

第四纪地质年代学和定年方法及应用

桑海清 裴 冀 王松山

(中国科学院地质研究所 北京 100029)

[摘要]第四纪样品的同位素定年是一个常见的较困难的地质问题。近几年来,由于质谱分析、热电离质谱计、加速器质谱计和样品分离技术的进步,第四纪地质年代学及定年方法发展非常迅速。K-Ar 和 Ar-Ar 定年、 ^{14}C 、铀系、FT、TL 和 ESR 定年等已能为地球演化及第四纪以来古气候及古环境的变化提供准确的时间标尺。宇宙成因核素,例如 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 和 ^{39}Ar 可以用于地球表面的侵蚀定年、冰川作用和冰川消退定年、地下水年龄测定及地球物质形成年龄和暴露年龄的测定,大大提高了测量灵敏度、测量精度和测量速度。这些定年方法在第四纪地质年代学 and 同位素地质科学中获得了很大进展。上述方法的实现及潜在的应用将在第四纪地质学及地球科学中发挥重要作用。本文讨论了这些方法的特点、优越性、局限性及其意义。

关键词:第四纪地质年代学 定年方法 应用

1 引言

时间在地球科学研究中占有重要地位,无论是探讨地球或天体物质的形成与演化,还是研究地球系统的变化及地质体生成顺序,都与时间密切相关。一定的矿藏总量通常与一定的地质体相联系,而地质体又是在特定的地质历史时期形成的。例如太古代至元古代的金(占世界金矿储量的 70%)^[2]、太古代的铁、上古生代的煤,中生代的石油和天然气等,充分显示出它们的时间属性。整个自然界,从宇宙尘埃到太阳,从原生生物到人,无不处于永恒的产生、变化和消亡之中,无处不有时间的烙印^[1,7]。

追溯地球的演化历史是地球科学研究的任务之一。地球形成至今已有 46 亿年^[1]的历史了,这与人类发展历史相比是非常漫长的。显然人们认识和探讨地球演化历史存在许多困难,为了研究的方便,根据几次大的环境变化等因素,将这段漫长的历史从老到新划分为 5 个时代区段;即太古代、元古代、古生代、中生代和新生代。各时代段还可细分,例如新生代可分为第三纪和第四纪,第四纪可再细分为更新世和全新世。

第四纪是地球发展历史上最短最新的一个地质时代,包括现今在内仅有 200 万年^[1]左右的历史,与漫长的地球历史相比,只是短暂的一瞬,但是就在这一短暂历史中却产生了人类。所以研究第四纪地质年代学及定年方法与应用,对人类发展与生存环境及国计民

生都有十分重要的意义。

研究第四纪地质学的一个重要问题就是对地层进行划分和对比,这是研究海陆变迁、生物演化、气候和环境变化、冰期和间冰期的更替、海底扩张和板块运动等重大地质课题的基础^[3],解决这些问题的关键就是同位素地质年龄的测定。然而选择何种样品、何种方法才能得到真正反映地质事件的时代,何种样品适应于何种方法定年,测定年龄的范围有多宽,本文将对这些问题进行一些简介和讨论。

2 第四纪定年方法概述

近年来,随着高精度测试手段的应用及分析测试技术的不断完善,以及全球系统变迁研究的深入进行,极大地推动了第四纪年代学迅速发展,其定年方法之多,适用领域之广,是其它任何地质时代区段所不能比拟的,而在诸多方法中,质谱法测定是一种强有力的手段。除生物地层法外,同位素定年方法已有十几种之多(见表1)。例如 K-Ar 释法、Ar-Ar 快中子活化法、不平衡铀系法、¹⁴C 法、裂变径迹法、热发光法、古地磁法、氨基酸法、电子自旋共振法及沉降核类法等,充分显示了第四纪年代学的重要性。

