 1 张
手锯	1 把	各色水性模型漆	3 瓶
竹粉	1 kg	手钻	1 把

根据表 1 收集好所需材料后, 再进行材料加工处理。材料加工: 使用锯子沿竹节将竹子锯开, 后用柴刀将其竖向劈开, 最后用破竹器将竹子切割成所需的厚度, 见图 7(a)。



(a) 加工完成的竹片



(b) 竹片的连接处

(c) 滕艫的龙骨

Figure 7. Processing and assembly of bamboo keel for Mengchong model

图 7. 竹制滕艫模型龙骨的加工与组装

4.2. 龙骨的制作和搭建的注意事项

在将竹子切割成均匀的竹片后, 选取两条长度为 65 厘米、宽度为 0.5 厘米的竹条, 以及一根长度为 80 厘米的竹条, 用于搭建龙骨。在搭建龙骨的过程中, 为了保持船舷的水平状态, 先将两根 65 厘米的竹条用胶布固定在水平台上, 随后将 80 厘米的竹条贴附其上。为了防止船体变形, 应在两根竹条中间添加横梁进行加固, 并在竹条的连接处涂上热熔胶。为了使横梁更稳固地卡在竹条上, 将横梁削成上下两层的阶梯状, 类似于榫卯结构, 具体效果见图 7(b)。完成竹条削制后, 将其卡入相应位置, 见图 7(c)。

在搭建好龙骨之后, 将龙骨进行烘烤, 以彻底干燥竹条。为了防止龙骨变形, 需在龙骨的弯曲部位

用湿纸巾包裹，随后用打火机进行局部烘烤。其中，湿纸巾的作用是防止竹条直接燃烧。完成后，便可进行蒙皮操作。注意：龙骨必须确保完全干燥，否则后期龙骨易发霉，导致变形，且蒙皮后皮层易脱落并且很难清理。

4.3. 船体的蒙皮及注意事项

蒙皮分为外皮和内皮，外皮在龙骨的外侧，内皮在内侧。外皮主要负责纵向强度，而内皮则主要负责横向强度。首先进行外皮的蒙皮，在确保龙骨完全定型后，选择厚度为 2 至 3 毫米的竹片。在准备好竹片后，从船体中部两侧开始蒙皮，注意保持船体平衡，并确保每片竹片紧密贴合，不要留下缝隙。在龙骨弯曲处，用剪刀剪开，用小竹片填补缝隙，使结构更加稳固。填补后，用火烤接缝处，使其卷曲，再涂上 502 进一步加固，见图 8(a)。

