

多源地球物理数据融合技术在海洋地质研究中的应用

张振虎

天津市地质研究和海洋地质中心，天津

收稿日期：2025年4月18日；录用日期：2025年5月20日；发布日期：2025年5月28日

摘要

地球科学不断发展之际，多源地球物理数据融合这项技术在海洋地质研究领域所起的作用愈发关键。该技术把来源各异、类型不同的地球物理数据，像是地震方面的数据、重力相关的数据、磁力相关的数据以及卫星遥感数据等整合到一起，由此让人们对于海洋地质的结构以及相关过程的理解程度得以提升。本文会对多源数据融合技术在海洋地质研究中的具体应用展开探讨，涉及数据预处理、融合的方法，还有其在海底地形、沉积物分布、构造活动以及资源勘探等诸多方面的实际应用案例等内容。

关键词

多源数据融合，海洋地质，地震数据

Application of Multi-Source Geophysical Data Fusion Technology in Marine Geological Research

Zhenhu Zhang

Tianjin Geological Research and Marine Geology Center, Tianjin

Received: Apr. 18th, 2025; accepted: May 20th, 2025; published: May 28th, 2025

Abstract

With the continuous development of Geoscience, the technology of multi-source geophysical data fusion plays an increasingly key role in the field of marine geological research. This technology integrates geophysical data from different sources and types, such as seismic data, gravity related

data, magnetic related data and satellite remote sensing data, so as to improve people's understanding of the structure of Marine Geology and related processes. This paper will discuss the specific application of multi-source data fusion technology in marine geological research, including the methods of data preprocessing and fusion, as well as its practical application cases in seabed topography, sediment distribution, tectonic activities and resource exploration.

Keywords

Multi Source Data Fusion, Marine Geology, Seismic Data

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海洋地质方面的研究, 在理解地球结构、其演变的历史状况以及资源具体分布情形等方面, 有着不容忽视的重要意义。以往传统的做法是, 海洋地质研究常常单纯依赖某一种类型的地球物理数据, 就拿地震波反射数据来说, 可这种依赖单一数据的方式, 往往会因为数据仅仅来自单一视角, 再加上对其解释存在不确定性等因素, 而受到诸多限制。而如今随着技术不断取得进步, 多源地球物理数据融合技术也就随之出现了, 该技术能够把不同来源的数据加以综合考量, 进而能够给出更为详尽且精确的地质相关信息。

2. 多源地球物理数据融合技术概述

2.1. 多源地球物理数据类型及特点

地球物理方法通过观测地球物理场变化, 推断地球内部结构和性质。常用数据包括重力、磁力、地震、电磁和地热数据。重力数据对密度变化敏感, 用于探测地壳厚度和莫霍面起伏, 探寻密度异常体。磁力数据反映磁性物质分布和基底构造, 常用于矿产勘查和区域构造研究。地震数据分辨率高, 提供地层序列、断层分布、岩性变化等详细信息, 对油气勘探和地震危险性评估至关重要。电磁数据则是对导电性的差异较为敏感, 在寻觅金属矿床、地下水以及地热资源的时候应用得十分广泛; 地热数据反映的是地球内部的热状态, 对于研究地壳的活动性、地热资源的开发工作以及全球气候变化等事项均有着重要的意义[1]。

2.2. 数据融合的概念、原理及方法

数据融合说的就是把来自好些个数据源的信息拿来综合的处理, 通过这样的处理, 进而能够得到和单一数据源相比起来更准确、也更完整并且更可靠的估计或者判断, 这就是数据融合所涉及的整个过程。在地球物理这个领域当中, 数据融合的原理其实就是要将不同类型的, 还有分辨率也不一样的地球物理数据给有机地结合到一块儿, 充分利用各类数据相互之间所存在的互补性以及协同性, 以此来对地质目标的识别能力得到提升, 同时也让解释的精度能够有所提高。数据融合的方法那可是多种多样的, 其中主要包含了数据级融合、特征级融合以及决策级融合这几种。就拿数据级融合来讲, 它是在原始数据这个层面上来开展融合工作的, 比如说可以把从不同来源获取到的重力、磁力以及地震数据放在一起进行联合反演, 这样就能得到更加精确的地壳密度模型[2]。

2.3. 数据融合技术在海洋地质研究中的应用潜力

地球表面面积的百分之七十有余皆是被海洋所覆盖着的，其内部蕴藏着颇为丰富的矿产资源、能源资源以及生物资源，海洋实实在在是人类得以生存与发展的极为重要的一处空间。不过，鉴于海洋环境自身就具备复杂性，再加上观测条件方面存在诸多限制，这使得海洋地质研究相较陆地地质研究而言，所面临的挑战无疑要更多一些。多源地球物理数据融合技术的出现，倒是给海洋地质研究带来了全新的机遇以及可用的手段。要是把多种地球物理数据融合到一起的话，那么对于海洋地壳的结构、组成以及演化过程，人们便能够了解得更为细致、更为透彻。

