

张冕, 张春灌, 段祎乐, 等. Aegir 脊及邻区重磁异常及构造特征[J]. 海洋地质前沿, 2023, 39(5): 64-72.

ZHANG Mian, ZHANG Chunguan, DUAN Yile, et al. Gravity, magnetic anomalies, and tectonic features of the Aegir Ridge and adjacent areas[J]. Marine Geology Frontiers, 2023, 39(5): 64-72.

Aegir 脊及邻区重磁异常及构造特征

张冕^{1,2}, 张春灌^{1,2*}, 段祎乐¹, 袁炳强^{1,2}, 韩梅^{1,2}, 赵敏^{1,2}, 周磊^{1,2}

(1 西安石油大学地球科学与工程学院, 西安 710065; 2 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 西安 710065)

摘要:为研究北极地区挪威海内 Aegir 脊及邻区断裂构造特征, 为北极地区油气勘探提供方向, 在斯克里普斯海洋研究所发布的研究区重力数据(网格数据)基础上填充最新船测数据, 对已有重磁资料进行异常分离、滑动平均和重磁场边界识别。目前, 研究区的特征断裂和构造单元划分尚不清楚。根据异常极值带、异常带走向、异常梯度带变化程度等, 对研究区进行了断裂识别和构造单元划分。研究表明: 重磁异常特征呈 NNE-NW-NE 向展布, 重力异常呈现高低分带, 反映出该区基底隆坳相间的格架。根据重磁异常与断裂对应关系, 识别出 4 个构造走向和 7 条主要断裂, 划分出 Mohns 脊、扬马延微陆块、东扬马延断裂带、西扬马延断裂带、Aegir 脊、东扬马延深海盆地和挪威深海盆地等 7 个构造单元。

关键词:构造单元; 断裂; 重磁资料; Aegir 脊; 北极地区

中图分类号: P548; P736.12

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.230

0 引言

随着全球油气勘探进程加快, 北极地区逐渐成为油气勘探研究的前沿领域, 国内对北极区域研究多见于南大西洋, 而对北大西洋的研究较为欠缺^[1]。几十年来, 前人对活跃的洋脊进行过广泛的海洋地球物理研究, 但不活跃的洋脊尚未受到太多关注, 如在约 30 MaBP 停止活动的挪威海 Aegir 脊^[1-2]。Aegir 脊及邻区是北极地区挪威-格陵兰海的重要组成部分, 前人基于侧扫声纳、多波束、地震、重力和磁力数据绘制了挪威海已灭绝的 Aegir 脊结构模型, 其与邻区在地球物理场与构造发育上有较大区别, 是一个相对独立的构造单元^[3]。已有研究分析了横跨 Aegir 脊的 92 个中心波束测深、重力和磁力剖面, 审视了水深和重力的区域不对称性及其对

Aegir 脊形成的影响, 更好地解释了 50~25 MaBP Aegir 脊的海底扩张历史, 对于该地区基底岩性、构造演化和板块动力研究提供了更多地球物理资料^[4-5]。国外研究学者亦基于地震反射剖面 and 钻孔岩芯, 并结合卫星重力反演预测出 Aegir 脊及邻区洋壳厚度^[6-7]。前人探寻了 Aegir 脊的构造演化历史, 说明了 Aegir 脊及邻区的地壳厚度变化情况, 但没有对 Aegir 脊整体进行边界划分及解释, 且缺少对 Aegir 脊地层深部构造的研究。

为了深入研究 Aegir 脊及邻区重磁场和构造特征, 确定 Aegir 脊的边界, 本文系统收集并整理了该区域已有的重磁资料, 并对重磁资料进行了异常分离、滑动平均、磁力化极、垂向二阶导与边界识别等处理, 基于自由空气重力异常及局部异常、自由空气重力垂向二阶导数异常、自由空气重力水平总梯度异常、磁力化极异常、磁力化极局部异常及垂向二阶导数异常, 结合地震剖面解释结果, 综合研究 Aegir 及其邻区的构造特征。

1 地质背景

研究区(64°—72°N, 0°—10°W)包括扬马延微陆块和 Mohns 脊部分区域、Aegir 脊与挪威西部盆

收稿日期: 2022-08-15

资助项目: 国家自然科学基金(42172224); 陕西省自然科学基金研究计划项目(2021JM-401)

作者简介: 张冕(1996—), 男, 在读硕士, 主要从事地球物理综合解释方面的研究工作. E-mail: 1033167186@qq.com

* 通讯作者: 张春灌(1981—), 男, 博士, 教授, 主要从事综合地球物理勘探及构造地球物理方面的研究工作. E-mail: zhangchunguan@xsyu.edu.cn

地部分区域, 面积约为 $78 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。扬马延微陆块主要发育古新统, Aegir 脊主要发育渐新统与始新

