

胶南新元古代花岗片麻岩中淡色脉体的 锆石年代学和稀土元素研究*

批注:

批注:

批注:

陆松年¹, 李惠民¹, 李怀坤¹, 宋明春², 袁洪林³, 柳小明³

(1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 山东第四地质矿产勘查院, 潍坊, 261021);
3. 西北大学地质系大陆动力学教育部重点实验室, 西安, 710069)

摘要

苏鲁造山带中出露了大面积的新元古代花岗片麻岩, 这些花岗片麻岩中赋存规模不等、形态各异的变质岩包体, 已有资料表明它们均受到印支期高压 超高压变质作用的强烈影响。在花岗片麻岩及包体中经常可见以白色为主的长英质淡色脉体, 脉体通常较窄, 宽度多在 1 厘米以内, 少数可达几个厘米, 它们一般随片麻理方向延展, 亦可见切穿片麻理的淡色脉, 通常认为这类淡色脉体是母岩部分熔融的产物。作者等对出露于山东诸城市石河头乡新元古代花岗片麻岩中淡色脉体的锆石年代学及地球化学进行了探索性研究, 取得了宝贵的地质信息。研究表明, 淡色脉体中锆石 SHRIMP 法 U-Pb 年龄为 (147.6 ± 2.5) Ma, 同时锆石具有高铀、极低钍和重稀土富集等特征。文中在简略回顾地质背景的基础上, 着重对淡色脉体中锆石的特征、锆石微区年龄和 REE 测定结果的地质意义进行了讨论。

关键词: 胶南; 淡色脉体; 锆石; 年龄; 稀土元素

中图分类号: P597+.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2005)04-

淡色脉体 (Leucosome) 的发育是高级变质岩区经常可见的地质现象, 它常发生在进变质作用、剥露过程和强剪切带中, 是由于母岩脱水、增温而造成的部分熔融的产物。多数淡色脉体主要由长石和石英所组成, 几乎没有暗色矿物, 因其色调极淡而得名。国外地质学家对淡色脉体的研究颇为重视, 通过对淡色脉体中锆石年代学研究, 获取变质时代或隆升的年代学信息^[1]。作者等近几年也对我国中部造山带中高级变质表壳岩、花岗片麻岩及韧性剪切带中的淡色脉体进行了探索性研究^[2]。

苏鲁造山带中出露了大面积的新元古代花岗片麻岩, 这些花岗片麻岩中赋存规模不等、形态各异的变质岩包体, 已有资料表明它们均受到印支期高压 超高压变质作用的强烈改造。在花岗片麻岩及包体中经常可见以白色为主的长英质淡色脉体, 脉体通常较窄, 宽度多在 1cm 以内, 少数可达几个厘米, 它们一般随片麻理方向延展, 亦可见切穿片麻理的淡色脉。为研究形成这类淡色脉体的时代和特点, 作者等对出露于山东诸城市石河头乡新元古代花岗片麻岩中淡色脉体的锆石年代学及地球化学进行了探索性研究, 取得了宝贵的地质信息。文中在简略回顾地质背景的基础上, 着重对淡色脉体中锆石的特征、锆石微区年龄和 REE 测定结果进行了介绍和讨论。由于该项研究探索性较强, 对研究思路、结果和观点的不足之处, 深望地学界同行不吝指正。

*收稿日期: 2005 - 11 - 01

基金项目: 国家自然科学基金委员会重点项目(40032010-C); 国土资源部科技项目 (2000305)

作者简介: 陆松年 (1940-), 研究员, 1962 年毕业于南京大学地质系, 长期从事前寒武纪地质研究工作,
E-mail: tjlsongnian@cgs.gov.cn.

