

# 周口店龙骨山新洞钙质沉积铀系年代

赵树森 刘明林

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

**关键词** 周口店龙骨山; 钙质沉积; 铀系年代; 古温度; 深海岩心同位素记录

## 内 容 提 要

新洞(北京猿人遗址第4地点)钙质沉积地层厚2米。钙华的 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 年龄为距今17.9万、13.9万、12.8万和8.8万年。新洞形成于距今20万年以前。洞内古人类开始活动时间为距今20万年以前,与猿人洞古人类活动时代上限(23—26万年)近似。

采自新洞的石钟乳和石笋样品,其生长年代为距今8—5万年。在七万多年时新洞古温度为 $13.2^{\circ}\text{C}$ (石钟乳样)和 $13.7^{\circ}\text{C}$ (石笋样)。至5.5万年左右,新洞地区古温度是 $11.9^{\circ}\text{C}$ (石笋样)。

1979年北京猿人遗址年代学研究指出,北京周口店龙骨山猿人洞内古人类活动时代,开始于距今五十多万年以前,至距今23万年左右,北京猿人离开猿人洞迁居他处(赵树森等,1985a)。那么,在龙骨山是否还有古人类的穴居点,其生活环境如何?则成为一个新的研究课题。本文选出保存有古人类牙齿化石的龙骨山新洞为研究洞穴。试图应用洞穴碳酸钙沉积物研究洞穴与沉积物形成和古人类活动时代以及古气候环境。

## 一、铀在洞穴沉积物中的地球化学作用和测年样品要求

铀封存于洞穴钙质沉积的过程: 大气降水(雨、雪)及地表水渗入地下的过程中,溶解了大气中和土壤内生物产生的 $\text{CO}_2$ 和腐植酸等有机和无机酸类,使地下水微带酸性,常常容易将岩石,特别是石灰岩的 $\text{CaCO}_3$ ,形成可溶性的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 而被溶解,与此同时,微带酸性的地下水可将岩、土中的微量铀淋滤至水中,(包括滤取和反弹作用)。放射性元素——铀,在近地表氧化环境中,多呈六价,形成可溶的 $\text{UO}_2^{2+}$ 离子,它与 $\text{CO}_2$ 结合,形成稳定的 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$ 或 $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ 络阴离子随地下水运移,通过裂隙渗入地下溶洞后,由于洞内较干燥,水份蒸发和 $\text{CO}_2$ 逸出,使液态含铀的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,形成含铀碳酸钙沉淀于洞内。伴随碳酸钙沉淀,铀被封存于洞穴沉积物中(Hennig and Bangert, 1978)。人们应用铀被封存于洞穴沉积物后的放射性衰变规律与 $^{231}\text{U}$ 过剩进行年代测定(Ku, 1976)。通常这种洞穴钙质沉积主要含铀,而不含或少含放射性元素——钍(因钍元素稳定,不易被溶于水运移)。目前,适用铀系法测年的洞穴碳酸钙样品有流石、石笋、石钟乳、钙华和钙积层(钙板)等。

应用单一碳酸钙样品铀系法测定年代,需要测年样品具备下述条件: 1) 样品层位清

楚,代表研究对象;2)样品为封闭系统,这是用单个样品 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 法测年的前提。即要求样品中的铀元素自进入样品中,不再发生带出,样品也没有新的铀带人,保持 $^{238}\text{U}$ 至 $^{230}\text{Th}$ 衰变链为封闭系统。为满足此条件,应尽求采集洞内深处受后期地下水和大气降水影响少、结构致密的样品测年。样品封闭性检查的室内工作,可用碳、氧稳定同位素和两种测年方法检验。3)样品形成时,没有与铀共沉淀的钍。即样品中不含(或极少量)钍。这需在选样时,尽求除掉碎屑矿物,选用纯净洁白碳酸盐岩测年。

