

山东沂水新太古代马山和雪山岩体的地质、岩石化学特征和 SHRIMP 锆石年代研究

沈其韩¹⁾, 赵子然¹⁾, 宋彪^{1, 2)}, 宋会侠^{1, 2)}

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 北京离子探针中心, 北京, 100037

内容提要:马山和雪山岩体是山东新太古代沂水岩浆杂岩中的两个主要单元。本文在简要介绍这两个岩体的基本地质、岩石化学和地球化学特征的基础上,首次报道了这两个岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果。马山和雪山岩体中的锆石,均具清晰的岩浆成因的环带结构, Th/U 比值大多数大于 0.6。马山岩体的侵位(或结晶)年龄为 2538 ± 6 Ma(15 个分析点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄的加权平均值,对应的 MSWD=1.5),雪山岩体的侵位(或结晶)年龄为 2532 ± 9 Ma(6 个分析点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄的加权平均值,对应的 MSWD=0.64)。野外观察认为马山岩体的侵入稍早于雪山岩体,这次测定结果与野外观察结果吻合。

关键词:马山岩体;雪山岩体;山东;太古宙;SHRIMP 年龄;U-Pb;锆石

本文工作区范围是在 1:5 万沂水地质图^①和高桥地质图^②中蔡峪—胡家庄一线以南和唐家庄东西一线以北范围内(图 1)。区内地质体主要由新太古代的沂水杂岩(约占 70%~75%)和中太古代的沂水岩群变质岩系(约占 25%~30%)所组成。前者包括蔡峪岩体、马山岩体、雪山岩体、牛心官庄岩体、英灵山岩体、林家官庄岩体和大山岩体。蔡峪岩体和大山岩体已进行过 SHRIMP 锆石年代学研究(沈其韩等,2004),其他岩体也已经分别做过锆石 U-Pb 等时线年龄、单颗粒锆石蒸发法研究(沈其韩等,2004),有的岩体做过全岩 Sm-Nd 和 Rb-Sr 年龄的测定(沈其韩等,1997),但年龄数据差别较大,难以确定其正确年代。本文在介绍了马山和雪山岩体的简要地质特征和岩石化学及地球化学等以往研究成果的基础上(沈其韩等,2000),重点论述了这两个岩体中锆石的晶体特征和 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代测定的最新成果,并与原先测定的年龄资料作一比较。

1 岩体的基本地质特征

马山岩体出露于地表三个小区,互不连接(图 1),它被英灵山岩体侵入。最大的一个岩体,出露于罗家庄—马山—东院—石山官庄一线,岩体中包有

大小不等的沂水岩群的麻粒岩、铁英岩、二辉斜长角闪岩等捕虏体,主体岩石片麻理呈东西—北东走向,南倾,倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$,在石山官庄出露的三角形岩体,产于地层倒转背斜的核部,它被雪山岩体侵入或呈渐变过渡。

雪山岩体分布于黄姑山以东到雪山一线,被大山岩体和牛心官庄岩体侵入和包围,岩体中常见有不同形状,大小不一的紫苏斜长角闪岩、角闪二辉斜长麻粒岩、黑云角闪辉石岩、黑云变粒岩等围岩捕虏体,接触界线清楚至模糊,有的渐变成为模糊的暗色体。

两岩体均见稍晚形成的伟晶质脉体,均见有呈北西向的中元古代石英闪长岩脉和北西—南北向的辉绿岩脉的侵入,也有呈北西向分布的燕山期辉绿岩脉的侵入。

2 岩体的岩相学特征

组成马山岩体的岩石一般呈灰黑色至深灰色,中粒—中粗粒,少部分为粗粒,片麻状构造,肉眼能看到斜长石(暗色是其特点)、紫苏辉石和黑云母片。在显微镜下呈花岗半自形粒状构造,组成矿物有斜长石($An=23 \sim 27$)(46.3%~59.7%)、微斜长石(10.26%~13.7%)、紫苏辉石(5.1%~11.5%)、黑

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 40572110)的成果。

收稿日期:2006-03-10;改回日期:2006-08-16;责任编辑:章雨旭。

作者简介:沈其韩,男,1922 年生。中国科学院院士,长期从事早前寒武纪变质地质学研究。通讯地址:北京市西城区百万庄路 26 号,中国地质科学院地质研究所;电话:010-68999660。

