

中国第四纪研究委员会

中国第四纪研究

QUATERNARIA SINICA

第八卷 第一期

Vol. VIII

No. 1

科学出版社

SCIENCE PRESS

中国第四纪研究委员会

中国第四纪研究

QUATERNARIA SINICA

第八卷 第一期

5404/09

Vol. VIII

No. 1

科学出版社

SCIENCE PRESS

1989

内 容 简 介

本期共选编论文 24 篇,其中前七篇主要论述几种测年手段在第四纪地质及考古学中的应用,它推动了第四纪研究的发展。其后的各篇分别介绍了云南剑川盆地和大理盆地全新世沉积物,新断层活动速度,以及洱海湖岸的变化;陕西靖边黄土地层的划分及铜川黄土层中的动物群;晚更新世以来长江中下游地区自然环境的变化;小兴安岭高位泥炭形成环境;中国第四纪火山和黄河中游水系形成等研究成果。

本书可供地质、地理、气象、第四纪地质、古生物、水文地质与工程地质等有关生产、科研和教学人员参考。

中 国 第 四 纪 研 究

第八卷 第一期

中国第四纪研究委员会 编辑

*

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1989 年 6 月第一次印刷 印张:12 1/2 插页:3

印数:0001—700 字数:289,000

ISBN 7-03-000677-1/P·115

定 价: 13.20 元

目 录

地球环境中的宇宙成因核素 ^{10}Be	沈承德、易惟熙、刘东生 (1)
第四纪古人类和旧石器地点测年中的某些问题与我国旧石器文化遗址的铀系年表	陈铁梅 (12)
铀系方法测定泥炭年龄的研究	夏 明、张承蕙、马志邦 (17)
咸阳古冷杉树轮宽度及稳定碳同位素比值测定	刘荣谟、周卫健、刘 禹、孙福庆、周明富、J.Head (26)
中国史前考古中 ^{14}C 年代测定及其意义	仇士华、蔡莲珍、黎兴国 (31)
第四纪沉积物的热释光断代	李虎侯 (41)
秦始皇陵兵马俑一号坑陶俑及红烧土的热释光测年	卢演涛、张景昭、谢 军、王学理 (50)
云南剑川盆地全新世地层系统的建立	袁复礼、何科昭、何浩生、朱照宇、蔺汝宇 (56)
大理盆地全新世沉积、活断层运动速度与洱海古湖岸变迁问题	李祥根 (65)
滇池晚第四纪沉积物的 ^{14}C 年龄和平均沉积速率	周明富 (74)
陕西铜川黄土层中的哺乳动物群及其时代	阎嘉祺、杨梅忠、薛祥煦、张云翔 (79)
陕西靖边大路坨黄土地层的划分	王克鲁、严富华、程国良 (88)
洛川黄土剖面粘土矿物的研究及古环境	张乃嫻、袁宝印 (98)
水对黄土微结构的影响	张梅英 (109)
晚更新世末期以来长江中下游水位的变化	杨达源 (114)
苏南和宁镇地区三万年以来地层的划分及自然环境变化中的若干问题	曹琼英、王富葆、韩辉友 (122)
内蒙古碧流台地区晚更新世地层及沉积环境	陆有泉 (133)
东北地区史前人类的生活环境	尤玉柱、于汇历 (142)
对五千年前低温事件的探讨	杨子赓 (151)
小兴安岭更新山高位泥炭形成环境	尹怀宁 (160)
黄海沿岸若干港湾区海底沉积的孢粉组合及其意义	郭旭东、严富华 (168)
史前地震对渤海湾古海岸形态的影响	赵根模、刘雨田、郑文俊、王若柏 (174)
中国的第四纪火山	刘嘉麒 (180)
黄河中游水系形成史初探	张 抗 (185)
编辑部建议	(194)

CONTENTS

Cosmogenic ^{10}Be in the Earth environment	
..... Shen Chengde, Yi Weixi and Liu Tongsheng (11)	
On the Quaternary chronology and a Uranium series timescale for the most important paleolithic sites in China	Chen Tiemei (16)
Studies on Uranium palaeoanthropologic and series dating of peat samples	Xia Ming, Zhang Chenghui and Ma Zhibang (25)
Measurements of the width and the ratio of stable carbon isotope of tree rings from ancient <i>abies</i> in Xianyang	Liu Rongmo, Zhou Weijian, Liu Yu, Sun Fuqing, Zhou Mingfu and John Head (30)
Radiocarbon dating in Chinese prehistory archaeology and its implication	Qiu Shihua, Cai Lianzhen and Li Xingguo (40)
Thermoluminescence dating of Quaternary sediments	Li Huhou (49)
TL dating of pottery figurines and baked soil from the Xian Terracotta Army site, Shaanxi Province, China	
..... Lu Yanchou, Zhang Jingzhao, Xie Jun and Wang Xueli (55)	
Establishment of Holocene stratigraphic system of Jianchuan Basin, Yun- nan Province	
...Yuan Fuli, He Kezhao, He Haosheng, Zhu Zhaoyu, and Lin Ruyu (64)	
The Holocene sediments and movement rate of active faults in Dali Basin and migration of ancient bank of Erhai Lake	Li Xianggen (73)
^{14}C dating of Late Quaternary sediments in Dianchi Lake of Yunnan Province and its average sedimentation rate	Zhou Mingfu (78)
The characteristics and chronology of a mammalian fauna from the loess at Tongchuan, Shaanxi Province	
..... Yan Jiaqi, Yang Meizhong, Xue Xiangxu and Zhang Yunxiang (86)	
Subdivision of loess strata in the Dalugua area of Jingbian County, Sha- anxi Province	Wang Kelu, Yan Fuhua and Cheng Guoliang (97)
A study on clay minerals in Luochuan loess section and paleoenviron- mental analysis	Zhang Naixian and Yuan Baoyin (108)
Influence of water on microstructure of loess	Zhang Meiyong (113)
Changes of water level in the mid-lower reaches of the Changjiang River since the end of Late Pleistocene	Yang Dayuan (121)
Division of strata and environmental changes in southern Jiangsu Pro- vince and Ningzhen Hilly area in the last 30 000 years	
..... Cao Qiongying, Wang Fubao and Han Huiyou (132)	
On the Late Pleistocene strata and the sedimentary environment in Biliu- tai area, Nei Mongol Autonomous Region	Lu Youquan (141)
Prehistoric environment and Man in northeast China	
..... You Yuzhu and Yu Huili (150)	
On the climatic decline event dated 5 000 years B. P.	Yang Zigeng (158)
Study on the environment for oligotrophic peat bog in Gengxinshan, Xiao Xing'an Mountains	Yin Huaining (167)
The sporo-pollen assemblages of bottom sediments in some harbour regi- ons along the coast of the Huanghai Sea and their significance	
..... Guo Xudong and Yan Fuhua (172)	
Effect of prehistoric earthquakes on the form of fossil coast in the Bohai Gulf	Zhao Genmo, Liu Yutian, Zhen Wenjun and Wang Ruobai (179)
The Quaternary volcanoes in China	Liu Jiaqi (183)
Preliminary study on the formation of hydrographic net along the middle reaches of the Huanghe (Yellow) River	Zhang Kang (192)

