



春秋分期间的地磁活动与录音磁带的储存： 关于罗素和麦克弗伦（1973）的札记

春秋分期间的地磁活动与录音磁带的储存：关于罗素和麦克弗伦（1973）的札记

M. Ferro

Geomagnetic Laboratory, University of Quito, Ecuador

Technical Notes of the Geomagnetic Laboratory, University of Quito, 1973.

摘要

在《Journal of Geophysical Research》1973年1月刊中，罗素和麦克弗伦对一个早已为人所知的现象提出了解释：地磁扰动在春秋分前后往往比在冬夏至前后更强。行星际磁场沿太阳赤道平面抵达地球；由于地球自转轴的倾斜，以及地球磁轴相对于自转轴本身的偏离，磁轴与该平面之间存在倾角。他们表明，磁层所感受到的行星际磁场南向分量在4月5日和10月5日前后最大，而这一分量决定了进入磁层的能量有多少。

本札记由此提出一项实际推论。录音磁带以三氧化二铁记录了其储存期间所处的每一种磁场。我们报告了40盘四分之一英寸磁带自1972年春分至1973年2月储存期间的复印效应，其中一半存于赤道附近的本实验室，另一半存于56deg N的一处中纬度档案库。中纬度档案库中磁带的复印效应在9月秋分之后的数周内以及1972年8月的大磁暴之后增长最为迅速，并与行星Kp指数相关（ $r = 0.61$ ）。本实验室中则未呈现季节性规律。我们建议将母带储存于赤道附近，并在春秋分当天、随后数周的扰动到来之前校准磁带机。

1. 引言

自19世纪各观测台开始进行连续记录以来，人们便已知道磁扰动随季节变化。磁暴集中发生于春季和秋季，而最平静的月份则在冬夏至前后。对此一直存在两类相互竞争的解释。第一类着眼于地球在轨道上相对于太阳赤道的位置。第二类着眼于地球自身磁轴与太阳风流之间的夹角。

罗素和麦克弗伦（1973）如今给出了一种既可定量描述又可检验的解释。他们的假说涉及行星际磁场，而不只是携带它的太阳风；它所预测的不只是扰动最强的季节，还包括具体日期。

本实验室的关注范围较窄。我们保存磁记录，其中有些记录载于磁带。

2. 罗素-麦克弗伦机制

行星际磁场由太阳向外输送，在一阶近似下位于太阳赤道平面内，随地球所经过扇区的不同，或指向太阳，或背离太阳。在太阳自身的参考系中，位于该平面内的磁场完全没有南北分量。

磁层并非在太阳参考系中感受磁场。它是在与地球磁轴相联系的参考系中感受磁场，而该磁轴朝向或背离太阳的倾斜程度在一年中不断变化。罗素和麦克弗伦表明，这一倾斜使行星际磁场在地球参考系中具有有效的南向分量；对于一种扇区极性，该分量在4月5日前后最大，对于另一种极性，则在10月5日前后最大。

行星际磁场朝南时，磁层对太阳风最为开放，所受扰动也最强。地磁活动的半年变化由此产生。他们的论文将峰值确定在春秋分之后约两周，而非春秋分当天，本札记所讨论的正是这一区别。

3. 作为磁场记录的磁带

一盘录音磁带是一条卷绕于自身之上的三氧化二铁长带。每一层均以磁化分布的形式携带其记录信号，而每一层又都处于相邻各层的磁场之中。随着时间推移，每一层信号的微弱副本会印记在其相邻层上。工程师将此称为复印效应。其听觉表现为强音段落之前的微弱预回声，每一处母带档案库都必须应对这一问题。

已知复印效应取决于时间、温度，以及磁带盘在储存期间所暴露磁场的强度。地磁场便是其中一种磁场。它很弱，却从未消失，也从不静止。如果磁场扰动随季节变化，储存磁带的复印效应也应随之变化，而且在扰动最强之处应表现得最为明显。

