

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

北京十三陵地区中—新元古界碳酸盐岩 Pb-Pb 年龄研究

张巧大 宋天锐 和政军 丁孝忠

中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要 对北京十三陵地区中—新元古界碳酸盐岩进行了系统地采样和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 年龄测定。共测定了63个样品(大部分样品采取两种溶解方式),得到中元古界雾迷山组第三段的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 等时线年龄为 $1373\pm 92\text{Ma}$ (95%置信度误差,下同,MSWD=4.7),杨庄组为 $1488\pm 55\text{Ma}$ (MSWD=14),高于庄组第三段为 $1608\pm 74\text{Ma}$ (MSWD=8.1)。这些年龄数据与目前已有地质记录相吻合。串岭沟组的碳酸盐相的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 未构成等时线,但全岩的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比碳酸盐相具有更明显的线性趋势,其原因尚待进一步研究。另外,根据同一个样品用稀盐酸溶解和用氢氟酸加硝酸混合酸溶解的铅同位素比值的接近的现象,显示碳酸盐岩中的硅质没有陆源的特征,是沉积盆地中的产物。

关键词 中元古界 碳酸盐岩 同位素地质年龄 Pb-Pb 法 北京十三陵

沉积岩、尤其是缺乏生物化石的沉积地层的年代准确定量确定,一直是地质学家设法解决的难题,也是同位素地质年代学中的难点。

由于沉积岩的物质来源复杂,样品不易达到同位素年龄测定的要求,沉积岩的年龄测定多局限于Rb-Sr法、K-Ar或Ar-Ar法,测定对象也主要局限于沉积物中的海绿石或粘土矿物。因无法确定海绿石和粘土矿物究竟是盆内自生的还是陆源的,以及并不总能分选出这两种矿物,从而限制了其实际应用范围。

Moorbath等(1987)第一次成功地直接测定了津巴布韦叠层石石灰岩年龄,该年龄与其他同位素年龄测定结果一致。自此以后,人们对用Pb-Pb法测定碳酸盐岩的年龄又开始感兴趣,国外许多人先后投入到与碳酸盐岩年龄测定有关的研究中。许多研究者期望通过Pb-Pb法或U-Pb法直接测定碳酸盐岩的年龄,如Jahn(1988)、Smith(1989,1991)、Jahn et al.(1990,1992)、Taylor(1990)、Dewolf(1991)。在国内,也有少量尝试和相关报道(高励等,1996;乔秀夫等,1997;章雨旭等,1998)。最近,Peter等(2000)用双稀释剂对南非的碳酸盐岩样品进行了测定,取得了良好的效果。

碳酸盐岩年龄测定研究中至关重要的,是在同一个层位内找到碳酸盐岩中铅同位素具有较大分布

范围的样品,即在沉积—成岩作用时期,铀含量在沉积盆地不同部位要有足够大的变化。实际上,对于某一个具体地区的碳酸盐岩而言,同一层位中的铅同位素往往很均一,不同层位中的铅同位素亦相差不大,从而使碳酸盐岩年龄测定能否成功带有较大的偶然性。

十三陵位于北京市昌平区,距北京市区约40 km,处于燕山西段、军都山东南侧,大地构造位置属中—新元古代燕山裂陷槽(aulacogen)。本区出露的地层主要为中—新元古代地层(长城系、蓟县系和青白口系),中—新元古界厚度约5000m,为向东南倾斜的单斜层。

本区研究历史悠久,最早可以追溯到一百多年以前。本区最早期的研究者有德国人李希霍芬(Richthofen,1882),美国人葛利普(Grabau,1922)。特别是高振西等(Kao et al.,1934)对燕山地区进行了详细地层划分、描述,建立了华北地区中、新元古代地层的基本框架,所提出的各组的名称一直沿用至今。

解放以后,许多地质学家在这一带作了很多研究工作,如汪长庆等(1980)对该地区的元古代地层进行了专门研究,并与蓟县剖面进行了比较,认为两者属于同一盆地,具有可对比性,虽然其厚度仅仅是蓟县剖面的一半,这也导致很多国内外研究者将蓟

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号4977212)的成果。

收稿日期:2001-06-20;改回日期:2002-02-30;责任编辑:章雨旭。

作者简介:张巧大,女,高级工程师,1952年生,1977年毕业于长春地质学院区域地质普查专业,1981年起从事同位素地质研究。

县剖面中的同位素地质年龄套用到十三陵地区(如 Song Tianrui et al., 1996)。

北京市地质局进行的地质填图和地质剖面测绘,为后来的研究工作打下了很好的基础(北京市地质局,1991)。

近来,柳永清等(1997)对该区及邻区的中、新元古代裂陷槽的构造旋回层序进行了研究。金文山等(1999)对邻区(密云)的太古宙结晶基底进行了系统的锆石 U-Pb 和 Sm-Nd 同位素年代学研究,其成果对密云群和四合堂群的年龄的确定有重要意义。林晓辉(2000)对该地区的长城系进行了研究。宋天锐等(2000)对十三陵地区大红峪组的相变现象进行了研究,认为其受到了火山—地震事件的影响。和政军等(2000)对与该地区有关的构造活动及其对沉积事件的影响进行了研究。

尽管相当数量的前人研究涉及到长城系、蓟县系和青白口系的年代学,但本区与此有关的同位素年代学工作很少,仅报导高于庄组的 Rb-Sr 等时线年龄为 $1282 \pm 174 \text{ Ma}$ (宋天锐等,1987)。

笔者等对十三陵地区中元古界地层系统地采集了样品,尝试性地用 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 法对碳酸盐岩进行年龄测定。

1 地质概况及采样

图1为十三陵地区的地质简图。该区中元古界最底部的常州沟组砂岩层以角度不整合超覆于太古宙密云群沙厂组角闪片麻岩之上,其走向为北东—南西,南东倾,倾角 40° 左右。其上各组地层都保持大致相同倾向,顶部与寒武系为平行不整合接触。