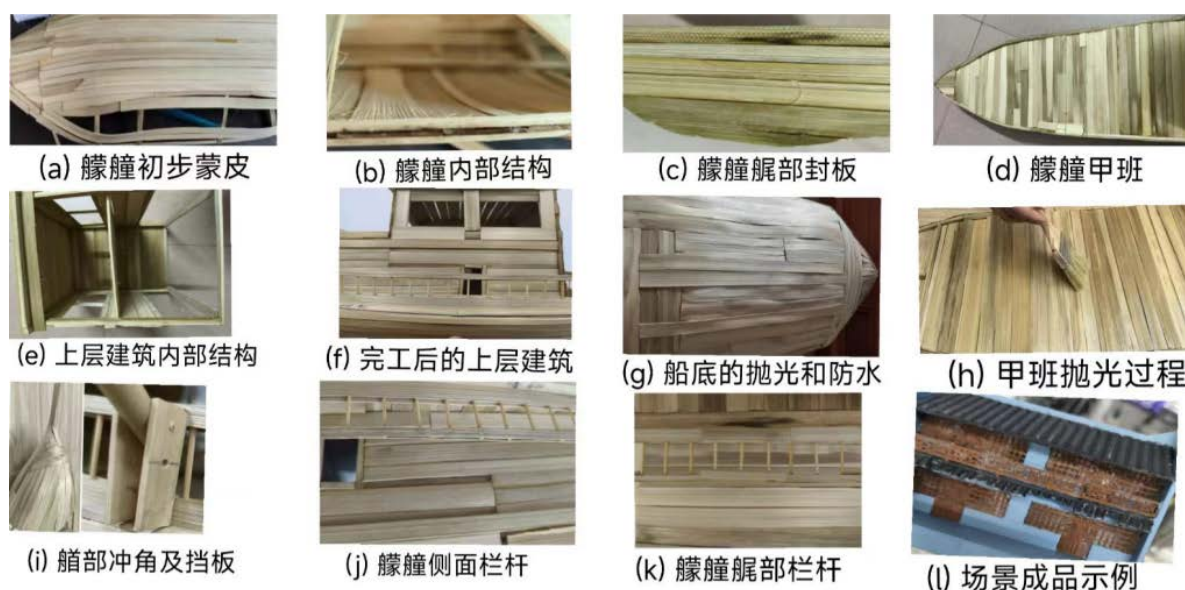


Figure 8. Initial skinning of the Mengchong model

图 8. 滕舫的初步蒙皮

完成外皮蒙皮后，再进行内皮的蒙皮，方法一样，并在内皮上加装一根竹条，以固定船体，否则甲板会不水平，见图 8(b)。

在完成初步制作后，需对竹条的弯曲部位进行加热定型，随后烘干，并使用酒精消毒。将竹条置于干燥通风处，以防发霉，否则可能导致竹片脱落。待水分完全烘干后，在尾部制作隔层，选择宽度合适的竹片并切割成梯形，完成隔层制作，见图 8(c)，再进行甲板的制作。

4.4. 船体的甲板的制作和上层建筑的搭建

在完成船体建造后，应选择合适长度的竹条，从船头到船尾纵向固定在龙骨上，并使用胶水粘合，作为船的中线和甲板的支撑。在此之前，还要在内部放一些生石灰，干燥和防霉。接下来，使用测量工具测量船每个部位的横向宽度，然后裁剪出长度适宜的竹条，并用胶水固定在龙骨上。重复上述步骤，直至甲板部分处理完毕，具体操作见图 8(d)。

在完成甲板的建造后，可使用薄竹片填补甲板的缝隙，确保甲板完全水平后，再进行上层建筑的搭建。搭建上层建筑时，首先需要搭建框架，选取两根长度为 7 厘米、宽度为 8 毫米的竹条，以及两根长

度为 15 厘米、宽度为 8 毫米的竹条，拼接成长方形。在对角处搭上高度相同的竹条，再使用相同的方法搭建封顶，并在顶层铺设竹片。在中间层设置隔层，见图 8(e)。

在竹片封顶时，要提前预留窗口位置，并将船体进行干燥处理，完成后，用竹片蒙皮，并用美工刀切出窗口和大门，见图 8(f)所示。

之后，针对较大缝隙，我们使用约 2 毫米的薄竹片作为填充。操作时，沿着尾部隔板的轮廓，将薄竹片外侧涂上 502，随后贴附在缝隙上。接着，顺着弧度的裁剪，从船体到曲率急剧增大的弯曲部位，如果纵向的竹片已无法再平顺延伸。此时，就用美工刀将竹片在弯曲起点处切断。最后，在弯曲部位横向蒙皮：为了完美贴合尾部的高曲率曲面，在完成了纵向的缝隙填补后，需要弯曲区域横向蒙皮。见图 8(g)所示，将预先烘干和裁剪好的薄竹片，像叠瓦片一样，横向一层层地固定在外壳上。这能有效分散应力，让船底表面平滑并且避免艉部漏水。

4.5. 船体的打磨和抛光

在完成好上层建筑之后，使用砂纸对船体进行打磨，使用砂纸的度数依次为 140、240、400、800、1000、1200。打磨完成之后，使用木头抛光膏涂在船体的表层，然后用砂纸打磨。在打磨完成后，使用竹粉将竹片之间的缝隙进行填补，将白胶和竹粉用 3:1 的比例进行混合，搅拌均匀后，将竹粉涂在缝隙上，等待晾干，之后使用 240 度的砂纸磨掉表面粗糙的竹粉，处理完成后，使用桐油涂在竹船表面进行防腐处理，见图 8(h)所示。

4.6. 船体细节的建造

在打磨好后，进行栏杆的建造。首先，使用 2 到 3 毫米厚、宽 1 厘米左右、长度适宜的竹片。然后，根据设计要求裁剪出高四厘米的竹片，确保结构的整齐。接着，量出合适的宽度，宽度一般在 3 到 5 厘米之间。在竹片的接触面上均匀涂抹 502，让胶水充分渗透到竹片的纤维中。随后，将裁剪好的竹片按照预定的宽度紧密粘合在一起，用夹具固定，防止胶水未干透前栏杆变形，粘合后的竹片组合呈现出整齐的截面，为后续栏杆的组装打下坚实基础。之后，开始建造艨艟的拍杆、挡板以及冲角。作为一款专为突击设计的战船，艨艟在战术上要求具备突破敌方防御、刺穿敌舰船体的能力，因此，其必须配备能够有效刺穿敌船底部的冲角。同时，为了抵御来自敌方的远程攻击，如箭矢和投石车发射的巨石，本研究在船首部分增加了弧形挡板。挡板的设计采用了蛋壳型的弧度，有利于分散冲击力，并使箭矢在接触后自然滑落，从而减少对船体的损害[11]。并且为了方便航行，挡板设有活弩窗，用于观察。具体施工步骤如下：首先，在船首部分铺设多层竹片，并对竹片前端进行精细的削尖处理；接着，在船首两侧覆盖由竹皮制成的挡板，挡板蒙皮作业从底部开始，到连续的圆滑弧面，使用手钻在竹片上打出孔洞，再装上竹签将竹子串好，做出拍杆，再用麻绳绑好，见图 8(i) [12]。

