

DIZHI NIANDAIXUE
LILUN YU SHIJIAN

地质年代学 理论与实践

业渝光 等著



地质出版社



地质年代学理论与实践

业渝光 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书汇集了作者长期从事地质年代学研究的技术方法成果,尤其是年轻沉积物年代学、 ^{210}Pb 测年、 ^{14}C 测年和 ESR (电子自旋共振) 测年等方面的一批原创性成果。这些技术方法成果广泛应用于新生代地层测年,ESR 测年技术还拓展应用于中生代石油地质“哑层”测年。

本书对地矿、石油和海洋部门从事科学调查研究、实验测试、野外生产的广大科技工作者都具有实际参考价值,也适合相关院校师生在教学中使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

地质年代学理论与实践/业渝光等著.-北京:地质出版社,2003.1

ISBN 7-116-03759-4

I. 地… II. 业… III. 地质年代学-研究 IV. P533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 006060 号

责任编辑:蔡卫东 何尧启

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm $1/16$

印 张:24.5

字 数:600 千字

印 数:1—1200 册

版 次:2003 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价:50.00 元

ISBN 7-116-03759-4/P·2342

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

一位化学系的大学毕业生却鬼使神差地迈进了地学实验测试领域，经过近 30 年的潜心耕耘，在这个领域中卓有建树，取得了一系列令同行瞩目的成果。他就是博士生导师、研究员业渝光。

业渝光出生自书香之家，也可能是遗传了父辈的“科学基因”，他对自己的科研事业充满激情，有强烈的事业心和责任感，学风严谨、求真务实。因此，他虽然不是地学科班出身，但由于虚心好学、刻苦钻研，使他较好地实现了学科间的交叉和融合，从而在年轻沉积物年代学测年技术、同位素地球化学和天然气水合物模拟实验技术的研究领域取得若干创新性成果，成为这个领域的学科带头人。目前，他担任着中国地质学会同位素专业委员会委员、中国第四纪科学研究会年代学专业委员会副主任、中国文物保护技术协会释光和电子自旋共振年代学专业委员会委员。

为了能有效地利用代价昂贵的海洋地质样品获取更多的地质年代信息，他带领课题组开展了“稀释技术 ^{14}C 测年及其应用研究”，使样品的用量减少到常规方法用量的 1/10。使用常规方法无法测定的小样品也可以应用 ^{14}C 定年等，经与国内外多家实验室比对，达到了国际先进水平。

注重于源头创新是业渝光研究员的一大特色。在沉积物 ESR（电子自旋共振）测年方面，他做了大量开拓性研究。如“西沙珊瑚礁 ESR 年代学研究”、“西琛一井的 ESR 年代学”、“一种新的古气候指示物——珊瑚礁 Mn^{2+} 信号”和“珊瑚礁 ESR 测年的最大年限和石英 ESR 测年的研究”等，被同行专家认定为国内领先或达到国际同类工作的研究水平。他大胆探索，开拓应用于地质勘探的新领域。对那些既无古生物，又缺少同位素年龄的所谓“哑层”，用沉积物中石英氧空位浓度计算出地层的地质年龄，并成功地对塔里木盆地库车河剖面、胜利油田、华北油田、南海珠江口盆地、渤海盆地、西藏伦坡拉盆地和内蒙古巴丹吉林盆地石油钻井的新、中生代“哑层”的测年取得良好的效果。从而使 ESR 测年技术从新生代向中生代推进。

勇于在科研领域中探索是他取得成功的源动力。他和课题组的同事们共同奋斗完成了“天然气水合物实验模拟技术”课题，建成了我国第一家拥有完全自主知识产权、能够合成沉积物中的天然气水合物的模拟实验室，合成并点燃了“可燃冰”。这项成果引起了社会公众和科技界的重视，被国土资源部评为 2001 年十大地质工作重要进展之一，并被中央电视台等新闻媒体广泛报道。我曾参观过这个实验室，我认为这是高新技术的一个实例。

