

河北平山湾子群夕线石英集合体的 地质地球化学特征及成因

万渝生^{1,2} 黄增芳³ 杨崇辉¹ 刘增效⁴

(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;
3. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4. 河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:河北平山地区早前寒武纪湾子群及相关岩石中夕线石英集合体成因存在长期争论。根据地质地球化学研究, 本文将它们划分为 3 种不同类型。(1)球状和团块状夕线石英集合体, 其形成与钾长浅粒岩的深熔作用有关。(2)面状夕线石英集合体, 与钾长浅粒岩在应力状态下的变质分异作用有关。两者地球化学组成及与相邻浅色体关系受母岩和作用过程双重因素制约。(3)层状夕线石英集合体, 为变质沉积成因, 地球化学上反映了变质原岩的组成特征。

关键词:夕线石英集合体; 地球化学; Nd 同位素; 深熔作用; 湾子群; 平山

中国分类号: P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3567(2003)02-0151-08

根据新的地质填图, 河北平山地区存在两套早前寒武纪表壳岩系(图 1)。下部为阜平岩群, 主要由黑云变粒岩—片麻岩、角闪质岩石和少量浅粒岩组成。上部为湾子群, 主要由不同类型浅粒岩、大理岩及钙硅酸盐岩组成。具夕线石英集合体的浅粒岩主要分布于湾子群下部, 与无夕线石英集合体的浅粒岩、钙硅酸盐岩、大理岩等共生, 为成熟度较高的一套岩石组合。湾子群和阜平岩群之间现为韧性剪切构造接触, 相互间原是否为沉积不整合关系仍需进一步研究。该区存在~2.5 Ga 和~2.0 Ga 两期变质和深熔作用^[1]。由于深熔作用影响, 湾子群中一些浅粒岩向花岗质岩石转化, 并有不同规模花岗岩体形成。关于太行山地区夕线石英集合体(球), 存在底砾岩^①、变质分异成因^[2]和深熔成因^[3]等不同认识。根据对平山地区研究, 笔者提出夕线石英集合体存在深熔作用、变质分异作用和变质沉积等多种成因的认识。

1 地质及岩相学

具夕线石英集合体的浅粒岩为钾长浅粒岩或二长浅粒岩, 以前者为主。与不具夕线石英集合体的浅粒岩互层产出,

花岗质脉体中也有夕线石英集合体存在。夕线石英集合体以不同产状存在。

1.1 球状、椭球状、团块状夕线石英集合体

前两者即通常所说的(夕线)石英球, 在孟家庄南部南文都、上文都等地分布较多。(夕线)石英球长短轴比值有一定变化, 从近于等轴状到 3:1。这类集合体主要由石英组成, 夕线石含量一般小于 20%, 甚至小于 10%。可见夕线石在球中呈放射状分布, 表明(夕线)石英球形成过程中应力作用不强。夕线石英球在不同地方密度变化较大, 从小于 5%到 30%以上。具(夕线)石英球的浅色体大都显示强烈深熔, 矿物粒度粗大, 呈块状, 部分由于变形, 呈面状。根据地质产状, (夕线)石英球形成与深熔作用有关, 为深熔作用的残余体。团块状夕线石英集合体在小觉南部下康家峪分布较多。团块规模较小, 夕线石所占比例通常更大。

1.2 面状夕线石英集合体

它们分布较广, 在小觉附近小回龙沟、孟家庄南部上文都等地都见到。与夕线石英球比较, 面状夕线石英集合体夕线石所占比例更大。其面积一般小于 20 cm²。厚度一般小于

收稿日期: 2003-01-29; 改回日期: 2003-02-25

基金项目: 国土资源部地质大调查项目(J1.3.1)和国家自然科学基金项目(49872024) 资助。

作者简介: 万渝生, 男, 1958 年生, 博士, 研究员, 从事年代学和地球化学研究; E-mail: Wangusheng@cags.cn.net。

① 谭应佳. 五台太行山区太古代地层. 第一届全国地层会议论文集摘要, 1959.

