

一批地质与考古标本的 C^{14} 年代测定*

黎兴国 刘光联 许国英 王福林 刘昆山

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

自六十年代以来,利用 C^{14} 精确测定近五、六万年内地质与考古年代的方法已经十分成熟,成为同位素地质年代测定方法中精确度最高的一种。目前世界上已建立起 120 多个 C^{14} 实验室,发表了四、五万个数据 (Libby, W. F., 1955; 夏鼐, 1977)。

C^{14} 年代测定广泛地应用在考古学、古人类学、第四纪地质学、地球化学、海洋学等方面。在国民经济和生产建设中日益发挥了重要作用,成为不少科学研究近五、六万年内自然历史现象的一种有效工具 (Виноградов, А. П., 1961)。

世界上许多地区的史前年代学,由于有了 C^{14} 年代,引起很大的变革,尤其在欧洲史前考古学方面引起极大的震动。有人称之为“放射性碳素革命”。也有人认为 C^{14} 年代测定是二十世纪史前考古学中的大革命 (夏鼐, 1977)。

这种方法之所以能够得到迅速的发展,主要原因是与生产建设和科学研究的需要分不开的。它能精确地测定出近五、六万年内所发生的地质和考古事件的年代,这些年代正相当于人类旧石器中期后一阶段、晚期到现在,在没有文字记载的历史阶段,它为人类历史发展过程提供了重要的依据。

我国已建立起一批 C^{14} 实验室(考古所实验室 1972;地化所 C^{14} 实验室 1973;地质所 C^{14} 实验室 1974;北大 C^{14} 实验室 1976;文保所 C^{14} 实验室 1978),发表了四、五百个数据,解决了一些生产建设和科学研究中急待解决的问题,取得了可喜的成绩,受到有关部门的重视和好评。

1973年我所采用 C_2H_2 正比计数管方法筹建 C^{14} 实验室。1976年春初步建成并测得一批数据(贾兰坡等 1977;石彦蔚 1978)。从 1977年 10月开始建立液体方法,在此发表首批 C^{14} 年代数据。在建立过程中,得到中国社会科学院考古研究所实验室多方面的帮助;承国营二六二厂、中国科学院物理研究所、原子能研究所、化工冶金研究所、北京天文台、北京大学历史系考古专业 C^{14} 实验室和文物保护科学技术研究所 C^{14} 实验室的协助,在此一一致谢。

一、基本原理

碳元素在自然界分布很广,主要由 C^{12} 、 C^{13} 和 C^{14} 组成,其所占比例为 98.89%,1.1% 和 $1.2 \times 10^{-10}\%$ 。其中 C^{14} 是放射性同位素;它能放出 β 粒子(电子),而衰变成 N^{14} 。 C^{14} 半衰期为 5730 ± 40 年。

* 李凤朝,吴光中,欧阳莲,张文定同志参加部分工作。

C^{14} 的形成过程: 宇宙射线中子形成时的高能量经过多次碰撞而损失, 最后成为热中子与 N^{14} 发生核反应生成 C^{14} 。据估计, 宇宙射线中子与大气氮核作用 97—98% 形成了天然 C^{14} 。

由于中子与氮核作用形成 C^{14} 后, 立即与氧化合生成 $C^{14}O_2$ 。随着大气的流动, $C^{14}O_2$ 与普通的 CO_2 均匀混合并分布在大气圈中, 参与自然界碳的交换循环过程。通过光合作用, 天然 C^{14} 进入植物的根、茎、叶、花、果实和种子; 动物吃了植物, 天然 C^{14} 又进入动物体内。因此, 整个生物界也都带有天然 C^{14} 。

上述物质中的 C^{14} 因不断衰变而减少, 但又不断从大气中得到新的补充。一旦这些物质停止了与大气的交换作用, 如: 生物体死亡, 碳酸盐沉淀以后, 与大气中的二氧化碳不再发生交换, 那么有机体和碳酸盐中的 C^{14} 就得不到补充, 体内 C^{14} 放射性就按衰变规律而减少。如果比较, 测定含碳物质中的 C^{14} 量, 可以根据下列公式计算年代:

$$A = \tau \ln \frac{I_0}{I_t}$$

A: 标本停止与大气交换的年代;

τ : C^{14} 的平均寿命 (8266年);

