

水下机器人虚拟仿真实验

实验 指导 书

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 3 月

1 实验运行环境要求

- (1) 计算机操作系统：建议使用 Windows7 及以上版本操作系统(如 Win8/Win10 系统)。
- (2) 浏览器：31.0 及以上版本 Chrome 浏览器。
- (3) 计算机硬件配置：Intel® CORE™ i3-2330M@2.2GHz 以上 CPU，2G 以上内存。

2 登陆实验系统步骤

2.1 打开网页

打开网址：<https://www.ilab-x.com/details/page?id=11364&isView=true>，进入实验介绍页面，单击“我要做实验”，如图 2-1。随后跳转至登陆、注册页面图 2-2。



图 2-1 开始做实验

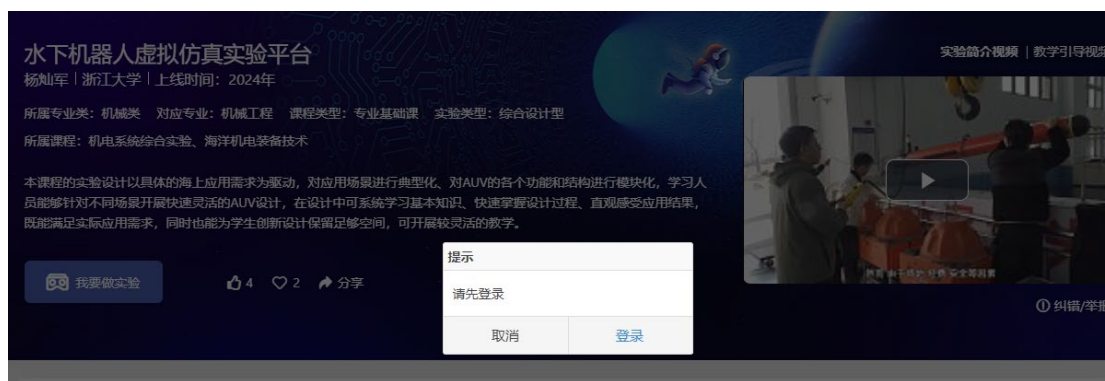


图 2-2 登陆跳转页面

2.2 用户注册登陆

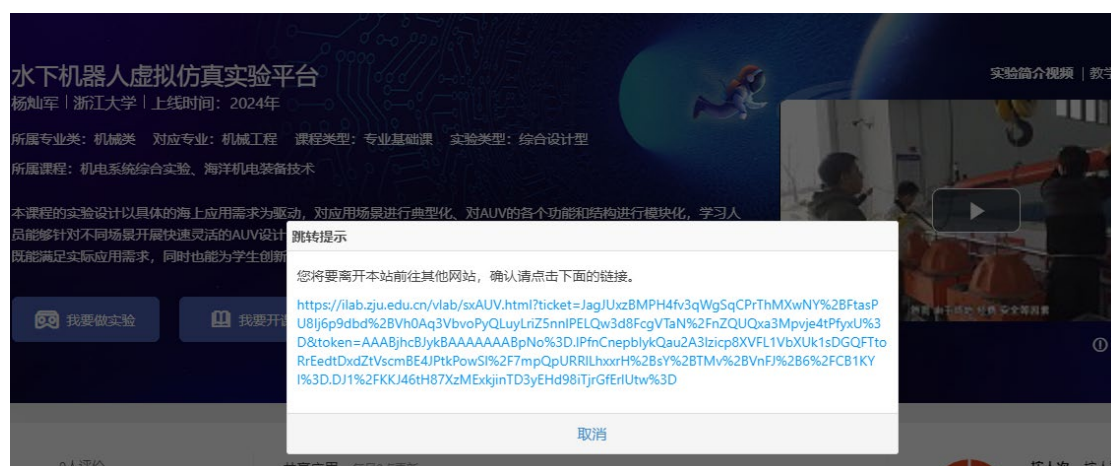
在国家虚拟仿真实验教学平台网站 <http://www.ilab-x.com> 已有账号，直接登陆，如无账号请按提示注册账号，ilab 网站个人信息中的姓名对应实验系统中的用户姓名。

