

# 福船文化赋能下的竹制模型现代制作

黎成伟, 李家强, 何欣旺, 唐子坤, 杨笃迎, 寿海, 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9日; 录用日期: 2026年5月2日; 发布日期: 2026年5月13日

## 摘要

福船作为中国古代造船史上的杰出代表, 承载着深厚的历史底蕴与文化内涵, 是海上丝绸之路的重要载体和明代海防作战的关键装备, 在中国的历史上占据举足轻重的地位, 竹制模型制作是对传统技艺与文化的传承创新, 是集科学、技术与历史文化于一体的实践活动。通过学习船舶模型的制作, 制作者能直观了解福船的结构原理与建造流程, 从而达到培养实践动手能力、科学创新思维与历史文化认同的目的, 有助于提升海洋工程相关人才的实践能力与海洋文化认知。本文以竹制福船模型制作为载体, 结合现代仿真与建模技术, 明确技术对模型制作的提升作用, 在介绍制作流程的同时, 服务海洋工程教育, 并普及相关知识。

## 关键词

竹制模型制作, 海洋工程教育, 福船

# Modern Production of Bamboo Models Empowered by Fu Ship Culture

Chengwei Li, Jiaqiang Li, Xinwang He, Zikun Tang, Duying Yang, Hai Shou, Dapeng Zhang\*

Ship and Maritime College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

Received: April 9, 2026; accepted: May 2, 2026; published: May 13, 2026

## Abstract

As an outstanding representative in the history of ancient Chinese shipbuilding, the Fu Ship carries profound historical heritage and cultural connotations. It was not only an important shipping carrier of the Maritime Silk Road but also a key piece of equipment for coastal defense operations in the Ming Dynasty, occupying a pivotal position in Chinese history. The production of bamboo Fu Ship models represents the inheritance and innovation of traditional shipbuilding crafts and marine

\*通讯作者。

文章引用: 黎成伟, 李家强, 何欣旺, 唐子坤, 杨笃迎, 寿海, 张大朋. 福船文化赋能下的竹制模型现代制作[J]. 交叉科学快报, 2026, 10(3): 568-582. DOI: 10.12677/isl.2026.103070

culture, and is a comprehensive practical activity integrating scientific principles, engineering technology, history, and culture. By participating in the ship model production process, producers can intuitively understand the structural design principles and traditional construction procedures of the Fu Ship, thereby achieving the coordinated cultivation of practical operational capabilities, scientific innovation thinking, and historical and cultural identity. It contributes to the enhancement of the practical competence and marine cultural cognition of talents majoring in marine engineering. This paper takes the production of bamboo Fu Ship models as the carrier, combines modern simulation and modeling technologies, and clarifies the improvement effect of such technologies on model making. While introducing the manufacturing process, it serves marine engineering education and popularizes relevant knowledge.

## Keywords

Bamboo Model Making, Marine Engineering Education, Fu 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

竹制福船模型是以真实船型为例，严格按照其真实船体数据及结构特点，等比例缩小制成的船体模型。模型利用了 Solid Works 建模与 ANSYS 仿真等现代科技技术，选用优质竹材经切割、压片、弯曲等工艺并辅以 3D 打印技术制成，力求还原福船的历史外貌。模型制作将精确还原福船“底尖上阔”的经典造型与水密隔舱等结构特点[1]，培养了制作者的实践动手能力与科学创新思维，是对传统造船技艺的传承。

如今，虽然现代船舶技术已经取得了巨大的进步，但福船的建造设计在中国古代造船技艺上依然具有划时代的意义。对于竹制福船模型的制作，正是对福船历史文化的一种传承和创新。通过对竹制福船模型制作，制作者可以更加直观地了解福船的结构和特点，建立对古代船型的初步认知，培养其动手能力与空间思维。随着船舶材料的迭代更新与建造技艺的突破，船模的功能边界与应用场景将不断拓展，未来在教育、科研、文化传承等领域的重要性进一步提升，成为连接船舶历史与现代船舶技术的重要桥梁。

然而，在传统竹制船模制作中，普遍存在材料凭经验选择、结构设计无量化依据、场景制作缺乏科学依据的问题。

基于以上背景，本文以福船的竹制模型现代制作为主线，详细介绍古代船型融合现代船模的制作流程与方法，揭示现代技术在解决竹制船模选材、模型制作精度等问题中的应用价值。

## 2. 福船的历史文化

### 2.1. 福船的历史意义

福船，作为中国古代造船史上的突出代表，承载着中国文化深厚的历史底蕴与文化内涵。其历史可追溯至战国时期，是福建、浙江一带沿海尖底海船的统称。到了唐宋时期，福船迎来了快速发展阶段，从此成为海上丝绸之路的重要交通工具。据出土文物研究，在宋代，福船开始被普遍使用[1]，仅泉州一地每年就能建造上百艘之多。

福船因在福建沿海建造而得名,作为主要航行于浙江南部、福建及广东东部一带洋面的海洋木帆船,福船以其独特的设计和卓越的性能闻名于世。福船“上平如衡,下侧如刃”[2],具有底尖、上阔、首昂口张、尾部高耸的特点。它采用的尖底造型,吃水较深,稳定性极佳,这种设计使得福船在面对恶劣的海况时,依然能够保持良好的操控性和抗风浪能力,如图1。



Figure 1. Picture of the three-masted sail type fu ship [3]

图1. 三桅帆式福船图片[3]

据史料记载,明代航海家郑和率领的庞大船队中,就有大量的福船[4]。福船作为主要的航海工具,其航行稳定性强的优势,使其能穿梭于中国与亚非各国海域之间,带着丝绸瓷器等大宗商品,成为推动中外贸易往来与文化交流的重要纽带。

