



XBOTPARK

松山湖国际机器人产业基地

QEA Boat Final Report

学 院 粤港机器人学院

年 级 黄埔三期

组 员 赖德盛、陈帅
 李晓蓬、李咏恒

助教 马飞翔、岑兴设
 何增丰、吴凯荣

指导老师 洪颖傑

2019 年 10 月 18 日

目录

项目介绍.....	3
技术背景.....	3
船体设计.....	4
物理设计与制造.....	8
最终性能.....	10

摘要

此项目研究了能够满足特定性能要求的模型船的设计，仿真以及制造过程，例如漂浮在水面且稳性消失角在 120° 至 140° 之间的模型。在“项目介绍”部分中概述了这些要求，在“技术背景”部分中介绍了基本概念，例如稳性消失角。为了求出定义船体表面的方程式，我们迭代了许多次方程式和曲线图，这些方程式和曲线图都已经在“船体设计”部分列出。数学计算得出最终设计的稳性消失角的过程涉及到计算船体的重心，浮心以及这两点之间的扶正力矩。在“计算稳性消失角”部分中进一步解释了此过程。在 Matlab 中为最终船体设计创建了工作模拟之后，我们在 SolidWorks 中重新创建了船形，然后进行了激光切割和组装，如“物理设计和制造”部分所述。经过测试，该船成功浮起，能够以高达 130° 的任何角度对正。“性能和分析”部分将对船的测试进行更详细的分析。

项目介绍

在这个项目中，我们设计并数学计算了可以完成预定任务的模型船的物理特性。最终设计出的船要在满载情况下在水中平浮，其稳性消失角（在下一节中有更详细的说明）在 120° 至 140° 之间，最大计算的扶正力矩至少为 $0.2 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，尽可能快，并且看起来尽可能专业。该船的计算和总体设计建模是在 Matlab 中完成的，而切割图纸在 SolidWorks 中完成。最后的船是使用激光切割的硬木板， 1000ml 水瓶作为压载物，热缩塑料作为外表面而建造的。

技术背景

船的消失稳定角 (AVS) 是角度 θ ，在该角度处，它不再能自动回倾并且倾覆。船上有一个力矩臂，力矩臂是由质量中心 (COM) 与浮力中心 (COB) 之间的距离创建的，浮力作用在该臂上以产生扭矩，如图 1 所示。从正到负，船达到其 AVS 并倾覆，如图 2 所示。当浮力产生的扭矩使船回到稳定平衡的原始位置时，它就是恢复力矩。为此，COB 必须与 COM 几乎垂直对齐。如果这两个点稍微偏离对齐状态，则会产生一个扶正扭矩，将两个点推回到对齐状态。两点对齐的下一个可能角度是不稳定的平衡，这意味着如果稍微偏移，系统将无法恢复到其原始状态。