注：一定要先登录 ilab-x 网站，这样单击“我要做实验”后，用户信息会直接关联至实验网站，直接开始做实验。

2.3 开始做实验

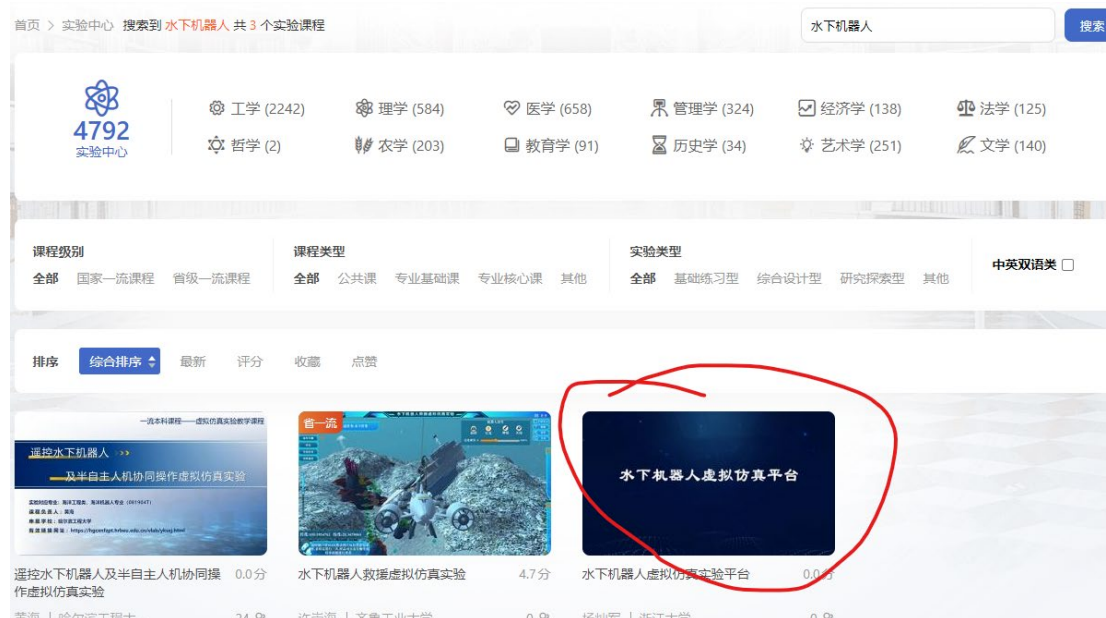
方法 1:

按上述方法登陆后直接跳转至水下机器人虚拟仿真实验系统网站，单击“我要做实验”，跳转提示信息，点击下图的链接，至实验系统网站，开始做实验。



方法 2:

使用账号登录网站 <http://www.ilab-x.com/>，然后在首页通过“水下机器人虚拟仿真”等关键字搜索本实验项目，进入实验介绍页面，单击“我要做实验”，跳转至实验系统网站，开始做实验。



3 开始虚拟仿真实验

向下滚动屏幕，进入虚仿实验界面，实验平台有四个模块“水下机器人概述”、“AUV 设计”、“AUV 水下实验”、“实验报告”四个模块，其中“水下机器人概述”供学习使用不计入学习成绩，“实验报告”模块在后台记录实验步骤并打分，实验结束后可查看。

“AUV 设计”、“AUV 水下实验”两个模块必须按步骤完成，实验指导见附件。



图 3-1 开始虚拟仿真实验

4 提交实验及成绩查看

4.1 提交实验

第一步：成绩上传

完成【AUV 设计】、【AUV 水下实验】后打开【实验报告】模块，查看实验报告内容，并点击“成绩上传”。

AUV虚拟仿真实验报告

总得分: 30

一、AUV设计参数

设计水深	4500米	航速	3m/s	水下工作时间	20
耐压舱材料	钛合金	耐压舱壁厚	5	导流罩外形	圆头导流罩
推进器	Rovmaker	电池型号	M52	电池数量	1
导航系统	USBL	摄像头	惯导	压力传感器	DVL

