

第四纪测年的进展与问题*

陈铁梅

(北京大学考古系)

内容提要 本文认为当前第四纪地质与环境变化的基本时间框架已经建立,而研究的进一步深入把提高测年的精确度提到了中心位置。近年来各种测年方法进步的共同特点是显著降低所需的样品用量和提高工效。这均极有利于测年精确度的提高。此外,用两种以上的技术对比测年,采集不同种类的样品对比测年,以及从样品中提取不同的化学和矿物组成分别对比测年,都是保证良好精确度的重要手段。

主题词 第四纪 年代测定 测年精确度

一、提高测年精确度是当前第四纪研究的要求

第四纪地质环境演化在时、空四维坐标中进行。根据生物、气候、地层、地貌等标志建立的相对年龄时标一直起重要作用,但其缺点是不能定量地给出年龄值,往往也不是全球性的,有时难于远距离地层对比。此外,有时不同的标志对同一地层时代的判断会有矛盾,我国丁村组地层时代属性的争论就是一例。

本世纪二三十年代发展了基于放射性过程的多种测定第四纪绝对年龄的方法,例如 ^{14}C 、钾-氩、热释光等方法。此外,连续堆积地层的剩磁极性、磁化率和 $\delta^{18}\text{O}$ 变化与已经年龄刻度的标准曲线对比,也能作为相应地层的时标。经过半个世纪的工作,目前第四纪全球环境与气候变化,以及人类进化的基本时间框架已经建立,提高时标的精确度已成为中心要求。全球变化研究已注意不同地区间气候变化时序上的相位差,如新仙女木事件究竟延续多久?在各地是否严格同步?这对揭示气候变化机制很重要,但要求测年精度优于100a。为验证米兰科维奇理论,测定对应 $\delta^{18}\text{O}$ -5e期($\sim 125\,000\text{ a.B.P.}$)高海面珊瑚礁年龄的精度应优于1000a。我国夏、商、周纪年的争论已延续两千年,如希望 ^{14}C 法测年对此有所澄清,误差至少要低于50a。

近年来未见有新的第四纪测年技术创立,但对各测年方法的基本假设验证,样品适应性探讨以及实验技术改进等做了很多工作。各种测年方法的进步有以下共同特征。

(1) 提高灵敏度,减少样品用量。加速器质谱 AMS ^{14}C 法测年用样量从常规 ^{14}C 法的几克碳降低到毫克,乃至10微克碳。质谱铀系(MU)法用样量比 α 计数法减少几十倍,测珊瑚样仅取100mg。激光显微探针 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法可测毫克重单矿物年龄。样品量少,扩大了样品选择的自由度。自然界是非均匀的,现可挑选保存良好,其形成年代与感兴趣地质事件关系密切的样品,这无疑提高了测年精确度。

作者简介:陈铁梅 男 59岁 教授 第四纪年代学专业

* 国家自然科学基金资助项目。

(2) 提高工效。工效是指实验室每年能完成的测样数。一个常规 ^{14}C 实验室每年约测 150 个样品, 而现在在一个 AMS ^{14}C 实验室一般每年测 3 000 个样品, 美国 Livermore AMS ^{14}C 室 1993 年的工效为 7 000 个样品。伯克利地质年代学中心的激光显微探针 ^{39}Ar - ^{40}Ar 系统一次装样 289 个, 约 10 天可测完。MU 法的测量时间比 α 计数法降低十多倍。计算机控制的自动热释光测年仪一次装放和测量 25 个样品。工效高对提高测年精度有重要意义。因为数量与质量是统一的, 工效高降低了成本, 测样多则可降低偶然误差, 对剖面精细分层采样, 有利于发现环境演化过程中的“精细结构”。

(3) 现愈益重视用不同测年方法, 采不同种类样品进行比对测年研究。比对实际上是间接验证有关测年方法的假设前提。比对结果如相互符合可提高对年龄数据可靠性的信心。

二、 ^{14}C 法 测 年

^{14}C 法测年是全新世及晚更新世最常用, 一般也最可信的方法。其理论严格完整, 技术成熟, 而且适用于 ^{14}C 法测年的样品品种多并容易找到。 ^{14}C 法近年发展是 AMS 技术愈益普及。在 1994 年第 15 次国际 ^{14}C 会议上, 应用 AMS ^{14}C 数据的论文数占一大半。这很自然, 因 AMS 法工效高, 提供的年龄数据多, 而且一些只能采集到微量含碳物质样品的研究课题只能求助于 AMS ^{14}C 法。

