



武汉大学

WUHAN UNIVERSITY

第十届 全国大学生机械创新设计大赛

作品设计说明书

作 品 名 称 : 智能仿生机器鱼

设 计 者 : 张蕊佳、周文科、年自斌、贺小丫、罗宁

指 导 老 师 : 李登、张志强

参 赛 单 位 : 武汉大学

2022 年 5 月

目录

1. 研究背景及意义	2
1.1. 选题背景	2
1.2. 解决的问题及意义	2
2. 总体方案设计	3
2.1. 设计内容	3
2.2. 主要结构的初步设计	4
3. 结构设计及计算	10
3.1. 推进机构设计及计算	10
3.2. 俯仰角计算	13
3.3. 深度计算	15
3.4. 胸鳍旋转角度计算	15
4. 建模与仿真	16
4.1. 二维图纸	16
4.2. 三维建模	18
4.3. 仿真分析	19
5. 控制系统设计	20
5.1. 控制原理	20
5.2. 电气选型	20
5.3. 控制程序（见附件一）	23
6. 创新点与应用前景	23
6.1. 创新亮点	23
6.2. 应用前景	23
参考文献.....	24
附件一 控制程序.....	1
附录二 图纸.....	12

智能仿生机器鱼

设计者：张蕊佳、周文科、年自斌、贺小丫、罗宁

指导老师：李登、张志强

（武汉大学动力与机械学院 430072）

【摘要】本发明针对近年来仿生机器鱼成为水下航行器热点研究领域，普遍存在仿真程度不高这一情况，提供一种基于复合连杆机构的尾鳍推进智能仿生机器鱼，可实现尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动，高度拟合鱼尾摆动轨迹，实现直线巡游、转向、沉浮等动作，具备无线遥控、程控游动和自主游动等多种控制方式。本作品包括鱼头外壳、鱼尾骨架、尾鳍推进模块、沉浮机构、胸鳍机构和控制模块，本作品仿真程度高，可操纵性强，机构精简，推进效率高。

【关键词】智能仿生机器鱼 尾鳍推进 复合连杆机构 自主游动

作品内容简介：本项目旨在为仿生鱼的设计和研发提供一种创新思路，符合大赛主题“仿生机械”。目前大部分仿生机器鱼尾部采用多关节串联驱动方式，通过多个电机的程控来模拟鱼尾的真实动作，控制复杂，拟合效果不理想。

本项目设计了一种基于复合连杆机构的智能仿生机器鱼，可实现巡游、转向、沉浮等动作，具备无线遥控、程控游动和自主游动等多种控制方式。其中，尾鳍采用复合连杆机构可高度拟合鱼尾实际运动轨迹；控制模块包括树莓派、超声波传感器、陀螺仪和摄像头等智能控制元件，可实时检测并反馈机器鱼姿态、位置等信息，实现智能控制。本作品已于今年二月份提交了专利申请。本作品外观结构图如图1所示：

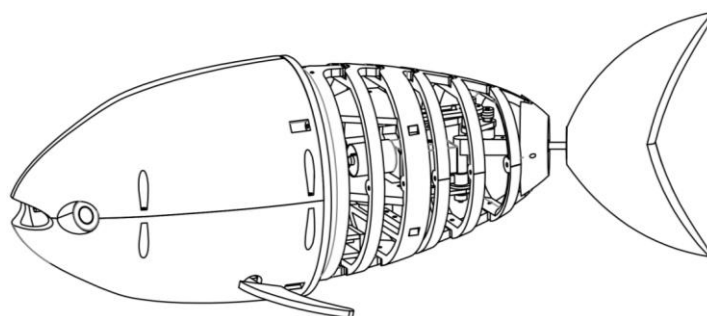


图1 外观结构示意图

1. 研究背景及意义

1.1. 选题背景

仿鱼推进的水下航行器的研究将对海洋船舶、潜水艇等航行器的推进方式的改进具有重要意义。同时，也为海洋领域的相关研究，例如：减少环境污染保护海洋环境、开发海洋商业前景、追踪稀有海洋生物以及海洋军事作战等提供重要的技术支持。不同巡游模式的仿生机器鱼样机陆续在国内外研制成功。这些样机的推进性能主要由仿生推进模式、仿生运动结构和自身的传动方式来决定。

目前对仿鱼推进机构的研究主要集中在尾鳍推进方式的鱼类。大部分仿生机器鱼尾部采用多关节串联驱动方式，通过控制每个电机的运动来控制每节鱼体的摆动角度和速度，以此来拟合鱼的游动身体曲线，但是这种方法控制复杂，难以灵活模拟鱼尾的运动。

1.2. 解决的问题及意义

针对现有问题，本小组提一种以尾鳍推进模式为主的智能仿生机器鱼，能高度拟合鱼身运动曲线，同时具有较高的推进效率和自主游动能力。借助正弦机构的思路，我们提出了一种基于复合连杆机构的尾鳍推进智能仿生机器鱼，对其要求为：

- 1) 尾部推进机构可实现尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动；
- 2) 具有直线巡游、转向、沉浮等基本功能；
- 3) 具有无线遥控、自主游动两种控制模式；
- 4) 防水可靠，控制简单。

仿生机器鱼是采用鱼类游动的高速、高效率、机动性好、低噪声等特点的推进方式，其目的是研制开发出高效、高机动性、智能化的水下作业机器人系统、水下运载器，用以解决人类工作、生活所面临的具体问题，其研究内容具有重要的现实意义和直接的应用价值。

本作品在对机器鱼研究现状进行综合分析的基础上，对机器鱼尾部推进机制进行了研究，为仿生机器鱼推进机构的研究提供了新的思路。同时，本作品的设计原理也可应用于其他水下推进器的研究与应用。

2. 总体方案设计

2.1. 设计内容

2.1.1. 总体结构

机器鱼包括鱼头外壳、鱼尾模块、鱼尾骨架、胸鳍机构、沉浮机构、控制模块；鱼尾模块包括推进机构、转向舵机、尾鳍；胸鳍机构、控制模块安装在鱼头外壳内部，鱼尾骨架与鱼头固连，鱼尾模块、沉浮机构安装在鱼尾骨架内部，尾鳍与鱼尾骨架、推进机构相连；控制模块通过控制鱼尾模块、胸鳍机构和沉浮机构的运动，带动尾鳍和鱼尾骨架完成摆动动作，带动胸鳍完成拍动动作，同时调整鱼体俯仰角度实现上浮下潜。图 2 为机器鱼效果图。

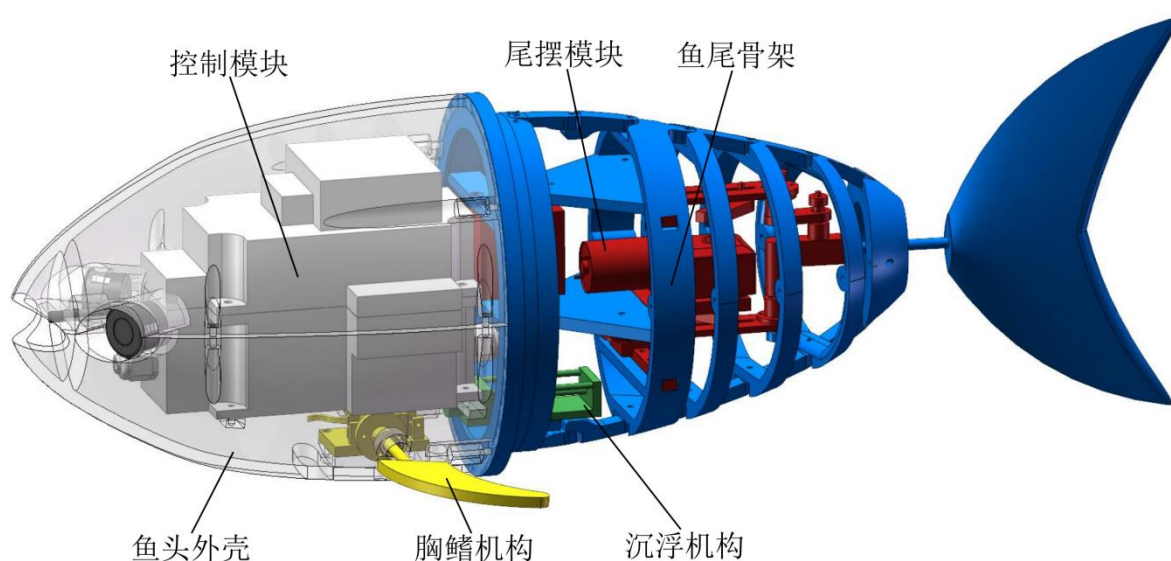


图 2 机器鱼效果图

机器鱼在设计时，参考活鱼结构尺寸，将机器鱼结构尺寸成比例放大，设定鱼头部长 220mm，躯干部长 110mm，鱼尾部长 220mm。

2.1.2. 基本功能

1) 直线巡游：双轴直流电机匀速转动，带动第一曲柄、第二曲柄匀速转动，继而带动第一滑槽、第二滑槽以 $\pi/2$ 恒定相位差沿导轨方向做正弦运动，第一连杆和第二连杆的较

接点做类正弦运动，实现尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动，高度拟合鱼尾摆动轨迹，提供机器鱼前进推力；尾鳍摆动带动尾端支撑骨架相对鱼体轴线产生平移和转动，继而带动鱼尾骨架转动形成鱼体曲线，极大地提高了机器鱼的外壳柔性和仿真程度。

2) 转向：双轴舵机转动带动尾摆机架相对轴线方向转动，同时，双轴直流电机转动，提供前进推力，实现转向。

3) 沉浮机构中步进电机转动，带动丝杠转动，带动滑块及其上的配重沿鱼体轴线方向做直线运动，配重位置的改变会引起鱼身整体重心的位置，进而改变鱼身俯仰角。滑块前移，鱼身重心也随之前移，鱼尾摆动即可使鱼下沉，相反，鱼则上浮。控制胸鳍机构中的舵机转动，辅助沉浮过程提供升力。

2.2. 主要结构的初步设计

2.2.1. 鱼尾模块方案设计

1) 设计目的：

通过电机单向转动实现尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动，要求高度拟合鱼尾摆动轨迹（即尾鳍和尾柄分别以类正弦曲线和正弦曲线的运动耦合模仿特定相位差的尾部运动；通过推进机架前的舵机转动，使推进方向与鱼体轴线形成一定角度，实现转向。

2) 推进方案构思：

本作品将鱼体后五分之二设定为尾摆推进观测点，采用二节点模式，定义为 ABC ；以尾柄和尾鳍的连接点为尾柄移动观测参考点，定义为 B 点；以尾鳍末端为尾鳍摆动观测参考点，定义为 C 点， B 点在垂直于鱼体前进方向的横向位移变化抽象为尾柄的往复运动，行程为 H ， B 、 C 两点连线与鱼前进方向的夹角变化抽象为尾鳍的摆动运动，尾鳍摆角为 θ ，如图 3 所示。

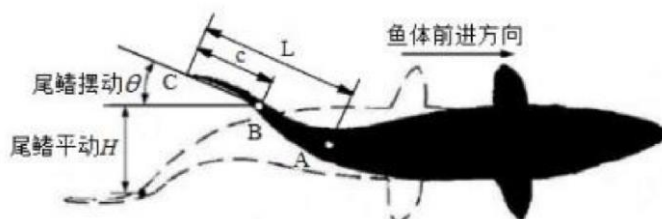


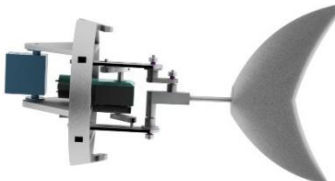


图 3 尾部运动示意图

3) 设计过程:

表 1 鱼尾模块设计表

编号	具体细节	特点	示意图
1	<ul style="list-style-type: none"> 具备初步转向和摆动功能; 电机通过锥齿轮换向带动上下曲柄以 $\pi/2$ 的相位差转动; 曲柄、连杆采用激光切割方式制作。 	<ul style="list-style-type: none"> 激光切割加工误差大; 连杆之间连接方式复杂, 且锥齿轮传动对配合精度要求较高。 	
2	<ul style="list-style-type: none"> 将锥齿轮换向驱动方式换成双轴直流电机驱动; 尾鳍插入连杆, 连杆再与上下从动杆配合; 曲柄、连杆采用数控机创加工铝合金制成。 	<ul style="list-style-type: none"> 运动顺滑, 配合精度显著提高; 机架与舵机连杆结构不够精简。 	
3	<ul style="list-style-type: none"> 改进机架以适应鱼身; 改进舵机连杆以提高空间利用率; 改进连杆以适应数控加工, 提高加工精度。 	<ul style="list-style-type: none"> 运动顺滑, 结构精简, 便于连接鱼尾骨架 	

经过三代方案的制作、优化和选取, 结合表 1 分析, 我们最终选择精度高且运行顺滑的方案三。

该技术方案具体内容如下:

双轴直流电机 2 固设在尾摆机架 3 上, 双轴舵机 1 输出轴两端通过舵盘与尾摆机架 3 连接。第一曲柄 4 一端通过螺栓夹紧的方式固定在双轴直流电机 2 输出轴上端, 第二曲柄 10 一端通过螺栓夹紧的方式固定在双轴直流电机 2 输出轴下端, 第一曲柄 4 沿柄长方向与第二曲柄 10 沿柄长方向相互垂直; 第一滑槽 5 一端的孔与第一连杆 6 一端的凸台同轴心配合, 另一端通过导轨滑块相对尾摆机架 3 平移滑动; 第二滑槽 9 一端的孔与第二连杆 8 一端的凸台同轴心配合, 另一端通过导轨滑块相对尾摆机架 3 平移滑动; 第一曲柄 4 一端的凸台插入第一滑槽 5 中相切滑动, 第二曲柄 10 一端的凸台插入第二滑槽 9 中相切滑动;

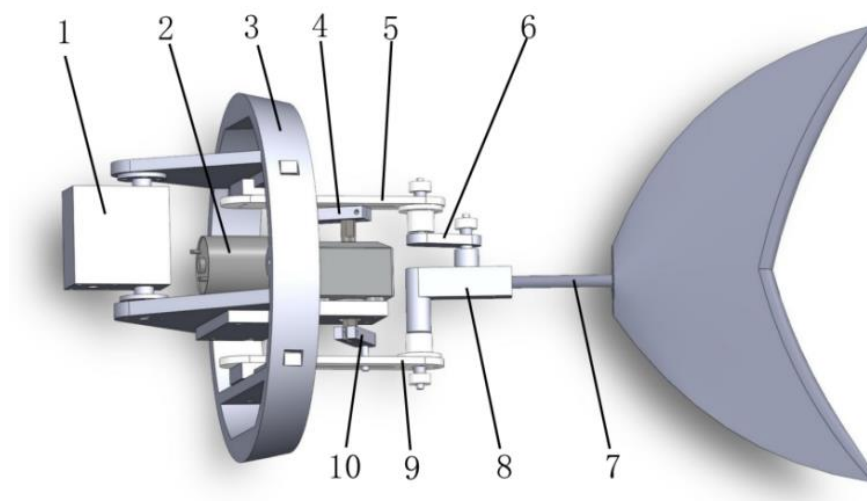


图4 尾摆机构设计方案

1-舵机；2-双轴直流电机；3-尾摆机架；4-第一曲柄；5-第一滑槽；6-第一连杆；7-尾鳍；8-第二连杆；9-第二滑槽；10-第二曲柄

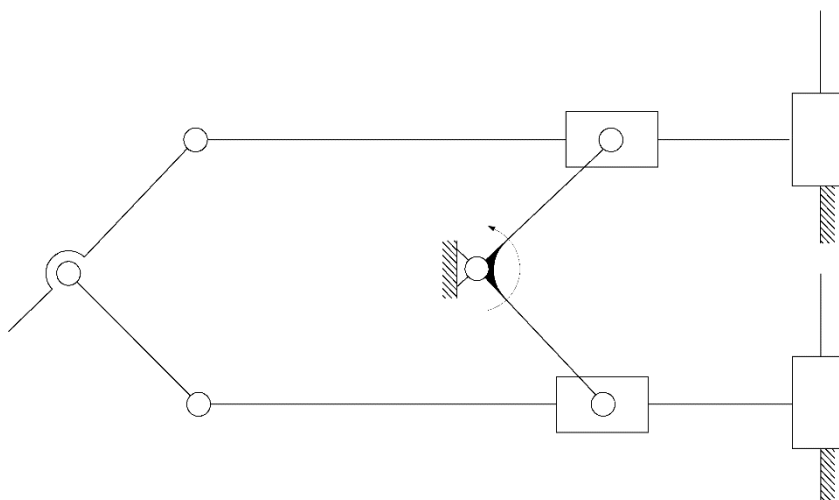


图5 推进机构传动简图

第一连杆6一端的孔与第二连杆8一端的凸台同轴心配合，尾鳍7前端连接柱通过螺纹安装在第二连杆8沿杆长方向设置的尾鳍安装孔内。双轴直流电机2转动带动第一曲柄4、第二曲柄10以 $\pi/2$ 的相位差转动，带动第一滑槽5、第二滑槽9以 $\pi/2$ 的相位差沿导轨方向做正弦运动，带动第一连杆6和第二连杆8的铰接点做类正弦运动，实现尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动，提供机器鱼前进推力；双轴舵机1转动带动尾摆机架3转动，实现转向。

2.2.2. 鱼尾骨架设计

1) 设计目的：连接鱼头和尾摆机构，作为机架固定尾摆机构，根据鱼体尺寸将鱼尾分为多段串联，提高鱼尾摆动柔性和机器鱼仿真程度。

2) 方案细节及特点：鱼尾骨架包括依次铰接在一起的多个支撑骨架，两相邻支撑骨架可相对转动，其中首端的支撑骨架与鱼头固连，末端支撑骨架滑动设置在尾鳍前端连接柱上，与尾鳍滑动连接。进一步地，所述相邻两节支撑骨架中，靠近头部侧的支撑骨架后端设有一扇形凹槽，远离头部侧的支撑骨架的前端设有一凸起，前一支撑骨架的凹槽与后一支撑骨架的凸起上下叠置且通过销轴铰接，两相邻支撑骨架可在一定角度内相对转动。

