doi: 10.11720/wtyht.2026.1253
张梦琳, 雷晓鸥, 蒋帆, 等. 基于 Matlab 和 Python 的海洋可控源电磁发射数据分析技术研究[J]. 物探与化探, 2026, 50(4): 707-715. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1253
Zhang M L, Lei X O, Jiang F, et al. An analytical technique based on Matlab and Python for marine controlled-source electromagnetic data[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(4): 707-715. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1253

基于 Matlab 和 Python 的海洋可控源电磁发射数据分析技术研究

张梦琳[1], 雷晓鸥[2], 蒋帆[2], 郑子露[2], 雷鑫好[2], 王猛[2], 伍忠良[3]
(1. 中国地质大学(北京) 土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京) 地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 3. 中国地质调查局 广州海洋地质调查局, 广东 广州 511458)

摘 要: 海洋可控源电磁发射系统在海试过程中记录了大量的深度、姿态以及 GPS 等状态数据, 对其潜在问题的研究是后续优化改进的重要参考之一。本文聚焦于近些年海试返回的海洋可控源电磁发射数据, 针对该电磁发射系统在海试期间产生的深度、姿态以及 GPS 信息等, 充分发挥 Matlab 和 Python 的各自优势, 借助新技术展开数据分析。除了利用 Matlab 自带的绘图功能外, 引进 Robotics Toolbox 对水下拖体的姿态进行三轴旋转模拟; 通过自定义函数实现全程 GPS 轨迹回放。通过 Python 的各类优势库进行数据可视化、拖体姿态 3D 模拟和航行测线单点回放等操作。在 Python 语言的高级功能下, 利用其为工具的数据回放应用也可为海洋可控源电磁数据监控系统提供新思路。根据各自的优势, 多种编程语言的应用让数据可视化成果更加直观, 调用信息更便捷, 为系统升级优化提供新方向。

关键词: 海洋可控源电磁系统; 可视化; 数据回放; Python; Matlab
中图分类号: P631; P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)04-0707-09

0 引言

海洋可控源电磁(marine controlled source electromagnetic, MCSEM)探测技术通过人工源电磁场的发射与接收, 为解析海底电性结构提供了独特的技术路径, 在海洋资源勘探领域的应用价值持续凸显[1]。在国外, Cox[2] 在北太平洋开展了可控源电磁测深试验; Weitemeyer 等[3] 在墨西哥湾 Walker Ridge 313 区验证了 MCSEM 技术对水合物富集区及复杂地质界面的分布特征能力; Attias 等[4] 在挪威近海 Nyegga 地区联合拖曳式和海底电场接收器采集 CSEM 数据并进行反演, 发现了 4 个新垂直电阻特征; Zerilli 等[5] 利用海洋可控源电磁技术, 针对巴西 Espirito Santo 盆地超深水区域, 实现盐体底部的精准成像。

我国在 MCSEM 装备研发与实地应用方面已经形成了自主技术体系, 研制了国内首套海洋可控源电磁发射系统, 为天然气水合物等资源勘探提供了坚实的技术支撑[6-8]。随着实时监控与数据回放软件系统的逐步完善[9-10], 海洋可控源电磁发射系统在南海等典型海域的实地海试中成功实现多次实地数据采集, 取得突破性成果[11-12]。2010 年在南海北部陆坡深水海域获得我国首批深水海域的可控源电磁探测数据[13], 而后多次在琼东南盆地、南海北部和神狐海域进行实地水合物勘探[14-16], 实现从电阻率数据获取到储层精细解析的全流程能力提升。

作为海洋实验过程中监控系统运行状态、记录关键参数的数据载体, 发射状态数据的深度挖掘与可视化分析可以为发射系统的升级优化提供数据驱动的改进方案, 具有重要的工程应用价值。本文围绕近年来海上实测的深度、姿态及 GPS 位置信息, 进行数据可视化及模拟等操作, 展示海试过程中部

收稿日期: 2025-07-24; **修回日期**: 2025-10-19
基金项目: 2023 年广东省海洋经济发展专项 (GDNRC[2023]40)
第一作者: 张梦琳(2004-), 女, 主要从事数据处理分析工作。Email: 1323935481@qq.com
通讯作者: 王猛(1984-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为地球物理仪器。Email: wangmeng@cugb.edu.cn

分模块的运行情况，对实验船轨迹和拖体拖曳状态进行分析，并挖掘数据潜在的多样应用可能。

1　可视化主要应用模块

在可视化的架构设计中，主要采用 PyVista、Ploty、和 Robotics Toolbox 作为核心模块，以满足多样的可视化需求。

1.1　Python 端

基于 PyVista 与 Ploty 模块：PyVista 通过 VTK 封装优化三维网格处理，支持时空索引构建与动态仿真；Ploty 基于 Web 技术实现交互式图表渲染，适配 Jupyter 环境及 HTML 输出。程序流程涵盖数据筛选校验、时空分割、PyVista 三维场景驱动，通过时间轴控件实现拖体姿态参数化动态渲染（程序流程图详见图 1）。