1 地质背景

样品采自山东省南部的诸城市石河头乡曙光水库南一个小采石坑中。采样附近主要地质单元为荣成片麻岩套之多硅白云母二长花岗质片麻岩,岩体中有大量沿片麻理平行展布的淡色脉体,样品即采自这类浅色脉体中。多硅白云母二长花岗质片麻岩呈灰黄色,片麻状构造,鳞片粒状变晶结构,单矿物粒径 $0.1 \sim 1 \text{ mm}$,矿物集合体粒径 $1 \sim 3 \text{ mm}$;主要组成矿物为钠长石、微斜长石、石英,少量多硅白云母、黑云母、绿帘石,微量石榴石、锆石、磁铁矿、磷灰石、榍石等。前人^[3]在本次采样附近的多硅白云母二长花岗质片麻岩中共采二个同位素年龄样,其中一个年龄值的上交点($783+19/-18$)Ma,下交点($182+10/-11$)Ma;另一个年龄上交点($818+65/-57$)Ma,下交点($103+39/-45$)Ma。浅色花岗质脉体的结构、成分与多硅白云母二长花岗质片麻岩相似,但其中云母及绿帘石含量大大减少(一般少于1%)。

2 淡色脉中锆石外形特征

锆石为无色透明-褐黄色自型柱状晶体,粒度大小不一,粒径在 $100 \sim 500 \mu\text{m}$ 之间,个别粒径较小者($\sim 100 \mu\text{m}$)为非常完好的无色透明长柱状晶体,长宽比值为1:4左右;由于样品粉碎过程中的破坏,导致多数锆石颗粒不完整,呈大大小小的破碎晶体(图1)。

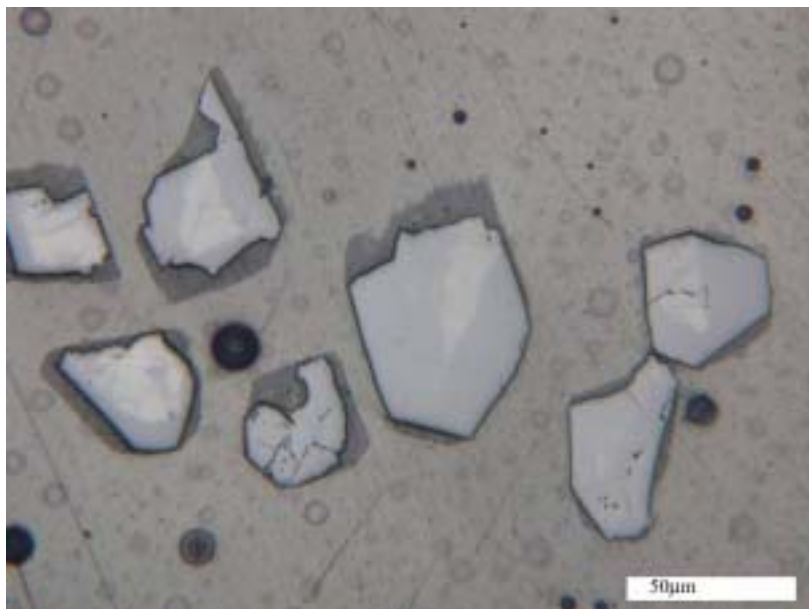


图1 淡色脉体中锆石抛光后的显微照片

Figure 1 Photomicrograph of polished zircons from the leucosome

3 测试结果

3.1 SHRIMP 年龄测定结果

应用国土资源部同位素地质开放实验室高精度离子探针质谱(SHRIMP)对样品 CD1 中的锆石 U-Pb 同位素比值进行了测定(表1和图2), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄平均值为($147.6 \pm$

