

doi: 10.3969/j.issn.1003-2029.2026.01.004

基于 JSF 文件格式解析与 AHE 增强的浅地层剖面海缆探测技术

胡致远, 姜传苓, 孔蔚, 李东

(交通运输部东海航海保障中心上海海事测绘中心, 上海 200082)

摘要: 海底管线埋深检测是保障海洋工程安全的关键任务, 浅地层剖面仪 (Sub-Bottom Profiler, SBP) 声学影像是识别海缆双曲线特征的主要依据。JSF 文件格式是浅地层剖面仪数据的主要存储格式之一, 具有多源异构数据融合、结构化分层编码和高动态范围信号存储等特点。浅地层剖面影像则是浅地层剖面仪回波数据直观的显示形式。准确、高效地解析 JSF 格式的浅地层剖面数据, 并正确生成浅地层剖面影像以显示回波数据, 对后续测量内业处理过程中分析浅表层结构及探明海缆埋深具有重要意义。本文通过分析浅地层剖面仪的工作原理, 以及基于声波回波强度的浅地层剖面影像的结构与特点, 深入研究 JSF 格式的浅地层剖面原始文件结构及其编码原理, 以舟山市登步岛至西轩渔业科技岛供水海底管线实测数据为例, 解析原始数据, 提取原始数据中各要素信息, 采用回波强度与灰度值的线性映射及自适应直方图均衡化 (Adaptive Histogram Equalization, AHE) 算法, 将原始声学信号转化为高对比度的可视化影像, 有效增强了海底管线的双曲线特征与地层界面的辨识度。该方法显著提升了海底管线双曲线特征与地层界面的辨识度, 为海缆路由精确探测与埋深分析提供可靠技术支持。

关键词: 浅地层剖面仪; JSF 文件格式; 海底管线探测; 自动解析; 数据可视化; AHE 算法

中图分类号: P229.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2026) 01-0031-10

海底管线测量是海洋资源开发、海底地质勘探、海底地形地貌测绘、环境资源监测等^[1]活动的重要内容, 而浅地层剖面影像则是海底管线测量的主要成果之一。海底管线路由探测的核心技术主要基于声学成像设备, 包括侧扫声呐系统 (Side-Scan Sonar, SSS)、多波束测深声呐 (Multibeam Bathymetry System, MBES)、合成孔径声呐 (Synthetic Aperture Sonar, SAS)、浅地层剖面仪等声学探测装备^[2], 必要时可采用海洋磁力仪等进行进一步探测。除应用于海底管线探测外, 此类技术方法在海洋油气资源勘探开发、海底地质结构勘探、海底地形地貌高精度测绘及海洋生态环境动态监测等工程领域均具有重要的技术支撑作用。侧扫声呐与多波束测深声呐主要适用于海底裸露光缆的探测;

合成孔径声呐兼具对裸露及浅埋目标的识别能力; 而浅地层剖面仪与海洋磁力仪则针对掩埋目标开展探测。

浅地层剖面仪在测量过程中, 受成像机理、系统参数设置及复杂的海洋环境等因素影响^[3], 得到的浅地层剖面影像存在噪声干扰、局部回波信号弱等问题, 因此, 需要对浅地层剖面数据进行必要的处理, 如进行滤波去噪、提升弱信号可见性等。在处理浅地层剖面数据过程中, 首先应准确无误地解析出原始数据, 获得相对应的要素信息, 进而以清楚可见的图像再现各要素数据, 根据各要素数据的图像再现结果, 对海底管线的位置与埋深进行分析判读。浅地层剖面原始数据包含 1984 年世界大地坐标系 (World Geodetic System 1984, WGS-84) 经

收稿日期: 2025-07-07

作者简介: 胡致远 (1996—), 男, 硕士, 注册测绘师, 主要从事海洋地理信息数据分析及多源遥感数据融合技术研究。

E-mail: zyfreeman@qq.com

纬度、协调世界时 (Coordinated Universal Time, UTC) 时间戳、航速与航向、时深序列、采样间隔、反射系数等基础信息参数, 正确、高效地解析浅地层剖面原始数据, 是进行浅地层剖面影像预处理的重要环节。国内外学者在浅地层剖面数据处理、格式解析及其应用方面已开展了一系列研究。汪诗奇等^[4]以 EdgeTech 3200 浅地层剖面仪采集的扩展 Triton 格式 (Extended Triton Format, XTF) 数据为研究对象, 根据 XTF 格式说明文档对数据文件进行解译, 编写程序实现了文件解码及浅地层剖面图像生成, 验证了该解译方式的有效性。在浅地层剖面数据后续处理与应用方面, 郑根等^[5]提出了基于浅剖图像的海底管线状态自动诊断方法, 通过数据预处理、Frangi 滤波增强海底线提取及深度学习检测管线目标等步骤, 实现了管线掩埋状态的准确判断。孙卫华等^[6]研究了水下浅地层剖面数据的后处理方法, 包括数据格式识别与解析、回波信号去噪增强、地层反射界面拾取等, 改善了数据质量并实现了可视化。在数据可视化方面, 李铭珂等^[7]提出基于 SEG Y (Society of Exploration Geophysicists Y) 格式的浅地层剖面数据可视化方法, 通过 Matlab 编程实现数据读取、解码及回波信号处理, 生成浅地层剖面图, 为 SEG Y 格式数据解析提供了可行方案。然而, 现有研究多聚焦于 XTF、SEGD (Society of Exploration Geophysicists D) 等格式的解析与处理, 针对 JSF 格式浅地层剖面原始数据的深入研究较少。在浅地层剖面影像处理方面, 国内文献较少, 与之相关性较强的合成孔径声呐影像处理方面, 雷亮等^[8]提出了一种基于视网膜反射增强的合成孔径声呐图像增强方法, 在处理合成孔径声呐图像时, 较好地提升了图像的视觉效果。同时, 主流商业处理软件 (如 SonarWiz) 仅提供数据读取和影像回放功能, 不开放原始数据中各参数的单独获取接口, 限制了用户对后续影像处理功能的二次开发。因此, 针对 JSF 格式的浅地层剖面原始数据开展结构剖析、参数解析及可视化研究, 对于补充现有格式解析体系、提升数据二次开发便利性具有重要意义。本文通过分析浅地层剖面仪工作原理及浅地层剖面影像的结构与特点, 深入研究 JSF 格式的浅地层剖面原始文件数据结构, 分析各要素数据的