第四纪定年方法测定年龄的基本原理依赖于元素的放射性,基本上可归结为 3 种。

2.1 利用元素的放射性衰变定律定年^[5,6,11],即根据放射性同位素母体与子体比值大小确定含有这种同位素的样品所经历的时间,这个时间常被称为绝对年龄,以区别于生物地层法确定的相对年龄。一般分为两种情况:一是同位素母体和子体到达放射性平衡,如⁴⁰K 经 β 衰变俘获变成⁴⁰Ar。另一种是同位素母体和子体未达到放射性平衡,如不平衡铀系法,即 U、Th 衰变系列的母体和子体同位素之间常常处于放射性不平衡状态,导致其衰变产物(子体同位素)的不足或过剩,进而根据这种不足产物的积累或过剩组分的衰变规律定年。常用的有²³⁰Th-²³²Th、²³⁴U-²³⁸U、²³⁰Th-²³⁴U、²³⁰Th-²³⁴U 及²³⁰Th-²³¹Pa 法等。

2.2 沉降核类法定年^[10,11,13,18]:天然核反应和人工核实验不断产生各种放射性同位素,这些放射性核素通常要参与大气圈、水圈及生物圈的循环而沉降到地表上,当吸收或含有这种放射性核素的生物或沉积物与外界停止同位素交换后(即生物死亡、沉积物沉淀等),这类核素就以一定的衰变规律而衰变。根据这些核素在被测样品中的放射性同位素比值(或含量)来计算年龄。¹⁴C 法便是依据这一原理建立的。其它可用于定年的核素还有:³He、³H、¹⁰Be、²⁶Al、³²Si、³⁶Cl、³⁹Ar、⁵⁵Fe、¹²⁹I、¹³⁷Cs 及²¹⁰Pb 等。

2.3 利用一些物质中天然放射性所造成的放射性损伤(裂变径迹)或发光强度来定年,例如裂变径迹(FT)、热发光(TL)及电子自旋共振(ESR)等^[6,17]。

以上 3 类定年方法中,每一种具体方法都有其独立的原理、条件、测试方法、适用范围(见表1)和年龄计算公式,其细节问题有关文献已有专门论述,这里只作综合对比,不再详述。

在第四纪年代学中,应用广泛和比较成熟的方法是 K-Ar 法、铀系法、¹⁴C 法、裂变径迹法和热发光法。无论那一种方法都有其针对性和局限性,各具专长,互相补充。例如 K-Ar 法主要适用于火山岩(含火山灰、火山渣及火山玻璃)的年龄测定,第四纪沉积物中的火山岩夹层,特别是含化石地层中的火山岩(灰)夹层,是确定地质时代的理想对象。但 K-Ar 法除对沉积物中的海绿石可定年外,对其它沉积物样品的定年就无能为力,而铀系法

及沉降核类法是确定大洋和湖泊中沉积物及碳酸盐沉积速率和形成时代的有效方法^[4]。特别是铀系法对测定珊瑚年龄可谓“得心应手”，但它对测定软体动物贝壳的年龄却很不适用。而¹⁴C法正好可以用软体动物贝壳、动物骨骼(化石)、死亡的生物残骸等含碳物质来测定年龄，所以对考古研究具有独到之处。此外常用于考古研究定年的还有热发光法和电子自旋共振法。¹⁴C、³⁹Ar、³H、³He等核素可用于测定地下水的年龄。²¹⁰Pb法能测定100年来的冰雪堆积时代。裂变径迹法测定的主要对象是火成岩中的含铀矿物，例如锆石、榍石、磷灰石、火山玻璃等。显而易见，不同方法适用于不同的测定对象(样品)，各种方法都不是万能的，也不是某种方法不好，只是使用不当而已。另外某些样品可以同时用几种方法定年，例如山火岩样品，除适合K-Ar法和裂变径迹法定年之外，近年来热发光和铀系法也开展了火山岩样品的定年工作^[15]，并取得了较好的效果。

上述情况主要是对测定对象(样品)而言，实际上即使测定对象选择很合适，还有一个适合测定的时代区段的限度。各种方法都有其适于测定年龄的“时限”(见表1)，超过这个时限范围也就无能为力了。例如K-Ar法测定小于5万年样品就较困难，¹⁴C法测定大于5万年样品也较困难^[16]。K-Ar和¹⁴C法之间的年龄间断，正好可用裂变径迹、铀系和热发光法来测定。但裂变径迹法要求所测样品的铀含量须大于1000μg，才有希望测定小于10万年的地质年龄。

