**上海交通大学大学生创新实践计划项目申请表**

* 1. 基本情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目  名称 | | 深海牧场边界：基于冷泉喷口物质扩散的生态临界探索 | | | | | | | | | | | | | |
| 英文  名称 | | Boundary of Deep-Sea Ranch: An Ecological Critical Exploration Based on the Material Diffusion of Cold Seeps | | | | | | | | | | | | | |
| 所属  学科 | | 学科一级门：理学 | | | （根据教育部学科分类填写） | | | | | 学科二级类：生物科学类 | | | （根据教育部学科分类填写） | | |
| 相关  学科 | | 学科一级门： | | | （学科交叉选填） | | | | | 学科二级类： | | | （学科交叉选填） | | |
| 项目  来源 | | 导师科研 | | | | | | | | | | | | | |
| 申请  金额 | | 15000元 | | | | | 执行期限 | | 1.5年 | | | | | | |
| 导师  配套 | | 85000元 | | | | | 企业赞助 | | 元 | | | 申请学分 | | | 4分 |
| 负责人  姓名 | | 周陈序 | | 性别 | | | 男 | 民族 | 汉 | | | 出生年月 | | | 2006年 2月 |
| 学号 | | 523120910191 | | 所属  院系 | | | 安泰经济与管理学院 | | | | | 专业 | | | 经济学-数学与应用数学 |
| 联系  方式 | | 邮箱：alanzhou@sjtu.edu.cn 手机:19951806670 | | | | | | | | | | | | | |
| 负责人曾经参与科研的情况 | | | 2024年美国大学生数学建模大赛  数字经济时代资本无序扩张对市场公平竞争的影响（PRP）  数字产业链和数据资产入表暑期科研 区域数字化对就业的影响 | | | | | | | | | | | | |
| 指导  教师 | | 肖湘 | | 联系  方式 | | | 邮箱：zjxiao2018@sjtu.edu.cn手机: 13764502349 | | | | | | | | |
| 导师  工号 | | 10564 | | 所在  学院 | | | 生命科学技术学院 | | | | | | | | |
| 指导教师承担科研课题情况 | | | 1.国家自然科学基金委员会重点项目，42330206，深渊微生物能量利用的“去等级化”与多样性成因的研究，230万，2024.01-2028.12，在研主持  2.国家自然科学基金委员会共享航次项目，42349801，共享航次计划2023年度载人深潜-微生物介导的深渊碳循环重大科学考察实验研究（航次编号：NORC2024-801），300万，2024.01-2027.12，在研首席科学家  3.科技部国家重点研发计划项目课题，2022YFC2805404，深渊耐压嗜压生命的多样性成因，373万，2022.12-2026.11，在研主持  4.国家自然科学基金委员会创新群体项目，41921006，深海及深部生物圈，1000万，2020.01-2024.12，在研主持  5.科技部国家重点研发计划项目课题，2023YFC2812603，冰下湖水科学载荷平台与生命探测，875万，2023.12-2027.11，在研参与  6.国家自然科学基金委员会重大研究计划战略研究项目，92351001，"水圈微生物驱动地球元素循环的机制“指导专家组项目调研和组织学术交流，330万，2023.09-2024.12，在研参与 | | | | | | | | | | | | |
| 指导教师对本项目的支持情况 | | | 指导教师在冷泉采样视频、数据、样本、分析方法和算力等方面对本项目进行支持。折合经费支持约8万元。 | | | | | | | | | | | | |
| 项  目  组  主  要  成  员 | 姓 名 | | 学号 | | | 手机 | | | | | 邮箱 | | | 项目中的分工 | |
| 周陈序 | | 523120910191 | | | 19951806670 | | | | | alanzhou@sjtu.edu.cn | | | 组长，统筹工作，同时负责甲烷喷发与生物分布关系分析 | |
| 曾嘉 | | 523080910008 | | | 15361751120 | | | | | increase@sjtu.edu.cn | | | 组员，相关性分析 | |
| 余逸康 | | 523080910032 | | | 15827387601 | | | | | anthonyryrbio@sjtu.edu.cn | | | 组员，相关性分析 | |