业渝光研究员走进海洋地质研究门槛，勤于思索、勇于创新、敢于探索，脚踏实地地向前迈进。他先后主持完成国家自然科学基金项目3项、地质行业基金项目5项、山东省自然科学基金项目1项、部控项目1项和局控项目2项。获部科技成果奖多项，发表学术论文80余篇，其中有15篇在国内外外文刊物发表，并有近30篇被SCI、EI等国际著名检索机构收录。目前，他正在主持“863”计划和地质大调查中天然气水合物的研究项目。

一份耕耘一份收获。业渝光研究员和他的同事们在地质实验测试领域取得的一系列重要成果，是对海洋地质研究工作的重要贡献，他也因此获得国务院政府特殊津贴，并被评选为青岛市劳动模范和山东省富民兴鲁先进个人。这也是党组织和群众对他的肯定和褒奖。

我是看着业渝光研究员是怎样走过从一个中学生成长为一名科学家的历程的，对他的每一点进步都感到由衷的欣慰。我相信这部凝聚着他的心血和智慧《文集》出版，既是他本人成果的展示，也是与同行们交流的好方法，必将有利于地质实验测试技术的发展。

在《文集》即将出版之际，写下上面这些话，权以为序，并藉此向业渝光研究员和他的同事们表示真挚的祝贺，并期待着他们新的成果问世。

中国科学院院士



2002年8月1日

目 录

序	刘光鼎
---------	-----

年轻沉积物年代学

几种年轻沉积物年代学简介	(3)
米兰科维奇的夏季日照曲线	(6)
碳酸盐矿物中微量 U 和 Th 的分离、纯化和测试	(8)
要重视和加强年轻沉积物年代学研究	(10)
浅谈地质上的时间尺度和年龄	(14)
年轻沉积物年代学的新进展	(17)
海南岛三亚三井珊瑚礁中稀土元素地球化学特征及其古气候意义	(22)

^{210}Pb 测年与应用

^{210}Pb 地质年代学和现代黄河三角洲	(31)
现代黄河三角洲叶瓣模式的 ^{210}Pb 证据	(33)
^{210}Pb 曲线的标准化	(39)
现代黄河三角洲 ZK226 孔岩心 ^{210}Pb 、Al、Fe、Mn 和 Cu 的地球化学	(41)
现代黄河三角洲 ^{210}Pb 剖面的标准化方法——粒度相关法	(49)
黄河三角洲的 ^{210}Pb 剖面与再沉积作用	(58)

^{14}C 测年与应用

有关使用 ^{14}C 年龄数据的几个问题	(69)
吸收法测定全新世无机样品的 ^{14}C 年龄	(72)
西沙群岛石岛 ^{14}C 年代数据可靠性的初步研究	(73)
稀释技术测定小样品的 ^{14}C 年龄	(82)
^{14}C 测年的新进展——AMS 技术	(87)
^{14}C 测定年代报告 (HD) I	(89)
小样品 ^{14}C 年龄测定中稀释气体的改进	(95)
西沙石岛风成灰岩形成年代刍议	(98)
大气 ^{14}C 比度与地球磁场和海洋的关系	(104)
稀释技术 ^{14}C 测年可靠性的研究	(107)