前人将十三陵地区的中—新元古界划分为三个系十二个组,自下而上依次为:长城系——常州沟组、串岭沟组、团山子组、大红峪组、高于庄组;蓟县系——杨庄组、雾迷山组、洪水庄组、铁岭组;青白口系——下马岭组、长龙山组、景儿峪组。

在上述十二个组中,常州沟组、串岭沟组、洪水庄组、下马岭组和长龙山组以碎屑岩为主,其余均为碳酸盐岩(景儿峪组为泥灰岩,其他各组为白云岩或硅化岩为主)。

在雾迷山组、杨庄组、高于庄组、串岭沟组共4个组的出露地点进行了系统的采样。为保证样品新鲜,采样主要沿新开通的110国道进行(采样位置见图1和表1),并尽量避免后期地质作用的影响。由于出露范围较小,景儿峪组和大红峪组仅各自采集了4个样品。

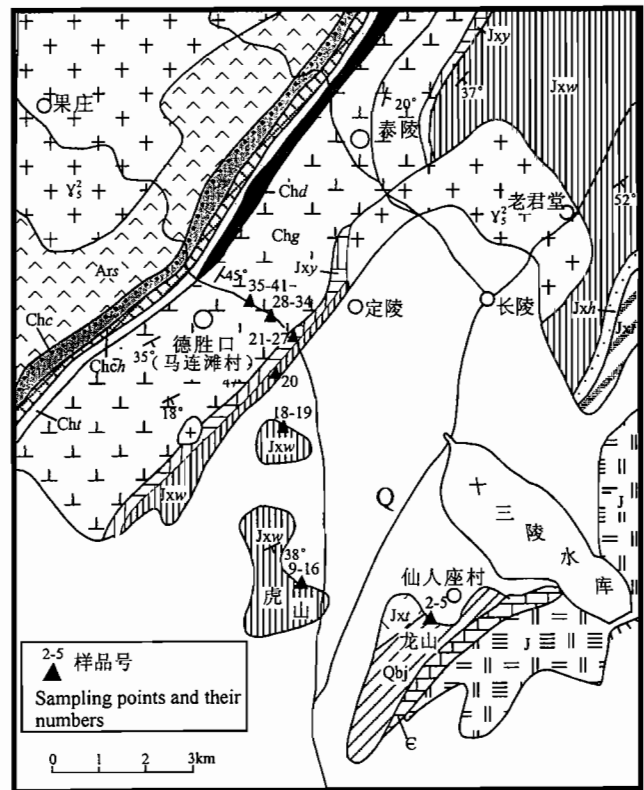


图1 北京十三陵地区地质简图及采样位置

Fig. 1 The sketch map of the Ming Tombs District and the isotopic sampling locations

Q—第四系;J—侏罗系;←—寒武系;Qbj—景儿峪组—长龙山组;Jxt—铁岭组;Jxh—洪水庄组;Jxw—雾迷山组;Jxy—杨庄组;Chg—高于庄组;Chd—大红峪组;Chh—团山子组;Chc—串岭沟组;Chc—常州沟组;Ars—密云群沙厂组; γ_2^2 —燕山期侵入岩;▲—采样地点及样品号;★—研究区位置

Q—Quaternary; J—Jurassic; ←—Cambrian; Qbj—Jing'eryu — Changlongshan Formation; Jxt—Tieling Formation; Jxh—Hongshuizhuang Formation; Jxw—Wumishan Formation; Jxy—Yangzhuang Formation; Chg—Gaoyuzhuang Formation; Chd—Dahongyu Formation; Chh—Tuanshanzi Formation; Chh—Chuanlinggou Formation; Chc—Changzhougou Formation; Ars—Shachang Formation of Miyun Group; γ_2^2 —Yanshanian intrusive rocks; ▲—sample location and sample No.; ★—The research area for this research

2 实验条件

根据同位素地质年代学理论,构成等时线的样品必须是同时、同源形成的,且自形成后始终保持同位素封闭体系。同时,如果样品的同位素比值有较大分布范围,在进行等时线拟合时误差会较小。

选择未蚀变、无明显后期影响的岩石块进行清洗、晾干,用颚式粉碎机碎成数毫米大小的颗粒,然后再粉碎成粉末,在聚四氟乙烯烧杯中溶解。在室温下,用1NHCl溶解,使碳酸盐相中的Pb浸出。部

分样品用氢氟酸加浓硝酸(HF+HNO₃)溶解,以便浸出岩石中的全部 Pb 加以对比。将以上溶液蒸干,并在1N HBr 中转化为溴化物,离心,将清液过柱,将 Pb 解吸。样品的溶解和提纯在超净化室内进行,所使用的试剂均为超纯试剂。

铅同位素的质谱测定在 MAT261 和 MAT262 热离子质谱计上进行,使用单带源,以硅胶为发射剂,法拉第多接收器接收。铅和铀的同位素质量峰的

积分时间均为 8 s,各峰间的间隔为 4 s。等时线年龄计算和绘图采用 Ludwig 的 ISOPLOT. ex2 进行,年龄计算时采用的同位素比值(²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb 和 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb)的误差为 0.1%,年龄结果采用其模式 2 (即计算时各点权重相同——equally-weighted points with uncorrelated errors)。采用的 ²³⁸U 和 ²³⁵U 的衰变常数分别为 $1.55130 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 和 $9.8485 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, ²³⁸U/²³⁵U = 137.88。同位素比值误差为 2σ 绝对

表1 北京十三陵地区中—新元古界铅同位素组成

Table 1 Pb isotopic composition of Meso- to Neoproterozoic strata of the Ming Tombs District, Beijing

