

湖光岩玛珥湖火山灰的成分及其来源*

郭正府^① 刘嘉麒^① 储国强^① J. F. W. Negendank^②

(①中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029; ②德国地球科学中心,波茨坦 D-14473)

摘要 湖光岩玛珥湖沉积物中的火山灰保存了其原始形貌、原生的沉积和成分特征,是进行岩芯沉积物对比和定年的理想材料之一。除了对火山灰进行常规的定年外,通过精确测定火山灰中玻璃碎屑(玻屑)的成分,并与已知时代的火山喷发物成分对比确定火山灰的年龄已成为火山灰年代学研究的重要领域之一,因为它能够区分年龄差别在同位素定年误差之内的数层火山灰。本文利用电子探针分析了湖光岩玛珥湖岩芯火山灰中玻屑的成分,经与全球年龄已知火山喷发物的成分对比和分析,认为该火山灰的年龄为 74 000aB.P.,在此基础上,讨论了湖光岩玛珥湖岩芯 74 000aB.P. 以来沉积速率的变化趋势。

关键词 玛珥湖 火山灰 玻屑成分 湖光岩

1 前言

玛珥湖是由于富含挥发分的岩浆上升过程中遭遇地下水在喷发前发生爆炸形成洼坑积水而成的湖泊^[1]。它们往往成群分布在地势低凹、地下水较丰富的火山构造盆地(或洼地)内,以中基性-基性火山活动为主。由于盆地内火山喷发频繁,湖泊内会沉积多层火山灰。玛珥湖的湖底较平坦,坡度相对较小,湖水较深,往往不存在浅湖相和滨湖相沉积物,以深湖相沉积物占绝对优势;湖壁下部以坚硬的基底岩石为主,上部为火山喷发物,通常湖面低于基底岩石与上覆喷发物之间的接触界线。这些特殊的湖泊结构及其沉积物特点决定了玛珥湖中的火山灰不易受到湖壁崩塌、湖底滑坡和沉积物变形(如浊流等)的影响。玛珥湖的另一个特点是湖水平静,因此湖底以还原环境为主,底栖生物很少,使沉积在湖内的火山灰不易受到生物扰动和氧化作用而导致其原始厚度和成分改变。另外,玛珥湖高沉积速率和高分辨率的沉积物(如纹层)使极薄的火山灰层甚至分散的火山玻璃碎屑(玻屑)得以保存,同时也使年龄十分接近的火山喷发形成的火山灰层能够被分辨出来。因此,玛珥湖沉积物中的火山灰保存了其原始形貌、原生沉积和成分特征,是进行岩芯沉积物对比和定年的理想材料之一。

火山灰作为理想的定年材料在古气候及地质年代学研究中占有重要位置^[2]。目前,它在玛珥湖及其古气候研究中的作用主要体现在:1)火山灰作为标志层用于不同岩芯之间的地层对比^[3];2)火山灰的同位素和其它定年方法(如K-Ar, ⁴⁰Ar-³⁹Ar, 裂变径迹和

第一作者简介:郭正府 男 37岁 副研究员 火山学专业 E-mail: liujq@mail.jgcas.ac.cn

* 国家自然科学基金(批准号:49972030, 49894172 和 40171098)资助项目

2002-01-07 收稿, 2002-02-19 收修改稿

热释光等)的研究^[4];3)利用玛珉湖火山灰中新鲜玻屑的成分与已知年龄的火山喷发的玻屑的成分对比,确定火山灰的年龄、来源以及探讨火山活动对气候的影响^[4-6]。

本文分析了位于雷州半岛新生代火山区的广东省湛江市湖光岩玛珉湖中火山灰的化学成分,并与已知年龄的火山喷发物进行对比,在此基础上,确定了火山灰的年龄,为进一步开展玛珉湖古气候研究提供了年代学依据。

