

## 普定喀斯特水 - 碳通量大型模拟试验场不同土地利用覆被地下水 - 地表水系统双碳同位素 ( $\delta^{13}\text{C}$ - $\Delta^{14}\text{C}$ ) 特征

赵敏<sup>1,2</sup>, 陈波<sup>1,2</sup>, 刘再华<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550081; 2. 普定喀斯特生态系统观测研究站, 普定 562100

DOI:10.7515/JEE183001

**摘要:** 河流输送到海洋的溶解无机碳 (DIC) 和有机碳 (OC) 受自然和人为双重因素的影响。了解 DIC 和 OC 的年龄、来源和转化问题, 有助于掌握全球碳收支和提高现在以及未来自然和人类对河流碳循环影响的估算精度。选取普定喀斯特水 - 碳通量大型模拟试验场作为研究区, 利用双碳同位素 ( $^{14}\text{C}$ - $^{13}\text{C}$ ) 方法, 结合水生植物生长和传统水化学特征, 揭示了 DIC 和 POC 的来源及其控制机制。研究发现: (1) 不同土地利用下 DIC 和 POC 的  $\Delta^{14}\text{C}$  均偏负; (2) 不同土地利用下泉 (地下水) - 池 (地表水) 系统 DIC 和 POC 的  $\Delta^{14}\text{C}$  具有相同变化趋势, 泉水偏轻, 池水偏重; 水化学及同位素组成变化受不同土地利用覆盖和水生植物影响; (3) POC 的  $\delta^{13}\text{C}$  值与其年龄表现为负相关关系。这些特征主要反映出水生植物光合利用碳酸岩风化产生的老碳 (DIC) 形成内源有机“老”碳的影响, 而非来自深层土壤或岩石侵蚀产生的偏老 POC。通过双碳同位素变化特征表明在富含碳酸岩的河流系统中具有偏负的  $\Delta^{14}\text{C}$  特征值的有机碳主要来自河流初级生产力产生的内源有机碳 (AOC, 表观偏“老”, 实际是新近形成的有机质), 在评估岩石风化碳汇时需要同时考虑河流 DIC 和 AOC 的浓度, 否则将低估岩石风化碳汇对全球碳循环的影响。此外, 在碳酸岩地区利用沉积物定年时要考虑老碳的影响。

**关键词:** DIC; POC; 双碳同位素 ( $\delta^{13}\text{C}$ - $\Delta^{14}\text{C}$ ) 碳来源; 水生光合; 不同土地利用覆被; 普定喀斯特水 - 碳通量大型模拟试验场

通信作者: 赵敏, zhaomin@mail.gyig.ac.cn

## 巴彦淖尔湖 14 ka 以来湖泊沉积物的 $^{14}\text{C}$ 年代学模型建立

明国栋<sup>1,2,3</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 程鹏<sup>1,2</sup>, 舒培仙<sup>1,3</sup>, 付云狮<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

DOI:10.7515/JEE183002

**摘要:** 为研究东亚夏季风 (EASM) 过去的变化模式、受控因素及其对区域生态演化的影响, 解决中国北方不同湖泊全新世最适宜期起止时间不一致的争议, 选取在季风边界区, 浑善达克沙地中央巴彦淖尔湖取得湖泊沉积物岩芯 5.24 m (BN2016)。共测试 AMS- $^{14}\text{C}$  全有机质样品 22 个, 基于周卫健等人提出的“平均值概念法”, 建立了巴彦淖尔湖 14 ka 以来沉积物的可靠年代学模型, 结果显示巴彦淖尔湖沉积物对 14 ka 以来主要气候事件记录 (B/A, YD, 10.3, 9.2, 8.2, 6.5, 4.2, 3.3, 2.8, MWP 和 LIA) 在百年尺度上有较好的对应, 显示巴彦淖尔湖沉积物对气候记录灵敏的响应及年代模型的可靠性。进而, 基于可靠年代控制, 利用多种古环境代用指标 (TOC、粒度及元素地球化学指标等) 反演了研究区 14 ka 以来区域季风、沙地及湖泊变迁历史。

**关键词:** 季风边界区; 湖泊沉积物; AMS- $^{14}\text{C}$  年代; “平均值概念法”古环境重建

通信作者: 明国栋, minggd@ieccas.cn

## 泥炭样品中不同物质的测年方法研究

赵海燕<sup>1,2,3</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 程鹏<sup>1,2</sup>, 杜花<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

DOI:10.7515/JEE183003

**摘要:** 泥炭是重建古气候古环境的重要载体之一, 具有沉积速率快, 分辨率高等特点, 然而研究古气候变化的同时, 正确年代框架的建立尤为重要。本文选取的是中亚干旱区新疆阿勒泰地区哈拉萨孜泥炭地钻孔 (ALT02), 长 688 cm, 研究中挑选了 7 个层位的 14 个样品进行  $^{14}\text{C}$  测年, 分别选取湿筛后全样有机质 (Total organic matters), 植物叶片 (Leaves) 或种子 (Seeds) 来获取测年结果。通过对比结果发现: 同层位全样有机质  $^{14}\text{C}$  年代与植物叶片或种子的  $^{14}\text{C}$  年代相比, 一致地偏年轻, 镜下分析认为可能与全样中混入了年轻根系有关; 此外发现, 由于不同层位沉积速率的不同, 种子或叶片与全样的年代差有较大差异, 且两者之间有相关趋势。

**关键词:** 泥炭;  $^{14}\text{C}$  测年; 叶片; 种子; 有机质

通信作者: 赵海燕, zhaohy@ieecas.cn

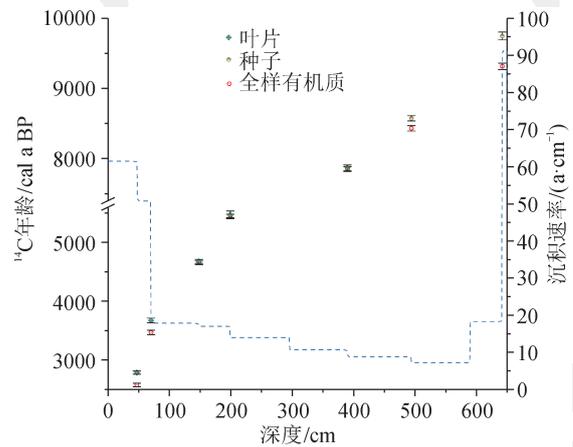


图1 图中为同一深度不同测年物质(叶片、种子和有机质)对比结果以及沉积速率变化曲线

## 中国多个湖泊溶解无机碳 (DIC) $^{14}\text{C}$ 特征

刘泰北<sup>1,2</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 程鹏<sup>1,2</sup>, G S Burr<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183004

**摘要:** 给出了位于中国不同区域的十一个湖泊表层湖水的溶解无机碳 (DIC) 的  $^{14}\text{C}$  测试结果。不同湖泊表层湖水 DIC 的  $F^{14}\text{C}$  值具有显著差异, 并且其特征与湖泊的水文特征具有相关性 (内流湖 / 外流湖)。外流湖相对内流湖, 表层湖水 DIC 的  $F^{14}\text{C}$  值较低。通过一个简单的水文循环模型, 计算了各个湖泊的湖水平均驻留时间。湖水平均驻留时间与表层湖水 DIC 的  $F^{14}\text{C}$  之间的比较显示, 表层湖水 DIC 的  $F^{14}\text{C}$  值随着湖水的平均驻留时间的增加而增加, 最后达到相对稳定。

**关键词:** 湖水平均驻留时间; 溶解无机碳;  $^{14}\text{C}$

通信作者: 刘泰北, liutb@ieecas.cn

## 黄土 $^{14}\text{C}$ 年代学和湖泊老碳研究

程鹏<sup>1,2</sup>, 杜花<sup>1,2</sup>, 卢雪峰<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183005

**摘要:** 黄土有机质的  $^{14}\text{C}$  年代的可靠性一直备受争议, 本研究通过对两个不同地点黄土古土壤剖面分别采用高温 (HT)、低温 (LT) 提取有机碳测年发现, 在 3 万年以内高温组分能获得较为合理的  $^{14}\text{C}$  年代, 在排除长时间存放和前处理污染等可能引起年轻碳的因素后,  $^{14}\text{C}$  测年结果偏年轻的原因估计是由于黄土古土壤沉积后不断受到上层淋滤的污染。对于较年轻层位的样品, 传统的 ABA (酸处理—碱处理—酸处理) 前处理方法不能将年轻碳彻底除尽; 对于较老层位的样品, 受控于黄土古土壤自身的性质, HT 也难获得较为合理的年代结果。上层淋滤的污染除了会对  $^{14}\text{C}$  测年结果产生影响外, 还会对  $\delta^{13}\text{C}$  信号也产生影响, 而分离出低温年轻碳之后,  $\delta^{13}\text{C}$  则能更好地对区域内气候变化进行敏感响应。由于老碳效应, 湖泊沉积物老碳校正是放射性碳年代学中一个十分棘手的难题。另一方面湖泊外源性老碳输入也为开展利用  $^{14}\text{C}$  年代示踪过去重要环境事件提供了良好素材, 考虑沉积物岩性变化, 实现对不同深度的  $^{14}\text{C}$  年代

数据的老碳校正,为过去环境变化重建提供了可靠年代框架。

关键词:黄土; $^{14}\text{C}$ ;湖泊;老碳效应

通信作者:程 鹏, chp@ieecas.cn

## 基于 $\text{CO}_2$ 浓度、 $\Delta^{14}\text{C}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 观测的西安市大气 $\text{CO}_2$ 来源排放特征研究

王 鹏<sup>1,2,3</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 牛振川<sup>1,2</sup>, 程 鹏<sup>1,2</sup>, 吴书刚<sup>1,2</sup>, 熊晓虎<sup>1,2</sup>, 卢雪峰<sup>1,2</sup>, 杜 花<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100102

