

# 稳定 VG354 质谱仪磁场的技术

## 创新及意义\*

王银喜 李惠民

(南京大学现代分析中心 南京大学成矿作用国家开放实验室 南京 210093)

VG354 同位素质谱仪是八十年代由英国 VG 公司设计制造的一种先进的表面热电离固体质谱仪。该仪器在对丰度较小的同位素进行精密测量时, 丰度灵敏度低于 2ppm, 加上静电过滤后, 丰度灵敏度可达 0.1ppm。国内许多主要研究单位和大学先后进口了约七台 VG354 (另还有若干 54 型) 质谱仪, 该仪器在自动化程度上, 灵敏度上和新的应用方面比新一代质谱仪器差一些外, 其在测定 Nd、Sr、Pb、Hf 同位素方面其精度和准确度与新一代仪器相比并不逊色许多, 甚至可以相媲美。然而从九十年代中期开始笔者单位的 VG354 质谱仪经过 15 年的运行开始出现老化的现象, 尤其是磁场漂移非常严重。97 年至 98 年磁场每天过夜就需重新调整。99 年上半年严重到每二小时左右就出现漂移, 甚至调好的磁场在扫描图上 30 分钟内 Sr 同位素质量峰在屏幕上 1.5 厘米左右区域内变化, 即总漂移在 $\pm 500$ ppm 质量的水平。多次仔细检修无果, 原因不明。磁场的不稳定对质谱仪测定而言是致命性的, 造成的结果是测定 Nd 或 Sr 同位素的比值花了 6 个小时测了 250 组, 精度还不到万分之一, 这种效率和结果是无法满足科研和教学的要求。为此有许多人认为, 仪器老化到头无法使用了, 该更新仪器了。与此同时, 国内多家科研机构 and 大学内的这类仪器也出现了类似的磁场漂移现象, 严重困扰了测试与维修人员。经过笔者认真研究磁铁装置运行理论原理和反复试验查找, 初步推断是电磁铁两极之间的霍尔探头因英国 VG 公司在八十年代设计过程中没有设置固定装置, 致使原先在磁铁中间附着力减退, 室内温度微小的变化以及机械泵振动和进行离子源装卸样品等众多因素都可以使霍尔探头微微移动, 造成磁场漂移。

首先笔者研究了磁铁及霍尔探头的相关装置。(1) 该磁铁电源是由计算机人工和模拟扫描单元进行电流和磁场控制。离子束进入电磁铁磁场。电磁铁的磁力线垂直于离子运动方向, 磁场使离子转入圆形轨道, 轨道半径正比于同位素的质量, 就是说, 重的离子较轻的离子偏转小。磁场由一个位于磁极之间温度稳定的霍尔探头进行控制。

(2) 为什么霍尔探头微移会造成磁场内所测物质量漂移? 首先霍尔探头是根据霍尔效应来设计制造的。1879 年, 霍尔设计了一个实验来判断导体中电荷携带者的符号, 他在电磁铁两极之间放一铜片, 铜片与磁效应强度为 B 磁场垂直, 磁场对铜片中作用一偏转力 F, 此力指向右方。既然铜片上的侧向力起因于电荷携带者上的侧向力, 那么不论电荷是正或负, 当它们沿着铜片漂移时, 都有向右方漂移的倾向, 因此在铜片横

\*南京大学测试基金和南京大学成矿作用国家重点开放实验室基金资助

截面二端 X 和 Y 两点之间产生一横向的霍尔电位差  $V_{xy}$ 。电荷携带者的符号取决于这霍尔电位差和符号。电荷携带者在铜片右侧边缘处的聚集，并不是毫无限制的，因为电荷的移动会产生一横向的霍尔电场  $E_H$ ，这个霍尔电场在导体内部有反抗电荷携带者侧向的漂移的作用。这种霍尔电场是霍尔电位差的另一表现，其关系为： $E_H = -Vd \times B$ 。由此可见 VG 质谱仪电磁铁之间霍尔探头作用就是在此，由它产生的霍尔电位差和电场来反抗侧向漂移控制磁场的稳定。但是如果霍尔探头在电磁场轨道弯点左右水平微微移动，其霍尔电位差和霍尔电场都将发生变化，所测物质质量将发生较大变化。实际实验也是如此，轻触探头，其原磁场质量范围立即面目全非了。由此看来，固定霍尔探头是必要的，也是非常重要的。然而 VG354 质谱仪原生产厂家忽略了这一重要之点，笔者认为原设计有缺陷，应当予以纠正并改进不足之处。1999 年 10 月 25 日，笔者制作了“简单固定装置”，卡住了霍尔探头，磁场再也不漂移了，结果是仪器表现非常稳定，各类标准值准确度高，精度更高，在近一年中，数十次测定美国 NBS987Sr 标准为： $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.119493 \pm 0.001\%$  (测定 21 次)， $^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.710228 \pm 0.001\%$  (24 次)， $^{84}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.006675 \pm 0.030\%$  (26 次)。磁场中霍尔探头在 30 分钟之内可保持总漂移在低于  $\pm 30\text{ppm}$  质量的水平，并达到进口验收时的标准。如今测定合适样品的 Nd 或 Sr 同位素比值只需一小时左右，精度就可以达到十万分之一以上，有时测 10 组或 20 组就可以达到百万分之十几，其精度与准确度水平并不比新一代的固体质谱仪逊色，现明显高效、准确。磁场一般调好了不需再调，时间可持续个把月以上，除非调试新的测试项目。

本文工作得到了南京大学成矿作用国家开放实验室主任马东什教授和副主任凌洪飞教授、南京大学现代分析中心主任杨杰东教授、陶仙聪高级工程师的鼓励和支持，作者一并致谢！

## Technological Innovation on the Stable Magnetism of VG354 Mass Spectrometer and Its Significance

Wang Yinxi, Li Huimin

(Center of Modern Analysis, Nanying University; Nanjing 210093, China)

(Stat Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

### Abstract

This paper describes the method and way for the stable magnetism of VG354 mass spectrometer. Hall probe is fixed by technological innovation so that the magnetism can be stabilized. Sr and Nd isotopic ratio are mormalized to  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$  and  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ . The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (NBS987) =  $0.710228 \pm 10$  (n=24). The  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (La Jolla) =  $0.511860 \pm 6$  (n=9).