^{14}C 法测年的精确度在国际一流实验室, 包括常规及 AMS 法, 一般对全新世样品为 0.5%, 即 $\pm 40\text{a}$ 。我国的实验室一般为 1%。这仅是指由测量的统计涨落和测量仪器不稳定性等导致的实验误差。为了高精度测定地质和考古事件的年龄, 还应注意正确采样、选样和年龄校正。

1. 采样、选样问题

样品层位必须十分明确, 这已有不少论文讨论过。这里讨论样品本身的非均匀性问题。很多情况下所采样品中含有不同来源、不同组分, 因而其年龄也有差异的碳。应尽可能分选合适的组分测年。例如, 海洋沉积物的无机碳酸盐是多来源的, 有海水中析出的, 有浮游或底栖有孔虫的介壳。这两种有孔虫的初始 $^{14}\text{C}/\text{C}$ 值不同, 前者的表现 ^{14}C 年龄年青于后者。Broecker 等^[1]测量发现末次冰期大西洋底部这两种有孔虫表现 ^{14}C 年龄的差别比现代差别大一倍, 表明当时海水的上下循环比现在慢。考古陶片中的碳也为多来源^[2], 95% 以上的碳来自烧陶用陶土中原含的有机质, 其 ^{14}C 法测年给出陶土的地质年龄与陶器烧制年龄无关。应挑取陶壁上粘附的食物残渣或烟炱, 陶壁中渗入的脂类物, 或陶胎中残留的炭化草茎、谷壳等制坯时的掺加物测年, 才能得到有考古意义的年龄。从陶片中萃取出的腐殖酸测年所给出陶片埋藏地层的年龄, 一般偏晚。这些都表明, 样品中碳的多源性和由此引起的测年困难。

黄土-古土壤序列、湖相沉积物等的 ^{14}C 法高精度测年愈益受到重视, 因为其中保存了珍贵的古气候、古环境信息。已系统 ^{14}C 法测年的陕西渭南北庄村^[3]、阳郭镇^[4]等黄土剖面, 都采用了样品中碱溶与碱不溶两组分比对测年, 加上精细分层采样的地层控制, 保证了年龄数据的可靠性。但黄土中有机碳的来源也很复杂, 植物根系可扎深几十厘米或

更深,腐殖酸在地层中可上下迁移,蠕虫和啮齿类动物对地层的扰动,以及微生物对地层中有机质的再作用,使地层中有机碳的 ^{14}C 年龄与地层堆积年龄的关系复杂化。注意从地层中采集未完全腐烂的叶茎、种子、果实、动物骨片或残体等短寿命样品,从地层中提取孢粉(特别是分种属的孢粉)或植物硅酸体测年,应能更高精度地建立黄土类地层剖面的时标。

2. ^{14}C 年龄校正

^{14}C 法测年的基本假设是大气 $^{14}\text{C}/\text{C}$ 值不随时间变化。实际情况是有偏离的,因此,表观 ^{14}C 年龄有系统误差,需校正后才为日历年龄,从而与别的同位素年龄可互比。此即众所周知的树轮校正。1993年 Radiocarbon 第35卷第1期 ^{14}C 年龄校正专刊公布的树轮校正曲线最老可及9440BC,包含整个全新世,这对精确建立新石器考古年代学十分重要。树轮校正表明,自500BC以后,表观 ^{14}C 年龄系统偏晚,而且与日历年龄间差别愈来愈大,到9440BC已偏晚达1340a。对晚更新世的 ^{14}C 年龄,有人建议根据珊瑚样的高精度质谱铀系年龄来校正^[5,6],但这尚未被普遍接受。对于20000aB.P.的样品,其 ^{14}C 年龄要往老的方向校约4000a才与珊瑚铀系年龄一致。另据报道^[7]在西塔斯马尼亚斯坦利河流域已找到约200根针叶松圆木,其年轮可前推到38000a,这为建立更新世的 ^{14}C 树轮校正曲线提供了可能。

这里应提到,Edwards等^[7]通过对Huon半岛珊瑚礁的 ^{230}Th 法和 ^{14}C 法对比测年发现,在12325—11045aB.P.大气 $^{14}\text{C}/\text{C}$ 值曾连续下降15%,与 ^{14}C 的自然衰变速率大致相当,因此,在此年龄区间内形成的样品,其 ^{14}C 表观年龄相近,在10000aB.P.左右,称为 ^{14}C 年龄坪。这段时间包含新仙女木期,这可能使新仙女木事件及向全新世过渡阶段各事件的 ^{14}C 法测年十分不精确。据报道^[8]瑞典纹泥的 ^{14}C 法测年似也观察到这个年龄坪。