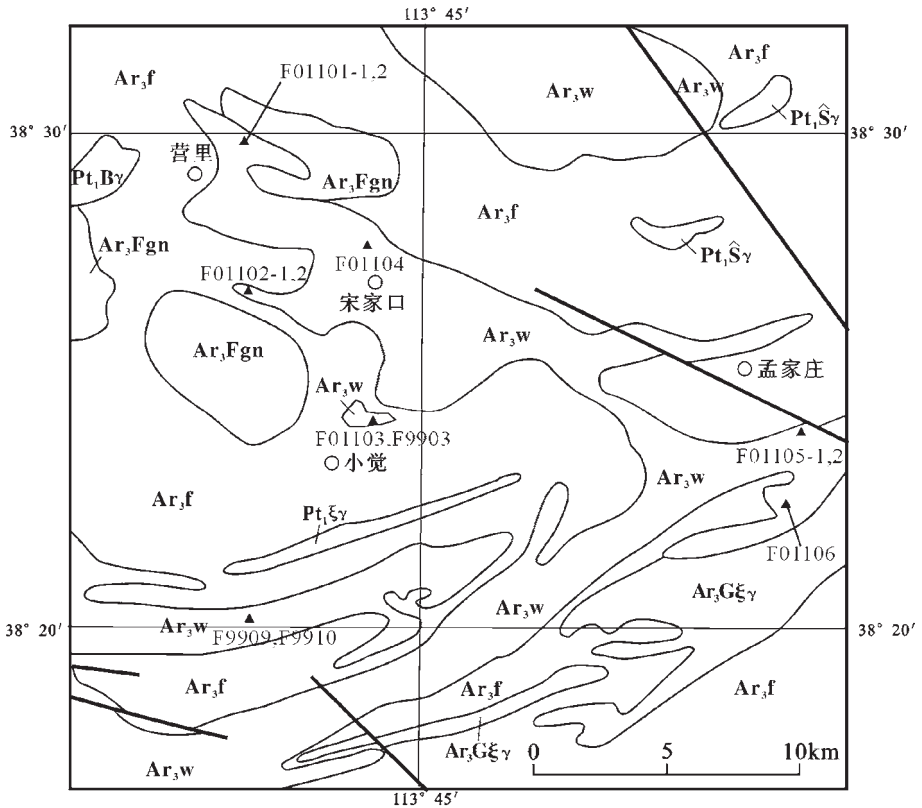


图 1 河北平山地区地质简图

Pt₁Ŝ_γ—上庄花岗岩单元;Pt₁B_γ—白羊岭花岗岩单元;Ar₃Gξ_γ—岗南花岗岩单元;Ar₃w—湾子群;Ar₃Fgn—坊里深成片麻岩单元;Ar₃f—阜平岩群;—地质界线(细线)和断层(粗线);▲—样品位置

Fig. 1 Geological sketch map of the Pingshan area Hebei

Pt₁Ŝ_γ—Shangzhuang granite unit; Pt₁B_γ—Baiyannling granite unit; Ar₃Gξ_γ—Gangnan granitite unit; Ar₃w—Wanzhi Group; Ar₃Fgn—Fangli plutonic gneiss unit; Ar₃f—Fuping Group—complex; —Geological boundary (thin line) and fault (thick line); ▲—Sample location

1 cm。夕线石在面上通常定向分布。在小回龙沟,集集体平行褶皱轴面分布,切割浅粒岩的面状构造及由浅粒岩和深熔新生体构成的面状构造。夕线石英集合体的形成主要与变质分异作用有关,但不排除深熔作用影响存在。

1.3 层状夕线石英集合体

在宋家口龙潭,可确定的面积在 20 m² 以上,厚度只有不到 2 cm,与浅粒岩互层产出,代表了原生成分层泥质含量高的部分。在营里南部南下庄,一些看起来为椭球状的夕线石英集合体,实际上具有菱形形态,它们平行断续分布,为层状夕线石英集合体拉断形成。相互间被浅色体充填,其特征与被拉断的角闪质岩石透镜体类似^[4]。

不同类型夕线石英集合体可在同一露头出现。

2 地球化学

化学元素分析结果见表 1 和图 5, Nd 同位素分析结果见表 2。

具夕线石英集合体的浅粒岩、深熔浅粒岩和深熔浅色体由于成因不同,地球化学组成上存在较大变化。9 个样品分析(表 1), SiO₂=73.05%~80.20%, Al₂O₃=9.08%~12.57%, TFeO=0.91%~3.92%, MgO=0.14%~1.04%, CaO=0.15%~0.42%, Na₂O=0.90%~4.07%, K₂O=4.30%~7.76%。TREE=56.2×10⁻⁶~461.3×10⁶, (La/Yb)_n=8.9~54.1, Eu/Eu^①=0.43~1.01, Ba/Ba^②=0.75~2.26。

夕线石英集合体产状和成因不同,地球化学组成上也有

① Eu/Eu 为铕异常。
② Ba/Ba 为钡异常。

表 1 河北平山湾子群具夕线石英集合体(深熔)浅粒岩及相关岩石元素组成

Table 1 Elemental composition of sillimanite-quartz aggregate (anatectic) bearing leucogranulite and related rocks of the Wanzhi Group in Pingshan, Hebei