当系统稍微偏离不稳定的平衡状态时，所产生的扭矩将改变角度，以使两点变得更加偏离对齐状态。

船体设计

在 Night 6 的作业中（图 1-1），我们得知当船底形状越平，该船的重心就越低，船在载重的时候也越不容易倾斜，船的平衡性比较好。

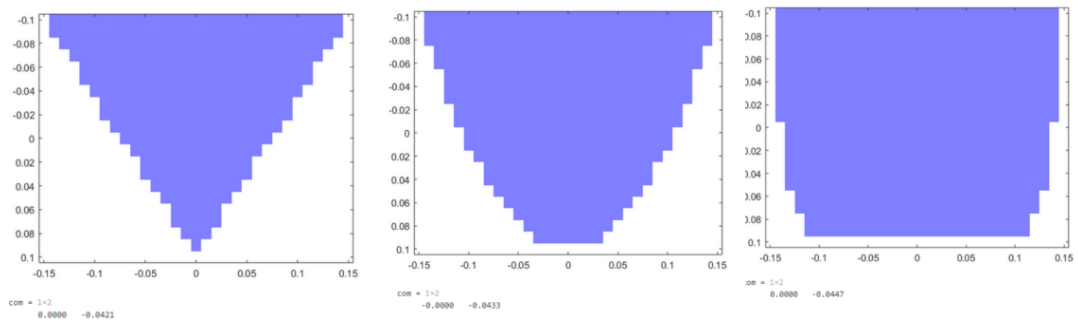


图 3-1 不同船底形状的重心

除此之外在 Day 6 的课堂上（图 1-2 右图），在分析图上的几个形状时我们对圆到圆的扶正力矩为 0，而平底的正方形则扶正力矩在倾斜 45° 前仍为正，且当质量全集中在船底（即重心非常低时），矩形的图形翻到接近 180° 时扶正力矩仍为正。所以当船底越平、重心越低时，船扶正力矩不变号的倾斜角度越大，变化曲线如图 1-2 左所示。

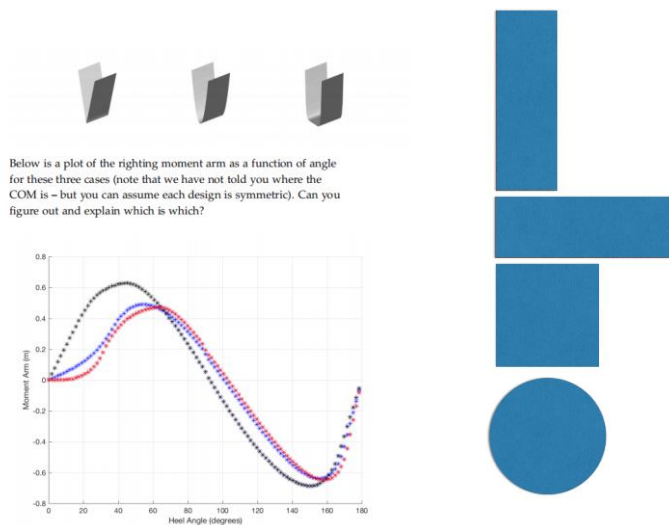


图 3-2 船底形状与其倾斜角度的力矩曲线（左）、Day6 课堂分析图（右）

所以要使得船倾斜大角度可以翻回原点，我们的小船需要更平的船底，更低的重心。而一般的船底函数都是抛物线或者二次函数曲线，要获得更平的船底我们决定使用分段函数的形式去对船体形状进行建模。

在小组讨论重物的形式为加两个水瓶在船底后，为使得船型好看，采用了椭圆底作为重物仓以降低重心，重物仓将没过水面。而为了减小的大小，采用能够包含两个圆的最小椭圆。即 $a - c = r$ (r 为重物半径， ab 为椭圆参数)，重物的圆心在椭圆的两个焦点，测量可乐瓶的半径约为 3cm，算的椭圆参数：

$$a = 0.08\text{m} \quad c = 0.04\text{m} \quad b = 0.04\sqrt{3}\text{m}, \quad \text{椭圆方程为 } \frac{y^2}{0.0064} + \frac{z^2}{0.0048} = 1。$$



图 3-3 船底椭圆与重物位置

而水面上的船底为平底，因为水面上平底船底能够保持比较好的稳定性，在船上放其他重物时平船底的平稳性好，不会导致严重侧倾。如图 1-4 所示，当 $n=2$ 时开始的扶正力矩比 $n=10$ 的扶正力矩小。所以我们水面上的采用平底，以减小船在放不平衡的重物时导致船无法保持水平的问题。

