

中国地质科学院

宜昌地质矿产研究所所刊

第 8 号

地质出版社

中国地质科学院

宜昌地质矿产研究所所刊

第 8 号

地质出版社

中国地质科学院
宜昌地质矿产研究所所刊
第8号

*

责任编辑：孙旭荣 徐涛

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：8 字数：188,000
1984年12月北京第一版·1984年12月北京第一次印刷
印数：1—2,090册 定价：3.90元
统一书号：15038·新1078

目 录

- 华南地区震旦纪时限范围的研究.....马国干等 (1)
- 粤中早二叠世的介形类.....孙全英 (31)
- 中南地区早第三纪哺乳动物群分析.....雷奕振 (41)
- 鄂西中生代几种*Zamites*植物.....孟繁松 (53)
- 广西都安橄榄玄武岩中的海泡石.....刘观亮 徐 涛 (63)
- 应用趋势面解释构造发展的几个实例.....胡耀明 (71)
- 湘鄂川黔毗邻地区弧形构造带的演变历史和形成机制的探讨.....吴桂捷 (79)
- 鄂湘粤桂晚二叠世煤的岩石组成及其变质的初步研究.....陈善庆 (93)
- 鄂湘粤桂晚二叠世含煤特征和成煤环境的探讨.....陈锦海 (111)
- 用同位素稀释法测定岩石、矿物中的微量铀.....郑维钊等 (121)

**BULLETIN OF THE YICHANG INSTITUTE
OF GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES
CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL
SCIENCES**

No.8

CONTENTS

- An Investigation of the Age Limits of the Sinian System in South
China.....Ma Guogan, Lee Huaqin, Zhang Zichao (26)
- Lower Permian Ostracods from Central Guangdong
..... Sun Quanying (37)
- On the Subdivision of the Early Tertiary Mammalia Fauna in the
Central-South ChinaLei Yizhen (49)
- Some Mesozoic *Zamites* from Western Hubei.....Meng Fansong (57)
- Sepiolite in Olivine-Basalt from Duan, Guangxi
..... Liu Guanliang, Xu Tao (68)
- Some Examples in the Interpretation of Tectonic Development Re-
lationships by Using Trend AnalysisHu Yiaoming (77)
- A Study on the Evolutional History and Mechanism of Formation of
the Arcuate Structural Zone in the Border Areas of Hunan, Hubei
Sichuan and Guizhou Provinces..... Wu Guijie (91)
- Studies of the Petrographical Composition of the Late Permian Coal
and Its Metamorphism in Hubei, Hunan, Guangdong and Guangxi
Provinces, ChinaChen Shanqing(103)
- A Discussion on the Characteristics and Depositional Environment of
the Late Permian Coal Series in Hubel, Hunan, Guangdong and
Guangxi Provinces.....Chen Jinghai(119)
- Measurements of Micro-Quantities of Uranium in Rock-Mineral by
the Isotope Dilution Technique
.....Zheng Weizhao, Lung Wenxuan, Zhou Huifang(125)

**Edited by the Bulletin Editorial Department, Yichang Institute of
Geology and Mineral Resources, Chinese Acad. Geol. Sci.**

(P. O. Box 502 Yichang Hubei)



Project No. 179

华南地区震旦纪时限范围的研究

马国干 李华芹 张自超^①

一、前 言

以长江三峡东部剖面为代表的震旦系在我国南方分布相当广泛，遍及川、滇、黔、湘、鄂、赣、皖、浙等九省（区），是一套层序完整的地台型沉积。自1924年李四光^[1]建立三峡震旦系剖面以来，至今已近六十年。在这期间对震旦系岩石、岩相、地层古生物、地球化学、古地磁、古冰川、构造地质及其矿产进行过多次研究，许多研究成果在国内外的文献中已广为引用。震旦系的建立对于前寒武纪地质研究具有重要意义。

我国震旦系或与震旦系有关的同位素年龄报导，始于六十年代初期。1960年A. H. 屠加林诺夫、程裕琪等^[2]及1962年王曰伦、陆宗斌^[3]报导了峡东地区黄陵背斜轴部石英闪长岩和穿入崆岭群的伟晶岩脉云母 K-Ar 年龄，并对其地质意义进行了讨论；1964年李璞等^[4]首次报导了云南玉溪陡山沱组的海绿石 K-Ar 年龄。随着我国同位素地质工作的发展，有关的年龄数据资料不断增多。1977年钟富道^[5]在讨论我国晚前寒武纪地质年表时，讨论了华南地区震旦系的年龄资料；1977—1978年，我们用 Rb-Sr 等时线法对震旦纪沉积地层的年龄进行了初步测定，并于1980年^[6]发表了峡东震旦系同位素年龄测定结果，同时对我国震旦系地质年表的建立进行了讨论。

随着地质工作的深入和发展，进一步测定震旦系同位素年龄、建立震旦系地质年表是一项急待解决的重要任务；为此，我们在以往工作的基础上，对我国南方其中包括峡东地区在内的震旦系同位素年龄，用 Rb-Sr 和 U-Pb 法重新作了系统测定；与此同时专题组成员张自超同志将峡东震旦系的部份样品带往澳大利亚国立大学地球科学院同位素地质实验室（下称澳大利亚国立大学实验室）在 W. 康普斯顿（W. Compston）博士的指导下进行了测定，其中部份测定结果已在1982年第五届国际地质年代学、宇宙年代学、同位素地质学会议上作过报导。本文主要根据上述测定结果，结合近年来已知的有关数据撰写的，文中再次对我国震旦系的时限进行了讨论。

文中计算年龄采用的常数分别是^[7]：

$$\text{K-Ar法} \quad \lambda_{\text{K}} = 0.581 \times 10^{-10} / \text{y}$$

$$\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10} / \text{y}$$

$$^{40}\text{K} = 0.01167\%$$

$$\text{U-Pb法} \quad \lambda^{238}\text{U} = 1.55125 \times 10^{-10} / \text{y}$$