I_0 : 处于交换运动中的碳(现代碳)的放射性比度;

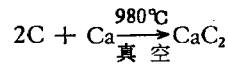
I_t : 停止交换 A 年后碳的放射性比度。

根据上述公式, 只要测出 I_0 和 I_t 值就可以计算出所测标本的年代来。

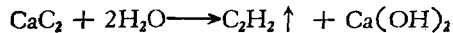
二、样品制备

认真选出所需的样品, 并将其表面所带的泥沙清除干净(包括缝隙中可能存在的沾污物)。

经过认真挑选的样品, 如木头等: 用 1NHCl 溶液煮沸 20—30 分钟, 除去碳酸盐类可能造成的污染, 然后除去腐植酸和脂类等不同年代含碳物质的污染。最后用蒸馏水将样品洗到无氯离子为止。样品洗净烘干后, 在氮气流中干馏成纯碳, 研成粉末与金属钙(99.9%)按 1:1.5 的比例均匀混合, 再装入一个 $\phi 25 \times 100\text{mm}$ 的不锈钢反应器中, 抽真空达 10^{-4}mmHg 后再加热到 980°C 保持一小时即生成碳化钙。反应如下:



将碳化钙加水即得乙炔气体。



C_2H_2 经过氢氧化钠, 五氧化二磷, 干冰+丙酮和液体氮反复多次纯化, 即可做为正比计数器计数气体使用(需要存放一周左右, 使氦蜕变完); 如果用于液体闪烁计数器测量, 则可按下列装置和步骤合成苯(图版 I, 1)。

苯的合成: 我们采用北京大学历史系考古专业 C^{14} 实验室 1975 年首先试验成功的方法(固定床静态法)。以 $\text{CrO}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 为催化剂。此种方法合成效率高, 操作简便, 所得苯的纯度达 99.9% 以上, 可直接用于测量(北大 C^{14} 实验室, 1976)。

在苯的制备过程中, 催化剂的活化温度和乙炔的聚合反应温度要控制好, 前者温度过

低会影响合成效果,后者温度过高则分馏出其他杂质,如痕量的甲苯、乙苯和乙醇等影响苯的纯度。

闪烁剂的配制:我们每次测量用样品合成的苯 5ml,按 1:0.2 的比例加入甲苯闪烁液(即每ml 甲苯闪烁液含 ppo36mg, popop0.6mg 的纯甲苯溶液)。如果样品不足 5ml,则加入“死苯”(用北京化学试剂厂生产的优级纯苯)到 5ml 以保持测量条件的一致性。

三、测量装置

C¹⁴ 年代测定属于低能量、弱放射性探测技术。它对探测器的灵敏度和精确度要求很高,是一般的 β 测量装置无法完成的。因而有人把 C¹⁴ 年代测定作为核物理探测技术的极限 (Barker, H., 1961)。这也反应了此种探测技术的难度。

直到由利贝的固体法发展到正比计数管法以至后来液体闪烁法的大量应用后,使 C¹⁴ 年代测定才得到广泛和迅速的发展 (Tamer, M. A., 1975; Lavrukina, A. K., 1977)。

我们气体法装置:是使用有效体积为 1.8 立升的不锈钢正比计数管,计数管的动态真空度可达 5×10^{-5} mm Hg。每次保持相同的 C₂H₂ 气体量。充气压力为 920 mm Hg。正比计数器坪长 >600 伏,坪斜 <2%。工作电压选在坪曲线膝盖向右移 200 伏的地点。工作电压为 5600 伏。

正比计数管置于体积为 150×110×135cm³,重量为 11 吨的钢屏蔽室中,采用 J514 型 γ 计数管做反符合环,用 17 只 GM 管组成。GM 管的介子计数和正比管的介子计数的反符合剔除宇宙射线硬成分在正比计数器引起的计数(约为 200cpm); α 粒子形成的脉冲从放大器前级分离出来进行反符合并予以剔除。