二、AUV巡检任务





上一页
成绩上传
返回
下一页

第二步：提交实验

所有试验步骤后，**必须点击实验平台首页中的“提交”按键才能完成实验。**



图 4-1 提交实验

4.2 实验成绩查看

实验结束后,返回实验网站(浏览器刷新网页或者从 ilab 网站重新打开网页),
可以查看本人实验成绩。

在 ilab 网站-“我的实验”处也可以查看实验成绩信息，如图 4-2。



图 4-2 ilab 网站实验成绩查看

附件

实验步骤详细说明

进入实验即可看见如图 1 所示的“AUV 技术概述”、“AUV 设计”、“AUV 水下实验”“实验报告”四大板块。每个板块进去都有“实验操作指导”、“实验任务及原理”，实验原理界面关掉后仍然可以通过“知识点”菜单重新打开进行学习。



图 1 主页面

【步骤 1：设定 AUV 设计目标】

操作目的：

设置 AUV 的设计指标

操作过程：

点击“设计指标”按钮，左侧出现设计指标选择菜单栏，在这里可以自由的设置自己的任务目标。点击“知识点”，可以学习相关的原理知识。

操作结果：

点击“参数”可以看见自己设计的 AUV 参数表，如图 2 所示。再后续步骤中，所有设计参数均计入参数表中，可以随时打开参考。



图 2 设定 AUV 设计性能指标

【步骤 2：耐压舱设计-材料选型】

操作目的：

通过 AUV 的耐压壳体材料的选用，探究水下耐压材料选型技术。

操作过程：

在图 3 任务栏点击“耐压舱”，学生点击“知识点”进行学习,右侧会出现耐压舱材料的复选框，点击复选框，根据 AUV 设计目标水深，选定耐压材料。

操作结果：

- 目标工作水深 100 米选择“铝合金 7075-T6”：如选其它材料，参数表中黄色标出，“设计意见”栏提示“耐压材料过设计”；
- 目标工作水深 2000 米选择“铝合金 7075-T6”或者钛合金：如选碳纤维，参数表中黄色标出，“设计意见”栏提示“耐压材料过设计”；
- 目标工作水深 45000 米选择碳纤维：如选其它材料，参数表中红色标出，“设计意见”栏提示“深海情况下，需要性能更优的耐压材料”；
- 红色标出得 0 分，黄色标出得 2 分，正确得 5 分。



图 3 耐压舱设计

【步骤 3: 耐压舱设计-壁厚计算】

操作目的:

学习耐压舱的壁厚计算方法，探究有限元分析应力、应变、变形的的方法。

操作过程:

耐压舱材料选定后，根据 AUV 设计的目标水深、内径大小、选定的材料进行计算、校核耐压舱的壁厚，并填入图 4 中的文本框中，进一步点击“有限元分析”查看应力、应变、变形图，提交任务。

操作结果:

- 壁厚输入值小于正确范围，参数表中标红，“设计意见”栏提示：壁厚不满足稳定性校核要求，无法到达工作水深要求，步骤不得分；
- 壁厚输入值大于最大值，参数表中用黄色标出，“设计意见”栏提示：壁厚过大，过设计，将增加成本，步骤得 5 分；
- 点击“答案提示”，步骤不得分；
- 壁厚输入值正确得 10 分。



图 4 耐压舱壁厚设计

【步骤 4: 导流外形选型】

操作目的:

通过 AUV 的导流外形设计, 学习水动力分析方法, 总结不同形状的 AUV 水动力性能。

操作过程:

本实验平台提供半椭球和平头两种类型的导流形状, 学生在左侧组件库中选定某一种导流外形后, 工作区出现该形状的导流罩, 通过拖拽的方式安装到耐压舱上, 安装后即出现水动力仿真图供学生对比分析, 完成任务后点击“安装完成”, 操作界面如图 5。

操作结果:

- 选择圆头导流外形, 得 5 分;
- 选择平头导流外形, 得 3 分。

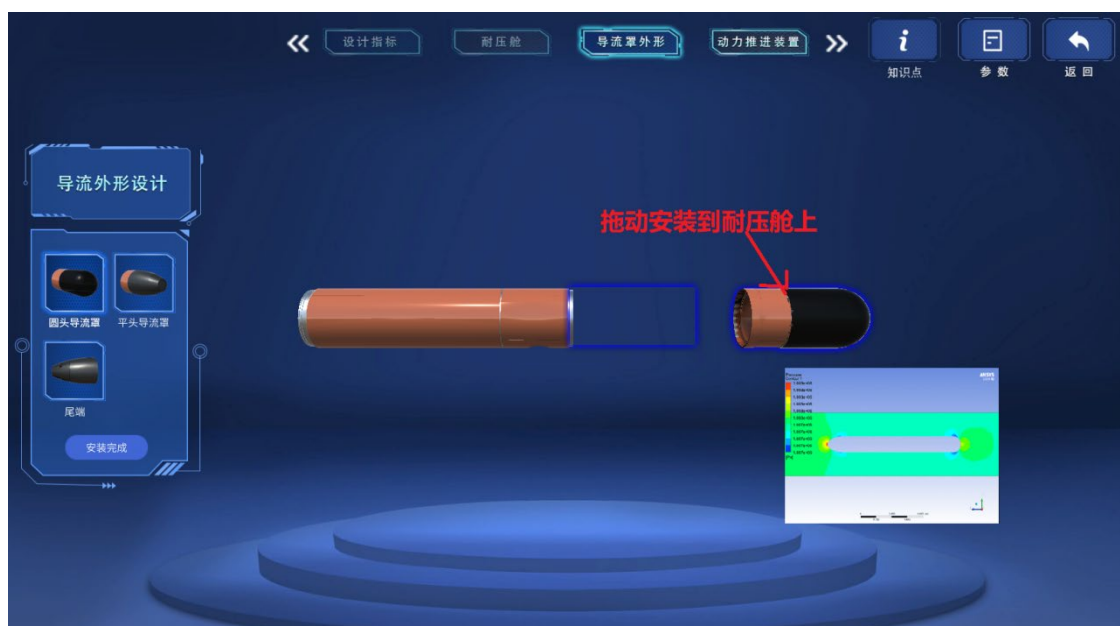


图 5 导流外形设计

【步骤 5: 动力推进装置设计】

操作目的:

计算 AUV 的运行功率和推力，进行推进器选型，完成 AUV 的动力推进装置设计。

操作过程:

任务栏点击“动力推进装置”，学习相关知识点后，根据设计指标，计算 AUV 在水下的运行阻力和所需要的功率，从组件库里的 4 款推进器中选择最适合的一款，拖拽的方式装进 AUV 本体。AUV 的方向控制由舵机实现，学生需要同时安装舵机和舵叶，完成任务后点击“安装完成”，操作界面如图 6。

操作结果:

- 选择的推进器功率和推力小于指标要求，用红色标出，“设计意见”栏提示：推进器选择不恰当，速度可能达不到目标要求。步骤不得分；
- 选择的推进器功率和推力大于指标要求，参数表中用黄色标出，“设计意见”栏提示：推进器过设计，将增加成本。步骤得 5 分；
- 选择的推进器功率和推力正好满足指标要求。步骤得 10 分。



图 6 动力推进装置设计

【步骤 6: 能源系统设计】

操作目的:

分析 AUV 主要使用的能源形式，以及发展趋势，掌握 AUV 能耗计算和锂电池选型方法，完成 AUV 的能源系统的设计。

操作过程:

任务栏点击“能源系统”，组件库中给出 6 中不同型号锂电池包，学生学习相关知识点后，根据 AUV 的功率和运行时间，计算所需要的电池容量，在配件库中选定电池包型号，并计算所需要电池包个数。在组件库中单击选定电池，如图 7 通过拖拽的方式安装到 AUV 本体上，需要注意的是，计算出的电池包个数是多少，就需要装配几个电池包进去，且需要安装电池管理控制板，完成任务后点击“安装完成”。

操作结果:

- 电池型号及个数大于要求：参数表中黄色标出，“设计意见”栏提示“电池数量大于目标要求，过设计，将增加成本”，步骤得分 5 分；
- 电池型号及个数小于要求：参数表中红色标出，“设计意见”栏提示“电池包数量过少，工作时间可能达不到目标要求”。步骤不得分；
- 电池型号及个数小于要求：步骤得分 10 分。



图 7 能源系统设计

【步骤 7: 导航系统设计】

操作目的:

理解、应用水下声学定位导航、惯性导航系统、以及其他定位导航技术，根据选定的任务完成 AUV 的导航系统设计。

操作过程:

任务栏点击“导航系统”，组件库中给出不同的导航定位装置和传感器，学生学习相关知识点后，根据选定的 AUV 水下实训任务配置不同导航装置，在组件库中单击选定，通过拖拽的方式安装到 AUV 本体上。完成任务后点击“安装完成”，如图 8。