① 参加此项工作的还有：郑维钊、周慧芳、黄斌、郑艳芳、蔡红、朱伯秀、周谦水、陈平。

$$\lambda^{235}\text{U} = 9.8485 \times 10^{-10}/\text{y}$$

$$^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88 \text{ (原子比)}$$

$$\lambda^{232}\text{Th} = 4.9475 \times 10^{-11}/\text{y}$$

$$\text{Rb-Sr法} \quad \lambda^{87}\text{Pb} = 1.42 \times 10^{-11}/\text{y}$$

由于样品的测定工作分别在宜昌地质矿产研究所同位素地质实验室(下称本所实验室)和澳大利亚国立大学实验室进行的,现将两个实验室在样品测定过程中对流程空白、NBS-987同位素标准和70 α 长石标准分别测定的结果列于表1。

表1 两个实验室对NBS-987及70 α 长石标准的测定结果

测定内容	实验室	Sr(ppm)	Rb(ppm)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	模式年龄
空白	本所	0.008	0.0009		
	澳大利亚	0.0018	0.00036		
NBS-987	本所			0.71020 ± 0.00008	
	澳大利亚			0.71028 ± 0.00002	
70 α	本所	64.26	520.9	1.2004	1413
	澳大利亚	65.406	519.9	1.2000	1420

从表1可以看出,这些数据与公认的标准结果十分一致,说明两个实验室分别测定的数据是可靠的。

文中 Rb-Sr 等时线的回归计算采用 McIntyre 程序模式Ⅲ(最小二乘三方法)^[8],给出的等时线参数的置信程度为95%。U-Pb 等时线由简单最小二乘法回归计算,误差为二倍标准差。

二、震旦系的下限年龄

震旦系下界置于峡东层型剖面莲沱组的底部(1982年全国地层委员会地层分类委员会决议)。标准地区的莲沱组覆盖于黄陵花岗岩之上。因此,确定震旦系的下限年龄,不仅需要获得莲沱组底部地层的直接年龄,而且必须测定前震旦系的黄陵花岗岩的年龄。

(一) 黄陵花岗岩的年龄测定结果

该岩体呈岩基出露于黄陵背斜的核部,出露面积达820平方公里以上。其北部和西部与崆岭群呈侵入接触,东部及南部为莲沱组不整合覆盖,其主体为斑状黑云母斜长花岗岩,西南部茅坪和三斗坪一带为黑云母石英闪长岩和黑云母角闪石英闪长岩,两者之间(黄陵庙附近)为黑云母花岗闪长岩(图1)。以往的研究证实:上述各种岩石类型之间,没有明显的界线,属同一岩浆作用的产物^①。

黄陵花岗岩最早的同位素年龄是苏联科学院达格斯坦分院和苏联地球化学、分析化学研究所用 K-Ar法测定的云母年龄^[2,3],其年龄值为783、907、825、824及756百万年^②。

① 据湖北区测队1970年资料。

② 系采用文中的计算常数换算后的数据。

1980年,我们发表了该岩体的Rb-Sr等时线年龄 819 ± 54 百万年、锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 坐标韦瑟里尔和谐曲线图解的 860 ± 50 百万年和岩体中伟晶岩脉的白云母K-Ar法803百万年^①、以及岩体副矿物磷灰石U-Th-Pb法836、863、869、874百万年^①等年龄数据。

在澳大利亚国立大学实验室测定的样品的采样地点、岩性及主要矿物成分列于表2。

黑云母花岗闪长岩的锆石,经电子显微镜扫描检查,可分为两类,一类是结构均匀的锆石,另一类具有明显的内核或结构不均匀。这表明它们是不同时期的产物。W.康普斯顿博士用离子探针分别对这二类锆石进行了单颗粒测定,其数据列于表3。其中1、2、5、8、9、10、12为结构均匀的锆石,它们的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 及 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 的比值都在误差范围内一致;取其平均值计算的年龄分别为:

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, 819 ± 7 百万年; $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, 818 ± 5 百万年; $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$, 839 ± 24 百万年; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, 816 ± 20 百万年。样品内部这四组年龄在实验误差范围内一致。具内核或结构不均匀的锆石,所得数据比较分散,计算出的表面年龄(颗粒之间或颗粒内部四组)亦极不一致。在韦瑟里尔和谐曲线图解上,上述七颗结构均匀的锆石,都落在一致曲线上(图2),说明在其形成后,对U-Pb系统而言,没有受到后期地质作用的明显影响,保持了封闭体系;而具内核及结构不均匀的锆石,则分别落在一致曲线的内侧或外侧,反映在其生成后,由于后期地质作用的影响,有铅的丢失或捕获。我们还将采自花岗闪长岩的锆石,按粒级用常规稀释法进行了测定,其结果都落在韦瑟里尔和谐曲线图解一致曲线的内侧,上交点为2420百万年,下交点小于600百万年,它们代表不同时期混合锆石的测定结果,并反映黄陵花岗岩中有继承锆石的存在。这种继承锆石的年龄可能是2420百万年或大于2420百万年。综上所述,采用离子探针测定的 819 ± 7 百万年的结果代表了黄陵花岗岩中锆石的生成年龄。