地球环境中的宇宙成因核素 ^{10}Be *

沈承德 易惟熙 刘 东 生

(中国科学院地球化学研究所) (中国科学院地质研究所)

一、宇宙成因核素 ^{10}Be

^{10}Be 是宇宙射线高能粒子与大气主要成分氮、氧原子核进行散裂反应的产物,主要核反应为 $^{14}\text{N}(\text{p}, \text{x})^{10}\text{Be}$ 和 $^{18}\text{O}(\text{p}, \text{x})^{10}\text{Be}$, ^{10}Be 的半衰期为 $1.6 \times 10^6 \text{a}$ 。图 1 为 ^{10}Be 产生率与纬度-高度关系剖面^[1]。同温层 ^{10}Be 的产生率随纬度增加而增加,而对流层的 ^{10}Be 产生率几乎保持稳定。约 70% 的 ^{10}Be 产生于同温层,30% 的 ^{10}Be 产生于对流层。大气中产生的 ^{10}Be 主要通过降水到地表。

^{10}Be 的产生率主要由三个因素决定: 第一,宇宙射线通量;第二,太阳调制引起的宇宙射线通量变化;第三,地磁场强度的变化。 ^{10}Be 的产生率直接正比于宇宙射线通量。陨石中各种寿命的放射性宇成核素测定表明,在几百万年中,宇宙射线的通量在 30% 误差范围内是不变的。太阳连续发射的等离子体粒子(太阳风)对宇宙射线粒子有着磁性屏蔽作用,作用范围约达 100A ($1\text{A} = 10^{10}\text{km}$),太阳活动调制效应已通过中子监测实验得到确信。太阳黑子数(11a 周期)与中子计数之间存在明显负相关关系。地磁场可视为偶极场,对宇宙射线起屏蔽作用,并与地磁纬度有关。在赤道附近,纬度效应弱,在极地附近纬度效应大。此外, ^{10}Be 产生率还受其它因素制约,如大气圈混合,沉降及传输作用等。传输作用使得 ^{10}Be 产生率在大气圈中有一空间分布。

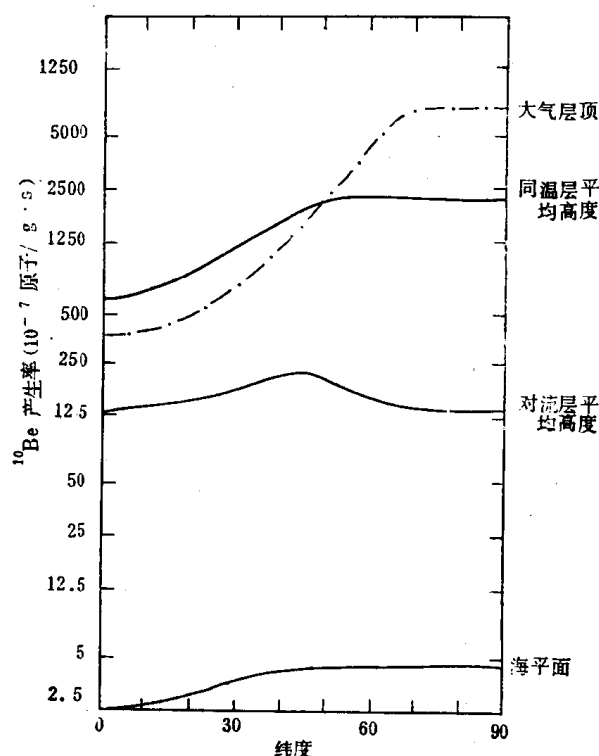


图 1 ^{10}Be 产生率与纬度及高度关系

注: 图中纵坐标 5000—12500 应为 5000—12500

* ^{10}Be 的 AMS 分析和测定是在瑞士 Institute of Physics, University Bern 和 Institut für Mittelenergiephysik 完成的。

表 1 列出了 ^{10}Be 全球产生率,它是由理论计算和大量实验测量得到的,变化范围为 $(1.5-5.0) \times 10^{-2}$ 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。

自 1956 年 Arnold 第一次测定海洋沉积物中的 ^{10}Be 以来, ^{10}Be 的研究已有 30 年历史。由于 ^{10}Be 是 β^- 发射体,早期都采用 β 衰变计数法测定,既费时,所需样品量又极大,所以进展非常缓慢。1977 年加速器质谱计 (AMS) 的出现使得 ^{10}Be 测量灵敏度提高了 5 个数量级,从而大大推动了 ^{10}Be 在各个领域的应用研究。图 2 为用于 ^{10}Be 测量的加速器质谱系统示意图。离子源产生负离子束 (BeO^-),第一偏转磁铁可以选择出其中某些特定质量数的离子,并将它们注入到加速器中。在加速器中,离子束两次获得能量。首先,离子束穿过薄膜或气体剥离器,失去一部分电子变成正离子,负离子从地电位加速到正电压端,然后离子束又从正电压端被加速到地电位,最终能量达 20 MeV 左右。通过静电偏转器,从高能粒子束选择出 +3 电荷态。最后一个磁铁是质量分析磁铁,可将离子束

表 1 ^{10}Be 全球平均产生速率^[2]

作 者	^{10}Be 产生率(原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
Lal and Peters	4.5×10^{-2} (P)
Amin <i>et al.</i>	1.8×10^{-2} (P*)
O' Brien	2.5×10^{-2} (P)
Reyss <i>et al.</i>	2.1×10^{-2} (P)
Raisbeck <i>et al.</i>	4.2×10^{-2} (F)
沈承德等	5.0×10^{-2} (F)
Somayajulu	1.5×10^{-2} (D)
Tanaka <i>et al.</i>	3.0×10^{-2} (D)

*P 为产生率; F 为沉降速率; D 为深海沉降速率。

进行质量分离,丰度高的 ^9Be 束流用 FARADAY 杯接收, ^{10}Be 则用 ΔE -E 探测器测定。一般加速器质谱系统本底为 10^{-14} ,而通常被分析样品的 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比率约为 10^{-12} 。