2.5) Ma。

表 1 淡色脉体中锆石样品 CD1 号 U-Pb SHRIMP 法测定结果

Table 1 U-Pb SHRIMP data of zircons from leucosome Sample CD1

点号	U(μg/g)	Th(μg/g)	Th/U	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ± %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ± %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(Ma)
1.1	370	0	0	0.00	0.0528 7.6	0.173 2.1	0.02371 2.1	151.1 ± 3.1
2.1	545	12	0.022	0.02	0.0424 9.3	0.138 9.3	0.02355 2.0	150.1 ± 3.0
3.1	762	0	0	0.00	0.0453 6.8	0.142 7.1	0.02275 1.9	145.0 ± 2.8
4.1	1272	0	0	0.00	0.0474 6.4	0.153 6.6	0.02342 1.9	149.2 ± 2.8
5.1	125	0	0	0.00	0.0540 23.0	0.168 23.0	0.02254 2.9	143.7 ± 4.1
6.1	491	8	0.016	0.02	0.0469 11.0	0.147 11.0	0.02270 2.1	144.7 ± 3.0
7.1	572	30	0.052	0.06	0.0408 11.0	0.130 12.0	0.02320 2.0	147.9 ± 2.9
8.1	143	1	0.007	0.01	0.0600 19.0	0.211 19.0	0.02552 2.7	162.4 ± 4.4

测试单位：北京离子探针中心，宋彪指导完成测试

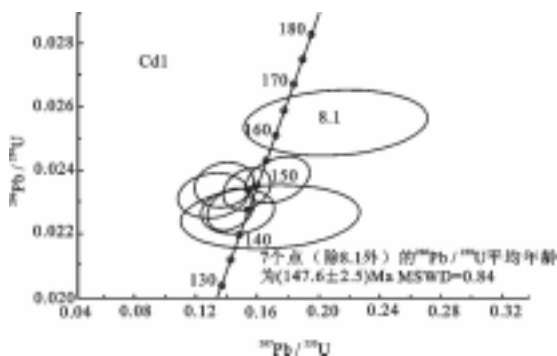


图 2 淡色脉体中锆石样品 CD1 号 U-Pb SHRIMP 法年龄谱和图

Fig.2 SHRIMP U-Pb Concordia diagram of zircons from the leucosome Sample CD1

3.2 REE 测定结果

对 CD1 号样品中的锆石在西北大学大陆动力学教育部重点实验室应用 LA-ICP-MS 进行了 REE 元素的探索性研究，分两种方法进行。一是选择不同的锆石为研究对象，共采集了 11 粒锆石中微区 REE 元素含量；二是选择一粒锆石，沿长径方向采集了 6 组 REE 含量数据，测定结果见表 2、3 和图 3、4。

表 2 11 粒锆石微区稀土元素分析结果(μg/g)

Table 2 In situ analysis REE data of 11 zircon crystals

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0.223	1.920	0.149	2.16	6.99	3.570	34.47	9.710	69.53	15.42	42.90	6.22	52.59	6.45
0.163	0.960	0.210	1.09	2.34	1.100	5.23	1.690	7.76	1.15	2.26	0.47	5.18	0.42
0.062	0.053	0.147	2.64	1.86	0.210	0.47	0.024	1.12	0.69	8.65	3.90	39.60	5.35
0.320	0.157	0.213	1.10	1.27	0.110	0.53	0.155	5.49	6.37	76.97	27.48	318.25	37.84
0.322	0.227	0.178	0.78	0.13	0.370	0	0.061	0.59	0.49	13.17	11.43	208.89	33.81
0.171	0.209	0.033	1.04	0.36	0.250	2.48	0.690	8.52	2.06	7.29	1.51	14.99	1.84
0.195	0.076	0.059	0.75	0.43	0.123	0.45	0.031	0.39	0.45	6.39	2.35	33.64	3.92

0.082	1.350	0.240	0.99	1.62	0.930	4.23	1.220	4.90	0.98	2.46	0.43	3.92	0.68
0.298	0.149	0.166	1.49	0.86	0.243	1.26	0.136	0.55	0.143	1.14	0.87	8.52	1.43
0.143	0.250	0.140	1.24	0.71	0.117	0.11	0.113	1.03	1.680	31.98	15.64	207.53	29.64
2.400	8.800	1.520	8.34	3.15	1.660	5.96	3.870	56.13	20.260	100.64	28.48	339.00	65.20

