

黄土样品的 BeO 制备及 AMS 测量

武振坤^{1,2} 周卫健^{1,2,3} 刘 敏^{2,3} 余华贵^{1,2,4} 潘彩文^{2,3} 孔祥辉^{1,2,4} 卢雪峰^{1,2,3}

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 710075)

2(西安加速器质谱中心 西安 710052)

3(西安交通大学 西安 710049)

4(中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 采用常规方法提取黄土-古土壤样品中的 ^{10}Be , 制备 BeO 样品时, 无法有效降低样品中 B 含量, 导致在 ^{10}Be AMS 测量中本底值偏高。本文对 BeO 制备方法进行了优化。新的制备流程改进了阳离子树脂交换、 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 转化为 BeO 的灼烧方式以及实验所采用的仪器设备。在西安加速器质谱仪(Xi'an-AMS)上测试结果表明, 采用该化学流程制备的 BeO 样品化学本底可以达到 2.04×10^{-14} 。本文还介绍了 Xi'an-AMS 测量 ^{10}Be 的方法与测量结果。

关键词 黄土, BeO, 加速器质谱(AMS)

中图分类号 TL817⁺.4

宇宙成因核素, 包括大气成因核素和就地成因核素, 前者为高能宇宙射线(包括次生粒子)与大气中的氮、氧等的散裂反应产物, 后者为其与地表岩石中的石英(主要是 SiO_2)散裂反应产物^[1-3]。 ^{14}C 和 ^{10}Be 都属于宇宙成因核素, 在自然界分布广泛。沉积物中的 ^{14}C 较活泼, 会连续地与大气中的各储存库进行交换。但是, 不溶性的 ^{10}Be 沉降到地表后, 就停留在其沉降地, 不再返回大气储存库。 ^{10}Be 的半衰期 (1.5 Ma) 远长于 ^{14}C (5730 a) 的半衰期, 生成速率又相对稳定, 尤宜示踪数百万年的地质史事件^[1,4,5,6,7]。

近年来, 对海洋沉积物和冰芯中的 ^{10}Be 进行了大量的古气候和古地磁场的示踪研究^[8,9]。但是由于黄土中的 ^{10}Be 沉积来源和沉降过程的复杂性, 过去仅限于黄土中的 ^{10}Be 的古气候研究^[10-15]。最近, 周卫健等^[16]从中国洛川黄土中的 ^{10}Be 成功地显示了古地磁漂移事件, 并重建了近 80 ka 的古地磁场强度变化史。我国的 ^{10}Be 地学示踪研究曾受加速器质谱仪机时的限制, 无法满足日常 ^{10}Be 测量要求; 此外, 采用常规方法提取黄土-古土壤样品中 ^{10}Be 而制备的 BeO 样品, 前处理过程往往受 ^{10}Be 的同量异位素 ^{10}B 的污染, 导致 ^{10}Be 测量本底值偏高, 不能满足高分辨率研究的要求。随着西安加速器质谱

仪(Xi'an-AMS)的建立, 其 ^{10}Be 的探测精度为 1.4%, 灵敏度达 10^{-15} , 可满足 ^{10}Be 的各项研究。本文对样品制备的前处理流程进行适当优化和创新, 针对降低原始样品中 B 含量、避免样品制备过程中 B 污染等, 提出有效的解决方法, 力图将制备的 BeO 样品中的 B 含量尽可能降低。

1 BeO 黄土样品的制备

1.1 ^{10}Be 前处理的常规方法

早期提取黄土中 ^{10}Be 的实验流程为: 酸溶解后, 采用酸溶解-碱沉淀-碱溶解除去样品溶液中的常量元素(Fe、Ca、Mg 等), 加 EDTA 除去干扰元素 Al, 得 $\text{Be}(\text{OH})_2$, 经高温灼烧将其转化为 BeO ^[17]。我们曾对此法作过适当改进, 用阳离子交换柱分离黄土中的常量元素和部分 B 污染, 制备了三个 BeO 样品(两个黄土样品, 一个化学空白), 但在北京大学 AMS 实验室进行的测量(表 1)表明, 与标准样品相比, 样品和化学空白样品的 B 含量都偏高。