ESR (电子自旋共振) 测年与应用

有关 ESR 测年的几个问题	(113)
有关电子自旋共振测年中年龄计算的几个问题	(116)
应用 ESR 和铀系年龄讨论西沙石岛风成灰岩基底的年代问题	(124)
西沙石岛风成灰岩的 ESR 和 ¹⁴ C 年龄	(128)
珊瑚礁 ESR 测年的最大年限	(135)
沉积物中石英 ESR 测年的重大进展	(137)
南海全新世珊瑚礁 ESR 和铀系年龄的研究	(139)
ESR 测年在砂金研究中的应用	(145)
珊瑚礁的 ESR 测年	(147)
冲积物中石英 ESR 测年的研究	(153)
西琛一井的 ESR 年代学	(157)
电子自旋共振 (ESR) 测年方法简介	(164)
我国 ESR 测年的研究现状和展望	(166)
南黄海 QC ₂ 孔晚更新世 ESR 年代学的初步研究	(169)
α 辐射效率 k 值确定方法的探索	(173)
沉积物中石英 ESR 测年的研究	(175)
沉积物中石英 ESR 测年功率饱和效应的初步研究	(178)
南海全新世珊瑚礁 AMS ¹⁴ C, ²³⁰ Th/ ²³⁴ U 和 ESR 年龄的对比研究	(184)
晚更新世海岸风成沙 ESR 测年的研究	(187)
石英 E' 心的异常辐照剂量响应	(191)
中国海岸风成沙 ESR 测年的研究	(192)
云南东川古泥石流堆积物 ESR 测年的初步研究	(198)
南黄海 QC ₂ 孔的 ESR 年代学	(202)
ESR 技术在地学研究中的应用	(209)
石英 E' 心的异常辐照剂量响应	(212)
石英氧空位浓度及其地质计时意义	(215)
沉积物的 ESR 测年	(219)
辽河盆地老第三系砂岩层 ESR 测年的初步研究	(227)
南海 ZQ ₂ 孔和 ZQ ₄ 孔晚更新世 ESR 年代学的研究	(234)
珊瑚礁 ESR 年代测定	(238)
珊瑚礁中 Mn ²⁺ 的 ESR 信号及其古气候指示意义	(254)
塔里木盆地库车河烧变岩的形成年龄	(258)
塔里木盆地库车河地质剖面 ESR 研究	(262)
沉积物中石英 E' 心的热力学特性及其地质应用意义	(267)
“哑层”的 ESR 测年研究及其应用	(271)
塔里木盆地深层沉积物石英 E' 心热力学特性	(276)

沉积物中石英氧空位平均寿命的研究·····	(279)
大荔人所在层位贝壳的电子自旋共振年龄·····	(286)
酒西盆地晚新生代地层的 ESR 年代 ·····	(290)

外 文 论 文

Dating of the Basement Beneath Eolianite on Shidao Island with Reference to ESR and U-series Ages ·····	(299)
ESR and U-series Ages of Coral Reef Samples from Shallow Drill Holes in the South China Sea ·····	(304)
Preliminary Study on the Late Pleistocene ESR Chronology of Core QC ₂ in the Southern Huanghai Sea ·····	(313)
ESR Dating of Coral Reefs in the South China Sea ·····	(318)
ESR Dating of Fluvial Sediments Using Ge Center in Quartz ·····	(326)
Abnormal Response to Irradiation Dose of E' Centre of Quartz ·····	(331)
Preliminary Study on the ESR Dating of Quartz in Marine Sediments ·····	(333)
ESR Chronology of Core QC ₂ in the South Yellow Sea ·····	(339)
Abnormal Response to Irradiation Dose of E' Centre of Quartz in Coastal Eolian Sand ·····	(347)
The Late Pleistocene ESR Chronology of Cores ZQ ₂ and ZQ ₄ in the South China Sea ·····	(350)
Mn ²⁺ ESR Signals of Coral Reefs in the South China Sea: Implications for Paleoclimate Indication ·····	(355)
Concentration of Oxygen Vacancies in Quartz from Sediments: Potential for Geochronometry ·····	(360)
ESR Dating Studies of Palaeo-Debris-Flow Deposits in Dongchuan, Yunnan Province, China ·····	(364)
Thermodynamical Behavior of E' Centres in Quartz from Sediments: Potential for Paleothermometry and Geochronometry ·····	(370)
ESR Dating of Late Cenozoic Molassic Deposits in the Jiuxi Basin ·····	(376)

年轻沉积物年代学

几种年轻沉积物年代学简介

业渝光

(地质矿产部海洋地质研究所)

地质年代学是地质科学研究中一个重要的组成部分。它使人们对地质事件有了具体的时间概念。本文主要根据“年轻沉积物年龄测定讲习班”有关应用于海洋地质方面的资料 and 了解到的国内动态,对几种较新的地质年代学方法作一简要介绍,以引起广大海洋地质人员的注意,并期望能得到应用。

