

石河子大学第七届大学生结构设计竞赛题目（非专业组）

《乌篷船模型结构设计与制作》

1. 命题背景

绍兴，这座浸润着悠久历史的水乡古城，以其标志性的乌篷船，悠悠承载着千年的文化记忆。乌篷船，这抹在水面轻轻摇曳的黑色竹篷风景，曾是古城居民日常出行、捕鱼和货运不可或缺的重要工具，它以一种独特的方式，勾勒出绍兴水乡那份独有的韵味与风情（图 1）。

乌篷船既轻巧又坚固，其制作工艺更是繁复精细，需由经验丰富的匠人倾注心血，精雕细琢而成。然而，随着老一辈“船作匠”逐渐步入高龄，乌篷船的制作技艺正面临着失传的严峻挑战。为了守护这份宝贵的文化遗产，2009 年，乌篷船制作技艺被列入浙江省非物质文化遗产名录。绍兴市政府通过举办培训班、文化节等多种活动，吸引并激励年轻人投身其中，传承技艺。同时，乘坐乌篷船穿巷游湖作为一项独具特色的旅游项目，也以其独有的魅力，吸引了无数游客前来体验与欣赏。

赛题以乌篷船为主题，要求参赛者设计优化船体流线型、提升其抗撞击性能，同时考虑平衡其载重与航行能力。本届赛事旨在激发大学生创新意识，锤炼其工程实践能力，推动乌篷船技艺传承与创新，同时唤起青年人对传统技艺的关注与热爱。