DOI:10.7515/JEE183006

**摘 要:**来自城市的人为化石燃料  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_{2\text{ff}}$ ) 排放被认为是目前全球大气  $\text{CO}_2$  浓度升高的主要原因。在控制碳排放量和发展低碳经济已成为全球共识的背景下,对城市  $\text{CO}_{2\text{ff}}$  排放特征的研究将为制定科学的碳减排政策以及准确地评估碳减排效果提供关键科学依据。该研究选取西安市开展了城市大气  $\text{CO}_2$  的连续观测研究,利用放射性碳同位素  $^{14}\text{C}$  示踪方法揭示大气  $\text{CO}_{2\text{ff}}$  浓度的时间和空间变化特征,并结合稳定碳同位素  $^{13}\text{C}$  的观测数据对城市大气  $\text{CO}_{2\text{ff}}$  中不同化石燃料的排放贡献做了初步的定性分析。结果显示:从时间变化规律来看,大气  $\text{CO}_2$  浓度表现出冬季高夏季低的季节变化规律,冬季波动较明显,季节振幅达到 90.2 ppm (以 ppm 表示  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ ),而在同一季节大气  $\text{CO}_2$  浓度也会出现大幅度的波动。从区域分布特征来看,在冬季 I 和冬季 II 观测期内,城区大气  $\text{CO}_2$  浓度显著 ( $p < 0.05$ ) 高于郊区,平均  $\text{CO}_2$  浓度相差约 10—20 ppm,西安市大气  $\text{CO}_2$  空间分布表现出明显的“dome”效应。基于  $^{14}\text{C}$  示踪结果表明,大气  $\text{CO}_2$  浓度的季节变化由  $\text{CO}_{2\text{ff}}$  和  $\text{CO}_{2\text{bio}}$  的季节变化共同控制; $\text{CO}_{2\text{ff}}$  是西安市大气  $\text{CO}_2$  浓度增加的主要来源,但城市生态系统在大气  $\text{CO}_2$  循环中同样扮演着非常重要的作用;而化石源排放强度变化并不是  $\text{CO}_2$  浓度在同一季节产生较大幅度波动的主要因素,可能受气象因子以及传输等控制。基于 Miller-Tans 方法对源的  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\delta_s$ ) 分析表明:西安市大气  $\text{CO}_2$  源汇表现出明显的季节变化特征,秋季和冬季的  $\delta_s$  分别为  $-26.10\%$  和  $-25.60\%$ ,和中国燃煤的  $\delta^{13}\text{C}$  (平均约为  $-23.5\%$ ) 较为接近,说明在秋冬季节燃煤的贡献较大。在夏季,  $\delta_s$  则比春节明显偏正,说明在夏季植物的光合作用和呼吸作用在大气  $\text{CO}_2$  循环中占主导地位。

关键词:大气  $\text{CO}_2$ ; 碳同位素; 源和汇

通信作者:王 鹏, wangpeng@ieecas.cn

## 湖泊水体有机碳来源与迁移转化过程的 $\Delta^{14}\text{C}$ - $\delta^{13}\text{C}$ 示踪

杨海全<sup>1</sup>, 陈敬安<sup>1</sup>, 程 鹏<sup>2,3</sup>, 郭建阳<sup>1</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081; 2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 3. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183007

**摘 要:**湖泊碳循环是全球碳循环的重要组成部分。 $\Delta^{14}\text{C}$ - $\delta^{13}\text{C}$  联合示踪是研究湖泊水体颗粒有机碳 (POC) 和溶解有机碳 (DOC) 来源的有效手段。湖泊有机碳来源与迁移转化过程研究为湖泊内源负荷调控和富营养化防治提供科学依据。以抚仙湖和滇池为研究对象,研究建立了系统的湖泊有机碳研究样品采集、前处理与分析测试方法,并确定湖泊水体颗粒有机碳 (POC) 和溶解有机碳 (DOC) 各来源端元的  $\Delta^{14}\text{C}$ - $\delta^{13}\text{C}$  特征值。在此基础上利用多端元同位素混合模型定量计算得到抚仙湖藻类、沉积物再悬浮、陆源输入对水体 POC 的平均贡献率分别为 61%、17% 和 22%;滇池藻类、沉积物再悬浮和陆源输入对水体 POC 的平均贡献率分别为 66%、14% 和 19%;滇池水体 DOC 各主要来源平均贡献率藻类为 30%,沉积物源为 22%,陆源输入为 28%,而废水源达 20%。藻类、沉积物再悬浮及陆源输入在不同季节对不同采样点对湖泊水体有机碳来源与迁移转化影响主要受到人类活动、有机碳组成、

光合作用、湖泊水文变化、沉积物再悬浮、有机物的呼吸和降解作用共同影响，同时也间接地受到环境因素（光照、温度、DO、风速、浊度等）的影响。沉积物再悬浮作用显著地影响湖泊水生态。氮、磷等营养元素，重金属和有机污染物通过沉积物再悬浮与孔隙水释放过程到达上覆水体，增加了藻华发生风险，造成水质恶化。封闭性较强的湖泊具有较长的换水周期，沉积物被污染后，很难修复到清水状态。

**关键词：**有机碳；来源示踪；迁移转化；放射性碳同位素；湖泊

通信作者：杨海全，yanghaiquan@vip.skleg.cn

## 前处理方法对植物叶片 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响

熊晓虎<sup>1,2</sup>，周卫健<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061；2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室，西安加速器质谱中心，西安 710061

DOI:10.7515/JEE183008

**摘要：**由于植物样品易于在大范围内采集，而且便于运输、储存和  $^{14}\text{C}$  制样，因而植物  $\Delta^{14}\text{C}$  常被用于反映一段时间内大气  $^{14}\text{CO}_2$  的平均状况。为了避免植物上可能粘附的物质（如灰尘）对样品  $\Delta^{14}\text{C}$  测定结果产生影响，通常需要对植物样品进行前处理，然而在过去的研究中多种不同的前处理方法均被采用，是否会对结果产生影响？进而导致不同研究结果不具有可比性。针对此问题，使用狗尾草样品开展了四种已报道的前处理方法的对比研究。将同一株狗尾草上相邻的两片叶子分成 10 份（图 1 所示），4 份不进行任何前处理，2 份采用去离子水清洗、2 份进行酸处理、2 份使用酸—碱—酸处理。经前处理的样品于  $60^\circ\text{C}$  烘干后进行  $^{14}\text{C}$  制样及 AMS- $^{14}\text{C}$  测定。所有实验均在西安加速器质谱中心完成。结果表明（图 2）处于叶片对称位置的样品尽管使用了不同的前处理方法，但测试结果在  $1\sigma$  误差范围是一致的，说明不同的前处理方法对测试结果影响较小。因此建议用于  $\Delta^{14}\text{C}$  分析的现代植物样品无需使用酸—碱—酸等繁琐的前处理方法。

**关键词：** $\Delta^{14}\text{C}$ ；前处理方法；植物

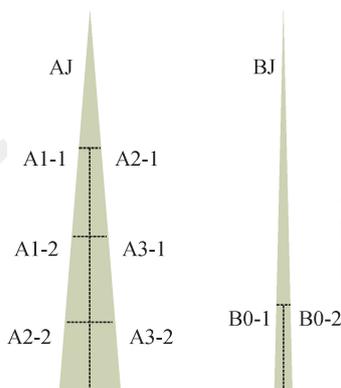
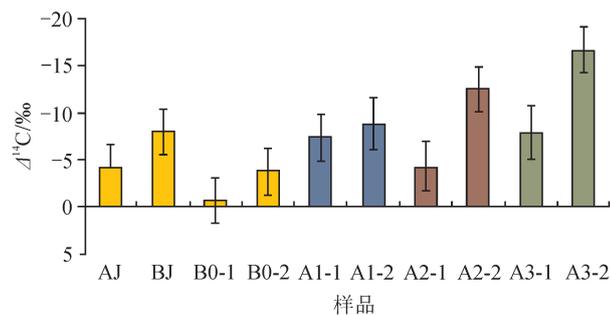


图 1 叶片分样示意图



黄色代表未经任何前处理，蓝色代表去离子水超声清洗，红色代表酸处理，绿色代表酸—碱—酸处理。误差线代表  $1\sigma$  的标准偏差。

图 2 不同前处理方法样品的  $\Delta^{14}\text{C}$  的比较

通信作者：熊晓虎，xiongxm@ieecas.cn

## $^{14}\text{C}$ -AMS 测年前处理中两种燃烧方式的区别

杜 花<sup>1,2</sup>，程 鹏<sup>1,2</sup>，熊晓虎<sup>1,2</sup>，付云翀<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061；2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室，西安加速器质谱中心，西安 710061

DOI:10.7515/JEE183009

**摘要:** 随着对各种物质高精度可靠的放射性碳年代测定要求的不断提高,通过大量条件实验的基础信息获取系统完善的测定实验方案,以获得高精度的年代并高效率地完成,这是每一位测年研究者工作中需面对的挑战。通过将一年的OX II新草酸标准测年数据进行统计,发现不同石墨靶样的PMC结果偏差较大,于是尝试改变燃烧方法,并用几组不同的测年物质做对比。结果发现,封管法(简称SEM法)获得的石墨靶样的结果比阀门法(VTF法)有更好的均一性和一致性(图1),针对几种不同测年物质(碳屑、木头、沉积物、孢粉提取物及木炭五组样品)进行对比实验,表明VTF和SEM两种不同燃烧方式所得结果是一致统一的,没有明显的差异,分别从燃烧效率、合成率及 $F_m$ 值进行对比分析,两种方法均很一致(图2)。