表1 第四纪地质年龄测定方法简介

定年方法		半衰期(年)	测定范围(年)	适用样品	应用领域
钾 氩 法	K-Ar	1.31×10^9	$\geq 5 \times 10^4$	含钾矿物和岩石	火山岩、火山碎屑岩及火山灰定年
	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	1.31×10^9	$\geq 5 \times 10^4$	含钾矿物、岩石、陨石、硅质岩	火山岩定年、地质体和陨石热历史研究
铀 系 法	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	2.5×10^5	$10^3 \sim 10^6$	珊瑚、贝壳、碳酸盐、钙质生物软泥	海、湖相沉积年代
	²³⁰ Th/ ²³² Th	7.5×10^4	$10^3 \sim 10^6$	海湖沉积物、贝壳、骨化石	海、湖相沉积速度及沉积层年龄
	²³⁰ Th/ ²³⁸ U	4.51×10^5	$10^3 \sim 10^6$	海湖沉积物、贝壳、骨化石	海、湖相沉积速度及沉积层年龄
	²³⁰ Th/ ²³¹ Pa	3.25×10^4	$10^3 \sim 10^6$	海湖沉积物、贝壳、骨化石	海、湖相沉积速度及沉积层年龄
	²³⁴ U/ ²³⁸ U		$10^3 \sim 10^6$	珊瑚、碳酸钙	海湖相、陆相沉积物定年
	²²⁶ Ra/ ²³⁰ Th		$10^3 \sim 10^6$	海相红粘土、球状海泥、贝壳、骨化石	快速堆积盆地的沉积速度

(接下页)

沉降核类法	^{14}C	5730	$n \times 100 \sim 5 \times 10^4$	泥炭、贝壳、骨骼、化石碳酸盐、树木	考古、海陆变迁、生态环境、土壤、冰川年龄
	^{10}Be	1.5×10^6	$2.5 \times 10^4 \sim 8 \times 10^6$	沉积物、红粘土	深海和陆相沉积层年代
	^{26}Al	7.4×10^5	$< 10^6$	沉积物	$^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 、宇宙尘通量、地磁倒转、定年等
	^{36}Cl	308000	$5 \times 10^4 \sim 3 \times 10^6$	火成岩、变质岩矿物	冰积物和地下水定年、岩石定年及侵蚀速度
	^{39}Ar	269	< 1000	天然水、冰、雪	冰川、地下水定年
	^{210}Pb	22.26	< 100	积雪、降水、海湖相软泥等	积雪年代、湖泊沉积速率及环境污染等
	^{32}Si	500	< 3000	海湖相软泥、天然水	近代湖泊沉积速率及定年、地下水定年
	^3H	12.5	30	天然水、冰	冰川、地下水定年、陆地水文、水源污染
	^{55}Fe	2.7	10	海湖相软泥、天然水	现代湖泊、港口沉积速率、环境污染
	^{137}Cs	30	10	海湖相软泥、天然水	现代湖泊、港口沉积速率、环境污染
TL(热发光法)			$10^3 \sim 2 \times 10^6$	考古样品、陨石月岩、火山岩、贝壳、陶器等	海、陆相沉积层定年、火山岩、陨石考古定年
FT(裂变径迹法)			$10^3 \sim 2 \times 10^6$	含铀样品、云母、锆石、磷灰石、火山玻璃	岩石矿物定年、热历史研究、考古研究
ESR(电子自旋共振)			$10^3 \sim 5 \times 10^6$	化石、骨骼、珊瑚、洞穴沉积物、硅藻类	考古研究、近代沉积定年
古地磁法			$10^4 \sim 10^7$	火成岩类等	确定古磁极年代

3 第四纪定年方法的特点及制约

3.1 第四纪定年方法虽然较多,但因放射性元素半衰期长短不同,被测样品性质不同,各种方法的应用领域也不同。每种方法都有一定的局限性,要求限于一定的测试样品和一定的时间范围。例如,热发光法定年的最小时间为几万年,最大时间随测试样品的不同而不同,石英可测年龄范围为 50 万年以内,而方解石可测定到上百万年。

3.2 测定年龄的时段范围较小,从几十年到 200 万年左右。要求定年方法必须满足适于测定年青样品小年龄的条件,即高灵敏度、高精度、低本底及相应的样品化学分离技术。那些测定老齡的 U-Pb、Rb-Sr、Sm-Nd 等方法,虽然实验方法十分成熟,但无法测定第四纪

