

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

稀土元素在韧性剪切带体积亏损研究中的应用

——以胶南造山带构造岩为例

周建波 胡克 洪景鹏

(长春科技大学地球科学学院, 130061)

内容提要 稀土元素在韧性剪切带中发生有规律的成分变异。随着变形程度的增强, 单个稀土元素(REE)、轻稀土(LREE)、重稀土(HREE)、稀土元素的总量(Σ REE)均明显增加, 而稀土配分模式不变。通过花岗质构造岩变形前后的等比分析, 稀土元素的成分变异主要是由于较大的体积亏损而引起, 并根据成分变异与体积亏损之间的函数关系, 进一步确定了构造岩变形前后的体积亏损率。

关键词 稀土元素 成分变异 体积亏损率 剪切带 胶南造山带

韧性变形过程中, 常量及微量元素的变异, 已被越来越多的研究^[1~5]所证实, 但是稀土元素在变形过程中是否变异、变异的特征及机制等, 前人研究较少。

一般认为, 在变质及矿物转化作用过程中, 稀土元素不发生变化^[6]或变化极小^[7]。但是韧性变形并不等同于区域变质作用, 明显的区别是构造岩变形前后存在体积的变化^[2~4], 而体积的变化势必会造成稀土元素含量的相对变异, 同时大量的数据资料^{[6]①}也显示, 剪切带内岩石变形前后的稀土元素含量存在一定的变化。而稀土元素的这种变异, 对了解韧性变形作用过程中的化学行为具有重要的指示意义。据此, 笔者在胶南造山带展开了专题研究, 在总结花岗质构造岩稀土元素的成分变异特征及变异机制的基础上, 对稀土元素的成分变异与构造岩体积亏损之间的关系进行了初步研究。

1 区域地质背景

胶南造山带是秦岭—大别—胶南造山带的重要组成部分, 近年来倍受中外地质学家的瞩目, 业已成为世界范围内研究陆—陆碰撞作用与过程的关键地区之一。该造山带广泛发育韧性剪切带, 研究表明^[9,10], 胶南造山带由不同时代、不同运动机制、不同构造相的剪切带在空间上相互叠置, 共同构成胶南造山带剪切带阵列。较为特征的剪切带为胶南造山带北缘剪切带, 其西段为五莲—大景峪剪切带(图1), 主体产出于晋宁期花岗岩(689~742 Ma)^[9]之中, 走向NE60°, 倾向NW, 倾角50°~75°; 由4条变形强带(糜棱岩及超糜棱岩)构成, 其间为弱变形岩石(初糜棱石)及未变形岩石。剪切带内可见各种宏观及微观构造标志^[10], 指示该剪切带自北西向南东方向高角度逆冲性质。对采自五莲县康家岭北缘剪切带糜棱岩进行同位素

注: 本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49472106); 参加野外调研的还有孙加鹏、姜琦刚、赵达、赵文吉等同志。

① 长春地质学院胶南队. 胶南1:5万诸城等八幅地质联测报告. 1995.

本文1998年11月收到, 1999年2月改回, 郝梓国编辑。

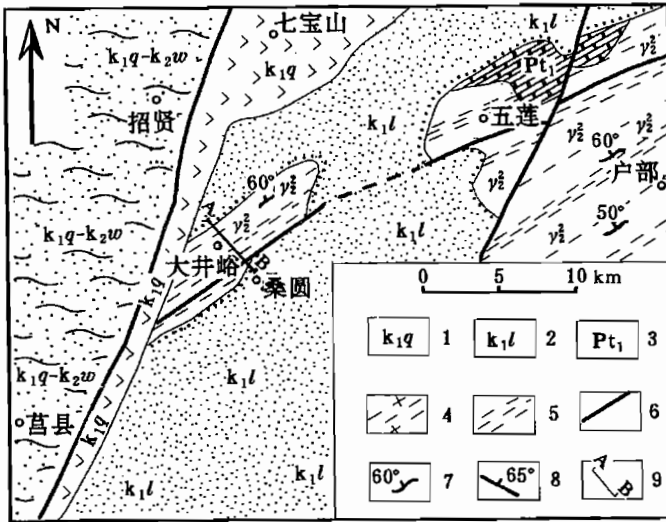


图1 胶南造山带北缘构造简图
(据1:5万五莲、诸城幅地质图简化)

Fig. 1 Schematic tectonic map of the northern margin of the Jiaonan orogenic belt (Simplified from 1:50000 Zhucheng and Wulian geological maps)