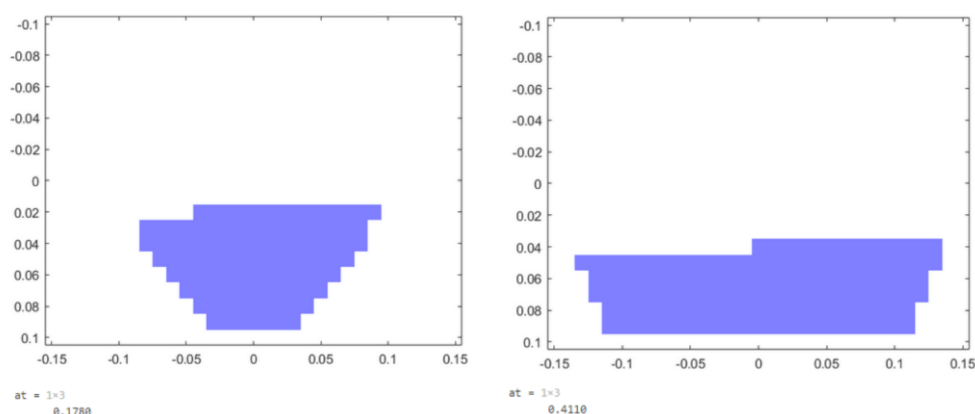


图 3-4 平底与尖底在小角度的力矩比较

水面上的模型我们使用分段函数：

$$\begin{cases} -4x - 0.46; (x \leq -0.12) \\ -0.5x - 0.04; (-0.12 < x < -0.08) \\ 0.5x - 0.04; (0.12 < x < 0.08) \\ 4x - 0.46; (x \geq 0.12) \end{cases},$$

船的总函数：

$$\begin{cases} -4x - 0.46; (x \leq -0.12) \\ -0.5x - 0.04; (-0.12 < x < -0.08) \\ \frac{y^2}{0.0064} + \frac{z^2}{0.0048} = 1; (-0.08 < x < 0.08) \\ 0.5x - 0.04; (0.12 < x < 0.08) \\ 4x - 0.46; (x \geq 0.12) \end{cases}$$

最后我们得出船底模型为图，图中蓝色线为水线。

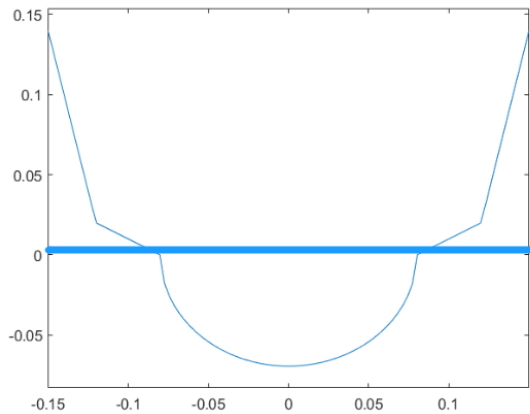


图 3-5 船的 YZ 平面模型与预想水线

套入公式，得 3D 船体函数：

$$\frac{2x^6}{L} - z + \begin{cases} -4y - 0.46; (y \leq -0.12) \\ -0.5y - 0.04; (-0.12 < y < -0.08) \\ \frac{y^2}{0.0064} + \frac{z^2}{0.0048} = 1; (-0.08 < y < 0.08) \\ 0.5y - 0.04; (0.12 < y < 0.08) \\ 4y - 0.46; (y \geq 0.12) \end{cases}$$

