

湖北“郧县人”化石地层的 ESR 测年研究*

陈铁梅 杨全 胡艳秋

(北京大学考古系, 北京 100871)

李天元

(湖北省文物考古研究所, 武汉 430077)

摘 要

本文报道用电子自旋共振法测定与郧县人颅骨同层的 9 个哺乳动物牙釉质化石年龄的结果。其平均值为 58.1 ± 9.3 万年。对被测样检验了其对轴的封闭性, 采用指数函数拟合与轴早期加入模型计算年龄。讨论了测年中可能存在的系统误差。

关键词 直立人, 郧县, 电子自旋共振测年, 牙釉质

1989 与 1990 年在湖北郧县曲远河口, 汉水北岸四级阶地的学堂梁子相继发现两具古人类颅骨化石 EV9001 和 EV9002 (李天元等, 1991)。形态学研究认为, 虽然它们具有早期智人的某些性状, 但从总体特征观察, 还应归入直立人范畴, 并命名为“郧县人”。两个颅骨均出自学堂梁子剖面的第三层, 两者相距仅 3.3 米, 同层伴生有大量哺乳动物化石, 化石被钙质结核所包裹。第四、五层土质较第三层疏松, 亦含丰富的哺乳类化石。这三层的动物群之间未显示明显的时代差异, 研究者将其视为与郧县人化石伴生的哺乳动物群。在化石地点及其邻近还采集到几十件石器, 说明这是一个古人类活动遗址。李天元等 (1994, Li and Etler 1992) 根据颅骨形态、哺乳动物群等因素, 认为“该地点的时代属中更新世早期或稍早”, 郧县人的进化位置“处于北京人和蓝田人之间, 似与蓝田人更为接近”。

郧县人颅骨虽已严重变形, 但其完整程度甚高, 特别是其面颅和颅底保存良好, 这在同时代其他材料中是极少见的。其绝对年龄测定有重要意义。阎桂林 (1993) 测定郧县人化石地层的古地磁年龄约为 $0.83-0.87\text{Ma}$ 。

1 实验结果

本文用电子自旋共振 (ESR) 法测定了该地点 10 个牙化石釉质样的年龄。基本的实验方法在陈铁梅等 (1993a) 测金牛山遗址年龄一文中已有论述。主要不同之处在于用简

收稿日期: 1995-02-20

* 国家自然科学基金资助项目。

单指数函数, 而不是线性函数拟合求样品的累积剂量 AD 值, 因为郧县釉质样的含铀量高, 年龄老。测年结果列于表 1 中。

表 1 郧县 10 个动物牙釉质样品的累积剂量和 ESR 测年结果

AD and age determination for 10 samples from Yunxian site

样品号 Sam. No	层位 Lay.	累积剂量 AD (Gy)	釉 质 Enamel			牙 本 质 Dentine			ESR 年龄 ESR Age (ka)
			U*($\mu\text{g}/\text{g}$)	U234/ U238	Th230/ U234	U ($\mu\text{g}/\text{g}$)	U234/ U238	Th230/ U234	
Y92002	3	5636 ± 1170	16.1 ± 2.0			84.0 ± 3.0			588 ± 144
Y92006	3	5464 ± 600	14.4 ± 0.6	1.35 ± .06	1.09 ± .05	36.3 ± 2.0			687 ± 110
Y92008	3	7443 ± 700	30.9 ± 2.0			89.7 ± 3.8	1.57 ± .06	1.23 ± .06	483 ± 73
Y92009	3	7726 ± 1500	19.8 ± 2.0			85.9 ± 4.6	1.56 ± .06	1.17 ± .07	686 ± 150
Y93101	3	5806 ± 300	27.6 ± 0.9	1.24 ± .04	1.08 ± .04	31.8 ± 2.0			455 ± 58
Y93102	3	6615 ± 2000	22.5 ± 1.5	1.45 ± .09	1.07 ± .07	24.1 ± 2.0			572 ± 190
Y93103	3	4788 ± 400	19.0 ± 0.5	1.23 ± .04	1.07 ± .04	24.1 ± 2.0			516 ± 81
Y93104	3	5755 ± 1000	19.8 ± 2.0			81.5 ± 3.0			541 ± 126
Y92011	3	6745 ± 900	17.2 ± 0.6	1.22 ± .04	1.08 ± .05	76.9 ± 3.2	1.13 ± .06	1.26 ± .06	704 ± 125
Y92010	4	9612 ± 1580	22.0 ± 2.0			87.6 ± 2.1	1.22 ± .02	1.38 ± .04	800 ± 164