样号	F9903-S	F9903-L	F01103	F9909-S	F9909-L	F9910-S	F9910-L	F01102-I	F01102-II	F01105-Ia	F01105-Ib	F01105-2a	F01105-2b	F01106-1	F01106-2	F01106-3	F01104	
岩性	深熔含黑云 钾长浅粒岩 中的夕线石 英集合体	深熔含 黑云钾 长浅粒岩	深熔含 黑云钾 长浅粒岩	深熔含磁铁 二长浅粒岩 中的夕线石 英集合体	深熔含 磁铁二 长浅粒岩	深熔含 磁铁二 长浅粒岩	深熔含磁 铁钾长 石英钾长 石英钾长 浅粒岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	深熔 夕线 石英片岩	夕线 石英球	夕线 石英球	夕线 石英球	夕线 石英球
位置	小回龙沟	小回龙沟	小回龙沟	下康家峪	下康家峪	下康家峪	下康家峪	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	南下庄北	
SiO ₂ ×10 ⁻²	81.84	74.7	74.52	78.57	74.83	70.99	73.05	80.20	84.81	78.60	76.58	51.61	80.14	75.56	76.01	77.74		
TiO ₂	0.23	0.36	0.46	0.25	0.36	0.98	0.44	0.29	0.24	0.31	0.15	1.10	0.20	0.32	0.09	0.58		
Al ₂ O ₃	14.97	11.21	10.93	14.97	11.97	17.16	12.57	9.08	10.19	10.30	10.95	26.79	14.98	12.27	12.43	12.76		
TFeO	1.96	2.08	2.08	2.19	2.57	7.14	3.16	1.70	1.76	1.74	2.03	9.62	1.11	1.74	0.38	2.86		
FeO	0.01	0.06	0.06	0.02	0.01	0.02	0.02	0.06	0.06	0.04	0.05	0.08	0.04	0.05	0.06	0.03		
MnO	0.22	0.8	1.04	0.37	0.2	0.54	0.28	0.14	0.05	0.28	0.18	1.81	0.12	0.34	0.16	0.50		
CaO	<0.01	0.18	0.26	0.04	0.3	0.01	0.33	0.09	0.08	0.42	0.10	0.17	0.10	0.25	0.15	0.10		
Na ₂ O	0.11	2.71	2.63	1.71	4.07	0.17	1.71	0.90	2.16	2.16	0.51	1.72	0.78	2.22	2.03	0.62		
K ₂ O	0.27	5.47	4.73	1.97	4.3	0.89	7.61	5.60	7.78	4.98	2.45	6.27	1.35	6.07	7.76	2.89		
P ₂ O ₅	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.07	0.04	0.06	0.09	0.04		
H ₂ O	0.3	0.64	0.56	0.96	0.5	0.72	0.22	0.40	0.44	0.40	1.36	0.66	0.83	0.72	0.42	0.58		
CO ₂	0.05	0.11	0.18	0.09	0.05	0.09	0.09	0.26	0.35	0.09	0.26	0.18	0.35	0.09	0.35	0.18		
Total	99.98	99.19	99.55	100.18	99.20	98.76	99.52	99.55	99.67	99.81	100.20	100.42	100.12	100.07	100.52	100.44		
Cr×10 ⁻⁶	5	5	5	5	5	5	5	35	35	30	36	231	27	27	16	31		
Sc		4.1						0.4	1.2	1.9	1.5	7.8	1.1	1.3	0.5	3.7		
Rb	9	87	111	42	62	33	151	195	34	170	103	214	235	57	127	224		
Ba	32	936	1278	423	1264	129	1843	1241	125	915	126	1027	560	126	959	1525		
Sr	4	57	44	14	49	10	94	101	10	192	17	178	82	15	189	257		
Nb	15	24	27	20	23	33	20	8	7	8	8	22	6	12	2	21		
Zr	288	501	599	327	430	916	447	242	251	163	226	225	120	183	67	617		
Y	55	51	36	64	47	74	38	2	18	4	5	18	12	5	8	48		
Th	7	5	4.8	9	5	16	5	5.5	14.0	3.7	3.7	20.0	10.0	13.0	12.0	16.0		
La	78.08	90.98	92.36	129.60	100.70	169.60	66.10	13.61	33.90	20.27	54.84	22.74	100.40	31.19	29.95	79.22		
Ce	163.60	176.20	173.60	276.70	198.40	328.60	126.20	23.94	65.02	34.51	102.80	39.80	182.6	46.49	56.16	163.40		
Pr	18.04	18.62	18.07	29.23	20.49	34.07	13.05	2.74	6.74	4.01	10.37	4.03	17.60	4.95	5.90	14.97		
Nd	76.14	76.13	75.00	121.20	84.71	138.10	52.30	10.98	30.27	17.78	41.32	16.70	69.33	21.10	22.56	63.08		
Sm	12.97	12.98	13.80	20.23	14.71	22.25	8.79	1.57	5.47	1.66	6.45	2.29	12.59	3.53	3.58	11.77		
Eu	0.99	2.11	1.95	1.44	2.09	2.55	1.71	0.51	0.86	0.49	0.78	0.55	1.75	0.63	0.81	1.15		
Gd	13.40	13.27	11.46	20.53	14.95	22.90	9.46	1.49	4.17	1.92	4.70	2.37	9.09	3.00	3.45	10.21		
Tb	1.83	1.79	1.50	2.30	1.74	2.54	1.18	0.15	0.63	0.19	0.49	0.24	1.03	0.48	0.35	0.52		
Dy	11.27	10.37	8.11	14.09	10.79	15.62	7.33	0.69	3.62	0.97	2.35	1.22	4.92	2.41	1.64	8.78		
Ho	2.23	1.99	1.59	2.55	1.95	3.04	1.52	0.08	0.82	0.13	0.47	0.94	0.51	0.20	0.33	1.98		
Er	6.18	5.55	4.43	6.95	5.16	8.12	4.37	0.97	3.39	1.23	0.47	2.43	1.38	0.58	0.98	6.03		
Tm	0.84	0.78	0.62	0.90	0.60	1.22	0.64	0.03	0.27	0.05	0.13	0.06	0.31	0.18	0.06	0.12		
Yb	5.36	5.63	3.25	5.98	4.36	8.54	4.87	0.18	1.69	0.30	0.72	0.34	1.43	1.19	0.38	0.67		
Lu	0.82	0.88	0.51	0.92	0.68	1.39	0.75	0.05	0.27	0.05	0.10	0.05	0.24	0.18	0.07	0.10		
TRBE	391.8	417.3	406.3	632.6	461.3	758.5	298.3	56.2	155.7	82.7	226.7	91.0	404.7	112.3	127.8	369.6		
(La/Yb) _n	9.6	10.6	18.7	14.3	15.2	13.1	8.9	49.8	13.2	44.5	50.2	44.1	46.2	14.5	54.1	29.4		
Eu/Eu*	0.23	0.49	0.46	0.22	0.43	0.35	0.58	1.01	0.53	0.85	0.42	0.72	0.48	0.58	0.70	0.65		
Ba/Ba*	0.08	1.37	1.61	0.64	2.26	0.13	1.83	0.99	0.14	0.88	0.11	0.82	0.26	0.16	0.75	0.89		
K ₂ O/Na ₂ O	2.45	2.02	1.80	2.77	1.06	5.24	6.22	4.45	4.33	2.31	4.80	3.88	6.01	2.99	3.79	4.66		