统, Mohns 脊两侧发育上新统, 3 个区域发育的地层有明显的差异(图 1)。

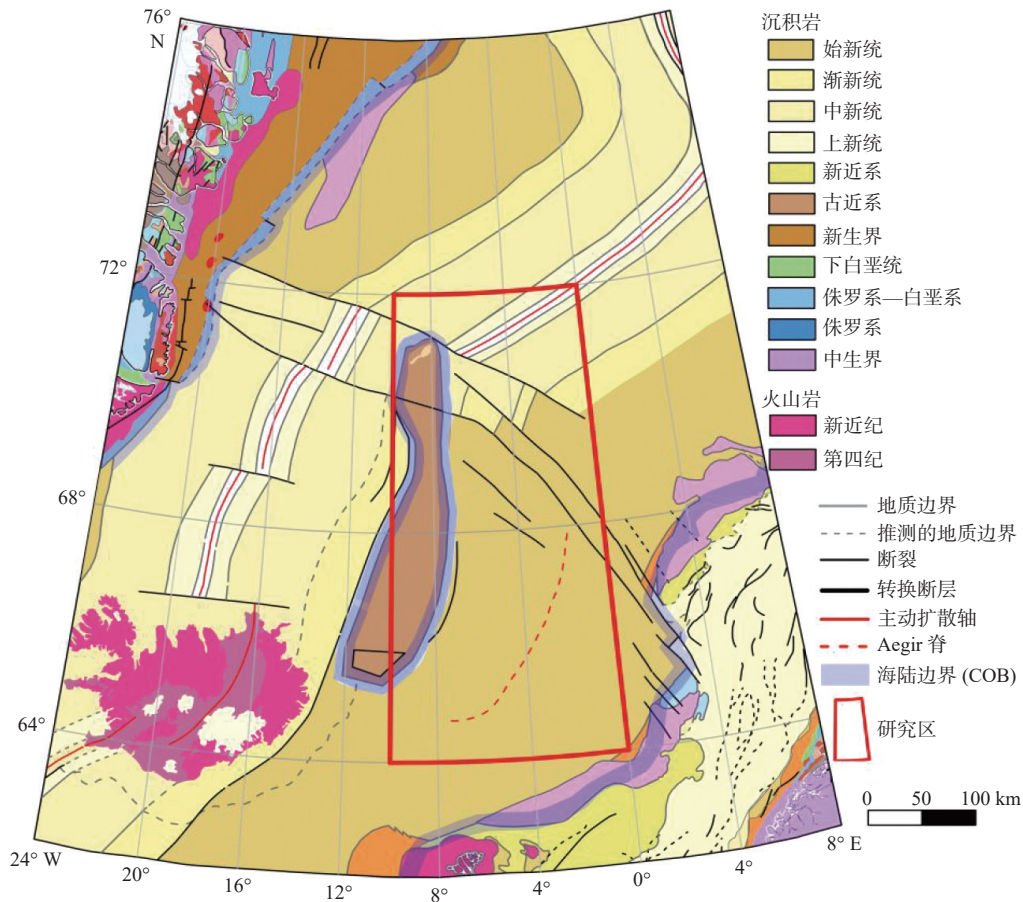


图 1 Aegir 脊及邻区地质及构造格架

Fig.1 Geological and tectonic framework of the Aegir Ridge and the adjacent areas

东北大西洋形成之前是中生代的陆内裂谷, 最终在古近系大陆分裂成格陵兰岛、扬马延微陆块和挪威西部盆地^[8-9]。55 MaBP, 海底开始扩张, 持续的海底扩张导致了 Reykjanes、Aegir 和 Mohns 脊的形成, 并形成了一系列向海倾斜的反射层(SDR), 标志着挪威盆地沿 Aegir 裂谷开始海底扩张, 挪威盆地随之成形。47.33 MaBP 时, 由于 Aegir 脊向海底倾斜扩张, 位于扬马延微陆块东南部的裂谷轴移动至扬马延微陆块南部, 导致了扬马延微陆块南翼隆起的形成。Aegir 脊在 47 MaBP 完全发育, 扬马延微陆块和格陵兰岛之间形成一个裂谷, 在 40~33 MaBP 向北传播, 形成 Kolbeinsey 脊。30~26 MaBP, 挪威盆地海底扩张停止, 利用岩石圈热重力校正过的卫星重力反演绘制东北大西洋的地壳厚度和岩石圈, 在停止活动的 Aegir 脊上推测出挪威盆地的洋壳厚度在 4~7 km, 边缘增加到 9~14 km, 这与古新世末期火山边缘大陆分裂相一致^[10-12]。沿着 Aegir

脊的海底扩张在 25 MaBP 停止, 至渐新世晚期, Aegir 脊中部由于冷却开始下沉, 沉积物分布表明沉降导致东斜断层的形成^[4]。10 MaBP, 沿 Kolbeinsey 脊的海底扩张完全, Mohns 海脊连接到 Reykjanes 海脊, 并将扬马延脊和格陵兰东海岸分开。前人在研究区域划分有挪威中部盆地断裂带、东扬马延断裂带、西扬马延断裂带、扬马延南部山脊复杂断裂带等深大断裂带。其中, 扬马延微陆块西部与东部分别以 Kolbeinsey 脊与挪威盆地为界, 而东、西扬马延断裂带和扬马延火山复合体组成了扬马延微陆块北部边界^[13-15]。

2 重磁异常特征

为研究 Aegir 脊及邻区重磁异常特征, 系统整理了已有的船测重力、卫星测高重力(美国斯克里普斯海洋研究所于 2021 年发布的全球重力数

数据库 V29)、船测磁力、美国国家环境信息中心 (NCEI) 于 2017 年发布的地球磁异常网格第 3 版 (EMAG2v3) 资料^[16], 编制了 Aegir 脊及邻区自由空间重力异常图和磁力 ΔT 异常图。其中, 沿 Aegir 脊开展了覆盖宽度约 154 km、长度约 564 km 的船测重力和船测磁力工作(测线分布见图 2), 测线距约为 6.1 km, 测量比例尺约为 1:500 000。

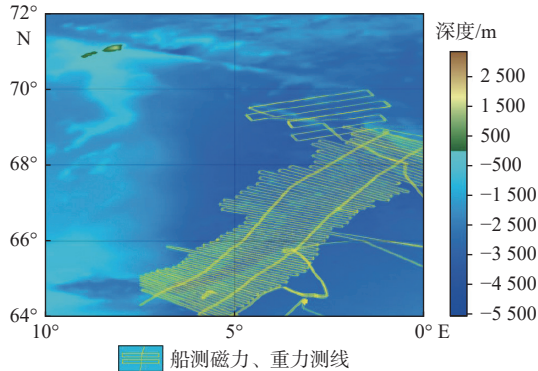


图 2 Aegir 脊及邻区重、磁测线分布及海底高程

Fig.2 Distribution of gravity and magnetic survey lines, and seafloor elevation in Aegir Ridge and the adjacent areas