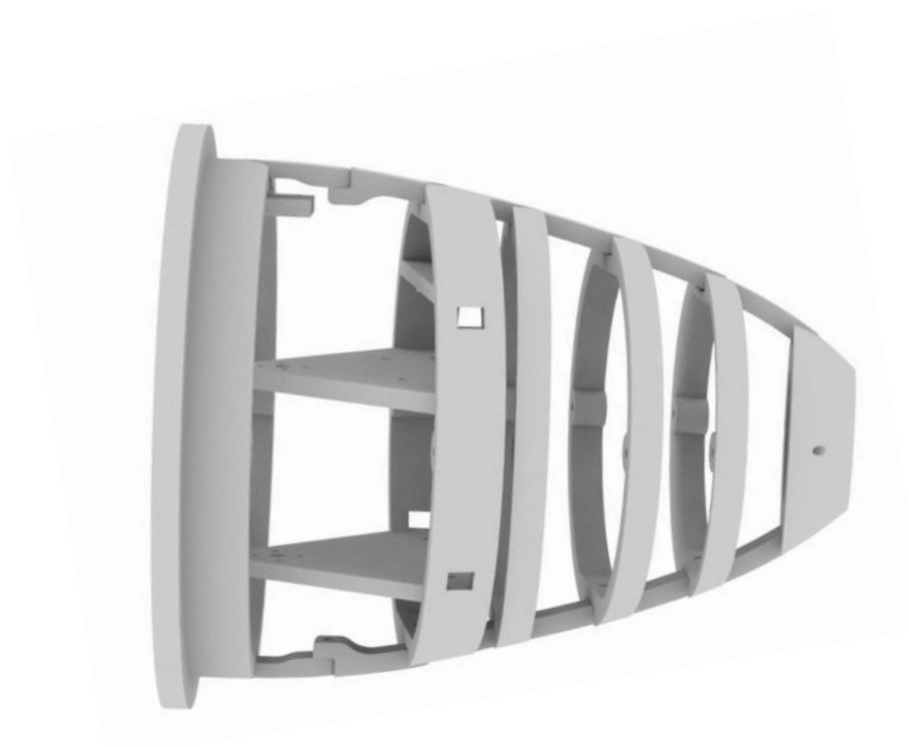


图 6 鱼尾骨架示意图

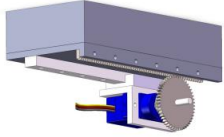

2.2.3. 沉浮机构设计

1) 设计思路：通过移动配重块水平位置调整机器鱼重心，在重力与浮力共同作用下提供力矩，形成一定的俯仰角，与推进机构共同工作实现沉浮运动。

2) 设计过程：

表 2 沉浮机构设计表

总体方案设计

编号	具体细节	特点	示意图
1	采用齿轮齿条机构，齿条与配重通过固定板连接。	结构复杂，对配合精度要求较高，且空间利用率较低。	
2	采用丝杠机构，配重固定于滑块上。	结构简单，对配合精度要求较低，提高空间利用率。	

经过两代方案的制作、优化和选取，结合表 2 分析，我们最终选择结构精简且空间利用率较高的方案三。

2.2.4. 胸鳍机构设计

- 1) 设计目的：辅助鱼尾推进和沉浮运动。
- 2) 设计过程：

表 3 胸鳍机构设计表

编号	具体细节	特点	示意图
1	多鳍骨折叠式胸鳍，适用于跃水功能	创新性强；机构复杂，理论计算和实际制作难度较大。	
2	上下拍翼机构，辅助沉浮运动提供升力。	拍翼机构工作时，舵机反复反转，对机构损耗较大，辅助作用不够明显。	
3	摇翼机构，通过迎水面和背水面的压强差产生升力，辅助沉浮运动	摇翼机构工作时，只需单向转动一定角度，结构精简，控制简单，节约空间。	



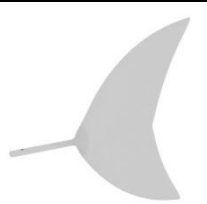
经过三代方案的制作、优化和选取，结合表 3 分析，我们最终选择制作简单且节约空间的方案三。

2.2.5. 尾鳍形状设计

1) 设计思路：尾鳍是机器鱼推进机构直接与水接触产生动力的零件。对真实鱼类来说，不同的尾鳍形状对其游动特征有很大的影响，对机器鱼来说，尾鳍形状影响电机实际做功转化为其前进动能的效率。依据形状不同尾鳍可分为 3 类： 第一种是圆形尾鳍，尾椎的末端平直伸展至尾的末端呈圆形，尾鳍上下叶大致相等；第二种类型是歪形尾鳍，尾鳍分上下两叶，尾椎末端稍曲，向上伸展到尾鳍的上叶内；第三种类型是正形尾鳍，分为上下对称的两叶，尾椎末端仅达尾鳍的基部而稍上翘，保留了歪形尾椎的痕迹。

2) 设计过程：

表 4 尾鳍形状设计表

编号	具体细节	特点	示意图
1	圆尾鱼式尾鳍	面积较大，容易造成较大阻力。	
2	鲤鱼式式尾鳍	成一种叉形，其加速和平稳性较好，面积较小从而产生阻力较小。	
3	金枪鱼式尾鳍	形状为新月形，面积很小且刚度大，其产生的阻力很小且加速性能很好。	

经过三代方案的制作、优化和选取，结合表 4 分析，我们最终选力学性能最好的方案三。

3. 结构设计及计算

3.1. 推进机构设计及计算

3.1.1. 推进机构设计

推进机构结构参数：

第一曲柄长度为 L_1 ，第二曲柄长度为 L_2 ， $L_1=L_2=20\text{cm}$ ，

第一曲柄和第二曲柄夹角 $\phi = 90^\circ$ ，

滑槽的长度 $L=2*L_1=40\text{cm}$ ，

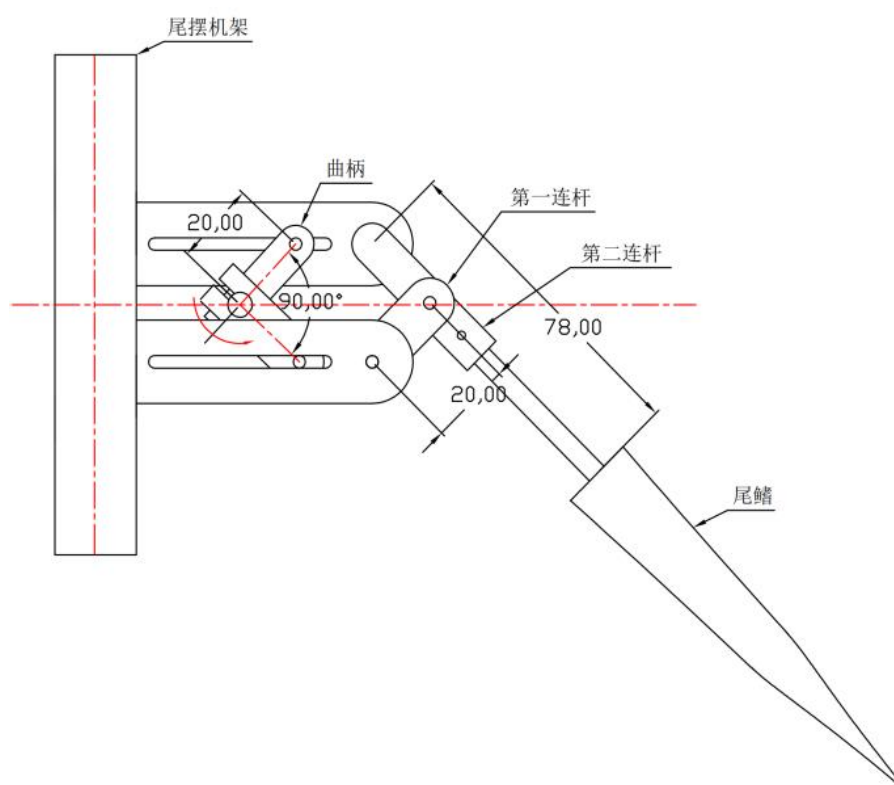


图7 推进机构传动简图

第一滑槽滑槽与第一连杆铰链处为点 A，第二滑槽滑槽与第二连杆铰链处为点 B，第一连杆与第二连杆铰链处为点 C，设 $AB=c$ ， $BC=a$ ， $AC=b$ 。则在运动过程中，必须满足点 A、B、C 能够形成三角形 ABC，因此有：

$$\begin{cases} a + b \geq c \\ a + c \geq b \\ b + c \geq a \end{cases}$$

且在运动过程中：

$$0 \leq a \leq \frac{l_1}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

因此 $a = b$

参考活鱼运动参数，即尾鳍最大摆角 $\theta_{\max} = 43.88^\circ$ ，尾柄最大行程 $H_{\max} = 15.81 \text{ m}$ 。根据几何关系第二连杆长度：

$$b = \frac{l_1 \sin \frac{\phi}{2}}{\sin \theta_{\max}} = 20 \text{ cm} \quad (1)$$

即 $b = c = 20 \text{ cm}$ 。第一连杆长度：

$$l = c + \frac{H_{\max}}{\sin \frac{\theta_{\max}}{2}} = 78 \text{ cm} \quad (2)$$

3.1.2. 运动学分析

尾鳍摆动原理图如图 8：

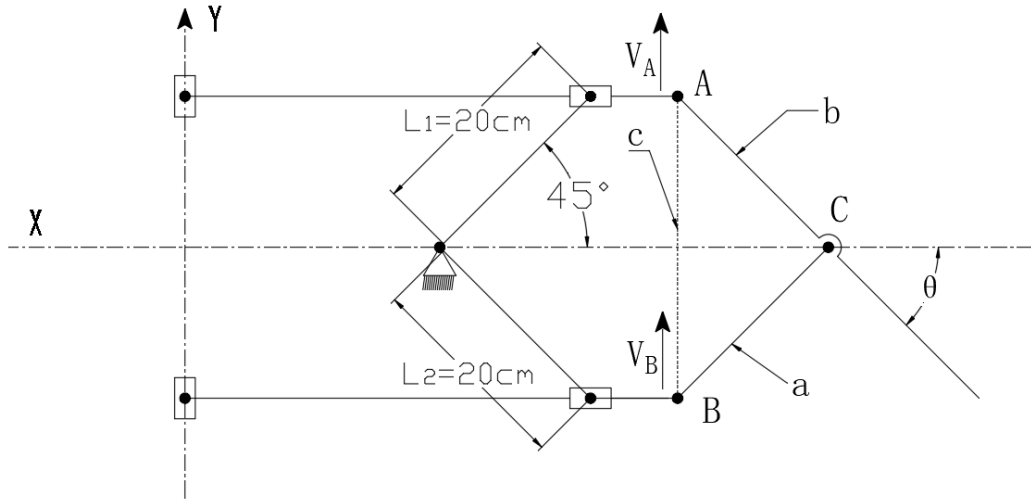


图 8 推进机构运动原理图

A, B 两点在 Y 方向上分别以速度 V_A, V_B 移动，其运动方程分别为：

$$\begin{cases} S_A = L_1 \cos(\omega t) \\ S_B = L_2 \cos(\omega t + \phi) \end{cases} \quad (3)$$

分析后可得此机构的运动方程为：

$$\begin{cases} L_1 = L_2 \\ L_1 \sin \theta + L_2 \sin \theta = c \\ S_{CY} = S_A - L_1 \sin \theta \\ S_{CX} = L_1 \cos \theta \\ c = S_A - S_B \end{cases} \quad (4)$$

上式中：SCY:C 点在 Y 方向的位移

SCX:C 点在 X 方向的位移

因此尾鳍连杆的摆角 θ 和往复移动位移 SCY 推倒为：

$$\begin{cases} \theta = \arcsin\left(\frac{c}{2L_1}\right) \\ S_{CY} = S_A - \frac{c}{2} \end{cases} \quad (5)$$

对上式求导，得尾鳍连杆的转速 ω_θ 和往复移动速度 V_{CY} 为：

$$\begin{cases} \omega_\theta = \frac{\Delta V}{L_1 \cos \theta} - \frac{\Delta V \tan \theta}{C} \\ V_{CY} = V_A - L_1 \omega_\theta \cos \theta \end{cases} \quad (6)$$

其中， V_A ：A 点往复移动的速度，

ΔV ：A、B 两点移动的速度差

再对上式求导，可得，尾鳍连杆的角加速度 α_θ 和移动加速度 a_{CY} ：

$$\begin{cases} \alpha_\theta = \frac{2\omega_\theta}{\Delta V} + \left(\frac{\omega_\theta^2}{L_1} - \frac{\Delta a}{c}\right) \tan \theta + \left(\frac{\Delta V^2}{\Delta S} + \Delta a\right) \cdot \frac{1}{L_1 \cos \theta} \\ a_{CY} = a_A + L_1 \omega_\theta^2 \sin \theta - L_1 \alpha_\theta \cos \theta \end{cases} \quad (7)$$

其中， a_A ：A 点的位移加速度，

Δa ：A、B 两点的唯一加速的的差。

3.1.3. 动力学分析

当鱼尾与鱼前进方向平行时 所收到的力最大，此时曲柄受力如图 9 所示：

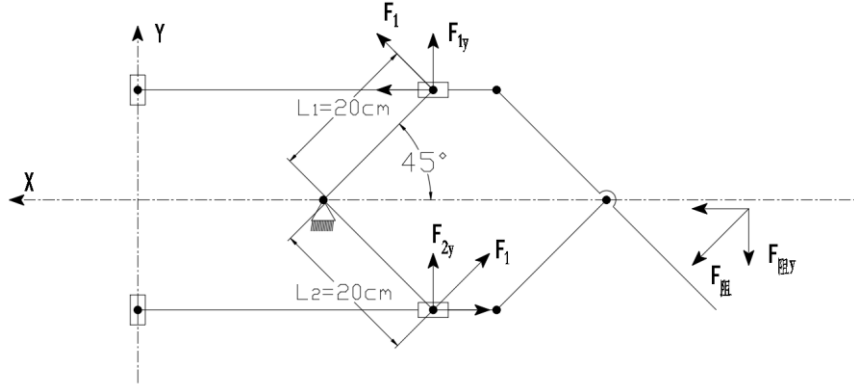


图9 摆动曲柄受力图

仿生鱼尾鳍在水中受到的平均阻力:

$$F_{\text{阻}} = C_p \rho U_m^2 b \approx 0.432\text{N} \quad (8)$$

$$F_{1y} + F_{2y} = F_{\text{阻}} \quad (9)$$

曲柄 1 和曲柄 2 受到的合扭矩为:

$$M = F_1 \times L_1 + F_2 \times L_2 = \frac{(F_{1y} + F_{2y})}{\sin 45^\circ} \times L_1 = \frac{0.432}{0.717} \times 0.2 = 0.1205\text{N} \cdot \text{m} \quad (10)$$

3.2. 俯仰角计算

机械鱼利用步进电机调整配重块的位置来调整机械鱼的重心，从而使机械鱼实现沉浮运动，而在沉浮时需要保证机械鱼的稳定性，故而我们需要计算令机械鱼能稳定沉浮的俯仰角。

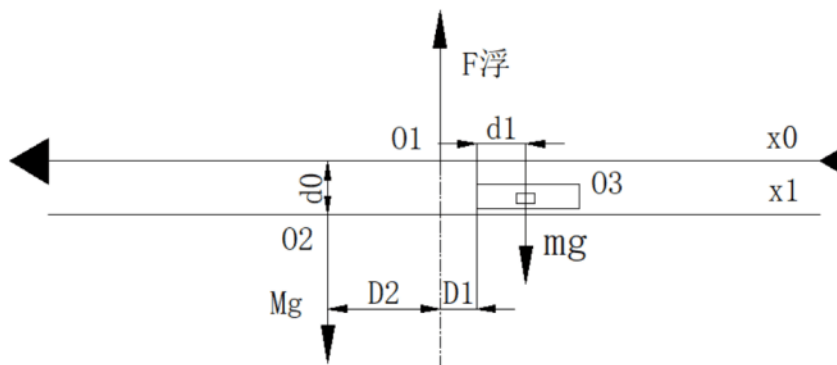


图10 机器鱼静态竖直方向受力图

图 10 为机械鱼在初始静态时的竖直方向上的受力情况。

01 为机械鱼的几何中心，02 为除丝杠加配重块之外的鱼整体重心，03 为丝杠加配重块的重心，根据 01、02 分别建立平面直角坐标系。

M 为除配重块之外的鱼整体重量，m 为配重块的重量。X0 为鱼的中心轴，x1 为 02 所在的水平线。

由受力分析可知，在竖直方向上，鱼受到水提供的浮力 $F_{浮}$ ，配重块的重力 mg 和除配重块之外鱼整体的重力 Mg 。

要想使得鱼在竖直方向上的稳定，应满足力矩平衡方程：

$$Mg * D2 = mg * (D1 + d1) \quad (11)$$

当配重块向前移动时，机械鱼产生向下偏转 α 度的俯仰角，如图 11 所示。

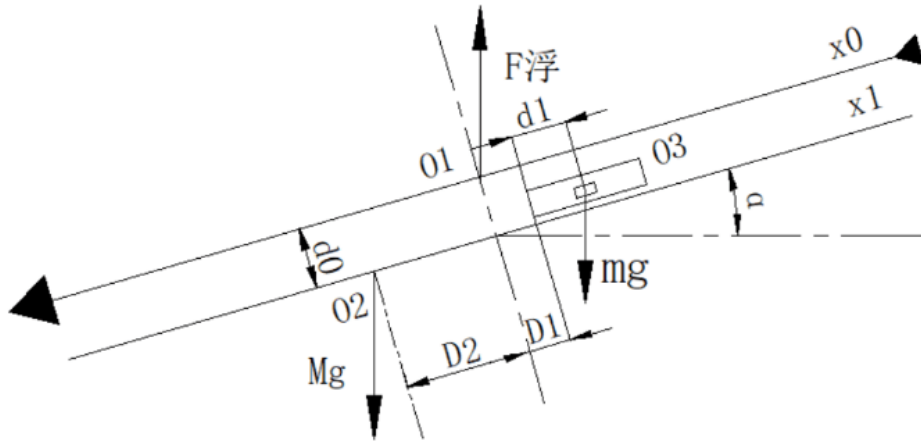


图 11 配重块前移机器鱼竖直方向受力图

此时若要使机械鱼在竖直方向上平衡，应满足力矩平衡方程：

$$Mg * (D2 * \cos \alpha + d0 * \sin \alpha) = mg * (D1 + d1) * \cos \alpha \quad (12)$$

化简可求得俯仰角：

$$\alpha = \arctan \left(\frac{m * D1 + m * d1 - M * D2}{M * d0} \right) \quad (13)$$

3.3. 深度计算

当机械鱼在俯仰角不为 0 的情况下进行游动，即可实现上浮和下沉。利用上述得出的俯仰角公式，可利用积分求得机械鱼沉浮的实时深度如下：

$$h'(t) = v(t) * \sin\alpha \quad (14)$$

$$h(t) = \int_0^t v(t) \sin\alpha dt + h_0 \quad (15)$$

$$h(t) = \int_0^t v(t) \sin \left(\arctan \left(\frac{m * D1 + m * d1 - M * D2}{M * d0} \right) \right) dt + h_0 \quad (16)$$

其中 $h(t)$ 是机械鱼的实时深度， h_0 是初始深度， t 是沉浮的时间。

3.4. 胸鳍旋转角度计算

为了研究胸鳍的旋转角度对沉浮的影响，从而找出沉浮时最有利的胸鳍旋转角度，以下对游动时鱼的胸鳍进行受力分析。

因为这里所指的沉浮主要借助于水对胸鳍作用产生的升力，故在此只分析水对胸鳍的作用。因为两侧胸鳍受力对称，故在此只分析单侧胸鳍所产生的影响。以下只分析鱼上浮时的受力情况。

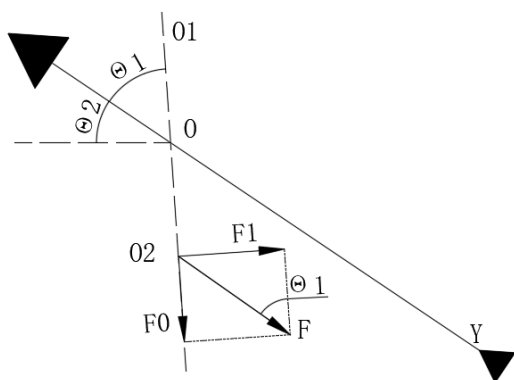


图 12 胸鳍受力示意图

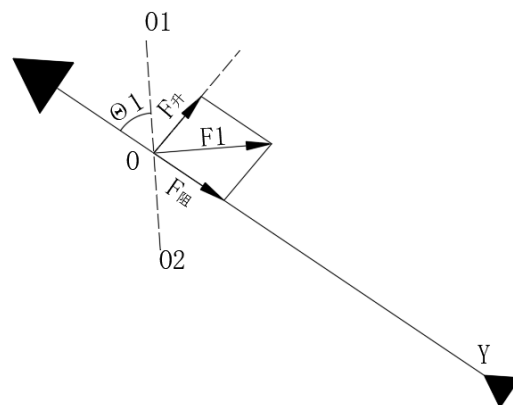


图 13 有效力分解示意图

图 12、13 中 O_1O_2 为胸鳍， OY 为鱼身方向，图 12 中 F 为鱼整体游动时胸鳍受到水的阻力， F_1 为 F 在垂直于胸鳍方向上的分力，即水作用于胸鳍的有效力， F_0 为 F 在胸鳍方向上的分力，在这里可视为水作用于胸鳍的无效力。 θ_1 为胸鳍旋转角