序号	组/采样地点 /等时线年龄	样品号	岩性	HCl 溶解			HF + HNO ₃ 溶解		
				²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
2	景儿峪组 (Qbj)	9969-50	硅质白云岩	18.86918 ± 42	15.65235 ± 32	38.27971 ± 44	19.2957 ± 7	15.7076 ± 9	38.3947 ± 32
3		9969-49	泥晶白云岩	19.0269 ± 13	15.6402 ± 12	39.8823 ± 36	19.4680 ± 7	15.67107 ± 59	40.0558 ± 17
4		9969-48	硅质白云岩	19.4082 ± 18	15.6608 ± 14	40.4690 ± 37	19.6834 ± 29	15.6884 ± 22	44.5500 ± 62
5		9969-47	硅质泥质白云岩	19.4254 ± 16	15.6610 ± 13	42.5164 ± 36	19.2653 ± 9	15.6343 ± 7	41.8034 ± 19
9		9969-42	白云岩	24.4744 ± 41	16.1305 ± 27	37.104 ± 7			
10	雾迷山组(Jxw) 第三段 9~16虎山, 17~20康陵园 附近 1373±92 Ma	9969-41	白云岩	21.7680 ± 33	15.9413 ± 23	37.2401 ± 54			
11		9969-40	白云岩	23.858 ± 7	16.0703 ± 46	38.703 ± 12			
12		9969-39	白云岩	24.1082 ± 40	16.0779 ± 27	37.7739 ± 64			
13		9969-38	白云岩	18.9454 ± 29	15.6366 ± 23	36.7052 ± 61			
14		9969-37	硅化白云岩	20.7148 ± 51	15.8109 ± 38	37.216 ± 9	21.573 ± 8	15.8902 ± 52	37.304 ± 12
15		9969-36	白云岩	18.9349 ± 24	15.6380 ± 20	37.6982 ± 51			
16		9969-35	白云岩	19.5811 ± 40	15.6788 ± 32	37.747 ± 8			
17		99417-34	核形石白云岩	20.4022 ± 28	15.7463 ± 23	37.3040 ± 61	21.0140 ± 50	15.7758 ± 36	37.253 ± 9
18		99417-33	粒序白云岩	18.8556 ± 25	15.6333 ± 19	37.2971 ± 52	19.5149 ± 16	15.7113 ± 14	37.0712 ± 32
19		99417-31	硅化小柱叠层石岩	24.109 ± 30	16.575 ± 21	39.014 ± 49	23.283 ± 8	16.0324 ± 61	37.913 ± 15
20		99417-30	粉晶白云岩	24.371 ± 12	16.0998 ± 63	37.818 ± 16	22.2079 ± 28	15.9436 ± 19	36.9468 ± 46
21	杨庄组(Jxy) 昭陵附近 1488±55 Ma	99417-28	绿色燧石岩	31.6226 ± 29	16.9277 ± 15	44.7343 ± 42	35.5852 ± 33	17.0206 ± 16	44.0972 ± 42
22		99417-27	红色燧石岩	30.8466 ± 51	16.9910 ± 28	43.1161 ± 68	43.832 ± 9	17.9813 ± 39	45.668 ± 11
23		99417-26	片理化白云岩	26.7937 ± 38	16.4277 ± 23	40.713 ± 7	25.3421 ± 28	16.2749 ± 18	40.1982 ± 49
24		99417-25	角砾白云岩	18.7703 ± 56	15.6691 ± 37	36.874 ± 11	19.9927 ± 26	15.8074 ± 18	37.3770 ± 45
25		99417-24	硅质白云岩	28.0518 ± 47	16.7311 ± 29	41.823 ± 8	25.6190 ± 24	16.3185 ± 23	40.1462 ± 58
26		99417-21	钙结壳岩	24.812 ± 12	16.212 ± 8	39.047 ± 19	22.4430 ± 8	15.99520 ± 61	38.1119 ± 17
27		99417-20	钙结壳岩	18.2251 ± 25	15.7502 ± 21	37.6657 ± 51	18.6546 ± 11	15.6584 ± 9	37.6565 ± 21
28	高干庄组 (Chg)第三段 马连滩村对面 1608±74 Ma	99417-19(2)	硅化白云岩	20.9765 ± 33	15.8524 ± 27	37.170 ± 7			
29		99417-19(1)	硅化白云岩	19.7644 ± 17	15.8416 ± 12	37.9873 ± 31	21.1708 ± 15	15.8352 ± 11	37.5921 ± 27
30		99417-18	硅化白云岩	26.2787 ± 25	16.3687 ± 15	37.4811 ± 36			
31		99410-17	硅化白云岩	18.4435 ± 14	15.6887 ± 12	37.6747 ± 30	18.6904 ± 20	15.5658 ± 15	37.2634 ± 39
32		99410-16	硅质藻席白云岩	19.8579 ± 16	15.7276 ± 14	37.3572 ± 33	20.0603 ± 11	15.7435 ± 9	37.1821 ± 21
33		99410-15	硅质藻席白云岩	18.9176 ± 26	15.8500 ± 22	37.8565 ± 52	18.8512 ± 20	15.6603 ± 18	37.1578 ± 40
34		99410-14	白云岩	17.8148 ± 18	15.5413 ± 16	36.6262 ± 36	17.8406 ± 34	15.7261 ± 34	37.060 ± 8
35		99410-13	白云岩	26.0888 ± 58	16.3818 ± 38	41.245 ± 10	26.7521 ± 28	16.6034 ± 18	41.7809 ± 46
36		99410-12	白云岩	23.8413 ± 51	16.1740 ± 34	41.002 ± 9			
37		99410-11	白云岩	23.4861 ± 45	16.1257 ± 30	40.847 ± 8			
38		99410-10	白云岩	24.1700 ± 47	16.2029 ± 33	41.422 ± 9			
39		99410-9	白云岩	23.2838 ± 26	16.1004 ± 18	39.7084 ± 45			
40		99410-8	白云岩	16.6074 ± 9	15.4402 ± 8	36.3391 ± 22			
41		99410-7	白云岩	16.5307 ± 52	15.4521 ± 51	36.299 ± 12	16.6381 ± 27	15.6365 ± 24	36.7408 ± 60
42	大红峪组 (Chd) 泰陵北西 小河边	98616-4	石英砂岩				16.5836 ± 25	15.3975 ± 23	35.8051 ± 56
43		98616-3	凝灰粉砂岩				16.868 ± 8	15.1664 ± 63	36.647 ± 18
44		98616-2	条带硅化岩	17.0599 ± 10	15.4132 ± 9	37.2215 ± 22	16.9906 ± 34	15.2235 ± 30	36.855 ± 7
45		98616-1	球状硅化岩	17.0775 ± 9	15.4614 ± 9	37.6723 ± 21	16.7066 ± 39	15.1947 ± 37	36.798 ± 8