高压漂移引起的计数率变化 <0.05%。微分道和积分道计数每十分钟自动打印一次。

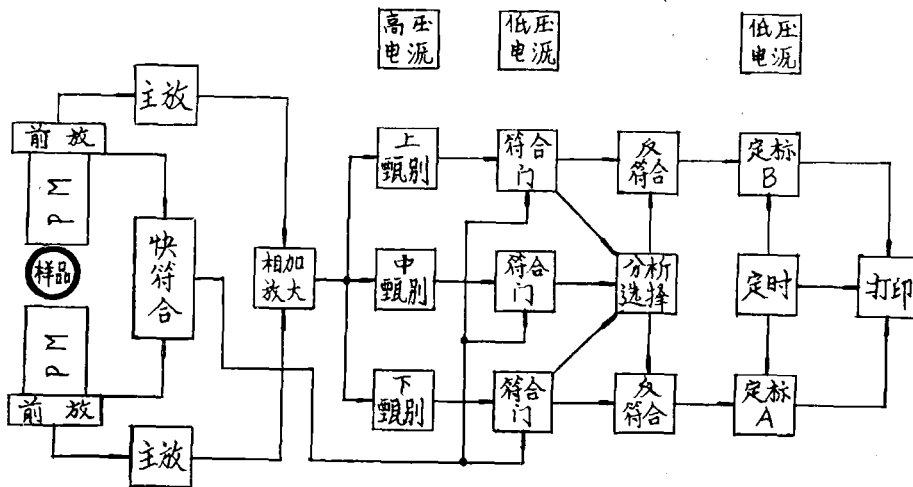


图 1. 双道液体闪烁计数器方框图

样品碳、现代碳和本底碳采用循环测量,每个样品测 2—3 次,每次测量时间为 700—

1000 分钟。所测结果符合统计规律,重复性较好。

液体法装置:采用国产 **FJ-353** 型双道液体闪烁计数器,计数线路方框图如图 1 所示。

根据兄弟单位降低该装置本底的经验,我们采用了加厚探测器屏蔽部分并做了适当的改进(图版 I, 2)。使用北京玻璃厂 95 料低钾玻璃测量瓶。光电倍增管工作点选在 $p-V$ 曲线“坪曲”始端,对降低串光本底有利,又保证有较高的探测效率。调节两路放大器的增益,以补偿两个光电倍增管阳极灵敏度的不对称性。上、下甄别阈的调节使 C^{14} β 谱尽可能多地落在该范围内,以保证较高的探测效率,并减少其他高能或低能粒子对本底的贡献。经最佳值工作条件的选择,该装置本底 $<10.5cpm$ 。探测效率 $p > 71\%$ 。仪器优质指标 $\left(\frac{\text{探测效率}}{\text{本底}}\right)^2$ 为 500。测量瓶用聚四氟乙烯做垫片,密封性能良好。苯的损失每天不超过 1mg。基本上满足了测量精度的要求。六个测量瓶本底变化最大差值为 3.7%。

另外,我们使用同一测量瓶测量本底和样品计数,以保证测量精度。在每次测量前、后都使用 $5 \times 10^5 dpm$ 的 C^{14} 标准源进行仪器探测效率的监测,时间为 10 分钟。微分道和积分道计数每十分钟打印一次。为使测量结果的统计误差 $<1\%$,每个样品至少测量 1000 分钟以上。一般为当日下午三点开始测量至翌日九点结束。对于年代较老或量较少的样品则应加长测量时间。图 2 表示 PV-32 号样品一次实测的结果,表示 1000 分钟测量时间内记录的 100 个样品计数。其中有 78 个点落在二倍平均值标准偏差范围之内。有 96 个点落在三倍平均值标准偏差范围之内。有 100 个点落在三倍平均值标准偏差范围之内。这说明数据完全符合统计分布规律。

