

周口店山顶洞遗址年代的加速器 质谱法再测定与讨论¹⁾

陈 铁 梅

(北京大学考古系)

R. E. M. Hedges

(牛津大学考古与艺术史研究实验室)

袁 振 新

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

关键词 周口店山顶洞; 旧石器年代学; 加速器质谱法碳十四测年

内 容 提 要

本文报道了用加速器质谱方法测定山顶洞五个动物化石样品年龄的结果, 在此基础上对山顶洞文化的年代范围进行了讨论。

(一)

北京周口店山顶洞遗址被认为是我国北方典型的晚期旧石器遗址, 出土有石器、骨角器和丰富的装饰品。这里还出土了代表八个不同个体的智人化石。因此山顶洞又是我国重要的古人类遗址。山顶洞动物群含48种哺乳动物化石, 是华北地区属于晚更新世动物群。鉴于山顶洞遗址在我国旧石器考古中的地位和它在国际学术界的影响, 准确地测定遗址的绝对年代是十分重要的。

山顶洞遗址是1933—34年间裴文中先生主持发掘的 (Pei, 1939; 贾兰坡, 1951)。遗址从上到下分为洞口、上室、下室和下窖四个部份。下室底部以上的堆积超过十米, 分成五个文化层, 文化遗物与人化石均发现于其中。下室底部以下为下窖, 堆积也有几米厚, 但在下窖中只发现有动物化石, 未见文化遗物。山顶洞遗址经科学发掘, 绝大多数发掘物均标有出土的“方号”“年份”和“工作日”, 例如样品 H8:33:88 系1933年第88工作日出土于 H8 方。出土日期的早晚大致反映了该样品出土层位的高低。两年共有141个有记录的工作日。因为1934年春第二阶段发掘开始时已处在下窖部位 (Pei, 1939), 这样

1) 本研究工作受国家自然科学基金会资助, 资助项目号为地-85071 和地-9488008。

1933 年的样品应代表山顶洞文化的年代, 而 1934 年样品的年龄应早于文化本身的年代。

(二)

关于山顶洞遗址的年代, 目前已公布的有两个常规碳十四数据 (ZK, 1976、1980), 两个铀系测定数据(陈铁梅, 1984)和一个热释光数据(裴静娴, 1985)。本文将公布由北京大学考古系、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所与英国牛津大学考古与艺术史研究实验室(Research Laboratory for Archaeology and History of Art, Oxford University)合作, 用加速器质谱方法测定的山顶洞五个骨化石样品的碳十四年龄数据。这十个数据是对九个样品(八个骨化石样品和一个石英样品)的测定结果, 其中 5 号样品同时用铀系法和加速器质谱计法对比测定。九个样品除 1 号样品未知是 1933 年的那一天出土外, 其他样品的测年数据, 按样品出土日期的先后排列在表 1 中。

表 1 山顶洞样品的年代测定*

采集年份	编 号	层位及原编号	测年方法	年 龄 (ka)	实验室编号
1933	1	J11:33:?	AMS- ¹⁴ C	13.20±0.16	OxA 391
	2	?6:33:41	U 系	19±1	BKY-80017
	3	a1:33:60	AMS- ¹⁴ C	23.70±0.35	OxA 1247
	4	H8:33: ⁸⁸ / ₁₀₉	常规 ¹⁴ C	10.77±0.36	ZK-136-0(1)
1934	5	J6:34:11	U 系	21±4	BKY-80018
			AMS- ¹⁴ C	26.50±0.45	OxA 1246
	6	F7:34:32	AMS- ¹⁴ C	23.15±0.33	OxA 1248
	7	F9:34:42	AMS- ¹⁴ C	32.60±2.00	OxA 190
	8	F9:34:44	常规 ¹⁴ C	18.87±0.42	ZK-136-0(2)
9	下 窖	热释光	35→50		

* ZK 为中国社会科学院考古研究所数据, 见《考古》1977 年 3 期与 1980 年 4 期, BKY 为北京大学考古系数据, 见(陈铁梅, 1984), 热释光为中国科学院地质科学院数据, 见(裴静娴, 1985)。OxA 为牛津大学考古研究实验室数据, 本文首次在国内发表。