我国 ^{14}C 法测年发展很快,但以前有“低水平重复”现象,最近几年有所改善。AMS ^{14}C 系统也已在北京大学初步建立。提高水平,特别是提高测年精确度,是当务之急。

三、 ^{10}Be 及其他宇宙成因核素作为地质计时器

^{10}Be 和 ^{26}Al 等宇宙成因核素作为第四纪地质计时器的可能是AMS研究的热点。 ^{10}Be 在大气中生成后,氧化成 ^{10}BeO ,并于几周内沉降到地面。它在大气及地表都不可能与其稳定同位素 ^9Be 混匀,因此不能像 ^{14}C 一样作为陆相沉积物的绝对年龄计时器。沈承德等^[9]在洛川黄土剖面中观察到 ^{10}Be 浓度随深度的变化与深海 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线关联良好,因此, ^{10}Be 可作为黄土剖面的相对时标。此外,在格陵兰和极地冰芯中观察到,在 35000 ± 1500 aB.P., ^{10}Be 浓度有峰值,为现代值的2.5倍。这个 ^{10}Be 峰的成因尚处于探讨中,但它可作为特定的“点”时标,称为Reisbeck时标^[9]。Reisbeck时标能否应用于陆相地层尚有待研

1) Darbetti, M. *et al.*, 1994, Precision ^{14}C Measurements from Annual Tree-rings 12 700 Years Old by Accelerator Mass Spectrometry. Abstract the Fifteenth International Radiocarbon Conference Glaskow, C-05.

2) Wohlsarth, B., Bjorck, S. and Tossnert, G., 1994, The Swedish Time Scale—A potential Calibration Tool for the Radiocarbon Time Scale during the Late Weichselian. *ibid.*, C-01.

究。

^{26}Al 的产生和行为与 ^{10}Be 相似。稳定同位素 ^{27}Al 的地壳丰度甚高, 因此, $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ 值很低, ^{26}Al 作为陆相沉积物计时器的可能性更为渺茫。

在海水中 ^{10}Be 与 ^9Be 间有一定程度混匀。虽然 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 值在不同海域有涨落, 已成功用 ^{10}Be 浓度或 $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 值随深度的变化测定大洋沉积物和锰结核的年龄和沉积(生长)速率。这方面也可用 $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 值。

宇宙成因核素已被成功地用来测定陨石的暴露年龄、居地年龄和地表岩石的暴露年龄。例如, 曾有人测定并研究了南极几十块陨石的暴露年龄和居地年龄的分布规律, 从暴露年龄值探讨它们的来源^[10]。Brook 等通过测就地产生的 ^{10}Be 和 ^3He , 确定南极 Arene 谷地泰勒冰川 II、IIIa、IIIb 各期冰碛物的年龄^[11]。

^{36}Cl 用于地下水年龄测定和径流规律揭示也有一定成效。但地下水中 ^{35}Cl 除降水补给外, 围岩中 ^{35}Cl 吸收中子也能产生 ^{36}Cl , 这使测地下水年龄产生一定困难。用 ^{40}Ca 测动物化石年龄未成功, 因为现生动物骨头的 $^{40}\text{Ca}/^{41}\text{Ca}$ 值涨落太大。

宇宙成因核素作为地质计时器的研究历史较短, 其前景和问题正在继续研究。中国原子能科学研究院已用 ^{10}Be 测锰结核年龄, 也测了某些样品的 ^{36}Cl , 北京大学也曾试测 ^{10}Be 及 ^{26}Al 。

四、不平衡铀系法测年

本法主要成功在于珊瑚礁及纯净未风化洞穴碳酸盐的测年, 对深海沉积物和动物化石测年也取得成效。它对研究 350 000—40 000a.B.P. 全球海面升降和气候变化提供了时标。我国 35 万年以来的古人类进化和旧石器考古年表^[12]主要也是用铀系法建立的。

近年来铀系法的突破是质谱(MU)法的发展。MU 法与铀系 α 能谱法比较有下列优点: 1) 用样量小, 对珊瑚样从十多克降到 100 毫克; 2) 测量时间短, 从几十小时降到二三小时, 这也导致高工效; 3) 精确度高, 对 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 原子数比测量误差可达 0.2%, 这也使铀系法的测年上限拓延到 0.5Ma; 4) 灵敏度高, 可测极微量的 ^{230}Th , 故其测年下限降到 50a, 误差仅约 10a 或更低(对珊瑚样)^[13]。