图 1 绍兴乌篷船文化

2. 乌篷船模型要求

2.1 概述

乌篷船包括船体和船篷两部分，如图 2 所示。船体需保证一定的承载能力、稳定性、抗撞击性和防水性等要求；船篷需满足变形和防水要求。

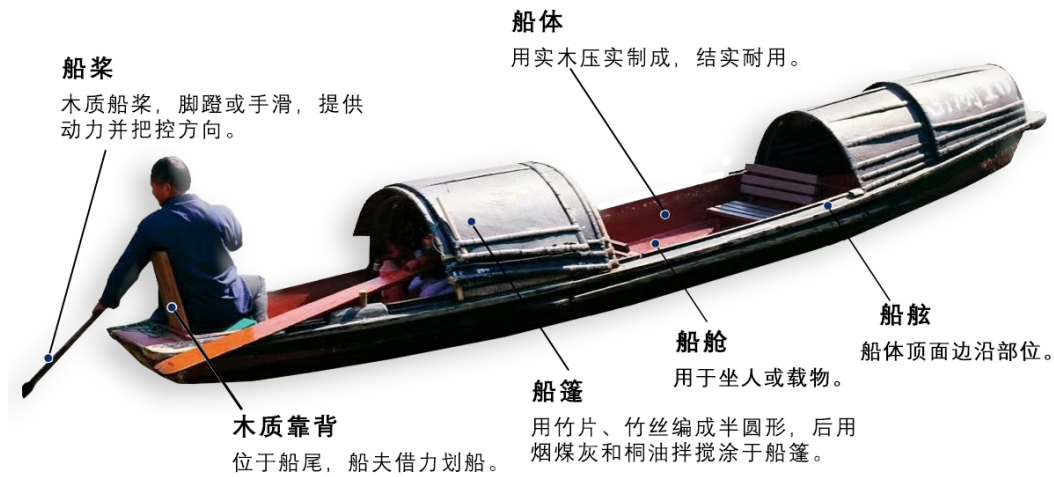


图 2 乌篷船组成

2.2 模型尺寸要求

乌篷船模型由船体结构、船篷结构和辅助加载所需的非结构部件三部分组成，如图 3 所示，其中，船舷定义为船体结构顶面周边连续且封闭的部位。

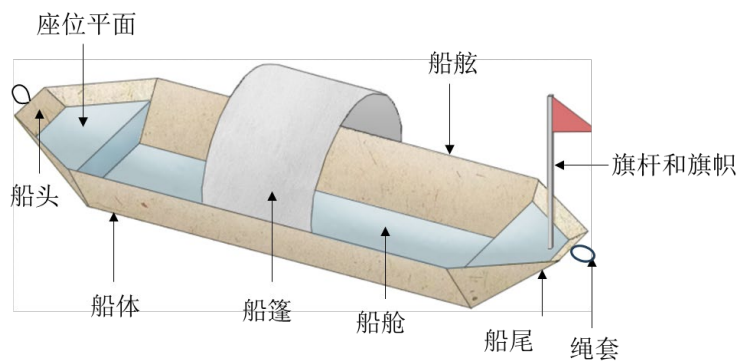
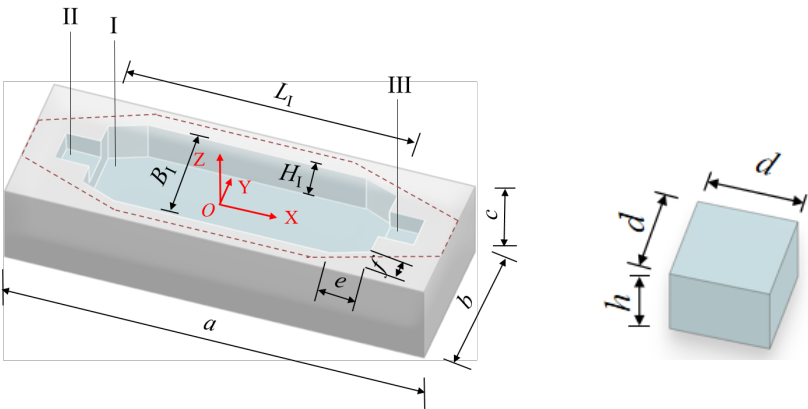


图 3 乌篷船模型示意图

(1) 船体结构模型

船体结构由内部龙骨与船舷（竹材制作）、隔水层（防水膜）构成，船体长度方向呈现中间宽两头窄，横断面呈现上部宽下部窄，如图 3 所示。船体结构隔水层以外及船舷以上，不得设置任何构件，仅允许布置赛题规定的辅助加载所需非结构部件。

船体结构中间部位为船舱，需满足规避区 I 净空要求；两端各设置一个座位，须满足规避区 II、III 净空要求，如图 4 所示。船体结构总长 a 定义为船首前端至船尾后端的水平距离，其最大宽度和高度分别为 b 和 c 。规避区 I 为八边形棱柱，由长宽深（船舱船舷以下的深度）分别为 L_I 、 B_I 和 H_I 的长方体在其四个转角切除长宽深分别为 e 、 f 和 H_I 的三棱柱而构成；规避区 II 和 III 的长宽深（相应位置两侧船舷以下的深度）分别为 d 、 d 和 h 。船体结构规避区内**不得**布置任何构件（规避区 III 旗杆安装底座除外），其底面作为**加载结构面**。船体结构参数具体数值要求见表 1。



(a) 立体图

(b) 规避区 II、III 尺寸

图 4 船体结构规避区

表 1 船型参数（单位：mm）

船型	船体结构总长 a	规避区			船体结构的空间外边界 长×宽×高 $a\times b\times c$	船篷宽度 B_{IV} 船篷限高 H_{max}
		I	II/III	IV		
		船舱净空 总长×宽×深 $L_I\times B_I\times H_I$ 三棱柱长×宽×深 $e\times f\times H_I$	座位净空 长×宽×深 $d\times d\times h$	船篷下净空 长×高×宽 $L_{IV}\times H_{IV}\times B_{IV}$		
B1	960	$L_I=660$ $B_I=240$ $H_I=100$ $e=80$ $f=30$	$d=80$ $h=50$	$L_{IV}=160$ $H_{IV}=80$ $B_{IV}=200$	$a=960$ $b=320$ $c=200$	$B_{IV}=200$ $H_{max}=160$
B2	1200	$L_I=900$ $B_I=240$ $H_I=100$ $e=80$ $f=30$			$a=1200$ $b=320$ $c=200$	

注释：表中 a 允许±5 mm； b 、 c 为最大尺寸； L_I 、 B_I 、 H_I 为最小尺寸； d 为最小尺寸， h 允许±5 mm； L_{IV} 、

H_{IV} 为最小尺寸, B_{IV} 允许 $\pm 5\text{ mm}$; $H_{\max}$ 为最大高度。

(2) 船篷结构模型

船篷结构采用竹材制作骨架, 其上表面需在规定宽度 (B_{IV}) 满铺防水膜 (船舷以上船篷部分), 弯曲成拱, 形成“篷状”结构, 如图 5 所示。船篷结构装配于**船舱的船舷部位**, 船篷沿船舱纵向 (X 轴) 的位置不作规定。船篷装配于船体结构后, 篷下空间需满足净空 (规避区 IV) 要求。规避区 IV 尺寸以船篷安装于核验底板为参考, 其长度 (Y 轴方向) 和高度 (Z 轴向) 分别定义为 L_{IV} 和 H_{IV} ; 船篷限高 $H_{\max}$ 定义为核验底板顶面至船篷顶面的垂直距离不得超过的最大数值。船篷结构防水膜以外 (背离船舱一侧) **不得**设置构件。船篷结构模型尺寸、安装位置及尺寸核验如图 5 所示, 具体参数见表 1。