操作结果:

- 巡航+定点任务：使用惯导、DVL、压力传感器，选择多于这三项参数表中黄色标出，少于则红色标出；
- 对接任务：使用惯导、DVL、压力传感器、USBL、视觉导航，选择多于这四项参数表中黄色标出，少于则红色标出；
- 用红色标出，“设计意见”栏提示：导航系统设计有误，可能会造成水下任务无法完成，步骤不得分；
- 用黄色标出，“设计意见”栏提示：导航系统过设计，增加设计复杂度和成本。步骤的 5 分；
- 导航部件选择合理，满足水下任务，步骤得 10 分。

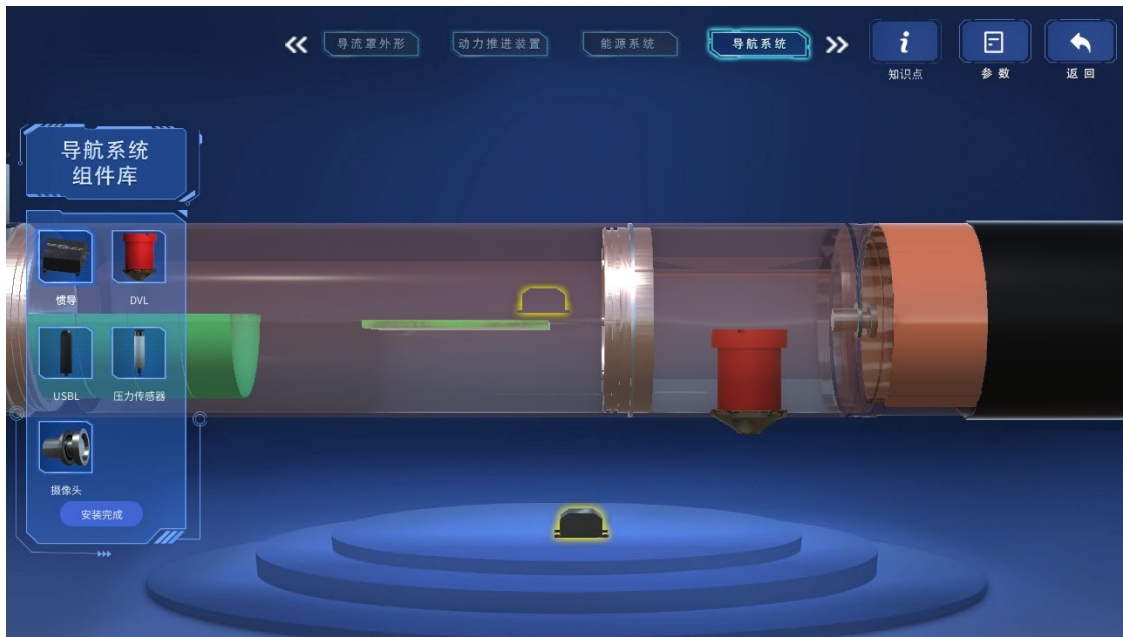


图 8 导航系统设计

【步骤 8: 控制系统设计】

操作目的:

探究 AUV 控制策略。

操作过程:

点击组件库里的控制系统部件，观察并学习其功能，单击选定，通过拖拽的方式安装到 AUV 本体上，完成任务后点击“安装完成”，操作页面如图 9。

操作结果:

正确安装主控板和数据采集处理板，得 6 分。



图 9 控制系统设计

【步骤 9: 系统配平】

操作目的:

掌握 AUV 重力、浮力计算方法、以及 AUV 配平方法，完成本实验的 AUV 配平。

操作过程:

任务栏点击“系统配平”，计算 AUV 的重力、浮力，使用浮力块或者重力块对 AUV 的净浮力进行调节，使其保持在一个微小的正浮力范围内。在组件库中选择浮力块或重力块，通过拖拽的方式安装到 AUV 本体上。完成任务后点击“安装完成”，操作界面如图 10。

操作结果:

- 浮力块用成重力块: 参数表中红色标出，“设计意见”栏提示“配平错误，AUV 无法漂浮水中”，步骤不得分；
- 重力块用成浮力块: 参数表中红色标出，“设计意见”栏提示“配平错误，AUV 无法漂浮水中”，步骤不得分；
- 正确使用重力或浮力块，得 10 分。