2 样品和测试方法

火山灰样品位于湖光岩玛珉湖 C 孔岩芯距湖水底 27.60m 处,火山灰成层性差,较均匀地散落在湖泊沉积物中。首先在显微镜下对整个岩芯进行初步观察,绘制火山灰中玻屑、浆屑、斑晶(或晶屑)和岩屑的分布频度统计图谱,在此基础上对高频度段进行内插或加密样品的镜下观察,按此程序循环进行,逐渐缩小观察范围,直至获得最大密度火山灰的岩芯段。然后进行湿筛和干筛,在双目镜下手工挑选火山灰,将样品清洗干净。在双目镜下观察表明,样品新鲜。单偏光镜下以无色透明的玻屑为主,含有少量浆屑,正交偏光镜下玻屑全消光。显微镜下统计显示,70%~90%的火山灰样品沿一维和二维方向延伸,长轴为 40~65 μm 、短轴仅为 8~16 μm ;90%~95%的样品为火山喷发时斑晶(或晶屑)与基质之间微气孔破裂形成的气孔壁,多数为两个(或多个)相邻微气孔之间的薄气孔壁。扫描电子显微镜观察显示,玻屑与浆屑的形态极不规则,呈多棱内凹面尖角状,内凹弧面板状以及 3 射至 6 射分支的放射状、鸡肋状、犬齿状和角锥状等。火山灰呈不规则气孔和海绵结构,少量含有管状和近似球状气孔。从上述形貌和沉积特征看,它们属于火山喷发后直接沉积到湖光岩玛珉湖的产物,没有经过再搬运和湖底生物扰动。上述火山灰的形貌学特征与 74 000a.B.P. Toba 火山喷发的火山灰的形貌学特征^[7]十分相似。

将挑选出的新鲜的各种典型形态和粒度的玻屑用树胶固定在特制的具内衬的玻璃样槽内,制成样品坯,然后切磨和抛光制成电子探针薄片,进行火山灰玻屑的电子探针分析。每个玻屑至少分析两个点,但大多数的颗粒分析了 2~4 个点,然后计算玻屑的主要氧化物平均含量(表 1)。仪器操作条件如下:电流为 10nA,加速电压为 15kV,电子束斑直径为 5 μm ,测量时间为 20~80s。仪器型号: Cameca SX50。测试单位:比利时鲁汶大学。

表 1 火山玻屑的主要氧化物平均含量/%

Table 1 Average major element oxide (%) of volcanic glass shards

样品位置	样品数	主要氧化物平均含量/%				
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MnO
中国湖光岩 C 孔	30	78.03 ± 0.26	0.05 ± 0.01	12.47 ± 0.05	0.84 ± 0.06	0.08 ± 0.02
中国南海 ODP17961-2 孔	20	78.04 ± 0.24	0.05 ± 0.02	12.45 ± 0.06	0.85 ± 0.05	0.07 ± 0.02
中国南海 ODP17962-4 孔	18	78.05 ± 0.29	0.05 ± 0.01	12.52 ± 0.06	0.84 ± 0.04	0.07 ± 0.02
中国南海 ODP1143A 孔	14	77.90 ± 0.44	0.05 ± 0.03	12.81 ± 0.15	0.87 ± 0.03	0.10 ± 0.07
马来西亚 UT778	9	77.21 ± 0.14	0.05 ± 0.03	12.54 ± 0.07	0.89 ± 0.05	0.08 ± 0.03
马来西亚 UT778	20	77.71 ± 0.29	0.06 ± 0.06	12.16 ± 0.12	0.89 ± 0.07	0.07 ± 0.04
苏门答腊 Toba 火山口	26	77.70 ± 0.18	0.06 ± 0.05	12.21 ± 0.12	0.83 ± 0.06	0.09 ± 0.04
印度洋 UT1363	16	77.68 ± 0.27	0.08 ± 0.05	12.27 ± 0.13	0.84 ± 0.06	0.08 ± 0.04