两个常规碳十四数据(4 号样及 8 号样)是最早发表的。对于年龄在一、二万年的样品, 如果样品未被污染, 碳十四年龄应该是可靠的。这两个年龄值也已被广泛引用, 但是引用者对它们的解释却不尽相同。安志敏(1983)和 Wu Xinzhi *et al.* (1985) 都认为 8 号样的距今 18,865 年代表的是下窖动物化石的年龄, 与山顶洞文化无关。安志敏明确认为: “山顶洞人及其文化的年代, 距今只有一万年左右”; 而 Wu *et al.* 提出, 由于 4 号样品的确切出处不肯定, 其碳十四年代值 10,770 年与 8 号样的 18,865 年一样, 都不能准确代表山顶洞文化的年代, 而可看成是山顶洞文化年代的上、下限。但是 Han Defen *et al.* (1985) 却把 18,865 年代表整个山顶洞沉积的年代, 并认为这已被考古材料所证实。

两个铀系年龄值是本文作者之一测定的。骨化石样品如果对铀封闭,其铀系年龄是可信的(Chen *et al.*, 1988)。但是山顶洞的2号及5号样品的含铀量太低,未能进行封闭性检验(陈铁梅等,1984),因此这二个铀系年龄值只具有参考价值。不过5号样品是同时用铀系法和加速器质谱碳十四方法测年,所得结果表明,两个年龄值基本上在误差范围以内,这增强了山顶洞铀系年龄的可信性。

热释光年龄(9号样)是裴静娴(1985)测定的。应该指出,热释光测年是一种比较复杂的方法。因为必须对 α 灵敏度,氦的逸失,年剂量率的稳定性,热释光信号的非正常衰退和非线性以及石英的残留热释光等一系列十多个因素进行校正。每个因素可能以百分之十几,百分之几十地影响最后的年龄值。可惜我国的热释光实验室往往仅发表最后的测年结果,而不讨论怎样对一系列因素进行校正的,从而年龄数据的使用者只能被置于被动接受的地位,难以对年代数据的精确可靠程度作评价。

(三)

本文新发表的五个山顶洞样品的加速器质谱法碳十四年龄(AMS-碳十四)是我们在牛津大学考古与艺术史研究实验室的AMS装置上测定的。AMS法测碳十四年龄是近十年来新发展起来的一种测年技术。鉴于还未见到先前在国内的学术刊物上曾发表过AMS-碳十四年龄测定结果,我们对AMS测年方法作最简要的介绍。

AMS方法与常规的、通过测量 β 衰变计数测碳十四年龄的方法基本原理是一致的,都是依据被测样品中碳十四同位素的原子数目随时间指数衰减的规律,但是两者测量的直接对象是完全不同的: β 计数法测量的是一段时期内样品中发生衰变的碳十四原子数,而AMS方法是计测样品中现存的碳十四原子的总数,或者更准确地说是测定样品中碳十四与碳十二的原子总数的比值。由于碳十四放射性衰变的半衰期较长,5730年,因此这两个数字相差极大。例如一克年龄为4万年的碳样品,平均每小时只有6.3个碳十四原子衰变,而其中的碳十四原子总数却有 4.7×10^8 个,即每小时内平均只有占总数约一亿分之一的碳十四原子衰变。对于这个样品, β 计数法平均每小时最多只能记录到6.3次计数,但任何 β 测量仪器都有噪声本底计数,目前其值难以降低到每小时30次以下。原子的衰变计数和本底计数都必然有统计涨落的,当 β 计数率很低时,它将被本底计数的涨落所淹没。因此为了提高 β 计数法测年的精确度,扩延老样品的可测年代,需要使用样品的量很大,譬如说要用几克碳,来提高信号噪声比;还需要测量很长的时间,譬如说测量若干天,以获得必要的统计精度。目前 β 计数法在最佳情况下也难以测量4.5万年以上的样品。

AMS方法是计测样品中的碳十四原子数,不必等待它们的衰变、因此所需要和消耗的样品数量就要少得多,只要毫克数量级的碳就足够,而且测量时间也短得多,一般每30分钟就可测量一个样品。AMS方法比常规方法所需样品量少,测样的效率高的优点是以装置的高技术,高投资所换得的。因为对于现代样品而言碳十四与碳十二的原子数比为 10^{-12} ,而对于一个年龄为4万年的样品,这个比值达 10^{-14} ,因此AMS需要极高的灵敏度,或者说对探测碳十四原子极高的效率;另一方面对碳十四的探测又要排除其同量异位素