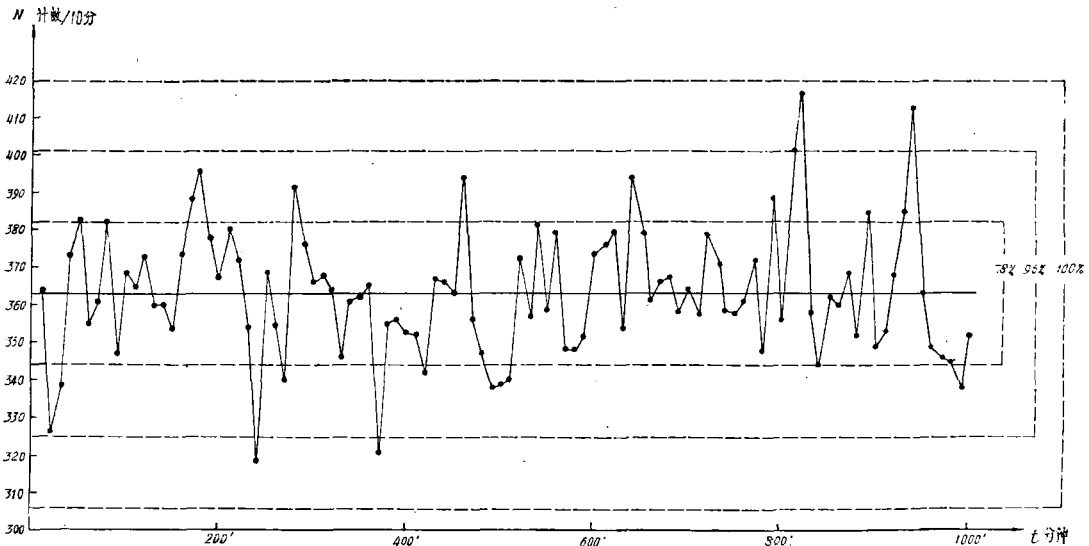


图 2. PV-32 (甲)实际测量统计分布图

四、已知年代标本的测量

一般实验室在初建成后,为了检验测量仪器的性能和实验方法的可靠性,都要用已知年代的标本加以检验。我们用六个已知年代的标本进行了检验,并对本实验室 C₂H₂ 正比计数管方法所测结果进行了对照。见表 1:

表 1 已知年代标本测定结果对照表

样品名称	气体法 C ¹⁴ 年代	液体法 C ¹⁴ 年代	其他实验室 C ¹⁴ 年代	考古或历史年代
蒋家梁木炭	PV-7 5910±165		ZK-295 5965±115	新石器时代
资阳人化石层乌木	PV-14 7640±140	PV-14 7310±150	ZK-19 7485±130	旧石器晚期
扎来诺尔木头	PV-15 11770±230	PV-15 11280±200		旧石器晚期
战国墓棺木	PV-26 2280±85	PV-26 2290±95	ZK-3 2240±80 CG-5 2338±90	战国时期 (公元前 246—462 年)
楚墓棺木		PV-27 2310±80	ZK-26 2245±90	同上
河姆渡遗址橡子壳		PV-47 6260±130 PV-47** 6290±130	ZK-263 6065±115 BK-75057* 6310±100	河姆渡文化

* 木头。 ** 北京大学 C¹⁴ 实验室测。

年代计算采用 5730±40 年的半衰期。以 1950 年算起。

气体法所用现代碳是 1936 年砍伐的杨树。采用 1930±10 年的年轮木材做为标准。

液体法所用现代碳标准是 1850±10 年的松木。由中国社会科学院考古研究所实验室提供。

本底碳采用河北省下花园电石厂生产的电石做为本底,经水解合成苯与北京化学试剂厂生产的优级苯(死苯)所测结果一致。

另外,为了验证实验方法的重复性,我们还将 PV-32 标本分做两次制备,分别测出年代结果如表 2。

表 2 同一标本重复对照试验

样品编号	合成苯日期	测量日期	苯净重 (克)	总计数	C ¹⁴ 年代(年)
PV-32 甲	78.6.27.	78.7.6	3.7729	36299±191	2265±90
PV-32 乙	78.7.12.	78.7.15	4.5644	41658±204	2275±80

五、结 束 语

1. 本实验室从 73 年筹建以来, 先后建立了 C_2H_2 正比计数管方法和液体闪烁方法, 经过反复试验和所取得的结果分析, 可以认为: 两种实验方法(包括样品处理、干馏、碳化钙合成、乙炔水解、纯化以及苯的合成)都是可行的。仪器性能稳定, 重复性良好。测量结果符合统计误差。已知年代标本测定结果与考古年代或兄弟单位所测结果一致, 数据可靠。

2. 目前我们只做了木头、木炭标本。对骨化石、泥炭、贝壳和土壤标本尚需迅速开展这方面的工作。

3. 目前仪器本底还较高, 效率和仪器的灵敏度还待提高。所测年限范围尚不能满足工作中的需要, 有待进一步改进。

附: 样品描述及测定结果

1. PV-7. 木炭。距今: 5910 ± 165 年

标本由本所卫奇同志提供。取自河北省阳原县西水地蒋家梁新石器文化遗址(东经 $114^{\circ}9'$, 北纬 $40^{\circ}1'$)。同一地层产有动物化石。原标本编号: 73108。