续表1

序号	组/采样地点 /等时线年龄	样品号	岩 性	HCl 溶解			HF + HNO ₃ 溶解		
				²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb
47	串岭沟组 Chch) 德胜口附近 1836~1900 Ma (?)	98620-25	粉砂页岩	18.2200 ±21	15.5983 ±18	39.5344 ±47	17.6036 ±21	15.2728 ±23	38.921 ± 8
48		98620-24	石英砂岩	16.8424 ±13	15.4320 ±11	37.1451 ±29	16.1495 ±32	15.0672 ±32	35.734 ± 9
49		98620-23	粉砂岩	17.0309 ±11	15.4538 ±10	37.3639 ±24	16.6616 ±28	15.1798 ±39	36.445 ±12
50		98620-22	粉砂白云岩	17.5953 ±52	15.3194 ±44	36.984 ±11	18.3326 ±30	15.3271 ±28	36.949 ± 7
51		98620-21	石英砂岩	17.1478 ±11	15.4908 ±10	37.7627 ±25	16.4213 ±21	15.1291 ±20	36.5048 ±46
52		98620-19b	玻屑白云岩	18.2651 ±37	15.4229 ±31	37.470 ± 7	17.5728 ±10	15.2628 ±10	36.6715 ±23
53		98620-19a	晶屑白云岩	16.9672 ±39	15.2695 ±35	36.539 ± 8	16.7494 ±14	15.1752 ±14	36.1638 ±32
55		98620-17c	白云岩	17.4532 ±12	15.3171 ± 9	36.5897 ±26	17.0002 ±20	15.2096 ±18	36.2316 ±44
56		98620-17b	白云岩	16.927 ±11	15.284 ±10	36.666 ±26	16.8429 ±34	15.1883 ±33	36.283 ± 9
57		98620-17a	泥质白云岩	17.961 ± 7	15.4002 ±60	37.282 ±14	17.7164 ±35	15.2705 ±33	36.576 ± 9
58		98620-14	含砂白云岩	17.6693 ±39	15.3942 ±31	37.350 ± 8	17.549 ±10	15.292 ± 9	36.784 ±21
59		98620-13	白云岩	18.0662 ±13	15.4510 ±10	38.0563 ±25	17.5490 ±31	15.2875 ±37	36.799 ±13
60		98620-12	粉砂页岩	17.5720 ±26	15.5684 ±24	39.2045 ±59	16.5937 ±18	15.1319 ±24	37.6069 ±60
61		98620-11	白云岩	16.9965 ±18	15.3008 ±15	37.1552 ±37	16.7636 ±28	15.2152 ±26	36.7677 ±62
62		98620-10b	白云岩	17.3864 ±30	15.3254 ±26	38.9148 ±67	17.2255 ±14	15.2541 ±12	38.8196 ±34
63		98620-10a	粉砂页岩	18.3423 ±50	15.6782 ±43	43.237 ±12	16.9912 ±12	15.1919 ±14	41.4351 ±35
64		98620-5	砂页岩	18.3936 ±12	15.5569 ±10	37.7374 ±25	18.3489 ±28	15.2700 ±34	36.695 ±11
65		98620-3	炭质页岩	17.1109 ±20	15.5380 ±18	37.4290 ±52	16.6703 ±52	15.281 ± 7	35.735 ±23

误差,年龄误差为95%置信度误差。

下文中的“等时线”指“²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb等时线”,“碳酸盐相中的 Pb”指存在于碳酸盐矿物中、用盐酸(HCl)溶解后得到的 Pb;“全岩 Pb”指的是岩石中的全部的 Pb,主要包括碳酸盐相和硅酸盐相中的 Pb,一般用氢氟酸加硝酸(HF+HNO₃)溶解出来。

4 测定结果

景儿峪组(Qbj)、杨庄组(Jxy)、高于庄组(Chg)、大红峪组(Chd)、串岭沟组(Chch)的测定结果见表1。综观所测定的全部样品,除了20号(硅质白云岩)、21号(燧石岩)、22号(燧石岩)和26号(钙质结壳岩)4个样品用 HCl 溶解和用 HF+HNO₃溶解的铅同位素组成相差较大外,其余的样品相差均不大于4%。

3.1 景儿峪组(Qbj)

由于出露面积很小,只采集了4个样品,其²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb比值略有差别,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb几乎完全相同,铅同位素组成较为均一。

3.2 雾迷山组(Jxw)

样品均为白云岩。12个用盐酸溶解的样品的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb为18.9~24.5,²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb为15.6~16.1。由于19号点的铅同位素组成明显异于其他点,异常的原因尚不清楚,故在进行等时线年龄计算时对其不予考虑。

用其余11个点计算得到的等时线年龄为1385±150Ma(MSWD=10)。因10号点离回归直线较远,舍去后重新计算得到的等时线年龄为1370±85Ma(MSWD=3.2)。

5个用 HF+HNO₃溶解的样品的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb和²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb与用 HCl 溶解的相差不大,其等时线年龄为1467±780Ma(MSWD=22)。考虑到17号点偏离了回归直线,舍去后重新计算结果为1324±110Ma(MSWD=0.10)。

两种溶样方式得到的年龄(1370±85Ma和1324±110Ma)基本相同。将上述两种溶解方式得到的14个点(用 HCl 溶解的10个点,用 HF+HNO₃溶解的4个点)一起计算,得到的年龄为1373±92Ma(MSWD=4.7,图3)。因所测的样品取自雾迷山组第三段,故认为雾迷山组第三段的年龄为1373±92Ma。