表中各物理量的误差主要为实验误差, 但 AD 的误差值既考虑了实验点相对于实验曲线的涨落, 也考虑了因最大人工辐照剂量值的改变所导致的 AD 值的变化, 即部分包含了因实际情况偏离指数函数拟合所引进的系统误差。ESR 年龄是用铀早期加入模式计算的, 计算中取氦逸失系数为 $30 \pm 15\%$, 样品及周围埋藏土的含水量为 $10 \pm 5\%$ 。为了与国内外其他实验室的 ESR 测年结果可比, 本文对 α 效率系数 K_α 取 0.15。实测周围埋藏土的铀、钍、钾含量分别为 $1.9 \pm 0.2 \mu\text{g}/\text{g}$, $7.1 \pm 1.0 \mu\text{g}/\text{g}$ 和 $1.5 \pm 0.3\%$ 。表中各样品年龄值的误差是根据所有有关量的误差用误差传递公式计算而得, 因此它们主要也仅是实验误差。

10 个样品中除 Y92010 采自第四层外, 其他样品均属第三层 (Y92011 在第三层底部)。三层 9 个样的年龄平均值及其标准误差 (反映 9 个年龄值间的离散程度) 为 58.1 ± 9.3 万年。我们把此年龄值赋于第三层, 即认为郧县人的年代也应在此年龄区间, 这比古地磁年龄为晚。第四层 Y92010 样的测年结果为 80 ± 16 万年, 相应较老, 但由于只测了一个样品, 其可靠性有待进一步证实。

2 ESR 测年中的系统误差讨论

对釉质 ESR 测年中可能存在的系统误差讨论如下:

2.1 ESR 信号的剂量响应偏离指数函数的问题

Barabas 等 (1992) 详细研究了碳酸盐样品 ESR 信号的剂量响应, 表明当 AD 值大于 0.5 KGY 时, 指数函数拟合给出的 AD 值系统地偏高。Grün (1991) 和陈铁梅等 (1993b; Chen *et al.*, 1994) 对釉质样也观察到同样的现象。但陈铁梅等 (1995) 实验研究表明, 当 $AD < 1$ KGY 或 $AD > 4$ KGY 时, 指数函数拟合给出的 AD 值偏离真值不

大。而当 AD 在 1—4 KGY 之间时，指数拟合的 AD 值偏高，最大误差为 20% 左右。郟县第三层 9 个釉质样的 AD 值在 4.8—7.8 KGY 之间（见表 1），均大于 4 KGY，根据上述的实验结果，由指数函数拟合求得的 AD 值不会引进太大的系统误差。此外这九个样的 AD 值与年龄值之间不存在明显的关联，它们间的标准差 9.3 万年，总体上也不比单个样品年龄的实验误差为大，也可作为所定 AD 值不存在因选用拟合函数不当而引入显著系统误差的旁证。

退一步来讲，即使用指数函数拟合的确引入了系统误差，那么这会使 ESR 测年结果偏高，不能当作 ESR 年龄实际低于古地磁年龄的解释。

2.2 样品对轴的封闭性问题

本文是用釉早期加入模式计算 ESR 年龄的，其前提是要求样品对轴封闭。我们对 10 个釉质样品中的 5 个作了轴封闭性检验，它们的 $^{230}\text{Th} / ^{234}\text{U}$ 比值均在 1.07—1.09 之间（见表 1），与平衡值（平衡值在 1.04—1.07 间，视 $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ 比值不同而稍有变化）在实验误差范围内是一致的。因此可以认为：至少在最近的 35 万年内，这些釉质样对轴是封闭的。鉴于所有被测样的埋藏环境相同，且均被钙质结核所包裹，又没有观察到埋藏环境过去曾有过强烈变化的迹象，因此我们认为封闭性判断适用于所有被测釉质样品，且可能可以推前到更早的埋藏时期。