氮十四的干扰,即 AMS 又需要有极高的分辨本领。AMS 装置是将被测样品电离成负离子,降低了不稳定的负氮离子的干扰;再将离子加速到几兆电子伏特的高能量,对于高能离子,目前的原子核物理已经发展了多种有效的粒子鉴别与粒子探测技术,从而达到高的灵敏度和分辨率。我们不准备详细介绍 AMS 的结构与工作原理,有兴趣的读者可参阅(陈铁梅等,1979;仇士华,1987;郭之虞,待刊)。

目前 AMS 碳十四方法测年的精确度已接近常规碳十四方法的水平,但其用量少、效率高的优点使其有广泛的应用前途,很多用常规方法无法测年的微量样品现在可以用 AMS 方法测定了。这对旧石器与古人类研究特别重要,因为在这类遗址,不易找到碳量足够多可供 β 计数的样品,或者样品非常珍贵(例如脱层的人化石材料),不能因取样测年而使样品受到明显的破坏。国外已用 AMS 碳十四测年方法测定了新旧大陆很多重要的旧石器、中石器地点的年代,由于耗量少,因此可分层采样测年,也直接测定了一些人材料的年代。

AMS 方法是一种极有发展前途的技术,除碳十四核素外,还可测铍十,铝二十六,氯三十六等其他同位素丰度极低的宇宙成因核素,用于地质计时和示踪。世界上有近三十个实验室已建成或正在筹建 AMS 实验室。我国的北京大学与有关单位合作,在国家自然科学基金会的资助下,正在筹建我国的 AMS 实验室。

(四)

根据表 1 所列的十个山顶洞遗址样品的年代数据,我们对于山顶洞人活动的时代即山顶洞文化的时代有以下看法:

1. 这些年龄数据一致表明,山顶洞文化属晚更新世的晚期,山顶洞人的活动并没有延续到距今一万年以后的全新世,有可能更早就结束了,而其下限似定在二万年左右或稍早较为合适。至于下窖的堆积可能是从 3.5 万年左右开始的,延续到不晚于距今二万年。

2. 山顶洞文化堆积厚达 10 米,下窖的堆积也有几米,因此堆积过程应该延续相当长的时间。从测年数据分析,1934 年的样品总体上是早于 1933 年发掘的样品的。但是对于同一年的诸样品,目前已有的测定结果与出土“工作日”(层位)之间的关联并不良好。特别是两个常规碳十四年龄数据(4 号和 8 号样)虽然分别是同年诸样品中层位最低的,但它们的年龄却最晚,出现了年龄与层位的颠倒。例如 4 号样品已接近下室的底部,即文化层的最低部,但其常规碳十四年龄仅 10,770 年。如果单考虑这一年代值,并认为文化层位与水平层位基本一致,那么不得不把山顶洞文化层中、上部堆积的年代放到晚于距今一万年,即认为山顶洞人活动的时代主要是全新世了,这显然与目前已知的关于我国华北地区其他的考古材料不符。出现这种年龄与地层颠倒现象的原因可能有两方面的。一是也许原先地层就有骚动,使样品的出土工作日与文化层的实际高低之间不存在简单的关联。另一种可能性是:常规碳十四年龄比实际偏晚了。常规碳十四年龄是提取骨化石样品中全部有机碳组分测定的,并未完全清除腐殖酸,富里酸等有机组分的污染。这些组分并非动物骨骼中原有的组成部份。常规方法由于需用碳量多而不得不采取这种处理样品的化学方法。因此常规碳十四的原测定者是很谨慎的,认为“无机部份的碳十四年代不可靠。有机部份年代可以接受,但亦不排除年代仍有可能偏晚”(ZK, 1976)。而 AMS 方

法需用量少,可以提取骨化石中的纯氨基酸进行测年。我们是用6M的盐酸在接近100℃的高温下使骨胶原充分水解成溶于溶液的各种氨基酸(样品先用1M盐酸常温浸泡去除碳酸盐及其他可溶性有机物),再用活性碳脱色,较彻底地清除了腐殖酸等其他有机污染物。最后提取骨化石中残存的纯氨基酸测年。这也许是山顶洞样品的AMS碳十四年龄比常规碳十四年龄偏早的原因之一。如果这种分析是正确的,那么AMS碳十四年龄应更接近样品的真实年龄。骨化石样品中不同的有机碳组分碳十四年龄的比较国外有人进行了研究。Gillespie(1984)测定骨化石中氨基酸的碳十四年龄老于相应的骨胶原的碳十四年龄,而Legge *et al.*(1986)测定骨化石中腐殖酸和富里酸的碳十四年龄晚于其氨基酸碳十四年龄。AMS方法可提取纯氨基酸测年,其结果更接近真实年龄。

