

文章编号: 1007-4627(2011)01-0078-05

# 加速器质谱测量 $^{53}\text{Mn}$ 及其在地球科学中的应用\*

董克君<sup>1</sup>, 陈志刚<sup>2</sup>, 何明<sup>1</sup>, 刘广山<sup>2</sup>, 李朝历<sup>1</sup>, 游曲波<sup>1</sup>, 刘建成<sup>1</sup>, 武绍勇<sup>1</sup>,  
王祥高<sup>1</sup>, 沈洪涛<sup>1</sup>, 李振宇<sup>1</sup>, 李士琢<sup>1</sup>, 龚杰<sup>1</sup>, 张伟<sup>1,3</sup>, 贺国珠<sup>1</sup>,  
何贤文<sup>1,3</sup>, 金春生<sup>1</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 袁坚<sup>1</sup>, 姜山<sup>1, #</sup>

(1 中国原子能科学研究院, 北京 102413;

2 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005;

3 广西大学物理科学与技术学院, 广西南宁 530004)

**摘要:** 宇宙成因核素  $^{53}\text{Mn}$  是一种非常理想的地貌演变研究工具。近年来, 随着加速器质谱 (AMS) 技术的不断发展, 人们已能够进行  $^{53}\text{Mn}$  的高灵敏测量。介绍了  $^{53}\text{Mn}$  在地球科学中的应用前景、国际研究现状及中国原子能科学研究院目前正在开展的  $^{53}\text{Mn}$  高灵敏 AMS 测量方法的研究。

**关键词:** 加速器质谱;  $^{53}\text{Mn}$ ; 地球科学; 应用

**中图分类号:** TL817.4; P597      **文献标识码:** A

## 1 引言

在地球科学中, 就地产生的宇宙成因核素对于地貌演变研究是一种非常重要的工具。例如, 暴露年龄、侵蚀速率和埋葬年龄等。随着测量方法的不断发展与测量精度的不断提高, 可用于分析的宇宙成因核素越来越多, 这不但延伸了定年的时间跨度, 而且把研究范围也扩大到了整个岩石圈。

地球上就地产生的  $^{53}\text{Mn}$  ( $T_{1/2} = 3.7 \text{ Ma}$ ) 绝大多数来自于宇宙射线的次级粒子与 Fe 的散裂反应 ( $^{56}\text{Fe}(\mu^-, \nu_n, 3n)^{53}\text{Mn}$ )<sup>[1]</sup>, 其应用于地形、地貌研究是一种非常理想的宇宙成因核素。这主要是因为: 首先,  $^{53}\text{Mn}$  具有非常长的半衰期, 其定年的历史可以追溯到几千万年以前, 可以补充那些已经被广泛应用的宇宙成因核素 ( $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{He}$  和  $^{21}\text{Ne}$ ) 的定年空白; 其次, 对于  $^{53}\text{Mn}$  来说, 整块样品都可以用于制备分析 (对于  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{26}\text{Al}$  和  $^{14}\text{C}$  主要分析对象是石英成分), 而且 Mn 的提取相对也比较容易, 这不但简化了制样流程, 而且也节省了制样时间; 另外, 整块岩石样品中的  $^{53}\text{Mn}$  几乎都来自于单一靶元素——Fe 的散裂反应, 这不但简化了计算分析方法, 而且有助于比较和解释不同

样品之间的测量结果。所以, 宇宙成因核素  $^{53}\text{Mn}$  在地球科学中具有非常广阔的应用前景:

### (1) 青藏高原地貌研究

印度板块在 10 Ma 前与欧亚板块碰撞造成岩石圈隆升形成的青藏高原被喻为地球的第三极, 它对地球的气候以及海洋的化学组成都具有十分重要的影响, 长期以来一直都是国际上的热点研究区域。在长期干旱的地表环境, 通过宇宙射线与 Fe 的散裂反应就地产生的宇宙成因核素  $^{53}\text{Mn}$  极易被氧化形成沉淀, 不容易迁移, 而  $^{53}\text{Mn}$  能示踪的地表过程超过 10 Ma, 青藏高原的隆升以及后期剥蚀的时间跨度正好落在该范围内, 因此,  $^{53}\text{Mn}$  对于青藏高原的岩石暴露年龄以及剥蚀速率的研究具有非常重要的意义。