船体的 3D 模型如图所示：

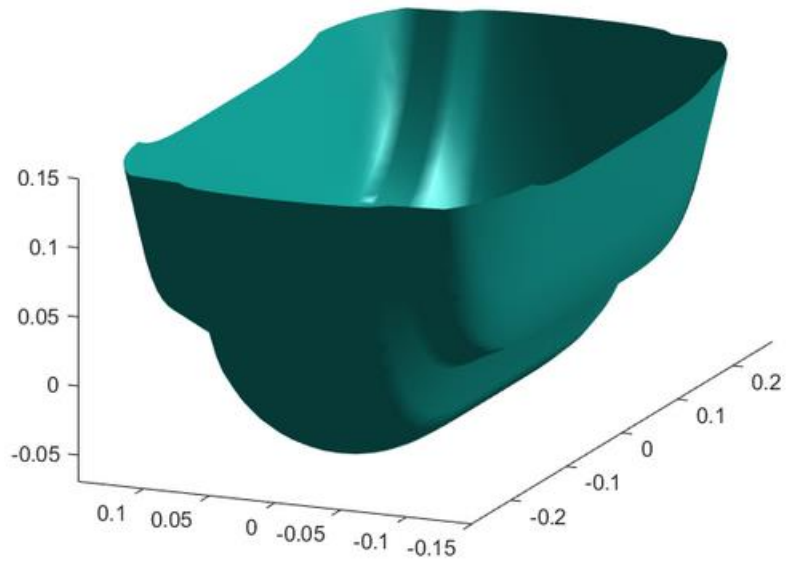
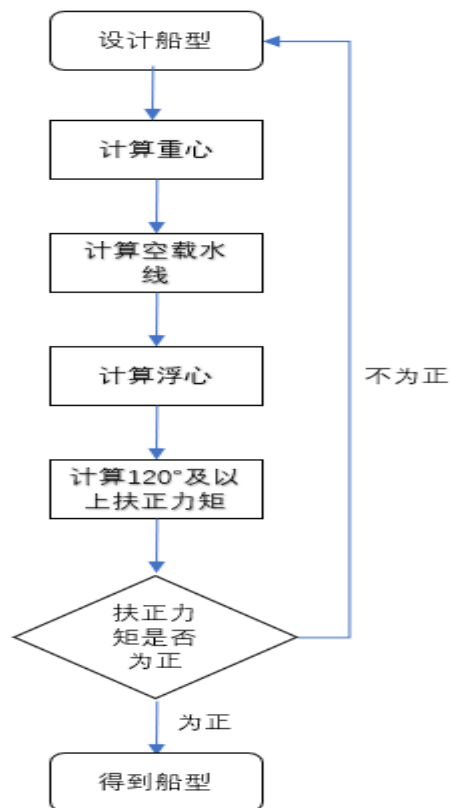


图 3-6MATLAB 的船外壳图

· 扶正力矩仿真计算:

我们在构思出船的函数之后，验算我们所设计的船是否能倾斜 120° 便是这一阶段的首要任务。

1. 计算流程:



2. 计算过程:

在得到船的函数后,便开始计算船的重心。根据以前作业的做法,需按照以下几步来计算。

1. 使用 `computehull` 函数画出船的轮廓。

```
function hull = computehull(mesh,boat)
hull = mesh.ygrid > (-4*mesh.xs-0.46).*(mesh.xs<=-0.12)+(-
0.5*mesh.xs-0.04).*(mesh.xs>-0.12&mesh.xs<-0.08)+(-sqrt(3/4*(0.0064-
mesh.xs.^2))).*(mesh.xs>=-0.08&mesh.xs<=0.08)+(0.5*mesh.xs-
0.04).*(mesh.xs<0.12&mesh.xs>0.08)+(4*mesh.xs-0.46).*(mesh.xs>=0.12)
end
```

2. 计算船,重物以及桅杆的重心,然后使用整体重心位置的数学确定方法——

已知 $M=m_1+m_2+\dots+m_i$, 设该物体重心为 $G(X, Y, Z)$

则 $X=(x_1m_1+x_2m_2+\dots+x_im_i)/M$

$Y=(y_1m_1+y_2m_2+\dots+y_im_i)/M$

$Z=(z_1m_1+z_2m_2+\dots+z_im_i)/M$

来进行求解。但是要想求出船,重物以及桅杆的重心,我们必须先知道船的密度或者船的质量,但是船尚在设计阶段中,不可能知道成品船会有多重,于是我们上网查找了一些资料,查出木板的密度大概是**0.4-0.75 克每立方厘米,因其含水量不同而不同**。于是我们根据之前布置的作业,将船的密度设为 0.5 克每立方厘米进行计算。