1 铀系测年

铀系测年是研究海洋地质的重要手段。这种方法特别适于海洋沉积物、一些碳酸盐、磷酸盐和铁锰矿物等样品。测定的年龄范围理论上讲可测到 100 万 a,在实际应用中一般小于 40 万 a。由于铀系放射性核素很多,半衰期各不相同,使用不同的铀系方法测得的年龄范围也不尽相同。一般来说,所选用核素的测年范围为这种核素半衰期的 4~5 倍。

在测定海洋表层沉积物时,特别要注意某些环境可以使得出的铀系年龄无效。例如,没有压实的海洋沉积有生物和物理过程的扰动,生物的活动使固体相均化,这样的扰动一般发生在表层 5~10cm 的地方,甚至更深一些。海底的海流也能使沉积的固体扰动,滑坡、侵蚀和随之发生的不同时间沉积的周期混合也能导致错误的地层年龄。在使用 ^{210}Pb 法时,更要对这些因素予以重视。

经典的例子是印度洋一个岩心应用 ^{230}Th 和 ^{18}O 同位素地层学(大多数 ^{18}O 地层是用 ^{230}Th 数据做出)的情况。 $\delta^{18}\text{O}$ 显示了已知的冰期层序, ^{230}Th 数据得到这个岩心的堆积速率为 6.1cm/ka,由这个沉积速率所得出的年龄和由 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线得到的年龄非常一致,180cm 长岩心的相应年龄为距今 30 万 a 左右。

还有一个较为复杂的应用(Mangini, 1985),是不规则的堆积-冲蚀和再沉积。在深海中沉积物的堆积是不均一的,甚至在一个小的海洋范围中也是如此,铀系数据表明海流可以改变沉积颗粒的形式。岩心位于中太平洋克拉里昂-克利帕顿断裂区域,在这个区域内沉积物的海底搬运引起海底丘陵边缘的冲蚀并扩展到海底平原,在这个深海丘陵以北到西北,由 ^{230}Th 求出沉积物的堆积作用增加。放射性同位素记录可分成三部分:

(1) 顶部 15cm 为正常的堆积速率,接近预测的 2mm/ka。

(2) 没有过剩的 ^{230}Th 和 ^{231}Pa ,为放射性强度较低的部分,这部分有时含有中新世的碳酸盐。

(3) 分界部分,其中的过剩 ^{230}Th 和 ^{231}Pa 迅速减少,是在第一部分和第二部分之间的不整合处由物理的混合作用形成的。

中太平洋 30 多个沉积物岩心分析结果认为,这样的冲蚀性地区是较普遍的,也就是

说,在过去 30 万 a 间,中太平洋有许多区域是冲蚀为主的。

人们还发现了相反的“集中”(focussing)型地区。这种地区的特点是有一系列快慢交替的堆积速率。在岩心 385BL 中“慢”的堆积相当于 1.8mm/ka ,和预测的沉积速率相近。一般来说,以正常堆积期为主,而高达 20mm/ka 的“快”的堆积速率则相当于短的事件(小于 1 万 a)。在这个岩心中至少可以找到 3 个“集中”事件,铀系年龄测定表明,最近的一次冲蚀事件发生在大约 7 万 a 前,看来与冲蚀和“集中”事件同时发生的看法是一致的,大规模的重新分布事件在距今 7 万 a 左右。此外,岩心 358BL 的记录表明在 7 万 a 前还有其他的沉积物重新分布的事件,由“快”堆积期得出的年龄是距今 7 万 a、13 万 a 和 19 万 a。现在还不知道引起这些底部沉积物流动的原因,但据推测,与气候有一定的关系。

总之,铀系测年是研究海洋沉积物的一个较为成熟的方法,但它在大陆上的应用都不太成功,原因可能是大陆上的条件比海洋复杂,铀系测年的一些前提条件不易满足。虽然海洋的情况比大陆简单,但是,却可能得出一些全球性的资料。