2.1 自由空气重力异常

自由空气重力异常图(图 3)显示, 研究区宏观上为四周异常高值带、中间异常低值带, 由南向北重力高异常走向依次为: NE→NW→NE, 异常高值带主要分布于研究区中东部 Aegir 脊、西部扬马延微陆块、北部 Mohns 脊等区域, 异常低值带则主要分布于研究区中部海域与东南部海域。整体来看, 研究区重力高值带与低值带相间分布, 反映了本区基底埋深差异较大, 隆、坳发育; 陡峭的异常梯级带表明了研究区断裂较为发育, 地质构造复杂。

扬马延微陆块的重力异常高值带集中于扬马延脊和扬马延盆地南部, 整体为 SN 向展布, 最高值约为 $105.6 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。在扬马延岛东北部和扬马延盆地中西部异常特征变化明显, 可能是由于扬马延微岛整体位于海平面以下和扬马延盆地中西部陆地为梅辛阶沉积岩的原因导致^[2]; Mohns 脊的重力异常高值带呈近 EW 向展布, 似“V”字条带状, 异常带与脊走向一致, 异常最大值约为 $98.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 扬马延断裂带异常高值带位于断裂带西部, 形似三叉戟, 重力异常最高值约为 $212 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; Aegir 脊区域重力高值带呈条带状分布, 宏观上为 NE 向展布, 异常展布特征与构造格架一致, 呈“两边高、中间低”特征, 有大量零散的重力高值区, 异常值区间

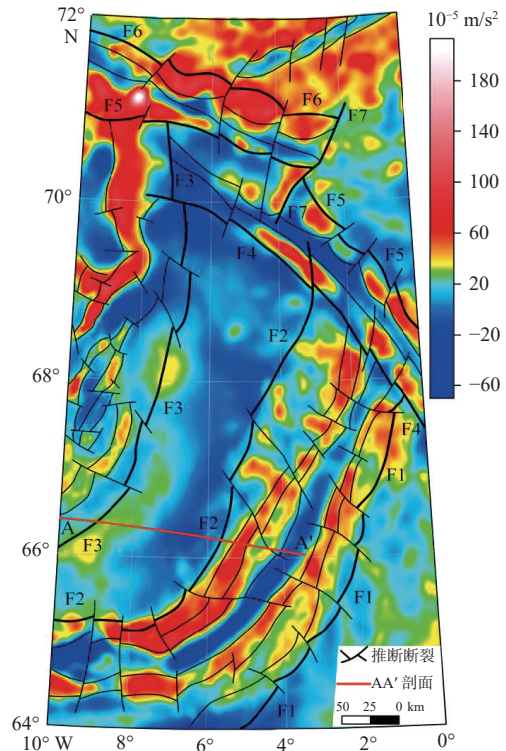


图 3 Aegir 脊及邻区自由空气重力异常与断裂分布

Fig.3 Air gravity anomaly and fault distribution of the Aegir Ridge and the adjacent areas

为 $(-70.1 \sim 89.8) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 沿 NE 走向异常由高变低, 但在脊中心裂谷处重力异常为低值, 陡峭的异常梯级带反映 Aegir 脊基底隆、坳相间, 构造复杂^[5,17]。自由空气重力异常圈闭的重力高低反映的是局部密度值大小, 实际情况则是反映局部的隆起与坳陷^[18]。

2.2 磁力化极异常

由于研究区纬度跨度较大, 已达到 9° , 常规磁力化极达不到目标经度要求^[19], 此时需要对磁力异常采用变纬度化极处理^[20], 得到磁力化极异常(图 4)。

对比自由空气重力异常, Aegir 脊及邻区磁力化极异常分布较为散乱, 异常宏观走向为 NE 向, 异常高值主要分布于 Aegir 脊、东西扬马延微断裂和 Mohns 脊区域, 异常最高值为 946.2 nT, 位于 Mohns 脊东北区域。研究区磁力化极异常宏观走向与区域构造格架一致, 主要可分为 4 大部分: ①扬马延微陆块整体呈异常低值区, 异常梯度的变化较缓; ②东西扬马延微断裂带区域异常高值区主要分布于其西部, 东部有少量零散异常高值区, 整体异常变化梯度较大, 反映该区域基底岩性存在差异较大;

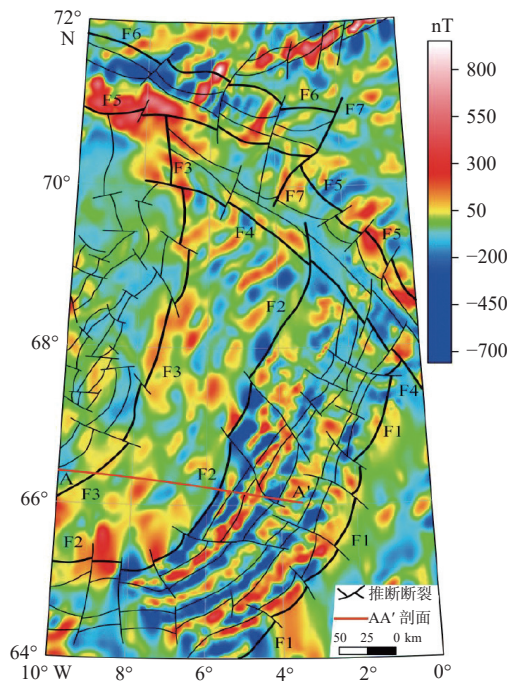


图 4 Aegir 脊及邻区磁力化极异常与断裂分布

Fig.4 Distribution of magnetic pole anomalies and faults in the Aegir Ridge and the vicinity

③Mohns 脊区域异常高值主要分布在 Mohns 脊处及其西北部, 东南部分布有少量零散磁力异常高值, 整体异常梯度变化陡峭, 反映北部和南部基底岩性差异较大; ④Aegir 脊区域异常主要集中在脊两侧, 表现为异常高值和低值交叉分布, 中间裂谷呈异常低值条带状, 异常梯度变化陡峭, 反映 Aegir 脊裂谷两侧基底岩性差异较大^[21]。

