

长白山天池火山最近一次大喷发 年代研究及其意义*

刘若新 仇士华^① 蔡莲珍^① 魏海泉
杨清福^② 冼自强^① 薄官成^① 钟建^①

(国家地震局地质研究所, 北京 100029; ①中国社会科学院考古研究所, 北京 100006;

②吉林省地震局, 长春 130022)

摘要 对采自长白山天池火山最近一次大喷发的浮岩空降堆积物中的一棵大炭化木, 自边缘至中心作了系统的¹⁴C 年代测定, 并与高精度树轮校正曲线匹配拟合, 获得大喷发的年代为 AD(1215 ± 15)a. 讨论了这次大喷发对全球气候的影响, 指出这次大喷发最有可能对应于 GISP2 格陵兰冰芯中的 AD(1229 ± 2)a 的 SO₄²⁻ 峰.

关键词 长白山天池火山 大喷发年代 ¹⁴C 年代测定 全球气候变化

近年来的研究表明, 长白山天池火山是一座具有潜在灾害性大喷发危险的火山^[1~3]. 历史记载过该火山若干次喷发. 其中 AD1668, 1702a 的喷发具有中等规模, 其火山灰曾飘落至 150 km 之外的朝鲜东海岸镜城府一带, 厚达 4 cm 左右. 天池火山最近一次大喷发被认为是近 2000a 以来地球上最大的喷发之一^[4,5]. 然而对这次大喷发的年代, 虽然不同研究者对由该次大喷发摧毁的原始森林形成的炭化木, 做了大量¹⁴C 定年, 但目前仍只能限制在一定的年龄范围内. 例如 AD650~916a^[5], 915~1334a^[6,7], 750~960a 及 850~1040a^[2,3] 等, 或者称这次大喷发发生于大约在 1 000a 前. 由于对单个炭化木样品的¹⁴C 定年, 既难于避免由采自不同炭化木年轮所引起的误差, 也很难作系统有效的炭化木树轮校正. 因而关于长白山天池火山最近一次大喷发的年代仍然是不确定的. 而这次大喷发年代的确定, 对于研究该火山喷发间隔及未来危险性评价和灾害预测, 以及该次大喷发对全球气候和环境的影响都很重要. 本文对采自天池火山口以东约 30 km 的园池附近一个浮岩采石场中(图 1), 保存完好的一棵炭化木, 自中心至边缘进行了系统的¹⁴C 年代测定, 并采用与 Stuiver 和 Becker^[8] 的高精度树轮校正曲线匹配拟合, 获得了天池火山最近一次大喷发的具体年代.

1 测定方法的原理及过程

根据¹⁴C 测定年代的原理, ¹⁴C 年代(*T*)是根据样品的原始¹⁴C 放射性水平(*A₀*)同现存放射性水平(*A_s*)之比而计算出来的, 其公式为:

$$T = \text{tln}(A_0/A_s)$$

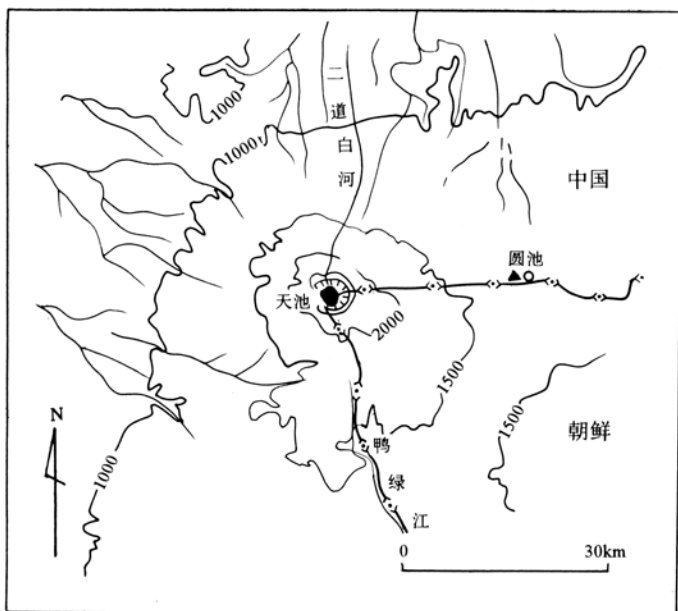


图 1 采样点位置

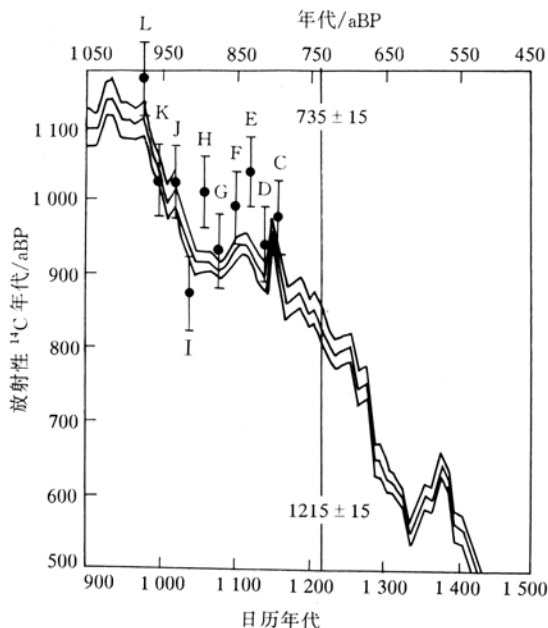
▲为采样点

年代同日历年代相当, 树轮的 ^{14}C 年代可以通过测定得出, 把树轮的 ^{14}C 年代作为纵坐标, 把树轮生长年代作横坐标, 就可得出一条 ^{14}C 年代——树轮年代的对照曲线(图 2). 通过这条曲线就可以把样品的 ^{14}C 年代转换为日历年代. 这就是 ^{14}C 年代的树轮年代校正.

1986 年发表了几条高精度树轮年代校正曲线, ^{14}C 年代误差缩小到只有正负十多年^[11]. 由于大气中的 ^{14}C 交换循环相当迅速, 因此树轮校正曲线原则上是全球可以通用的. 但是一个 ^{14}C 年代相对应的往往并不是单一的树轮年代值. 如图 2 所示, 假定 ^{14}C 年代是 $(950 \pm 10)\text{a}$, 转换到树轮年代就成为 AD1035~1154 a. 结果, 原来误差很小的 ^{14}C 年代数据, 对应的树轮年代范围却相当大. 所以单个 ^{14}C 年代数据即使是经过树轮校正的单个 ^{14}C 年代数据往往还不能给出准确的年代信息.

如果要求得到更为准确的年代, 则需要有一系列连续的 ^{14}C 年代数据同树轮校正曲线匹配拟合. 具体作法是: 先将连续的树轮 ^{14}C

式中 T 为 ^{14}C 的平均寿命, 但是样品的原始 ^{14}C 放射性水平无法直接测定, 只能利用现代与大气 CO_2 处于交换平衡状态物质的 ^{14}C 放射性水平来代替. 实际上是规定一个统一的标准, 称之为现代碳标准^[9]. 可是, 由于多种原因, 过去大气中的 ^{14}C 放射性水平不是恒定的. 所以利用统一的现代碳标准计算出来的 ^{14}C 年代并不是日历年代, 只能称为 ^{14}C 年代. 要解决 ^{14}C 年代与日历年代间的关系, 就必须通过 ^{14}C 年代与树轮年代(日历年代)校正曲线来进行校正^[10]. 原来, 树木每年生长一轮木质, 其 ^{14}C 放射性水平代表当年大气 ^{14}C 放射性水平. 树轮是可以数清的, 它的