在军事方面,福船同样发挥了重要作用。在明朝时期,其东南沿海地区时常遭受海盗侵扰,福船则是明代海防作战的主力战船[5]。戚继光等将领率领的水师,就曾驾驶福船与海盗展开激烈战斗。福船船型高大,船体坚固,在海战中占据优势地位。在海战中,福船凭借其强大的战斗力,屡次保卫了沿海地区人民的生命财产安全。

## 2.2. 福船在中国文化中的地位

作为中国帆船航海时代四大核心船型之一福船,其价值早已超越单纯器物范畴,蕴含着丰富深厚的文化内涵。其水密隔舱、多层船壳[1]等精巧工艺设计,凝聚了古代劳动人民顺应海洋环境的生存智慧与追求精益求精的匠人精神,反映了中国人对完美和卓越的追求。

从文明传播视角看去,福船不仅是跨洋物资交换的重要载体,更是承载中华文明开放包容的鲜明品格的代表。时至今日,福船所象征的开拓进取、坚韧不拔的海洋精神仍具有强大生命力。

## 3. 制作前的准备

### 3.1. 工具的准备

在竹制福船模型的制作过程中,准备工作是确保模型最终呈现完美效果的关键步骤。其中工具的准备更是重中之重。首先,我们需要准备竹子、刀具、胶水等工具,如表1所示。

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

工具名称	数量	工具名	数量
竹子(楠竹、青皮竹)	若干	乳胶手套	若干
3D 打印机及打印材料	1 套	502 胶水/木工胶	5 瓶
竹篾机	1 个	平刀	1 把
美工刀	1 把	钳子	1 把
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 台
各色模型漆(笔涂)及笔具	1 套	多功能角度线槽剪	1 把
微型铣刀	1 把	120 目、240 目、400 目砂纸	各 1 张
手锯	1 把	各色水性模型漆(喷涂)	3 瓶

平刀的刀刃平直，可以用于削平表面、修整平面、开槽或切割直线边缘，是竹子模型精加工的基础款。用于对竹材进行精细的修整和切割。选择胶水时，要考虑其粘性和干燥时间。例如，白乳胶具有粘性强、干燥后无色透明的特点，是制作竹制福船模型常用的胶水之一，502 胶水干燥快，粘性强，便于竹板间快速黏合。

在准备工作的最后，要对所有材料和工具进行一次全面的检查与整理。检查竹材是否有发霉或变形，工具是否能正常使用。然后将材料和工具分类摆放整齐，方便在组装过程中取用。

### 3.2. 竹材的挑选

在竹制福船模型的制作艺术与技术中，竹材的挑选是至关重要的基础环节，直接影响到福船模型的质量、耐久性与最终呈现效果。

本竹船模型的制作挑选了楠竹和青皮竹两种竹材作为材料进行比较。通过使用 ANSYS 有限元仿真判断这两种竹材的性能是否适合用于制作模型。首先我们收集两种竹材的物理数据，如毛竹纤维方向弹性模量可选取 15 GPa，该数值处于相关研究得出的毛竹纤维组分抗拉弹性模量合理区间内[6]，然后将数据分别添加并保存在 Static Structural 系统的“工程数据”中。接着在“几何机构”中创建与计划材料尺寸相吻合的 3D 板材模型。

随后在“模型”中对模型进行网格划分以及约束和载荷的添加。在网格划分中要注意网格的数量与质量对最后仿真计算结果有极大影响，因此需要在网格划分时留意网格的质量是否达标。由式(1-1)可知，网格质量的数值越靠近 1 表示网格质量越好，越靠近 0 表示网格质量越差。若要保持仿真的真实可靠，网格质量至少要保持 0.1 以上。在添加约束与载荷时要注意两者需添加在面与面相对的方向上，且竹材需用于制作船体，故拉力可设为 2 MPa，如图 2。

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

在最后对模型求解并查看变形和应力分析，如下图(其中同数据类型第一张为楠竹，第二张为青皮竹)。从材质特性来看，应优先选择满足结构稳定性的竹材。根据图 3 中 ANSYS 静态结构仿真结果，可以从总变形、等效弹性应变、等效应力三个维度量化对比两种竹材的力学性能。由仿真数据显示，青皮竹的最

大的总形变为  $2.338e-5$  m, 仅为楠竹最大的总形变( $5.33e-5$  m)的 43.9%; 其最大弹性应变为  $0.00084353$  m, 仅为楠竹最大弹性应变( $0.0011386$  m)的 45.9%; 其等效应力为  $2.8736e6$  Pa, 较楠竹( $3.1311e6$  Pa)降低了 8.2%。三项数据均表明两种竹材的力学性能都符合船体制作材料的标准, 但也可以明确得出青皮竹的结构刚度、抗变形能力和安全性都优于楠竹的结论。