### (2) 海底铁锰结壳定年

准确定年是古气候研究最基本和最重要的问题。海底铁锰结壳具有极低的生长速率 (几毫米/百万年) 和较稳定的形成环境 (指受陆源物质影响较小), 是地球气候变化的理想载体, 时间尺度为百万年至千万年<sup>[2]</sup>。正是由于铁锰结壳生长极慢, 所以其绝对定年难以找到合适的放射性同位素。目前最

\* 收稿日期: 2010-05-28; 修改日期: 2010-06-28

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11075221); 国家青年基金资助项目(10705054)

作者简介: 董克君(1972—), 男(汉族), 江苏仪征人, 副研究员, 博士, 从事粒子物理与原子核物理研究

# 通讯联系人: 姜山, E-mail: jiangs@ciae.ac.cn

长时间尺度的绝对定年方法是<sup>10</sup>Be( $T_{1/2} = 1.5 \text{ Ma}$ )法,但也只适用于结壳表层至 2 cm 左右深度的样品(铁锰结壳的厚度可达 10 cm 左右),更老(深)的样品只能用经验公式去推测<sup>[3]</sup>。而<sup>53</sup>Mn 由于具有非常长的半衰期,其用于海底铁锰结壳的定年研究,可将定年深度扩展至 5 cm 左右,这不仅扩大了准确定年的范围,也增加了定年数据的可靠性。

### (3) 地球宇宙尘埃量估算

研究表明,每年沉降到地球上的宇宙尘埃粒子大约有 $(40 \pm 20) \times 10^6 \text{ kg}$ <sup>[4]</sup>。<sup>53</sup>Mn 对于确定长期以来沉积在地球表面的宇宙尘埃量,是一种非常有用的工具。这里主要有两个原因:首先,在宇宙尘埃粒子中,宇宙射线与 Fe 的散裂反应产生了大量的<sup>53</sup>Mn,而深海铁锰结壳是其在地球上的理想载体<sup>[5]</sup>;其次,<sup>53</sup>Mn 具有非常长的半衰期,不但确保了其有足够时间到达地球,而且可以获得超过 10 Ma 以前的信息。通过测定铁锰结壳不同深度剖面<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn 的值确定单位时间内产生的<sup>53</sup>Mn,并与<sup>10</sup>Be或<sup>26</sup>Al 的测量结果相比较(<sup>10</sup>Be 和<sup>26</sup>Al 的产额可通过宇宙核素产生模型计算出来<sup>[6]</sup>),可对过去数千万年以来沉降到地球的宇宙尘埃量进行估算。

长期以来,中子活化分析(NAA)一直是测量<sup>53</sup>Mn 的常用方法。但是,这种方法不但需要复杂的放射化学处理,而且在辐照过程中,由于<sup>54</sup>Fe( $n, p$ )<sup>54</sup>Mn 与<sup>55</sup>Mn( $n, 2n$ )<sup>54</sup>Mn 反应生成的<sup>54</sup>Mn 严重影响了实验的灵敏度,因此,NAA 方法测量的<sup>53</sup>Mn 样品几乎都来自于陨石,其<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn 一般大于 $10^{-9}$ 量级,而地球样品中<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn 的值通常都不会高于 $10^{-12}$ 。由于受到测量方法的限制,地球样品中<sup>53</sup>Mn 的测量及应用研究一直没有得到广泛的开展。近年来,随着 AMS 技术与粒子探测方法的不断发展,<sup>53</sup>Mn 的高灵敏测量已经成为可能。这为地球样品中<sup>53</sup>Mn 的测量与分析奠定了非常坚实的实验基础,也让人们对<sup>53</sup>Mn 在地球科学中的应用研究看到了新的曙光。