图 2 炭化木树轮 ^{14}C 年代与树轮校正曲线匹配拟合图

曲线为 Stuiver 和 Becker^[8] 的高精度树轮校正曲线. L, K... D, C 分别代表炭化木中心至边缘每 20 个树轮为一个 ^{14}C 测定样品的 10 个连续样品, 线段长度为 ^{14}C 样品测定误差范围

年代数据, 绘成一小段相对固定的数据曲线, 其纵坐标与高精度树轮校正曲线的 ^{14}C 坐标一致. 将此曲线左右滑动平移, 同高精度树轮校正曲线匹配拟合, 并可用数理统计的最小二乘法加以检验, 给出拟合后样品树轮年代. 这样就可以得到该样品树轮的生长年代, 再外推到炭化木最外一轮的年代, 即是该树木停止生长的年代.

2 测定结果及与树轮校正曲线匹配拟合结果

上述采自园池附近浮岩降落堆积下部的炭化木, 树龄约有 270 a. 图 3 是炭化木的截面照片. 由外向内每 20 轮取一个样, 编号为 A, B, C, D, ……L 等 12 个样, A 层外面估计还有 20 轮才到树皮. 对 C 至 L 共 10 个样作了 ^{14}C 年代测定, 其结果见表 1:

表 1

实验室编号	ZK-1771	12K-1772	ZK-1773	ZK-1774	ZK-1775	ZK-1776	ZK-1777	ZK-1778	ZK-1779	ZK-12
取样号	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
^{14}C 年龄 ^{a)}	981 ± 50	943 ± 51	1 040 ± 52	992 ± 51	993 ± 51	1 014 ± 51	877 ± 52	1 025 ± 52	1 027 ± 53	1 170 ± 52

a) ^{14}C 以 AD1950 a 为起点, ^{14}C 半衰期按 5568 a 计

将上述 ^{14}C 数据投绘于以树轮校正曲线纵坐标一致的图上并与高精度树轮校正曲线匹配拟合, 得到的最佳拟合情况如图 2. 外推到树皮的年龄为 735 aBP. 拟合误差 ± 10 a, 加上清数树轮外推到最外轮的误差, 故其总误差不超过 ± 15 a. 即 AD(1215 ± 15) a. 这就是说, 长白山天池火山最近一次大喷发发生于 (1215 ± 15) aBP, 当时这棵距天池火山口约 30 km 的树被掩埋于浮岩降落堆积中并干馏成炭化木.

应当指出, 按已有 30 余个 ^{14}C 年代数据中比较年轻的那一部分数据, 估计天池火山大喷发的年代在 AD850 ~ 1040 a 或者简称在公元 1000 a 左右. 如将本次所测 10 个 ^{14}C 年代数据取平均值, 或按单个 ^{14}C 年代作树轮校正所获得的平均值, 也均在公元 1000 a 左右. 一般说来, 这样的 ^{14}C 年代测定精度或可靠性都是很好的了, 但却比由图 2 所获得的年代早了 200 多年. 这就是单个 ^{14}C 年龄数据与连续系统的树轮 ^{14}C 年代测定的差别.

3 讨论与结论

(1) 天池火山最近一次大喷发年代的确定, 使我们有可能对最近几次喷发的间隔期作出估计. 据刘若新等^[23]在园池、双目峰一带的浅钻揭露, 天池火山在近代至少发生过两次大规模爆炸式喷发, 这两次喷发所形成的浮岩堆积厚度均在 1 m 左右, 两层浮岩之间有一层约 20 cm 的粘土质淤泥层, 其 ^{14}C 年龄为 (2 040 ± 70) aBP, 上部浮岩堆积已被确认为最近一次大喷发的产物, 而淤泥层之下的浮岩堆积, 应代表另一次大喷发, 其年代 ≥ (2 040 ± 70) aBP, 也就是说两