^{10}Be 的 AMS 测定技术比之早期 β 衰变方法有着十分明显的优越性。假设平均年降水量为 100cm/a , ^{10}Be 全球通量为 10^6 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$,那么降水中 ^{10}Be 浓度约为 10^4 原子/g。若采用探测灵敏度为 1dpm 的衰变法,则要求样品含有 10^{12} 个 ^{10}Be 原子,这相当于需要 100t 水样!对于深海沉积物,若沉积速率为 10^{-3}cm/a ,也需要 1kg 沉积物样品。样品量大,必然导致时间分辨差,失去年代学研究的意义。 10^{12} 个 ^{10}Be 原子对应于 $10^{-11}\text{g}^{10}\text{Be}$ 物质,在 AMS 情况下,制样时可以加入 $1\text{mg}^9\text{Be}$,对应 10^{20} 个 ^9Be 原子,即 $(^{10}\text{Be}/^9\text{Be}) \approx 10^{-8}$ 与目前 AMS 本底 $(^{10}\text{Be}/^9\text{Be}) \approx 10^{-14}$ 相比,意味着用 AMS 测一个水样只需 1000ml 样品,而对于深海沉积物,只需不到 1g 样品量。其它地表沉积物,如湖相沉积物、黄土堆积物和生物体中 ^{10}Be 用 AMS 都可以测定。由于 ^{10}Be 测定技术的进展,目前的工作已深入到研究地球环境的各个方面,如大气圈、大陆沉积物、海洋和生物圈,研究的课题也从测定地表沉积物 ^{10}Be 分布,进入到研究 ^{10}Be 变化与太阳活动关系, ^{10}Be 产生率与地球磁场极性倒转之间关系以及 ^{10}Be 沉积速率与各种传输过程之间的关系,并试图将 ^{10}Be 和 $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ 测量发展成为一种测年手段。下面以笔者近两年所从事的 ^{10}Be 研究作为主要线索,介绍大气圈、大陆和海洋沉积物以及生物圈方面的 ^{10}Be 应用研究进展。

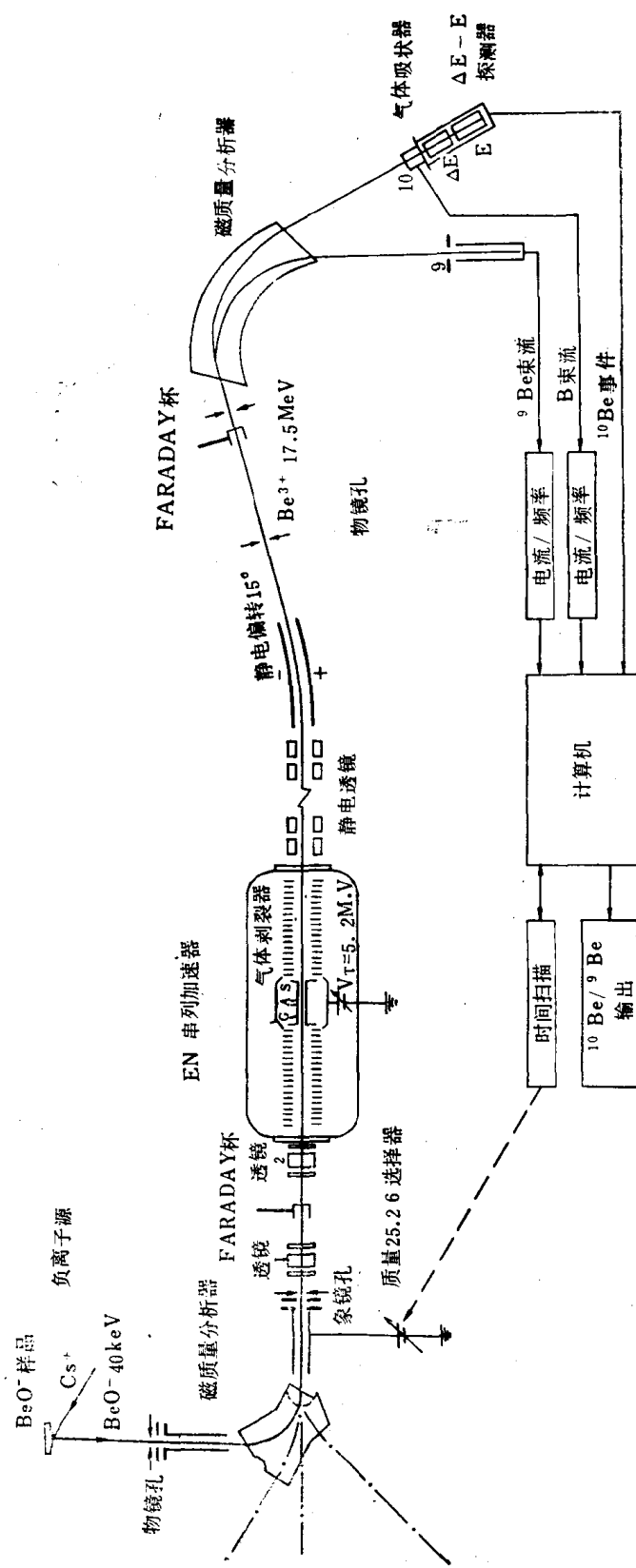


图 2 ETH Zürich AMS 装置示意图

二、大气圈中 ^{10}Be

宇宙射线和大气中氮、氧原子核散裂反应生成 ^{10}Be , ^{10}Be 被气溶胶吸附, 通过降水到地表。 ^{10}Be 在大气圈停留时间约 1—2a。降水中 ^{10}Be 浓度约为 10^4 原子/g。图 3 为世界各地 (8°N — 50°N) 降水站从 1978—1983 年所搜集的雨水中的 ^{10}Be 浓度^[3], 其中“5”号样品是格陵兰 (77°N) 300a 前的降雪, ^{10}Be 浓度为 0.6×10^6 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$; “6”号样品是南极 (74.6°S) 1000a 前降雪, ^{10}Be 浓度为 0.1×10^6 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$ 。如果把北半球纬度从赤道到 50°N 每 10° 划分一个带, 而 50°N — 60°N 带的 ^{10}Be 值用 50°N 附近 ^{10}Be 代表, 则 60°N — 90°N 带用格陵兰 ^{10}Be 值代表, 由 Volchok 模型^[4] 计算得到北半球平均 ^{10}Be 沉降量为 1.41×10^6 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{a}$, 即 4.5×10^{-2} 原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ 。