二进制编码格式及存储形式, 读取解析各要素数据, 提取原始数据中各要素信息, 利用 AHE 算法生成浅地层剖面影像, 从而实现可视化 JSF 格式浅地层剖面数据。

1 浅地层剖面仪工作原理

浅地层剖面仪是一种基于声学原理探测海底以下浅层地质结构的地球物理勘探设备, 主要用于探测海底管线路由、海底表层沉积物分层、断层构造、埋藏物分布等浅层地质信息, 其工作原理是基于声波在不同介质中的传播与反射特性, 通过分析地层界面的回波信号实现对地下结构的成像^[9], 如图1所示。该设备主要由发射单元、接收单元、换能器、数据处理与存储单元及定位与姿态传感器构成^[10], 其中, 发射单元产生低频宽脉冲声波, 相较于侧扫声呐的高频声波, 其在水中和沉积物中传播时衰减较慢, 可穿透海底以下数米至数百米的地层。声波以近似垂直于海底的方向向下传播, 形成圆柱形或扇形波前, 覆盖一定宽度的地层剖面, 当声波遇到地层中声学阻抗差异界面时, 部分能量发生反射并返回至换能器。反射信号强度取决于界面两侧介质的声速、密度差异及入射角。第一个强回波通常来自海底表面, 用于计算换能器至海底的垂直距离 (拖鱼高度), 后续回波则依次对应海底以下各层界面的反射。回波到达时间与地层深度满足式(1)。

$$h = \frac{v \cdot t}{2} \quad (1)$$

式中, h 为地层界面深度; v 为声波在介质中的传播速度, 需通过声速校正获取; t 为回波旅行时间。

在测量过程中, 换能器周期性地向海底垂直发射声波脉冲。声波首先在水体中传播, 此时换能器仅接收背景噪声或水中目标的回波。当声波脉冲到达海底时, 部分能量发生海底反射, 剩余能量穿透海底继续传播^[11]。当相邻地层声阻抗差异显著时, 声波将产生强烈反射 (图 1(a))。相邻地层 1 和地层 2 的反射系数 $R_{1,2}$ 可通过式(2)计算。

$$R_{1,2} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad (2)$$

式中, ρ 为海底地层密度; c 为声波在海底地层中的传播速度。反射系数 $R_{1,2}$ 的绝对值越大, 反射波能量越强, 在浅剖图像中灰度越强, 也越容易识别^[2]。

当入射声波在层界面处的强度为 $A_{incident}$ 时, 反射强度可由式(3)计算。

$$A_{reflection} = R_{1,2} \cdot A_{incident} \quad (3)$$

在传播过程中, 远距离回波易受海底散射、多次反射及环境噪声干扰, 需通过带通滤波、背景噪

声抑制等信号处理手段提高信噪比。数据处理环节中, 系统根据实时声速剖面将回波时间序列转换为深度坐标, 建立地层界面的空间位置关系, 并将回波信号幅度归一化后映射为灰度值, 强回波对应亮像素, 弱回波对应暗像素, 形成反映地层界面反射强度的二维剖面图像。测量船航行时, 设备持续发射并采集数据, 每一次发射接收周期称为“Ping”, 连续 Ping 的剖面数据按时间顺序拼接^[3], 形成沿航线的浅地层剖面记录。