引起上述测量结果的原因可能有: a) 实验所用玻璃器皿中含有一定量的 B, b) 实验用二次蒸馏水, 可能含有一定量的 B, c) 阳离子交换柱分离过程中收集了所有阳离子交换淋洗液, 未将 B 的淋滤段与 Be 分离。

表 1 未完全改进制样法的 BeO 样品测量结果
Table 1 Results of the BeO samples prepared with unmodified procedure

样品 Samples	$^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$	BeO 流强 Beam current / μA	B 流强 Beam current / μA
黄土 1# Loess 1#	1.84×10^{-11}	0.5	1.2
黄土 2# Loess 2#	4.30×10^{-11}	0.2	1.2
化学空白 Chemical blank	1.14×10^{-11}	1.2	1.6
标准 Standard		~ 1.0	~ 0.2

1.2 ^{10}Be 前处理方法的改进

采用 Millipore 超纯水设备,其二级纯水交换柱针对降低水中 B 而设计,所有玻璃器皿以石英和 Teflon 烧杯替代,以减少不必要的 B 污染。

1.2.1 淋滤曲线的建立

Be 与 B 的化学性质不同。阳离子交换柱可有效吸附 Be,而对 B 无吸附作用。采用阳离子交换树脂分离样品中的 ^{10}Be 和 B,可有效降低样品中 B 含量,及其常量元素含量,保证 BeO 的产率和纯度。对于离子交换法而言,交换柱的内径、交换树脂的粒径、交换树脂在交换柱中的高度、淋洗液的流速等因素均影响最终的实验结果。因此,在正式制备 BeO 样品前,须针对本次实验所采用的离子交换柱、阳离子交换树脂建立合适黄土-古土壤样品的淋滤曲线。

第一次淋滤实验 称取黄土、古土壤样品各一份,空白样品一个,按照常规实验流程获得样品和化学空白的淋洗液。以 20 mL 1 N 的 HCl 为一个“一次淋洗液体积”(1 CV=20 mL),每个 CV 的淋洗液单独保存在干净容器中,共淋洗 240 mL。每个样品得淋洗液 12 份,采用 ICP-AES 分析 Fe、Ca、Mg 及 Be 含量。实验表明,约 1 g 左右的黄土-古土壤样品,加入 0.5 mg 的 ^9Be 载体后,用 6 CV 的 HCl 可将 Be 淋洗完全。

第二次淋滤实验 为建立更为详细的 Be 淋滤曲线,考察 Be 和 B 在阳离子交换柱上的分离的可能性,重复上述淋滤实验,但是: a) 给每个样品溶液(包括空白)在加入 0.5 mg ^9Be 载体的同时加入 0.3 mg 的 B 标准溶液, b) 每个淋滤液体积为 10 mL (1 CV=10 mL), c) 共收取 11 份淋滤液(110 cm),供 ICP-AES 测量。

两次淋滤结果表明(图 1): a) 两次淋滤实验 ^9Be 的淋滤回收率均大于 80% (图 2)(第二次实验的化学空白除外),满足实验要求; b) 阳离子交换树脂可有效降低样品中 B 的含量(在前 3 CV 结束后,样品溶液中的 B 已大部分被淋洗,Be 是从第 4 CV 方出现。舍弃淋洗液中的前 3 CV,可达到降低样品中 B 的目的,Be 的淋滤在第 11 CV 结束时完成); c) 化学空白中只有 Be 可被阳离子树脂吸附,化学空白