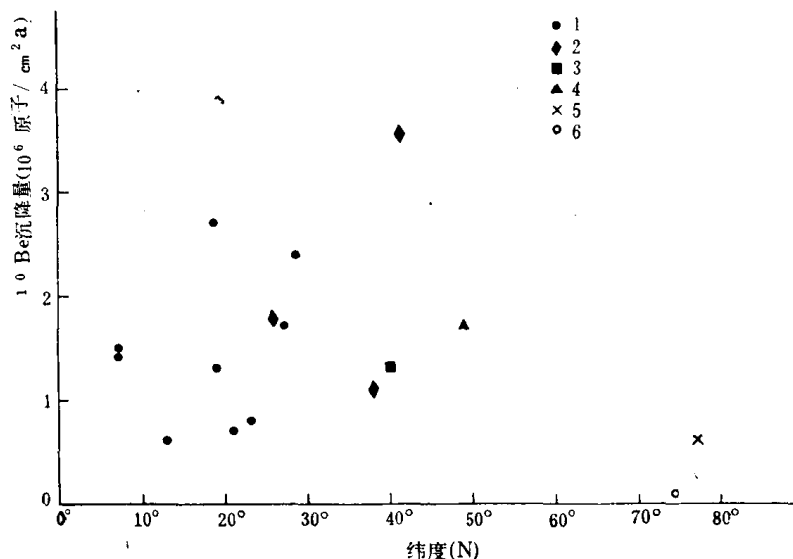
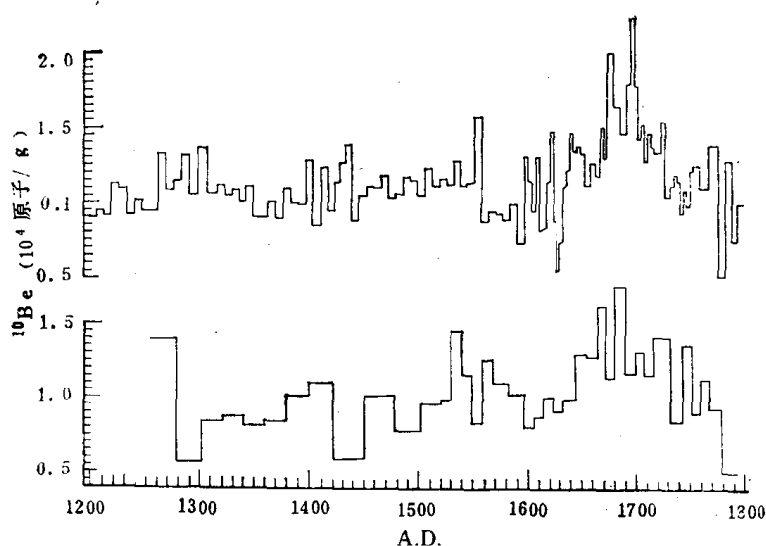


图 3 不同纬度降水中的 ^{10}Be 浓度

1. 沈承德等 2. Monaghan 等 3. Slensland 等 4. Raisbeck 等
5. McCorkell 等 6. A. S. Roisbeck 等

冰是降雪压实后形成的, 是大气降水的历史记录, 直接储存了丰富的气候-环境信息。深冰钻 ^{10}Be 记录可用来研究末次间冰期以来的地球气候历史, J. Beer 和笔者曾于 1984—1986 年对格陵兰 Dye 3 冰钻孔 (孔深 1,930m) 进行了 ^{10}Be 研究, G. M. Raisbeck^[5] 也于 1985—1986 年对南极 Vostok 冰钻孔 (孔深 2,083m) 进行了 ^{10}Be 研究。这两个冰钻均记录了 0.15Ma 以来的气候变化信息。随着冰层深度增加而加重的负荷影响往往会导致冰体水平移动。上部冰层时间分辨可达到 1 年左右, 而底部冰层时间分辨却只有几百年, 甚至更差。为此, 一些工作者常常通过浅冰钻来研究人类历史时间的气候变化及太阳活动, 如格陵兰 Milcent 钻孔, 深 400m, 大约可返回到公元 1180a。图 4 是 J. Beer 给出的 Milcent 钻孔和 Camp Century 冰钻孔样的 ^{10}Be 浓度^[6]。由图 4 可见, 在太阳黑子活动 Maünder 极小期 (1645—1715A. D.), ^{10}Be 浓度有 2σ 增加, 这一时间与地球上出现所谓“小冰河期” (1550—1850A. D.) 相一致。

图4 格陵兰 Milcent 和 Camp Century 冰钻孔的 ^{10}Be 浓度分布

关于太阳黑子活动,也只是几世纪前才有文字记载,通过冰体 ^{10}Be 记录则可以研究更为久远的太阳黑子活动状况。 ^{10}Be 和 ^{14}C 虽都是宇宙成因核素,但是大气圈 ^{14}C 参与各种交换(与生物圈和海洋之间不断地进行交换,直至平衡),对太阳活动的 11a 周期来说,其变化受到 100 倍衰减,而 ^{10}Be 在大气圈只停留 1—2a, 大气 ^{10}Be 变化没有受到衰减。Milcent 冰钻孔 1180a 到 1480a ^{10}Be 浓度变化表明确实存在 11.4a 的周期。

三、海洋及深海沉积物 ^{10}Be

表层海水(100m 以上) ^{10}Be 浓度约 750 原子/g,而深海海水(100m 以下) ^{10}Be 浓度约 2 200 原子/g。 ^{10}Be 在表层海水的停留时间大约 15 a,在深层海水停留时间约 1 000a。海水中 ^{10}Be ,随着粒子沉降,最终进入深海沉积物。由于深海沉积速率低,一般每千年沉积几毫米,所以沉积物的 ^{10}Be 浓度相对较高(见表 2)。

表2 深海沉积物 ^{10}Be 浓度^[7]

样品号	地点	水深 (m)	^{10}Be 浓度 (原子/g)	^{10}Be 沉降速率 (原子/ $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
AET 7606	38°26'S, 61°06'E	5,290	5.28×10^9	0.059
MD 76104	35°50'S, 58°27'E	4,860	5.95×10^9	0.076
MD 76106	38°43'S, 61°25'E	5,220	5.94×10^9	0.057
MD 77215	11°59'S, 78°56'E	5,120	4.46×10^9	0.035
MD 77217	11°56'S, 83°00'E	4,930	7.74×10^9	0.074
V 20-108 ¹⁾	45°27'N, 179°14'E	5,200	5.58×10^9	0.10
V 16-58 ²⁾	46°30'S, 31°16'E	4,731	7.6×10^9	— ³⁾

1) 6 个样品的平均值; 2) 7 个样品的平均值; 3) 质量沉积速率未知。

表中所列深海沉积物均为表层几厘米的样品,大部分来自不同地区和不同沉积环境, ^{10}Be 浓度都较一致,平均值为 $(4.9 \pm 2.0) \times 10^9$ 原子/g。MD 77215 和 MD 77217 两样品

取样地点虽然较接近,但 ^{10}Be 浓度却相差二倍。 ^{10}Be 的显著变化也许反映了沉积环境的差别。我们曾对 DSDP 计划南大西洋 519 钻孔 ($26^{\circ}8'S$, $11^{\circ}40'W$) 的沉积物进行了 ^{10}Be 测定,样品深度范围由 35m 至 55m, 平均取样间距为 10cm, ^{10}Be 结果如图 5 所示。显然沉积物 ^{10}Be 浓度涨落相当大。因此可见,用 ^{10}Be 浓度来确定一个样品的年龄时,必须还要考虑一些其它因素的影响。