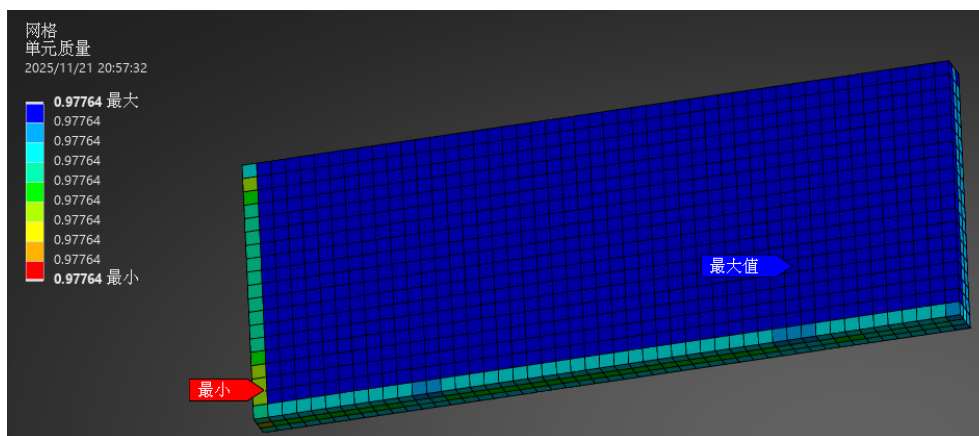


Figure 2. Mesh quality check  
图 2. 检查网格质量

从工艺维度上看, 船体的主要材料须选择便于加工的竹材。由数据可知, 楠竹平均直径在  $8.12$  cm [7], 而青皮竹直径  $3$  cm~ $5$  cm [8]。在实际制作中青皮竹变形小, 刚度高, 但其直径过窄, 导致其难以大量加工成船体蒙皮所需的宽幅竹板, 不适合用做船体的主材料。楠竹的直径约为青皮竹 2 倍, 变形适中且易于开片, 兼顾了结构强度与竹材加工的可能性, 如图 3。

因此, 本次研究在保证模型结构安全的前提下, 最终选择楠竹为船体制作的主材料。但从纯力学性能维度, 青皮竹的各项指标均优于楠竹, 故在小型构件的制作材料上仍以青皮竹为材料。



Figure 3. Simulation data of Moso bamboo (First three panels) and green skin bamboo (Last three panels)  
图 3. 楠竹(左三)与青皮竹(右三)的仿真数据

### 3.3. 竹材的切割与成型

在竹制福船模型的制作中, 竹材的切割与成型是至关重要的环节, 它直接影响着福船模型最终的呈现效果与船体模型质量。

在切割技术方面，可根据竹材的不同部位和需求选择合适的工具和方法。为了便于加工，对较长的竹子需要先用电锯对其进行分割截断。随后用开竹器对直径适中的竹材可分割为宽度适宜的竹条，而对于较粗的竹材，则需要使用手锯或电锯对半切割再开竹，以避免竹材过硬对刀具造成损伤，同时也可以提高竹材的利用率。手锯切割虽然速度相对较慢，但能更好地控制切割的方向和精度，适合对细节要求较高的部位；电锯则适用于批量切割或对切割速度要求较高的情况。在切割过程中，要注意保持刀具的锋利度，以减少对竹材的损伤。竹条经由压片机分片处理后，可制成厚度为 2 mm 的薄片，如图 4。竹片制成后需放置在干燥的地方，避免潮湿导致竹材发生霉变从而不能使用。



Figure 4. Bamboo cutting  
图 4. 对竹材的切割

竹材的成型技术同样不可忽视。福船模型的形状复杂多样，需要将竹材加工成各种不同的形状来满足模型制作的需求。为了使竹材弯曲成福船船身的弧形，可采用加热弯曲的方法，借助加热器将竹子弯曲至相应曲度。具体操作时需要先按建模时获取的数据做出需要弧度的草图，随后将竹材放在高温蒸汽中加热一段时间，使其软化，然后迅速固定成所需的形状，待冷却后竹材便会保持该形状，这种方法在传统木工技艺中被广泛应用。由于大幅度的弯曲容易导致竹材出现裂隙和变脆等情况，故在使用这种方法时，可以采取在竹材较近的不同位置多次小幅度弯曲而非一次大幅度的弯曲。同时，若没有加热器也可采取明火加热，但在操作的过程中需要注意加热的时间，过长的加热时间会使竹材表面变黑和竹材本身变脆。

## 4. 模型制作流程

### 4.1. 福船模型的三维建模

传统船模制作多依赖工匠经验，船模外形还原无精确尺寸依据，结构装配容易出现偏差等核心痛点。本研究通过 SolidWorks 完成福船模型三维建模，为解决以上问题提供数据支持。

在进行福船模型的三维建模时，需要充分了解福船的船体参数。据相关历史资料记载，福船的长度一般可达 40 米左右，宽度约为 10 米[3]，在建模时需将该值进行等比例缩小。

首先需要寻找到相关模型(如本文所制作的三桅杆式福船)的三视图。利用草图图片功能将三视图按比例插入并将透明度改为 30%~50%，方便后续的描点。如果图片本身没有锁定对应比例，需要在插入时调整图片参数，使得图片处于正确位置，确保三张图片比例一致。通过插入福船外貌三视图，可以将船体转为可量化的尺寸数据，解决还原时缺乏数据参考的难点。

在绘制船体草图时，需要根据先前插入的草图图片进行参考，运用曲线和直线工具精确绘制。要注意在描绘曲线时要使其平滑的同时最好贴合船底，绘制完一根曲线后，可以用智能尺寸工具将画出的线的长宽高等标注出来一方面可以固定线段的数据，另一方面可以把数据改为相近的整数便于后续的细节修改和实体模型的制作，如图 5 所示。