3.3 杨庄组(Jxy)

在测定的7个样品中,两个样品(21和22号)为燧石岩(燧石结核),其余为碳酸盐岩。这些样品均用 HCl 和 HF+HNO₃溶解。两个燧石样品是本研究中共放射成因 Pb 含量最高的,其²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb达35.58和43.832,显示其在形成时具有较高的铀含量。

燧石结核的成分为石英化玉髓纤晶,在白云岩中以扁豆状或条带状平行层理产出,表明它与碳酸盐岩是同时沉积形成的,这两种岩石能够满足构成等时线的条件,故在计算时将燧石岩和碳酸盐岩一

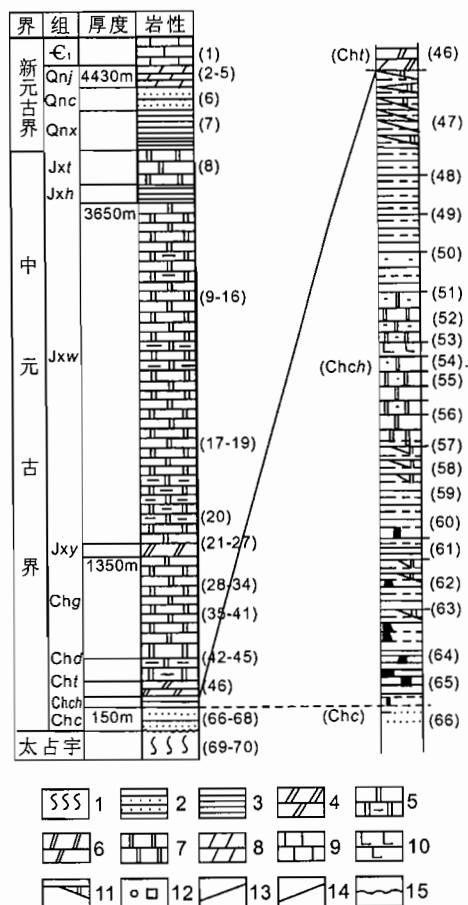


图2 十三陵中元古界地层柱状图及 Pb-Pb 法样品采样位置

Fig. 2 The column map of the Mesoproterozoic-Neoproterozoic strata of the Ming Tombs District and the sampling locations

1—黑云角闪片麻岩; 2—砂岩为主; 3—泥页岩为主; 4—泥质白云岩; 5—硅化白云岩; 6—砂质白云岩; 7—白云岩; 8—泥灰岩; 9—石灰岩; 10—火山岩; 11—白云岩透镜体; 12—球粒状黄铁矿和立方体黄铁矿; 13—整合; 14—平行不整合; 15—角度不整合; (65)—野外取样品号(与表1同)

1—Biotite - amphibolite gneiss; 2—sandstone mainly; 3—mudstone - shale mainly; 4—muddy dolomite; 5—silicified dolomite; 6—sandy dolomite; 7—dolomite; 8—marl; 9—limestone; 10—volcanic rock; 11—dolomite lense; 12—spherulitic pyrite and cubic pyrite; 13—conformity; 14—parallel unconformity; 15—angular unconformity; (65)—sample No. of field location

起处理。

用 HCl 溶解的 7 个碳酸盐岩样品在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上似乎排列成两条直线(22、25 和 27 号点为一条, 21、23、24 和 26 为一条), 呈平行带状分布, 原因尚不清楚。计算后得到的年龄为 $1626 \pm 350\text{Ma}$ (MSWD=192)。用 HF+HNO₃ 溶解的 7 个样品的 Pb-Pb 等时线年龄为 $1404 \pm 190\text{Ma}$ (MSWD=

125), 舍去偏离直线较远的 21 号点, 重新进行计算的等时线年龄为 $1467 \pm 43\text{Ma}$ (MSWD=4.8)。将所有的点(14 个)合在一起, 计算得到的结果为 $1453 \pm 180\text{Ma}$ (MSWD=223)。舍去偏离直线较远的用 HCl 溶解的 22、25 和 27 号点及用 HF+HNO₃ 溶解的 21 号点, 重新进行回归计算得到的 Pb-Pb 等时线年龄为 $1488 \pm 55\text{Ma}$ (MSWD=14, 图 4)。

杨庄组的年龄采用 $1488 \pm 55\text{Ma}$ 。

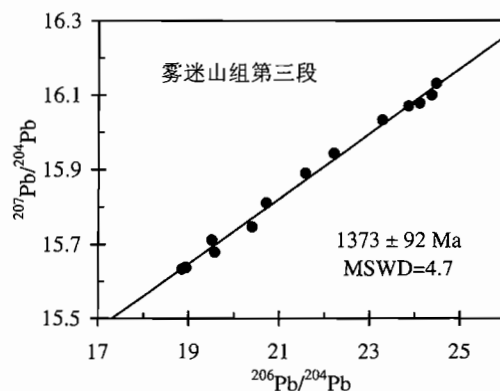


图3 雾迷山组第三段 14 个样品的 Pb-Pb 等时线
Fig. 3 Pb-Pb isochron for 14 samples of the third set of the Wumishan Formation

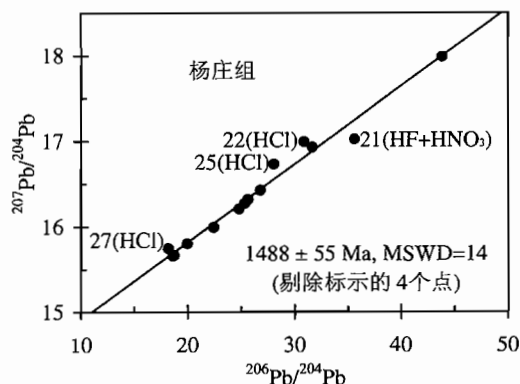


图4 杨庄组 7 个样品(14 点)的 Pb-Pb 等时线
Fig. 4 Pb-Pb isochron for 7 samples (14 points) of the Yangzhuang Formation

