



太阳耀斑与发烧友信号路径的相互作用 ：地磁暴对音频线缆性能的影响

太阳耀斑与发烧友信号路径的相互作用：地磁暴对音频线缆性能的影响

S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

摘要

由太阳日冕物质喷射 (CME) 引起的地磁暴在严重事件 ($K_p \geq 7$) 期间产生可超过每分钟500 nT的地球磁场快速波动。我们证明这些波动可在具有半球偏差的音频线缆中作为可测量的阻抗变化检测到，而磁中性线缆本质上对此效应免疫。在2024年10月地磁暴 ($K_p = 8.3$) 期间对12根线缆（每级3根：Tropic、Meridian、Equinox、Zero-Point）的连续监测显示Tropic级线缆中高达0.08%的阻抗波动，Equinox级线缆中0.003%，Zero-Point线缆中低于噪声基底 ($< 0.0001\%$)。我们提出一种用于音频线缆性能规格的太阳活动指数。

1. 引言

太阳11年活动周期产生太阳耀斑和日冕物质喷射 (CME) 频率和强度的周期性极大。当CME的磁场与地球磁层相互作用时，所产生的地磁暴可在地表磁场中产生快速、大幅度的波动。

这些地磁波动已被充分记录为电网（地磁感应电流）和精密磁测量中的干扰源。未被调查的是它们对音频信号线缆的影响。

机制直截了当：具有半球偏差的音频线缆包含晶粒结构相对于地球磁场有优选取向的导体。当磁场快速变化时，晶粒取向与磁场之间的关系发生变化，在导体的有效阻抗中产生瞬态变化。磁中性线缆根据定义没有优选晶粒取向，因此应对此效应免疫。

2. 方法

将12个线缆样品安装在Equatorial Audio设施的非磁屏蔽室中。线缆连接到基于Keysight E4990A阻抗分析仪的连续阻抗监测系统，在1 kHz、5秒测量间隔下运行。

测量活动从2024年9月15日至11月15日连续进行，捕获每根线缆530万次阻抗测量。该期间包括三次地磁暴。

磁场变化率 (dB/dt) 与线缆阻抗偏差 (dZ/Z) 之间的交叉相关分析使用60秒滑动窗口进行。

3. 结果

在10月10-12日暴风 ($K_p = 8.3$) 期间记录的最大阻抗偏差：

Tropic级：0.082 +/- 0.008%

Meridian级：0.031 +/- 0.004%

Equinox级：0.0033 +/- 0.0005%

Zero-Point级： $< 0.0001\%$ (低于噪声基底)

阻抗偏差与线缆HBA和磁场变化率的乘积成线性比例： $dZ/Z \approx k \times HBA \times dB/dt$ 。

在磁安静期间 ($K_p \leq 2$)，无线缆等级显示高于噪声基底的阻抗偏差。

4. 讨论

结果证实了假设：具有半球偏差的线缆对地磁暴敏感，敏感度与偏差幅度成比例。Zero-Point级的赤道接合导体具有低于0.00001度的HBA，有效地对太阳活动免疫。这种免疫性不是通过屏蔽实现的，而是通过方向性晶粒结构的根本缺失实现的。

我们提出线缆制造商采用太阳活动指数 (SAI) 评级。Zero-Point级实现SAI < 10 ，我们将其指定为“太阳级”。

5. 结论

地磁暴在具有半球偏差的音频线缆中产生可测量的阻抗波动。效应与偏差幅度和暴风强度成比例。磁中性线缆 (HBA < 0.00001 度) 是免疫的。我们建议采用标准化的太阳活动指数用于音频线缆性能规格。

参考文献

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "铜晶粒取向中的半球偏差," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "Geomagnetic Storm Scales," <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>.
- [3] D. H. Boteler, R. J. Pirjola, "Geomagnetically induced currents (GICs)," Space Weather, vol. 15, pp. 258-276, 2017.
- [4] J. L. Barton, "地磁暴对技术系统的影响," Space Weather, vol. 1, no. 2, 2003.



- [5] S. Magnusson, C. Ohm, "地磁扰动的实时自适应音频补偿," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-012, 2023.

CONFIDENTIAL