| 蔡睿 | | 524031910611 | | | 13640614358 | | | | | cai\_rui@sjtu.edu.cn | | | 组员，海底2D地图构建 | |
|  | 龚厚霖 | | 523031910210 | | | 18010606506 | | | | | gong\_houlin@sjtu.edu.cn | | | 组员，图像处理 | |

* 1. 立项依据（可加页）

|  |
| --- |
| 1. **项目简介（200字以内）**   南海海底的冷泉资源有重大战略意义，其甲烷喷发能够支撑高密度的深海生物生长，是潜在的深海“牧场”。本研究来自于载人深潜科学考察的实际需求，基于对深海勇士号在南海作业时的视频采样的处理绘制活性地图，依据采集的数据对深海冷泉分布、理化条件与生物开展关联性分析，综合多模态信息计算冷泉喷发对周边及上层生物影响，评估深海“牧场”的规模及生态效应。最终为我国推进南海大开发、实现南海可持续发展做出举足轻重的贡献，为实现海洋强国的目标提供数据和理论支持。   1. **研究目的**   本研究旨在通过载人深潜器“深海勇士”号获取的视频数据和采集的生物、地质样本，结合对南海特定海域的深海探测，重建南海海底冷泉区的地貌和生物分布，同时建立“视频🡪地图”的完整技术路径以便通过后续不同航次不同区域的视频逐步重建完整的南海海底地图。在此基础上，运用高级图像识别技术和生物统计学方法，分析海底生物的空间分布格局，对甲烷冷泉的分布与海底生物的种类和数量之间的关系进行量化研究，以探讨甲烷在海洋生态系统中的作用机制。研究还将建立可推广的理论分析框架和生态系统模型，旨在预测甲烷喷发对生态系统的影响范围与强度，评估深海“牧场”的潜在规模及其生态效应，为深海“牧场”开发提供理论依据和科学数据支持，提升南海资源的可持续利用效率。   1. **研究内容**   指导教师在整理所参加的科学考察所采集的信息和数据，发现载人潜水器大量航迹、照片、视频等多模态信息尚未被有效整合利用到科学分析中，例如，在下潜过程中潜水器在前后左右及下方的五个摄像头所不间断地拍摄的录像，记载了海底作业时的浮游生物、发光生物、沉积物颜色等多重信息，因此亟待有效整理和挖掘，从中提取生物学意义，并可对未来的海底科考路线进行辅助设计。  本研究通过深潜器多机位拍摄的视频数据，结合计算机视觉技术进行图像处理、分割与融合，重建南海海底的二维地图，直观呈现海底地貌和冷泉分布。在此基础上，应用深度学习算法和图像识别技术对视频中的海底生物进行自动识别和分类，获取生物的种类、密度和数量数据。研究的重点是分析甲烷喷发与海底生物分布的关系，量化不同甲烷喷发量对生物数量及其存续时间的影响，并建立甲烷喷发对生物分布的影响模型。  本研究将采用小样本数据建模技术，如迁移学习和贝叶斯推断，在有限观测数据的情况下建立甲烷喷发与海底生物分布之间的关系模型。迁移学习通过利用其他类似环境下的数据进行模型预训练，再根据南海特定数据进行调整，提升模型的泛化能力。贝叶斯推断结合先验知识，对甲烷喷发与生物分布的关系进行概率估计，从而提高推论的稳健性。  此外，研究将使用垂直海水采样技术，结合对视频数据的深度处理分析不同深度采集的海水样本中的化学成分和微生物分布。为提升模型的准确性，研究将采用稀疏数据处理技术，如稀疏回归和拉索回归。通过对海水样本中化学成分的动态监测，研究甲烷喷发对海水环境的影响范围，并结合这些数据构建甲烷喷发对海洋生态系统的动态影响模型。综合这些技术手段，本研究将有效揭示甲烷喷发对海底生物分布和海洋生态系统的整体影响。   1. **国、内外研究现状和发展动态**   有关地图重建方面，Zheng, Duan等人在论文[1]提出了使用UbceNet模型提高水下图像的质量的方法。他们使用池化操作和深度可分离卷积来提取显著特征并减少噪声，并采用HardSwish残差增强模块来提高颜色性能。Joaquim Salvi, Yvan Petillot等在论文[2]中提出了使用扩展卡尔曼滤波器（EKF）进行同步定位与制图（SLAM），选择稳健的二维和三维特征作为地标，以及应用Rauch-Tung-Striebel（RTS）平滑器进一步改善三维视图的对齐并获得大尺度的海底三维采集。Sebastian Bullinger等人在论文[3]中一种从多时期卫星影像重建纹理化三维表面模型的方法。但针对海域图像重建，尤其是我国南海的海底图像重建的成果较为稀缺。  在得到海底冷泉及其周边区域的二维地图后，本项目计划利用计算机视觉的相关理论与模型，根据重建的二维地图，得到区域内的生物密度。  为了对图像中的贻贝进行识别与处理，需要对图像进行“目标分割”与“目标检测”操作。国内外关于目标分割和目标检测已有成熟、契合不同场景应用的多种模型。近年建立的CLIP与ALIGN模型能够提取文本和图像的特征，训练模型使文本与图像能够一一匹配。它们能够判断图像是否与文本匹配，进而判断图像中是否含有文本指向的事物。