

内蒙古、河北高级变质岩中锆石的成因矿物学研究*

鲍学昭 陆松年 李惠民 甘晓春 李怀坤

(中国地质科学院天津地质矿产研究所, 天津 300170)

主题词 紫苏花岗岩 麻粒岩 锆石的成因矿物学 内蒙古 河北

提 要 本文对内蒙古上、下集宁群、河北桑干群紫苏花岗岩及麻粒岩中的锆石进行了形态、环带及成分分布的研究, 发现这些岩石中存在岩浆成因和变质成因的锆石, 论述了这两种锆石的成因矿物学特征, 并对这些岩石的成因进行了探讨。

1 引言

有关紫苏花岗岩的成因一直存在争议, 如认为是混合岩化成因^[1,2]、母岩浆结晶分异成因^[3]和古陆壳深部熔融成因^[4]等。对麻粒岩的成因近年来也存在由侵入岩变质而成的看法^[5]。锆石是一种稳定的矿物, 它能够保留原来形成时的成分和结构, 因此, 锆石的研究对深入探讨上述岩石的成因可起到重要作用, 本文在这方面做了较深入的工作。

2 锆石样品的地质产状、年龄值和形态特征

本文研究的锆石样品分别采自内蒙古中部和河北张宣地区。

内蒙古中部集宁群

下集宁群: 由经历过麻粒岩相变质和强烈构造改造的 TTG 岩石、紫苏花岗岩(占 80% 以上)和漂浮在其中的暗色麻粒岩包体组成。在兴和葛胡窑一带从该套岩石中获得 6-a 号、5 号、100 号锆石样品。

上集宁群: 为一套孔兹岩系变质岩, 经历了麻粒岩相的变质作用, 在该岩套的下部存在暗色麻粒岩。在这些岩石中获得 3 个锆石样品: 084、G2126 和 2155, 其中 G2126、2155 取于与下集宁群的接触带中。

河北张宣地区桑干群

为一套遭受中、高级变质的混合岩及混合岩化岩石(约占 80%), 且其中也含暗色麻粒岩包体。笔者收集了水地庄、西望庄两地该岩群的紫苏花岗岩中的锆石样品: 31、R 和 9 号。

* 国家自然科学基金资助项目(编号: 49202021)。

本文于 1995 年 1 月 5 日收到, 1995 年 4 月 5 日改回。

表 1 锆石样品的地质产状、年龄值和形态特征

Table 1 Geological mode of occurrence, age and morphological features of zircons

类型	样号	产 地	岩石类型	同位素年龄*	特 征
岩 浆 锆 石	4	内蒙包头东北山和源沟	麻粒岩	2443±9 Ma	他形、带棱角
	5	内蒙兴和	麻粒岩	2434±9 Ma	具自形岩浆型生长环带
	6-a	内蒙兴和	紫苏花岗岩	2373±40 Ma	具自形岩浆型生长环带
	9	河北张家口西望庄	紫苏花岗岩	2500 Ma±	具自形岩浆型生长环带
	31	河北张家口水地庄	紫苏花岗岩	2500 Ma±	具自形岩浆型生长环带
	R	河北张家口水地庄	紫苏花岗岩	2500 Ma±	具自形岩浆型生长环带
	100	内蒙兴和	紫苏花岗岩		具自形岩浆型生长环带
变 质 重 结 晶 锆 石	084	内蒙兴和	矽线石榴片麻岩	1900 Ma±	具浑圆形内核
	2155	内蒙兴和	条带状麻粒岩	1900 Ma±	具浑圆形内核及聚晶
	G2126	内蒙兴和	暗色麻粒岩	1900 Ma±	具浑圆形内核及聚晶
	87013	浙江龙泉淡竹村	变质花岗闪长岩	1850 Ma±	具浑圆形内核及聚晶,见文献[6]
	937	福建建瓯	变质石英角斑岩	773 Ma±	见文献[7]

* 部分数据见文献①,其它为本所李惠民提供,均为单颗粒锆石 U-Pb 法数据。

上述样品特征见表 1。其中 87013、937 分别被汪相^[6]和甘晓春等^[7]证实为变质重结晶锆石或变质事件锆石;87013 号锆石具有浑圆形内核、聚晶和部分浑圆的形态,被认为是变质重结晶锆石的特征^[6],084、G2126 和 2155 也具有这些变质重结晶锆石的特点(照片 F),因此也属于变质重结晶锆石^②。它们的电子探针成分数据见表 2。