**关键词:** 封管法; 阀门法;  $^{14}\text{C}$  测年; OX II 草酸标准

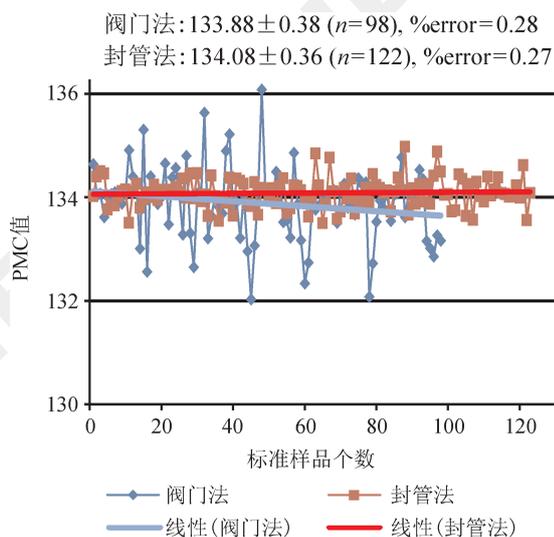


图1 标准样品(OX II)两种燃烧方法的PMC值对比

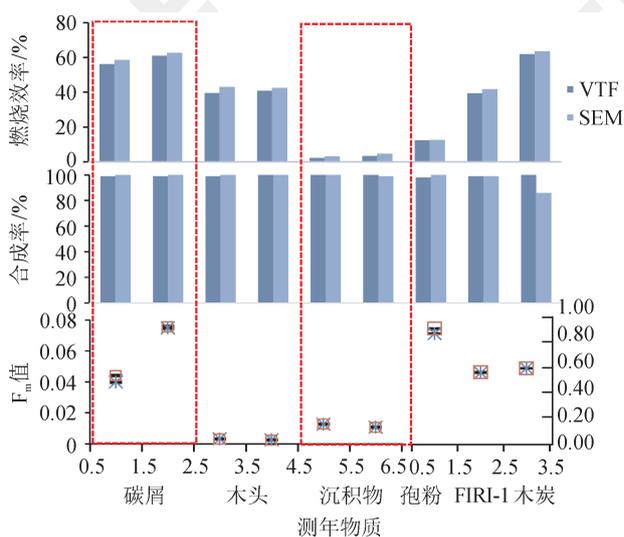


图2 不同测年物质的两种燃烧方式的参值对比

通信作者: 杜 花, duhua@ieecas.cn

## 宇生核素暴露测年在冰川地貌应用中的思考

张志刚<sup>1</sup>, 王 建<sup>1,2</sup>, 张梦媛<sup>1</sup>, 梅 静<sup>1</sup>

1. 南京师范大学, 南京 210023; 2. 江苏第二师范学院, 南京 210023

DOI:10.7515/JEE183010

**摘要:** 陆生原地生成宇宙成因核素(简称宇生核素) $^{10}\text{Be}$ 和 $^{26}\text{Al}$ 暴露测年技术是目前冰川地貌(年代测定和侵蚀速率估算)最为常用的测年方法之一,为重建第四纪古冰川地貌演化提供了重要的年代依据。然而,通过文献搜集以及稻城古冰帽区暴露测年结果总结,发现宇生核素暴露测年在冰川地貌应用过程中存在着一些问题,主要包括:继承性核素的影响、冰碛垄表面漂砾组年代数据分散、测年结果“偏年轻”(对于较老的冰碛垄)、冰川漂砾可能在暴露后期存在多次翻转以及利用该技术估算地貌面的最大侵蚀速率。这些“问题”的关注和研究对冰川地貌宇生核素暴露测年的进一步应用(更精确、更准确)有重要的意义。是否可以通过“现代冰碛物中宇生核素浓度测试”、冰碛垄表面碎屑物质(小砾石、砂砾混合物等)年代测试、基于砾石内部(剖面)样品的宇生核素浓度测试等方面进行研究以促进宇生核素暴露测年技术在冰川地貌中的应用。

**关键词:** 冰川地貌; 宇生核素;  $^{10}\text{Be}$ 和 $^{26}\text{Al}$ ; 暴露测年

通信作者: 张志刚, zhangzhigang840620@126.com

## 秦岭（我国中部）洛南盆地刘湾旧石器遗址点的埋藏年代研究

王可欣<sup>1</sup>，孙雪峰<sup>1</sup>，涂华<sup>2</sup>，徐行华<sup>1</sup>

1. 南京大学地理与海洋科学学院，南京 210023；2. 中国地质大学地球科学学院，武汉 430074

DOI:10.7515/JEE183011

**摘要：**洛南盆地是研究我国中部地区更新世中期人类居住和定居的重要区域，在这里发现了超过 300 个非典型黄土覆盖的旧石器遗址点。其中刘湾遗址是少数具有系统挖掘和充分研究的遗址之一。通过与我国中部黄土高原黄土-古土壤序列的年代标尺进行对照，在刘湾遗址 S5SS3 古土壤单元内发现的石制品层位的估计年龄  $\sim 0.6\text{Ma}$ ，这是该地区内已知年代结果中的最老年龄之一。研究试图使用较新的放射性同位素测年方法—— $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  埋藏定年法测定石器层 1 的绝对年龄。由于上覆非典型黄土的沉积速度相对较慢，且厚度不足，三个样品分析得到的年代结果是石器层的最小年龄。因此，刘湾 3 号地点的石器层 1 的年龄很可能老于  $(0.60 \pm 0.12)\text{Ma}$  ( $1\sigma$ )，埋葬年龄证实了先前地层对照的估计年龄，并且将年龄约束在相对准确的范围内。因此，使用  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  埋藏定年法对秦岭山脉周围具有较浅黄土覆盖的旧石器遗址点进行绝对测年的成效显著。

**关键词：**洛南盆地；非典型黄土；旧石器；更新世中期；宇生核素

通信作者：孙雪峰，xuefeng@nju.edu.cn

## 云南腾冲花岗岩风化壳剥蚀速率研究

崔丽峰<sup>1</sup>，刘丛强<sup>1</sup>，徐胜<sup>2</sup>，赵志琦<sup>1</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所，贵阳 550081；2. 天津大学表层地球系统科学研究院，天津 300072

DOI:10.7515/JEE183012

**摘要：**宇宙成因核素  $^{10}\text{Be}$  可以直接定量研究  $10^5$  a 范围内地表的平均剥蚀速率。在风化壳剖面上， $^{10}\text{Be}$  生成率随深度呈指数衰减，其浓度是暴露时间和剥蚀速率的函数。在稳定侵蚀状态，核素  $^{10}\text{Be}$  浓度保持相对稳定，只受剥蚀速率影响。利用  $^{10}\text{Be}$  深度剖面法对云南腾冲花岗岩风化壳的长期剥蚀速率进行了初步研究。腾冲地区位于喜马拉雅造山带东构造结的东南弧形构造带内。采样剖面发育在古永岩体上 ( $62.9 \pm 1.9$ ) Ma)，海拔 1538 m，剖面下伏基岩为黑云母花岗岩。腾冲地区属于亚热带季风气候，年降雨量 1531 mm，年均温度  $14.8^\circ\text{C}$ ，年均湿度 77%。经测试，样品中  $^{10}\text{Be}$  浓度范围为  $3.4 \times 10^4$ — $34.1 \times 10^4$  atoms·g<sup>-1</sup>。经过卡方最优拟合，该花岗岩风化壳的剥蚀速率为  $(17 \pm 3)$  m·Ma<sup>-1</sup>，暴露年龄约为 0.3 Ma。

**关键词：**核素；风化壳；关键带；侵蚀

通信作者：崔丽峰，clfbest@126.com

## $^{10}\text{Be}$ 加速器质谱靶物质的制备及 $^9\text{Be}$ 载体的选择

张小龙<sup>1</sup>，徐胜<sup>1</sup>，赵志琦<sup>2</sup>，崔丽峰<sup>2</sup>

1. 天津大学表层地球系统科学研究院，天津 300072；2. 中国科学院地球化学研究所，贵阳 550081

DOI:10.7515/JEE183013

**摘要：**制备加速器靶物质 BeO 时，选择  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  比值较低的  $^9\text{Be}$  标准溶液，有利于实现小样品量或低  $^{10}\text{Be}$  含量地质环境样品的准确测定。分别选取钢研纳克检测技术股份有限公司 (NCS) 和国家有色金属及电子材料分析测试中心 (NI) 研制的  $^9\text{Be}$  标准溶液制备 BeO 靶样，并在苏格兰大学环境研究中心加速器质谱实验室测量样品  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  比值。其中，实验室化学空白样品采用 Scharlau 公司研制的  $^9\text{Be}$  标准溶液作为载体，制备了两个 BeO 样品，其  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  比值平均值为  $3.75 \times 10^{-15}$ ，与国内已有宇宙成因放射性核素实验室的测量结果 ( $5 \times 10^{-15}$ ) 具有可比性；由 NCS 研制的  $^9\text{Be}$  标准溶液制备的两个 BeO 样品，其  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$

比值平均值为  $8.70 \times 10^{-15}$ ；由 NI 研制的  $^9\text{Be}$  标准溶液制备的 1 个  $\text{BeO}$  样品，其  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  比值为  $9.30 \times 10^{-15}$ 。结果表明，由钢研纳克检测技术股份有限公司和国家有色金属及电子材料分析测试中心研制的  $^9\text{Be}$  标准溶液均可用作制备地表样品加速器质谱靶物质  $\text{BeO}$  的载体。

**关键词：**原地宇宙成因放射性核素； $^{10}\text{Be}$ ；加速器质谱；样品制备

通信作者：张小龙，2016231020@tju.edu.cn

## 长江上游河流沉积物宇生核素年代学及地貌演化意义

刘 彧<sup>1,2</sup>，王世杰<sup>1,2</sup>，徐 胜<sup>3</sup>，Derek Fabel<sup>3</sup>，Ángel Rodés<sup>3</sup>，张信宝<sup>4</sup>