年青样品的年龄。

3.3 实验条件要求很高,由于第四纪样品所经历的时间较短,放射性元素衰变子体及放射性物质的放射性强度都很小,所以要求实验系统的本底尽可能低,污染尽可能小,仪器的灵敏度和精度及稳定性都必须很高,同时实验流程的操作也要特别严谨仔细,这也是第四纪年龄测定的难度所在。正是由于各方面要求的条件很高,一些方法很难得到广泛的应用。例如 ^{10}Be 等沉降核类丰度都很低,要求低本底高水平的测试技术,一般实验室无法满足条件。目前只有少数发达国家的几个实验室在做这方面的工作。 ^{14}C 定年的最大困难是污染问题^(17,18),如样品若混入1%的原始碳(死亡的碳),测得的年龄值就要增大近百年。要测定6万年的含碳样品,污染量必须小于0.01%,测定10万年的样品,污染量必须小于 10^{-5} ,这样的要求一般实验室难以满足。现代 ^{39}Ar 的放射性强度比 ^{14}C 要低几十倍,显然测量 ^{39}Ar 要极低的本底⁽²⁰⁾,实验条件要求都十分苛刻,因而限制了它们的发展。

4 第四纪定年方法的新进展

由于技术上的进步,国外一些先进实验室相继引进或建造了高灵敏、高分辨、低本底气体源质谱计、加速器质谱计及热电离质谱计,极大的促进了第四纪年代学深入发展。近年来我国几个实验室也装备了同类仪器,并开展了一些有意义的工作。

4.1 高灵敏度 Ar 同位素质谱仪器的应用

我国目前用于 K-Ar 和 Ar-Ar 定年的质谱仪器仍为 RGA-10(电扫描)和 MM-1200(磁扫描)两大类型。经改进的 MS-10 或 RGA-10 质谱计(英国 VSS 公司)灵敏度为 $8.4 \times 10^{-6} \text{ A/Pa}$, 仍然是进行微量 Ar 分析的较好仪器,而且英国、澳大利亚、加拿大等国几个先进实验至今还在使用。它虽然没有 VG 质谱仪器(MM-1200、MM-3600)的灵敏度高,但具有体积小(小于 1L)、价廉、操作维护简单等优点。特别是它属于电扫描仪器,对 ^{40}Ar 的加速电压仅为 100V,所以二次离子产率和记忆效应极小,对测定第四纪样品极为有利,只要严格具备实验条件、充分进行样品的预处理,测定小于 10 万年的第四纪样品还是有可能的。MM-1200 质谱计灵敏度为 $7.5 \times 10^{-6} \text{ A/Pa}$,也是用于 Ar 分析的良好仪器,但它对 Ar 的加速电压达 4000V,产生二次离子的几率较高。这两类仪器测定小于 5 万年样品的年代都有困难。

拥有 MM-3600 质谱仪器的国外实验室,除做激光熔样 Ar-Ar 年龄谱及低钾矿物的定年外,也开展了第四纪样品的 K-Ar 和 Ar-Ar 定年。由于仪器灵敏度高($1.5 \times 10^{-5} \text{ A/Pa}$),静态本底小,使 Ar 法年龄测定的上限达到了 3×10^5 年⁽¹⁹⁾,精度可达 70%。因此可以说几乎整个第四纪时期发生的地质事件都可用 K-Ar 稀释法和 Ar-Ar 快中子活化法来测定年龄。

4.2 热电离质谱计的应用

近年来随着热电离质谱仪器(VG-354、VG-Sector54、MAT261、MAT262)、电子学、离子光学、真空技术、检测技术、样品化学分离技术的改进及直接涂样技术和负热电离质谱(MAT262、FVG-Sector54)分析技术的实施,极大地改善了样品的电离效率,增强了质量分辨本领及离子传输能力,大大降低了本底噪声,提高了测量精度和灵敏度,进而在同位素地质年代学和同位素地球化学领域内开辟了一些新用途。不但可以测定矿物的 K-