采自黄陵花岗岩体的样品的Rb-Sr年龄测定数据见表4。以五个全岩、一个长石及二

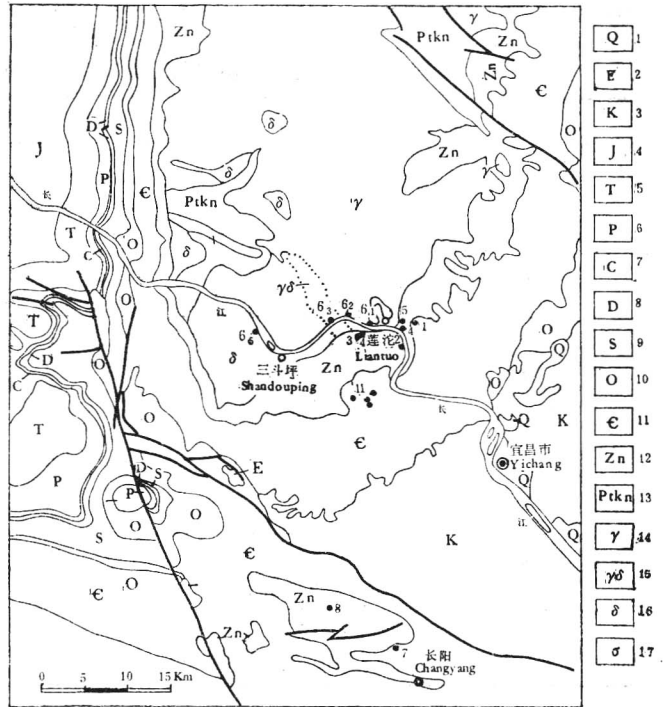


图 1 峡东地区地质略图

- 1—第四系; 2—第三系; 3—白垩系; 4—侏罗系; 5—三叠系; 6—二叠系;
- 7—石炭系; 8—泥盆系; 9—志留系; 10—奥陶系; 11—寒武系;
- 12—震旦系; 13—前震旦系崆岭群; 14—前震旦系花岗岩; 15—前震旦系花岗闪长岩; 16—前震旦系闪长岩; 17—超基性岩

① 系采用文中的计算常数换算后的数据。

个黑云母的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 对 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 作等时线,其线性关系良好,所求得等时线年龄为 806 ± 5 百万年, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.7069 ± 0.0015 。这一等时线实际上是五个全岩等时线与Cs6-3、

表 2 黄陵花岗岩体样品采集地点岩性及主要矿物成分简表

样号	采样地点	样品名称	主要矿物及含量(%)						副矿物
			斜长石	微斜长石	石英	黑云母	角闪石	白云母	
Cs6-1	宜昌莲沱公路 陡山沱码头旁	斑状黑云母 斜长花岗岩	40—33	20—25	25—30	3—5			磁铁矿、磷灰石、绿帘石、锆石等
Cs6-2	宜昌乐天溪公路旁	斑状斜长 花岗岩	37 (奥中长石)	20	40	3			磷灰石、锆石、石榴石等
Cs6-3	宜昌黄陵庙对岸	黑云母花岗 闪长岩	40—45 (中长石)	25	25—30	5	1		石榴石、绿帘石、磷灰石、锆石、榍石、黄铁矿等
Cs6-4	宜昌乐天溪公路旁	黑云母、石英、 斜长石析离体	50—60 (奥长石)		20—30	15—20		少量	磷灰石、锆石、绿帘石
Cs6-5	秭归茅坪长江边	黑云母角闪 石英闪长岩	60 (中长石)		15	10	10		绿帘石、锆石、磷灰石等

表 3 黄陵花岗岩体中锆石的离子探针测定数据

颗粒编号 grain	$^{206}\text{Pb}\%$ common	同位素比值 radiogenic			$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	U (ppm)
		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
1	0.54	0.1366 ± 8	1.248 ± 20	0.0416 ± 14	0.525 ± 3	381 ± 12
2	0.50	0.1378 ± 12	1.224 ± 26	0.0417 ± 7	0.821 ± 26	428 ± 28
5	0.18	0.1352 ± 17	1.248 ± 18	0.0438 ± 15	1.442 ± 17	745 ± 29
8	0.84	0.1367 ± 6	1.240 ± 55	0.0450 ± 6	1.086 ± 45	440 ± 22
9	0.81	0.1337 ± 6	1.229 ± 26	0.0423 ± 5	0.847 ± 5	332 ± 6
10	1.21	0.1338 ± 9	1.231 ± 6	0.0421 ± 3	0.597 ± 4	296 ± 3
12	0.59	0.1340 ± 9	1.243 ± 32	0.0405 ± 19	0.754 ± 25	466 ± 17
平均 (means)		0.1354 ± 6	1.238 ± 4	0.0424 ± 6		
3(内核core)	0.96	0.140	1.32	0.0426	0.658	316
3	0.78	0.115	1.05	0.0342	0.709	399
4(内核core)	0.50	0.1428 ± 16	1.336 ± 35	0.0472 ± 9	0.656 ± 7	331 ± 10
6	1.40	0.107 ± 2	1.022 ± 30	0.0267 ± 8	0.0668 ± 17	1467 ± 94
7	1.11	0.1230 ± 12	1.204 ± 58	0.0412 ± 20	0.850 ± 40	421 ± 4
11(内核core)	1.58	0.1426 ± 14	1.233 ± 50	0.0460 ± 15	1.002 ± 5	293 ± 4
13(内核core)	1.68	0.1217 ± 10	1.239 ± 22	0.0350 ± 2	0.684 ± 12	696 ± 32

注:表内±号后数字系有效数字最后一位或二位的数字。后同。

Cs6-5 全岩分离出的斜长石、黑云母的矿物内部等时线在误差范围内的重合，其等时线年龄实际上是由黑云母控制的（图3）。由 Cs6-3 样分离出来的黑云母用 K-Ar 稀释法测得的年龄值为 823 ± 7 百万年（表 5）。

上述黑云母的 K-Ar 年龄值与前述离子探针锆石 U-Pb 法 819 ± 7 百万年的年龄值一致；与 Rb-Sr 等时线年龄值—— 806 ± 5 百万年相比，虽基本吻合，但可看出：Rb-Sr 年龄值略显偏低。

1980年，我们发表了黄陵花岗岩中伟晶岩脉白云母 K-Ar 法 803 百万年的年龄数据^[6]。为验证，我们这次又在宜昌莲沱公路陡山沱码头东测岩体中伟晶岩脉中采样，在本所用 Rb-Sr 法作了两次测定，其结果见表 6，获得钾微斜长石的年龄为 798、799 百万年。这一年龄值与上述白云母的 K-Ar 年龄在实验误差范围内完全一致。