1. 中国科学院地球化学研究所，贵阳 550081；2. 中国科学院普定喀斯特生态系统研究站，普定 562100；3. Scottish Universities Environmental Research Centre, East Kilbride, G75 0QF, UK；4. 中国科学院山地灾害与环境研究所，成都 610041

DOI:10.7515/JEE183014

**摘 要：**目前，研究共识认为，现代长江是通过河流袭夺不断从下游连接到上游逐渐形成的。三峡贯通是长江河流演化的关键事件之一，东流的古长江中下游经过三峡袭夺早期西流的川江，对研究长江上游河流演化发育具有极其重要的意义。至今地学界对这次袭夺事件发生的时间争议颇多，从 0.12 Ma 到 45 Ma 都有报道，如此大的时间变化范围制约了长江河流演化的精细研究。

三峡贯通对四川盆地内的河流发育演化必定造成重大影响。河流阶地是河流地貌演化的产物，记录了河流演变过程中的关键信息。因此，对四川盆地内长江及其主要支流阶地进行年代学研究，可以对三峡贯通的时间有所约束。此外，长江在三峡出口，江汉盆地西缘宜昌附近发育了一套超过 150 m 厚的松散砂砾石层（宜昌砾石层），是一个巨大冲积扇，被认为与三峡贯通有直接关系。因此，宜昌砾石层的年代学研究不仅可以约束三峡贯通时间，还可以理清宜昌砾石层的发育与四川盆地内河流演化的关系。

结合前人研究，野外踏勘发现四川盆地内除了重庆（合川）以外，长江干流宜宾 - 重庆河段普遍保存有 3 级阶地，岷江在泥溪保存有 3 级阶地，沱江在内江保存有 4 级阶地，嘉陵江在合川最高保存了 7 级阶地，并且这些阶地均为基座阶地。宜昌砾石层在宜昌猢狲亭附近出露海拔为 75—230 m。本研究对上述河流阶地（宜宾 - 泸州附近长江 3 级阶地，嘉陵江 T2 以外所有 6 级阶地，岷江 3 级阶地，沱江 T4 阶地），以及宜昌砾石层不同高度的砂、砾石，共计 29 份样品进行了宇生核素  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  测年尝试。根据河流沉积物保存情况，分别用单一埋藏测年法、等时线埋藏测年法、深度剖面暴露测年法和单一暴露测年法，计算了沉积物的埋藏年龄（最大年龄）和暴露年龄（最小年龄）。

分析结果显示，四川盆地内长江、岷江、沱江、嘉陵江的最高一级阶地样品埋藏年龄和暴露年龄均较年轻，0.15—0.3 Ma，在误差范围内一致。除了岷江阶地呈现正常年龄序列外，沱江 T4、嘉陵江 T6—T3、长江 T2—T1 均有继承性核素的影响，导致沉积物埋藏年龄偏老（0.33—2.5 Ma）。此外，除底部个别样品外，宜昌砾石层不同海拔高度样品的埋藏年龄也较年轻。三个底部（75 m）砾石样品埋藏年龄分别为 0.18 Ma、0.83 Ma 和 4.87 Ma，差异较大。一个顶部（208 m）剖面砾石埋藏年龄为  $(0.19 \pm 0.09)$  Ma。不同海拔 3 个等时线剖面 17 个单个砾石的埋藏年龄 0.17—3.04 Ma 不等，说明宜昌砾石层是由“新”砾石和“老”砾石混杂堆积起来的。因此，作为定年手段，由于继承性核素影响难以排除，砾石埋藏年龄（包括单一埋藏和等时线埋藏法）可能不适用于宜昌砾石层的年代学研究。

此外，宜昌砾石层不同高程有多个砂样的  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  比值大于地表生成率 6.75（在  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$  vs  $^{10}\text{Be}$  图中位于“禁区”），但是所有砂样的最大年龄均小于 0.34 Ma，说明宜昌砾石层至少在  $\sim 0.3$  Ma 前已开始堆积。四川盆地河流阶地和宜昌砾石层发育时间表明， $\sim 0.3$  Ma 之前三峡贯通，结束了四川盆地高海拔平原面上河流的沉积（0.2—0.3 Ma）。四川盆地内长江干流 0.2 Ma 以来平均下切速率从重庆 - 合川的  $1158 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ ，到泸州的  $807 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ ，再到宜宾的  $633 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ ，呈现出从下游向上游递减的趋势。岷江和沱江的平均下切速率分别为  $342 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$  和  $368 \text{ m} \cdot \text{Ma}^{-1}$ ，两者基本一致。

对长江上游沉积物的宇生核素地质年代学研究，显示出三峡贯通引起的长江及其支流的溯源侵蚀，

强烈切割川中丘陵区的高夷平面,形成不同阶地。三峡于~0.3 Ma之前贯通,可能与中更新世中后期以来的新构造运动和气候变化有关。

**关键词:**  $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ ; 河流沉积物; 四川盆地; 宜昌砾石层; 三峡贯通

通信作者: 刘 彧, liuyu@vip.skleg.cn

## 沂蒙山区的一次晚更新世河流袭夺事件及后续的迅速地貌演化

范念念<sup>1</sup>, 褚忠信<sup>2</sup>, 姜鲁光<sup>3</sup>, Marwan Hassan<sup>4</sup>, Micheal P. Lamb<sup>5</sup>, 刘兴安<sup>1</sup>

1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065; 2. 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada; 5. Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA)

DOI:10.7515/JEE183015

**摘要:** 河流袭夺事件在山区河流侵蚀及地貌演化过程中起重要作用,然而,该事件的发生需要很长的时间尺度,因此相对稀少,且报道的河流袭夺案例也常缺乏十分确凿的证据,其发生时间更是难以较准确确定,这些事实限制了山区河流侵蚀和地貌演化的研究。通过详尽的野外考察,先从小转弯、尼克点等地貌特征推断了山东沂蒙山区柴汶河对沂河的袭夺,进而通过古河床卵石定向排列所指示的古水流方向,确认了河流袭夺的发生。通过定向排列的卵石上层河相沉积物,测年得到发生年代为距今9万年以内。因该次河流袭夺年代较近,袭夺弯和尼克点仍然保留,为河流袭夺以及基岩河床下切侵蚀的研究提供了很好的天然实例。该次河流袭夺使坚硬的花岗岩最大下切27 m,尼克点溯源移动1.4 km,对应的年均下切和移动速率分别达 $0.28 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $1.5 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。研究表明河流袭夺后的基岩侵蚀下切与尼克点的溯源移动密切相关,进而建立了数学模型,揭示了河流袭夺后基岩侵蚀的时间/空间变异性。

**关键词:** 河流袭夺; 晚更新世; 卵石定向排列; 尼克点

通信作者: 范念念, fanniannian@scu.edu.cn

## 稀有气体宇宙成因同位素——地表过程研究中的优势与应用前景

马 严

中国地震局地质研究所, 北京 100029

DOI:10.7515/JEE183016

**摘要:** 与放射性核素相比,稀有气体宇宙成因同位素由于不随时间衰减,不受核素半衰期制约,在长时间尺度、低侵蚀速率区域的地表过程和地貌演化研究中极具优势。以稳定核素 $^{21}\text{Ne}$ 为例,其允许除石英外的诸如橄榄石、辉石、角闪石、黑云母等硅酸盐矿物作为研究对象;样品前处理过程简单,不需要进行色谱分离等复杂的离子纯化过程;同位素含量测试分析仅需0.2—1.0 g纯净矿物即可满足精度要求。上述诸多方面的优点赋予了稀有气体同位素在更为广泛的地表环境和地质体系中应用的可能性。然而,目前稳定宇宙成因核素在年代学领域的应用远不及放射性核素 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{36}\text{Cl}$ 等核素广泛,制约其发展的主要原因总结起来,可能有下列几类:首先,多成因组分的存在降低测定准确性。以 $^{21}\text{Ne}$ 为例,由于大气来源的Ne同位素和核成因 $^{21,22}\text{Ne}$ 的干扰,宇宙成因 $^{21}\text{Ne}$ 需要长于放射性核素 $^{10}\text{Be}$ 大约十倍的暴露时间,才能获得相似的测试精度与准确性,这是制约稳定核素 $^{21}\text{Ne}$ 测年下限的主要原因,如果5 ka为目前宇宙成因 $^{10}\text{Be}$ 暴露测年的下限,那么 $^{21}\text{Ne}$ 的应用范围,将以~50 ka起始,在很大程度上限制了 $^{21}\text{Ne}$ 在晚第四纪的应用。其次,继承性组分的存在。由于稳定核素不随时间衰减,继承性组分被完全保存在矿物中,继承性组分的准确校正是成功应用这一技术的关键。对于河流阶地等沉积物测年,可通过深度剖面法进行校正,然而,对于基岩或巨砾样品,积累于成岩前侵蚀和搬运过程的宇宙成因核素难以准确

校正,在某些应用中是测年误差的主要来源。第三,绝对生成速率的测定。目前由于对 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 生成机理的研究较为成熟,通过理想标定位置的方法,对有独立年龄制约的岩石样品进行核素含量标定,获得生成速率。稳定核素的生成速率则通常采用比值法间接获得,加之对于 $^{21}\text{Ne}$ 而言,极高的大气Ne含量使得宇宙成因 $^{21}\text{Ne}$ 生成速率的测定尤为困难,来自生成速率的不确定性达到10%—20%,远高于 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 等核素。此外,稳定核素 $^3\text{He}$ 虽然具有高生成速率、非宇宙成因组分干扰小的优点,但扩散损失限制了其在石英中的应用。如上所述,阻碍稳定宇宙成因核素应用的原因很多,但是稳定核素在多矿物种类检测、单砾石样品分析、高效低成本测试、激光微区原位分析等方面的应用优势,不应该被忽视;同时,稳定核素与放射性核素的结合使用,是拓宽宇宙成因核素年代学方法应用范围的重要途径,为宇宙成因核素的发展注入新的活力。