Ca、Lu-Hf、Re-Os、La-Ba 年龄,而且还适用于铀系年龄测定。热电离质谱法替代 α 计数法进入铀系年龄测定领域后,可大大提高测量精度和速度,减小样品用量。Lunderg (1989)和 Volpe(1991)分别用常规热电离质谱法测定了珊瑚及洞穴方解石沉积物的 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{236}U 、 ^{238}U 、 ^{229}Th 、 ^{230}Th 、 ^{232}Th 和火山岩中的 ^{226}Ra 、 ^{228}Ra 的同位素含量及年龄,表明热电离质谱法无论在测量精度(1%~2%)和样品用量(小于 1g)方面,还是在测量耗时方面都远远优于 α 谱仪计数法,尤其是采用热电离质谱法不需要进行本底校正。但是如果用 α 谱仪计数法测量,样品用量至少 5~10g,需耗费几天时间测量,测量精度仅为 5%~10%。显然采用热电离质谱法测定铀系年龄比 α 计数法要优越得多,关键需要高精度、高灵敏度、高分辨、低噪声、低本底的热电离质谱分析系统。

4.3 超高灵敏度加速器质谱系统的应用

80 年代以来,美国、澳大利亚、瑞士、以色列等国相继建成了加速器质谱系统,推动了第四纪年代学的深入发展。近年来我国上海原子核研究所、中国原子能研究院、北京大学等单位先后建成了加速器质谱系统,这使 50~60 年代提出的 ^{10}Be 、 ^{36}Cl 等定年方法得以实现。由于测量精度和准确度明显提高,扩大了一些方法的适用范围,例如测定大于 5 万年的 ^{14}C 年龄已不再稀罕,从而使 ^{14}C 和 K-Ar 法之间存在的年龄空档得到弥合。这一超高灵敏度同位素分析技术的应用,把常规的放射性(衰变法)测量变为原子计数测量,其灵敏度比常规技术提高几个数量级,可达 10^{-15} ^[11,13],这无疑给第四纪样品的年龄测定开辟了新的前景。比如每克现代碳中含 ^{14}C 原子数 6×10^{10} 个,每分钟衰变 ^{14}C 核子数为 13.5 个,若用常规技术测量,三天只能测到 ^{14}C 原子总量的百万分之一,但用加速器质谱法测量,即使探测效率仅有 1%,仍然可能测到 10 个半衰期以后的残留 ^{14}C 原子数。表 2 可进一步说明这一问题。

表 2 碳同位素及单位时间衰变的 ^{14}C 核子数

样品年龄(年)	$^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$	^{14}C 原子数/克	^{14}C 核子数/克·分
现代碳	1.2×10^{-12}	6×10^{10}	13.5
1.9×10^4	1.2×10^{-13}	6×10^9	1.35
5×10^4	2.4×10^{-15}	1.2×10^8	0.026
7.5×10^4	1.2×10^{-16}	6×10^6	0.013
1×10^5	5×10^{-18}	3×10^5	0.0007

从表 2 可以看出,大于 5 万年的样品,可测的 ^{14}C 衰变计数已降至 0.05 次/分以下,如此低的放射性,即使用最灵敏的探测器测量仍然是十分困难的(因为本底计数为每分钟零点几次)。另外 5 万年的样品每克含 ^{14}C 原子为 1.2×10^8 个,用加速器质谱直接测量这么大的原子数要比测量其衰变数灵敏得多。对于长寿命的放射性同位素(^3H 、 ^{10}Be 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl)采用加速器质谱系统测量比常规的衰变法要优越,元素半衰期越长,这种方法更为优越。表 3 可以看出加速器质谱计的优点。

表3 几种同位素半衰期、比值、浓度及可测灵敏度

放射性同位素	半衰期(年)	同位素比值	同位素浓度	可测灵敏度
^{14}C	5.73×10^3	$^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$	$10^{-13} \sim 10^{-15}$	3×10^{-16}
^{10}Be	1.6×10^6	$^{10}\text{Be}/\text{Be}$	$10^{-8} \sim 10^{-12}$	7×10^{-15}
^{36}Al	7.4×10^5	$^{36}\text{Al}/\text{Al}$	$\sim 10^{14}$	$< 10^{-14}$
^{36}Cl	3.1×10^5	$^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$	$10^{-12} \sim 10^{-14}$	$< 2 \times 10^{-14}$

加速器质谱计在第四纪年代学中的应用,不仅扩大了 ^{14}C 、 ^{10}Be 、 ^{36}Cl 的测量范围,而且减小了样品用量,缩短了测量周期。例如过去测量黄土年龄,因其中有机质含量仅为千分之几,若用常规 ^{14}C 法测定,样品用量多达10~20kg黄土,而用加速器质谱计测定只需几十克黄土样品。样品用量的减小,可在一个剖面上多采样品,便于更精细的研究。