## 2 国际研究现状

### 2.1 <sup>53</sup>Mn 的 AMS 测量

加速器质谱(AMS)测量<sup>53</sup>Mn 的主要干扰来自于同量异位素<sup>53</sup>Cr,而<sup>53</sup>Cr 在自然界样品中的丰度大约是<sup>53</sup>Mn 的 $10^{12}$ 倍,因此,如何有效排除同量异

位素<sup>53</sup>Cr 的干扰是<sup>53</sup>Mn-AMS 高灵敏测量需要面对的一个关键技术问题。通过化学方法对样品中的<sup>53</sup>Cr 进行排除是<sup>53</sup>Mn 高灵敏测量的前提,但是,通过任何化学方法都难以把样品中的<sup>53</sup>Cr 含量排除在 ppm( $10^{-6}$ )以下,也就是说,经过化学除 Cr 的样品中<sup>53</sup>Cr 的含量(<sup>53</sup>Cr/<sup>55</sup>Mn)仍比<sup>53</sup>Mn 要高出 5—6 个数量级。所以,在<sup>53</sup>Mn 的 AMS 测量中,需要较高的粒子能量来进一步排除同量异位素<sup>53</sup>Cr 的干扰,也就是说,低能 AMS 系统难以实现对<sup>53</sup>Mn 的高灵敏测量。目前,国际上仅有少数几个具有较高加速器端电压的 AMS 实验室具备这种条件。

德国慕尼黑工业大学的 AMS 研究小组经过长期的研究与探索,已经基本建立了<sup>53</sup>Mn 的 AMS 测量方法。其测量系统主要由离子源、14 MP 加速器、Wien 过滤器、高能分析磁铁、充气磁谱仪(GFM)和多阳极电离室等几部分组成;实验最初采用 MnO<sub>2</sub> 样品形式,离子源引出 MnO<sup>-</sup>,加速器端电压 13 MV,离子经加速、剥离后(膜剥离),选择 11<sup>+</sup> 电荷态,经 Wien 过滤器及高能分析磁铁排除与<sup>53</sup>Mn<sup>11+</sup> 和<sup>53</sup>Cr<sup>11+</sup> 具有相同磁刚度的离子、分子本底与同位素本底,GFM 和多阳极电离室对<sup>53</sup>Mn 和<sup>53</sup>Cr 进行径迹分离、粒子鉴别与测量,实验的探测限为 $2 \times 10^{-14}$ <sup>[7]</sup>。最近,他们在对实验设备和条件进行改进的基础上,采用 MnF<sub>2</sub> 样品形式,离子源引出 MnF<sup>-</sup>,从引出上把<sup>53</sup>Cr 的干扰压低了大约 3 倍,然后通过软件扣除<sup>53</sup>Cr 干扰的方法,把空白样品的探测上限降到了 $7 \times 10^{-15}$ <sup>[8]</sup>。借鉴德国慕尼黑工业大学的实验方法,澳大利亚国立大学基于他们的 14 UD 加速器,也初步发展建立了与德国慕尼黑工业大学相似的<sup>53</sup>Mn-AMS 测量方法,其实验采用 MnO<sub>2</sub> 样品形式,离子源引出 MnO<sup>-</sup>,加速器端电压 14.4 MV,离子经过加速器加速、剥离后(气体+膜剥离),选择 11<sup>+</sup> 电荷态,使用速度选择器及高能分析磁铁排除与<sup>53</sup>Mn<sup>11+</sup> 和<sup>53</sup>Cr<sup>11+</sup> 具有相同磁刚度的离子、分子本底与同位素本底,GFM 和多阳极电离室对<sup>53</sup>Mn 和<sup>53</sup>Cr 进行径迹分离、粒子鉴别与测量。目前,他们实验的测量灵敏度(<sup>53</sup>Mn/<sup>55</sup>Mn)为 $\sim 10^{-13}$ <sup>[9-10]</sup>。

虽然慕尼黑工业大学和澳大利亚国立大学已经基本建立了<sup>53</sup>Mn 的 AMS 测量方法。但是,粒子通过 GFM 后,由于与气体分子发生碰撞,束斑发散