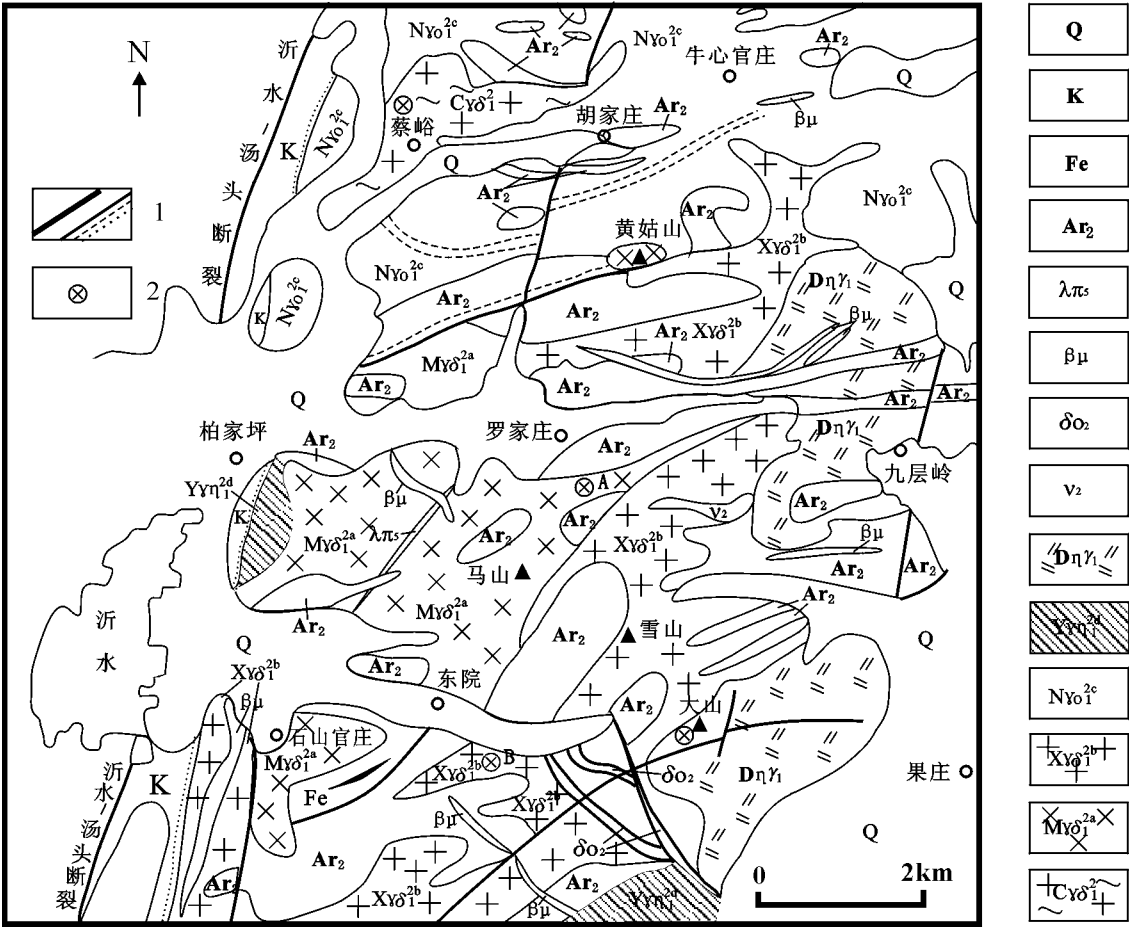


图 1 山东沂水地区地质略图(据沈其韩等,2000,简化)

Fig. 1 Sketch geological map of Yishui area, Shandong Province (simplified from Shen et al , 2000)

Q—第四系:砂质黄土、含砾亚砂土、粉砂粘土、砂砾等;K—白垩系:砂岩、砂砾岩、泥质粉砂岩、火山角砾岩等;Fe—条带状贫铁矿;Ar₂—中太古界沂水岩群包括北下庄、林家官庄和石山官庄变质岩石组合;λπ₅—霏细斑岩脉;βμ—辉绿岩脉;δo₂—石英闪长岩脉;v₂—辉长岩;Dηγ₁—大山二长花岗岩;Yγη₁^{2d}—英灵山奥长花岗岩;NYO₁^{2c}—牛心官庄奥长花岗岩—二长花岗岩;Xγδ₁^{2b}—雪山紫苏花岗闪长岩;Mγδ₁^{2a}—马山二辉花岗闪长岩—花岗岩;Cγδ₁²—蔡峪石榴紫苏英云闪长岩—花岗闪长岩;1—断层和韧性剪切带;2—同位素年龄取样位置,A 为马山岩体,B 为雪山岩体

Q—Quaternary: sandy loess, gravel bearing subsand, silty clay, sand and gravel, etc.; K—Cretaceous: conglomerate, sandy conglomerate, clay silt, volcanic breccia, etc.; Fe—banded poor iron ore (itabirite); Ar₂—Yishui Group Complex, including the Beixiazhuang, Linjiaguanzhuang and Shishanguanzhuang metamorphic rock assemblages; λπ₅—felsitic porphyry vein; βμ—diabase vein; δo₂—quartz diorite; v₂—gabbro; Dηγ₁—Dashan adamellite; Yγη₁^{2d}—Yinglingshan trondhjemitic; NYO₁^{2c}—Niuxinguanzhuang trondhjemitic—adamellite; Xγδ₁^{2b}—Xueshan hypersthene granodiorite; Mγδ₁^{2a}—Mashan two-pyroxene granodiorite—granite; Cγδ₁²—Caiyu garnet hypersthene tonalite—granodiorite; 1—fault sand ductile shear belt; 2—sample locations, A is from Mashan granitoid, B is from Xueshan granitoid