## 二、地质背景与采样位置

龙骨山新洞即北京猿人遗址第4地点,位于龙骨山猿人洞(北京猿人遗址第1地点)的南部约70米(赵树森等,1985b)。新洞发现于1967年。岩洞围岩是中奥陶统石灰岩,洞体沿层理向北延伸。洞口多为灰岩角砾堆积物,洞内发育碳酸钙沉积,堆积厚度为两米左右,堆积物近水平方向,岩性以砂质粘土,灰质角砾层为主,中间夹有纯度不均的数层碳酸盐岩。堆积层底部发育有黑褐色和棕红色灰层,质松软,宽约一米,厚度约0.8—1.0米。洞内堆积平台上部发育大小不等的石笋,大的石笋底径可达100厘米。洞顶石钟乳多坍塌落地。

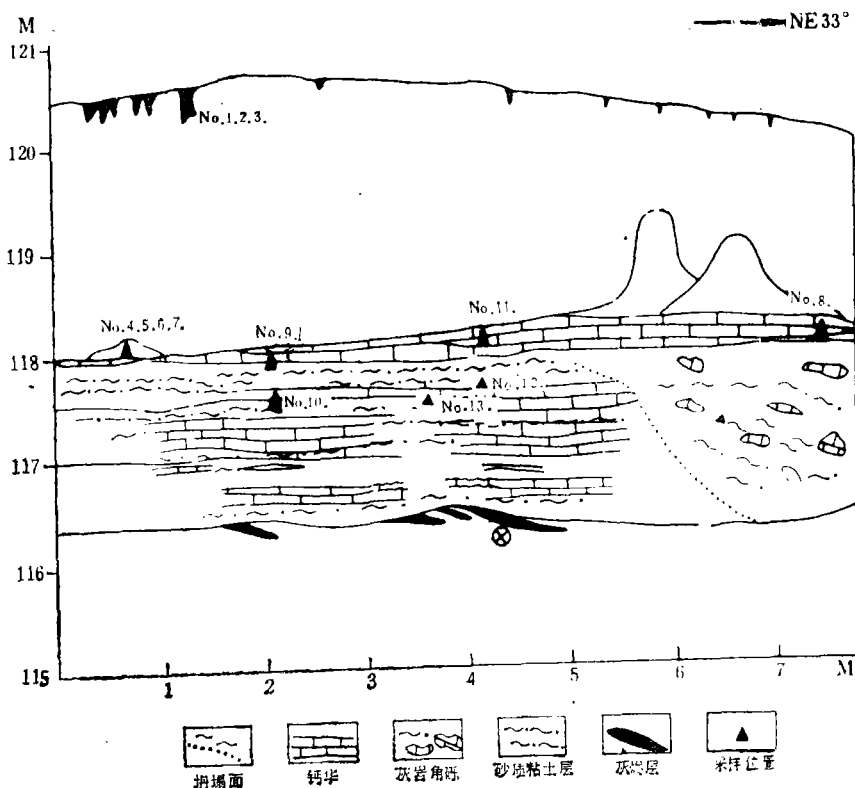


图1 新洞堆积剖面 and 采样位置

The section of sediment and the site of samples in the New cave

新洞自从发现以来,经顾玉珉等研究(顾玉珉,1978),于洞底部发现古人类牙齿。年代学研究,曾对洞底灰烬层中石英样品,测得热释光年龄,指出新洞古人类用火时代为 $(257 \pm 36)10^3$ 年,晚于猿人洞洞穴堆积上文化层时代(裴静娴,1985)。又用碳-14 测年方法,于同一灰烬层取炭质样品,年龄是老于 40,000 年(黎兴国等,1985)。我们先后于 1977,1981 和 1982 年对新洞进行调查取样,草测洞内平台堆积剖面,见图 1。于新洞内共采样品 14 个(其中四个石笋样品是陈跃采集)。有关铀系法测年样品采集位置和叙述见表 1。