图 10 系统配平

设计任务完成: 完成任务栏中所有的任务后，将显示一张如图 11 所示的 AUV 设计参数表，红色显示表示设计参数错误，则要求学生查阅知识角中的相关资料，自主探究错误原因，并可以返回设计任务重新设计。

AUV设计

成绩: 40

设置指标		耐压舱		动力推进装置	导流罩外形
设计水深	4500米	耐压舱材料	碳纤维	Rovmaker2216	圆头导流罩
航速	3m/s	耐压舱壁厚	28	舵机	尾端
工作时间	20			舵机控制板	
作业任务	接驳			舵叶	
AUV内径	600mm				
导航系统		能源系统		载荷系统	控制系统
USBL		电池型号	M52	重力块	主控板
摄像头		电池数量	5		信息板
惯导		电源控制板	电源控制板		
压力传感器					
DVL					

AUV设计参数存在错误（标红部分），请您重新设计！

重新设计

图 11 AUV 设计参数表

【步骤 10: AUV 海底管道巡检任务】

操作目的:

检验前 10 个 AUV 设计任务的的合理性，学习 AUV 轨迹跟踪原理。

操作过程:

选定 AUV 的运行轨迹，运行界面如图 12。

操作结果:

- 如壁厚设计不足，AUV 到一定深度后将被水压坏；
- 如电池选型不合理，任务执行工程中电量耗尽、坠入海底；
- 如导航系统设计不正确，无法完成轨迹跟踪任务；
- AUV 未配平，则浮出水面或沉入海底；
- 顺利完成任务得 10 分。

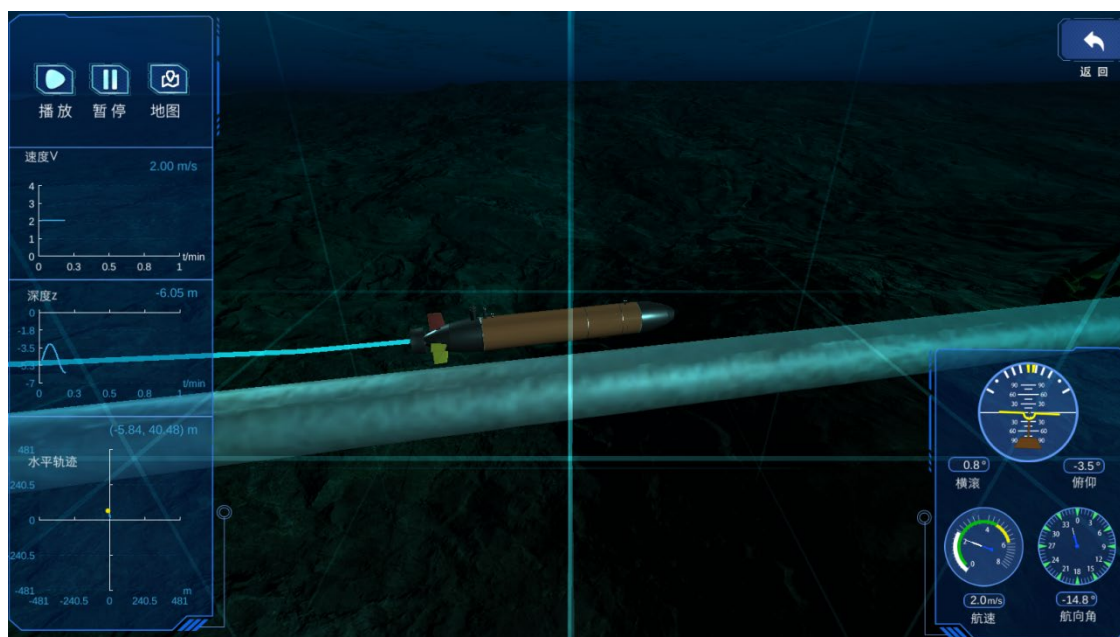


图 12 海底管道巡检任务完成图

【步骤 11: AUV 定点巡航水下实训任务】

操作目的:

检验前 10 个 AUV 设计任务的的合理性，学习巡航工作原理。

操作过程:

如图 13，先在地图中选若干个任务点，运行并记录 AUV 的运行轨迹如图 14。

操作结果:

- 如壁厚设计不足，AUV 到一定深度后将被水压坏；
- 如电池选型不合理，任务执行工程中电量耗尽、坠入海底；
- 如导航系统设计不正确，无法完成巡航任务；
- AUV 未配平，则浮出水面或沉入海底；
- 顺利完成任务得 10 分。

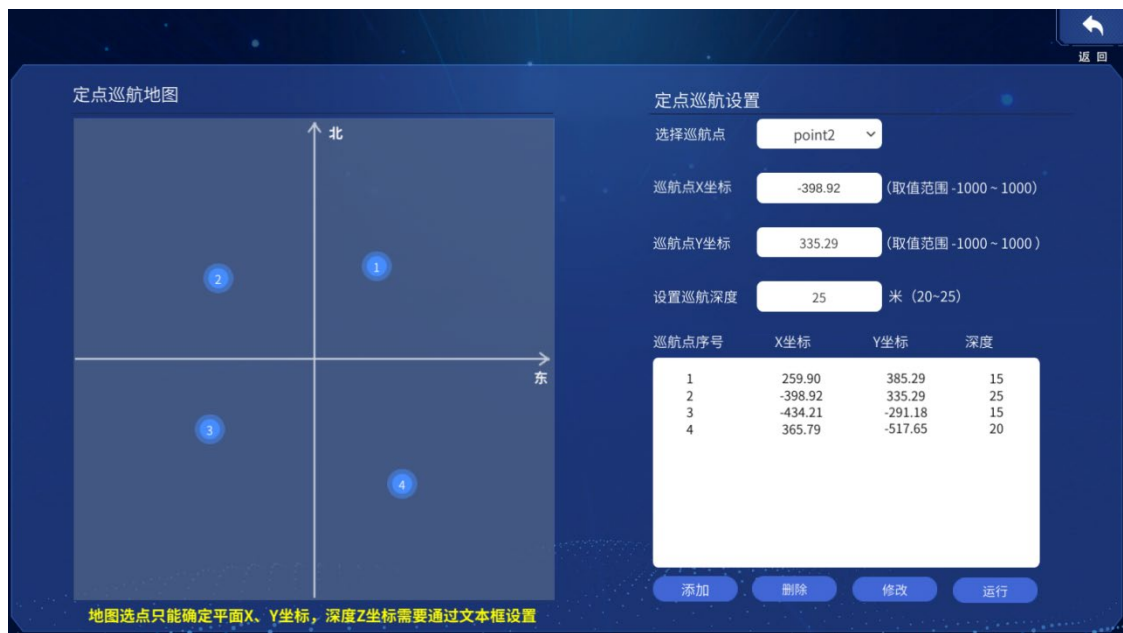


图 13 定点巡航任务设置任务点



图 14 定点巡航水下实训

【步骤 12: AUV 水下接驳任务】

操作目的:

检验前 10 个 AUV 设计任务的合理性，学习水下接驳工作原理。

操作过程:

- 设置接驳站所在的坐标位置与偏角，使 AUV 位于对接站前方，运行并观察其三维运动情况，记录其水平运动轨迹；

- 设置接驳站所在的坐标位置与偏角，使 AUV 位于对接站后方且反向运动，运行并观察其三维运动情况，记录其水平运动轨迹；
- 设置接驳站所在的坐标位置与偏角，使 AUV 位于船体后方，运行并观察其三维运动情况，记录其水平运动轨迹；
- 操作界面如图 15，运行界面如图 16。

操作结果：

- 如壁厚设计不足，AUV 到一定深度后将被水压坏；
- 如电池选型不合理，任务执行过程中电量耗尽、坠入海底；
- 如导航系统设计不正确，无法完成接驳任务；
- AUV 未配平，则浮出水面或沉入海底；
- 顺利完成任务得 10 分。