同时,在计算重心的过程中,我们采取了取巧的办法,直接把船当成均匀密度的物体来计算。如果在 `matlab` 中使用均匀密度仿真出的船都可以实现 120° 翻转,那么实际中的船必然可以实现。且以后的各个步骤中,船都被当成了均匀密度的物体来处理。


```

% 计算COM
boat.num_cells = matrixsum(boat.hull);
boat.area = boat.num_cells * (dx * dy);
boat.volume = boat.area * boat.L;
boat.mass = boat.volume * boat.density; % 使用微分计算出船重
boat.mass_per_cell = boat.mass / boat.num_cells;
masses = boat.hull * boat.mass_per_cell; % ?
boat.masses = matrixsum(boat.hull * boat.mass_per_cell) ;
COM = centerOfMass(masses,mesh)

```

```

COM = 1×2
    0.0000    0.0530

```

```

COM1 = (COM*0.3+[-0.04,0]*0.4+[0.04,0]*0.4)/0.9

```

```

COM1 = 1×2
    0    0.0177

```

3. 使用 `fzero` 函数计算出船在空载时的水线，从而可以画出水线图，定义淹没区域，算出浮心。

```

function out = OneDimBoat2(waterline)

```

```

mass = 1.46;

```

```

areaD = 0.0426;

```

```

density = 1000;

```

```

    submergedmass = waterline * areaD * density; % 这里的密度是水的密度

```

```

    out = submergedmass - mass;

```

```

end

```

```

d = fzero(@OneDimBoat2,0) % 空载时的水线
                        (计算空载水线)

```

```

function COM = centerOfMass(masses,mesh)
M = matrixsum(masses);
xcom = matrixsum(masses .* mesh.xgrid) / M;
ycom = matrixsum(masses .* mesh.ygrid) / M;
COM = [xcom,ycom];

```

```

end

```

```

COB2 = centerOfMass(sub_region,mesh)

```

```

                        (计算浮心)

```

4. 最后计算扶正力矩

```
% 扶正力矩和力臂
% 小于 90°
COB1 = [0.0210,0.0285,0];
COM = [0,0.0177,0];
rigmarm = COB1 - COM;
F = [-sind(theta1)*1.46*9.8,cosd(theta1)*1.46*9.8,0];
rigm = cross(rigmarm,F) % 10°
```

(10° 时的扶正力矩代码)

```
% 大于 90°
COB2 = [0.0055,0.054,0];
rigmarm = COB2 - COM;
F = [-sin(theta2)*1.46*9.8,cos(theta2)*1.46*9.8,0];
rigm = cross(rigmarm,F) % 140°
```

(140° 时的扶正力矩代码)

· 失败的地方

由于我们小组前期没有弄清楚题目，以为用于测试载重的 1kg 重物一直放在船上完成侧翻 120° 的动作，导致我一开始的设计思路就是将测试载重的重物用作我们的重物，所以设计的椭圆大小是留用于放两个可乐瓶的大小，以至于后面船体过于庞大。

除此之外，由于我们在包装时没有找到较为合适的包装方法，整体包装较为潦草，而且为了防水进行了多层包装，从而使包装纸的形状掩盖了龙骨本来的形状，导致这一设计没有发挥应有的作用。