^{10}Be 半衰期为 1.6×10^6 年,在陆地、海洋沉积物和极地冰雪中都有积累,是测定几万年至几百万年时段的理想元素,但因天然浓度小,衰变速率低(产率为 $1.5 \times 10^{-2} \text{atom/cm}^2 \cdot \text{s}$),如果用常规的 β 计数法测量,样品需经复杂处理,而且测量周期很长。例如作一个海底钻孔 ^{10}Be 剖面分析需要半年时间。再如过去测量格陵兰冰样的 ^{10}Be 需要 $1.2 \times 10^6 \text{L}$ 冰水样品,测量周期之长是可想而知的。采用加速器质谱计测定可大大提高工作效率,例如测定南极冰样的 ^{10}Be ,只需10L冰水样品,测量20~30min即可完成。

利用加速器质谱计还可测定含 ^{36}Cl 岩石的年龄、暴露年龄及岩石侵蚀速度,测定对象是较年青的物质^[13,20]。最适应于测定时代小于50万年低钾火山岩、考古对象、冰积物质、地下水及古土壤等样品。Phillips等(1986)测定了美国西部7个熔岩流样品的年龄,所采样品表面有流动构造,样品致密、新鲜、无渗透性。除用加速器质谱计测定 ^{36}Cl 年龄外,还对同一样品用同位素稀释质谱法测定了K-Ar年龄,结果表明 ^{36}Cl 年龄和K-Ar年龄相一致,年龄值均在645~670ka之间。同时Phillips等还测定了玄武岩和钙积层的 ^{36}Cl 暴露年龄及侵蚀速度,证明了加速器质谱法对 ^{36}Cl 测定的可行性。

5 第四纪定年方法的应用

当今世界,人口的增长,技术的进步,经济的繁荣,在全球变化中的作用日益增大,使人类面临着一系列重大而紧迫的全球性生态环境问题。例如环境污染、温室效应和全球变暖、海平面上升、臭氧层破坏,气候异常、水土流失、植被破坏、土地荒漠化、淡水资源趋向性减少、生物多样性灭绝和破坏、酸雨及能源消费等日益威胁着人类社会的生存和持续发展,这些问题已引起了科学工作者的普遍关注^[3],使全球生态环境变化的研究日益成为‘热点’。第四纪年代学在全球变化研究中发挥了重要作用。

5.1 环境保护的研究

^{14}C 被喻为监视环境的尖兵。通过对大气样品中 ^{14}C 浓度测定,发现由于核试验,使得大气层中1963年 ^{14}C 的浓度比1954年增加了3倍之多。核度验停止后, ^{14}C 浓度以每年2%的速率衰减,现在仍比1954年高30%。欧美一些国家还通过测量现代树木年轮、农作物种子、葡萄酒等物质的 ^{14}C 及其它核素的浓度,以监测原子能设施、核废料处理对人类

生存环境的污染程度,并及时作出相应的保护措施。

5.2 气候和环境变化研究

保存在树木、珊瑚、冰芯、石笋及湖沼沉积物中的各种同位素信息,以及孢粉、动植物化石的特征,是研究气候变化、环境变迁的重要线索。通过对长江下游怀宁县官洲以南距江岸 300~500m 江底的一层古树研究发现,5 千年前长江中下游地带气候比现今温暖,那时长江沿岸树木茂盛,江岸平坦,并有湖沼分布。青海湖湖相沉积物中的紫果云杉树¹⁴C 年龄为 6.5ka,研究表明,当时气温比现在高 3~4℃,降水量也比现在多 150mm 左右。另外辽宁南部孢粉分析、北京附近 1 万年来植物群发展研究、海河河口微体化石和孢粉组合特征、南昌泥炭层孢粉分析、镇江孢粉图式都表明⁽³⁾,中全新世内植被较现在多样化,降水量充沛,不少北方地区曾有热带森林或喜暖动物,存在着一个暖湿时期。