3 断裂构造特征

重、磁异常划分断裂的依据主要包括异常等值线梯级带、异常极值点连线、串珠异常带等, 其中, 水平总梯度、归一化 Theta 垂向导数等场位边缘识别技术能够对断裂划分提供重要的依据^[22-23], 本文基于自由空气重力异常及局部重力异常、垂向二阶导数异常、水平总梯度异常、磁力化极局部异常、归一化 Theta 垂向导数异常和磁力化极垂向二阶导数异常等特征, 结合前人的相关资料, 确定了研究区断裂构造分布(图 5)。如图所示, 研究区域断裂发育, 地质构造较为复杂, 其中, 断裂 F1、F2、F4 和 F5 主要划分依据为异常的线性过渡带, 断裂 F6 主要划分依据为异常的线性梯度带, F7 主要划分依据为异常突然错动的界限。F3 南段主要划分依据为异常的线性梯度带, 断裂位置与异常走向对应; 而 F3 北段在磁力化极异常图上(图 4)对应为异常两

侧明显不同的分界线。

Aegir 脊及邻区范围较大, 主要包括: Aegir 脊、Mohns 脊、扬马延微陆块与扬马延断裂带, 区域整体构造复杂, 断裂发育。Aegir 脊主要发育 NE 向断裂, 扬马延微陆块发育断裂呈近 SN 向, 扬马延断裂带主要发育 NW 向断裂, Mohns 脊主要发育 NE 向断裂。断裂特征表明, F1—F7 断裂属于超长断裂, 规模较大。

(1)F1 断裂: 属于区域性断裂, 位于研究区的东南部, 沿 Aegir 脊东部边界绵延长度约 473.1 km, 整体走向为 NNE, 推测为俯冲断层。该断裂在磁力化极局部异常和磁力化极垂向二阶导数异常图上表现为两侧异常特征明显不同的分界线。

(2)F2 断裂: 属于区域性断裂, 命名为 Aegir 西部边界断裂, 位于研究区中南部, 长度约 623.7 km, 整体呈近 SN 走向, 推测为俯冲断层。该断裂在磁力化极局部异常及垂向二阶导数异常图上表现为两侧异常特征明显不同的分界线。

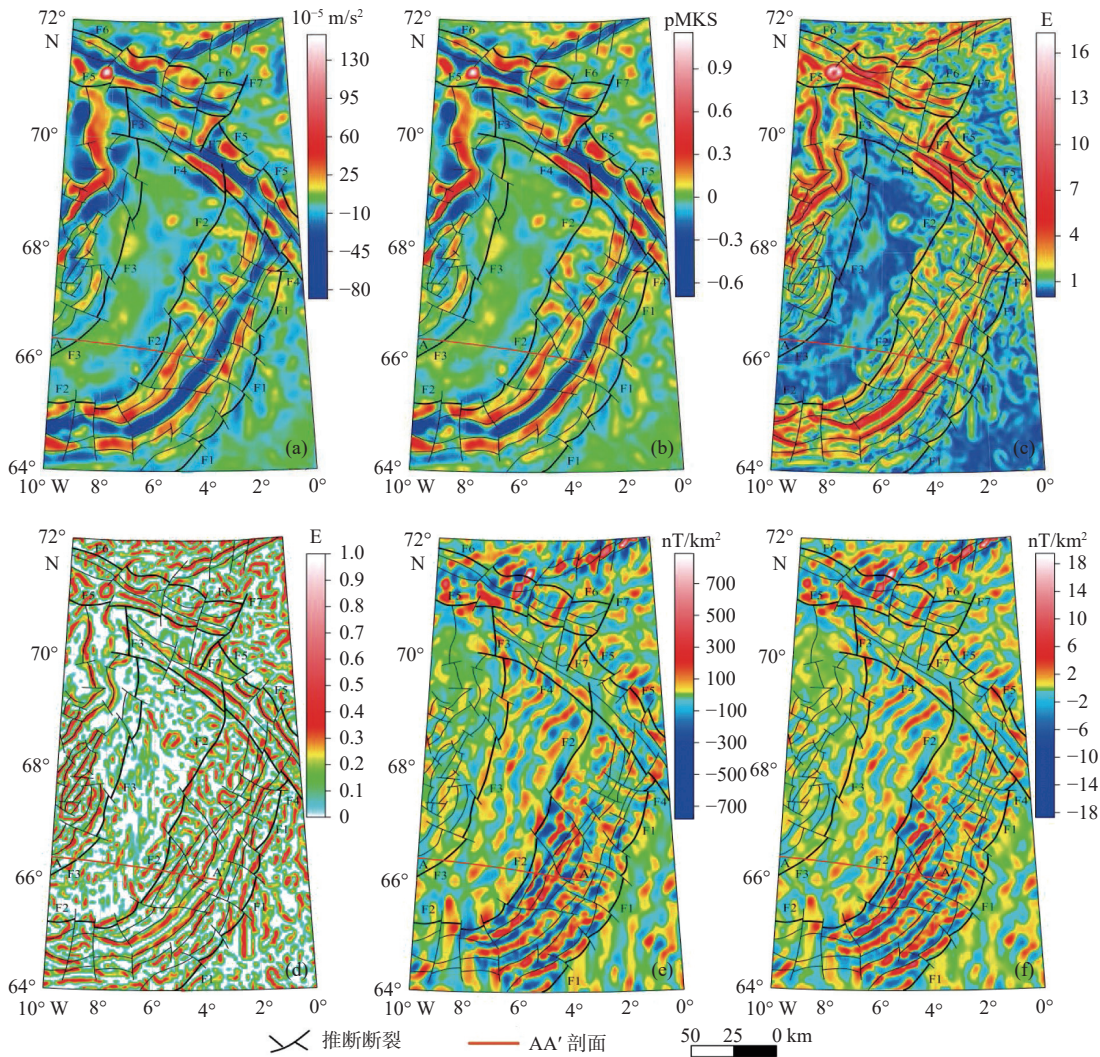
(3)F3 断裂: 属于区域性断裂, 命名为扬马延东部边界断裂, 位于研究区西部, 长度约 592.3 km, 整体呈近 SN 走向, 推测为俯冲断层。该断裂在磁力化极局部异常和磁力化极垂向二阶导数异常图上表现为异常高值带。