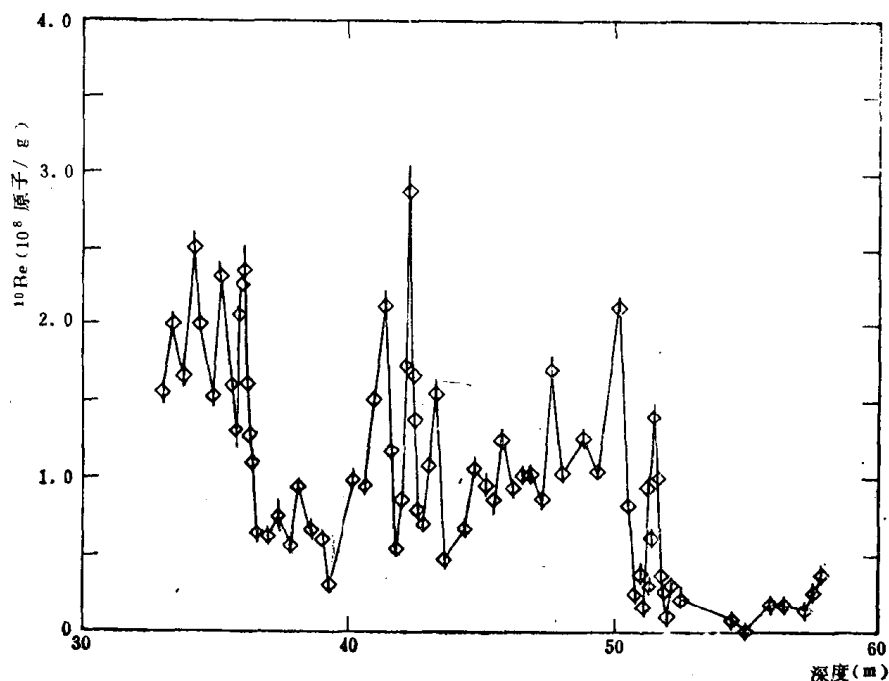


图 5 南大西洋 519 孔深海沉积物的 ^{10}Be 浓度分布

假设沉积物 ^{10}Be 浓度为 $N(x)$ (原子/ cm^3), 则

$$N(x) = \frac{P(x)}{S(x)} \exp [-\lambda T(x)], \quad dT(x) = \frac{d(x)}{S(x)}$$

式中, $P(x)$ 是 ^{10}Be 沉降速率, $S(x)$ 是沉积物堆积速率。 $P(x)$ 受宇宙射线强度、全球气候、生物生产力及海洋循环等因素变化而变化,而 $S(x)$ 也受地球上火山活动、海洋化学环境、物理扰动、生物生产力及地质-地球物理事件等因素的影响。因此,确定沉积物的年龄 (即 $T(x)$) 时,必须假设 $P(x)$, $S(x)$ 不随时间变化。图 6 是北太平洋 GPC-3 孔 ($30^{\circ}N$, $137^{\circ}W$) ^{10}Be 深度剖面^[8],由 ^{10}Be 浓度及衰变规律得出上部 2.2m、2.2—4.7m 和 4.7—10m 的堆积速率分别为 2mm/ka, 1.1mm/ka 和 0.5mm/ka。在 2.2m 和 4.7m 的“ ^{10}Be 年龄”分别为 1.1Ma 和 3.3Ma。

锰结核的生长速率十分缓慢,有三种方法可以对它进行测定。第一,过剩 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 法,这两种核素的半衰期分别为 75 000a 和 34 300a,适用于锰结核表层 1mm 内的生长速率的测定,已测得的结果是 2—4mm/Ma; 第二, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 法, ^{234}U 的半衰期为 248 000a,适用于锰结核外层 4mm 范围的生长年龄的测定,已测得的结果是 1—6mm/Ma; 第三, ^{10}Be 法已测得的结果为 1—8mm/Ma, ^{10}Be 结果还表明在 7—9Ma 期间锰结核生长速率似乎更快些。