3 结果与讨论

3.1 紫苏花岗岩中的锆石

本文研究的 6-a、9、R、31 和 100 号样品均为内蒙古和河北的紫苏花岗岩中的锆石(照片 C 至 E),这些锆石最主要的特征是具有大量岩浆型自形生长环带,表明它们是在岩浆结晶分异过程中形成的^[8],对这些锆石(它们都有环带或经氢氟酸溶蚀后有明显环带)进行探针成分分析显示:由晶体中心至边缘(由 1 至 3 点)具有 HfO₂ 含量上升、ZrO₂/HfO₂ 比值下降的趋势(图 1、图 2),这与汪相报导的花岗岩中的锆石^[9,10]从核至边缘 ZrO₂/HfO₂ 比值下降、HfO₂

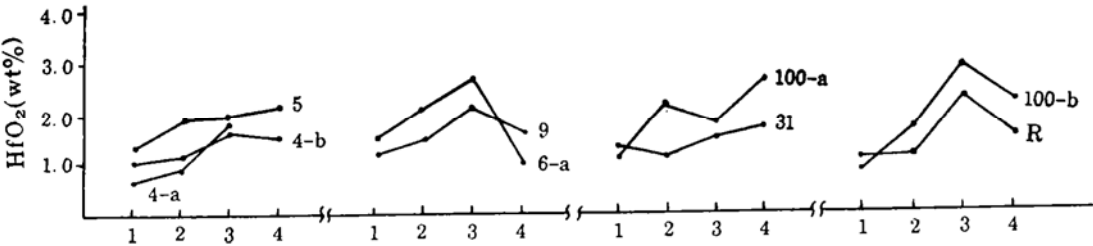


图 1 紫苏花岗岩和麻粒岩中锆石从晶体核部至边缘(1→4)HfO₂含量的变化(4号样品包括 4-a, 4-b; 100 号样品包括 100-a 和 100-b, 以下同)

Fig. 1 Variation in HfO₂ content from core to edge of zircons in charnockite and granulite

① 王楫、陆松年, 内蒙古中部变质岩群同位素年代构造格架研究。内蒙古地质矿产局, 1992 年。
② 鲍学昭, 锆石中两种成分变化趋势及成因标型意义。矿物学报, 待刊。

表 2 紫苏花岗岩和麻粒岩中锆石从晶体核部至边缘的成分及相关参数*

Table 2 Chemical composition from core to edge of zircons in charnockite and granulite and corresponding parameters