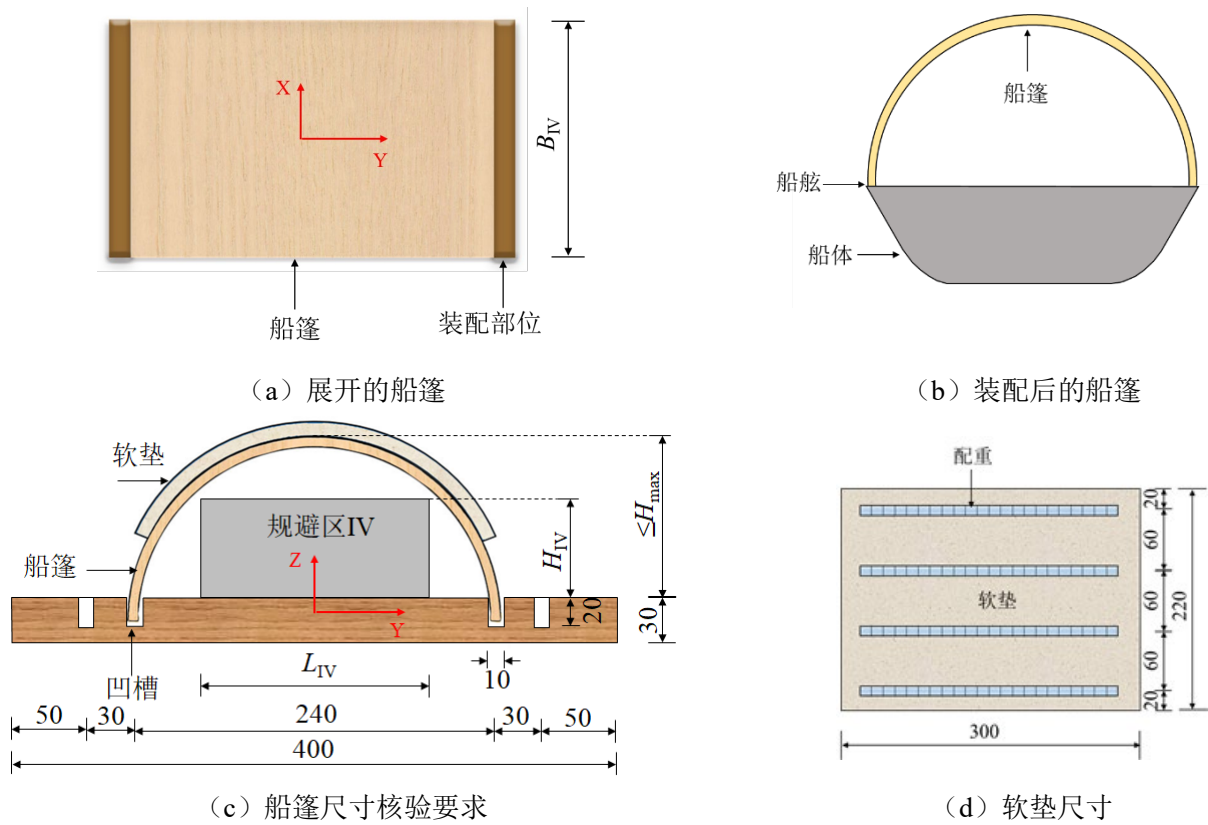


图 5 船篷结构尺寸、安装与核验要求 (单位: mm)

(3) 非结构部件

非结构部件包括旗杆及旗帜 (由承办方提供)。

旗杆和旗帜: 旗杆为圆木杆, 其直径约 5 mm , 高度约 300 mm ; 旗帜采用三角红旗, 幅面高度 140 mm , 长度 210 mm , 旗帜上可使用记号笔书写模型名称, 旗帜与旗杆顶部齐平。旗杆和旗帜质量不计入模型总质量, 但用于固定旗杆的安装底座, 其质量计入模型总质量。