(4)F4 断裂: 属于深大断裂, 命名为 Aegir 北部边界断裂, 位于研究区中北部, 长度约 447.1 km, 整体走向为 NWW, 推测为正断层, 为 Aegir 脊与东扬马延断裂带的分界。该断裂在自由空气重力异常和局部重力异常图上表现为线性重力高与重力低之间的过渡带和狭长重力低异常带。

(5)F5 断裂: 属于深大断裂, 又称扬马延北部边界断裂, 位于研究区北部, 长度约 523.4 km, 整体呈近 NW 走向, 推测为正断层, 为东扬马延断裂带和西扬马延断裂带的分界。该断裂在自由空气重力总水平梯度异常和归一化 Theta 导数异常图上表现为极值点连线。

(6)F6 断裂: 属于深大断裂, 也称西扬马延断裂带北部边界断裂, 位于研究区北部, 长度约 315.7 km, 整体呈 NWW 走向, 推测为正断层, 为西扬马延断裂带与 Mohns 脊的分界。该断裂在自由空气重力局部异常及垂向二阶导数异常图上表现为线性重力高与重力低之间的过渡带。

(7)F7 断裂: 属于区域性断裂, 命名为西扬马延断裂带东部边缘断裂, 位于研究区东北部, 长度约 172.2 km, 整体呈 NWW 走向, 推测为斜滑断层。该



(a)自由空气重力局部异常; (b)自由空气重力垂向二阶导异常; (c)自由空气重力水平总体度异常;
 (d)自由空气重力 NVDR-Theta 异常; (e)磁力化极局部异常; (f)磁力化极垂向二阶导异常

图5 Aegir 脊及邻区重磁异常与断裂分布

Fig.5 Distributions of gravity, magnetic anomalies, and faults in the Aegir Ridge and its vicinity

断裂在自由空气重力总水平梯度异常和归一化 Theta 导数异常图上表现为极值点连线^[22-24]。

研究区还发育有大量中小型断裂，分布于 Aegir 脊、Mohns 脊、扬马延微陆块与扬马延断裂带，并且在自由空气重力异常、局部异常及垂向二阶导数异常图上部分表现为与等值线梯级带重合，在自由空气重力 NVDR-Theta 异常图上部分表现为极值点连线，在磁力化极局部异常图与磁力化极垂向二阶导数异常图上整体表现为磁力异常高值带与磁力异常梯级带。