样号	点号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	FeO	P ₂ O ₅	ZrO ₂	HfO ₂	PbO	ThO ₂	UO ₂	总和	P ₂ O ₅ 平均值	Al 值**	ZrO ₂ /HfO ₂	
																						比值	平均值
4-a	中 1	0.00	0.00	0.37	33.00	0.04	0.15	0.08	0.00	0.00	0.05	0.06	1.89	61.54	0.68	0.00	0.10	0.42	98.39				90.50
	2	0.13	0.00	0.47	33.20	0.01	0.03	0.09	0.00	0.14	0.13	0.11	2.24	61.88	0.99	0.00	0.20	0.12	99.74				62.50
	边 3	0.08	0.00	0.00	33.78	0.00	0.10	0.16	0.00	0.16	0.00	0.13	3.57	61.55	1.68	0.00	0.16	0.00	101.37				36.64
	4																			1.87	2.39	55.56	
4-b	中 1	0.24	0.05	0.33	34.39	0.00	0.13	0.03	0.23	0.00	0.00	0.06	2.14	62.80	1.07	0.00	0.00	0.00	101.47				58.69
	2	0.10	0.03	0.26	34.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00	0.72	63.90	1.13	0.00	0.14	0.00	100.47				56.55
	3	0.09	0.02	0.19	34.23	0.02	0.02	0.07	0.00	0.00	0.20	0.00	1.74	63.23	1.61	0.00	0.08	0.08	101.58				39.27
	边 4	0.00	0.10	0.17	34.41	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.82	64.02	1.43	0.00	0.00	0.00	101.04				44.77
5	中 1	0.17	0.00	0.27	34.39	0.04	0.04	0.35	0.20	0.10	0.20	0.00	2.71	61.88	1.33	0.00	0.35	0.00	102.03				46.53
	2	0.00	0.00	0.20	33.47	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.21	1.41	62.10	1.88	0.07	0.02	0.58	99.99				33.03
	3	0.20	0.00	0.11	33.17	0.00	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00	0.23	0.00	63.15	1.82	0.00	0.00	0.00	98.84		1.27	0.95	31.14
	边 4	0.37	0.33	0.33	32.99	0.00	0.19	0.12	0.00	0.18	0.30	0.20	0.97	61.22	2.02	0.13	0.00	0.28	99.63				30.31
6-a	中 1	0.04	0.00	0.41	33.79	0.00	0.06	0.00	0.15	0.03	0.00	0.00	4.12	60.55	1.59	0.06	0.29	0.53	101.62				38.08
	2	0.04	0.00	0.43	33.53	0.00	0.15	0.00	0.00	0.08	0.19	0.15	2.95	60.21	2.22	0.00	0.08	0.00	100.03				27.12
	3	0.15	0.00	0.16	33.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.25	3.09	61.14	2.74	0.00	0.05	0.04	100.87		3.14	3.37	38.53
	边 4	0.06	0.00	0.15	33.57	0.01	0.12	0.10	0.02	0.05	0.02	0.02	2.42	61.96	0.93	0.00	0.11	0.25	99.79				22.31
9	中 1	0.00	0.06	0.08	32.83	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.17	0.00	1.12	62.58	1.23	0.00	0.00	0.00	98.29				50.88
	2	0.04	0.00	0.20	33.06	0.00	0.04	0.06	0.09	0.00	0.00	0.00	1.13	63.01	1.45	0.00	0.00	0.00	99.08				43.46
	3	0.00	0.00	0.06	33.01	0.11	0.01	0.10	0.07	0.00	0.17	0.00	1.32	62.75	2.14	0.05	0.02	0.00	99.81		1.29	1.48	41.07
	边 4	0.16	0.00	0.12	33.30	0.00	0.00	0.08	0.06	0.13	0.30	0.09	1.60	62.96	1.55	0.00	0.00	0.18	100.53				29.32
																							40.62

升高^[9]及 P. Maurice 报导的法国花岗岩中锆石从核部至边缘 HfO_2 含量上升^[11] 的特点一致,这也证明这些锆石是属于岩浆结晶分异作用过程中结晶的,因此这些锆石的年龄是岩浆事件的年龄。在这些锆石的边缘晶体显浑圆形,表明受到过强烈变质作用,而变质作用能导致锆石成分变化使之与岩浆锆石相反^①,故 6-a、9、100 和 R 号锆石第四点成分变化出现异常为变质作用影响所造成。

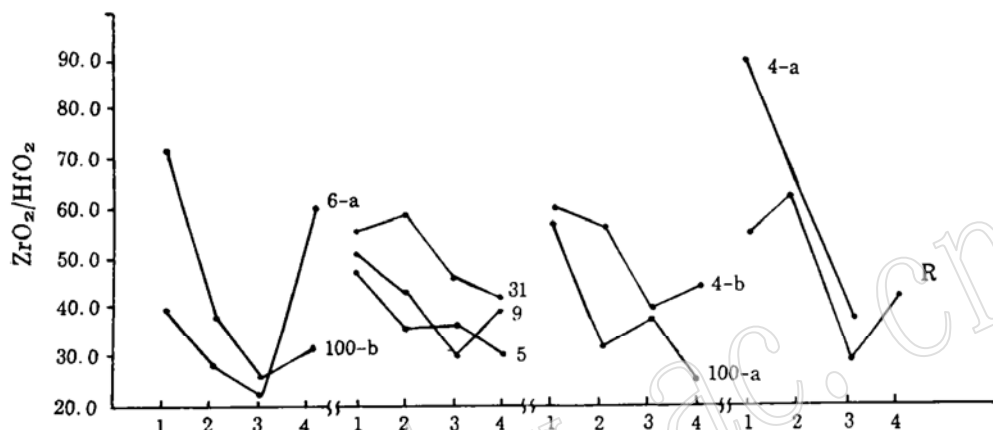


图 2 紫苏花岗岩和麻粒岩中锆石从晶体核部至边缘(1→4) $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值的变化

Fig. 2 Variation in $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ ratio from core to edge of zircons in charnockite and granulite