珊瑚的 MU 法高精度测年已用来检验米兰科维奇理论^[13], 也成功地用于测定一些岛屿的构造抬升时代和速率^[14], 甚至已与树木年龄一样来刻度 ^{14}C 时标^[5, 6]。MU 法用于洞穴碳酸盐测年^[15]为区域性古气候变化研究提供时标, 它还可揭示 ^{14}C 法测年中的贮存库效应。人们还对 MU 法用于黄土地层测年寄予希望。

MU 法的关键是高分辨高灵敏的固体质谱仪。我国 MU 法测年研究开展较晚, 但 1995 年起两个 MU 研究的国家自然科学基金项目将启动, 中国科学技术大学也将引进我国第一台 Finnigen MAT-262 质谱仪。

五、钾-氩法测年

^{40}K - ^{40}Ar 法和 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法主要用于第四纪火山岩及其矿物测年。它对建立第四纪

地磁极性年表和深海氧同位素时间标尺起了关键作用。该法近年来的主要进展有以下几个方面:

(1) 超低本底、超高灵敏惰性气体质谱仪的发展。该仪器强力排除了大气氩的干扰并提高了放射成因 ^{40}Ar 的检测限。晚更新世玄武岩全岩样已能可靠测年, 仅约 3 000a.B.P. 的全新世火山岩中挑出的高钾透长石年龄也能测定。这一技术的进展还使分段加热测样品的 ^{39}Ar - ^{40}Ar 年龄坪较易实现。

(2) 激光显微探针技术使 ^{39}Ar - ^{40}Ar 法测年可应用于岩石中的单矿物。微区测年不仅降低样品用量 (1mg 即可), 减少分选矿物的麻烦, 而且解决了样品非均匀性带来的测年困难。例如, 发现了我国早期测定的一些第四纪橄榄玄武岩年龄偏老的原因是样品中捕虏晶“老矿物”的污染^[16]。这一技术也有利于测定深成岩的冷却速率。激光显微探针技术在我国也在发展^[17], 北京大学、中国地质科学院地质研究所和中国科学院广州地质新技术研究所等单位已经或正在建立。

钾-氩法配合裂变径迹法是建立东非古人类年表的主要手段。东非是人类的故乡, 那里人类活动文化堆积与多期火山灰互层, 后者的钾-氩年龄是地层剖面的时标。1994 年美国伯克利大学地质年代研究中心用激光逐步加热技术测定了与爪哇莫托克佐直立人同层火山灰中角闪石年龄为 1.8 Ma.B.P.^[18], 即比过去认识早 0.8 Ma, 与非洲最早的直立人基本同时, 从而导致对东亚直立人起源的新认识、新争论。

钾-氩法测第四纪沉积地层中伊利石、蒙脱石等自生矿物年龄的可能性引人瞩目。因为黄土类第四纪沉积物的测年迄今仍缺少理想方法。当然, 困难不少, 如放射成因 ^{40}Ar 量极低, 大气氩污染比火山岩情况更严重。这类矿物的形成年龄与地层堆积年龄间的关系也待研究。

六、释光法和电子自旋共振法测年

热释光 (TL)、光释光 (OSL) 和电子自旋共振 (ESR) 等方法的测年原理并非直接基于放射性核素的衰变过程, 而是依赖于样品中石英、长石等矿物在放射性射线辐照下的累积效应。

(一) 热释光法测年

TL 法测年历史最久, 它用于测陶器和有过加热史的岩石和沉积物年龄较适宜。但用于黄土、古土壤和河-湖相沉积物测年尚有不少问题需探讨, 尽管对于这类沉积物, 在早于 40 000 年 (^{14}C 法测年极限) 范围内, 除 TL 法和下述的 OSL 法外尚无别的适宜的测年技术可选。

TL 法测黄土类沉积物年龄的可靠性和精确性强烈依赖于测年工作者的水平、经验以及工作的认真程度。因为沉积物的元素、矿物组成、粒度以及地下水的情况千变万化, 而且有十多个会影响年龄测量值的因素和环境参数需实验测定或选取假设值。在样品处理、测量和数据处理的每一步, TL 法测年工作都有相当的自由度来作选择。因此, 对黄土剖面的 TL 法测年时希望上部地层的 TL 年龄与 ^{14}C 年龄互校, 这有助于选取适宜