**关键词:** 稀有气体同位素;  $^{21}\text{Ne}$ ; 长时间尺度; 问题与优势

通信作者: 马 严, mayan82634@hotmail.com

### 不同侵蚀作用下宇宙成因核素测年研究

张 威, 李亚鹏

辽宁师范大学 城市与环境学院, 大连 116029

DOI:10.7515/JEE183017

**摘 要:** 宇宙成因核素测年理论模型的应用需要建立在大量假设基础之上。理论模型的理想化建立使得其测年结果与实际存在较大偏差。在不改变其他假设的前提下,分析不同侵蚀作用对宇宙成因核素测年理论结果的影响,研究表明:(1)稳定侵蚀状态下:①假定侵蚀速率 $\varepsilon$ 为零,可测得的暴露时间为最小暴露时间,在没有其他影响因素的情况下,其结果最接近真实暴露时间。②假定侵蚀速率为常数或呈函数变化且未使浓度达到平衡状态时,可测得的暴露时间为稳定暴露时间,即为侵蚀达到稳定状态时所需的最小暴露时间。③“平衡状态”是侵蚀稳定的一种特殊情况,当暴露时间足够长,即 $t \gg 1/\lambda + \mu\varepsilon$ 时,核素的生成量与侵蚀和衰变而失去的量相当,此时的核素浓度与生成量之比就代表了达到这个平衡状态所需的最小暴露时间。(2)不稳定侵蚀:用单个宇宙成因核素(如 $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ 等)测定地表岩石暴露时间时,无法同时计算出暴露时间和侵蚀速率。因此,在应用时常使用模型和条件限制,但其可信度有待考证。双核素计算岩石表面暴露时间和侵蚀速率,通过求解双核素二次方程来获得。然而,计算模型的自身缺陷加之两核素半衰期的不确定性以及测试精度的限制等条件,使其在实际运用中不能精确测年。

**关键词:** 宇宙成因核素测年; 核素浓度; 稳定侵蚀; 不稳定侵蚀; 暴露时间

通信作者: 李亚鹏, 1176305553@qq.com

### 中国内蒙古—东北地区陆生植物中 $^{129}\text{I}$ 分析

鲁 彤<sup>1,2</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>, 张路远<sup>1,2</sup>, 陈 宁<sup>1,2</sup>, 范煜坤<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183018

**摘 要:**  $^{129}\text{I}$ 作为核活动的主要产物之一,半衰期为15.7 Ma,其具有独特的时空来源,且易挥发、性质活泼,被广泛用于核环境安全和环境示踪研究等方面。采用植物样品中超痕量 $^{129}\text{I}$ 分析方法对我国内蒙古—东北地区植物样品的 $^{129}\text{I}$ 和 $^{127}\text{I}$ 进行了分析。通过研究植物样品中 $^{129}\text{I}$ 的水平、空间分布和来源,评估不同核活动对该区域环境和生物放射性水平的不同影响。结果表明:研究区域陆生植物的 $^{127}\text{I}$ 浓度为0.14—1.99  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,平均值为0.47  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,几何平均值为0.41  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。与大部分陆生植物 $^{127}\text{I}$ 浓度水平一致。

$^{129}\text{I}$  浓度范围为  $0.59 \times 10^7$ — $16.72 \times 10^7$   $\text{atoms} \cdot \text{g}^{-1}$ , 几何平均值为  $2.89 \times 10^7$   $\text{atoms} \cdot \text{g}^{-1}$ 。 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  原子比值范围为  $2.87 \times 10^{-9}$ — $87.01 \times 10^{-9}$ , 几何平均值为  $1.53 \times 10^{-8}$ 。研究区域  $^{129}\text{I}$  水平高于核前时期海洋和陆地环境 3 个数量级以上, 说明该地区植物中的  $^{129}\text{I}$  主要为人工来源。以  $^{129}\text{I}$  的全球大气沉降为主, 其中欧洲核燃料后处理厂释放的  $^{129}\text{I}$  长距离传输后的二次沉降是最主要来源, 我国罗布泊和前苏联塞米帕拉金斯克的大气核试验释放进入对流层的  $^{129}\text{I}$  的区域沉降贡献不大。通过研究内蒙古 - 东北地区陆生植物中  $^{129}\text{I}$  的空间分布清晰地示踪了我国北方, 特别是西北 - 内蒙 - 东北地区大气污染物的传输路径和沉降模式, 展示了地形、风向、降水等因素对大气污染物的传输和沉降的影响。研究表明  $^{129}\text{I}$  是大气环境示踪的一个极佳示踪剂。

**关键词:** 宇宙成因核素测年; 核素浓度; 稳定侵蚀; 不稳定侵蚀; 暴露时间

通信作者: 鲁 彤, lutong@ieecas.cn

## 中国内陆、河口和海洋水体中碘同位素的分布与来源分析

陈学高<sup>1,2</sup>, 衣 鹏<sup>1,2</sup>, 余钟波<sup>1,2</sup>, A Aldahan<sup>3</sup>, 侯小琳<sup>4,5</sup>

1. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 3. 阿联酋大学 地质系, 阿联酋 阿布扎比 艾因; 4. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 5. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183019

**摘 要:** 放射性碘同位素( $^{129}\text{I}$ ), 半衰期为  $1.57 \times 10^7$  年, 现有的文献资料中, 对中国  $^{129}\text{I}$  的分布状况研究甚少, 只有深圳大鹏半岛、山东及西安等地的一些碘数据, 对于黄河源区、长江河口、南海的碘同位素示踪研究尚缺乏, 而且对于海水的测深一般停留在 3000 m 左右。采样位置和采样技术上的拓展与创新, 有利于帮助建立起对中国  $^{129}\text{I}$  分布的大致轮廓图。28 个碘同位素样品, 涵盖了湖水、河水、泉水、海水等不同类型, 其中 16 个来自于黄河源区, 2 个来自于长江入海口, 还有 10 个来自于南海(同一个点, 深度从 0 m 到 3800 m), 样品数据分析结果表明, 中国水圈中  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  的数值大部分集中在  $10^{-9}$ — $10^{-11}$  数量级,  $^{129}\text{I}$  的浓度范围在  $1 \times 10^6$ — $51 \times 10^6$   $\text{atoms} \cdot \text{L}^{-1}$ , 这和中国已有的碘数据较吻合, 但与欧洲的碘数据相比, 大概低了 1—3 个数量级; 南海不同深度水体中  $^{129}\text{I}$  的含量呈现出分层分布, 0—1000 m 的  $^{129}\text{I}$  浓度最高, 1000—2000 m,  $^{129}\text{I}$  浓度向下递减, 2000 m 以下呈现波动变化; 此外, 通过构建的  $^{129}\text{I}$  来源解析方程, 定量化估算了不同水体中  $^{129}\text{I}$  的来源, 黄河源区 85% 的  $^{129}\text{I}$  来源于核燃料后处理厂释放, 7% 来源于核武器试验, 长江入海口 83% 来源于核燃料后处理厂释放, 南海 90% 来源于核燃料后处理厂释放。研究成果表明: (1) 在中国水圈陆地系统中  $^{129}\text{I}$  浓度变化受人类干预影响大于海洋系统; (2) 南海海水中  $^{129}\text{I}$  的垂直剖面分布特征反映了其受季风漂移和海洋洋流的影响; (3) 中国的  $^{129}\text{I}$  主要来源于核燃料后处理厂释放和核武器试验, 而核电站和核事故释放的  $^{129}\text{I}$  影响甚微; (4) 福岛核事故对中国环境  $^{129}\text{I}$  浓度的影响可以忽略不计。

**关键词:**  $^{129}\text{I}$ ; 中国水圈; 黄河源区; 来源解析

通信作者: 陈学高, xigochen@163.com

## 东亚沙尘对中国东北地区表土中 $^{129}\text{I}$ 分布影响

王妍芸<sup>1,2,3</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

DOI:10.7515/JEE183020

**摘 要:** 利用 ICP-MS、加速器质谱仪 (AMS), 首次对中国东北地区 101 个表土样品中  $^{127}\text{I}$ 、 $^{129}\text{I}$  浓度水

平进行了分析。该地区表土样品中 $^{127}\text{I}$ 浓度呈现东高西低的趋势,这与该区域表层土壤类型、有机质含量、降水量分布等因素有关。该研究地区表层土壤中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子比值分布为 $2.61\times 10^{-10}$ — $6.49\times 10^{-8}$ ,较估计的土壤中核前水平高出2—3个数量级,表明中国东北地区均受全球沉降的影响。研究区域内,在内蒙古自治区的中东部,大兴安岭、阴山山脉以西地区(位于 $42.40^\circ$ — $46.84^\circ\text{N}$ ,  $112.22^\circ$ — $122.42^\circ\text{E}$ ,包含30个点), $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子比值明显高于其它研究区域,几何平均值为 $2.17\times 10^{-8}$ 。表明除了全球沉降因素外,还有其它放射性来源对该地区 $^{129}\text{I}$ 有所贡献。除了受全球沉降的影响,在东亚沙尘天气时期,大量携带的放射性物质的沙尘传输并在此沉积,是导致高值区域形成的一个重要原因,这主要受气象条件、该地区的地理分布、气候特征、地表环境等因素有关。本文将首次利用 $^{129}\text{I}$ 研究沙尘在中国东北地区的分布特征,并判断与沙尘的传输关系,将此作为评估沙尘危害的一种重要核素。