物理设计与制造

龙骨及 XZ 平面的设计：

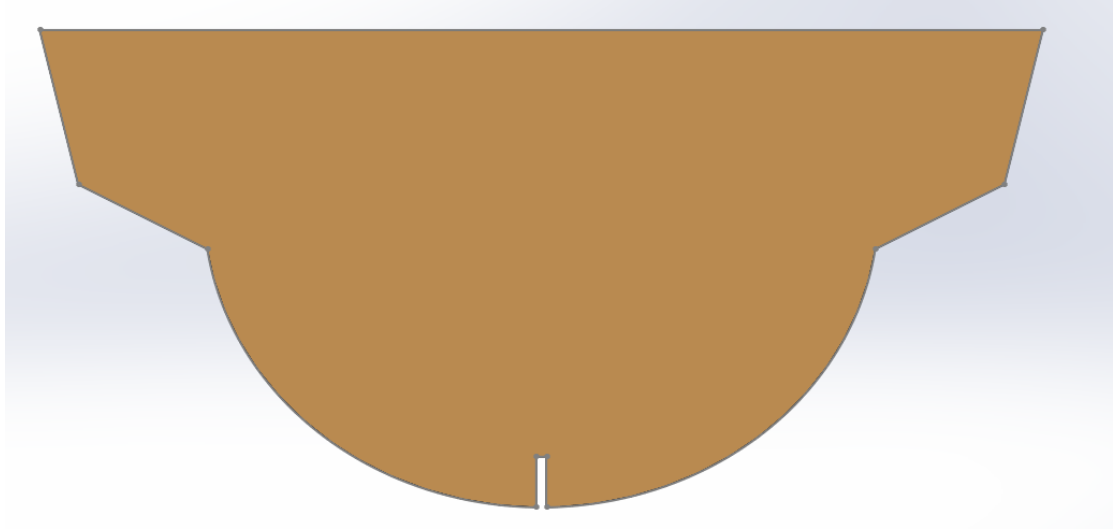


图 5-1 船的龙骨

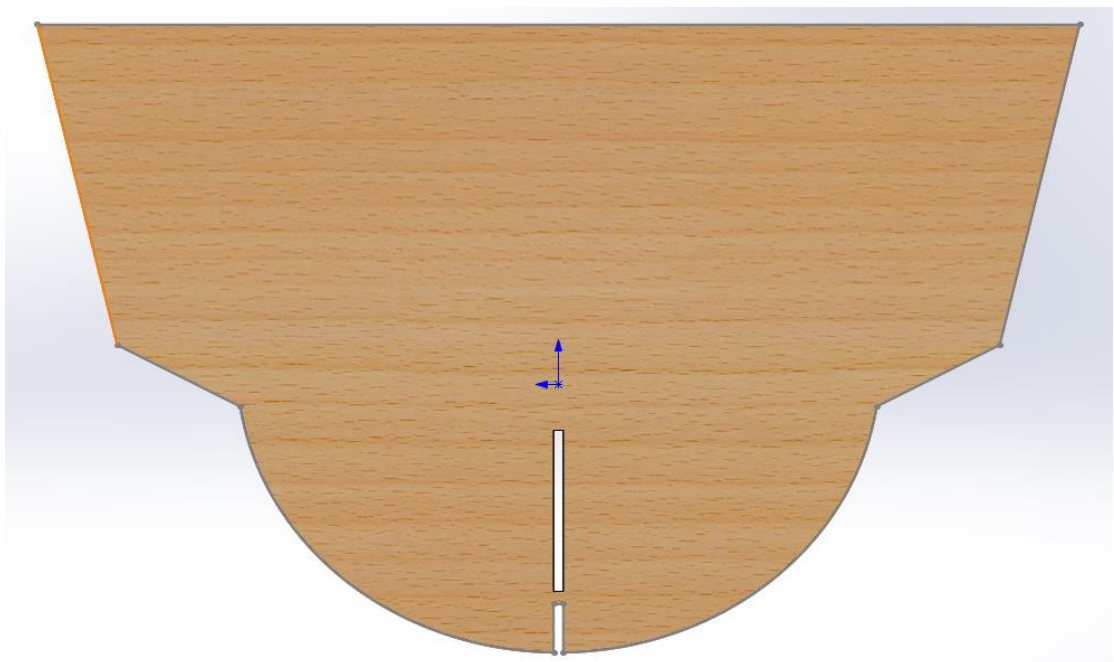


图 5-2 船的龙骨