表 4 黄陵花岗岩体 Rb、Sr 含量及 Sr 同位素测定结果*

样号	样品名称	测定对象	含量 (PPm)		Sr 同位素比值	
			Rb	Sr	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}} \pm 1\sigma$
Cs6-1	斑状黑云母 斜长花岗岩	全岩	45.026	555.31	0.2342	0.71024 ± 2
			43.457	525.73	0.2387	0.71039 ± 2
Cs6-2	斑状斜长花岗岩	全岩	42.082	557.23	0.2181	0.71024 ± 5
Cs6-3	黑云母花岗岩 闪长岩	全岩	43.899	521.06	0.2433	0.70938 ± 3
			42.384	492.95	0.2483	0.70938 ± 4
		斜长石 (中长石)	17.405	615.74	0.0816	0.70749 ± 2
			17.165	603.46	0.0821	0.70747 ± 4
		黑云母	386.68	7.7440	172.10	2.68695 ± 17
365.26	6.7233		190.37	2.89136 ± 15		
Cs6-4	黑云母、 石英、斜长石 析离体	全岩	104.10	507.18	0.5930	0.71445 ± 5
			99.726	482.62	0.5971	0.71436 ± 4
Cs6-5	黑云母角 闪石英 闪长岩	全岩	27.484	498.51	0.1592	0.70703 ± 4
			27.256	476.33	0.1652	0.70706 ± 3
		黑云母	223.70	4.9639	152.53	2.46784 ± 40
			212.85	4.7202	152.56	2.46306 ± 10

* 在澳大利亚国立大学实验室测定。

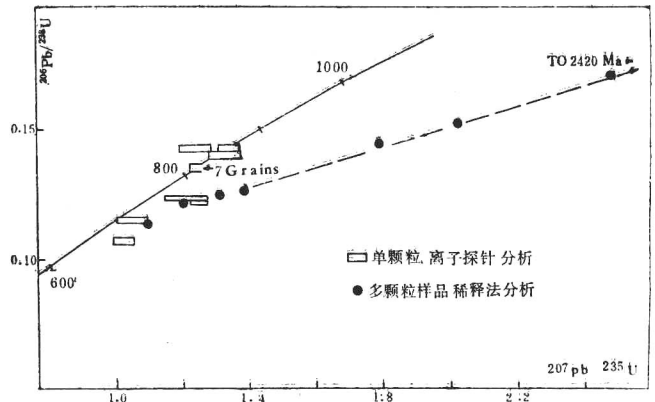


图 2 黄陵花岗岩体中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 坐标韦瑟里尔和谐曲线图解

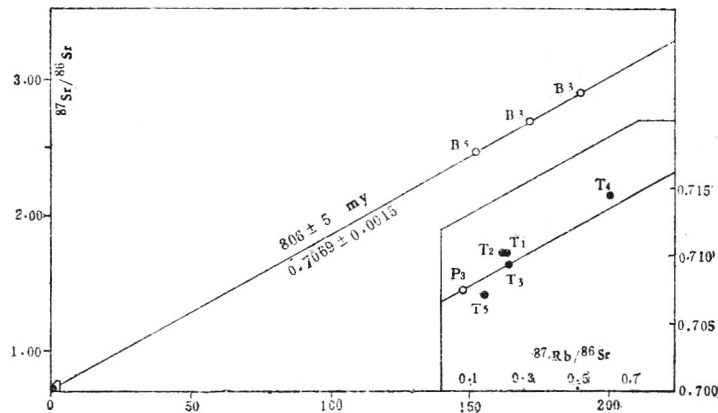


图 3 黄陵花岗岩体Rb-Sr全岩、矿物等时线图
B₂—黑云母及编号；T₂—全岩及编号；P₂—斜长石及编号

表 5 样品Cs6-3中黑云母的K-Ar稀释法测定结果*

样号	测定对象	K%	⁴⁰ K 10 ⁻⁶ 克原子/克	⁴⁰ Ar Total 10 ⁻⁷ 克原子/克	⁴⁰ Ar At 10 ⁻⁹ 克原子/克	⁴⁰ Ar Rod 10 ⁻⁷ 克原子/克	⁴⁰ Ar/ ⁴⁰ K	年龄 (百万年)	标准 偏差
Cs6-3	黑云母	7.201	0.2151	0.1325	0.2180	0.1303	0.06058	823	±7
		7.211							

* 在澳大利亚国立大学实验室测定。

表 6 黄陵花岗岩体中伟晶岩的钾微斜长石的Rb-Sr测定结果

样号	测定对象	⁸⁷ Sr (微克原子/克)	⁸⁷ Rb (微克原子/克)	年龄 (百万年)
SK-1	钾微斜长石	0.009260	0.81677	798
	钾微斜长石	0.009263	0.81620	799

我们认为：黄陵花岗岩体是一个大岩基，从它开始形成到最后冷却必然要经历很长的时间，即便出现较老的数据也不足为奇。从以上所获的年龄结果看，岩体锆石 U-Pb 法 819 ± 7 百万年、黑云母 K-Ar 法 823 ± 7 百万年及以往测定的 Rb-Sr 等时线 819 ± 54 百万年三个年龄值在误差范围内一致，它们可能代表了岩体的侵位年龄。众所周知，花岗伟晶岩不论其形成机理如何，它总是岩浆后期的产物；考虑到伟晶岩中白云母 K-Ar 法 803 百万年与钾微斜长石 Rb-Sr 法 798、799 百万年的一致性，可认为它们代表了岩体最后的冷却年龄。