5.3、考古研究

5.3.1 确定古遗址的绝对年龄和相对年龄:例如河南新郑裴李岗遗址时代为 9.04±1ka,这一发现把我国新石器早期文化时代提前了 2~3ka。

5.3.2 相隔较远地区之间文化发展序列的对比研究:例如德国在一个中世纪古城堡的发掘过程中,采用¹⁴C 定年法确定了 11 个古文化层的时代,较老的年龄代表了该遗址最早的形成年代,比较年青的年龄则与瓷器时代吻合。

5.4 海洋学领域的应用

5.4.1 海水循环与运动速率的研究:通过对大西洋和太平洋化学剖面的观测发现,表层水的¹⁴C 浓度不均,两极和赤道地区最低,而且¹⁰Be 在近底层具有增长趋势。¹⁰Be 常被用于作为判断大洋板块俯冲的一个标志,因为¹⁰Be 几乎完全集中在海底沉积物上部,若发现岛弧火山岩中¹⁰Be 含量异常高,说明¹⁰Be 是从洋底沉积物带来的,即证明有板块俯冲作用的存在。

5.4.2 海洋沉积速率的研究:利用 U 系法、¹⁴C、²²Si、¹⁰Be、²¹⁰Pb 等方法可以测定海湖相沉积速率及沉积层年代。例如毛里塔尼亚陆架区晚第四纪沉积物源、生物相与海面变化关系的研究表明,因风沙砂的补给,该陆架区晚第四纪沉积速率为每百年 18cm⁽⁴⁾。墨西哥湾沉积盆地的沉积速率为 250~470m/Ma⁽⁴⁾,我国莺歌盆地为一个独特的含油气盆地,其沉积速率达 300~600m/Ma⁽⁹⁾。海南洋浦湾河流供沙量为 6.2×10⁶m³/a⁽¹²⁾,2.5km 海岸线平均后退 0.5m/a。

5.4.3 海平面变化及海岸变迁研究:由于海岸线逐步向海洋中心推进,在地表上留下了古海岸线及古海面相关的地貌、沉积物与生物标志。这些标志中都含有可用¹⁴C、U 系、TL 等方法定年的贝壳、珊瑚、木材、泥炭或淤泥及古土壤等样品,可用于研究不同时期的海平面变化及海岸线变迁的情况。例如澳大利亚北部海面变化有 4 个阶段:(1)8ka 前海面以 12m/ka 的速率上升;(2)8~6.5ka 海面上升速率减慢,为 4.5m/ka;(3)6.5~6ka 海面相对平稳;(4)6ka 至今海面以 0.2m/ka 的速率缓慢下降⁽⁴⁾。据资料表明,大的海面变化常与地壳运动有关。

5.4.4 海洋中悬浮粒子的年龄测定:可以进行低栖动物食物源的研究、深海沉积物中有有机质的成因模式及锰结核生长速率的研究等。

5.5 地下水的研究

^3H 、 ^{14}C 、 ^{36}Cl 、 ^{39}Ar 等核素可用来测定地下水的年龄,以便计算地下水资源的贮量、流向及补给,研究人类活动对地下水体、水质的影响^[13,21],为合理开发和利用地下水资源提供重要依据。

5.6 研究地震和新构造运动关系

根据海岸阶地和河谷阶地的高度及阶地的时代,就可确定该地区地壳运动规律。实践证明,地震活动往往与新构造运动有关,如果测定出构造事件的年龄,就能推测出地震发生的频率。例如美国洛杉矶 Pallett 河湾地区有著名的圣安德列斯断层从阶地通过,在组成阶地的湖沼沉积物中,保存着发生地震的喷砂、错动等痕迹,根据沉积物中木材、泥炭的年龄测定,从而判断出 9 次地震事件,发生地震的时代分别有 545 年、665 年、860 年、965 年、1190 年、1245 年、1745 年、1857 年,地震重复发生的时间间隔为 160 年。

6 第四纪地质年表的编制

第四纪地质年表的编制是第四纪地质学和年代学研究的重要组成部份。该项工作具有极其重要的意义,正如测量某一物质的长度需要尺子,但如果尺子的标定不准,也就使人难以相信其量度结果。第四纪地质年表好比是一把度量时间的“尺子”,有了这把“时间标尺”,各种定年方法测定的年龄数据可以表示为年(a)、千年(ka)、百万年(Ma)为单位的数值,而且还可根据地质年表将相应的年龄值归因于一定的地质时代(如代、纪、世、期),赋予这些年龄值一定的地质意义。另外建立第四纪地质年表,有利于国际间全球变化的对比研究。