SAM模型则能够根据给出的提示，分割出图像中符合提示的事物[4][5]。SAM模型中“提示”并不仅仅包含文本信息，且相较于CLIP， ALIGN，不仅能指出“照片是一只猫”，而且能指出“包含于照片的像素点集合A是一只猫”，这些特质使其成为目标分割领域目前效果最好的模型之一(Kirillov, Mintun et al. 2023)。对于目标检测，分为国内外主流模型可大致分为单阶段模型与双阶段模型。其中双阶段模型先进行“区域建议”，再利用卷积神经网络检测目标，代表模型包括R-CNN（区域建议结合卷积神经网络模型），Fast R-CNN，Faster R-CNN，以及Mask R-CNN[6]。其中，Fast R-CNN，Faster R-CNN提升了R-CNN模型的速度与准确度(Girshick 2015, Ren, He et al. 2015)，而Mask R-CNN兼具目标分割的功能(He, Gkioxari et al. 2017)。单阶段模型不生成区域建议，只包含图像-网络-结果这一阶段，通过平衡模型的速度与精度，实现了实时的、较高精度的目标检测，代表模型有SSD与YOLO[7]。  由于对图像上微小的浮游生物进实施目标分割难度较大，因此我们对图像中的浮游生物采用密度估计的方法。CSRnet（用于拥挤环境中目标识别的神经网络）能够较为精准的识别拥挤环境中目标，并输出密度图。  本项目还将基于绘制的生境地图及相关数据进行冷泉相关生态系统建模，国内外当前对于此领域的研究，主要集中在地球化学与冷泉形成/受到火山等作用影响方面，对生态学的评估较少。海大HN （Wang et al.2023）的一篇原创研究显示南海SiteF区域的宏观动物基于网格计数和彼此的Bray–Curtis dissimilarity相关性，并且给出了冷泉动物消耗甲烷量的经验公式（贻贝G.platifons, R=5\*21.2\*W^(-0.19)/6,潜铠虾 约为1.98μmol/h），有一定的借鉴价值；而O Konovalova et al.2024的一篇基于北极圈海域海床的原创研究显示甲烷浓度与不同生物密度之间的关系模式很不一样，其采用的是Spearman’s P，Chi，R2作为衡量相关性的指标。查阅其他不限于海床与相关性的论文，有些还采用了Moran指数来评估指定某指标。  有关海水分层采样数据的处理方面，Rakowski等（2015）的研究中，采用Spearman相关系数评估环境变量（如甲烷浓度、营养盐）与微生物丰度的关系，并使用非度量多维标度（NMDS）分析样本间的β多样性。此外，研究通过Mann-Whitney U检验比较不同甲烷浓度样本中的OTU丰度，从而深入解析了墨西哥湾水柱中微生物与甲烷的动态关系。[8]Pati等（2014）在研究中采用了多种多变量统计技术来评估印度维沙卡帕特南沿海水域的水质，主要包括聚类分析（CA）和判别分析（DA），以开发水质指数（WQI）。通过CA，研究将水质数据分为三个主要组，揭示了水样之间的相似性，并通过构建树状图提供了可视化的分组信息。此外，研究还使用了主成分分析（PCA）和因子分析（FA），以更好地理解水质参数之间的复杂关系。[9]在Ratnam等（2022）的研究中，采用了多种多变量统计技术来评估印度南部Nellore沿海水域的理化特征。研究通过聚类分析（CA）和非度量多维标度（NMDS）对五个采样站的水质数据进行分析。研究同样使用了因子分析（FA）来确定影响水质的关键因素，并运用单因素方差分析（ANOVA）和箱形图来辅助验证多变量结果，进一步支持了研究的发现​。[10]  目前对冷泉的研究主要集中于其出现的位置、形成的地理化学过程，且证明冷泉附近生态系统在群落构成和生物多样性方面有所不同。对冷泉附近的生态系统，包括巨型动物和微生物群落，仅处于调查的开始阶段。虽然对SCS微生物生态系统的有限研究发现了一些可能在甲烷代谢中发挥重要作用的地方性生态型，但大部分研究都仅止于描述和定性的阶段，对深海冷泉喷发对周边及上层海水生物影响尚缺少量化的研究。  本项目将借助视频及其它相关数据，绘制海底生境地图，量化分析深海冷泉喷发对周边及上层海水生物密度的影响，填补这一领域相关研究的空白，并服务于我国建设海洋强国的目标，推进南海大开发的进程。   1. Zheng, Dashun, 等. 《UbceNet: An Underwater Image Enhancement Network for Processing Underwater Images》. 2023 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2023, 页 1896–900. IEEE Xplore, https://doi.org/10.1109/ICCC59590.2023.10507269. 2. Salvi, Joaquim, 等. 《Visual SLAM for 3D large-scale seabed acquisition employing underwater vehicles》. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2008, 页 1011–16. IEEE Xplore, https://doi.org/10.1109/IROS.2008.4650627. 3. Bullinger, Sebastian, 等. 3D Surface Reconstruction From Multi-Date Satellite Images. arXiv:2102.02502, arXiv, 2021年4月3日. arXiv.org, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2102.02502>. 4. Radford, A., et al. (2021). Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision. Proceedings of Machine Learning Research. 5. Jia, C., et al. (2021). Scaling Up Visual and Vision-Language Representation Learning With Noisy Text Supervision. Proceedings of Machine Learning Research. 6. Ren, S., et al. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in Neural Information Processing Systems. 7. Liu, W., et al. (2016). SSD: Single shot multibox detector. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 9905 LNCS: 21-37. 8. Rakowski, Chrisoulla, 等. 《Methane and Microbial Dynamics in the Gulf of Mexico Water Column》. Frontiers in Marine Science, 卷 2, 2015年9月. Frontiers, <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00069>. 9. Pati, Sangeeta, 等. 《Assessment of Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques in the Coastal Region of Visakhapatnam, India》. Environmental Monitoring and Assessment, 卷 186, 期 10, 2014年10月, 页 6385–402. Springer Link, <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3862-y>. 10. Ratnam, Krupa, 等. 《Evaluation of Physicochemical Characteristics of Coastal Waters of Nellore, Southeast Coast of India, by a Multivariate Statistical Approach》. Frontiers in Marine Science, 卷 9, 2022年3月. Frontiers, https://doi.org/10.3389/fmars.2022.857957. 11. **创新点与项目特色** 12. 依托载人深潜器“深海勇士”号拍摄的多机位海底视频，基于opencv、sobel边缘检测等技术重建海底生物地图，为海底地图的绘制提供全新且高效的技术路径，有助于推进我国对南海的全面探索和开发。 13. 通过视频数据分析海底生物的分布及深海的理化性质，并探索两者之间的联系，提供研究深海的新方法。相比传统分析方法，新的方法避免了传感器在深海中因海水压力无法正常工作的难点，也克服了深海生物样本在上浮过程中产生的不可逆变化，尽可能还原海底原位信息。 14. 从对生物的影响角度出发，研究深海冷泉甲烷喷发对海洋生态环境的影响，并将首次建立量化模型描述深海冷泉周边生态系统，增进了学界对于深海冷泉的认识和理解。 15. **技术路线、拟解决的问题及预期成果**     1. **技术路线图**      * 1. **拟解决问题**  1. 基于深海勇士号视频数据的地图重建工作中将解决海底图像清晰度不足，噪点多，色差小带来的对比度低的问题，最终能结合计算机视觉技术进行图像处理分割与融合，重建南海海底的二维地图，直观呈现海底地貌。 