3.4 高于庄组的地质年龄 (Chg)

14 个碳酸盐岩样品, 除了用 HCl 溶解外, 又将其中的 6 个用 HF+HNO₃ 溶解。用 HCl 溶解的全部 14 个样品计算的等时线为 $1537 \pm 200\text{Ma}$ (MSWD=66, 图 5)。舍去 3 个明显偏离的点(29、30 和 31 号点)后, 重新计算后的等时线年龄为 $1608 \pm 74\text{Ma}$ (MSWD=8.1), 取此年龄为该组的年龄。用 HF+

HNO₃溶解的样品,其²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb仅仅具有一定的线性趋势,不能构成等时线。

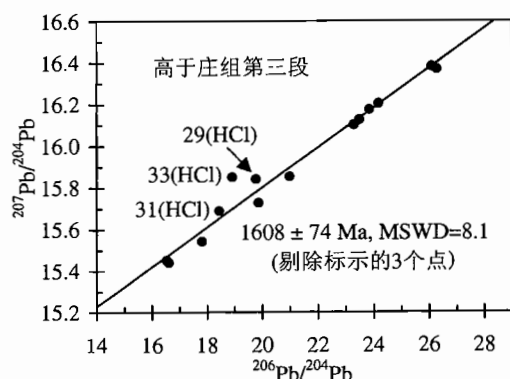


图5 高于庄组11个样品(HCl溶解)的Pb-Pb等时线
Fig. 5 Pb-Pb isochron for 11 samples of the Gaoyuzhuang Formation (dissolved in HCl)

3.5 大红峪组 (Chd)

由于样品少且铅同位素组成均一,不构成直线。

3.6 串岭沟组 (Chcg)

18个样品都用HCl和HF+HNO₃溶解。除了50号点外,用HF+HNO₃溶解样品中的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb和²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb比值不大于碳酸盐相。换言之,硅酸盐相与碳酸盐相比较,放射成因Pb的含量相等或略低,除了50号点碳酸盐相的Pb比全岩Pb具有更低的放射成因Pb外,其余各样品碳酸盐相具有相对较高的放射成因Pb。

这18个用HCl溶解的样品在²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb图上不构成等时线,其中10个碳酸盐岩样品也仅仅具有线性(图6a)。用HF+HNO₃溶解的18个样品有明显的线性趋势(图6b),计算得到Pb-Pb等时线年龄为1885±580Ma (MSWD=33)。舍去离开回归直线较远的48、64和65号点后的15个点计算得到的Pb-Pb等时线年龄为1857±350Ma (MSWD=8.7)。

4 讨论

碳酸盐岩中主要为碳酸盐矿物(碳酸盐相)外,还含有一定的硅酸盐矿物(硅酸盐相),不同矿物相中的Pb具有不同的地球化学意义。碳酸盐相中的Pb记录沉积环境的特点,硅酸盐相中的Pb可能较为复杂——如果硅酸盐相主要为陆源碎屑,则其中的Pb指示源区特点,此时硅酸盐相具有更多的放射成因Pb;如果是沉积盆地自身(盆地中的火山作

用等)的硅质,则记录沉积环境的特点,硅酸盐相和碳酸盐相具有相似的铅同位素组成;有时是两种来源的物质混合在一起。所以,测定碳酸盐岩的年龄时要对此加以区分。

Moorbath等(1987)在用Pb-Pb法直接测定太古宙叠层石灰岩年龄时,发现同一个样品的碳酸盐相和硅酸盐相的铅同位素有很大的差别,如碳酸盐相的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb为20,硅酸盐相的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb为140。他们认为,这些样品中的碳酸盐相的Pb指示碳酸盐岩沉积盆地的特征,硅酸盐相来源于古老的大陆,显示古老大陆物质的特征。

十三陵地区地层中碳酸盐相的Pb和全岩Pb的同位素组成相差不大,且岩石中放射成因的Pb不是很高(锆石具有很高的放射成因Pb,其²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb一般为数千至数万,甚至更高)——现代普通Pb的²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb和²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb分别为18.8、15.7和38.9——从而,大致可以得到这样的结论:十三陵地区地层中的碳酸盐相与硅酸盐相在成

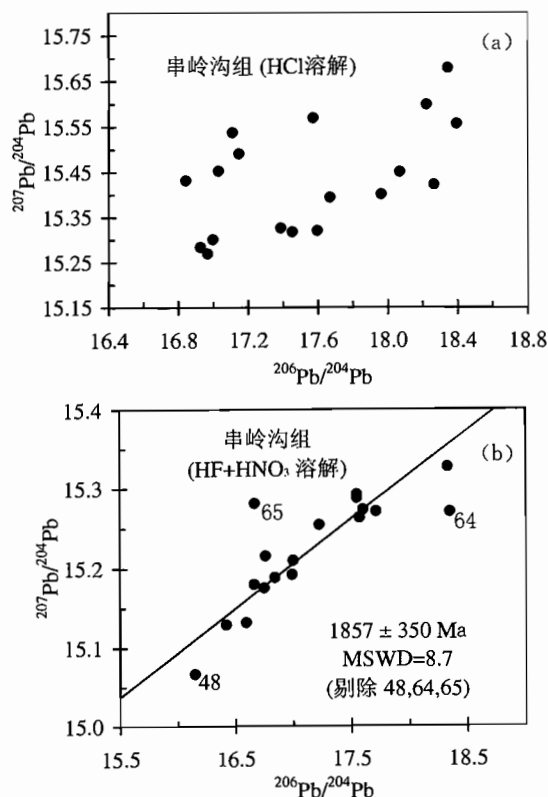


图6a 串岭沟组(HCl溶解)的Pb-Pb等时线
图6b 串岭沟组(HF+HNO₃溶解)的Pb-Pb等时线

Fig. 6a Pb-Pb isochron for the Chuanlinggou Formation (dissolved in HCl)