对 4 个牙本质样也检验了轴封闭性，其 $^{230}\text{Th} / ^{234}\text{U}$ 比值均高于平衡值，即发生过轴的部分析出。用表 1 中实测的牙本质的铀含量计算的 ESR 年龄会稍偏老。但由于牙本质中的轴对釉质吸收剂量的贡献并不大（对郟县样占 4% 到 9%），本文中未对此作校正。

如采用轴线性加入模型，则第三层 9 个样的平均 ESR 年龄可达 105 万年，但该模型与封闭性检验结果是矛盾的。

2.3 釉质中顺磁中心的有限寿命校正

ESR 测年的假设前提之一是：样品电子陷阱中的电子（称为顺磁中心）是稳定的，因此在恒定辐照下，如不考虑饱和问题，顺磁中心数随时间线性增加。如果顺磁中心的寿命在常温下不是无限长，即电子有一定的几率自发地自陷阱中逃逸，那么在恒定的辐射 D 下，测得的样品的累积剂量 AD 不随样品的年龄 t 线性增长，而是按指数规律增长：

$$AD = D \cdot \tau(1 - e^{-t/\tau}) \dots\dots\dots(1)$$

式中 τ 为常温下顺磁中心的平均寿命。目前对釉质中相对于 $g = 2.0016$ 的顺磁中心的寿命尚未精确测定。据 Schwarcz (1985) 和梁任又等 (1991) 测定分别为 10^7 和 7×10^6 年。当样品的年龄与 τ 值可比时，如不作顺磁中心有限寿命校正，通常的 ESR 测年结果会偏低。对于郟县的情况，如取 $\tau = 7 \times 10^6$ 年作校正后，校正量为 4.4%，即达 60.7 万年。校正后的年龄值仍低于古地磁年龄。

郟县的动物群“主要显示南方动物群的性质”，反映当时偏暖的气候。而 58 万年左右正好与黄土地层的 S₅ 相对应，这是一个延续时间相当长约 15 万年的温暖期（库克拉等，1990）；从全国孢粉记录看，它相当于第七气候期，“总的气候特征是暖湿”（童国榜等，1991）。83—87 万年与黄土地层的 L₉—S₉ 对应（库克拉等，1990），气候变化频繁，但孢粉分析认为 80—90 万年“气候波幅大，为早更新世最干、最冷的阶段”（童国榜等，1991）。因此，从更新世的气候旋回分析，ESR 年龄似乎更易被接受。当然这里的讨论仅

是探讨性的。

虽然 ESR 测年与古地磁测年间有约 25 万年的差异, 但它们都把郧县人放在蓝田人与北京人之间, 反映了中国境内直立人进化的长期连续性。值得提出的是在川、鄂、陕、豫、晋交界, 东径 $109^{\circ}-112.6^{\circ}$, 北纬 $30.5^{\circ}-35^{\circ}$ 这一块不太大的地域曾先后在蓝田公王岭和陈家窝子、大荔、郧县梅铺和曲远河口、郧西、长阳、巫山、南召发现有直立人和早期智人的材料。此外发现有高等灵长类牙齿的建始, 以及匭河、西侯度等早期旧石器遗址也在这一区域中。我们还注意到河南、山西、陕西的早期旧石器主要采集于渑池、陕县、灵宝、垣曲、芮城、潼关和蓝田诸县, 其中除垣曲县稍偏东北外, 其它 6 县也属此范围。这一区域内早、中期古人类化石地点和早期旧石器地点如此密集, 不会是偶然的, 这在我国境内也许是少见的, 应引起人类学家与旧石器考古学家的注意。