度， θ_2 为鱼的俯仰角。图 13 中 $F_{\text{升}}$ 为 F_1 在 OY 垂直方向上的分力，即 F_1 对鱼上升的积极作用， $F_{\text{阻}}$ 为 F_1 在 OY 方向上的分力，即 F_1 对鱼上升时的速度的削减作用。

由力的分解可得：

$$F_1 = F * \cos\theta_1 \quad (17)$$

$$F_{\text{升}} = F \sin\theta_1 \cos\theta_1 \quad (18)$$

$$F_{\text{阻}} = F(\sin\theta_1)^2 \quad (19)$$

因为可近似 $F = kv^2$ ，且由牛顿第二定律 $m \cdot dv/dt = F_{\text{阻}}$ ，可得：

$$v = \frac{m^2}{kt^2(\sin\theta_1)^4} \quad (20)$$

将其代入 $F_{\text{升}}$ 、 $F_{\text{阻}}$ ，并令 $a = 1/\tan\theta_1$ 可得：

$$F_{\text{升}} = \frac{m^2}{kt^2} * (a^3 + a) \quad (21)$$

$$F_{\text{阻}} = \frac{m^2}{kt^2} * (1 + a^2) \quad (22)$$

易得， $F_{\text{升}}$ 为关于 a 的单增函数，在 $a > 0$ 的范围内， $F_{\text{阻}}$ 为关于 a 的单减函数，而在 $\theta_1 \in (0, 90^\circ)$ 的范围内， a 为关于 θ_1 的单减函数。故 $F_{\text{升}}$ 为关于 θ_1 的单减函数， $F_{\text{阻}}$ 为关于 θ_1 的单增函数，综合考虑该机械鱼对于沉浮的有效性和快速性的需求，选取机械鱼沉浮的胸鳍旋转角度。

4. 建模与仿真

4.1. 二维图纸

图 14 为总装配图；

图 15 为重要零件装配图。

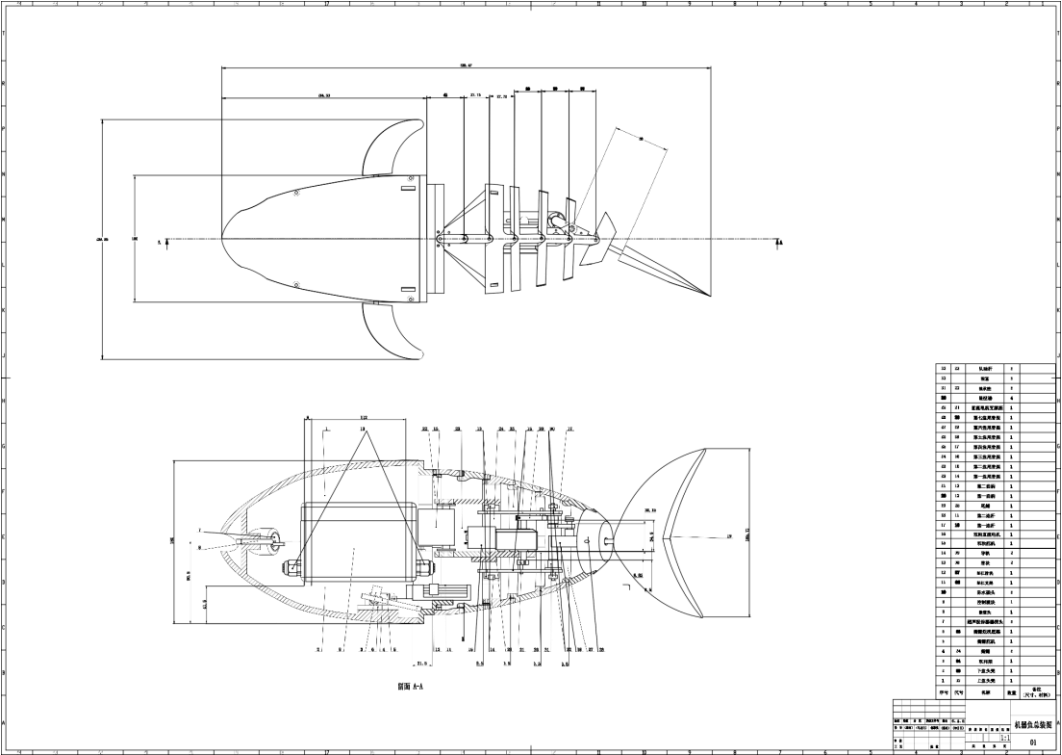


图 14 总装配图

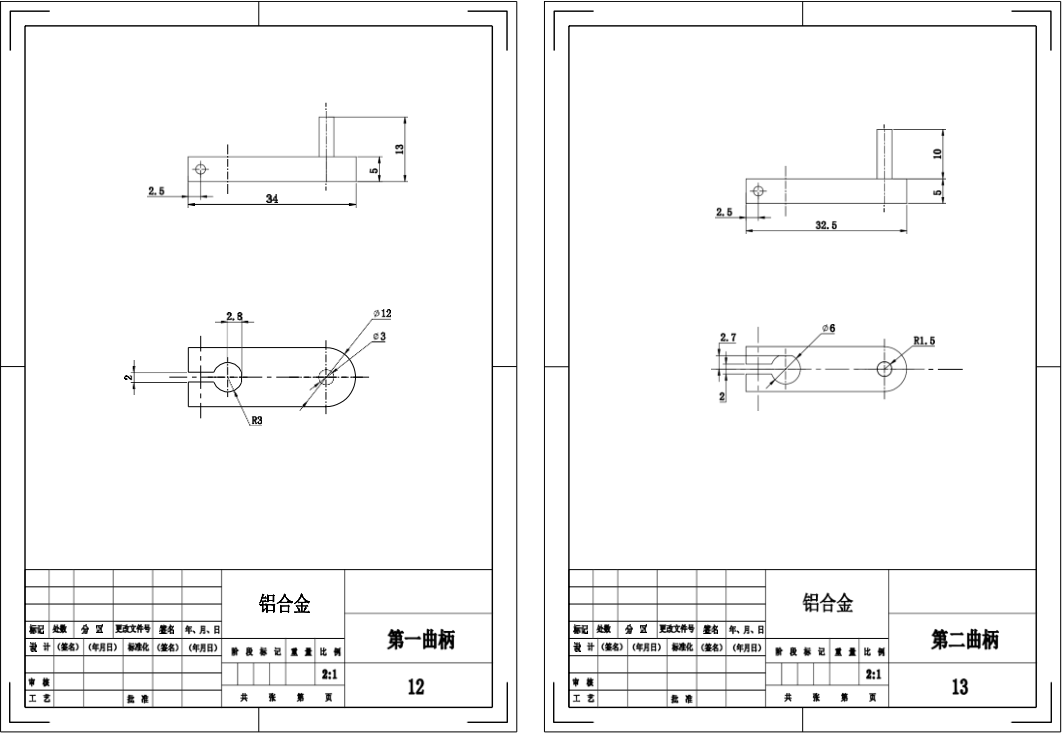


图 15 重要零件装配图

4.2. 三维建模

根据设计方案，利用 solid works 对机器鱼进行三维建模。

图 16 为机器鱼整体三维模型；图 17 为鱼尾模块模型图；18 为沉浮机构模型图；图 19 为胸鳍机构模型图；图 20 为鱼尾骨架模型图。

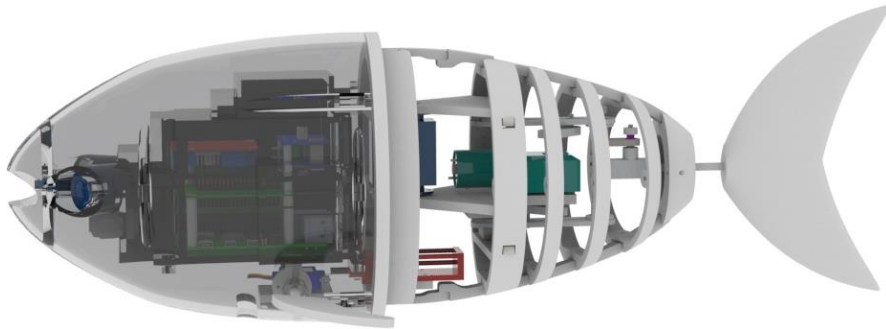


图 16 机器鱼整体三维模型

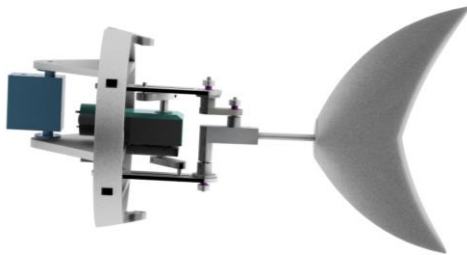


图 17 鱼尾模块模型图



图 18 沉浮机构模型图

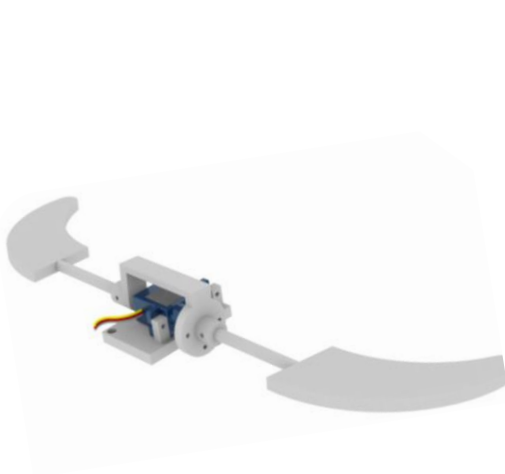


图 19 胸鳍机构模型图



图 20 鱼尾骨架模型图

4.3. 仿真分析

将推进机构的三维模型导入 Adams 中，对推进机构进行运动仿真（见图 21），得到尾鳍末端及第一、第二连杆铰接点的运动规律，符合尾柄横移的类正弦运动和尾鳍摆动的正弦运动规律，初步证实了该机构的可行性。图 22 中，横向指沿鱼体轴线方向。

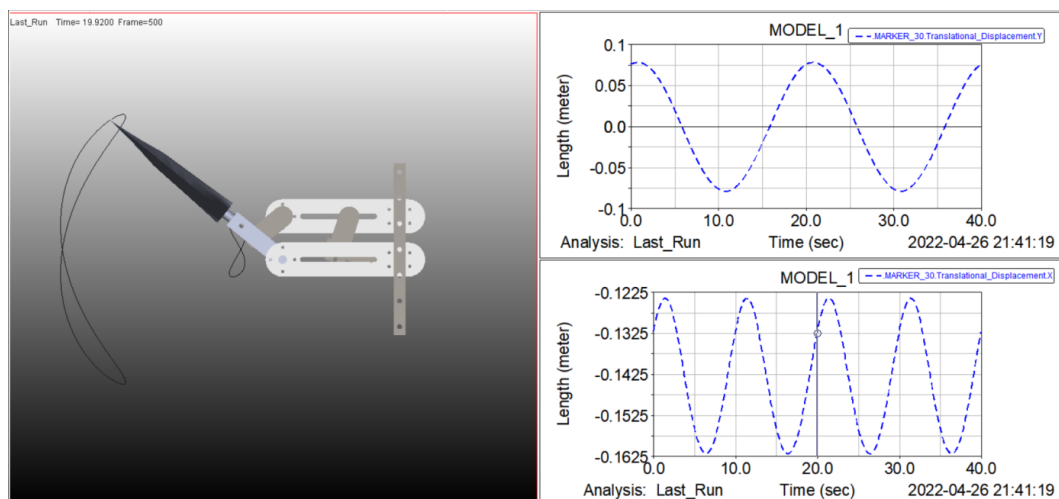


图 21 推进机构运动仿真

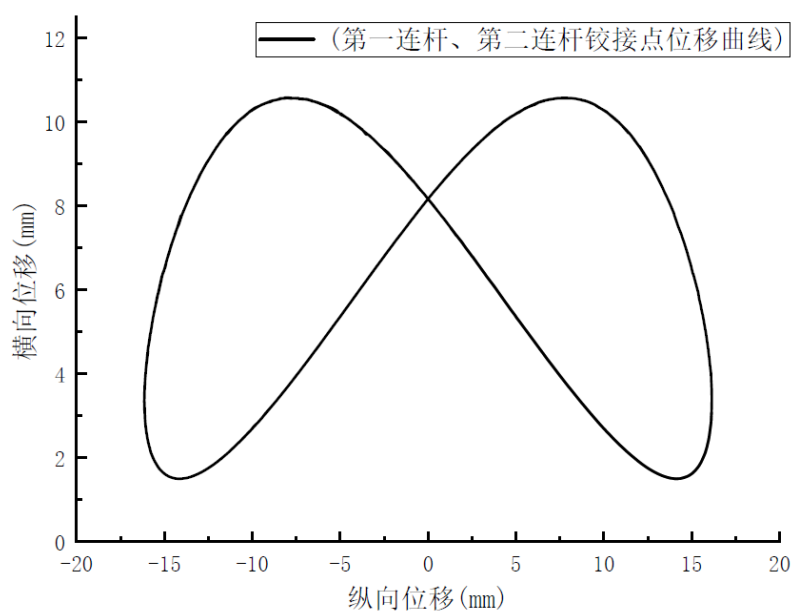


图 22 第一连杆和第二连杆铰接点位移曲线图

5. 控制系统设计

5.1. 控制原理

本作品控制系统具有两种控制模式：自主游动（见图 23）、无线遥控（见图 24）

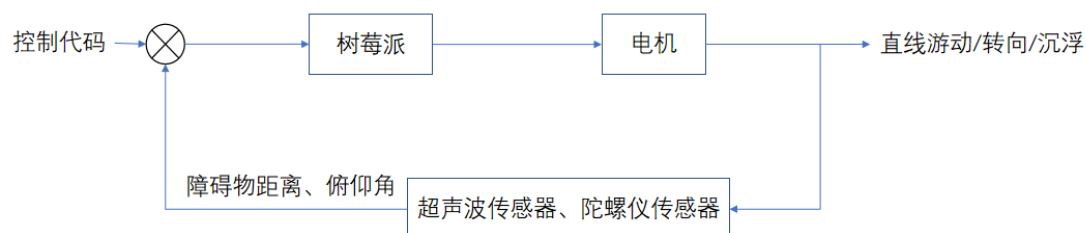


图 23 自主游动控制原理图



图 24 无线遥控控制原理图

5.2. 电气选型

5.2.1. 树莓派

1) 简介

树莓派即 Raspberry Pi，是一款基于 ARM 的微型电脑主板。其含有 Micro USB 电源接口、HDMI / USB / Network 接口、MicroSD 插槽、CSI 摄像头接口、DSI 显示端口、GPIO 接口。

本设计主要通过树莓派的 40 个 GPIO 接口和 USB 接口来读取传感器数据并控制电机的转动、变速、停止。

2) 优势

与常见的 51 单片机和 STM32 等这类的嵌入式微控制器相比，树莓派除了可以完成相同的 I/O 引脚控制之外，还能运行有相应的操作系统，可以完成更复杂的任务管理与调度，可开发行更强。

5.2.2. 驱动板

1) 直流电机驱动板

本设计中采用 L298N 直流电机驱动板控制直流电机，L298N 从树莓派获取控制信号，并通过电源为电机提供必要的驱动电流，从而控制直流电机的转动、变速、停止。

2) 步进电机驱动板

本设计中采用 HG7881 四路步进电机驱动板控制步进电机，HG7881 从树莓派获取控制信号并控制步进电机的转动、变速、停止。

5.2.3. 传感器

1) 陀螺仪传感器

JY61 模块内部集成了姿态解算器，配合动态卡尔曼滤波算法，能够在动态环境下准确输出模块的当前姿态，姿态测量精度 0.05 度。

本设计中采用 JY61 姿态传感器，通过 USB-TTL 串口连接树莓派，实现在树莓派中通过代码读取 JY61 姿态传感器中的俯仰角数据。

2) 超声波传感器

AJ-SR04M-T-X 超声波测距模块，是采用收发一体的防水带线探头，运用非接触试超声波探测技术设计而成。模块在 20cm 至 800cm 范围内，能够准确探测出与平面物体间的距离，发散角度可以自由调节，波特率自由设定。项目中采用兼容 SR-04 模式读取模块返回的高电平时间，通过拟合函数算出模块到被测物体间的距离。

本设计中采用 AJ-SR04M-T-X 超声波测距模块测定与障碍物间的距离并输出给树莓派，树莓派通过代码判断距离大小从而控制电机转向。

5.2.4. 电机选型

1) 舵机参数

表 5 胸鳍舵机参数

工作频率	1520 μ s / 330hz	工作温度	-10° C ~ 55° C	工作电压	DC5.0 ~ 6.0 V
速度 (5.0 v)	0.14 秒/ 60 度		速度 (6.0 v)	0.12 秒/ 60 度	
失速扭矩 (5.0 v)	5.00 kg. cm		最大工作扭矩 (5.0 v)	2.80 kg. cm	
额定扭矩 (5.0 v)	1.70 kg. cm		额定扭矩 (6.0 v)	1.90 kg. cm	
尺寸	26 * 14 * 22 mm		重量	18 g	

表 6 转向舵机参数

工作电压	堵转电流	驱动方式	脉宽范围	控制精度	尺寸	重量
4.8~6.5V	2A	PWM	500~2500psec	3usec	40*20*40mm	60g

2) 直流电机选型

① 电机转速

在负载运行的情况下，电机的转速不低于 120r/min

② 功率计算

直流电机最低功率

$$P = \frac{2 \pi nM}{60} = 1.513W$$

③ 电机选型

通过力矩计算和功率计算, 选择型号为 RC370-1260 的直流电机，功率为 2W，经过双出轴减速器后转速为 150r/min，转矩为 0.22N·m，可以满足实际运动需求。

表 7 直流电机参数

减速比 (变比)	空载 电流	空载转 速 rpm	额定转矩 Kg, cm	额定转 速 rpm	额定电 流 A	最大 转矩	停转电 流 A
40	$MA \leq 60$	150	1.2	100	≤ 0.5	2.5	1.3

5.3. 控制程序（见附件一）

6. 创新点与应用前景

6.1. 创新亮点

1) 采用复合连杆机构的推进机构模拟尾柄横移和尾鳍摆动的复合运动，高度拟合鱼尾摆动轨迹。

2) 正弦运动具有缓冲特性，可以减轻对零部件的磨损，具有运动无急回、可操纵性强和运动转换集成的特点。

3) 采用双轴直流电机单向转动，可避免电机反复减速反转带来的能量损耗和震动，实现尾鳍的高频摆动，满足大功率推进的要求。同时节省能源，结构简单，节约成本。

6.2. 应用前景

大部分仿生机器鱼尾部采用多关节串联驱动方式，控制复杂且仿真程度低。本作品采用的推进机构可最大程度拟合拟合活体鱼的运动曲线，极大地提高了仿生鱼动作的仿真程度和推进效率，为研制新一代水下推进系统提供一种创新思路。