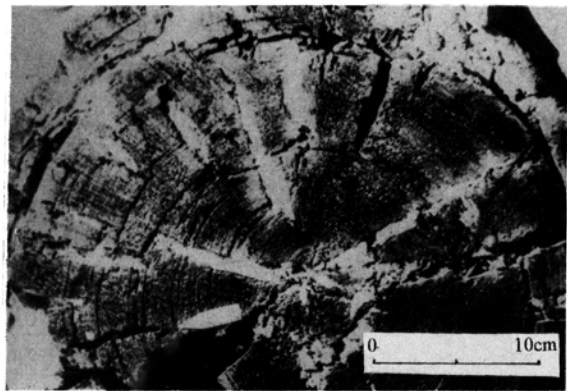


图 3 炭化木截面照片, 大部分树轮都很清楚但边缘部分较模糊

次大喷发之间的间隔 $\geq 2\,040 - 735 = 1\,305$ a. 此外,刘若新等^[2]还报道在天池火山锥北坡黑风口以南的高山草甸带的滞后角砾岩中,发现有 ^{14}C 年龄为 $(4\,105 \pm 90)$ aBP 的炭化木. 目前我们不能肯定 $(4\,150 \pm 90)$ aBP 所代表的一次喷发与前述钻孔中下部浮岩堆积所代表的那一次喷发相当. 如果是同一次喷发则其间隔将是 $4\,105 - 735 = 3\,370$ a. 如果他们各自代表独立的一次喷发,则自 $4\,105$ aBP 以来至 735 aBP 之间已发生 3 次大规模的或较强的喷发,则其间隔期也在 $1\,660$ a 左右,而自 AD (1215 ± 15) a 的大喷发以来,天池火山还发生过 AD $1668 - 1702$ a 中等规模的喷发,其间的间隔是约 480 a. 虽然火山喷发并无严格的周期,但上述间隔期仍可供我们估计该火山未来喷发危险性作参考.

(2) 对天池火山 AD (1215 ± 15) a 大喷发的喷发物总体积已被估计为 172 km^3 ^[2]. 喷发柱高度被恢复为 25 km ,火山灰伞状云的高度达 35 km ^[1]. 由该次喷发释放进入平流层的 SO_2 所形成的硫酸气溶胶,其对全球气候影响的数值模拟初步结果表明,喷发后 10 个月北半球平均最大降温为 0.85°C ,而局部最大降温可达 2.25°C ^[13]. 显然这次大喷发对全球气候变化产生过重要影响.

张丕远等^[14]对中国近 $2\,000$ a 来气候变化的研究结果指出:AD $1230 - 1260$ a 间,有一次气候突变,并被认为是近 $2\,000$ a 来最大的气候转折. 其特点是气温下降,霜灾增多,桑树适宜区从 37°N 南移至 35°N 以南,相当于气温下降近 1°C . 公元 1232 a “五月大寒如冬”,AD $1231 - 1238$ a 间杭州几乎连年雨雪,同时其他地方大旱不断发生(《宋史》《金史》). 例如蒙古大旱,牛马死去十之八九,民无以为生(《元史·本纪》). 他们还指出, $1230 - 1260$ a 间的气候突变,具有全球反映,北欧、北美、印度均发生气候带南移现象. 我们认为,天池火山 AD (1215 ± 15) a 大喷发对 $1230 - 1260$ a 的气候变化较大影响.

(3) Gill 等^[5]曾将天池火山大喷发与格陵兰冰芯中记录的 626AD 的强酸度峰相联系. Zeilinski 等^[15]则将格陵兰 GISP2 冰芯中 AD (1026 ± 2) a 的 SO_4^{2-} 峰归因于长白山天池火山喷发. 他们的意见都不能得到本文 ^{14}C 年代研究结果的支持. 但是在 GISP2 冰芯中还有 AD $1285, 1259, 1229, 1227$ a 四个未知事件的 SO_4^{2-} 峰有待对应. 可与长白山天池火山 (1215 ± 15) a 喷发年代相近的只能是 AD 1227 a 和 (1229 ± 2) a SO_4^{2-} 峰. AD 1259 a 事件是一个具有极高 SO_4^{2-} 浓度 (349×10^{-9}) 的事件,而天池火山喷发物并不特别富 SO_2 . 因此我们倾向于将天池火山 AD (1215 ± 15) a 大喷发,与 GISP2 格陵兰冰芯中的 AD 1229 a 的 $78 \times 10^{-9} \text{SO}_4^{2-}$ 残余物相对应. AD (1229 ± 2) a 仍在我们给出的 (1215 ± 15) a 的误差范围之内. 而且这也恰好与前述 AD $1\,230$ 年左右开始的中国乃至全球气候变化相一致.

