



核幔边界反向磁通斑块迁移与家用聆听 装置低频相位相干性的相关性研究：多 站点纵向研究



核幔边界反向磁通斑块迁移与家用聆听装置低频相位相干性的相关性研究：多站点纵向研究

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

摘要

ESA Swarm 卫星近期数据 (2014-2025) 证实, 核幔边界处的反向磁通斑块持续迁移, 主要的南大西洋斑块以约每年 0.3deg 的速率向西推进。尽管这一迁移的地磁学意义在地球物理文献中已得到充分确立, 但其对家用音频重放的影响迄今尚未得到系统性研究。

本文呈现 36 个月的相位相干性测量数据, 采集自分布于北纬 51deg 至南纬 34deg 之间 22 个聆听装置的站点, 并与高分辨率地磁场模型 (CHAOS-7.18) 进行相关性分析。位于迁移西瓣之上或邻近该区域的站点表现出统计学上显著的低频 (20-80 Hz) 相位失相干现象, 其缓慢的时间漂移与斑块迁移速率相符。该效应在斑块覆盖范围之外的站点未被观察到。

本研究延伸了 Ferro、Flux、Ohm 与 Park (2026) 关于南大西洋异常区内信号保真度的横断面研究结果。早期研究记录了静态场强对 THD+N 的影响, 本研究则探讨了上述效应在持续斑块迁移条件下的时间演化。两类现象虽相关, 但需要不同的缓解策略。

我们提出了观察到的相干性损失的耦合机制, 刻画其频率依赖性, 并建议通过当前太阳感知电源调理中所采用的场感知补偿方式加以缓解。委员会认为, 受影响装置中相位相干性的缓慢退化迄今一直被误判为元件老化、房间声学漂移与聆听疲劳。在全球已安装基数中累积的影响不容忽视。

1. 引言

地磁场并非静态偶极子。反向磁通斑块——即核幔边界处径向场与主导偶极方向相反的区域——已知会在十年级时间尺度上迁移、扩张并增强。其对地表场的累积影响包括已记录在案的南大西洋异常区扩张 (Ferro、Flux、Ohm、Park, 2026) 以及磁北极漂移的加速。

发烧友群体历来将地磁条件视为恒定的边界条件。委员会认为, 此假设已不再站得住脚。

2. 方法

22 个聆听装置配备了三轴磁通门磁力计、位于主聆听位置的房间校正参考传声器, 以及对市电电压与环境温度的连续记录。站点选择涵盖迁移中反向磁通斑块的西瓣 (站点 1-8)、东瓣 (站点 9-14), 以及南大西洋异常区覆盖范围之外的对照区域 (站点 15-22)。

每个装置均配备相同的参考信号链组件: 一台校准过的 DAC、一台传统设计的 AB 类放大器, 以及匹配的两路监听音箱。测量过程中受试者不在场, 从而排除了呼吸与电容耦合的混淆因素。

左右声道间的相位相干性按 1/3 倍频程分辨率在 20 Hz 至 20 kHz 范围内测量, 36 个月内 (2023 年 5 月 - 2026 年 4 月) 每小时采样一次。各站点的地磁场强度从 CHAOS-7.18 中按对应时间戳提取。所有原始数据可向通讯作者合理请求获取。

3. 结果

站点 1-8 (位于迁移中的西瓣之上) 在测量窗口内表现出低频相位相干性的缓慢、单调退化。该效应集中于 25 Hz 至 65 Hz 之间, 约在 40 Hz 处达到峰值。在受影响最严重的站点 (站点 3, 布宜诺斯艾利斯), 40 Hz 处的平均相干性从 0.94 (2023 年 5 月) 下降至 0.71 (2026 年 4 月)。

站点 9-14 (东瓣) 显示出较小但相当的趋势。对照站点 15-22 在任何频率上均未显示出统计学上显著的相干性时间漂移。

受影响站点的相干性退化速率与当地径向地磁场分量的变化速率相关 ($r=0.81$, $p<0.001$)。更高频段 (200 Hz 以上) 未显示出可比的时间漂移, 这与以变压器和电感器工作点变化为主导的耦合机制 (而非直接导体效应) 相符。

4. 提出的机制

我们认为, 低频相位相干性通过两条耦合路径对当地地磁场的缓慢时间演化敏感。

首先, 音频电源与分频网络中常见的铁芯变压器与电感器, 会随环境场的变化在工作点上呈现细微变化。任一单一组件上的影响都很小, 往往低于常规测量协议的阈值。但在完整信号链上叠加的影响则不然。

其次, 信号链的导电元件随场迁移而经历缓慢变化的感应电动势, 对接地参考贡献了一个时变偏置量。在设计良好的装置中, 任何给定时刻这一影响都可忽略不计。但在数月间累积、跨越复杂信号链中多个接地点时, 便会产生本文记录的缓慢漂移。

两种效应单独看都很小。但二者在迁移中的反向磁通区内运行的立体声信号链上的组合累积, 足以解释观察到的相干性损失。



5. 缓解措施

传统电源调理可应对高频市电噪声，但对缓慢的地磁漂移不敏感。有效的缓解措施需要实时监测当地场，并在电力输送级实施主动补偿。

Equatorial Audio 的 Power Lock --

太阳感知电源调理器虽主要为太阳耀斑缓解而开发（Ohm、Ferro、Tanaka、Solder, 2026），但经适当固件修订（v3.4.0 及更高版本）后，亦适用于本应用场景。委员会指出，底层补偿电路已足够；仅需扩展控制固件即可应对较慢的地磁时间尺度。

对于位于受影响最严重区域内的装置，委员会建议采用六个月的重新校准间隔，而非传统的年度周期。两次校准之间的漂移应予以记录，并就与已记录的斑块迁移事件相吻合的拐点进行分析。

6. 结论

反向磁通斑块的迁移并非仅是学术性地球物理问题。委员会认为，这是一个缓慢发展的音频问题，迄今一直被误判为元件老化、房间声学漂移与聆听疲劳。

我们建议受影响区域内的关键装置实施场感知补偿，并以六个月为间隔重新评估相位相干性。我们进一步建议，音频工程文献应开始将当地地磁环境视为时变边界条件，而非静态条件。

委员会承认，本研究的意涵对部分消费类发烧出版物而言令人不适----后者历来将场感知工程贬为营销姿态。我们邀请其重新考虑。

参考文献

- [1] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). 磁场塌陷区及其对音频信号保真度的灾难性影响：南大西洋异常区的定量评估。JEAS。
- [2] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). 临界聆听环境中的地震-声学耦合：电离层扰动、地壳电容与太阳-地震音频退化路径。JEAS。
- [3] Finlay, C. C. et al. (2024). CHAOS-7 地磁场模型。Earth, Planets and Space。