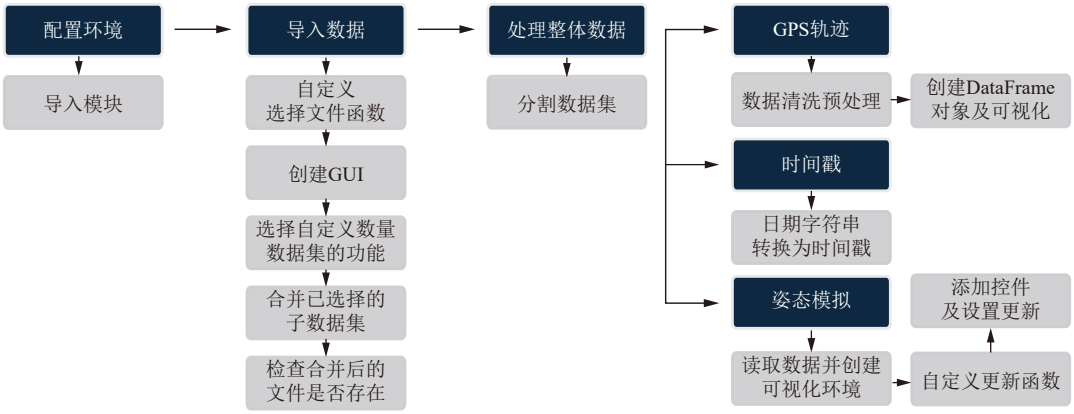


图 1　Python 处理流程

Fig. 1　Management flowchart of Python

1.2　Matlab 端

依托 Robotics Toolbox 进行运动学建模，集成数据滤波、深度分析与三轴姿态动画生成，内置动图导出功能。其流程包括多源数据筛选、前后均值填充处理、姿态数据仿真及动图导出（程序流程图详见图 2）。

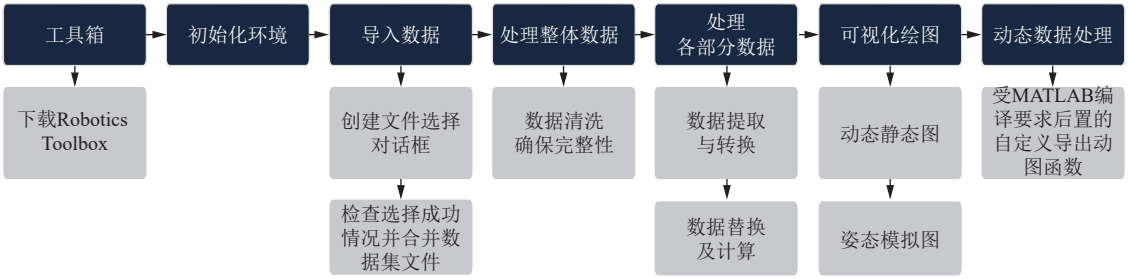


图 2　Matlab 处理流程

Fig. 2　Management flowchart of Matlab

1.3　应用特性

Python 侧重跨平台交互与复杂场景渲染，但对硬件性能和多库协同要求较高；Matlab 擅长高效数据建模，适合本地高精度计算，但扩展性受限。二者应用局限与优势见表 1。

2　MCSEM 数据处理

2.1　深度图数据分析与处理

Matlab 绘制的 2023 年 7 月与 2024 年 5 月海试采集的深度数据，参数标注见图 3，成果见图 4 和图 5。

数据体系包含拖体记录深度、高度计记录的拖体离底高度及尾标离底高度，通过式（1）~（3）可推导拖体真实深度、点位水深及尾标深度。其中式（1）通过固定补偿值 10 消除水压影响。

$$D_T = -d_T + 10, \tag{1}$$

$$D_W = -h_T + D_T, \tag{2}$$

$$D_t = -h_t + D_W。 \tag{3}$$

式中：D_T 为拖体真实深度；D_W 为点位水深；D_t 为尾标深；d_T 为拖体记录深度；h_T 为拖体离底高度；h_t 为尾标离底高度。

受数据完整性限制，2023 年因未记录尾标高度数据，仅展示拖体真实深度与水深曲线。全局图

表 1　Python 与 Matlab 应用局限与优势

Table 1　Limitations and advantages of Python and Matlab applications

维度		Python	Matlab
交互性	优势	多模态交互(时间轴跳转、滚轮缩放、Tooltip实时反馈), 支持浏览器端动态操作	本地逐帧渲染高效, 帧率稳定
	局限	依赖多库配置, 环境搭建	交互功能单一
三维可视化	优势	灵活模型驱动(如PyVista多视角动态观察)	精确数学建模, 支持姿态与深度联动展示
	局限	底层控制相对多样, 涉及Web技术	三维交互灵活性低
输出格式	优势	生成交互式HTML文件, 跨平台兼容性强	输出高清GIF动画
	局限	——	格式交互性弱
部署与扩展	优势	开源生态完善, 多平台适配	工程化集成度高, 快速原型开发
	局限	环境搭建较复杂	功能扩展受限于工具包