2. 根据重建的二维地图，通过图像处理得到海底冷泉周边一定区域内的贻贝密度和浮游生物密度。 3. 通过甲烷喷发量提前估算冷泉周围聚集的生物量、生物组成以及存活时间，从而预测深海“牧场”的规模，同时便于后续研究中建立全周期的冷泉生态系统模型。 4. 基于现有的少量数据建立甲烷喷发的影响模型，用于预测一次喷发带来的影响范围，从而测算深海“牧场”的生态效应。    1. **预期成果** 5. 基于视频数据，完成南海海底部分区域的生境地图重建，同时建立完整技术路径便于后续通过更多航次的更多视频重建完整的南海海底生境地图。 6. 建立通过甲烷喷发量预测冷泉周围聚集的生物量的模型，得到海底冷泉周边一定区域内的贻贝密度和浮游生物密度，并绘制出密度图，预测深海“牧场”规模。 7. 建立甲烷对海洋生态环境的影响模型，预测甲烷喷发带来的影响范围和程度，测算深海“牧场”带来的生态效应。 8. **项目研究进度安排**   本项目计划执行年限为18个月（2024.10-2026.3）  2024年10月-11月——学习相关技术、采集数据，撰写研究综述  2024年12月-2025年3月——重建生境地图并提取数据  2025年3月-8月——统计海底生物分布，建立甲烷喷发与生物分布关系模型  2025年9月-2025年11月——根据不同深度海水理化信息建立甲烷影响模型  2025年12月-2026年3月——撰写论文、结项报告   1. **已有基础**    1. **与本项目有关的研究积累和已取得的成绩**   指导教师团队在2024年7月参加的南海冷泉科考航次，通过5次下潜对不同发展时期的冷泉进行考察和采样，包括新生冷泉、成长期冷泉、成熟期冷泉、衰落期冷泉和冷泉坟场等，采集5个潜次视频累计超过30小时，采集不同区域的沉积物分层样本近500份，原位过滤海水样本5份，5个站位的上层海水样本近100份。其中微生物宏基因组样本已送测序，预计11月下机；微生物核酸蛋白共提取样本已完成提取送测，预计12月返回数据；海水理化参数检测实验正在进行中，预计12月完成。   * 1. **已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法**   在生境地图绘制方面，目前已具备SLAM 相关技术，包括BundleFusion，Kintinuous，Multi-View Stereo Reconstruction预算法等，同时南海冷泉相关实拍视频等原始数据均已妥善存储。但是由于视频数据量较大，目前实验室已有算力可能不足以支持对全部视频内容进行处理，可以通过提取视频中的关键帧并改进已有的图像预处理方法，使其能提取出更多信息，从而不需要对每一帧都进行重建，大大减少工作量。  从绘制的生境地图中提取生物量相关数据时，已具备SAM模型，YOLOv8模型，CSRnet模型，聚类（KNN，Kmean等），在地理尺度上的DynOcc，Pearson相关分析等技术，预计在完成生境地图绘制后能够顺利开展。  海水样本分析方面，已具备部分小样本数据建模技术，如迁移学习、贝叶斯推断等。尚未实现由甲烷气泡、折射度、模拟实验等手段复现对应深度样本在取样环境下的甲烷浓度特点。预期利用实验室中相关高压设备等进行模拟实验，采用迁移学习等方法尽可能精确测定对应深度下海水的理化性质。 |

* 1. 经费预算

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 开支科目 | 预算经费  （元） | 主要用途 |
|
| 预算经费总额 | **100000** | **（与申请金额相等）** |
| 1. 办公费 | **0** |  |
| 2. 印刷费 | **0** |  |
| 3. 邮电费 | **0** |  |
| 4 市内交通费（不超过5%） | **750** | **上海市内交通** |
| 5. 差旅费 | **4250** | **调研，学术交流，数据采集，样本回收** |
| 6. 会议费 | **0** |  |
| 7. 培训费 | **0** |  |
| 8. 材料费 | **0** |  |
| 9. 实验测试费 | **91000** | **设备购置，算力租赁，模拟实验** |
| 10. 图书资料费 | **4000** | **购买相关资料，书籍** |
| 11. 其他费用 | **0** |  |

* 1. 指导教师意见

|  |
| --- |
| （需填写指导老师意见，无需签章。）  本项目将充分利用本团队已积累的马沟和珠峰的微生物数据，并创新性地整合了采样过程中产生的地理位置、地形、航迹等信息，具有重要的科学价值和研究意义，研究路线清晰，方案合理，依托本团队已有珍贵样本、数据和原创技术方法，具有很好的创新性和可行性。本团队将为该项目的顺利实施提供充足的科研配套经费、实验场地、软硬件设施和带教研究生团队，对本项目本科生成员进行全面且悉心的科学指导。 |