2. PV-14. 乌木。 距今: 7640 ± 140 年
 7310 ± 150 年

标本由黄宝林同志于 1965 年取自四川省资阳黄鳝溪与资阳人化石同层(东经 $104^{\circ}40'$, 北纬 $30^{\circ}5'$)。

3. PV-15. 木头 距今: 11770 ± 230 年。
 11280 ± 200 年。

标本由本所林一璞同志提供。取自黑龙江省扎赉诺尔(东经 $117^{\circ}35'$, 北纬 $49^{\circ}21'$)东露天煤矿北侧第四纪剖面第五层顶部。在该剖面第四层底部曾发现扎赉诺尔人化石及部分哺乳动物化石。

4. PV-17. 木炭。 距今: 4180 ± 115 年。

标本由本所卫奇同志提供。采自甘肃省民勤县水库附近(东经 $103^{\circ}10'$, 北纬 $38^{\circ}25'$)。

5. PV-18. 木头 距今: 5110 ± 115 年。

标本由本所贾兰坡先生提供。取自北京通县尹各庄(东经 $116^{\circ}40'$, 北纬 $39^{\circ}51'$)南, 距地表四米的泥炭层底部。标本长约 60 厘米, 直径 12 厘米。

6. PV-19. 木头。 距今: 23860 ± 650 年

标本由本所贾兰坡先生提供。采自哈尔滨黄山顾乡屯(东经 $126^{\circ}31'$, 北纬 $45^{\circ}42'$)地层。

7. PV-24. 炭粒。 距今: 4910 ± 110 年。

标本由中国地质科学院地质力学研究所提供。取自青海省纳赤台(东经 $94^{\circ}30'$, 北纬 $35^{\circ}52'$)。海拔 3450 米处。位于昆仑河一级阶地(3—4 米)上部。

8. PV-26. 棺木。 距今: 2280 ± 85 年。
 2290 ± 95 年。

标本由中国社会科学院考古研究所实验室提供。系河南省辉县固围村 1 号墓棺木。 时代为战国晚期 (东经 $113^{\circ}48'$, 北纬 $35^{\circ}28'$)。

9. PV-27. 棺木。 距今: 2310 ± 80 年。

标本由中国社会科学院考古研究所实验室提供。系湖北省江陵县内纪南城西北望山 1 号墓棺木, 与越王勾践剑同时出土(东经 $112^{\circ}12'$, 北纬 $30^{\circ}24'$)。

10. PV-28. 木头 距今: 5320 ± 100 年。

标本由中国社会科学院考古研究所实验室提供。系浙江省余姚县罗江公社河姆渡文化遗址出土木头 (东经 $121^{\circ}10'$, 北纬 $30^{\circ}5'$)。

11. PV-32 (甲)棺木。 距今: 2265 ± 90 年。

标本由山西省雁北地区文化局张畅耕同志提供。系山西省浑源县毕村西汉二号墓棺木 (东经 $113^{\circ}41'$, 北纬

39°42′)。

12.PV-32 (乙)。棺木。 距今: 2275±80 年。

标本由山西省雁北地区文化局张畅耕同志提供。系山西省浑源县毕村西汉二号墓棺木。与前同一块标本, 分别二次制备, 测得结果一致。

13.PV-33。朽树根。 距今: 7190±200 年。

标本由本实验室王福林同志于 1976 年 9 月 24 日采自北京市大兴县采育公社地震后地裂调查 3 号钻孔, 距地表 5.6 米处(东经 116°40′, 北纬 39°36′)。

14.PV-34。朽木。 距今: 3630±90 年。

标本由本所卫奇同志提供。产于河北省阳原县丁家堡水库(东经 114°15′, 北纬 40°5′)。

15.PV-36。木头。 距今: 7250±140 年。

标本由本所贾兰坡先生提供。由吉林省地质研究所孙建中同志采自吉林省榆树县周家油坊第二地点(东经 126°32′, 北纬 44°46′)。位于第一阶地上。野外编号 1176。