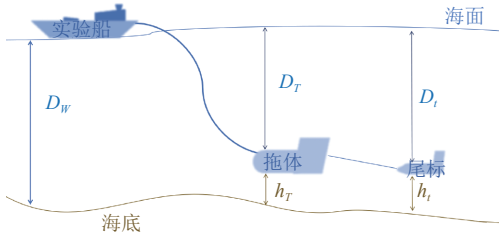
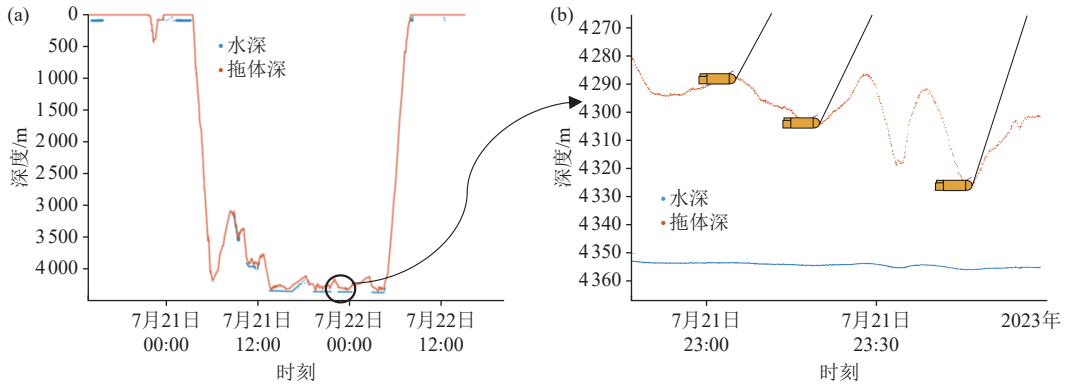


图 3　发射系统作业示意

Fig. 3　Schematic of the operation of the launch system

(图 4a 和图 5a)显示: 2023 年 7 月拖体工作最大深度达 4 344 m, 测得最大海洋深度值约为 4 365 m; 2024 年 5 月拖体工作最大深度达 3 608 m, 测得最大海洋深度值约为 3 644 m。两年度初期数据均存在显著缺失, 主要因拖体下沉阶段离底高度超出高度计量程, 导致水深计算所需的h_T数据缺失。建议母船待拖体稳定接收高度数据后再沿测线航行, 以提

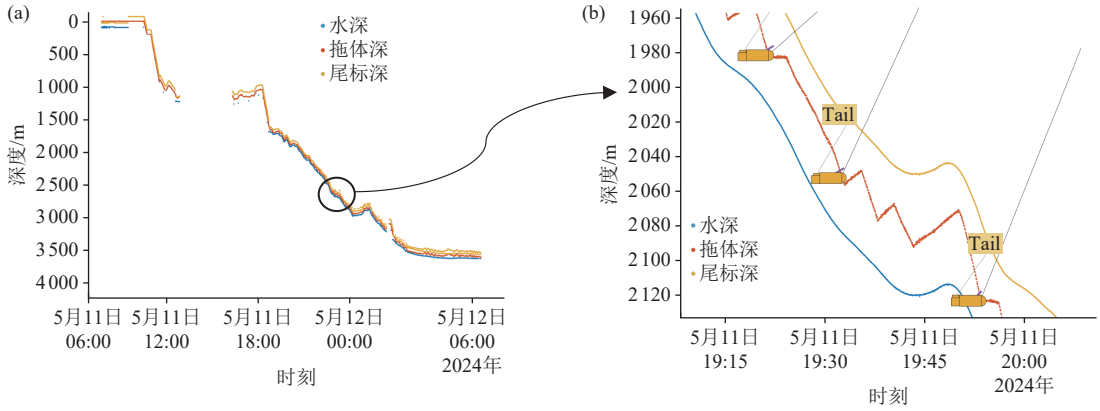


a—全局图; b—拖曳平稳处

a—global diagram; b—smooth towing place

图 4　2023 年发射机工作深度与离底高度数据

Fig. 4　2023 data of transmitter operating depth and height from the bottom



a—全局图; b—拖曳平稳处

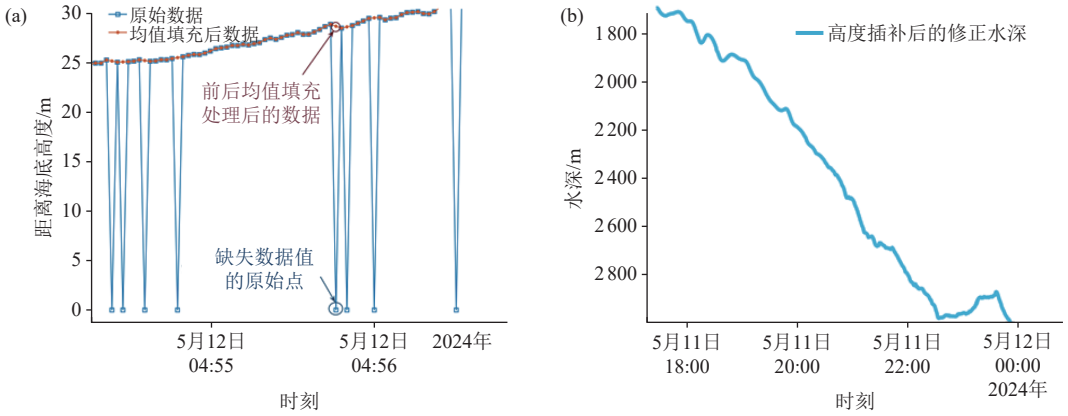
a—global diagram; b—smooth towing place

图 5　2024 年发射机工作深度与离底高度数据

Fig. 5　2024 data diagram of transmitter operating depth and height from the bottom