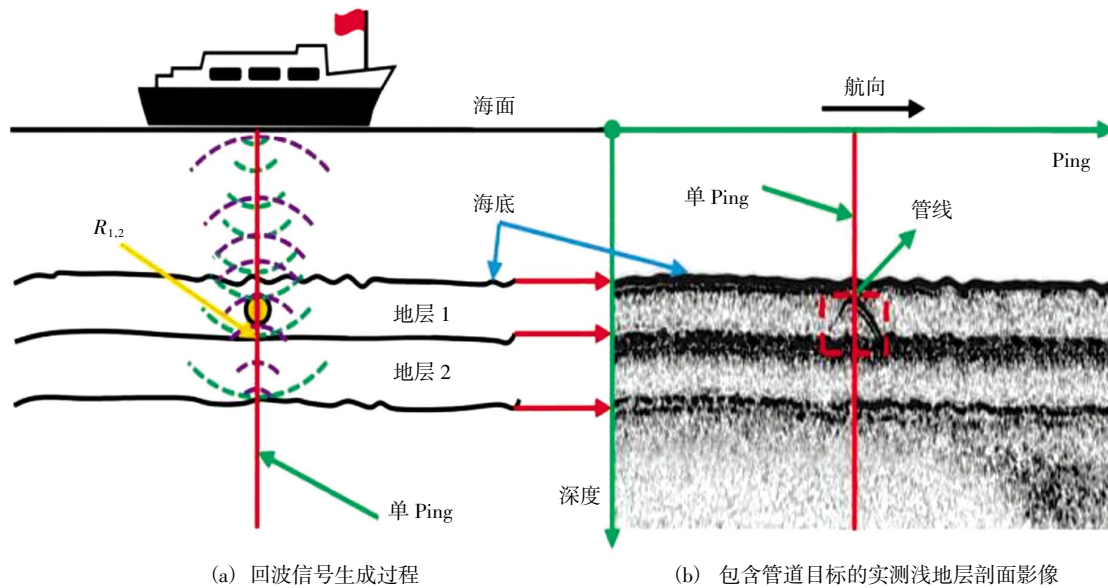


图 1 浅地层剖面仪工作原理

2 JSF 文件格式分析

JSF 格式浅地层剖面数据结构如图 2 所示。由于 JSF 格式涵盖浅地层剖面仪、测深仪、侧扫声呐等多种数据类型, 本文着重介绍浅地层剖面数据结构。

JSF 文件采用二进制格式, 遵循小端字节序, 由消息头和数据体两部分构成。其中, 消息头占 16 字节, 包含多个关键标识字段: 同步标记为 0x1601, 用于文件识别; 协议版本记录文件遵循的协议版本信息; 消息类型标识数据类别, 例如 80 代表声学数据; 子系统编号用于标识数据源, 如低频侧扫子系统编号为 20; 通道号用于区分多通道数据, 0 和 1 分别对应侧扫声呐左舷和右舷; 消息体长度以 32 位整数 (Integer 32-bit, INT32) 类型存储, 指示数据体的字节大小。

数据体根据消息类型可分为声学消息与辅助消息两类。声学消息 (Type 80) 是 JSF 文件的核心数据载体, 由 240 字节的头部和声学样本组成。如表 1 所示, 头部包含多个定义明确的信息块: 数据格式块中, 时间戳采用 Unix 时间格式, 有效性标志为 UINT16 位掩码, 用于指示导航 / 姿态等字段的有效性, 数据格式字段 0 表示包络数据、1 表示复数数据; 导航块包含坐标和带小数位扩展的航向信息; 脉冲信息块记录发射频率、采样频率和声速等参数。

在 Type 80 声学消息中, 声学样本数据通过加权因子进行压缩存储, 原始值还原公式如下。

$$ScaledDataSample = DataSample \times 2^{-N} \quad (4)$$

式中, $DataSample$ 为存储在 JSF 文件中的 16 位整数; N 为加权因子 (Weighting Factor)。由于声学信号动态范围大, 直接存储为 16 位整数易发生溢出, 通过缩小数据可在保留有效精度的同时实