3. 多源地球物理数据融合的关键技术

3.1. 数据预处理技术

在地球物理数据融合过程中，数据预处理至关重要。由于多种因素，如仪器噪声、环境干扰和人为误差等，原始数据常含有噪声和误差，这些会严重影响数据融合的质量和效果。因此，必须进行预处理以消除噪声和误差，提高数据质量和可用性。预处理技术主要包括数据去噪、校正、插值和归一化等。就数据去噪而言，其目的在于去除数据里的随机噪声以及干扰信号，常用的办法有滤波、小波变换以及经验模态分解等等；说到数据校正，那是为了消除在数据采集过程中出现的系统误差，比如针对重力数据要进行布格校正、地形校正以及自由空气校正等，对于磁力数据则要开展日变校正以及正常场校正等；再看数据插值，它主要是为了解决在数据采集过程中数据缺失的问题，常用的方法包括克里金插值、反距离加权插值以及径向基函数插值等；至于数据归一化，是为了消除不同数据源之间存在的量纲差异，常用的方法是最小-最大归一化和 Z-score 标准化等。借助这些预处理技术，能够提高数据的质量与一致性，从而为后续的数据融合打下很不错的基础[3]。

3.2. 数据配准与集成技术

在地球物理学中，多源数据融合是一个复杂且关键的过程。这些数据源具有不同的空间、时间和坐标系统。进行数据融合前，必须完成数据配准和集成工作。数据配准旨在将不同数据源的信息整合到统一的时空框架中，确保数据在空间和时间上的一致性。这通常涉及坐标转换、重采样和时空对齐等技术手段。例如，融合不同分辨率的地震和重力数据时，可能需要将地震数据重采样到重力数据的网格尺寸，或反之，通过插值将重力数据调整到地震数据的网格上，以实现数据的时空一致性。等完成了数据配准之后，接下来要做的步骤那就是数据集成。数据集成，主要就是涉及到要把已经配准好的数据进行合并处理，还要对其加以整理，从而形成一个统一的数据集[4]。

3.3. 融合算法与模型

融合算法以及模型处于多源地球物理数据融合的核心位置，它们对怎样把经过预处理并且完成配准的多源数据有效融合起来起着决定性作用，进而能够生成全新的且更具价值的信息。融合算法与模型具体该如何选择，这得看数据自身所具有的特点、融合所想要达成的目的以及实际应用所在的场景等情况。当前，融合算法和模型主要包括加权平均法、卡尔曼滤波、贝叶斯方法、证据理论、模糊逻辑、神经网络和支持向量机等。加权平均法通过赋予不同数据源不同权重后平均处理数据；卡尔曼滤波利用前一时估计值和当前观测值更新状态估计；贝叶斯方法基于概率论，利用先验知识和观测数据更新后验概率；证据理论通过信任函数和似然函数融合不同数据源的证据；模糊逻辑模拟人类推理处理模糊信息；神经网络模拟人脑结构，通过训练学习确立非线性关系；支持向量机基于统计学习理论，通过最优超平面分类和回归数据。实际应用中需根据问题选择合适算法，优化参数，验证模型，确保结果的准确性和可靠

性。

4. 多源地球物理数据融合在海洋地质研究中的应用

4.1. 海底地形地貌研究

海底地形研究对海洋工程、航运安全和科研至关重要。以南海为例，其复杂的海底地形对多个海洋学科产生深远影响。中国科学院遥感应用研究所等机构进行了一项南海海底地形可视化分析研究，旨在提供数据支持。研究团队使用了高分辨率多波束测深数据、侧扫声纳图像和卫星遥感数据，并进行了数据预处理和融合，最终利用 Vertical Mapper 工具在 MapInfo Professional 中生成了高精度的海底地形模型。通过对三维可视化模型的分析，研究成功揭示了南海海底的微地貌特征，包括海山、海丘、海槽、海谷等。同时，将海底地形与表层沉积物类型进行叠加分析，发现沉积物分布与地形特征密切相关。如表 1 所示，通过与实测数据的对比，验证了融合模型的地形特征和精度，进一步证明了其在揭示海底地貌特征方面的有效性。这项研究在多个方面展现了显著的应用价值。首先，它为南海海底构造演化和沉积物分布规律的研究提供了重要依据，推动了海洋地质学的发展。其次，为海洋资源开发和工程建设提供了高精度的地形数据，为海洋工程提供了有力支持。此外，通过识别潜在的地质灾害区域，如滑坡、塌陷等，为航运安全提供了决策支持，保障了航运安全[5]。

Table 1. Visualization analysis data of submarine topography in the South China Sea