溶液中 Be 在阳离子树脂的解析过程略晚于样品溶液中的 Be,参照第一次实验的结果,在此后化学空白样品的制备中淋洗体积为 120 mL; d) Be 在阳

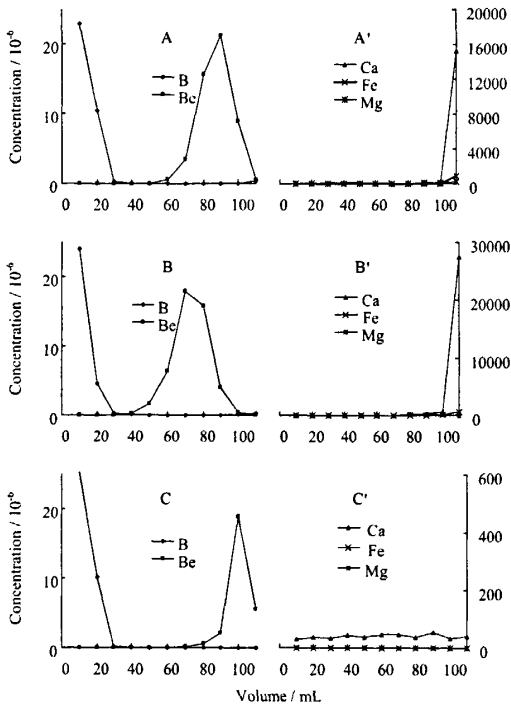


图1 第二次阳离子交换淋滤实验结果(1CV = 10mL)
A、A'为黄土样品 B、B'为古土壤样品 C、C'为化学空白

Fig.1 The result of second cation exchange eluting experiment (1CV=10 mL)
A、A'—loess B、B'—paleosol C、C'—chemical blank

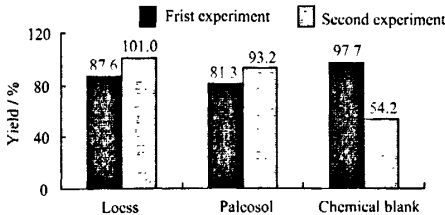


图 2 阳离子交换实验回收率示意图
Fig.2 The sketch of yield for cation exchange experiment

子交换柱上完成解析时，其他元素仍吸附在阳离子树脂上，因此利用阳离子交换法可有效降低样品溶液中的 Fe、Ca、Mg 等常量元素的含量，达到纯化样品中 Be 的目的。

1.2.2 高温转化 BeO 设备

用马弗炉将 Be(OH)₂ 转化为 BeO，一次可处理

五个样品，采用本生灯加热，则每次只能处理一个样品。但马弗炉腔耐火材料可能释放 B，导致 BeO 样品污染。为此，用马弗炉和本生灯分别将 4 个化学 Be(OH)₂ 空白样品转化为 BeO。AMS 测量结果表明(表 2)，在马弗炉中获得的 BeO 样品的 B 含量明显高于本生灯-天然气加热法，故后者较为理想。

表 2 将 Be(OH)₂ 转化为 BeO 的不同方式对测量数据的影响
Table 2 Comparison of measurement results between different methods of converting Be(OH)₂ to BeO

样品号 Sample No.	¹⁰ Be/ ⁹ Be	误差(¹⁰ Be/ ⁹ Be) Error	灼烧方式 Methods
BE2003_12	5.4×10 ⁻¹⁴	1.0×10 ⁻¹⁴	本生灯 - 天然气
BE2003_13	4.2×10 ⁻¹⁴	0.78×10 ⁻¹⁴	Bunsen burner-gas
BE2003_18	1.1×10 ⁻¹²	8.5×10 ⁻¹⁴	马弗炉
BE2003_19	1.1×10 ⁻¹²	8.3×10 ⁻¹⁴	Muffle