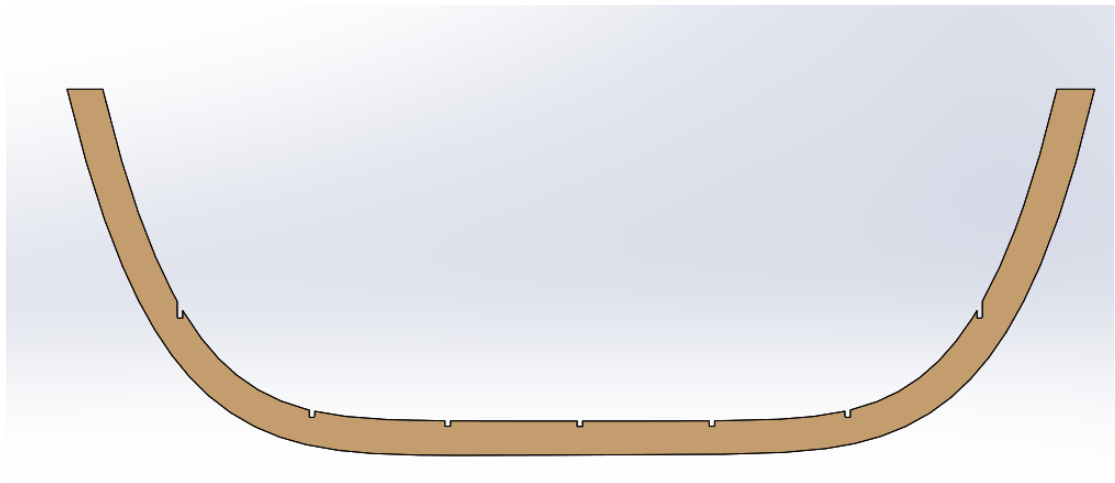
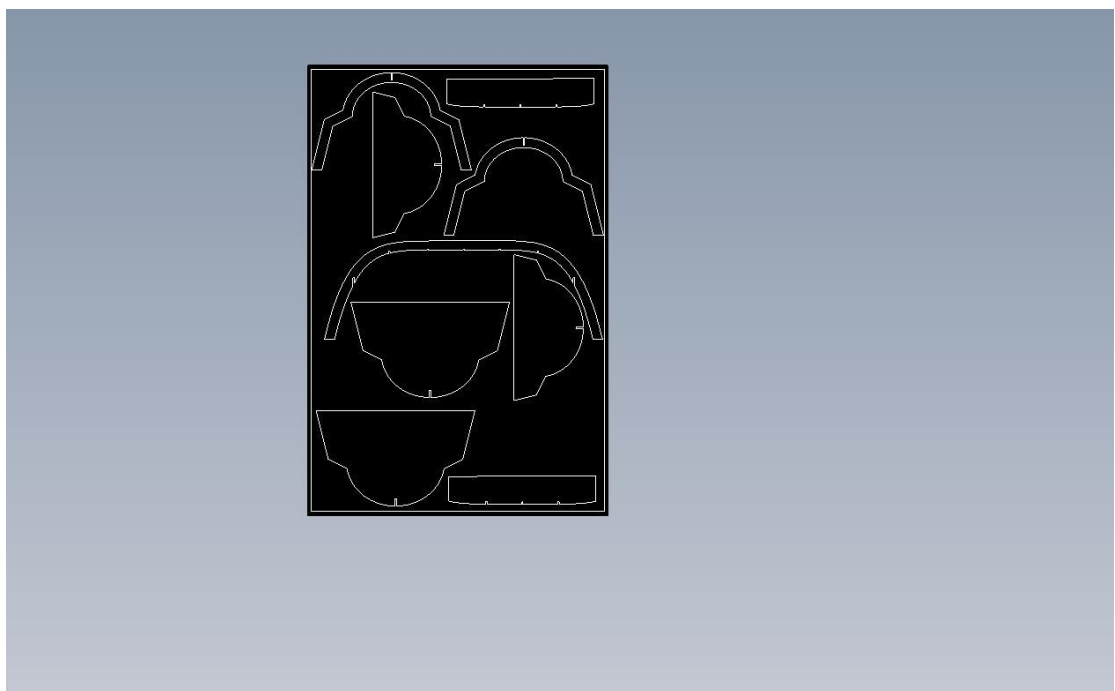
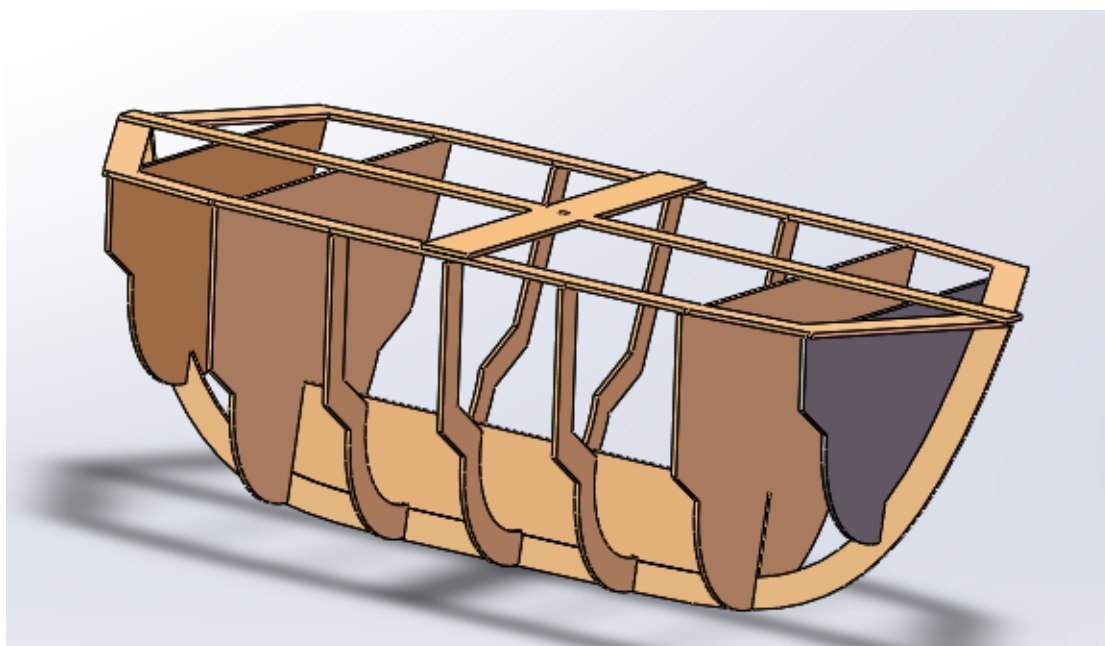