编制比较精确的第四纪地质年表是第四纪地质学和年代学工作者的迫切任务,这一工作难度很大,我国也处于研究和探索之中。国际上对第四纪的划分有多种意见,但一般认为第三纪和第四纪的界线为 165 万年^[22],更新纪中-早、中-晚的界线分别为 69 万年和 10 万年,更新世与全新世的界线为 1 万年^[22,23]。全新世早、中、晚至今未有相应的界线年龄报导。地层的划分、年表的编制是一个复杂艰巨精密的工作,必须收集大量的地质资料,采用多种方法定年来不断完善。这涉及到标准层位的确定、适合测定年龄的基点选择及研究与划分地质时代的一系列标准。总之,第四纪地质年表是一个标准的时间尺度,这一时间标尺对于研究和认识全球变化的各种过程,揭示全球变化的规律,提高人类预测全球变化的能力具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 宋健等. 现代科学技术基础知识, 北京: 科学出版社. 1994
- 2 刘英俊等. 金的地球化学, 北京: 科学出版社. 1991
- 3 叶笃正等. 中国的全球变化预研究, 北京: 地震出版社. 1992
- 4 赵希涛等. 全球海面变化, 北京: 科学出版社. 1992
- 5 袁海华. 同位素地质年代学, 重庆: 重庆大学出版社. 1987
- 6 G 福尔. 同位素地质学原理, 北京: 科学出版社. 1983
- 7 何国琦. 地球是怎样演变的, 北京: 中国青年出版社. 1983
- 8 夏明等. 铀系年代学方法及实验技术, 兰州: 兰州大学出版社. 1989
- 9 张启明等. 莺歌海盆地论文集, 北京: 地震出版社, 1993

- 10 刘嘉麒. 第四纪地质, 1995, (4): 316~323
- 11 蒋松生. 中国物理通讯, 1989, (6): 529~532
- 12 王颖等. 第四纪地质, 1996, (2): 159~167
- 13 刘存富. 地质科技情报, 1987, (1): 153~156
- 14 陈墨香等. 第四纪地质, 1992, (2): 129~137
- 15 夏明等. 第四纪地质, 1995, (4): 341~352
- 16 刘存富. 地质科技情报, 1991, (3): 81~85
- 17 Muhuney W C. Quaternary Dating Methods, York University, Downsview, Ont Canada. 1984
- 18 Loosli H H *et al.* Radiocarbon, 1980, 22: 863~870
- 19 吴汝康. 人类进化与第四纪研究. 第四纪研究, 1992, (1): 29~32
- 20 Phillips F M. Science, 1986, 23: 41~43
- 21 Loosli H H. Ear Plane Sci Lett, 1987, (63): 51~62
- 22 Odin G S. Bull Liai IUGS Subcom Geochronol, Ofset Paris, 1990. 9
- 23 Harland W B *et al.* A Geologic Time Scale, Cambridge University Press. 1989

The Quaternary Geochronology and the Dating Methods and their Applications

Sang Haiqing, Qiu Ji, Wang Songshan

(Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Received 1996-06-21

Abstract

The isotopic dating of the quaternary samples is a usual geological problem that has not been satisfactorily resolved. In recent years, the quaternary geochronology and the dating methods are very fast developed with the advanced techniques which include mass spectrometric analysis, thermal ionization mass spectrometer (TIMS), accelerator mass spectrometer (AMS) and the chemical separation of samples. The K-Ar and Ar-Ar dating, ^{14}C , Uranium series, FT, TL and ESR dating etc. can provide accurate time scales for study of the earth evolution, the changes of paleoclimatic and paleoenvironment since the quaternary time. Cosmogenic nuclides, such as ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl and ^{39}Ar can be used to date the erosion of earth surface, glaciation and deglaciation, groundwater ages, the formation and exposure ages of geological bodies. Sensitivity, accuracy and velocity of the measurement are greatly enhanced. These dating methods have made great progress in the quaternary geochronology and isotopic geoscience. Their presence and potential application will be of major importance to the quaternary geology and the whole earth-science. Their characteristic, superiority and limitation are discussed in this paper.

Key Words: quaternary geochronology, dating methods, application