同时，该仿生机器鱼与各种信息化处理技术和终端执行机械结合后可应用于军事（军事侦察）、科研（环境勘测、水下考古、海洋生物观察）、环保（污染检测、垃圾清理）、商业（水下设备检修、水下救捞、娱乐）等领域，具有较高的实用价值。

参考文献

- [1] 牛传猛,毕树生,蔡月日,等. 胸鳍摆动推进仿生鱼的设计及水动力实验[J]. 机器人, 2014(5)
- [2] 汤琳. 仿鲤鱼机器鱼推进性能的实验与数值模拟研究[D]. 浙江:浙江大学, 2015.
- [3] 朱君. 仿鲹科鱼尾部推进系统的理论研究[D]. 江苏:江苏科技大学, 2016.
- [4] 梁准,张子扬,林子雄,等. 一种双自由度胸鳍仿生机器鱼[J]. 兵工自动化, 2020, 39(11)
- [5] 俞经虎,竺长安,邱欲明,等. 仿生机器鱼的动力学仿真[J]. 机器人, 2003, 25(7)
- [6] 教柳,张保成,张开升,等. 两关节压力驱动柔性仿生机器鱼的设计与仿真[J]. 力学学报, 2020, 52(3)
- [7] 周超, 曹志强, 王硕,等. 仿生机器鱼俯仰与深度控制方法[J]. 自动化学报, 2008, 034(009):1215-1218. S
- [8] Wang Z,Wang LY,Wang T,et al. Research and Experiments on Electromagnetic-driven Multi-joint Bionic Fish[J]. ROBOTICA,2022,40(3): 720-746
- [9] Cai YR,Bi SS,Zheng LC.Design Optimization of a Bionic Fish with Multi-Joint Fin Rays[J]. ADVANCED ROBOTICS,2012,26(1-2): 177-196
- [10] Li KK,Jiang HZ,Wang SY,et al.A Soft Robotic Fish with Variable-stiffness Decoupled Mechanisms[J]. JOURNAL OF BIONIC ENGINEERING,2018,15(4): 599-609
- [11] Liu JD,Hu HS.Biological Inspiration: From Carangiform Fish to Multi-Joint Robotic Fish[J]. JOURNAL OF BIONIC ENGINEERING,2010,7(1):35-48
- [12] Wang SY,Zhu J,Wang XG,et al.Hydrodynamics study and simulation of a bionic fish tail driving system based on linear hypocycloid[J]. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ROBOTIC SYSTEMS.2018,15(2)

附件一 控制程序

1、自主游动控制代码

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import serial
import random

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setwarnings(False)

# 直流电机
IN1 = 11
IN2 = 12
IN3 = 13

GPIO.setup(IN1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN3,GPIO.OUT)

pwm1 = GPIO.PWM(IN2,80)
pwm1.start(0)

GPIO.output(IN1,True)
GPIO.output(IN3,False)

# 转向舵机
IN4 = 15
GPIO.setup(IN4,GPIO.OUT)

GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(IN4,GPIO.OUT,initial=False)
pwm2 = GPIO.PWM(IN4,50)
pwm2.start(7.5)
time.sleep(2)

def turnleft(p):
    pwm2.ChangeDutyCycle(p)
    time.sleep(0.2)

def turnright(p):
    pwm2.ChangeDutyCycle(p)
    time.sleep(0.2)

# 超声波
# 左
TRIG1 = 16
ECHO1 = 18
GPIO.setup(TRIG1,GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO1,GPIO.IN)

# 右
TRIG2 = 19
ECHO2 = 21
GPIO.setup(TRIG2,GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHO2,GPIO.IN)

# 陀螺仪
AngleData = [0.0] * 8
```

```

FrameState = 0 # 通过 0x 后面的值判断
属于哪一种情况
time.sleep(delay)
setStep(0,1,1,0)

Bytenum = 0 # 读取到这一段的第几位
time.sleep(delay)

Checksum = 0 # 求和校验位
setStep(0,1,0,1)

Angle = [0.0] * 3
time.sleep(delay)
setStep(1,0,0,1)

# 丝杠
time.sleep(delay)

IN5 = 22

IN6 = 23
def backward(delay,steps):
    for i in range(0,steps):
        setStep(1,0,0,1)
        time.sleep(delay)
        setStep(0,1,0,1)
        time.sleep(delay)
        setStep(0,1,1,0)
        time.sleep(delay)
        setStep(1,0,1,0)
        time.sleep(delay)

IN7 = 24
IN8 = 26

GPIO.setup(IN5,GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN6,GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN7,GPIO.OUT)
GPIO.setup(IN8,GPIO.OUT)

def setStep(w1,w2,w3,w4):
    GPIO.output(IN5,w1)
    GPIO.output(IN6,w2)
    GPIO.output(IN7,w3)
    GPIO.output(IN8,w4)

# 胸鳍舵机
IN9 = 29
GPIO.setup(IN9,GPIO.OUT)

def stop():
    GPIO.setwarnings(False)
    setStep(0,0,0,0)
    GPIO.setup(IN9,GPIO.OUT,initial =False)
    pwm3 = GPIO.PWM(IN9,50)

def forward(delay,steps):
    for i in range(0,steps):
        setStep(1,0,1,0)
        pwm3.start(7.5)
        time.sleep(2)

```

```

def destroy():
    GPIO.cleanup()

# 测俯仰角
def DueData(inputdata):
    # 新增的核心程序，对读取的数据进行划分，各自读到对应的数组里

    global FrameState
    # 在局部修改全局变量，要进行 global 的定义

    global Bytenum
    global CheckSum
    global Angle

    for data in inputdata:
        # 在输入的数据进行遍历

        # Python2 软件版本这里需要插入 data = ord(data)

        if FrameState == 0:
            # 当未确定状态的时候，进入以下判断

            if data == 0x55 and Bytenum == 0:
                # 0x55 位于第一位时候，开始读取数据，增大 bytenum

                CheckSum = data
                Bytenum = 1
                continue

            elif data == 0x51 and Bytenum == 1:
                # 在 byte 不为 0 且 识别到 0x51 的时候，改变 frame

                CheckSum += data

    FrameState = 1
    Bytenum = 2

    elif data == 0x52 and Bytenum == 1: # 同理

        CheckSum += data
        FrameState = 2
        Bytenum = 2

    elif data == 0x53 and Bytenum == 1:

        CheckSum += data
        FrameState = 3
        Bytenum = 2

    elif FrameState == 3: # angle

        if Bytenum < 10:

            AngleData[Bytenum - 2] = data

            CheckSum += data
            Bytenum += 1

        else:

            if data == (CheckSum & 0xff):

                Angle = get_angle(AngleData)
                d = Angle
                CheckSum = 0
                Bytenum = 0
                FrameState = 0

            else:

                CheckSum = 0
                Bytenum = 0
                FrameState = 0

```

```

def get_angle(datahex):
    ryl = datahex[2]
    ryh = datahex[3]
    k_angle = 180.0

    angle_y = (ryh << 8 | ryl) / 32768.0 *
k_angle

    if angle_y >= k_angle:
        angle_y -= 2 * k_angle
    return angle_y

# 测距
def distance(name1,name2):
    GPIO.output(name1,0)
    time.sleep(0.000002)
    GPIO.output(name1,1)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(name1,0)
    while GPIO.input(name2)==0:
        pass
    emitTime = time.time()
    while GPIO.input(name2)==1:
        pass
    acceptTime = time.time()
    totalTime = acceptTime-emitTime
    distanceForReturn =
totalTime*340/2*100

    return distanceForReturn

# 转向
def loop1():
    dis1 = distance(TRIG1,ECHO1)
    dis2 = distance(TRIG2,ECHO2)
    if dis1>=30 and dis2<=30:
        pwm1.ChangeDutyCycle(50)
        turnleft(5.5)
        time.sleep(2)
        turnright(7.5)
        pwm1.ChangeDutyCycle(100)
    elif dis1<=30 and dis2>=30:
        pwm1.ChangeDutyCycle(50)
        turnright(9.4)
        time.sleep(2)
        turnleft(7.5)
        pwm1.ChangeDutyCycle(100)
    elif dis1<=30 and dis2<=30:
        pwm1.ChangeDutyCycle(50)
        turnright(9.4)
        time.sleep(2)
        turnleft(7.5)
        pwm1.ChangeDutyCycle(100)
    else:
        pwm2.ChangeDutyCycle(7.5)

# 沉浮
def loop2(a):
    ser = serial.Serial("/dev/ttyUSB0",
115200, timeout=0.5)

```

```

datahex = ser.read(33)
time.sleep(2)
DueData(datahex)
pwm3.ChangeDutyCycle(7.5)
d = int(get_angle(AngleData))
else:
if a==1:
destroy()
while d<=30:
pwm3.ChangeDutyCycle(5.5)
if __name__=='__main__':
forward(0.01,4)
while (True):
time.sleep(0.02)
i = 0
stop()
i = int(input("请输入 1 开始运动
"))
ser =
if i==1:
serial.Serial("/dev/ttyUSB0", 115200,
timeout=0.5)
# 初始化
datahex = ser.read(33)
pwm1.ChangeDutyCycle(100)
DueData(datahex)
GPIO.output(IN1,True)
d = int(get_angle(AngleData))
GPIO.output(IN3,False)
print("stop turning...")
while (True):
time.sleep(2)
loop1() # 避障
pwm3.ChangeDutyCycle(7.5)
a = random.randint(0,20)
elif a==2:
if a==1 or a==9:
while d>=-30:
pwm3.ChangeDutyCycle(9.4)
pwm1.ChangeDutyCycle(50)
backward(0.01,4)
loop2(a)
time.sleep(0.02)
pwm1.ChangeDutyCycle(100) # 沉浮
stop()
else:
ser =
continue
serial.Serial("/dev/ttyUSB0", 115200,
timeout=0.5)
datahex = ser.read(33)
else:
DueData(datahex)
GPIO.output(IN1,False)
d = int(get_angle(AngleData))
pwm1.ChangDutyCycle(0)
print("stop turning...")
GPIO.output(IN3,False)

```

2、无线遥控代码

```
#!/usr/bin/env python3
# -*- coding:utf-8 -*-
# encoding: utf-8

from bottle import get, post, run, request,
route, template

import RPi.GPIO as GPIO

import time

import sys

##### 定义 Fish 类

class Fish(object):

    def __init__(self):

        self.zhiliu_pin=[11,12,13,15,29]

self.zhiliuin1_pin=self.zhiliu_pin[0]

self.zhiliuin2_pin=self.zhiliu_pin[1]

self.zhiliuin3_pin=self.zhiliu_pin[2]

        self.duojiin4_pin=self.zhiliu_pin[3]
        self.xiongqi_pin=self.zhiliu_pin[4]
        self.bujin_pin=[22,23,24,26]

    def front(self):

        print("开始运动")

        GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

        GPIO.setwarnings(False)

        GPIO.setup(self.zhiliuin1_pin,
GPIO.OUT)

        GPIO.setup(self.zhiliuin2_pin,
GPIO.OUT)
```

```
GPIO.setup(self.zhiliuin3_pin,
GPIO.OUT)

        pwm1 =
GPIO.PWM(self.zhiliuin2_pin, 80)

        pwm1.start(100)

        GPIO.output(self.zhiliuin1_pin,
True)

        GPIO.output(self.zhiliuin3_pin,
False)

        time.sleep(10)

        print("结束运动")

    def left(self):

        print("开始运动")

        GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

        GPIO.setwarnings(False)

        GPIO.setup(self.zhiliuin1_pin,
GPIO.OUT)

        GPIO.setup(self.zhiliuin2_pin,
GPIO.OUT)

        GPIO.setup(self.zhiliuin3_pin,
GPIO.OUT)

        pwm1 =
GPIO.PWM(self.zhiliuin2_pin, 80)

        pwm1.start(100)

        GPIO.output(self.zhiliuin1_pin,
True)

        GPIO.output(self.zhiliuin3_pin,
False)

        GPIO.setup(self.duojiin4_pin,
GPIO.OUT)

        GPIO.setwarnings(False)

        GPIO.setup(self.duojiin4_pin,
GPIO.OUT, initial=False)
```



```

        pwm2 =
GPIO.PWM(self.duojiin4_pin, 50)
        pwm2.start(7.5)
        time.sleep(0.5)
        pwm2.ChangeDutyCycle(5.5)
        time.sleep(3)
        pwm2.ChangeDutyCycle(7.5)
        time.sleep(0.5)
    def right(self):
        print("开始运动")
        GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
        GPIO.setwarnings(False)
        GPIO.setup(self.zhiliuin1_pin,
GPIO.OUT)
        GPIO.setup(self.zhiliuin2_pin,
GPIO.OUT)
        GPIO.setup(self.zhiliuin3_pin,
GPIO.OUT)
        pwm1 =
GPIO.PWM(self.zhiliuin2_pin, 80)
        pwm1.start(100)
        GPIO.output(self.zhiliuin1_pin,
True)
        GPIO.output(self.zhiliuin3_pin,
False)
        GPIO.setup(self.duojiin4_pin,
GPIO.OUT)
        GPIO.setwarnings(False)
        GPIO.setup(self.duojiin4_pin,
GPIO.OUT, initial=False)
        pwm2 =
GPIO.PWM(self.duojiin4_pin, 50)
        pwm2.start(7.5)
        time.sleep(0.5)
        pwm2.ChangeDutyCycle(9.4)
        time.sleep(3)
        pwm2.ChangeDutyCycle(7.5)
        time.sleep(0.5)
    def setStep(self,w1, w2, w3, w4):
        GPIO.output(self.bujin_pin[0], w1)
        GPIO.output(self.bujin_pin[1], w2)
        GPIO.output(self.bujin_pin[2], w3)
        GPIO.output(self.bujin_pin[3], w4)
    def forward(self,a):
        for i in range(0, a):
            Fish.setStep(self,1, 0, 1, 0)
            time.sleep(0.01)
            Fish.setStep(self,0, 1, 1, 0)
            time.sleep(0.01)
            Fish.setStep(self,0, 1, 0, 1)
            time.sleep(0.01)
            Fish.setStep(self,1, 0, 0, 1)
            time.sleep(0.01)
    def backward(self,b):
        for i in range(0, b):
            Fish.setStep(self,1, 0, 0, 1)
            time.sleep(0.01)
            Fish.setStep(self,0, 1, 0, 1)
            time.sleep(0.01)
            Fish.setStep(self,0, 1, 1, 0)
            time.sleep(0.01)

```

<pre> Fish.setStep(self,1, 0, 1, 0) time.sleep(0.01) def down(self): print("开始运动") GPIO.setmode(GPIO.BOARD) GPIO.setwarnings(False) GPIO.setup(self.zhiliuin1_pin, GPIO.OUT) GPIO.setup(self.zhiliuin2_pin, GPIO.OUT) GPIO.setup(self.zhiliuin3_pin, GPIO.OUT) pwm1 = GPIO.PWM(self.zhiliuin2_pin, 80) pwm1.start(100) GPIO.output(self.zhiliuin1_pin, True) GPIO.output(self.zhiliuin3_pin, False) GPIO.setup(self.xiongqi_pin, GPIO.OUT) GPIO.setwarnings(False) GPIO.setup(self.xiongqi_pin, GPIO.OUT, initial=False) pwm3 = GPIO.PWM(self.xiongqi_pin, 50) pwm3.start(0) time.sleep(2) pwm3.ChangeDutyCycle(9.4) time.sleep(0.04) pwm3.ChangeDutyCycle(0) time.sleep(0.04) for pin in self.bujin_pin: </pre>	<pre> GPIO.setup(pin,GPIO.OUT) for angle in range(0, -31, -10): Fish.backward(self,4) time.sleep(0.02) Fish.setStep(self,0,0,0,0) time.sleep(3) for angle in range(-30, 1, 10): Fish.forward(self,4) time.sleep(0.02) Fish.setStep(self,0,0,0,0) pwm3.ChangeDutyCycle(7.5) time.sleep(0.04) pwm3.ChangeDutyCycle(0) time.sleep(0.04) def float(self): print("开始运动") GPIO.setmode(GPIO.BOARD) GPIO.setwarnings(False) GPIO.setup(self.zhiliuin1_pin, GPIO.OUT) GPIO.setup(self.zhiliuin2_pin, GPIO.OUT) GPIO.setup(self.zhiliuin3_pin, GPIO.OUT) pwm1 = GPIO.PWM(self.zhiliuin2_pin, 80) pwm1.start(100) GPIO.output(self.zhiliuin1_pin, True) GPIO.output(self.zhiliuin3_pin, False) </pre>
--	---

```

        GPIO.setup(self.xiongqi_pin,
GPIO.OUT)

        GPIO.setwarnings(False)

        GPIO.setup(self.xiongqi_pin,
GPIO.OUT, initial=False)

        pwm3 =
GPIO.PWM(self.xiongqi_pin, 50)

        pwm3.start(0)

        time.sleep(2)

        pwm3.ChangeDutyCycle(5.5)

        time.sleep(0.04)

        pwm3.ChangeDutyCycle(0)

        time.sleep(0.04)

        for pin in self.bujin_pin:

            GPIO.setup(pin, GPIO.OUT)

        for angle in range(0, 31, 10):

            Fish.forward(self,4)

            time.sleep(0.02)

            Fish.setStep(self,0,0,0,0)

        time.sleep(3)

        for angle in range(30, -1, -10):

            Fish.forward(self,4)

            time.sleep(0.02)

            Fish.setStep(self,0,0,0,0)

        pwm3.ChangeDutyCycle(7.5)

        time.sleep(0.04)

        pwm3.ChangeDutyCycle(0)

        time.sleep(0.04)

def stop(self):

    GPIO.cleanup()

##### 定义 main 主函数

def main(status):

    fish = Fish()

    if status == "front":

        fish.front()

    elif status == "left":

        fish.left()

    elif status == "right":

        fish.right()

    elif status == "down":

        fish.down()

    elif status == "float":

        fish.float()

    elif status == "stop":

        fish.stop()

##### 收到浏览器请求，返回一个 HTML
文件。

@get('/')

def index():

    return
template("/home/pi/fish/wificontrol/index.ht
ml") ##### 此处输入 html 文件的具体目
录。

##### 收到浏览器发来的指令。

@post("/cmd")

def cmd():

    adss = request.body.read().decode()

    print("put an order:" + adss)

    main(adss)

```

return "OK"	<script>
##### 开启服务器, 端口默认 8080。	\$(function(){
run(host="0.0.0.0",port="8081")	\$("#button").click(function(){
Index.html	
<!DOCTYPE html>	\$.post("/cmd",this.id,function(data,status){});
<html lang="en">	});
<head>	});
<meta charset="UTF-8">	
<meta name="viewport"	</script>
content="width=device-width, initial-	</head>
scale=1.0">	<body>
<title>遥控树莓派小鱼</title>	<div id="container" class="container">
<link	<div>
href="http://cdn.bootcss.com/bootstrap/3.3.5/	<button id="front" class="btn btn-
css/bootstrap.min.css" rel="stylesheet"	lg btn-primary glyphicon glyphicon-circle-
media="screen">	arrow-up"></button>
<script	</div>
src="http://cdn.staticfile.org/jquery/2.2.4/jqu	<div>
ery.min.js"></script>	
<style type="text/css">	
#front {	<button id='left' class="btn btn-lg
margin-left: 55px;	btn-primary glyphicon glyphicon-circle-
margin-bottom: 3px;	arrow-left"></button>
}	<button id='stop' class="btn btn-lg
#rear{	btn-primary glyphicon glyphicon-
margin-top: 3px;	stop"></button>
margin-left: 55px;	<button id='right' class="btn btn-lg
}	btn-primary glyphicon glyphicon-circle-
.btn{	arrow-right"></button>
background: #62559f;	</div>
}	<div>
</style>	<button id='down' class="btn btn-
	lg btn-primary glyphicon">下沉</button>