续表 1

样品位置	样品数	主要氧化物平均含量/%				
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MnO
印度洋	91	76.81 ± 0.22	0.07 ± 0.04	12.77 ± 0.12	0.92 ± 0.07	0.06 ± 0.04
印度洋 ODP758A	88	77.42 ± 0.36	0.07 ± 0.02	12.52 ± 0.23	0.84 ± 0.05	
孟加拉湾	197	77.01 ± 0.30		12.86 ± 0.14	0.86 ± 0.08	
印度次大陆	174	77.68 ± 0.08	0.06 ± 0.02	12.14 ± 0.07	0.88 ± 0.02	0.06 ± 0.01

样品位置	样品数	主要氧化物平均含量/%				文献
		MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
中国湖光岩 C 孔	30	0.05 ± 0.01	0.75 ± 0.06	2.87 ± 0.10	4.84 ± 0.09	本文
中国南海 ODP17961-2 孔	20	0.06 ± 0.01	0.76 ± 0.03	2.86 ± 0.06	4.86 ± 0.08	[8]
中国南海 ODP17962-4 孔	18	0.06 ± 0.01	0.77 ± 0.02	2.78 ± 0.07	4.86 ± 0.05	[8]
中国南海 ODP1143A 孔	14	0.02 ± 0.01	0.76 ± 0.07	2.66 ± 0.34	4.79 ± 0.25	[9]
马来西亚 UT778	9	0.06 ± 0.01	0.72 ± 0.06	3.40 ± 0.10	4.88 ± 0.11	[10]
马来西亚 UT778	20	0.05 ± 0.02	0.74 ± 0.07	3.24 ± 0.10	4.93 ± 0.21	[4]
苏门答腊 Toba 火山口	26	0.04 ± 0.02	0.71 ± 0.04	3.18 ± 0.08	5.03 ± 0.10	[4]
印度洋 UT1363	16	0.05 ± 0.02	0.79 ± 0.07	3.16 ± 0.11	4.88 ± 0.13	[4]
印度洋	91	0.05 ± 0.03	0.79 ± 0.07	3.41 ± 0.13	5.08 ± 0.16	[6]
印度洋 ODP758A	88	0.06 ± 0.03	0.79 ± 0.08	3.15 ± 0.28	5.11 ± 0.15	[11]
孟加拉湾	197	0.09 ± 0.06	0.77 ± 0.10	3.11 ± 0.23	5.31 ± 0.17	[12]
印度次大陆	174	0.05 ± 0.01	0.79 ± 0.03	3.16 ± 0.06	5.04 ± 0.07	[4]

3 结果

本文对挑选出的 9 粒新鲜火山灰玻屑共进行了 30 个点的电子探针分析,元素氧化物总量介于 95%—96% 之间,利用“差异法”^[13] 获得水含量为 3.5%—5.0%。为了便于对比和投图,将测试结果换算成无水条件下的含量(见表 1)。分析结果表明,玻屑的成分均一,不受颗粒形态和粒度大小的影响,并且同一玻屑不存在由边缘到中心的成分分带。SiO₂ 变化范围为 77.6%—78.8%, Al₂O₃ 变化范围为 12.4%—12.8%, TFeO 变化范围为 0.71%—0.92%, Na₂O 变化范围为 2.10%—3.14%, K₂O 变化范围为 4.7%—5.0%。玻屑的成分属于高硅流纹质,与雷琼地区第四纪玄武质火山喷发物的成分^[14] 相差较大。如前所述,本区火山灰属于火山喷发后直接沉降于湖光岩玛珥湖中的产物,玻屑的粒度特征、尖锐棱角的形态、多孔隙的结构、较高的 SiO₂ 和挥发分含量等特点,显示此火山喷发强度大、能量高且爆发指数(VEI)大。然而,岩芯中火山灰的量却很少,甚至不能构成连续的火山灰层。由此推断,形成该火山灰的火山距离湖光岩很远,火山灰决不是雷琼地区第四纪玄武质岩浆以溢流形式的喷发而形成的。那么,这些火山灰是哪个火山喷发形成的呢?其喷发年龄有多大?下面对这些问题进行初步探讨。