的 TL 实验程序,还建议在不同的实验条件下测年,观察条件选择对年龄值的影响。目前有经验的实验室能可靠地测定 0.15MaB.P. 以内黄土剖面的 TL 年龄,误差约 10%。由于常用的细颗粒法的 TL 信号易饱和,对离石黄土要用别的 TL 法技术。TL 法测年研究一直在各国进行,选用单矿物、选取特定波长范围的 TL 信号,有可能提高 TL 法测沉积物年龄的精确度并拓延其可测年范围^[19]。

(二) 光释光法测年

黄土类沉积物 TL 法测年基于一种假设: 沉积物中石英、长石等矿物在搬运沉积过程中,其原先因辐照而积蓄的能量能被阳光完全晒退,称为光晒置零。实际上晒退往往是不完全的,特别是河-湖相沉积物,水能挡住阳光中的紫外波段,使晒退更不完全。新沉积的黄土中的石英有残余 TL 信号,如不予校正所测 TL 年龄必然偏老。但校正也会引入新的误差。

TL 法测年的新发展是 OSL 方法。^[20] 黄土沉积过程中阳光晒退的仅是石英等矿物的“光敏陷阱”中的电子。OSL 法测年也仅利用样品光敏陷阱中的电子,这就排除了(至少降低) TL 法测年中残余信号的干扰。因此,全新世沉积物测年中 OSL 法相对于 TL 法的优越性很明显。

据对澳大利亚海滩上 $\delta^{18}\text{O}$ 年龄为 0.7Ma—0aB.P. 范围的沙丘中石英的 OSL 法研究发现,OSL 信号随样品年龄值加大而不断增长,即 OSL 信号是稳定的,有可能用以测定较老的样品,如离石黄土的年龄。

与 TL 的发光曲线相对应,OSL 的衰减曲线(恒定光照下,样品 OSL 信号随时间的变化曲线)同样能用以建立年龄坪曲线。根据坪的情况可判断被测样品沉积时的光晒退是否充分,或者采样时曾否无意曝光等。OSL 研究在我国刚起步,地质矿产部水文地质工程地质研究所和国家地震局地质研究所均已引进 OSL 设备。

(三) 电子自旋(顺磁)共振(ESR 或 EPR)法测年

ESR 法测年也同样基于测量样品中被电子陷阱所俘获的电子数目。这些电子的磁矩在磁场中定向排列并旋进。如再加上微波场,且当其频率与旋进频率相等时,微波能量被共振吸收,吸收量正比于被俘获电子(顺磁中心)的数目。因此,样品中的顺磁中心密度可实验测定。

ESR 法相对于 TL 法的优点是样品可重复测量,因为测量过程不破坏顺磁中心,而且像石英、碳酸盐等样品有几条谱线可选,其测量结果可互校。ESR 法的缺点是灵敏度低,因此测全新世样品误差大,它需用的样品量也大,一般需 1—2g 纯样品。

ESR 法与铀系法相似,用以测珊瑚和洞穴碳酸盐,如未发生重结晶或蚀变,测年结果是可信的。但 ESR 法的测年时限超过铀系法的最大可测年限(常规铀系法为 0.35 Ma B.P.)。这两种材料系统记录了古气候的变化。

动物牙珐琅的 ESR 法测年为古人类研究提供时标。例如,ESR 法测年表明,晚更新世在西亚和欧洲尼安德特人与解剖学上的现代人长期共存直到 35 000aB.P. 尼人突然消失。ESR 法测年也为曾被加热的燧石工具的 TL 年龄所旁证。由此提出了尼人是人类

进化树上已绝灭的旁枝的看法。我国的元谋、巫山等早期直立人的年龄曾用古地磁法测定,相应为 1.7MaB.P. 和 2.0MaB.P., 与非洲的直立人同时或更早。目前正用 ESR 法来验证这些古地磁年龄,因为在这些遗址找不到同期的火山喷发物可供钾-氩法测年。ESR 法验证结果有可能对东亚直立人的出现和进化重新认识^[21]。笔者首先提出了 ESR 法测牙珐琅样年龄时需对被测样品的铀封闭性做检验^[22]以保证测年数据的可靠性。