注: 常量元素用 x 荧光光谱法分析, 稀土元素用等离子光谱法分析, 分析由国家地质实验测试中心完成; Eu/Eu* 和 Ba/Ba* 为铕异常和钡异常, 钕异常定义见参考文献[5]; 多样品为成对分析, 如 F9903-S 和 F9903-L 分别为相邻的夕线石英集合体和浅色体; 样品位置见图 1。

表 2 河北平山湾子群具夕线石英集合体(深熔)浅粒岩 Nd 同位素组成

Fig. 2 Nd isotopic composition of sillimanite-quartz aggregate-bearing (anatectic) leucogranulite and related rocks of the Wanzhi Group at Pingshan, Hebei

样号	F9903-S	F9903-L	F9909-S	F9909-L	F9910-S	F9910-L
岩性	深熔含黑云钾长 浅粒岩中的夕线 石英集合体	深熔含黑云 钾长浅粒岩	深熔含磁铁二长 浅粒岩中的夕线 石英集合体	深熔含磁铁 二长浅粒岩	深熔含磁铁钾长 浅粒岩中的夕线 石英集合体	深熔含磁铁 钾长浅粒岩
采样位置	小回龙沟	小回龙沟	下康家峪	下康家峪	下康家峪	下康家峪
Sm/10 ⁻⁶	14.650	12.850	22.890	15.600	25.750	10.010
Nd/10 ⁻⁶	84.000	74.540	131.200	88.660	151.600	59.390
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.105 5	0.104 2	0.105 5	0.106 4	0.102 7	0.101 9
¹⁴³ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.511 202	0.511 196	0.511 175	0.511 242	0.511 186	0.511 194
2R	7	7	8	8	5	5
f _{Sm/Nd}	-0.46	-0.47	-0.46	-0.46	-0.48	-0.48
t _{DM} (Ga)	2.73	2.70	2.77	2.70	2.68	2.65
ε _{Nd} (2.5 Ga)	1.35	1.66	0.81	1.86	1.96	2.39
ε _{Nd} (2.0 Ga)	-4.70	-4.48	-5.24	-4.14	-4.28	-3.91
ε _{Nd} (1.8 Ga)	-7.10	-6.91	-7.63	-6.51	-6.75	-6.41
ε _{Nd} (0 Ga)	-28.01	-28.13	-28.54	-27.23	-28.32	-28.17

注:由中国科学院地质研究所乔广生、张任祜在 VG354 上测定;亏损地幔模式年龄计算: $t_{DM} = (1/\lambda) \ln \{ ((^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}) - 0.51315) / ((^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}) - 0.2137) + 1 \}$ 。

较大差异。8 个样品分析(表 1), SiO₂=51.61%~84.81%, Al₂O₃=10.19%~26.79%, TFeO=1.63%~10.44%, MgO=0.05%~1.81%, CaO=0.01%~0.18%, Na₂O=0.11%~0.78%, K₂O=0.27%~4.69%。TREE=112.3×10⁻⁶~578.5×10⁶, (La/Yb)_n=9.6~50.2, Eu/Eu^①=0.22~0.58, Ba/Ba^②=0.08~0.64。

3 个具夕线石英集合体深熔浅粒岩中夕线石英集合体样品(F9903-S、F9909-S 和 F9910-S)分析见表 2, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 和 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 分别为 0.1027~0.1055 和 0.511175~0.511202, t_{DM} 和 ε_{Nd}(2.7Ga) 分别为 2.68~2.77 Ga 和 3.26~4.48 Ga。据 3 个夕线石英集合体深熔浅粒岩样品(F9903-L、F9909-L 和 F9910-L)分析, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 和 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 分别为 0.1019~0.1064 和 0.511194~0.511242, t_{DM} 和 ε_{Nd}(2.7 Ga) 分别为 2.65~2.70 Ga 和 4.15~4.93Ga。它们的 f_{Sm/Nd} 与相邻夕线石石英团块几乎相同,但 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 略为偏大,故 t_{DM} 略有降低,而 ε_{Nd}(2.7 Ga)略有增高。

3 讨论

夕线石英集合体产状不同,但显示出一些共同的特征。

它们低 CaO、Na₂O,与斜长石含量低相吻合,很大程度上反映了变质原岩和深熔母岩的组成特征。深熔和变质成因夕线石英集合体大离子亲石元素含量低,存在明显负钡异常,主要与深熔及变质作用过程中的分异有关。不同成因夕线石英集合体地球化学组成虽显示出一定相似性,相互间仍存在较大差异,特别是它们与相邻“基质”(浅粒岩、深熔浅粒岩、深熔花岗岩)之间的关系不同。