(二) 莲沱组层凝灰岩的沉积年龄

莲沱组是峡东地区震旦系最下部的一个地层单位，可划分为两个沉积旋迴。每一旋迴的下部为砾岩（或砂砾岩）、长石英砂岩和石英砂岩，上部为凝灰质砂岩、粉砂岩夹层凝灰岩。下旋迴地层的厚度占该组总厚度的三分之二。整个莲沱组在莲沱王丰岗厚 123 米，在田家院子厚 121 米。

同位素年龄样采自莲沱王丰岗莲沱组下旋迴上部的层凝灰岩。岩石为淡灰绿色，玻屑—晶屑砂状结构，经鉴定为流纹质玻屑晶屑层凝灰岩。其晶屑主要为石英、更一中长石及白云母；副矿物为锆石、磷灰石、白钛石；玻屑系酸性玻璃（硅化火山玻璃）；胶结物为微晶质石英及水云母。

我们在澳大利亚国立大学实验室用常规方法分析了层凝灰岩中六个不同粒级及不同磁性的锆石，由于继承放射性成因铅的存在和近代铅的丢失，在韦瑟里尔和谐曲线图解上得不出有地层意义的年龄（图4）。后来 W. 康普斯顿用离子探针对层凝灰岩中不同锆石颗粒进行了测定（表7），得出了有地层意义的 U-Pb 年龄。

应当指出，层凝灰岩中不同锆石颗粒的表面年龄是不一致的，其中3颗在2600百万年左右，其余多数介于720—800百万年之间。在韦瑟里尔和谐曲线图解上，所有的锆石点都落在一致曲线及其内侧（图4）；不一致曲线与一致曲线的上交点为2800百万年左右，下交点为748±12百万年（置信度95%），这说明层凝灰岩中锆石有两种，其下交点代表第二种锆石的形成年龄，即层凝灰岩的沉积年龄；上交点2800百万年左右代表第一种锆石的形成年龄，它说明扬子地台有太古界基底的存在，这与施实由广西摩天岭花岗岩体的资料所得出的结论^[9]是一致的。

图4表明：层凝灰岩中大部分锆石落在下交点一端，且有相当数量的锆石落在一致曲线上，说明它们大部分是第二种锆石，因此748±12百万年的年龄值实际上是这些锆石的平均年龄；同时还说明：莲沱组层凝灰岩沉积之后，锆石的 U-Pb 系统没有受到后期地质作用的明显影响，而保持了封闭系统。至于有两个锆石点落在靠近下交点的一方并有少许偏离，是否是由分析误差所引起的，尚待进一步研究。

（三）震旦系下限年龄的讨论

基于黄陵花岗岩体是中深成岩基，其侵位深度应在地表以下3—6公里；且莲沱组又直接沉积覆盖于斑状黑云母斜长花岗岩之上，据湖北省地质局区测队资料^①，岩体边缘相细粒花岗岩出露的宽度一般大于1公里；这就是说，在岩体形成后，至少剥蚀了4—7公里的地层和花岗岩后莲沱组才开始沉积。因此，从黄陵花岗岩体的最终形成到莲沱组开始沉积，

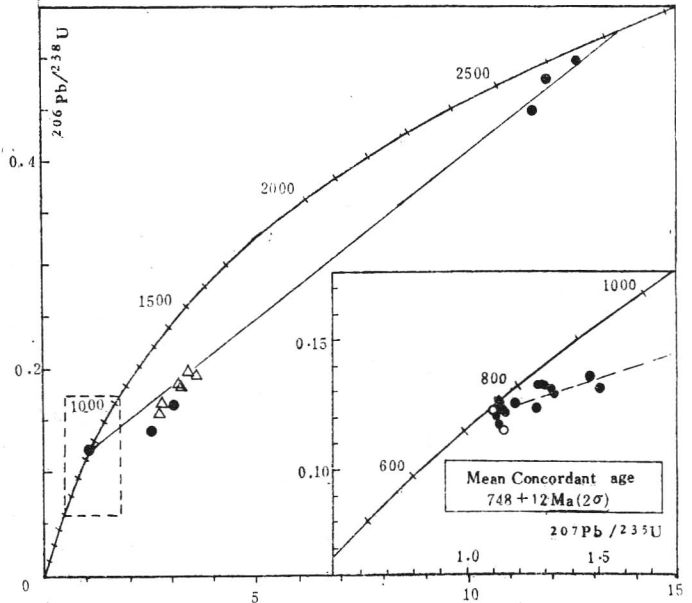


图 4 莲沱组层凝灰岩中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ — $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 坐标韦瑟里尔和谐曲线图解

△ 常规U—Pb法分析数据。上交点年龄 2300百万年，下交点年龄 370百万年。●或○为离子探针分析数据（已作普通铅校正）。

① 据湖北省地质局区测队1970年资料。

表 7 莲沱组CS5-9层凝灰岩样品中单个锆石颗粒的U—Pb分析结果

Table 7 U-Pb analyses of single zircon grains from tuff sample CS5-9, Lientuo Formation.