1—早白垩世青山群; 2—早白垩世莱阳群; 3—早元古界五莲群; 4—晋宁期花岗岩; 5—韧性剪切带; 6—区域断裂; 7—区域片麻理; 8—糜棱叶理; 9—剖面位置

1—Qingshan Group (Early Cretaceous); 2—Laiyang Group (Early Cretaceous); 3—Wulian Group (Early Proterozoic); 4—granite of Jinning movement; 5—ductile shear zone; 6—regional fault; 7—regional gneissosity; 8—foliation of mylonite; 9—section location

元素的测试结果、构造岩样品的平均值及变异系数(C_i/C_0)见表1, 稀土参数特征见表2。从测试数据及计算结果分析, 自未变形的二长花岗岩到变形强烈的糜棱岩、超糜棱岩, 稀土元素呈有规律的变化, 主要有以下几点。

(1) ΣREE 、LREE、HREE 等明显增加, 单个稀土元素(Lu 除外)的变异系数(C_i/C_0)均大于1, 说明在变形过程中单个稀土元素含量及稀土总量均有一定的增加。

(2) $(La/Yb)_N$ 、 $(La/Lu)_N$ 、 $(Ce/Yb)_N$ 均大于1, 配分曲线均为轻稀土富集, 重稀土亏损的右倾型; 且 LREE/HREE、 Eu/Eu^* 、 Ce/Ce^* 变化不大; Eu 异常性质不变。构造岩平均样品经王中刚等^[6]推荐的球粒陨石数据标准化(表1), 其稀土配分模式(图2)不变。

(3) $(La/Sm)_N$ 、 $(Gd/Yb)_N$ 均大于1, 说明不同构造岩均为 LREE 富集而 HREE 亏损型。但随变形的增强, $(La/Sm)_N$ 相对增加, 而 $(Gd/Yb)_N$ 相对减小。这些特征表明, 随变形程度的增加, 岩石中 LREE 和 HREE 的含量均有相对增加的趋势, “浓缩”特征比较明显。

3 稀土元素的成分变异机制

对稀土元素的成分变异机制的分析, 本文参考了钟增球等^[4]推荐的由 Grant^[2]、O'Hara^[3]等归纳的等比分析方法, 对构造岩变形前后稀土元素的变异机制进行了初步研究。

测年, 经中国科学院地质研究所 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法测定, 其年龄谱为 269 Ma, 225 Ma 及 136 Ma 等不同的年龄坪^①, 这些年龄数据说明胶南造山带北缘剪切带以印支期为主, 经历了多期韧性变形改造。

2 稀土元素的变异特征

为了研究不同变形强度构造岩石稀土元素的变异规律, 对胶南造山带北缘剪切带进行了系统的野外观察和室内分析。在此基础上, 测制了造山带北缘剪切带的构造剖面, 针对剖面中段构造特征明显的花岗质构造岩进行了常量、微量元素化学分析^[10]及稀土元素地球化学分析。由于胶南地区二长花岗岩分布广泛、岩性均一, 同时分析样品又采自同一剖面, 这样原岩样品的稀土组成相对均匀, 为综合分析构造岩样品的成分变异特征提供了可靠的测试结果。其中稀土

① 长春地质学院胶南队. 胶南 1:5 万诸城等八幅地质联测报告. 1995.

表 1 构造岩稀土元素丰度($\times 10^{-6}$)和平均变异系数(C_i/C_0)表

Table 1 REE contents($\times 10^{-6}$) and the average variation coefficients(C_i/C_0)of tectonites