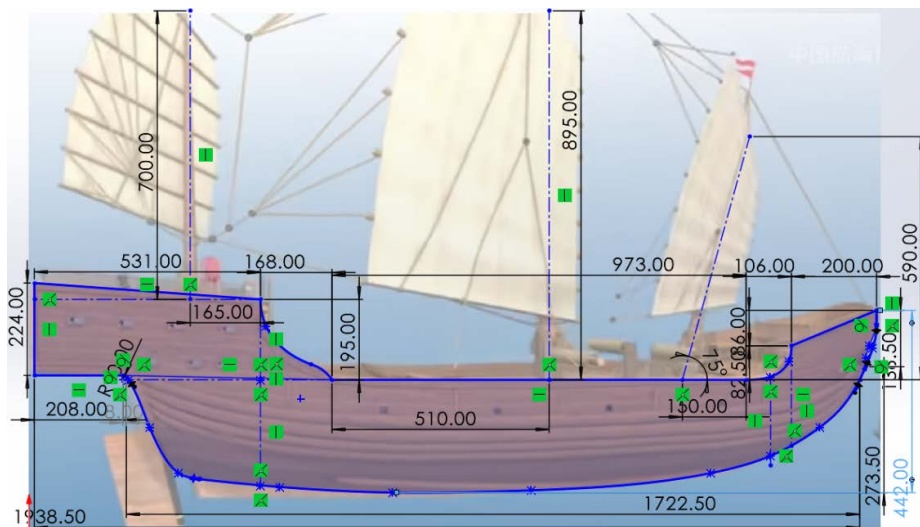


Figure 5. Plotting points on the ship's side  
图 5. 船侧描点

在制作 3D 模型时，一般分为船底和上层建筑两个部分，我们可以在船甲板位置设置一个横向基准面，以便于区分船底和上层建筑。

在绘制船底部分时，可以采用分段绘制法，即将船底分为多个区域分段绘制。首先需要将分段的两个船底纵剖面图绘制出来，然后使用“放样”命令，将纵剖面作为草图，船体的侧视图和上视图的描点作为引导线，放样出所需船底。在放样时引导线的数量至少需要四条才能约束住船体，随后使用相同方法做出其余船底，如图 6。

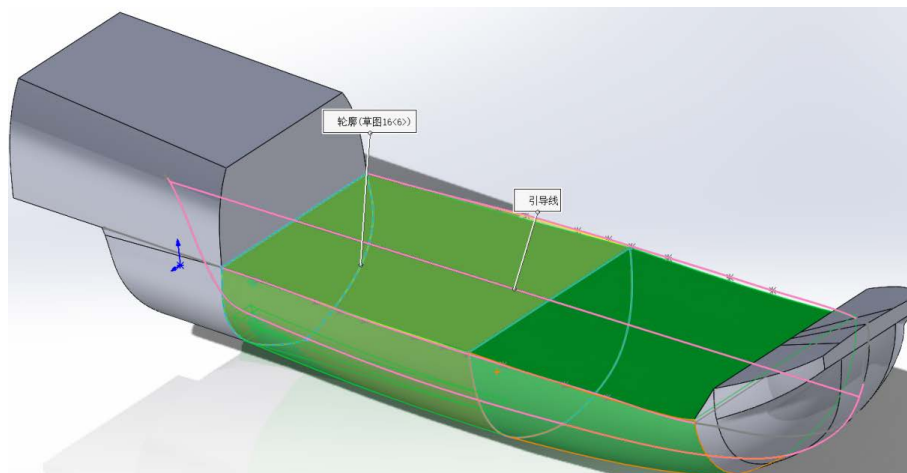


Figure 6. Hull lofting  
图 6. 放样与阵列命令的使用

在制作上层建筑时，可以根据参考图片的数据对舱室的位置进行定位，我们可以选择“拉伸凸台/基体”或“放样凸台/基体”命令生成舱室。“拉伸命令”适合方块物体的生成，在面对有一定曲度的物体推荐使用“放样”命令生成。在建模中，有窗户，楼梯，旗杆等小型物件，我们可以使用“线性阵列”和“镜像”命令，这有助于我们大幅度缩短建模时长，如图7。