沉积物中石英的 ESR 法测年引起第四纪研究者的特殊兴趣,是研究的热点。石英有好几个顺磁中心,对应若干条谱峰。但实验表明黄土沉积过程中的阳光晒退,或者构造运动产生的热和应力均难以使石英的 E' 心或 Al 心中的信号完全置零。Ge 心的信号虽很易被晒退,但其灵敏度极低。总之,石英的 ESR 法测年尚需进一步研究,沉积地层中石英的 ESR 年龄最好有别的独立的测年结果互证。ESR 法测年精确度与 TL 法相近。

七、古地磁法测年

地层的剩磁极性测量为我国一系列早、中更新世连续沉积地层和早期古人类遗址卡住了基本的时间框架,做出了重要贡献。但地层剖面时标的细刻度往往还需对沉积速率作假设。因此古地磁时标目前不能认为是精密的,蓝田公王岭人化石层位的古地磁年龄分别被定为 1.15 MaB.P.、0.98 MaB.P. 和 0.8—0.75 MaB.P.^[23],差异颇大就是例子。此外,磁性地层与 Harland 的标准地磁极性年表对比时,不能完全排除上下滑移差一个亚周期的可能,特别是当所研究地层总沉积时间不够长,包含的地磁反转次数较少,而又缺少其他独立时标作为对比标志点时。对实测的元谋磁性地层曾有不同的解释^[24],其原因也在于此。总之,沉积地层剩磁极性测年中伴有高质量的同位素年龄作标志点是至关重要的。

地层剖面的磁化率变化与粒度变化或 ^{10}Be 浓度变化一样,也可与深海氧同位素曲线对比而建立时标。这种对比是基于全球气候变化的同步性假设,所建立的是导出 (derivative) 时标。不能用导出时标来研究不同地区气候变化时序间的相位差,而相位差对揭示气候变化的机制是很重要的。因此导出时标不能替代同位素年龄。磁化率变化周期短,其测年精度优于地磁极性时标,但与 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线对比时差移一个周期的可能性也更大,最好也有同位素年龄作标志点。

八、后 记

最后简单讨论氨基酸法测年,氨基酸法测年目前谈不上精确性,其可靠性强烈依赖于对被测样所经历温度历史的知识,因此首先应对样品的温度史做精细研究。Lauritzen 等^[25]通过异亮氨酸的异构化测量了挪威一洞穴中某流石的形成年龄。流石中的氨基酸是洞穴渗水从地表带入的。他首先测量了 300 000—40 000a.B.P. 该流石一系列样品的铀系年龄和 Ale/Ile 值,定出此流石中异亮氨酸异构化速率,由此外推定出大于铀系法测年极限 0.3 MaB.P.、早期沉积的流石的氨基酸年龄。其可靠性应高于仅依据一、两个同位素年龄作基准所测得的氨基酸年龄。

综上所述, 为进行较高精确度的第四纪测年: 1) 首先应正确、认真地选择测年方法和样品; 2) 对样品本身及其环境状态仔细观察研究, 因为这些情况影响测年结果; 3) 测年应有地层控制, 即按层位系统采样; 4) 每个层位采两个或更多样品测年, 以排除偶然因素、降低随机误差; 5) 每个层位应该用两种独立方法, 每种方法采用两种不同的样品、不同的实验条件进行比对测年。这有利于发现和降低系统误差。虽然每个课题用于测年的经费是有限的, 但上述五点是努力方向, 特别是第五点在当前每一种测年方法都还不十分完善的情况下特别重要。