4 讨论

4.1 火山灰的来源和年龄

湖光岩玛珥湖 C 孔岩芯 ^{14}C 定年的结果表明,距湖底 22.7m 处的年龄为 55 000aB.P.^[15]。岩芯底部和湖壁顶部火山岩的全岩 K-Ar 年龄的最小值为 0.114MaB.P.^[1,16]。如前所述,本文研究的火山灰位于湖光岩玛珥湖 C 孔岩芯距湖水底 27.60m 处,由此可见,火山灰的年龄应介于 55 000 ~ 114 000aB.P. 之间,从而排除了东南亚(如菲律宾,印度尼西亚等)历史时期一些规模巨大的流纹质火山(如 Tambora, Krakatau, Agung, Pinatubo 等火山)喷发形成该火山灰的可能性。根据 G. A. Zielinski 等^[17] 给出的 110 000aB.P. 以来格陵兰冰芯中检测出来的火山喷发序列,110 000 ~ 55 000aB.P. 之间大规模、流纹质的火山活动仅为位于印度尼西亚西北部苏门答腊 Toba 火山最年轻的那次喷发,它在 GISP2 中形成 SO_4^{2-} 浓度高达 466×10^{-9} 的峰值^[17],其喷出的火山灰分布在阿拉伯海^[18]、印度次大陆^[4,5,10]、印度洋^[4,6,7,11,19]、孟加拉湾^[12]、马来西亚^[4,10] 和印度尼西亚^[4,20,21] 等地。火山灰的年龄数据较多,虽然不同作者利用不同的测年方法对分布在不同地区的火山灰测得的年龄结果不尽相同^[4,19,20,22],但绝大部分年龄集中在 74 000aB.P. 左右,因此,多数研究者认为火山灰的年龄应为 74 000aB.P.。近年来,在我国南海沉积物中也相继发现这次喷发形成的火山灰层^[8,9]。湖光岩玛珥湖与 Toba 火山的距离比在南海沉积物中发现其火山灰层的地点远,两者纬度相差约为 $11^{\circ}40'$ 。前者火山灰不能成层,粒度为 $8 \sim 65 \mu\text{m}$;后者厚度约 $2 \sim 3.5\text{cm}$,粒度多数为 $70 \sim 150 \mu\text{m}$,最大粒度达 $500 \mu\text{m}$ ^[8,9]。如果二者为同一火山喷发的产物,这一分布特征与火山灰的厚度和粒度随着与火山口距离增大而减小的趋势是一致的。

研究表明,玻屑是进行火山灰对比最理想的指示材料。也就是说,同一次喷发形成的火山灰中玻屑的成分相同,它不受与火山口距离的影响^[4-7],而火山灰中晶屑矿物成分、含量、组合以及浆屑的粒度、成分由于风成搬运的分选作用与距离火山口的远近有关^[5,7,23]。因此,玻屑成分在进行火山灰之间对比和探讨其物源的理想参数。我们将湖光岩玛珥湖火山灰中玻屑的成分与目前在世界各地(如印度洋、孟加拉湾、马来西亚、苏门答腊的 Toba 火山附近地区和中国南海)发现的火山灰中玻屑成分进行对比(图 1),可以看出,它们的成分极其相似。在不同氧化物变异图上,投影点趋势一致,投影区域部分重叠,尤其是湖光岩玛珥湖火山灰与中国南海沉积物中 Toba 火山喷发的火山灰成分之间差异非常微小,进一步证实了它们的同源性。仔细观察图 1 的投影点区域可以看出,分布在不同地区的玻屑成分存在着微小偏差,但并不存在空间上有规律性的成分迁移,表明这种偏差可能是由于测试条件、仪器类型、分析误差和样品的新鲜程度等不同所致,也可能是由于 Toba 火山的带状岩浆房^[21] 导致的喷出熔浆成分分异造成的。最近获得的湖光岩玛珥湖火山灰中玻屑的裂变径迹年龄初步结果为 70 000 ~ 74 000aB.P.,落在以往火山灰的裂变径迹年龄区间(68 000 ~ 79 000aB.P.)之内^[4,20]。综合上述火山灰中玻屑的形态特征、粒度和厚度变化趋势、化学成分的一致性和裂变径迹年龄的初步结果分析,本文认为湖光岩岩芯中的火山灰来自 Toba 火山 74 000aB.P. 的那次喷发,因此,此火山灰的年龄为 74 000aB.P.。