升数据采集效率与测线完整性。

针对离底高度超出高度计量程导致数据缺失的问题，以 2024 年数据为例，其数据插补结果通过 Matlab 绘制于图 6a，呈现原始测量序列与插补重构序列对比。该插补策略采用优先级约束机制，优先基于双侧有效邻域均值进行数据修复，当单侧数据有效时退化为最近邻替代，其数学表达如式(4)所示：



a—离底高度插补；b—修正后的水深曲线

a—interpolation of the height from the seabed; b—corrected depth of water curve

图 6　高度插值与水深修正

Fig. 6　Height interpolation and bathymetry correction

$$\hat{h}_i = \frac{1}{|N_i|}\sum_{k\in N_i} x_k ,$$

$$N_i = \begin{cases} \{j,\ k\}若存在双侧有效点 \\ \{j\}或\{k\}若存在单侧有效点 \end{cases} \qquad (4)$$

式中：i为当前缺失值位置索引；N_i为动态邻域窗口，包含有效前向邻点$j=\max\{m|m<i,\ x_m\neq 0\}$和(或)后向邻点$k=\min\{m|m>i,\ x_m\neq 0\}$；$|N_i|$表示有效邻点数量(取 1 或 2)。该算法通过邻域约束机制消除缺失值区域的数据中断，保持采样点位水深的连续性。

基于插补后高度序列，通过式(2)的深度转换模型生成修正点位水深值，其曲线如图 6b 所示。相较于原始数据，插补重构序列显著改善了数据的完整性，在高度计采样丢失区域实现了数据的合理外推，为采样数据的连续性修复提供了数学框架。

2.2　GPS 轨迹图

单点信息回放功能基于 Python 平台构建了交互式船舶航迹动态可视化系统，采用 Ploty 库实现多维度数据融合与用户交互功能。系统以 HTML 文件形式输出，支持浏览器端实时操作，其交互界面见图 7。

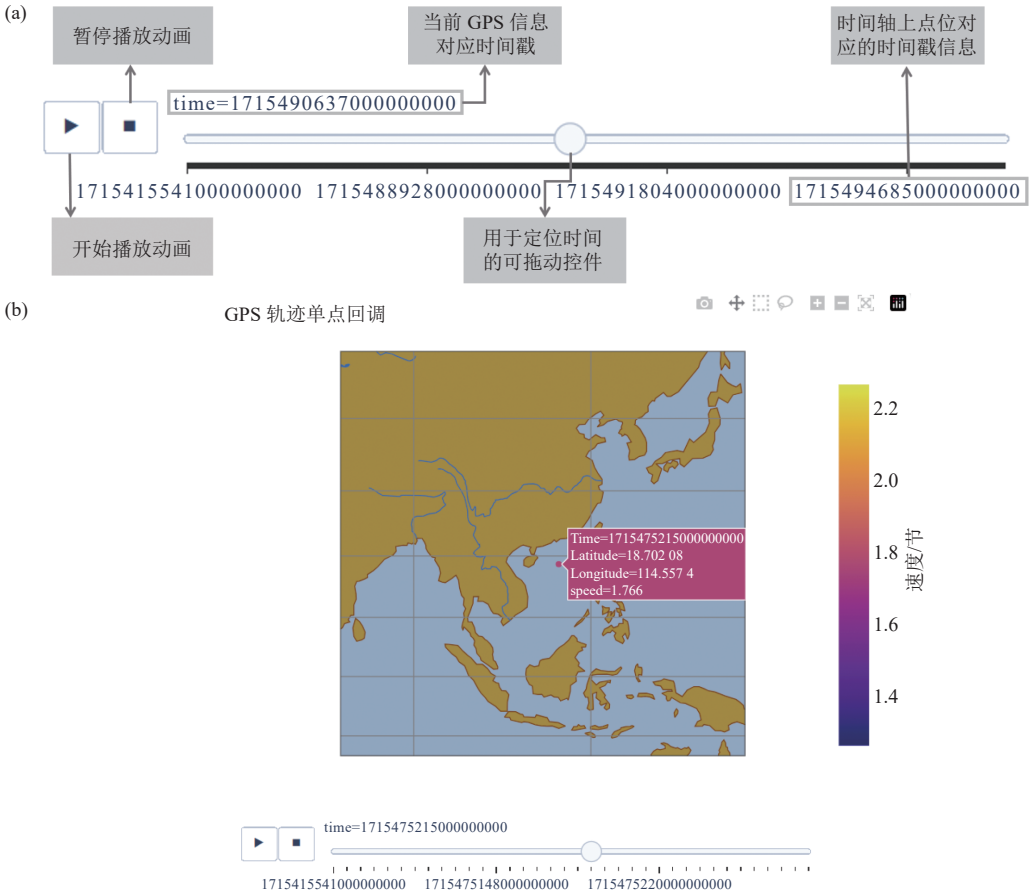
1)多模态交互控制体系(图 7a)。时序操作：播放/暂停控件：实现动画连续播放与瞬时状态冻结的双模式切换；进度跳转功能：点击时间轴任意位置可直接定位至对应时空节点，支持轨迹点复现分析。空间探查：视域动态调整：通过滚轮缩放与拖拽平移实现场景漫游；信息实时反馈：光标悬停轨迹点触发 Tooltip 弹窗，显示时空参数(经纬度、航速及 UTC 时间戳)。