表 1 采样位置及样品描述

样 号	样 名	采样位置、描述	采样日期	备 注
No. 1	石钟乳(心)	No. 1. 和 No. 2. No. 3. 为同一个洞顶坍塌落地的石钟乳,石钟乳长约 38cm,直径 14.5—9cm,取近根部断面直径为 11—10cm。详见图 2 部位。	1977年12月	No. 1 样距心部 1cm 处。
No. 2	石钟乳(中)			No. 2. 距心约 5—6cm 处。
No. 3	石钟乳(边)			No. 3. 近边处,此石钟乳断面做了稳定同位素研究。
No. 4	石笋(心)	取洞内平台上面一个石笋,取样四个,石笋直径为 40cm 左右	1985年	陈跃采样,此石笋做了稳定同位素研究。
No. 5	石笋(近心)			
No. 6	石笋(近边)			
No. 7	石笋(边)			
No. 8	钙华	洞内北部石笋下面钙板	1977年12月	见图 1 位置 No. 9 样分析误差较大,可参考。
No. 9	钙华	洞内平台下 10cm 处第一层钙板	1981年 3 月	
No. 10	钙华	平台下, No. 9. 样下面 20—30cm 处洞内平台中部表层钙质沉积	1981年 3 月	
No. 11	钙华		1982年 7 月	
No. 12	钙华		1982年 7 月	
No. 13	钙华	位于 No. 11 样下面 35—45cm (第二层钙板) 洞内平台下面,位于 No. 12. 样南约 50cm 处	1982年 7 月	
No. 14	钙华	新洞入口后,北部堆积层顶部钙质沉积	1982年 7 月	此钙华下面堆积物中有骨化石,北大考古系同时取样测年。

### 三、分析方法与分析结果

#### 1. 分析方法

有关碳酸盐岩  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  法测年分析流程(赵树森等,1985b)和稳定同位素分析方法已有报道(Yan Zheng et al., 1984)(陈跃等,1986),本文略。本文所用测年样品均与稳定同位素研究同取一个样品。并且是按石钟乳和石笋的生长轮,由心部至边部做系统采样。取样位置见图 2。由于取样严格,并用稳定同位素鉴定石钟乳和石笋样品为封闭系

统,所以有关分析结果可信。

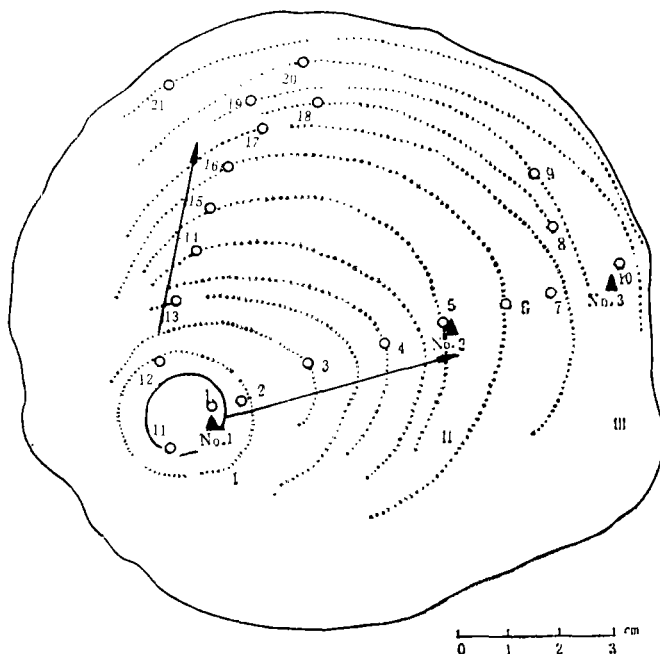


图 2 石钟乳剖面 and 采样位置

The section of stalactite and the site of samples

## 2. 分析结果

有关 14 个洞穴钙质沉积样品的  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  年代和有关古温度测定结果, (Yan Zheng et al., 1984), (陈跃等, 1986) 综合列于表 2。

表 2 年代分析结果表明:

1. 新洞内碳酸钙沉积物年代与沉积地层顺序相符合。从表 2 资料和样品研究过程可看出, 平台下面钙质沉积或多或少都含碎屑矿物, 均较平台上面的石钟乳和石笋含钍高, 反映其  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Tn}$  放射性活度比值低, 均小于 30。对这种测年样品, 通常会导致偏老测年结果。需适当做年代校正(赵树森等, 1989)。从 No. 8—No. 13 六个样品年代可看出, 不管年代做或不做校正, 其年龄均与地层顺序相符。测量的最老钙华年龄为 20.4 万年, 校正年龄为 17.9 万年 (No. 10 样), 其上层钙质沉积年代分别为 16.9 万年, 15.9 万年, 9.7 万年和 8.4 万年(此样测量误差很大, 为了对比参考, 也列出), 平台顶部最年青钙华(流石) 年代为 7.4 万年。这六个年代序列与洞内流水作用形成的钙质堆积地层层序完全符合。

2. 洞内滴水作用形成的石钟乳与石笋具有较好封闭性 (Yan Zheng et al., 1984; 陈跃等, 1986)。所测年代与生长顺序符合。石钟乳样品, 偏跟部断面(直径 11—10cm) 心部年龄为 7.6 万年 (No. 1 样), 边部年龄为 5 万年 (No. 3 样) 中间沉积厚度约 9cm。石笋的四个样品, 心部年龄为 7.5 万年, 向边部生长层年代依次为 6.5 万年, 6.1 万年和边部为

表 2 周口店新洞钙质沉积铀系年龄、古温度

样 号	样 名	U (ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	年龄 ( $10^3$ 年)	校正年龄 ( $10^3$ 年)	古温度
No. 1	石钟乳(心)	$1.18 \pm 0.02$	$1.37 \pm 0.03$	$0.52 \pm 0.01$	133	$76 \pm 2$	$72 \pm 2$	$13.2^\circ\text{C}$
No. 2	石钟乳(中)	$1.17 \pm 0.02$	$1.35 \pm 0.02$	$0.47 \pm 0.01$	63	$66 \pm 2$	$63 \pm 2$	
No. 3	石钟乳(边)	$1.30 \pm 0.04$	$1.28 \pm 0.04$	$0.37 \pm 0.01$	110	$50 \pm 2$	$49 \pm 2$	
No. 4	石笋(心)	$0.13 \pm 0.01$	$1.59 \pm 0.05$	$0.52 \pm 0.02$	21	$75 \pm 3$	$71 \pm 3$	$13.7^\circ\text{C}$
No. 5	石笋(近心)	$0.24 \pm 0.01$	$1.49 \pm 0.05$	$0.46 \pm 0.02$	>200	$65 \pm 3$	$65 \pm 3$	$9.5^\circ\text{C}$
No. 6	石笋(近边)	$0.17 \pm 0.01$	$1.46 \pm 0.05$	$0.44 \pm 0.02$	>200	$61 \pm 3$	$61 \pm 3$	$11.4^\circ\text{C}$
No. 7	石笋(边)	$0.17 \pm 0.01$	$1.50 \pm 0.04$	$0.41 \pm 0.01$	>200	$55 \pm 2$	$55 \pm 2$	$11.9^\circ\text{C}$
No. 8	钙华	$0.68 \pm 0.02$	$1.29 \pm 0.03$	$0.61 \pm 0.02$	28	$97 \pm 4$	$88 \pm 3$	
No. 9	钙华	$0.20 \pm 0.02$	$1.32 \pm 0.08$	$0.56 \pm 0.04$	10	$84 \pm 8$		
No. 10	钙华	$0.22 \pm 0.01$	$1.24 \pm 0.05$	$0.89 \pm 0.03$	20	$204 \pm 13$	$179 \pm 11$	
No. 11	钙华	$0.19 \pm 0.01$	$1.31 \pm 0.04$	$0.50 \pm 0.02$	5	$74 \pm 3$	$54 \pm 3$	
No. 12	钙华	$0.19 \pm 0.01$	$1.20 \pm 0.05$	$0.79 \pm 0.03$	10	$159 \pm 9$	$128 \pm 7$	
No. 13	钙华	$0.25 \pm 0.01$	$1.19 \pm 0.03$	$0.82 \pm 0.02$	11	$169 \pm 8$	$139 \pm 5$	
No. 14	钙华	$0.19 \pm 0.01$	$1.25 \pm 0.05$	$0.58 \pm 0.02$	7	$92 \pm 4$	$73 \pm 4$	