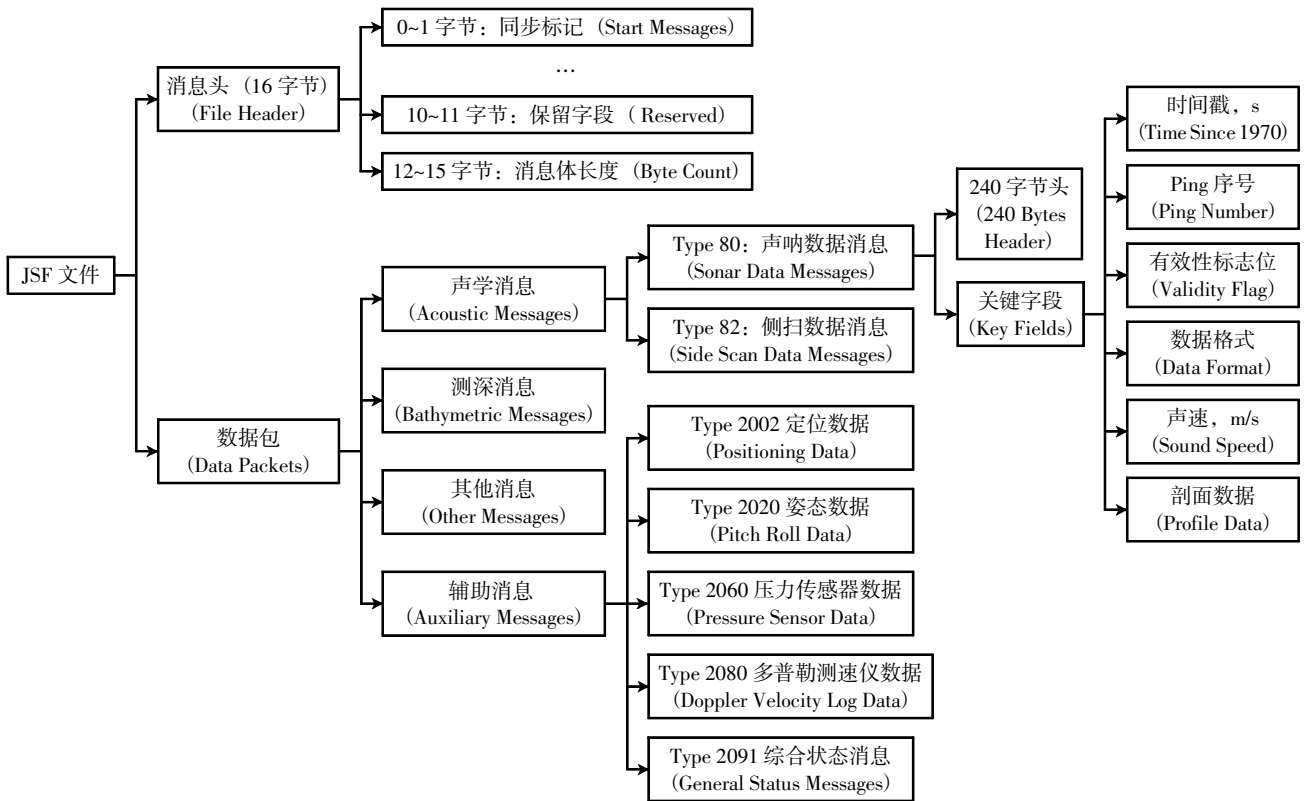


图 2 JSF 格式数据结构

表 1 JSF Type 80 声呐数据头部消息结构

字段	字节偏移量	注释
Time Since 1970	0~3	数据采集时间戳 (s)
Starting Depth	4~7	起始深度 (采样窗口偏移量)
Ping Number	8~11	当前发射的脉冲编号
...
Longitude	80~83	经度
Latitude	84~87	纬度
Samples	114~115	当前脉冲的采样点数
Sample Interval	116~119	采样间隔 (ns)
...
Transmit Start/End Freq	126~129	发射脉冲起始/结束频率 (10 Hz)
...
Compass Heading	172~173	罗盘航向 (0.01°)
Pitch/Roll	174~177	俯仰/横滚 (-180°~180°)
Trigger Source	182~183	触发来源 (0=内部, 1=外部)
Data Body	240~END	声学数据体 (十六进制)

现压缩存储。声学数据体按样本数存储为 16 位整数，具体格式由数据格式字段决定。

辅助消息用于提供补充信息，主要包括以下几种类型：Type 40 为系统状态消息，内容包括磁盘空间、传感器状态等；Type 2002 为国家海洋电子协会 (National Marine Electronics Association, NMEA) 报文 (或协议) 的语句，存储原始导航数

据；Type 2020 为姿态数据消息，记录俯仰/横滚信息，分辨率达 0.01°；Type 3000 系列为测深数据消息，包含时间延迟、角度及质量因子等，需结合声速消息计算斜距。解析 JSF 文件时，需校验有效性标志位，动态处理最高有效位 (Most Significant Bits, MSB)/最低有效位 (Least Significant Bits, LSB) 扩展字段，并校正字节序以确保数据读取的准确性。

3 数据解析方法

如图 3 所示，JSF 格式解析流程可分为核心数据解析与辅助参数融合两阶段。在核心数据解析阶段，首先读取 JSF 文件头前 16 字节消息头，校验同步标记确认文件有效性后，提取协议版本、子系统编号、通道号及消息体长度等参数。针对 Type 80 声学数据消息，进一步解析其 240 字节头部，依次提取数据格式块、导航块、脉冲信息块及加权因子块。声学数据体按样本数存储为 16 位整数，依据数据格式字段确定单/双精度模式，并通过小端字节序转换、有效性标志位过滤实现原始信号还原。

辅助参数融合阶段，通过解析 Type 2020 姿态

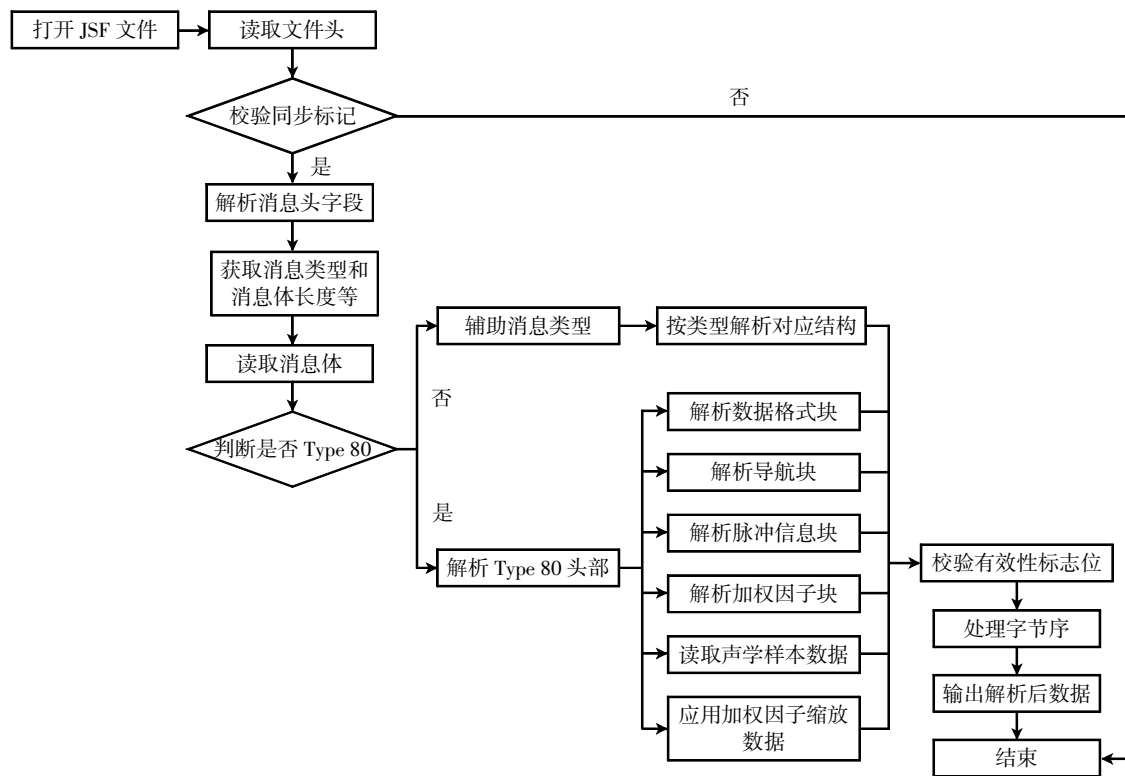


图 3 JSF 文件解析流程

数据与 Type 2002 NMEA 导航字符串, 获取声速、俯仰/横滚角度等补充参数, 用于深度计算与数据校准。其中, 加权因子 N 结合系统校准参数将信号强度转换为实际物理量, 导航数据与声速参数联合解算实现时空基准统一。该流程通过多源数据协同校验, 保障了海底地层剖面数据的时空一致性与物理量纲准确性, 为后续地质解译提供可靠数据基础。