颗粒编号 grain	²⁰⁶ Pb% common	同位素比值 radiogenic				²³² Th/ ²³⁸ U	U (ppm)
		²⁰⁷ / ₂₃₅	²⁰⁶ / ₂₃₈	²⁰⁷ / ₂₃₅	²⁰⁸ / ₂₃₂		
1	0.15	0.0684±6	0.1252±9	1.122±13	0.0350±55	0.601±6	570±14
2	1.10	0.0664±8	0.1212±26	1.113±45	—	0.915±4	170±22
3	0.15	0.1800±1	0.4754±33	11.80±8	0.1294±13	0.431±3	516±25
4	1.6	0.0648±2	0.1236±8	1.105±11	—	0.838±4	237±11
5	0.14	0.1866±12	0.4500±21	11.65±4	0.1100±13	0.500±2	457±17
6	0.10	0.0745±22	0.1235±19	1.27±6	—	0.851±19	211±12
8-1	0.50	0.0681±11	0.1222±24	1.148±35	0.0366±7	1.311±8	207±9
8-2	4.0	0.0724±5	0.1145±16	1.143±13	—	1.006±3	177±6
9	0.35	0.0668±12	0.1235±12	1.137±25	0.0372±4	0.776±4	238±8
10	0.50	0.0728±12	0.1317±9	1.322±30	0.0383±1	1.148±26	251±8
11	0.30	0.0689±8	0.1178±28	1.120±40	0.0350±6	0.938±2	248±6
12	0.50	0.1829±12	0.4954±32	12.39±8	0.1382±39	0.644±4	211±4
13	1.5	0.0643±10	0.1268±23	1.121±12	0.0370	0.698±6	260±5
14	2.0	0.0830±15	0.1320±3	1.511±24	0.0398±8	0.802±6	235±3
15	3.0	0.1322±8	0.1666±9	3.037±35	0.0507	0.965±17	1238±29
16	5.5	0.1269±22	0.1444±7	2.528±47	—	0.318±9	905±24
17	1.5	0.0777±11	0.1360±23	1.465±19	—	1.350±9	110±2
18	1.0	0.0656±13	0.1330±10	1.249±20	0.0438±6	0.563±3	478±11
19	1.7	0.0692±4	0.1331±19	1.271±22	—	0.523±14	279±8
20-1	3.5	0.0742±17	0.1301±11	1.330±21	—	1.215±7	187±1
20-2	1.0	0.0647±22	0.1246±31	1.211±26	0.0395±15	1.522±30	397±44
23	0.20	0.0708±18	0.1327±7	1.294±29	0.0407±17	0.651±4	296±3
24	1.0	0.0658±5	0.1247±21	1.131±26	—	0.623±2	226±4

应当有一段相当长的时间间隔。

前已说明，莲沱组层凝灰岩中锆石 748 ± 12 百万年的U—Pb年龄，代表了层凝灰岩的沉积年龄。由于采样层位之下尚有40余米的砂岩和砾岩，莲沱组开始沉积的年龄应当早于 748 ± 12 百万年。

基于上述因素，根据黄陵花岗岩中锆石U—Pb法年龄 819 ± 7 百万年及黑云母K—Ar法年龄 823 ± 7 百万年和以往Rb—Sr等时线年龄 819 ± 54 百万年的数据，并考虑到代表岩体冷却阶段的伟晶岩脉白云母K—Ar法年龄803百万年及长石Rb—Sr法年龄798、799百万年的数据，以及莲沱组层凝灰岩锆石U—Pb法年龄 748 ± 12 百万年的数据，莲沱组的下限年龄应在800— 748 ± 12 百万年之间，如果莲沱组层凝灰岩之下的40米砂岩和砾岩的沉积需要10百万年的时间，并注意到黄陵花岗岩体形成之后到莲沱组开始沉积应当有较长的时间间隔，推定莲沱组的下限年龄（震旦系的下限年龄）为 760 ± 20 百万年，应当是合理的。

侵入板溪群并与其发生强烈同化混染而被莲沱组沉积覆盖的赣西北修水九岭花岗闪长岩岩基，黑云母K—Ar年龄为803^①百万年^[5]。被休宁组（与莲沱组相当）不整合覆盖的皖

① 系用本文参数换算后的数据

南休宁富坑,中粒花岗闪长岩体黑云母 K-Ar 年龄是874百万年;被休宁组沉积覆盖的歙县许村中粒花岗岩中黑云母 K-Ar 年龄为948百万年。这些同位素年龄数据为由华东地区同位素年龄测定结果所推断的震旦系下限年龄提供了佐证。

湖北的大洪山地区,莲沱组角度不整合于花山群之上。花山群分为上部六房咀组和下部洪山组。该地区京山厂河竹林湾洪山组上部细碧岩全岩的 K-Ar 年龄为844百万年,在该层位之上,尚有近300米的六房咀组条带状板岩。据湖北省地质局区测队资料^①,在竹林湾之南数公里的花屋湾—三里岗一带,六房咀组厚达2000米以上,其上与莲沱组仍有明显的沉积间断,因此从洪山组上部细碧岩的形成到莲沱组开始沉积,应当有相当长的时间间隔。

在川西及川滇边境,与莲沱组相当的地层是一套厚度较大的火山碎屑沉积和陆源碎屑沉积,称开建桥组;其下为陆相喷发的火山岩系,称苏雄组;二者之间呈假整合接触。苏雄组中上部英安岩、英安斑岩的 Rb-Sr 等时线年龄为812百万年^②;侵入苏雄组为开建桥组不整合覆盖的会理岔河摩沙营似斑状花岗岩的黑云母 K-Ar 年龄794百万年;据此苏雄组年龄应大于794百万年,而开建桥组应小于794和812百万年,在苏雄组英安岩和英安斑岩,或会理摩沙营岩体形成之后到开建桥组开始沉积之间,毫无疑问应当有一段时间间隔;苏雄组与上述大洪山地区的花山群相当,摩沙营岩体与黄陵岩体的年龄亦大体相当。

至于湘、黔、桂三省(区)邻接地带震旦系下界,经王砚耕等人的研究^[10],置于长安组的底部,长安组假整合于下江群(原称板溪群)之上。广西龙胜三门侵入下江群合桐组上部(与该组细碧岩同源)的辉长辉绿岩中锆石的 U-Pb 年龄为831百万年。王砚耕等人据合桐组向上至长安组底部尚有厚达一、二千米的地层,需要有相当长的沉积时间,推断长安组下限为760百万年左右,看来是有道理的。黔桂边境的三防黑云母花岗岩体,侵入于下江群,北京第三研究所采集了11个锆石样品用 U-Pb 法进行了测定,用韦瑟里尔和谐曲线图解得出其形成年龄为760百万年^[11]。这一资料说明下江群(或与其相当的板溪群)应老于760百万年,因此,有人将华东地区莲沱组与板溪群相对比^[12],从同位素年龄资料来看是不恰当的,二者应当是上下关系。