5.5 万年。也与生长层相符合。

3. 古温度测定结果表明,石钟乳和石笋心部沉积物古温度分别为  $13.2^\circ\text{C}$  (Yan Zheng et al., 1984) 和  $13.7^\circ\text{C}$  (陈跃等, 1986)。它们说明,在距今七万多年时,新洞地区气候较温暖。后来,至 6.5 万年左右,新洞地区气温又下降为  $9.5^\circ\text{C}$  (No.5 样),至距今 5.5 万年左右时,新洞古气温又稍回升,为  $11.4^\circ\text{C}$  和  $11.9^\circ\text{C}$ 。

4. 取自新洞入口处另一堆积剖面顶部的钙华 (No.14 样) 年龄为 9.2 万年(校正年龄为 7.3 万年)。下面堆积物厚达 3—5 米,堆积物中发现许多动物骨化石碎片。经北大考古系原思训等研究指出,骨化石年龄为距今十几万年。

## 四、结果与讨论

1. 本文所用化学分析流程,铀和钍回收率可达 80% 以上。测年样品经显微镜鉴定和稳定同位素研究,石钟乳和石笋样品为封闭系统。所测铀系年龄与地层和钙质沉积顺序符合。

2. 新洞堆积物,可做为中更新统中部和上部洞穴堆积剖面。其年代为距今 20 万年至 7 万年(洞内平台以下堆积)和距今 8 万至 5 万年(石钟乳和石笋沉积)。

3. 新洞形成于距今廿多万年前。主要依据是平台下面钙华年代为 18 万年至 9 万年 (No.8 样);以及洞底灰烬层热释光年代为 25.7 万年。结合古人用火测年结果,可知,

新洞古人类活动时代开始于距今 20 多万年,可能与龙骨山猿人洞古人类活动时代的上限(23—26 万年)相近似。

4. 新洞洞穴发育,大致经历以下过程。约在距今 26 万年以前,形成新洞洞体。在距今 20 多万至 9 万年期间,洞内地下水较丰富,以流水为主,伴随气候干、湿多次变化,形成平台下面的多层钙板和砂粘土层堆积。至距今七万年左右,气候有一变干冷阶段,洞内地下水减少,以滴水作用为主,于距今 7 万多年至 5 万年期间,洞穴环境有利于石钟乳、石笋发育,形成较丰富的钙质沉积物。分布于平台上面的大小石笋和洞顶悬挂的石钟乳多是此期间洞内滴水沉积物的代表。

5. 新洞地区古气候古温度具有以下特点。根据新洞一个石钟乳和一个石笋样品的系统年代学和相应稳定同位素研究表明,新洞在距今 8 万至 5 万年期间,古气候环境经历了由高气温逐渐下降,又渐回暖气温升高的过程。反映在距今七万多年时形成的石钟乳和石笋,成岩古温度为  $13.2^{\circ}\text{C}$  和  $13.7^{\circ}\text{C}$ ,那时的古气温比现在此地区要暖湿一些,类似当今淮河一带平均气温。它与 V28-239 深海岩心同位素记录资料对比,相当第五暖期(赵树森等,1989)。新洞地区至距今 6.5 万年左右时,气温有所下降为  $9.5^{\circ}\text{C}$ ,相当第四冷期。后来又逐渐回暖,至距今 6—5 万年期间,新洞地区年均气温又回升为  $11.4^{\circ}\text{C}$  左右,它与深海岩心同位素记录的第三暖期相符。