**关键词:** 表土;  $^{129}\text{I}$ ; 中国东北; 沙尘

通信作者: 王妍芸, wangyy@ieecas.cn

## 中国黄土高原的碘同位素记录及其在陆相沉积测年中的意义

范煜坤<sup>1,2</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183021

**摘要:**  $^{129}\text{I}$ 较长的半衰期(15.7 Ma)使其具有测定2—80 Ma范围年龄的潜力,寻找适用的 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 初始值是建立 $^{129}\text{I}$ 测年方法的关键。国际上已有对海洋系统中初始值的报道,并开展了系列的测年应用。然而,陆地环境中的 $^{129}\text{I}$ 初始值如何?与海洋系统之间是否有差异?相关问题悬而未决。采用新建立的热解法结合无载体共沉淀方法,利用西安3 MV加速器质谱仪,分析了西峰和洛川黄土剖面中的 $^{129}\text{I}$ ,发现黄土中天然 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 比值约为 $(2.0\pm 1.0)\times 10^{-11}$ ,比海洋系统初始值 $(1.5\pm 0.15)\times 10^{-12}$ 高一个数量级,表明了源自海洋的碘向内陆的传输较为有限。通过补充分析获得高分辨率变化曲线,发现黄土剖面中稳定碘含量与磁化率、有机质含量的变化高度耦合,首次揭示了气候变化是陆地环境中碘同位素变化的重要影响因素:间冰期东亚夏季风增强,内陆降雨量增加;冰期相反。而降雨/季风的强弱变化并未对主要产生于大气上层Xe与宇宙射线反应的 $^{129}\text{I}$ 浓度造成显著影响。这一认识为进一步量化陆相沉积的 $^{129}\text{I}$ 初始值提供了重要数据和科学思路。另外,黄土中稳定碘浓度与气候变化的高度耦合,指示了至少在季风区的陆地环境中,稳定碘含量可能是降水量的可靠代用指标。

**关键词:**  $^{129}\text{I}$ ; 初始值; 测年; 气候变化

通信作者: 范煜坤, fanyk@ieecas.cn

## 长寿命放射性钷同位素在环境示踪中的应用

徐仪红<sup>1</sup>, 潘少明<sup>1</sup>, 侯小琳<sup>2,3,4</sup>, 乔继欣<sup>2</sup>, 马永福<sup>5</sup>, 郝永佩<sup>1</sup>, 高建华<sup>1</sup>

1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. Center for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark, DK-4000 Roskilde, Denmark; 3. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 4. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 5. 浙江省辐射环境监测中心, 杭州 310012

DOI:10.7515/JEE183022

**摘要:** 随着质谱技术的快速发展,长寿命放射性钷同位素的测量越来越灵敏、高效,这使得它成为替代 $^{137}\text{Cs}$ 在土壤侵蚀示踪及现代沉积物定年等方面应用的理想替代核素。本研究通过在我国东北辽东湾沿岸及北黄海北部辽东半岛东岸泥质区分别采集不同类型土壤表层样品、土壤剖面及表层沉积物样及沉积物柱状样,采用放射化学分离与提纯结合ICP-MS(电感耦合等离子体质谱)测量相结合的方法,

分析土壤及沉积物样品中的钚同位素,开展钚同位素在辽东湾沿岸土壤侵蚀示踪及北黄海近岸沉积物现代沉积过程定年应用研究。研究表明,在辽东湾沿岸地区,土壤中钚同位素的来源均主要为全球大气核试验的全球沉降,标准土壤剖面中 $^{239+240}\text{Pu}$ 大气沉降背景值约为 $88.4\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ ,且 $^{239+240}\text{Pu}$ 比活度在土壤剖面中呈现由表层向深层指数递减的分布模式,应用 $^{239+240}\text{Pu}$ 作为示踪元素估算了研究区非耕地土壤及耕地土壤的侵蚀速率,并将其结果与 $^{137}\text{Cs}$ 示踪法估算进行比较,统计结果表明两种方法估算结果无显著差异,证明了 $^{239+240}\text{Pu}$ 示踪法在土壤侵蚀示踪应用的可行性;在北黄海近岸沉积物中,钚同位素的 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比值也均与全球沉大气降均值相一致,表明该区域钚同位素的来源也主要是全球大气沉降,其它可能的来源诸如福岛核事故、PPG(美国太平洋环礁核试验场)来源、朝鲜核武器试验及研究区域附近的红沿河核电站等的影响均可忽略不计;表层沉积物中 $^{239+240}\text{Pu}$ 比活度呈现出自东向西沿岸逐渐递增的趋势且在鸭绿江来源的细颗粒沉积物沉积区出现最大值,这主要是受到辽南沿岸流的作用及沉积物粒径大小的影响;两个沉积物剖面中均观测到明显最大峰值及背景值,将其分别对应于核爆试验沉降最大年1963年及初始影响年1952年,运用这两个时标分别估算沉积物剖面的沉积速率并作比较,发现两组结果并无显著差异,表明两个时标均有效可靠,证明了Pu同位素时标法在近岸沉积系统现代沉积过程研究中应用的可行性。并据此结果,对沉积物中Pu同位素记录的历史信息所反映的北黄海岸岸入海河流域环境变化进行了进一步的分析与探讨。

**关键词:** 钚同位素;  $^{137}\text{Cs}$ ; 土壤侵蚀示踪; 沉积物定年

通信作者: 徐仪红, yhxu@nju.edu.cn

## 南小河流域土壤侵蚀的Pu同位素示踪研究

张伟超<sup>1,2</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>, 邢 闪<sup>3</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国辐射防护研究院, 太原 030006

DOI:10.7515/JEE183023

**摘 要:** 探索单一的Pu同位素在黄土高原小流域土壤侵蚀中的示踪应用,以及应用于生态修复评价的初步研究。结果发现:(1)研究区域剖面中 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子比值,与大气核试验全球沉降值( $\sim 0.18$ )吻合,表明土壤中Pu的主要来源是全球大气核试验沉降;(2)研究区域剖面中 $^{239+240}\text{Pu}$ 比活度最大值基本在表层或者次表层,并且主要集中在15—22 cm以上,由 $^{239+240}\text{Pu}$ 沉积通量发现坡面易受到土壤侵蚀的作用,而坡底可能受到土壤侵蚀和土壤堆积的共同作用;(3)根据非耕地土壤侵蚀速率模型,采用 $^{239+240}\text{Pu}$ 法估算董庄沟坡面剖面D2土壤侵蚀深度为4.60 cm,土壤侵蚀速率为 $941\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;坡底剖面D3土壤侵蚀深度2.38 cm,土壤侵蚀速率为 $538\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;(4)杨家沟三个剖面中的 $^{239+240}\text{Pu}$ 浓度与深度的变化不呈指数分布,根据非耕地土壤侵蚀速率模型计数出的土壤侵蚀深度与侵蚀速率可能存在偏差,坡顶剖面Y1土壤侵蚀深度为3.67 cm,土壤侵蚀速率为 $768\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;坡面剖面Y2土壤侵蚀深度为5.05 cm,土壤侵蚀速率为 $1006\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;坡底剖面Y3土壤侵蚀深度为1.24 cm,土壤侵蚀速率为 $272\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ;(5)根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—2007)中对水力侵蚀强度分级标准可知,该研究区域土壤侵蚀强度为微度;(6)结合文献中报道的南小河流域的水土流失数据,发现单独利用Pu示踪土壤侵蚀是可行的,同时也可以发现退耕换林还草能够有效减弱黄土高原的土壤侵蚀,其中对比1954—1959年、2012年以及本研究的结果,发现自然修复(董庄沟)对水土流失量的减弱程度明显高于人工修复(杨家沟)水土流失量。因此,Pu同位素能够单独地应用于土壤侵蚀的示踪研究,也能够应用于不同类型的生态修复评价。

**关键词:** ICP-MS/MS; Pu同位素; 土壤侵蚀; 示踪应用; 生态修复评价

通信作者: 张伟超, zhangwch@ieecas.cn

## 高温加热装置改进初探

赵国庆<sup>1,2</sup>, 谢兴俊<sup>3</sup>, 张丽<sup>1,2</sup>, 赵稳年<sup>4</sup>, 武振坤<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 北京师范大学, 北京 100875; 4. 西安交通大学, 西安 710054

DOI:10.7515/JEE183024

**摘要:** 宇宙成因核素  $^{10}\text{Be}$  &  $^{26}\text{Al}$  测年方法已成功应用于示踪环境和地貌演化等研究领域, 此方法成熟可靠, 但技术上仍存在改进的空间。以烧制  $\text{BeO}$  样品为例, 现采用马弗炉高温烧制样品。马弗炉体积大, 利用在炉腔内壁周围的硅碳棒加热使炉腔内部达到一定的温度, 升温降温时间长, 能源消耗大。

为此探索微波高温加热装置, 包括微波炉、保温腔体和保温坩埚。在微波炉内放置保温腔体, 为耐火材料组成的圆柱体结构坩埚, 圆柱体结构内部为空腔; 在保温腔体内放置碳化硅保温坩埚, 所述碳化硅保温坩埚由碳化硅坩埚上体和碳化硅坩埚下体上下拼合而成, 形成的内部空腔放置待烧制样品。该高温加热装置采用微波炉加热, 内置的碳化硅材料坩埚将热量直接集中于碳化硅材料坩埚内, 保温坩埚外部有普通耐火材料腔体, 保温效果好。将  $^{10}\text{Be}$  本底样品使用该高温加热装置加热 20 min, 两个样品  $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$  结果分别为:  $3.15 \times 10^{-15}$ ,  $7.53 \times 10^{-15}$ 。验证了装置的可行性。该装置有体积小、能耗少、升温降温快的优点, 缺点是不能实现阶段升温。

**关键词:** 宇宙成因核素;  $^{10}\text{Be}$ ;  $^{26}\text{Al}$ ; 样品制备

通信作者: 赵国庆, zhaogq@ieecas.cn

## $^7\text{Be}$ 的加速器质谱法测量研究

付云翀<sup>1,2</sup>, 张丽<sup>1,2</sup>, 赵国庆<sup>1,2</sup>, 刘起<sup>1,2</sup>, 杨宪林<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061