2 ^{10}Be 测年

串联加速器—高灵敏质谱计的使用,使 ^{10}Be 测量更为方便,因而应用得更广。近年来报道也较多, ^{10}Be 是一种宇宙成因的放射性核素, ^{10}Be 被吸附在大气中的颗粒上,随着降雨到达地面。在海洋中,它被颗粒带到洋底,并结合到沉积物和铁锰沉积中,在水柱中的平均滞留时间为 520a 左右。 ^{10}Be 的半衰期为 1.5Ma,其测年的理论极限为 14Ma,所以可用它测到中新世的海洋样品。在海洋史中,这是一段很有意义的时间,它标志着现代深水循环的开始和南极的冰川作用。

2.1 测定锰结核

样品采自中太平洋 (Segl, 1984), ^{10}Be 测定表明,锰结核 0~16mm 一层的生长速度为 2.7mm/Ma ,16~40mm 一层为 4.8mm/Ma ,可以认为,锰结核的内部结构能够反映过去海洋循环的全球性变化。锰结核的深度变化接近于指数分布,表明 ^{10}Be 向海底的供给速率是恒定的,至少在 80 万 a 内是这样(从这个样品相应的厚度得到的年龄)。

2.2 测定海洋沉积物岩心中 ^{10}Be 的分布

岩心取自太平洋中部,这个岩心的平均沉积速率较低,在过去的 1.3Ma 为 1.9mm/ka ,3.3~14Ma 为 0.5mm/ka 。上新世以来沉积速率较高,原因是北半球的冰川作用带来大量陆源物质, ^{10}Be 得出的年龄与古地磁测年(在这个岩心中仅可能得到松山/高斯期边界,2.43Ma)一致,但是还有一个相当大的偏差几乎达 20% (与还不能解释的鱼牙地层学相比)。

文献表明, ^{10}Be 在海洋中的应用是成功的,虽然它的应用仅仅开始,但是其 1.5Ma 的半衰期吸引着人们去做大量的研究工作,以期得到更多的应用。国内目前尚未开展此项工作,但我国的一些学者在美国和瑞士曾开展过这方面的工作,据说也取得了一些相当好的结果。国内尚未开展的主要原因是还没有较大功率的串联加速器,最近原子能研究所正在安装调试引进的美制较大功率的加速器。中科院地球化学研究所和地质研究所都在积极准备这项工作,一旦加速器安装就绪即可以进行方法试验,估计在今后两年内才能正式做

^{10}Be 的样品，这无疑对国内的地学研究将起到促进作用。

3 电子自旋共振法测年 (ESR)

ESR 测年与热释光 (TL) 测年实际上是一对姐妹花，在用 TL 测定矿物的年龄的同时就已开始研究 ESR 测年，但是真正的开始却在近几年，其发展速度非常快。样品晶格中的一些缺陷，电子中心和电子空穴，由于受到样品或周围物质中铀、钍、钾等杂质的放射性衰变所造成的电离辐射，能导致未偶电子（自旋）与时间成线性增加。在高磁场中可以观测到电子自旋共振的微波信号，以确定磁电子的数目，从而达到测年的目的。

3.1 ESR 测定深海沉积物

研究了两个深海沉积物岩心 V12—122（取自加勒比海）和 13519（取自东大西洋）。已知这些岩心的时间-深度关系（用 ^{18}O 和 ^{230}Th 测年），平均堆积速率为 2.5cm/ka 和 1.3cm/ka 。10m 长活塞岩心的时间间隔分别为 40 万 a 和 75 万 a。从已知的时间-深度关系、Th 同位素数据和 K 含量得出沿着岩心剖面浓度所预测的总聚集量，ESR 测定的年龄为 75 万 a，并认为在深海条件下，空穴的热力寿命应大于 75 万 a。

3.2 测定软体动物

用 ESR 测定了一些软体动物的样品（文石质），并把 ESR 年龄样品和 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 法测得的年龄与取样地点海洋阶地已知的地层年代进行了比较。对于这些样品，ESR 至少在 40 万 a 内是一种可信的有效方法。非常有意思的是，无论软体动物的内部和外部都得到了一致的年龄，而铀系则不同。