```
<button id='float' class="btn btn-lg  
btn-primary glyphicon">上浮</button>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<script  
src="//cdn.bootcss.com/bootstrap/3.3.5/js/bo  
otstrap.min.js"></script>
```

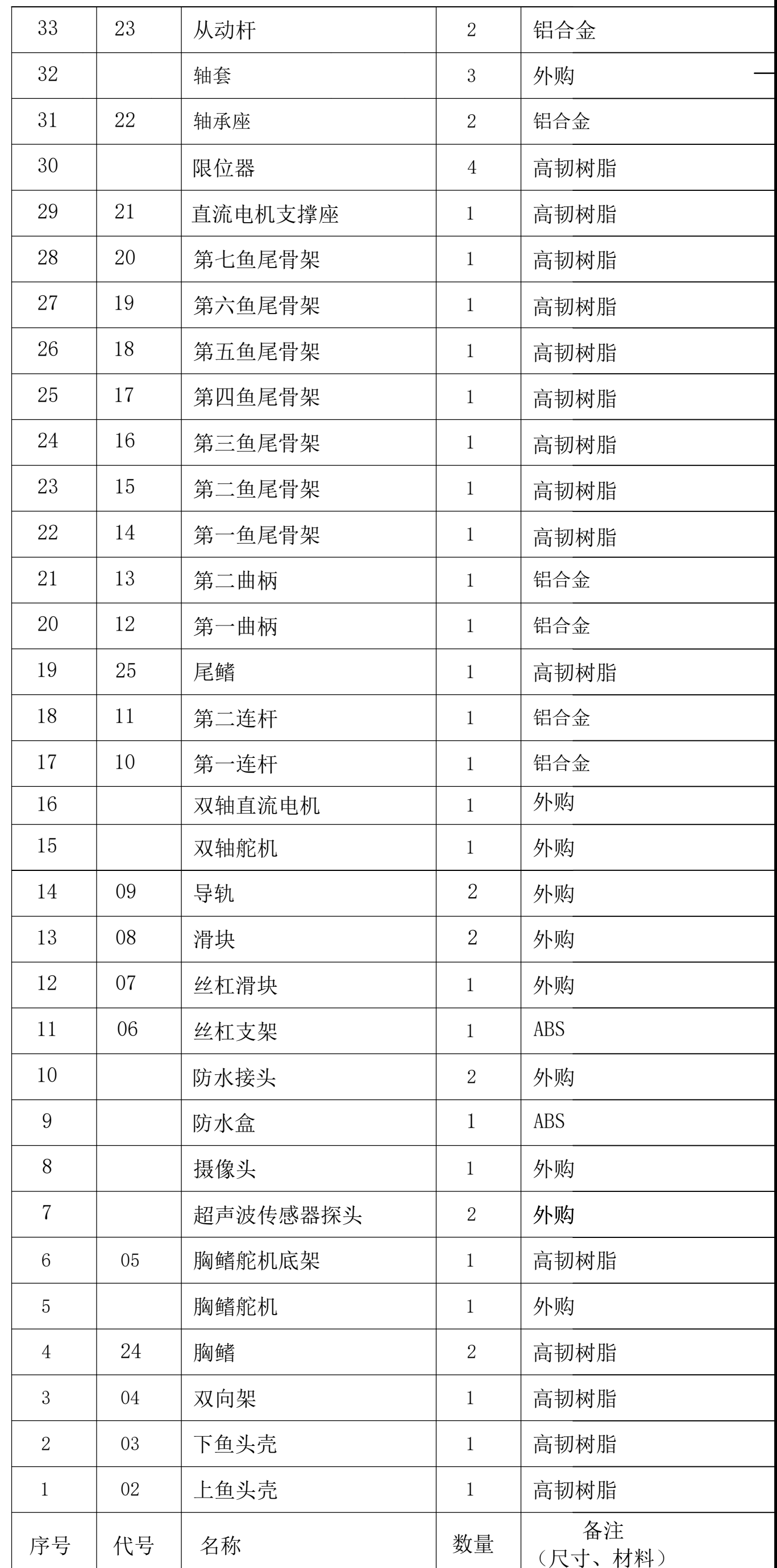
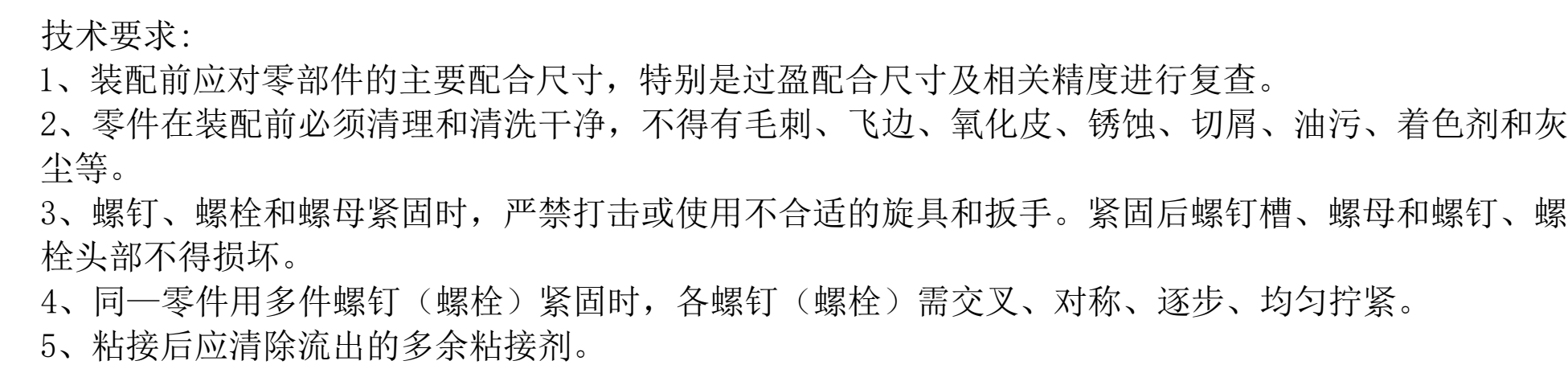
```
</body>
```

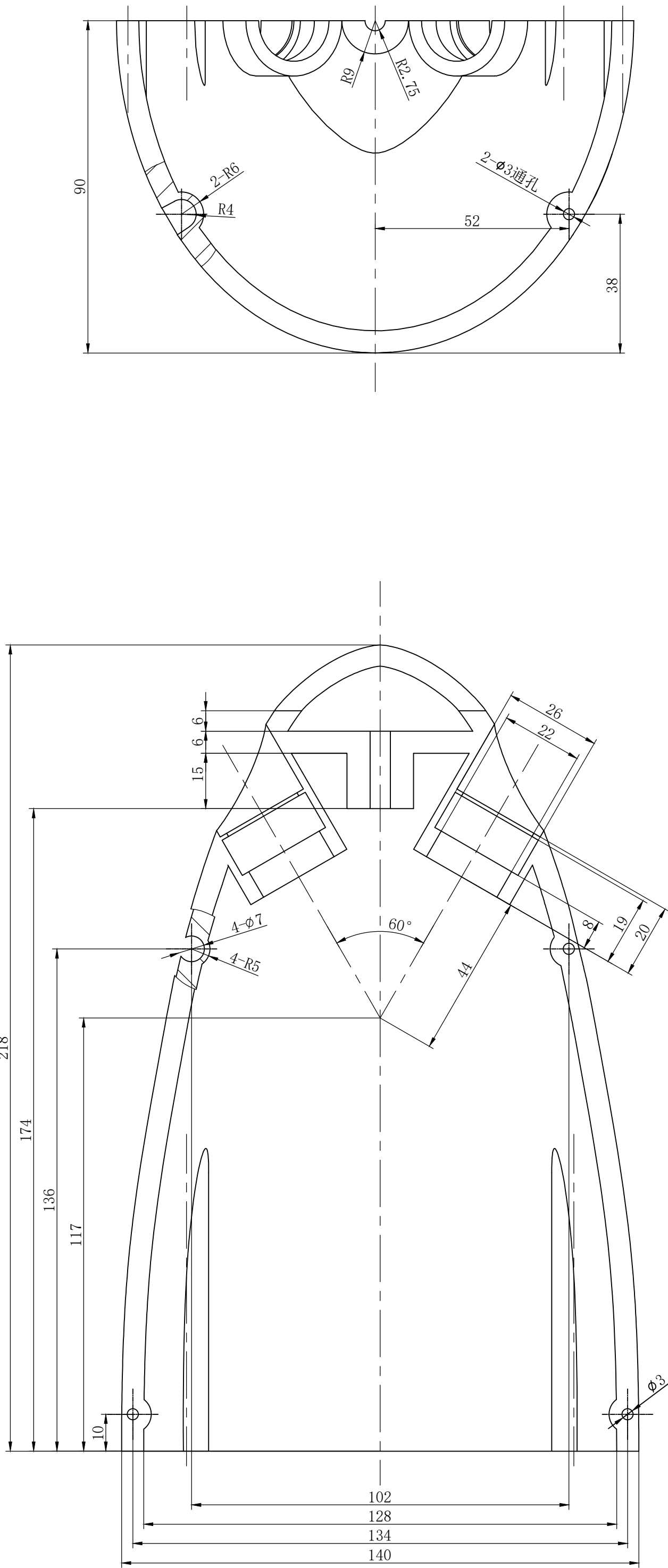
```
</html>
```

附录二 图纸

卷册检索号		第_____页 共_____页				
		图纸文件目录（首页）				
第十届全国大学生机械设计创新大赛 工程 省赛 阶段		批 准				
_____ 专业 第_____卷 第_____册		审 核				
卷册名称 _____ 智能仿生机器鱼		设计/勘测				
		图 纸 张		打印件 本		
序号	图 号	文 件 名 称	版本	张	本	备注
1	00	设计说明书		1		
2	01	总装图		1		
3	02	上鱼头壳		1		
4	03	下鱼头壳		1		
5	04	双向架		1		
6	05	胸鳍舵机底架		1		
7	06	丝杠支架		1		
8	07	丝杠滑块		1		
9	08	滑块		1		
10	09	导轨		1		
11	10	第一连杆		1		
12	11	第二连杆		1		
13	12	第一曲柄		1		
14	13	第二曲柄		1		
15	14	第一鱼尾骨架		1		
16	15	第二鱼尾骨架		1		
17	16	第三鱼尾骨架		1		
18	17	第四鱼尾骨架		1		
19	18	第五鱼尾骨架		1		
20	19	第六鱼尾骨架		1		
21	20	轴套		1		
22	21	直流电机支撑座		1		
注：						

[illegible]

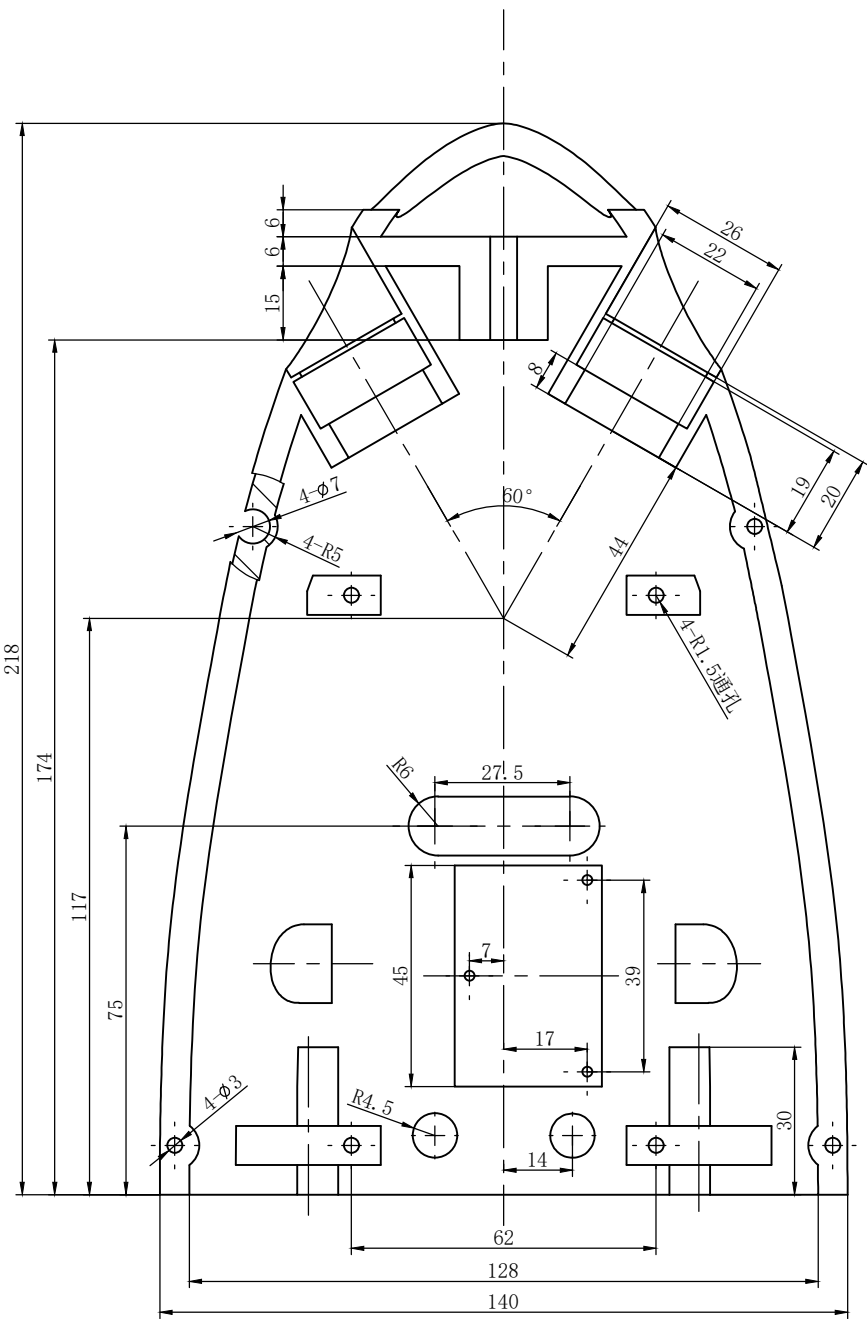
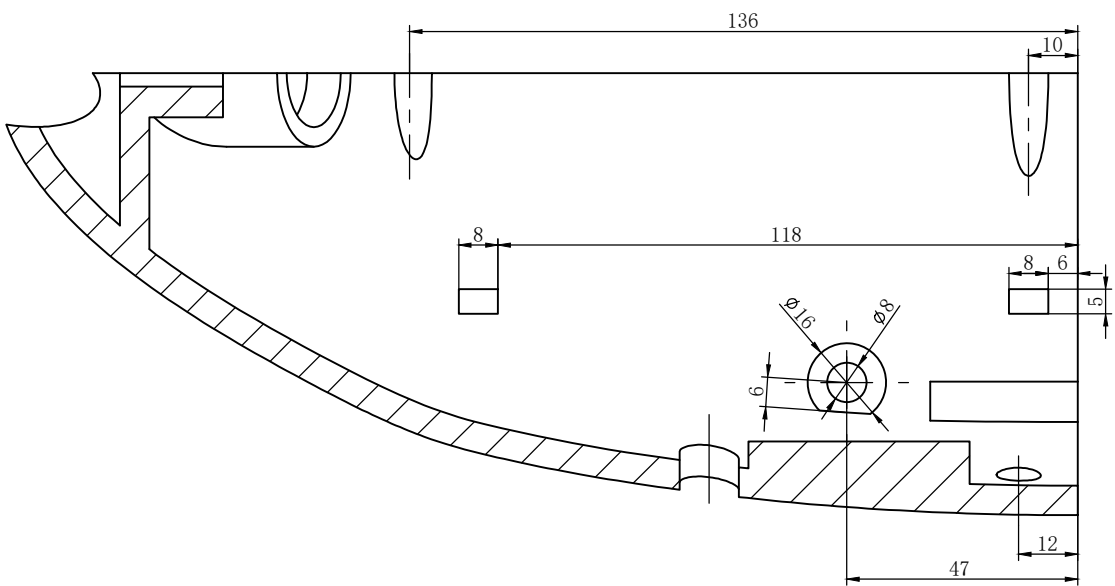
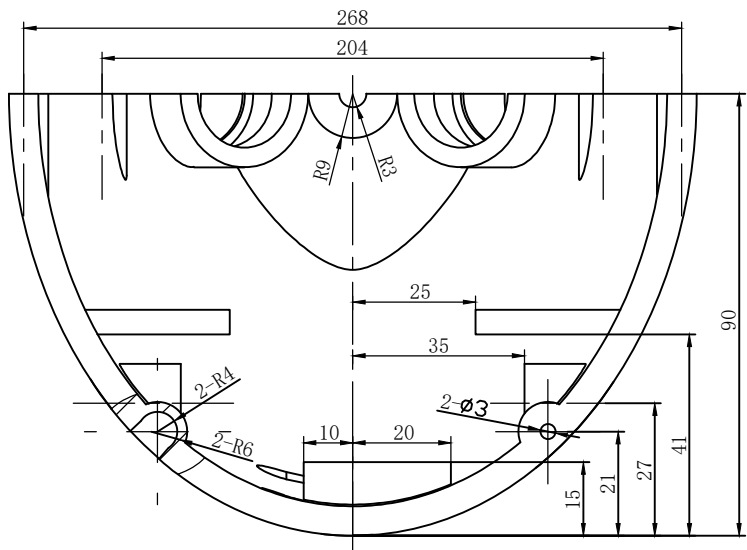




技术要求：
1. GB/T1804-m；
2. GB/T1184-k；
3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

						高韧树脂			
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例	
								1:1	
审 核									02
工 艺			批 准			共 张 第 页			



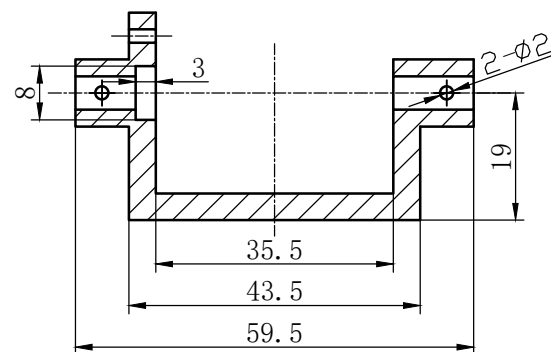
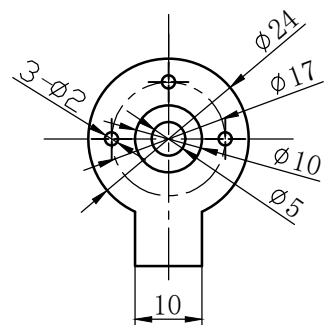
技术要求：
1. GB/T1804-m；
2. GB/T1184-k；
3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

							高韧树脂		
标记	处数	分区	更改文件号	签名	年、月、日		阶段	标记	重量
设计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)				
审核									1:1
工艺			批准				共	张	第 页

下鱼头壳

03

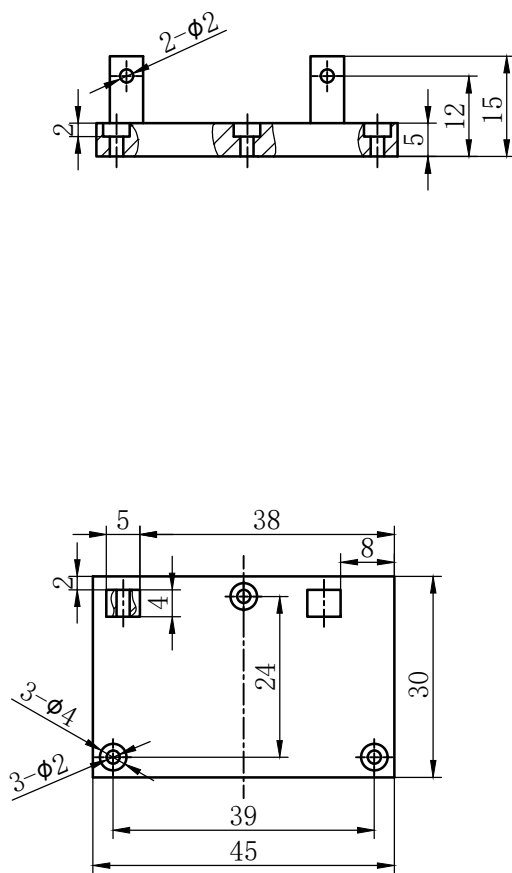


共1件

技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

						高韧树脂			双向架	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日	阶 段 标 记			1:1	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)					
									04	
审 核										
工 艺			批 准			共 张 第 页				

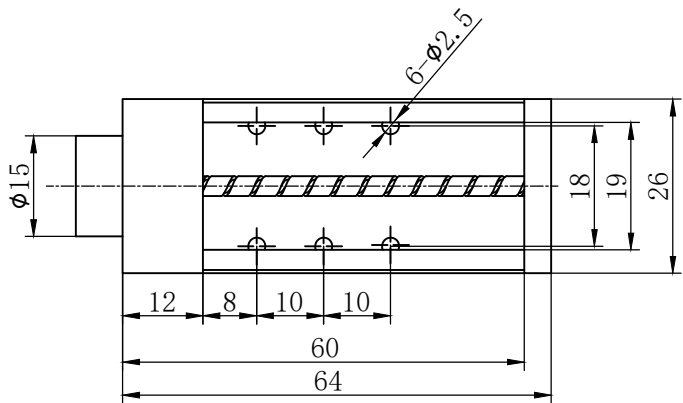
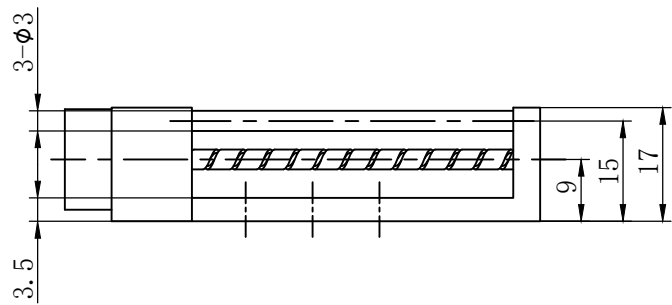


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						高韧树脂			胸鳍舵机底座	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日					
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例	05	
								1:1		
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		