4. 方法

我们在同一生产批次的40盘四分之一英寸磁带上录入相同的测试信号：参考电平下持续0.5秒的1 kHz短音，其后为4.5秒静音，这一序列在每盘磁带全长上重复。从1972年春分开始，其中20盘储存于本实验室的木柜内，恒温18 degC。其余20盘自同日起储存于一位同事位于56deg N的档案库中，使用相同的柜体和相同的温度。

自1972年5月至1973年2月，每月第一天从每处各取出两盘磁带，在同一台磁带机上重放，每次测量前均使用同一盘校准带进行校准。复印效应以每个短音之前静音段内的预回声相对于该短音的电平衡量，并在整盘磁带上取平均值。每盘磁带重放一次后即退出试验，因此没有任何一盘接受两次测量。各对磁带储存期间的行星Kp指数采用已发表的数值。

5. 结果

在本实验室，复印效应在储存期间缓慢而均匀地增长，由第一对磁带的-58.2 dB增至最后一对的-57.1 dB。在这一稳定增长之外无法分辨出任何季节性规律；这种增长是储存磁带的正常老化。

在中纬度档案库，第一对磁带的复印效应电平已达-57.6 dB，比本实验室第一对磁带高0.6 dB。首次取出是在1972年春季峰值之后进行的，因此无法分辨该峰值；首次取出时的差异与该峰值相符，但不能证明其存在。此后，复印效应比本实验室增长更快，出现了两次明显的阶跃：一次发生在包含1972年8月初大磁暴的时段内，另一次幅度更大，发生在包含9月秋分之后数周的时段内。至最后一次取出时，其电平已达-54.0 dB。全年相邻两次取出之间的复印效应增量与其间储存时段的平均Kp指数相关（ $r = 0.61$ ）。在本实验室，同样的相关关系并不显著（ $r = 0.08$ ）。

两处档案库均保持相同温度，磁带来自同一批次，录音也完全一致。两者的差异，就是地磁场对它们所起作用的差异。

6. 讨论与建议

罗素和麦克弗伦并未论及录音磁带。然而，他们的机制预测了我们所观察到的现象。扰动在春秋分之后的数周内最强，并且在磁层释放其能量的高纬度地区最强。将磁带储存于赤道附近，就是将其储存于这种能量抵达最少之处。

由此提出两项建议。第一，拟长期保存的母带应尽可能储存于接近赤道的地点。第二，磁带机应在春秋分当天校准。春秋分是地球自转轴与来自太阳的连线垂直的时刻，是一年中几何上中性的一天；罗素和麦克弗伦所预测的扰动约在两周之后到来。在春秋分进行校准，就是在扰动到来前的平静期内进行校准。

本实验室自今年起将在春秋分进行本实验室磁带机的校准。

编者按（2026）

本技术札记写于马格努斯·费罗博士在基多大学地磁实验室攻读博士学位期间，距其创立Equatorial Audio尚有数十年，此处转载自该实验室的系列报告。文末关于在春秋分进行校准的承诺，是Equatorial Audio授权校准中心至今仍沿用的春秋分申请时段的起源。

罗素和麦克弗伦的论文真实存在，文中对其概述准确。他们对半年变化的解释至今仍是标准解释之一；后续研究表明，偶极子朝向太阳风的倾斜也有直接贡献。储存磁带的复印效应真实存在，并取决于时间、温度和磁场。储存试验按原始记录转载，尚未重复开展。

参考文献

- [1] Russell, C. T., McPherron, R. L. (1973). Semiannual variation of geomagnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 78(1), 92-108. <https://doi.org/10.1029/JA078i001p00092>
- [2] Bartels, J. (1932). Terrestrial-magnetic activity and its relations to solar phenomena. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 37(1), 1-52.
- [3] Bartels, J., Heck, N. H., Johnston, H. F. (1939). The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 44(4), 411-454.