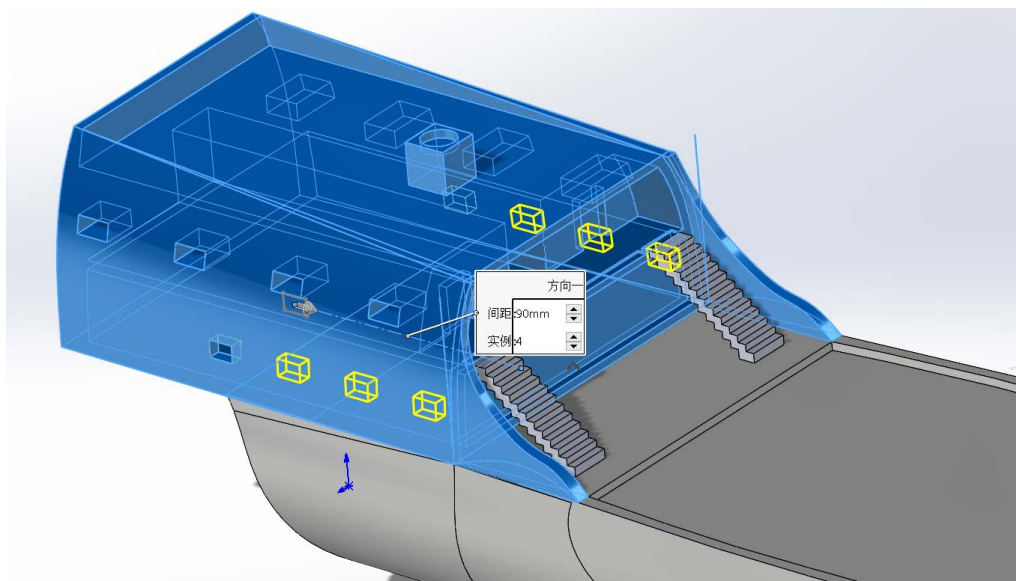


Figure 7. Application of the array command  
图7. 阵列命令的使用

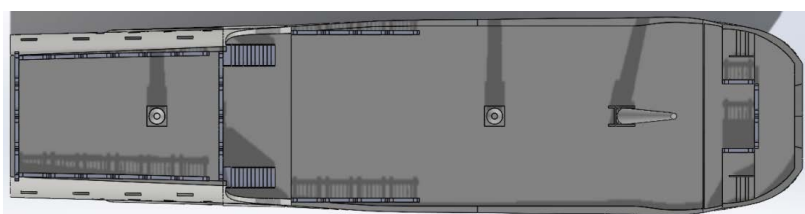


Figure 8. Top view of the model  
图8. 模型上视图

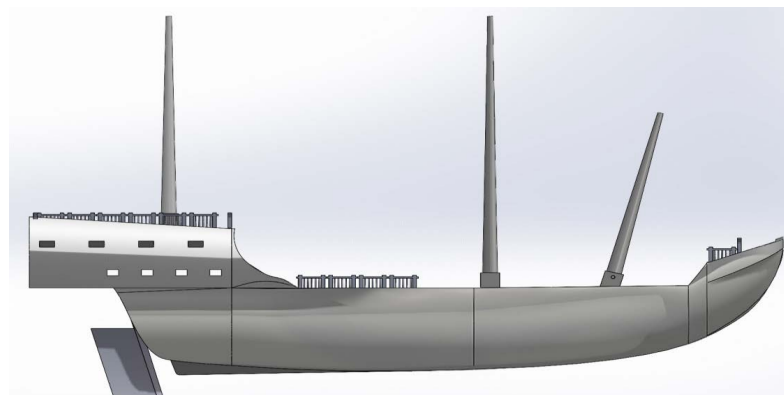


Figure 9. Side view of the model  
图9. 模型侧视图

同时也可以使用“新建”功能选择“零件”模型，在其他模型文件对船的零件进行绘制。在绘制零件时，我们需要在主船体上留有相应零件的位置和匹配的特征，且零件要严格按照主船体设置的参数进行绘制。在绘制完成对模型进行最后组装时需用到“新建”中的“装配体”模型。先插入相应的零部件，然后使用“配合”命令对主船体上预留的配对位置与零部件配合，将其与船拼装成一个整体，模型整体效果如图 8、图 9 所示。

## 4.2. 福船竹制模型的制作

在竹制福船模型的制作艺术与技术中，福船模型的框架搭建是极为关键的环节，它决定着整个模型的稳定性与结构合理性。

在进行框架搭建前，需依据 Solid Works 设计流程中三维模型的数据，根据 3D 模型的参数适当地按比例调整，来最终确定框架的尺寸参数与结构参考，确保模型能够高度还原福船的真实形态。

框架搭建所使用的竹子需经过精心挑选和处理。厚度选用 1 毫米以上的竹材以保证框架的强度，同时对竹材进行平滑处理，将竹子的四面处理平整，避免凹凸不平，导致黏合不牢。

搭建框架时，首先要确定好各个部件的位置和连接方式与位置。福船模型的框架结构复杂，包含龙骨、横梁等多个关键部分。龙骨作为整个模型的主支撑，其安装的垂直度和水平度直接影响模型的稳定性。安装龙骨时，在建模基准面上依次安装，确保垂直度与水平度。

首先需选取厚度 0.3~0.5 毫米的薄竹片，根据船底弧度，用模板比对画出竹片裁剪轮廓，使用细齿锯或美工刀裁剪出适配的蒙皮单元。蒙皮铺设采用“纵向拼接、交错搭接”的方式：从船底中线开始，将第一片竹皮用胶水均匀涂抹背面后，贴合在主框架的船底龙骨上，用小夹子或重物加压固定；后续竹皮依次向两侧延展，确保拼接处无缝隙。

针对框架间的中空区域，需根据间隙大小裁剪不同规格的竹条或竹片进行填充。对于较大间隙，选用截面为正方形的细竹条，截成与框架宽度一致的短段，用胶水垂直嵌入间隙中，尽量紧密贴合，形成支撑结构；较小缝隙则用小竹片填充，如图 10。