16.PV-37。木头。 距今: 26100±850 年。

标本由吉林省地质研究所孙建中同志采自吉林省榆树县周家油坊第四地点(东经 126°32′, 北纬 44°46′)。位于第二阶地上。距地表 6—7 米处。野外编号: 1177。与标本同层位有原始牛、野牛、披毛犀?等化石。

17.PV-38。炭化木。 距今: 小于 200 年。

标本由本所贾兰坡先生提供。由吉林省地质研究所孙建中同志采自吉林省辉南县小金川公社红旗林场(东经 126°3′, 北纬 42°3′)地表。系龙岗火山群最近一次喷出物形成的炭化木。

18.PV-46。木头。 距今: 29530±1240 年。
29370±1210 年。

标本由成都勘测设计院地测一队采自四川省乐山县七区沙湾镇(东经 103°50′, 北纬 29°21′)三级阶地上。

19.PV-47。橡子壳。 距今: 6260±130 年。

标本由中国社会科学院考古研究所实验室提供。系浙江省余姚县罗江公社河姆渡文化遗址出土(东经 121°10′, 北纬 30°3′)。

参 考 文 献

- 文物保护科学技术研究所 C¹⁴ 实验室, 1978: 液体闪烁法碳十四年代测定, 《文物》, 5 期 70—74。
- 仇士华、蔡莲珍, 1962: 放射性碳素断代介绍, 《考古》8 期, 441—446。
- 中国科学院考古研究所实验室, 1972—1978: 放射性碳素测定年代报告 (1—5), 《考古》。
- 中国科学院考古研究所、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所实验室, 1976: 骨质标本的 C¹⁴ 年代测定方法。《考古》· 1 期, 28—30。
- 中国科学院贵阳地球化学研究所 C¹⁴ 实验室, 1973: 几个考古样品的放射碳年代测定, 《地球化学》2 期, 136—137。
- 中国科学院贵阳地球化学研究所 C¹⁴ 实验室, 1977: C¹⁴ 年龄测定方法及其应用。科学出版社。
- 中国科学院地质研究所 C¹⁴ 实验室, 1974: 天然放射性碳年代测定, 《地质科学》。4 期, 383—384。
- 北京大学历史系考古专业 C¹⁴ 实验室, 1976: 液体闪烁法 C¹⁴ 年代测定初步报告。《文物》, 12 期, 80—84。
- 石彦蔚, 1978: 扎赉诺尔附近木质标本的 C¹⁴ 年代测定及其地质意义。《古脊椎动物与古人类》, 16 卷 2 期, 144—145。
- 刘东生、陈明扬、黎兴国、崔德惠, 1963: 《地质快报》, 24 期, 1—8。
- 贾兰坡、李有恒、袁振新、卫奇, 1977: 北京东郊泥炭层中的动物遗骸和角制工具。《古脊椎动物与古人类》, 2 期 150—156。
- 夏鼐, 1955: 放射性同位素在考古学上的应用。《考古通讯》, 4 期, 73—78。
- 夏鼐, 1977: 碳-14 测定年代和中国史前考古学。《考古》, 4 期, 217—232。
- 裴文中, 1955: 关于考古和第四纪地质工作上一些新方法。科学出版社。
- Barker, H., 1961: Radiocarbon Dating, Museum Vol. 14, No. 4, 256。
- Calf, G. H. and Polach, H. A., 1974: Teflon vials for liquid scintillation counting of Carbon-14 samples.
- Liquid Scintillation Counting Recent Developments. 223—234.
- Gehy, M. A., 1965: Proportional counter Equipment for sample dating with ages Exceeding 60000 B P without Enrichment, VI, Conf On C¹⁴ and H³ dating, USAEC-Conf. 650—652。
- Lavrukhina, A. K., and Alexeev, V. A., 1977: Laboratory of Cosmochemistry Radiocarbon Measurements I. Radiocarbon Vol. 19, No. 1. 12—18。
- Libby, W. F., 1955: Radiocarbon Dating. The University of Chicago Press.
- Olsson, I. U., 1970: Radiocarbon Variations and Absolute Chronology, Proceedings of the Twelfth

Nobel Symposium held at the Institute of physics at Uppsala University.