3. 为了更精确地测定山顶洞堆积的起始,延续和结束的时间,需要测定更多样品的年龄,特别是与山顶洞文化关系密切的1933年出土的样品的年龄。目前全部已发表的山顶洞的碳十四年龄和铀系年龄,都是用动物化石作测年对象,为了测定山顶洞文化的年代最好选择文化遗物本身(例如穿孔的骨头,贝壳等装饰品)和人材料作为测年对象。AMS碳十四方法用量少这一优点为这类珍贵样品的直接测年提供了可能。

我们的工作是对山顶洞遗址原先已进行了的碳十四与铀系测年研究的深化,希望今后进一步的年代学工作能对山顶洞这个旧石器晚期的重要遗址的年代测得更精确与更可靠,使我国的旧石器考古年代学精确化。

本文作者感谢贾兰坡教授的关心与指导。

(1988年11月3日收稿)

参 考 文 献

- 仇士华,1987。碳十四断代的加速器质谱计数方法。考古(6): 562—567。
 安志敏,1983。中国晚期旧石器的碳十四断代问题。人类学学报 2: 342—351。
 陈铁梅,原思训,1979。将碳十四测年法上限推前到十万年。地质地球化学(4): 53—55。
 陈铁梅,原思训,高世君,1984。铀子系法测定骨化石年龄的可靠性研究和华北地区主要旧石器地点的铀子系年代序列。人类学学报,3: 259—269。
 陈铁梅,碳十四测年的加速器质谱方法与考古学研究。考古与文物,待刊。
 郭之虞,李坤、陈铁梅,加速器质谱仪的原理和进展。核技术,待刊。
 贾兰坡,1951。山顶洞人。龙门联合书局。
 裴静娴,1985。北京猿人洞穴堆积及其他洞穴堆积的热发光年龄。北京猿人遗址综合研究,科学出版社,256—260。
 ZK(中国社会科学院考古研究所实验室),1976。骨质标本的碳十四测年方法。考古,(1): 28—30。
 ZK,1980。放射性碳素测定报告(七)。考古,(4): 372—377。
 Chen Tiemei, Yuan Sixun, 1988. Uranium-series dating of bones and teeth from Chinese palaeolithic sites. *Archaeometry*, 30: 59—76。
 Gillespie R., Hedges R. E. M., Wand J. O., 1984. Radiocarbon dating of bone by accelerator mass spectrometry. *J. Archaeol. Sci.*, (11): 165—170。
 Han Defen, Xu Chunhua, 1985. Pleistocene mammalian faunas of China. in "Palaeoanthropology and palaeolithic archaeology in the People's Republic of China" edited by Wu Rukang and J. W. Olson p. 275。
 Legge A. J., Rowley-Conwy P., 1986. New radiocarbon dates for early sheep at Tell Abu Hureyra, Syria. in "Archaeological results from accelerator dating" edited by J. A. J. Gowlett and R. E. M. Hedges p. 23—35。
 Pei Wenzhong (Pei Wenchong), 1939. The Upper Cave Industry of Zhoukoudian (Choukoutian). *Palaeontologia Sinica*, New Series D. No. 9。
 Wu Xinzhi, Wang Linhong, 1985. Chronology in Chinese palaeoanthropology. in "Palaeoanthropology and palaeolithic archaeology in the People's Republic of China" edited by Wu Rukang and J. W. Olson p. 113—114。

ACCELERATOR RADIOCARBON DATING FOR UPPER CAVE OF ZHOUKOUDIAN

Chen Tiemei

(Department of Archaeology, Peking University)

R. E. M. Hedges

(Research Laboratory for Archaeology and the History of Art, Oxford University)

Yuan Zhenxin

(Institute of Vertebrate Palaeontology and Palaeoanthropology, Academia Sinica)

Key words Upper Cave of Zhoukoudian; Palaeolithic chronology; Accelerator radiocarbon dating

Abstract

Five accelerator-mass-spectrometry radiocarbon dates of bone samples collected from Upper Cave, Zhoukoudian are given in this paper. Instead of collagen, amino acid was extracted from the bone for dating purpose. The measurements were carried out at the AMS facility of Oxford University. 10 ka and 20—23 ka of ages are suggested for the upper and lower limits of the Palaeolithic Culture of Upper Cave, respectively.