总之,由上述地区的同位素年龄数据结合地质资料分析所确定的震旦系下限年龄与华东地区的资料是吻合的。因此,把震旦系下限年龄进一步修定为 760 ± 20 百万年是比较合适的。

三、早震旦世冰期的时限

我国南方早震旦世广泛发育一套冰川沉(堆)积物。经近年来的研究,可划分为两个冰期,即南沱冰期和古城冰期;两冰期之间为大塘坡间冰期。由于各地所处古地理环境不同,在华南广大区域内,其岩性、岩相及厚度变化是很显著的;因而各地在地层划分上亦不尽相同,大体上可分为三种类型,其地层名称和对比关系列于表8。

冰碛地层的研究是华南地区震旦系地层研究的一个重要组成部分,冰期的存在是地球

① 据湖北省地质局区测队1979年资料。

② 刘鸿允、殷继成等,1981,川西苏雄组的同位素年龄测定及确定震旦系底界年龄的意义。(未刊)。

表 8 冰期地层对比简表

冰期划分	地层	地区			
		鄂西地区	武陵山地区	湘黔桂毗邻地区	
南沱冰期		南沱组	南沱组	“南沱组”	
大塘坡间冰期		大塘坡组	大塘坡组	富禄组	顶部含锰层
古城冰期		古城组	铁丝拗组		砂页岩夹杂砾岩
冰前期		莲沱组	莲沱组	长安组	上段杂砾岩
					下段碎屑岩

发展历史中的重要地质事件，因此，国内外的地层及同位素年代工作者都十分重视在该地层中寻找适合于进行同位素年龄测定的理想样品，但由于冰碛地层特定的沉积环境及物质来源的复杂性，对冰碛岩的同位素地质年龄的准确测定仍然是一个尚待解决的难题。1978年，我们对采自长阳古城大塘坡组钻孔的炭质粉砂质粘土页岩样品，用全岩 Rb-Sr 等时线法进行了年龄测定，但由于样品中陆源碎屑的存在，尽管作了大量的工作，仍然只获得了一个置信度很低的739百万年的参考年龄^[6]。国外的地层及同位素地质年代学家近年来对大体相当于我国早震旦世的冰碛地层及其上覆、下伏地层作了大量的测试工作，据报导，其冰期年龄值变动于650—750百万年之间，且所给数据的误差范围也很大^[13]。尽管如此，这些数据对冰碛地层的对比和时限的确定仍有极其重要的参考价值。

为确定我国华南地区早震旦世冰期的时限，我们继湖北长阳古城大塘坡组年龄测定工作之后，又对采自湖南花恒民乐大塘坡组的含炭质绢云母板岩和湖北宜昌三斗坪田家院子老虎咀陡山沱组顶部的炭质页岩和灰岩进行了全岩 Rb-Sr 等时线年龄测定。其结果如下：

(一) 湖南花恒民乐大塘坡组的年龄测定结果

样品采自民乐锰矿区 ZK3-10 号钻孔及露采掌子面大塘坡组下部菱锰矿层和锰矿层之上的黑色含炭质绢云母板岩。岩石主要由绢云母组成，此外还有炭质、石英、黄铁矿、碳酸盐矿物和微量的绿泥石、黑云母、金红石等，呈变余泥质显微鳞片变晶结构、片状构造。所采样品的 Rb-Sr 同位素分析结果列于表 9。这些样品获得了一条线性拟合较好的等时线（图5），求得相应的等时线年龄为 728 ± 27 百万年， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的初始值为 0.7059 ± 0.0014 。

镜下鉴定及 X 射线衍射分析资料表明：测定的大塘坡组样品受到后期的轻微变质作用的影响。在这种轻微变质作用中，样品矿物相的锶同位素受到扰动。因此， 728 ± 27 百万年这一年龄数据对大塘坡组的沉积年龄而言，可能是偏低的。但是镜下鉴定及 X 射线衍射分析又表明：样品中存在少量的陆源碎屑，如黑云母、长石等，因而，样品的年龄值又受到继承放射成因锶的影响（这从 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值略偏低亦可得到证明）而可能偏高。尽管如此，但由于这一年龄和上复陡山沱组的年龄及下伏莲沱组年龄与其地层层序一致，所以仍具有重要的参考价值。

(二) 峡东地区陡山沱组顶部的年龄测定结果

峡东地区陡山沱组顶部的 Rb-Sr 年龄样品采自宜昌三斗坪田家院子老虎咀。其岩性主

表 9 湖南花恒民乐大塘坡组全岩 Rb、Sr 含量及 Sr 同位素分析结果

样品编号	样品名称	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Zm-16	含炭质绢云母板岩	116.59	74.418	4.5353	0.75222 ± 27
Zm-17	含炭质绢云母板岩	128.97	93.598	3.9888	0.74766 ± 38
Zm-18	含炭质绢云母板岩	107.80	79.698	3.9158	0.74709 ± 38
Zm-19	含炭质绢云母板岩	123.57	86.988	4.1122	0.74934 ± 43
Zm-22	碳酸盐绢云母板岩	102.08	82.698	3.5733	0.74265 ± 16
Zm-24	绢云母板岩	138.69	79.562	5.0459	0.75808 ± 25
Zm-59	菱 锰 Mn^{2+}	20.970	133.13	0.45595	0.71145 ± 39
Zm-61	菱 锰 Mn^{2+}	24.630	167.24	0.42632	0.70935 ± 16