云母(6.9%~13.7%)、石英(2%~24%)、透辉石(3.0%~3.9%),有时见普通角闪石(0.1%~4.5%),在黄姑山的马山岩体中偶见有少量石榴子石。副矿物以磷灰石和磁铁矿较多,锆石次之。有时见次生的方解石细粒或树枝状脉体。用于选取锆石样品的马山岩体样品(YS9566)采自罗家庄村南河沟中(见图 1),岩石呈浅紫灰色,中粒至中粗粒状,略显斑状,具片麻状。斜长石斑晶大小在 3×4

×(5~6) mm³,含较多镁铁矿物,常组成集合体状,顺片麻理方向分布,镜下观察同前述,只是副矿物中见有褐帘石。组成雪山岩体的岩石,一般呈烟灰色,风化后呈灰色,中细粒至中粗粒,肉眼可见紫苏辉石和透辉石及黑云母,分布不均匀,含量变化较大,钾长石有时呈斑晶出现,石英呈暗灰色是特点。镜下观察,岩石呈花岗半自形粒状结构,片麻状构造,组成矿物主要是奥长石(40%~50%)、石英(20%

士)、微斜长石(12%±)、黑云母(10%±)、紫苏辉石(5%~10%)、透辉石(2%~5%),有时还见有少量普通角闪石,副矿物常见的有磁铁矿、磷灰石、锆石,有时见有帘石。用于选取锆石的样品(YS9573)采自沂水东院下寺一带(见图1)。

3 岩体的岩石化学和地球化学特征

岩体的岩石化学和地球化学,以往已做过一定的研究,这里只作一简要的介绍,详细内容、测定方法和有关图件等详见“山东沂水杂岩的组成与地质演化”一书(沈其韩等,2000)。

3.1 马山岩体的岩石化学和地球化学

岩石 SiO_2 的含量介于 60%~70% 之间,且主要集中于 60%~66% 的范围内。20 个样品的 SiO_2 平均含量为 64.3%,说明主要为中偏酸性岩石。 Na_2O 和 K_2O 含量变化较大,近 1/3 的样品 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。 Al_2O_3 的含量为 13.82%~16.34%,大于 14% 的占 90%。 FeO 含量在 1.49%~7.26% 之间,大部分在 2%~4% 之间。 MgO 的含量大部分在 1.24%~4.97% 之间。 CaO 的含量在 2.15%~6.66% 之间。在 An—Ab—Or 三角图中,除个别样品位于英云闪长岩区,大部分位于花岗闪长岩区和二长花岗岩区,一部分位于花岗岩区。在 K_2O — Na_2O — CaO 三角图上,主要分布于钙碱性岩区。

稀土模式特征大体上可分为三类:第一类稀土元素相对较低,重稀土亏损,无明显的铕异常,轻重稀土分馏中等, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值介于 12.76 与 22.83 之间。第二类稀土特征总体上与第一类相似,但略具正铕异常, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.10 \sim 2.03$, 样品 YS9566 属于本类。第三类,稀土元素含量较高,重稀土分馏较弱,具明显的负铕异常, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.69 \sim 0.21$ 。稀土模式的多样性与岩体本身的岩相变化有关,表明岩体内部成分的不均一,高场强元素 Nb 和 Ta 出现明显的亏损, P、Er 和 Ti 出现相对的亏损,而 Hf 相对于 Er 和 Sm 出现富集。多数样品的 Ba 相对于 Rb 和 Th 无亏损,这些特点与许多 TTG 成分岩石所含的微量元素一致。

3.2 雪山岩体的岩石化学和地球化学

岩石 SiO_2 的含量介于 69.14%~76.18% 之间,12 个样品的平均值为 72.6%,主体属酸性岩类。 Al_2O_3 含量除一个样品(YS9573)外都低于 14.71%。 ΣFeO 含量在 0.39%~3.60% 之间,变化较大。 MgO 含量在 1.00 以下, CaO 含量在 1.14%~1.84% 之间, $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$ (除一个样品为 1.91

外)为 0.51~0.96。用于选取锆石的样品 YS9573 与大部分样品相比比较特殊, SiO_2 含量仅为 56.85%,偏中性, Al_2O_3 含量高,达 18.36%, ΣFeO 、 MgO 和 CaO 均高,在 3.35%~4.97% 之间, K_2O 达 4.29%, Na_2O 含量为 4.75%, $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} = 1.10$, 在 An—Ab—Or 三角图上,YS9573 位于奥长花岗岩区,一部分位于花岗闪长岩区,其余大部分位于花岗岩区。在 K_2O — Na_2O — CaO 三角图上主要显示钙碱性花岗岩分布趋势。