DOI:10.7515/JEE183025

**摘要:**  $\gamma$  射线能谱法是测量  $^7\text{Be}$  最为广泛的方法, 原理是基于其 447.6 keV 的特征  $\gamma$  射线以及半衰期  $T_{1/2} = 53.29$  d, 且拥有 10.4% 的  $\gamma$  放射性活度。而对于  $^7\text{Be}$  的加速器质谱仪 (AMS) 测量最早由 Raisbeck 和 Yiou 提出,  $^7\text{Be}$ -AMS 测量的优势在于对  $^7\text{Be}$  的测量的灵敏性提高了 10—100 倍<sup>[1-3]</sup>。针对西安地区的降水, 通过共沉淀的方法制备了可以进行  $^7\text{Be}$ -AMS 测量用的  $\text{BeO}$  靶样; 而后通过全价态剥离的方法即  $\text{BeO}^- \rightarrow \text{Be}^{2+} \rightarrow \text{Be}^{4+}$  在 3 MV 的 Xi'an-AMS 建立了  $^7\text{Be}$  的分析方案, 并获得了近期雨水中  $^7\text{Be}$  数据。另外, 探索了利用更高效率的 +3 价态开展  $^7\text{Be}$  测量的可能性与存在的问题。

**关键词:** 加速器质谱仪;  $^7\text{Be}$

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (11205161); 中国科学院关键技术人才项目

### 参考文献

- [1] Raisbeck G M, Yiou F, Bourles D, et al. 1984. Measurement of  $^{10}\text{Be}$  with a tandetron accelerator operating at 2 MV [J]. *Nucl Instr Meth B*, 5: 175–178.
- [2] Nagai H, Tada W, Matsumura H, et al. 2004. Measurement of  $^7\text{Be}$  at MALT [J]. *Nucl Instr Meth B*, 223/224: 237–241.
- [3] Smith A M, Mokher-Shahin L, Simon K J. 2013. A new capability for ANTARES:  $^7\text{Be}$  by AMS for ice samples [J]. *Nucl Instr Meth B*, 294: 59–66.

通信作者: 付云翀, fuyc@ieecas.cn

## 利用加速器质谱仪进行快速 $^{129}\text{I}$ 检测的方法研究

刘起<sup>1,2,3</sup>, 周卫健<sup>1,2</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>, 张路远<sup>1,2</sup>, 付云翀<sup>1,2</sup>, 陈宁<sup>1,2,3</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

DOI:10.7515/JEE183026

**摘要:** 加速器质谱仪是  $^{129}\text{I}$  最灵敏的检测手段, 而传统方法分析样品时通常需要复杂的化学制样流程, 对样品中碘元素进行分离、富集和纯化, 测试周期较长, 成本高。在核应急分析等类型的应用研究中, 需要对大批量样品中的  $^{129}\text{I}$  含量开展快速检测, 针对此类应用需求特点, 本研究尝试开发一种快速、流程简便并且成本低廉的  $^{129}\text{I}$ -AMS 检测方法。以三种已知  $^{129}\text{I}$  水平的国际标准物质作为研究样品, 将干燥和研磨均匀化的样品粉末直接与加入过本底碘的电热导体介质 (Nb 粉末) 混合后压入靶座, 实现快速制靶, 进行加速器质谱测量, 再结合制靶时称量的相关质量关系数据就能直接计算得出原始样品中的  $^{129}\text{I}$  活度。通过对测量数据与已知值进行比较分析验证了方法的可靠性, 估算方法的探测下限可达  $0.15 \mu\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

**关键词:**  $^{129}\text{I}$ ; 加速器质谱; 快速检测

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (11405176)

**通信作者:** 刘 起, liuqi@ieecas.cn

### 加速器质谱测量超重核 $^{298}\text{Fl}$ 的方法研究

王小明<sup>1,2</sup>, 何 明<sup>2</sup>, 赵庆章<sup>2</sup>, 庞义俊<sup>2</sup>, 姜 山<sup>2</sup>

1. 中国辐射防护研究, 太原 030006; 2. 中国原子能科学研究院, 北京 102413

DOI:10.7515/JEE183027

**摘要:** 理论预言超重核  $^{298}\text{Fl}$  可能位于超重稳定岛的中心区域, 是自然界最可能存在的长寿命超重核素。因此在自然界寻找超重核素  $^{298}\text{Fl}$  有着非常重要的科学意义。利用中国原子能科学研究院加速器质谱 (AMS) 装置发展了超重核的测量方法。在超重核的测量中, 如何将其传输到探测系统非常关键, 超重核质量数在 300 左右, AMS 测量时采用的同位素模拟传输法显然无法实现。测量超重核  $^{298}\text{Fl}$  时采用了另外的传输方法。加速器低能端利用  $\text{PbO}_2$  来线性调节注入磁场, 通过加速器剥离器之后, 选择  $^{208}\text{Pb}^{10+}$  来模拟传输  $^{298}\text{Fl}$ 。传输过程中保持分析磁铁数值不变, 选定超重核测量时的价态 15+, 则其能量为定值。如果选择分子离子测量时, 由于分子碎片带走一部分能量, 须通过线性改变端电压数值以保持能量不变。这样测量超重核时的磁刚度  $ME/q^2$  为定值, 电刚度  $E/q$  也为定值。调优离子  $^{208}\text{Pb}$  尽量选择合适的价态, 以使其磁刚度相同的情况下, 其端电压数值尽量与超重核的相近, 并且使其电刚度亦尽量相近。为了验证这种可行性, 利用此方法刻度 UO- 注入磁场, 高能端选择 12+ 价态, 在探测系统成功获取了  $^{238}\text{U}$  的能量谱。表明利用此方法模拟超重核传输应是可行的。利用该方法测量超重核  $^{298}\text{Fl}$  在铅中的探测下限达到  $10^{-14}$ 。

**关键词:** 超重核; 加速器质谱; 高灵敏; 模拟传输

**通信作者:** 王小明, wxmwqb1981@163.com

### 基于原子阱的 $^{41}\text{Ca}$ 同位素检测装置

夏彤岩, 刘斯禹, 杨国民, 蒋 蔚, 夏 添, 卢征天

中国科学院量子信息与量子科技创新研究院, 合肥微尺度物质科学国家研究中心, 中国科学技术大学, 合肥 230026

DOI:10.7515/JEE183028

**摘要:** 原子阱痕量分析技术 (atom trap trace analysis, ATTA) 是一种利用激光选择性俘获和探测单个同位素原子的技术, 不受同量异位素的干扰。装置中金属钙原子经加热后从准直管飞出, 经横向冷却、二维聚焦、塞曼减速后到达磁光阱中被俘获。通过调节激光的频率可选择捕获钙的各种同位素。正在搭建、优化原子阱装置, 现已观测到稳定同位素  $^{40}\text{Ca}$  原子在磁光阱中的信号。该装置的最终目标是实现对钙样品中自然丰度约  $1\times 10^{-15}$  的  $^{41}\text{Ca}$  的单原子检测。该技术有望应用于地质与考古定年以及生物医学中  $^{41}\text{Ca}$

的痕量示踪。

**关键词：** $^{41}\text{Ca}$ ；原子阱；单原子检测；同位素示踪

通信作者：夏彤岩，xty2012@mail.ustc.edu.cn

### 原子阱氪、氙同位素检测及应用

杨国民，阿 民，储艳清，董希泽，Florian Ritterbusch，顾继强，王 杰，严京文，赵志霞，蒋 蔚，胡水明，卢征天  
中国科学院量子信息与量子科技创新研究院，合肥微尺度物质科学国家研究中心，中国科学技术大学，合肥 230026

DOI:10.7515/JEE183029

**摘 要：**放射性惰性气体同位素  $^{81}\text{Kr}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{39}\text{Ar}$ ，主要由宇宙射线和大气中稳定同位素反应产生。作为惰性气体，在大气中分布均匀，且在自然界中没有化学反应、输运机制简单，是地球科学研究中理想的示踪与定年同位素，与  $^{14}\text{C}$  一起可以覆盖从几年到 130 万年的广泛年代范围。但它们的同位素丰度极低 ( $10^{-11}$ — $10^{-15}$ )，检测十分困难。原子阱痕量分析 (atom trap trace analysis, ATTA) 方法，利用激光冷却、俘获特定同位素原子，并进行单原子计数，从而获得同位素的含量。该方法具有高度的同位素选择性，不存在同量异位素的干扰。经过十多年的持续努力，课题组在中科大建立了从现场采样到样品处理、痕量同位素分析的整套装置，实现了  $^{81}\text{Kr}$ 、 $^{85}\text{Kr}$  的同位素定量检测，并且初步实现了  $^{39}\text{Ar}$  的单原子探测。课题组与国内外研究单位合作，开展了一系列地下水、海洋、极地冰川、青藏高原冰川等样品的测量工作。

**关键词：** $^{81}\text{Kr}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $^{39}\text{Ar}$  原子阱痕量分析；定年

通信作者：杨国民，yanggm@ustc.edu.cn

### 加速器质谱测量 $^{60}\text{Fe}$ 的方法研究

赵庆章<sup>1</sup>，王芳芳<sup>1</sup>，何 明<sup>1</sup>，庞义俊<sup>1</sup>，张宇轩<sup>1</sup>，于 波<sup>1</sup>，武绍勇<sup>1</sup>，姜 山<sup>1</sup>，董克君<sup>1,2</sup>

1. 中国原子能科学研究院，北京 102413；2. 天津大学，天津 300072

DOI:10.7515/JEE183030

**摘 要：**长寿命放射性核素  $^{60}\text{Fe}$  在天体物理、核安全设施以及医学等方面都有着非常重要的应用前景。为了开展基于  $^{60}\text{Fe}$  的应用研究，利用加速器质谱法对  $^{60}\text{Fe}$  的测量技术进行了研究。本工作建立了  $^{60}\text{Fe}$  的样品制备和铁镍的分离流程，研究了铁的负离子引出形式，系统开展了基于中国原子能科学研究院的大型串列加速器和 Q3D 磁谱仪排除同量异位素  $^{60}\text{Ni}$  的技术研究，在此基础上实现了  $^{60}\text{Fe}$  的高灵敏测定，测量灵敏度好于  $4 \times 10^{-14}$ 。