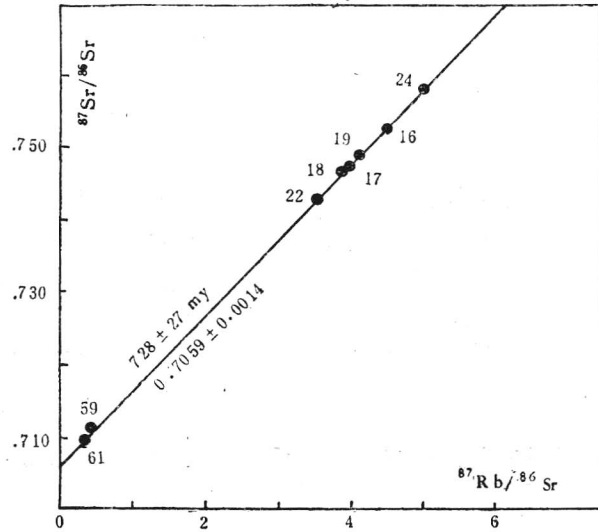


图 5 花恒民乐大塘坡组 Rb-Sr 等时线图

要为炭质泥岩、含石英粉砂炭质泥岩、含炭细晶质灰岩和细晶白云岩。我们在同一地点相同层位两次采集样品分别在澳大利亚国立大学和本所实验室进行 Rb-Sr 年龄测定，其结果分别列于表 10 和表 11，以 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 对 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 作等时线（图 6、7），分别求得的年龄值为 700 ± 5 百万年和 691 ± 29 百万年， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值分别为 0.7090 ± 0.0002 和 0.7080 ± 0.0016 。数据表明：不同实验室测定的结果在误差范围内一致，因此，数据本身是可信的。

基于在澳大利亚国立大学实验室测试的样品，经 X 射线衍射检查，Cs-2 与 Cs-4 两个样品含有少量正长石，且样品中伊利石的结晶指数小于 5.75，因而在计算年龄时排除了这两个样品；除此之外，其余样品的伊利石峰形宽阔，结晶指数都大于 5.75。所以 700 ± 5 百万年这一数据实质上是受到后期地质作用明显影响样品的年龄。尽管参与年龄计算的样品没有受到后期地质作用的明显影响，保持了成岩状态，但样品的岩石学、矿物学研究发现，它们都或多或少地含有斜长石、高岭石等陆源碎屑，因此我们怀疑这两组年龄数据可能偏高，而只能被视为陡山沱组顶部的最大年龄，或被视为沉积作用的下限年龄。

表 10 峡东地区(宜昌三斗坪田家院子)陡山沱组顶部样品 Rb-Sr 法测定结果*

样号	样品名称	测定对象	样品所在层位	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $\pm 1\sigma$
Cs-2	含石英粉砂炭质泥岩	全岩	陡山沱组10层下部	111.92	57.446	6.0658	0.77247 ± 4
Cs-3	炭质泥岩	全岩	陡山沱组10层下部	132.08	62.305	6.1588	0.77078 ± 8
		全岩		130.90	61.804	6.1535	0.77112 ± 5
Cs-4	含石英粉砂炭质泥岩	全岩	陡山沱组10层中部	123.31	78.233	4.5629	0.75652 ± 2
Cs-5	含石英粉砂炭质水	全岩	陡山沱组10层上部	88.716	31.809	8.1184	0.79037 ± 8
	云母—高岭石粘土岩	酸不溶物 (94%)		88.074	27.026	9.4991	0.80475 ± 3
Cs-6	含炭细晶质灰岩	全岩	陡山沱组10层中部	6.4997	148.35	0.1265	0.71048 ± 5
		酸溶物		0.4287	143.56	0.0086	0.70922 ± 4
				0.3990	144.83	0.0080	0.70909 ± 13
Cs-8	黑色炭质白云质灰岩	全岩	陡山沱组9层上部	2.0921	78.319	0.0771	0.70928 ± 5
		酸不溶物 (57.8%)		22.732	50.947	1.2901	0.72187 ± 2
Cs-9	细晶白云岩	全岩	陡山沱组9层上部	14.892	57.590	0.7473	0.71658 ± 3
Cs-10	炭质泥岩	全岩	陡山沱组10层顶部	38.518	45.104	2.4722	0.73397 ± 5
		酸不溶物 (87.5%)		38.360	37.998	2.7771	0.73710 ± 8

* 在澳大利亚国立大学实验室测定

表 11 宜昌三斗坪田家院子老虎咀陡山沱组顶部Rb-Sr法测定结果

样号	样品名称	测定对象	样品采集层位	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ $\pm 1\sigma$
y _t -61	黑色炭质白云岩	全岩	陡山沱组第9层上部	15.592	51.662	0.87368	0.71560 ± 14
y _t -62	炭质泥岩	全岩	陡山沱组第10层下部	136.13	84.794	4.6472	0.75558 ± 12
y _t -63	炭质泥岩	全岩	陡山沱组第10层中部	132.51	52.912	7.2493	0.77812 ± 23
y _t -64	含石英粉砂质泥岩	全岩	陡山沱组第10层上部	2.9923	160.52	0.05396	0.70817 ± 9
y _t -65	含炭细晶质灰岩	全岩	陡山沱组第10层上部	4.3144	173.77	0.07187	0.70942 ± 13
y _t -68	炭质泥岩	全岩	陡山沱组第10层顶部	31.570	22.734	4.01975	0.74811 ± 62
y _t -71	炭质泥岩	全岩	陡山沱组第10层顶部	92.038	58.876	4.5251	0.75336 ± 14
y _t -72	炭质泥岩	全岩	陡山沱组第10层顶部	99.640	121.77	2.36855	0.73061 ± 76

(三) 早震旦世冰期的时限问题

华南地区早震旦世两期冰川遗留下非常广泛的地层记录, 在地层层序上它介于陡山沱组与莲沱组之间, 莲沱组层凝灰岩中锆石的U-Pb年龄为 748 ± 12 百万年, 而上覆陡山沱组顶部的Rb-Sr年龄为 700 ± 5 及 691 ± 29 百万年, 尽管我们怀疑它可能偏高, 但陡山沱组从顶至底尚有230余米的地层, 同时也考虑到大塘坡组有重要参考意义的 728 ± 27 百万年的数据, 早震旦世两个冰期的时限介于700—748百万年之间则不会有更大的疑问。