3. 加载装置

3.1 加载装置组成

加载装置主要由水池系统（含水池、墩柱系统）、造浪装置、计时装置及其他加载配套设施等组成，整体装置如图 6 所示，各分项装置的定位尺寸如图 7 所示。

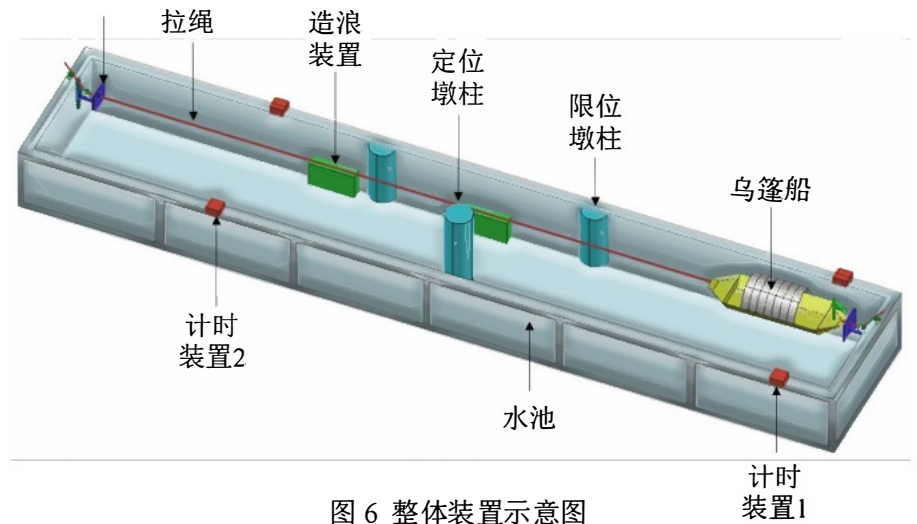
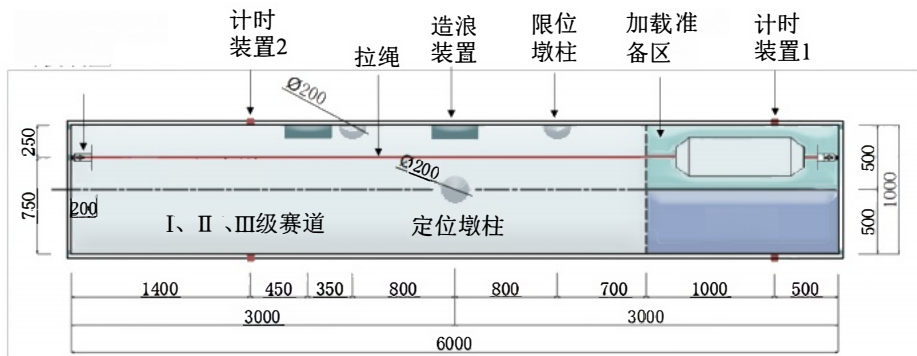
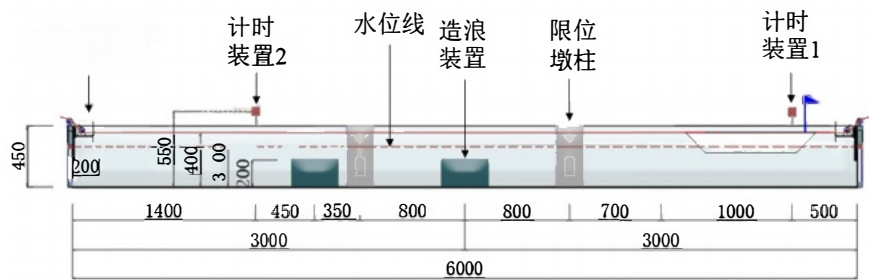


图 6 整体装置示意图



(a) 俯视图



(b) 主视图

图 7 装置尺寸详图（单位：mm）

3.2 水池系统

水池由铝合金框架和帆布防水层组成，其长宽高为 6000 mm×1000 mm×450 mm（水深 300mm）；定位墩柱固定于水池底部，限位墩柱安装于池壁，墩柱尺寸和安装位置见图 7 所示。

3.6 其他加载配套设施

(1) 砝码

1) 铸铁砝码

比赛时提供 0.5 kg、1 kg 和 1.5 kg 单勾圆柱形铸铁砝码各 2 个，相应砝码直径和高度分别为 40 mm×60 mm、50 mm×65 mm、58 mm×70 mm。

2) 坛状砝码

坛状砝码为容积 2.5 L 的空心塑料容器，其尺寸见图 8 所示。坛状砝码 7 个，其中 1 个装铁砂，质量为 6 kg 或 8 kg 或 10 kg；其余 6 个装水，质量为 2 kg/个。

(3) 定位膜和旗杆装配底座区域

定位膜及旗杆安装底座区域如图 9 所示，定位膜为 0.5 mm 厚的塑料膜。船舱平面定位膜 I 正中标记直径 130 mm 的圆形（关于 X、Y 轴对称），用于二级载重 M_2 的定位；定位膜 I 中间 230 mm×130 mm 的矩形区域为吸水测试包放置区域。座位平面定位膜 II 和 III 正中标记直径 60 mm 的圆形，用于一级载重 M_1 的定位。在船尾座位平面定位膜 III 的一侧留有长宽为 70 mm×20 mm 的旗杆装配区域，用于设置旗杆安装底座（自行设计）。