需要注意的是, JSF 格式 Type 80 声学数据消息自包含定位与姿态数据, 其数据源为系统实时采集的全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS)、运动参考单元 (Motion Reference Unit, MRU) 等独立传感器, 可满足基础空间基准需求, 但其精度受限于传感器性能与数据更新频率, 适用于快速数据预处理。相比之下, Type 2002、Type 2020 等辅助消息可提供高频、高精度的传感器原始输出, 需通过独立解析、时间插值后与 Type 80 数据进行融合, 从而在复杂运动补偿、精密地质反演等场景中实现更高精度的误差控制。

完成数据解析后, 按 Ping 序列存储为结构化数据, 如轨迹数组和剖面矩阵, 供后续影像渲染及信号增强处理使用。

4 浅地层剖面数据可视化原理

浅地层剖面数据可视化的核心是通过回波强度与灰度值的数学映射, 将声学信号转化为反映地层结构的直观图像。数据以“Ping”为基本单元, 每个 Ping 包含沿深度方向连续采样的 16 位精度回波强度值, 所有 Ping 按采集顺序排列形成二维矩阵, 行代表深度, 列代表 Ping 序列, 构成可视化的基础数据结构。可视化的关键在于通过合理的数值变换, 将回波强度的物理差异转化为图像亮度的视觉差异, 为地质解译提供直观的灰度对比依据。

数据处理与增强是提升可视化效果的关键环节。原始回波强度易受噪声干扰, 需首先通过基于单 Ping 数据的均值与标准差的标准化处理消除量纲影响, 再采用分位数范围 (1%~99%) 的线性拉伸抑制异常值, 将数据映射至 [0,1] 的归一化区间, 确保有效信号的对比度^[4], 计算如式(5)所示。

$$G = \left(\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) \cdot (G_{\max} - G_{\min}) \quad (5)$$

式中, G 为映射后的归一化数据值, 用于表征图像亮度 (或灰度) 信息; X 为待处理的原始回波

强度数据样本,即单个数据点; X_{\min} 为输入原始回波强度数据在 1%分位数处对应的数值,代表有效信号区间的下限; X_{\max} 为输入原始回波强度数据在 99%分位数处对应的数值,代表有效信号区间的上限; G_{\min} 为归一化后数据区间的下限,本文指定 $G_{\min} = 0$,是映射后灰度/亮度的最小取值; G_{\max} 为归一化后数据区间的上限,本文指定 $G_{\max} = 1$,是映射后灰度/亮度的最大取值。

针对海底管线细节增强需求,采用自适应直方图均衡化算法,通过局部对比度调整提升弱信号可见性,将图像划分为不重叠的局部区域(块),对每个块单独进行直方图均衡化,以增强局部对比度。为抑制噪声放大,引入对比度限制(Clipping Limit),其核心思想概括如下。

计算局部直方图累积分布函数(Local Histogram Cumulative Distribution Function, LH-CDF),该函数描述了灰度值小于或等于某个值的像素占总像素的比例。对局部块 B 内的像素值 x ,其累积分布函数如下。

$$\text{CDF}_B(x) = \frac{\text{块内像素值} \leq x \text{ 的像素数}}{\text{块内总像素数}} \quad (6)$$

调整对比度限制,若块内某灰度级的频率超过

阈值 L (根据实际情况调整),则将超出部分均匀分配给所有灰度级,修正后的累积分布函数如下。

$$\text{CDF}_{\text{clipped}}(x) = \frac{\sum_{i=1}^x \min(f(i), L)}{\sum_{i=1}^{255} \min(f(i), L)} \quad (7)$$

式中, $f(i)$ 为灰度级 i 的频率; L 为对比度限制阈值。

自适应直方图均衡化算法兼顾数据真实性与视觉可读性,为浅地层结构的精细解译提供了可靠的技术支撑。

5 实例分析

本文实验采用 EdgeTech 3400 浅地层剖面仪对海底管线进行探测,实验区域位于舟山市登步岛与西轩岛中间水域,如图 4 所示。根据本文提出的数据解析与可视化方法,对 JSF 格式原始实验数据进行解析与图像可视化。