3.1 球状和团块状夕线石英集合体及其深熔浅色体

在下康家峪和上文都,深熔作用强烈,但夕线石英集合体(F9909-S, F9910-S, F01105-1b, F01105-2b)和深熔浅色体(F9909-L, F9910-L, F01105-1b, F01105-2b)空间上未发生明显迁移,基本为原地关系。与深熔浅色体相比,夕线石英集合体地球化学组成上存在一系列变化:(1) SiO₂、Al₂O₃、TFeO 含量增高, K₂O 降低;(2) 稀土总量更高,负钨异常更强,但轻重稀土分离程度变化不大;(3) 大离子亲石元素含量明显降低, Ba 相对于 Rb 更为亏损, Th 含量明显增高, 出现明显负钡异常(表 1, 图 2-a, 2-b, 2-c 和 2-d)。所有这些都与深熔作用分异有关。深熔作用使石英、夕线石聚集,形成 SiO₂、Al₂O₃

① Eu/Eu 为钬异常。

② Ba/Ba 为钡异常。

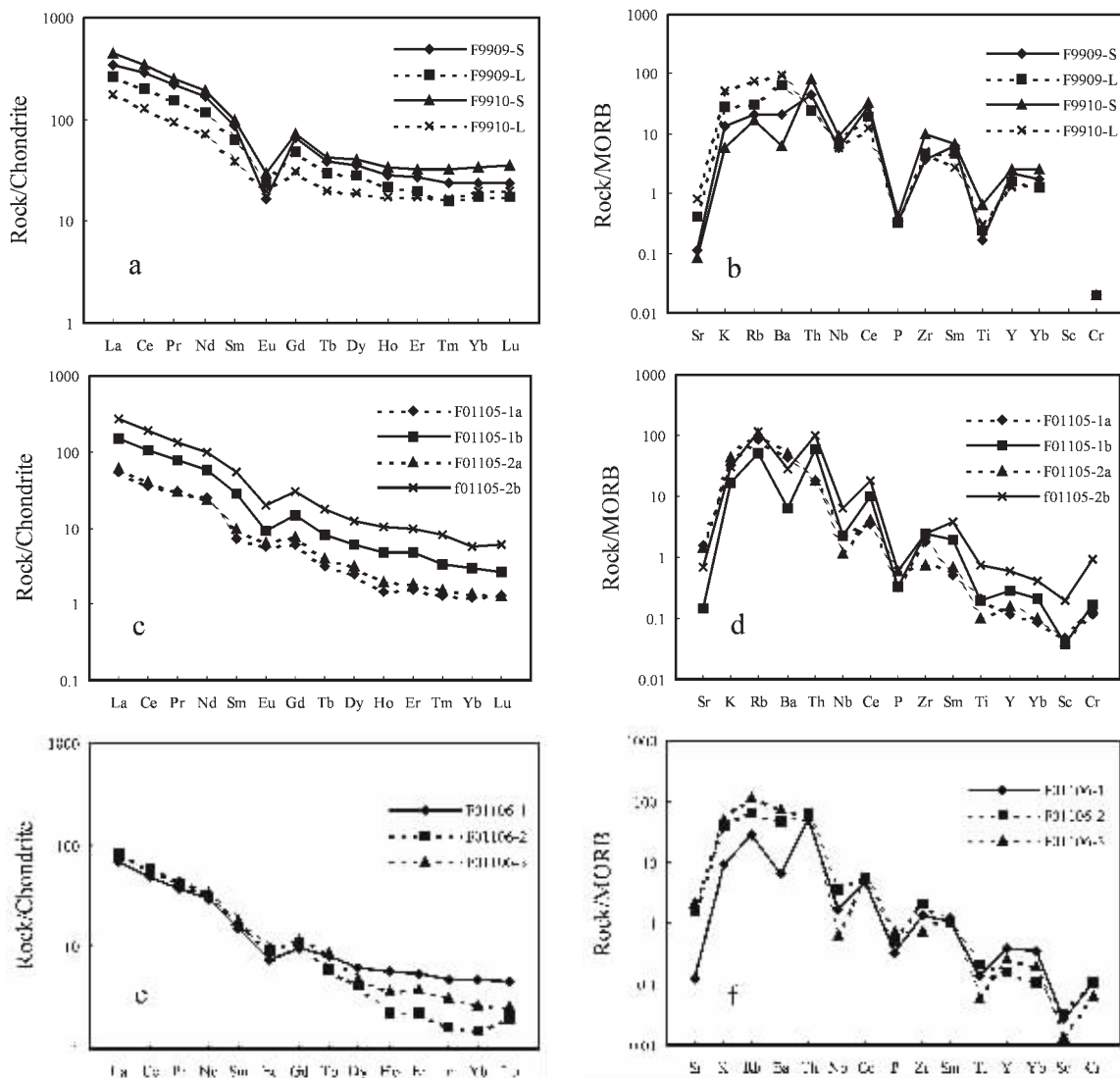


图 2 河北平山湾子群球状夕线石英集合体及深熔浅色体稀土模式和岩石/MORB—元素图解

Fig. 2 REE patterns and rock/MORB—element diagram of globular and nodular sillmainite—quartz aggregations and anatectic leucocratic material from the Wanzhi Group in Pingshan, Hebei