2)时空数据可视化框架(图 7b)。投影基准：采用伪墨卡托投影(Pseudo-Mercator)，在保持航行方向与相对位置准确性的前提下，实现在 Web 浏览器中快速、高效地显示数据信息。地理要素分层渲染：通过 RGB 颜色定义海岸线、陆地、水域等要素与图示地形细节精确匹配。参数映射规则：轨迹颜色通过 HSL 色谱动态映射航速值域，示例低速区(1.4 节，深蓝色)与高速区(2.2 节，亮黄色)的速度特征清晰可辨。

3)系统输出。动态成果：生成符合 W3C 标准的交互式 HTML 文件，支持 Chrome/Firefox 多浏览器访问。

在相同时空数据基准下，基于 Matlab 平台实现了船舶轨迹的动态可视化。通过时序数据驱动技术复现了 2024 年 5 月南海海试过程中实验母船的航行轨迹，生成标准化动态成果(GIF 格式)，是对 Python 端可视化功能的技术补充与成果扩展，其核心方法如下：

1)逐帧渲染机制。底图加载：调用 geobasemap satellite 加载高分辨率卫星成像组成的全球遥感图像。轨迹绘制：通过循环结构逐帧更新航迹点，颜色深度实时映射瞬时航速，保留历史路径增强时空连续性。2)动态结果输出：采用 imwrite 函数实现帧序列合成。母船自起点(19.3010°N, 114.4449°E)向东偏南方向(方位角约 169°)航行，全程覆盖海域经度范围 114.4449°E~114.5992°E，纬度范围 19.3010°N~



a—交互控件; b—HTML 文件截图

a—interactive controls; b—screenshot of the HTML file

图 7　单点 GPS 信息回放

Fig. 7　Single GPS information playback

18.5083°N, 总航程 48.39 海里(89.63 km), 耗时 22 h 18 min。区域内部分时间节点航行过程见图 8a~d, 整体航线见图 8e~f(可另存为静态图片)。

拖体平面位置解算模型与前述船舶可视化系统形成数据闭环, 共同支撑拖曳系统的时空行为分析。拖体在水下稳态运动时的平面位置可以通过力学平衡与几何约束联合建模实现解算, 水平方向拖缆张力分量与水阻力平衡, 垂直方向张力分量与净浮力平衡, 其力学关系可表述为式(5)、(6):

$$T\cos\beta = D, \tag{5}$$

$$T\sin\beta = \Delta W, \tag{6}$$

式中: β为悬垂角; D为水阻力; ΔW为净浮力, 消去缆张力T后, 悬垂角与力学参数的关系可简化为式(7):

$$\tan\beta = \frac{\Delta W}{D}。 \tag{7}$$

进一步引入几何约束条件, 拖缆形态由深度投影与水平投影的几何关系确定, 垂直投影表征拖体下潜深度d, 水平投影对应母船与拖体的平面坐标差$\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2}$, 其数学表达式为式(8):

$$\tan\beta = \frac{d}{\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2}}, \tag{8}$$

联立式(7)和(8), 建立拖体位置的简化静态解算方程(9):

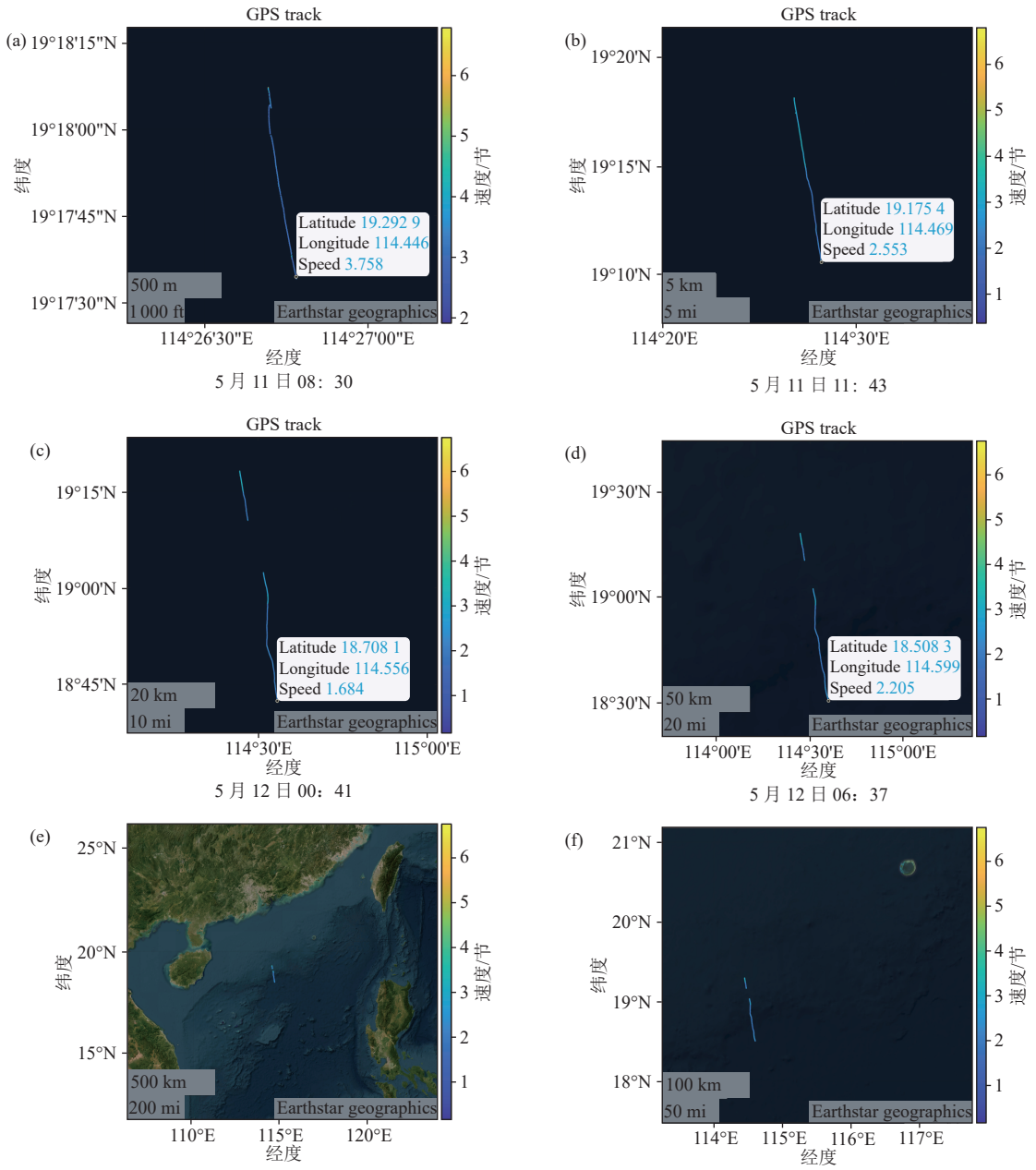
$$\sqrt{(x_s-x_t)^2+(y_s-y_t)^2} = \frac{D}{\Delta W}d, \tag{9}$$