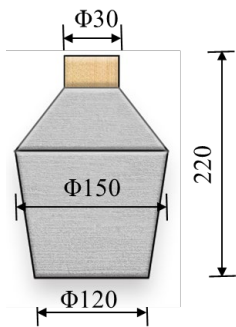


图 8 坛状砝码
(单位：mm)

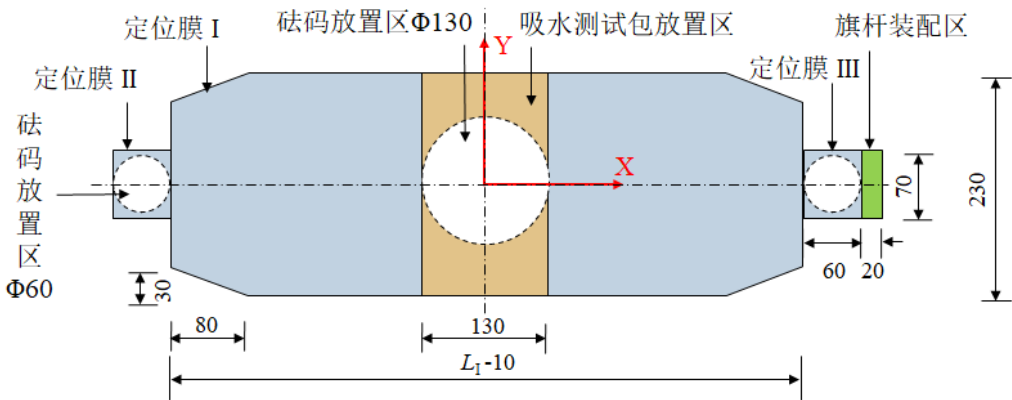


图 9 定位膜及旗杆装配底座区域 (单位：mm)

(4) 吸水测试包

吸水测试包为装有树脂颗粒的袋子，如图 10 所示，袋子重 (5 ± 0.1) g，每参赛队配置 1 个吸水测试包。



图 10 吸水测试包

4. 模型设计、制作时间及场地环境

模型设计与制作的总时间为 28 天，其中参赛队需提前1天提交理论方案设计和模型照片。

5. 待定参数的确定

5.1 待定参数

待定参数包括船型参数和模型加载参数，分别见表 1 和表 2。

表 2 模型加载参数

参数名称	取值范围	
	船型 B1	船型 B2
(1) 第一级加载载重 M_1 (括号内为自选载重)	0.5 (1.0) kg	1.0 (1.5) kg
(2) 第二级加载载重 M_2 (抽签决定)	6.0 kg, 8.0 kg	8.0 kg, 10.0 kg
(3) 第三级加载载重 M_3 (自选载重)	$M_3 = 2\times M_1 + M_2 + n\times 2$ kg $n = 2, 3, 4$	$M_3 = 2\times M_1 + M_2 + n\times 2$ kg $n = 4, 5, 6$

注释： n 为装水坛状砝码的数量。

5.2 待定参数的确定方式

在模型制作前，表 1 中的船型（B1 或 B2）和表 2 中二级载重 M_2 将公开随机抽签确定。确定的船型和二级载重将作为所有参赛队的统一基准。

表 2 中一级载重 M_1 和三级载重 M_3 在模型核验时由参赛队确定，确定后不得更改，加载时按照所选定方案执行。

6. 模型设计与理论方案

6.1 模型结构计算与设计

参赛队可利用笔记本电脑和相关软件进行结构设计计算。

6.2 理论方案

理论方案内容包括模型选型、实训过程总结两部分。

- (1) 模型选型建议包括结构模型方案的提出、比选、优势、名称和主要特色等；
- (2) 实训过程总结建议从理论、制作等方面说明参赛队员的赛前准备工作和备赛心得体会等。

7. 模型制作要求

- (1) 模型制作材料包括竹材、防水膜和胶水，由组委会统一提供，参赛队仅限于使用组委会提供的模型材料制作乌篷船模型。
- (2) 竹材、防水膜和胶水的规格及数量见表 3，其参考力学指标见表 4。
- (3) 2 张 3 mm 厚的 A3 卡纸，作为模型拼装时的定位辅助材料，该材料不得用于模型本身。
- (4) 模型制作，统一提供制作工具，见附件 3 工具表。
- (5) 模型制作过程中，参赛队应对零部件、模型半成品等进行有效保护，期间发生的模型损坏，各参赛队自行负责，并不得因此要求延长制作时间。