稀土元素配分模式基本上可分为三种类型:第一种类型是雪山岩体的主体类型,它们的稀土总量相对较高,为 $136.7 \times 10^{-6} \sim 434.3 \times 10^{-6}$;轻稀土分馏强烈, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值介于 178.9~205.5 之间,有不同程度的负铕异常, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.23 \sim 0.62$ 。第二种类型以两个样品为代表,它们的稀土总量相对较低,分别为 31.72×10^{-6} 和 41.12×10^{-6} ;轻重稀土分馏较弱, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 31.07 和 92.95,其中重稀土部分分馏很弱,在稀土模式图中呈平坦型,正铕异常比较突出, Eu/Eu^* 分别为 10.27 和 5.88。第三类即 YS9573 号样品,稀土模式呈向右倾的斜线, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 31.09$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.90$ 。在微量元素的 Pearce 图解中具有负铕异常的样品, Ba 相对 Rb 和 Th 有明显的负异常,具有正铕异常的两个样品在 Pearce 图上不显示 Ba 的负异常,同时 P、Zr 和 Ti 较前一类更加亏损。YS9573 样品的 Pearce 图解中 K、Rb、Ba 的富集特征与第二类一致, Nb 亏损, P、Er 亏损不明显, Hf 富集与第二类一致。

4 锆石的分选方法、锆石晶体特征和年龄测定方法

4.1 锆石样品的分选方法

将样品分别破碎至 60 目以下,人工淘洗除去较轻部分的矿物,至大部分重矿物富集后将其烘干,经电磁选后,选出锆石精样备用。

4.2 锆石晶体特征

4.2.1 马山岩体中锆石的晶体特征

样品 YS9566 的锆石,在岩石中主要赋存于斜长石和镁铁矿物中。单个锆石呈玫瑰紫色至浅粉色,透明至半透明,金刚光泽,以短柱状为主,少量呈长柱状,晶形大部分完整,两端略显浑圆,按形状大小可分为三组:①长约 $200\mu\text{m}$,宽约 $100\mu\text{m}$,延长系数为 2~3。晶面主要由 a(100)和 p(111)组成,部分为 a(100)、m(110)和 p(111)组合。②长约 $100\mu\text{m}$,宽 40~50 μm ,延长系数为 1~2,呈椭圆形。

③ 长约 20~50 μm ,宽约 20 μm ,呈小柱形—椭圆形,主要由 a(100)和 p(111)组成,m(110)不发育。

在阴极发光照射下,短柱状晶体大部分显示出环带,核部常见有黑色长条状或长方六边形环带,中部为密集的黑白相间的长方六边形多重环带,核部和中部为密不可分的整体,幔部呈灰色,环带不清楚。长柱状晶体普遍具有更为密集的环带,所有柱状晶体的边部均有很窄(5 μm ~20 μm)的白色增生边,个别可达到 40 μm 。在晶体中常见有细长柱状矿物和不规则小粒状矿物,经电子探针测定分别是磷灰石和钾长石,另见石英和斜长石包裹体,石英含量更多一些。锆石的结构特征属岩浆锆石。

4.2.2 雪山岩体中锆石晶体特征

在岩石中,锆石的产出部位同马山岩体。锆石晶体在自然光下为紫色,在薄片为浅灰紫色,透明至半透明,金刚光泽,晶体大部分完整,以短柱状为主,长柱状次之,有的晶体两端略显浑圆,晶体晶面组合主要与马山岩体中所见相同,有时见有 (131) 和 (321) 晶面,晶体大小不一,大体可分为三组:① (100~80)×(40~25) μm^2 最多,短柱状,在 100 个颗粒中,延长系数为 1~2 的颗粒占 66%,延长系数为 2~3 的颗粒占 31%。② 30 μm ×20 μm ,短柱状—椭圆柱状次多,在 100 个颗粒中,延长系