测试单位：西北大学大陆动力学教育部重点实验室袁洪林测试

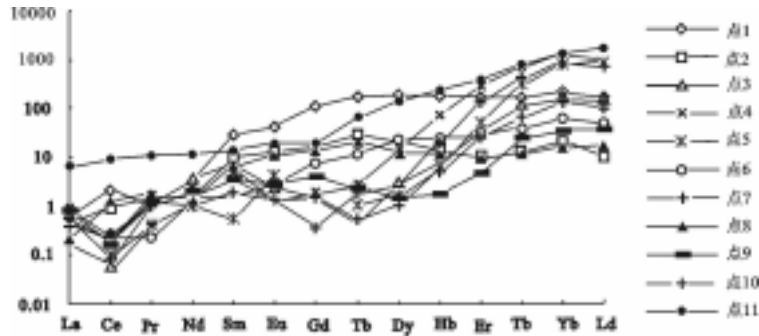


图3 11粒锆石微区稀土元素球粒陨石标准化图谱

Fig.3 Chondrite normalized REE patterns of 11 zircon crystals

表3 沿一粒锆石长径方向微区的稀土元素分析结果(μg/g)

Table 3 REE data of a zircon crystal along its major axis

La	0.202	0.237	0.162	0.204	0.124	0.207
Ce	0.182	0.214	0.206	0.184	0.179	0.188
Pr	0.101	0.168	0.199	0.146	0.283	0.148
Nd	0.91	1.51	1.03	1.3	2.54	1.33
Sm	1.29	1.24	0.85	1.07	1.04	1.09
Eu	0.37	0.5	0.17	0.31	0.3	0.067
Gd	0.79	0.13	0.25	1.14	1.57	0.37
Tb	0.116	0.04	0.26	0.097	0.118	0.17
Dy	0.065	0.78	2.45	1.27	0.89	0.88
Ho	0.34	0.35	2.16	1.31	0.67	1.36
Er	7.83	9.53	24.72	12.81	9.36	12.36
Tm	4.39	5.2	9.91	6.93	6.45	6.8
Yb	60.92	77.42	123.47	113.44	113.44	94.71
Lu	8.47	10.14	16.34	16.34	17.95	12.45

测试单位：西北大学大陆动力学教育部重点实验室袁洪林测试

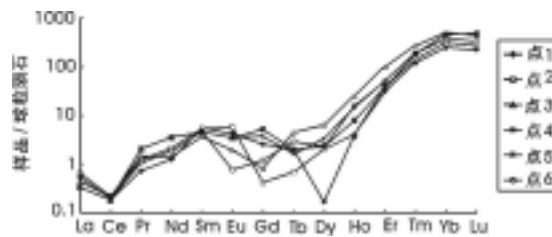


图4 一粒锆石6个测点的稀土元素球粒陨石标准化图谱

Fig.4 Chondrite normalized patterns of 6 analyses of a zircon crystal along its major axis

4 讨论

从上述 CD1 号样品锆石所获得的年代学和地球化学资料中,可获得有关淡色脉体和锆

石成因的上述地质信息。

(1) 根据 SHRIMP 所获得的锆石 U-Pb 年龄信息, 淡色脉体形成的时代为 (147.6 ± 2.5) Ma, 即赋存淡色脉体的多硅白云母二长花岗质片麻岩部分熔融的时代发生于中、晚侏罗世之交。淡色脉体中的锆石具有淡色、透明的特点, 说明锆石中基本未产生蜕晶化现象, 因而锆石的 U-Pb 年龄可信度较高。这类花岗片麻岩中淡色脉体的形成一般认为是地质体剥露过程中, 减压增温导致部分熔融的结果, 即淡色脉体形成时期应反映地壳减薄的过程。