ESR 测年的主要特点是：①测年的范围较大，可以测到第四纪以前的年龄；②适于测定的样品较多，如大多数有机物、碳酸盐物质及一些硅酸盐矿物；③样品用量较少，3~5g 左右，而且不损坏样品；④制样简便易行。

ESR 是一种很有前途的测年手段，近年来国外已有许多报道，在国内尚鲜为人知，仅在近几个月有些单位正在进行这方面的方法试验。北京大学 ^{14}C 实验室主要做牙齿、骨头和洞穴沉积物等的测年样品。国家地震局 ^{14}C 实验室做珊瑚、贝壳和黄土中石英等的测年样品。从目前的进展看来，可以预计 ESR 测年在近几年内即将成为第四纪研究和海洋地质研究中的基本手段之一。

值得提出的是，以上介绍的几种测年方法没有一种是通用的，都有一定的局限性。每种方法都有最适宜测定的样品和条件，如果不能满足这些前提，测得的年龄可靠性是值得考虑的，最好用几种不同的独立方法测定同一样品，年龄比较一致的数据可靠性大一些，否则在应用年龄数据解释地质现象时要格外慎重。

（海洋地质动态，1986，第 1 期，8~10 页）

米兰科维奇的夏季日照曲线

业渝光

(地质矿产部海洋地质研究所)

提 要 米兰科维奇假说是解释地球气候变动的重要理论,最新同位素稀释质谱分析的铀系年代学和全球“标准”高分辨率氧同位素地层学的研究都证实了这个理论的正确性;更重要的是,米兰科维奇的夏季日照曲线可以提供一个可靠的时间尺度。

关键词 米兰科维奇说,日照曲线,铀系测年,同位素稀释质谱分析,氧同位素地层学

1941年米兰科维奇(Milankovitch)提出,随着黄赤交角的变化,地球轨道偏心率和地球旋转轴岁差的变化,也就是说随着地球旋转运动某些几何学参数的变化,地球接受的太阳能量的分布也要发生相应的变化,从而导致了更新世的气候波动,这就是著名的米兰科维奇假说。米兰科维奇还计算了北半球不同纬度(北纬 80° 、北纬 65° 、北纬 10°)夏季日照强度随着时间的变化曲线(1978年由W.H.Berger重新计算过),坐标的纵轴表示夏季大气圈顶层每天接受日照的平均值(已减去了现在值),横轴表示年代。这条曲线常被人们用来和其他独立方法测得的时间尺度曲线进行对比,以达相互验证之目的。

按照这个理论,间冰期夏季日照时间增加使全球温暖,冰盖融化,海平面上升;冰期夏季日照时间减少,则相反。如果以海平面的高度作为时间的函数应可与米兰科维奇日照曲线相对比。匀速上升的珊瑚礁阶地代表了过去海平面的高度,测定不同珊瑚礁阶地年代和海拔高度等于测定了不同年代时海平面的位置,这些年代应该接近米兰科维奇日照曲线上波峰的年代或稍许滞后一些。测定珊瑚礁阶地的年代,除了极小部分用 ^{14}C 法,大部分用的是铀系法,如对巴巴多斯岛的3个最低阶地的珊瑚做了 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 法测年,分别是8.2万a、10.5万a和12.5万a,这几个年龄值与米兰科维奇日照曲线上(北纬 45°)相应的年代吻合。然而也有不十分吻合的,研究得最多的是末次间冰期的高海平面期,在米兰科维奇日照曲线上最大峰值位于12.8万a,但一些铀系测年的结果表明此时最高海平面却有两个峰(12.5万a和14万a),这就使人怀疑海平面的变化是否仅是由米兰科维奇轨道驱动力引起的。其实,产生这个问题的原因在铀系测年本身。我们现在通常用 α 粒子计数技术进行铀系测年,这种技术是通过测量铀系核素单位时间内 α 衰变的次数来确定这种核素的含量,而不是直接测定样品中这种核素的多少来确定含量。应该说这种技术的精确度还不够高,如测定的年龄是12.5万a,统计误差为 ± 1.5 万a,属正常范围。显然,这样的精度不能适应更深入研究的需要。最近美国学者采用同位素稀释质谱分析的方法测定铀系核素的含量,使铀系测年的精度大大提高,也使米兰科维奇的日照曲线进一步得到证实。同位素稀释质谱法和常规 α 粒子计数法相比,具有样品用量少、效率高、精确度好的特点,具体指标见下表。