1.3 新实验流程的确立和实验结果

1.3.1 新实验流程

改进后的 BeO 样品前处理流程能更好降低样品的 B 含量，其主要步骤包括(图 3)：

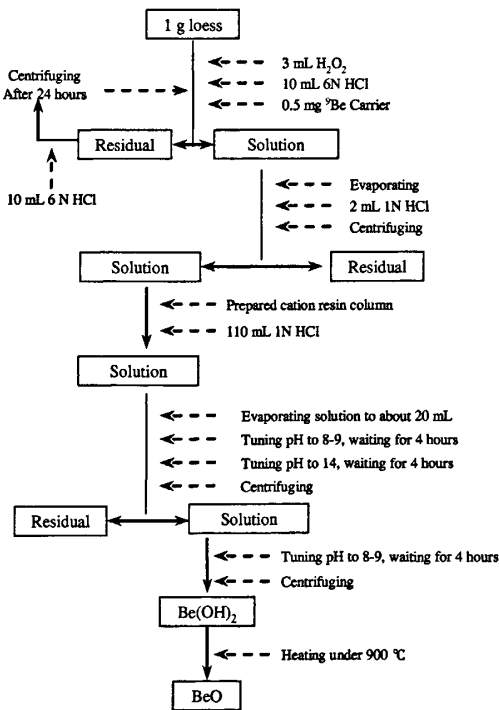


图 3 黄土-古土壤样品 BeO 制备的实验流程

Fig.3 The procedure of BeO preparation for loess and paleosol sample

(1) 黄土、古土壤样品离析：称量 1g 研磨烘干的黄土样品放入 Teflon 烧杯，加入 0.5 mg ⁹Be 载体和 3mL H₂O₂，再加入 10 mL 6N 的 HCl，搅拌摇

匀后静置过夜；次日离心 10 min，保留上部溶液，给残留物再次加入 10 mL 6N 的 HCl，浸泡过夜；再次离心，将两次离心上清液混合，蒸干；用 2 mL 1N 的 HCl 溶解残留物后，离心，保留上清液备用。

(2) 阳离子树脂交换：将上述离心上清液通过阳离子树脂交换柱，保留 40~120 mL 淋洗液，备用。

(3) 沉淀 Be(OH)₂：将淋滤液蒸发至 20 mL 左右，依次用 NH₄OH-NaOH-(HNO₃ + NH₄OH)将溶液 pH 先后调为 8~9，14，8~9。此时，观察到离心管底部乳白色胶状物即为 Be(OH)₂。

(4) Be(OH)₂ 转化为 BeO：烘干 Be(OH)₂，本生灯灼烧 2 hours(850℃)，使之转化成 BeO。

(5) 靶样制备：向冷却后的 BeO 中加入等体积的铜粉，研磨混合。装入 AMS 靶柱上装样孔中，压实封存，供加速器质谱测量。

1.3.2 实验结果

应用上述完善后的实验流程，制备了 BeO 样品 365 个，其中化学空白 27 个、黄土-古土壤 ¹⁰Be-AMS 样品 333 个。当时 Xi'an-AMS 尚未建成，BeO 样品测量在奥地利维也纳大学加速器质谱实验室(VERA)进行。该实验室采用的是瑞士苏黎世 AMS 实验室的 S555 标准，其 ¹⁰Be/⁹Be = 95.5×10⁻¹²，误差小于 5%。

此次测量总的平均本底值 ¹⁰Be/⁹Be 约为(3.2±0.3)×10⁻¹⁴，黄土-古土壤样品中 ¹⁰Be/⁹Be 之比为 10⁻¹² 量级。鉴此，上述 BeO 样品制备流程能有效降低 B 浓度，满足黄土剖面 ¹⁰Be 研究的要求。

了解 BeO 样品制备实验流程的稳定性，制备 5 组平行样，在 AMS 上同时测量。平行样测试结果(表 3)表明，在定期更换阳离子树脂后，BeO 样品制备实验流程基本稳定，其引入的最大误差为 3.46%，满足黄土样品中 ¹⁰Be 研究的要求。