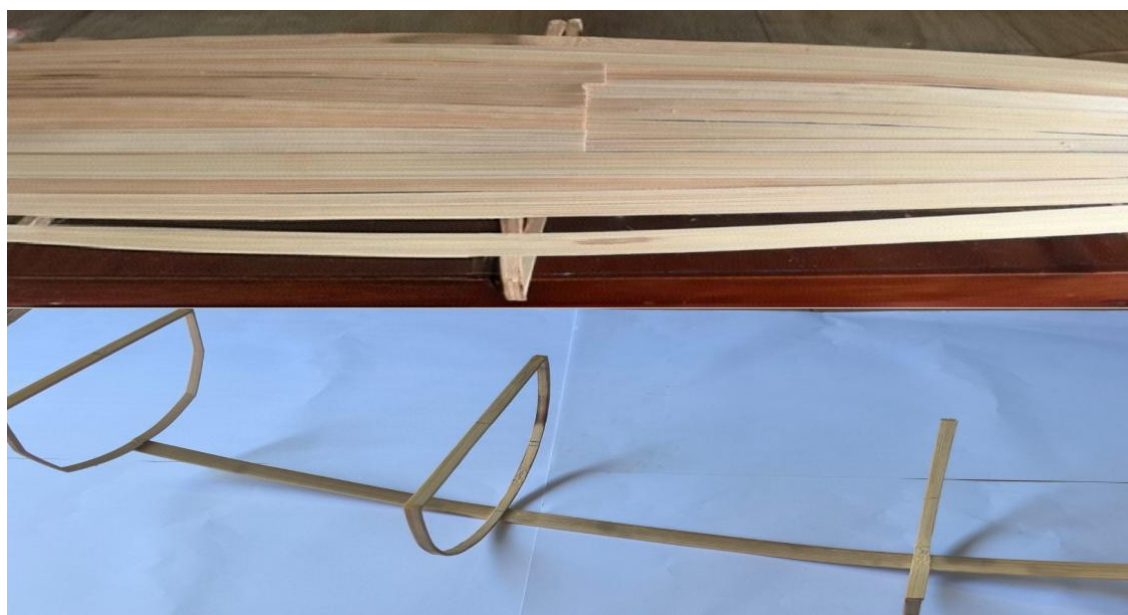


Figure 10. Preliminary construction of the hull frame

图 10. 船体骨架的初步搭建

船头需还原福船“首昂口张”的造型特点。先截取一段较粗的竹料作为船头龙骨基座，将竹条按照设计弧度弯曲成型，使其与船底前端框架精准对接，并用木工胶固定。随后，用薄片竹片分层制作船头的弧形外壳：从上到下逐层粘贴，每层竹片的弧度需略小于上层，形成向上昂起的形态。此外，还可以将竹片剪成精确不同的形状，将竹片与船体缝隙进行拼接，如图 11。



**Figure 11.** Bow skinning and deck splicing sealing  
**图 11.** 船头蒙皮与甲板拼装封口

上层建筑包括甲板、船舱、桅杆基座等部分，需按“先基础后细节”的原则制作。上层建筑中桅杆等细小构件，可以用青皮竹作为其主材料。制作时，首先裁剪与船体宽度适配的竹片作为甲板，覆盖在船体框架顶部，边缘与船体侧面蒙皮对齐，用木工胶固定后，在甲板与船体的衔接处涂抹少量胶水密封，防止后续组装时错位。

根据福船的层级结构，用细竹条搭建船舱框架，框架高度需与建模数据保持一致，再用薄竹片粘贴船舱的侧壁与顶盖，顶盖可设计为倾斜角度，还原古代船舶的防雨结构。最后，在甲板合适位置固定桅杆基座，通过钻孔与竹销结合的方式与甲板连接，确保桅杆安装稳固，如图 12。



**Figure 12.** Construction of the cabin section  
**图 12.** 舱室部分的搭建

船尾弧度部分还需进行制作粘合，做出框架后蒙皮。随后根据船舱底部预留的凹槽进行粘贴即可。最后，在船尾适当位置制作简易的舵杆装置，选用细长的青皮竹条作为舵杆，底部连接小型竹制桨叶，舵杆与船尾框架通过钻孔嵌套的方式连接，确保舵叶能够灵活转动，完成整个模型的主体制作。

### 4.3. 福船模型的细节处理

框架搭建完成后，还需要对船体各部件连接处进行打磨、修整，使其更加光滑平整，避免出现毛刺等影响美观和结构的问题。一般可以准备不同目数的砂纸，如 120 目、240 目和 400 目，用砂纸打磨船体表面，使其变得平滑，没有毛刺。在用砂纸打磨时，需从低目到高目逐步打磨，打磨至船体表面接近光滑，没有毛刺的程度即可。在打磨船体表面时，需采用横向打磨，避免直接对船体施加过大压力，以保证船体的完整性。

随后要对框架进行防水与防腐处理，以延长模型的使用寿命。最好采用桐油这种天然的防水剂和防腐剂对船体进行保护，在环保的同时又能有效保护竹材。在对船体刷上桐油时要注意少刷多次，至少进行 2 次的涂刷，在每次将桐油均匀铺满船体表面后，需将模型静置 12 小时以上，等待船体干燥并确保船体充分吸收，以达到防水防腐的效果，如图 13。



Figure 13. Application of tung oil  
图 13. 桐油的涂抹

## 5. 外围场景制作

### 5.1. 码头场景制作

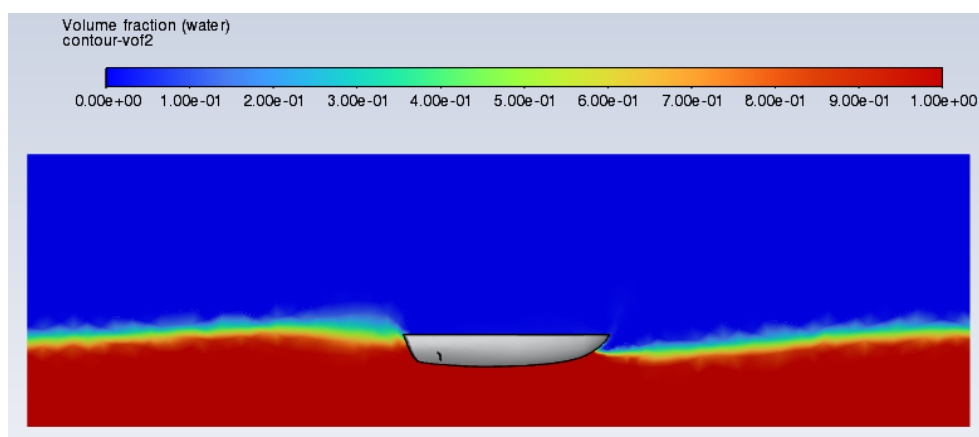
码头的制作主要依靠 3D 打印技术完成核心部件的加工，实现码头部件的标准化、高精度成型。首先根据福船模型的长度，设计至少达到船体长度的码头。随后通过 Solid Works 软件设计码头的楼梯、护栏等部件。在建模过程中要注意大小比例是否符合实际，是否与模型相适配。其他的复杂部件如行人、马车等，可以寻找现有的模型文件，随后将模型导入 3D 打印软件中。在打印模型前，需注意调整到合适模型的大小，层厚设置为 0.15 mm~0.2 mm，填充率设置为 20%~30%，随后可以对模型进行切片处理。切片完成后调节模型中镂空部分的花纹和图案，同时为模型的关键部位添加树状支撑。接着把打印参数发送到相应的打印机中进行打印，打印结束后将支撑拆除即可得到成品，如图 14。