Fig. 6b Pb-Pb isochron for the Chuanlinggou Formation (dissolved in HF+HNO₃)

岩时所含的铀、钍和铅无太大的差别,因此硅酸盐相与碳酸盐相形成于相似或同样的环境中。

于荣炳等(1984)曾测定了蓟县串岭沟组四个黑色页岩的铅同位素,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为16.835~20.520, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为15.564~15.947,这些值和本次测定的碳酸盐岩比较接近。这从另外的角度说明,陆源物质的影响较小。

本次研究得到雾迷山组第三段的 Pb-Pb 年龄为 $1373\pm 92\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=4.7$),杨庄组的年龄为 $1488\pm 55\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=14$),高于庄组第三段的年龄为 $1608\pm 74\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=8.1$),且成线效果良好,年龄与地质推断及前人的研究相一致。

于荣炳等(1984)认为,钟富道在迁西马蹄峪得到的1647Ma 海绿石年龄应该代表高于庄组底部时限年龄。陆松年等(1991)测定了由张学祺采集的位于蓟县苦梨峪与下营河之间的富钾粗面岩(相当于大红峪组中段偏上)中锆石的年龄,认为得到的 $1625.3\pm 6.2\text{Ma}$ 的 U-Pb 年龄代表了大红峪组富钾粗面岩中锆石的结晶时代。显然,这两个年龄与本次研究得到高于庄组的 Pb-Pb 年龄相协调。

全岩 Pb 主要包括了碳酸盐相和硅酸盐相两部分,串岭沟组为什么碳酸盐相 Pb 的线性趋势不如全岩 Pb 明显,原因不清楚。本次研究未能得到串岭沟组碳酸盐岩准确的年龄,全岩 Pb 给出的等时线结果 $1857\pm 350\text{Ma}$ ($\text{MWSD}=8.7$),与预想的年龄在一定程度上相吻合。钟富道(1977)测得串岭沟组上部黑色页岩的 Pb-Pb 等时线年龄为1922Ma。陆松年等(1989)测得的串岭沟组的伊利石 Pb-Pb 等时线年龄为 $1705\pm 42\text{Ma}$ 。李怀坤等(1995)的研究中发现有18亿年的碎屑锆石,限定了长城系底界年龄应小于1823Ma。这样看来,本次得到的 $1859\pm 379\text{Ma}$ 有一定的参考价值。

宋彪、乔秀夫、王彦斌研究员和本文作者多次探讨碳酸盐岩年龄测定问题,并提出了某些新的研究思路,这对本研究成果的取得具有重要作用,并多次对全文进行了认真的修改。杨淳副研究员对实验工作给予了热情帮助。在此,谨致谢意。

参 考 文 献

- 北京市地质局. 1991. 北京市区域地质志. 北京:地质出版社,37.
- 高励,刘敦一,李永安. 1996. 用 Pb-Pb 同位素方法直接测定石炭系碳酸盐岩珊瑚化石年龄. 地质论评,42(1):22~29.
- 和政军,宋天锐,丁孝忠,张巧大. 2000. 燕山中元古代裂谷早期同沉积断裂活动及其对事件沉积的影响. 古地理论,2(3):83~91.
- 金文山,管爱莲. 1999. 北京地区太古宙岩石同位素年龄及其意义. 前寒武纪研究进展,22(3):1~13.
- 李怀坤,李惠民,陆松年. 1995. 长城系团山子组火山岩颗粒锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 地球化学,24(1):43~48.
- 林晓辉. 2000. 北京地区的长城系. 前寒武纪研究进展,23(3):173~178.
- 柳永清,刘晓文,李寅. 1997. 燕山中、新元古代裂陷槽构造旋回层序研究. 地球学报,18(2):142~149.
- 陆松年,李惠民. 1991. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石 U-Pb 法准确定年. 中国地质科学院院报,(22):137~146.
- 陆松年,张学祺,黄承义等. 1989. 蓟县—平谷长城系地质年龄数据新知及年代格架讨论. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,(23):11~23.
- 乔秀夫,高励. 1997. 中国北方青白口系碳酸盐岩 Pb-Pb 同位素测年及意义. 地球科学(中国地质大学学报),22(1):1~7.
- 宋天锐,高健. 1987. 北京十三陵前寒武系沉积岩. 地质专报3,第3号. 北京:地质出版社,43~57.
- 宋天锐,和政军,丁孝忠,张巧大. 2000. 北京十三陵元古宙大红峪组含事件的沉积岩研究. 岩石矿物学杂志,19(4):323~332.
- 汪长庆,肖宗正,施福美,徐惠芬,李兆聪. 1980. 北京十三陵地区的震旦亚界. 见:中国地质科学院天津地质矿产研究所主编. 中国震旦亚. 天津科学技术出版社,332~369.
- 于荣炳,张学祺. 1984. 燕山地区晚前寒武纪同位素地质年代学的研究. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊,(11):1~23.
- 章雨旭,高林志,彭阳,高励. 1998. 凤台砾岩与下伏四顶山组过渡接触关系的发现及地质意义. 地球科学,23(1):9~12.
- 钟富道. 1977. 从燕山地区震旦地层同位素年龄论中国震旦地质年表. 中国科学,(2):151~161.
- Dewolf C P and Halliday A N. 1991. U-Pb dating of remagnetized Paleozoic limestone. Geophysics Research Letter, 18: 1445 ~ 1448.
- Folling P G, Zartman R E and Frimmel H E. 2000. A novel approach to double-spike Pb-Pb dating of carbonate rocks; Examples from Neoproterozoic sequences in southern Africa. Chemical Geology, 171(-2):97~122.
- Gao Mai, Liu Dunyi, Li Yong'an. 1996. Direct dating of carboniferous coral fossils from carbonate using Pb-Pb isotopic method. Geological Review, 42(1):22~29 (in Chinese with English abstract).
- Grabau, A W. 1922. The Sinian System. Bulletin of Geological Society of China, 1(1~4).
- Jahn Bor-ming, Bertrand-Sarfati J, Morin N, et al. 1990. Direct dating of stromatolitic carbonates from the Schmidtsdrif Formation (Transvaal Dolomite), South Africa, with implications on the age of the Ventersdorp Supergroup. Geology, 18:1211~1214.
- Jahn Bor-ming, Chi W R, Yui T F. 1992. A late Permian formation of Taiwan (marble from Chia-Li well No. 1); Pb-Pb isochron and Sr isotopic evidence, and its regional and geological significance. Journal of the Geological Society of China, 35:193~218.
- Jahn Bor-ming. 1988. Pb-Pb dating of young marbles from Taiwan. Nature, 332:429~432.
- Jin Wenshan and Guan Ailian. 1999. Isotopic age of the Archaean rocks in Beijing area and their geological implications. Progress in Precambrian Research, 22(3):1~13 (in Chinese with English