表 3 平行样测试结果
Table 3 The measurement results of replicate samples

深度 Depth/cm	样品 Samples	$^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ ($\times 10^{-12}$)	样品重量 Weight/g	^{10}Be 浓度 ^{10}Be Concentration / $10^8 \text{ atoms} \cdot \text{g}^{-1}$	相对误差 Relative error/%
228	Be2003_313	4.636	1.14	1.36	3.46
	Be2003_454	4.397	1.12	1.31	
284	Be2003_455	4.930	1.1	1.50	2.47
	Be2003_320	4.721	1.08	1.46	
616	Be2003_107	7.273	1.11	2.19	1.86
	Be2003_445	6.752	1.05	2.15	
780	Be2003_333	5.771	1.16	1.66	0.49
	Be2003_438	5.495	1.11	1.65	
796	Be2003_335	4.586	1.04	1.47	0.40
	Be2003_447	4.919	1.12	1.47	

2 西安加速器质谱仪(Xi'an-AMS)测量 ^{10}Be

除 BeO 样品的制备过程中残留的 B 本底外,在 AMS 测量过程中,任何能产生具有足够能量的 ^7Be , ^9Be , ^{10}Be 的化学过程或物理(核反应)过程,都将叠加到 ^{10}Be 谱上形成本底干扰^[18-22]。已有报道中,3~5 MV AMS 的 ^{10}Be 探测灵敏度,即最小可探测的同位素比值 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 达 10^{-15} 量级的还不多。

2.1 Xi'an-AMS 测量 ^{10}Be 的方法

Xi'an-AMS 是一台基于交替注入的 AMS 系统,整个系统的结构布局和技术特性已有详细介绍^[23]。

Xi'an-AMS 采用的是法国 Raisbeck 提出的二次剥离的分析方法^[24],唯一改进是在高能静电分析器入口处用均匀致密的 Si_3N_4 箔代替碳箔。与传统的 ^{14}C -AMS 选择被剥离的三价离子不同,此法选择剥离后的二价 Be^{2+} 离子,其相对大的流强补偿了二次

剥离的束流损失。穿过 Si_3N_4 时, B^{2+} 离子比 Be^{2+} 离子损失较多的能量和离子。穿过 Si_3N_4 后,则又选择新产生的三价 Be^{3+} 离子,因为二次剥离时的 Be^{2+} 离子能量高于 B^{2+} 离子, Be^{3+} 离子的产额高于 B^{3+} 离子。根据 Raisbeck 用碳膜的估计,此二次剥离过程使 B 离子干扰降低近 500 倍^[24]。我们用均匀致密的 Si_3N_4 箔的分离效果会更好。三价的 Be^{3+} 离子和 B^{3+} 离子经过高色散的静电分析器后,在探测器的入口处被分离开约 3.6 cm,这就进一步抑制了进入到探测器的 B^{3+} 离子数量,提高了 ^{10}Be 的探测灵敏度。

2.2 Xi'an-AMS 探测 ^{10}Be 的最高丰度灵敏度

在 Xi'an-AMS 验收时,对 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 为 10^{-12} 的现代样品, ^{10}Be 测量精度为 1.4%。用 Raisbeck 博士提供的 ^{10}Be 空白样品,测得最小的同位素比值 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 平均为 3.65×10^{-15} (表 4),处于国际领先水平,完全满足国内外 ^{10}Be 的测量研究。

表 4 Raisbeck 博士提供样品的测试结果
Table 4 The measurement results of Dr. Raisbeck's samples

样品 Samples	样品描述 Description	测量时间 Measuring time /min	$^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$	$^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ (校正 Corrected)
SRM-4325	2.68×10^{-11}	10	7.17×10^{-12}	$f = 3.72$
SRM-4325	2.68×10^{-11}	10	7.23×10^{-12}	
359#	Raisbeck	60	9.20×10^{-16}	3.42×10^{-15}
359#	Raisbeck	60	1.30×10^{-15}	4.84×10^{-15}
358#	Raisbeck	60	1.11×10^{-15}	4.13×10^{-15}
358#	Raisbeck	60	9.57×10^{-16}	3.56×10^{-15}
358#	Raisbeck	60	6.14×10^{-16}	2.28×10^{-15}
			平均 Average	3.65×10^{-15}