方法	样品用量 (珊瑚)	测定的离子或 α 粒子数		年龄 /ka	2 σ 误差		
		^{230}Th	^{234}U		$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	年龄 /ka
质谱法	200mg	5×10^8	2×10^3	120	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	± 1
α -计数法	10g	3×10^8	5×10^3	120	$\pm 40\%$	$\pm 30\%$	± 10

采用这种新技术对已用 α 粒子计数法测定过认为有两个峰的样品重新测量, 发现末次间冰期高海平面期的年代仍在米兰科维奇日照曲线的波峰范围内, 在此期间高海平面至少在 7ka, 这些年代数据和高海平面事件皆可用米兰科维奇的理论解释。Kaufman (1986) 曾以统计学的观点研究了 100 余个末次间冰期高海平面时期可用的铀系测年数据, 得出的结论是末次间冰期高海平面期不能老于 12.9 万 a, 若有两个峰的话, 第二次出现也不能晚于 12.2 万 a, 这一结论和用同位素稀释质谱法测定的结果一致, 这一新技术可以对过去 50a 的时间尺度做出精确的测定。

米兰科维奇的理论同样引起古海洋学家们的兴趣, 假若米兰科维奇驱动力是控制地球气候的主要因素, 由于同位素分馏作用, 气候变化势必影响海水的同位素组成, 从而在有孔虫壳的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录中有所反映, 作为时间的函数应产生一条与米兰科维奇日照曲线相应的曲线。这种关系已为多个深海沉积物的岩心所证明, 更新世的气候波动存在着 10.5 万 a、4.1 万 a 和 2.1 万 a 3 种周期, 它们分别和地球轨道偏心率、黄赤交角和岁差的平均周期一致。但是由于氧同位素地层学受到许多因素的影响, 虽然从世界各大洋取得的许多深海沉积物岩心都反映了冷暖交替的气候旋回, 却没能得到一个统一的时间尺度, 这就影响了氧同位素曲线与米兰科维奇日照曲线的对比。Martison 等一批著名的科学家 (1987) 把全球 7 个用底栖有孔虫测定的氧同位素记录叠加起来, 组成一个 30 万 a 以来深海沉积物的“标准”高分辨率氧同位素地层学, 这个地层学的时间尺度已用 ^{14}C 和铀系年代标定, 然后用 4 种不同假设的轨道旋转计算法, 分别得到各自独立的年代学, 最后进行误差分析和处理再转换成一个时间尺度, 他们认为这个年代地层学是代表全球气候的记录。他们的数据表明, 大约有 50% 的气候记录 (作为 $\delta^{18}\text{O}$ 记录下来) 可以用对轨道驱动力单一地线性反映来描述, 而其余的信号则无法用米兰科维奇假说来解释, 需要进一步研究, 而最重要的是轨道旋转技术能够提供看来可靠的年龄估算 (在和放射性同位素测年比较的基础上)。这个研究表明地球的气候变化还有其他因素的影响。

诚然, 除了地球旋转轨道变化外还有许多因素影响气候的变化, 如灾变事件、造山运动、火山喷发以及现代的人类活动等, 不过就更新世的气候变化来说, 无论从年代学还是氧同位素地层学都有大量的证据表明米兰科维奇的轨道动力起着主导作用。米兰科维奇假说是一个重要的理论, 它不但使我们能了解地球的过去, 更可贵的是可以预测未来地球的气候变化。积极开展这一理论及其相关学科的研究无疑是十分有意义的。

(海洋地质动态, 1987, 第 8 期, 7~8 页)

碳酸盐矿物中微量 U 和 Th 的分离、 纯化和测试

和 杰 业渝光 刁少波

(地质矿产部海洋地质研究所)