构造岩	分析号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
二 长 花 岗 岩	JP-6-1	38.9	88.6	10.7	30.9	3.48	1.70	4.33	1.15	3.96	0.59	1.69	0.23	0.88	0.41	12.8
	JP-18-1	41.6	131	15.2	34.8	3.94	1.71	4.49	1.58	4.48	0.70	1.72	0.28	0.98	0.41	12.0
	JP-10-1	38.3	75.0	8.68	19.4	3.18	0.77	2.35	0.99	2.91	0.51	1.44	0.21	1.28	0.44	9.00
	平均(C_0)	39.6	98.2	11.5	28.3	3.53	1.39	3.72	1.24	3.78	0.60	1.62	0.24	1.05	0.42	11.3
	C_0 标准化	128	122	94.5	47.2	18.1	18.9	14.4	26.1	11.7	8.36	7.71	7.41	5.02	13.04	
糜 棱 岩	JP-7-4	43.6	106	12.3	30.2	3.44	1.29	4.22	1.03	4.29	0.69	1.64	0.25	0.92	0.31	11.5
	JP-26-1	49.9	137	16.9	37.0	4.17	1.64	4.25	1.74	4.99	0.80	1.94	0.28	1.68	0.50	12.2
	平均(C_1)	46.8	121	14.2	33.6	3.96	1.47	4.44	1.39	4.64	0.75	1.78	0.27	1.30	0.41	11.85
	C_1/C_0	4.18	1.23	1.23	1.19	1.12	1.06	1.19	1.12	1.22	1.25	1.24	1.13	1.23	0.98	1.05
	C_1 标准化	151	150	116	56.0	20.3	20.0	17.1	29.3	14.4	10.5	8.48	8.33	6.22	12.73	
超 糜 棱 岩	JP-27	53.8	137	16.2	32.4	4.72	1.22	3.86	1.21	5.39	0.85	1.73	0.23	1.96	0.31	11.7
	JP-8-2	55.0	170	17.1	34.8	4.44	1.64	3.41	1.12	3.94	0.69	1.56	0.24	2.07	0.36	9.64
	JP-8-3	60.4	129	13.8	29.4	4.05	0.93	3.65	1.38	4.20	0.88	2.42	0.26	2.49	0.42	14.8
	平均(C_2)	56.4	145	15.7	32.2	4.40	1.26	3.64	1.24	4.51	0.81	1.90	0.24	2.17	0.36	12.1
	C_2/C_0	1.42	1.48	1.37	1.14	1.25	0.91	0.98	1.00	1.20	1.35	1.17	1.00	2.06	0.86	1.07
C_2 标准化	182	180	129	53.7	22.6	17.1	14.1	26.1	14.0	11.3	9.04	7.41	10.4	11.18		

测试单位: 长春科技大学测试中心(1995)。

表 2 构造岩平均样品稀土元素参数特征表(样号、单位同表 1)

Table 2 Average REE parameter of tectonites(the sample number and unit see Table 1)

构造样	样品编号	REE	LREE	HREE	Eu/Eu*	(La/Yb) _N	(La/Lu) _N	(Ce/Yb) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Yb) _N
二长花岗岩	C_0	206.5	182.6	23.94	1.17	25.45	9.80	24.21	7.06	2.86
糜棱岩	C_1	248.3	221.7	26.62	1.07	24.27	11.86	24.07	7.43	2.75
超糜棱岩	C_2	282.0	255.0	2.97	1.01	17.50	15.42	17.31	8.05	1.36

3.1 糜棱岩的变异特征

通过糜棱岩变形前后的元素投影, 其绝对多数元素(La、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、He)的投影点均位于同一直线上, 构成等比线图(3a)。而另外的元素(Ce、Dy、Lu)等, 也位于等比线附近, 偏差较小。位于等比线上或靠近等比线的元素在变形前后没有迁移或迁移很小, 成分的变异主要是由于体积的亏损造成的, 证明糜棱岩中单个稀土元素的含量增加是由于体积亏损而引起的。

把 Σ REE、LREE、HREE 分别投影, 投影点均位于等比线上, 进一步证明了糜棱岩中轻、重稀土及

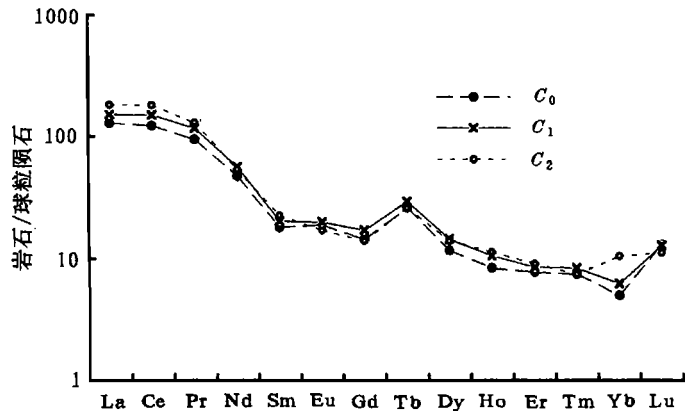


图 2 胶南造山带构造岩稀土配分模式图

Fig. 2 REE partitioning patterns of the tectonite of the Jiaonan orogenic belt

C_0 —弱片麻状二长花岗岩; C_1 —糜棱岩; C_2 —超糜棱岩
 C_0 —Weak gneissoid adamellite; C_1 —mylonite; C_2 —ultramylonite