4 剖面解释

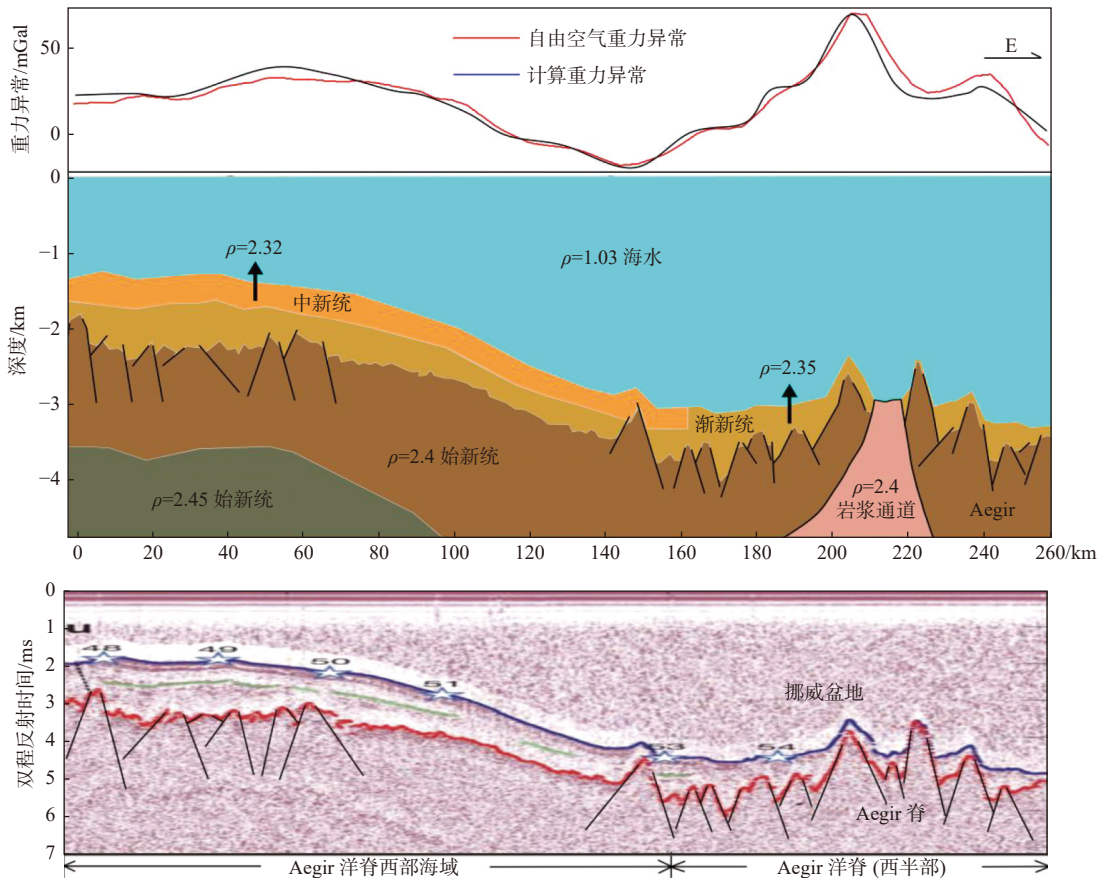
为了对研究区的构造演化有更深入的了解，结

合大量地质资料，选取了 krise7 地震反射线剖面中横跨研究区的部分剖面 AA'进行定量拟合解释。横跨 66.5°N 冰岛陆架、冰岛高原和挪威西部盆地长约 700 km 的剖面(krise7)，呈近 EW 走向，剖面西部 300 km 横跨冰岛大陆架，最新资料认为是由 Kolbeinsey 脊断裂形成，剖面东部 400 km 横跨冰岛高原和挪威盆地，由 Aegir 脊和沿前中央东格陵兰边缘的裂谷形成^[6]。地震研究发现，该地区洋壳厚度各不相同，冰岛高原观察到较厚的洋壳，而在挪威盆地观察到极薄的洋壳^[25]。

Krise7 西起冰岛大陆架，东至挪威西部盆地，延伸 700 km，对应研究区约是 450~700 km 的范围(图 3 中 AA'所示)。在自由空气重力异常图对应显示为“低—高—低—高—低—高”的特征，异常高低对

应地质密度大小, 侧面反映了剖面横跨区域的地质特征, 异常最低值在 66.2°N、6.5°W 处约为 $19.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, 最高值在 66.1°N、5°W 约为 $71.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。在 Aegir 脊和冰岛高原连接区域, 对应剖面图上约 50~150 km 处, 重力异常相对较低, 异常梯度变化较缓, 最低值约为 $19.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 在 krise7 折射线约 150~250 km 处, 重力异常总体表现为“低—高—低—高—低”, 异常变化梯度陡峭, 异常最大值约为 $71.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。剖面定量解释结果(图 6)表明: 地

层基底埋深对重力异常变化有着显著影响, 基底埋深越大则重力异常普遍偏低; 始新统基底埋深及中新统、渐新统厚度横向变化较大, 始新统基底坳陷区的渐新统厚度普遍较厚, 而始新统基底隆起区的渐新统厚度普遍较薄; 该剖面构造复杂、断裂发育, Aegir 脊中心处发育有岩浆通道贯通始新统与渐新统地层, 由于岩浆往往沿次级断裂喷发, 故岩浆通道由基底次级断裂构成, 这些次级断裂为岩浆提供了上升通道, 并控制了火山岩体的分布^[19,26]。



据文献 [6] 修改

图 6 AA'部分剖面综合解释

Fig.6 Comprehensive interpretation of partial AA' section

5 构造单元划分

结合前人研究成果, 综合分析 Aegir 脊及邻区断裂构造及重磁场特征, 以断裂 F1—F7 为边界, 将研究区划分为 7 个构造单元, 依次为 Aegir 脊、扬马延微陆块、东扬马延断裂带、西扬马延断裂带、Mohns 脊、东扬马延深海盆地和挪威深海盆地(图 7)。

5.1 Aegir 脊

Aegir 脊位于研究区中南部, 面积约 $9 \times 10^4 \text{ km}^2$,

分别以 F1、F2、F4 断裂为东、西和北部边界, 南部延伸至冰岛高原, 其最突出的地形特征是 NE—WS 向中心裂谷。自由空气重力异常特征显示: 沿 Aegir 脊从东到西, 发育有明显重力高值带, 到 Aegir 脊区域西南部, 重力异常高值达到顶峰, 约为 $90.12 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 自由空气局部重力异常特征为“两端高、中间低”, 两侧异常梯度变化陡峭, 呈近 NE—SW 向重力高值条带状; 重力垂向二阶导异常特征与局部异常特征相似, 异常梯度变化陡峭, 重力高异常沿 SW 走向^[27]。结合剖面定量解释结果(图 6)表明, 造成 Aegir 脊区域异常变化起伏较大的主要原因为

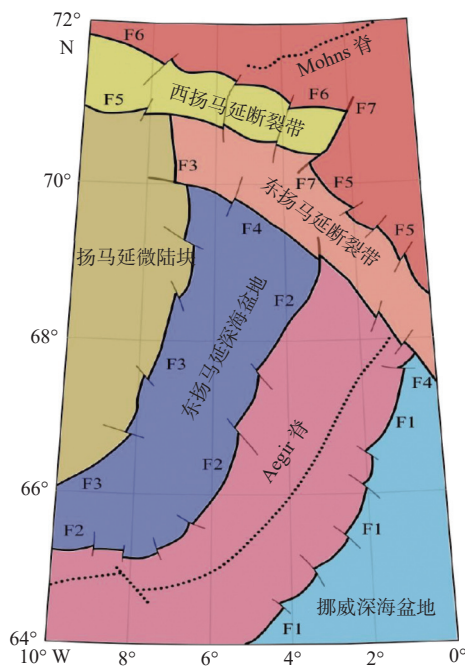


图7 Aegir脊及邻区构造单元划分

Fig.7 The division of tectonic units in the Aegir Ridge and its vicinity

基底火山岩体分布不均, Aegir脊内始新统基底起伏较大, 受断裂控制影响较大, 发育多个隆起与拗陷。

5.2 扬马延微陆块

扬马延微陆块位于研究区西北部, 面积约 $5.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 东部以 F3 断裂为边界, 北部以 F5 断裂为边界。扬马延微陆块的东南边缘靠近 Aegir 脊的南端和 Treitel 脊的西端, 根据地形、重力和其他数据表明, 地壳厚度约 15 km 的扬马延微陆块向南延伸至 Treitel 脊^[28]。自由空气重力异常特征显示, 异常高值区集中在扬马延脊, 呈近 SN 向的重力高值条带状, 两侧发育有明显的重力异常梯级带, 而异常低值区集中在扬马延盆地, 呈“V”型条带状, 高值带和低值带毗邻, 具有明显的异常梯级带; 自由空气局部异常特征显示, 发育多个重力高异常和重力低异常, 呈近 SN 走向, 异常梯度变化陡峭; 重力垂向二阶导异常特征与局部异常特征基本一致, 异常值走向相同, 梯度变化陡峭。