(2) 锆石中铀、钍测定结果表明(表 2), 钍含量极低, 多数接近于零值, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 值也极低。孙敏等^[4]曾根据山西阜平早前寒武纪片麻岩锆石中铀、钍元素含量及其比值的资料, 提出岩浆成因锆石中的钍含量较高(26 ~ 3031 $\mu\text{g/g}$), 而变质锆石中的钍含量极低(1 ~ 20 $\mu\text{g/g}$), 因而 Th/U 比值也极低(0 ~ 0.08)。Hoskin 等^[5]也曾指出火成岩中的锆石 Th/U 比值较高, 多数介于 0.4 ~ 1.0 之间, 而变质成因锆石的 Th/U 比一般很低, 他们测定的比值约 0.01 ~ 0.08。CD1 样品中锆石的钍含量及 Th/U 比接近变质锆石的特点, 但钍含量及 Th/U 比值更低, 测定的 8 个数值中, 有 4 个为零值, 平均为 0.012, 可能反映了与变质作用不完全相同的部分熔融作用过程中锆石钍含量及 Th/U 比值的特征。

(3) 淡色脉体中锆石 REE 元素含量、比值及图谱特征, 与笔者等已获得的岩浆成因和变质成因锆石迥然有别(另文阐述)。岩浆成因锆石稀土元素总量较高, 轻、重稀土元素分异明显, 轻稀土相对亏损、重稀土相对富集, 同时具有明显的 Ce 正异常和 Eu 负异常。变质成因锆石以稀土元素总量高, 轻、重稀土元素分异不明显, 以及 Ce 和 Eu 异常不突出而区别于岩浆成因锆石。而 CD1 淡色脉体中锆石以轻、重稀土元素分异明显, 轻稀土相对亏损、重稀土相对富集而类似于岩浆成因锆石, 但一些测点以具有明显的 Ce 负异常和 Eu 负异常不突出, 以及稀土元素总量低, 特别是轻稀土元素含量低而有别于岩浆成因锆石, 与变质成因锆石的区别如图 5 所示。

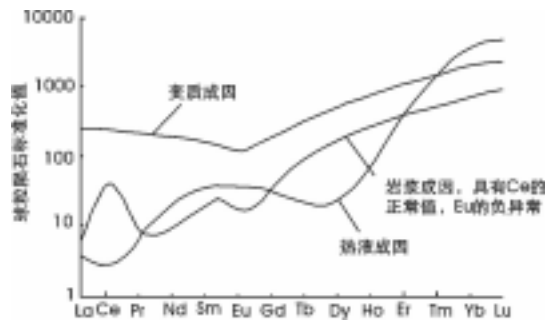


图 5 几种不同成因锆石的稀土元素典型图谱

Fig. 5 The typical REE patterns of the 3 genetic types of zircons

国外一些地质学家对锆石 REE 特征也进行过探索, 例如 Mass 等^[6], Sawka 等^[7]和 Hoskin 等^[4]分别通过对最古老的锆石、深成侵入体以及砂岩中碎屑锆石的 REE 进行了研究, 力图揭示不同成因锆石之间 REE 地球化学特征的差异。他们的研究结果似乎表明所有样品的稀土元素图谱都是相似的, 具有轻稀土元素亏损、重稀土元素富集、Ce 正异常和 Eu 负异常的特点。他们认为从不同地壳岩石类型和不同构造背景中获得的锆石稀土元素地球化学

特征表现出明显的相似性,因此不能用来指示锆石的来源。但这些特点与作者等获得的岩浆成因锆石相近,与变质锆石及淡色脉体 CD1 号样品获得的结果存在明显差异。我们的初步研究成果不支持上述研究者的结论,从 CD1 样品中获得的结果表明,淡色脉体中锆石的稀土元素地球化学具有独特的特征,它们与岩浆成因锆石的区别是明显的。