根据以上讨论结论如下:

(1) 对一棵约 270 a 树龄炭化木自边缘至中心进行系统的 ^{14}C 年代测定,并将其结果与高精度树轮校正曲线匹配拟合,获得长白山天池火山最近一次大喷发年代为 AD (1215 ± 15) a.

(2) 这次大喷发曾对全球气候产生过重要影响,数值模拟结果及 AD $1230 - 1260$ a 中国乃至全球气候变冷支持上述论点. 或者至少是导致 AD $1230 - 1260$ a 气候变化转折的因素之一. 格陵兰 GISP2 冰芯中 AD (1229 ± 2) a 的 SO_4^{2-} 峰最有可能对应于长白山天池火山 AD (1215 ± 15) a 的大喷发.

参 考 文 献

- 1 刘若新,李继泰,魏海泉,等. 长白山天池火山——一座具潜在喷发危险的近代火山. 地球物理学报,1992,35(5):66~665
- 2 刘若新,魏海泉,李继泰,等. 长白山天池火山. 见:刘若新主编. 火山作用与人类环境. 北京:地震出版社,1995. 1~13
- 3 刘若新,魏海泉,汤吉,等. 长白山天池火山研究新进展. 见:全国第二次火山学术讨论会文集. 地震地磁观测与研究,1996,17(3):1~8
- 4 Machida H, Moriaki H, Zhao Dachang. The recent major eruption of Changhaishan volcano and its environmental effects. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 1990,25: 1~20
- 5 Gill J D, McCurry M. Large volume, mid-latitude, Cl-rich volcanic eruption during 600-1000 AD, Baitoushan, China. AGU Chapman Conference on Climate, Volcanism and Global Change, Abstract 18, March 23~27, 1992, Hilo, Hawaii
- 6 Machida H, Arai F, Moriaki H. Two tephros, Holocene markers in the sea of Japan and the Japan islands. Kagaku, 1981, 51:269~562
- 7 Machida H, Arai F. Extensive ash falls in and around the sea of Japan from Large late Quaternary eruptions. Jour Volcanol Geotherm Res, 1983,18:151~164
- 8 Stuiver M, Becker B. High-precision decadal calibration of the radiocarbon time scale, AD1950~2500BC. Radiocarbon, 1986,28(1B): 863~910
- 9 仇士华,蔡莲珍,陈铁梅,等. 碳十四测定年代用“中国糖碳标准”的建立. 科学通报,1983,28(3):170~174
- 10 蔡莲珍. 碳十四年代的树轮年代校正. 考古,1985,(3):279~281
- 11 Stuiver M, Kra R. Calibration issue. Radiocarbon, 1986,28(2B): 805~1 030
- 12 Pearson G W. Precise Calendrical dating of Known growthperiod samples using curve fitting technique, In: Stuiver M, Kra R S, eds. International ^{14}C conference, 12th Proceedings, Radiocarbon, 1986,28(2A):292~299
- 13 李晓东,李明,刘若新. 长白山天池火山最近一次大喷发的气候效应. 地震地磁观测研究,1996,17(3):12~18
- 14 张丕远,王铮,刘啸雷,等. 中国近2000年来气候演化的阶段性. 中国科学,B辑,1994,24(9):998~1 008
- 15 Zeilinski G A, Mayewski P A, Meeker L D, et al. Record of Volcanism Since 7000 B. C. from the GISP2 Greenland Ice Core and Implications for the Volcanoclimatic System. Science, 1994,264(13):948~952