铀系方法是海洋放射年代学的重要组成部分, 它可以测定珊瑚礁的年龄、深海沉积物的沉积速度、洋底铁锰和磷酸盐结核的生长速度。此外, 这种方法还可以测定陆源次生碳酸盐(钟乳石、石笋、石灰华)、骨化石、冲积扇土壤、年轻的火山岩和天然水体等的年龄。

地矿部海洋地质研究所铀系实验室筹建于1987年5月, 同年9月分别使用国产DO33大孔强碱性阴离子交换树脂、D235大孔强碱性阴离子交换树脂、717[#]强碱性阴离子交换树脂, 和进口AG1、AG50离子交换树脂及3种树脂有关的化学流程, 进行了碳酸盐矿物中微量U和Th分离及纯化的试验。经过比较, 选定了所需的化学流程和离子交换树脂。化学流程简述如下: 碳酸盐样品在HCl中溶解, 加入²³²U-²²⁸Th示踪剂, 用Fe(OH)₃共沉淀U、Th, 再用8N HCl溶解沉淀上阴离子交换柱进行U、Th分离。分离后的U逐次用异丙醚、TBP-CCl₄溶液和TTA二甲苯溶液萃取、纯化, 最后制成 α -薄源。Th则进一步通过阳离子交换柱, 再用TTA二甲苯溶液萃取、纯化, 也制成 α -薄源。采用四路 α 谱仪(北京核仪器厂生产)测试U和Th的 α 粒子能谱, 探头的有效面积大约为300mm², 仪器的能量分辨率大约为55keV左右。

1983年, 国内开展了铀系国内对比计划(USCP), 经9家实验室测定, 选定了SS-1和SS-2为国内铀系标样, 这两个标样经国家有关部门审定为国家一级标样。为了校验所选的化学流程和测量系统, 我们于1988年5月进行了SS-1和SS-2两个标样的测试工作。这两个碳酸盐标样取自贵州犀牛洞, 皆为白色文石, 未风化, 样品中不含有²³²Th, 表明样品处于化学封闭体系。铀含量分别为 $(9.31 \pm 0.16) \times 10^{-6}$ 和 $(2.20 \pm 0.11) \times 10^{-6}$, 两个样品的年龄相应为 $84 \pm 3.3\text{ka}$ 和 $117 \pm 5\text{ka}$ 。著名的美国南加州大学地质系的顾德隆实验室也参加了铀系国内对比计划并提交了测试数据。这说明这两个标样的数据可靠, 并得到国外同行权威实验室的验证。

现把我们测定SS-1和SS-2的数据及铀系国内对比计划测定的平均值列入下表。

样品号		U/10 ⁻⁶		²³⁴ U/ ²³⁸ U		²³⁰ Th/ ²³⁴ U		年龄×10 ³ a	
		对比计划	海地所	对比计划	海地所	对比计划	海地所	对比计划	海地所
SS-1	1	9.31±0.16	9.47±0.22	1.85±0.07	1.817±0.035	0.566±0.016	0.575±0.016	84±3	86±3
	2	9.31±0.16	9.46±0.21	1.85±0.07	1.820±0.030	0.566±0.016	0.573±0.014	84±3	86±3
SS-2		2.20±0.11	2.16±0.04	1.42±0.04	1.45±0.02	0.688±0.019	0.674±0.02	117±5	112±5

为了进一步检验化学流程的可靠性和仪器的稳定性，我们还进行了一次 SS-1 样品重复性的试验，结果也列入下表。这些测试的结果和标样的数据完全一致，这表明采用的化学流程和测试仪器是可靠的，完全可以满足铀系测年的需要。

我所铀系实验室的建成不但延长了 ^{14}C 测年的年限，而且为我们正在进行的 ESR 测年打下了必要的基础，使年轻沉积物年代研究的测试手段逐步配套，年代的测试范围可从 100a (^{210}Pb 法) 直到 1Ma (ESR 法)。

(海洋地质动态, 1988, 第 9 期, 19~20 页)