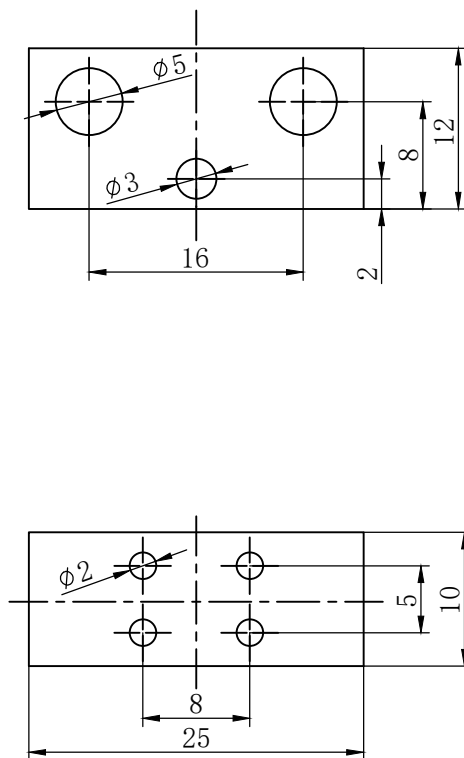


技术要求：

- 1. GB/T1804-m；
- 2. GB/T1184-k；
- 3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

						ABS				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				丝杠支架	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
								1:1	06	
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		

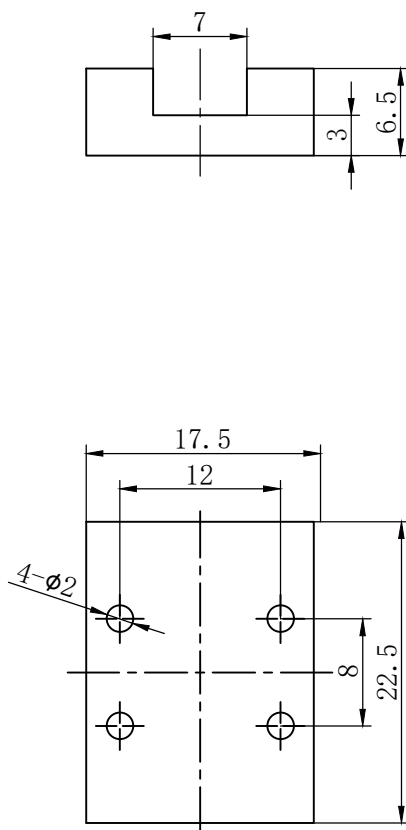


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						ABS				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				丝杠滑块	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
								2:1	07	
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		

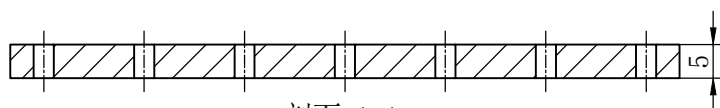


技术要求:

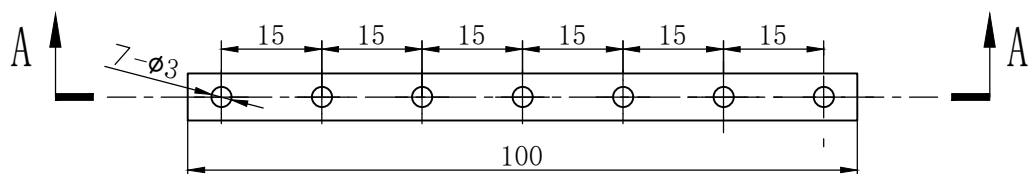
1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						轴承钢			滑块	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				08	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
								2:1		
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		



剖面 A-A

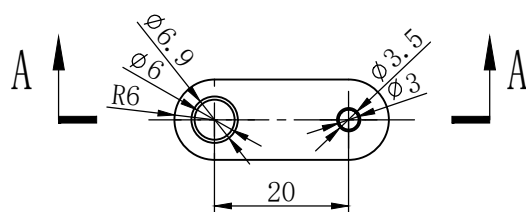
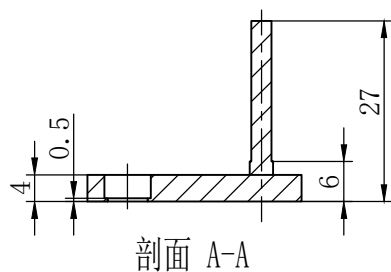


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						轴承钢											
标记	处数	分 区		更改文件号	签名	年、月、日	阶 段 标 记					重 量		比 例		导轨	
设 计	(签名)		(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)											
												1:1					
审 核																	
工 艺				批 准			共 张 第 页							09			

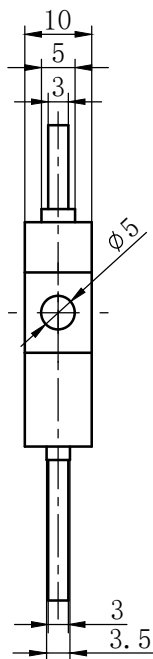
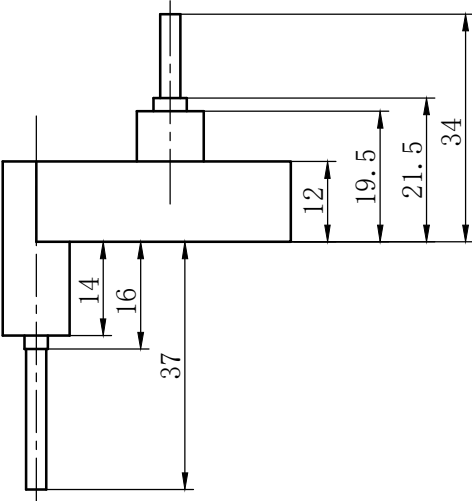


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

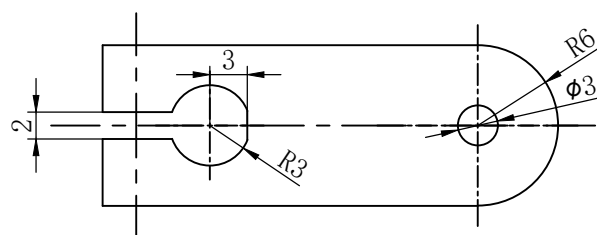
						铝合金					
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日					第一连杆	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记		重 量	比 例		
审 核									1:1		
工 艺			批 准			共 张 第 页					
										10	



共1件

技术要求：
1. GB/T1804-m；
2. GB/T1184-k；
3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

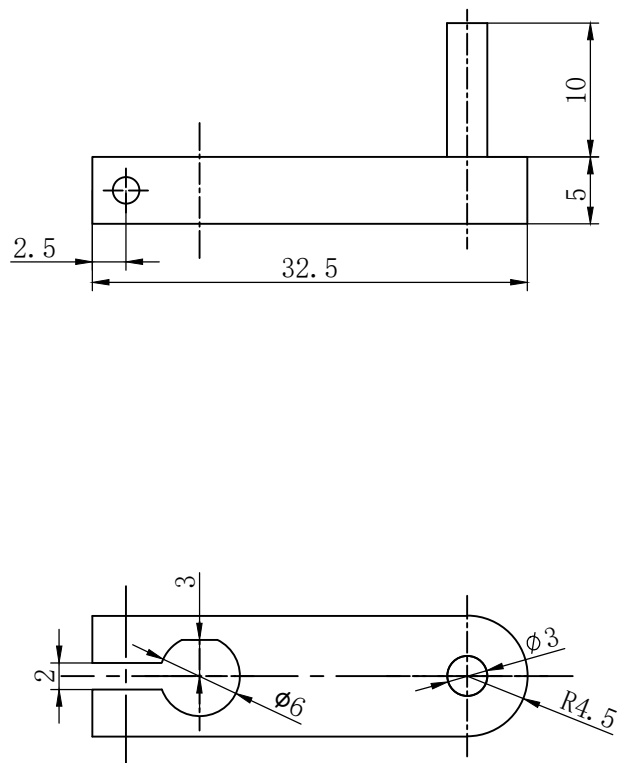
						铝合金			第二连杆	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				11	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
								1:1		
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		



3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						铝合金				第一曲柄			
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日								
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记		重 量	比 例	12			