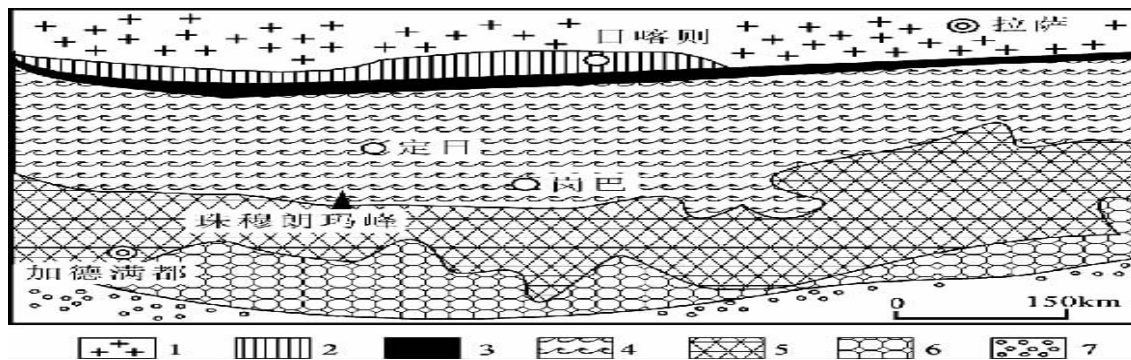


图 3 河北平山湾子群面状夕线石英集合体及(深熔)浅粒岩稀土模式和岩石/MORB—元素图解

Fig. 3 REE patterns and rock/MORB—element diagram of planar sillmainite—quartz aggregations and anatectic leucocratic material from the Wanzhi Group in Pingshan, Hebei

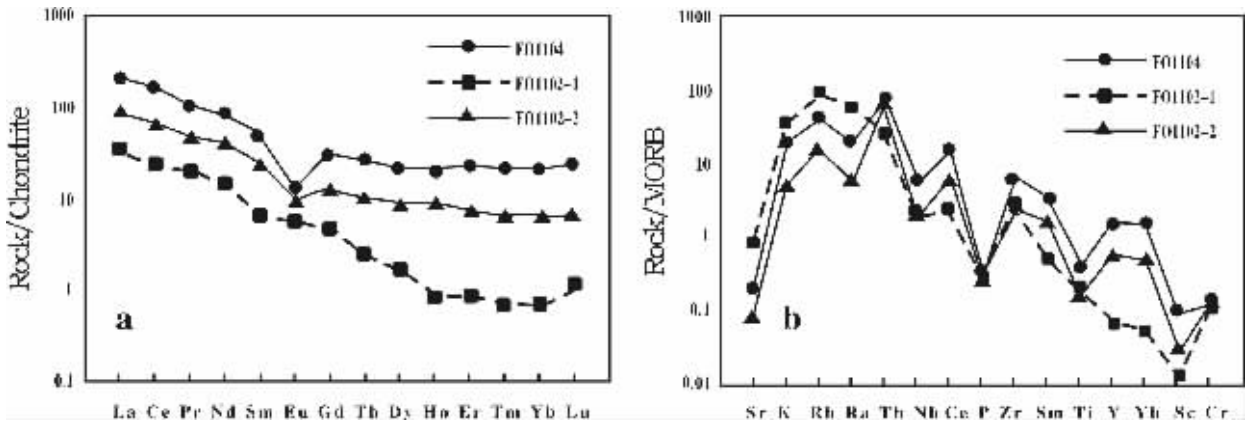


图 4 河北平山湾子群层状夕线石英集合体及浅粒岩稀土模式和岩石/MORB—元素图解
 Fig. 4 REE patterns and rock/MORB—element diagram of bedded sillmainite—quartz aggregates and leucogranulite from the Wanzhi Group in Pingshan, Hebei

高,大离子亲石元素低的夕线石英集合体。具残余体性质的夕线石英集合体相对新生浅色体稀土含量增高而大离子亲石元素降低,这种现象在该区斜长角闪岩、黑云变粒岩及浅粒岩和相关深熔浅色体之间也存在^[4,6-7]。富稀土和 Th,具明显负钫异常副矿物(褐帘石和独居石)^[8-11]在夕线石英集合体中残余是其含量明显增高并具强烈负钫异常的重要原因。与之对应,深熔浅色体稀土和 Th 含量降低,负钫负钷异常减弱。夕线石英集合体和新生浅色体在地球化学组成上存在互补关系。夕线石英集合体和深熔浅色体 Nd 同位素组成特征十分相似, t_{DM} 分别为 2.68~2.77 Ga 和 2.65~2.70 Ga(表 2),表明相互间具成因联系并基本达到平衡^[12]。

在下康家峪,夕线石英集合体和相邻深熔浅色体轻重稀土分离程度都较弱,(La/Yb)_n 分别为 13.1~14.3 和 8.9~15.2(图 2-a)。在上文都,夕线石英集合体和相邻深熔浅色体轻重稀土都强烈分离,(La/Yb)_n 分别为 46.2~50.2 和 44.1~46.2(图 2-c)。这种组成上的对应关系表明深熔作用过程中两者基本处于平衡状态,夕线石英集合体与深熔浅色体之间空间关系未发生明显变化。样品 F01105-2b 位于剪切带中,其中存在一定数量的钾长石。该样品低硅(SiO₂=51.61%)高铝(Al₂O₃=26.79%)、高钾(K₂O=4.69%),稀土总量很高(TREE=404.7×10⁻⁹)(图 2-c),显然为深熔和剪切变形双重作用的结果。深熔作用形成了富稀土高 Al₂O₃ 以夕线石为主的夕线石英集合体,剪切变形使 SiO₂ 进一步发生迁移,而 K₂O 富集则与钾长石脉体带入有关。