图 5-3 船的 XZ 平面设计

船的龙骨主要是在 MATLAB 中写好方程之后在 Solidworks 上方程式驱动曲线，并设置船的整体高度为 20cm，在这个的基础上在再上方做一个镂空的甲板固定船的形状（最后因为木板大小限制没有切出来），这样设计的依据将原点设置在船的正中心底部，在 YZ 平面上，X 取两个相反数设计左右两个龙骨，通过 X 取的不同的值设置不同大小的龙骨，使得侧边形状可以显现出来，当然，在这次设计中，由于我们设计的船只较大，导致我们的龙骨数量较少，在经过几次包裹后，形状不太明显，这是这次试验的一大遗憾。同时，我们中间的龙骨采取非实心，这样有助于我们在中间放两瓶水作为加的重量。





最终性能

在测试当天，在我们加入重物后，船可以基本与水面保持平齐，根据我们前面的计算，我们在船的內部左右两侧加入两瓶 500ml 水视作 1kg 的加重，船的稳定性大大提高，前面的计算中，我们预测的 AVS 也大于 120° ，当天，我们测试时尝试翻过 140° 左右，船基本也能翻回来，当然，我们的密封性做的不算太好，导致有一小部分区域进了少量水。

反思

这次的船体设计最大的问题便是我们的船体大小设计的太大，导致木材不够切的同时也出现了很多的其他方面的疏漏，板材太少也使得无法迭代，前期的数值计算我们做的也并不算特别严谨，这在设计工作中是不应该出现的。在前期我们只想着快点把船做出来而没有真正考虑做出来的效果，比如，我们在切出木板之后才开始考虑用什么东西包裹导致后期的工作十分匆忙。