对二进制 JSF 文件进行解析,由于 JSON 文件具有语法简洁、跨语言兼容、轻量级等优点,因此选择 JSON 文件作为 JSF 文件解析结果的载体。

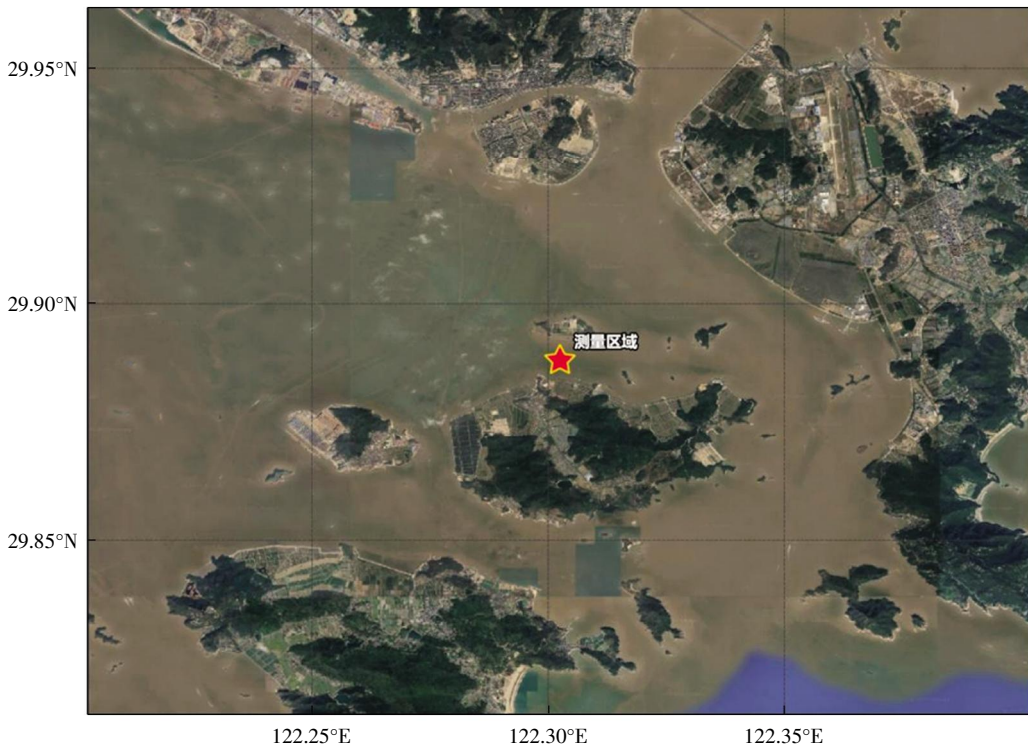


图 4 测量区域

JSON 文件存储每条浅剖测线的基本信息, 主要包括上述的消息头结构和数据体结构, 图 5 为解析浅剖测量原始数据生成的 JSON 文件。JSON 文件按 Ping 号排序, 依次列出了测线的全部原始测量信息, 包括 Ping 号、日期、时间、经纬度、速度、横摇、纵摇、艏向等姿态信息, 与仪器自带软件的处理结果逐一对比, 验证了解析文件信息的准确性。

```

"80": [
{
  "header": {
    "StartOfMessage": 5633,
    "Version": 16,
    "SessionId": 0,
    "SonarMessage": 80,
    "SonarCommand": 2,
    "SubSystem": 0,
    "Channel": 0,
    "SequenceNumber": 3,
    "Reserved": 0,
    "ByteCount": 10800
  },
  "payload": {
    "TimeSince1970": 1745969092,
    "PingNumber": 7023,
    "ValidityFlag": {
      "CoordinateValid": true,
      "HeadingValid": false,
      "DOPValid": true
    },
    "Longitude": 122.28996333333333,
    "Latitude": 29.888711666666666,
    "Pitch": 0.3,
    "Roll": 2.7,
    "Heading": 308,
    "Heave": 0.05000000074505806,
    "SoundSpeed": 1516,
    "Depth": 9.936,
    "SampleFrequency": 48828,
    "SweepLength": 5,
    "ProfileData": [
      0,
      0,
      2025,
      .....
    ]
  }
}

```

图 5 用于存储解析结果的 JSON 文件

对原始数据解码后的 JSON 文件进行可视化, 实现浅地层剖面影像的显示。先将原始强度数据量化至 0~255 灰度级, 然后应用式(4)和式(6)增强影像细节表现。

将每一 Ping 的回波数据按照发射接收的时间序列依次拼接在一起, 就形成了完整的浅地层剖面影像。图 6 为 EdgeTech 3400 浅地层剖面仪自带的回放软件显示效果, 图 7 为通过自适应直方图均

衡化等增强算法优化图像质量的显示效果, 通过对比图 6 和图 7 可知, 图 7 在弱回波区域的细节表现力更强, 在保留原始回波强度信息的同时, 有效提升了海底管线的可辨识度。