**Figure 14.** Production of 3D printed products and models  
**图 14.** 3D 打印成品与模型的制作

得到打印成品后分别对简单的部件(如楼梯、栏杆)进行喷涂上色,对复杂部件(如人物、楼房、马车)则使用笔涂上色。在喷涂前需准备好相应颜色的水性模型漆,将模型漆与基准液 1:1.5 的勾兑,勾兑时需注意保持正确的勾兑比例,并且不要混入其他杂质,在喷涂前要不断搅匀以避免出现沉底的模型漆,这会导致喷枪堵塞。随后通过喷枪对相应模型的部件进行喷涂,喷涂时需要与部件保持 5 cm 距离,喷枪需倾斜 45°,否则会导致部分区域上色过重,且喷涂时要不断移动,使部件上色均匀。喷涂作业完成后,将部件静置干燥 12 小时以上,用洗笔液清洗喷枪。对复杂部件,同样使用模型漆对其上色,但不需要与基准液勾兑。在对复杂部件上色时,为避免深色盖住浅色从而导致模型上色失败,需要注意上漆时先浅后深。笔涂上色完成后,同样需要将模型静置干燥和对笔具等进行清洗晾干。待底漆彻底干燥后,将各部件按预设位置使用透明模型胶进行粘贴组装即可得到完整的码头模型。

## 5.2. 水景的模拟与制作



**Figure 15.** Simulation diagram of water volume fraction  
**图 15.** 水体体积分数仿真图

在制作水景前，首先需要对船体模型进行流体力学仿真，模拟出船体在江流静止时的兴波的图像及数据，可以为水景的制作提供图像、波高等数据支撑，使水景基于科学数据、形态真实、层次自然。首先将船体模型简化，仅保留船底特征，将其导入 ANSYS Workbench 软件中，使用“外壳”功能获得模型的外壳，并使用半船模对称仿真法(Half-Hull Symmetry Simulation)流体域的制作。即使用中性面将船体外壳切半，仅建立半侧船体及半侧流体域。这种方法能减少计算资源的消耗，同时保证兴波、阻力等关键数据的精度。随后将模型外流域各个面进行命名后，对外流域加载并生成“网格”，同时检查网格质量。然后在数据库导入液态水的数据，使用流体体积法(volume of fluid, VOF)模拟船在流速为 5 m/s 的流域内的情况进行计算，得出流体域的相关数据，如图 15、图 16。

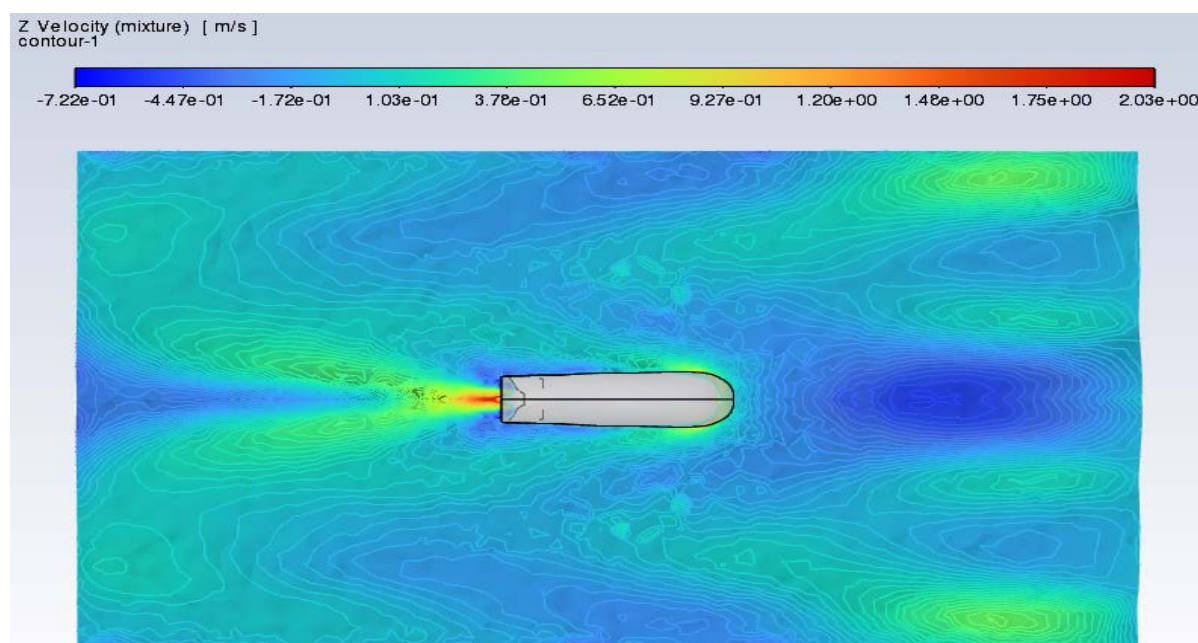


Figure 16. Contour plot of Z-direction velocity distribution for water flow  
图 16. 水流 Z 向速度分布云图

在得到仿真数据后，可以开始着手水景板制作。首先需要根据制作的福船模型的船体吃水线对水景板进行切割。将水景板切割出一个贴合船底轮廓的洞，以便于在最后步骤船体与水景板的组装摆放。在切割时需要少切、多次。即一次仅修改部分轮廓，且过程中不断将切出的轮廓与船体进行比对，避免切除过多导致水景板无法使用。