稀土总量均未发生真正意义上的富集或亏损,稀土元素的含量增加是由体积亏损造成的。

根据 O'Hara^[3]建立的体积变化公式 $C_i/C_0 = 1/(1-V)$ (其中 C_i/C_0 为等比线斜率, V 为体积亏损率),糜棱岩的等比线斜率为 1.17,得体积亏损率为 14.5%。

3.2 超糜棱岩的变异特征

由 Sm、Er、Pr、Y、Ho、Tm 构成的等比线上, Nd、Tb 也位于该线附近(图 3b),说明这些稀土元素在韧性变形过程中基本未发生迁移,其含量的增加也是由于体积的亏损而引起的。

另外一些轻稀土元素(La、Ce)及 Σ REE、LREE 位于等比线之上,而单个重稀土元素(Dy、Gd、Lu)及 HREE 位于等比线之下;位于等比线之上的元素表明其消除体积影响之外尚存在一定量的迁入,位于等比线之下的元素表明其消除体积的影响之外尚存在一定量的迁出。这一特征显示在韧性变形的高级阶段,构造岩在强大的应力作用下发生体积亏损的同时,由于强变形岩石处于开放体系中,一些稀土元素在大量渗透流体的作用下,存在迁入和迁出,并造成轻稀土元素的相对富集、重稀土元素相对亏损的分异作用,但整体偏离等比线的幅度不大,说明花岗质岩石在改造为超糜棱岩的过程中稀土元素迁移较少,其成分的变异仍以体积的较大亏损为主。

根据上述的体积变化公式,超糜棱岩的等比线斜率为 1.25,求得体积亏损率为 20%。

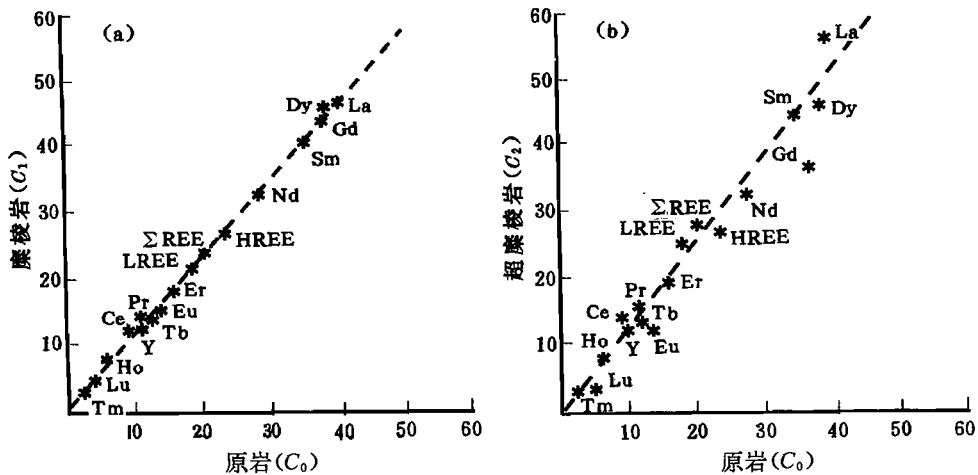


图 3 胶南造山带北缘剪切带构造岩等比线图

Fig. 3 The isorath map of tectonite in the Jiaonan orogenic belt

(a)—糜棱岩; (b)—超糜棱岩; 在图中 Ce 缩小 10 倍, Sm、Y 扩大 10 倍

(a)—Mylonite; (b)—ultramylonite; Ce/10 and Sm×10, Y×10 in this figure

4 讨论与结论

有关岩石成分在韧性变形过程中的变异,前人进行了大量的研究,可能的解释有两种,一种解释认为是在等体积条件下渗透流体作用的结果^[1],另一种认为体积的变化是引起成分变异,特别是惰性组分(P、Zr、Ti、Y)变异的主要原因^[2,3]。就常量和微量元素而言,由于存在大量的易迁移组分,在变形过程中大量易迁移组分容易随渗透流体作用迁入和迁出,导致除惰性组分之外的许多组分发生迁移。但就稀土元素而言,均为不易迁移元素^[6,7],在变质变形作用过程中迁移较少;同时,稀土元素主要赋存在副矿物(如锆石、磷灰石等)中,这些副矿物