大和能量损失较多,不但损失了粒子进入探测器的效率,而且也增加了探测器的鉴别难度。例如,慕尼黑工业大学虽然得到了较低的探测限,但是在其实际样品测量过程中,为了有效抑制 $^{53}\text{Cr}$ 的干扰,必须损失70%—80%的 $^{53}\text{Mn}$ 粒子<sup>[11]</sup>;而对于澳大利亚国立大学,其进入探测器的 $^{53}\text{Cr}$ 计数率达到1000 ions/s,这严重影响了 $^{53}\text{Mn}$ 的鉴别与测量,另外,系统的传输效率太低也是影响他们实验灵敏度的一个主要因素<sup>[9]</sup>。所以,基于GFM系统的 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量方法仍有待进一步的改进与提高。

## 2.2 $^{53}\text{Mn}$ 在地球科学中的应用研究

远古的地表富含Fe是世界上大多数干旱地区的共同特征。经过长时间的侵蚀和风化,抗侵蚀力极强的铁矿石几乎可以毫无损失地保留下来。而通过宇宙射线与Fe的散裂反应就地产生的宇宙成因核素 $^{53}\text{Mn}$ 是一种非常理想的地貌演变研究工具。

基于德国慕尼黑工业大学建立的 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量系统,美国哥伦比亚大学莱蒙特-杜赫提地球观测站(Lamont-Doherty Earth Observatory)的J. M. Schaefer等首次开展了地球岩石样品中就地产生的宇宙成因核素 $^{53}\text{Mn}$ 的研究工作。他们测量了南极洲干谷9处粗粒玄武岩表面的13个样品,实验结果显示:同一样品中 $^{53}\text{Mn}$ 的含量与宇宙射线产生的 $^3\text{He}$ 和 $^{21}\text{Ne}$ 的含量符合得非常好,也就是说,样品中就地持续产生的 $^{53}\text{Mn}$ 可以追溯到数百万年之前。他们得出的结论是,在高纬度与海平面地区, $^{53}\text{Mn}$ 的产生率 $P_{53} = (103 \pm 11) \text{ atoms/a} (\text{g} \cdot \text{Fe})^{-1}$ <sup>[11]</sup>,这个值接近于理论模型计算值 $(120 \pm 18) \text{ atoms/a} (\text{g} \cdot \text{Fe})^{-1}$ <sup>[12]</sup>;岩石中就地产生的 $^{53}\text{Mn}$ 用于监测地球表面的演变过程可以超过10 Ma<sup>[11]</sup>。继J. M. Schaefer之后,澳大利亚国立大学的T. Fujioka等利用其新近发展的 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量方法,分别测量分析了巴西3个采矿点表面没有受到污染的7个赤铁矿样品,研究得出了与J. M. Schaefer等几乎一致的结果,即:就地产生的 $^{53}\text{Mn}$ 定年能把时间跨度延伸到10 Ma以前,在高纬度与海平面地区 $^{53}\text{Mn}$ 的产生率 $P_{53} = (103 \pm 19) \text{ atoms/a} (\text{g} \cdot \text{Fe})^{-1}$ <sup>[13]</sup>;他们认为,宇宙成因核素 $^{53}\text{Mn}$ 用于定年研究适用于任何富含铁的岩石。例如,赤铁矿、针铁矿、辉石、橄榄石等。

## 3 中国原子能科学研究所的 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量方法研究

目前,国内尚未看到 $^{53}\text{Mn}$ 高灵敏测量及应用的相关研究报道。中国原子能科学研究所的AMS实验室是国际上具备 $^{53}\text{Mn}$ 高灵敏AMS测量条件的少数几个实验室之一。该实验室已就 $^{53}\text{Mn}$ 的AMS测量方法进行了一些探索性的研究,实验拟把中国原子能科学研究所端电压可以达到14 MV的HI-13串列加速器与大型Q3D磁谱仪相结合,建立一种能够有效排除同量异位素 $^{53}\text{Cr}$ 干扰的 $\Delta E$ -Q3D实验方法,实现对 $^{53}\text{Mn}$ 的高灵敏测量。