致谢 写作中得到卢演涛、计凤桔和穆治国诸先生帮助, 谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Broecker, W. S., Klas, M., Clark, E., Trumbore, S., Bonani, G., Wölfli, W. and Ivy, S., 1990, Accelerator-mass-spectrometric Radiocarbon Measurement on Foraminifera Shell from Deep Sea Cores. *Radiocarbon*, **32**(2), 119—133.
- [2] 陈铁梅、Hedges, R. E. M., 1994, 彭头山等遗址陶片和我国最早水稻遗存的加速器质谱 ^{14}C 测年. 文物, 第3期, 88—93页。
- [3] 周卫健、周明富、Head, J., 1989, 距今三万年来北庄村沉积序列的 ^{14}C 年代学. 科学通报, 第14期, 1096—1099页。
- [4] 刘嘉麒、陈铁梅、聂高众、宋春郁、郭正堂、李坤、高世君、乔玉楼、马志邦, 1994, 渭南黄土剖面的年龄测定及十五万年来高分辨时间序列的建立. 第四纪研究, 第3期, 193—202页。
- [5] Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G. and Zindler, A., 1990, Calibration of the ^{14}C Timescale Over the Past 30 000 Years Using Mass-spectrometric U-Th Ages from Barbados Corals. *Nature*, **345**, 405—410.
- [6] Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R. G. and Hamelin, B., 1993, ^{230}Th - ^{234}U and ^{14}C Ages Obtained by Mass Spectrometry on Corals. *Radiocarbon*, **35**(1), 191—200.
- [7] Edwards, R. L., Beck, J. W., Burr, G., Donahue, D., Chappell, J. M. A., Bloom, A. L., Druftel, E.R. M. and Taylor, F.W., 1993, A Large Drop in Atmospheric $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ and Reduced Melting in the Younger Dryas, Documented with ^{230}Th Ages of Corals. *Science*, **260**, 962—968.
- [8] 沈承德、易惟熙、刘东生, 1994, 高分辨 ^{10}Be 记录与黄土地层定年. 第四纪研究, 第3期, 203—213页。
- [9] Reisbeck, G. M., Yiou, F., Bourlès, D., Lorus, C., Jouzel, J. and Barkov, N. I., 1987, Evidence for two intervals of Enhanced ^{10}Be Deposition in Antarctic Ice during the Last Glacial Period. *Nature*, **326**, 237—277.
- [10] Gove, H. E., 1987, Tandem-Accelerator Mass-spectrometry Measurements of ^{36}Cl and ^{129}I and Osmium Isotopes in Diverse Natural Samples. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A323**, 103—119.
- [11] Brook, E.D., Kurz, M.D., Ackert, R. P. Jr., Denton, G.H., Brown, E. T., Reisbeck, G. M. and Yiou, F., 1993, Chronology of Taylor Glacier Advance in Arena Valley, Antarctica, Using in-situ Cosmogenic ^3He and ^{10}Be . *Quaternary Research*, **39**(1), 11—23.
- [12] 陈铁梅, 1988, 我国旧石器考古年代学的进展与评述. 考古学报, 第3期, 357—367页。
- [13] Edwards, R. L., Chen J. H., Ku T. L. and Wasserburg, G. J., 1987, Precise Timing of the Last Interglacial Period from Mass Spectrometry Determination of Thorium-230 in Corals. *Science*, **236**, 1547—1553.
- [14] Edwards, R. L., Taylor, F. W. and Wasserburg, G. J., 1988, Dating Earthquakes with High Precision Th-230 Ages of Very Young Corals. *Earth and Planetary Science Letters*, **90**, 371—381.
- [15] Li W. X., Lundberg, J., Dicken, A.P., Ford, D.C., Schwarcz, H. P., McNutt, R. and Williams, D., 1989, High-precision Mass-spectrometry Uranium-series Dating of Cave Deposits and Implications for Palaeoclimate Studies. *Nature*, **339**, 534—536.
- [16] 穆志国、刘驰、黄宝玲、侯贵廷、郑庆道、崔建伟、刘世伟, 1992, 黑龙江科洛晚新生代火山岩 K-Ar 定年和地球化学. 北京大学学报(自然科学版), 第28卷, 第6期, 733—744页。
- [17] 穆志国、M.I. 卡尔宾柯, 1994, 激光显微探针 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年系统. 科学通报, 第39卷, 第8期, 734—737页。
- [18] Swisher, C. C., Curtis, G. H., Jacob, T., Getty, A.G., Suprijo, A. and Widiastomo, 1994, Age

- of the Earliest Known Hominids in Java, Indonesia. *Science*, **263**, 1118--1121.
- [19] 卢演侑, 1994, 活动构造测年方法和年代学研究的现状与问题. 现今地球动力学研究及其应用, 地震出版社, 380—388 页.
- [20] Aitken, M. J., 1992, Optical Dating. *Quaternary Science Review*, **11**, 127—131.
- [21] 陈铁梅, 1994, 亚洲在人类进化过程中的地位. 科学, 第 16 卷, 第 6 期, 16—19 页.
- [22] Chen T. M., Yang Q. and Wu E., 1994, Antiquity of Homo Sapiens in China. *Nature*, **368**, 55—56.
- [23] 安芷生、高万一、祝一志、阙小凤、王俊达、孙建中、魏明健, 1990, “蓝田人”的磁性地层年龄. 人类学学报, 第 9 卷, 第 1 期, 1—7 页.
- [24] 刘东生、丁梦林, 1983, 关于元谋人化石地质时代的讨论. 同上, 第 2 卷, 第 1 期, 40—48 页.
- [25] Lauritzen, S. E., Haugen, J. E., Løvlie, R. and Gilje-Nielsen, N., 1994, Geochronological Potential of Isoleucine Epimerization in Calcite Speleothem. *Quaternary Research*, **41**(1), 52—58.