表 3 模型材料规格及数量

材料类型	规格（单位：mm）	名称	数量
竹片	1250×430×0.20	集成竹片（单层）	1 张
	1250×430×0.35	集成竹片（双层）	1 张
	1250×430×0.50	集成竹片（双层）	1 张
竹杆	930×6×1	集成竹材	20 根
	930×2×2	集成竹材	20 根
	930×3×3	集成竹材	20 根
防水膜	1000×1500×0.02	防水膜	3 张
胶水	30 g/瓶	502 胶水	6 瓶

注释：所有竹皮不能撕开使用里面的无纺布，防水膜仅用于制作船体防水构造和船篷防水构造，不得他用。

表 4 模型材料力学性能指标（仅供参考）

竹材				防水膜(国标取值)	
密度	顺纹抗拉强度	抗压强度	弹性模量	密度	拉伸断裂强度
0.8 g/cm³	60 MPa	30 MPa	6 GPa	0.95 g/cm³	0.4 N/mm

注释：防水膜材质为聚乙烯，其力学性能参考《土木合成材料聚乙烯土工膜》（GB/T 17643-2011）。

8. 模型测试与检测

现场比赛开始后1小时，开放模型核验装置（见第9节说明），供参赛队模型尺寸检测，参赛队不得长时间占用核验装置进行模型拼装。每参赛队最多2次测试机会，每次3分钟。

9. 模型检查

参赛队在规定时间内提交模型，向工作人员申报表2中第（1）项、（3）项的载重参数，并签字确认。由工作人员指导参赛队员操作，完成船体尺寸检查、船篷尺寸及变形检查，结果经参赛队签字确认。

9.1 船体结构尺寸检查

（1）将船体结构放入内部净空尺寸分别为 $a+10\text{ mm}$ 、 $b+10\text{ mm}$ 、 $c+10\text{ mm}$ 的空心箱体，若船体结构无法水平放入，或放入后其两端（对应最大长度方向）或两侧（对应最大宽度方向）同时接触箱体内壁，则判定其最大长度或最大宽度尺寸不合格。若船体结构水平放入后高出箱体，则判定船体最大高度尺寸不合格；若船体结构水平放入箱体后，因船体总长小于 $a-5\text{ mm}$ ，导致核验空心箱体一端与船体端部富余尺寸超过 15 mm ，则判定船体总长尺寸不合格。

（2）将船体结构放置于海绵垫上，在船体结构规避区 I 放入八边形塑料棱柱体，其尺寸为 $L_I \times B_I \times H_I \times e \times f$ （数值见表1），若八边形塑料棱柱体无法放入规避区 I，或者放入后棱柱体高出船舱两侧（Y轴方向）的船舷，则判定规避区 I 尺寸不合格。

（3）在船体结构规避区 II、III 分别放入尺寸为 $80\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ 、 $80\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 45\text{ mm}$ 的塑料块体，若塑料块体无法放入规避区 II、III，或者放入后塑料块体高于座位区域两侧（Y轴方向）的船舷，则判定规避区 II、III 尺寸不合格；进一步，在规避区 II、III 分别放入 $80\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ 、 $80\text{ mm} \times 60\text{ mm} \times 55\text{ mm}$ 的塑料块体，若塑料块体低于座位区域两侧的船舷，则判定规避区 II、III 尺寸不合格。

9.2 船篷结构尺寸与变形检查

（1）将船篷结构安装于核验底板的凹槽，每道凹槽长 205 mm 、宽 10 mm 、深 20 mm ，各参赛队可选择内侧两道凹槽（中心距 240 mm ）或者外侧两道凹槽（中心距 300 mm ）安装船篷进行核验，见图5（c）所示。若船篷结构无法安装于凹槽，则判定船篷结构尺寸不合格。

（2）船篷结构安装于凹槽后，若因船篷尺寸不足，或者过度变形，导致防水膜不能满铺凹槽以上宽度为 B_{IV} 的尺寸区域（图5a中除安装部位外的区域，允许误差 -5 mm ），则判定船篷结构适用性不足，由专家组酌情扣分。若船篷结构宽度 B_{IV} 大于凹槽长度，则判定其宽度超限，由专家组酌情扣分。

(3) 在安装好的船篷上方，居中放置（对称于 X 轴）一个透明门架，其内部尺寸为长 350 mm（Y 轴方向）、宽 205 mm（X 轴方向）和高 $H_{\max}+5$ mm（Z 轴方向），若船篷顶部与门架横梁内壁接触，则判定船篷结构尺寸不合格。