数为 1~2 颗粒占 90%,2~3 的颗粒占 10%。③ 220 μm ×20 μm ,长柱状,少量,延长系数变化较大,为 2.8~5.7,一般为 4~5。

4.3 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年方法

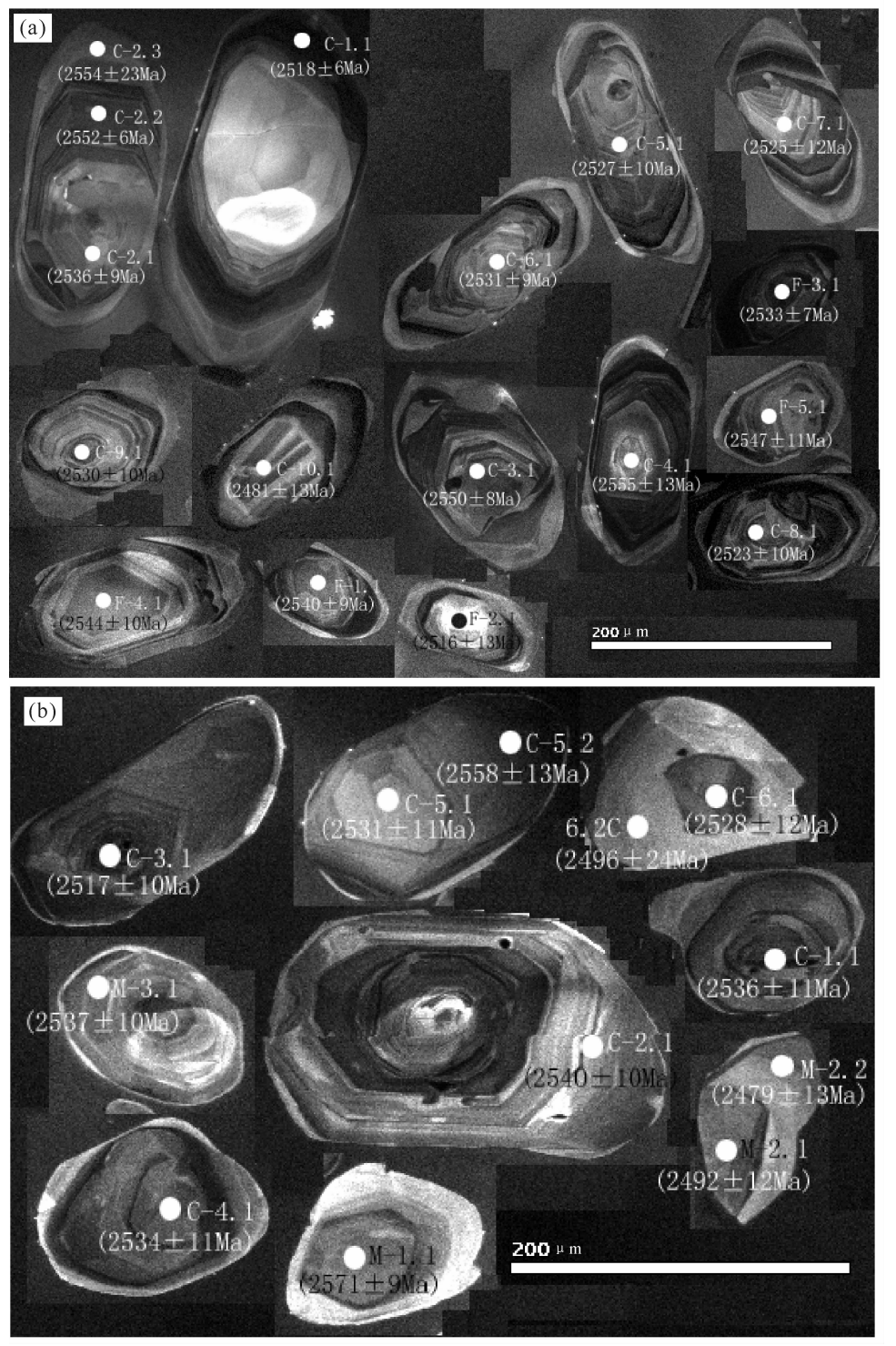


图 2 马山岩体(a,YS9566)和雪山岩体(b,YS9573)中代表性
锆石阴极发光(CL)图像
Fig. 2 CL images of zircons from the Mashan granite(a, YS9566)
and Xueshan granite(b, YS9573)

锆石的 U-Pb 定年在北京离子探针中心 SHRIMP II 上进行,测定流程和条件见宋彪等(2002)一文。数据处理及 U-Pb 谐和图绘制采用 K. Ludwig 编写的 squid 1.03d 版本和 Isoplot 2.49h 版本程序进行。使用的标准锆石为 SL13(铀含量 238×10^{-6} ,年龄 572 Ma)和 TEM(年龄为 417 Ma),前者用于标定 U 的含量,后者用于校正年龄。由于样品采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄,而此年龄和标准的测定无关,故 TEM 测得较少,TEM 和未知样品的分析按照 1:5 进行。采用的 ^{238}U 和 ^{235}U 的衰变常数分别为 1.55125×10^{-10} 和 9.9485×10^{-10} , $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=137.88$ 。TEM 普通铅校正采用的普通铅组成为 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=2.097$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}=0.864$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.052$ 。

表 1 为测定结果,同位素比值的误差为 1σ 相对误差,单个点的年龄误差为 1σ 绝对误差,年龄平均值误差为 95%置信度。

5 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果

进行 SHRIMP 年龄测定时,根据可见光照片和阴极发光照片来进行选点。可见光可以避免裂缝和包裹体,阴极发光可以避免不同灰度区域的混合。通常一个颗粒测定一个点,选择具有岩浆环带的部位,个别颗粒选择了不同的区域进行测定以便于了解这些区域年龄是否有差异。