2.3 Xi'an-AMS 测量 ¹⁰Be 实验室制备样品的情况

依照上述实验流程，2006 年 9 月再次制备 25 个 BeO 样品(包括 4 个本底样品)，在 Xi'an-AMS 上进行测量。如表 5 所示，本次测量的平均本底值为 2.04×10^{-14} ，优于几年前在维也纳加速器实验室的测试结果^[25]，但还未达到 10^{-15} 量级，这可能与我们目前的实验室条件有关。如前所述，尽管我们在 BeO 样品制备过程中改进了设备和优化了流程，但是我

们的实验室仍为普通实验室。对于黄土样品的 ¹⁰Be 研究， 2.04×10^{-14} 的本底虽已满足需要，但是对于开展“就地成因”¹⁰Be 研究，则须将现有的普通实验室改造为超净实验室。

在已完成的 21 个待测样品中，只有 1 个样品的误差超过 5%，3 个样品的误差在 4%~5%，其余样品的测量误差均小于 3%。进一步说明，西安加速器质谱仪已完全满足 ¹⁰Be 测量的需要。

表 5 Xi'an-AMS ¹⁰Be 实验室本底样测试结果
Table 5 The measurement results of blank samples of Xi'an-AMS ¹⁰Be lab

样品 Samples	样品描述 Description	测量时间 Measuring time / min	¹⁰ Be/ ⁹ Be	¹⁰ Be/ ⁹ Be(校正 Corrected)
SRM-4325	2.68×10^{-11}	5	7.53×10^{-12}	
SRM-4325	2.68×10^{-11}	5	7.61×10^{-12}	f= 3.50
SRM-4325	2.68×10^{-11}	5	7.83×10^{-12}	
Be-2006-101	Xi'an-AMS	30	8.46×10^{-15}	2.96×10^{-14}
Be-2006-106	Xi'an-AMS	30	4.35×10^{-15}	1.52×10^{-14}
Be-2006-116	Xi'an-AMS	30	7.16×10^{-15}	2.51×10^{-14}
Be-2006-121	Xi'an-AMS	30	3.29×10^{-15}	1.15×10^{-14}
			平均 Average	2.04×10^{-14}

3 结论

本文作者通过建立详细的阳离子树脂交换淋滤曲线，有效的降低了样品原有 B 的含量；在 BeO 样品制备过程中，通过采用 Mini-Q 超纯水、Teflon 器皿，改用天然气-本生灯的方法将 Be(OH)₂ 转化为 BeO，也适当减少了 B 污染。通过新的流程制备的 BeO 分别在维也纳大学加速器实验室和西安加速器质谱中心测试，其结果虽已满足黄土-古土壤序列 ¹⁰Be 研究的需要。但是，为了开展暴露年龄等方面的研究工作，在 BeO 样品制备过程中还需设法进一步降低 B 的含量，避免 B 的污染。

致谢 作者感谢安芷生院士对 ¹⁰Be 研究工作一贯的支持；感谢沈承德研究员、杨永亮教授和刘克新教授在 ¹⁰Be 研究早期给予指导和帮助；感谢陈茂柏研究员，P.Alfred 博士和赵晓雷博士在 ¹⁰Be-AMS 测量及数据处理方面提供的指导。

参考文献

1 Lal D. J Annual Review of Earth Planetary Science, 1998, 16: 355-388
2 Lal D, Peters B. Cosmic ray produced radioactivity on the earth. Springer-Verlag, Berlin, 1967. 551-612
3 陈文寄, 计凤桔, 王非. 年轻地质体系的年代测定(续).