5.3 东扬马延断裂带

东扬马延断裂带面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 北、南、西部分别以断裂 F5、F4、F3 为边界, 西部紧挨扬马延微陆块。自由空气重力异常特征显示, 该断裂带两

侧呈现重力异常高值, 中间海域为低值, 异常最高值位于断裂带东部 Aegir 脊附近, 约为 $88.3 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 自由空气局部重力异常特征显示, 该区域发育多个近 EW 走向的重力异常高值带, 异常梯度变化陡峭; 重力垂向二阶导异常特征与局部异常特征相似, 异常梯度变化陡峭, 重力高异常为近 EW 走向。

5.4 西扬马延断裂带

西扬马延断裂带面积约 $2.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 北部边界为 F6 断裂, 南部边界为 F5 断裂, 东部边界为 F7 断裂。自由空气重力异常特征显示, 在扬马延脊北部、西扬马延断裂带南部之间发育有明显的重力高值带, 形似于三叉戟, 中间顶部圆形区域异常高值达到顶峰, 约为 $212 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 自由空气局部重力异常特征显示, 该区域发育多个近 EW 走向重力高值异常带, 异常梯度变化陡峭, 最高值在扬马延脊北部与西扬马延断裂带之间, 约为 $212 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$; 重力垂向二阶导异常特征与局部异常特征相似, 异常梯度变化陡峭, 重力高异常为近 EW 走向。

5.5 Mohns脊

Mohns 脊位于研究区北部, 面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 南部以 F6 断裂为边界, 整体呈 NEE 走向。自由重力异常及局部重力异常高值带集中在脊裂谷两侧, 呈 NEE 向条带状; 磁力化极异常和局部异常显示 Mohns 脊裂谷呈磁力异常高值带, 并发育有明显的磁力异常梯级带, 重力和磁力异常在此处有明显差异。

5.6 东扬马延深海盆地

东扬马延深海盆地面积约 $6.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 位于研究区中南部, 其东、西、北部分别以断裂 F2、F3、F4 为界。自由空气重力异常特征显示, 该区域总体呈现重力异常低值, 几乎没有异常高值带; 自由空气局部重力异常特征和重力垂向二阶导异常特征相似, 整体呈重力异常低值带, 异常梯度变化平缓。由于该区域为深海盆地, 异常整体偏低的主要原因为基底埋深较大。

5.7 挪威深海盆地

挪威深海盆地位于研究区东南部, 面积约 $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 西部以 F1 断裂为界, 南部以 F4 断裂为界。自由空气重力异常特征显示, 向东异常有增加的趋势, 但整体表现为重力异常低值; 自由空气局部重

力异常特征和重力垂向二阶导异常特征相似,整体呈重力异常低值带,异常梯度变化平缓。该区域也为深海盆地,异常整体偏低的主要原因也是基底埋深较大。

6 结论

本文基于重磁异常特征在研究区划分了断裂,根据断裂分布特征对 Aegir 脊及邻区进行了区块细分,为北极地区地质调查研究提供了更多地球物理资料,以期为进一步认识北极区域开拓新视野。

(1) Aegir 脊及邻区重力及磁力异常特征宏观上呈 NNE—NW—NE 向展布,反映了该区域的构造分布格架。重力异常呈高、低分带反映了该区基底呈隆、坳相间的布局,磁力异常的区域性差异亦对应了该区基底岩性的区域性差异。

(2) Aegir 脊及邻区地质情况复杂,断裂与区域构造展布方向一致,主要发育有 4 组断裂,依次呈 NNE、NWW、NW 与近 NS 向。其中, F1—F7 为研究区 7 条主要断裂,这 7 条断裂规模大、地质特征显著,对地层和岩浆岩分布起控制作用。

(3) Aegir 脊及邻区可划分为 7 个构造单元,分别为: Mohns 脊、扬马延微陆块、东扬马延断裂带、西扬马延断裂带、Aegir 脊、东扬马延深海盆地、挪威深海盆地,构造单元间为断层接触方式拼接。

参考文献:

- [1] 姜焱,刘琼,张英德. 扬马延微陆块构造特征及火山型被动陆缘远端带构造演化模式[J]. 地质科技通报, 2021, 40(5): 112-122.
- [2] 李进波,张文,赵亮,等. 扬马延微陆块中部重力场及构造特征[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(2): 467-472.
- [3] JUNG W Y, VOGT P R. A gravity and magnetic anomaly study of the extinct Aegir Ridge, Norwegian Sea[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1997, 102(3): 5065-5089.
- [4] UENZELMANN - NEBEN G, JOKAT W, MILLER H, et al. The Aegir Ridge: structure of an extinct spreading axis[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1992, 97(6): 9203-9218.
- [5] BREIVIK A J, MJELDE R, FALEIDE J I, et al. Rates of continental breakup magmatism and seafloor spreading in the Norway Basin-Iceland plume interaction[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2006, 111(7): B07102.
- [6] BRANDSDOTTIR B, HOOFT E E E, MJELDE R, et al. Origin and evolution of the Kolbeinsey Ridge and Iceland Plateau, N-Atlantic[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2015, 16(3): 612-634.
- [7] GREENHALGH E E, KUSZNIR N J. Evidence for thin oceanic crust on the extinct Aegir Ridge, Norwegian Basin, NE Atlantic derived from satellite gravity inversion[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(6): L06305.
- [8] BREIVIK A J, FALEIDE J I, MJELDE R. Neogene magmatism northeast of the Aegir and Kolbeinsey ridges, NE Atlantic: spreading ridge-mantle plume interaction?[J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2008, 9(2): Q02004.
- [9] KOPTEV A, CLOETINGH S, BUROV E, et al. Long-distance impact of Iceland plume on Norway's rifted margin[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 1-11.
- [10] PERON-PINVIDIC G, GERNIGON L, GAINA C, et al. Insights from the Jan Mayen system in the Norwegian-Greenland sea. I. Mapping of a microcontinent[J]. *Geophysical Journal International*, 2012, 191(2): 385-412.
- [11] KANDILAROV A, MJELDE R, PEDERSEN R B, et al. The northern boundary of the Jan Mayen microcontinent, North Atlantic determined from ocean bottom seismic, multichannel seismic, and gravity data[J]. *Marine Geophysical Research*, 2012, 33(1): 55-76.
- [12] HOVIKOSKI J, FYHN M B W, NØHR-HANSEN H, et al. Paleocene-Eocene volcanic segmentation of the Norwegian-Greenland seaway reorganized high-latitude ocean circulation[J]. *Communications Earth & Environment*, 2021, 2(1): 1-10.
- [13] RODRÍGUEZ-PÉREZ Q, OTTEMÖLLER L. Source study of the Jan Mayen transform fault strike-slip earthquakes[J]. *Tectonophysics*, 2014(628): 71-84.
- [14] KHARIN G S, EROSHENKO D V. Magmatism: the Jan Mayen hotspot, Arctic Atlantic Ocean[J]. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2014, 8(2): 108-124.
- [15] GREVEMEYER I, WEIGEL W, DEGHANI G A, et al. The Aegir Rift: crustal structure of an extinct spreading axis[J]. *Marine Geophysical Researches*, 1997, 19(1): 1-23.
- [16] MEYER B, CHULLIAT A, SALTUS R. Derivation and error analysis of the earth magnetic anomaly grid at 2 arc min resolution version 3 (EMAG2v3) [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2017, 18(12): 4522-4537.
- [17] BLISCHKE A, STOKER M S, BRANDSDÓTTIR B, et al. The Jan Mayen microcontinent's Cenozoic stratigraphic succession and structural evolution within the NE-Atlantic[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2019(103): 702-737.
- [18] 邢锦程,袁炳强,张春灌,等. 特立尼达盆地重力场特征及油气远景[J]. 物探与化探, 2021, 45(6): 1606-1616.
- [19] 张明华,乔计花,黄金明,等. 重磁电数据处理解释软件 RGIS[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [20] 韩梅,张春灌,李想,等. 利用重磁资料研究楚科奇边缘地构造特征[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(3): 945-951.
- [21] KODAIRA S, NO T, NAKAMURA Y, et al. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohokuoki earthquake[J]. *Nature Geoscience*, 2012, 5(9): 646-650.
- [22] 陈青,袁炳强,董云鹏,等. 断裂识别新方法及其在肯尼亚 Tana 凹陷中的应用[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2013, 43(4): 599-605.
- [23] 许文强,袁炳强,刘必良,等. 多种重磁位场边缘识别方法及

- 在南黄海北部断裂构造识别中的应用研究[J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 962-974.
- [24] 张春灌, 袁炳强, 李玉宏. 吐鲁番中南部地区航磁异常特征及其地质意义[J]. 地球物理学进展, 2019, 34(5): 1811-1817.
- [25] KODAIRA S, MJELDE R, GUNNARSSON K, et al. Structure of the Jan Mayen microcontinent and implications for its evolution[J]. *Geophysical Journal International*, 1998, 132(2): 383-400.
- [26] 杜文波, 邱燕, 汪俊, 等. 西南次海盆及邻区CFT测线重磁震联合反演及其应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 38-48.
- [27] BLISCHKE A, GAINA C, HOPPER J R, et al. The Jan Mayen microcontinent: an update of its architecture, structural development and role during the transition from the Aegir Ridge to the mid-oceanic Kolbeinsey Ridge[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 2017, 447(1): 299-337.
- [28] VOGT P R, JUNG W Y. Treitel Ridge: a unique inside corner hogback on the west flank of extinct Aegir spreading ridge, Norway Basin[J]. *Marine Geology*, 2009, 267(1/2): 86-100.

Gravity, magnetic anomalies, and tectonic features of the Aegir Ridge and adjacent areas

ZHANG Mian^{1,2}, ZHANG Chunguan^{1,2*}, DUAN Yile¹, YUAN Bingqiang^{1,2},
HAN Mei^{1,2}, ZHAO Min^{1,2}, ZHOU Lei^{1,2}

(1 School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

2 Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, China)

Abstract: To study the characteristics of faults in the Aegir Ridge and its adjacent in the Norwegian Sea in the Arctic and provide direction for oil and gas exploration in the region, fill in the latest ship-borne survey data based on the gravity data (grid data) released by the Scripps Institution of Oceanography. The available and the new gravity and magnetic data were analyzed by anomaly separation, sliding average, and magneto-gravity field boundary identification. At present, the division of characteristic faults and tectonic units in the study area remain unclear. According to the abnormal extreme-value, the trend of the abnormal zone, the variation scale of the abnormal gradient zone were clarified and the fault identification and structural unit division were performed. Results show that the magneto-gravity and the anomalies feature an NNE-NW-NE distribution. The gravity anomaly shows high-and-low zonation, reflecting the uplift-and-depression framework of the basement in this area. According to the corresponding relationship between magneto-gravity anomalies and faulting, 4 structural strikes and 7 regional faults were recognized. Finally, seven tectonic units were divided, i.e. Mohns Ridge, Jan Mayen Microcontinent, East Jan Mayen Fault Zone, West Jan Mayen Fault Zone, Aegir Ridge, East Jan Mayen Deep Sea Basin, and Norway Deep Sea Basin.

Key words: tectonic units; fault; gravity and magnetic data; Aegir Ridge; Arctic region