从表 2 可以看出,这些锆石 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 的比值在内蒙古地区为 38—39,张宣地区为 41—49,说明同一地区锆石的母岩性质相近。但它们的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (下文用 Al 表示) 比值、 P_2O_5 含量等在同一层位岩石如内蒙古兴和的 6-a 与 100,河北的 9、31 和 R 之间差异较大,说明这些锆石结晶时岩浆的成分存在差异,但它们的年龄相近,说明这种差异可能是因原岩成分不同引起重熔型岩浆成分不同所造成。亦可能是结晶于同一次岩浆活动的不同阶段所致。

3.2 麻粒岩中的 4 号、5 号锆石样品

麻粒岩中的 4 号锆石样品年龄单一(均为 $2443 \pm 9\text{Ma}$), 表明是在 24 亿年前的一次地质作用过程中形成,不像大多数变质岩中锆石那样为浑圆形,它们显示独特的带棱角的不规则状(照片 A),其成分变化总体趋势是由晶体核部至边缘 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值下降、 HfO_2 上升(4-b 锆石边缘成分异常为后期变质作用造成,见图 1、图 2),与镁铁质岩浆结晶分异过程中岩浆的 Zr/Hf 比值下降的趋势^[12]一致,显示这些锆石是岩浆中生长的,其 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值(平均值)为 55.56,在前人测定的辉长岩中的锆石为 50—70 的范围之内^[13],进一步证明它们是原辉长岩岩浆中结晶的锆石。吴昌华^[9]曾指出麻粒岩也可能是基性侵入岩(紫苏辉长岩等)经后期变质作用而成,其矿物仍为原来的高温岩浆矿物组合,同样,麻粒岩中 4 号锆石样品的上述特征显示其为岩浆成因锆石,那么这种麻粒岩的原岩(紫苏辉长岩)亦为岩浆成因。由于锆石在基性岩浆中比熔点较高的基性矿物晚结晶^[14],故可以他形的形态出现。而后期变质作用未能改变这种

① 鲍学昭, 锆石中两种成分变化趋势及成因标型意义。矿物学报, 待刊。

形态,所以仍保持这种他形的形态特征。

5号麻粒岩以包体的形式存在于6-a号紫苏花岗岩中,它们的锆石存在以下特点:

① 它们的晶体内部均具有自形的环带(见照片B、C),且显示由晶体核部至边缘(由1点至3点) HfO_2 含量上升、 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值下降的岩浆型锆石的成分演化特点(图1、图2),表明晶体内部是在岩浆中结晶的。晶体边缘显浑圆形说明经历过后期的变质作用(6-a号样品边缘成分变化趋势出现异常亦为变质作用造成),即它们的生长演化历史基本相同。

② 6-a和5号样品的锆石年龄相近,且为岩浆型锆石,表明它们是在一次大的岩浆活动过程中结晶而成。

③ 它们的 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值相近,分别为31、14、38、53,表明二者之间有成因联系;与4号暗色麻粒岩锆石55、56及前人报道的辉长岩锆石50—70^[13]相差甚远,说明不是基性岩中结晶的锆石;它们的 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值与花岗岩锆石35—40^[13]相近,证明它们均为花岗质岩石或与此有成因联系岩石中的锆石。

另外,这些暗色麻粒岩包体与紫苏花岗岩之间未见变质晕和冷凝边,且为渐变过渡关系,表明它们之间不是侵入关系,因此,笔者认为有以下两种可能性:

A) 原来就存在暗色包体和TTG质花岗岩,后经深部重熔作用形成紫苏花岗岩岩浆及其中暗色包体范围内岩浆和暗色组分的混合物,由于重熔岩浆迁移距离短,这种围岩与暗色包体的关系并未完全破坏(但暗色包体已被花岗质岩浆吞蚀变小),然后冷凝结晶并分别结晶出锆石。

B) 原变质岩经深部重熔作用形成岩浆,岩浆发生熔离作用使暗色组份下沉,但这些下沉成层的暗色组份也可以部分地以包体的形式被岩浆携带,然后冷凝结晶成岩并分别在紫苏花岗岩及暗色包体中结晶出锆石。

表2中5号、6-a号锆石在Al值、 P_2O_5 含量上存在差别,是由于锆石结晶环境差异造成:5号结晶在暗色包体范围内的岩浆中,而6-a号结晶于紫苏花岗岩岩浆中。上述认识与沈其韩等^[12]认为本区紫苏花岗岩系重熔成因的看法基本一致。