### 3.1 $\Delta E$ -Q3D探测方法

$\Delta E$ -Q3D探测方法是中国原子能科学研究所的AMS实验室根据多年工作经验发展建立的一种新型粒子探测方法<sup>[14]</sup>,此方法专门针对普通电离室无法测量(鉴别)的一些中重核素(如: $^{53}\text{Mn}$ 和 $^{53}\text{Cr}$ , $^{60}\text{Fe}$ 和 $^{60}\text{Ni}$ 等)。基本原理是,当两种同量异位素离子通过大型Q3D磁谱仪时,其能量差与能量离散之比越大,分辨效果就越好。如果采用均匀性较好的薄膜作为Q3D磁谱仪的粒子入射窗,根据粒子能量选择合适的入射窗厚度,使具有相同动量的同量异位素粒子通过薄膜后,产生能量上的微小差异,然后再由具有大立体接受角、大色散特性的Q3D磁谱仪对粒子进行径迹分离。由于粒子通过膜后没有气体阻止,所以此方法相对于慕尼黑工业大学和澳大利亚国立大学基于GFM建立的 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量方法,具有明显的优势:(1)减少了粒子的能量损失,即粒子通过膜后能量几乎没有损失地进入探测器,增加了探测器对粒子的鉴别能力;(2)减小了束斑扩散,由于粒子通过膜后完全在真空中传输,所以束斑扩散度远小于GFM系统,可以把绝大多数同量异位素 $^{53}\text{Cr}$ 排除在探测器之外;(3)提高了粒子的传输效率,由于粒子在进入探测器之前仅穿过了一层薄膜,所以 $^{53}\text{Mn}$ 几乎没有损失,而为排除同量异位素 $^{53}\text{Cr}$ 干扰损失的 $^{53}\text{Mn}$ 只占总数的30%左右(GFM为70%—80%),即大约70%的 $^{53}\text{Mn}$ 可以进入探测器。所以,采用 $\Delta E$ -Q3D探测方法测量 $^{53}\text{Mn}$ ,其测量结果将会好于目前的GFM方法。

### 3.2 $^{53}\text{Mn}$ -AMS测量

(1) 用于AMS测量的样品形式

R. Middleton 在 Negative-ion Cookbook 一书中指出: 采用 Mn 金属做靶、离子源喷氢的办法, 可以很容易引出  $2 \mu\text{A}$  的  $^{55}\text{MnH}^-$ , 而对于 Cr 来说, 并没有发现任何一种  $\text{CrH}^-$  的束流<sup>[15]</sup>。基于此, 本研究准备首先立足于  $\text{MnF}_2$  样品形式的基础上, 进一步研究探索离子源引出 Mn 氢化物的实验方法, 从而更有效地抑制<sup>53</sup>Cr 的干扰。根据 Negative-ion Cookbook 所描述的实验结果, 如果采用氢化物形式, 从离子源引出上就可以把<sup>53</sup>Cr 的干扰压低至少一个数量级。

### (2) 本底排除

<sup>53</sup>Mn-AMS 测量的干扰本底主要是其同位素 <sup>55</sup>Mn(天然丰度 100%) 和同量异位素<sup>53</sup>Cr。对于同位素本底<sup>55</sup>Mn, 绝大部分在进入加速器之前就已经被低能注入系统排除, 再经过高能分析系统后, 基本上被完全排除, 对测量不会造成干扰。而对于同量异位素本底<sup>53</sup>Cr, 实验准备利用近年来新研制的一种均匀性极佳的氮化硅(SiN)薄膜, 作为  $\Delta E$ -Q3D 的粒子入射窗, 选用合适的入射窗厚度, 使具有相同动量的<sup>53</sup>Mn 和<sup>53</sup>Cr 离子产生能量上的微小差异, 再经由 Q3D 磁谱仪进行粒子径迹分离。经理论计算分析: 当加速器端电压选择 13 MV、剥离电荷态选择  $11^+$ ,  $\Delta E$ -Q3D 探测系统选用  $4 \mu\text{m}$  厚的 SiN 膜作为入射窗时(可以几重膜组合), 根据能量损失的不同, 利用 Q3D 高动量分辨能力的特点, <sup>53</sup>Mn 和<sup>53</sup>Cr 通过 Q3D 磁谱仪后在焦平面处几乎可以完全分开, 将<sup>53</sup>Cr 本底压低  $\sim 10^6$  倍。