由于福船多为内河船，故水景模型的主色调偏向绿色。水景板制作需要先后对其涂抹五层水景膏，其先后分别是亮蓝色，浅蓝色，绿色，淡绿色和淡白色。需要用亮蓝色水景膏对水景板薄涂，作为水景板的基础色。在涂抹时可以用拍、刮等技巧模拟出河水的波纹。第二层使用浅蓝色覆盖，丰富水体的层次感。第三层涂抹绿色水景膏，将绿色与底层蓝色相互融合，模拟河水的色彩及其波纹。第四层将绿色水景膏与透明色按 1:2 的比例混合，调配出淡绿色，将淡绿色厚涂在水景板上作为其主色调使用，进一步细化河水的渐变效果。最后一层将白色与透明色水景膏 1:8 混合出浅白色水景膏，根据船体在静水中速度分布云图模拟出更为细致的模型水流的光影和质感效果。在最后一层涂抹时，要注意在船头及船尾适量增加水景膏做出水流突起的效果，如图 17。每次涂抹完成后需将其静置 12 小时以上等待其干燥硬化后再进行下一层的水景膏涂抹，以避免两种不同颜色混合导致显色不清晰。

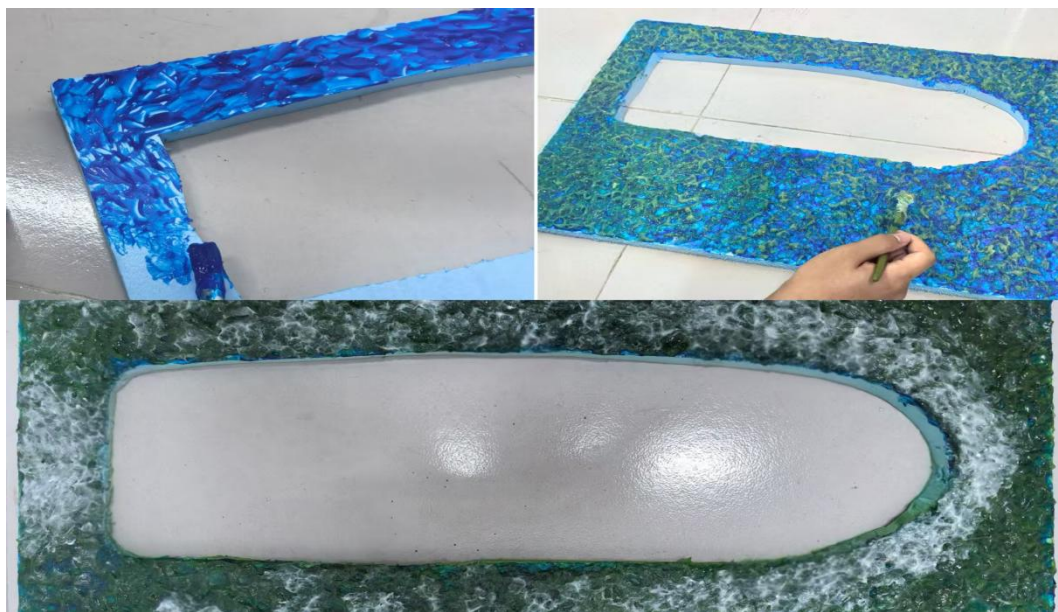


Figure 17. Production and finished product of the water scene panel

图 17. 水景板的制作及成品

### 5.3. 成果展示

将各部分组装后，得到最终成品的整体效果展示如图 18 所示。



Figure 18. Three-view drawing of the model

图 18. 模型三视图

本次研究结合传统竹艺与现代工程技术，完成了竹制福船模型及配套外围场景的制作。最终成型的福船模型以 ANSYS 仿真优选的楠竹为核心材料，依托 Solid Works 三维建模的精准数据，完整还原了福船“底尖上阔、首昂口张”的典型形制与核心结构，经多道工序处理后，兼具结构稳定性与传统质感。

3D 打印码头模型与分层上色水景板形成完整场景，码头部件模拟古代场景，水景板基于流体力学仿真数据，通过五层水景膏分层涂抹工艺，还原了内河水域的动态效果与自然色调。

成品模型结构规整、比例协调，既展现了福船的工艺美术价值，又直观传递了其历史文化意义。同

时也验证了传统技艺与现代技术融合的可行性，为船模制作提供了科学实用的参考路径，实现了福船的文化传承与创新，为海洋工程教育与传统文化传播提供了生动载体。

## 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] 段燕飞. 再探福船多层船壳板的制造和历史[J]. 福建史志, 2025(2): 50-60, 92.
- [2] 王曾瑜. 谈宋代的造船业[J]. 文物, 1975(10): 24-27, 8.
- [3] 郑明, 张恩海, 王淼, 等. 三桅帆式福船[J]. 中国远洋航务, 2007(10): 98.
- [4] 傅朗. 福建与郑和下西洋的船只[J]. 东南学术, 2006(1): 161-168.
- [5] 窦祥磊. 明代抗倭时期的福船研究[C]//湖北省科学技术史学会. 2023 年湖北省科学技术史学会年会论文集. 武汉: 中南民族大学民族学与社会学学院, 2023: 27-33.
- [6] 杨云芳, 刘志坤. 毛竹材抗拉弹性模量及抗拉强度[J]. 浙江林学院学报, 1996(1): 21-27.
- [7] 赵鹏, 姜方海, 赵晓云. 四川江安县人工经营毛竹林分结构特征[J]. 四川林业科技, 2013, 34(5): 1-7.
- [8] 李兴会, 罗蓓, 何蕊. 青皮竹和慈竹不同发育期竹材解剖特征研究[J]. 世界竹藤通讯, 2017, 15(4): 9-12, 58.