3.3 麻粒岩中084、2155和G2126号锆石样品

这些锆石晶形和环带均以浑圆形为特征(照片F),它们的年龄也与上述锆石不同,为1900 Ma左右,如前所述,它们与87013号锆石一样,具有变质重结晶锆石的形态特征,成分变化趋势也与上述岩浆型锆石相反,即从晶体核部至边缘 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值上升、 HfO_2 含量下降,这也是变质重结晶锆石的成分演化特征^①,产生这种成分变化特征的原因主要有以下两点:

① 随着变质程度的增加,变质岩中Zr含量逐渐增大(并都进入锆石中),至紫苏辉石带才显下降趋势(图3)^[16],故较早结晶的锆石核部Zr含量相对较低,并向晶体边缘逐渐升高(最外缘可能有降低的趋势),而 Zr^{4+} 与 Hf^{4+} 为类质同象替代关系,因而它们之间的含量是成反比的,故由晶体核部至边缘Zr含量增大的趋势将导致Hf含量由晶体核部至边缘减小,这是引起变质重结晶锆石由晶体核部至边缘 $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 比值增大、 HfO_2 含量减小的主要原因。

② 岩浆演化的总体趋势是由液态岩浆向结晶为固态岩石的方向发展,并伴有温度的降低(见图4中的B阶段),而变质作用则以升温为主,温度的升高、变质程度的增强将引起原岩组

① 鲍学昭, 锆石中两种成分变化趋势及成因标型意义。矿物学报, 待刊。

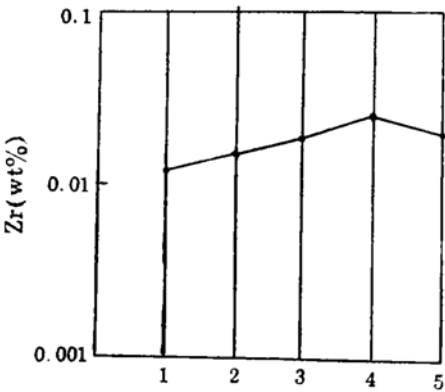


图 3 从低级至高级变质岩岩石中 Zr 含量变化趋势
(由 1 至 5 变质程度依次递增, 5 已达到紫苏辉石带, 见文献[16])

Fig. 3 Variation in Zr content from low-grade (1) to high-grade (5) metamorphic rocks

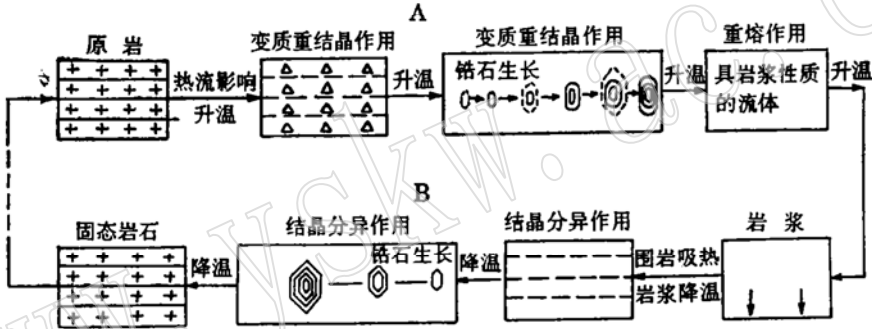


图 4 岩浆作用、变质作用过程中温度变化趋势、锆石的生长特点及相互转化关系

Fig. 4 Temperature variation, growth features of zircons and interconversion between magmatism and metamorphism

份发生变质重结晶和产生变质热液,在此基础上进一步升温,便可发生选择性重熔(溶),形成具有岩浆性质的液体(图 4 中的 A 阶段)^[17],可见变质作用过程不仅有升温趋势,而且还具有由固态岩石(即原岩)变成液态岩浆的趋势,这个趋势恰好与岩浆作用过程中温度变化趋势及固液转变方向相反,因此,造成在这两个过程中结晶的锆石出现成分变化趋势的反向性^①。