### (3) <sup>53</sup>Mn 测量

使用 Q3D 对<sup>53</sup>Mn 和<sup>53</sup>Cr 离子径迹分离后, 利用性能优良的位置灵敏探测器对粒子束斑进行精确定位, 采用分辨能力强的多阳极电离室对<sup>53</sup>Mn 和微量散射进入探测器的<sup>53</sup>Cr 进行测量与鉴别。根据理论计算分析, 当粒子能量  $\sim 150 \text{ MeV}$  时, 电离室对<sup>53</sup>Cr 的压低因子可以达到  $\sim 10^3$ , 如果化学方法和 Q3D 磁谱仪对<sup>53</sup>Cr 的压低因子分别为  $\sim 10^6$ , 那么  $\Delta E$ -Q3D 探测系统对<sup>53</sup>Mn 的测量灵敏度可以达到  $10^{-15}$ 。

## 3.3 目前的研究结果

为了验证  $\Delta E$ -Q3D 探测方法, 本实验室利用  $\Delta E$ -Q3D 探测系统对<sup>36</sup>Cl 与<sup>36</sup>S(图 1)和<sup>32</sup>Si 与<sup>32</sup>S 成功进行了鉴别与测量。实验结果表明, 此探测系统

对同量异位素的排除与鉴别能力明显好于同等条件下的多阳极电离室。

另外, 针对 AMS 测量<sup>53</sup>Mn 的样品引出形式也进行了初步的调查研究, 实验把 Mn 和 Cr 粉末分别与  $\text{TiH}_2$  混合作为靶样, 通过离子源引出氢化物的方法进行了初步的探索。结果显示, 加速器低能端法拉第筒测得的  $\text{MnH}^-$  束流是  $\text{CrH}^-$  的 20 多倍。由此可以初步推断, 对于<sup>53</sup>Mn 的 AMS 测量, 如果实验采用氢化物的形式, 从离子源引出上可以把<sup>53</sup>Cr 的干扰压低一个数量级以上。

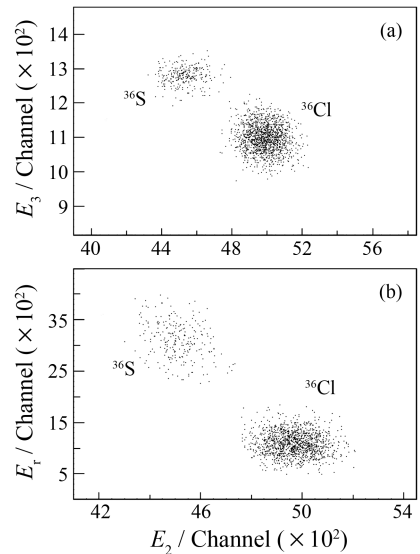


图 1  $\Delta E$ -Q3D 系统对<sup>36</sup>Cl 标准样品测量的二维谱 (a)  $E_2$  &  $E_3$ , (b)  $E_2$  &  $E_1$  (<sup>36</sup>Cl/<sup>36</sup>S =  $4 \times 10^{-11}$ )。

## 4 结束语

宇宙成因核素<sup>53</sup>Mn 的高灵敏 AMS 测量方法为其在地球科学中的应用研究奠定了坚实的实验基础。中国原子能科学研究院的<sup>53</sup>Mn 研究处于刚刚起步阶段, 但是, 由于采用了  $\Delta E$ -Q3D 探测系统, 可以有效排除同量异位素<sup>53</sup>Cr 的干扰, 提高粒子的传输与探测效率, 所以, 预期的实验结果将好于目前的 GFM 方法。本方法的建立不仅能为<sup>53</sup>Mn 在地球科学中的应用提供新的、有效的研究途径, 也将为  $A=60$  左右核素的高灵敏探测提供一种新的测量手段。