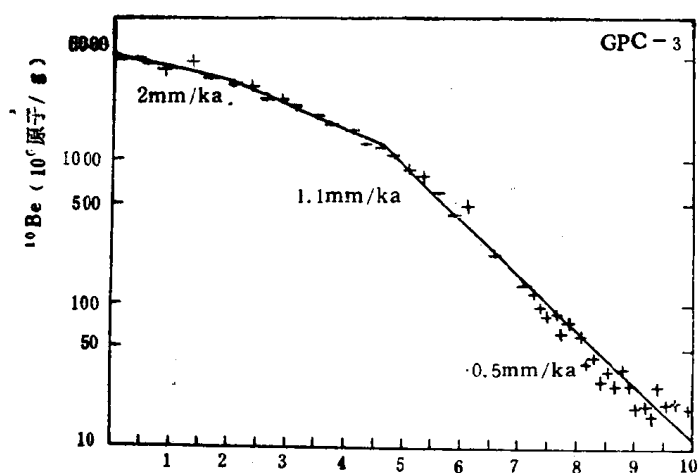


图 6 北太平洋 GPC-3 孔深海沉积物 ^{10}Be 深度剖面 and 沉积速率

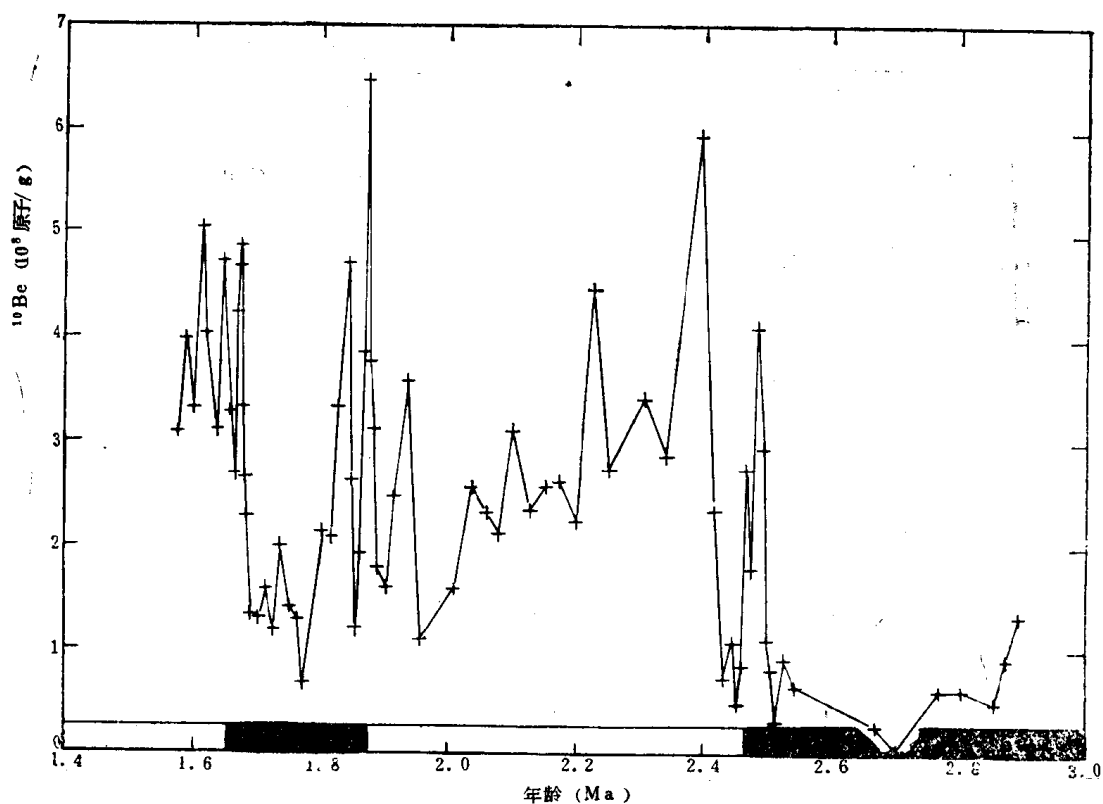


图 7 南大西洋 519 孔深海沉积物 ^{10}Be 深度变化与地磁极性倒转

图 7 给出笔者所测定的 519 孔 ^{10}Be 深度剖面。由图可见在三个地磁极性倒转界线, 即奥尔都维(上) 1.67Ma、奥尔都维(下) 1.87Ma 和松山/高斯 2.48Ma, ^{10}Be 浓度均有 2—3 倍增加。一般认为在地磁场极性倒转期间(约几千年), 偶极场强度减弱到小于正常值的 20%, 从而直接影响到对宇宙射线粒子的屏蔽, 导致宇宙成因核素 ^{10}Be 产生率增加。这一现象说明, ^{10}Be 也许是一种检验地磁极性倒转过程及其性质的一种有效工具。Raisbeck^[9] Vlb-58 钻孔 (46°30'S, 31°16'E) ^{10}Be 深度剖面表明, 在 1129cm 附近的布容/松山界线, ^{10}Be 浓度也有 2 倍增加。

四、大陆沉积物 ^{10}Be

一般说来,大陆沉积物 ^{10}Be 浓度比深海沉积物 ^{10}Be 浓度低,在应用 AMS 技术后,科学家们才对土壤、河流、湖泊、河口和大陆架沉积物 ^{10}Be 进行了广泛研究。

^{10}Be 在土壤中积累及迁移规律可用于土壤发育历史的研究。Brown 认为 ^{10}Be 在土壤中不会渗透很深, ^{10}Be 沉积于地表之后的历史是土壤本身的历史。可是土壤组成和发育历史都较复杂, ^{10}Be 与土壤粘土含量、有机质含量以及铁-锰氧化物之间都存在着某种联系。也许因为 Be^{2+} 电离电位高,易吸附在胶体颗粒和细颗粒的粒子上。Pavich 认为土壤不能很好地保留 ^{10}Be , 在富含有机质的土壤层, ^{10}Be 浓度低。Monaghan^[11] 也认为由于土壤中一些不明的有机组分,造成 ^{10}Be 移动,使土壤层中 ^{10}Be 丢失。

我们研究了黄土堆积物的 ^{10}Be 浓度分布(图 8), 黄土地层剖面由黄土-古土壤系列组成。由图 8 可见,黄土 ^{10}Be 浓度低,古土壤 ^{10}Be 浓度高。进一步研究表明,黄土(或古土壤)不同粒径组分中 ^{10}Be 的浓度分布规律是随粒径增加而降低。黄土(或古土壤)不同 pH 值溶液淋滤试验结果及古土壤层下部的钙结核层的 ^{10}Be 结果表明黄土 ^{10}Be 化学移动不明显, ^{10}Be 在黄土中保存较好。 ^{10}Be 是研究黄土堆积作用的理想的示踪剂,它可用于研究 2.4Ma 以来黄土地层所记录的第四纪长期气候变化。图 8 显示了洛川黄土 ^{10}Be 和深海沉积物 $\delta^{18}\text{O}$ 之间存在极好的相关性。在 $\delta^{18}\text{O}$ 值最负时, ^{10}Be 浓度最高,这种相关性已用于建立黄土地层的 ^{10}Be 时标。

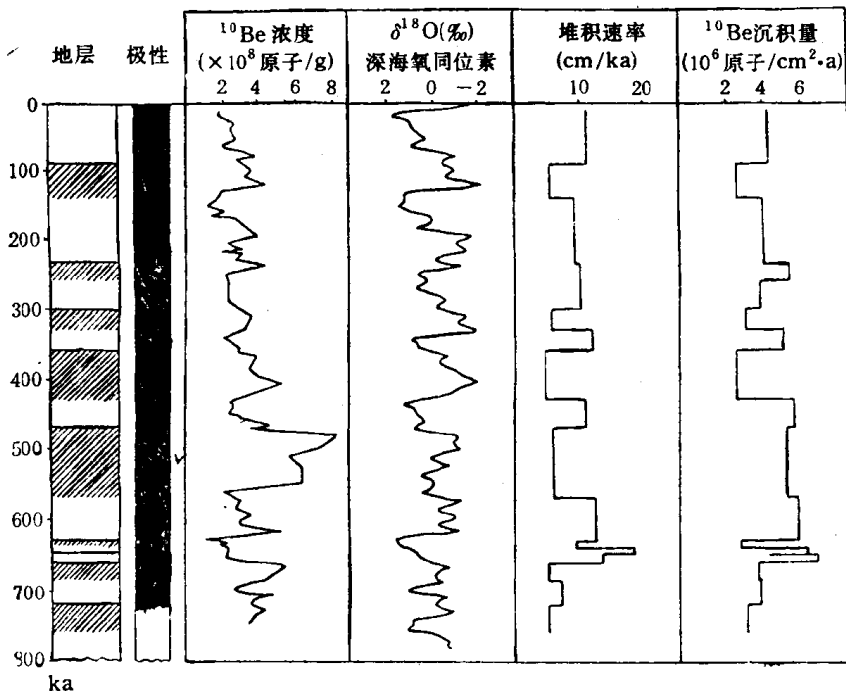


图 8 洛川黄土剖面的 ^{10}Be 及深海沉积物 $\delta^{18}\text{O}$ 之比较

湖泊沉积物 ^{10}Be 也是比较复杂的,湖泊沉积物 ^{10}Be 来源有二,其一是大气沉降 ^{10}Be ; 其二是侵蚀带进的 ^{10}Be 。Raisbeck 对澳大利亚 Keilambete 和英国 Windermere 两