式中: (x_s,y_s)为母船平面坐标; (x_t,y_t)为拖体平面坐标。该估算模型基于拖体匀速运动、忽略拖缆弹性形变等假设, 通过联立力学平衡与几何约束进行解算, 式(9)为拖曳系统的静态轨迹重构提供了理论依据。部分点位解算结果见图 9。

为进一步提升拖体与尾标的水下定位精度, 避免通过模型解算的误差, 可部署声学定位信标构建相对导航系统, 通过水声测距定位技术实现动态位置的高精度实时监测。

2.3　拖体姿态动态模拟

可视化交互层面, 基于 PyVista 构建交互式仿真场景, 通过时间轴控件驱动拖体姿态动态展示(图 10), 集成拖体姿态数据(航偏、俯仰、横摇), 采



a~d—拖曳实验船航行过程；e—轨迹全局；f—轨迹放大轨迹部分

a~d—navigation process of towing experimental ship; e—a global view of the trajectory; f—the trajectory zooms in on the trajectory section

图 8　2024 年 GPS 轨迹

Fig. 8　2024 GPS trajectory graph

用三维模型模拟拖体运动：

1）实时姿态展示：蓝色模型实时映射拖体姿态变化，橙色模型作为静止姿态基准（图 10a），二者叠加直观呈现位姿偏差（图 10b）。

2）时间轴交互：通过滑动时间轴，可逐帧查看特定时间点的姿态数据，配合 PyVista 自带的三轴坐标系，支持多视角观察。

3）坐标系定义：固定地理坐标系作为参考基准，拖体通过欧拉角旋转实现姿态变换。

姿态模拟方面，针对拖体可视化仿真需求，利用 Robotics Toolbox 实现拖体运动姿态与深度数据的联动，通过坐标系三轴旋转实现位姿动态模拟（图 11）：

1）坐标系映射：红色直线代表拖体坐标系，蓝色直线对应地理坐标系，通过轴间夹角直接反应姿态角。

2）深度联动显示：z 轴中点位置同步显示拖体深度，实现姿态与深度数据的联合动态回放。

3）动图导出功能：自定义动图函数，可生成全时段姿态变化的 GIF 动画。

上述三维姿态模拟技术可精确复现拖体水下运动姿态。该技术通过映射拖体坐标系与地理坐标系

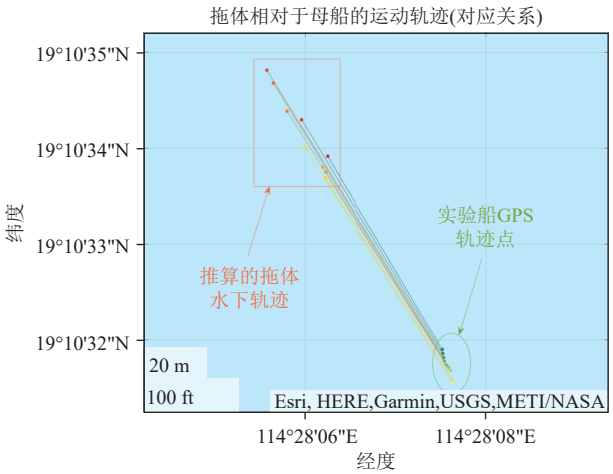
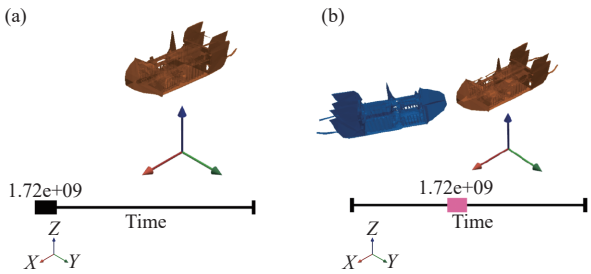