## 结 束 语

洞穴钙质沉积是研究洞穴发育历史、古气候和古环境与更新世年代学的可用样品。本文报道了两个样品(石钟乳、石笋)  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  测年和古温度研究相结合的成功结果。为了更深入开展洞穴沉积物年代学与古温度研究,还需要扩大测年方法和开展同样品多方法测年研究。例如,同一样品用  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  和  $^{231}\text{Pa}/^{230}\text{Th}$  方法;铀系法与其它测年方法,用更多方法验证样品封闭性和测年结果。此外,洞穴沉积物年代学需开展 ESR 法;对含碎屑碳酸盐岩样品,开展  $^{210}\text{Th}/^{234}\text{U}$  等时线法测年;结合研究区水及最新钙质沉积物铀同位素研究,开展  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  法,以扩大测年范围。

在完成本文工作中,曾得到乔广生、沙庆安、王孔珊、张承蕙、夏明、吴乾蕃等同志协助采样和测量计算工作,在此感谢。

(1990 年 4 月 10 日收稿)

## 参 考 文 献

- 陈 跃、黄培华、朱洪山,1986。北京周口店地区洞穴内第四纪石笋的同位素古温度研究。科学通报,(20): 1576—1578。
- 赵树森等,1985a。应用铀系法研究北京猿人年代。《北京猿人遗址综合研究》246—250。科学出版社,北京。
- 赵树森、刘明林、马志邦,1985b。洞穴沉积物铀系法年代测定。《喀斯特地貌与洞穴》102—108。科学出版社,北京。
- 赵树森、刘明林、乔广生,1989。中国东部喀斯特洞穴沉积物铀系年代。中国岩溶,8(1): 53—60。
- 顾玉珉,1978。周口店新洞人及其生活环境。《古人类论文集》158—171。科学出版社,北京。
- 黎兴国等,1985。周口店山顶洞人和新洞人的碳 14 年代测定。《北京猿人遗址综合研究》261—262。科学出版社,北京。
- 裴静娴,1985。北京猿人洞穴堆积及其它洞穴堆积的热发光年龄。《北京猿人遗址综合研究》256—260。科学出版社,北京。

- Hennig, G. J. and U. Bangert, 1978. Dating of Pleistocene calcite formation by disequilibrium in the uranium decay series. in *Proceedings of the 18th International Symposium on Archaeometry and Archaeological Prospection, Bonn*. 464—475. Bonn.
- Ku, T. L., 1976. The uranium-series methods of age determination. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 4: 347—379.
- Yan Zheng et al., 1984. Oxygen isotope composition, paleotemperature and  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of speleothem from the fourth cave of Peking Man Site. In: *Developments in Geoscience of Contribution to 27th International Geological Congress, Moscow*. 177—183. Science Press, Beijing.

## THE URANIUM-SERIES DATING OF SPELEOTHEMS ON THE NEW CAVE OF ZHOUKOU DIAN LONGGU HILL IN BEIJING

Zhao Shusen    Liu Minglin

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing 100029)

**Key words**    Zhoukoudian Longgu hill; Speleothem; Uranium-series dating; Paleotemperature

### Abstract

The  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  ages of travertin in the New Cave are as follows: 179 Ky., 139 Ky., 128 Ky. and 88 Ky. B.P.. So the New Cave was formed at 200 Ky. B.P., while the human activity has begun there. This age is roughly in accordance with the upper limit (230—260 Ky.) of the human activity in the 1st place of the Peking Man Site.

The ages of growing of the stalagmite and stalactite in New Cave are about 80—50 Ky. B.P.. At more than 70 Ky. B.P. the paleotemperature was 13.2°C (stalactite sample) and 13.7°C (stalagmite sample); at 55 Ky. B.P., the paleotemperature decreased to 11.9°C judging from the stalagmite sample.