(4) 在安装好的船篷上表面，覆盖质量为 (500 ± 5) g 的软垫（如图 5d 所示），并将放置在核验底板一端的塑料块体（尺寸 $L_{IV}\times H_{IV}\times B_{IV}$ ，如图 5c 所示）沿核验底板中轴线（X 轴）推送至另一端。若推送过程出现船篷与塑料块体接触，则判定规避区 IV 尺寸不合格。

10. 模型称重

参赛队在规定时间内提交模型，工作人员指导参赛队员，对装配船篷后的船体模型称重，记录乌篷船模型总质量 m 。定位膜、旗杆和旗帜等辅助加载设施质量不计入模型总质量，但系挂于船体结构两端的绳套计入模型总质量。

11. 模型加载过程

参赛队提前半小时候场，候场期间，将旗杆装配于座位平面；在船舱平面放置定位膜 I；领取吸水测试包，并确认质量。等待指令进场，完成陈述、答辩和加载测试。**特别说明：**在砝码放置过程，可以动态调整船篷在船舱船舷的装配位置。

11.1 陈述答辩

参赛队携带安装船篷的船体模型进入加载区域。举手向工作人员示意后，由一名参赛队员进行 1 分钟陈述，随后专家提问，参赛队员回答问题。

11.2 加载准备

陈述答辩结束后，队员举手示意，进入加载环节，开始计时，**总加载时间限时 3 分钟**。参赛队员将乌篷船模型移动至赛道的停泊区（图 7a 所示），调整模型在停泊区内合适位置，开始分级加载。

11.3 一级加载（满分 15 分）

一级加载，参赛队首先在船体一端的座位平面放置定位膜 II，并在其圆形区域放置载重 M_1 （图 13），完成后选手示意，开始 10 秒倒计时。若 10 秒内，不出现 12.2 条所列加载失效情况，判定加载成功；否则，一级加载成绩为零分，不再进行后续测试。

11.4 二级加载（满分 15 分）

二级加载，保持船体一端的一级载重 M_1 ，参赛队继续在船体另一端座位平面放置定位膜 III 和载重 M_1 （图 13）。其次，在船舱定位膜 I 的圆形区域内放置载重 M_2 （图 13），完成后举手示意，开

始 10 秒倒计时。若 10 秒内，不出现 12.2 条所列加载失效情况，判定二级加载成功；否则，二级加载成绩为零分，不再进行后续测试。

11.5 三级加载(满分 50 分)

(1) 二级加载成功后，保持一级、二级加载所有载重，示意工作人员进入三级加载。参赛队布置 n 个坛状砝码，同时，在船舱定位膜 I 中间 $230\text{ mm} \times 130\text{ mm}$ 的矩形区域内（图 9）放置 1 个吸水测试包。

(2) 三级载重布置完成后，参赛队员开启造浪器，举手示意并按下开始按钮，警示灯亮起（同步声），三级加载开始，开始 15 秒倒计时。三级加载开始（警示灯亮起）至 15 秒倒计时结束（3 分钟总加载时间结束），若不出现 12.2 条所列加载失效情况，判三级加载成功，关闭造浪器，卸去船体载重，取出吸水测试包至指定位置称重，并快速离场。

11.6 船体防水性复核

依据吸水测试包的质量变化率 δ 进行船体防水性能评分。

$$\delta = \frac{(m_{w1} - m_{w0})}{m_{w0}} \times 100\%$$

式中 m_{w0} 、 m_{w1} 分别为吸水测试包吸水前和吸水后的质量。

12 评判标准与评分细则

12.1 模型违规评判标准

(1) 携带组委会规定以外的模型材料、预制构件、制作工具等进入模型制作现场，判定为作弊行为，取消比赛资格，并公开通报。

(2) 不满足表 3 关于模型材料使用的相关要求，判定违规，取消加载资格。

(3) 不满足 7.（3）和 7.（4）条关于不得将辅助材料用于模型本身的相关要求，判定违规，取消加载资格。

(4) 不满足 7.（5）条关于模型制作工具的相关规定，判定违规，取消加载资格。

(5) 船体结构尺寸、船篷结构尺寸或规避区 I、II、III、IV 净空不合格，判定违规，取消加载资格。

(6) 船体结构隔水层以外、船舷以上或船篷防水膜以外（背离船舱一侧）设置除辅助加载以外的构件，判定违规，取消加载资格。

(7) 对其他违规情况，专家组酌情处理。

12.2 加载失效评判标准

乌篷船模型分级加载过程中，若出现下列情况之一，判定模型结构失效，终止加载，相应级别的加载成绩为零分。

- (1) 一级、二级加载过程中，载重 M_1 脱离定位膜 II 或 III。
- (2) 砝码落水。
- (3) 船篷完全脱离船体一侧的安装船舷（砝码放置过程调整船篷位置情况除外）。
- (4) 倒计时内，参赛队员触碰模型、砝码、旗杆和旗帜。
- (5) 存在倾倒或疏排船内积水的行为。
- (6) 专家组认定加载失效的其它情况。