**关键词：** $^{60}\text{Fe}$ ；核天体物理；加速器质谱；Q3D

通信作者：赵庆章，zqz1102006@126.com

### 基于小型单极静电加速器质谱的 $^{14}\text{C}$ 高灵敏测量技术研究

庞义俊，何 明，姜 山，赵庆章，武绍勇，张宇轩，王芳芳

中国原子能科学研究院，北京 102413

DOI:10.7515/JEE183031

**摘 要：**加速器质谱小型化有助于相关宇宙成因核素应用研究工作的开展与推进。基于原子能院研发的  $^{14}\text{C}$  小型单极静电加速器质谱仪，通过对含碳样品前处理方法的优化、粒子加速电压的确定、剥离气体的选择、分子本底的排除等方面的探究，最终确定该仪器实现  $^{14}\text{C}$  高灵敏测量的条件。结果表明，靶样中 C-H 粒子的含量对其实现高灵敏测量有显著影响，采用锌还原法处理的样品 C-H 粒子含量相对较低，可有效

降低分子本底干扰,同时有利于使用较低加速电压剥离分子离子,这有助于仪器小型化发展;在此基础上,加速电压 195 kV、在  $1.66 \times 10^{-2}$  Pa 气压下使用氦气剥离、选择 +1 电荷态等主要条件可实现该仪器的  $^{14}\text{C}$  高灵敏测量,测试精度好于 0.7%,丰度灵敏度约  $8 \times 10^{-15}$ 。

**关键词:**  $^{14}\text{C}$ ; 样品制备; 加速器质谱; 分子干扰

通信作者: 庞义俊, yijunpang@163.com

## 环境样品中锕系元素的测定

管永精<sup>1</sup>, 孙绍涵<sup>1</sup>, 王慧娟<sup>1</sup>, 刘志勇<sup>2</sup>, Filippo Terrasi<sup>3</sup>

1. 广西相对论天体物理重点实验室, 广西大学物理科学与工程技术学院, 南宁 530004; 2. 苏州大学医学部放射医学与防护学院, 苏州 215006; 3. Department of Mathematics and Physics, Campania University L. Vanvitelli Via Lincoln 5, Caserta 81100, Italy

DOI:10.7515/JEE183032

**摘要:** 锕系元素绝大部分来自于 20 世纪的大气核实验和核工业所排放的废液, 这些元素一般都有着极长的半衰期, 对环境的影响意义深远。广西防城港核电站于 2015 年 10 月并网发电, 为了评估核电运行前当地的表层土壤中锕系元素中各放射性同位素、 $^{239+240}\text{Pu}$  和  $^{237}\text{Np}$  的含量及背景值, 采集了部分土壤表层样及沉积物样品。由于样品中  $^{239+240}\text{Pu}$  和  $^{237}\text{Np}$  含量较低, 采用阴离子交换对样品进行分离纯化, 然后采用灵敏度较高的电感耦合等离子质谱仪 (ICP-MS) 来测量  $^{239+240}\text{Pu}$  的含量及采用超高灵敏度的加速器质谱仪 (AMS) 来测量  $^{237}\text{Np}$  的含量。结果表明  $^{239+240}\text{Pu}$  的浓度范围是 0.075—2.088  $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  的比值范围是 0.171—0.198, 与全球沉降的贡献值一致。 $^{237}\text{Np}$  的比活度的范围是 0—1.971  $\text{mBq} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 大部分样品的比活度在 0.521  $\text{mBq} \cdot \text{kg}^{-1}$  左右, 远低于被污染地区土壤中  $^{237}\text{Np}$  的比活度。

**关键词:**  $^{239+240}\text{Pu}$ ;  $^{237}\text{Np}$ ; ICP-MS; AMS

通信作者: 管永精, yjguan@gxu.edu.cn

## GIG-AMS 实验室现状与进展

朱三元, 成志能, 丁平, 王宁, 张干, 沈承德  
中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

DOI:10.7515/JEE183033

**摘要:** 中国科学院广州地球化学研究所 (GIG) 在 2014 年 4 月上旬安装了一台由美国国家静电公司 (NEC) 生产的  $^{14}\text{C}$  专用加速器质谱仪 (AMS), 加速器型号 1.5 SDH-1, 端电压 0.5 MV。经过一年多的调试运行, 在克服了加速器罐体剥离气体系统失效、端电压不稳定、 $^{14}\text{C}$  计数丢失等一系列硬件故障后, GIG-AMS 恢复了正常的运行状态, 具备了日常测试的能力。目前 GIG-AMS 离子源工作参数: 阳极电压为 6 kV, 浸没透镜电压 4.6—5.2 kV, 吸极电压 15 kV, 偏压 38 kV; 加速器高压 460 kV, 测量 +1 价离子总能量 978 keV。测量常规样品 (碳量约为 1 mg) 时,  $^{12}\text{C}^-$  束流在 60—110  $\mu\text{A}$ ,  $^{13}\text{C}^+$  束流在 250—450 nA。现代碳样品  $^{14}\text{C}$  计数在 300000—400000, 测量不确定度在 0.3% 左右, 单个样品测量 12 轮, 耗时 40 min 左右。自投入使用以来, 已测试样品约 2200 个, 样品包括木头、土壤沉积物、气溶胶、珊瑚等类型, 样品大小在 10  $\mu\text{g}$ —1 mg, 未来 GIG-AMS 将以开放的姿态为国内的考古学、地质学、海洋科学及环境科学提供更多高质量的  $^{14}\text{C}$  测试数据。

**关键词:**  $^{14}\text{C}$ ; AMS

通信作者: 朱三元, zhusy@gig.ac.cn

## 稀土矿样中<sup>244</sup>Pu的分析及加速器质谱测量

邬洋<sup>1</sup>, 戴雄新<sup>1</sup>, Marcus Christl<sup>2</sup>

1. 中国辐射防护研究院, 太原 030002; 2. AECL Chalk River Laboratories, Chalk River, Ontario K0J 1J0, Canada

DOI:10.7515/JEE183034

**摘要:** 太阳系形成初期宇宙成因重核素的分析研究是探明重核素来源及发展的先决条件。本研究基于小型加速器质谱分析技术, 建立了稀土样品中超痕量<sup>244</sup>Pu高效灵敏分析方法。该方法首先用浓盐酸对样品进行浸取, 然后分别采用 TRU 树脂和 AGMP-1M 树脂对浸取上清液和残渣部分中的 Pu 进行富集; 用 TEVA 树脂进行进一步纯化后制备成待测靶样。该方法的上清液和残渣部分 Pu 的回收率均可达到 90% 以上。利用 ETH Tandy 小型 AMS 初步测量了两个 1 g、两个 5 g 和一个 10 g 的样品, 上清液部分和残渣部分<sup>244</sup>Pu 检测上限分别达到了  $3.43 \times 10^{-19} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $3.57 \times 10^{-19} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

**关键词:** <sup>244</sup>Pu; 宇宙成因重核素; 稀土核素

通信作者: 邬洋, 903377729@qq.com

## 旋转蒸发法—加速器质谱测定大体积水样中<sup>129</sup>I

李晶<sup>1,2,3</sup>, 张路远<sup>1,2</sup>, 侯小琳<sup>1,2</sup>, 陈宁<sup>1,2,3</sup>

1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061; 2. 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安加速器质谱中心, 西安 710061; 3. 中国科学院大学, 北京 100049

DOI:10.7515/JEE183035

**摘要:** <sup>129</sup>I 已成功应用于示踪洋流循环、海洋环境、地下水交换等环境过程, 然而<sup>129</sup>I 的准确测定, 特别是大体积淡水水样中低<sup>129</sup>I 含量的分析是<sup>129</sup>I 水体示踪应用中的关键。研究利用旋转蒸发法将水样中的<sup>129</sup>I 富集, 通过优化温度、pH 值、浓缩体积及还原剂的加入量对碘回收率的影响, 获得了最佳的实验参数, 在水样 pH 为 7, 添加还原剂至  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 水浴温度为 60℃, 将水样浓缩至 100 mL, 碘回收率最佳, 最终碘回收率可达 98.8%—100.7%。与传统低温蒸干法相比, 碘的富集时间缩短了 70%—80%。通过优化的旋转蒸发法对环境样品进行分析, 结果表明, 旋转蒸发法具有回收率高、省时的优势, 完全适用于大体积淡水水样中<sup>129</sup>I 的分析。

**关键词:** <sup>129</sup>I; 大体积水样; 旋转蒸发法; 加速器质谱

通信作者: 李晶, lijing@ieecas.cn

## GIGCAMS 实验室有机碳样品前处理及放射性碳十四分析

成志能, 朱三元, 李军, 张干

有机地球化学国家重点实验室, 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

DOI:10.7515/JEE183036

**摘要:** 广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室建立了一个配有全自动石墨制靶系统 (AGE3) 的前处理实验室。为了评估全自动石墨制靶系统性能, 先利用该系统石墨化一系列有机碳国际参考物质, 然后用 NEC 0.5 MV 加速器质谱仪进行测试。结果显示, 实验室 1 mg 现代有机碳分析精度为 3%, 实验室参考物质测试<sup>14</sup>C 值与国际公认值一致。结果表明建立的前处理实验室具备有机碳<sup>14</sup>C 分析前处理能力。

**关键词:** 碳十四; 全自动石墨制靶系统; 前处理; 加速器质谱

通信作者: 成志能, chengzhineng@gig.ac.cn