3.4 锆石环带、成分分带及其母岩成因探讨

图 4 总结了岩浆作用与变质重结晶作用的温度变化特点及在这两种作用过程中形成的锆石的环带特征: A) 当原岩在地下热流的影响下升温时,岩石发生变质重结晶作用,进一步升温,变质重结晶锆石开始生长,但生长出来的锆石会被更高温(压)的变质流体溶蚀而浑圆化,然后锆石又生长(但锆石组份发生了变化),新生长出来的锆石又会被更高温、更高压的变质流体溶蚀浑圆化,即锆石生长经历了:生长 $\xrightarrow{\text{升温}}$ 被溶蚀浑圆 $\rightarrow$ 再生长 $\xrightarrow{\text{升温}}$ 再被溶蚀浑圆化……的过程。此过程中形成的锆石生长环带为浑圆形,如麻粒岩中变质重结晶锆石常出现这种环带(照片 F 中 084 号)。B) 当岩浆向上运移或侵入围岩时,由于围岩吸热而温度降低,这时岩浆将发生结晶分异作用,高熔点基性组份先结晶脱离岩浆,低熔点的酸性组份则在岩浆中相对

富集,使岩浆成分逐渐由基性向酸性方向发展,这时岩浆中 Zr/Hf 比值下降(镁铁质岩浆^[12]及花岗岩向伟晶岩演化过程中^[18]均存在 Zr/Hf 比值下降趋势),导致由基性岩、中性岩向酸性岩方向锆石 Zr/Hf 比值下降^[14],也使锆石由晶体核部至边缘 Zr/Hf 比值下降(图 2)。同时,由于岩浆结晶分异作用是由高温液态岩浆逐渐结晶为低温固态岩石的降温过程,在此过程中锆石的溶解度随温度的降低而降低,因此,早期结晶的锆石部分不会被后期更低温的岩浆熔蚀,即锆石在整个生长过程中均能保持自形,当上述锆石成分变化大时则引起光性不均,产生明显的自形环带,如文献[9]中花岗岩中的锆石就是如此。

本文研究的紫苏花岗岩中的锆石则比上述情况复杂,如照片 C → E 中 6-a、9、R 和 100 号锆石显示了内部为岩浆型自形环带,系岩浆结晶分异作用 B 阶段的产物,而晶体边缘浑圆的晶形表明它们经受过强烈的变质作用,图 1、图 2 中 6-a、9、R 和 100-b 号锆石成分的变化特征亦显示出它们内部为岩浆型的成分变化特征(点 1 至 3),至边缘则出现相反的情况(点 4),具变质重结晶锆石的成分演化特点[●],充分显示紫苏花岗岩中锆石经历了岩浆结晶分异作用 B 阶段,然后又经历了变质重结晶 A 阶段的生长演化历史。因紫苏花岗岩均无例外地产于麻粒岩高级区中,且需要中高压的形成环境,大多数学者^[12,14]认为高级麻粒岩的进一步升温将发生重熔作用,最后可形成“干”的紫苏花岗岩岩浆,因此,这些紫苏花岗岩的演化历史可以看成:原岩

原岩 $\xrightarrow{\text{变质作用 A}}$ 麻粒岩类 $\xrightarrow{\text{重熔作用}}$ 花岗岩质岩浆 $\xrightarrow{\text{岩浆结晶分异作用 B (中高压条件下)}}$ 紫苏花岗岩原岩

变质作用 A $\rightarrow$ 现在的紫苏花岗岩。即构成了 A $\rightarrow$ B 的物质运动循环过程,这个过程说明紫苏花岗岩

具有特殊的地质意义,即经过岩浆结晶分异作用后又直接遭受变质作用,然后再被抬升进入地表,而一般的岩浆岩(如文献[9,10]的花岗岩)锆石经历岩浆结晶分异作用 B 阶段后,就不再进一步发展。084 为泥质岩经变质重结晶作用而成,只经历了变质重结晶作用 A 阶段。因此,紫苏花岗岩的物质循环过程表明:① 当时(24 亿年左右)地壳运动幅度大、热流高,变质作用

与岩浆作用经常交替发生。② 如图 3 所示,这种 A $\rightarrow$ B 的循环过程也有利于地球层圈结构的

形成和完善。因为当地壳岩石在深部经重熔作用形成岩浆时,重的组份可以沉入地幔,而地幔中轻的组份一方面将热传入地壳(如目前地质学家们已在紫苏花岗岩中发现大量的 CO_2 流体,并认为同地幔射气作用有关^[19]),另一方面这些轻组份也可以进入重熔岩浆,然后上升进入地壳,这样必然导致地壳物质富集轻组份,地幔富集重组份,地球层圈结构从而得以完善。