在变形作用过程中不易发生转变而“残留”下来,并随变形程度的增强而体积发生相对亏损,这就造成了稀土元素含量的相对增加。因此,对于稀土元素的成分变异,应用后一种解释更为合理。同时研究区内稀土元素随变形程度的增强,其轻、重稀土含量均明显增加,“浓缩”特征比较明显;在等比分析中也具有较好的相关性,显示其成分变异与构造岩体积亏损之间存在着必然的联系。这一研究结果与作用在同一地区应用惰性组分取得的认识^[5]基本符合,但是比应用惰性组分计算体积亏损率具有更好的相关性。因此,应用稀土元素的变异特征反演构造岩变形前后的体积亏损率,对进一步揭示构造岩韧性变形过程中的地球化学行为起到了指示计的作用。

综合上述研究,得出以下一些认识:①韧性剪切带内,随变形程度的增强,其稀土元素存在一定的成分变异,如单个稀土元素的含量增加, Σ REE、LREE、HREE的总量增加等;但是稀土的配分模式不变,整体反映了“浓缩”的特征。②花岗质构造岩中稀土元素的成分变异主要由体积的变化而引起,体积的较大亏损是造成稀土元素含量相对增加的主要原因。同时在强变形岩石中,存在少量元素的迁入和迁出,并导致轻稀土相对富集、重稀土相对亏损的分异作用。③由于稀土元素在变形过程中迁移较少,据此可通过对比成分变异与体积亏损的函数关系,确定体积亏损率。胶南造山带北缘剪切带中糜棱岩的体积亏损率达14.5%,超糜棱岩的体积亏损率达20%。

参 考 文 献

- 1 Beach A. The interrelations of fluid transport, deformation, geochemistry, and heat flow in early Proterozoic shear zones in the leslie complex. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London*, 1996, A, 280: 569~604.
- 2 Grant J A. The isocon diagram; simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geol.*, 1986, 81: 1976~1982.
- 3 O'Hara K. Fluid flow and volume loss during mylonitization; an origin for phyllonite in an overthrust setting, North Carolina, U. S. A. *Tectonophysics*, 1988, 156(1): 21~36.
- 4 钟增球, 索书田, 徐启东. 桐柏—大别造山带剪切阵列的构造岩石. *地质学报*, 1996, 70(4): 315~324.
- 5 周建波, 胡克, 孙加鹏. 韧性剪切带的地球化学变异研究. *地质地球化学*, 1997, 114(4): 27~32.
- 6 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1988, 211~289.
- 7 Muecke G K. Rare earth element geochemistry of regional metamorphic rocks. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1979, 2: 45~54.
- 8 刘志宏, 王安建. 五台山西部狐狸山含金剪切带的地球化学研究. *长春地质学院学报*, 1996, 26(1): 37~43.
- 9 胡克, 姜琦刚. 论五莲—青岛构造带. 见: 郯庐断裂中段地质. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 222~228.
- 10 孙加鹏. 胶南隆起区韧性剪切带变形特征. 见: 郯庐断裂中段地质. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 258~264.

Application of REE Anomaly in Volume Deficiency of a Ductile Shear Zone

— An Example from the Ductile Shear Zone on the Northern Margin of the Jiaonan Orogenic Belt

Zhou Jianbo, Hu Ke and Hong Jingpeng

(Changchun University of Sciences and Technology, Changchun, Jilin, 130061)

Abstract

REE change regularly in the ductile shear zone. Along with intensifying deformation, the contents of all the rare earth elements and the total contents of the LREE, HREE and REE increase, but their REE patterns remain unchanged. Isorath analysis of granitic tectonic rocks before

and after deformation shows that the REE compositional variation mainly from REE relative enrichment caused by large volume deficiency. According to the functional relation between the compositional variation and the volume deficiency, the volume deficiency (14.5%) of mylonite is obtained, and the volume deficiency factor of ultramylonite reaches 20%.

Key words: REE; compositional variation; volume deficiency; shear zone; Jiaonan orogenic belt

作者简介

周建波,男,1966年生。1988年于长春地质学院构造地质学专业获硕士学位;1998年于长春科技大学应用地球物理学专业获博士学位;目前在日本神户大学进修,主攻构造地质学、地球动力学。现为长春科技大学地球科学学院讲师。通讯地址:130061,长春市建设街79号,长春科技大学地球科学学院。