图 9　根据母船轨迹推算的拖体位置

Fig. 9　The position of the tow body calculated from the trajectory of the mother ship



a—姿态无变化; b—姿态变化对比

a—no change in posture; b—posture change contrast

图 10　指定时间索引时的拖体姿态模拟

Fig. 10　Attitude simulation of towed body at a specified temporal index

的空间关系, 实现拖体姿态的动态可视化。结合同一时间采集的母船经纬度数据、拖体深度数据及姿态数据, 可进一步深化其应用价值: 利用母船经纬度, 通过水动力平衡模型与椭球坐标系转换公式推算水下拖体经纬度, 能够构建实验船—拖体空间联动关系; 拖体深度数据则为该联动关系提供垂直维度信息, 明确拖体在水下位置; 而姿态数据与经纬度、深度数据融合后, 能完整刻画拖体在三维空间中的运动轨迹与姿态演变。

在海洋试验场景下, 多源数据协同作用, 不仅能辅助操作人员通过三维场景直接观察拖体姿态变化, 还可基于实验船—拖体的空间位置关系, 实时评估拖曳系统的运行状态。例如, 当拖体经纬度偏离预期轨迹或深度出现异常波动时, 结合姿态数据可快速定位问题根源, 判断是水流扰动、拖缆张力变化还是拖体自身姿态失控所致, 为精准调整拖曳速度、方向等参数提供多维数据支撑, 可以显著提升海底作业的操控精度与作业效率, 降低因拖体位置失控导致的作业风险。此外, 这些数据的积累还可以为后续开展拖体运动特性分析、优化拖曳系统设计提供依据。

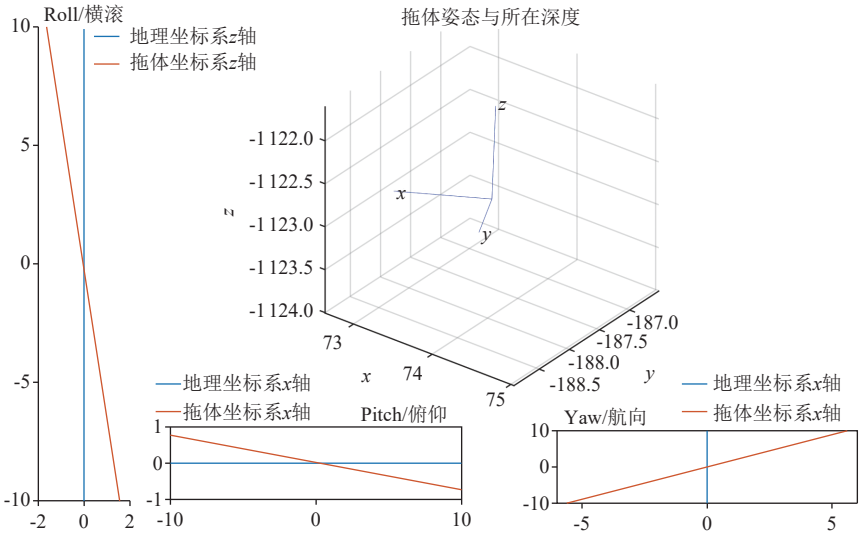


图 11　导出动图的静态帧

Fig. 11　Static frames of exported animation

3　结论及讨论

1) 基于 Python 与 Matlab 进行多数据可视化: 采用 Plotly 实现交互式 GPS 轨迹回放程序; 实现了基于 PyVista 的姿态仿真功能; 借助 Matlab 的 Robotics Toolbox 工具箱, 实现拖体姿态与深度数据的联合回放。

2) 基于同步采样时间, 建立 GPS 位置、深度与姿态数据的关联机制, 实现多源数据回放以复现拖

体工作状态。

3）提出装置优化方案：通过部署声学定位信标构建水下定位系统，解决拖体与尾标的空间位置精确监测问题。

致谢：感谢中国地质调查局广州海洋地质调查局海洋科考船对海上作业的大力支持，感谢王洁博士对论文提出的修改意见。

参考文献（References）：

[1] Constable S. Ten years of marine CSEM for hydrocarbon exploration[J]. Geophysics, 2010, 75(5): 75A67−75A81.

[2] Cox C S, Constable S C, Chave A D, et al. Controlled-source electromagnetic sounding of the oceanic lithosphere[J]. Nature, 1986, 320(6057): 52−54.

[3] Weitemeyer K, Constable S, Shelander D, et al. Mapping the resistivity structure of Walker Ridge 313 in the Gulf of Mexico using the marine CSEM method[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 88: 1013−1031.

[4] Attias E, Weitemeyer K, Hölz S, et al. High-resolution resistivity imaging of marine gas hydrate structures by combined inversion of CSEM towed and ocean-bottom receiver data[J]. Geophysical Journal International, 2018, 214(3): 1701−1714.