4 结论

① 本文研究的内蒙古下集宁群及河北桑干群中 24 至 25 亿年左右的紫苏花岗岩中的锆石内部为岩浆型锆石,边缘则遭受过变质重结晶作用。

② 麻粒岩中的锆石分为两种:一种是在变质重结晶过程中形成,它们大多由沉积岩或火山沉积岩变质而成。在本文中它们的年龄在 19 亿年左右;另一种如 4 号、5 号麻粒岩中的锆石,虽经历过变质作用,但未被改造和重结晶,仍为原岩浆型锆石,它们的年龄在 24 亿年左右。

③ 本文研究的紫苏花岗岩演化历史(尤其是 6-a、9、R 和 100 号)可能经历了由原岩

变质重结晶作用 → 麻粒岩 → 重熔作用 → TTG 质花岗岩浆 → 结晶分异作用(中高压) → 紫苏花岗岩原岩 → 变质作用 → 现在的紫苏花岗岩的循环过程, 这个过程是壳幔物质相互交换的一个重要环节。

④ 本文研究的内蒙古中部下集宁群紫苏花岗岩及与之呈过渡关系的暗色包体中的锆石成因相同, 均是在重熔型岩浆中结晶而成。

致谢 吴昌华研究员、钟长汀、陈志宏和张阿利等曾对论文的完成给予了帮助, 审稿专家对该文提出了宝贵意见, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- 1 张树业等. 河北迁安地区前寒武纪麻粒岩紫苏花岗岩岩石学特征及成因联系. 长春地质学院第五届学术报告会论文选集 第一卷, 长春地质学院, 1981, 92—114.
- 2 兰玉琦、刘铁志. 冀东迁安地区紫苏花岗岩的成因及熔化实验. 长春地质学院第五届学术报告会论文选集 第一集, 长春地质学院, 1981, 114—128.
- 3 Field D, Drury S A, Cooper D C. Rare-earth and LIL element fractionation in highgrade charnockitic gneisses, south Norway, Lithos, 1980, 13: 281—298.
- 4 Weaver B L. Rare-earth element geochemistry of Madras granulites. Contrib. Mineral., Petrol., 1980, 71: 271—279.
- 5 吴昌华. 麻粒岩成因的反思. 岩石学报, 1992, 8(1): 74—86.
- 6 汪 相等. 淡色片麻状花岗岩中重结晶锆石的形态及其意义. 科学通报, 1992, 37(20): 1876—1879.
- 7 甘晓春等. 闽北前寒武纪基底的地质年代学研究. 福建地质, 1993, 13(1): 17—31.
8. Black L P. et al. Four Zircon ages from one rock: the history of a 3930 Ma-old granulite from Mount sons, Enderby land, Antarctica. Contrib. Mineral. Petrol., 1986, 94: 427—437.
- 9 汪 相等. 花岗岩锆石中的微量元素的配分特征. 地质科学, 1992, (2): 131—139.
- 10 汪 相等. 花岗岩锆石中铪的地球化学研究. 地球化学, 1992, (3): 287—293.
- 11 Maurice pagel. The mineralogy and geochemistry of uranium, thorium, and rear-earth elements in two radioactive granites of the vosges, France. Mineralogical magazine, 1982, 46 (339): 149, 155—161.
- 12 Barberi F. et al. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallization, the Boina centre (afar Rift, Ethiopia). J. Petrol., 1975, 16: 22.
- 13 Костерин А В. Об отношении Zr/Hf в пироксенах некоторых изверженных пород северного склона Курамынского хребта. Геохимия, 1960, (5).
- 14 武汉地质学院矿物教研室. 结晶学及矿物学. 北京: 地质出版社, 1979, 101—102.
- 15 沈其韩等. 内蒙古中南部太古宙变质岩. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, 第 21 号.
- 16 Лебедев В. И. 等. 变质岩的杂质元素——某些矿床矿物物质的来源. 张玉学译. 地质地球化学, 1981, (10): 3—7.
- 17 武汉地质学院地球化学教研室. 地球化学. 北京: 地质出版社, 1980, 278—285.
- 18 Curris K L. Variations of the hafnium-zirconium ratio of granitic rocks from Eastern Ontario. Can. Mineral., 1962, 7: 264.
- 19 赵国春. CO₂ 流体相在紫苏花岗岩形成中的作用. 地质地球化学, 1994, (6): 66.