Tamer, M. A., 1975: Chemical Yield Optimization of the Benzene Synthesis for Radiocarbon Dating. *Inter. Appl. Rad. and Isot.* Vol. 26, No. 11, 676—682.

Виноградов, А. П., Девири, А. Л., Добкина, Э. И., Маркова, Н. Г., Мартищенко, Л. Г., 1961: Определение Абсолютного Возраста По C^{14} при помощи пропорционального Счетчика.

RADIOCARBON DATING OF SOME GEOLOGICAL AND ARCHEOLOGICAL SAMPLES

Li Xing-guo Liu Guang-lian Xu Guo-ying Wang Fu-lin Liu Kun-shan

(*Institute of Vertebrate Palaeontology And Palaeoanthropology, Academia Sinica*)

Summary

The Radiocarbon Laboratory of the Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology was established in 1973. Initially C_2H_2 activity was determined by proportional counting, Results of the first measurement were completed in Spring 1976.

This method of dating is C_2H_2 of benzene synthesis and liquid scintillation Counting. The Silica-Alumina-Chromium ($CrO_3-Al_2O_3-SiO_2$) activated catalyst is used for final benzene synthesis. Once the C_2H_2 has been absorbed by the catalyst, the tube is heated 80 to 120°C for 60 to 90 min and all C_6H_6 is collected in a dry-ice trap. With typical yield > 80% for the whole process, the benzene purity achieved 99.9%.

The counting solution is prepared by adding 1 ml of scintillator solution 36 gr PPO and 0.6 gr POPOP in 1 L toluene. 5 ml of benzene obtained from the synthesis. The counting vials used are made in our Laboratory of low-potassium glass, modified to 10 ml and the shieldroom top, bottom and shielding by a disk of old lead 60 mm thick and 100 mm. The cork cap liner is replaced by a teflon disk.

The samples are generally counted successively for a total of 2000 to 3000 min, with a background and a modern standard. All samples are weighed before and after counting to examine the possible benzene loss.

The benzene is transferred to counting vial and weighed. If the amount benzene is < 5 ml the difference is made up by adding "dead" benzene, Peking Analyzed reagent, spectrophotometric grade, a modern-standard sample is used for 2 mos lost only 40 mg, background in all vials was measured relative to each other, all vials exhibit

Table 1 Consistency (stability) of counter system. 5 ml benzene solution.

Counting period	Background (cpm)	Modern standard (cpm/g. benzene)
2/14-3/1-1978	10.46±0.10	8.87±0.06
2/19-3/3	10.58±0.10	9.02±0.06
3/4		8.91±0.06
3/5		8.91±0.06
4/15-4/25	10.60±0.10	8.80±0.60
7/12	10.70±0.10	
8/17		8.82±0.11

the same background within an average deviation of 3.7%.

The constant cycling of the samples has no effect on the respective activities as there is negligible leakage from the vials under the operating conditions. The stability of the system was checked and as shown in table 1, was very good.

Radiocarbon ages are calculated using the C^{14} half-life 5730 years with 7850 years wood as a modern standard, the ages obtained are given as years before present B P with A D 1950 of zero age as present reference.

The present list report C^{14} measurements made in our Laboratory from October 1977 to July 1978.