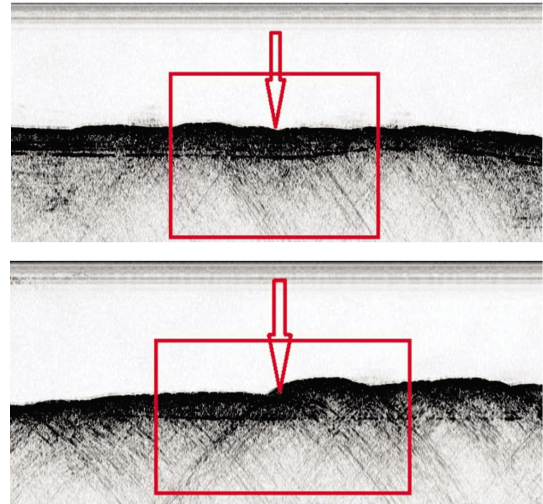


图 6 浅地层剖面影像的海底管线双曲线反射特征

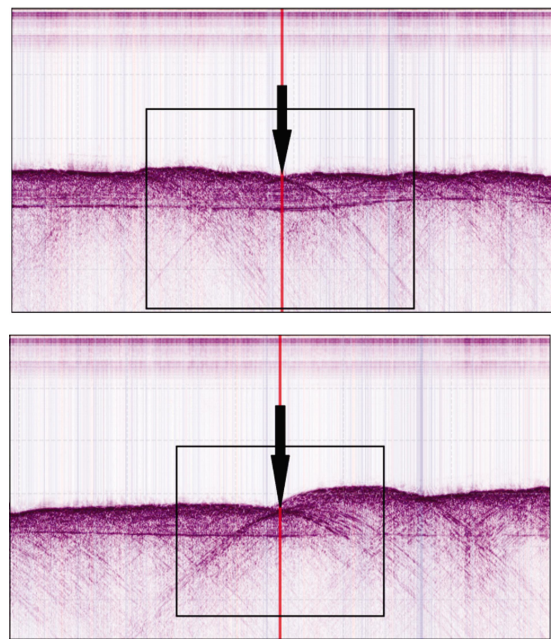


图 7 AHE 算法处理后的海底管线反射特征增强效果

为客观验证本文提出的 AHE 增强算法在浅地层剖面数据处理中的实际性能, 本节以舟山市登步岛海底管线探测工程的实测 JSF 格式数据为基础, 针对正常海况条件, 开展了 EdgeTech 3400 原厂软件 (Discover V7.6) 与本文方法的信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 定量对比实验, 实验严格遵循工程实际条件, 所有数据均来自 EdgeTech 3400 浅地层剖面仪在同一时段、同一地段的连续采集的 Ping

数据,海况平静,波高 0.3 m,风速 2.2 m/s,符合《海洋调查规范 第 8 部分:海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8—2007)中的平静海况标准,确保了数据质量与对比的公平性。

在数据处理与信号评估方法上,实验以人工精细标注的管线双曲线反射区为信号区,并选取远离管线的三个纯净背景区域作为噪声参考区,依据《浅地层剖面调查技术要求》(HY/T 253—2018)规范要求,采用区域功率比的对数形式计算信噪比。首先,分别计算信号区和噪声区的平均功率,信号功率计算公式如下。

$$P_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_{s_i}^2 \quad (8)$$

式中, P_s 为信号区的平均功率,反映管线双曲线反射区这一信号区域的功率大小,是后续计算信噪比的核心参数之一; N 为信号区内的采样点总数; I_{s_i} 为信号区内第 i 个采样点的幅值,即信号强度表征量。

功率噪声计算公式如下。

$$P_n = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_{n_i}^2 \quad (9)$$

式中, P_n 为噪声功率; M 为噪声信号的采样点总数; I_{n_i} 为第 i 个噪声采样点的幅值。进而计算信噪比 R 如下。

$$R = 10 \times \lg\left(\frac{P_s}{P_n}\right) \quad (10)$$

为最大限度避免人为操作误差与随机波动对结果的影响,每组数据均进行三次独立计算,以均值及标准差形式统计结果,并利用 Matlab 工具对计算流程进行交叉验证。

AHE 算法与 EdgeTech 3400 自带软件对比分析如图 8 所示。结果表明,本文提出的基于 AHE 的增强方法在信噪比指标上显著优于原始数据。全局统计显示,经 AHE 增强后的数据平均 SNR 为 13.93 dB,而原始数据平均 SNR 为 11.71 dB,平均提升量为 2.22 dB,提升比率约为 18.9%。所有数据组提升幅度稳定,提升量标准差为 1.34 dB,表明增强效果具有良好的一致性与可靠性。进一步通过统计显著性检验,配对 t 检验分析,得出 t 值为 -47.372, p 值小于 0.001,表明两组结果差异具备极显著统计

学意义,并非由随机因素所致。

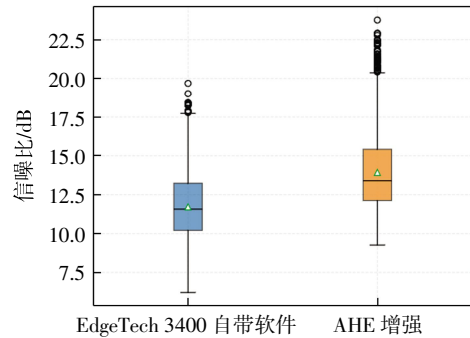


图 8 AHE 算法与 EdgeTech 3400 自带软件对比分析

对比 AHE 算法与 EdgeTech 3400 自带软件信噪比时序变化趋势,如图 9 所示,AHE 算法的 SNR 曲线整体位于原始数据曲线上方,表明其增强效果在时间维度上是持续且稳定的。

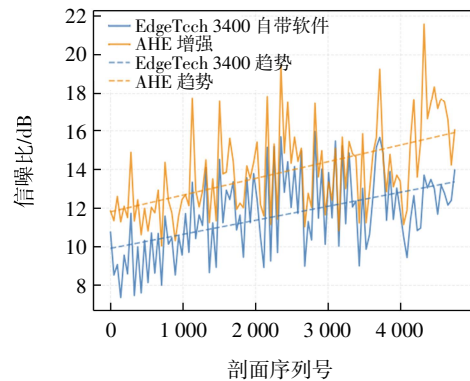


图 9 AHE 算法与 EdgeTech 3400 自带软件信噪比时序变化趋势

从工程应用的角度来看,信噪比的提升直接带来管线识别准确率的改善,正常海况下,原厂软件因其采用的全局直方图均衡化方法在提升整体图像亮度的同时,也提高了背景噪声的灰度水平,导致信号与背景的对比度相对降低,局部反射特征易出现模糊,而本文采用的 AHE 算法侧重局部区域的自适应增强,能够在抑制背景噪声的同时有效突出管线双曲线特征,从而在复杂近海环境中显著提升目标的辨识度。实际工程中,该方法大幅减少因图像模糊而产生的存疑标记,提升了内业数据处理效率与整体探测工作的可靠性。