个湖泊沉积物 ^{10}Be 浓度进行了测量, 结果表明 ^{10}Be 浓度都很高, 约为 10^9 原子/g, 比由大气估算的 ^{10}Be 沉降速率高一个数量级, 他认为这是侵蚀带入 ^{10}Be 所致。Lundberg^[12] 对新泽西 Maurice River-Union Lake System 沉积物进行了 ^{10}Be 测定, 发现毫米级硅酸盐颗粒 ^{10}Be 浓度十分低, 约 10^7 原子/g。然而沉积物有机质却有异常高的 ^{10}Be 浓度, 约为 1.5×10^{10} 原子/g。这与上面提到的土壤情况绝然不同, 说明某一类有机质保存 ^{10}Be 能力要比粘土大得多, 这种现象值得进一步研究。1985 年我们对 Gerzensee 湖 3.5 m 钻孔沉积物进行了 ^{10}Be 浓度分析, 同时还进行 $\delta^{18}\text{O}$ 及孢子花粉分析, 并且还通过沉积物有机质 ^{14}C AMS 测定, 给出精确时标, 结果表明 ^{10}Be 浓度变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 变化同步, ^{10}Be 浓度变化灵敏地反映了沉积环境的变化。我们还对 Lugano 湖钻孔样进行了 ^{10}Be 研究, 结果表明在 13 000—10 000a, 沉积物 ^{10}Be 浓度变化在 10—14 倍, 可能反映了该湖于末次冰期为冰封湖, 其后气候变暖, 冰溶化, 冰里长期积累的 ^{10}Be 沉积到湖底沉积物中。Lugano 湖沉积物不同粒径颗粒的 ^{10}Be 测定结果表明, ^{10}Be 主要吸附在 $<1\mu\text{m}$ 颗粒上。我们还对 Zurich 湖 84a (1888—1972 年期间) 的纹泥沉积层进行了 ^{10}Be 测定, 结果表明在沉积速率高时, ^{10}Be 浓度低; 在沉积速率低时, ^{10}Be 浓度高, 进一步研究可望揭示 ^{10}Be 浓度变化与 11a 太阳黑子活动的周期关系。

五、生物圈中 ^{10}Be

树轮记录了大量环境信息。通过对树轮 ^{14}C 测定, 重建了大气圈 ^{14}C 浓度历史。现在树轮年代学已扩展到 9 000a。宇宙射线与树轮物质相互作用同样可以产生 ^{10}Be 。其机制有二, 一是碳原子核的高能散裂反应; 二是氧原子核的高能散裂反应。其它反应如 ^9Be 热中子俘获 ^7Li 和 $(^4\text{He}, ^1\text{H})^{10}\text{Be}$, 因树木中 Be 和 Li 含量极微, 对 ^{10}Be 生成没有明显贡献。树轮中 ^{10}Be 浓度是纬度和高度的函数。

表 3 树轮中 ^{10}Be 产生率*

地磁纬度 (度)	阻挡能量 (MeV)	^{10}Be 产生率 (原子/g·S)
0	1.4×10^4	1.9×10^{-6}
10	1.3×10^4	2.0×10^{-6}
20	1.1×10^4	2.4×10^{-6}
30	7.5×10^3	3.0×10^{-6}
40	4.3×10^3	3.7×10^{-6}
50	1.8×10^3	4.5×10^{-6}
60	3.8×10^2	4.7×10^{-6}
70	2.2×10^{-1}	4.7×10^{-6}
80	10^{-1}	4.7×10^{-6}
90	0	4.7×10^{-6}

* 计算是根据 1948—1949 年期间地球宇宙射线强度并假设树木组成为 CH_2O 。

我们曾对不同高度几种树木树轮进行了 ^{10}Be 测定, 结果表明树轮中自身产生的 ^{10}Be 浓度很低, 一般为 10^5 — 10^6 原子/g, 而且与树木生长高度有关。

我们还对澳大利亚自然博物馆提供的世界各地贝壳样品进行了 ^{10}Be 浓度测定, 结果

表明,不同种和属的化石贝壳, ^{10}Be 浓度有明显差别,高者达 1×10^7 原子/g,低者为 6×10^5 原子/g。现代牡蛎贝壳样品含有一定量 ^{10}Be ,表明牡蛎在生长期间不断从海水中摄取 ^{10}Be 至其碳酸盐贝壳,且有着明显的纬度效应,如加利福尼亚湾贝壳 ^{10}Be 浓度为 1×10^5 原子/g,巴拿马湾贝壳 ^{10}Be 浓度为 20×10^5 原子/g,而且接近赤道处生长的贝壳 ^{10}Be 浓度明显增加。

我们曾对云南禄丰含古猿化石地层的泥炭和淤泥样品进行了 ^{10}Be 浓度分析,若以现代湖泊沉积物平均 ^{10}Be 浓度作为 ^{10}Be 衰变起始浓度,且假设处于稳定沉积条件,根据放射性衰变规律估算 ^{10}Be 年代约为距今 9 000ka,与古人类学研究所得的时代 8,000—14 000 ka 颇为一致。

六、结 束 语

综上所述,目前地球环境中宇宙成因核素 ^{10}Be 研究主要集中于产生率变化及其意义、测年工具以及同位素示踪剂等三个方面。冰和深海沉积物的工作表明, ^{10}Be 是研究太阳活动及日地关系,如 11 年太阳黑子周期,Μünder 极小期等以及地磁极性倒转产生的地球物理效应的有效工具。

作为测年方法, ^{14}C 方法已普遍应用,而 ^{10}Be 的情况则迥然不同。 ^{10}Be 地球化学与 ^{14}C 极不相同。 ^{14}C 是以气体形式在大气圈均匀分布,而且与陆地生物及海洋中的碳不断地进行交换直至达到动态平衡。这使得 ^{14}C 与 ^{12}C 和 ^{13}C 之间保持均衡状态,从而产生率变化影响大大地被衰减,所以 ^{14}C 是一种可靠测年手段。而 ^{10}Be 没有这种平衡的稳定条件。用 ^{10}Be 测年必须知道系统如深海沉积物、锰结核等起始的 ^{10}Be 浓度,并且必须确认被研究对象处于一个封闭的系统之中,从而必需假设 ^{10}Be 沉降速率和沉积速率为常数。因此,截至目前,作为一种测年方法, ^{10}Be 只用于锰结核和某些深海钻孔沉积物。

^{10}Be 是理想的同位素示踪剂,其时-空输入状态已很清楚,风成沉积物 ^{10}Be 浓度可以为其传输、沉积和演化研究提供依据。近代岛弧火山岩 ^{10}Be 浓度则是俯冲到地幔的沉积物数量的指示。

需要特别指出的是只有 AMS 技术的迅速发展, ^{10}Be 和其它宇成核才能被高精度进行测量,从而在各学科领域得到广泛应用。可以相信,随着 AMS 技术的不断提高, ^{10}Be 应用研究将有一个更为广阔的前景。