[5] Zerilli A, Buonora M P, Menezes P T L, et al. Broadband marine controlled-source electromagnetic for subsalt and around salt exploration[J]. Interpretation, 2016, 4(4): T521−T531.

[6] Ren Z B, Wang M, Luo X H, et al. Research on underwater constant high-voltage DC switching technology for MCSEM[J]. Sensors, 2024, 24(20): 6598.

[7] 王猛, 邓明, 罗贤虎, 等. 基于湿舱解决方案的新型2000A级海洋可控源电磁发射机研究 [C]//中国地球物理学会地球物理技术委员会第九届学术会议——全域地球物理探测与智能感知学术研讨会论文集, 2021, 349.
Wang M, Deng M, Luo X H, et al. Research on a type of 2000A marine controlled-source electromagnetic transmitter[C]//The 9th Conference of Geophysical Technology, CGS——Syposium on Full-Space Geophysical Detection and Intelligent Sensing, 2021, 349.

[8] 殷长春, 贲放, 刘云鹤, 等. 三维任意各向异性介质中海洋可控源电磁法正演研究 [J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 4110−4122.
Yin C C, Ben F, Liu Y H, et al. MCSEM 3D modeling for arbitrarily anisotropic media[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2014, 57(12): 4110−4122.

[9] 徐传胜, 王猛, 张娜, 等. MCSEM发射机的远程测控技术研究 [J]. 地球物理学进展, 2017, 32(1): 414−420.
Xu C S, Wang M, Zhang N, et al. Research of MCSEM transmitter remote measure and control technology[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 414−420.

[10] 张子阳. 基于MVVM模式的海洋可控源电磁发射系统监控软件研发 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
Zhang Z Y. Research and development of monitoring software for marine controllable source electromagnetic emission system based on MVVM mode[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.

[11] 陈凯, 景建恩, 赵庆献, 等. 海底可控源电磁接收机及其水合物勘查应用 [J]. 地球物理学报, 2017, 60(11): 4262−4272.
Chen K, Jing J E, Zhao Q X, et al. Ocean bottom EM receiver and application for gas-hydrate detection[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, 60(11): 4262−4272.

[12] 王猛, 伍忠良, 余平, 等. 2000A级海洋可控源电磁发射系统 [J]. 地球物理学报, 2024, 67(12): 4482−4492.
Wang M, Wu Z L, Yu P, et al. 2000A class marine controlled source electromagnetic transmitter system[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2024, 67(12): 4482−4492.

[13] 景建恩, 伍忠良, 邓明, 等. 南海天然气水合物远景区海洋可控源电磁探测试验 [J]. 地球物理学报, 2016, 59(7): 2564−2572.
Jing J E, Wu Z L, Deng M, et al. Experiment of marine controlled-source electromagnetic detection in a gas hydrate prospective region of the South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2016, 59(7): 2564−2572.

[14] Jing J N, Chen K, Deng M, et al. A marine controlled-source electromagnetic survey to detect gas hydrates in the Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2019, 171: 201−212.

[15] Liu C G, Jing J N, Zhao Q X, et al. High-resolution resistivity imaging of a transversely uneven gas hydrate reservoir: A case in the Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. Remote Sensing, 2023, 15(8): 2000.

[16] 景建恩, 赵庆献, 罗贤虎, 等. 南海神狐海域天然气水合物及气源条件海洋可控源电磁成像 [J]. 地质学报, 2024, 98(9): 2694−2708.
Jing J E, Zhao Q X, Luo X H, et al. A marine controlled-source electromagnetic imaging of gas hydrates and gas sources in the Shenhu area, South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica, 2024, 98(9): 2694−2708.

An analytical technique based on Matlab and Python for marine controlled-source electromagnetic data

ZHANG Meng-Lin[1], LEI Xiao-Ou[2], JIANG Fan[2], ZHENG Zi-Lu[2], LEI Xin-Hao[2], WANG Meng[2], WU Zhong-Liang[3]

(1. *School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing* 100083, *China*; 2. *School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing* 100083, *China*; 3. *Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou* 511458, *China*)

Abstract: The marine controlled-source electromagnetic (MCSEM) system has recorded extensive state data, such as depths, attitudes, and GPS information, during sea trials. Investigating its potential problems will serve as a significant reference for subsequent optimization and improvement. Therefore, by leveraging the advantages of Matlab and Python, and with the aid of new techniques, this study analyzed the recently acquired MCSEM data from sea trials, especially the state data. Besides the utilization of the built-in plotting functions of Matlab, the Robotics Toolbox was employed to simulate the three-axis rotation of underwater towed bodies. The full GPS trajectory playback was enabled by custom functions. The advantageous modules of Python facilitated data visualization, 3D attitude simulation of towed bodies, and single-point playback of navigation survey lines. Given the advanced functions of Python, Python-based data playback applications can provide novel insights for the MCSEM monitoring system. Harnessing the respective strengths of multiple programming languages renders data visualization results more intuitive and information retrieval more convenient, providing a new perspective for system upgrade and optimization.

Key words: marine controlled-source electromagnetic (MCSEM) system; visualization; data playback; Python; Matlab

（本文编辑: 王萌）