马山岩体和雪山岩体锆石阴极发光特征及测定位置详见图 2。

马山岩体中锆石样品(YS9566)一共测定了 17

表 1 马山岩体(YS9566)和雪山岩体(YS9573)SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 SHRIMP data of zircons from Mashan (YS9566) and Xueshan (YS9573) intrusion

样品 编号	点 号	²⁰⁶ Pb _c (%)	U Th ²⁰⁶ Pb*			²³² Th ²³⁸ U	$\frac{n(^{207}\text{Pb}^*)}{n(^{206}\text{Pb}^*)}$		$\frac{n(^{206}\text{Pb}^*)}{n(^{238}\text{U})}$		$\frac{n(^{207}\text{Pb})}{n(^{206}\text{Pb})}$		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄① (Ma)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄② (Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄① (Ma)
			(×10 ⁻⁶)	测值	相对 误差 (%)		测值	相对 误差 (%)	测值	相对 误差 (%)					
Y S 9 5 6 6	C-1.1 [#]	0.03	674	78	270	0.12	0.16603	0.34	0.4662	1.8	0.16632	0.34	2467±37	2466±37	2518±6
	C-2.1	0.19	229	154	94	0.70	0.16780	0.55	0.4742	1.9	0.16947	0.50	2502±39	2508±42	2536±9
	C-2.2	0.09	561	278	231	0.51	0.16942	0.37	0.4783	1.8	0.17022	0.35	2520±38	2527±40	2552±6
	C-2.3	0.21	217	101	89	0.48	0.16970	1.40	0.4753	1.9	0.17160	1.30	2507±39	2513±41	2554±23
	C-3.1	0.15	352	268	145	0.79	0.16926	0.50	0.4781	1.9	0.17057	0.45	2519±40	2525±43	2550±8
	C-4.1	0.35	155	119	65	0.80	0.16980	0.75	0.4841	1.9	0.17290	0.64	2545±41	2553±45	2555±13
	C-5.1	0.27	262	179	108	0.70	0.16690	0.57	0.4786	1.9	0.16929	0.50	2521±39	2530±42	2527±10
	C-6.1	0.21	254	179	106	0.73	0.16735	0.56	0.4818	1.9	0.16923	0.51	2535±39	2544±43	2531±9
	C-7.1	0.27	195	139	81	0.74	0.16670	0.69	0.4794	1.9	0.16910	0.56	2524±40	2530±43	2525±12
	C-8.1	0.35	229	176	94	0.79	0.16650	0.61	0.4767	1.9	0.16961	0.52	2513±39	2528±43	2523±10
	C-9.1	0.17	278	260	114	0.96	0.16726	0.53	0.4780	1.9	0.16879	0.49	2519±39	2525±43	2530±9
	C-10.1 [#]	0.29	187	167	72	0.92	0.16240	0.78	0.4476	1.9	0.16494	0.60	2385±38	2390±42	2481±13
	X-1.1	0.22	299	200	125	0.69	0.16823	0.54	0.4845	1.8	0.17016	0.51	2547±39	2554±42	2540±9
	X-2.1	0.39	165	96	68	0.60	0.16590	0.76	0.4810	1.9	0.16930	0.61	2532±40	2539±43	2516±13
	X-3.1	0.17	451	323	188	0.74	0.16749	0.42	0.4846	1.8	0.16898	0.39	2547±38	2556±42	2533±7
X-4.1	0.27	258	254	107	1.02	0.16864	0.57	0.4820	1.9	0.17104	0.50	2536±39	2550±44	2544±10	
X-5.1	0.26	193	127	81	0.68	0.16900	0.63	0.4843	1.9	0.17126	0.56	2546±40	2556±43	2547±11	
Y S 9 5 7 3	C-1.1	0.22	212	152	89	0.74	0.16780	0.64	0.4854	1.9	0.16979	0.55	2551±40	2553±43	2536±11
	C-2.1	0.28	260	157	110	0.62	0.16822	0.57	0.4888	1.9	0.17073	0.50	2566±39	2572±42	2540±9
	C-3.1 [#]	0.22	294	226	123	0.79	0.16596	0.60	0.4848	1.9	0.16793	0.48	2548±39	2562±43	2517±10
	C-4.1	0.35	188	112	79	0.61	0.16760	0.67	0.4837	1.9	0.17073	0.58	2544±40	2550±43	2534±11
	C-5.1	0.39	150	95	62	0.66	0.16730	0.83	0.4812	2.0	0.17080	0.64	2532±41	2544±44	2531±14
	C-5.2 [#]	0.19	294	167	120	0.59	0.17000	0.79	0.4758	1.9	0.17170	0.74	2509±39	2513±41	2558±13
	C-6.1	0.30	203	146	84	0.74	0.16710	0.74	0.4793	1.9	0.16970	0.63	2524±40	2537±43	2528±12
	C-6.2 [#]	0.63	109	82	47	0.79	0.16390	1.40	0.4960	2.0	0.16950	1.20	2597±43	2609±48	2496±24
	M-1.1 [#]	0.16	332	296	133	0.92	0.17134	0.53	0.4643	1.8	0.17279	0.49	2459±38	2447±42	2571±9
	M-2.1 [#]	0.20	194	140	78	0.75	0.16350	0.71	0.4680	1.9	0.16530	0.65	2475±39	2480±42	2492±12
	M-2.2 [#]	0.30	140	110	59	0.81	0.16220	0.78	0.4898	1.9	0.16490	0.68	2570±41	2565±45	2479±13
	M-3.1	0.27	238	151	98	0.65	0.16787	0.57	0.4790	1.9	0.17031	0.51	2523±39	2535±42	2536±10