PROGRESS AND PROBLEMS IN QUATERNARY DATING

Chen Tiemei

(Department of Archaeology, Peking University)

Abstract

It has been about 50 years for different radiometrical and derivative dating methods to be applied in succession to Quaternary research. A basic chronological framework has been established for Quaternary. However, further study needs highly accurate and precise time-scales. To understand the mechanism of global climate change, slight deviations from synchronism such as differential climate changes between oceanic and continental areas or between the two hemispheres, must be detailedly detected. To shed light on the more than two thousand year-lasting debate on the chronology of the first three dynasties in Chinese history, a precision of better than 50 years in radiocarbon dating is needed. Therefore high reliability and high precision are a centre issue in Quaternary dating. The last decade has seen some important improvements common to various dating techniques.

1. Tiny sample quantity. The accelerator-mass-spectrometry ^{14}C (AMS ^{14}C) technique only demands one milligram of carbon, while conventional ^{14}C dating techniques require several grams of carbon. The mass-spectrometry uranium series (MU) method and the laser heating single grain ^{39}Ar - ^{40}Ar method demand very tiny sample quantity, too. These methods simplify procedures of sampling and the mechanical or chemical separation of samples to allow some objects which can not be dated by conventional methods to be dated.

2. High efficiency. An AMS ^{14}C lab can usually date 2 000—3 000 samples per year, while a conventional one is able only to deal with 200—300 samples per year. The MU method shortens the measurement time of one sample from decades of hours took by conventional methods to 2—3 hours. At the Geochronological Centre of Berkeley, for example, the ^{39}Ar - ^{40}Ar system can load 289 samples each time and takes only about ten days to finish their dating. Automatization and computer-control raise the efficiency of the thermoluminescence (TL) dating system. The high efficiency much reduces random errors in dating. Generally, the more the dating data

of a geological object, the higher the reliability of dating.

China's Quaternary dating has made significant progress, too. The AMS¹⁴C system at Peking University works routinely with a precision of about 1% and a background of 0.006MC. The Academy of Atomic Energy successfully measured the growth rate of manganese nodules with AMS¹⁰Be; the academy finished the setting of its ³⁶Cl beam line. ³⁹Ar-⁴⁰Ar laser microprobes are working in several institutes. Use of such microprobes has made it clear that the abnormal high ages obtained previously by the K-Ar method for Quaternary lava are due to the presence of trapped grains in lava. A new Finnigan MAT 262 mass-spectrometer will be introduced into University of Science and Technology in 1995. The Institute of Hydrology, Ministry of Geology and Mineral Resources and the Institute of Geology, State Bureau of Seismology are setting up their optic stimulated luminescence (OSL) system.

Much attention has been paid to highly precise dating of loess, paleosol and lake sediments of Quaternary as they contain the precious records of palaeoclimate changes. The variations of ¹⁰Be concentration and magnetic susceptibility in Quaternary loess-paleosol profiles have shown to correlate with the variation of oceanic $\delta^{18}\text{O}$. The correlation can be used as a derivative time-scale for those profiles. However the derivative time-scale is based on a hypothesis that global climate changes have a exact synchronism, but the hypothesis itself remains still to be proved. Usually, the upper parts of those profiles are dated with the ¹⁴C method, but the accuracy and precision of dating are not perfect. Radiocarbon dating of microfossils such as leaves, seeds, animal remains, pollen and phytolith may improve the situation. The thermoluminescence (TL) method extends the dating range beyond the radiocarbon dating limit, but the cross-check between TL and ¹⁴C dates for the young samples should be done to set up an adequate TL experimental procedure. At present, unfortunately, ages of sediments earlier than Middle Pleistocene can be provided only by the geomagnetic polarity method. The OSL dating, the TL dating of selected minerals and the K-Ar dating of autogenic clay minerals are being studied to develop more precise dating techniques for Quaternary loess-paleosol.

Due attention has also been paid to palaeoanthropological chronology, as a quite large number of hominid fossils had been found in China, one of the only three regions where early *Homo erectus* was discovered. Uranium dating and electron spin resonance (ESR) dating have played a important role in studying fossil teeth younger than 0.7 Ma. Radiometrical dating of early *Homo erectus* is being studied that may be helpful to understanding the first emergence of *Homo* in China.