审 核									2:1				
工 艺			批 准			共 张 第 页							

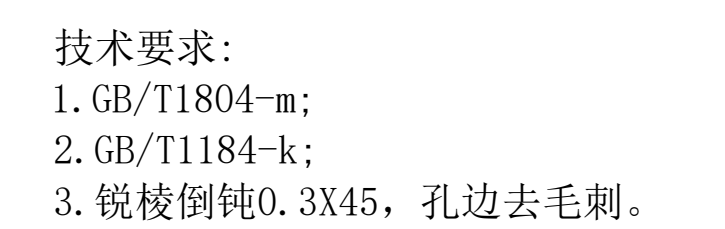
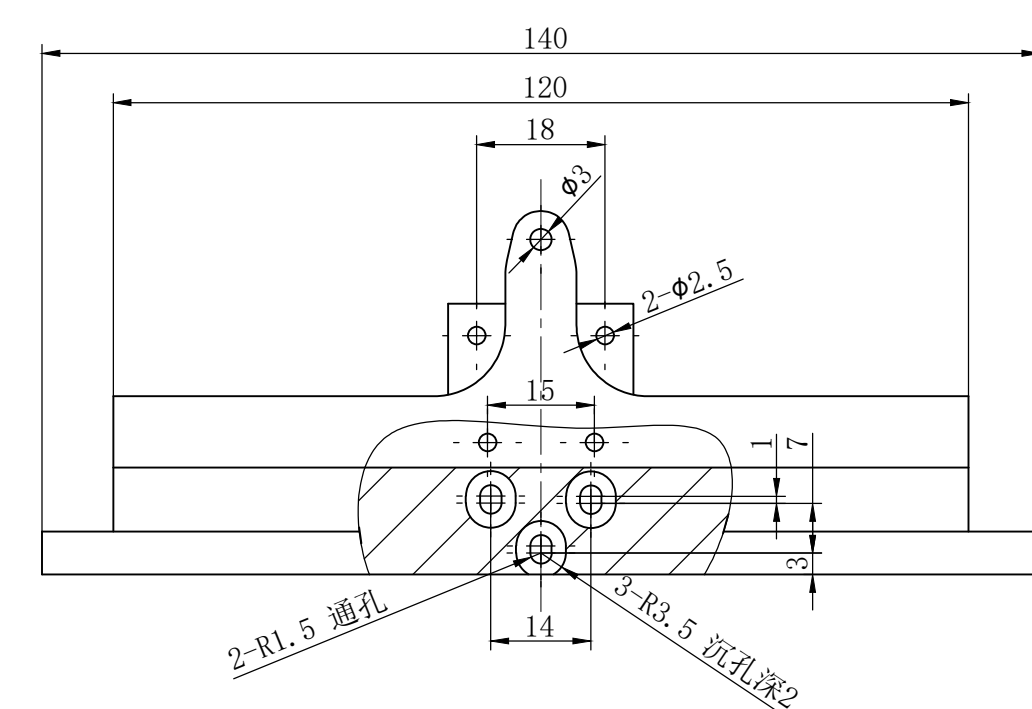


技术要求:

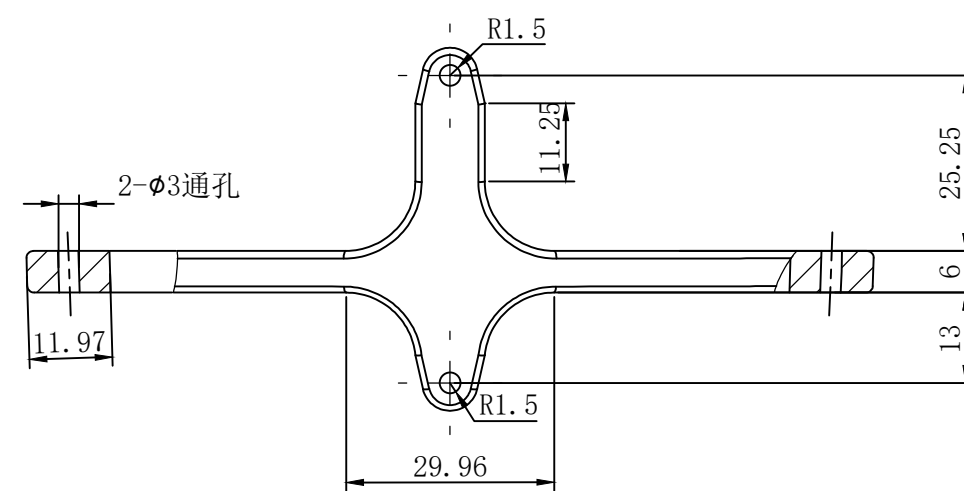
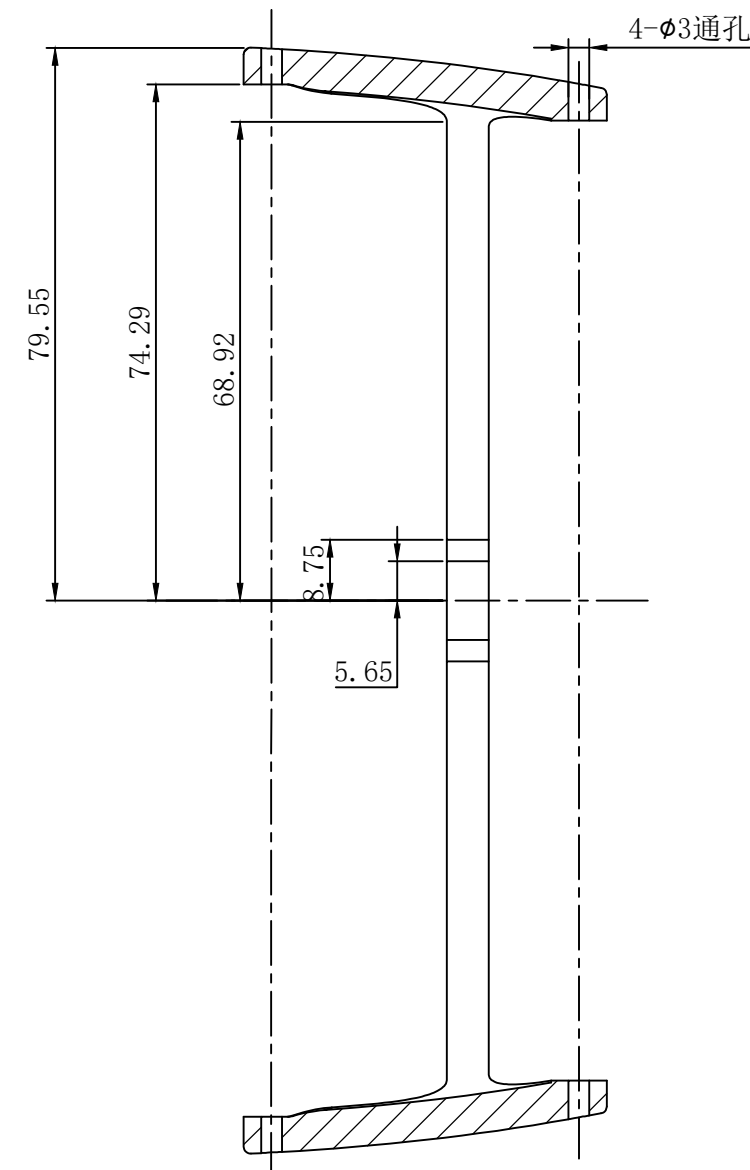
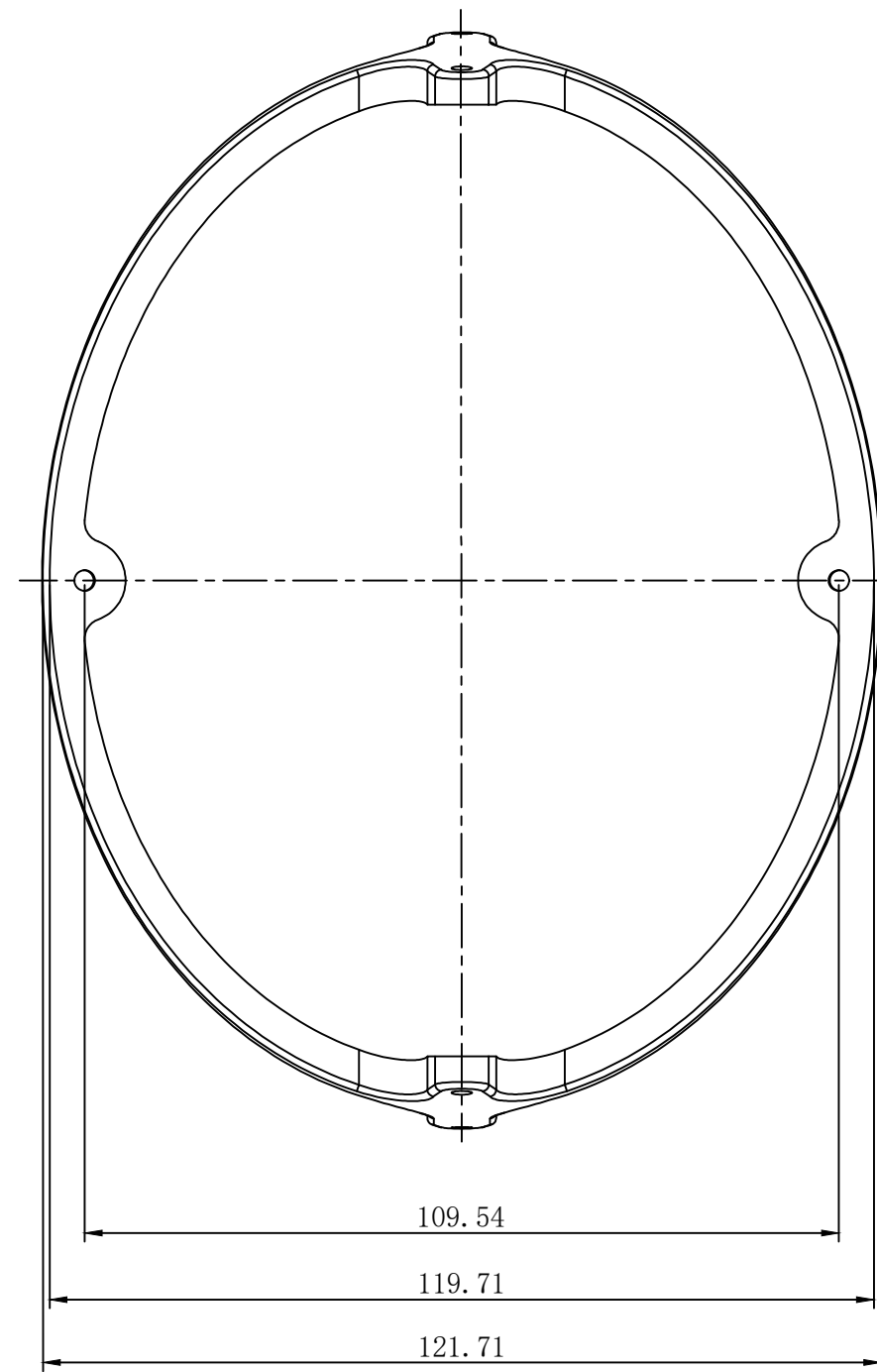
1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						铝合金				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				第二曲柄	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)					
						阶 段 标 记	重 量	比 例	13	
审 核								2:1		
工 艺			批 准			共	张	第 页		



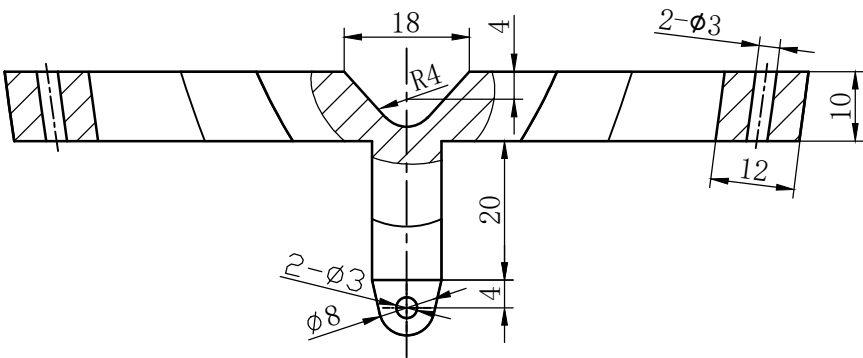
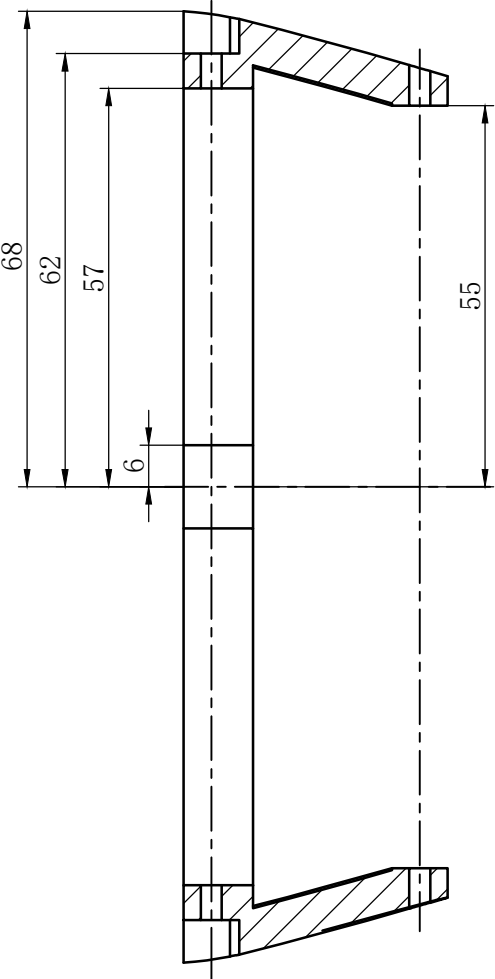
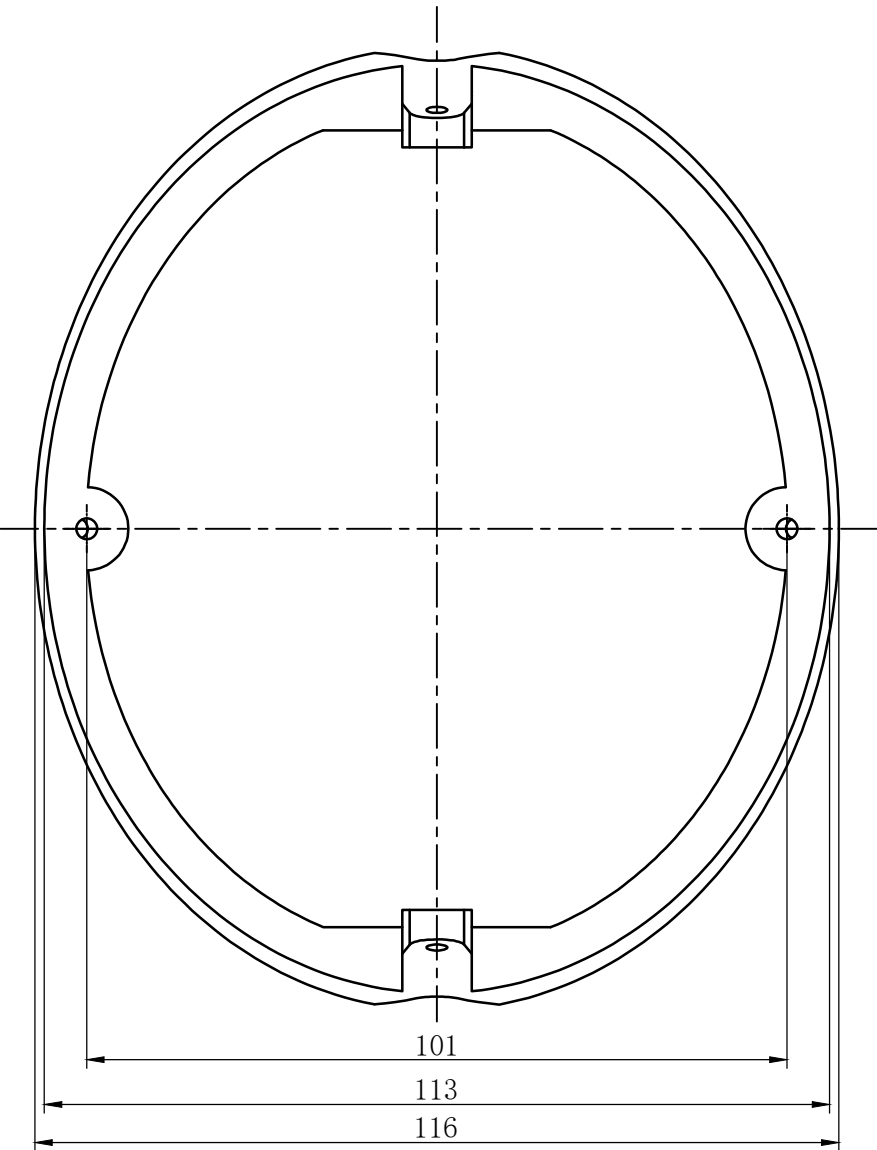
						高韧树脂			
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日		第一鱼尾骨架		
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)				
						阶 段 标 记	重 量	比 例	
								1:1	
审 核						14			
工 艺				批 准					
共 张 第 页									



技术要求:
1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

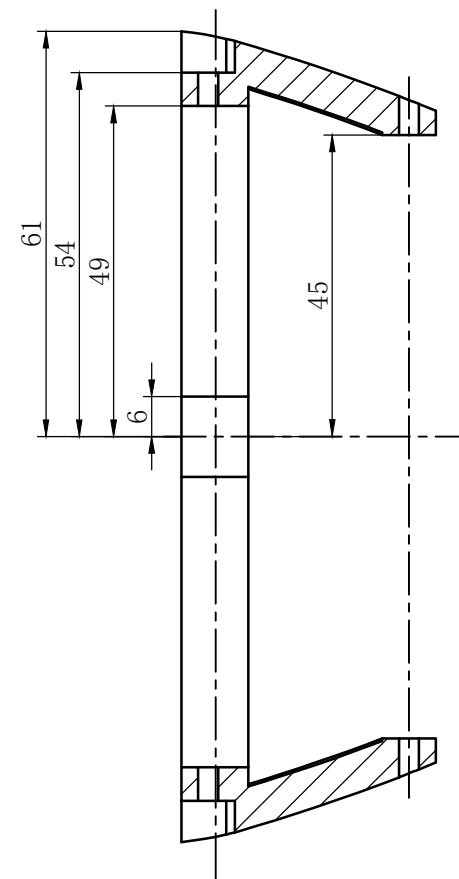
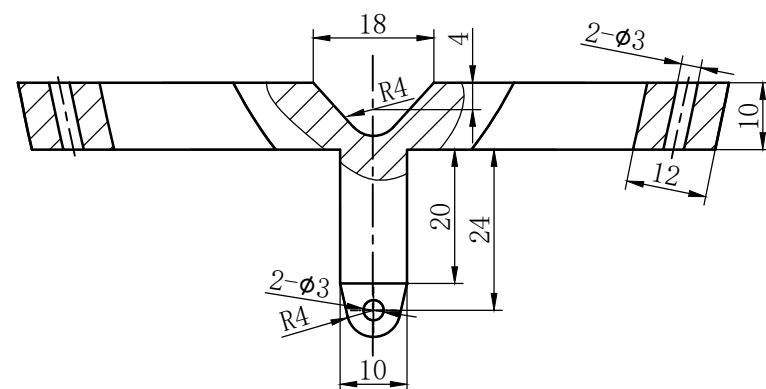
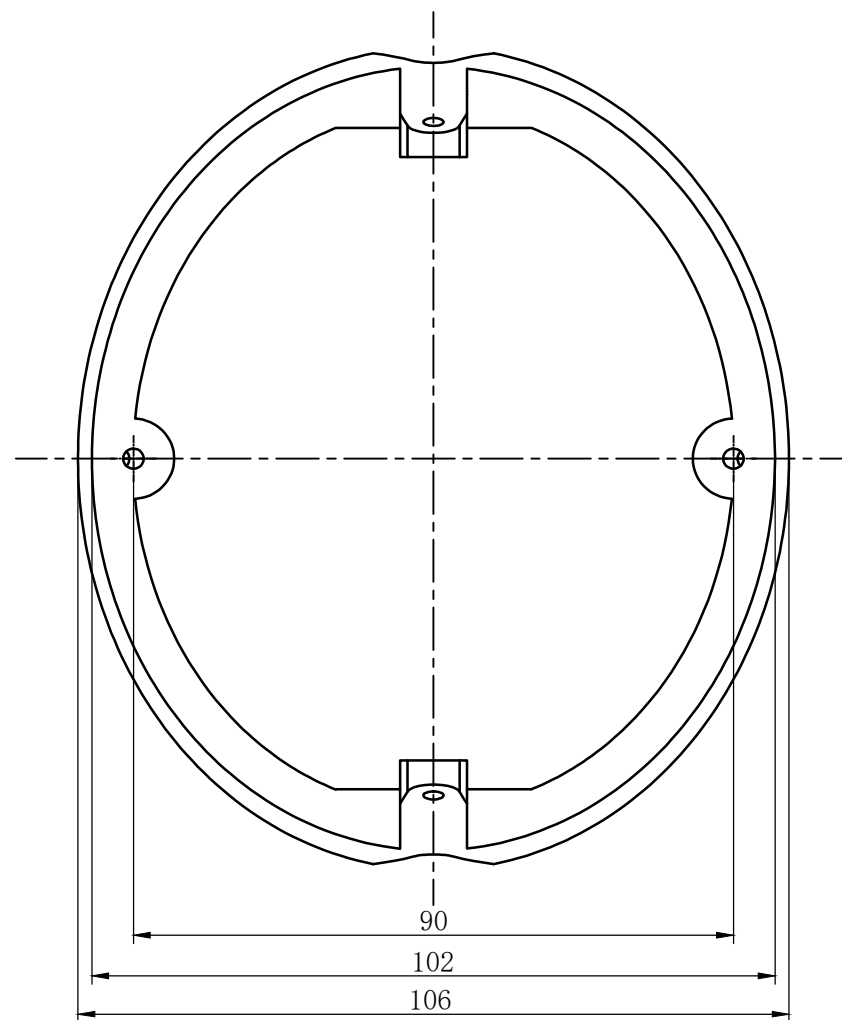
						高韧树脂			第二鱼尾骨架
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段	标 记	重 量	比 例
审 核									1:1
工 艺			批 准			共	张	第	页



技术要求：
1. GB/T1804-m；
2. GB/T1184-k；
3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

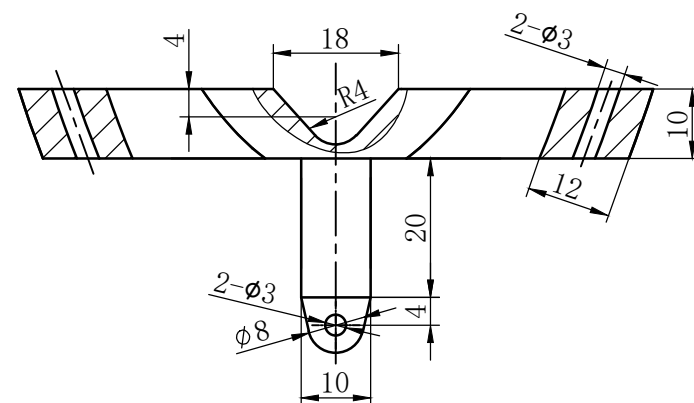
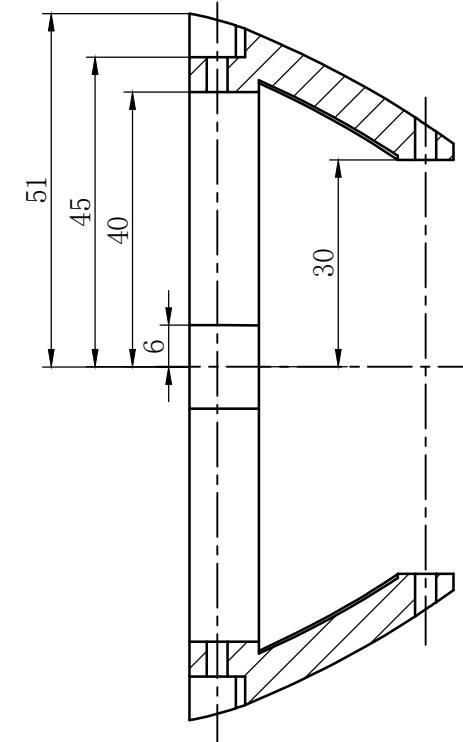
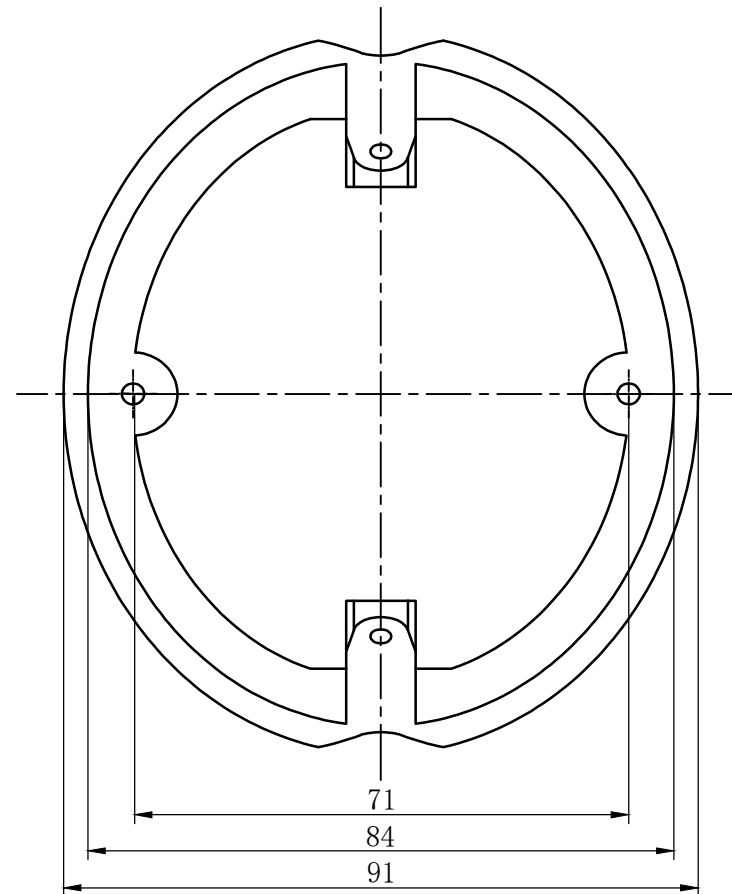
						高 韧 树 脂				第三鱼尾骨架
标 记	处 数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日					
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例	16	
								1:1		
审 核										
工 艺			批 准			共	张	第 页		



- 技术要求:
1. GB/T1804-m;
 2. GB/T1184-k;
 3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

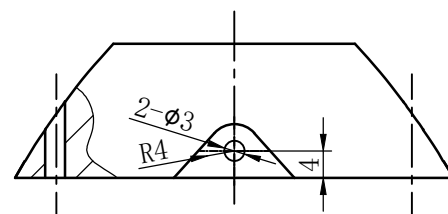
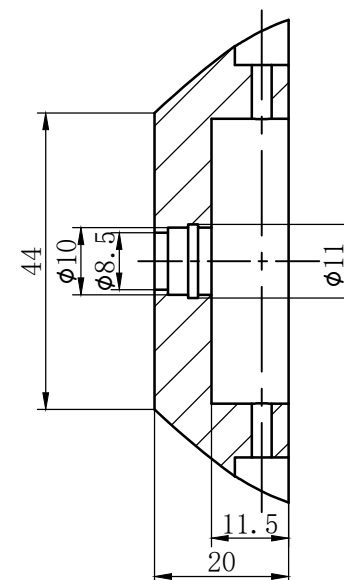
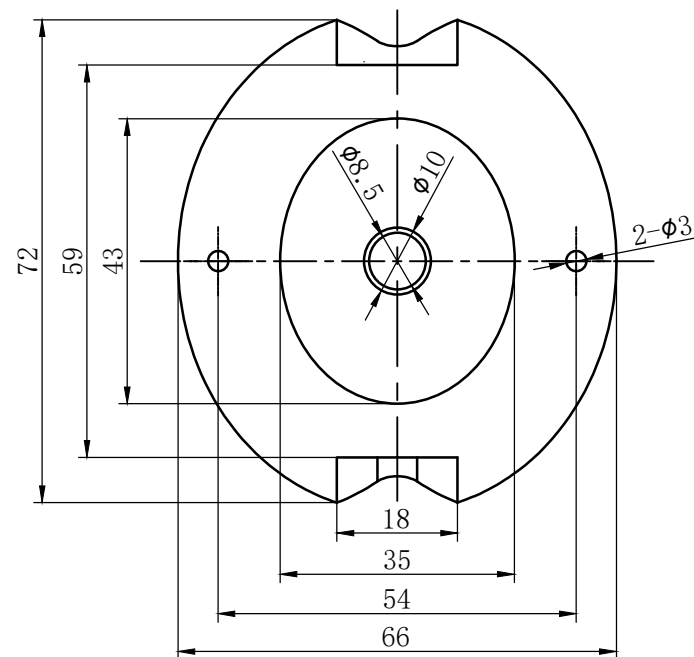
						高韧树脂			第四鱼尾骨架
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例	17
审 核								1:1	
工 艺			批 准			共 张	第 页		



- 技术要求：
1. GB/T1804-m；
 2. GB/T1184-k；
 3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

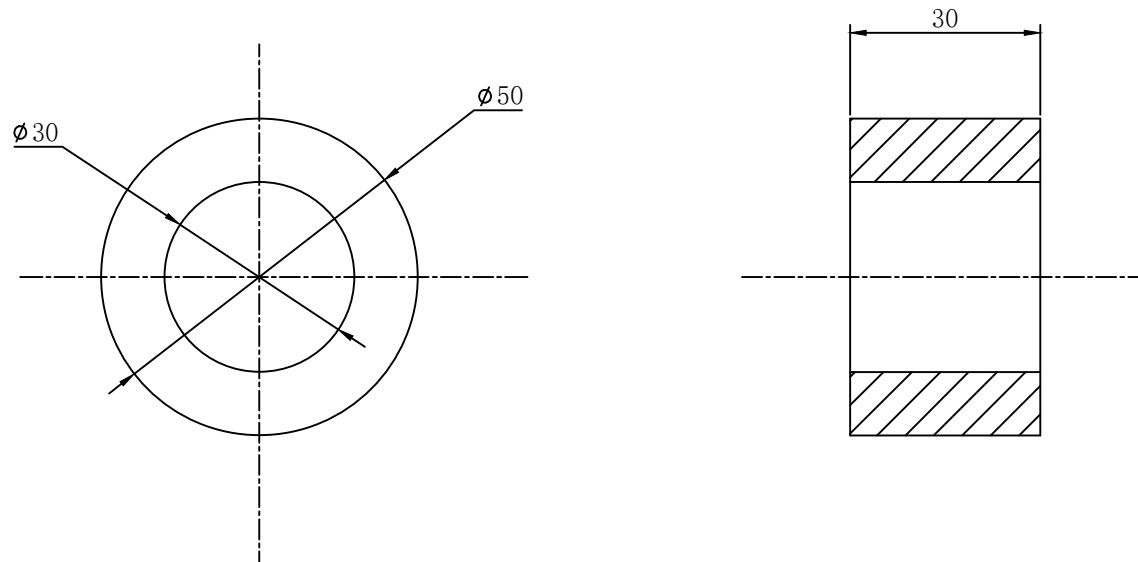
						高韧树脂					
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日	阶 段 标 记		重 量	比 例	第五鱼尾骨架	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)						
										18	
审 核									1:1		
工 艺			批 准			共 张 第 页					