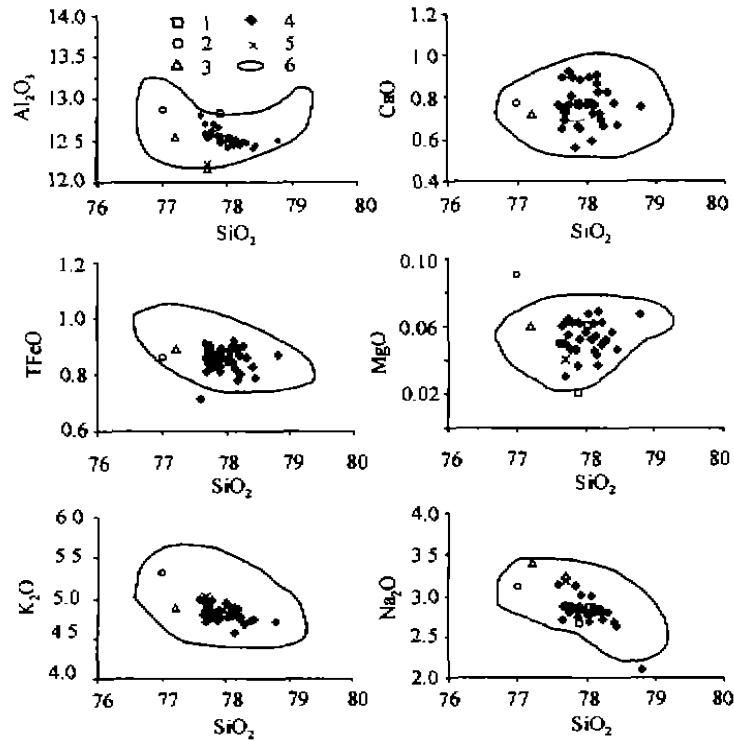


图1 火山玻屑的主要氧化物(%)变化趋势图

1. 中国南海 2. 孟加拉湾 3. 马来西亚 4. 中国湖光岩玛珥湖 5. 苏门答腊 Toba 火山口 6. 印度洋

Fig. 1 Variation trends of major elements oxide (%) in the volcanic glass shards

4.2 湖光岩玛珥湖岩芯 74 000aB.P. 以来沉积速率的变化趋势

以往大于 55 000aB.P. 的沉积物年龄主要依靠 ^{14}C 年龄的线性外推获得^[15], 从而影响了古气候的研究精度。本文在上述火山灰年龄(74 000aB.P.)的基础上, 结合以往的 ^{14}C 年龄, 建立了 74 000aB.P. 以来湖光岩玛珥湖岩芯沉积物厚度与年龄的相关曲线(图略), 湖光岩玛珥湖岩芯沉积物的沉积速率分别在 4.6m 和 17.8m 处出现转折; 0~4.6m 处沉积速率较快, 4.6~17.8m 处沉积速率中等, 17.8m 处以下沉积速率较小。上述特征除与沉积速率有关外, 可能还受沉积物压实作用的影响。

5 结论

综上所述, 可以得到以下几点结论:

(1) 湖光岩玛珥湖岩芯中发现散落的高硅流纹质火山灰, 主要由玻屑和少量浆屑组成, 大部分沿一维和二维方向延伸, 长轴为 40~65 μm , 短轴仅为 8~16 μm 。

(2) 火山灰中玻屑的成分与 Toba 火山最年轻的一次大喷发飘落到各地的火山灰中玻屑成分相似, 结合火山灰在岩芯中出露的位置, 认为湖光岩玛珥湖火山灰来源于 Toba 火山喷发, 其年龄为 74 000aB.P.。

(3) 以火山灰年龄和沉积物 ^{14}C 的定年结果为基础,讨论了湖光岩玛珥湖岩芯沉积物 74 000aB.P. 以来沉积速率的变化趋势。

(4) 苏门答腊 Toba 火山 74 000aB.P. 喷发的火山灰的东北边缘可能位于广东省湛江市湖光岩附近,其喷发规模和对气候影响的范围比以往认识的还大。

致谢 样品准备和挑选工作得到比利时鲁汶大学 J. Hertogen 教授、J. Mareels 和 M. Romain 博士的帮助,作者曾与德国 Kiel 大学 H-U Schmincke 教授就玻屑的电子探针分析进行过有益的讨论,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 刘嘉麒. 中国火山. 北京:科学出版社,1999. 127 - 129, 138
- 2 Sarna-Wejicki A M, Davis J O. Quaternary tephrochronology. In: Morrison R B ed Quaternary Nonglacial Geology. Boulder: The Geological Society of America, 1991. 93 - 116
- 3 Negendank J F W, Zolitschka B. Maars and maar lakes of the Westeifel volcanic field. In: Negendank J F W, Zolitschka B eds. Paleolimnology of European Maar Lakes. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 61 - 80
- 4 Westgate J A, Shane P A R, Pearce N J G *et al*. All Toba tephra occurrence across Peninsular India belong to the 75 000 yr B. P. eruption. *Quaternary Research*, 1998, **50**: 107 - 112
- 5 Acharyya S K, Basu P K. Toba ash on the Indian subcontinent and its implications for correlation of Late Pleistocene alluvium. *Quaternary Research*, 1993, **40**: 10 - 19
- 6 Pattan J N, Shane P, Banakar V K. New occurrence of youngest Toba tuff in abyssal sediments of the central Indian Basin. *Marine Geology*, 1999, **155**: 243 - 248
- 7 Rose W I, Cheener C A. Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 000a. *Geology*, 1987, **15**: 913 - 917
- 8 Buhring C, Sarnthein M. Toba ash layers in the South China Sea: Evidence of contrasting wind directions during eruption ca. 74 000a. *Geology*, 2000, **28**: 275 - 278
- 9 梁细荣, 韦刚健, 邵 磊等. Toba 火山喷发在南海沉积物中的记录. 中国科学(D 辑), 2001, **31**(10): 861 - 866
- 10 Shane P, Westgate J. New geochemical evidence for the youngest Toba tuff in India. *Quaternary Research*, 1995, **44**: 200 - 204
- 11 Dehn J, Farrell J W, Schmincke H-U. Neogene tephrochronology from site 758 on northern Ninetyeast Ridge: Indonesian arc volcanism of the past 5 Ma. In: Weissel J, Peirce J, Taylor E *et al*. eds. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 121. Texas: Academic Press, 1991. 273 - 295
- 12 Gasparotto G, Spadafora E, Summa V *et al*. Contribution of grain size and compositional data from the Bengal Fan sediment to the understanding of Toba Volcanic event. *Marine Geology*, 2000, **162**: 561 - 572
- 13 Devine J D, Gardner J E, Brack H P *et al*. Comparison of microanalytical methods for estimating H_2O contents of silicic volcanic glasses. *American Mineralogist*, 1995, **80**: 319 - 328
- 14 黄镇国, 蔡福祥, 韩中元等. 雷琼第四纪火山. 北京:科学出版社, 1993. 1 - 220
- 15 Mingram J, Nowaczyk N, Schettler G *et al*. A 78 000 year record of climatic changes from the South China coast: The Huguang maar lake (Huguangyan). *Terra Nostra*, 2000, **6**: 342 - 352
- 16 刘嘉麒, Negendank J F W, 王文远等. 中国玛珥湖的时空分布与地质特征. 第四纪研究, 2000, **20**(1): 78 - 86
- 17 Zielinski G A, Mayewski P A, Meeker L D *et al*. A 110 000-yr record of explosive volcanism from the GISP2 (Greenland) ice core. *Quaternary Research*, 1996, **45**: 109 - 118
- 18 Schulz H, Rad U V, Erlenkeuser H. Correlation between Arabian Sea and Greenland climate oscillations of the past 110 000 years. *Nature*, 1998, **393**: 54 - 57
- 19 Ninkovich D, Shackleton N J, Abdal-Monem A A *et al*. K-Ar age of Late Pleistocene eruption of Toba, North Sumatra. *Nature*, 1978, **276**: 574 - 577