Minerageny of Zircons from High-Grade Metamorphic Rocks in Inner Mongolia and Hebei

Bao Xuezhao, Lu Songnian, Li Huiming, Gan Xiaochun, Li Huaikun
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Tianjin 300170)

Key words: charnockite; granulite; minerageny of zircons; Inner Mongolia; Hebei

Abstract

It is discovered that zircons ($2400 \text{ Ma} \pm$) from charnockite and granulite in Lower Jining Group of Inner Mongolia and Sanggan Group of Hebei exhibit euhedral growth zoning and compositional zonation of increasing HfO_2 content and decreasing $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ ratio from the core to the edge of a crystal, suggesting that these zircons grew during magmatic crystallization and differentiation. Nevertheless, the edges of these zircons are rounded, and their compositional zonation shows resemblance to that of recrystallized zircons in metamorphism, implying that these zircons have experienced metamorphism, with recrystallization growth along their edges. As for the charnockite studied in this paper, the authors consider that its formation underwent a cycle of protolith $\xrightarrow{\text{metamorphism}}$ metamorphic rock $\xrightarrow{\text{anatexis}}$ magma (TTG type) $\xrightarrow{\text{crystallization and differentiation}}$ TTG type granite or charnockite (under high pressure) $\xrightarrow{\text{metamorphism}}$ existing charnockite, which seems to be one of the materials exchange modes between the crust and the mantle and leads to the formation of the stratified structure of the earth. Zircons of $1980 \text{ Ma} \pm$ found in granulite of Upper Jining Group exhibit rounded growth zoning and compositional variation trend opposite to that of magmatogenic zircons, tending to decrease in HfO_2 and increase in $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ from the core to the edge of the crystal, which suggests that these zircons are of metamorphic recrystallization origin.

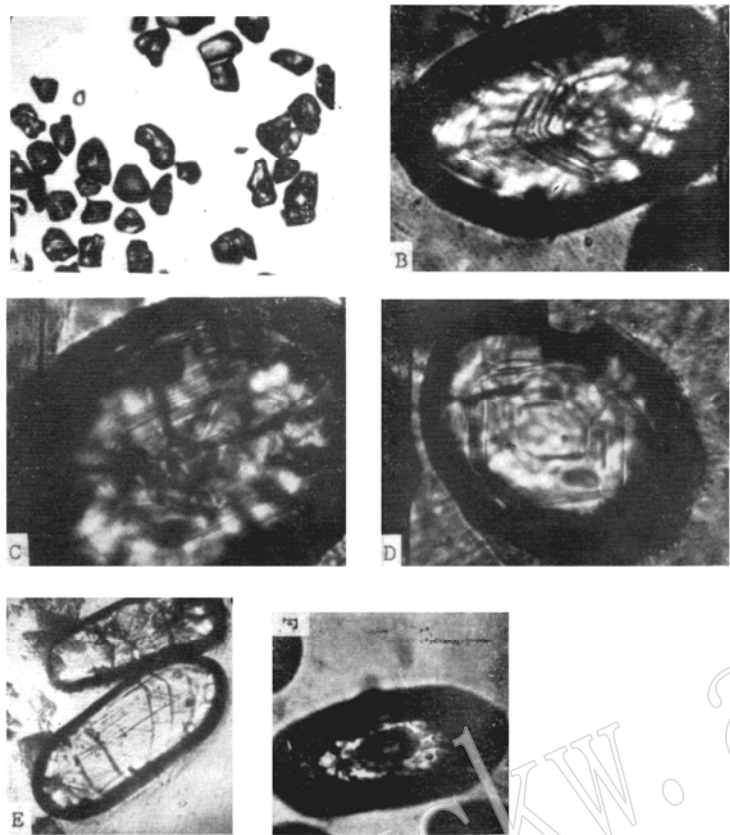


图 版 说 明

A—内蒙 4 号麻粒岩中锆石，显示不规则的晶体形态 $\times 200$ ；B—内蒙 5 号麻粒岩包体中锆石，具有自形生长环带和浑圆的晶形 $\times 600$ ；C—为内蒙 6-a 号紫苏花岗岩中锆石，具有自形生长环带和浑圆的晶形 $\times 600$ ；D—为河北 9 号紫苏花岗岩中锆石，具有自形生长环带和浑圆的晶形 $\times 600$ ；E—为河北 R 号紫苏花岗岩中锆石，具有自形生长环带和浑圆的晶形 $\times 400$ ；F—为内 084 号砂线石榴长英片麻岩中锆石，具有浑圆形的生长环带和晶形 $\times 400$ ；A—F 均为透射显微镜照片，其中，B—F 晶体经过氢氟酸刻蚀(20 秒)