12.3 总分构成

- (1) 理论方案分值：5 分
- (2) 制作的模型分值：10 分
- (3) 现场陈述与答辩分值：5 分
- (4) 加载表现分值：80 分

12.4 评分细则

- (1) 理论方案分值 (A_i): 满分 5 分

第 i 队的理论方案得分 A_i ，由专家组根据设计说明书、方案图和计算书内容的科学性、完整性、准确性和图文表达的清晰性与规范性等进行评分。理论方案不得出现任何有关参赛学校和个人的信息。

- (2) 制作的模型分值 (B_i): 满分 10 分

第 i 队制作的模型得分 B_i 由专家组根据船体结构和船篷结构的合理性、创新性、制作质量和美观性等进行评分。结构体系与制作质量各占 5 分，如制作的乌篷船明显偏离“中间宽两头窄，上部宽下部窄”的外形要求，由专家组酌情扣 1~5 分处理。

- (3) 现场陈述与答辩分值 (C_i): 满分 5 分

第 i 队的现场陈述与答辩得分 C_i 由专家组根据参赛队员现场综合表现（内容表述、逻辑思维、创新点和回答对错等）进行评分。

- (4) 加载表现分值 (D_i): 满分 80 分

1) 第一级加载总分 15 分

第一级加载成功，计算第 i 队模型质量系数： $k_{1i} = \{m_{\min}/m_{1i}, 1\}_{\min}$ ，其中， m_{1i} 为第一级加载成功时第 i 队的模型质量， $m_{\min}$ 为通过全部加载的最小模型质量。计算第 i 队模型的载重系数 $p_{1i} = M_{1i}/M_{1,\max}$ ，其中， $M_{1,\max}$ 为一级加载成功的最大负载质量， M_{1i} 为一级加载成功的第 i 队负载质量。

本级加载得分： $D_{1i}=15 \times k_{1i} \times p_{1i}$

2) 第二级加载总分 15 分

第二级加载成功，计算第 i 队模型质量系数： $k_{2i}=\{m_{\min}/m_{2i}, 1\}_{\min}$ 。其中， m_{2i} 为二级加载成功时第 i 队的模型质量。

本级加载得分： $D_{2i}=15 \times k_{2i}$

3) 第三级加载总分 50 分

第三级加载成功，计算第 i 队模型的模型质量系数： $k_{3i}=\{m_{\min}/m_{3i}, 1\}_{\min}$ 。其中， m_{3i} 为三级加载成功时第 i 队的模型质量。计算第 i 队模型的载重系数 $p_{3i}=M_{3i}/M_{3,\max}$ ，其中， $M_{3,\max}$ 为三级加载成功的最大负载质量， M_{1i} 为三级加载成功的第 i 队负载质量。

第三级加载总得分： $D_{3i}=50 \times k_{3i} \times p_{3i}$

(5) 扣分标准 (F_i)

出现下列情况之一，进行扣分，扣分数累计计算，扣分总值记为 F_i ($F_i \leq D_{1i} + D_{2i} + D_{3i}$)。

- 1) 单次模型检验测试时间超过第 8 条所述限制，每超过 1 分钟，扣 2 分，不足 1 分钟按照 1 分钟计算，累计模型检验超时大于 5 分钟，取消加载资格。
- 2) 船篷结构适用性不足或宽度超限，专家酌情扣 1~5 分。
- 3) 加载总时间超过规定的 3 分钟，每超过 30 秒，扣 5 分，不足 30 秒，按 30 秒计；加载总时间超时大于 120 秒，三级加载成绩按零分计。
- 4) 依据吸水测试包质量增加百分率 δ ，判定船舱加载面进水的扣分值，当 $\delta < 100\%$ ，不扣分；当 $100\% \leq \delta < 200\%$ ，扣 5 分；当 $200\% \leq \delta < 300\%$ ，扣 10 分；当 $300\% \leq \delta < 400\%$ ，扣 15 分；当 $\delta \geq 400\%$ ，扣 20 分。
- 5) 专家认定需要酌情扣分的其他情况。

12.5 总分计算式

第 i 队总分计算为： $S_i = A_i + B_i + C_i + D_i - F_i$

其中， $D_i = D_{1i} + D_{2i} + D_{3i}$