- 20 Chesner C A, Rose W I, Deino A *et al.* Eruptive history of Earth's largest Quaternary caldera (Toba, Indonesia) clarified. *Geology*, 1991, **19**: 200 — 203
- 21 Chesner C A. Petrogenesis of the Toba tuffs, Sumatra, Indonesia. *Journal of Petrology*, 1998, **39**: 397 — 438
- 22 Rampino M R, Self S. Climate-volcanism feedback and the Toba eruption of ~ 74 000 year ago. *Quaternary Research*, 1993, **40**: 269 — 280
- 23 Sarna-Wojcicki A M, Lajole K R, Meyer C E *et al.* Tephrochronologic correlation of upper Neogene sediments along the Pacific margin, conterminous United States. In: Morrison R B ed. *Quaternary Nonglacial Geology*. Boulder: The Geological Society of America, 1991. 117 — 140

COMPOSITION AND ORIGIN OF TEPHRA OF THE HUGUANGYAN MAAR LAKE

Guo Zhengfu^① Liu Jiaqi^① Chu Guoqiang^① J. F. W. Negendank^②

(① *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;*

② *GeoForschungsZentrum, Potsdam D-14473*)

Abstract

Volcanic glass shards and pumice were recognized in core from the Huguangyan maar lake, Lei-Qiong volcanic field, southeast China. The tephra could not comprise ash layer in the sediments; however, they were dispersed in the same depth of the core, which is located in 27.60m beneath the top of the core C. The grains consist mainly of colorless glass shards and minor pumice. The average grain sizes of glass shards range from 8 — 65 μm . The glass shards display a curved thin-walled platy, cuspidate morphology and are optically isotopic. Electronic microprobe analyses of the interiors of the fresh glass shards show that SiO_2 ranges from 77.6% to 78.8%, Al_2O_3 is from 12.4% to 12.8%, TFeO is between 0.71% and 0.92%, Na_2O is 2.10% to 3.14% and K_2O is 4.7% to 5.0%, which consist of high-silica rhyolite. The chemical composition of all shards is identical. This lack of significant compositional variation both within and between shards reflects a single eruptive origin. These compositions of glass shards are much different from those of volcanic rocks erupted in Lei Qiong volcanic field and are remarkably similar to those of distal fallout glass shards from the 74 000aB. P. Youngest Toba Tuff (YTT), found in India Ocean, Sumatra, Malaysia, South China Sea, India subcontinent and Bay of Bengal. On this basis, we consider that all of the glass shards in the sediments of Huguangyan maar lake have plausibly originated from the YTT. The tephra occurrence in Huguangyan maar lake shows that the magma volume of the Toba eruption is much larger than those estimated before.

Key words maar lake, tephra, composition of glass shards, Huguangyan