注:点号带“#”的年龄值未参加加权平均值计算;①以 ^{204}Pb 作普通铅校正;②以 ^{208}Pb 作普通铅校正。

个点,均为具环带的岩浆锆石。除 2 号颗粒测定了 3 个点(2.1,2.2,2.3)外,其余均测定一个点。从表 1 中可见锆石的 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值较大,介于 0.48~1.02 之间,通常这显示了岩浆成因的特点。在锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图上,15 个数据的投影点落于谐和线,其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄加权平均值为 $2538\pm 6\text{ Ma}$ (图 3), $\text{MSWD}=1.5$,这一年龄值应代表马山岩体形成或侵位时代。

雪山岩体中锆石样品(YS9573)共测定了 12 个点。除 2、5 和 6 号颗粒测定了 2 个点外,其余均测定 1 个点。所有锆石均具环带,属岩浆锆石,其 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值都比较高,在 0.59~0.92 之间。在锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图上,这些点基本上落在谐和线。去除不和谐数据后,6 个点的加权平均值为 $2532\pm 9\text{ Ma}$, $\text{MSWD}=0.64$,这一数据代表这一岩体的形成或侵位年龄。

6 讨论和结论

马山岩体和雪山岩体以往曾用不同的方法测定其年龄,最早由 1:5 万沂水幅地质图说明书^{①②}提供一组马山岩体锆石 U-Pb 一致线年龄数据为 2706~2770 Ma,平均为 2738 Ma,其原始数据已难以找到了,另一组为 2550~2582 Ma,其中 $2582\pm^{15}_{19}\text{ Ma}$ 系由苏尚国等(1999)测自黄姑山的紫苏花岗岩,根据岩性,归属马山岩体。我们曾用单颗粒锆石蒸发法(沈其韩等,1997;沈其韩等,2004)测定马山岩体三个锆石颗粒的年龄为 2510~2511 Ma,用 Sm-Nd

全岩等时线法(沈其韩等,2000)测得其年龄为 $2688\pm 274\text{ Ma}$,用 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 $2383\pm 8\text{ Ma}$ (沈其韩等,2000),这些数据年龄差别较大,难以确定其形成时代。这次利用离子探针测定的锆石年龄数据,均属岩浆锆石,未发现变质锆石和继承锆石,数据比较集中,15 个点的加权平均年龄为 $2538\pm 6\text{ Ma}$,应代表其形成或侵入年龄。以往所测的锆石 U-Pb 一致线年龄为 2738 Ma 和 2582 Ma 年龄偏高,可能其中混有老的继承性锆石所致。过去单锆石所测的年龄偏低,蔡峪和大山岩体中锆石用离子探针测定,也见有类似的数据,系代表一期变质热事件而不属岩浆侵入事件。Sm-Nd 年龄测定结果也明显有偏高,其原因尚待进一步研究。Rb-Sr 年龄偏低,可能与岩石后期遭受蚀变有关。

雪山岩体以往测定的 Rb-Sr 年龄偏低,其原因同上。曾利用单颗粒锆石蒸发法测定过 10 个锆石颗粒,其中一个锆石颗粒为继承性锆石,3 个颗粒的平均年龄为 2506 Ma,代表了一次变质热事件。在用离子探针测定蔡峪岩体和大山岩体的锆石时也曾出现过与岩浆结晶年代相近的变质事件;而这次在马山岩体和雪山岩体的测定中,未见有反映这次变质事件的锆石。其他 7 个单颗粒的蒸发年龄平均为 2527 Ma,与这次用离子探针锆石 U-Pb 年龄结果 $2532\pm 9\text{ Ma}$ 在误差范围内基本一致,因此将 $2532\pm 9\text{ Ma}$ 作为雪山岩体的形成或侵位年龄是合理可信的。