6 结 论

浅地层剖面仪是海底缆线埋深检测的核心设备

之一, 其采集的 JSF 格式数据因结构规范、兼容性强等优势, 已成为当前浅地层探测数据记录的主流格式。本文以登步岛至西轩岛输水管线浅剖实测数据为对象, 针对 JSF 格式原始数据解析与可视化难题, 构建了完整的数据处理流程: 首先通过协议解析提取各 Ping 单元的回波强度序列、轨迹坐标(经纬度、深度)及时序信息, 解析结果经对比验证具有较高精度; 继而通过回波强度与灰度值的线性映射及 AHE 算法, 将原始声学信号转化为高对比度可视化影像, 有效增强了海底管线双曲线特征与地

层界面的辨识度。

本文的应用价值体现在: ①建立了 JSF 格式数据从解析到可视化的标准化流程, 为同类数据处理提供了可复用的技术方案; ②通过自适应增强算法提升了浅剖影像的地质解译效率, 减少内业人工判读耗时; ③精准的管线特征提取为海底管线的埋深评估、路径规划及安全监测提供了直观的数据支撑, 对海洋工程建设与管线运维具有重要的实践意义。研究成果可进一步拓展至其他声呐数据处理场景, 推动海洋探测领域的自动化与智能化发展。

参考文献:

- [1] 栗宝鹃, 刘满杰, 宋学山, 等. 泥沙掩埋海底光缆探测技术研究[J]. 海洋测绘, 2019, 39(6): 64-67.
- [2] 俞婷婷, 冯玉龙. 泥沙下掩埋物探测方法应用研究[J]. 中国航海, 2024, 47(S1): 238-243.
- [3] 张体强. 近岸海域浅地层剖面数据处理技术及应用[J]. 工程地球物理学报, 2023, 20(1): 18-23.
- [4] 汪诗奇, 刘海波, 王莹, 等. XTF 格式浅地层剖面数据文件解译[J]. 地矿测绘, 2021, 37(4): 26-29.
- [5] 郑根, 赵建虎, 苑明哲, 等. 基于浅剖图像的海底管线状态自动诊断方法[J]. 海洋测绘, 2024, 44(4): 16-20.
- [6] 孙卫华, 尹慧, 姜凌. 水下浅地层剖面数据的后处理研究[J]. 舰船电子工程, 2022, 42(12): 103-106.
- [7] 天津大学. 一种基于 SEG-Y 的浅地层剖面原始数据的可视化显示方法: 202010902397.9[P]. 2020-11-24.
- [8] 雷亮, 钟何平, 李涵, 等. 基于 Retinex 变分分解的合成孔径声呐图像增强方法[J]. 声学技术, 2025, 44(3): 438-444.
- [9] 李平, 杜军. 浅地层剖面探测综述[J]. 海洋通报, 2011, 30(3): 344-350.
- [10] 吴自银, 郑玉龙, 初凤友, 等. 海底浅表层信息声探测技术研究现状及发展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1210-1217.
- [11] ZHENG G, ZHAO J, LI S, et al. Zero-shot pipeline detection for sub-bottom profiler data based on imaging principles[J]. Remote Sensing, 2021, 13(21): 4401.
- [12] 杨国明, 朱俊江, 赵冬冬, 等. 浅地层剖面探测技术及应用[J]. 海洋科学, 2021, 45(6): 147-162.
- [13] 宋玉龙, 刘同庆. 莱州湾近岸海底探测应用研究[J]. 海岸工程, 2023, 42(2): 197-206.
- [14] LI S, ZHAO J, ZHANG H, et al. Automatic detection of pipelines from sub-bottom profiler sonar images[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2021, 47(2): 417-432.

Intelligent Analysis and Enhanced Imaging of Sub-Bottom Profiler Data Using AHE-Ping Fusion Algorithm

HU Zhiyuan, JIANG Chuanling, KONG Wei, LI Dong

(Shanghai Maritime Surveying and Mapping Center, East China Sea Navigation Security Center, Ministry of Transport, Shanghai 200082, China)

Abstract: The JSF file format is one of the primary storage formats for Sub-Bottom Profiler (SBP) data, featuring multi-source heterogeneous data fusion, structured hierarchical encoding, and high dynamic range signal storage. SBP imagery serves as the intuitive visualization form of echo data from SBPs. Accurately and efficiently parsing JSF-format SBP data and correctly generating SBP imagery to display echo data are of critical importance for subsequent analysis of shallow subsurface structures and determination of submarine cable burial depths in post-survey data processing. This paper conducts an in-depth study of the raw file structure and hexadecimal encoding principles of JSF-format SBP data by analyzing the working principles of SBPs and the structural characteristics of acoustic echo intensity in SBP imagery. Taking the actual measurement data of the submarine water supply pipeline from Dengbu Island to Xixuan Island Fishery Science and Technology Island in Zhoushan City as a case study, the paper parses the raw data to extract elements from each Ping. Through linear mapping between echo intensity and grayscale values and the application of the Adaptive Histogram Equalization (AHE) algorithm, the raw acoustic signals are converted into high-contrast visual imagery, effectively enhancing the visibility of hyperbolic features of submarine pipelines and stratigraphic interfaces.

Keywords: SBP; JSF file format; submarine pipeline detection; automatic parsing; data visualization; AHE algorithm