- abstract).
- Kao C S(高振西), Hsiung Y H and Kao P. 1934. Preliminary notes on Sinian stratigraphy of North China. *Bulletin of Geological Society of China*, 13:243~276.
- Li Huaikun, Li Huimin and Lu Songnian. 1995. Grain zircon U-Pb ages for volcanic rocks from Tuanshanzi Formation of Changcheng System and their geological implications. *Geochimica*, 24(1):43~48(in Chinese with English abstract).
- Lin Xiaohui. 2000. Changcheng System in Beijing, China. *Progress in Precambrian Research*, 23(3):173~178.
- Liu Yongqing, Liu Xiaowen and Li Yin. 1997. Tectonic cyclic sequences in the Mesoproterozoic and Neoproterozoic aulacogen of Yanshan. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(2):142~149(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian and Li Huimin. 1991. A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu Formation, Changcheng System in Jixian. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, (22):137~146(in Chinese with English abstract).
- Moorbath S, Taylor N P, Orpen J L. et al. 1987. First direct radiometric dating of Archean stromatolite limestone. *Nature*, 326:865~867.
- Qiao Xiufu and Gao Mai. 1997. Carbonate Pb-Pb isotopic dating of Qianbaikou System in northern China and its significance. *Earth Science—Journey of China University of Geosciences*, 22(1):1~7(in Chinese with English abstract).
- Smith P. E and Farquhar R M. 1989. Direct dating of Phanerozoic sediments by ^{238}U - ^{206}Pb method. *Nature*, 341:518~521.
- Smith P E, Farquhar R M and Hancock R G. 1991. Direct radiometric age determination of carbonate diagenesis using U-Pb in secondary calcite. *Earth and Planetary Science Letter*, 105:474~491.
- Song Tianrui and Gerhard Einsele. 1996. Proterozoic sedimentary facies and their depositional environments in the Ming Tombs District, Beijing. Field Trip guide, 30th International Geological Congress. Beijing: Geological Publishing House, T201,1~22.
- Song Tianrui, He Zhengjun, Ding Xiaozhong and Zhang Qiaoda. 2000. A study of event message-bearing sedimentary rocks of the Proterozoic Dahongyu Formation from the Ming Tombs, Beijing. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(4):323~332(in Chinese with English abstract).
- Taylor P N and Kalsbeek F. 1990. Dating of metamorphism of Precambrian marbles examples from Proterozoic mobile belts in Greenland. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 86:21~28.
- Wang Changqing, Xiao Zongzheng, Shi Fumei, Xu Huifen and Li Zhaocong. 1980. Sinian suberathem in the Ming Tombs, Beijing. In: *Research on Precambrian Geology Sinian Suberathem in China*. Tianjin Science and Technology Press, 332~369(in Chinese).
- Yu Rongbing and Zhang Xueqi. 1984. Study of geochronology of late Precambrian in the Yanshan ranges. *Bulletin Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources*, (11):1~23(in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuxu, Gao Linzhi, Peng Yang, Gao Mai. 1998. Discovery of the transitional relation between the Fengtai Formation and the Sidingshan Formation and its geological significances. *Earth Science—Journey of China University of Geosciences*, 23(1):9~12(in Chinese with English abstract).

Pb-Pb Age Determination of Meso- to Neoproterozoic carbonates in the Ming Tombs District, Beijing

ZHANG Qiaoda, SONG Tianrui, HE Zhengjun, DING Xiaozhong

Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

63 carbonate samples, collected systematically from Proterozoic strata in the Ming Tombs District in Beijing, were determined by using the Pb-Pb method. The samples of pure or being mainly composed of carbonates were dissolved in 1M HCl, and the siliceous rocks (8 samples) in HF+HNO₃. In order to compare with the results dissolved in 1M HCl, some of the carbonate samples were also dissolved in the HF+HNO₃ solution. The chemical reagent was ultra-pure and the chemical procedures were treated in an ultra-pure laboratory. The Pb isotopes were analyzed on a MAT261 spectrometer. The decay constants of ^{238}U and ^{235}U are $1.55130 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ and $9.8485 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, respectively, and the ratios of $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ is 137.88, used in the calculation. The error of Pb isotope ratios is 2σ , and the age errors are at 95% confidence. The calculations and drawings of the Pb-Pb isochrons were done by using the model 2 of the Program ISOPLOT. ex2 designed by Dr. Ludwig. There is a little difference of a sample in Pb isotope ratios between being dissolved in 1M HCl and in HF+HNO₃. The Pb-Pb isochron ages and the MSWD for some formations of the Proterozoic in the Ming Tombs District are as follows: Wumishan Fm., (3rd Set) $1373 \pm 92 \text{ Ma}$, MSWD=4.7; Yangzhuang Fm., $1488 \pm 55 \text{ Ma}$, MSWD=14; Gaoyuzhuang Fm., (3rd Set) 1608 ± 74 , MSWD=8.1.

Key words: Proterozoic; Ming Tombs District, Beijing; carbonate; Pb-Pb, isotope