参 考 文 献

- [1] Lal, D. and Peters, B., 1967, Cosmic ray produced radioactivity on the earth. In S. Flügge (ed.), *Handbuch der Physik*, Band XLVI/2, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 551.
- [2] Monaghan, M. C., Krishnaswami, S. and Turekian, K., 1985, The global-average production rate of ^{10}Be . *Earth Planet. Sci. Lett.* Vol. 76, pp. 279—287.
- [3] Somayajulu, B. L. K., Sharma, P. and Beer, J., 1984, ^{10}Be annual fallout in rains in India. *Nucl. Instr. Meth.* Vol. 233(B5) No. 2, pp. 398—403.
- [4] Volchok, H. L. and Kleinman, M. T., 1971, HASL Quarterly summary report to USAEC. *HASL*, Vol. 245, p. 12.
- [5] Yiou, F., Raisbeck, G. M., Bourles, D., Lorius, C. and Barkov, N. I., 1985, ^{10}Be in ice at Vostok Antarctica during the last climatic cycles. *Nature*, Vol. 316, pp. 616—617.
- [6] Beer, J., Siegenthaler, U., Oeschger, H., Andre'e, M., Bonani, G., Suter, M., Wölfli, W., Finkel, R. C.,

- and Langway, C. C., 1983, Temporal ^{10}Be variations. Cosmic Ray Conf, Bangalore.
- [7] Raisbeck, G. M., Yiou, F., Lieuvin, M., Ravel, J. C., Fruncan, M., and Loiseaux, J. M., 1981, ^{10}Be in the environment; some recent results and their applications. *In Proceedings of the Symposium on Accelerator Mass Spectrometry*, ANL, Argonne, pp. 11—13.
- [8] Mangini, A., Seal, M., Bonani, G., Hofmann, H. J., Morenzoni, E., Nessi, M., Suter, M., Wölfli, W., and Turekian, K. K., 1984, Mass-spectrometric ^{10}Be dating of deep-sea sediments applying the Zürich Tandem Accelerator. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Vol. 233(B5), No. 2, pp. 353—358.
- [9] Raisbeck, G. M., Yiou, F., and Bourles, 1985, Evidence for an increase in Cosmogenic ^{10}Be during a geomagnetic reversal. *Nature*, Vol. 315, pp. 315—317.
- [10] Pavich, M. J., Brown, L., Klein, J., Middleton, R., 1984, Beryllium-10 accumulation in a soil chronosequence. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 68, pp. 198—204.
- [11] Monaghan, M. C., Krishnaswami, S., Thomas, J. H., 1983, ^{10}Be concentration and the long term fate of particlereactive nuclides, in five soil profiles from California. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, Vol. 65, pp. 51—60.
- [12] Lundberg, L., Ticich, T., Herzog, G. F., Hughes, T., Ashley, G., Moniot, R. K., Tuniz, C., Kruse, T. and Savin, W., 1983, ^{10}Be and Be in the Maurice Riverunion Lake system of southern New Jersey. *J. Geophys. Res.*, No. 88, pp. 4498—4504.

COSMOGENIC ^{10}Be IN THE EARTH ENVIRONMENT

Shen Chengde Yi Weixi

(Guiyang Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Liu Tongsheng

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

^{10}Be is mainly produced in the atmosphere by spallation reactions of cosmic ray particles with nitrogen and oxygen. AMS has sensitivity level of $^{10}\text{Be}/^9\text{Be} \sim 10^{-14}$. The investigations of cosmogenic ^{10}Be in the Earth environment concentrate on its production rate, isotopic tracer and dating. The increased ^{10}Be contents of "Maunder Minimum" (A. D. 1,645—1,715) are observed in Milcent and Camp Century ice cores and "Maunder Minimum" is corresponding to the Little Glaciation of the Earth (A. D. 1,550—1,850). The ^{10}Be variations of Milcent core from 1,180 to 1,480 reflect the 11 year Cycle of the solar activity. For South Atlantic core 519, a very clear increased (2—3 times) ^{10}Be contents are observed in the following three geomagnetic reversals: Olduvai (U) 1.67 Ma. Olduvai(L) 1.87 Ma and Matuyama/Gauss 2.48 Ms. As a dating means, ^{10}Be is mainly used to the datings of Mn nodules and some other deep-sea sediments. ^{10}Be data of aeolian sediments are useful for the investigation of their transport and evolution. The correlation between ^{10}Be and $\delta^{18}\text{O}$ is astonishingly good with respect to great climatic changes. This allows to correlate the ^{10}Be loess record with $\delta^{18}\text{O}$ deep-sea records, and to establish ^{10}Be time scales of the loess profile. Since 750,000 a, the ^{10}Be results of the 3.5 m core of Gerzensee Lake have the same variations as $\delta^{18}\text{O}$. ^{10}Be results of Lugano Lake also show a very clear increase of 10—14 times during 13 000—100 000 a and this can explain that the Lugano Lake was once glacial sheet lake during the last Glaciation. The ^{10}Be results of 84-year varve of Zürich Lake (1888—1972) show that ^{10}Be concentration is higher when sedimentation rate is lower. The ^{10}Be concentration modern island arc volcanic rock is the amount indicator of sediment which underthrusts into the mantle.

第四纪古人类和旧石器地点测年中的某些问题 与我国旧石器文化遗址的铀系年表*

陈 铁 梅

(北京大学考古系)

一、

人类的出现和进化是第四纪的主要研究内容之一。但在新旧两个石器时代内,其发展速度有着巨大的差异,从而出现了在年代测定研究中的不同面貌和要求。

新石器时代发展速度快,人对自然的改造剧烈而显著,所以在年代测定上要求较高的精确度。新石器遗址一般是人类活动形成的文化堆积,如墓葬、灰坑和房基等。文化遗物和地层堆积之间的关系比较明确,堆积延续的时间较短,遭受后期侵蚀、扰动、搬运和再堆积的可能性较小。对于这一时间范围, ^{14}C 测年法是一种在理论和技术方面都比较成熟的方法。其精度一般可达100—200a,基本能满足新石器考古研究的需要。另外, ^{14}C 年代数据还改变了考古学中的某些传统观念。

旧石器文化延续时间长,变化慢,因此在各类旧石器文化的年代测定上,对精度的要求目前似乎并不很高。但测年的可靠性和准确性仍然是非常重要的。可惜,目前要做到

表 1 周口店山顶洞遗址年代数据

样品层位	年代值 (ka)	测量方法	文献及标本号
ZK 7:33:88 H 8:33:109	10.77 ± 0.36	^{14}C	中国社会科学院考古研究所 ^{14}C 实验室 ZK-136-0(1)
UC: F9:34:44	18.87 ± 0.42	^{14}C	中国社会科学院考古研究所 ^{14}C 实验室 ZK-136-0(2)
UC, J-11:33	13.20 ± 0.16	加速器 ^{14}C	①
UC: F9:34:42	32.0	加速器 ^{14}C	①
UC: 33:41:06	19 ± 1.0	铀系法	[3]
UC: J6:34:11	21 ± 4	铀系法	[3]
下 窖	35—50	热释光	[8]

① 牛津大学,私人通信。

* 国家自然科学基金资助项目“地 85071 号”。