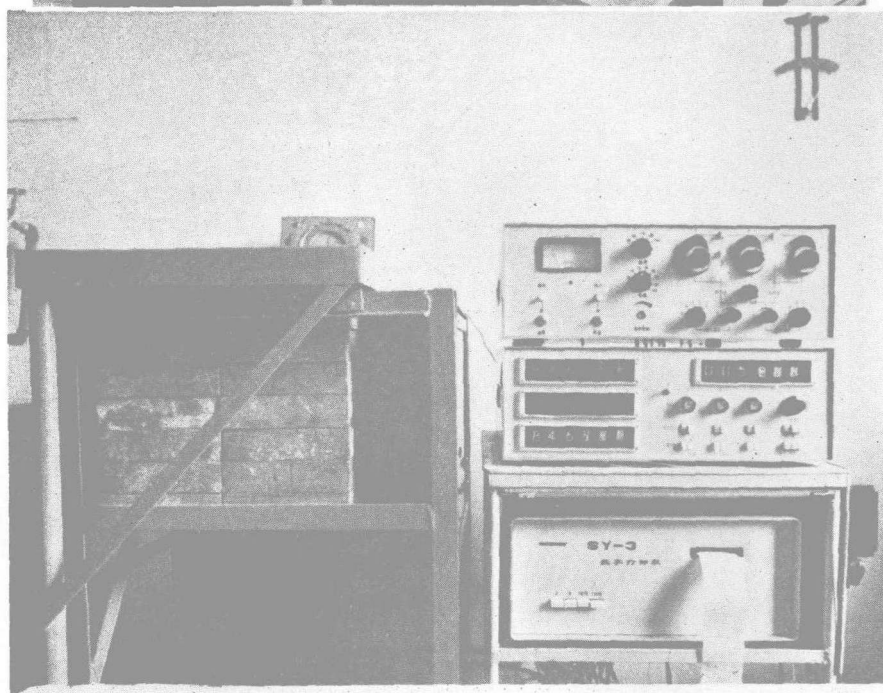
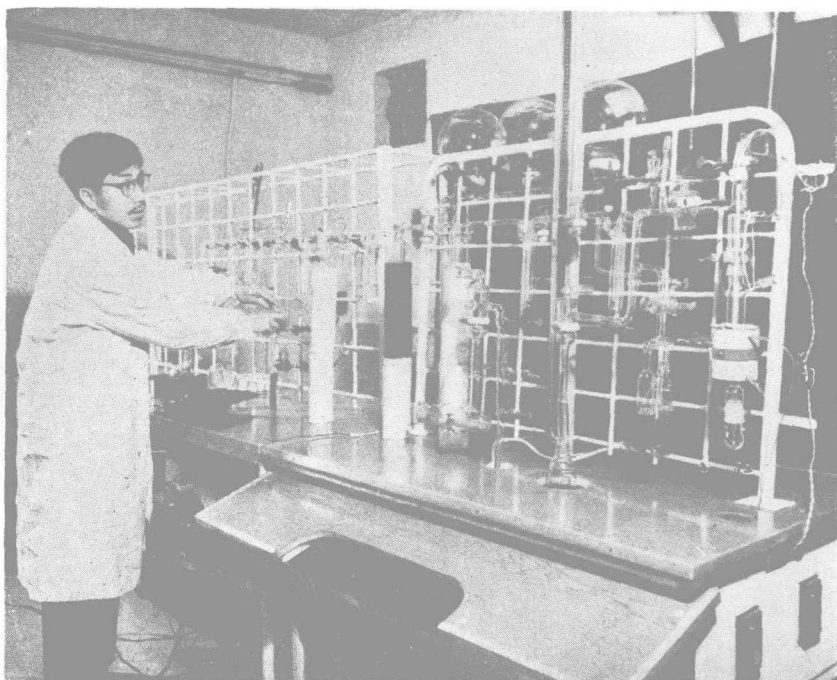
As this is our first publication on C^{14} measurements. We wish to establish our credibility by presenting in table 2: some cross-check samples with other laboratories.

Table 2 C_2H_2 -benzene cross-check samples.

samples	Proportional counter C^{14} date	liquid scintillation C^{14} date	other laboratory C^{14} date	archaeological age
charcoal	PV-7 5910 \pm 165		ZK-295 5965 \pm 115	Neolithic period
wood	PV-14 7640 \pm 140	PV-14 7310 \pm 150	ZK-19 7485 \pm 130	Late palaeolithic period
wood	PV-15 11770 \pm 230	PV-15 11280 \pm 200		Late palaeolithic period
coffin	PV-26 2280 \pm 85	PV-26 2290 \pm 95	ZK-3 2240 \pm 80 CG-5 2338 \pm 90	Warrings states period
coffin		PV-27 2310 \pm 80	ZK-26 2245 \pm 90	Warrings states period
acorn		PV-47 6260 \pm 130 PV-47 6290 \pm 130**	ZK-263 6065 \pm 115 BK-75057 6310 \pm 100*	Hemudu Culture

* wood. **Measurement by Peking University.

We gratefully acknowledge the invaluable help and advice of Qiu Shi-hua and Cai Lian-zhen from Institute of Archaeology, Chinese Academy Social Science and Archaeological Section Department of History Peking University has also helped and supplied the check sample.



上图：碳化钙水解及合成苯系统
下图：测量装置全貌