在南文都南部,深熔浅色体岩浆性质十分清楚,夕线石英球在不同地方密度变化很大,空间位置已有相当距离迁

移。与下康家峪和上文都不同,南文都南部夕线石英球(F01106-1)与附近深熔浅色体(F01106-2, F01106-3)相比稀土和 Th 含量并无明显增加(图 2-e 和 2-f)^[9]。其原因可能是深熔浅色体在迁移过程中捕获了另一位置的夕线石英球,相互间已不是原有的空间关系。

把深熔浅色体与钾长浅粒岩之间关系和深熔浅色体与夕线石英集合体之间关系作一对比十分有趣。在发生深熔的钾长浅粒岩中,深熔浅色体相对于熔融母岩钾长浅粒岩 Th 含量明显降低^[7],在具夕线石英集合体的深熔浅色体中,深熔浅色体相对于夕线石英集合体 Th 含量也明显降低,都与富 Th 副矿物相发生分离有关。然而,钾长浅粒岩中深熔浅色体与熔融母岩一样,Ba 相对于 Rb 亏损^[9]。具夕线石英集合体的深熔浅色体 Ba 相对于 Rb 通常却无明显亏损,而与夕线石英集合体呈互补关系(图 2-b, 2-d 和 2-f)。夕线石英集合体分离是深熔浅色体 Ba 相对于 Rb 亏损程度降低的重要原因。

3.2 面状夕线石英集合体及钾长浅粒岩和深熔浅色体

集合体边部为钾长浅粒岩,一些地方存在不同程度但通常较弱的深熔作用。面状夕线集合体(F9903-S)形成主要与应力作用控制下的变质分异有关。塑性剪切变形、流体影响可能对集合体形成起了重要作用,使石英、夕线石、黑云母呈面状在空间有利位置聚集。由于面状夕线集合体切割由钾长浅粒岩(F01103)残余体和新生浅色体构成的条带,其形成在深熔作用过程中或深熔作用之后又发生了重新定位。与深熔作用形成的球状夕线石英集合体类似,面状夕线石英集合体与浅色体相比,也亏损大离子亲石元素,出现明显负钫异常和更强负钫异常,与变质分异作用过程中石英、夕线石聚集,长石

分离有关。但是,面状夕线集合体与周围浅色体相比稀土总量和 Th 含量无明显变化(图 3),表明变质分异作用与深熔作用相比富稀土和 Th 的副矿物更难进入夕线石英集合体,反映了两者夕线石英集合体聚集方式的不同。夕线石英集合体和深熔浅色体(F9903-L)_{t_{DM}}分别为 2.73 Ga 和 2.70 Ga(表 2),Nd 同位素组成十分类似,表明了它们之间存在成因联系。

3.3 层状夕线石英集合体及(石英)钾长浅粒岩

层状夕线石英集合体(F01102-1, F01104)与(石英)钾长浅粒岩(F01102-2)互层,为变质沉积成因,故也可称为层状夕线石英(片)岩。变质原岩为富石英和泥质而贫长石的成分层。不同位置层状夕线石英集合体由于矿物组合和含量不同,地球化学组成也有较大差异。样品 F01102-2 主要由石英和少量夕线石、钾长石组成,SiO₂含量高达 84.81%。F01104 样品夕线石、黑云母含量高,石英含量低,变质原岩泥质组分更高,相对低 SiO₂高 Al₂O₃。K₂O 在两个样品中都高,但存在形式不同。前者稀土总量为 155.7×10⁻⁶,后者稀土总量为 TREE=369.6×10⁻⁶(表 1,图 4),表明稀土趋向于在泥质组分中聚集,可能表明沉积过程中泥质组分吸附稀土,富稀土副矿物(包括富集的重稀土的锆石)更易于进入细粒组分。样品 F01102-1 与 F01102-2(层状夕线石英集合体)为互层的含磁铁石英钾长浅粒岩,具有更低的稀土含量(图 4)。

由于层状夕线石英集合体在地球化学组成上与面状和球状夕线石英集合体类似,故不排除部分面状及球状夕线石英集合体由它们改造形成的可能。

4 结 论

(1)球状和团块状夕线石英集合体。其形成与钾长浅粒岩的深熔作用有关。与空间位置无明显迁移的相邻深熔浅色体相比,它们大离子亲石元素含量明显降低,稀土总量更高,负钫负钽异常更强。

(2)面状夕线石英集合体。其形成与钾长浅粒岩在应力状态下的变质分异作用有关。与浅色体相比,它们亏损大离子亲石元素,出现明显负钫异常和更强负钫异常,但稀土总量和 Th 含量无明显变化。

(3)层状夕线石英集合体。为变质沉积成因,其地球化学组成反映了变质原岩的组成特征。

参考文献(References):

[1] 程裕淇,万渝生,高吉凤.河北平山小觉地区阜平群变质作用和深熔作用年代研究的初步报导[J].地质学报,2000,74(1):30~38.
Cheng Yuqi, Wan Yusheng, Gao Jifeng. Preliminary study on the isotopic age of metamorphism and anatexis of the Fuping Group-

complex of Xiaojue, Pingshan County, Hebei Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(1): 30~38 (in Chinese with English abstract).