通过上述讨论,显示 CD1 淡色脉体锆石中钍、铀含量, Th/U 比值,以及稀土元素具有独特的特征,它们可能提供鉴别岩浆、变质和部分熔融成因锆石的不同鉴别标志,在年代学和锆石成因矿物学研究工作中是一个值得深入探索和具有应用前景的领域,但是这项工作还处在探索阶段,它需要更多原始科学资料的支撑。

致谢

本文受到国家自然科学基金委员会重点项目(编号:40032010-C)和国土资源部科技项目(编号:2000305)的资助,笔者表示衷心的感谢。研究过程中得到国土资源部同位素地质开放实验室刘敦一研究员、宋彪研究员、西北大学高山教授的热情支持和帮助,笔者一并表示深深的谢意。作者等仅以此文庆贺我国著名前寒武纪矿床学家沈保丰研究员 70 华诞,衷心祝贺他对我国地质科学,特别是矿床学做出更大贡献。

参考文献 (Reference)

- [1]陆松年.参加中澳造山作用国际讨论会总结报告(2)—中澳野外考察纪实.前寒武纪研究进展.1999,22(3):51-59.
- [2]陆松年,李怀坤,陈志宏,等.秦岭中—新元古代地质演化及对 RODINIA 超级大陆事件的响应.北京:地质出版社,2003,1-194.
- [3]中国地质科学院地质研究所,安徽省地质调查院,山东省第四矿产勘查院,湖北省区域地质矿产调查所.大别—苏鲁造山带地质图,1:500000 说明书.北京:地质出版社,2003,1-77.
- [4]孙敏,关鸿.阜平杂岩年龄及其地质意义:兼论前寒武高级变质地体的年代问题.岩石学报.2001,17(1):145-156.
- [5] P W O Hoskin, T R Ireland. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, 2000, 28(7): 627-630.
- [6] R Mass, P D Kinny, I S Williams, D O Froude, W Compston. The Earth's oldest known crust: A geochronological and geochemical study of 3900-4200Ma old detrital zircons from Mt.Narryer and Jack Hills, Western Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56:1281-1300.
- [7] W N Sawka. REE and trace element variations in accessory minerals and hornblende from the strongly zoned McMurtry Meadows pluton, California: Royal society of Edinburgh Transactions. *Earth Sciences*, 1988, 79:157-168.

Zircon geochronology and REE in leucosome of Neoproterozoic granite gneiss, Jiaonan area

LU Song-nian¹, LI Hui-min¹, LI Huai-kun¹, SONG Ming-chun², YUAN Hong-lin³, LIU Xiao-ming³
(1 . Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170; 2. No.4 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources of Shandong Province, Weifang 261021; 3. The Key Laboratory of Continental Dynamics of the Ministry Education, Northwest university, Xi'an 710069)

Abstract

There are metamorphic rock inclusions of different size and form within the Neoproterozoic granitic gneiss that widely spread in the Su-Lu orogen. Both the metamorphic rock inclusions and the country rock had subjected to Indo-Chinese Epoch HP-UHP metamorphism based on available data. White felsic leucosome is common within the granitic gneiss and the metamorphic rock inclusions. Generally the leucosome occurs in narrow veinlet mostly less than 1 cm in width, with minors of a few centimeters. The leucosome veinlets extend mostly parallel to gneissosity with a few penetrating the gneissosity in different angles. It is generally believed that the leucosome was generated during partial melting of its parent rock. The authors carried out U-Pb dating and geochemical research on zircons separated from the leucosome occurring in the Neoproterozoic granitic gneiss in Shihetou, Zhucheng City of Shandong Province. Significant geological information has been obtained. The research demonstrates that the SHRIMP U-Pb zircon age of the leucosome is (147.6±2.5) Ma and that the zircon is high in U concentration, extremely low in Th concentration and enriches in heavy REE. This paper describes briefly the geological background of the leucosome and focuses on the discussion of the features of the zircons separated from the leucosome and then the geological significance of the in situ age and REE data.

Key words: Jiaonan; leucosome; zircon; isotopic age; rare earth elements