从马山岩体和雪山岩体这次测定结果来看,马

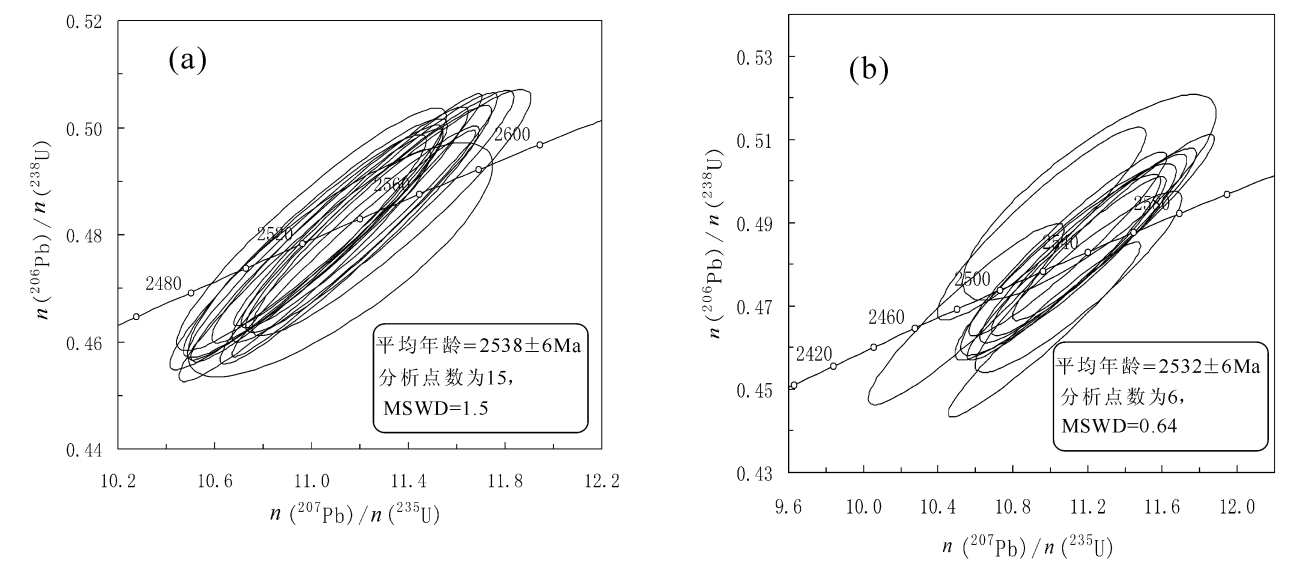


图 3 马山岩体(a)和雪山岩体(b)的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图

Fig. 3 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ — $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia of zircons from the Mashan (a) and Xueshan (b) granite

山岩体与雪山岩体的侵位大体上同时,但马山岩体稍稍在前,这与野外观察结果十分吻合。

原先认为(沈其韩等,2000)本区岩浆杂岩中,马山是最老的岩体,通过这次研究,发现马山岩体的侵位年龄小于蔡峪岩体,后者的侵位年龄为 2562 ± 14 Ma(沈其韩等,2004),认识应有所修正,即最老岩体应是蔡峪岩体,而不是马山岩体。

注 释

- ❶ 宋余礼,程志忠. 1990. 中华人民共和国 1:5 万沂水幅地质图和说明书. 山东省地质矿产局.
- ❷ 顾德林等. 1997. 中华人民共和国 1:5 万高桥、马站、圈里区域

地质报告. 中国地质大学(北京)和山东省地质矿产局.

参 考 文 献 / References

- 沈其韩,徐惠芬,沈昆,杨淳,宋彪. 1997. 山东沂水雪山岩体和林家官庄岩体的同位素年代学. 地质科学,32(3):291~298.
- 沈其韩,沈昆,耿元生,徐惠芬. 2000. 山东沂水杂岩的组成与地质演化. 地质出版社,北京,179.
- 沈其韩,宋彪,徐惠芬,耿元生,沈昆. 2004. 山东沂水太古宙蔡峪和大山岩体 SHRIMP 锆石年代学. 地质论评,50(3):275~284.
- 宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作,年龄测定及有关现象讨论. 地质论评,18(增刊):26~30.
- 苏尚国,周珣若,顾德林,朱更新. 1999. 山东沂水紫苏花岗岩特征,形成时代及成因探讨. 地球科学,24(1):57~62.

Geology, Petrochemistry and SHRIMP Zircon U-Pb Dating of the Mashan and Xueshan Granitoids in Yishui County, Shandong Province

SHEN Qihan¹⁾, ZHAO Ziran¹⁾, SONG Biao^{1,2)}, SONG Huixia^{1,2)}

1) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;

2) Laboratory of SHRIMP Beijing, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Based on the geological, petrological and geochemical characteristics, the SHRIMP zircon U-Pb ages, of the Mashan and Xueshan granitoids, two main geological units of the Yishui Magmatic Complex, are reported. The zircons from the Mashan and Xueshan granitoids show clear zoning and high Th/U ratios (mostly >0.6) and give weighted mean $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of 2538 ± 6 Ma (15 spots, MSWD=1.5) and 2532 ± 9 Ma (6 spots, MSWD=0.64), respectively, interpreted as the formation ages of the granitoids.

Key words: Mashan granitoids, Xueshan granitoids, Shandong; Archean; SHRIMP; U-Pb; zircon