[2] 陈晋镛.太行山北部前寒武系中的一种假砾岩[J].地质学报,1961,41(3~4):290~307.
Chen Jinbiao. The pre-Cambrian pseudo-conglomerate of the Taihangshan range, Hopei [J]. Acta Geologica Sinica, 1961, 41(3~4): 290~307 (in Chinese with English abstract).

[3] 刘树文,梁海华,华永刚.太行山含夕线石石英球花岗岩的地质学、地球化学和岩石成因[J].地质科学,1999,34(3):390~396.
Liu Shuwen, Liang Haihua, Hua Yonggang. The geology, geochemistry and petrogenesis of granites with Sill-Qz balls, Taihangshan region [J]. Scientia Geological Sinica, 1999, 34(3): 390~396 (in Chinese with English abstract).

[4] 万渝生,程裕淇,高吉凤,等.河北小觉地区阜平岩群斜长角闪岩及深熔产物的地球化学研究[J].地球学报,2002,23(5):429~434.
Wan Yusheng, Cheng Yuqi, Gao Jifeng, et al. Study on geochemistry of hornblende rocks and their anatectic derivatives of the Fuping Group complex in the Xiaojue area, Hebei Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(5): 429~434 (in Chinese with English abstract).

[5] Wan Yusheng. Ba anomaly and its geochemical significance [J]. Continental Dynamics, 1999, 4(1): 84~87.

[6] 万渝生,程裕淇,高吉凤,等.河北平山小觉地区阜平岩群黑云变粒岩—片麻岩深熔作用地球化学研究[J].地质论评,2002,48(增刊):36~44.
Wan Yusheng, Cheng Yuqi, Gao Jifeng, et al. Study on geochemistry of biotite leptyte-gneisses and their anatectic derivatives of the Fuping Complex-Group in the Xiaojue area, Hebei Province [J]. Geological Review, 2002, 48(Supp.): 36~44 (in Chinese with English abstract).

[7] 万渝生,杨崇辉.河北平山小觉地区阜平岩群浅粒岩深熔作用的地球化学研究[J].岩石矿物学杂志,2002,21(4):421~428.
Wan Yusheng, Yang Chonghui. Geochemical study on anatexis of leucocleptites in Fuping Group of Xiaojue area, Pingshan County, Hebei Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2002, 21(4): 421~428 (in Chinese with English abstract).

[8] Watt G R, Harley S L. Accessory phase controls on the geochemistry of crustal melts and restites produced during water-undersaturated partial melting [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1993, 114: 550~566.

[9] Bea K. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal pro-

- toliths; implications for the chemistry of crustal melts [J]. *Journal of Petrology*, 1996, 37(3): 521~552.
- [10] Ayres M, Harris N. REE fractionation and Nd-isotope disequilibrium during crustal anatexis: constraints from Himalayan leucogranites [J]. *Chemical Geology*, 1997, 139: 249~269.
- [11] 吴澄宇, 万渝生. 稀土元素地球化学与花岗质岩石成因(应用与问题)[A]. 见: 张炳熹等主编. 岩石圈研究的现代方法[C], 北京: 原子能出版社, 1998.201~214.
- Wu Chengyu, Wan Yusheng. REE geochemistry and origin of granitoids(application and problem)[A]. In: Zhang Bingxi, Hong Dawei and Wu Xianzhi (eds.), *Modern methods of lithosphere researches* [C]. Seimological Publishing House, Beijing, 1998, 201~214 (in Chinese).
- [12] Harris N, Vance D, Ayres M. From sediment to granite: time scales of anatexis in the upper crust [J]. *Chemical Geology*, 2000, 162: 155~167.

Genetic diversity of sillimanite-quartz aggregates in the Wanzhi Group and related rocks at Pingshan, Hebei——Geological and geochemical constraints

WAN Yu-sheng^{1,2}, HUANG Zeng-fang³, YANG Chong-hui¹, LIU Zeng-xiao⁴

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Beijing SHRIMP Lab, Beijing 100037, China;*

3. *Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China;*

4. *Hebei Institute of Regional Geology and Mineral Survey, Langfang 065000, Hebei, China)*

Abstract: The origin of sillimanite-quartz aggregates in the early Precambrian Wanzhi Group and related rocks in the Pingshan area, Hebei, has long been controversial. According to the geological and geochemical studies they may be divided into three types: (1) globular and nodular sillimanite-quartz aggregates, which form by anatexis of K-feldspar leucogranulite and are lower in large-ion lithophile (LIL) elements and higher in rare earth elements (REE) and have stronger negative Eu and Ba anomalies than nearby anatectic derivatives; (2) planar sillimanite-quartz aggregates, which form by metamorphic differentiation of K-feldspar leucogranulite under stresses and show depletion in LIL elements and strong negative Eu and Ba anomalies but no obvious variation in REE and Th contents compared with nearby leucocratic material; and (3) bedded sillimanite-quartz aggregates, which are of metamorphic origin and whose chemical composition are controlled by original rocks.

Key words: sillimanite-quartz aggregate; geochemistry; Nd isotope, anatexis; Wanzhi Group; Pingshan