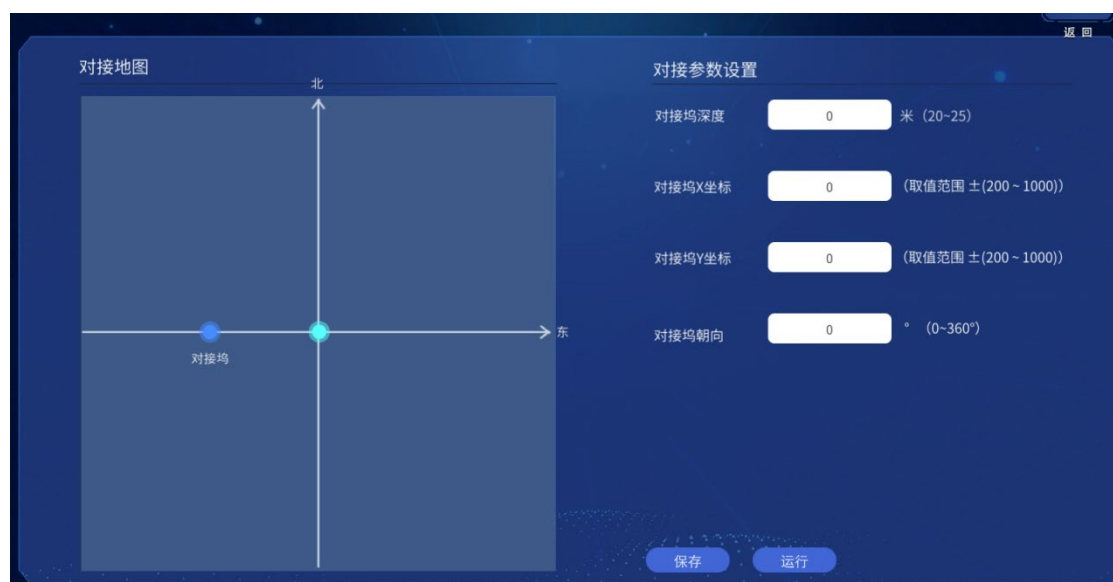


图 15 接驳任务设置接驳站的坐标点

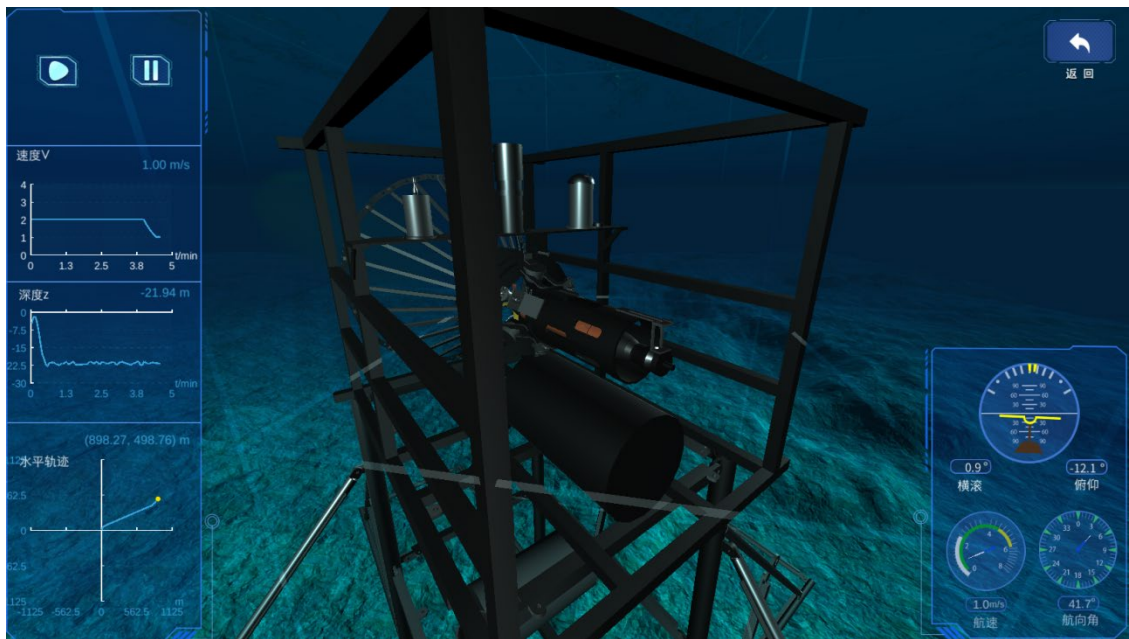


图 16 接驳任务完成图

完成所有实验后，自动生成实验报告，学生查看并提交实验报告，系统自动评分，如图 17 所示。



图 17 实验报告查看