在完成好船艖的设计后，开始建造船中部分，船中部分主要是提供动力，因此设有栏杆，用于为桨手提供保护还设有船桨，为船提供动力。其中，桨手构成人员主体，可见船中部分大概有 20 个船桨，建造栏杆，使用长度为 3 厘米的竹签，使用之前处理好的竹片将其夹紧，再使用胶水在缝隙处涂好固定，再将其固定在甲板上，见图 8(j)所示。

接着，按照相同的方法为船尾加上栏杆，见图 8(k)。

4.7. 场景的布置

打印好模型后，见图 8(l)。根据仿真的数据和效果，先后使用蓝色、浅蓝色的水景膏打底，再使用湖泊色水景膏模拟出湖水效果，接着使用透明色水景膏模拟波浪形状，再使用白色水景膏造出波浪效果，效果见图 9。



Figure 9. Water feature layout
图 9. 水景布置

在完成全部的场景部分后，将它们摆到一起，最终效果，见图 10。



Figure 10. Final effect of the model
图 10. 模型的最终效果

5. 结语

滕艚的历史，从夏商时期到清朝时期都有其身影，可以说几乎贯穿了中国历史。而其初始形态源自于对自身称谓“滕艚”的语义演化。滕艚早期主要被用于攻城作战。之后才被用于水战，后逐渐演变为具备关键突击能力的战船。船体的狭长特征赋予其迅捷的行驶能力。再加上三位一体的系统化精妙设计，使其同时具备优良的突击能力与坚固的防御能力。从汉代到三国时期，滕艚的技术迭代与战术运用得到深化发展^[13]。唐宋时期，其建造规模与使用频率更是达到历史峰值，更是引入了水密隔舱技术，使得船舶抗沉性与整体安全性构成显著提高。但不幸的是，由于清代闭关锁国政策的实施，使得原本如日中天的造船业和航海业的地位一落千丈，从而导致了中国造船业的整体性衰退。滕艚也随之淡出了人们的视线，埋在历史长河中。

基金项目

2022 年校教改“基于船舶结构力学课程的船舶与海洋工程专业的‘课程思政’教学设计研究”(010201132202)；“新工科背景下海洋工程类专业实践教学体系改革研究”(粤教高函[2021] 29 号、校教务[2021] 65 号)。

参考文献

- [1] 王虎, 田园. “滕艚”源流考[J]. 长春大学学报, 2025, 35(7): 42-46.
- [2] 汉末三国时期的船舶种类[J]. 看历史, 2023(4): 52-53.
- [3] 王玉琦, 李小成. 《史记》中的水战及其启示[J]. 西安文理学院学报(社会科学版), 2023, 26(2): 70-78.
- [4] 陈津远, 李宏伟. 圭江水响唤滕艚[N]. 玉林日报, 2022-08-23(B02).
- [5] 金晓鸿, 金涟漪. 海船涂料防污技术发展史料研究(一)——中国古代船底防污技术[J]. 中国涂料, 2022, 37(6): 74-76.
- [6] 徐建新. 宋金战事中的兵器应用研究[D]: [博士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2022.
- [7] 潘长学, 查理. 中国船舶设计的古代造物智慧研究[J]. 包装工程, 2019, 40(22): 87-94.
- [8] 李振乔. 中国古代水战武器拍竿考略[J]. 邢台学院学报, 2010, 25(4): 58-59, 72.
- [9] 顿贺. 中国古代水战中隐形作战的船舶和兵器[J]. 武汉船舶职业技术学院学报, 2004(3): 45-47.
- [10] 安晓静. 竹子的多尺度拉伸力学行为及其强韧机制[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- [11] 顿贺, 程雯慧. 中国古代船舶的造型特征研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2004(3): 463-466.
- [12] 周复纲. 释“滕艚”[J]. 贵阳师专学报(社会科学版), 1986(1): 63-66.
- [13] 杨熔. 中国古代的船舶[J]. 大连海运学院学报, 1957(2): 93-108.