表 1. 南海海底地形可视化分析数据

数据类型	分辨率	覆盖范围
多波束测深数据	0.5 米	局部区域
侧扫声纳图像	-	5 公里 × 2 公里
卫星遥感数据	10 米	100 公里 × 100 公里

4.2. 海底沉积物分布研究

海底沉积物相关的研究，其在了解海洋沉积具体过程方面，在开展古环境重建工作方面，还有在进行资源评价相关事宜上，都有着不容忽视的重要意义。多源地球物理数据融合这项技术，在海底沉积物研究的这一领域当中，同样也起到了十分重要的作用。要是把地震反射剖面、浅地层剖面以及海底取样数据融合到一起的话，就能够较为详细地去刻画海底沉积物的厚度情况、分布状态以及其自身性质等方面的内容。地震数据能够提供出有关沉积层连续性以及厚度变化的相关信息，而浅地层剖面则能够把沉积物的精细结构给展现出来、揭示出来。当把这些与海底取样数据相结合的时候，就可以对地球物理数据的解释去做校准以及验证的工作，如此一来，便能提升在沉积物分布研究方面的准确程度。并且，融合技术还能够助力去识别以及追踪沉积物的来源地和搬运的路径，进而为海洋沉积动力学的研究给予新的思路、新的视角。

4.3. 海底资源勘探

在南海深水工程勘察中，多源地球物理数据融合技术展现了其在海底资源勘探中的显著优势。通过地震数据、重力数据、磁力数据和电磁数据的融合，成功构建了三维地质模型，优化了资源开发方案。在数据获取阶段，采集了覆盖 2600 平方千米的地震数据，水深达 3000 米，用于分析沉积盆地结构和构造特征；重力数据用于识别盆地边界和断裂系统；磁力数据用于探测火成岩体及构造活动；电磁数据在两个水合物调查区累计完成 157 公里测线，用于评估天然气水合物的分布和饱和度。在数据预处理阶段，

对地震数据进行了去噪处理，提升了信号有效率至 90%以上；统一了不同数据源的时空坐标，确保数据一致性；对重力数据进行了潮汐校正，消除了海洋潮汐对重力场的影响；对电磁数据进行了清洗，去除了异常值，保证了数据质量。在数据融合方法上，采用了先进的数据融合算法，将多源数据整合成三维地质模型，实现了对海底资源潜力的全面评估。如表 2 所示，通过模型优化钻井位置，使钻井成功率提高至 85%，显著降低了勘探风险。在验证与效益方面，实际钻探结果与预测高度吻合，验证了三维地质模型的可靠性。优化后的开发方案使勘探成本降低约 20%，资源开发效率显著提升[6]。

Table 2. Comparison of drilling verification results
表 2. 钻探验证结果对比

预测区域	预测区域	吻合度
区域 A	符合预测	90%
区域 B	符合预测	92%
区域 C	符合预测	88%

5. 结语

随着海洋地质方面的研究逐步推进，相关技术也在持续取得进展，在这样的情形下，多源地球物理数据融合技术所起的作用会越发关键。该技术一方面增进了人们对海洋地壳结构及其组成的了解程度，另一方面也给海洋资源的勘探以及开发给予了具备科学性的依据。随着更多种类、更高精度的地球物理数据的获取，以及数据融合算法和模型的持续创新，我们有望揭示更多海洋地质的秘密，为人类可持续发展贡献智慧和力量。因此，加强多源地球物理数据融合技术的研究和应用，对于推动海洋地质科学发展和实现海洋资源可持续利用具有重要意义。

参考文献

[1] 韦成龙, 王瑞, 万晓明, 等. 地球系统科学时代的海洋地质-地球物理调查展望[J]. 海洋技术学报, 2023, 42(3): 101-110.

[2] 刘怀山, 王文秋, 尹燕欣. 海洋地球物理探测在海岸工程建设中的应用——以曹妃甸港为例[J]. 海岸工程, 2022, 41(4): 313-327.

[3] 刘溢滂, 胡毅. 浅埋水下文物遗址的海洋地球物理声学探测展望: 以沉船为例[J]. 地球科学进展, 2023, 38(1): 99-109.

[4] 李勇航, 贾磊, 倪玉根, 等. 中国台湾浅滩海砂砂体的地球物理特征及有利赋存标志[J]. 热带海洋学报, 2021, 40(5): 101-110.

[5] Lou, L., Li, Q., Zhang, Z., et al. (2020) An IoT Driven Vehicle Detection Method Based on Multi source Data Fusion Technology for Smart Parking Management System. *IEEE Internet of Things Journal*, **PP**, 1.

[6] Shi, X.-Y., Lyu, W.-C., Zhang, Y., et al. (2022) Innovative Understanding in the Geological Research of China Seas and Adjacent Regions—Based on the 1:1000000 Marine Regional Geological Survey. *China Geology*, **5**, 774-776.