## 参考文献 (References):

[1] Heisinger B, Niedermayer M, Hartmann F J, et al. Nucl In-

- str and Meth, 1997, **B123**: 341.
- [2] Wu Haiguang, Zhou Huaiyang, Chen Hanlin. Geological Journal of China Universities, 2001, **7**(4): 379(in Chinese). (武光海, 周怀阳, 陈汉林, 高校地质学报, 2001, **7**(4): 379.)
- [3] Fu Yazhou, Peng Jiantang, Hu Ruizhong, *et al.* Earth and Environment, 2006, **34**(3): 1(in Chinese). (符亚洲, 彭建堂, 胡瑞忠, 等. 地球与环境, 2006, **34**(3): 1.)
- [4] Love S G, Brownlee D E. Science, 1993, **262**: 550.
- [5] Knie K, Korschinek G, Faestermann T, *et al.* Phys Rev Lett, 1999, **83**: 18.
- [6] Massarik J, Beer J. J Geophys Res, 1999, **D104**: 12099.
- [7] Knie K, Faestermann T, Korschinek G, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2000, **B172**: 717.
- [8] Poutivtsev M, Dillmann I, Faestermann T, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2010, **B268**: 756.
- [9] Gladkiss L G, Fifield L K, Morton C R, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2007, **B259**: 236.
- [10] Fifield L K, Tims S G, Fujioka T, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2010, **B268**: 858.
- [11] Schaefer J M, Faestermann T, Herzog G F, *et al.* Earth Planet Sci Lett, 2006, **251**: 334.
- [12] Heisinger B, Nolte E. Nucl Instr and Meth, 2000, **B172**: 790.
- [13] Fujioka T, Fifield L K, Stone J O, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2010, **B268**: 1209.
- [14] Li Chaoli, Guan Yongjing, Jiang Shan, *et al.* Nucl Instr and Meth, 2010, **B268**: 876.
- [15] Middleton R. A Negative-ion Cookbook. Department of Physics, University of Pennsylvania Philadelphia, October 1989. 19104.

## Accelerator Mass Spectrometry Measurement of $^{53}\text{Mn}$ and Its Applications in Earth Sciences<sup>\*</sup>

DONG Ke-jun<sup>1</sup>, CHEN Zhi-gang<sup>2</sup>, HE Ming<sup>1</sup>, LIU Guang-shan<sup>2</sup>, LI Chao-li<sup>1</sup>, YOU Qu-bo<sup>1</sup>, LIU Jian-cheng<sup>1</sup>, WU Shao-yong<sup>1</sup>, WANG Xiang-gao<sup>1</sup>, SHEN Hong-tao<sup>1</sup>, LI Zhen-yu<sup>1</sup>, LI Shi-zhuo<sup>1</sup>, GONG Jie<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1,3</sup>, HE Guo-zhu<sup>1</sup>, HE Xian-wen<sup>1,3</sup>, JIN Chun-sheng<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, YUAN Jian<sup>1</sup>, JIANG Shan<sup>1, #</sup>

(1 *China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China*;

2 *College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China*;

3 *College of Physics Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530004, China*)

**Abstract:** The determination of cosmogenic  $^{53}\text{Mn}$  concentrations found in terrestrial formations has many interesting applications for Earth Sciences. With Accelerator Mass Spectrometry (AMS) it should be possible to detect minute amounts of  $^{53}\text{Mn}$ . The situation of international research of  $^{53}\text{Mn}$  AMS measurement and applications are presented. The AMS measurement method of  $^{53}\text{Mn}$  at China Institute of Atomic Energy and its applications prospect are to be explored.

**Key words:** accelerator mass spectrometry; earth science;  $^{53}\text{Mn}$ ; application

\* **Received date:** 28 May 2010; **Revised date:** 28 Jun. 2010

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(11075221); National Natural Science Foundation of China for Young Scholar (10705054)

# **Corresponding author:** Jiang Shan, E-mail: jiangs@ciae.ac.cn