参 考 文 献

- 李天元, 王正华, 李文森等. 1991. 湖北省郧县曲远河口化石地点调查与试掘. 江汉考古, (2): 1—14.
- 李天元, 王正华, 李文森等. 1994. 湖北郧县曲远河口人类颅骨的形态特征及其在人类演化中的位置. 人类学学报, 13(2): 104—116.
- 陈铁梅, 杨全, 吴恩. 1993a. 牙化石珐琅质的 ESR 测年研究. 核技术, 16(4): 194—199.
- 陈铁梅, 杨全, 吴恩. 1993b. 辽宁金牛山遗址牙釉质样品的电子自旋共振(ESR)测年研究. 人类学学报, 12(4): 337—346.
- 陈铁梅, 杨全, 吴恩. 1995. ESR 法测牙珐琅化石年龄中的累积剂量初步研究. 核技术, 18(8): 480—484.
- 库克拉, 安芷生, 刘东生. 1990. 中国中部黄土地层学. 见: 刘东生主编. 黄土·第四纪地质·全球变化·第二集. 北京: 科学出版社, 115—133.
- 梁任又. 1994. ESR 测年中样品顺磁中心的热稳定性研究. 波谱学杂志, 11(4): 377—381.
- 阎桂林. 1993. 湖北“郧县人”化石地层的磁性地层学初步研究. 地球科学—中国地质大学学报, 18(2): 221—226.
- 童国榜, 张俊牌, 郑洪瑞等. 1991. 中国第四纪孢粉植物气候旋回初探. 见: 梁名胜, 张吉林主编. 中国海陆第四纪对比研究. 北京: 科学出版社, 150—164.
- Chen Tiemei, Yang Quan *et al.* 1994. Antiquity of *Homo sapiens* in China. *Nature*, 368: 55—56.
- Grün R. 1991. Potential and problems of ESR dating. *Nucl Track Radiat Meas*, 18: 143—153.
- Li Tianyuan, Etlar D. A. 1992. New Middle Pleistocene hominid crania from Yunxian in China. *Nature*, 357: 404—407.
- Schwarz H. P. 1985. ESR studies of tooth enamel. *Nuclear Tracks*, 10: 865—870.
- Barabas M, Mudelsee M *et al.* 1992. Dose-response and thermal behaviour of the ESR signal at $g=2.0006$ in carbonates. *Quaternary Science Reviews*, 11: 173.

ESR DATING ON THE STRATIGRAPHY OF YUNXIAN *HOMO ERECTUS*, HUBEI, CHINA

Chen Tiemei Yang Quan Hu Yanqiu

(Department of Archaeology, Peking University, Beijing 100871)

Li Tianyuan

(Institute of Cultural Relics and Archaeology of Hubei Province, Wuhan 430077)

Abstract

Two almost complete fossil hominid crania (EV9001 and EV9002) had been early reported to be found in 1989 and 1990 in Middle Pleistocene terrace deposit of Han River, Yunxian county, Hubei province, China. They are classified as *Homo erectus*. In this paper ten fossil animal teeth stratigraphically associated with the skulls were selected for electron spin resonance (ESR) dating. Since ESR ages depend on the behaviour of uranium in fossils, the closed system assumption was checked for the fossil samples and early uranium uptake model was applied to age determination. Single exponent function was used to fit the ESR intensity response to the irradiation dose and its appropriateness was discussed.

The mean age and the standard deviation for these samples are 581 ± 93 ka. It deviates from the geomagnetic dating result of 830–870 ka. The possible systematic errors in ESR dating were discussed and they could not account for the disagreement. Anyway the dating results place Yunxian crania in between the *Homo erectus* found at Lantian and Zhoukoudian and indicate that Yunxian crania constitute an important link in the human evolutionary lineage of China.

Key words *Homo erectus*, Yunxian, Tooth enamel, ESR dating

* This project is sponsored by NSFC.