北京: 地震出版社, 1999
CHEN Wenji, JI Fengju, WANG Fei. Dating of young geological bodies (continued)-new methods and progresses. Beijing: Seismological Publishing House, 1999
4 Lal D. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 424-439
5 Gosse J C, Phillips F M. Quaternary Science Reviews, 2001, 20: 1475-1560
6 Nishizumi K, Kohl C P, Arnold J R, et al. J Geophys Res, 1989, 94: 17,907-917,915
7 Brown E T, Edmond J M, Raisbeck G M, et al. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55: 2269-2283
8 Aldahan A, Possnert G. Nucl Instr Meth, 2000, B172: 513-517
9 Wagner G, Masarik J, Beer J, et al. Nucl Instr Meth, 2000, B172: 597-604
10 Shen C D, Beer J, Kubik P W, et al. Nucl Instr Meth, 2004, B223/224: 613-617
11 Shen C D, Beer J, Liu T, et al. Earth and Planetary Science Letters, 1992, 109: 169-177
12 Shen C D, Beer J, Heller F, et al. Nucl Instr Meth, 2000, B172: 551-554
13 Heller F, Shen C D, Beer J, et al. Earth Planet Sci Lett, 1993, 114: 385-390
14 Beer J, Shen C D, Heller F, et al. Geophy Res Lett, 1993,

- 20: 57–60
- 15 Gu Z Y, Lal D, Liu T S, *et al.* *Geochim Cosmochim Acta*, 1997, **61**: 5221–5231
- 16 Zhou W, Priller A, Beck J W, *et al.* *Radiocarbon*, 2007, **49**: 139–160
- 17 沈承德, 刘东生, Beer J, 等. *中国科学*, 1989, **B7**: 744–751
Shen C D, Liu T S., Beer J. *et al.* *Science in China*, 1989, **B7**: 744–751
- 18 周卫健, 卢雪峰, 武振坤, 等. *核技术*, 2007, **30**: 702–708
ZHOU Weijian, LU Xuefeng, WU Zhenkun, *et al.* *Nucl Tech*, 2007, **30**: 702–708
- 19 Raisbeck G M, Yiou F, Bourles D, *et al.* *Nucl Instr Meth*, 1987, **B29**: 22–26
- 20 Klein J, Middleton R, Tang H. *Nucl Instr Meth*, 1982, **B193**: 601–616
- 21 Southon J R, Vogel J S, Nowikow I, *et al.* *Nucl Instr Meth*, 1983, **B205**: 251–257
- 22 Priller A, Brandl T, Golser R, *et al.* *Nucl Instr Meth*, 2000, **B172**: 100–106
- 23 ZHOU W, ZHAO X, LU X, *et al.* *Radiocarbon*, 2006, **48**: 285–293
- 24 Raisbeck G M, Yiou F, Bourles D, *et al.* *Nucl Instr Meth*, 1984, **B5**: 175–178
- 25 武振坤. 最近 13 万年以来黄土高原中部高分辨率的 ^{10}Be 记录与东亚季风变迁史, 博士论文, 中国科学院地球环境研究所, 2004
WU Zhenkun. High resolution ^{10}Be record from the middle part of Loess Plateau and the reconstruction of East Asian monsoon history over the last 130 ka, PHD thesis, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, 2004

BeO preparation and AMS measurement result for loess samples

WU Zhenkun^{1,2} ZHOU Weijian^{1,2,3} LIU Min^{2,3} YU Huagui^{1,2,4} PAN Caiwen^{2,3} KONG Xianghui^{1,2,4}
LU Xuefeng^{1,2,3}

1 (State Key Lab of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

2 (Xi'an AMS Center, Xi'an 710052, China)

3 (Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

4 (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The classic procedure of BeO preparation for loess-paleosol cannot restrain the concentration of ^{10}B effectively, which results in higher background of ^{10}Be measurement. The procedure has been modified in this paper. It includes detailed eluting curve for cation exchanging, the method of converting $\text{Be}(\text{OH})_2$ to BeO, and the experiment equipments. The measurement results by Xi'an AMS indicate that the background of modified BeO preparation procedure can be lowered to 2.04×10^{-14} on 3MV AMS. The method and measurement results have also been introduced for Xi'an-AMS.

Key words Loess, BeO, Accelerator mass spectrometer (AMS)

CLC TL817*.4