- 技术要求:
1. GB/T1804-m;
 2. GB/T1184-k;
 3. 锐棱倒钝0.3X45，孔边去毛刺。

共1件

						高韧树脂			第六鱼尾骨架
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日	阶 段 标 记	重 量	比 例	19
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)				
审 核								1:1	
工 艺			批 准			共	张	第 页	

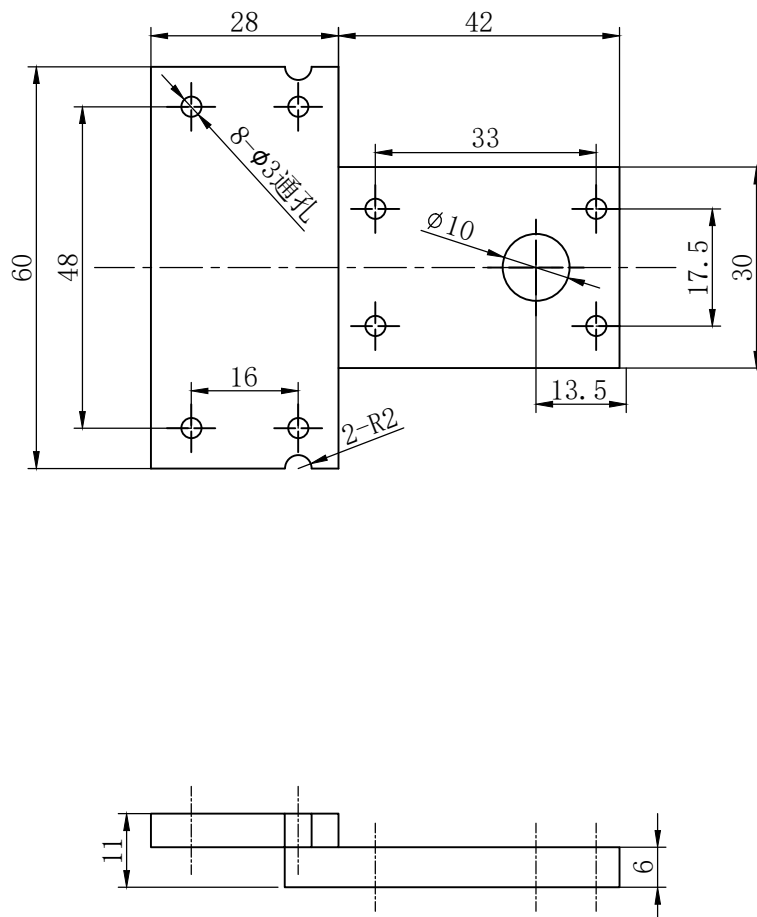


共1件

技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

						铜				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日	阶 段 标 记			轴套	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)					
									20	
审 核								1:1		
工 艺			批 准			共 张 第 页				

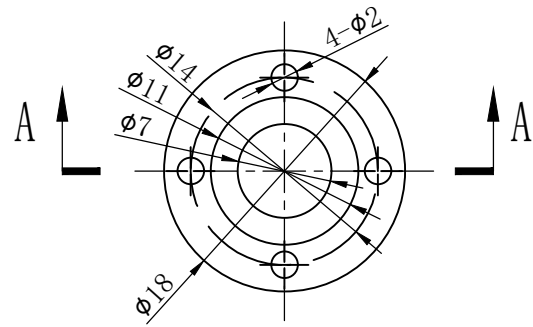
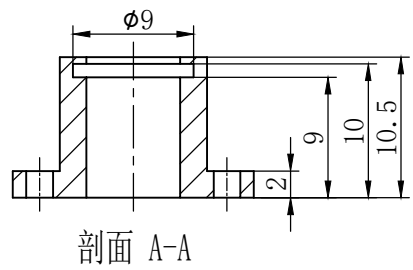


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

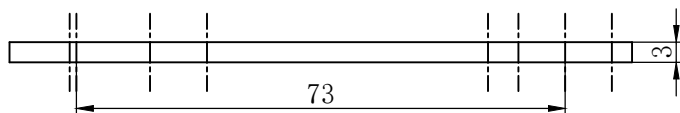
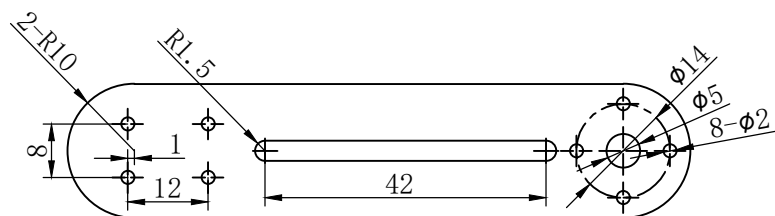
						高韧树脂				直流电机支撑座	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日					直流电机支撑座	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记		重 量	比 例		
审 核									1:1		
工 艺			批 准			共 张		第 页			
										21	



- 技术要求:
- 1. GB/T1804-m;
 - 2. GB/T1184-k;
 - 3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						铝合金			轴承座	
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				22	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
								2:1		
审 核						共 张 第 页				
工 艺			批 准							

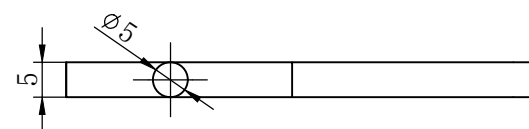
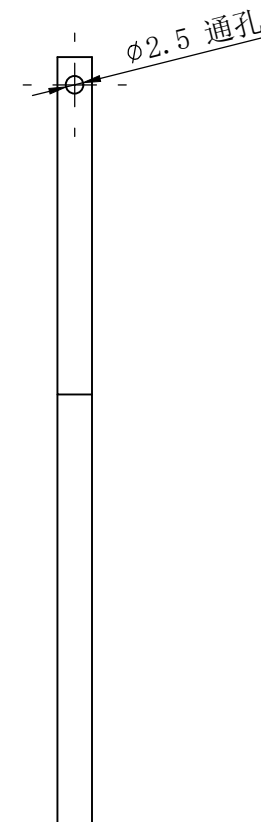
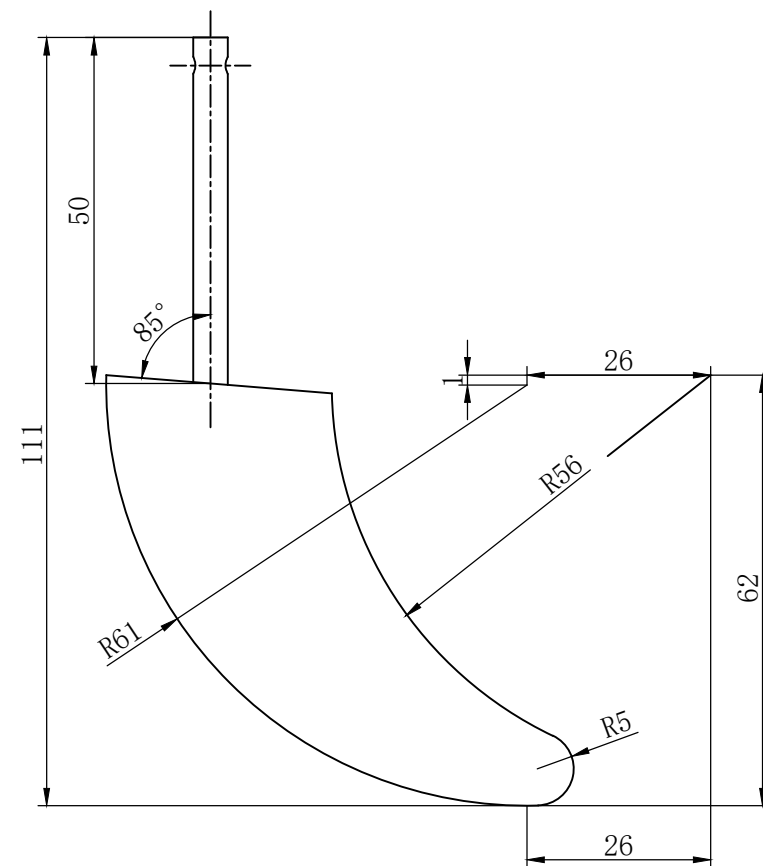


技术要求:

1. GB/T1804-m;
2. GB/T1184-k;
3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

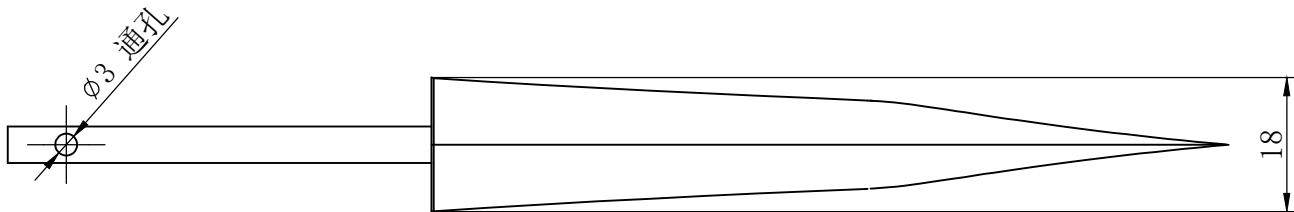
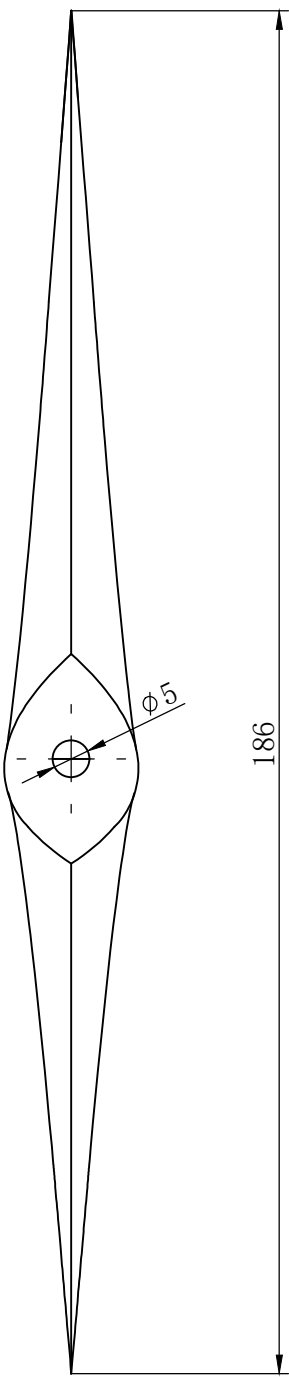
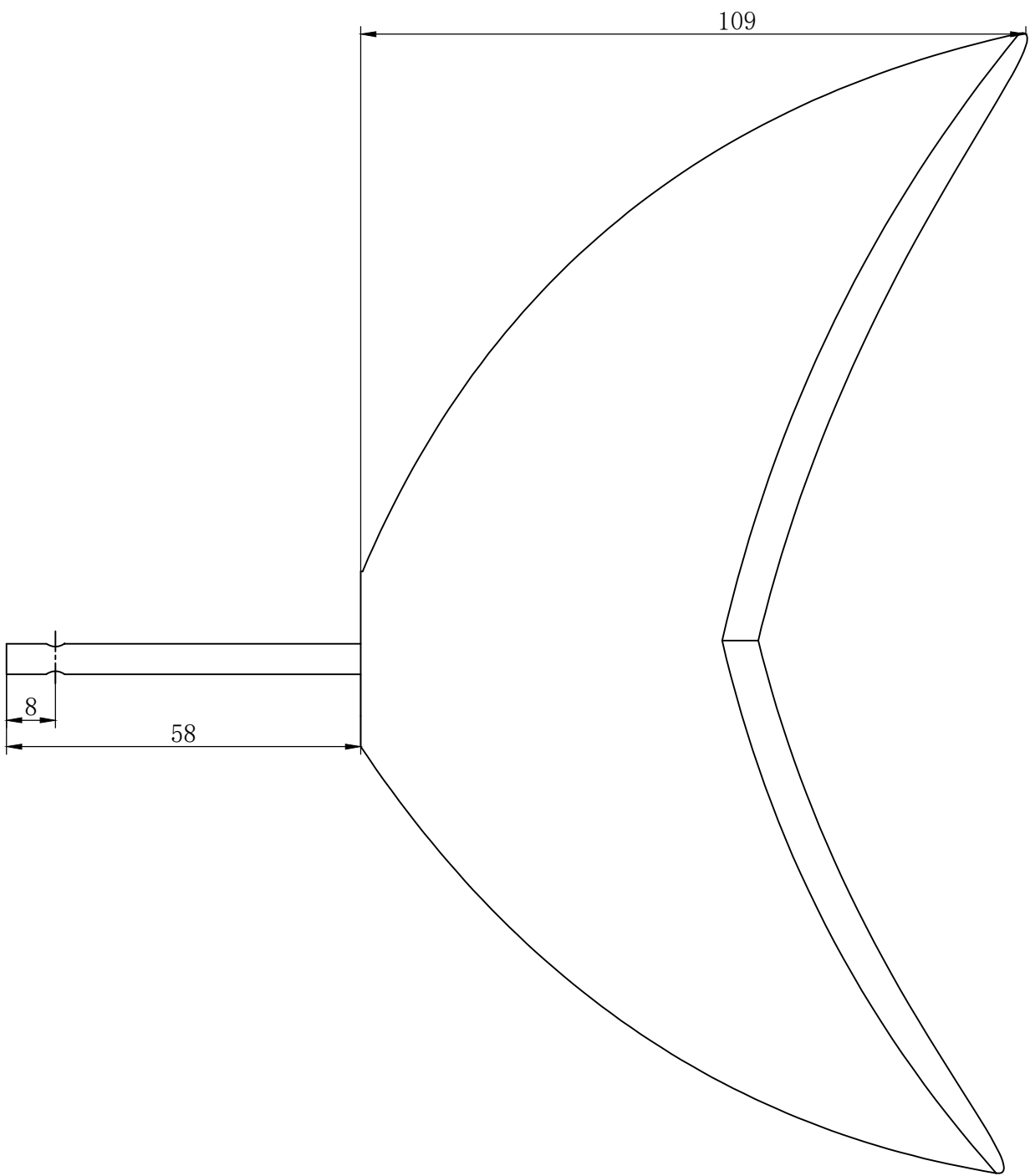
						铝合金					
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日					从动杆	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记		重 量	比 例		
审 核										23	
工 艺			批 准			共 张 第 页					



- 技术要求:
- 1. GB/T1804-m;
 - 2. GB/T1184-k;
 - 3. 锐棱倒钝0.3X45, 孔边去毛刺。

共1件

						高韧树脂				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				胸鳍	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例	24	
审 核								1:1		
工 艺			批 准			共	张	第 页		



技术要求：
1. GB/T1804-m；
2. GB/T1184-k；
3. 锐棱倒钝0. 3X45，孔边去毛刺。

共1件

						高韧树脂				
标记	处数	分 区	更改文件号	签名	年、月、日				尾鳍	
设 计	(签名)	(年月日)	标准化	(签名)	(年月日)	阶 段 标 记	重 量	比 例		
									25	
审 核								1:1		
工 艺			批 准			共 张 第 页				